

# 農薬による大気汚染

2847482

横浜国立大学

1991年12月

横浜国立大学大学院工学研究科

物質工学専攻安全工学大講座

博士課程後期 工D24

植田 博

# 農薬による大気汚染

横浜国立大学工学研究科 工D24  
榎田 博

## 【目次】

1	はじめに	1
2	従来の研究	
2_1	農薬の一般事項	3
2_2	測定方法	6
2_3	調査事例	10
2_4	毒性	14
2_5	分解性	17
2_6	効果	20
2_7	規制事例	22
2_8	被害実態	26
2_9	数理モデル	29
3	農薬の揮発速度の測定	
3_1	目的	33
3_2	実験方法	33
3_3	実験結果	34
3_4	揮発速度と温度の関係	36
3_5	数理モデルNIFE-AAPのための追加測定	39
3_6	境界層理論による揮発速度の予測	41
4	大気汚染の測定法の開発	
4_1	捕集管による測定	45
4_2	連続分析法の開発	50
4_3	自動採取法の開発	54
4_4	その他の項目の測定法	57
5	環境汚染の測定	
5_1	種苗工場からの大気汚染	59
5_2	ビニールハウス内の空気汚染	61
5_3	高原野菜单作地帯における大気汚染	65
5_4	こんにゃく単作地帯における大気汚染	87
5_5	水田への空中散布による大気汚染	91
5_5_1	秋田県十文字町	92
5_5_2	宮城県仙台市	105
5_5_3	山形県白鷹町	113
5_5_4	山形県高畠町	121
5_5_5	新潟県巻町	125
5_5_6	福島県福島市松川町	134
5_5_7	茨城県八郷町	135
5_5_8	群馬県館林市	136
5_5_9	栃木県日光市、今市市	140
5_5_10	埼玉県浦和市	144
5_5_11	埼玉県富士見市	146
5_5_12	神奈川県厚木市	149
5_5_13	神奈川県伊勢原市	150
5_5_14	千葉県佐原市	152
5_5_15	飛散量についての考察	154
5_5_16	大気汚染についての考察	156
5_6	山林における大気汚染	
5_6_1	松枯れの原因	157
5_6_2	宮城県石巻市海浜公園	159
5_6_3	福島県福島市信夫山	160

5_6_4	群馬県高崎市観音山	167
5_6_5	群馬県太田市金山	173
5_6_6	群馬県沼田市三峰山	177
5_6_7	山梨県大月市岩殿山	179
5_6_8	山梨県甲府市片山健康の森・白山	181
5_7	ゴルフ場における大気汚染	189
5_8	シロアリ防除による屋内空気汚染	193
5_9	団地の周辺緑地からの大気汚染	206
<b>6</b>	<b>環境汚染の濃度評価</b>	
6_1	測定値の濃度水準の考え方	211
6_2	人間の摂取量の評価	215
6_3	クロルデン汚染濃度の評価	216
6_4	MEPの基準値について	217
<b>7</b>	<b>数理モデルのための会話型計算システムの開発</b>	
7_1	目的	219
7_2	NIFEの規格	220
7_3	評価	227
<b>8</b>	<b>数理モデルによる解析</b>	
8_1	煙突拡散式へのNIFEの適用	229
8_2.PRC	高原野菜単作地帯のモデルへのNIFEの適用	235
8_3.PRC	水田空中散布の汚染モデルの提案	246
8_4	水田空中散布のシミュレーション	261
8_5	水田空中散布モデルの検討	270
<b>9</b>	<b>まとめ</b>	279
	<b>付録</b>	
	参考文献	284
	謝辞	289
	発表記録	290
	付録1 自動大気採取装置(AAS-2)取扱説明書	293
	付録2 NIFEリファレンスマニュアル	303
	付録3 図表一覧	365
	付録4 本論文に登場する農薬一覧	375
	論文要旨	381
	論文要旨(英文)	386

---

## 第1章 はじめに

---

農業は、環境中に広く散布して生物に様々な影響を与えることを目的として、多量に生産され使用されている。したがって、環境問題で農業は避けて通ることのできない重要な課題である。ここで対象となる環境は大気、水系、土壌、生物であり、それぞれに未解決の問題を抱えている。例えば、水系では水生生物の消滅、土壌では生産能力の阻害、生物では生態系への蓄積などである。大気については、呼吸によって生活する動植物すべてに直接影響を与える。

しかし、これまで食品残留による健康被害ばかり対応が進められ、大気汚染に注意が払われなかった傾向がある。もっとも、外国においては、D D T、2,4-D、ディルドリンなどの有機塩素系殺虫剤の大量散布による被害が顕在化し、その残留性が協議された1970年代には、一時期その大気汚染濃度に関する報告 (Spencerら(1973), Spencer(1975), Glotfeltyら(1975), Mullaら(1981)) が見られた。しかし、その後は大気科学の一部門として研究が継続されることはなかった。近年になって、散布した農業の散逸経路を調べると大気への蒸散が水系への流出や分解などよりも大きな要因である場合があったり (Glotfeltyら(1987)) , 大気経由で中米のD D Tが北米に運ばれたとの疑いがでてきたりした (Rapaportら(1985)) 。

日本に於いては、さらに関心の薄い状況であった。僅かに愛媛県下で大気中有機燐系農業の先駆的測定 (保田(1980)) が報告されたが、環境汚染対策の策定には至らなかった。現実には、農業環境汚染は減少した訳ではなく、拡大している傾向にある。

本研究の目的は、農業の大気汚染を防止することである。農業の大気汚染という新しい領域のなかで、人々の農業汚染に対する理解を深めて、科学的に議論するために汚染実態を認識し、汚染の発生機構の把握をして対策につなげるための最初の一步である。

とくに農業による大気汚染に関して最近、日本各地で健康被害の訴えも多くなり、農業取締り上の不備が指摘されるようになった。その最も重要な点は、汚染の実態が不明であって、科学的考察を進めるに十分なデータが欠如していたことである。

従って、本研究の最初の大きな柱として、農業による大気汚染の環境実態について調査

を実施することにした。農薬蒸気の発生源には、様々なものが考えられ、しかもその時々で気象条件が異なる。総括的な実態の把握には、それぞれの汚染形態について100検体以上の試料を採取することを目標にして、調査を繰り返すことにする。

つぎに、大気中の農薬濃度を高くする要因を究明しなければならない。2番目の柱は、農薬の大気汚染の発生機構を解明することである。農薬の揮発速度を測定し温度などとの関係を研究し、環境実態調査で得られた知見を活かして、上述の要因を明らかにしていくことにした。これによって解明した機構は、ひとつの数理モデルとして表現される。

数理モデルによるシミュレーションは、現実の汚染の再現や予測、汚染機構の解明などに利用されるであろうが、その操作やプログラミングが複雑であっては、実際に活用することができない。3番目の柱は、容易に数理モデルの構築と運用と修正ができるような計算システムを作ることである。

この3つの柱についての研究は、それぞれ有機的に関連しながら進められる。実態調査で得た知見は、数理モデルの中に組み入れられる。使いやすい計算システムで、数理モデルのシミュレーションを繰り返すことにより、農薬大気汚染の問題点が明らかになる。次に行うべき実態調査の測定項目の選定や調査地点の決定にこの結果を活かすことで、効率的で普遍的な環境調査が可能になり、農薬の大気汚染を低減するための様々な対策を検討することが可能になる。

本論文は次のような構成である。(第2章)従来の研究を総括し、(第3章)農薬の揮発速度について研究し、(第4章)農薬大気汚染の測定法を確立して自動分析法や自動大気採取装置を開発し、(第5章)日本各地での農薬大気汚染の実態を把握し、(第6章)その濃度レベルの評価を行い、(第7章)数理モデルのための会話型計算システムを開発し、(第8章)水田の空中散布などについて数理モデルの検討と汚染メカニズムの解明をおこなった。

---

## 第2章 従来の研究

---

### 2.1 農薬の一般事項

日本で登録されている農薬の種類（農薬要覧(1990)）は、有効成分の数でおよそ400弱であり、これらを組み合わせて農薬として登録してある件数は6274件にもなる。農薬の生産数量は54万トン、金額にして4150億円に上っている。数量は、この20年間あまり変化していない、むしろ近年は減る傾向にある。しかし、金額は、増えていて農薬の高級化が進んでいることが分かる。

農薬の分類は、用途別・構造別・製剤別など、いくつかの方法がある。まず、用途別の分類でまとめてみると、表2-1-1のようになる。有効成分の種類は、平成元農薬年度に31種増えた。農薬の登録は、毎年数百件ずつ新たなものが増えている。農薬メーカーが違ったり、成分の配合が変わる毎に新たな農薬登録を必要としている。

農薬は、同じ成分であっても、その目的によっていろいろな製剤にされる。製剤の分類（小林(1987)）を表2-1-2に示す。余分な水分を嫌う用途には、粉剤をそのまま散布する。DL粉剤には、粒径をすこし大きくして、飛散を減らすなど工夫してある。粒剤は、じわじわと比較的長期間薬功を維持するように作られている。水和剤・乳剤などは、本来水に溶けない成分が水と混合するように工夫されていて、ポンプを使って散布できるようにしてある。また、空中散布でできるだけ飛散汚染を起こさないように、製剤を決めることがある。ビニールハウスや倉庫などの密閉空間や、土壌などには、散布の手間が少なくくん蒸剤が用いられる。

表 2 - 1 - 1 農薬の用途別分類と生産量

(農薬要覧(1990))

種別	国内生産量[t]	生産額[億円]	登録件数[件]	主な農薬成分
殺虫剤	190,493	1,460	2,709	M E P, 臭化メチル, クロルピクリン
殺菌剤	101,429	978	1,236	チオファネートメチル, I B P, P C N B
殺虫殺菌剤	64,829	283	1099	殺虫剤と殺菌剤の混合剤
除草剤	149,683	1,289	795	ベンチオカーブ, C N P, セトキシジム
殺鼠剤	851	7	85	リン化亜鉛, グイファジン
植物成長調整剤	2,940	84	102	
その他	24,491	48	248	
総計	534,716	4,150	6,274	

表 2 - 1 - 2 農薬製剤の分類

(小林(1987))

製剤	摘要
固形剤	粉剤
	粉剤
	DL粉剤
	フロダスト
粉粒剤	微粒剤
	微粒剤F
	粗粉剤
粒剤	粒剤
	細粒剤
水和剤	水和剤
	水溶剤
	平均粒径 10ミクロン。
	平均粒径 20ミクロン。おもに、地上防除用。
	平均粒径 5ミクロン。
	粒径 100 - 300ミクロン。
	粒径 60 - 200ミクロン。おもに、空中散布用。
	粒径 40 - 100ミクロン。
	粒径 0.3 - 1.7mm。
	粒径 0.15 - 1.0mm。
	水に解けない成分に増量剤・界面活性剤を加えてある。
	水に解けやすい有効成分。
液剤	水溶液剤
	乳剤
	油剤
	フロアブル剤
	微量散布剤
	水に希釈する。
	有効成分を有機溶媒に溶かし、乳化剤を加えてある。
	有効成分を微粉碎した懸濁液
	空中散布専用。薄めずに高濃度で散布する。
その他	エアゾール
	塗布剤
	ガス剤
	くん蒸剤
	熱などでガス化して、くん蒸する。

表2-1-3 主な農薬の単位面積当りの標準使用量

用途	農薬名	作物例	製剤	10a当りの標準使用量	10a当りの農薬成分散布量
土壌処理	P C N B	キャベツ	20%粉剤	20-25kg	4000-5000g
	クロルピクリン	コニャク	80%乳剤	20-30リットル	16000-24000g
殺虫剤	M E P	米	50%乳剤	1000倍希釈150リットル	75g
	D D V P	リンゴ	50%乳剤	1000-1500倍希釈 350-750リットル	120-380g
殺菌剤	T P N	キュウリ	75%水和剤	600-800倍希釈 100-300リットル	94-380g
	E D D P	米	1.5%粉剤	3-4kg	45-60g
除草剤	ベンチオカーブ	米	7%粒剤	3kg	210g
	C N P	米	9%粒剤	3-4kg	270-360g
空中散布	M E P	米	50%乳剤	30倍希釈3-4リットル	50-67g
	フサライド	米	20%水和剤	120-150ml	24-30g

(各県の病虫害防除指導指針等から作成)

単位面積に散布される農薬の量は、その目的によって大きく異なっている。この例を表2-1-3に示す。ここに示された農薬の標準使用量と使用時期、散布回数は、各県毎に農作物病虫害防除・雑草防除指導指針などが毎年作成されて、農協などを通じて指導されている。このため、病虫害が出るかもしれなという恐れが少しでもあれば農薬を撒くように指導されるような予防的な発想になり(宇根(1986))、経済的に必要最小限の使用量と比べて過剰な散布が行われている(中村(1987))。

この表2-1-3で分かるのは、土壌処理剤であるP C N B、クロルピクリンの単位面積当りの使用量が著しく多いことで、本研究でも環境実態調査を行うことにする。また、空中散布の特徴は、通常の使用濃度よりも濃い農薬を使うことである。これは、ヘリコプターなどに積み込む量が限られていることからであるが、人間や動植物に直接降り掛かったときの影響を大きくし、撒きむらの原因にもなっている。



## 2.2 測定方法

### 2.2.1 サンプルングと前処理

大気中のガス状農薬成分を濃縮捕集する方法は技術の進歩に従って変遷してきた。1965年には、農薬の大気汚染は農薬雨として観測された (Abbotら(1966))。雨水の中に数十から数百pptの有機塩素系殺虫剤が検出され、大気の農薬汚染が証明された。しかし、この方法では大気中の濃度を直接に知ることができないうえ、雨水の得られる機会と量が限られているために、計画的な調査を行うには不適當であった。

つぎに用いられたのは、吸引管による液体捕集法であった。この採取装置の例を図2-2-1に示す。最もよく使われている吸引液はエチレングリコールで、十から数十mlのエチレングリコールに吸引ポンプで6時間から3日間かけて大気を吸引した (Willisら(1969), Wyllieら(1975), VanDyk(1975))。試料を捕集したエチレングリコールから、ジクロロメタンやn-ヘキサンなどの揮発性溶媒で農薬成分を抽出し、これをさらに濃縮してガスクロマトグラフで分析した。この方法では、必要な捕集量を得るために長時間のサンプリングが必要であった。一方、捕集液に直接n-ヘキサンを使う方法も試みられた (島袋ら(1986))。この方法は、捕集溶媒が揮発してしまわないように氷水で冷却しながらサンプリングを行う必要があるが、抽出操作が不要になるメリットがあった。

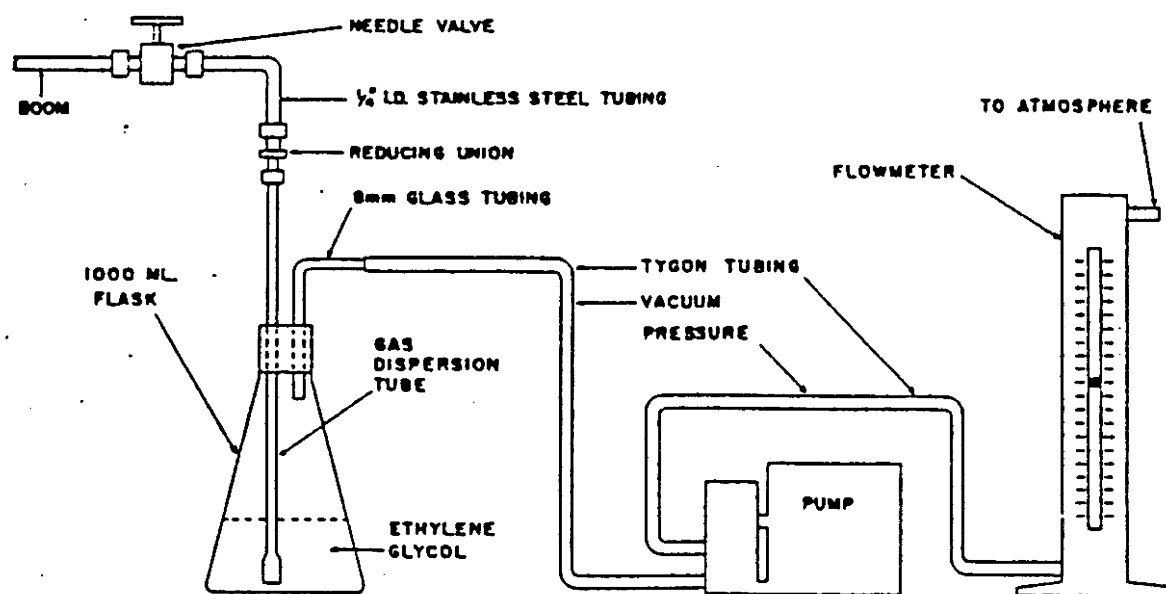


図2-2-1 吸引管による液体捕集法の例 (Willisら(1975))

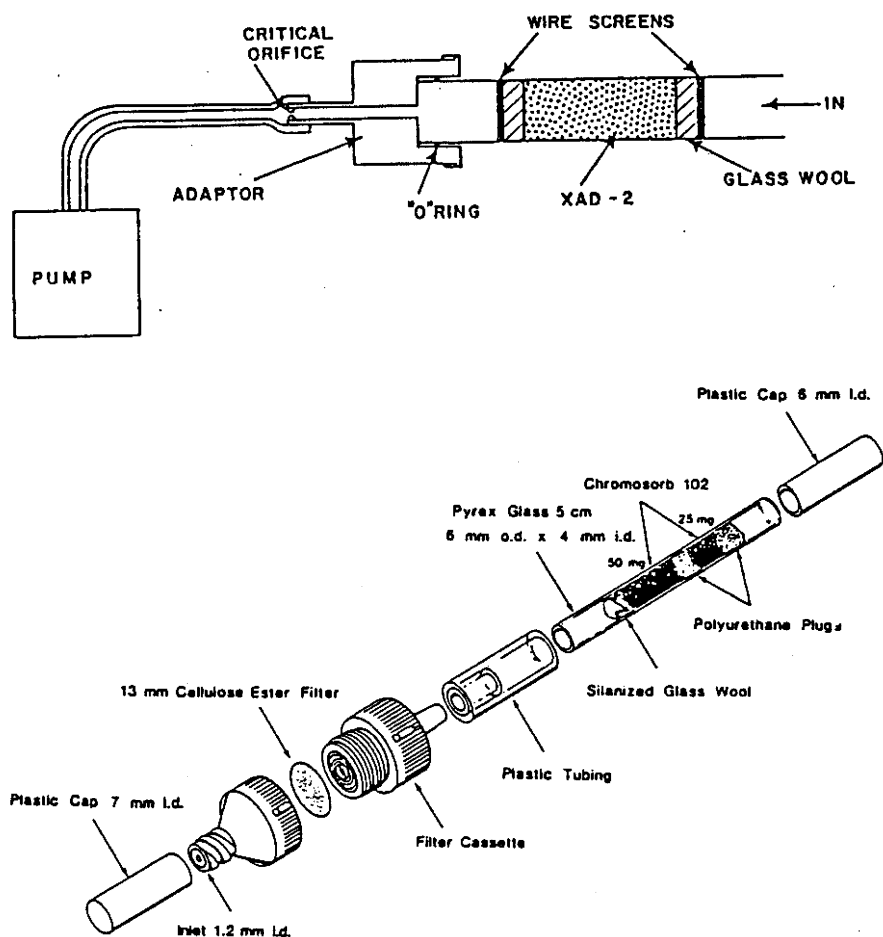


図 2-2-2 捕集カラムの例 (Farwellら(1977), Hillら(1979))

大気中の農薬成分を固体に吸着させる方法が、現在最も一般的な方法である。ポリウレタンフォーム (Billingsら(1980), Wachsら(1983)) は、ポンプで通気するときの吸引抵抗が小さく多量の空気を濃縮することができるのでよく使われるものの一つである。南極などで地球規模のバックグラウンドの測定をする場合に、毎分数百ℓの吸引速度で多量の空気から農薬成分を採取した (Tanabeら(1983))。また、各種のガスクロマトグラフ充填剤が固体吸着剤として使われている。これらをガラス製や金属製のカラムに詰め、ガス状農薬を含んだ空気をポンプで吸引して、農薬成分を吸着捕集している。これには活性炭 (Liebowitzら(1983)) や T E N A X - G C (Billingsら(1980))、フロリジル (保田(1980))、シリカゲル (QueHeeら(1975), Groverら(1978))、P o r a p a k - R (Jacksonら(1981))、X A D - 2 (Johnsonら(1977), Farwellら(1977))、X A D - 4 (Woodrowら(1977), Seiberら(1983))、C h r o m o s o r b 1 0 2 (Thomasら(1974), Hillら(1979))、X E - 3 4 0 (Yeboahら(1984)) などが使われている。捕集管の例を図 2-2-2 に示す。

これらの固体吸着剤は、カラムへの充填前に洗浄して汚れを取り除かなくてはならない。有機溶剤での数時間のソックスレー抽出を基本にさまざまな洗浄処理が行われている。

固体吸着剤を大気中に晒す拡散型サンプラー（實成ら(1987)）は、ポンプのような動力を使わなくてよいので多数地点での同時測定が可能になる有効な方法である。このサンプラーの例を、図2-2-3に示す。サンプリング地点で両面のカバーを外してサンプラー本体を空気に曝すと、大気中のガス状物質は多孔性拡散部を通り抜けて内部の活性炭に吸着される。この方法では採取した農薬量から大気中の濃度に換算する点が問題になるが、ガス状分子と多孔性拡散部の構造から拡散係数が決まるため、活性炭への吸着量 $M[\mu\text{g}]$ と気中ガス濃度 $C[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ 、暴露時間 $T[\text{day}]$ には、

$$M = SR \times C \times T \quad (2-2-1)$$

のような比例関係が認められている。ここで $SR$ は、サンプリング速度 $[\text{m}^3/\text{day}]$ であり、成分に固有な定数である。

これらの吸引捕集法や拡散捕集法によって農薬を捕集した吸着剤は、溶媒で抽出しクリンナップや濃縮をしてからガスクロマトグラフに注入分析する。

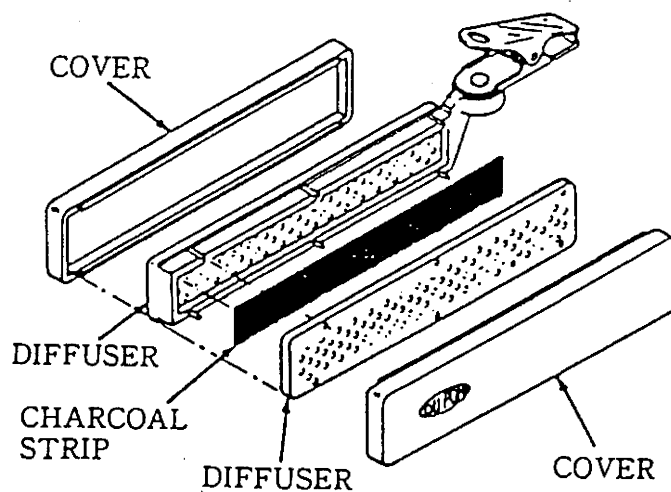


図2-2-3 拡散サンプラーの例（實成ら(1987)）

## 2. 2. 2 分析方法

分析対象の農薬は、もともとガス状で大気中に存在する成分なので、加熱により分解してしまう成分を除いて、ほとんどの農薬はガスクロマトグラフで分析できる。このときカラムの種類や長さ、恒温槽の温度などの分析条件は、残留農薬分析と同じ条件が良い。検出器は、対象となる農薬の性質に合わせて選ばなければならない。現在でも多量に使用されているPCNB、TPN及びクロルピクリンのような有機塩素系農薬や、使用禁止になったクロルデンやDDT等を高感度に検出するには、電子捕捉型検出器（ECD）が使われている。また、MEPやダイアジノンのような有機燐系農薬の場合は、燐元素だけに選択的に反応する炎光光度検出器（FPD）が適している。BPMCやNACなどのようなカーバメート系農薬やアトラジンやCATのようなトリアジン系農薬は、有機窒素化合物や有機燐化合物を選択的に検出するアルカリ熱イオン化検出器（FTD, NP-FID）を用いるとよい。ほとんどの農薬はこの3種の検出器で対応できるが、ピレスロイド系農薬などのように質量分析器（MASS-SIM）が必要なものもある。質量分析器では、異なった種類の複数の農薬でも同時に検出することができる。

## 2.3 環境調査事例

### 2.3.1 作業環境

空中の農薬濃度が最も高いのは、もちろん散布作業中である。このときは、ガス状成分よりも多量のミスト状成分が漂うため、サンプリングの方法は上述のものとは異なりアンダーセンサンプラーやテフロン製フィルター等が用いられている。労働環境の安全という点からも多くの研究がされている。

ガス状農薬の問題としては、ビニールハウス内は密閉されるので、空気の汚染は非常に大きくなる。キュウリやトマトなどの園芸作物の場合、毎週のように殺菌剤や殺虫剤の散布が行われている。松島(1970)は、農業従事者のハウス病との関連からアルドリンの気中濃度の測定を試みて、気中濃度が数～数百 $\text{mg}/\text{m}^3$ という高い濃度であるという結果を得た。

Wyllieら(1975)は、木材処理剤PCPの製造工場で最高 $15\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ のPCPを検出し、従業員の血液や尿からも高濃度のPCPを検出した。

### 2.3.2 屋外環境

屋外環境中では、様々な種類の農薬ガスが測定されている。Willisら(1969)は、殺虫剤エンドリンを散布した砂糖黍畑の空気を採取測定した。その濃度は、散布3日後に最高値 $0.54\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、77日後でも $0.030\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ の値であった。Woodrowら(1977)は、果樹園に散布された殺虫剤パラチオンとその変成物パラオキソンについて、それぞれ散布直後に $3.6 + 0.3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、翌日に $0.44 + 0.15\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、21日後でも $0.005 + 0.002\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ の残留を報告した。Whiteら(1977)によると、大豆畑にまいた除草剤トリフルラリンが散布直後 $16.5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ であったものが、翌日には $3.4\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ になり、35日後には不検出となった。このとき総散布量の25.9%が揮発した。Hoffら(1982)はカナダのMould湾でクロルデンを $\text{pg}/\text{m}^3$ で検出した。Tanabeら(1983)は南極でPCB、DDT、BHCを数十 $\text{pg}/\text{m}^3$ の濃度で検出して、難分解性農薬による地球規模の汚染を確認した。

日本では、保田(1980)が数種類の有機燐系農薬の測定を行い、農薬一斉散布のときに殺虫剤IBPの大気中濃度が $37.3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ に達したが約100時間で $0.061\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ に減少したと報告した。島袋ら(1986)は、輸入植物防疫のくん蒸施設周辺で殺虫剤EDBを

測定し最高で 7 ppb の値を得た。

### 2. 3. 3 屋内環境

農薬の使用は、農地に留まらず、家庭や職場でも多量に使用されている。

白蟻防除のために住宅に散布されたクロルデンは各地で深刻な汚染を引き起こしている。Livingstonら(1981)がクロルデンを散布した住宅を調べたところ、調査の16年前に散布した部屋でも平均 1.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最高 4.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ が検出され、長期間にわたってほとんど減衰しないことが示された。鈴木ら(1990)は東京及び神奈川地区で44室の屋内空気中のクロルデン濃度を測定し、散布後1年未満で平均5.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、散布後8~9年で平均0.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ のクロルデンを検出した。

殺虫剤ダイアジノンの汚染もいくつか報告されている。Jacksonら(1981)は、農薬を染み込ませた防虫紙を室内の各所に置いて空気中の農薬濃度を測定したところ、30日後になっても1.21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ のダイアジノンを検出した。Leidyら(1984)の測定では、室内に散布したダイアジノンの気中濃度は、散布当日で123.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、翌日238.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、35日後でも19.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。また、Wachsら(1983)は花屋の空気からダイアジノンを3.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出した。

このように屋内で使われた農薬は、野外でのように希釈されることが少ないので、しばしばビニールハウスと同様の高濃度汚染を引き起こしている。とくに、農薬取締り法の適用を受けず野放しになっている分野なので、人体に対する急性あるいは慢性の影響が懸念され、室内での農薬汚染について本格的な調査が必要であった。

## 2. 3. 4 大気汚染のまとめ

以上の調査報告での測定成分と測定方法をまとめて表2-3-1に示す。

表2-3-1 環境大気汚染調査事例の測定方法と最高値

著者	年	農薬名	捕集方法	検出器	測定最大値 [μg/㎡]
Willisら	1969	エンドリン	吸収管 (エチレングリコール)	ECD	0.54
松島ら	1970	アルドリノ	吸収管 (ベンゾール)		216300
Wyllieら	1975	PCP	吸収管 (エチレングリコール)	ECD	15
Woogrowら	1977	パラチオン	XAD-4 (アセトン抽出)	NP-FID	3.9
Whiteら	1977	トリフルラリン	吸収管 (エチレングリコール)	ECD	16.5
保田	1980	IBP	フロリジル (メタノール抽出)	FPD	37.3
Livingstonら	1981	クロルデン	Chromosorb-102	ECD	263.5
Jacksonら	1981	グイアジノン	Porapak-R	FPD	1.34
Tanabeら	1983	PCB, DDT, HCB	ポリウレタンフォーム (アセトン・メタノール抽出)	ECD, MS	0.00024
Wachsら	1983	グイアジノン	ポリウレタンフォーム (n-ヘキサン抽出)	NP-FID	3.4
Leidyら	1984	グイアジノン	ポリウレタンフォーム (エチルアセテート抽出)	FPD	238.0
島袋ら	1986	EDB	吸収管 (n-ヘキサン)	ECD	7(ppb)
鈴木ら	1990	クロルデン	TENAX-GC (直接導入)	MS-SIM	29

## 2. 3. 5 水質汚染

日本に於ける農薬による水質汚染の調査例をまとめて表2-3-2に示す。大気汚染の調査例に較べると、かなり充実していることが分かる。これらの環境汚染物質は、気液平衡によって大気中にも存在することになる。

表2-3-2 日本の河川などで検出された農薬

農薬名	検出濃度[ppb]	文献
<b>【殺虫剤】</b>		
エチルチオメトン	0.8	御厨(1983)
ダイアジノン	1 ~ 60	河野(1980), 堀(1982), 御厨(1983), 石井(1984), 丸(1985), 富永(1985)
プロパホス	3.9	塚本(1983)
BHC	1.0	鈴木(1982), 堀(1982), 渡辺(1983), 中南(1985)
BPMC	5 ~ 25	石井(1984), 丸(1985)
DDVP	0.4	丸(1985)
MEP	0.1 ~ 30	御厨(1983), 石井(1984), 丸(1985), 山谷(1985), 富永(1985)
MPP	3	石井(1984), 丸(1985), 富永(1985)
MTMC	1.5	御厨(1983)
PAP	0.2	丸(1985)
XMC	1 ~ 80	河野(1980), 御厨(1983)
<b>【殺菌剤】</b>		
EDDP	0.2 ~ 1.2	丸(1985), 富永(1985)
IBP	10 ~ 200	堀(1982), 御厨(1983), 石井(1984), 丸(1985), 富永(1985)
<b>【除草剤】</b>		
オキサジアゾン	1 ~ 7	石井(1984), 丸(1985)
クロメトキシニル	0.3 ~ 4	石井(1984), 丸(1985)
シメトリン	1.0	御厨(1983), 石井(1984), 丸(1985)
ダイムロン	5	丸(1985)
ブタクロール	5 ~ 15	丸(1985), 能勢(1986)
ピペロホス	1.0	丸(1985)
ピラゾレート	1.0	丸(1985)
ベンチオカーブ	5 ~ 20	鈴木(1982), 御厨(1983), 石井(1984), 飯田(1984), 丸(1985)
モリネート	20 ~ 50	堀(1982), 渡辺(1983), 石井(1984), 丸(1985), 御厨(1983), 渡辺(1983), 石井(1984), 丸(1985), 中南(1985), 石田(1985), 小野(1986)
CNP	1 ~ 50	
<b>【殺虫殺菌除草剤】</b>		
PCP	3000	堀(1982)



## 2.4 毒性

### 2.4.1 毒性の範囲

農薬の毒性安全性の問題は次の4つの面に大別できる。(1)食品中へ残留する農薬の、一般消費者の健康に対する影響。(2)農薬を使用する時の、主に使用者の健康に対する影響。(3)人の生活環境への影響。(4)自然環境(生態系)への影響。この(1)(2)を調べるために毒性検査が行われている。毒性試験の結果については、農薬企業の財産であるとしてほとんど公開されていない。近年になって、日本農薬学会誌に「毒性試験の概要」と称して簡単な結果のみが公表されるようになってきている。このほかに、先に上げた(3)(4)についての評価を行わなくてはならないのだが、実験室内では研究できない内容なので、毒性試験の(1)(2)に比べるとほとんど未確立である。

### 2.4.2 危険度評価法

水田に使用される農薬の「危険度評価」法が提案されている(西内ら(1981)、西内(1985))。これは、農薬製剤のTLm値を測定して $x$ ppmとし、その薬剤の標準使用量を水深5cmの水田に散布しすべて溶けたとするときの水中濃度を $y$ ppmとする。このとき危険度 $z$ は、 $y/x$ で求められる。危険度 $z$ が、 $z > 5.0$ の非常に危険な農薬製剤はなかった。しかし、危険度 $z > 0.5$ の危険な農薬製剤は、 $z = 2.8$ のサターンデービー(DCPA 17%+ベンチオカーブ 7%、粒剤の除草剤)を筆頭に82種あった。しかし、実際の水田からの流出率は、農薬の溶解度と高い相関があり(石井(1984)、丸(1985))、散布した農薬の全てが水中に溶け出すのではない点が、この危険度評価に残された課題である。

カリフォルニア州のState Water Resources Control Board (SWRCB)では、農薬の研究を進めるのにあたって、表2-4-1の項目でH(特に危険)、M(危険)、L(普通)に分類し、得点の高いものを研究する農薬として選択した(Cohen(1986))。

表 2 - 4 - 1 SWRCB Criteria for Selection of Priority Chemicals

- 
1. 地表水の汚染の可能性
  2. 地下水の汚染の可能性
  3. カリフォルニア州での検出例
  4. カリフォルニア州での使用量
  5. 魚や野生生物の被害
  6. 世論の関心
  7. 他の期間や国での研究
  8. 世界的な検出
  9. 生態濃縮性
  10. 残留性
  11. 発ガン性、変異源性、催奇性
  12. 水生動物への毒性（急性・慢性）
  13. 人間への毒性（急性・慢性）
- 

その結果、次の6種の農薬が選択された。

Toxaphene（日本では使用されていない。殺虫剤）  
 1,2-Dichloropropane(1,3-Dichloropropene)（日本名：D-D。土壌くん蒸剤）  
 EDB（殺虫・くん蒸・殺菌剤、Ethylene dibromide）  
 Endosulfan（日本名：ベンゾエピン。殺虫剤）  
 Arsenic acid（日本では使用されていない。ヒ素剤）  
 Rice Herbicide（稲用除草剤）

このような観点からの研究対象の選択によって、着実に汚染問題が大きいものから順に対策をたてる。

### 2. 4. 3 生物濃縮

河川や湖などに入った農薬は、魚介・底質に濃縮されていく。化審法による通達（通産省(1974)）では、ヒメダカの成魚の48時間TLm値を求めて、その1/100～1/10000の濃度の水槽の中に体重20～40g程度体長約10cmの健康な鯉を8週間飼育し、1～2週間毎に供試魚を2～3尾採取して粉碎し体内の濃度を分析する。水槽は、1尾あたり、3～10ℓの大きさとし、温度調節（25±2℃）とエアレーション（溶存酸素濃度7ppm）をした希釈水に供試物質を混ぜて常に流して置く。n週間目の濃縮倍率CFnは、

$$CF_n = (F_n - F_b) / W$$

$F_n$  = n週間目の魚体中の濃度  
 $F_b$  = 空試験の魚体中の濃度  
 $W$  = 水槽中の濃度

で求められる。しかし、これは生物実験で費用も掛かるし時間も掛かるため、より経済的な濃縮性のスクリーニング法が提案されている。

生物濃縮倍率 (BCF) の対数が、n-オクタール：水の分配係数 (Pow) の対数、水への溶解度 (S) の対数とそれぞれ、直線関係にある (田上(1982)、星川ら(1983))。ただし、脂肪と水の分配係数と生物濃縮係数は相関が悪い (金沢(1983))。このことを利用して、簡単に求められる物性値から生物濃縮倍率を求めるが試みられている。例えば、

$$\begin{aligned} \log(\text{BCF}) &= 0.82 \log(\text{Pow}) - 0.75 && (n=93, r=0.94) \\ \log(\text{Pow}) &= -0.64 \log(S) + 4.57 && (n=53, r=0.94) \\ \log(\text{BCF}) &= -0.59 \log(S) + 3.06 && (n=50, r=0.92) \end{aligned}$$

と報告されている (星川(1983))。この関係が崩れる要因としては、物質のイオン性 (PowがpHや塩濃度に依存してしまう。)、代謝分解性、分子量 (約600を越えると濃縮性がなくなる。) などが考えられる。

一般的な農薬のBCFは、およそ千倍から1万倍程度である。これは魚全体で平均した値であるので、内臓や脂身では、もっと高濃度になっている。

#### 2.4.4 アレルギー反応

これまで毒性の評価と許容量の算出方法は、様々な動物実験の結果から最大無作用量を推定し、これに安全率を掛けて許容量としてきた。しかし、実験動物の頭痛やむかつきを十分に検出することなく定められた許容量であるから、実際に使ってみると農薬の空中散布の周辺での健康への影響が事例報告 (彦坂ら(1990)) されている。さらに最近になって、 $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{mg/kg}$  体重の農薬の摂取が免疫アレルギー系統に作用し花粉症などのアレルギー疾患を増悪することが確認された (難波ら(1990))。その農薬摂取量よりも多くても少なくとも、アレルギー増悪作用が少なくなることも併せて発見されている。この濃度レベルは、従来の最大無作用量レベルと比べてけた違いに小さく、動物実験も行われぬ濃度レベルであった。農薬の大気汚染の濃度レベルは、まさにこのアレルギー増悪作用を起こす濃度であり、農薬許容量の再評価は差し迫った新しい重要課題であると考えられる。

#### 2.4.5 その他

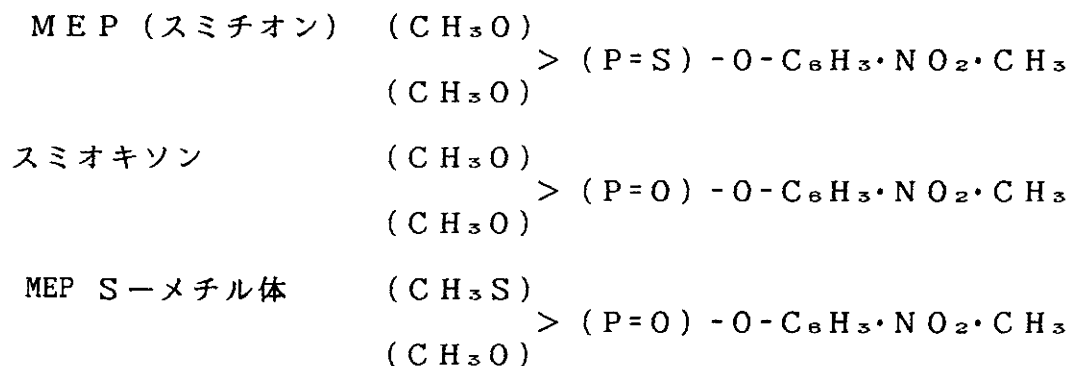
農薬中毒の症状と処置についてまとめた「農薬中毒」 (山下(1984)) が出版されている。各農薬の構造式や物性値については、「農薬データブック」 (富澤ら(1989)) が詳しく、毒性と環境汚染を整理した「農薬毒性の事典」 (植村ら(1988)) も網羅的ですぐれた資料である。1981年～1987年までの文献を整理した「農薬の毒性と健康影響」 (環境庁(1989)) もある。

## 2.5 分解性

環境中での農薬は、太陽光線や土壌、微生物等によって分解されていく。その反応径路には、いくつかの共通反応（上杉ら(1973)）があって、新しい農薬が出たときにその分解の様子をある程度まで推察することができる。

### 2.5.1 有機リン剤

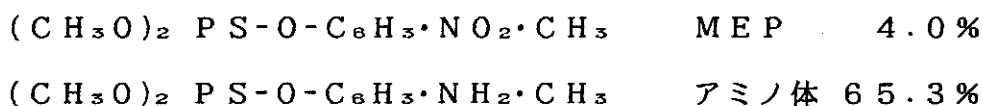
ある種の有機リン殺虫剤は、分子中に（P=S）結合を持っている。（例えば、MEP、ダイアジノン、PAP、パラチオン。）これが、太陽光線や生物代謝で酸化されて（P=O）結合になると、更に毒性が強くなる。また、リンと炭化水素を結合している酸素が、太陽光線で硫黄に置き変わることもある。



分子構造中にチオエーテル結合（-S-）を持つものが多いが、これも太陽光線などで酸化されて、スルホキシド（-SO-）、スルホン（-SO<sub>2</sub>-）になる。有機リン農薬に、紫外線を当てると、溶媒の種類によって、加水分解をおこすことがある。

土壌中では、有機リン農薬は一般に速く消失する。酵母などの作用によって、ニトロ基（-NO<sub>2</sub>）が還元されアミノ基（-NH<sub>2</sub>）になることがよく知られている。

有機リンの骨格（:PS-O-R）の酸素の所で切断する分解もよく起こる。MEPの場合では、ある種のかん菌(bacillus subtilis)の培養地にMEPを添加したところ、2日後に、



(CH <sub>3</sub> O) (HO)	> P S - O - C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> · N O <sub>2</sub> · C H <sub>3</sub>	1 2 . 3 %
(CH <sub>3</sub> O) <sub>2</sub>	P S - O H	4 . 9 %
(CH <sub>3</sub> O) (HO)	> P S - O - C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> · N H <sub>2</sub>	7 . 3 %

のように変化していた。このとき有機リン系農薬の基本部分である phosphorothioate (: P S - O -) は全く変化していない。有機リン系農薬の分解と土壤中バイオマスの間には正の相関が認められ (木村ら(1985))、分解に生物が深く関わっていることの証明になっている。

有機リン系の殺虫剤の多くはチオノ型エステル (: (P=S) O R) で、R 部分はニトロフェニルのように電子吸引性置換基を持っている。殺菌剤の場合は、チオール型エステル (: (P=O) S R) で、R は置換基を持たないベンジルかフェニル基である。殺菌剤の分解も殺虫剤とあまりかわらない。

### 2. 5. 2 カーバメート剤 (カルバミン酸 H<sub>2</sub>NCOOH の誘導体)

N-メチルカーバメート系の殺虫剤の aminocarb, mexacarbate は、紫外線照射によって数日の内に側鎖の窒素に付いたメチル基が酸化されて、アルデヒドになったり、水素と置き変わったりする。



しかし、カーバメート殺虫剤の基本部分 (-O-CO-N:) は全く変化しなかった。有機リン農薬と同様に、光反応や土壤中で、チオエーテル結合はスルホキシドやスルホンに酸化される。

ジメチルジオカルバミン酸系殺菌剤 (TMTD)



は、SH 基を持つ化合物と反応して 2 つに割れて DDC



になり、含硫アミノ酸に変化していく。

### 2. 5. 3 有機塩素剤

DDT やドリノ剤などは、残留性有機塩素化合物の典型であり、化学的に極めて安定で

ある。しかし、紫外線の作用によって、DDTはDDDやDDEなどに変化していく。

生物が自ら作り出す有機塩素化合物はほとんど無いといってよい。ごく少数の生物が

クロラムフェニコール (抗生物質)



2,4-ジクロロフェニール



などを作ることが知られている(原田(1973))だけである。したがって殆どの生物は、有機塩素化合物を代謝する機能を持っていない。有機塩素化合物は、ゆっくりと、湿潤土壌といくつかの種の微生物によって、嫌氣的な脱塩素化と生成したベンゼン環の開裂などを経て分解される。

有機塩素系の農薬にもニトロ基のついていることがよくある。このニトロ基が土壌中などの嫌氣的条件の中で還元してアミノ基になる。PCNBの場合、還元してアミノ基になったペンタクロロアニリン(PCA)に変化する速度は、土壌が灌水して温度が高いほど、速くなる(川田ら(1985))。水田の除草剤のCNPも、かなりアミノ体になって環境中に残留する(小野ら(1986))。

#### 2.5.4 反応のまとめ

農薬成分は、環境中でありとあらゆる化学変化を受けている。光分解・酸アミドの加水分解・エステル加水分解・酸化・脱n-アルキル・還元・包合反応(グルコース包合・アミノ酸包合・ペプチド包合・高分子化合物包合)などである。

しかし、農薬が真二つに割れて無くなってしまふような分解は、むしろ希である。ほとんどが、末端の置換や部分の酸化に過ぎず、ゆっくりと各種変化を受けながら減少していくことが分かる。しかも、散布した農薬そのものは早く他の物質に変化したとしても、その反応代謝物についての残留性や毒性の知験が十分でないものが多いのである。

## 2.6 農薬の効果

農薬の散布に際して、農薬が不要か必要かの判断基準に関する研究は、あまりされていない。害虫が発生していないのに、防除暦に従って農薬を散布したり、隣が撒くからうちも撒いたりすることで無駄な農薬を散布していることがあるということ、減農薬稲作の研究がされてきている（宇根(1986)）。また、各地で無農薬による有機農業に成功していると言う事実について、もっと認識する必要がある。

害虫の数  $Y$ 、または病気の株数  $Y$  の増減に関してもっともシンプルなモデル (Maolden (1987)) は、

$$dY/dt = rY(K-Y)/K \quad (2-6-1)$$

$Y$  : 害虫の数  
 $t$  : 時間  
 $r$  : 増加の係数  
 $K$  : 環境要因でできる最大生息数

というものである。これを積分して、解を求めると

$$Y = K / [1 + \exp(-[\ln\{Y_0/(K-Y_0)\} + rt])] \quad (2-6-2)$$

$Y_0$  : 初期の害虫数

となる。この式によれば、農薬で初期の害虫量  $Y_0$  を減らしたとしても、増加の係数  $r$  が大きければ、農薬の効果はなくなってしまふ。したがって、 $K$  または  $r$  を減らす努力が害虫の被害を防ぐことになり、 $Y_0$  を減らすだけの農薬にはあまり意味を見いだせないことになる。さらに、農薬が天敵益虫をも殺すことによる害虫の増加や、農薬の刺激で害虫が増殖を始めるリサージェンス効果など、農薬を使うことのデメリットも知られるようになってきた。

最も効果のない農薬散布は、空中散布によるのものである（中村(1987)）。散布計画が半年前に決められるため、害虫が発生してもしなくても空中散布が行われる。害虫の駆除の場合、いつ農薬を撒くかが効果に大きく影響する。害虫の卵に農薬を撒いても無意味であり、卵を産み終わった成虫に農薬を撒くのも無意味である。また、薬剤の散布むらが大きく、害虫が残る部分が多くなる。その害虫は、天敵のいない広大な畑や水田で猛威を奮うことになる。

また、最近では農村での働き手が不足し、農家の兼業化が進むに連れて、農薬を撒く作業をすることができなくなり、省力化と称して空中散布を行うところが出てきた。地上散布で農家の人が散布時に浴びる農薬はとても多いので、空中散布の方が安全だという議論ま

でされている。しかし、空中散布は効果がないのであるから、空中散布に置き換え可能な地上散布も効果がなくてもよいと結論付けられる。したがって、暦通りの地上散布も不必要ということになる。

このような撒かなくてもよい農薬が撒かれている、ということについての研究は少ない。農薬の指導をしている改良普及員も、撒かなくてよいといって被害が出たときの責任が持てないから、つい「撒いた方がよいかもしれない」と指導してしまうという。



## 2.7 規制事例

### 2.7.1 労働環境の許容濃度

まず労働作業環境の場合、アメリカではACGIH(1984)が、日本では日本産業衛生学会(1989)が許容濃度を定めている。この中から農薬成分を集めて表2-7-1に示す。例えば、殺虫剤MEPの許容濃度 $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ というのは、実際の散布現場でMEP50%乳剤を1500倍に薄めて使用するので、農薬のミストが $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 漂っている状況の事であり、散布作業員が農薬でびしょ濡れになることを容認することに相当している。PCP工場の例(Wyllieら(1975))でも、空気中の最高濃度は $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で労働環境の許容濃度 $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を十分に満足しているが、作業員の血清中のPCPは最高4ppmにも達しているので、この許容濃度で労働者の安全を保証できているとはいえない。一般環境で測定される濃度は、労働環境の許容濃度の千分の1程度であるが、健康アンケート(彦坂(1990))などでは頭痛、喉の痛み、咳、むかつきなどを訴える人が多くでている。この許容濃度には適用に対する制限があって、許容濃度の数値をそのまま大気汚染または一般の室内汚染の許容限界として用いてはならないと明記してある。

### 2.7.2 一日当りの許容量

食品からの摂取については、国連機関のFAO/WHO(1986)や日本の厚生省が一日当りの摂取許容量(ADI [mg/kg体重/日])を定めている。この値を体重50kg、1日の呼吸量 $15 \text{m}^3$ で換算することにより、大気中濃度にひとつの目安を得ることができる。ただし、一般に経口毒性よりも吸入毒性の方が強くなるので、ADIから得られた大気中許容濃度にさらに安全率で割る必要がある。換算式は以下の通りである。

$$\text{大気汚染換算濃度}[\mu\text{g}/\text{m}^3] = \frac{1000 \times \text{ADI}[\text{mg}/\text{kg体重}/\text{日}] \times 50[\text{kg体重}]}{15[\text{m}^3/\text{日}] \times \text{吸入毒性安全率}} \quad (2-7-1)$$

本論文に登場する農薬のADIについては、付録3のリスト内に示した。そのほかの農薬のADIの値など毒性については、「農薬毒性の事典」(植村ら(1988))が詳しい。

### 2.7.3 空中散布

1991年3月28日に(社)農林水産航空協会は「航空散布地区周辺地域の生活環境

表2-7-1 ACGIH(1984)と日本産業衛生学会(1989)による  
労働環境での農薬の空气中許容濃度

化学物質	経皮 吸収	時間加重平均許容濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		短時間暴露限界 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
		ACGIH	日本産業衛生学会	ACGIH
EPN	皮	500		2000
エチオン	皮	400		-
エチルチオメトン		100		300
NAC		5000	5000	10000
epichlorhydrin	皮	10000		20000
MEP	皮		1000	
MPP	皮	200	200	-
エンドリン	皮	100		300
carbofuran		100		-
Xyligen	皮	10000		-
キャプタン		5000		15000
クマリン系		100		300
クロルデン	皮	500		2000
クロルピクリン		700		2000
クロルピリホス	皮	200		600
Systox	皮	100		300
diphenylamine		10000		20000
Dyfonate	皮	100		-
臭化メチル	皮	20000		60000
合成樟脳		12000		18000
水酸化トリシクロヘキシルスズ		5000		10000
スルプロホス		1000		-
ダイアジノン	皮	100	100	300
ダイホルタン	皮	100		-
TEPP	皮	50		200
DCMU		10000		-
DDT		1000		3000
DDVP	皮	1000		3000
DPA		6000		-
ディルドリン	皮	250		750
2,4,5-T		10000		20000
2,4-D		10000		20000
デリス根		5000		10000
パラコート		100		-
パラチオン	皮	100	100	300
BRP		3000		6000
PHC	皮	500		2000
ピクロラム		10000		20000
PCP	皮	500	500	1500
ピリダフェンチオン	皮		200	
pyrethrum		5000		10000
ファーバム		10000		20000
fenamiphos	皮	100		-
phenothiazine	皮	5000		10000
fensulfothion		100		-

(次のページへ続く)

表2-7-1 (続き)

化学物質	経皮 吸収	時間加重平均許容濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]		短時間暴露限界 [μg/m <sup>3</sup> ]	
		A C G I H	日本産業衛生学会	A C G I H	
フェノブカルブ	皮		5000		
プロマシル		10000		20000	
ベノミル		10000		15000	
ヘプタクロル	皮	500		2000	
ペブレート		5000		10000	
ベンゾエピン	皮	100		300	
BHC	皮	500		1500	
Phosdrin	皮	100		300	
phosphine		400		1000	
マラソン		10000	10000	-	
メソミル		2500		-	
メチルジメトン	皮	500		1500	
メチルパラチオン	皮	200		600	
methoxychlor		10000		-	
メトリブジン		5000		-	
ronnel		10000		-	

(終わり)

表2-7-2 航空散布による生活環境の大気中農薬の指針値  
(農林水産航空協会(1991))

農薬名	化学式	指針値* [μg/m <sup>3</sup> ]	許容濃度** [μg/m <sup>3</sup> ]
フェニトロチオン	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> PS	20	1000
マラチオン	C <sub>10</sub> H <sub>19</sub> O <sub>6</sub> PS <sub>2</sub>	20	10000
フェンチオン	C <sub>10</sub> H <sub>15</sub> O <sub>3</sub> PS <sub>2</sub>	2	200
ダイアジノン	C <sub>12</sub> H <sub>21</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> PS	2	100
ピリダフェンチオン	C <sub>14</sub> H <sub>17</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> PS	4	200
カルバリル	C <sub>12</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub>	40	5000
フェノカルブ	C <sub>12</sub> H <sub>17</sub> NO <sub>2</sub>	100	5000
ブプロフェジン	C <sub>16</sub> H <sub>23</sub> N <sub>3</sub> O <sub>5</sub> S	36	2000
フサライド	C <sub>8</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	200	10000
トリシクラゾール	C <sub>9</sub> H <sub>7</sub> N <sub>3</sub> S	60	3000
フルトラニル	C <sub>17</sub> H <sub>16</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> F <sub>3</sub>	200	10000
メブロニル	C <sub>17</sub> H <sub>19</sub> NO <sub>2</sub>	100	5000

注\* : 指針値は現在の検知精度から30分間の捕集時間における生活環境大気中の農薬濃度を示す。ただし、フルトラニルは60分である。

注\*\* : 許容濃度は、日本産業衛生学会の勧告した職場における作業環境空気中の濃度である。

における大気中の農薬の安全性についての評価に関する指針」を公表している。これは、筆者らの研究によって農薬の大気汚染が社会問題化した後に発表になったもので、従来の研究とはいえないが、他の規準との比較ということで表2-7-2に記す。これは空中散布の実施団体が自らの散布を正当化するために、周辺住民の健康被害の訴えをあえて無視して作成された指針であることを指摘しておく。

## 2.8 被害実態

農薬中毒の実際については、まず、松島ら(1970)が農業従事者のハウス病その関連から、ハウス内の農薬の気中濃度の測定を試みた。その後、日本農村医学会を中心に沢山の調査が行われた(日本農村医学会誌特集号(1976,1976,1979,1984))。農薬中毒死の原因としては、自殺が最も多く、誤飲、散布作業が続く。散布中の不注意による中毒死では、パラコート剤の散布液が背中にたれて皮膚傷害をおこし、そこからパラコートが人体に染み込んで死亡した例(彦坂ら(1984))や、安全と云われているMEP剤(殺虫剤)を散布して死亡した例なども報告されている。そのほかの農薬の事故例については、「農薬毒性の事典」(植村ら(1988))が詳しい。

皮膚傷害では、柑橘類の作業者の男性71.4%、女性68.5%が農薬の皮膚傷害を経験している。しかも、7月などの気温の高いときには、農薬散布作業時の傷害が多くなるばかりか、摘果・除草作業時のように直接農薬を扱わないときにも高率で、ジチアノン・マンゼブ・マンネブなどの薬剤による皮膚傷害が発生している(塩飽ら(1984))。

農夫肺と呼ばれる呼吸器傷害も問題になっている。清浄な環境の中の作業と一般に思われてきた農業が、稲刈り・脱穀・籾擦り・堆肥作り等の粉じんや農薬散布の為に呼吸器傷害を職業病にしている(野田ら(1976))。

1979年6月、前橋市の新前橋駅付近で、頭痛、めまい、はき気、のどと目の痛み、顔の発しん等、体の変調を訴える患者が続出した。診察した青山医師は、付近の種苗会社が敷地内の農薬倉庫の解体作業を始めてから患者が発生した事、症状が農薬中毒に一致する事から、「これらの被害は、この種苗会社を発生源とする農薬による大気汚染が原因である」と判断した。患者はさらに長野県佐久総合病院で診察を受け、薬物による急性症状と診断された。しかし当時は、環境大気は測定されず、因果関係は明確にされなかった。

最近になって、農薬の空中散布をした地域の住民アンケートの結果がたくさん公表されるようになったきた。新潟の消費者団体が行ったアンケートでは、周辺住民が散布後に頭痛やむかつき、眼のかゆみを感じている。これを表2-8-1に示す。太田市でも、1988年にMEPを金山の松林に空中散布したときの聞き取り調査で、山の麓の住民の15名が健康の異常を訴えた。また、福島市信夫山の松林のMEP空中散布でも、散布後20人が風をひいたり喉を痛めたりした。また、全国5地域での健康被害アンケートをまとめた資料

表2-8-1 水田空散における被害例

(1987年7月食生活改善普及会調べ)

項目	散布時自宅にいた人			散布時屋外にいた人			計
	女	男	126人 子供	女	男	119人 子供	
	91人	23人	12人	73人	21人	25人	245人
頭痛	13	3	1	13	2	4	36
めまい	1	1	1	3	1	3	10
むかつき	10	0	1	8	2	3	24
吐き気	2	2	0	7	2	1	14
どろき	1	0	0	2	0	0	3
胸が苦しい	2	0	0	1	1	2	6
手足しびれ	1	0	0	1	1	0	3
汗が出る	2	0	0	4	0	0	6
食欲がない	5	0	1	7	1	1	15
下痢をする	0	0	1	6	0	4	11
咳が出る	5	0	2	6	3	4	20
喉が痛い	12	2	1	4	2	3	24
皮膚かぶれ	0	0	1	5	0	4	10
匂いが気に	53	12	0	31	6	2	104
目がかすむ	2	0	0	2	1	0	5
目の痛み	7	0	0	3	0	2	12
目のかゆみ	8	2	0	7	0	3	20
鼻への刺激	15	4	3	6	1	2	31
気分が悪い	11	2	1	5	3	5	27
その他	11	4	4	20	6	16	61

表2-8-2 1989年度の水田空中散布の健康被害など

(反農薬東京グループ調べ(1990)より作成。)

調査人数 体の異常	石川県 松任市等	新潟県 巻町等	山形県 白鷹町	仙台市 第1回	仙台市 第3回
		730人	593人	116人	1615人
	53	122	3	140	116
はきけ	9	29		10	
腹痛下痢	7	28		14	
頭痛など	14	32		45	
めまい	4	7		1	
ふらつく	2	3		1	
だるい	12	47		15	
目の異常	17	31		53	
鼻水	10	30		30	
せきたん	5	25		25	
喘息	2	4		3	
その他	4	30		26	
当日だけ	34	43		53	30
3日以内	12	35		58	54
それ以上	7	34		22	26
不明		10		7	6

(どじょう通信(1990))は、周辺住民の健康被害が全国各地で普遍的に存在することを示す貴重な報告であるので、その一部を表2-8-2に引用する。どの調査も素人が行ったものではあるが、被害の訴えとして重要な内容を含んでいて、無視することはできないと考える。専門家の行った調査として、彦坂ら(1990)が仙台で殺菌剤フサライドの空中散布直後からの健康被害を調べ、空散地域の風下と風上で有為な差があったとしている。また、全国保険医団体連合会(1991)が保険開業医にたいして行ったアンケート調査では、農薬中毒の被害の実態が浮き彫りになっている。このような調査によって、医者診察基準の一つに農薬との関わりについての項目が付け加えられるようになれば、軽微な農薬中毒とただの風邪の診断による区別がつけられるようになるだろう。

## 2.9 数理モデル

### 2.9.1 移動について

農場に散布された農薬は、分解反応しながら土壌に蓄積されたり、水に流されて水系汚染を起こしたり、揮発して大気汚染を引き起こしながら、地球全体に拡散していく。土壌から地下水へ、土壌から地表水へ、土壌から大気への移行についてもいろいろな研究が進められている。

Zhongら(1986)は、土壌中の農薬の移動について、地下水の流れの方向を  $z$  として、

$$\frac{\partial \rho s}{\partial t} + \frac{\partial \theta c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ \theta D(\theta, v) \frac{\partial c}{\partial z} - v \theta c \right] \pm \Phi \quad (2-9-1)$$

$c$ : 地下水に溶けている農薬の濃度。	$\mu\text{g} / \text{cm}^3$
$s$ : 土壌に吸着している農薬の濃度。	$\mu\text{g} / \text{g}$
$\rho$ : 土の密度	$\text{g} / \text{cm}^3$
$\theta$ : 含水率	$\text{cm}^3 / \text{cm}^3$
$D$ : $D(\theta, v)$ 分散係数	$\text{cm}^2 / \text{h}$
$v$ : 地下水の流速 (pore)	$\text{g} / \text{h}$
$z$ : 距離	$\text{cm}$
$t$ : 時間	$\text{h}$
$\Phi$ : 化学変化による増減。	$\mu\text{g} / \text{ml h}$

という微分方程式を実験系に当てはめて、吸着係数

$$K_d = s / c \quad (2-9-2)$$

や、化学変化の速さなどを議論している。

Melanconら(1986)は、土壌中の拡散モデルとして、Seasonal soil compartment model (SESOIL)、Pesticide root zone model (PRZM)、Pesticide analytical model (PESTAN) を取り上げて、実験室の拡散実験との比較をしたところ、吸着係数や拡散係数を文献値で計算した場合にはまったく合わず、その土壌での吸着係数などを測定して計算をやりなおしたところ多少改善したと報告している。ニューヨークを初めとする5地点のそれぞれ2種の土壌 (Sandy-Loam, Silty-Clay-Loam) について、モンテカルロシミュレーションによる農薬の流出率の計算がされて、平均と最大の流出量がしめされた。

農薬などが高濃度地下水汚染を引き起こすときには、地形の影響を無視することができない。これを評価するために DRASTIC が開発されている (Alter(1986))。DRASTIC は、7項目について1~10の評価を与えて、重要さによる重み付けをしたのち



加え合わせた値で評価を行っている。値が大きいほど汚染が起こる可能性が高いとされる。地下水面の深さ (Depth to water table) ・灌水量 (net Recharge) ・帯水層の材質 (Aquifer media) ・土の材質 (Soil media) ・土地の勾配 (Topography) ・バドーズ層の影響 (Impact of the vadose zone) ・帯水層での水の流動性 (hydraulic Conductivity of the aquifer) の7項目の綴りから D R A S T I C と名付けられた。

丸(1985)は、千葉県内の河川で水田に散布された除草剤の流出率を求めた。流出率は溶解度と高い相関を持っている。流出量の一番小さなものはCNP (初期除草剤) で0.109%、一番大きかったものはモリネート (中期除草剤) で5.96%であった。

Lloyd(1971)は、土壌から大気への揮発については、1971年にDDTについてアルミ皿上で0.002  $\mu\text{g}/\text{cm}^2\text{h}$  (7℃以下) と測定した。しかし、この測定温度は日本の状況よりも低すぎる。揮発は、気温の影響を著しく受けるので、熱帯地方や夏期の農薬散布には大気汚染がおこる。実際の土からの揮発速度の測定も行われているが、条件がばらばらで比較しにくい。川田ら(1985)のPCNBの揮発実験では、30℃で90日までに土壌に混入したPCNBの8.52% (畑条件) 4.53% (灌水) が空気中に出た。

水面からの大気への揮発は、山本ら(1984)がダイアジノン (殺虫剤) を水槽にいれ、そこからの揮発を測定したところ投入量の15%が揮発したが、ベンチオカーブ (除草剤) はほとんど揮発しなかった。また、この量を予測するプログラムにEXAMSがあり、この値と実験値・実測値の比較をした例 (Seiber(1986)) が報告され、かなり多量に揮発していることが確かめられた。

水と空気の境界面での農薬の拡散移動速度は、二重境膜理論で計算するのが一般的である。

## 2.9.2 農薬の運命予測のための数学モデル

環境に放出された化学物質の運命を予測するための数理モデルは多数報告されている。Mackayら(1982)のfugacityモデルは大気圏、水圏、生物圏などへの化学物質の分配を考える上で最も基礎になるモデルである。Seiberら(1986)のEXAMSはリスクアセスメントの分野で多くの実績がある。Cohenら(1985)によるSMCMモデルやYoshidaら(1987)のSAFECASモデルは、どちらもパーソナルコンピュータを使った専用のプログラムを操作して計算するもので、環境に放出された化学物質の長期間の運命予測と残留に関するリスクアセスメントのために開発されたモデルである。Kishidaら(1990)は、レベル4の

fugacityモデルを応用して、松林に散布された農薬の大気汚染を予測するモデルを発表している。川本ら(1990)が提案したモデルについては、本論文の8.2節で詳しく検討した。



## 第3章 農薬の揮発速度の測定

### 3.1 目的

農薬の気相への揮発速度は、大気汚染濃度を見積るための重要な因子である。しかし、これまで蒸気圧を指標とし、半定量的に評価されてきたにすぎない。蒸気圧は密閉された空間内で、固相あるいは液相と平衡状態にある気相の圧力を意味する。しかし環境の場合は、気相へ移行後ただちに希釈されるので、非平衡状態となる。

この章では、まず代表的な有機塩素系農薬6種について揮発速度を測定し、その温度依存性について考察する。実験は農薬分子がガラスシャーレの表面にまばらに存在する低面密度（単分子皮膜以下）と多数の農薬分子が積み上がった高面密度（多分子層皮膜）状態のそれぞれの場合について測定した。それぞれの面密度での状態を図3-1-1に示す。さらに、後のシミュレーションに必要な3種の農薬について、高面密度での揮発速度を測定した。

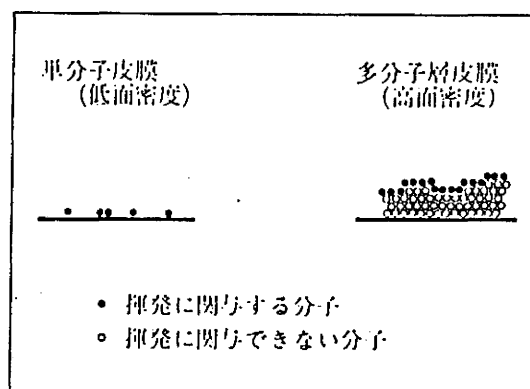


図3-1-1 皮膜の状態

### 3.2 実験方法

試料とした農薬は、PCNB、ヘプタクロル、ヘプタクロルエポキシド、NIP、CNP、DDTの6成分の有機塩素系農薬である。吸着分子が単層となる低面密度の実験の原液としては、各5~10μgを含有したアセトン10ml溶液を、多層すなわち高面密度の実験には、10~20mgをそれぞれ別々に10mlヘキサンに溶解して原液とした。

実験には、ガラス製シャーレ(直径8.5cm)を用いて、シャーレに残存する量から揮発

速度を求めることにした。恒温水槽の水上にビニールシートを敷き恒温装置とした。この上に、シャーレを置いて温度を一定に保つようにした。

原液 1 ml をシャーレに入れた後、ただちに、これより 2 ml をガスクロマトグラフ (HP 5840A) に導入し、初期面密度を測定する。検出器とカラムは、低濃度試料には ECD と Crosslinked Methyl Silicone キャピラリーカラム 0.2 mm φ × 12.5 m (スプリットレス導入) を、高濃度試料には FID と SE30 2% Chromosorb WAW 2 mm φ × 0.8 m 充てんカラムを使用した。分析用試料を採取後、原液をシャーレ全面に均一に広げて、シャーレを一定温度に保つ。適当な時間経過後、シャーレを恒温装置から取り出し、これにアセトン 1 ml を加えて、シャーレに残存する試料を溶出させ、この溶液を分析して残存量を測定する。何回も同一過程を繰り返して各成分の残存量の時間変化を調べた。実験結果から、共蒸留の影響はなかった。

恒温槽の温度は、低面密度の実験には、20、25、30、35、40、45、50、60℃で、高面密度は、35、50℃で実験した。

### 3.3 実験結果

#### 3.3.1 低面密度の経時変化

シャーレに残存する量を片対数グラフの軸に、経過時間を X 軸にプロットして整理した。PCNB の 20℃ での実験例を 図 3-3-1 に示す。他成分につ

いても PCNB と同じく、残存量の対数と経過時間の間には、直線の関係式 (R)

0.97) が得られた。すなわち、 $q$  を残存面密度 [ $\text{g}/\text{m}^2$ ] とすると、

$$-\frac{dq}{dt} = a q \quad (3-3-1)$$

で表すことができる。ここで、 $a$  は低面密度の揮発速度定数 [ $1/\text{h}$ ] である。これから半減期  $\tau$  が求められる。各成分各温度での測定結果を 表 3-3-1 に示す。

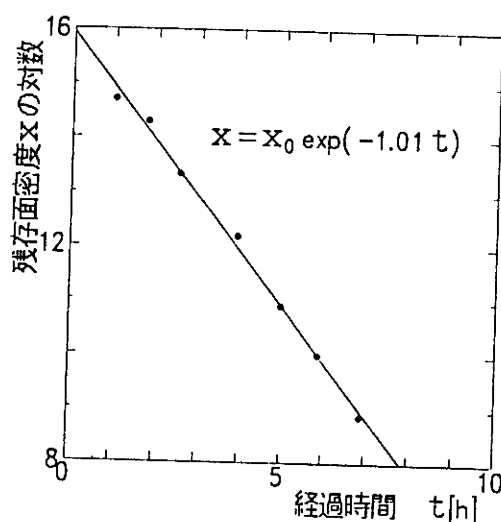


図 3-3-1 低面密度残存量の減少  
PCNB (20℃)

表3-3-1 低面密度のときの揮発速度測定結果

温度[°C]	PCNB	ヘアタクロル	ヘアタクロル エボキッド	NIP	CNP	DDT
【揮発速度定数 単位：1/h】						
20	1.01	0.94	-	-	-	-
25	-	-	1.13	0.12	0.07	0.10
30	1.97	1.73	1.17	0.24	0.14	0.23
35	2.0	2.0	1.63	0.33	0.20	0.24
40	-	-	1.89	0.58	0.45	0.52
45	3.4	4.1	-	1.00	0.84	0.94
50	3.3	-	2.8	1.26	0.80	0.92
60	4.1	-	3.8	2.2	1.28	1.42
【揮発半減期 単位：h】						
20	0.64	0.69	-	>48	>48	>48
25	-	-	0.67	5.1	1.0	6.9
30	0.3	0.3	0.5	2.6	4.9	3.0
35	0.3	0.3	0.4	2.1	3.4	2.8
40	-	-	0.4	1.2	1.5	1.3
45	0.2	0.2	-	0.68	0.83	0.74
50	0.2	<0.1	0.2	0.6	0.9	0.8
60	0.2	<0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
【吸着熱 単位：J/mol】						
	27000	41000	31000	71000	83000	71000

注：-印は測定していない。

表3-3-2 高面密度のときの揮発速度測定結果

単位：mg/m<sup>2</sup>/h

温度[°C]	PCNB	ヘアタクロル	ヘアタクロル エボキッド	NIP	CNP	DDT
35	21	300	13	1.4	1.6	1.4
50	100	500	88	8.4	8.1	8.6

### 3. 3. 2 高面密度の経時変化

高面密度の場合は、残存量と経過時間の間には直線の関係が得られた。PCNBの場合を図3-3-2に示す。bを高面密度の揮発速度 $[g/m^2/h]$ とすると、時間に無関係な定数となり、

$$-\frac{dq}{dt} = b \quad (3-3-2)$$

と表される。表3-3-2にその値を示す。

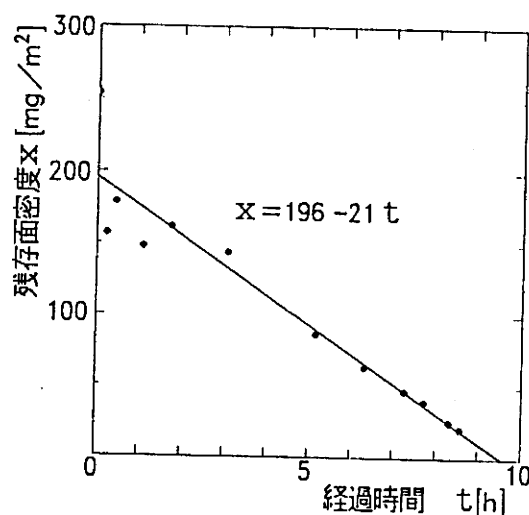


図3-3-2 高面密度残存量の減少  
PCNB (35°C)

## 3. 4 揮発速度と温度の関係

### 3. 4. 1 高面密度の場合

この場合は、固体表面に露出している農薬分子が揮発しても、すぐその下の分子が露出するために、表面にある分子数は揮発が進行しても変化しない。従って、揮発速度は時間について定数となった。さらに、農薬分子の下にあるのは農薬分子であるので、基材（葉、土壌、ガラスなど）の違いには影響を受けない。

まず、農薬の固体表面で揮発した農薬成分のガス拡散過程が重要な因子になる場合について考える。このとき揮発速度 $F [g/m^2/s]$ は、固体表面の飽和蒸気圧 $P [Pa]$ に相当する濃度 $C [g/m^3]$ から、拡散過程によって境膜空気層（厚さ $d [m]$ ）を通過して、ほぼ濃度ゼロとみなせる外気への拡散速度になる。つまり、

$$F = (C/d) D \quad (3-4-1)$$

ここで、

$C = PM/RT$	: 温度 $T$ での飽和ガス濃度 $[g/m^3]$ (3-4-2)
$M$	: 分子量 $[g/mol]$
$R = 8.3144$	: 気体定数 $[J/mol K]$
$T$	: 絶対温度 $[K]$
$D = \nu \lambda / 3$	: 拡散係数 $[m^2/s]$ (3-4-3)
$\nu = \sqrt{(3RT/M)}$	: 農薬分子の熱速度 $[m/s]$ (3-4-4)
$\lambda = 1/n\sigma$	: 平均自由行程 $[m]$ (3-4-5)
$n = 101300/kT$	: 単位体積中の空気分子数 $[1/m^3]$ (3-4-6)
$\sigma$	: 衝突断面積 $[m^2]$

である。さらに、クラウジウス・クラペイロンの式の積分から、飽和蒸気圧は

$$P \propto \exp(-H_v / RT) \quad (3-4-7)$$

$H_v$  : 1モル当りの蒸発熱[J/mol]

であるので、揮発（拡散）速度と温度の関係は、

$$F \propto \sqrt{T} \exp(-H_v / RT) \quad (3-4-8)$$

になる。この式において、蒸発熱を数万[J/mol]程度としたとき常温300[K]付近での±10[K]程度の温度変化について見積る場合には、 $\sqrt{T}$  はほとんど変化しないので、 $\exp(-H_v / RT)$  の影響が大きい。したがって、

$$F \propto \exp(-H_v / RT) \quad (3-4-9)$$

と見なすことができる。

つぎに、農薬の固体表面からの農薬ガス分子の移動が拡散のみに依らない場合を考える。風速が乱流や渦を引き起こすほど大きくなった場合をには、固体の表面に出た農薬ガス分子は、前者の拡散過程によるよりもずっと速く、取り除かれる。実際、前者に付いて、気温3.0℃、分子量277.2(MEP)、農薬分子の半径10Åとして拡散係数を(3-4-3)式により求めると、 $D = 1.2 \times 10^{-8} [\text{m}^2/\text{s}]$ という値を得た。境膜の厚さdを1mmとすると、 $D/d = 1.2 \times 10^{-5} [\text{m/s}]$ となる。これを後者の風速（通常数[m/s]）と比較すれば、後者の優位は明らかである。後者の場合は、風によって引き起こされる固体表面の渦流による法線方向への空気の流れの速さをu[m/s]とすると、固体表面の飽和濃度Cの農薬が速さuで運び去られることになるので、揮発速度F[g/m<sup>2</sup>/s]は、

$$F = C u \quad (3-4-10)$$

$$= P M u / RT \quad (3-4-11)$$

となり、温度との関係は前者と同様に

$$F \propto \exp(-H_v / RT) \quad (3-4-12)$$

と見なすことができる。

しかし、uが大きくなると(3-4-10)式に示されるようにはならない。なぜなら、固体からの農薬分子の供給が追いつかなくなるからである。この供給について考察する。固体内の農薬分子はボルツマン分布fに従うエネルギーεを持っている。

$$f(\epsilon) = \frac{\exp(-\epsilon / kT)}{kT} \quad (3-4-13)$$

この分子が固体表面に有り、かつ1分子当りの蒸発熱q[J]よりも大きなエネルギーを持



つときに揮発すると考える。分子振動の平均振動数を  $\nu$  [Hz] とし、固体表面に出ている分子数を  $n_s$  [ $1/\text{m}^2$ ] とすると、単位時間に単位面積から揮発する分子数は、

$$-\frac{dn}{dt} = n_s \nu \int_q^{\infty} f(\varepsilon) d\varepsilon \quad (3-4-14)$$

$$= n_s \nu \exp(-q/kT) \quad (3-4-15)$$

と表される。この分子論による計算結果にアボガドロ数 ( $N_A$ ) を用いて変換を行うと、巨視的な揮発速度が次のように求まる。

$$F = \frac{n_s \nu M}{N_A} \exp(-H_v/RT) \quad (3-4-16)$$

したがって、どんなに強い風を送っても (3-4-16) よりも多くの農薬を揮発させることが出来ないことがわかる。また、これは (3-4-7) においてクラウジウス・クラペイロンの式から求めた蒸気圧と温度の関係式の統計力学による意味付けを与えている。

以上、揮発速度の温度依存性について考察した。本論文では、実験式として

$$F = \exp(V - H_v/RT) \quad (3-4-17)$$

のように整理することにした。ここで、 $\exp(V)$  は比例係数である。

### 3.4.2 低面密度の場合

表面の全面に農薬分子が露出している高面密度に比べ、低面密度では農薬の存在量に比例して揮発速度  $F$  [ $\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ ] が次のように決まることになる。

$$F = (X/X_s) F_s$$

$X$  : 農薬の残留面密度 [ $\text{g}/\text{m}^2$ ]

$X_s$  : 単層飽和面密度 [ $\text{g}/\text{m}^2$ ]

$F_s$  : 単層飽和の状態での揮発速度 [ $\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ ]

$F_s$  は、前項の高面密度状態での揮発速度と同様に考えられるが、農薬分子は基材に接しているため、 $F_s$  は葉の上とガラス表面上の場合では異なることが予想される。今回の測定は、ガラス表面上での値である。

通常の農薬散布では、有効成分数十%の薬剤を1000倍から1500倍に希釈して使用するため、単位面積当たりの散布量は数  $\text{ml}/\text{m}^2$  となり、この低面密度状態と考えられる。したがって、農薬の揮発量は時間とともに減少していくと考えられる。しかし、農薬空中

散布の希釈倍率（原液もしくは30倍程度）では、水分が蒸発したあとの農薬成分の面密度は高面密度に相当するものになる。

### 3.4.3 散布面積と総揮発速度の関係

環境中に散布された農薬は、原液で保存されている時とは異なり、空気に接する表面積が著しく増加している。同一量 $Q$ [g]の農薬散布であっても、単位時間に揮発する量（総揮発速度）はその表面積 $S$ [ $m^2$ ]によって変わる。

面密度（ $Q/S$ ）が単層飽和面密度よりも大きい場合は、農薬は多分子層に積み上がっている状態であり、農薬の揮発があってもその表面積は変化しない。したがって、総揮発量は表面積に比例し、時間的には変化しない。また、表面にある分子を引き留めているのが下層の農薬分子との分子間力であるので、農薬が付着している基質がガラスであろうが植物の葉であろうが、総揮発速度には影響しない。農業用途での普通の農薬散布条件では、付着面密度はこちらの条件になる。

面密度が単層飽和面密度よりも小さい場合には、農薬分子はひとつひとつ基質に結びついているので、基質がガラスの場合と植物表面の場合とでは揮発速度が異なる。また、揮発によって分子が失われていくので、揮発速度は半減期をもって減少していく。更に散布面積を広げた場合でも、全ての分子が空気に接している状況は変わらないので、総揮発速度には影響しないことも判る。

## 3.5 数理モデルNIFE-AAPのための追加測定

後の8.3節で必要となる、殺菌剤フサライドなどの揮発速度の測定を行った。方法は、3.2節と同様である。フサライドとMEPについては、薬剤混合物の影響も同時に含ませるために純粋の試薬ではなく商品としての農薬について実験を行った。測定するのは高面密度についての揮発速度である。結果を表3-5-1に示す。PCNBについては、98%の標準試薬を用いて、改めてもう一度測定をおこなった。50℃付近では設定温度5℃の誤差で揮発速度が2倍も変化してしまうこともあって、前回の測定値とは2倍の誤差が出ている。

表 3-5-1 揮発速度測定実験 (2)

室温 [°C]	フサライド [mg/m <sup>2</sup> /h]	MEP [mg/m <sup>2</sup> /h]	PCNB [mg/m <sup>2</sup> /h]
35	7.5	28.4	36.0
40	9.7	28.7	74.5
45	13.6	60.1	110.8
50	10.9	63.5	203.5
55	15.4	66.8	- (*)
60	20.2	108.9	-
V	13.67	21.04	39.77
Hv[J/mol]	29747	45470	92600

\*: '-' は大きすぎて測定できない。

この揮発速度の対数と温度の逆数の関係調べると、揮発速度  $F$  は、それぞれ

$$\text{フサライド: } F = \exp(13.67 - 29747/RT) \text{ [mg/m}^2\text{/h]}$$

$$\text{MEP: } F = \exp(21.04 - 45470/RT) \text{ [mg/m}^2\text{/h]}$$

$$\text{PCNB: } F = \exp(39.77 - 92600/RT) \text{ [mg/m}^2\text{/h]}$$

であった。ここで、 $R$  は気体定数 = 8.314 [J/mol/K] であり、 $T$  は絶対温度 [K] である。

8. 3節の数理モデルにおいて、フサライドの13.67は揮発係数(volaty)に関係した項である。29747は蒸発熱(Hv)に対応する項で、単位は[J/mol]である。

なお、揮発実験の後半で、面濃度が薄くなってくると、急激に揮発速度が減少する現象が特にフサライドで認められた。これは、分子の層が薄くなりガラス表面や薬剤混合物などとの相互作用が大きくなったためと考えられる。この面濃度を単層面濃度 (MSD) とする。フサライドでは、MSD=40e-3 [g/m<sup>2</sup>]であった。

### 3.6 境界層理論による揮発速度の予測

3.4.1節では、気温との関係を考察するだけであったので、境界層の厚さ  $d$  について十分な考察をしていなかった。この節では、境界層理論を導入することにより、農薬の揮発速度の予測を試みる。なお、この節では揮発速度の計算を第7章に記載したNIFEによって行うこととし、数式の記述もNIFEの書式に従うこととする。

稲の葉のような細長い平板に、農薬が塗布されて乾固している場合を考える。葉の伸長方向の長さは、横断方向の長さ比べて十分に長いので、横断方向の風による農薬の揮発を考えればよい。境界層理論によれば、葉の表面を速度  $U$  [m/s] の風が層流として流れるとき、図3-6-1に示すような速度境界層と濃度境界層ができる。農薬の揮発量はごくわずかなので、揮発に伴う熱移動は無視して温度境界層は

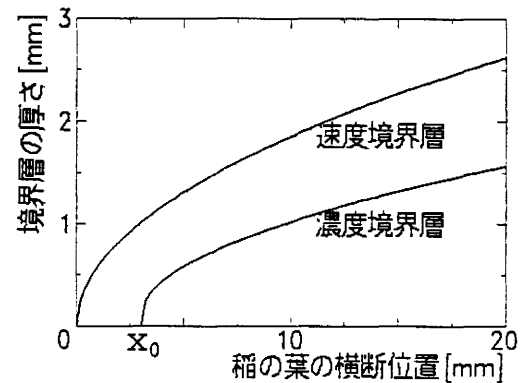


図3-6-1 境界層の様子

考えない。このとき、レイノルズ数  $Re = UL/\nu$  は  $1250 \ll 3.2e5$  であるので、流れは層流であるとした。それぞれの厚さは、

$$\delta = 4.64 \times Re^{-1/2} \quad \text{'速度境界層の厚さ [m]} \quad (3.6.1)$$

$$\delta_c = \delta \left( \frac{13(1 - (x_0/x)^{3/4})}{14Sc} \right)^{1/3} \quad \text{'濃度境界層の厚さ [m]} \quad (3.6.2)$$

である (小林ら, 1989)。ここで、

$$Re = Ux/\nu \quad \text{'平板のレイノルズ数 [-]} \quad (3.6.3)$$

$$x_0 = 0.0 \quad \text{'濃度境界層の始まり位置 [m]} \quad (3.6.4)$$

$$Sc = \nu/D \quad \text{'シュミット数 [-]} \quad (3.6.5)$$

$$U = 1 \quad \text{'無限遠での風速 [m/s]} \quad (3.6.6)$$

$$\nu = \mu/\rho \quad \text{'動粘度 [m}^2\text{/s]} \quad (3.6.7)$$

$$\mu = 18.6e-6 \text{ [1atm, 30}^\circ\text{C]} \quad \text{'空気の粘度 [Pa}\cdot\text{s]} \quad (3.6.8)$$

$$\rho = 1.165 \text{ [1atm, 30}^\circ\text{C]} \quad \text{'空気の密度 [kg/m}^3\text{]} \quad (3.6.9)$$

である。

シュミット数の計算に必要な拡散係数  $D$  [m<sup>2</sup>/s] は、次の式で見積もられる。(Hashimoto, 1989) これによると、農薬 (MEP, 30°C) の拡散係数は

$$D=4.59e-6 \text{ [m}^2/\text{s]}$$

である。一方、(3-4-3)式で見積もると、

$$D=1.2e-8 \text{ [m}^2/\text{s]}$$

であり、両者には400倍もの差がある。この見積もりの違いは、最終結果に大きく影響するので、揮発速度の予測見積の課題である。

$$\text{> } D= 4.3e-7 T^{(3/2)} \text{ sqrt}(1/M+1/M_{air})/P_{air}(V^{(1/3)}+V_{air}^{(1/3)})^2 \text{ ' 拡散係数 [m}^2/\text{s]} \quad (3.6.10)$$

$$\text{> } T= \text{Temp}+273.15 \quad \text{' 絶対温度 [K]} \quad (3.6.11)$$

$$\text{> } \text{Temp}= 30 \quad \text{' 気温 [}^\circ\text{C]} \quad (3.6.12)$$

$$\text{> } M= 277.24 \text{ [MEP]} \quad \text{' 分子量 [g/mol]} \quad (3.6.13)$$

$$\text{> } M_{air}= 28.96 \quad \text{' 空気の平均分子量 [g/mol]} \quad (3.6.14)$$

$$\text{> } P_{air}= 1 \quad \text{' 大気圧 [atm]} \quad (3.6.15)$$

$$\text{> } V= 272.3 \text{ [MEP]} \quad \text{' 標準沸点における液体のモル体積 [cm}^3/\text{mol]} \quad (3.6.16)$$

$$\text{> } V_{air}= 29.9 \quad \text{' 空気の標準沸点液体のモル体積 [cm}^3/\text{mol]} \quad (3.6.17)$$

これらの、速度境界層内や濃度境界層内では、葉の表面からの垂直距離  $y$  [m]によって風の風速や農薬の濃度に変化している。また、境界層の外側では風速は一定  $U$  [m/s]であり、農薬濃度はバックグラウンド濃度  $C_b$  [kg/m<sup>3</sup>]となっている。この速度変化と濃度変化は次式に当てはめて表すことができる。

$$\text{> } u(x,y)= U (3y/2\delta - (1/2)(y/\delta)^2) \quad \text{' 境界層内速度 [m/s]} \quad (3.6.18)$$

$$\text{> } C(x,y)= C_0 - (C_0 - C_b)(3y/2\delta c - (1/2)(y/\delta c)^2) \quad \text{' 境界層内濃度 [g/m}^3]} \quad (3.6.19)$$

$$\text{> } C_0= M P/R T \quad \text{' 表面での濃度=飽和蒸気濃度 [g/m}^3]} \quad (3.6.20)$$

$$\text{> } C_b= 0 \quad \text{' バックグラウンド濃度 [g/m}^3]} \quad (3.6.21)$$

$$\text{> } P= 1.37e-4 \text{ [MEP, 30}^\circ\text{C]} \quad \text{' 蒸気圧 [mmHg]} \quad (3.6.22)$$

$$\text{> } R= 6.236e-2 \quad \text{' ガス定数 [m}^3 \cdot \text{mmHg/K} \cdot \text{mol]} \quad (3.6.23)$$

$x$  の位置での物質移動係数  $h_x$  [m/s]は次のように定義される。

$$F= h_x(C_0 - C_b) = D(\partial C/\partial y)_{y=0} \quad (3.6.24)$$

したがって、

$$\text{> } h_x(x)= 3D/2\delta c \quad \text{' 平板の層流の物質移動係数 [m/s]} \quad (3.6.25)$$

$$= 0.331 D^{(2/3)} U^{(1/2)} \nu^{(-1/6)} x^{(-1/2)} (1 - (x_0/x)^{(3/4)})^{(-1/3)} \quad (3.6.26)$$

である。

通常の方法で農薬を葉の表面全面に塗布する様な場合には、

$$x_0 = 0 \quad (3.6.27)$$

になり、葉の上の端から端までの平均の物質移動係数  $h$  [m/s] は、

$$h = \frac{1}{L} \int_0^L h(x) dx \quad (3.6.28)$$

である。これを積分すると

$$\text{> } h = 0.662 D^{2/3} U^{1/2} \nu^{-1/6} L^{-1/2} \quad \text{'全面塗布の平均物質移動係数 [m/s]} \quad (3.6.29)$$

$$\text{> } L = 0.02 \quad \text{'葉の横幅 [m]} \quad (3.6.30)$$

従って、平均の農薬の揮発速度は次のように求められる。

$$\text{> } F = 3600e3 h(C_0 - C_b) \quad \text{'平均揮発速度 [mg/m}^2 \cdot \text{h]} \quad (3.6.31)$$

殺虫剤 M E P の場合について計算すると

$$D = 4.82405e-006 \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

$$h = 0.00842208 \quad [\text{m/s}]$$

$$F = 60.9165 \quad [\text{mg/m}^2 \cdot \text{h}]$$

となる。また、3.5節で測定した条件に合わせて、長さ  $L$  を 8.5 cm にした時の平均揮発速度  $F$  は、

$$F = 29.5488 \quad [\text{mg/m}^2 \cdot \text{h}]$$

になり、実験結果と値はほぼ一致している。しかし、シャーレの縁の影響で境界層の形が大きく異なるはずであり、この理論の適用に問題が残っている。

農薬の空中散布の場合には、葉の全面に農薬が塗布されることはなく、半径  $r$  の水滴に溶けた農薬が葉の上で乾固して細かい農薬斑になる。この場合には、図 3-6-2 に示すような  $X_0$  の位置にある 1 つの農薬斑について平均物質移動係数を求めたのち、葉の上の各点についてさらに平均を求めなければならない。農薬斑の平均は円形面積について行うのが正しいが、積分が複雑になりすぎるのでその円に外接する正方形で近似することにした。平均の物質移動

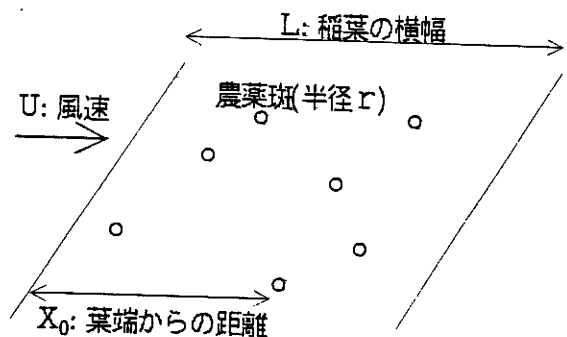


図 3-6-2 稲葉上の農薬斑

係数  $h$  [m/s] は、

$$h = \frac{1}{L - 2r} \int_0^{L - 2r} \frac{1}{2r} \int_{x_0}^{x_0 + 2r} h x \, dx \, dx_0 \quad (3.6.32)$$

となるが、この積分は解析的に行うことができない。そこで数値積分で求めた。農薬斑の半径  $r$  を  $126 \mu\text{m}$  とし、殺虫剤 MEP の場合について斑点上の物質移動係数の積分を行い平均を求めた。

$$\text{> } r = 126\text{e-}6 \quad \text{' 農薬散布斑点の半径 [m] } \quad (3.6.33)$$

$$\text{> } hr = \int h x(x_0, x_0 + 2r) / 2r \quad \text{' 斑点の平均物質移動係数 [m/s] } \quad (3.6.34)$$

$$\text{> } \int h x(x_1, x_2) = dx_0 \sum_{i=1}^n h x(x_1 + i \, dx_0) \quad \text{' } h x \text{ の積分の計算 } \quad (3.6.35)$$

$$\text{> } n = 500 \quad \text{' 積分の分割計算回数 } \quad (3.6.36)$$

$$\text{> } dx_0 = (x_2 - x_1) / n \quad \text{' 積分の増分 } \quad (3.6.37)$$

したがって、斑点での平均揮発速度は次のようになる。

$$\text{> } F = 3600\text{e}3 \, hr \, (C_0 - C_b) \quad \text{' 斑点での平均揮発速度 [mg/m}^2 \cdot \text{h] } \quad (3.6.38)$$

葉の上の各点での揮発速度を計算して 図 3-6-3

に示す。この計算結果を台形公式で積分して平均を出すと、平均揮発速度は、

$$F = 257 \, [\text{mg/m}^2 \cdot \text{h}]$$

になり、ガラスシャーレに農薬を塗布して行った揮発速度の測定実験の場合よりも多量の農薬が揮発することになることが判る。

低面密度の農薬の揮発速度については、

Hashimoto(1989)がこの境界層理論により農薬の揮発による農薬の減少率を計算し、実測値と比較してよい結果を得ている。

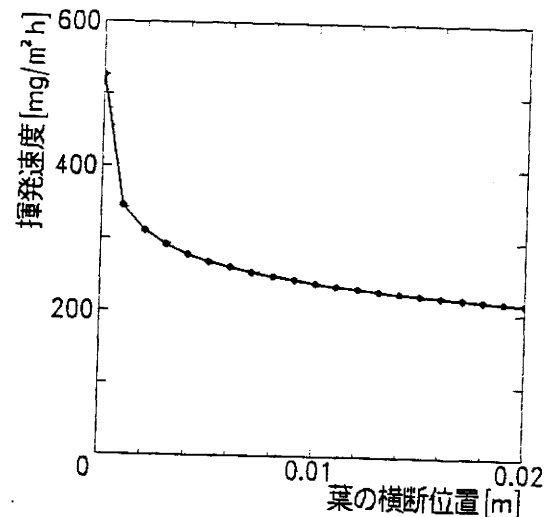


図 3-6-3 稲葉上での揮発速度 (MEP)

---

## 第4章 大気汚染の測定法の開発

---

### 4.1 手動による捕集管を使った測定法

#### 4.1.1 装置及び操作

従来のガス状農薬成分の採取方法は、2.1節に記した。筆者は加熱追い出しによる分析が可能で、高沸点化合物や農薬が良好に回収でき、バックグラウンドが低いTENAX-GC (Pellizzari(1975), 花井ら(1977), Billings(1980), Brown(1979))を採用し、有機溶媒を全く使用しないで大気中農薬成分の採取分析を行う常温吸着直接導入法を使用することにした。この方法は、排ガス中のベンゼン分析方法としてJIS-K0088に定められている常温吸着法と同じである。大気中農薬への適用は筆者が初めてである。

大気中農薬成分を濃縮する捕集管の外観を図4-1-1に示す。1 mlのガラス製注射器の外筒(内径5mm、長さ10cm)の中に、石英ウール 5mm、80/100mesh TENAX-GC 30mm(0.1g)、石英ウール 5mmを順に充填したものをを用いた。それぞれの捕集管に識別番号を刻印しておく。注射針の着く方がサンプル側で、他方を吸引側とする。サンプル側にはステンレス製のキャップ(注射針の針先を折って、穴を塞いだもの)をつけ、吸引側にはシリコンゴム栓をつけて保存する。前処理として、上記の捕集管に窒素ガスを約30 ml/min.流しながら、280℃で30分加熱して吸着成分を除去しておく。

野外での大気サンプリングは、捕集管の吸引側に真空吸引ポンプ(40w、到達圧力50 Pa)と積算流量計を接続し、約1.5 l/min.の流速で大気を吸引した。

直接導入のためにガスクロマトグラフのキャリヤー流路を図4-1-2(左)のように改造した。カラム条件と検出器は、農薬の種類によって適当なものを選ぶこととし、個々の事例毎に後述する。まず三方コックは、注入口側(通常流路)にしておく。サンプリングをして持ち帰ったTENAX捕集管の両端の栓を外して、サンプリング側には横穴式の注射針を堅く装着する。吸引側にはキャリヤーガスを送るテフロンチューブを取り付けクリップで固定する。ガスクロマトグラフの注入口セブタムを通して注射針を差し込み、加熱装置



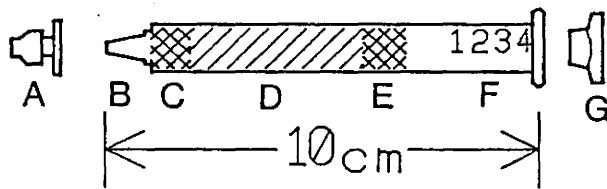


図 4-1-1 TENAX 捕集管の構造

- |               |                           |
|---------------|---------------------------|
| A : ステンレスキャップ | B : 1 ml ガラス製注射器外筒        |
| C, E : 石英ウール  | D : TENAX-GC (80/100mesh) |
| F : 識別番号      | G : シリコン栓                 |

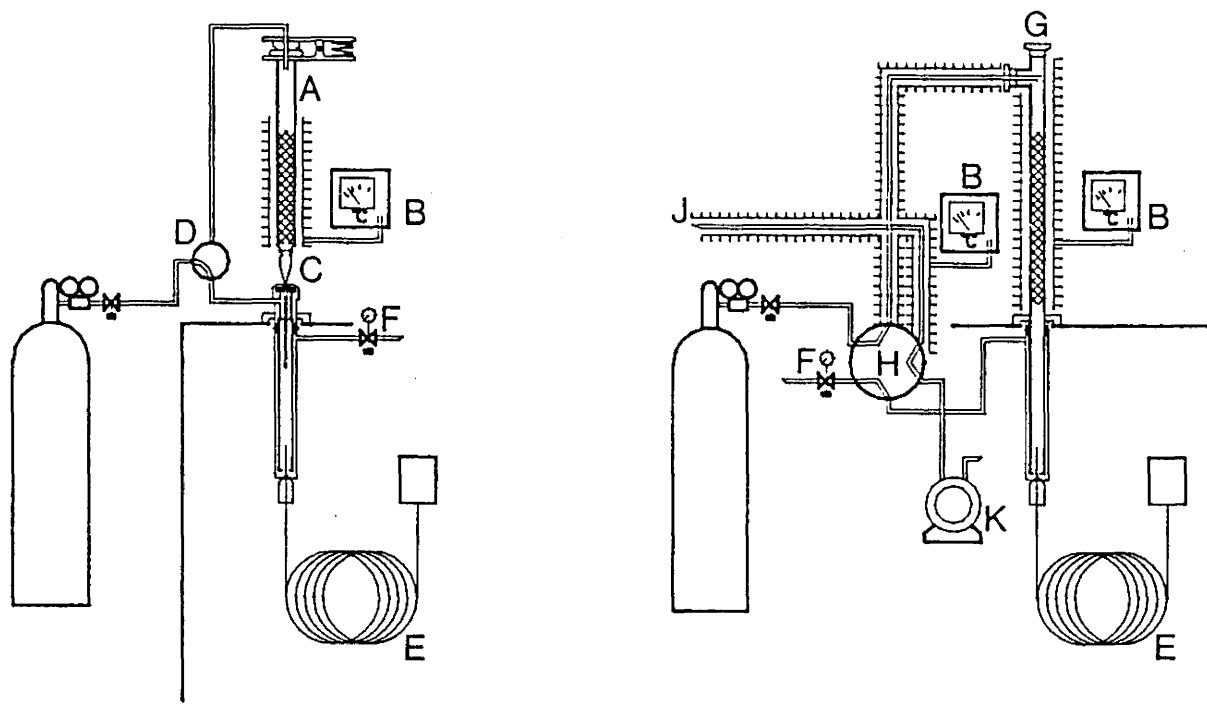


図4-1-2 加熱導入装置(左)と連続自動分析装置(右)の構造  
 A: TENAX捕集管    B: 加熱調節器    C: 注射針    D: 3方向弁  
 E: キャピラリー分析カラム    F: 背圧調整器    G: TENAX濃縮管  
 H: 6方向弁    J: テフロン管(80℃加温)    K: 吸引ポンプ

でTENAX捕集管を260℃または280℃に加熱し、熱が十分に伝わるまで約1分間待った後、三方コックを捕集管側（分析流路）に切り替え、昇温プログラムとインテグレータを起動させる。昇温プログラムでは、カラム初期温度をできるだけ低く、例えば60℃にすることによって農薬成分をカラム入口付近に再濃縮することができて、よい分離効果が得られた。カラム最終温度は、120℃～280℃である。なお、ここに示した温度は、測定農薬の揮発性によって調節する。

#### 4. 1. 2 TENAX捕集管での回収率

代表的な農薬成分であるMEPについて回収率の確認を行った。MEPは日本で最も多量に生産されている農薬である。また、これは有機リン系農薬の中でも中程度の相対保持時間を持っている（田中ら(1982)）。

標準溶液は、MEP標準試薬をアセトンに溶解して調製した。これをマイクロシリンジで取って、TENAX捕集管の吸引側から直接添加し、25℃で空気ガスを規定量吸引した後、捕集管に保持されている農薬量を測定した。使用したガスクロマトグラフは、島津GC-4CM(PF)FPD検出器（Pモード）、カラムOV101 2%, Chromosorb WHP 100/120mesh, 1m×3mmφ、カラム温度 80℃（1分間）→20℃/min.昇温→220℃で、MEPの保持時間は7.5分であった。

回収率の結果を表4-1-1に示す。通常濃度の例としてMEP4.4ng、高濃度の例としてMEP110ngを添加したとき、どちらも吸引量80ℓまででは、添加したMEPをすべて保持することが判った。農薬散布後の環境大気中の濃度調査に必要な吸引量は10～40ℓ程度で充分であり、TENAX-GCの保持容量は10℃の温度変化に対して2倍程度にしか変化しない（Brownら(1979)）ので、通常的气温ではこのTENAX捕集管で100%捕集回収される。本方法による定量限界は、捕集量で0.2ng、つまり20ℓの吸引量では0.01μg/㎥である。

表4-1-1 TENAX捕集管の回収率

MEP添加量 [ng/μ × μ]	大気吸引量 [L]	回収率 [%]	回収率の変動 [%]
2.2 × 2	20	102	± 4
	40	94	± 10
	80	106	± 2
2.2 × 2	20	100	± 8
	80	112	± 18

## 4.2 連続分析法の開発

### 4.2.1 装置および操作

4.1節の捕集導入方法を自動機械化して、連続測定装置を組み立てることにした。ガスクロマトグラフ（HP 5840A、検出器：ECDまたはNP-FID）に大気の採取、濃縮装置を接続した状態を図4-1-2（右）に示した。この装置は、低沸点有機塩素化合物用の自動分析装置（花井ら(1984)）を高沸点成分用に改造したものである。ガスクロマトグラフのキャリアーガス入口と注入口セプタムなどを外し、注入口のガラスインサートを外径 3.5mmφ×30cm長のガラス管と交換する。そのガラス管の上部にTENAX-GC（60/80mesh）を10cm充填し、加熱装置を付けて濃縮管とする。カラムは、HP社製 Crosslinked 5% Phenylmethyl Silicone Ultra Performance Capillary Column, 0.31mmφ×25m×0.52μm を使用した。

ガス流路は、採取濃縮時の濃縮流路と導入分析時の分析流路があり、六方バルブで切り替える。図4-1-2（右）の流路は分析流路で、キャリアーガスは窒素ガスボンベからTENAX濃縮管を通して注入口に導かれ、キャピラリカラムにはいる。キャリアーガスのカラム圧は、0.7Kgw/cm<sup>2</sup>とし、注入口キャリアー流量15ml/min.、メイクアップキャリアー流量11ml/min.である。カラム初期温度は50℃である。スプリット比1/5でスプリットされたガスは背圧調圧弁を経て排出される。真空吸引ポンプが作動すると、テフロン製の試料導入管の空引きが行われる。

1分後に、六方バルブが60°回転すると濃縮流路になる。真空吸引ポンプによって、試料導入管を通じて大気がTENAX濃縮管の上から下へ流されて常温で吸着濃縮される。ポンプの動作中は、試料導入管の周りの電熱線に通電して、農薬成分が試料導入管に付着しないように流路を加温する。なお、このときの温度条件を決めるために、テフロン製1.2mの試料導入管の先端に10ngの殺菌剤PCNBを添加し、10ℓの窒素ガスを吸引して濃縮、分析を行った。その結果、試料導入管でのPCNBの通過率は、20℃で63%、40℃で102%、80℃で102%であった。そこで、試料導入管の加熱温度は約80℃とした。大気試料は30分かけて10ℓを採取する。

ふたたび、六方バルブを回転させて分析流路に戻し、真空ポンプを停止させる。ただちにTENAX濃縮管を280℃に加熱し、同時にクロマトグラフの記録紙を作動させる。

濃縮管が充分に加熱されて、捕集成分が濃縮管から完全に追い出されるのを待つため、カラム温度は50℃のまま10分間維持される。その後10℃/min.昇温で160℃に、さらに2.5℃/min.昇温で260℃までカラムを加熱したのち、260℃を20分間維持する。

分析の終了後に、濃縮管の加熱を止め、カラム恒温槽を50℃まで冷却して一連の動作を終了する。このためのタイムプログラムを表4-2-1に示す。この繰り返し周期は、およそ2時間である。

従来の自動分析装置からの改良点は、高沸点用にするためにカラムとカラム温度の変更調整したことと、試料導入管の加熱回路の付加など濃縮流路の変更である。

表4-2-1 自動分析のためのタイムプログラム

TEMP1	400	50	50	カラム初期温度
TIME1	41.00			試料濃縮時間など
RATE	10.00			初期昇温速度
TEMP2	400	260		カラム最終温度
TIME2	20.00			最終温度の時間
ECD TEMP	400	280	280	検出器温度
0.00	VLV/EXE-		3	流路リセット
0.00	VLV/EXE-		4	濃縮管冷却(試料捕集)
0.00	VLV/EXE		7	吸引ポンプ作動
1.00	VLV/EXE		3	濃縮流路へ切り替え(30分間)
31.00	VLV/EXE-		3	分析流路へ切り替え
31.00	VLV/EXE-		7	吸引ポンプ停止
31.00	VLV/EXE		4	濃縮管加熱(試料脱着)
31.01	CHT SPD		0.40	クロマトグラフ記録紙の作動
31.02	ZERO		10.0	記録紙ゼロ点調整
31.03	AREA REJ		200000	ピーク積分開始
52.00	RATE		2.50	昇温速度変更
110.00	VLV/EXE-		4	濃縮管冷却

#### 4.2.2 測定例

この大気自動測定装置を用いて、環境大気中の農薬の測定を行った例を示す。測定地点は、群馬県前橋市内である。測定期間と検出器は、1985年5月18日から8月24日にECDを用い、その後8月24日から9月30日までNP-FIDを使った。

E C Dでは、有機塩素系溶剤やD B Pなど一般都市大気に常在する成分がほとんどであった。そのなかで殺菌剤P C N Bが、ときどき検出された。P C N Bの定量下限は10 ng/㎥であり、0.23 ngの標準溶液を5回続けて濃縮管に添加した時の変動は8%であった。図4-2-1にP C N Bが最もよく検出された期間のP C N BとD B Pの濃度変化の様子を示し、図4-2-2に7月7日午前4時のクロマトグラムを示す。

D B Pは、気温の変動と高い相関を持って濃度が変化したが、風速や風向にはほとんど影響されなかった。これは広域的に使用されているプラスチック製品の可塑剤が気温変化で気化するためである。

一方、P C N Bは風向に影響が認められ、濃度の極大時の風向は北西であった。最高値は、6月7日の午前4時に0.185 μg/㎥検出された。測定期間中に790回の分析を繰り返したうち、P C N Bは308回検出された。

自動測定における保持時間は、P C N Bが64.90±0.32分、D B Pが71.59±0.39分であった。ただし、±の項は保持時間の標準偏差である。この標準偏差は十分に小さい値であって、3カ月にわたる測定期間で保持時間による定性に支障をきたすことはなかった。さらに、常在成分であるD B Pと測定成分のP C N Bの保持時間の差を見ると、6.69±0.07分と保持時間の標準偏差はさらに小さくなることから、保持時間の近い常在成分を基準に定性する方法が有効であった。

#### 4.2.3 評価

連続測定装置は、ガスクロマトグラフ本体を測定地へ運ばなければならない、大容量の電源と高圧ポンプや検出器によっては水素発生器などを用意しなければならない。そのため、フィールド調査には迅速柔軟に対応できるとは云い難い。また、定性情報が保持時間だけしかないので、発生源の特徴について予め知識が必要である。しかし、サンプルを研究室に持ち帰って分析するのに比して、濃度測定結果が現場で即時に判るので、労力の面でも対策の面でもメリットが大きい。稼働例として、殺菌剤P C N Bを定量下限0.01 μg/㎥で2時間間隔に約3ヶ月間測定した。固定発生源の周囲の経常的モニタリングなどの用途が、期待される。検出器について、保持時間以上の情報を与えてくれるもの、例えばM A S S - S I M (花井ら(1984))やA E Dなどの検出器の使用が考えられる。また、装置全体の小型化も必要であろう。

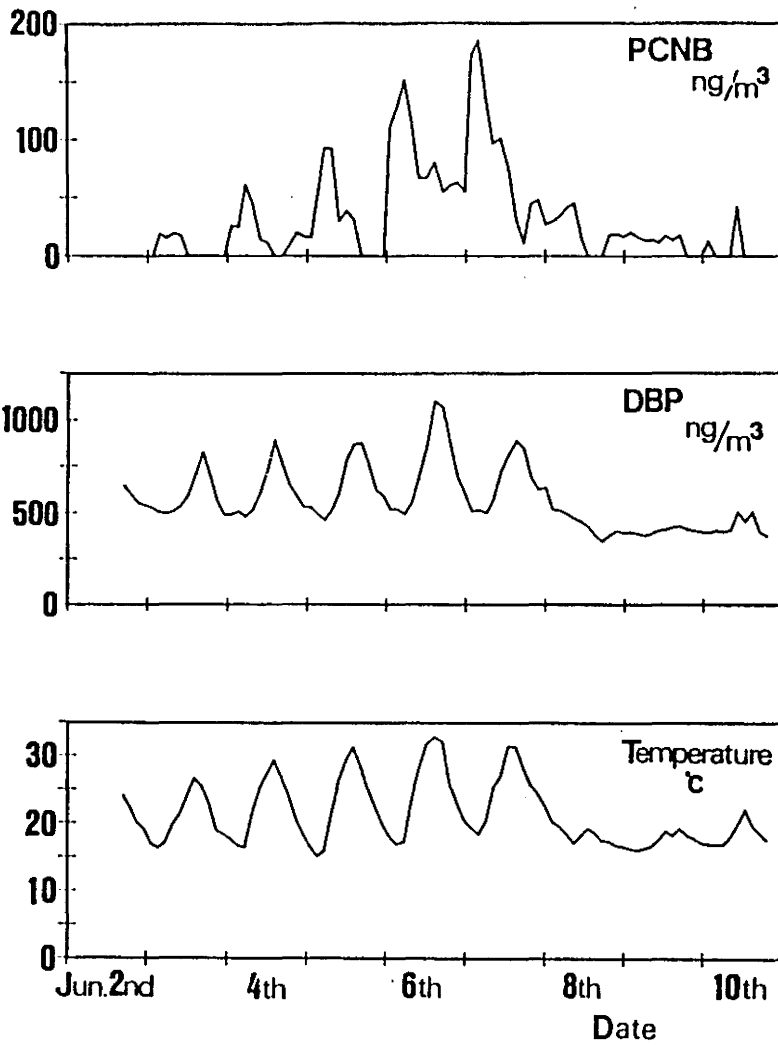


図 4-2-1 連続自動分析結果  
(1985年6月2~10日、群馬県前橋市)

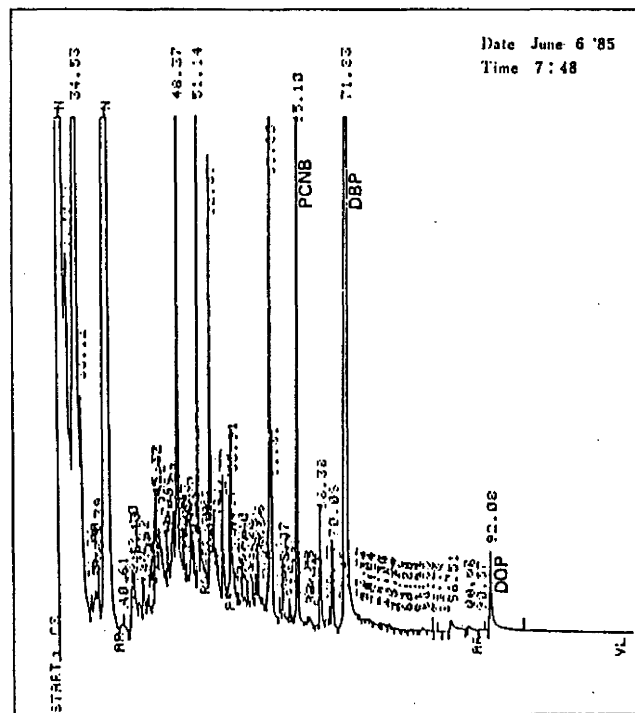


図 4-2-2 クロマトグラムの一例  
(1985年6月6日 7時48分、群馬県前橋市)



## 4.3 自動採取装置

### 4.3.1 装置及び操作

大気試料を前述のTENAX捕集管に自動採取する装置は、1986年の群馬県高崎市でのMEP空中散布調査で初めて1号機を試用した。制御コンピュータに日本電気製PC6001を使いBASICプログラムで動作した。連続採取本数は15本までであった。

その後、数回の改良を経て第2号機を製作した。制御コンピュータにワンボードマイクロコンピュータを使いZ80アセンブラでプログラムを記述した。この2号機の設計を元に、メーカーに発注しさらに3台を作成した。1号機は現役を退いているので、現在4台の自動採取装置を同時に使用することができる。

この装置の構造を図4-3-1に示す。傾斜した80cmのアルミ製のレールの高い側に、TENAX捕集管を並べて装着する。捕集管は最大30本並べることができ、1日から数日の採取に対応できる。レールの中央には2つのゲートと吸引管を設けて、それぞれ直流モーターで駆動する。ゲートの開閉状況はマイクロスイッチで制御コンピュータに読み込まれる。吸引管には真空吸引ポンプと積算流量計がつながっている。吸引管とTENAX捕集管の接続部分には、シリコンゴムを使って気密を保つ。大気試料は、約1.5 l/min.の流速で捕集管に常温で吸引される。試料を取り終えた捕集管は、レールの低い側に採取順に貯る。1本採取する毎に、大気を吸引し始めた時刻と吸引所要時間、吸引大気量が記録される。積算流量計には半導体質量流量計（エステック社SEF21-2LM）を採用し、制御コンピュータにはシングルボードマイコン（共立電子産業KBC-Z84S[Z80相当]）を採用するなど徹底した小型軽量化を図った。

制御プログラムについてもプッシュボタンと液晶表示器を用いて初期設定操作の簡易化を図った。プログラムは、アセンブラで記述され、およそ6Kバイトの容量になった。このプログラムによって、任意の設定時間間隔（通常60分）で捕集管を交換しながら、任意量（通常20 l）の大気を吸引捕集することができる。

装置は、アルミ製の箱に納められて天候に関わらず野外での採取ができ、容易に運搬することができる。捕集管に採取した試料は、実験室に持ち帰り、手動で採取した捕集管と同様に4.1節に述べた導入方法の手順で分析する。この装置の取扱説明書を本論文の巻末に付録1として収録してある。

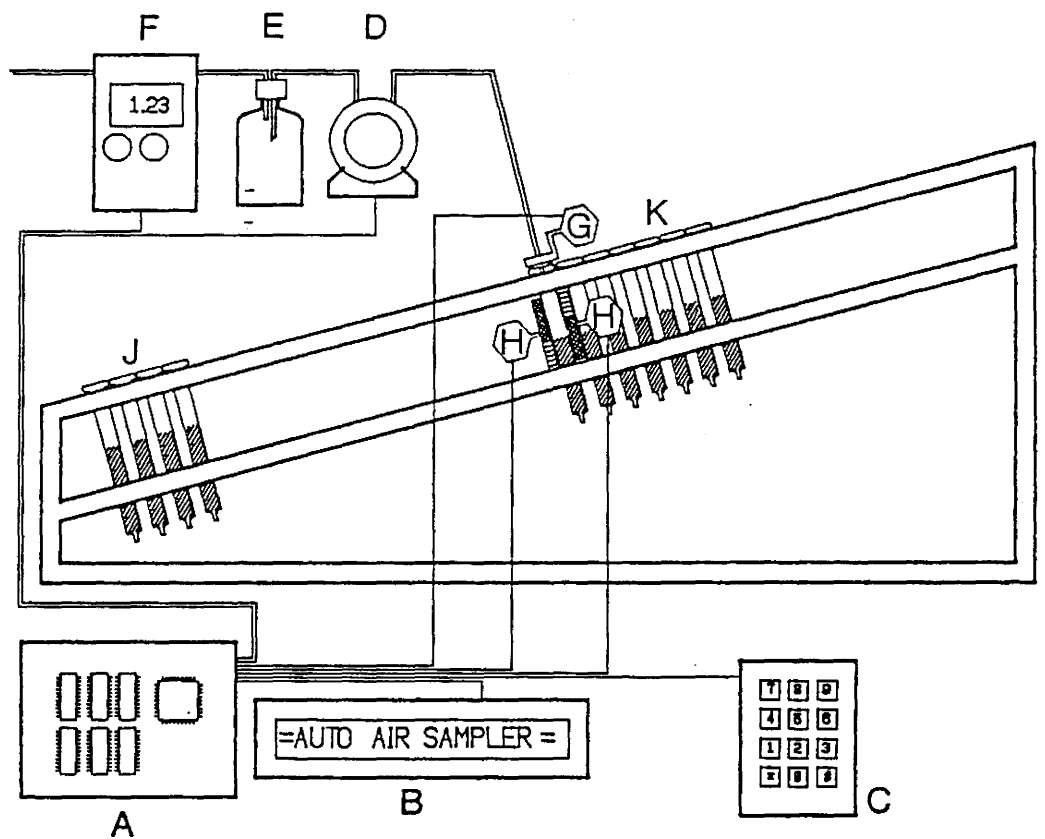


図4-3-1 自動大気採取装置の構造

- |                                     |               |
|-------------------------------------|---------------|
| A : 制御コンピュータ (Z80, 6Kbytes program) | B : 液晶表示盤     |
| C : 押しボタン                           | D : 吸引ポンプ     |
| E : 気流平滑器                           | F : 半導体積算流量計  |
| G : 吸入口モーター                         | H : ゲート開閉モーター |
| J : 採取済み捕集管                         | K : 未採取捕集管    |

#### 4.3.2 評価

自動採取装置は、小型で機動性があり、普通の電源のあるところならば任意の場所で容易に試料を採取することができる。採取した試料は研究室に持ち帰って分析することになるが、ターゲットになる農薬成分に応じて最も有効なガスクロマトグラフと検出器を選択することができる。実際に、この装置を用いることによって、大気中農薬について多数の試料を得ることができた。実施例については、第5章「環境汚染の測定」に譲る。

## 4.4 その他の項目の測定法

空中散布の環境調査の実施に際して、同時に農薬飛散量の測定を行った。空中の高い位置から農薬を散布するために、目的の散布域の外の広い範囲に農薬が飛散していることを確かめるためである。調査方法は以下の通りである。

空中散布の実施前に、地表に設置した台の上に、直径7cmの円形ろ紙を2枚ずつ風に飛ばされないように水平に固定する。散布終了後、このろ紙を15mlの蓋付き試験管に回収し、蓋で密閉して研究室に持ち帰る。アセトンやベンゼンなど対象農薬に応じて適当な溶媒を選び、試験管に10ml加えて一昼夜合浸した後、よく振り混ぜて、その抽出液を試料とした。

水質汚染調査では、ガラス瓶に採水した水試料を分液ロートに500mlとり、ベンゼンまたはn-ヘキサン10mlを加えてよく振り混ぜて、溶媒抽出液を試料とした。分析対象の農薬も適当な濃度に希釈した後、同様に抽出をしたものを標準とした。

これらの溶媒抽出液をガスクロマトグラフで分析定量した。



---

## 第5章 環境汚染の測定

---

### 5.1 種苗工場からの大気汚染

#### 5.1.1 趣旨

1979年6月に前橋市の新前橋駅付近で発生した集団中毒事件（2.8節参照）のあと、被害は鎮静化したかのようにであった。しかし、その後も毎年、春から夏にかけて、工場周辺で頭痛、関節痛の患者が多発した。そこで、まず有機塩素系農薬を測定対象とし、この地域の大気を自動分析装置によって連続的に測定することにした。

#### 5.1.2 測定場所と期間

測定場所：前橋市古市町青山医院  
測定期間：1985年5月18日～6月10日  
（途中停電のため中断4回）

大気中の有機塩素系農薬は、自動分析装置によって連続的に測定した。この分析装置の構造と分析結果については、4.2節で詳しく記述した。

#### 5.1.3 考察

PCNBが測定されたときの濃度と気温は、図4-2-1に示してある。PCNBの最高値は0.185 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、6月7日4:00～4:30に記録された。PCNB濃度は変動が大きく、極大値は、風向NW、風速2～4m/sの場合に記録されることがわかった。プラスチックの可塑剤であるDBPは風向、風速とは無関係で、気温が高くなる時間に高くなる傾向が認められた。

PCNB濃度が極大値を記録した時の風向（北西）の風上には種苗会社が位置する。ここでは種の乾燥、および包装作業を行なっている。この会社から市販されている種を20品目分析したところ、牧草4品目（エンダックス、ラジノクローバー等）から0.32～3.3ppmのPCNBが検出された。これらの種は輸入されたもので、輸出国でPCNBが殺

菌処理剤として使われ、この会社での乾燥作業などによって揮発し、付近の環境大気を汚染したと考えられる。

DBP濃度の気温との関連については、広範に使用されているプラスチック、あるいは一度吸着した土壌からの揮発速度の温度依存性から説明できる。また風向との関連が認められなかった点は、DBPがすでに都市全域を汚染し、PCNBの局所的汚染とは異なる事を示している。

## 5.2 ビニールハウス内の空気汚染

### 5.2.1 趣旨

ビニールハウスによる野菜の促成栽培は、商品価値の高い野菜を季節にかかわらず効率的に生産できるため、都市近郊農村に広く普及している。ここでは、高温多湿の環境と連作障害のため病害虫が蔓延しやすく、その予防と駆除のため農薬散布が頻繁に行なわれている。散布された農薬の空気中濃度は、外部の空気希釈されにくいため、極めて高濃度になる。

本調査は、農家の協力を得て、実際に作物を育てているビニールハウスでの通常の作業環境を調べることにした。

### 5.2.2 ビニールハウスの概要

調査場所：群馬県前橋市宮内隆男氏所有のビニールハウス  
 大きさ：10a(20×50<sup>2</sup>㎡)、高さ平均約2.5m  
 空気穴：屋根部分に、約20cm×50m×6本  
 換気扇：350<sup>2</sup>㎡/min.×2台。室温により自動運転。  
 作物：キュウリ(定植後2カ月)

### 5.2.3 散布農薬

1985年5月8日午後4時半から30分間で、DDVP乳剤(75%)100<sup>ml</sup>、TPN粉剤(75%)250gを200<sup>l</sup>の水に溶かして、加圧噴霧機によって散布した。今回散布する前には、約20日前にDDVPを散布し、その後は農薬を散布していない。

### 5.2.4 分析方法

TENAX補集管に、ハウス内中央で空気を1~10<sup>l</sup>濃縮し、これをGC-ECD(HP-5840A)で分析した。カラムは、Crosslinked 5% Phenylmethyl Silicone 0.31mm $\phi$ ×25m×膜厚0.52 $\mu$ m Capillary Column(HP社)を用いた。

### 5.2.5 測定結果

測定結果を表5-2-1に、散布日と翌日の経時変化を図5-2-1に示す。散布中はDDVP290 $\mu$ g/<sup>3</sup>、TPN86 $\mu$ g/<sup>3</sup>と極めて高い値であった。1時間後(18:10)DD



表5-2-1 ビニールハウス内の空气中農薬濃度  
(1985年5月8日調査。群馬県前橋市)

日付け	時刻	天気	室温 [°C]	DDVP [µg/m³]	TPN [µg/m³]	備考
5/8	15:30	晴れ	32	nd	tr	散布前
	17:00	晴れ	25	290	86	散布中
	17:10	晴れ	25	92	60	散布直後
	18:10	晴れ	20	440	3.7	散布後
	18:30	晴れ	19	88	6.0	
	19:10	晴れ	19	52	8.1	
5/9	06:30	晴れ	16	1.7	1.9	翌日
	08:30	晴れ	26	48	15	
	10:20	晴れ	35	11	7.3	換気扇動作
	12:00	晴れ	35	48	10	
	12:30	晴れ	34	-	29	
	14:10	晴れ	34	18	9.1	
	16:10	晴れ	30	1.7	2.6	
	18:25	晴れ	22	tr	0.9	
5/10	13:20	曇り	31	nd	5.5	翌々日以降
5/11	12:30	晴れ	35	nd	39	
	13:25	曇り	28	nd	8.5	
5/12	12:35	晴れ	33	nd	13	
5/17	12:15	晴れ	31	-	3.6	9日後

注：-印は未測定。ndは不検出。trは痕跡検出。検出限界は共に1 µg/m³。

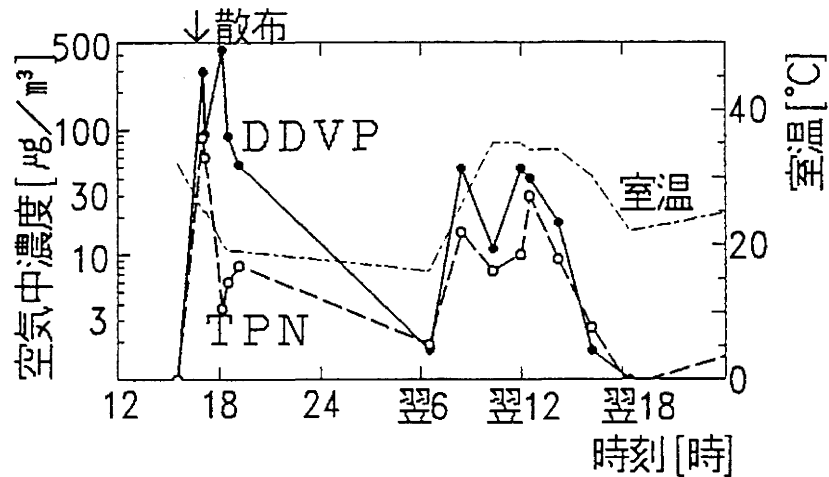


図5-2-1 ビニールハウスに散布した農薬の気中濃度  
(1985年5月8日 群馬県前橋市)

VPは440 µg/m<sup>3</sup>とさらに濃度を上げたが、TPNの濃度は著しく低下した。翌日の早朝は16℃と室温が低く、DDVP、TPNともに値が低かった。快晴で気温が上がった8:30には、両方とも濃度が急激に上昇した。しかし、室温が上がりすぎたため、換気扇が作動し、10:20に一度、値が低下した。再び昼にかけて上昇し、夕方にかけて低下した。2日後には、DDVPが検出限界(1 µg/m<sup>3</sup>)以下のレベルになった。しかし、TPNは残留して、温度とともに大気中濃度が高くなる傾向が約10日間にわたって認められた。9日後の31℃でTPN3.6 µg/m<sup>3</sup>は、散布翌日の30℃で2.6 µg/m<sup>3</sup>にほぼ等しい。

### 5. 2. 6. 考察

ハウス内の空気中の濃度について、モデルを単純化して考察する。空気中農薬濃度をC [µg/m<sup>3</sup>]、ハウスの容積をV [m<sup>3</sup>]、換気量をv [m<sup>3</sup>/min.]、農薬の揮発速度をb [µg/m<sup>2</sup>]、表面積をS [m<sup>2</sup>]、散布後の時間をt [min.]とする。ハウス内空気の濃度変化は、

$$\frac{dC}{dt} = \frac{bS - Cv}{V} \quad (5-2-1)$$

で表わすことができる。したがって、揮発速度bと換気量vが一定の場合には、上式を積分して、

$$C = \frac{bS}{v} + C_a \exp(-vt/V) \quad (5-2-2)$$

ただし、C<sub>a</sub>は積分定数である。時間経過後は右辺の第2項が0に近似でき、濃度は、

$$C_s = \frac{bS}{v} \quad (5-2-3)$$

に安定する。

実際には、ハウス内の室温が変動するため、揮発速度は、第3章で示したように大きく変動する。換気量も、室温、外部風速、換気扇の動作などで変動する。しかし、(v/V)がそれほど小さくないので、これらの変化があっても、(5-2-2)式は比較的短時間に安定状態(5-2-3)式へと回復する。

以上について、ハウス内のTPNの調査結果と比べてみる。散布中のTPN濃度は極端に高い値であるが、これは散布によって発生するミストが大量に浮遊しているためである。しかし、このミストは短時間で沈着する。翌日からは、空気中濃度は散布後の経過時間に

は無関係で、室温に大きく依存していることがわかる。このことは、(5-2-3)式が実際のハウス内濃度を予想する式として適用できることを示している。7月9日10時20分には、換気扇が作動して $\rho$ が増加し、 $C_0$ が低下する様子が見られる。

本調査から、ハウス内で農作業する時には、散布時の安全対策の安全対策は当然であるが、TPNのように数日後でも散布中と同程度の汚染濃度に達する場合があるので、ハウス内での作業は、早朝の室温が低い時に行なうようにし、高温のときは換気扇などで換気を十分にすることが必要であることが判った。

## 5.3 高原野菜単作地帯における大気汚染

### 5.3.1 趣旨

殺菌剤PCNBは、キャベツ等の根コブ病、トマト等の苗立枯病の予防に、広く使用されている。これは融点142℃の針晶であるが、第3章の実験で示したように揮発速度が大きい。そこでPCNBの使用量が多い地域の大気汚染の実態を調べることにした。1年以上にわたって、14回の継続的調査を行った。

### 5.3.2 調査地点と使用状況

調査地点の群馬県嬭恋村は高原キャベツの代表的な生産地で、山の斜面に広大な畑地を有している。しかし長年の連作の結果、大量の化学肥料と農薬の投入によってしか生産を維持できないのが現状である。この村だけで年間10億円の農薬が消費され、特にPCNBの使用量が多く当時年間800トン消費していたと見積られている。

### 5.3.3 分析方法

現地で10~20ℓの大気をTENAX捕集管に濃縮し、以下の条件で分析した。

測定機器：GC-ECD (HP-5860A)

カラム：Crosslinked 5% phenylmethyl silicone

Ultra performance capillary column、0.31mmφ×25m

大気分析のクロマトグラムを図5-3-1に示す。大きなピークはPCNBの保持時間(18.74分)である。

### 5.3.4 調査結果

測定結果は、全調査分をまとめて大気汚染を表5-3-1に、水質汚染を表5-3-2に、土壌残留量を表5-3-3に示す。

また、1986年の5月~6月の調査結果は、測定地点をしめすため地図上に測定値を書き込んで示した。図中のゴシック体の数字はその位置の大気汚染濃度[μg/㎥]を表し、斜体の数字はその位置の小川の水質汚染濃度[μg/ℓ]を示している。この表記は以下の図で共通である。

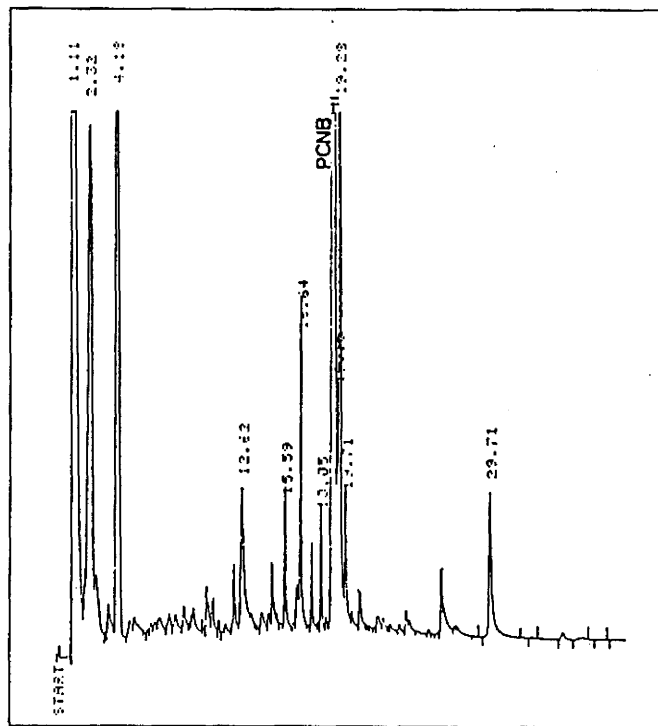


図5-3-1 クロマトグラムの一例  
 (1985年5月16日、群馬県嬭恋村田代小学校前)

表5-3-1 高原野菜单作地帯の大気中農薬汚染濃度

群馬県嬭恋村

単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

番号	場所	日付	時刻	気温 [°C]	PCB $\text{C}_6\text{Cl}_5\text{H}$	HCB $\text{C}_6\text{Cl}_6$	PCNB $\text{C}_6\text{Cl}_5\text{NO}_2$	PCA $\text{C}_6\text{Cl}_5\text{NH}_2$
1	国道144	850516	1500	20.0	—	—	0.07	—
2	鳥居川南側畑 6	850516	1516	16.0	—	—	0.11	—
3	小池川沿い畑 9	850516	1550	17.0	—	—	0.57	—
4	田代小学校	850516	1615	16.0	—	—	0.63	—
5	田代湖	860404	1200		—	—	0.036	—
6	鳥居川南側畑 6	860404	1230		—	—	0.007	—
7	小池川沿い畑 8	860503	1547	17.0	—	—	1.90	—
8	小池川沿い畑 9	860503	1614	17.0	—	—	0.77	—
9	田代小学校	860508	900	19.0	—	—	1.8	—
10	田代小学校	860508	930	19.0	—	—	2.8	—
11	田代小学校	860508	1000	19.5	—	—	2.3	—
12	田代小学校	860508	1030	20.5	—	—	2.1	—
13	田代小学校	860508	1100	21.0	—	—	2.1	—
14	田代小学校	860508	1130	21.5	—	—	2.0	—
15	田代小学校	860508	1200	22.5	—	—	1.2	—
16	田代小学校	860508	1230	23.0	—	—	1.2	—
17	田代小学校	860508	1300	23.5	—	—	2.1	—
18	田代小学校	860508	1330	23.0	—	—	1.8	—
19	田代小学校	860508	1400	24.0	—	—	2.4	—
20	田代小学校	860508	1430	24.0	—	—	1.1	—
21	田代小学校	860508	1500	25.0	—	—	0.70	—
22	田代小学校	860508	1530	25.0	—	—	1.4	—
23	田代小学校	860508	1600	23.0	—	—	3.0	—
24	田代小学校	860508	1630	22.0	—	—	0.90	—
25	田代小学校	860508	1700	22.0	—	—	5.1	—
26	田代小学校	860508	1730	21.0	—	—	4.2	—
27	鳥居峠	860510	1445	17.0	—	—	0.07	—
28	鳥居川南側畑 1	860510	1455		—	—	0.15	—
29	鳥居川南側畑 3	860510	1505		—	—	0.29	—
30	鳥居川南側畑 4	860510	1520	14.0	—	—	0.23	—
31	鳥居川南側畑 5	860510	1530		—	—	0.45	—
32	鳥居川南側畑 6	860510	1545		—	—	0.50	—
33	小池川沿い畑 2	860510	1605		—	—	0.95	—
34	小池川沿い畑 3	860510	1615	13.0	—	—	0.73	—
35	小池川沿い畑 4	860510	1628		—	—	0.81	—
36	小池川沿い畑 5	860510	1640		—	—	1.40	—
37	小池川沿い畑 6	860510	1650		—	—	1.05	—
38	小池川沿い畑 7	860510	1700		—	—	0.81	—
39	田代小学校	860510	1720	11.0	—	—	0.48	—
40	田代湖	860511	830		—	—	0.36	—

(次ページへ続く)

注：—印は、測定せず。

表5-3-1 (続き)

単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

番号	場所	日付	時刻	気温 [°C]	PCB $\text{C}_6\text{Cl}_5\text{H}$	HCB $\text{C}_6\text{Cl}_6$	PCNB $\text{C}_6\text{Cl}_5\text{NO}_2$	PCA $\text{C}_6\text{Cl}_5\text{NH}_2$
41	鳥居峠	860527	1642		-	-	0.29	-
42	鳥居川南側畑 3	860527	1700	15.0	-	-	3.9	-
43	鳥居川南側畑 6	860527	1715		-	-	0.53	-
44	小池川沿い畑 2	860527	1720		-	-	0.63	-
45	小池川沿い畑 3	860527	1732		-	-	2.1	-
46	小池川沿い畑 4	860527	1742		-	-	1.8	-
47	小池川沿い畑 5	860527	1755		-	-	6.9	-
48	小池川沿い畑 6	860527	1805		-	-	3.2	-
49	小池川沿い畑 7	860527	1815	9.5	-	-	1.2	-
50	田代小学校	860527	1832		-	-	0.77	-
51	羽根尾	860617	947	20.0	-	-	0.04	-
52	袋倉	860617	1000	18.0	-	-	0.03	-
53	大前	860617	1020	15.5	-	-	0.09	-
54	孀恋橋	860617	1030	15.5	-	-	0.08	-
55	大沼	860617	1040	18.0	-	-	0.19	-
56	干俣	860617	1045	17.5	0.014	-	0.19	-
57	仁田沢	860617	1100	15.0	-	-	0.18	-
58	上の貝	860617	1116	15.5	-	-	0.14	-
59	北山開拓 北	860617	1120	15.5	0.097	-	1.4	-
60	北山開拓 東	860617	1145	15.0	0.030	-	0.50	-
61	北山開拓 西	860617	1157	14.5	0.055	-	0.90	-
62	大笹 南	860617	1203		-	-	0.45	-
63	北山開拓 北西	860617	1205	14.5	0.028	-	0.52	-
64	鹿沢温泉	860617	1213		0.021	-	0.29	-
65	田代 北	860617	1223	15.0	0.083	-	0.16	-
66	藤原	860617	1225	14.0	-	-	1.10	-
67	鹿沢国民休暇村	860617	1227		0.025	-	0.16	-
68	古永井 北	860617	1240	16.0	0.014	-	0.27	-
69	姥ヶ原 北	860617	1245	12.5	0.091	-	2.2	-
70	鳴岩橋	860617	1259	17.5	-	-	0.21	-
71	新鹿沢温泉	860617	1305		0.060	-	0.86	-
72	大笹関所跡	860617	1307	18.5	0.014	-	0.32	-
73	姥ヶ原 南	860617	1310	12.5	0.063	-	2.2	-
74	鳥居峠	860617	1318		0.020	-	0.30	-
75	鳥居川南側畑 1	860617	1328		0.49	-	12.7	-
76	中原開拓	860617	1335	12.5	0.12	-	1.6	-
77	鳥居川南側畑 6	860617	1357		-	-	11.6	-
78	万座鹿沢口	860617	1405	16.0	-	-	0.07	-
79	小池川沿い畑 2	860617	1412		-	-	4.3	-
80	小池川沿い畑 3	860617	1426		-	-	10.3	-

(次ページへ続く)

注: -印は、測定せず。

表5-3-1 (続き)

単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

番号	場所	日付	時刻	気温 [°C]	PCB $\text{C}_6\text{Cl}_5\text{H}$	HCB $\text{C}_6\text{Cl}_6$	PCNB $\text{C}_6\text{Cl}_5\text{NO}_2$	PCA $\text{C}_6\text{Cl}_5\text{NH}_2$
81	白根火山ルート	860617	1440	13.0	—	—	0.90	—
82	小池川沿い畑 4	860617	1441		—	—	9.7	—
83	小池川沿い畑 5	860617	1455		—	—	4.1	—
84	小池川沿い畑 6	860617	1510		—	—	0.37	—
85	西窪開拓	860617	1515	14.0	—	—	0.11	—
86	小池川沿い畑 7	860617	1521		0.069	—	0.68	—
87	鬼押し出し 北	860617	1535	14.0	—	—	0.11	—
88	田代小学校	860617	1543		0.028	—	0.53	—
89	鬼押し出し 南	860617	1600	13.0	—	—	1.0	—
90	田代農場	860617	1608		0.090	—	1.5	—
91	田代農場 北	860617	1623		0.077	—	1.8	—
92	田代 南	860617	1637		0.100	—	1.3	—
93	鳥居峠	860725	1818	20.5	—	—	0.28	—
94	鳥居川南側畑 2	860725	1820	18.0	0.059	0.036	2.6	—
95	鳥居川南側畑 5	860725	1828	17.0	0.027	0.013	0.95	—
96	鳥居川南側畑 6	860725	1838	19.0	0.091	0.076	2.9	—
97	小池川沿い畑 2	860725	1847	18.0	0.013	0.110	7.4	—
98	小池川沿い畑 3	860725	1856		0.200	0.079	6.1	—
99	小池川沿い畑 5	860725	1905	17.0	—	—	0.5	—
100	小池川沿い畑 6	860725	1913	17.0	—	—	1.5	—
101	小池川沿い畑 7	860725	1920		0.039	0.023	1.9	—
102	田代小学校	860725	1941		—	—	0.25	—
103	鳥居峠	860815	840	26	—	—	0.011	—
104	鳥居川南側畑 1	860815	848		—	—	0.040	0.0058
105	鳥居川南側畑 2	860815	859		—	—	0.100	0.13
106	鳥居川南側畑 3	860815	913		—	—	0.087	—
107	鳥居川南側畑 4	860815	923		0.072	0.043	0.31	0.062
108	鳥居川南側畑 5	860815	941		—	0.038	0.18	0.104
109	鳥居川南側畑 6	860815	947		0.058	0.025	0.23	—
110	小池川沿い畑 1	860815	1007		0.073	0.032	0.48	0.21
111	小池川沿い畑 2	860815	1017		0.065	0.031	0.48	—
112	小池川沿い畑 2'	860815	1037		0.080	0.045	0.26	0.15
113	小池川沿い畑 3	860815	1045		0.048	0.046	0.35	0.13
114	小池川沿い畑 4	860815	1052		0.040	0.020	0.24	0.081
115	小池川沿い畑 5	860815	1102		0.024	0.015	0.15	0.093
116	小池川沿い畑 6	860815	1111		0.073	0.042	0.22	0.085
117	小池川沿い畑 7	860815	1118		—	0.024	0.13	0.14
118	田代小学校	860815	1201		—	0.0098	0.079	—

(次ページへ続く)

注: —印は、測定せず。



表5-3-1 (続き)

単位：μg/m<sup>3</sup>

番号	場所	日付	時刻	気温 [°C]	PCB C <sub>6</sub> Cl <sub>5</sub> H	HCB C <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub>	PCNB C <sub>6</sub> Cl <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	PCA C <sub>6</sub> Cl <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>
119	鳥居川南側畑 1	860926	1249	19.5	0.017	0.0037	0.035	0.0046
120	鳥居川南側畑 2	860926	1300	19.5	—	0.0035	0.037	0.0090
121	鳥居川南側畑 3	860926	1318	19.5	—	0.0035	0.046	0.0070
122	鳥居川南側畑 4	860926	1326	19.5	0.029	0.0088	0.079	0.0090
123	鳥居川南側畑 6	860926	1336	19.5	0.025	0.0088	0.105	0.0070
124	小池川沿い畑 2	860926	1346	20.0	0.051	0.021	0.190	0.016
125	小池川沿い畑 3	860926	1356	20.0	—	—	0.099	0.13
126	小池川沿い畑 4	860926	1407	20.0	0.031	0.012	0.100	0.016
127	小池川沿い畑 5	860926	1414	21.0	0.016	0.0087	0.040	0.0064
128	小池川沿い畑 6	860926	1425	21.0	0.012	0.0095	0.046	0.0093
129	小池川沿い畑 7	860926	1435	22.5	0.038	0.015	0.051	0.0012
130	田代小学校	860926	1452		0.012	0.0057	0.030	0.0023
131	鳥居川南側畑 6	861015	1343		0.0099	0.0067	0.066	—
132	鳥居川南側畑 2	861015	1435	17.0	0.030	0.0102	0.048	—
133	鳥居川南側畑 3	861015	1445		0.0051	—	0.019	—
134	小池川沿い畑 2	861015	1502		0.014	0.0095	0.100	—
135	小池川沿い畑 3	861015	1516		0.015	0.0080	0.056	—
136	小池川沿い畑 4	861015	1525		0.054	0.012	0.073	—
137	小池川沿い畑 5	861015	1533		0.023	0.0082	0.040	—
138	小池川沿い畑 6	861015	1540		0.005	0.0029	0.027	—
139	小池川沿い畑 7	861015	1550		0.0089	0.0057	0.013	—
140	田代小学校	861015	1610		0.0050	0.0040	0.031	—
141	鳥居川南側畑 1	861129	1315		0.0065	0.0017	0.0056	0.0000
142	鳥居峠	861129	1330	-1	—	0.0001	0.0002	0.0000
143	鳥居川南側畑 3	861129	1337	-2	0.0070	0.0006	0.0036	0.0001
144	鳥居川南側畑 4	861129	1358		0.0110	0.0032	0.0120	0.0003
145	鳥居川南側畑 6	861129	1410	-2	—	0.0046	0.0098	0.0014
146	小池川沿い畑 2	861129	1433	-3	0.0004	0.0025	0.0110	0.0000
147	小池川沿い畑 3	861129	1447		0.0073	0.0017	0.0083	0.0006
148	小池川沿い畑 4	861129	1504		0.014	0.0059	0.0190	0.0010
149	小池川沿い畑 5	861129	1520	-1	0.0060	0.0016	0.0073	0.0008
150	小池川沿い畑 7	861129	1535		0.019	0.0042	0.0108	0.0011
151	田代小学校	861129	1605	0	0.0047	0.0013	0.0054	0.0002
152	田代小学校	870207	1137	6.8	—	—	0.0018	—
153	鳥居峠	870411	857	5	—	—	0.0000	—
154	鳥居川南側畑 1	870411	915	4	—	0.0110	0.0250	—
155	鳥居川南側畑 2	870411	922	4	—	0.0093	0.0290	—
156	鳥居川南側畑 3	870411	935	4	0.0078	0.0022	0.0100	—
157	鳥居川南側畑 6	870411	944		0.026	0.034	0.0220	—
158	小池川沿い畑 2	870411	955		0.019	0.0052	0.0320	—
159	小池川沿い畑 3	870411	1003	8	0.028	0.020	0.0690	—
160	小池川沿い畑 4	870411	1010	8	0.018	0.0072	0.0520	—
161	小池川沿い畑 5	870411	1016	10	0.040	0.019	0.0620	—
162	小池川沿い畑 7	870411	1036	10	—	0.023	0.0570	—
163	田代小学校	870411	1045		—	0.012	0.0840	—

(終わり)

注： —印は、測定せず。

表5-3-2 高原野菜单作地帯の農薬水質汚染濃度

群馬県嬭恋村 単位: µg/l

番号	場所	日付	時刻	水温 [°C]	P C B C <sub>6</sub> Cl <sub>5</sub> H	H C B C <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub>	P C N B C <sub>6</sub> Cl <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	P C A C <sub>6</sub> Cl <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>
1	吾妻川市城	860404	1000		nd	nd	nd	nd
2	田代湖	860404	1157		0.008	0.004	0.071	0.029
3	小池川	860404	1324		0.058	0.020	0.37	0.14
4	鳥居川	860511	830	10.0	0.006	0.003	0.18	0.060
5	田代湖	860511	850	7.0	0.002	0.001	0.068	0.026
6	小池川	860511	855	6.0	0.006	0.003	0.27	0.10
7	湯尻川鹿沢温泉	860527	1615	9.0	nd	nd	0.005	nd
8	鳥居川	860527	1850	9.5	0.007	0.003	1.2	0.19
9	小池川	860527	1852	9.0	0.003	0.003	0.58	0.17
10	田代湖	860527	1903	13.0	nd	0.002	0.25	0.090
11	吾妻川新田代橋	860527	1915	9.0	0.008	0.012	8.6	2.1
12	吾妻川市城	860527	2050	13.0	0.002	0.003	0.032	0.026
13	利根川前橋	860527	2150	10.0	nd	0.003	0.037	0.013
14	湯尻川鹿沢温泉	860617	1220	9.0	nd	nd	0.014	nd
15	鳥居川	860617	1650	11.0	0.009	0.006	1.2	0.45
16	小池川	860617	1655	11.0	0.016	0.007	1.5	0.34
17	湯尻川	860617	1715	10.0	nd	nd	0.027	0.006
18	田代湖	860617	1725	16.0	0.002	0.001	0.11	0.082
19	吾妻川新田代橋	860617	1730		0.013	0.014	3.3	1.8
20	吾妻川鹿沢発電所	860617	1750		0.011	0.009	1.4	0.82
21	吾妻川大前	860617	1805		0.006	0.002	1.6	0.36
22	吾妻川万座鹿沢口	860617	1830		nd	nd	0.048	0.12
23	吾妻川長野原	860617	1900		nd	nd	0.036	0.020
24	吾妻川渋川	860617	2010		nd	nd	0.004	0.010
25	畑たまり水	860725	1840		0.036	0.063	30.	4.4
26	小池川 5	860725	1900		0.003	0.0002	2.3	0.17
27	吾妻川新田代橋	860725	1950		0.001	0.006	3.1	0.38
28	鳥居川	860725	2000		0.003	0.004	1.8	0.15
29	小池川	860725	2000		0.007	0.048	51.	2.4
30	吾妻川渋川	860725	2200		nd	nd	0.0080	0.013
31	鳥居川 4	860815	930		0.028	0.014	1.4	0.21
32	鳥居川 3	860815	940		0.018	0.007	0.53	0.099
33	畑たまり水	860815	950		0.28	0.23	14.	2.4
34	鳥居川 1	860815	1000		0.010	0.003	0.62	0.11
35	小池川 3	860815	1030		nd	nd	0.0030	0.007
36	小池川 1	860815	1105		0.018	0.010	0.85	0.14
37	小池川 2	860815	1105		0.009	0.004	0.39	0.077
38	鳥居川	860815	1130		0.008	0.005	0.55	0.099
39	小池川	860815	1130		0.028	0.014	1.7	0.41
40	吾妻川新田代橋	860815	1240		0.016	0.007	0.71	0.56
41	湯尻川鹿沢温泉	860815	1340		nd	nd	0.001	nd
42	湯尻川	860815	1410		nd	nd	0.012	0.0006

(次のページへ続く)

注: ndは不検出。

表5-3-2 (続き)

単位: ㎍/ℓ

番号	場所	日付	時刻	水温 [℃]	P C B C <sub>6</sub> Cl <sub>5</sub> H	H C B C <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub>	P C N B C <sub>6</sub> Cl <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	P C A C <sub>6</sub> Cl <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>
43	吾妻川鹿沢発電所	860815	1420		0.008	0.005	0.21	0.23
44	吾妻川大前	860815	1440		0.004	0.001	0.21	0.26
45	吾妻川万座鹿沢口	860815	1500		nd	nd	0.023	0.10
46	吾妻川長野原	860815	1550		nd	nd	0.034	0.16
47	吾妻川市城	860815	1700		nd	nd	0.005	0.014
48	吾妻川渋川	860815	2000		nd	nd	0.004	0.018
49	鳥居川	860926	1448	13.0	0.009	0.0004	0.23	0.10
50	小池川	860926	1448	13.0	0.027	0.0010	0.21	0.11
51	吾妻川新田代橋	860926	1500	12.5	0.007	0.0002	0.24	0.090
52	吾妻川鹿沢発電所	860926	1515	14.2	0.014	nd	0.14	0.98
53	吾妻川大前	860926	1530	18.0	0.009	nd	0.10	0.090
54	吾妻川万座鹿沢口	860926	1545	19.0	0.003	nd	0.082	0.052
55	吾妻川長野原	860926	1615	17.0	0.001	nd	0.033	0.016
56	吾妻川渋川	860926	1805	18.5	0.001	nd	0.008	0.009
57	吾妻川大前	861015	1128		nd	0.001	0.036	0.050
58	鳥居川	861015	1410		0.015	0.007	0.18	0.059
59	小池川	861015	1410		0.003	0.004	0.17	0.034
60	吾妻川新田代橋	861015	1625		0.003	0.005	0.18	0.067
61	吾妻川鹿沢発電所	861015	1630		nd	0.001	0.16	0.15
62	吾妻川長野原	861015	1725		nd	nd	0.011	0.011
63	吾妻川市城	861015	1830		nd	nd	0.009	0.012
64	吾妻川渋川	861015	1920		nd	nd	0.002	0.007
65	鳥居川	861129	1555	5.0	0.010	0.004	0.31	0.20
66	小池川	861129	1600	4.0	0.043	0.012	0.32	0.26
67	吾妻川新田代橋	861129	1630	2.0	0.003	0.005	0.39	0.24
68	吾妻川大前	861129	1640	1.0	0.004	0.002	0.15	0.18
69	吾妻川万座鹿沢口	861129	1655	0.5	0.001	0.001	0.019	0.086
70	吾妻川長野原	861129	1730	3.5	nd	nd	0.031	0.066
71	吾妻川渋川	861129	1900	9.0	nd	nd	0.009	0.014
72	小池川	870207	1130	5.0	0.067	0.005	0.31	0.14
73	鳥居川	870207	1130	4.0	0.027	0.002	0.12	0.064
74	吾妻川新田代橋	870207	1200		0.002	0.002	0.17	0.12
75	吾妻川大前	870207	1226		nd	nd	0.041	0.057
76	吾妻川万座鹿沢口	870207	1243	6.0	nd	nd	0.010	0.015
77	吾妻川長野原	870207	1515	5.0	nd	nd	0.003	0.010
78	吾妻川市城	870207	1603	9.0	nd	nd	nd	nd
79	吾妻川渋川	870207	1635	10.5	nd	nd	nd	nd
80	小池川	870411	1045	5	0.074	0.037	0.41	0.22
81	鳥居川	870411	1045	5	0.039	0.028	0.33	0.22
82	吾妻川新田代橋	870411	1120	7	0.026	0.012	0.54	0.18
83	吾妻川鹿沢発電所	870411	1127	7	0.033	0.017	0.086	0.10
84	吾妻川大前	870411	1140	7	0.86	0.63	0.055	0.071
85	吾妻川万座鹿沢口	870411	1152	7	0.003	0.003	0.011	0.019
86	吾妻川長野原	870411	1216		0.007	0.007	0.0003	0.005
87	吾妻川市城	870411	1315		0.008	0.005	0.0005	0.014
88	吾妻川渋川	870411	1400		0.002	0.001	0.0004	0.012

(終わり)

注: ndは不検出。

表5-3-3 高原野菜単作地帯の土壤残留農薬濃度

群馬県嬭恋村 単位：μg/g

番号	場所	日付	PCB C <sub>6</sub> Cl <sub>5</sub> H	HCB C <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub>	PCNB C <sub>6</sub> Cl <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	PCA C <sub>6</sub> Cl <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>
1	小池川沿い畑	2 860725	-	-	1.4	-
2	小池川沿い畑	3 860725	-	0.12	31.	2.5
3	小池川沿い畑	4 860725	-	-	61.	2.3
4	小池川沿い畑	5 860725	-	-	1.5	-
5	鳥居川南側畑	2 860725	-	0.77	370.	8.6
6	鳥居川南側畑	6 860725	-	-	360.	-
7	小池川沿い畑	1 860815	-	0.67	25.	4.4
8	小池川沿い畑	2 860815	-	0.49	7.9	5.6
9	小池川沿い畑	3 860815	-	0.69	17.	7.8
10	鳥居川南側畑	1 860815	-	0.42	9.2	3.4
11	鳥居川南側畑	2 860815	-	1.9	44.	13.
12	鳥居川南側畑	2' 860815	-	0.59	3.6	5.1
13	鳥居川南側畑	3 860815	-	0.78	12.	5.5
14	鳥居川南側畑	3' 860815	-	0.32	6.8	4.9
15	鳥居川南側畑	4 860815	-	1.5	56.	5.9
16	小池川沿い畑	2 860926	-	0.13	3.8	1.9
17	小池川沿い畑	4 860926	-	0.096	8.6	1.6
18	鳥居川南側畑	1 860926	-	0.11	2.0	0.54
19	鳥居川南側畑	2 860926	-	0.16	1.6	1.3
20	鳥居川南側畑	2' 860926	-	0.91	-	9.7
21	鳥居川南側畑	3 860926	-	0.14	5.1	1.4
22	鳥居川南側畑	6 860926	-	0.099	2.6	1.3
23	小池川沿い畑	2 861015	-	0.22	7.9	3.1
24	鳥居川南側畑	2 861015	-	0.12	11.	1.3
25	鳥居川南側畑	3 861015	-	0.35	22.	2.8
26	鳥居川南側畑	6 861015	-	0.50	3.0	4.6
27	鳥居川南側畑	3 861129	-	0.57	4.5	5.1
28	小池川沿い畑	2 870411	-	0.36	0.98	1.1
29	小池川沿い畑	3 870411	-	0.52	2.1	2.0
30	小池川沿い畑	5 870411	-	0.71	1.2	1.7
31	鳥居川南側畑	1 870411	-	0.47	1.4	2.0
32	鳥居川南側畑	3 870411	-	0.40	1.1	1.2

注：-印は分析していない。

## 第1回調査 1985年5月16日

調査地点は孺恋村の国道144号線沿いと、鍋蓋山北面の畑地内を通る県営農道で2カ所、市内の田代小学校校庭の計4カ所で、土壌殺菌後、作付前に調査した。天候は晴、2～4m/sの風速であった。測定値は、風下に相当する農道で $0.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、田代小学校で $0.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

この年の調査は、予備的なものとし、翌年の農業散布までに測定のための準備をしておくことにした。

## 第2回調査 1986年4月4日

PCNB散布前のバックグラウンドをチェックして置くつもりで数点であるが試料を採取した。調査地点は図5-3-2に測定値と共に示した。また、この図にはその周辺のキャベツ栽培地の大よその位置を斜線で示した。

キャベツ畑の中央部で大気濃度 $0.007 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。田代湖岸大気は $0.036 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とより高い値であった。また、この日30km下流の中之条町内で1点大気を採取したが、PCNBは不検出だったので、環境バックグラウンドは検出限界以下である。前年度の散布以後1年近く経過して、最も濃度水準が低い時点に当るのだが、残留が認められた。つまりPCNB汚染は1年間継続していると云うことになる。

同時に採取した小池川と田代湖の水が $0.40 \mu\text{g}/\text{l}$ 、 $0.07 \mu\text{g}/\text{l}$ を示した。これも残留を裏付けている。

## 第3回調査 1986年5月3日

5月初日頃からPCNB土壌混入作業が開始されたので、予備調査として、5月3日に散布隣接地点で測定した。

小池川沿い畑の中で散布している地域の風下に当る2地点で $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と $0.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を得た。時刻は15時47分と16時14分、気温 $17.0^\circ\text{C}$ であった。この時が今年の散布後最初の大気測定となった。4月の残留濃度値より大幅な濃度上昇が認められた。

## 第4回調査 1986年5月8日

つぎに、8日に田代小学校において連続測定した。この日の天候は晴れであった。PCNB濃度変動を図5-3-3に示した。これによれば、日中は $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の水準で小さく

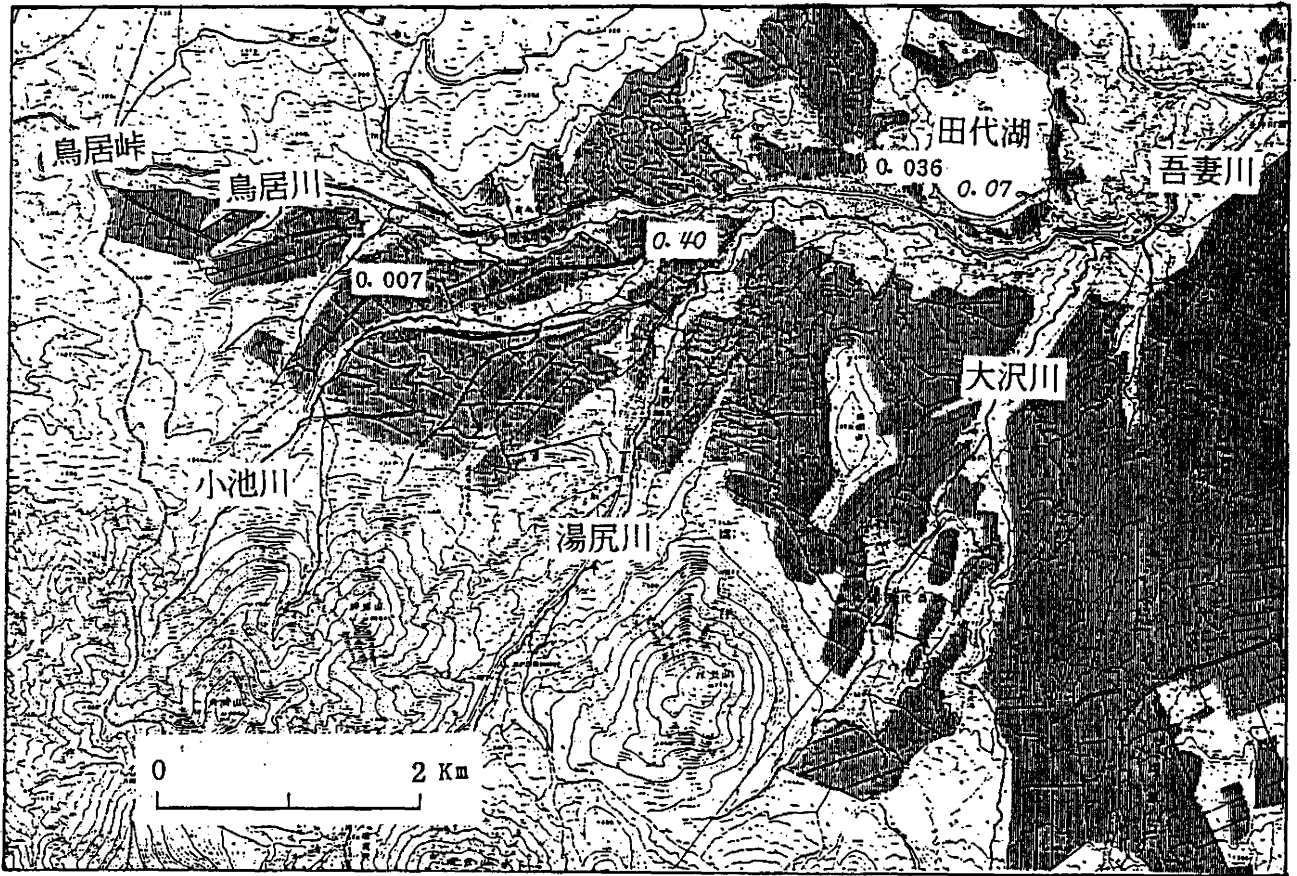


図5-3-2 散布前の汚染濃度とキャベツ栽培地 (大気:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 水質: 斜体  $\mu\text{g}/\text{L}$ )  
(1986年4月4日、群馬県嬭恋村)

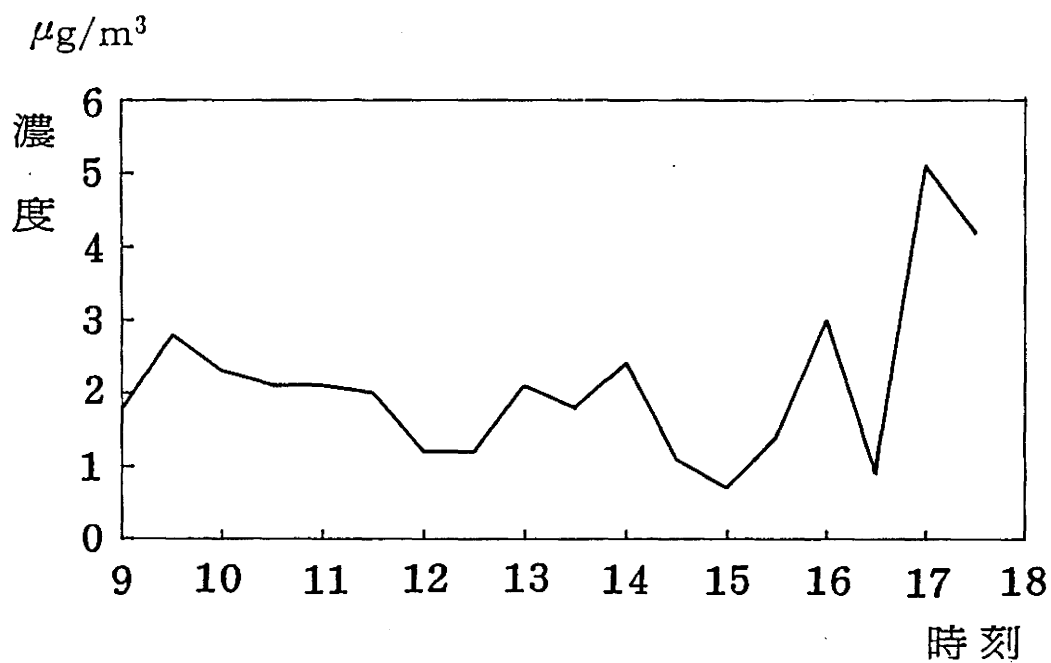


図5-3-3 大気中PCNB濃度の変化  
(1986年5月8日、群馬県嬭恋村田代小学校前)

変動していたが、夕方になって濃度が上昇する傾向が認められた。夕方から大気が安定したためと考えられる。

#### 第5回調査 1986年5月10日

鳥居峠から田代湖の6kmの間、大気13検体を採取した。この日は晴時々曇、東寄り風1~4m/sの穏やかな天候であった。地図上濃度分布を図5-3-4に示した。

測定地域全体の大気が汚染されていることが分かった。大気中PCNB濃度は、小池川沿い畑で最大値1.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、鳥居峠で最小値0.07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、平均値は0.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

なお、鳥居川、小池川と田代湖で水質を測ったが、これは翌11日の採取である。田代湖の値は散布直前の4月の値と同程度であり、PCNB散布の影響は見られなかった。水質汚染は時期が多少遅れて現れるのかも知れない。

#### 第6回調査 1986年5月27日

この時も前回同様鳥居峠から田代湖の間で、大気10検体を採取した。この日は晴で、東寄り微風1~3m/sであった。ただし、採取時刻が夕方にかかり、大気は5月10日のときよりさらに安定と考えられる。地図上濃度分布を図5-3-5に示した。

大気汚染の最大値は小池川沿い畑の6.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最小値は鳥居峠の0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、この位置は前回と同じである。しかし、濃度平均値は2.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、前回よりもかなり高くなっていた。濃度水準の相違は、第4回調査で調べたように昼と夕の濃度の差に関係あると推定される。また、この両日の間にPCNBの散布がさらに行なわれたとも考えられる。ただし、この両日は気温や風の状況など気象状況は大体同じであった。

河川水や田代湖の水のPCNB濃度は、前回に比べ急増し、散布から侵出するまでに1ヶ月弱の時間が必要であったことが判った。

#### 第7回調査 1986年6月17日

PCNBの散布後約1ヶ月経過し、梅雨の大雨等で散布地の土壤中のPCNBの状態が変る前の6月17日に嬌恋村全域にわたる大気濃度分布調査を実施した。試料採取地点は42ヶ所、山岳地帯を除いて、濃度分布図を作ることができた。地図上濃度分布図を図5-3-6に示した。

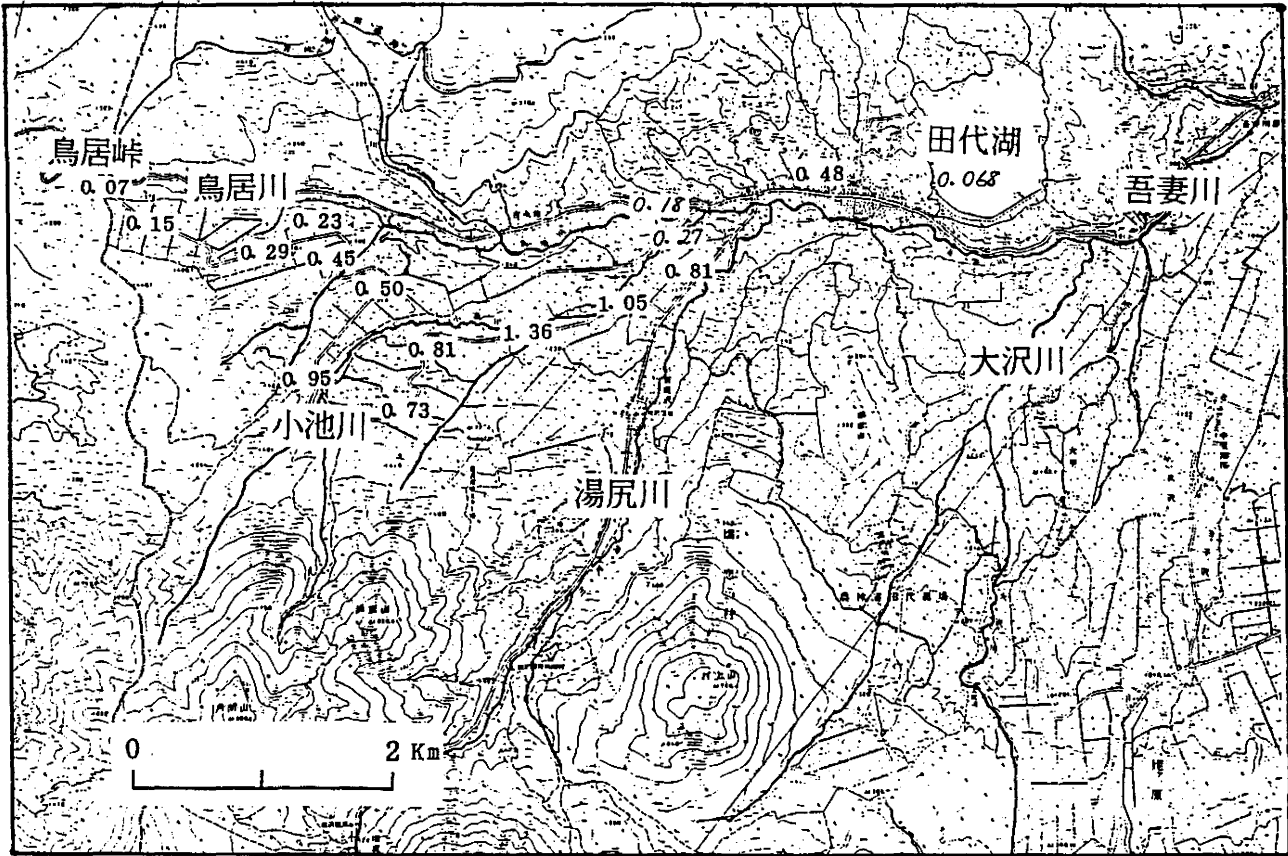


図5-3-4 PCNB濃度分布 (大気: pg/m<sup>3</sup>, 水質: 斜体pg/l)  
(1986年5月10日、群馬県嬭恋村)

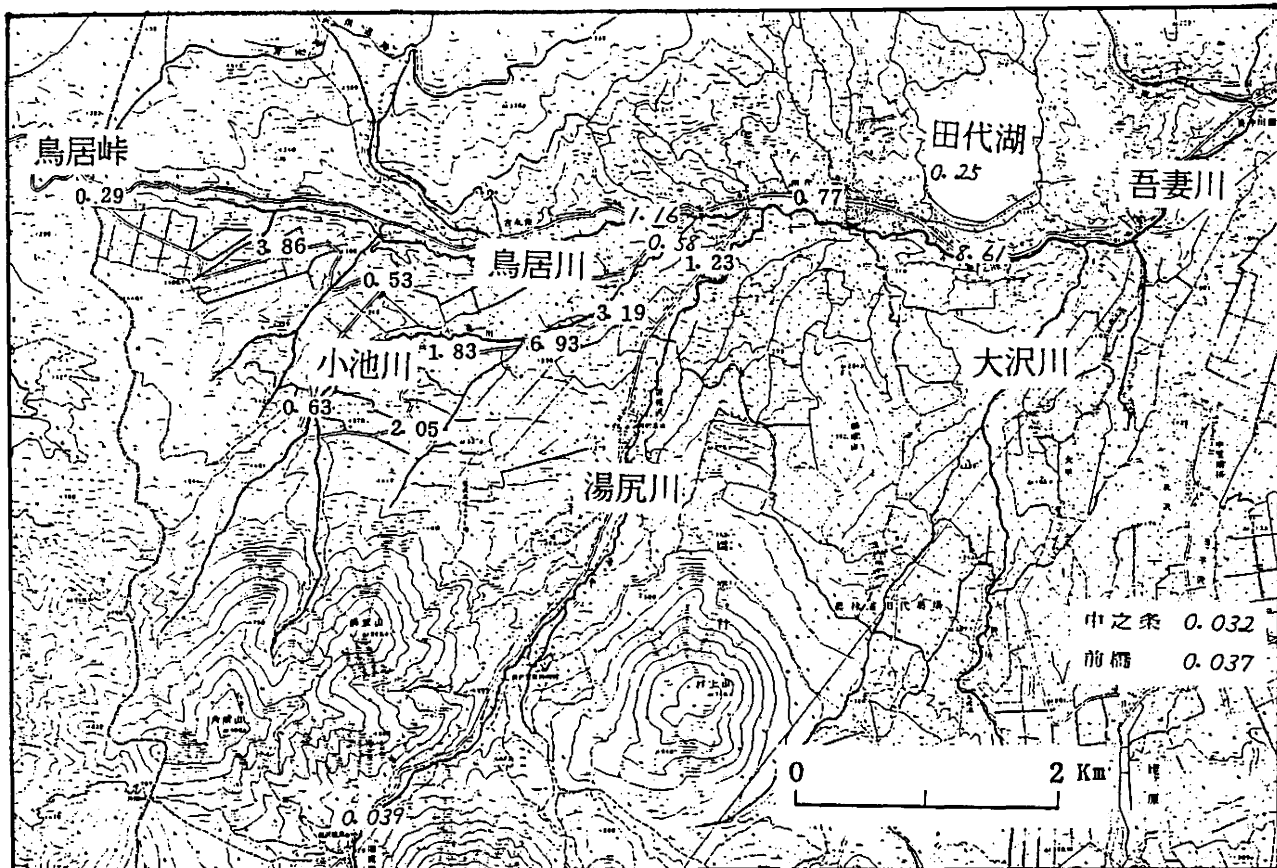


図5-3-5 PCNB濃度分布 (大気: pg/m<sup>3</sup>, 水質: 斜体pg/l)  
(1986年5月27日、群馬県嬭恋村)



この日は、曇のち雨の天候で5月の調査時と異なる状況となった。気温はこの時期としては低目であって、むしろ前回に近かった。採取時刻は9時47分から、最終は16時23分までかかった。これは広域のためやむをえないものであった。調査地域の標高差も大きく、高原地点では霧があり、低地では小雨が多かった。風はほとんどが0~3m/sと微風であったが、風向は浅間山麓ではやや北寄り、小池川沿いではやや東寄り、吾妻川下流は無風と、場所、時刻により一定した傾向はなかった。

まず第1に調査地全域についてPCNB不検出がなかったことがあげられる。つまり嬭恋村の大気は全域にわたってPCNBによって汚染されていた。

第2は汚染の高い地域と低い地域とに区別できて比較的明瞭な濃度分布図がえられたことである。汚染発生地は3つのブロックに分けられて、そこから大気汚染が拡がっている状態が認められた。このことは、気象、時刻など色々変化要因を含みつつも全体的にはこの調査方法が農業汚染把握に有効であることを示している。

第3には大気中濃度値であるが、最大値は鳥居川南側畑の12.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最小値は吾妻川下流袋倉の0.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となっており、その差は約4百倍である。5月に調査した地域と比較するために、鳥居峠から田代湖の間の12地点について平均をとると4.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。従って全体として5月27日の時よりさらに高い濃度水準の分布図と考えてよい。散布時期からすでに相当日時が経過しているので、土壌中PCNB含有量が多いわけではなく、この日の天候が曇のため大気上下拡散が抑えられていたことが大気濃度上昇の主要原因と考えられる。

#### 第8回調査 1986年7月25日

当日の天気はくもりでその日の夕方から大気試料を9検体採取した。PCNBの最高値は畑のなかで7.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。この回からPCNBの不純物であるヘキサクロロベンゼン(HCB)と変成物であるペンタクロロアニリン(PCA)、それからペンタクロロベンゼン(PCB)を同時に計測するようにした。なお、本論文ではPCBをポリクロロビフェニールの意味では用いない。大気中のHCB濃度はPCNB濃度と相関よく検出した。

水質調査では、6検体の分析を行なった。畑の排水溝のたまり水では30 $\mu\text{g}/\text{l}$ であり、これが畑からの浸出水の濃度レベルの目安を与えている。小池川は畑に最も近い川であるが、51 $\mu\text{g}/\text{l}$ の値は異常に高い値である。PCNBの空袋の廃棄なども考えられる。

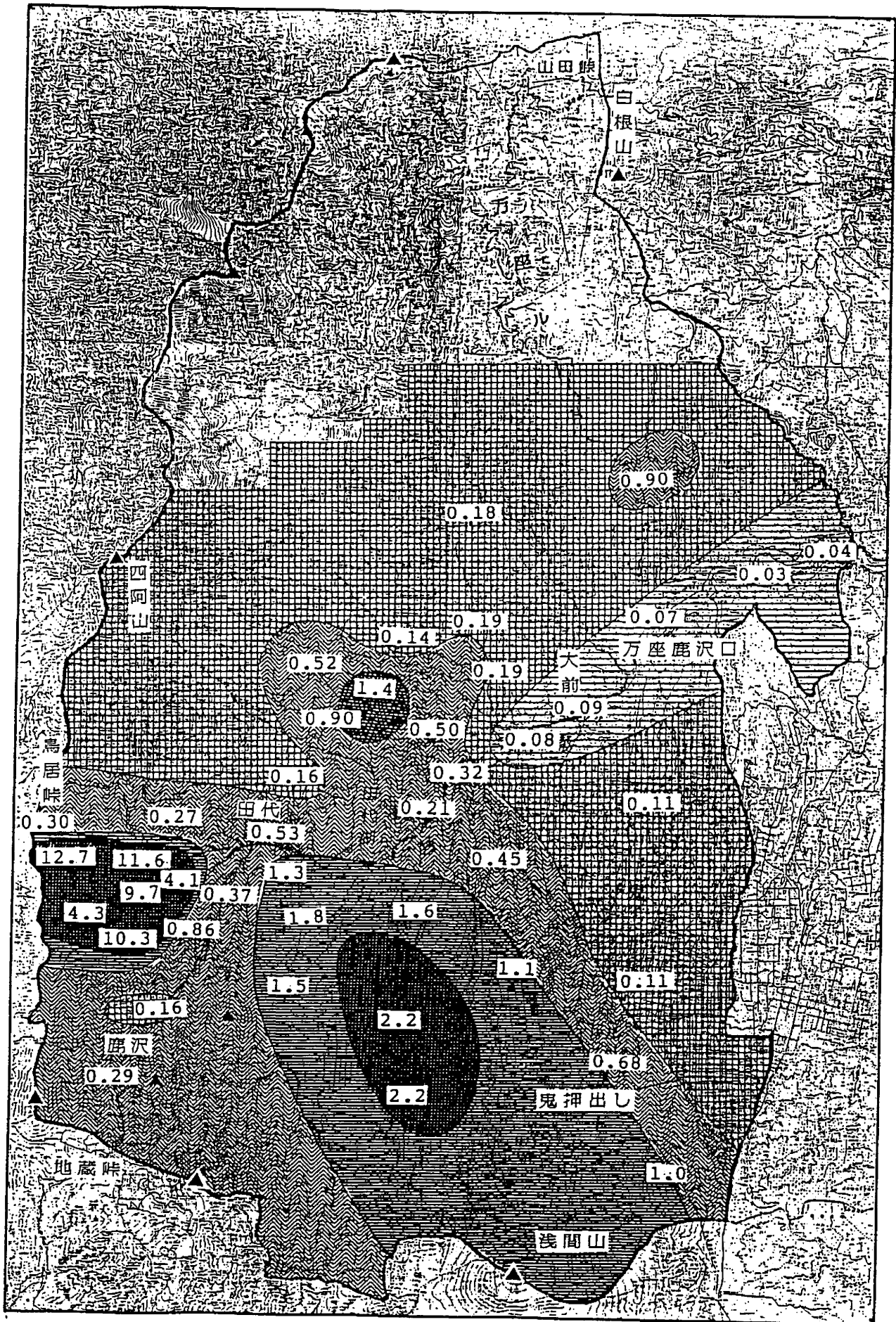


図5-3-6 PCNBの広域分布調査 (大気:  $\text{ng}/\text{m}^3$ )  
(1986年6月17日、群馬県嬭恋村)

土壌調査では、370 µg/g～1.4 µg/gであって、どれも土壌殺菌した畑の土であるけれども測定値は約250倍の差があった。

#### 第9回調査 1986年8月15日

当日の天気は、くもりのち晴れで風は弱かった。午前中に大気試料を16検体採取した。PCNBの大気中濃度の最高は0.48 µg/m<sup>3</sup>で、7月よりも1ケタ少ない値になっている。

この日の調査では、水質汚染の広がりについて考察するために、畑域を中心とした18地点で採水を行ない濃度分布図を作成した。これを図5-3-7に示す。畑の排水溝で14 µg/gの最高値が得られ、畑から農薬が染み出す様子がよく示されている。

土壌残留農薬を9検体測定した。PCNBは7月に比べ約1/10のレベルに減少しているが、HCB、PCAなどには減少がみられない。また、畑の一ヶ所でボーリングを行なって深さ別濃度を測定した。この結果を図5-3-8に示す。

PCNBは地表から10cmの範囲に多く存在している。地表付近では少ない理由として次の3つが考えられる。1つは地表から大気に揮発するため、2つは、雨水が地下に浸透するときに、あたかも液体クロマトグラフのように農薬成分を下方に移送するため、最後に、地下5cm以下に前年度からの農薬残留が多量にあったためと考えられる。

PCAは、35cmまでどの深さで測定してもほぼ同量ずつ含まれていた。これは、長年の越年残留によって地下深くまでPCAが均一に存在するようになっていることを示している。PCAは農薬製剤中に存在しない成分であって、散布後に環境中でPCNBから生成した化合物である。農薬成分のニトロ基が土壌中でアミノ基に還元される例は多く、例えばNIPやCNPなどの除草剤もこの仲間である。

HCBは、土壌中の残留農薬として成分比で数%含まれていた。これは、PCNBの不純物であるが、残留性が高いので、製品中の割合よりも多く環境に残留していた。

PCBは、PCNBが加水分解してニトロ基が外れてできるものと、製品中の不純物が起源のものがある。濃度レベルはHCBと同程度であった。

#### 第10回調査 1986年9月26日

この日は、快晴で弱い西の風が吹いていた。昼すぎから大気を12検体採取した。最高値は0.19 µg/m<sup>3</sup>であるが、8月と比べると数分の1になっている。これには、農薬成分の流失、揮発、分解などのほかに気温の低下による揮発量の減少も考えられる。

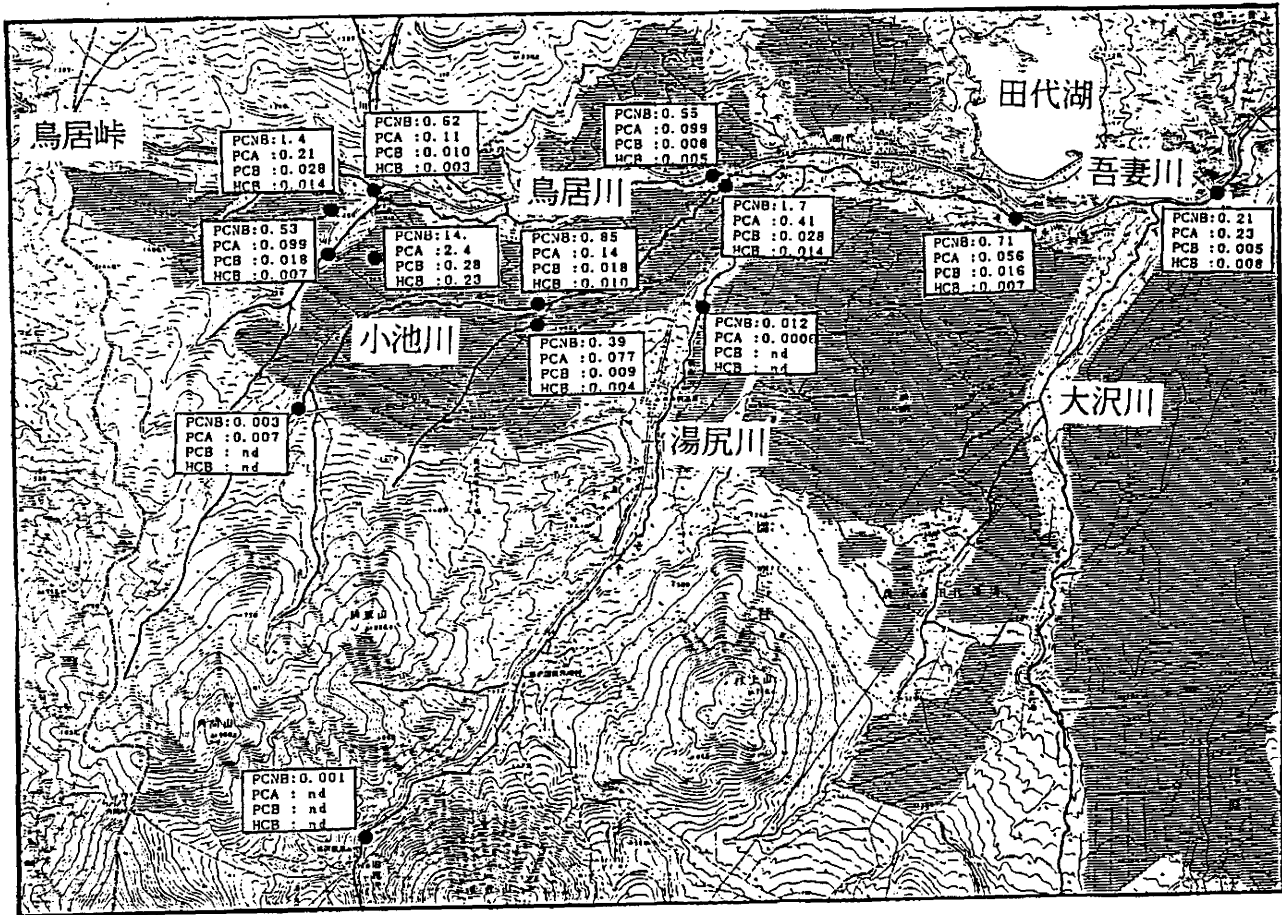


図5-3-7 PCNB等の水質汚染の分布調査 (水質:  $\mu\text{g}/\text{l}$ )  
(1986年8月15日、群馬県嬭恋村)

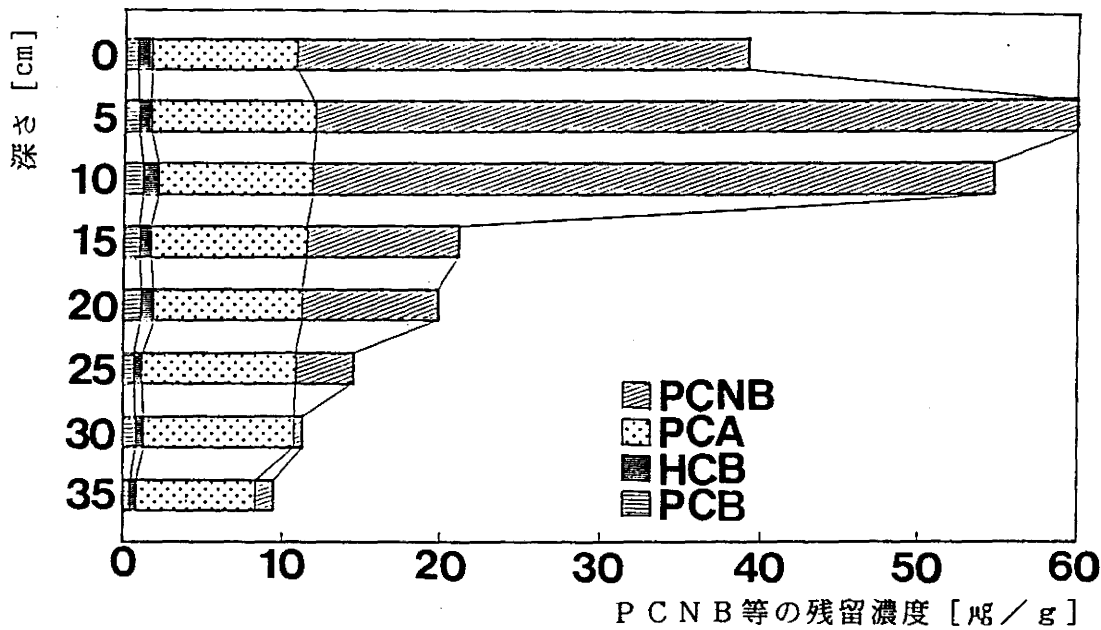


図5-3-8 土壌中のPCNB等の深さ別の残留濃度  
(1986年8月15日、群馬県嬭恋村)

河川水試料 8 検体、土壌試料 7 検体を採取分析した。

#### 第 11 回調査 1986 年 10 月 15 日

よく晴れた弱い西風の日であった。大気試料は午後に 10 検体を採取した。濃度は 9 月と同程度であった。水質試料 8 検体、土壌試料 5 検体を採取分析した。

#### 第 12 回調査 1986 年 11 月 29 日

気温はすでに氷点下になり、はじめのうちは小雪が舞っていた。強い西風のなか、午後には大気試料を 11 検体採取した。強風と低温のため濃度は最高値でも  $0.019 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、10 月のさらに数分の 1 の程度である。

水質試料は 7 検体採取した。畑作物中の残留農薬を調べるために、収穫されなかったキャベツを根から土ごと採取した。

#### 第 13 回調査 1987 年 2 月 7 日

畑はすべて雪で覆われてサンプリングのため進入することもできなかった。大気試料は、国道沿いの田代小学校だけである。濃度は  $0.0018 \mu\text{g}/\text{m}^3$  で年間を通じての最小値であった。畑の土壌が露出している所はなく、大気へは出て来ないものと考えられる。

水質試料は 8 検体を採取分析した。

#### 第 14 回調査 1987 年 4 月 11 日

畑にはまだ残雪があつて農作業前である。天候は晴れであるが、西風が肌寒かった。大気の採取は、11 検体を午前中に行なった。濃度は上昇して最高で  $0.084 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であり昨年 10 月のレベルまで戻している。

河川水は 9 検体採取し、土壌は 11 検体を測定した。

### 5. 3. 5 年間濃度変化

以上の測定値を合わせてグラフ化したものが図 5-3-9 である。大気中濃度については、鳥居川、小池川流域の畑地内で採取した測定値を月毎に平均して示した。土壌中濃度についても、月毎に平均して示した。河川水中濃度は、毎月の測定値から代表的な 2 地点を選んで示した。新田代橋は畑から浸出する水のほとんどが最初に集まる所で、畑側の代表点

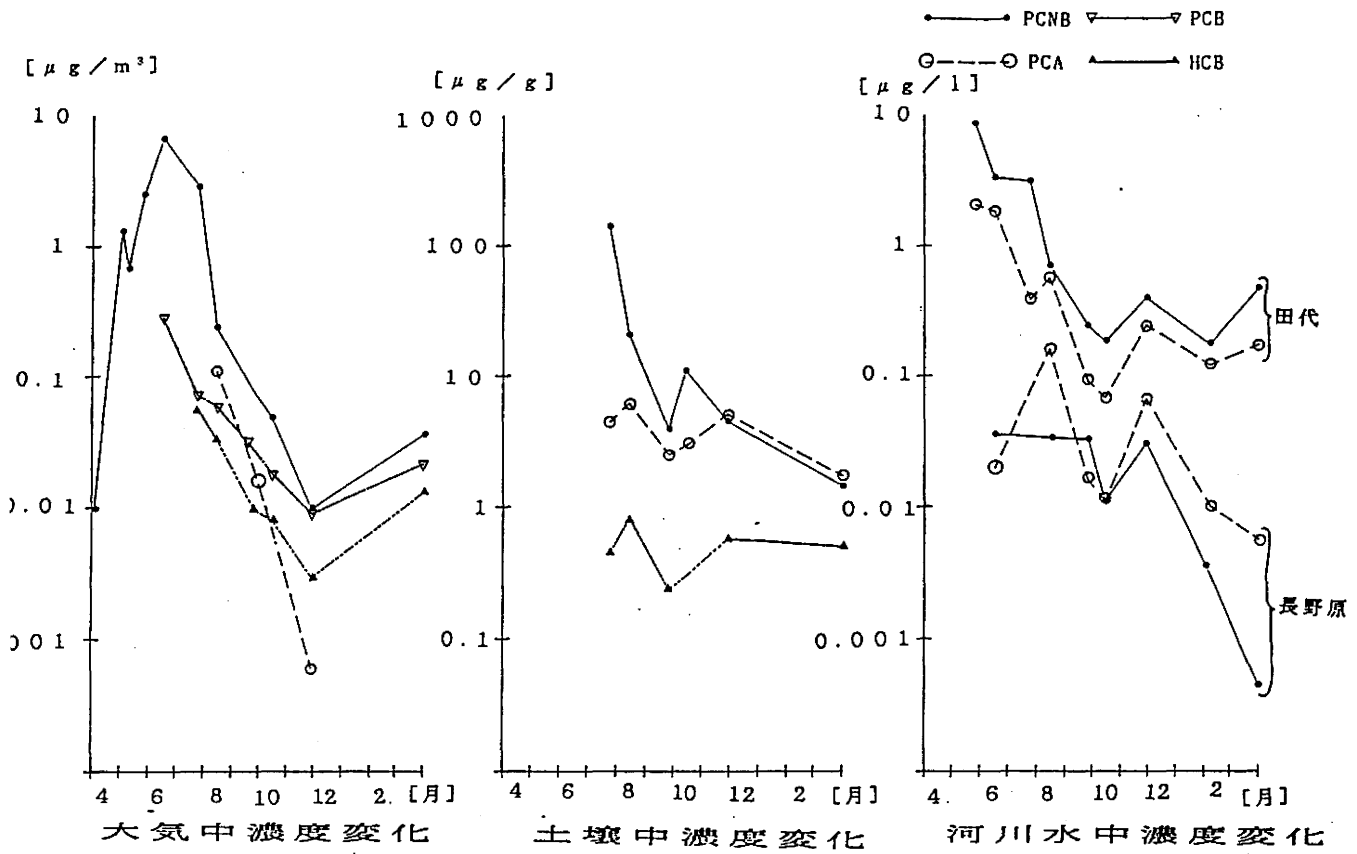


図5-3-9 PCNB等の年間濃度変化 (1986年度、群馬県嬭恋村)

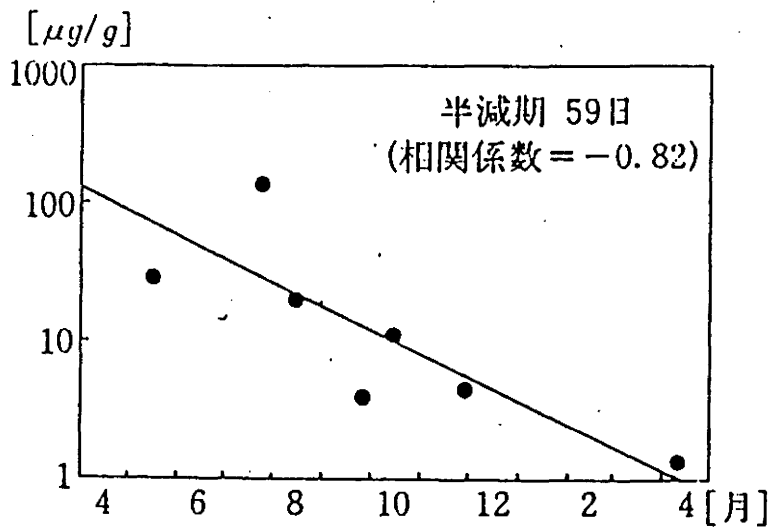


図5-3-10 PCNBの土壌中残留濃度の減衰

である。長野原は、源流から利根川の合流点までの吾妻川の中央付近にあって、河川水の代表点である。

PCNBの散布は5月から6月にかけて行なわれている。散布後ただちにPCNB濃度は上昇し、5月から8月に高濃度大気汚染を形成している。年間最高値は6月17日の $2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

大気汚染濃度は、その後徐々に減少して、冬には千分の1程度まで下がっている。しかし、土壌残留濃度は百分の1程度しか下がっていない。この差は主に気温の低下による揮発速度の低下が原因であると考えられる。その証拠に、農薬散布前であるにもかかわらず、4月には気温上昇とともに大気中濃度が増加している。また、各成分の8月から11月までの大気中濃度の減少率（図5-3-9のグラフの傾きで表わされる）は蒸発熱（Hv）の大きい順に激しく減少している。蒸発熱の小さいPCBは4カ月で約十分の1に減少したが、蒸発熱の大きなPCAは約百分の1まで急速に減少している。これは、揮発速度と蒸発熱の関係式が（3-5-3）式で示される結果である。

土壌への標準的なPCNB 20%粉剤の投入量は10aあたり20~25kgであるが、この地方ではそれよりも多目に使用しているということなので30kgの薬剤を10cmの深さまで均一に混入したと仮定しよう。土の密度を約2であるとする、投入時の土壌中PCNB濃度は $30 \mu\text{g}/\text{g}$ になる。測定値はこれの10倍のものもあるし、10分の1のものもあるが、これは土壌の不均一性のためやむをえない。この計算値を測定値の平均に加味して作成したのが、図5-3-10である。これによって、PCNBの土壌中残留濃度の半減期を求めると60日となり、1年間で百分の1になる速さである。土壌中のPCNBの減少に比べると、PCAやHCBの濃度はほとんど減少しない。この2種の化合物が長期残留成分であることがわかる。

次に河川水について、上流の田代ではPCNBがPCAを上まわっているのに、中流の長野原では逆転してPCAのほうが多くなっている。この傾向はすべての測定日について観測されているが、8月15日の結果を例として図5-3-11に示す。この図では、円グラフの左側でPCNBを表し、右側でPCAを表している。それぞれの濃度は面積で表現されている。上流から下流に進むにつれてPCAの割合が増加している。

河川水のそれぞれの採取地点毎に一年間の濃度減少を調べたものが、表5-3-4である。PCNBについて、減衰曲線と相関がよい地点の半減期は数十日であり、土壌の半減期とおおよそ一致している。ところがPCAについては、減衰率があまり高くない。

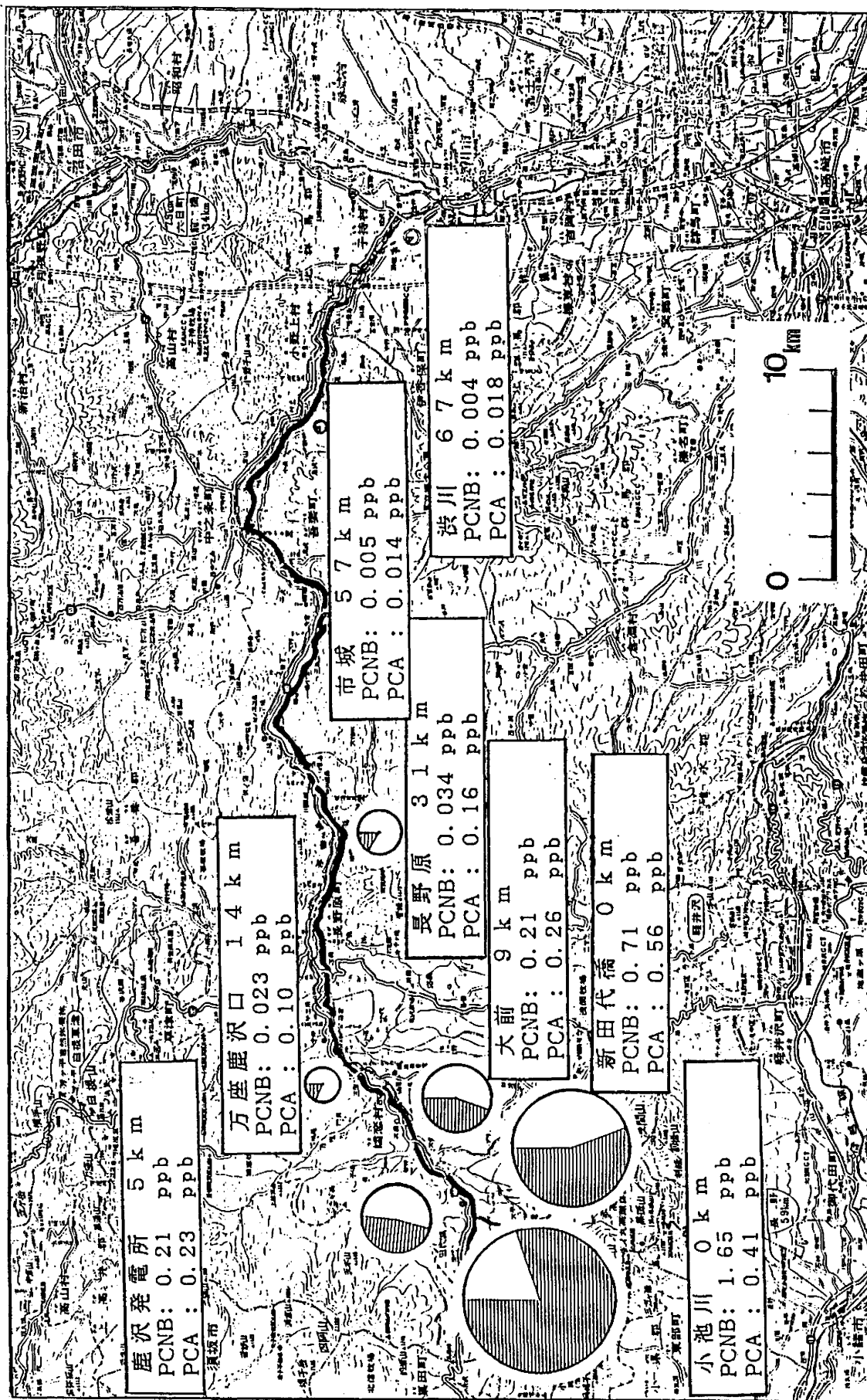


図5-3-11 吾妻川でのPCNBとPCAの存在比  
(1986年8月15日、群馬県吾妻川)



以上の事から、PCNBの減少が単に希釈によるものではなく、PCAに変化していることと、PCAの安定性が分かる。

表5-3-4 河川でのPCNB等の減衰

1986年度群馬県吾妻川

測定地点名	距離 [km]	数	PCNB			PCA		
			減衰率 [1/day]	半減期 [day]	相関	減衰率 [1/day]	半減期 [day]	相関
1 小池川	1.0	7	0.0045	155	-0.51	0.0014	506	-0.16
2 鳥居川	1.0	8	0.0062	112	-0.68	0.0015	453	-0.23
3 吾妻川新田代橋	4.5	9	0.0095	73	-0.72	0.0080	87	-0.69
4 吾妻川鹿沢発電所	5.7	5	0.0075	93	-0.79	0.0064	108	-0.70
5 吾妻川大前	9	7	0.0095	73	-0.74	0.0053	132	-0.69
6 吾妻川万座鹿沢口	14	6	0.0057	121	-0.77	0.0014	506	-0.16
7 吾妻川長野原	31	7	0.0154	45	-0.87	0.0064	108	-0.55
8 吾妻川市城	57	4	0.0121	57	-0.95	0.0015	454	-0.61
9 吾妻川渋川	67	7	0.0077	90	-0.69	-	-	-
平均			0.0087	91		0.0035	294	

## 5.4 こんにゃく単作地帯における大気汚染

### 5.4.1 趣旨

クロルピクリンは、沸点112.4℃、25℃の蒸気圧23.8mmHgと揮発性であるため、穀物種子等のくん蒸用として、また畑の土壌中のセンチュウ等の殺虫剤として広く使用されている。クロルピクリンは強い刺激性があり、20mg/m<sup>3</sup>で催涙し、2g/m<sup>3</sup>で致死する劇物で、軍用毒ガスとしても使用されてきた。揮発性のため大気を汚染し、使用者はもちろん、周辺住民にも影響を与えているのではないかと心配されるので、使用地域での実態を調査した。

### 5.4.2 調査地点と使用状況

調査地点の群馬県は、こんにゃくの代表的な産地である。この地域では土壌殺虫剤としてクロルピクリンが大量に使用されている。通常は、土壌注入機によって、30cm×30cm毎に深さ10～15cmの穴をあけ、ここに80%含有液を2～3ml注入する。使用量は10a当たり20～30ℓとなる。注入作業後、直ちにビニールシートで被覆することになっている。調査地点は、図5-4-1に示すとおり北群馬郡子持村の国道17号に沿った幅約500m長さ約2000mのコンニャク畑で、南北両端は住宅地に接している。大気試料は、農道沿いに約100m毎の地点と隣接する住宅地で採取した。さらに吾妻村の上野原地区、大柏木地区のこんにゃく畑でも調査を行った。調査時の状況は次のとおりである。

#### 【子持村】

- |       |  |
|-------|--|
| 第1回調査 | 1985年4月10日 15:30～16:30<br>天気 晴、気温15℃、南の風、風速0～2m/s、<br>2ヶ所で注入作業中、一部はすでに散布終了で被覆済み。 |
| 第2回調査 | 1985年5月8日<br>天気 晴、気温23℃、北の風、風速4～6m/s、<br>1カ所で被覆シート除去作業中。                         |
| 第3回調査 | 1986年4月26日<br>天気 晴れ。   |

#### 【吾妻村】

- |       |                                    |
|-------|------------------------------------|
| 第1回調査 | 1986年4月24日<br>天気 晴れ、南東の風、風速0～2m/s。 |
|-------|------------------------------------|

### 5.4.3 分析方法

地上1.5mの大気をバッグに採取し、以下の条件で分析した。

測定機器：GC/MASS(島津LKB-9000)

検出方法：SIM法 測定質量数 $m/z=117$

カラム：TENAX-GC 3.4mm $\phi$ ×0.5m 100℃→15℃/min→200℃

試料濃縮量：Tenax捕集管に1ℓのバック内の空気を濃縮した。

#### 5.4.4 測定結果

表5-4-1に測定結果を示す。全調査地点で1.8～140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、クロルビクリンが検出された。平均値は4月10日が56.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、5月3日は7.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。近接汚染であるため濃度は風向の影響を受け、変動が大きかった。参考のためビニールシートの下で採取した試料の値は21000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

#### 5.4.5 考察

土壌殺虫の場合は、薬を土の中へ注入し、しかも被覆するため、大気に接する表面積は小さく大気中の濃度は予想したよりは低い値であった。しかし、そのために残留性があり、1カ月以上の長期間にわたって、周辺大気が汚染されることがわかった。クロルビクリンの最高作業場濃度は7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と定められている。畑地での最高値は、この1/5程度であった。しかし、作業従事者によれば、ビニールの被覆をはがしたり、土を掘り返したりする時には、涙や咳がとまらなくなる場合があるとのことであった。

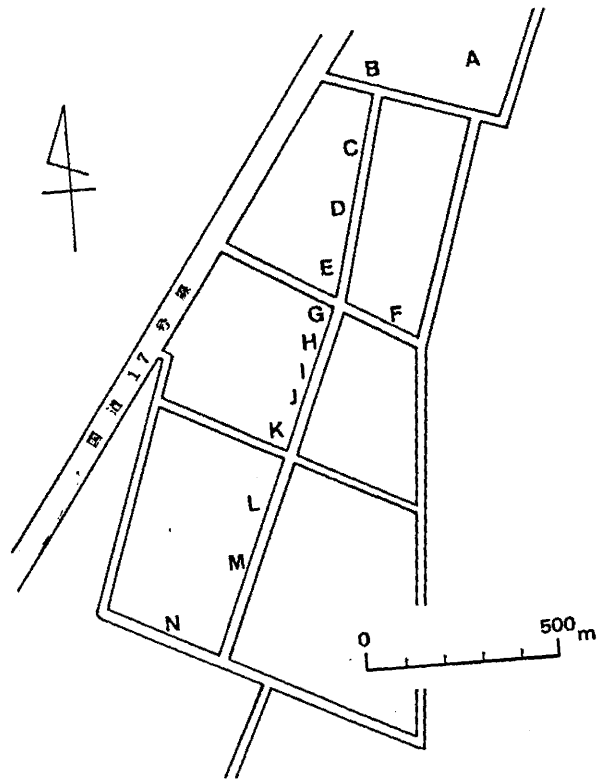


図5-4-1 大気中クロルビクリン採取地点  
(1985年4月10日、群馬県子持村)

表5-4-1 大気中クロロピクリン濃度  
(1985年4月10日、5月8日、86年4月26日調査。群馬県子持ち村)

調査地点	クロロピクリン濃度[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]			備考
	85年4月10日	5月8日	86年4月26日	
A	96	23	10.6	住宅地
B	13	4.4	26	住宅地
C	16	-	-	
D	6.8	6.1	350	
E	7.5	4.4	-	
F	-	17	-	5/8 作業中
G	53	-	120	4/10 作業中
H	11	3.9	-	
I	32	5.0	160	
J	140	14	-	4/10 作業中
K	120	2.4	-	
L	-	4.4	310	
M	-	3.9	520	
N	-	1.8	-	住宅地
平均値	56.3	7.5		

注：-印は測定していない。

表5-4-2 大気中クロロピクリン濃度

採取時刻	濃度[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	採取時刻	濃度[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
【民家】		【大柏木地区】	
9:50	38	11:55	tr
【上野原地区】		12:00	59
10:50	5	12:05	nd
10:55	24	12:20	40
10:55	31	12:22	23
11:05	140	12:24	17
13:24	690	12:26	27
13:26	190	12:30	2000
13:30	tr	12:32	1000
13:32	240		
13:35	183		
13:37	8		
13:40	36		
13:42	34		
13:49	5		
13:52	170		
13:55	tr		
13:57	38		

## 5.5 水田への空中散布による大気汚染

水田空中散布の調査では、大気汚染濃度測定のほか、飛散量、水質濃度なども測定した。調査地点は空中散布の実施で問題が起こっている処が多く、中には急性中毒と思われる被害や小中学校への農薬の飛散等も見られた。また町や農協が正確な状況を知って農薬汚染に対処しようとしている地域もある。水田における農薬の大気汚染は全国規模の現象だが、参照すべきデータが皆無なので、まず出来る限りデータの採取から始める必要があった。様々な地域で測定を行ったので、地形や気象条件が雑多で一定していないが、各地の汚染実態の把握と記載を優先することにした。

なお、この5.5節と次の5.6節に限り、図表の枝番号の百および十の位の数字は調査地域番号と一致させてある。したがって、枝番号は11から始まり、途中で欠番がある。このため、本論文の付録3に全ての図表の一覧を載せる。

## 5.5.1 秋田県十文字町

## 第1回調査

散布農薬：CVMP(20%)・フサライド(12%)剤。  
 10a当り：原液を200ml。  
 散布面積：1900ha。  
 散布日時：1988年8月11日午後5時～8時半。  
 天候：曇。  
 調査項目：大気汚染20検体、水質汚染11検体。

秋田県十文字町は町の大半が水田と云う稲作中心の町である。水田への農薬空中散布による大気汚染の調査は、同町保険課の委託研究として横手市平鹿総合病院と共同して行なった。

大気汚染の広がりを調べるために、同町を中心に四方に測定点を設けて大気中農薬濃度分布を測定した結果を表5-5-11と図5-5-11に示す。同町を中心として広い範囲で大気汚染が存在することが判った。当日、南風であったため大気濃度は、十文字町の南側では $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度と低く、北側では $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と高い結果となっている。また、東側の離れた東成瀬村で観測された $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ という値は、この時期に前後して周辺町村で散布が行なわれたことによると考えられる。

農業用水路を流れる水の農薬濃度を表5-5-12に示す。上流の地点番号(1～4)では不検出で、下流になるにつれて水田から流れ出した水によって農薬濃度が高くなっていくことが読み取れる。散布当日の水田のなかの水の濃度は $44.4 \mu\text{g}/\text{L}$ であった。

表5-5-12 農業用水路水のフサライド濃度  
 (1988年8月11日調査。秋田県十文字町)

番号	採取場所	採取時刻	水温 [℃]	フサライド濃度 [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]
1	成瀬川橋	11:40	24.5	nd
2	佐賀会	12:55	23.0	nd
3	荒田目	12:03	22.6	nd
4	植田	12:10	20.0	nd
5	二ツ橋	12:18	24.2	4.8
6	佐戸	12:20	25.8	18.8
7	沼田	15:30	23.5	8.0
8	石川原	15:45	21.5	10.4
9	能平喜水路	16:10	20.5	4.0
10	能平喜水田	(11日)	26.5	44.4
11	能平喜水路	(13日)		nd

注：nd は、不検出

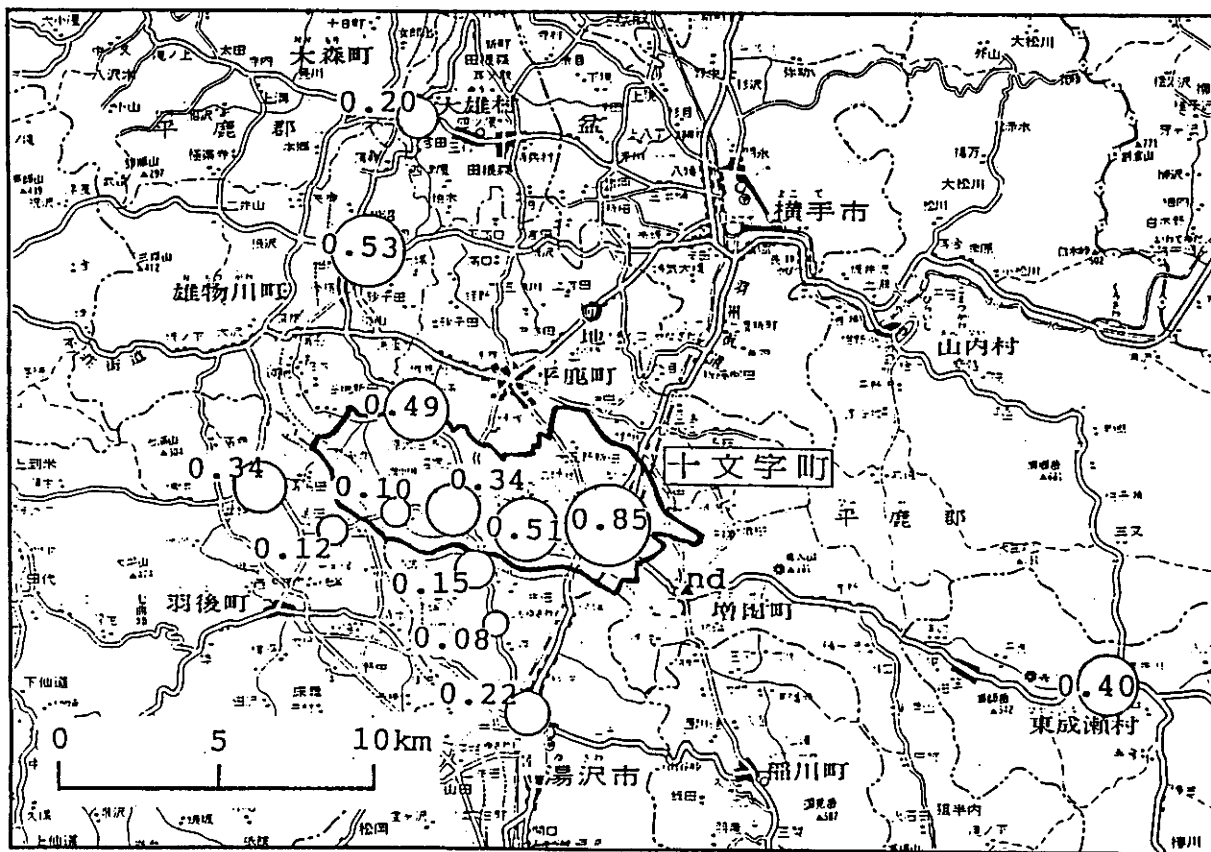


図5-5-11 大気中CVMPの濃度分布 (単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
(1988年8月11日、秋田県十文字町)

表5-5-11 大気中CVMP濃度の分布調査  
(1988年8月11日調査。秋田県十文字町)

番号	場所	時刻	気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	CVMP濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
1	皆瀬川雄平橋	11:54	26	0.34
2	湯沢市住吉神社	12:28	27	0.15
3	湯沢市森	13:05	27	0.08
4	湯沢市市街	13:50	27	0.22
5	平賀町沼田	9:54	28	0.32
6	平賀町沼田	15:30		0.49
7	平賀町高畑	10:20	27	0.53
8	大雄村	11:08	28	0.20
9	十文字町荒処	9:25	28	0.10
10	羽後町上郡	10:05	28	0.12
11	羽後町堀内	10:36	28	0.34
13	十文字町越前	8:57	散布中	0.51
14	十文字町市街地	14:12	28	0.85
15	増田町真人山	13:25	26	nd
16	東成瀬村	12:37	25	0.40
連続	十文字町能平喜	8:50	散布中	3.92
連続	十文字町能平喜	11:03	28	0.38
連続	十文字町能平喜	12:04	28	0.12
連続	十文字町能平喜	13:00	29	0.21
連続	十文字町能平喜	14:28	29	0.39

注: nd は、不検出 ( $\text{nd} < 0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )



## 第2回調査

散布農薬：フサライド(12%)・MEP(26%)ゾル剤。

10a当り：原液、200ml。

散布面積：1900ha。

散布日時：1989年8月10日、朝。

天候：夜明け前に強い雷雨があったので、散布開始時刻が予定より2時間遅くなった。散布中は曇りで、午後からよく晴れた。

調査項目：大気汚染 隣接市町の影響 34検体、  
十文字町の影響 43検体。

大気汚染の測定結果を表5-5-13と図5-5-12に示す。周辺市町村でも8月10日前後に、ラブサイドスミチオンゾルの空中散布を同様に行うので、その影響も含めて調査した。その隣接市町村の空中散布実施は表5-5-14に示す通りであった。

8月4～5日は空中散布前で殺虫剤MEP成分は不検出であった。近隣市町で空散が始まった8日から0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の低い濃度で検出され始め、北に隣接している雄物川町に散布している9日午前6時には1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の農薬が十文字町の測定地点へ流れてきている。10日に十文字町への散布が行われると、それ以降は2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の高い濃度の汚染が数日に渡って続いていた。

ここでは、農薬原液を希釈せずに散布する方法が取られている。環境問題に関して、原液微量散布と希釈液散布では、散布される有効成分の総量は換わらないが、影響は同じではない。まず、散布農薬が通行中の人や学童にかかった場合、高濃度の原液散布の法が皮膚障害や目の障害などの影響が強くなるであろう。また、希釈した方が農薬成分の揮発や分解が速くなり、残留しにくくなる。この調査で、3日後以降まで高濃度の汚染が観測された一つの原因がここにある。

散布当日に稲の茎葉と水田の水に残留している農薬の濃度を測定した。大気の連続測定を行った能平喜農村公園の正面の水田で、2時間おきに試料を採取した。その結果を表5-5-15に示す。

採取した葉茎毎の薬剤付着量の差が大きく、農薬成分の揮発による薬剤の減少の様子は認めることができなかった。また、この水田の水はかけ流しになっていたので、水田内の薬剤の散布むらによって、水田の水のMEP濃度が変動した。翌日にはMEPが下流に流出してしまったために、濃度は10分の1以下に減少している。このように空中散布の日に水田の排水口の止水をしていない田圃がたくさん見られたが、そこからは高濃度の農薬を含んだ水が流出してしまう。農薬空中散布の当日は、水田内から水を流し出さないように指導されるのが普通である。

この調査結果から、1 $\text{m}^2$ あたりの農薬有効成分(MEP)の分配を試算してみた。稲の

分けつ数や田植の密度などは推定した。

標準散布量からMEPの総量	====>	54 [mg/m <sup>2</sup> ]
稲の葉茎：茎の数	750 [本/m <sup>2</sup> ]	
総重量	1500 [g/m <sup>2</sup> ]	
平均濃度	22.9 [μg/g]====>	34 [mg/m <sup>2</sup> ]
水田の水：深さ	5 [cm]	
水量	50 [L/m <sup>2</sup> ]	
平均濃度	430 [μg/L]====>	22 [mg/m <sup>2</sup> ]

散布した農薬の約60%が稲に付着し、40%は水中に落ちて無駄になっていた。このうち、稲の葉茎や地面に付着した農薬成分の一部が大気中に揮発して農薬の大気汚染になる。

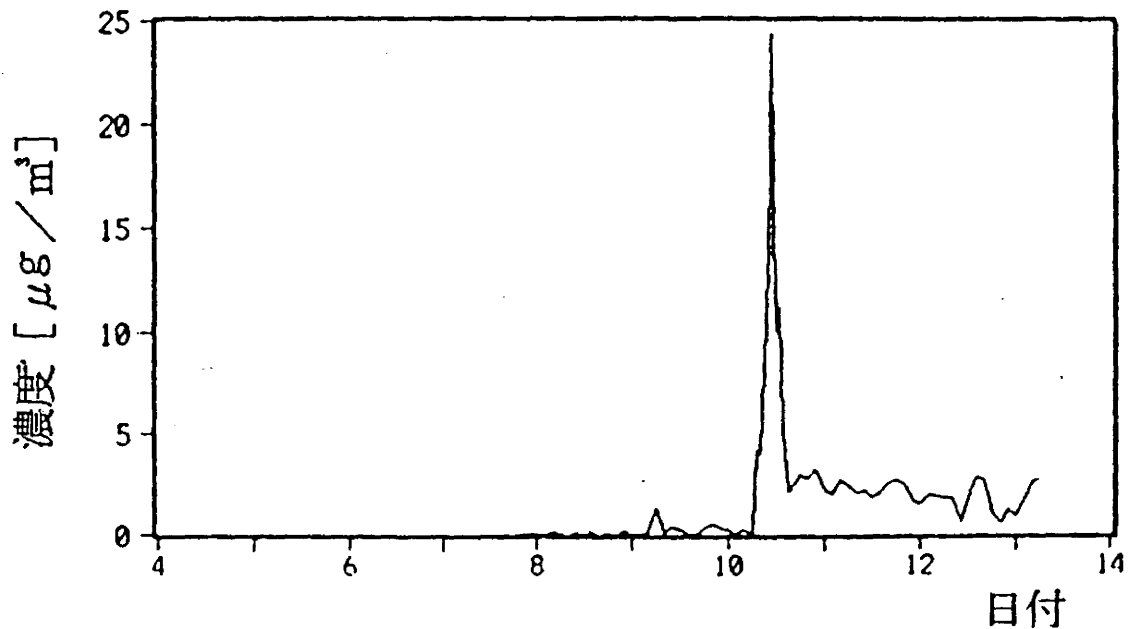


図5-5-12 空中散布前後の大気中MEP濃度変化  
(1989年8月4~13日、秋田県十文字町)

表5-5-13 大気中MEP濃度の時間変化  
(1989年8月調査。秋田県十文字町)

日付	時刻	MEP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	風向	風速 [m/s]	日射 [h]	雨量 [mm]	備考	
4	16		33.4	SE	3	0.6		湯沢市散布 (南に隣接)	
	17		33.0	E	3	0.9			
	18	nd	33.1	ESE	2	0.6			
	19		29.5	ESE	2				
	20	nd	28.4	SE	2				
	21		26.9	SE	2				
	22	nd	26.4	SE	2				
	23		25.3	ESE	3				
	5	0	nd	24.2	SE	2			
		1		23.7	ESE	4			
		2	nd	23.3	SE	2			
		3		23.0	SE	3			
		4	nd	22.7	SE	3			
		5		22.4	SE	2			
		6	nd	23.4	SSE	1	0.6		羽後町散布 (西に隣接)
		7		26.3	SE	1	0.5		
		8	nd	28.1	E	3	1.0		
		9		30.0	E	4	1.0		
		10	nd	30.8	ESE	5	1.0		
		11		31.2	E	6	0.8		
		12	nd	32.5	E	5	0.8		
		13		33.2	E	3	0.9		
		14		32.8	E	5	1.0		
7		8		27.4	ESE	6			
		9		27.9	ESE	4			
	10	nd	28.5	SE	4				
	11		28.8	SE	4				
	12	nd	28.8	SE	3				
	13		27.9	ESE	1				
	14	nd	26.3	SSE	1				
	15		27.1	SE	3				
	16	nd	27.8	SE	4				
	17		28.2	SE	2				
	18	nd	29.5	SSW	1	0.7			
	19		26.3	NNE	2				
	20	0.08	25.4	C	0				
	21		25.1	NNE	1				
	22	0.05	24.8	C	0				
	23		24.5	C	0				

(次のページに続く) 注: ndは、不検出(0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)。  
気象情報は、気象庁アメダス(横手32-596)の測定。

表5-5-13 (続き)

日付	時刻	MEP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	風向	風速 [m/s]	日射 [h]	雨量 [mm]	備考
8	0	0.08	24.5	NW	1			
	1		25.4	NNE	1			
	2	0.13	24.1	E	1			
	3		23.8	SE	1			
	4	0.17	23.7	SSE	1			
	5		23.6	C	0			
	6	0.09	24.1	C	0			平鹿町散布 (北に隣接)
	7		24.6	C	0			
	8	nd	26.0	NE	1	0.1		
	9		27.7	WSW	1	0.2		
	10	0.21	27.3	NNW	2			
	11		27.7	NNW	1			
	12	0.13	27.1	N	2			
	13		26.9	NW	2			
	14	0.22	27.8	NNW	2			
	15		28.0	NNW	2			
	16	nd	27.6	NE	3			
	17		28.0	N	3	0.4		
	18	0.08	26.3	NNE	1	0.2		
	19		25.2	NNE	1			
	20	nd	24.7	NNE	1			
	21		24.1	ESE	1			
	22	0.23	23.1	SE	1			
	23		22.6	SE	2			
9	0	0.10	22.1	SSE	1			
	1		21.6	C	0			
	2	0.10	21.2	SE	2			
	3		20.8	SE	3			
	4	0.10	20.6	SSE	1			
	5		20.8	ESE	1			
	6	1.36	21.0	SE	2			平鹿町・雄物川町散布 (北に隣接)
	7		23.2	SE	2	0.2		
	8	0.13	24.1	C	0	0.1		
	9		27.1	WNW	1	0.9		
	10	0.42	28.3	NW	1	1.0		
	11		29.8	NW	2	0.5		
	12	0.24	28.6	N	1	0.4		
	13		29.9	N	1	0.4		
	14	0.11	30.2	NW	2	0.4		
	15		29.6	NNE	3	0.2		
	16	0.08	30.1	NNE	2			
	17		28.6	NW	3			

(次のページに続く) 注: ndは、不検出 ( $0.05\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)。

気象情報は、気象庁アメダス(横手32-596)の測定。

表5-5-13 (続き)

日付	時刻	MEP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	風向	風速 [m/s]	日射 [h]	雨量 [mm]	備考
9	18		26.8	NNE	2			
	19		25.7	NNE	2			
	20	0.58	24.7	NE	1			
	21		24.1	ESE	1			
	22	0.35	23.7	SE	1			
	23		23.1	SE	3			
	10	0	0.25	22.8	SE	4		
1			22.7	SE	4			
2		0.12	22.0	WNW	2		6	
3			21.1	E	2		16	
4		0.26	21.2	SE	1		13	
5			21.1	SE	3		4	
6		0.1	21.3	SE	2			十文字町・増田町 散布開始
7		4.2	22.0	C	0	0.2		
8		4.0	23.7	SSE	1	0.1		
9		8.3	25.0	WSW	1	0.2		
10		13.5	25.9	NNW	2	0.5		散布終了
11	24.3	27.1	NW	3	0.7			
12	10.1	28.0	NW	4	0.9			
13	11.2	28.1	W	6	0.9			
14	5.1	28.2	WNW	5	1.0			
15	2.2	27.7	W	6	1.0			
16		26.8	W	6	0.8			
17	2.6	25.7	W	4	0.9			
18	3.0	24.4	NW	2	1.0			
19		22.6	N	1	0.2			
20	2.8	21.7	C	0				
21		20.4	SE	2				
22	3.3	19.8	ESE	2				
23		19.2	SE	3				
11	0	2.2	19.0	SE	2			
	1		18.5	SE	2			
	2	2.1	18.4	SE	2			
	3		18.2	SE	3			
	4	2.8	18.1	ESE	2			
	5		18.1	SE	2			
	6	2.5	18.5	SE	3			
	7		20.2	C	0	0.4		
	8	2.0	22.6	SSW	1	0.4		
	9		24.4	N	1	0.8		
	10	2.2	26.3	NNW	2	0.9		
11		27.0	NNW	1	0.8			

(次のページに続く) 注: ndは、不検出 ( $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)。

気象情報は、気象庁アメダス(横手32-596)の測定。

表5-5-13 (続き)

日付	時刻	MEP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	風向	風速 [m/s]	日射 [h]	雨量 [mm]	備考	
11	12	1.8	27.5	WNW	1	0.7			
	13		28.6	NW	2	0.4			
	14	2.1	27.0	NNW	2				
	15		26.6	NW	3				
	16	2.6	26.3	NNW	2				
	17		25.4	NNW	2				
	18	2.8	24.3	NNE	1				
	19		23.4	C	0				
	20	2.5	22.2	SE	2				
	21		21.6	SE	2				
	22	1.7	21.1	SE	3				
	23		20.8	SE	2				
	12	0	1.6	20.7	ESE	1			
		1		20.7	SE	2			
		2	2.0	20.0	ESE	1			
		3		19.7	SE	2			
		4	1.9	19.3	SE	3			
5			19.2	SSE	2				
6		1.9	19.4	SE	1				
7			21.5	SE	3	0.6			
8		1.9	23.9	WSW	1	1.0			
9			25.4	NW	1	1.0			
10		0.6	27.4	NW	1	1.0			
11			29.5	NW	2	1.0			
12		1.8	30.7	W	2	1.0			
13			31.6	SW	2	1.0			
14		2.8	32.3	SW	3	1.0			
15			31.9	W	2	0.1			
16		2.8	31.5	NW	2	0.7			
17		29.5	NNW	2					
18	1.0	28.8	NE	1	0.1				
19		27.0	SE	2					
20	0.6	25.5	SE	3					
21		24.6	SE	4					
22	1.3	24.0	SE	3					
23		23.7	SE	4					
13	0	1.0	23.5	SE	3				
	1		25.5	ENE	1				
	2	1.6	23.3	SE	3				
	3		22.8	ENE	1				
	4	2.6	22.8	ESE	2				
	5		23.3	SE	3				
	6	2.8	24.0	ESE	2			測定終了	
	7		23.8	N	1				
	8		26.6	SE	1				

(終わり)

注: ndは、不検出 ( $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)。

気象情報は、気象庁アメダス(横手32-596)の測定。

表5-5-14 十文字町付近の市町村のフサライド空中散布  
(1989年度第二回散布)

市町村	散布日	散布面積	散布量	位置
湯沢市	8月4日	943 ha	1886 Q	南側に隣接
羽後町	8月5日	2035	4070	西側に隣接
平鹿町	8月8-9日	3400	6800	北側に隣接
雄物川町	8月9日	1180	2360	北側に隣接
十文字町	8月10日	1900	3800	
増田町	8月10日	780	1560	南東に隣接

表5-5-15 農薬残留濃度  
(1989年8月10日調査。秋田県十文字町)

時刻	稲の葉茎		水田の水
	フサライド [μg/g]	MEP [μg/g]	MEP [μg/Q]
800	9.3	14	300
1000	8.6	15	430
1200	8.8	18	600
1400	9.8	20	220
1600	19.5	35	-
1800	21.2	35	600
翌朝0900	10.5	29	25
当日の平均	12.9	23	430

## 第3回調査

散布農薬：フサライド(20%)水和剤。  
 10a当り：原液、120ml。  
 散布面積：1900ha。  
 散布日時：1989年8月22日早朝。  
 天候：晴れ、昼過ぎに強いにわか雨。  
 調査項目：大気汚染 8検体。

8月22日の散布終了後から、十文字町内の7ヶ所の水田で採取した稲の葉茎、水田の水、周辺大気についての分析結果を表5-5-16に示す。それぞれの場所で、散布むらによる測定値の大きな差がみられた。採取地点の1から3については、昼過ぎの強い雷雨の前後で採取を行った。水田の水のMEP濃度は雷雨で薄められたことがわかる。葉茎の付着量は、高濃度のものは雨で流されているが、低濃度のものはあまり変化していない。

表5-5-16 フサライド汚染濃度  
 (1989年8月22日調査。秋田県十文字町)

採取地点	時刻	気温 [°C]	稲の葉茎 [µg/g]	水田の水 [µg/l]	周囲の空気 [µg/m³]
1	10:00	30	20.4	426	0.33
1	14:28	30	11.7	277	0.39
2	10:30	34	3.1	91	0.11
2	14:55	30	5.8	51	0.22
3	10:45	33	2.3	39	0.28
3	15:13	28	2.8	20	-
4	11:08	33	4.6	28	0.37
5	11:27	32	24.7	50	0.53
6	11:45	30	15.2	46	0.58
7	12:11	27	5.8	58	-
平均		31	9.6	109	0.35

## 第4回調査

散布農薬：第2回調査と同一。  
 散布日時：1990年8月9日午前4時半～9時半。  
 天候：晴れ。  
 調査項目：大気汚染 自動大気採取装置(2カ所) 74検体。

水田からおよそ1km離れた市街地内の町役場と散布水田に隣接した農平喜農村公園(第2回調査と同一地点)の2カ所に自動大気採取装置を設置した。測定結果を表5-5-17と図5-5-13に示す。

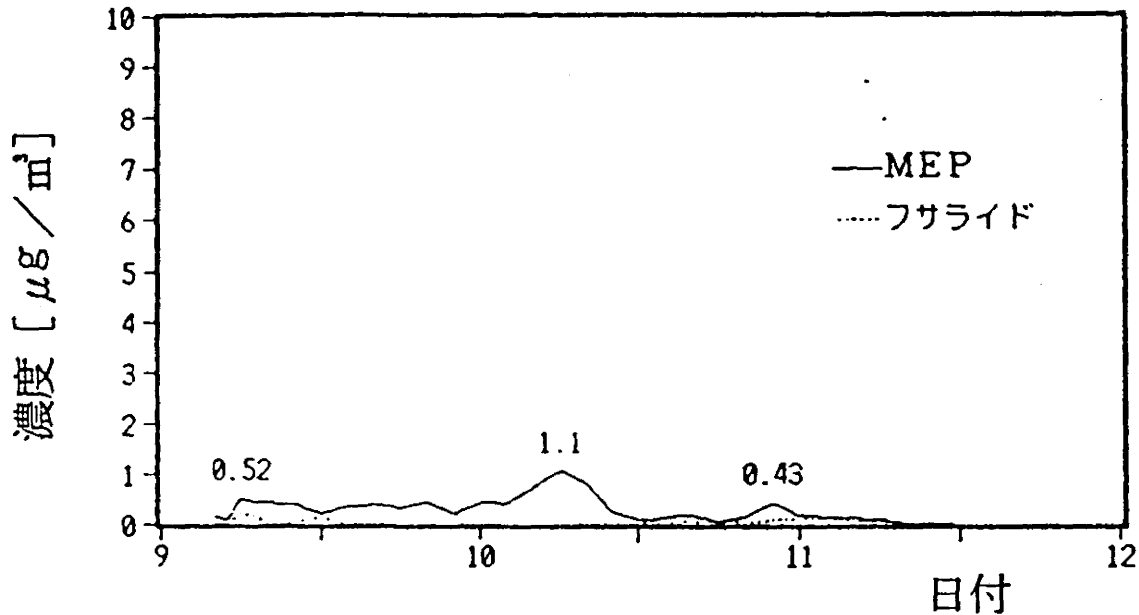
農村公園では散布当日の夜にMEPが最高濃度9.5µg/m³になった。濃度は大きく乱



高下しているが、翌10日の昼過ぎからは、徐々に減少しているようである。フサライドは、散布時には $3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、当日の昼過ぎの値が $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

一方、水田から1km離れた市街地にある町役場では、農村公園のおよそ $1/10$ 程度のレベルで濃度が推移した。遠くの汚染元からの農薬は平均化するために濃度が刻々の気象状況で乱高下することもなかった。

### 町役場



### 農村公園

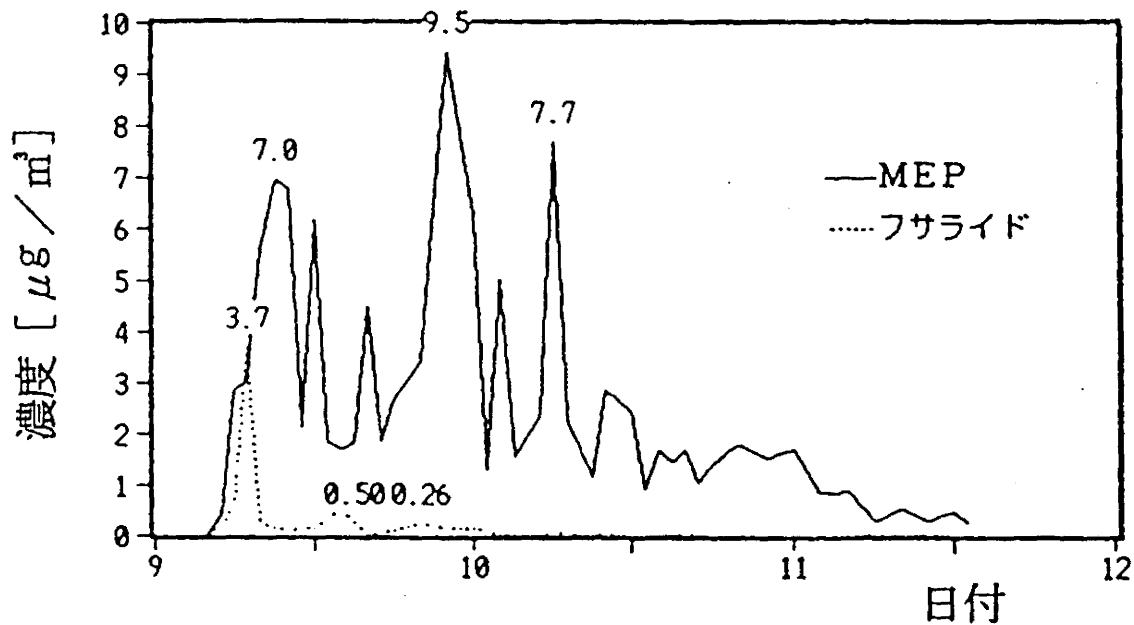


図5-5-13 大気中農薬 (MEP、フサライド) の濃度変化  
(1990年8月9~11日、秋田県十文字町)

表5-5-17 大気中フサライド濃度の時間変化と気象データ  
(1990年8月9日調査。秋田県十文字町)

日付時刻	アメダス湯沢(32-691)					能平喜		町役場		
	風向	風速 [m/s]	気温 [°C]	日射 [h]	降水 [mm]	MEP [μg/μ³]	フサライ [μg/μ³]	MEP [μg/μ³]	フサライド [μg/μ³]	
9	4	S	2	17.2	0	0	0.09	0.029	0.15	0.004
	5	S	2	17.2	0	0	0.42	0.196	0.10	0.025
6	S	2	17.8	0	0	2.85	0.585	0.52	0.220	
7	S	1	19.4	0.4	0	3.06	3.696	0.43	0.169	
8	C	0	22.5	1.0	0	5.59	0.241	0.43	0.035	
9	WNW	1	25.3	0.9	0	6.96	0.150	0.41	0.037	
10	SE	3	28	0.4	0	6.78	0.124	0.40	0.056	
11	ESE	4	27.7	0.9	0	2.11				
12	ESE	5	27.5	0.8	0	6.19	0.151	0.20	0.133	
13	ESE	3	27.2	0.4	0	1.84				
14	ESE	4	27	0.7	0	1.68	0.499	0.36	0.038	
15	SE	4	27.2	0.8	0	1.81				
16	ESE	4	27.1	1.0	0	4.50	0.049	0.40	0.041	
17	ESE	3	27	0.9	0	1.84				
18	ESE	4	25.9	0.3	0	2.71	0.096	0.35	0.004	
19	SE	2	25.1	0	0					
20	SSE	2	24.5	0	0	3.40	0.259	0.43	0.022	
21	C	0	23.6	0	0					
22	C	0	22.5	0	0	9.45	0.134	0.22	0.014	
23	ESE	1	22.8	0	0					
10	0	W	1	22.7	0	0	6.26	0.153	0.45	0.025
	1	SE	1	23.8	0	0	1.30			
2	ESE	2	25.5	0	0	5.02	0.049	0.42	0.016	
3	SSE	1	24.9	0	0	1.54				
4	SSW	2	24.8	0	0		0.019	0.75	0.004	
5	SE	2	25	0	1	2.34				
6	SE	2	24.8	0	0	7.71	0.080	1.06	0.002	
7	SE	3	25.6	0	0	2.25				
8	SSE	3	26.6	0	1	1.69	0.044	0.82	0.050	
9	ESE	4	27.3	0	0	1.15				
10	SE	3	27.7	0	0	2.86	0.056	0.26	0.042	
11	ESE	5	29.1	0	0					

(次のページに続く)

表5-5-17 (続き)

日付時刻	アメダス湯沢(32-691)						能平喜		町役場	
	風向	風速 [m/s]	気温 [°C]	日射 [h]	降水 [mm]	MEP [μg/m <sup>3</sup> ]	フサライ [μg/m <sup>3</sup> ]	MEP [μg/m <sup>3</sup> ]	フサライド [μg/m <sup>3</sup> ]	
10	12	ESE	4	28.5	0.1	0	2.43	0.002	0.10	0.034
	13	ESE	5	28	0	0	0.93			
	14	SSE	3	27.2	0	0	1.69	0.028	0.14	0.039
	15	SE	3	26.7	0	0	1.43			
	16	E	2	25.2	0	1	1.69	0.081	0.20	0.084
	17	NNE	1	24.5	0	2	1.03			
	11	18	WNW	1	24	0	1	1.36	0.006	0.09
19		NNW	2	23.9	0	0				
20		C	0	23.5	0	0	1.79		0.14	0.046
21		NE	1	23.6	0	0				
22		NNW	1	23.6	0	2	1.52	0.006	0.43	0.098
23		W	1	23.9	0	1				
0		S	2	23.6	0	6	1.71		0.17	0.117
1	SE	1	23.6	0	0					
2	C	0	23.8	0	0	0.84	0.005	0.17	0.130	
3	W	1	24.7	0	0					
4	SSE	1	23.7	0	0	0.90		0.15	0.080	
5	S	2	23.7	0	0					
6	S	2	24.2	0	0	0.30	0.028	0.11	0.089	
7	SSW	4	26.1	0.2	0					
8	SW	2	28.4	0.9	0	0.54		0.05	0.039	
9	WSW	3	29.9	0.8	0					
10	WSW	2	30.5	0.2	0	0.31	0.025			
11	SW	2	31.1	0.9	0					
12	SW	2	30.9	0.8	0	0.48				
13	WSW	2	31.5	0.6	0					
14	W	3	31.1	0.9	0					
15	W	2	30.6	0.6	0					
16	SW	2	30.5	0.3	0					
17	SW	2	29.7	0	0					
18	C	0	28.5	0	0					
19	C	0	26.9	0	0					
20	C	0	26	0	0					
21	WNW	1	25.5	0	0					
22	C	0	24.8	0	4					
23	SSW	4	22.5	0	34					
24	S	2	22.6	0	15					

## 5. 5. 2 宮城県仙台市

## 第1回調査

散布農薬：フサライド(20%)水和剤。  
 10a当り：原液、130~300ml。  
 散布面積：2700ha。  
 散布日時：1988年7月15、17日。  
 天候：15日小雨、17日曇のち小雨。  
 調査項目：飛散量8地点。

仙台市の海寄りにある六郷、七郷地区の広大な水田の一部で試料を採取した。飛散量は仙台東高校校庭で320 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 、藤田にある住居で3100 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ であった。

## 第2回調査

散布農薬：フサライド(15%)カスガマイシン(1.2%)水和剤。  
 10a当り：原液、130~300ml。  
 散布面積：約2500ha。  
 散布日時：1989年7月14日午前5時15分~9時。  
 天候：晴れ。  
 調査項目：大気汚染 16検体、水質汚染 8検体、  
 飛散量 58検体。

大気汚染は、1日4回4カ所で採取した。結果を表5-5-21に示す。散布直後のフサライド濃度が、グリーンパークで1.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ になったものの他は概ね低い濃度で午前中で0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満、午後には0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満であった。

飛散量の測定結果を表5-5-22に示す。この結果から、空中散布農薬の飛散した方向が分かり、健康アンケート調査(彦坂ら(1990))で風上風下の健康被害の差が有意であることが報告された。水質汚染の測定結果を表5-5-23に示す。岡田小学校のプールが460 $\mu\text{g}/\text{L}$ などのように汚染されていた。

表5-5-21 大気中フサライド濃度  
 (1989年7月14日調査。宮城県仙台市)

記号	測定点	散布中、直後		午前中		午後		夕方	
		時刻	濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	時刻	濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	時刻	濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	時刻	濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
イ	水田内	5:45	0.38	10:00	0.48	15:15	0.02	18:56	0.02
ロ	グリーンパーク	6:15	1.37	10:11	0.10	15:36	0.04	19:14	0.05
ハ	県営住宅	7:17	0.06	10:25	0.02	15:51	nd	19:28	0.06
ニ	市営住宅	7:34	0.30	11:12	0.03	15:25	0.03	19:05	0.06
気温		20.0℃		30.0℃		30.0℃		26.5℃	
風向		無風		南東の風		東の風		南東の風	
天候		曇		晴		晴		晴	

注：ndは不検出(0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)である。

表5-5-22 農薬飛散量調査結果  
(1989年7月14日調査。宮城県仙台市)

番号	地区名	採取地点	水田からの 距離[m]	フサライド飛散量 [μg/㎡]
1	岩切	鶴ヶ谷東	400	80
2		燕沢	500	230
3		県営駐車場	50	1000
4		県営住宅	150	350
5		県営住宅	150	390
6		県営住宅	200	340
7		学校畑	50	15000
8		水分(七北田川)	200	260
9		水分(七北田川)	400	1000
10		畑中北(七北田川)	500	190
11		水分	0	950
12		水分	80	1000
13		水分	200	140
14		中	50	2300
15		からはし小児科	10	210
16		岩切病院1階	500	860
17		岩切病院2階	500	710
18		岩切小学校正門	150	310
19		三所北田んぼ	300	160
20	上田子	鴻巣住宅地(近)	80	3100
21		鴻巣住宅地(中)	200	1200
22		鴻巣住宅地(遠)	400	950
23		余目住宅地(近)	50	620
24		余目住宅地(中)	200	850
25		余目住宅地(遠)	400	440
26		鳥井住宅地(近)	100	1200
27		鳥井住宅地(中)	200	910
28		鳥井住宅地(遠)	400	1800
29		アパート前	700	250
30		学校通学路	800	280
31		山王小学校プール脇	1300	70
32		住宅地	100	16000
33		住宅地	300	2400
34	田子南	福田町第二市営住宅	150	160
35		上田子幼稚園	300	190
36		サイクルロードB	500	160
37		散布水田内	0	2800
38		田子小学校3	50	270
39		田子小学校2	200	320
40		(欠番)		

(次のページへ続く)

表5-5-22 (続き)

番号	地区名	採取地点	水田からの 距離[m]	フサライド飛散量 [μg/m <sup>2</sup> ]
41	田子	田子小学校1	200	310
42		サイクルロードA	400	200
43		田子小学校プール	200	210
44		住宅地	200	110
45		散布水田内	0	36000
46	七福	福田町第一市営住宅	100	280
47		福田町第一市営住宅	200	150
48		福田町第一市営住宅	500	67
49		福田町第一市営住宅	100	200
50		福田町第一市営住宅	300	130
51		福田町第一市営住宅	400	150
52		高砂小学校校庭	400	94
53		高砂小学校プール	450	190
54		清掃工場1	100	94
55		清掃工場2	200	80
56		岡田明神	100	540
57		岡田小学校校庭	150	1000
58		岡田小学校プール	150	700
59		岡田堀切	0	2200

(終わり)

表5-5-23 フサライドの水質汚染濃度  
(1989年7月14日調査。宮城県仙台市)

記号	採水地点	フサライド濃度 [μg/L]
A	岩切小学校 プール	nd
B	岩切小学校裏 用水路	15
C	新田 山王小学校 プール	nd
D	田子小学校 プール脇の水	0.9
E	高砂小学校 プール	nd
F	岡田小学校 プール	460
G	上田子 住宅地の溜り水	1.7
H	金魚が死んだ池の水(翌日採水)	8.7

注: ndは、不検出(0.5 μg/L以下)

## 第3回調査

散布農薬：第2回調査と同一。

10a当り：原液、120～240 ml。

散布日時：1990年7月17,18日早朝。

天候：7月17日午前中雨、午後晴れ。

18日薄曇り（ときどき晴れ）。

調査項目：大気汚染 自動大気採取装置3地点 93検体、

水質汚染 14検体、

飛散量 34検体。

参考調査：宮城県遠田郡小牛田町（7月12,29日散布）、

志田郡鹿島台町（7月18日散布）、

岩沼市（7月22日散布）。

水質汚染8検体、飛散量16検体。

この調査では、7月17日の散布作業中に突然の大雨となって農薬散布が中断し、翌日に再散布することになった。大気汚染は、自動大気採取装置を3台設置した。調査結果を表5-5-24に示す。大気中フサライド濃度の最高値は、田子（南）で $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、田子（北）で $2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、岡田で $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、いずれの地点でも散布中に観測されている。散布終了後は、田子地区の2地点では不検出が続いたが、岡田地区では $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後の濃度が継続した。

水質汚染の結果を表5-5-25に、飛散量の結果を表5-5-26と表5-5-27に示す。

表5-5-24 周辺民家での大気中フサライド濃度の時間変化  
(1990年7月17日調査。宮城県仙台市)

日付	時刻	気象庁アメダス (仙台)		大気中濃度の時間変化				
		風向	風速 [m/s]	気温 [℃]	田子 (南) [μg/m <sup>3</sup> ]	田子 (北) [μg/m <sup>3</sup> ]	岡田 [μg/m <sup>3</sup> ]	
17	4	ENE	3	22.1	nd	nd	nd	
	5	SE	1	21.9	nd	nd	0.32	
	6	SW	1	22.1	nd	2.64	0.34	
	7	C	0	22.0	nd	nd	0.10	
	8	SSW	2	22.7	nd	nd	2.08	
	10	S	2	28.7	nd	nd	0.28	
	12	SSE	4	28.1	nd	nd	nd	
	14	NNW	3	32.3	nd	nd	nd	
	16	WNW	3	32.0	nd	nd	nd	
	18	WNW	5	30.7	nd	nd	nd	
	20	W	3	29.3	0.12	nd	0.05	
	22	NNE	1	27.2	0.10	nd	-	
	18	0	C	0	25.2	0.05	nd	0.08
		2	NNW	3	24.6	nd	nd	0.02
4		S	1	23.6	nd	0.03	0.06	
5		C	0	24.0	0.36	0.04	0.45	
6		N	1	24.8	0.76	0.58	0.51	
7		ENE	1	26.2	-	0.42	1.81	
8		SSE	3	27.6	1.88	0.24	2.36	
9		SE	3	27.1	-	nd	3.27	
10		SSE	5	26.1	1.85	nd	0.53	
12		S	2	29.2	0.99	nd	0.17	
14		SSE	5	30.0	0.09	nd	0.03	
16		S	6	29.8	nd	nd	0.01	
18		WSW	1	30.8	nd	nd	0.04	
20		NE	2	28.0	nd	nd	0.05	
22	SSE	2	26.7	nd	nd	0.01		
19	0	S	4	25.7	nd	nd	0.05	
	2	SSW	2	25.6	nd	nd	0.02	
	4	SW	3	26.1	nd	nd	0.02	
	6	SSW	4	27.1	nd	nd	0.03	
	8	SSW	4	30.9	nd	0.12	0.09	
	最高値					1.88	2.65	3.27

注：ndは不検出（0.01 μg/m<sup>3</sup>以下）



表5-5-25 空中散布農薬の水質汚染濃度  
(1990年7月調査。宮城県仙台市等)

【散布日	調査地域】 採水地点	汚染濃度 [μg/l]
【7月17日 仙台市北部地区（散布地の周辺）】		
	田子小学校	nd
	岡田小学校	nd
	高砂小学校	nd
	山王小学校	nd
	岩切小学校	nd
	新田小学校	1.9
	GP	2.4
	民家の池	0.6
【7月17日 仙台市北部地区（田子地区の散布水田）】		
	17日 7:00	340.9
	8:30	351.2
	10:15	239.7
	14:00	210.7
	16:05	181.8
	18:20	111.6
【7月12日 子牛田町】		
	第一小学校	1.3
	第二小学校	9.6
	小牛田小学校	49.1
	北浦小学校	nd
【7月22日 岩沼市】		
	小川	155.0
	下野郷分校	7.4
【7月29日 子牛田町】		
	青生小学校	4.1
	ザリガニの沢	nd

表5-5-26 フサライド飛散量  
(1990年7月18日調査。宮城県仙台市)

番号	採取地点名	飛散量 [μg/m <sup>2</sup> ]
1	岩切地区	5600
2	〃	400
3	鶴ヶ谷 東団地	5000
4	燕沢東	890
5	岩切小学校	60
6	田子地区	3000
7	〃	2100
8	〃	3500
9	〃	2500
10	〃	9100
11	〃 上田子幼稚園	1100
12	〃 二木神社	680
13	〃	570
14	〃 田子小学校	980
15	〃	9000
16	〃	2800
17	〃	2100
18	〃	11000
19	〃	26000
20	〃 水田	9200
21	〃 水田	11000
22	〃 水田	4000
23	福住町 東部自動車学校	150
24	〃	2200
25	(欠番)	-
26	新田地区	1200
27	〃 山王小学校	320
28	〃	680
29	館町地区	2500
30	〃 新田小学校	840
31	〃	280
32	〃	140
33	岡田 岡田小学校	4900
34	〃	5800
35	〃	130000

表5-5-27 フサライド飛散量  
(1990年7月調査。宮城県各所)

採取月日 番号	採取地域名 採取地点	飛散量 [μg/㎡]
7月12日	小牛田町	
1	小牛田小学校	8000
2	北浦小学校	4800
3	水田から100m	580
4	水田から200m	200
5	水田から400m	150
6		260
7月18日	鹿島台町	
1	みちのく路	1100
2	竹谷 民家	1100
3	大沢 鹿島台商業高校	1400
4	第一鹿島台小学校	2800
5	福芦 水田内	6700
7月22日	岩沼市	
1	下野	81
7月29日	子牛田町	
1	染川宅	4400
2	佐々木宅	13000
3	青生小学校プールサイド	450
4	沼下宅	nd

## 5. 5. 3 山形県白鷹町

## 第1回調査

散布農薬：BPMC(40%)、EDDP(30%)乳剤、MPP(50%)乳剤。

10a当り：30倍希釈液を3.5ℓ。

散布面積：870ha。

散布日時：1988年8月15日午前4時半～9時半。

天候：晴。

調査項目：飛散量 20地点、  
 大気汚染 定点24回、分布17地点、  
 水質汚染 7検体。

有機農業を営んでいる畑や養蚕農家、桑畑などを中心に広範囲にわたる飛散調査の結果を表5-5-31に示す。ここでも無農薬で栽培をしてきた畑に周囲の水田への散布した農薬が飛散していることが判る。

大気汚染の定点測定は鮎貝町の住宅地中に行なった。その結果を表5-5-32に示す。BPMC濃度は図5-5-31で判るように散布中に最高3.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったが、散布後一度減少する。再び上昇した時の最高値は11時～12時の1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。大気中濃度の分布調査の結果を表5-5-33に示し、分布図を図5-5-32に示す。散布中のヘリコプターから100mほど離れた地点では、大気中BPMC濃度が1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に上昇した。揮発性の大きなBPMCの濃度は、揮発性が中程度のMPPの10倍以上高くなっている。

表5-5-31 散布周辺への農薬飛散量  
(1988年8月15日調査。山形県白鷹町)

番号	調査地点	BPMC [μg/m <sup>2</sup> ]	MPP [μg/m <sup>2</sup> ]	EDDP [μg/m <sup>2</sup> ]
1	山下・あゆ茶屋	32000	26000	24000
2	十王公民館	23000	17000	21000
3	東根保育園	2600	1800	2800
4	畔藤	35000	31000	28000
5	横田尻(無農薬畑)	9500	3100	8400
7	蚕桑保育園	1800	530	1800
8	蚕桑小学校	1100	600	nd
9	鮎貝新町(蚕小屋)	1700	2300	1700
10	神明アパート	1800	650	2000
11	古屋敷(桑畑)	nd	nd	nd
12	深町(水源の川)	nd	nd	nd
13	どう町(無農薬畑)	8300	2900	9300
14	鮎貝新町(無農薬畑)	17000	18000	14000
15	中山(蚕小屋)	nd	nd	nd
16	滝野小学校	nd	nd	nd
17	萩野南(たばこ畑)	48000	36000	37000
18	萩野(無農薬畑)	nd	nd	nd
19	浅立郵便局	nd	nd	nd
20	広野大野(桑畑)	nd	nd	nd
水田内標準散布量		47000	58000	35000
注: ndは不検出。		<1000	<500	<1000

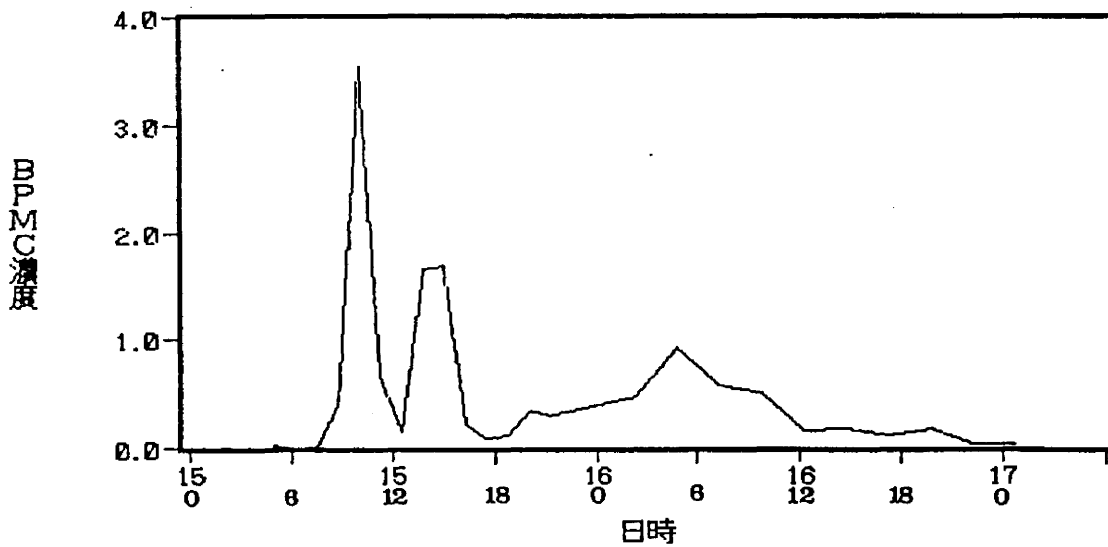


図5-5-31 大気中BPMP濃度の時間変化 (単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
(1988年8月15日、山形県白鷹町)

表5-5-32 大気中BPMP濃度の時間変化  
(1988年8月15～16日調査。山形県白鷹町鮎貝住宅地内)

日付	時刻	気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	BPMP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	備考
15	04:00	25	nd	散布前
	05:00	24	nd	
	06:00	24	nd	
15	07:00	25	0.40	散布
	08:00	27	3.5	
	09:00	28	0.67	
	10:00	29	0.14	
	11:00	30	1.7	
	12:00	29	1.7	
	13:00	30	0.22	
	14:00	31	0.09	
	15:00	29	0.12	
	16:00	29	0.34	
	17:00	28	0.29	
	21:00	25	0.47	
	23:00	24	0.91	
16	01:00	23	0.57	
	03:00	22	0.50	
	05:00	21	0.16	
	07:00	24	0.18	
	09:00	26	0.12	
	11:00	29	0.17	
	13:00	30	0.04	
15:00	28	0.04		

注: ndは不検出 ( $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)。

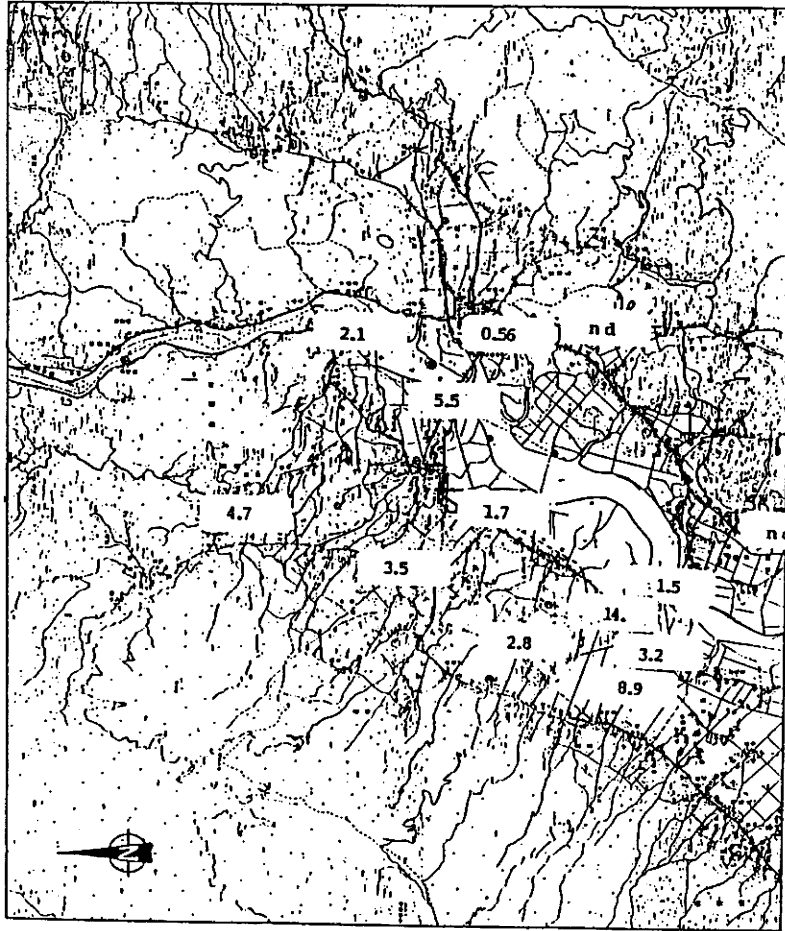


図5-5-32 大気中BPMCの濃度分布(単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
(1988年8月15日、山形県白鷹町)

表5-5-33 大気中農薬の濃度分布  
(1988年8月15日調査。山形県白鷹町)

調査地点	採取時刻	BPMC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	MPP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
陸橋	05:45-05:59	0.78	0.10
陸橋	06:04-06:13	1.5	0.20
東高玉	06:20-06:26	1.4	1.1
鮎貝駅	06:32-06:38	1.7	nd
荒砥橋	07:32-07:38	5.5	1.5
高玉	08:15-08:30	8.9	0.37
蚕桑小学校	08:38-08:41	2.8	nd
浄水場	09:24-09:36	2.1	nd
深山	09:54-10:00	4.7	0.29
新地公民館	10:00-10:21	3.5	0.06
蚕桑小学校	10:26-10:37	2.3	nd
高玉	10:51-10:59	7.0	0.71
町役場	12:30-12:53	0.56	nd
畔藤	13:52-14:03	nd	nd
浅立郵便局	14:21-14:40	nd	nd
権現堂公民館	14:50-15:14	3.2	nd
蚕桑小学校	15:19-15:30	1.0	nd

注: ndは不検出。nd<0.5      nd<0.05

## 第2回調査

散布農薬：BPMC(40%)・EDDP(30%)乳剤、  
MPP(50%)乳剤。  
10a当り：30倍希釈液を3.5ℓ。  
散布面積：870ha。  
散布日時：1989年8月14日午前4時半～9時半。  
天候：晴れ。  
調査項目：大気汚染 8検体、水質汚染 11検体、  
飛散量 40検体。

大気汚染の測定結果を表5-5-34に示す。第1回調査と同様に、大気中のBPMCの濃度は、MPPの10倍程度高くなっている。水質汚染の測定結果を表5-5-35に示す。小中学校のプールのすぐ際にある水田にも空中散布されるため、農薬がプールから検出されている。飛散量の測定結果を表5-5-36に示す。

表5-5-34 大気中農薬濃度の分布調査  
(1989年8月14日調査。山形県白鷹町)

採取地点	試料採取時間	BPMC [μg/㎡]	MPP [μg/㎡]
蚕桑小学校	7:36- 7:48	1.4	0.14
浅立	8:05- 8:26	1.0	0.09
東高玉	6:40- 6:52	1.9	0.30
広野	8:41- 9:19	1.7	0.15
病院	9:27- 9:45	0.34	nd
東根小学校	10:27-10:44	0.20	nd
深山	11:05-11:27	0.59	nd
神明アパート	12:20-12:36	0.24	nd

注：ndは、不検出(0.05μg/㎡以下)。

表5-5-35 水質農薬汚染濃度  
(1989年8月14日調査。山形県白鷹町)

番号	採水地点	水田からの距離 [m]	BPMC [μg/ℓ]	MPP [μg/ℓ]
1	蚕桑小学校プール	50	nd	0.4
2	東根小学校プール	10	nd	0.7
3	あゆ茶屋たまり水	10	nd	nd
4	滝野小学校プール	10	1.4	nd
5	十王小学校プール	4	nd	nd
6	中山小学校プール		nd	nd
7	実淵川(深山観音付近)	10	1.9	1.5
8	高岡(水道)		nd	nd
9	西田尻の池	10	nd	nd
10	浄水場取水口(高岡)	10	1.0	5.9
11	養魚場(西田尻)		nd	nd

注：ndは、不検出(0.2μg/ℓ以下)である。



表5-5-36 農薬の飛散量  
(1989年8月14日調査。山形県白鷹町)

番号	調査地点	水田からの距離 [m]	BPMC [μg/㎡]	MPP [μg/㎡]
1	黒鴨	100	nd	nd
2	深山観音	3	27000	10000
3	火葬場近く(無農薬田)	40	9800	3600
4	高岡	3	5500	1300
5	箕和田	20	76	82
6	住宅(新町)	30	470	110
7	住宅(桐町)	70	230	56
8	大町東	50	130	110
9	神明アパート	50	210	68
10	深山集団桑園	10	53	10
11	山口姫城	20	150	51
12	山口新地	50	130	20
13	山口沖	30	930	1300
14	佐野	20	81	nd
15	池之端	30	1200	3000
16	ヘリポート付近	10	7300	11000
17	蚕桑小学校	10	670	280
18	蚕桑小学校南50m	60	190	74
19	蚕桑小学校南100m	160	150	70
20	こぐわ保育園	20	58	nd
21	東田尻	100	nd	nd
22	門前	300	20	nd
23	薬師堂	50	96	89
24	蚕桑駅	30	370	54
25	権現堂	100	93	240
26	円福寺	30	35	nd
27	中山中田		180	370
28	滝野小学校	4	190	nd
29	折居	3	400	250
30	十王小学校	4	95	nd
31	十王地区公民館付近県道	2	490	290
32	畔藤農免道路	100	350	130
33	東根小学校	10	1700	230
34	ひがしね保育園	10	470	180
35	広野	5	4700	550
36	大野	50	500	170
37	小坂	10	6600	10000
38	浅立高野	10	600	580
39	菖蒲山際	10	120	nd
40	あゆ茶屋	10	170	nd

注: ndは不検出(20μg/㎡以下)

## 第3回調査

散布農薬：第2回調査と同一。

散布面積：856.3ha。

散布日時：1990年8月14日午前4時半～9時半。

天候：晴れ。

調査項目：大気汚染 自動大気採取装置（2地点） 50検体、

水質汚染 8検体、

飛散量 26検体。

大気汚染は、自動大気採取装置を設置した2地点の他に、殺虫剤の影響が心配される養蚕の屋内でも測定した。その結果を表5-5-37に示す。揮発性の大きいBPMCは、散布直後に鮎貝地区で40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高濃度汚染を引き起こした。

水質汚染の調査結果を表5-5-38に示す。第2回の調査結果を受けて、注意が徹底したために学校のプールの汚染は避けられた。飛散量の測定結果を表5-5-39に示す。

表5-5-37 大気中農薬濃度の時間変化

(1990年8月14日調査。山形県白鷹町)

単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

日付	時刻	鮎貝地区			蚕桑地区			深山地区養蚕室内		
		BPMC	MPP	EDDP	BPMC	MPP	EDDP	BPMC	MPP	EDDP
14	4	0.2	nd	0.1	0.2	0.2	0.1			
	6	(40)	0.6	0.6	10.9	1.0	0.6	2.2	0.9	0.7
	8	(20)	0.2	0.3	17.0	0.6	0.5			
	10	5.0	0.2	0.1	11.9	0.8	0.8	2.6	0.1	0.1
	12	4.0	nd	0.2	3.1	0.3	0.3	1.9	nd	nd
	14	1.0	0.1	0.1	2.6	0.4	0.6			
	16	nd	nd	nd	3.1	0.4	0.2	0.4	nd	nd
	18	0.6	0.3	0.2	3.8	0.3	0.1			
	20	1.4	0.3	0.2	3.4	0.7	0.3			
	22	nd	0.2	nd	2.8	0.5	0.1			
15	0	0.5	0.3	0.1	2.3	0.3	0.1			
	2	0.3	nd	nd	1.6	0.1	0.1			
	4	0.5	0.2	0.1	0.9	0.2	nd			
	6	0.3	nd	nd	2.2	0.3	nd			
	8	0.2	nd	0.1	1.1	0.1	0.2			
	10	0.1	nd	0.1	0.8	nd	0.2	0.4	nd	nd
	12	nd	nd	nd	0.4	nd	0.4			
	15	nd	nd	nd	0.5	nd	0.1			
	18	nd	nd	nd	0.5	nd	0.1			
	21	nd	nd	nd	1.2	nd	0.2			
16	0	nd	nd	nd	nd	nd	nd			
	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd			
	6				nd	nd	nd			
最高値	(40)	0.6	0.6	17.0	1.0	0.8	2.6	0.9	0.7	

注：( ) のデータは測定限界以上。ndは不検出（0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下）。

表5-5-38 水質MPP汚染濃度  
(1990年8月14日調査。山形県白鷹町)

採水地点	MPP [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]
深山 公民館の橋の下	2.9
深山 高岡へいく途中	5.4
高岡 農村公園下	4.8
浄水場取水口	nd
鯉の養殖池	nd
深山 水田排水	1.6
荒砥小学校プール	nd
東根小学校プール	nd

表5-5-39 農業飛散量調査  
(1990年8月14日調査。山形県白鷹町)

番号	調査地点	距離 [m]	BPMC [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]	MPP [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]	EDDP 別成分 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]	
1	深山 公民館下の橋	3	8600	9600	9400	
2	箕和田	2	310	nd	230	
3	深山 高岡へいく路	10	21000	21000	20000	
4	高岡 農村公園下	2	21000	22000	21000	
5	高岡 浄水場取水口向い	5	550	nd	390	
6	滝野小学校	10	580	nd	310	
7	折居	6	560	nd	320	
8	あんちん堂	2	2600	86	1500	
9	加藤田圃(無農薬田)	40	17000	1800	13000	
10	日露工場	10	17000	4200	14000	*
11	大町東自動車学校	50	14000	10000	9400	*
12	加藤桑園(無農薬畑)	10	26000	8300	14000	*
13	中山中田	20	2000	990	1800	
14	荒砥小学校 プール	300	nd	nd	570	
15	東根小学校 プール	150	420	nd	160	
16	ひがしね保育園 砂場	150	360	nd	nd	
17	大野	10	360	nd	nd	
18	浅立	10	870	nd	410	
19	槌谷ホップ園	10	5900	7200	5500	
20	ライスセンター	7	730	nd	300	
21	蚕桑小学校	200	nd	nd	nd	
22	こぐわ保育園	100	170	nd	nd	
23	織里座畑(無農薬畑)	20	350	nd	nd	
24	芳賀畑(無農薬畑)	100	330	nd	nd	
25	神明アパート	50	nd	2100	1700	
26	山口田圃	10	3700	920	820	

注: ndは不検出(100 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 以下)。

## 5. 5. 4 山形県高島町

## 第1回調査

散布農業：MPP(50%)乳剤、イソプロチオラン(50%)乳剤。

10a当り：30倍希釈液を3ℓ。

散布面積：1770ha。

散布日時：1987年8月21日～23日。

天候：晴。

調査項目：飛散量24地点、大気汚染定点25回、水質汚染8検体、  
植物汚染7検体。

高島町は山形県米沢市に隣接した山あいの水田地帯で有機農業を推進している地域でもある。町内の田圃では、白旗と赤旗が混在して立ち、空散農家と空散拒否農家とが混然とある。飛散量調査は、町全体にわたって行なった。結果の値は上下の差が大きかった。最高値は、和田三中グラウンドでMPP9500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、イソプロチオラン39000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

大気汚染調査は、散布予定地近くの小学校で連続測定を実施したが、ヘリコプターが近くに来ず、全体として低い濃度であった。最高値は散布時間中の0.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

これを表5-5-41に示す。

表5-5-41 大気中MPP濃度の時間変化  
(1987年8月21～22日調査。山形県高島町)

日付	時刻	気温[℃]	MPP[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
21日	05:15	21.0	0.002
	05:47	21.2	0.002
	06:30	21.5	0.08
	07:18	23.5	0.56
	07:38	24.8	0.41
	09:07	26.9	0.042
	09:30	27.5	0.024
	11:11	28.2	0.30
	10:40	29.0	0.24
	11:36	28.2	0.068
	12:13	28.5	0.37
	12:42	28.0	0.29
	13:27	28.0	0.27
	14:15	28.0	0.024
	15:13	28.4	0.038
	13:39	26.9	0.14
	16:13	25.1	0.11
16:45	25.0	0.075	
17:14	25.0	0.27	
17:42	24.2	0.23	
18:19	23.8	0.11	
22日	06:55	22.0	0.12
	07:40	24.0	0.037
	08:21	24.8	0.017

## 第2回調査

散布農薬：IBP(48%)乳剤，MPP(50%)乳剤。  
 10a当り：30倍希釈液を3ℓ。  
 散布面積：1740ha。  
 散布時刻：1988年8月19,20日、早朝。  
 天候：両日とも晴れ。  
 調査項目：水質汚染 7検体，  
 飛散量 26検体。

## 第3回調査

散布農薬：第2回調査と同一。  
 散布日時：1989年8月22,24,25日、早朝。  
 調査項目：大気汚染 9検体，  
 水質汚染 8検体，  
 飛散量 31検体。

大気汚染の測定結果を図5-5-4-1に示す。散布後のIBPの大気中濃度は、午後10時に最高値0.83μg/㎥であって、あまり高くはならなかった。その後、時間と共に濃度が減少した。

水質汚染の結果は、第2回第3回調査を併せて表5-5-4-2に示す。飛散量も同様に表5-5-4-3に示す。第1回目の調査で最高値だった和田三中グラウンドは、第2回第3回の調査時には汚染が起きないように相当の注意が払われたようである。ていねいに散布を行うかどうか飛散量に大きく影響するひとつの例である。

表5-5-4-2 水質試料中の農薬濃度  
 (1988年8月19日、89年8月22日調査。山形県高島町)

採水地点	1988年調査		1989年調査	
	IBP [μg/ℓ]	MPP [μg/ℓ]	IBP [μg/ℓ]	MPP [μg/ℓ]
屋代小学校 プール	nd	nd	nd	nd
屋代 和田川	-	-	0.1	1.6
砂川	4.4	6.3	3	1.0
亀岡小学校 プール	2.0	nd	0.1	nd
鈴沼	2.3	nd	0.1	nd
和田小学校 プール	nd	nd	0.2	nd
第一中学校 周辺	4.2	1.4	0.7	0.2
宮田橋下流	-	-	2.3	1.8
中郡幼稚園 プール	nd	nd	-	-

注：-印は測定していない。ndは不検出 (<1.0(1988), <0.1(1989))

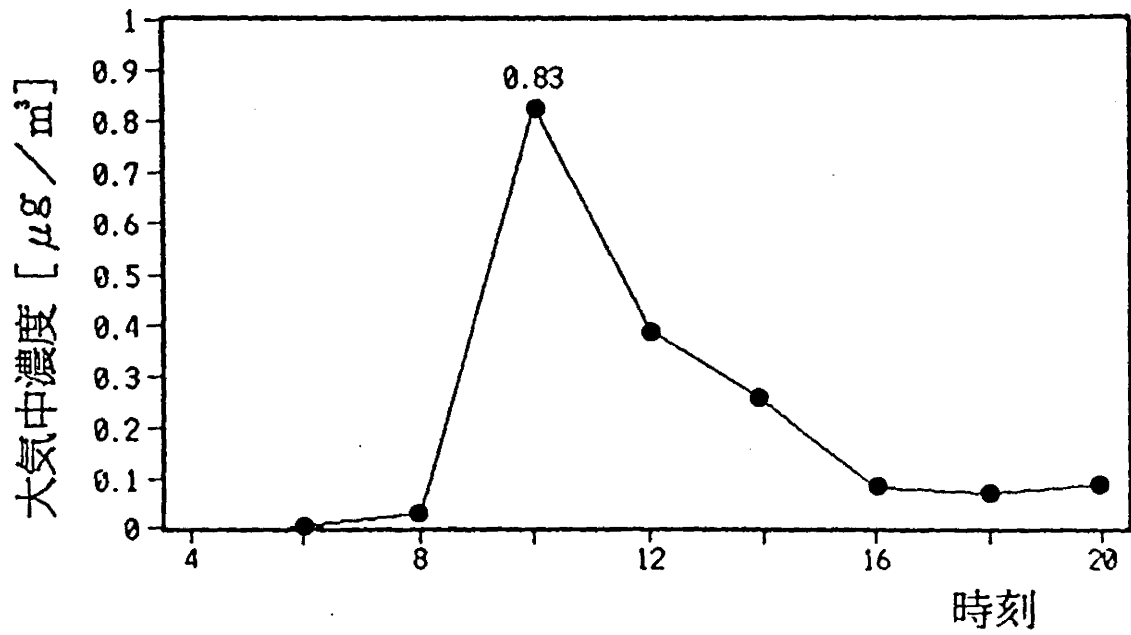


図5-5-41 大気中IBP濃度の時間変化  
(1989年8月22日、山形県高畠町)

表5-5-43 農薬飛散量

(1988年8月19日、89年8月22日調査。山形県高島町)

単位：μg/m<sup>2</sup>

番号	採取地点	1988年調査		1989年調査	
		IBP	MPP	IBP	MPP
1	和田民族資料館前	190	41	120	100
2	和田 渡部りんご園	2200	2500	42	37
3	和田三中グラウンド(10m)	4600	5500	2600	3000
4	和田三中グラウンド	550	570	390	300
5	和田三中グラウンド(40m)	630	620	760	500
6	和田 三弘ジャム	37000	45000	740	460
7	亀岡小 プール	1300	1400	260	100
8	亀岡小 (1)	13	83	23	5
9	亀岡小 (2)	680	890	680	580
10	NEC	240	160	70	30
11	農協本所	460	270	9	nd
12	医師住宅	20	5	nd	nd
13	高島町役場前	36	20	nd	5
14	高島町役場裏	9	11	7	3
15	飯森 猪野宅	3600	2000	570	120
16	屋代小グラウンドバックネット	3000	1600	5100	820
17	屋代小グラウンド掲揚台	340	96	150	22
18	屋代小プール	1100	104	64	8
19	万福寺裏口	270	91		
20	屋代 ぶどう園	1500	470	25	9
21	老人ホーム 北側	700	930	2400	1500
22	老人ホーム 南側	9600	13000	590	260
23	農協 米康野目支所	26000	8700	140	14
24	蛇口 渡部宅	780	150	270	200
25	中郡幼稚園テラス	200	nd	(MEP: 210/m <sup>2</sup> )	
26	中和田 通学路	2000	2300	(MEP: 190/m <sup>2</sup> )	
27	糠野目住宅			14800	15500
28	中郡			130	96
29	和田馬頭			4400	3000
30	亀岡			1300	100
31	高島小学校プール			42	11
32	屋代			4100	3000
水田標準散布量		48000	50000	48000	50000

## 5. 5. 5 新潟県巻町

## 第1回調査

散布農薬：CVMP(50%)水和剤。  
 10a当り：30倍希釈液を3ℓ。CVMPとして50g。  
 散布面積：1231ha  
 散布日時：1988年6月19日午前5時～8時半頃。  
 天候：晴  
 調査項目：飛散量20地点。  
     大気汚染 定点10回、周辺3地点。  
     水質汚染 4検体。

新潟県巻町では、2. 8節で示したように1987年7月に空中散布が行われた際に「食生活改善普及会」が行ったアンケート調査で187人が異常を訴える結果がでた。そこで、被害調査と平行する形で農薬汚染の調査を計画した。ニカメイチュウ防除のための空中散布が1988年6月19、20日に行なわれた際、初日の19日散布分について調査を実施した。水田のなかに小中学校が建てられている場合が多く、学校に農薬が落下することが考えられるので、飛散量調査は水田近くの学校と市街地内に検査用のろ紙を設置した。大気汚染調査は、住宅地と水田の境界の町の公民館を定点測定点と定めて時刻による濃度変化を測定した。水質調査では、小中学校のプールの農薬濃度を測定した。

飛散量の測定結果を表5-5-5.1に示す。巻南小学校の体育館やグラウンドで水田標準散布量(50000 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ )の52%、巻東中学校で5.4%程度の農薬が落下していた。水田から最も離れた市街地の中央部でも70 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ のCVMPが落下していた。

大気汚染の測定結果を表5-5-5.2と図5-5-5.1に示す。散布中に最高濃度2.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ になり、大気の上下対流が激しくなる午後2時頃に最低になることが判る。巻東中学校と巻北小学校の大気農薬濃度は、それぞれ0.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と0.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、定点であるふれあい会館の測定値と同程度である。

水質汚染では、巻東中学校と巻南小学校のプールの水から、CVMPが3.3 $\mu\text{g}/\text{L}$ と0.5 $\mu\text{g}/\text{L}$ 検出された。プールの水の深さを1mとすると、飛散量に換算して、3300 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ (水田の6.6%)と530 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ (水田の1%)の農薬が落ちてきたことになる。



表5-5-51 農薬飛散量  
(1988年6月19日、7月23、24日調査。新潟県巻町)

単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ , ( ) 内は水田散布量に対する割合

測定地点	6月19日 CVMP	7月23日、24日			
		BPMC	MEP	ベンシクロン	フサライド
水田の標準散布量	50000	30000	45000	20000	15000
巻東中	670(1.3)	740(2.5)	1010(2.2)	560(2.8)	720(4.8)
巻東中	2700(5.4)	1020(3.4)	1100(2.4)	700(3.5)	1040(6.9)
巻東中		940(3.1)	1060(2.4)	650(3.3)	790(5.3)
巻西中	1030(2.1)	530(1.8)	240(0.5)	100(0.5)	180(1.2)
巻西中	660(1.3)	600(2.0)	490(1.1)	300(1.5)	360(2.4)
巻西中	470(0.9)	400(1.3)	300(0.7)	210(1.1)	430(2.9)
巻西中	250(0.5)	530(1.8)	420(0.9)	50(0.3)	140(0.9)
巻南小	2200(4.4)	500(1.7)	260(0.6)	20(0.1)	100(0.7)
巻南小		440(1.5)	410(0.9)	90(0.5)	190(1.3)
巻南小	21000(42.0)				
巻南小	26000(52.0)				
巻北小	310(0.6)	290(1.0)	320(0.7)	130(0.7)	180(1.2)
巻北小	190(0.4)	250(0.8)	260(0.6)	85(0.4)	300(2.0)
巻北小	430(0.9)	200(0.7)	240(0.5)	150(0.8)	240(1.6)
巻山小		850(2.8)	1200(2.7)	730(3.7)	1300(8.7)
巻山小		830(2.8)	1100(2.4)	690(3.5)	660(4.4)
巻工	330(0.7)	310(1.0)	240(0.5)	90(0.5)	62(0.4)
巻工	310(0.6)	980(3.3)	960(2.1)	1100(5.5)	240(1.6)
立農高		170(0.6)	130(0.3)	170(0.9)	230(1.5)
立農高		510(1.7)	630(1.4)	400(2.0)	240(1.6)
立農高		550(1.8)	650(1.4)	410(2.1)	620(4.1)
立農高		470(1.6)	290(0.6)	250(1.3)	87(0.6)
立農高	70(0.1)	260(0.9)	200(0.4)	120(0.6)	150(1.0)
立農高	1050(2.1)	260(0.9)	270(0.6)	150(0.8)	190(1.3)
立農高		230(0.8)	110(0.2)	35(0.2)	75(0.5)
立農高	250(0.5)	1080(3.6)	850(1.9)	510(2.6)	750(5.0)
立農高		280(0.9)	280(0.6)	200(1.0)	330(2.2)
立農高	2600(5.2)	800(2.7)	1800(4.0)	1040(5.2)	1300(8.7)
立農高	300(0.6)				
巻奥		4800(16.0)	7600(16.9)	4000(20.0)	9800(65.3)
巻奥		530(1.8)	610(1.4)	260(1.3)	340(2.3)
巻奥		280(0.9)	220(0.5)	140(0.7)	270(1.8)
巻奥		310(1.0)	220(0.5)	130(0.7)	530(3.5)
巻奥		470(1.6)	410(0.9)	210(1.1)	320(2.1)

表 5 - 5 - 5 2 大気中 CVMP 濃度の時間変化  
(1988年6月19日調査。新潟県巻町)

時 刻	CVMP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
ふれあい会館	
5:32	0.29
7:02	2.8
7:50	1.7
8:44	1.2
9:30	0.56
10:50	0.46
12:20	0.61
13:20	0.07
14:02	0.07
15:39	0.30
巻東中学校	
12:35	0.10
巻北小学校	
11:20	0.36
巻 駅	
13:25	0.015

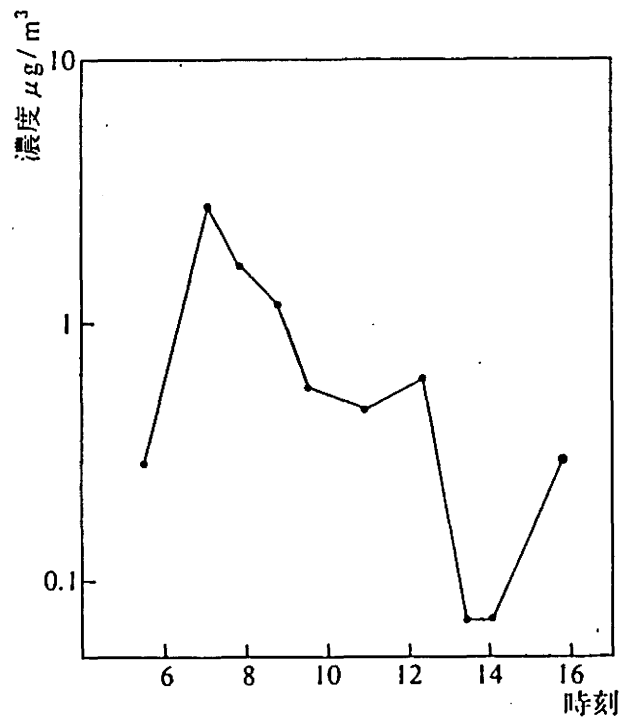


図 5 - 5 - 5 1 大気中 CVMP 濃度の時間変化  
(1988年6月19日、新潟県巻町ふれあい会館)

## 第2回調査

散布農薬：BPMC(30%)・MEP(45%)乳剤、  
 ペンシクロン(20%)水和剤、  
 カスガマイシン(1.2%)・フサライド(15%)水和剤。  
 10a当り：30倍希釈液を3ℓ。  
 散布面積：1988年7月23日1231ha、24日924ha。  
 散布時刻：午前5時頃～8時半頃。  
 天候：晴。  
 調査項目：飛散量32地点、  
 大気汚染定点27回、分布19地点、  
 水質汚染4検体。

巻町での2回目の調査は、昨年の水田空散の際頭痛や下痢などを訴えた家庭の協力を得て、大気汚染の定点測定点をその家の前に設置した。また、飛散量調査や大気汚染分布調査の測定点の数を1回目よりも増やした。

飛散量の結果は表5-5-5.1に示した。今回の散布では水田に隣接する学校に対する配慮がなされたため、とくに巻南小学校への飛散量は大幅に少なくなった。散布のヘリコプターは学校の130m付近には近づかず、学校のプールの汚染も前回に比べて低く押えられた。それでもなお、水田の数%の農薬が校庭まで飛散したことが認められる。

大気の定点測定地点は、巻町の市街地の北東のはずれの住宅地にある。23日は定点測定点の南つまり風上の1231haで空中散布が行なわれ、24日は定点測定点の北つまり風下で924haの散布があった。大気汚染濃度の定点での時間変化を表5-5-5.3に示す。測定期間中最高値は散布中の7:00でBPMCとMEPの合計で6.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。BPMCはMEPよりも揮発性が大きいので2倍程度高目の濃度になることが多かった。図5-5-5.2に描いたとおり、23日には風上側に散布水田があり、24日には風下側に散布水田があり、それぞれの影響が現われている。カスガマイシンは揮発せず、大気汚染として測定されない。

つぎに、巻町全域での分布調査結果を表5-5-5.4に示す。これを図にプロットしたものを図5-5-5.3と図5-5-5.4に示す。これらの図の丸の中心が測定値点であり、面積は大気中農薬濃度を表わしている。町全体に汚染が広がっている様子が認められる。

## 第3回調査

散布農薬：BPMC(30%)・MEP(45%)乳剤、EDDP(30%)剤。  
 10a当り：30倍希釈液を3ℓ。  
 散布面積：1231ha。  
 散布日時：1988年8月6日午前5時～8時半頃。  
 天候：午前中曇時々雨、午後晴。  
 調査項目：大気汚染定点10回、分布10地点。

3回目は、散布直後に激しい降雨があつてろ紙に付着した農薬が雨水で流出したため飛

表5-5-53 大気中農薬濃度の時間変化  
 (1988年7月23~24日、8月6日調査。新潟県巻町)

単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

採取時刻	BPMC	MEP
7月23日		
4:25	0.03	0.02
5:52	3.4	1.8
6:10	2.2	0.73
7:04	4.8	1.3
8:12	2.6	0.45
9:05	1.5	0.30
10:05	1.1	0.45
11:05	1.0	0.57
12:26	0.53	0.21
13:14	0.56	0.42
14:22	0.28	0.25
15:20	0.70	0.54
16:10	0.46	0.50
17:15	0.55	0.66
20:15	0.46	0.49
22:23	0.30	0.25
7月24日		
0:13	0.18	0.14
2:16	0.23	0.22
4:15	0.03	0.08
6:18	1.5	1.2
8:12	0.68	0.38
10:14	0.55	0.46
12:17	0.10	0.18
14:13	0.14	0.20
16:14	0.18	0.20
17:15	0.30	0.42
17:57	0.25	0.41
8月6日		
6:14	0.62	0.31
6:48	3.8	1.2
7:43	0.83	0.40
10:15	0.77	0.39
11:29	0.41	0.18
12:29	0.098	0.097
13:29	0.041	0.038
14:29	0.064	0.030
15:29	0.061	0.020
16:29	0.046	0.008

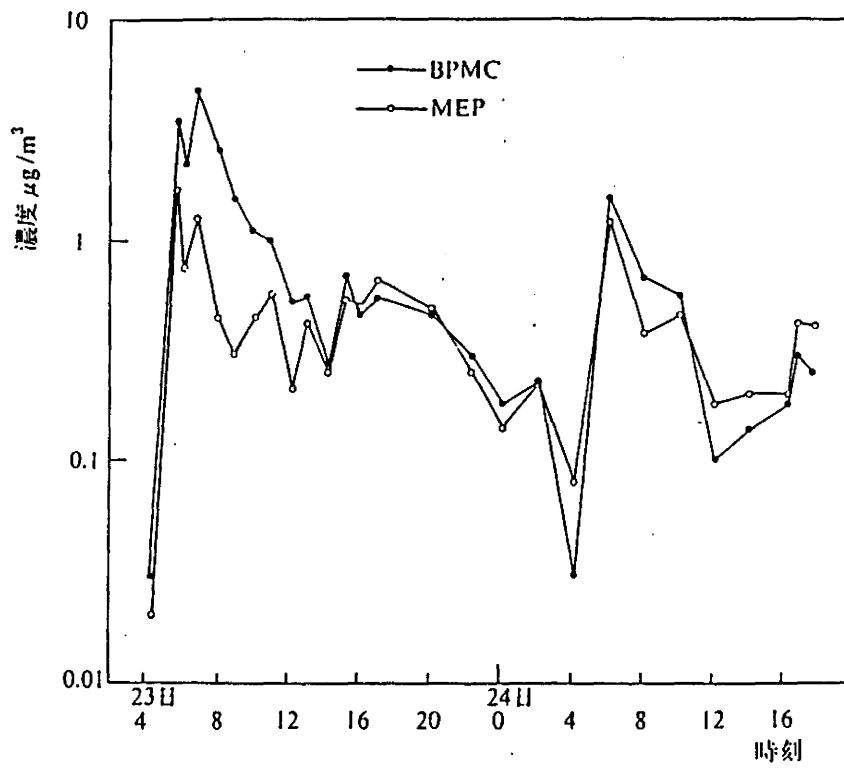


図5-5-52 住宅地での大気中農薬（BPMC, MEP）の濃度変化  
（1988年7月23～24日、新潟県巻町）

表5-5-54 大気中農薬の濃度分布  
 (1988年7月23~24日、8月6日調査。新潟県巻町)

単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

採取場所	採取時刻	BPMC	MEP
7月23日			
巻西中学校	11:49	0.50	0.21
巻北小学校	12:12	0.44	0.29
巻南小学校	12:50	0.05	0.03
下木島	12:55	0.78	0.65
竹野町	13:20	1.9	1.2
巻 駅	13:54	0.42	0.41
ふれあい会館	14:25	0.28	0.24
7月24日			
巻東中学校	7:30	3.3	1.2
諏訪神社	7:56	1.1	0.29
総合庁舎	8:17	2.8	2.0
巻南小学校	9:20	1.2	0.50
下木島	9:40	0.43	0.43
巻西中学校	9:57	0.15	0.18
巻北小学校	10:15	0.51	0.25
ふれあい会館	10:27	0.55	0.55
町役場	10:49	0.46	0.50
農業大学校	11:11	0.92	0.13
遠藤公民館	11:27	0.05	0.01
漆山小学校	11:59	1.6	1.4
8月6日			
巻東中学校	11:17	0.32	0.097
漆山小学校	11:32	nd	0.017
農業大学校	11:53	nd	nd
農業高校	12:07	nd	0.016
ふれあい会館	12:24	0.34	0.16
巻北小学校	12:50	nd	0.21
巻南小学校	13:14	0.24	0.08
巻東中学校	13:45	0.63	0.21
竹野町	14:35	0.47	0.33

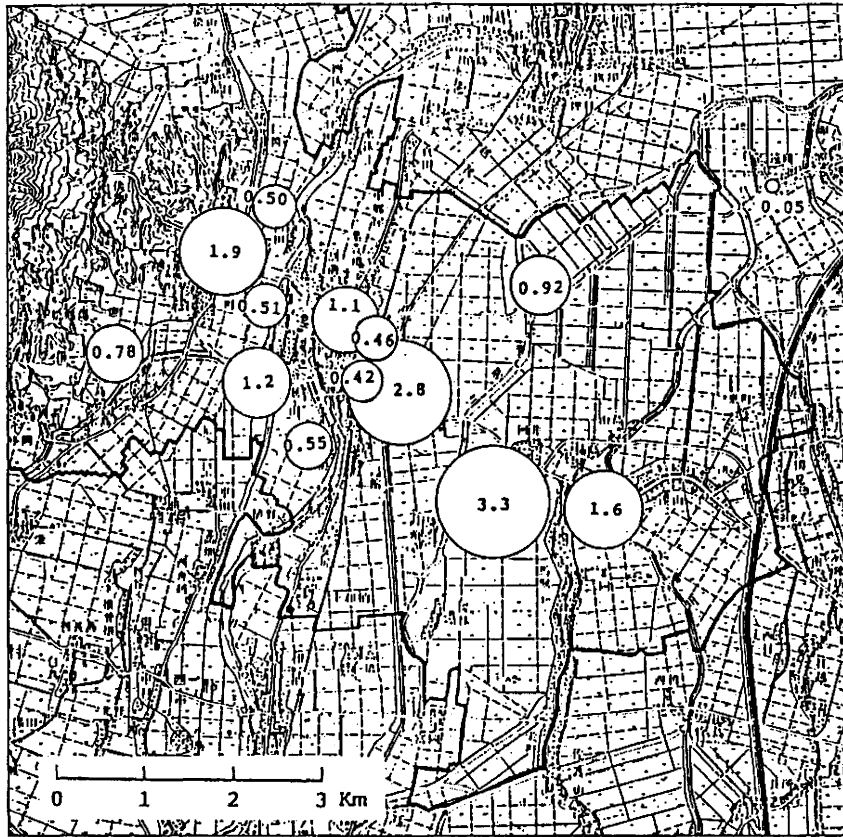


図5-5-53 大気中BPMPの濃度分布 (単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
(1988年7月22日、新潟県巻町)

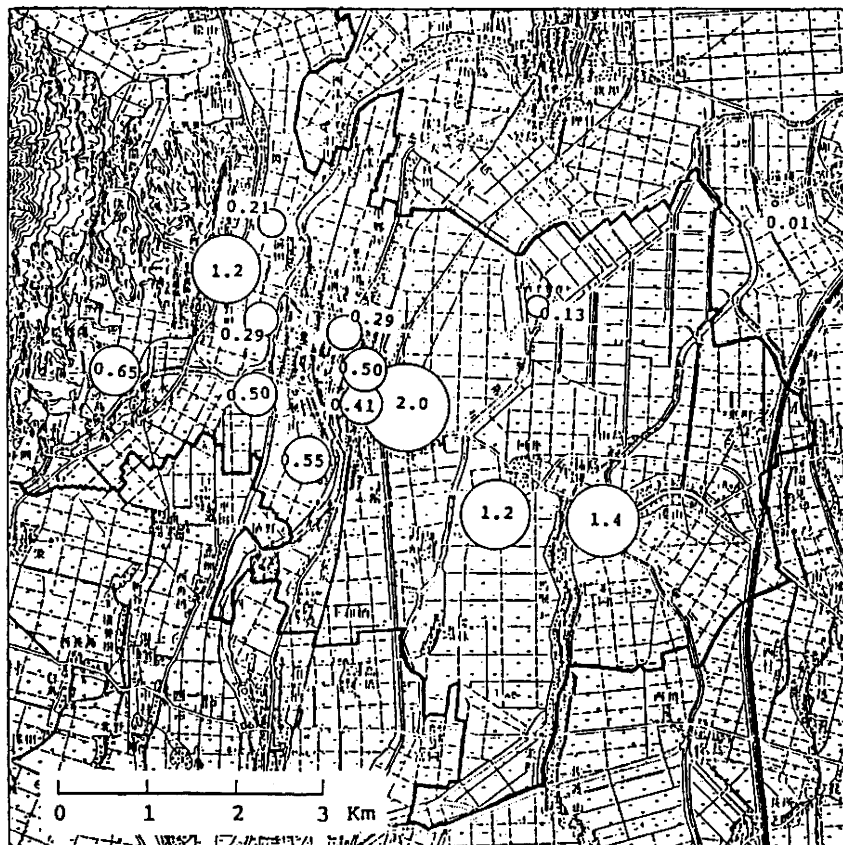


図5-5-54 大気中MEPの濃度分布 (単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
(1988年7月22日、新潟県巻町)

散量は測定できなかった。大気濃度は前回と同じ定点のほかに町内10地点で測定した。学校のプールには、ビニールシートの覆いを掛け、散布後プールサイドの洗浄を行なうなどの改善が行われた。大気汚染濃度測定値は、表5-5-5.3と表5-5-5.4の末尾に書き加えて示した。第2回調査と同程度の濃度が測定されたことが判る。



## 5. 5. 6 福島県福島市松川町

## 第1回調査

散布農薬：フサライド(20%)水和剤、イソプロチオラン。

10a当り：原液を120ml。

散布面積：4μha。

散布日時：1987年8月22日早朝。

天候：小雨。

調査項目：飛散量7地点、大気汚染定点7回、植物汚染2検体。

調査地点は蓬莱町の住宅地に隣接した水田で、周囲に県立福島医科大学や大学病院などがある。飛散量は、医大保育所でフサライド3400μg/㎡であった。大気汚染は、同団地で最も水田に近い住宅で測定した値を表5-5-6.1に示す。最高値がフサライド0.53μg/㎡であった。

表5-5-6.1 大気中フサライド濃度の時間変化  
(1987年8月22日調査。福島県松川町)

時刻	フサライド [μg/㎡]
5:47	0.027
6:20	0.11
7:05	0.20
8:07	0.53
10:00	0.021
12:02	0.031
13:33	0.011

## 5. 5. 7 茨城県八郷町

## 第1回調査

散布農薬：MEP(50%)乳剤、フサライド(20%)水和剤。  
 10a当り：30希釈液を3ℓ。  
 散布面積：1887ha。  
 散布日時：1987年8月9日早朝。  
 天候：晴、時々強い北西風。  
 調査項目：飛散量 12地点、  
           植物汚染 10検体、  
           水質汚染 3検体。

八郷町には、無農薬有機農業を行なっている「たまごの会」や「食と農をむすぶこれからの会」など、人体と自然環境を守る趣旨で化学肥料、農薬、除草剤を全く使わずに、田圃、畑、牧草地を耕作している農場がある。しかし、これらの田圃は農薬を使用する田圃と混在しているため、農薬の空中散布が行なわれれば、農薬を浴びることになる。空中散布によって、無農薬田が受ける影響だけでなく、その地域の汚染を知る目的で、無農薬耕地を中心に農薬飛散量調査と作物汚染調査を行なうことにした。飛散調査の結果は表5-5-7-1に示した。無農薬で丹精込めて作った田圃に、標準散布量の10倍以上の農薬が撒かれていたことが判った。また、散布を拒否した田圃のイネの葉がMEP 380 µg/g、フサライド 560 µg/gに汚染され、付近の草木は農薬残留基準0.2 ppm(µg/g)をはるかに上回る汚染を受けた。これは、空中散布のコントロールが困難であることを示している。

表5-5-7-1 農薬飛散量  
 (1987年8月9日調査。茨城県八郷町)

採取地点	MEP [µg/㎡]	フサライド [µg/㎡]
【散布拒否地】		
たまごの会農場牛小屋	96	230
金指氏の田圃	1200	5200
高橋氏の田圃	64000	18000
たまごの会の田圃	150000	270000
これからの会出荷場	14000	17000
【その他】		
ショッピングセンター	nd	39
下宿部落下	13000	21000
柿岡保育園	210	190
フラワーヒル団地	18	60
高松氏の田圃	51000	120000
鯨岡の民家	5300	5400
水田標準散布量	50000	20000

## 5. 5. 8 群馬県館林市

## 第1回調査

散布農薬：BPMC(20%)・MEP(50%)乳剤、  
カスガマイシン(1.4%)・バリダマイシン(4%)・  
フサライド(15%)水和剤。

10a当り：30倍希釈液を3ℓ。

散布面積：663ha。

散布日時：1988年8月18日午前5時～7時。

天候：曇ときどき雨。北東の風。

調査項目：大気汚染7検体、水質汚染10検体。

館林市域で空中散布した農薬の飛散量や大気汚染について小規模の調査を館林農業協同組合と協力して行った。飛散量の調査については、たまたま当日散布後に雨が降って、設置した検体の回収ができなかった。大気汚染は、水田の風下寄りの2地点で4回ずつ9ℓの水置換ポンプ方式でTenax捕集管に採取した。結果を表5-5-81に示す。大気汚染の値は比較的大きく、午前9時頃MEP $2.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、10時頃BPMC $5.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ が最高値であった。農薬の大気汚染も一般の大気汚染と同様に、気温の高い曇天下で濃度が上昇する傾向がある。

表5-5-81 大気中農薬濃度  
(1988年8月18日調査。群馬県館林市)

調査地点	日付	採取時刻	天候	BPMC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	MEP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
東部分場	18日	06:00-06:08		nd	0.5
		09:58-10:20	曇り無風	5.1	-
	19日	13:30-14:10	一時強雨	1.3	1.1
若宮	18日	06:28-07:02		5.1	1.6
		09:00-09:10		3.6	2.5
		10:32-11:15	雨、無風	1.4	1.0
	19日	14:30-15:05		0.42	0.24

注：ndは不検出。

## 第2回調査

散布農薬：マラソン（50%）乳剤、IBP（48%）乳剤、  
カスガマイシン（2%）液剤。

10a当り：30倍希釈液を3ℓ。

散布面積：671ha。

散布日時：1988年9月9日午前5時35分～9時26分。

天候： 9日 散布前に雨が降った。散布中と散布後は晴れ、

10日 日中は曇り、18時から雨で、夜間は大雨、

11日 小雨。

調査項目：大気汚染13検体、飛散量27地点、水質汚染16検体。

大気汚染の測定結果を表5-5-82に示す。IBPの濃度47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ や、マラソンの14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の値は、他の地域での調査に比べて高い濃度であるといえる。ほとんどの測定値が5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ よりも高い値である。水質分析の結果を表5-5-83に示す。また、飛散量の測定結果を表5-5-84に示す。

表5-5-82 大気中農薬濃度  
(1988年9月9日調査。群馬県館林市)

日付	採取時刻	天候	I B P [μg/㎥]	マラソン [μg/㎥]
【散布区域内 東部分場】				
9日	06:20-07:10	曇 WSW 2m/s	0.6	0.3
	08:10-08:45	晴 WSW 2	47	14
	12:05-12:35	晴 NE 2	6.1	4.5
	14:05-14:30	晴 ENE 2	5.0	5.5
	16:00-16:32	晴 ENE 2	6.9	8.4
	17:55-18:55	晴 ESE 2	7.4	5.5
10日	09:05-09:45	曇 ENE 3	5.4	0.8
	13:05-14:15	曇 ENE 3	11	-
11日	11:15-12:10	小雨 無風	0.9	0.4
【隣接区域 寄居地区】				
	07:30-08:00	晴 WSW 2	9.3	1.8
	09:00-09:30	晴 WSW 2	1.6	2.1
	11:00-11:30	晴 SW 1	2.6	1.2

表5-5-83 水質汚染濃度  
(1988年9月9日調査。群馬県館林市)

採水地点	採水日	採水時間	I B P [μg/l]	マラソン [μg/l]
【農業用水】				
東部分場東	9日	04:00	0.8	1.1
〃		06:30	2.9	3.4
〃		07:40	280	430
〃		08:30	770	3200
〃		09:30	44	2400
〃		10:30	1400	1100
〃		12:25	草刈 28	1700
〃		15:30	940	75
〃		18:30	8.6	27
〃		10日	06:00	48
〃	11日	12:00	雨 54	19
【水田】				
新田北	9日	04:00	0.4	0.3
〃		09:20	1300	15
東部分場北		08:40	24	23
千塚南		09:10	1200	1300
四谷北		09:15	7	26

表5-5-84 農薬の飛散量  
(1988年9月9日調査。群馬県館林市)

測定地点	回収時刻	I B P [μg/㎡]	マラソン [μg/㎡]
【散布区域内】			
東部分場(1)	08:00	16000	20000
東部分場(2)	09:00	6300	8600
大島県営住宅	09:40	1200	1300
第四小学校	09:45	2000	2700
四谷北東	09:55	4100	68000
【隣接区域】			
郷谷公民館	10:15	610	1100
第2中学校	10:20	60	120
瀬戸谷住宅	10:25	30	63
パチンコ東武	10:30	nd	nd
とりせん本社	14:55	nd	nd
船津川小学校	15:00	nd	nd
船津川下	15:10	nd	nd
西岡新田NTT	09:50	2200	720
大曲南	11:25	77	nd
初谷北	11:35	41	nd
東部市営住宅	11:40	nd	nd
ももの木保育園	12:45	nd	nd
【周辺地域】			
三羽工業	12:50	nd	nd
館林市役所	13:10	nd	nd
農協大手町支店	13:15	nd	nd
給食センター	13:20	nd	nd
おおつき牧場	14:50	nd	nd
除川南	11:15	1200	160
大荷場南	11:20	38	nd
まきば幼稚園	11:30	71	25
農協本所	11:45	nd	nd
細谷北	11:10	850	550
第9小学校	14:43	nd	nd

注：ndは不検出（20μg/㎡以下）

## 5. 5. 9 栃木県日光市、今市市

## 第1回調査

農薬散布：ダイアジノン(25%)・BPMC(40%)乳剤。  
 10a当り：8倍希釈液を800ml。  
 散布面積：4121ha(4日回)。  
 散布日時：1986年7月5日午前4：45～8：00。  
 天候：曇、無風。  
 調査項目：飛散量6地点。

日光市、今市市域において民家を中心に、6ヶ所で飛散量を調べた。浄水場の19000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ は、水田上散布量に匹敵する量であった。

## 第2回調査

散布農薬：マラソン(25%)・BPMC(40%)微量散布用剤。  
 10a当り：8倍希釈液を800ml。  
 散布面積：4053ha(4日間)。  
 散布日時：1987年5月26～29日早朝。  
 天候：26日午後27日午後に小雨。  
 28日から晴れたり曇ったり。主に東風。  
 調査項目：飛散量5地点、大気汚染水田内定点15回、住宅地定点27回。

飛散量調査は、27日散布分4検体と30日散布分1検体を民家や小学校等に設置した。大気汚染は、26日に水田内の濃度変化を測定し、27日から日光市野口にある民家での濃度変化を測定した。

散布当日の水田内の大気汚染の時間変化を表5-5-91と図5-5-91に示す。最高値は散布中にBPMCが17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、マラソンが14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。散布が終わって一度低くなった後それぞれ4.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と0.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ へ上昇した。

散布水田に隣接する民家で測定した大気中濃度を表5-5-92に示す。散布時間帯に、BPMC2.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、マラソン0.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。図5-5-92に示すように、散布終了後に濃度は上昇し、最高値はそれぞれ0.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と0.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ が記録された。この日は、一日中ほぼ同じ程度の汚染が続いた。汚染は3日目の朝まで続き、とくに空気の安定する深夜に増加が認められたが、4日目には検出されなかった。

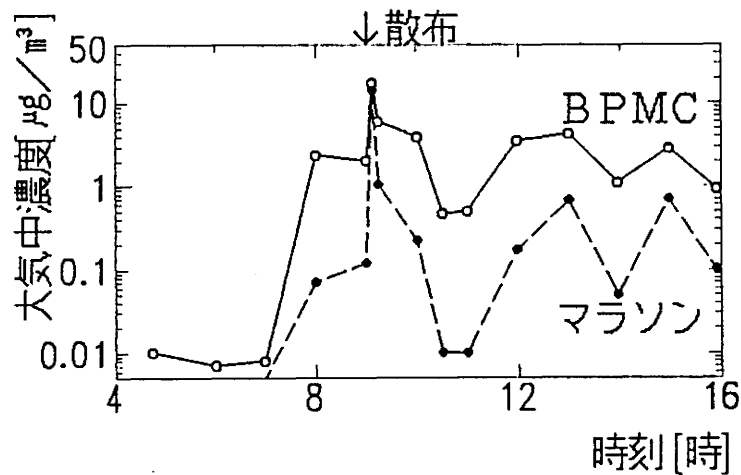


図5-5-91 散布水田内の大気中農薬（BPMC，マラソン）の濃度変化  
（1987年5月26日、栃木県今市市）

表5-5-91 散布水田内での大気中農薬濃度の時間変化  
（1987年5月26日調査。栃木県今市市）

日付	時刻	気温 [°C]	BPMC [μg/m³]	マラソン [μg/m³]
5/26	4:45	16	0.01	不検出
	6:01	16	0.01	不検出
	7:00	18	0.01	不検出
	8:00	18	2.3	0.07
	9:00		2.0	0.12
	9:07	17	7.2	1.4
	9:15		6.0	1.0
	10:00	19	3.9	0.22
	10:30	22	0.46	0.01
	11:00	23	0.49	0.01
	11:58	22	3.5	0.17
	12:58	23	4.2	0.66
	13:57	20	1.1	0.05
	14:57	19	2.9	0.69
15:54	18	0.92	0.10	



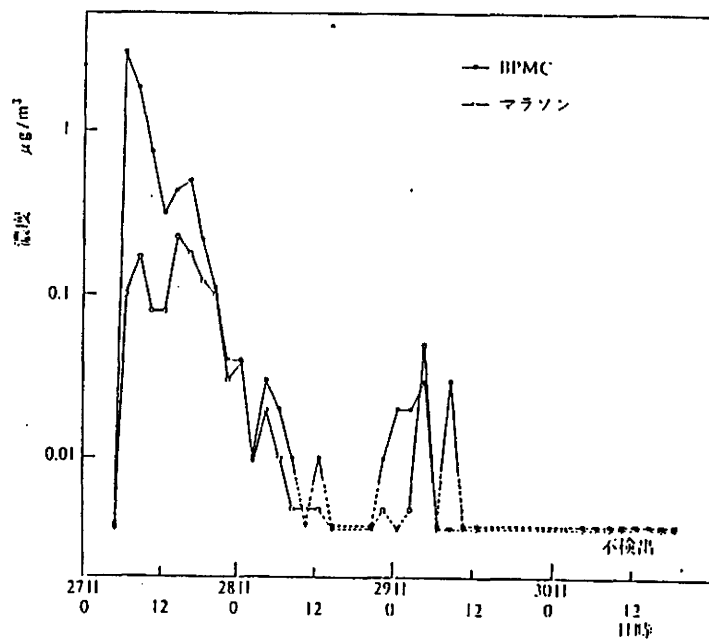


図 5 - 5 - 9 2 住宅地での大気中農薬 (BPMC, マラソン) の濃度変化 (1987年5月27~30日、栃木県今市市)

表 5 - 5 - 9 2 民家での大気中農薬濃度の時間変化 (1987年5月27日調査。栃木県今市市)

日付	時刻	気温 [°C]	BPMC [µg/㎡]	マラソン [µg/㎡]
5/27	4:30	13.5	不検出	不検出
	6:30	15.0	2.9	0.10
	8:30	15.5	1.8	0.17
	10:30	17.5	0.76	0.08
	12:30	17.5	0.32	0.08
	14:30	18.0	0.44	0.23
	16:30	17.0	0.50	0.18
	18:30	16.0	0.22	0.12
	20:30	15.5	0.11	0.10
	22:30	14.0	0.04	0.03
5/28	0:30	13.5	0.04	0.04
	2:30	13.5	0.01	0.01
	4:30	13.0	0.03	0.02
	6:30	16.0	0.02	0.01
	8:30	16.0	0.01	不検出
	10:30	19.0	不検出	不検出
	12:30	18.0	0.01	不検出
	14:30	19.0	不検出	不検出
	16:30	19.0	—	—
	18:30	15.0	—	—
	20:30	14.0	不検出	不検出
	22:30	14.0	0.01	不検出
5/29	0:30	12.0	0.02	不検出
	2:30	10.5	0.02	不検出
	4:30	9.5	0.03	0.05
	6:30	15.0	不検出	不検出
	8:30	17.0	0.03	不検出
	10:30	19.0	不検出	不検出
	12:30	20.0	不検出	不検出
5/30	4:30	14.0	不検出	不検出
	6:30	17.0	不検出	不検出
	8:30	18.0	不検出	不検出
	10:30	22.0	不検出	不検出
	12:30	21.0	不検出	不検出
	14:30	20.5	不検出	不検出
	16:30	20.5	不検出	不検出
	18:30	19.5	不検出	不検出

## 第3回調査

散布農薬：ダイアジノン(25%)・BPMC(40%)乳剤。

10a当り：8倍希釈液を800ml。

散布面積：4200ha(4日間)。

散布日時：1987年6月26日午前4時半から9時。

天候：曇。

調査項目：大気汚染19地点。

3回目の調査では、今市市内の分布を中心に調べた。散布後1時間以上経過した10時半から、16時頃まで自動車で市内を廻わり大気を採取した。採取時刻による濃度変化の問題を含んではあるが、図5-5-93のような散布地点からの汚染の拡がりを描くことができた。

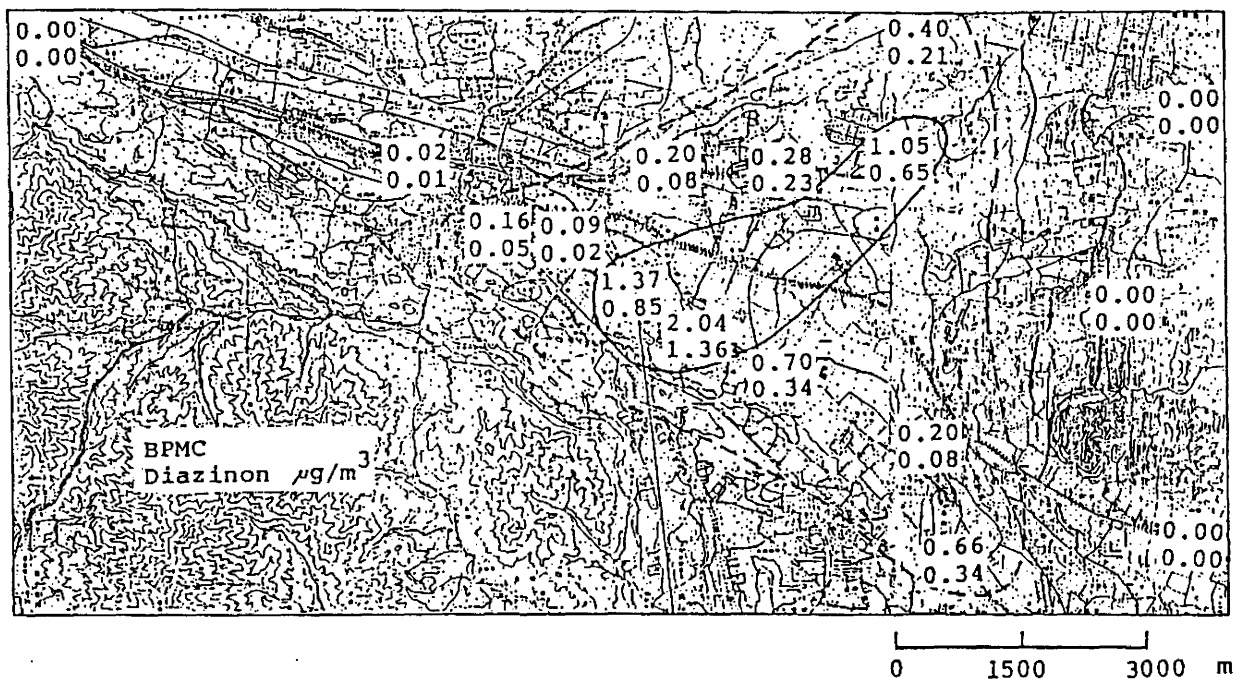


図5-5-93 大気中農薬(BPMC, ダイアジノン)の濃度分布  
(1987年6月26日、栃木県今市市・日光市)

## 5. 5. 10 埼玉県浦和市

## 第1回調査

散布農薬：バッサジノン乳剤 有効成分：BPMC (40%)  
 ダイアジノン (25%)

散布量：30倍希釈液を10aあたり、3ℓ散布。  
 1㎡あたり、BPMC 40000ℓ、  
 ダイアジノン25000ℓに相当する。

散布面積：90ha（浦和市）、同日、隣接した大宮市でも散布が行われた。

散布日時：1991年6月12日 午前4時50分から  
 ろ紙回収時刻： 散布当日、午前6時45分から7時30分

この地域は浄水場の周辺の水田に空中散布をおこなうことから、浄水場への影響が懸念されていた。同じ日に隣接する大宮市でも空中散布を行っている。

飛散量の測定値を表5-5-101に示す。20地点の測定のうち17地点で飛散農薬が検出された。水田内ではBPMC 3万ℓ/㎡、ダイアジノン7万ℓ/㎡の散布量であった。薬剤の性質上、BPMCの方が揮発性が大きいので散布中や飛散後の再揮発量が多くなって、飛散残留量はBPMCとダイアジノンの比が1：2となり薬剤組成とは異なる結果になった。

表5-5-101の中で\*印を付けたものは、大宮市で同日に散布された農薬成分が検出されている地点を示している。大宮市の散布成分は、BPMCは共通であるが、ダイアジノンはなく、代わりに別の薬剤を散布している。浦和市で散布した薬剤のBPMCとダイアジノンの比はおよそ1：2であるが、大宮市からの飛散があった地点は、この比よりBPMCが多くなっている。大宮市内の調査地点（15番16番）は当然であるが、浄水場周辺や幼稚園まで大宮市の薬剤が飛散していた。

水田の周辺への飛散では、大宮市内での民家の庭先で水田散布量の1割に相当する多量の農薬が検出された。また、浄水場にも採取地点9番（浄水を処理する水槽に最も近い位置）でBPMC 970ℓ/㎡、ダイアジノン1570ℓ/㎡もの薬剤が検出されている。大久保浄水場の水処理施設には覆いがなく、飲料水にも飛散農薬が混入したと考えられる。ヘリコプターによる空中散布法は、その性質上、農薬が周囲に飛散することを避けることができない。今回の調査で飲料水源である浄水場に散布農薬が飛散していることが確認された。

表5-5-101 水田空中散布農薬の飛散量  
(1991年6月12日調査。埼玉県浦和市)

番号	採取地点	BPMC [μg/㎡]	ガイジン [μg/㎡]	大宮市の 影響
1	団地中央	49	144	
2	団地南側	997	2244	
3	団地北側	439	996	
4	浄水場	390	543	*
5	運動公園内	485	993	
6	浄水場	942	449	*
7	浄水場	302	79	*
8	浄水場	849	563	*
9	浄水場	971	1571	
10	浄水場	nd	nd	
11	浄水場	nd	nd	
12	北高等学校	286	1096	
13	植水中学校	nd	nd	
14	水田内	31290	71400	
15	民家	2262	nd	*
16	民家	4204	nd	*
17	文明堂工場	488	237	
18	大久保小学校	nd	nd	
19	大久保中学校	nd	nd	
20	幼稚園	423	648	*

## 5. 5. 11 埼玉県富士見市

## 第1回調査

散布農薬：ペンシクロン(20%)水和剤、30倍希釈。  
 プロフェジン(40%)水和剤、60倍希釈。  
 10a当り：3.5ℓ。  
 散布面積：南畑地区278ha。  
 散布日時：1987年8月13日早朝。  
 天候：晴れ、無風。  
 調査項目：飛散量10地点。

富士見市南畑の空中散布地域内には、幼稚園があって、空中散布による汚染が心配された。水田への標準散布量23000 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ に対して、幼稚園の校庭中央で、ペンシクロン990 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 、プロフェジン1900 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ であり、幼稚園裏門ではそれぞれ4600 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ であった。

## 第2回調査

散布農薬：BPMC(2%)・MEP(2%)・バリタマイシン(0.3%)微粒剤、  
 MEP(50%)乳剤。  
 10a当り：微粒剤は3kg。乳剤は30倍希釈液を3ℓ。  
 散布面積：153haに微粒剤、  
 285haに乳剤希釈液を散布した。  
 散布日時：1988年7月27日午前5時から9時頃。  
 天候：散布中は曇、その後は雨が降ったり止んだり。  
 調査項目：飛散量40地点、大気汚染分布17地点、水質汚染3検体。

富士見市水谷耕地では、空散に反対しているマンションの周囲はヘリコプターからの散布は行なわれず、ヘリコプターの飛行高度も昨年に比べて低く、周囲の飛散に対する配慮がうかがわれた。しかし、小中学校には水田標準散布量の1割弱の農薬量が落下したことになる。大気汚染については、散布終了後から午前中にかけて隣の志木市を含む範囲の分布調査を行なった。BPMCとMEPの分析結果を表5-5-111に示す。散布地域付近ではBPMCが約2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、MEPが約1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度であり、これを中心に汚染の広がりが認められた。農薬が隣接する志木市へと流れていく様子が判った。

表5-5-111 大気中農薬の濃度分布  
(1988年7月27日調査。埼玉県富士見市)

場所	採取時刻	BPMC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	MEP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	風向風速 [m/s]	天候
水谷東小学	06:45	1.17	0.27	19.5	NE 1	霧雨
富士見ニューライフ	07:13	0.26	0.05	19.5		雲り
柳瀬川沿い	07:52	1.89	0.31	18	NW 5	
柳瀬川沿い	08:21	1.83	0.66	16.5	NE 2	雨
水谷東小学	08:56	1.12	1.03	17		雲り
柳瀬川沿い	09:19	1.74	0.95	20	NW 5	
志木中学	09:45	0.57	0.44	18.5	N 5	霧雨
志木3小学	10:13	0.23	0.22	18		雲り
志木駅	10:53	0.11	0.20	19		
後	11:32	0.11	0.15	17	N 2	
富士見高校	12:09	0.07	1.99	19	NE 3	小雨
浄水場	12:45	0.03	1.18	19	NE 2	雲り
市役所	13:21	0.25	0.18		NE 4	雨
水谷東小学	14:18	0.28	0.38	19	C	小雨
柳瀬川沿い	14:44	0.17	0.32	19	NE 2	雨
水谷東小学	16:24	0.08	0.17	17.5	C	雨
柳瀬川沿い	16:56	0.09	0.11	18		小雨

### 第3回調査

散布農薬：BPMC(2%)、MEP(2%)、IBP(3%)微粒剤F。

10a当り：3.5kg。

散布面積：153ha。

散布日時：1988年8月29日 早朝。

天候：東南のごく微風、曇り。

午前8時35分から降雨、一時強い雨、午前いっぱい小雨。

調査項目：飛散量

第2回と第3回の飛散量調査結果を合わせて、表5-5-112に示す。

第2回調査では、ヘリコプターが富士見ニューライフマンションの近くには散布しなかったため、飛散量が小さかった。第3回調査では、空中散布が同マンションのすぐ近くまで行われたため、同マンションの各階で農薬の飛散が測定された。階別にみると、3階がもっとも多量で3成分合計2540 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ あるが、最上階の13階でも合計1670 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ の飛散があったことが判った。

表5-5-112 農薬の飛散量

(1988年7月27日、8月29日調査。埼玉県富士見市)

採取地点	7月27日散布		8月29日散布		
	BPMC [μg/m <sup>2</sup> ]	MEP [μg/m <sup>2</sup> ]	BPMC [μg/m <sup>2</sup> ]	IBP [μg/m <sup>2</sup> ]	MEP [μg/m <sup>2</sup> ]
ニューライフ1階	nd	nd	600	710	370
ニューライフ3階	nd	nd	770	1200	570
ニューライフ5階	nd	nd	530	890	460
ニューライフ7階	nd	nd	390	630	380
ニューライフ9階	nd	nd	240	420	270
ニューライフ11階	nd	nd	320	490	300
ニューライフ13階	nd	nd	240	390	240
ニューライフ駐車場	nd	nd	1300	680	600
ニューライフ	nd	nd	140	230	170
ニューライフ	nd	nd	120	160	80
ニューライフ2階東	nd	nd	550	780	400
ニューライフ4階東	nd	nd	500	860	500
ニューライフ6階東	nd	nd	470	750	450
サンライズマンション	490	530	nd	180	190
志木NT	nd	29			51
志木NT	nd	nd	49	67	160
志木NT中央公園	nd	93	nd	110	57
志木NT <sup>ハ</sup> アモール	nd	nd	nd	nd	nd
志木NT2-6-8	nd	nd	nd	17	10
志木NT西かど	nd	360	nd	79	68
水谷東1-15-16	nd	370	nd	240	58
水谷東2-5-11	nd	120	190	390	210
水谷東2-17-11	90	930	1700	1900	1400
水谷東3-20-12	nd	220	nd	45	16
榎町公園	nd	nd	890	270	140
富士見第一病院	nd	96	840	440	
集落(125m)	nd	nd	290	1400	680
幼稚園(250m)	nd	nd	nd	160	190
東台(500m)	nd	nd			
みずほ台(1km)	nd	nd			
志木中学	1500	1100	170	540	490
水谷中学校庭			1100	5700	1200
水谷中学西隅	2500	1600	5700	6300	3600
水谷中学北隅	5300	4400	15000	12000	
水谷東小校庭			460	1600	540
水谷東小学南隅	340	360	2900	3500	
水谷東小学東隅	2200	1600	9400	12000	11000
水谷東小学	1100	900			
散布地域内A			1500	8200	5200
散布地域内B			28000	53000	31000
散布地域内C			33000	53000	26000
散布地域内	4800	3500	43000	30000	34000
散布境界	nd	nd	410	1300	700

注: ndは不検出。 &lt;200 &lt;20 &lt;100 &lt;10 &lt;10

5. 5. 12 神奈川県厚木市

## 第1回調査

散布農薬：BPMC(3%)粉粒剤。  
10a当り：3.5kg。  
散布面積：275ha。  
散布日時：1988年7月19日午前5時から7時。  
天候：曇り、無風。  
調査項目：飛散量9地点、水質汚染2検体。

愛甲小学校の周囲において飛散量の調査を行った学校の周囲100mの散布を控えるなどの措置がとられた伊勢原市(次項)と比べると、厚木市の学校校庭飛散量が当然大きい。水質汚染では、愛甲小学校プールからは0.3μg/l、東名中学校のプールからは1.9μg/lのBPMCが検出された。



## 5. 5. 13 神奈川県伊勢原市

## 第1回調査

散布農薬：BPMC(3%)粉粒剤。  
 10a当り：3.5kg。  
 散布面積：480ha。  
 散布日時：1988年7月21日午前5時から8時。  
 天候：曇。5時頃北北東弱風、6時半7m/s。  
 調査項目：飛散量15地点、水質汚染2検体。

大田小学校と成瀬小学校周辺にろ紙を設置した。散布田から125m離れた大田小学校の校庭の中央部で1400 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 、プール付近で3900 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 、北隅で6500 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ の農薬が落下した。プールの水中濃度は、12 $\mu\text{g}/\text{L}$ であった。散布田境界から大田小学校に飛散する様子を図5-5-131に示す。2つの小学校では落下量に10倍の差があるが、両者は散布田の南と北に位置し、この差は当時点の風向の影響による。散布田から20mの距離にある住宅のベランダでは15000 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ の飛散量が測定された。

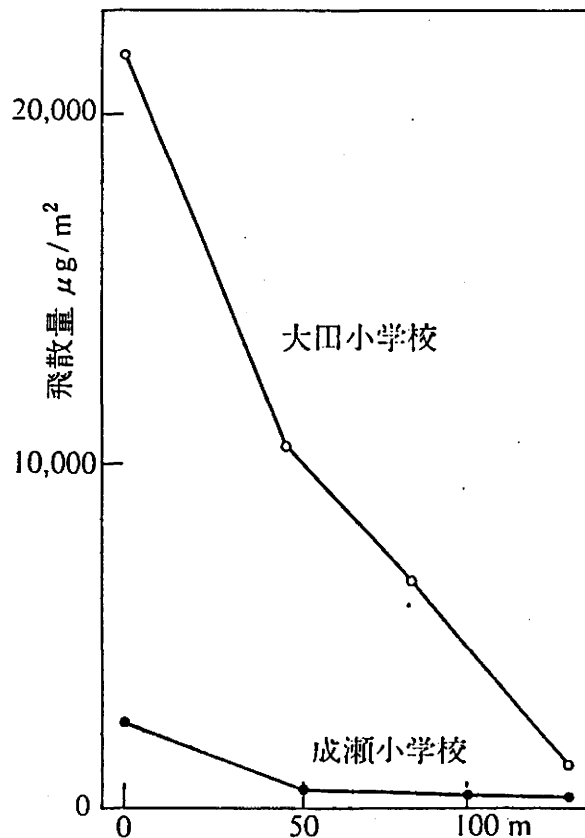


図5-5-131 水田からの距離と農薬飛散量  
 (1988年7月21日、神奈川県伊勢原市)

## 第2回調査

散布農薬：MTMC(2%)粉粒剤

10a当り：不明。

散布面積：220ha。

散布日時：1989年7月17,18日午前5時～9時

天候：晴れ。

調査項目：大気汚染 自動連続採取17検体，  
飛散量 4検体。

大気汚染の測定結果を図5-5-132に示す。飛散量は、伊勢原浄水場を中心に4地点で計測したが、水田と浄水場の間にある住宅地で2900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を検出した以外は不検出(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満)であった。

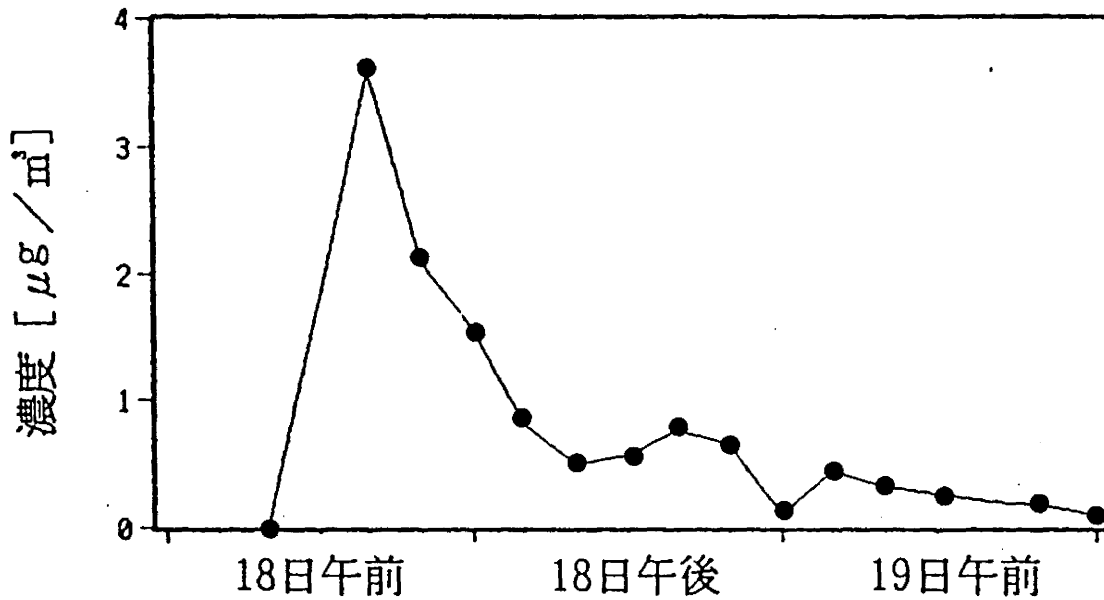


図5-5-132 大気中MTMC濃度の時間変化  
(1989年7月18～19日、神奈川県伊勢原市)

5. 5. 14 千葉県佐原市

## 第1回調査

散布農薬：カスガマイシン（1.2%）・バリダマイシンA（4%）・  
フサライド（15%）水和剤。  
MEP（50%）乳剤。

10a当り：30倍希釈液を3ℓ。

散布面積：188ha。

散布日時：1985年7月15日午前5時から9時。

天候：西の風、晴れ。

調査項目：大気汚染19検体。

この調査は、筆者による最初の水田空中散布農薬の汚染調査である。

図5-5-141に示すような利根川に隣接する水田地帯に空中散布が行われた。散布域と試料採取地点を同図に示した。測定結果を表5-5-141に示す。

散布前日の大気中濃度は検出限界以下であった。散布時間中の最高値は8:30にd地点で35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。散布後の最高値は15:10にb地点で5.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ が測定された。当日は弱い西風であったが、隣接する部落での大気中濃度は、i地点で0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、m地点で0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、約1km離れたl地点で痕跡量、約2km離れた佐原駅前では不検出であった。

散布8日後の7月23日の12~15時に2回目の測定を行った。第1回目の測定より濃縮量を10倍に増やして測定したが、a, b, d, e, gの5地点全てで、検出限界である0.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であった。

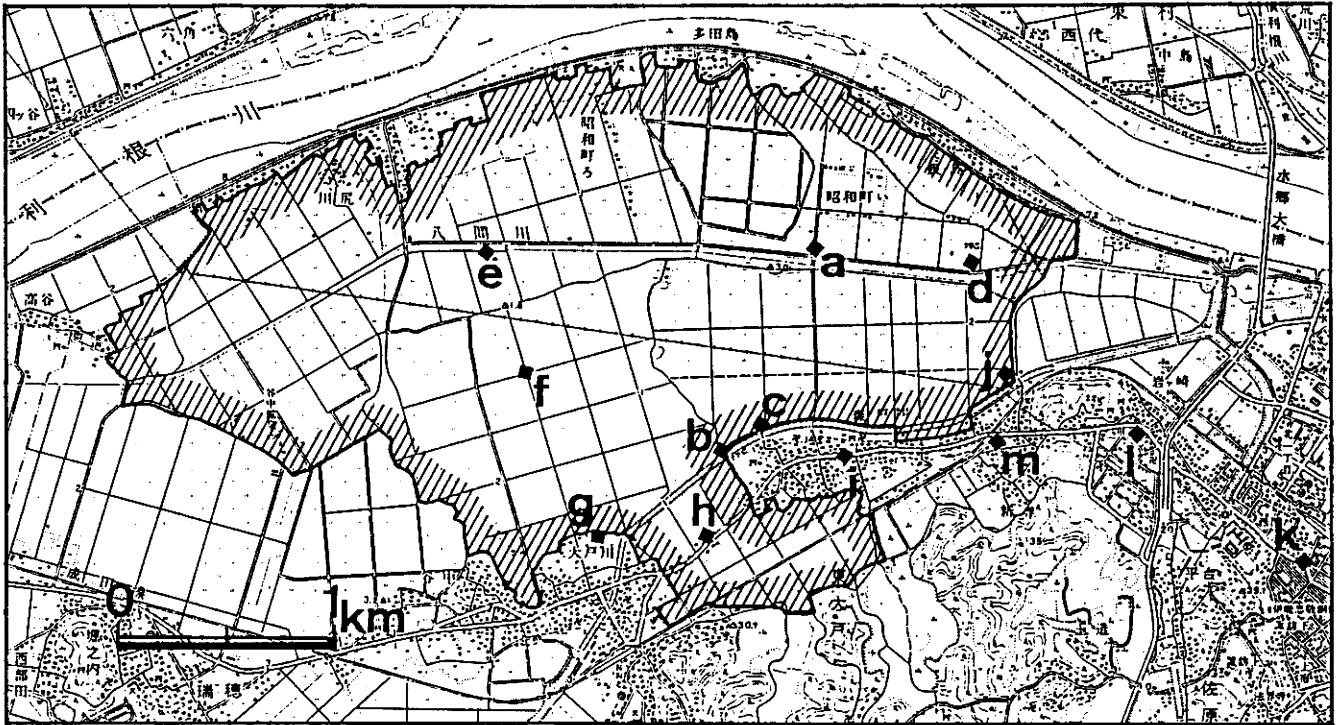


図5-5-141 水田空中散布域と試料採取地点  
(1985年7月15日調査。千葉県佐原市)

表5-5-141 大気中MEP濃度  
(1985年7月15日調査。千葉県佐原市)

採取地点	採取時刻	MEP濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
a	前日	nd
	10:20	3.3
	15:00	1.8
b	前日	nd
	7:50	10.1
	15:10	5.9
c	7:40	4.8
d	8:30	35.
e	10:40	1.0
f	10:50	1.0
g	11:10	nd
	15:30	0.2
h	11:20	1.4
i	11:30	0.2
j	11:50	2.7
	14:50	1.4
k	13:40	nd
l	14:20	tr
m	14:40	0.5

ndは不検出(0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)。trは痕跡量。

### 5. 5. 15 飛散量についての考察

水田に空中散布された農薬が目的外のところへ飛散してしまうのを、避けることはできない。しかし、各地の調査結果を比べると、地理的条件や散布量が同じようなところで、かなり飛散量に差が認められる。農薬の水滴の落下がストークスの法則によるとすると、飛散距離  $R$  [m] は、水滴の直径  $a$  [m] と散布高度  $H$  [m]、風速  $u$  [m/s] の関数になる。

$$R = \frac{18\mu}{dg} \frac{Hu}{a^2} = 3.3 \times 10 \times \frac{Hu}{a^2} \quad (20^\circ\text{C}) \quad (5-5-1)$$

ただし、 $\mu$  は空気粘性率、 $d$  は水滴の密度、 $g$  は重力加速度である。

したがって、薬剤の飛散を少なくするには、当然のことながら、散布高度  $H$  を低くし、風  $u$  の無い時に、大きな粒径  $a$  のスプレーで散布することが大切である。しかし、現実には低空飛行での散布はヘリコプター事故の原因となるし、過密なスケジュールで日程の度更が困難であるし、大きな粒径は撒きムラの原因になるために、散布地外遠くまで飛散を起こすことになっている。小中学校など、特に新設校は、水田の真ん中に建てられることが多いので、この飛散による農薬をたくさん浴びることになる。。

新潟県巻町の例でみたように、1回目の散布では学校に水田と匹敵する量の農薬の落下があったけれども、それを注意した2回目は学校の周辺100mの空中散布を止め、飛散量を低くすることができた。神奈川県伊勢原市でも、学校の付近100mは散布していない。この100mの効果は、[図5-5-131](#)で見た通りである。しかし、同市大田小学校のプールが12㍓/㍓に汚染してしまったのは、プールが校庭の端で田圃に隣接していたためである。

同じ神奈川県内の厚木市では、学校のすぐ横まで散布域なので、校庭内への飛散量が大幅に大きい。住宅地への飛散も学校等と同様で、隣接した水田への散布によって、水田並の飛散が避けられない。

明白に経済的な損害としての被害を認定できるものとして、有機無農薬栽培地への農薬の飛散があげられる。茨城県八郷町で、散布拒否の旗を無視して農薬散布が行なわれたり、山形県白鷹町では散布田、非散布田が混在してヘリコプターからの撒き分けが困難な様子であった。有機無農薬で栽培するためには、作物を丈夫に育てる必要があって、それだけ高度な技術と労力を注いでいる。それが、農薬空中散布で被害を受けて各地で問題となっている。なによりも、生態系のバランスを保つ条件下で成立する有機農法であるから、無

配慮な農薬の飛散は農場と周辺の生態系を破壊して後々の害虫・病気の大発生につながる  
ことになる。

## 5. 5. 16 大気汚染についての考察

水田空中散布での農薬大気汚染については、主として3つの経路からの汚染を考える。第1点は、散布した農薬ミストからの揮発と浮遊ミストである。しかし、この現象は、散布中から1時間程度で終わることが観察される。定点測定データでは、散布中の農薬濃度がこれに相当する。ヘリコプターからの農薬を雨のようにかぶる状況でなければ、浮遊ミストよりも揮発成分の方が高濃度である。なぜなら、浮遊ミストが主体ならば、存在比は散布農薬の混合比に等しいはずである。しかし、BPMCとMEPの混合剤を散布している多くの事例で、BPMCとMEPの大気中存在比が大きくBPMCに傾いている。これは、MEPに比べBPMCの方が揮発しやすいため、揮発したBPMCが大気汚染の主体になるためである。

第2点は、田圃の水に落ちた農薬の揮発である。概算で説明するために、仮に分子量300、ヘンリー定数 $H \approx 10^{-5}$ 程度の農薬があるとしよう。水田への標準散布量( $30 \text{ mg}/\text{m}^2$ )から、散布直後の深さ10cmの田圃の水の濃度は、 $C = 10^{-3} [\text{mol}/\text{m}^3]$ となる。これと平衡する大気中濃度は $P = HC = 10^{-8} [\text{atm}] = 0.075 [\mu\text{g}/\text{m}^3]$ である。散布当日に大気中で測定される値は、この値をはるかに越えているので、このような場合では田圃水から大気へ農薬が移行することはなく、むしろ大気から水系への移行が起ることになる。

第3点は、作物の葉や地表などに落ちた農薬成分が揮発する経路である。天気が良い時の水田では、散布終了と共に一度低くなった大気中濃度は、昼まえに再び急上昇する。曇天の場合は、大気中濃度が急上昇することはない、だらだらと一日中少しずつ揮発していく。水田は稲の葉に満遍なく日射が当たるようにできているから、松枯れ対策としてのMEPの森林への空中散布と比較すると、直射日光を遮る樹木がない分だけ急速に揮発して消失する。これが、水田と森林とで揮発の様子が異なる1つの理由である。次に雨が降った場合、葉上に付着した農薬が流下して水中に落ちると、葉上や土壌と違って水層は立体であるから、拡散希釈されて大気中に再揮発し難くなる。これが、畑地と異なるもう1つの理由と考えられる。

多くの水田大気の測定例から、水田上の大気汚染は稲の葉上あるいは土壌上に付着した農薬からの揮発によることが推定される。また、山森、畠よりも水田の大気汚染が急速に減少する傾向が認められ、これは水田の特徴と考えられる。

## 5.6 山林における大気汚染

### 5.6.1 松枯れの原因 (植村(1985))

日本の山や海岸を守ってきた松が突然赤茶けて枯れてしまうのが「松枯れ」という現象である。この原因について、次の諸説がある。

#### A マツクイムシ説

台風や、異常気象、大気汚染、乱開発などによって衰弱した松を、カミキリムシ・ゾウムシ・キクイムシなどが食害して枯死させる。

これは、1970年代までは通説であったが、いまは用いられない。

#### B マツノザイセンチュウ説 (マツノザイセンチュウ・マツノマダラカミキリ説)

マツノザイセンチュウが松を枯死させる。マツノマダラカミキリは、マツノザイセンチュウを松から松へ運んで伝染させる。したがって、マツノマダラケミキリを全滅させれば、マツノザイセンチュウが他の松の木に移動することはできなくなるので、松枯れを防げる。

しかし、枯死した松からマツノザイセンチュウが見つからないことがあったり、マツノザイセンチュウを接種する試験でかならずしも枯死しないものがあるなど、病原体がこれであると断定できないとする研究がある。他の理由によって衰弱した松に、マツノザイセンチュウがとどめを刺したにすぎないとして、この説を否定したり疑問視する学者も少なくない。

山林への農薬の空中散布は、この説によって実施されている。

#### C 病原菌説

黒変菌・デンシフローラ菌などを原因と考える説である。

#### D 大気汚染説

工場排煙の直撃のみならず、酸性雨による土壌の酸性化・土壌生態系の破壊などを含めた、大気汚染の累積的影響によって松が枯れる。

#### E 生態遷移説

松は、日当たりがよくて風通しがよくあまり養分の多くない土地に生育する植物である。松林の手入れ(下草の刈り取り・薪拾い)などをしなければ、地表の日当たりが悪くなり、土壌の有機物も増えるため、松の生育には適さなくなり、森林



生態系の自然な遷移として枯れてしまう。

#### F その他の説

乱開発説・農薬公害説などもある。

その対策（九州地区薬剤研究会議(1979)）として、

#### B マツノザイセンチュウ説による対策

このなかで、マツノザイセンチュウ説による対策が日本中で行われてきた。マツノザイセンチュウを駆除する方法として、薬剤散布（空中散布・地上散布）、樹幹薬剤注入、被害木駆除、伐倒焼却、伐倒剥皮焼却（皮の部分だけを焼却して木材は利用する）、伐倒駆除（虫のいる松を切り倒して薬剤処理する。）、緊急伐倒駆除、生物的防除、天敵、抵抗性のある松の育種の開発（和華松など）がある。

#### E 生態遷移説による対策

松の生育環境を整える。落葉・枝を拾う、下草の刈り取り、その他。その土地にあった他の樹木を植える。

この対策の中の一つの方法として、山林にMEPやNACなどの殺虫剤を空中散布している。これは、最も豊かであるべき里山の生態系を著しく損傷するものである。また、これらの里山の多くは公園などとして活用され、市民が散布直後にも散策に訪れている。このことから、農薬汚染の実態を調べる必要があった。

なおこの節でも、前節と同様に図表番号の枝番号の十の位を調査地域番号と一致させるために、巢表の枝番号には欠番を入れてある。

## 5. 6. 2 宮城県石巻市海浜公園

## 第1回調査

散布薬剤：NAC乳剤

10a当り：原液 100g

散布面積：22ha

散布日時：1987年7月16日 早朝。

松枯れの対策で散布する薬剤はMEPが多いが、桧にMEPが掛かると葉害で桧が枯れてしまうという副作用があるので、かわりにNACを使うことがある。この石巻の例はその一つである。海浜公園の松と牛網地区の松林に空中散布された。

測定結果を表5-6-21に示す。散布地域から約100m離れた北上運河で、7:30に0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、13:00に0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、牛網の松林周辺の民家でもNACが検出された。

表5-6-21 大気中のNAC濃度  
(1987年7月16日調査。宮城県石巻市)

測定地点	測定時間	気温 $^{\circ}\text{C}$	NAC濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
海浜公園入口	5:00- 5:20	21	nd<0.01
	9:52-10:12	22	0.12
	14:10-14:20	22	0.13
海浜公園4号路	8:39- 8:54	22	0.14
	北上運河	7:34- 7:54	22
	13:05-13:14	22	0.90
牛網松林内1	10:50-10:57	21	0.31
牛網松林内2	13:37-13:41	22	2.1
牛網民家	13:46-13:52	22	0.16
牛網郵便局	11:10-11:20	22	0.10

### 5. 6. 3 福島市信夫山

#### 1 週間連続測定調査

散布農薬：MEP

散布日時：1986年7月7日

調査期間：1986年7月7日から13日

信夫山は福島市の中央に位置し、市街地に囲まれた小山である。1986年7月7日にその年2度目の空中散布が行われた。ここでは散布地域近くの民家で電源が確保できたので、自動大気採取装置を設置して1週間にわたる時間変化を測定した。散布地域と測定点の位置を丸印○で図5-6-31に示した。図で解るように測定点は散布予定地から10～30mの距離である。なお、図中a～eは散布後、散布地域内で1検体ずつ採取した地点である。

大気中MEP濃度測定結果を表5-6-31に、その時間変化を図5-6-32に示した。試料の採取は1日目は1時間毎に、2日目以降は2時間毎に行った。図には気温の変動と天候の概況を並記した。天候は梅雨期に当り、曇、小雨、霧雨が続き、晴天は8日と10日夜だけであった。また、風はほとんどないか、やや北～北東が多かった。信夫山は盆地に独立した丘陵なため、風速が小さい時には風向は定まらず、気象要因はやや複雑な感じであった。

大気中MEP濃度は散布直後から上昇し、以後増減を繰り返しながら次第に減少し、1週間で1/10以下のレベルになっている。散布時樹木葉上や土壤に付着したMEPが揮発して長期にわたって大気を汚染し続けていることが明らかである。濃度の増減については、揮発速度を左右する気温の影響が認められるが、日によって相関が明瞭な場合とそうでない場合がある。例えば朝方、夜中の最低値の記録は低温時に対応し、昼間のピークは高温時に対応するとみなされるが、これに風向の影響が加わっている。とくに散布地域の方向北～東風が卓越する場合は7、9、11日と3度あって、いずれも高濃度が待続している。これと反対に南風が入る場合が時々見られるが、この時には濃度がやや低くなる。

本データは、松の森林に対する農薬空中散布後の1週間にわたる大気汚染を初めて明らかにしたものである。

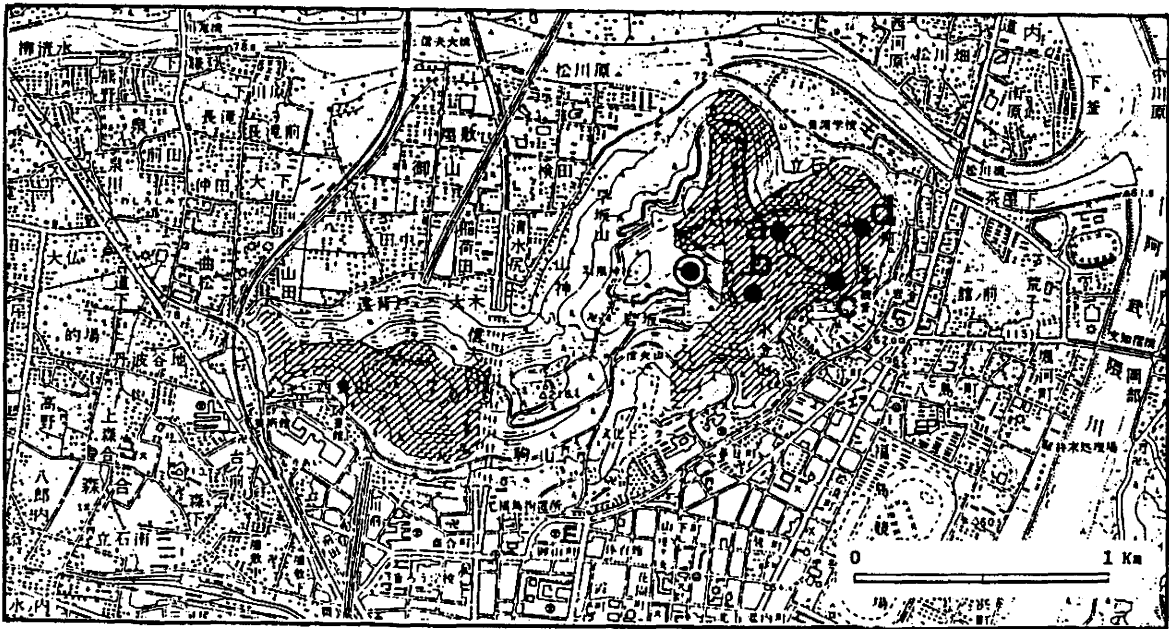


図5-6-31 福島市信夫山MFP散布域と測定地点  
(1986年7月7日、福島県福島市信夫山)

32

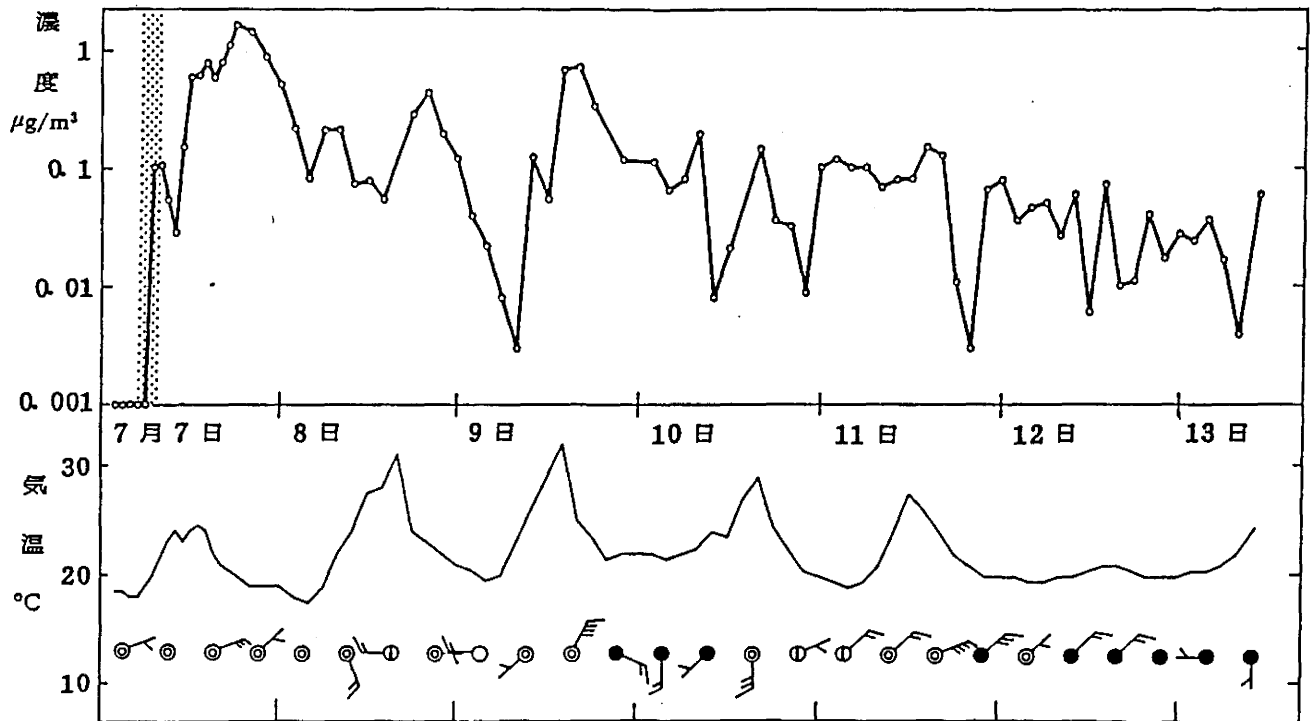


図5-6-32 大気中MFP濃度の時間変化と気象  
(1986年7月7~13日、福島県福島市信夫山)

日

表5-6-31 大気中MEP濃度の時間変化  
(1986年7月7日調査。福島県福島市信夫山)

日付	時刻	気温[℃]	MEP[μg/㎥]
7/07	02:00	18.5	0.000
	03:00	18.5	0.000
	04:00	18.0	0.000
	05:00	18.0	0.001
	06:00	19.0	0.000
	07:00	20.0	0.103
	08:00	21.5	0.107
	09:00	23.0	0.055
	10:00	24.0	0.029
	11:00	23.0	0.15
	12:00	24.0	0.61
	13:00	24.5	0.62
	14:00	24.0	0.80
	15:00	22.0	0.60
	16:00	21.0	0.81
	17:00	20.5	1.1
18:00	20.0	1.7	
20:00	19.0	1.5	
22:00	19.0	0.90	
24:00	19.0	0.53	
7/08	02:00	18.0	0.22
	04:00	17.5	0.083
	06:00	19.0	0.22
	08:00	22.0	0.22
	10:00	24.0	0.074
	12:00	27.5	0.080
	14:00	28.0	0.055
	18:00	24.0	0.29
	20:00	23.0	0.45
	22:00	22.0	0.20
24:00	21.0	0.12	
7/09	02:00	20.5	0.040
	04:00	19.5	0.022
	06:00	20.0	0.008
	08:00	23.0	0.003
	10:00	26.0	0.12
	12:00	29.0	0.055
	14:00	32.0	0.70
	16:00	25.0	0.74
	18:00	23.5	0.34
	22:00	22.0	0.12

(次頁へ続く)

表5-6-31 (続き)

日付	時刻	気温[℃]	MEP[μg/m <sup>3</sup> ]
7/10	02:00	22.0	0.11
	04:00	21.5	0.065
	06:00	22.0	0.081
	08:00	22.5	0.20
	10:00	24.0	0.008
	12:00	23.5	0.021
	16:00	29.0	0.15
	18:00	24.5	0.037
	20:00	22.5	0.033
	22:00	20.5	0.009
	24:00	20.0	0.10
7/11	02:00	19.5	0.12
	04:00	19.0	0.103
	06:00	19.5	0.103
	08:00	21.0	0.070
	10:00	24.0	0.082
	12:00	27.5	0.083
	14:00	26.0	0.15
	16:00	24.0	0.13
	18:00	22.0	0.011
	20:00	21.0	0.003
	22:00	20.0	0.067
	24:00	20.0	0.081
7/12	02:00	20.0	0.036
	04:00	19.5	0.047
	06:00	19.5	0.052
	08:00	20.0	0.027
	10:00	20.0	0.060
	12:00	20.5	0.006
	14:00	21.0	0.073
	16:00	21.0	0.010
	18:00	20.5	0.011
	20:00	20.0	0.041
	22:00	20.0	0.017
	24:00	20.0	0.028
7/13	02:00	20.5	0.024
	04:00	20.5	0.037
	06:00	21.0	0.017
	08:00	22.0	0.004
	10:00	24.0	0.058

## 距離別調査

信夫山空中散布の時は、時間変化調査に合わせて、一部距離別濃度変化も調べた。農業の大気汚染は空中散布で薬剤が散布時どこまで飛散落下するのかと云う現象とは異なる。従って調査時刻は11時から13時、散布から約5時間後とした。この時、風は無風～2 m/s、北～北北東であった。採取地点は、信夫山散布地点森林内と、風上に当る北方1.5 km地点から風下に当る南方8 km地点までを設定した。測定地点と濃度測定結果を表5-6-32に示し、地図上に位置と濃度をプロットして図5-6-33に示した。

この結果によれば信夫山を発生源として広大な範囲にMEPの大気汚染が形成されていることが確認された。森林内最高値は2.21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、これは沼田市の場合より低値であるが、同時刻連続測定点で0.88  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、さらに市街地2 km地点で0.10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。これに対し、信夫山の北および東側は風上に当り不検出、また、8 km離れた蓬菜町で不検出であった。当時点では無風に近い状態で、遠方への拡散はむしろ少なかったと考えられるが、それでも福島市街地は一様に汚染されていることが分った。本調査結果は独立山林を発生源とする農業汚染の代表例と見なすことができる。

信夫山の森林相も雑木化が進んでいるが、まだ松林として良好な状態も保たれている。この山は市街地に隣接し、遊園地となっていて空中散布の直後も散布を知らない人々がたくさん訪れていた。

表5-6-32 大気中MEP濃度の分布  
(1986年7月7日調査。福島市信夫山)

採取地点	MEP濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	採取地点	MEP濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
散布山林内 a	2.21	信夫山トンネル南	0.060
散布山林内 b	1.18	第四中学校	0.026
散布山林内 c	0.32	県立美術館	0.080
散布山林内 d	0.10	第四小学校	0.10
散布山林内 e	1.33	県庁舎	0.027
鎌田 (風上1.5 km)	nd	福島駅	0.051
松川橋	nd	桜の聖母学園	0.031
赤十字病院	nd	第一小学校	0.004
福島女子短大	0.34	杉妻小学校	0.008
市庁舎	0.043	蓬菜小学校 (風下8 km)	nd
福島体育館	0.030		

注：ndは不検出 (0.005  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)

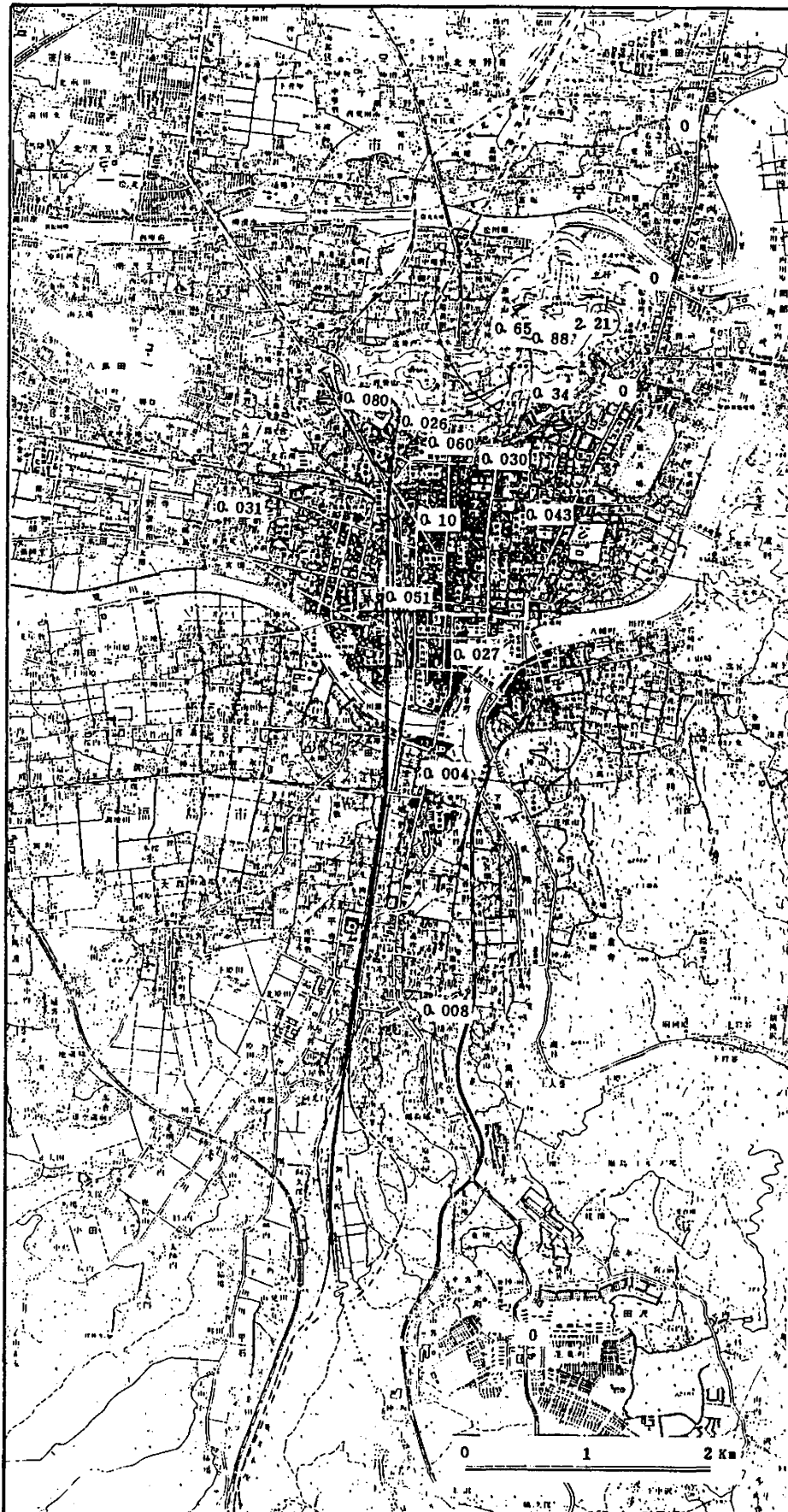


図5-6-33

大気中MEP濃度の分布  
(1986年7月7日、福島県福島市信夫山周辺)



福島市もちずり観音付近松林（1987年6月26日）

MEPの地上散布がこの日の早朝に行われ、調査は日中に行なった。もちずり観音付近で5ヶ所の大気を採取した。結果を表5-6-33に示す。もちずり観音で7.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

表5-6-33 MEP地上散布による大気汚染  
(1987年6月26日調査。福島県福島市もちずり観音)

測定地点	測定時間	気温[ $^{\circ}\text{C}$ ]	濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
もちずり観音	10:10-10:25	31.0	7.1
岡山小学校	12:22-12:30	27.5	4.7
三育幼稚園	12:25-13:10	26.5	0.29
もちずり観音	10:30-10:36	26.0	0.09
エデンの園	13:48-14:00	27.5	nd<0.01

福島県福島市水林自然林（1987年7月6日）

水林自然林・あずま総合運動公園では、早朝に空中散布が行われた。調査結果を表5-6-34に示す。散布直後の民家園で3.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、付近の幼稚園や保育園では0.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。周辺への飛散量を表5-6-35に示す。

表5-6-34 MEP空中散布による大気汚染  
(1987年7月6日調査。福島市水林自然林)

測定地点	測定時間	気温[ $^{\circ}\text{C}$ ]	濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
民家園散布地点	5:20	21	3.3
仲沢	10:40-11:04	24	0.04
愛隣幼稚園	11:00-11:09	25	0.03
うめ保育園	11:14-11:29	24.5	0.03
荒川小学校	11:18-11:33	25	0.04
水林自然林	13:00-13:15	20	0.44
水林自然林南	13:30	21	0.25

表5-6-35 MEPの飛散量  
(1987年7月6日調査。福島市水林自然林)

測定場所	飛散量 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]
給食センター	8.4
西信中学校	3.2
佐食幼稚園	1.0
野球場	5.5
赤トンボ小宮土橋	8.0
稲荷神社	0.3
民家園	0.5

## 5. 6. 4 群馬県高崎市観音山

## 第1回調査

散布地域：36ha(図5-6-41参照)

散布日時：1985年6月3日4:30～8:15

6月4日4:30～6:30

散布剤：スミバイン(MEP80%)

120倍希釈液240ℓ/ha 総量MEP58kg

高崎市郊外の観音山は、自然が残された展望台、野鳥の森として市民に親しまれている。しかし、1978年に松枯れの被害が発見された後、松枯れは年毎に急増した。そこで高崎市は、松枯れ防除のため、ヘリコプターによる空中散布を1982年から毎年6月頃に実施していた。

調査は、1985年6月2日から6月11日まで、観音山で8地点、周辺地域で8地点、いずれも道路上で、試料を採取した。MEPの散布域と試料の採取地点を図5-6-41に示す。B地点(観音山頂駐車場)とD地点(林道上)では経時変化を調べた。天候は、3日の風向は一定せず、風速は0～2m/sの微風であった。4日から7日にかけて連日晴天であった。その後、8日から3日連続で雨が降った。

測定結果を表5-6-41に示す。散布前の6月2日は不検出であったが、3日は観音山全域でMEPが検出された。最高値はB地点の山頂駐車場で16:50に記録した0.8μg/㎥で、この値は散布直後の7:40の0.086μg/㎥より約10倍高かった。D地点の林道でも散布中6:30の0.18μg/㎥より、12:55に0.27μg/㎥と、6時間経過後の方が高い値であった。観音山から離れた地点では、農大二高、高崎高校等では僅かに検出されたが、ほとんどは不検出が多かった。

B、Dの定点を中心として経時変化を調べた結果、大気中濃度測定値は、風向や気温の影響が大きいが、6日のD地点での0.078μg/㎥、7日のB地点での0.12μg/㎥に見られるとおり、散布4日後でも、散布日に匹敵する濃度の汚染が観測された。雨の降った後の11日は、B、D両地点とも不検出となった。

散布後に、森林内に入って観察したところ、樹林下の植物の葉に白い農薬の液の斑点が、ところどころに見られた。また細かいミストも一面に付着していた。ヘリコプターからは、ガンノズルという器具で散布するために、このようになるのであろう。こうした表面は、揮発実験で定義した高面密度の多層膜に相当する。

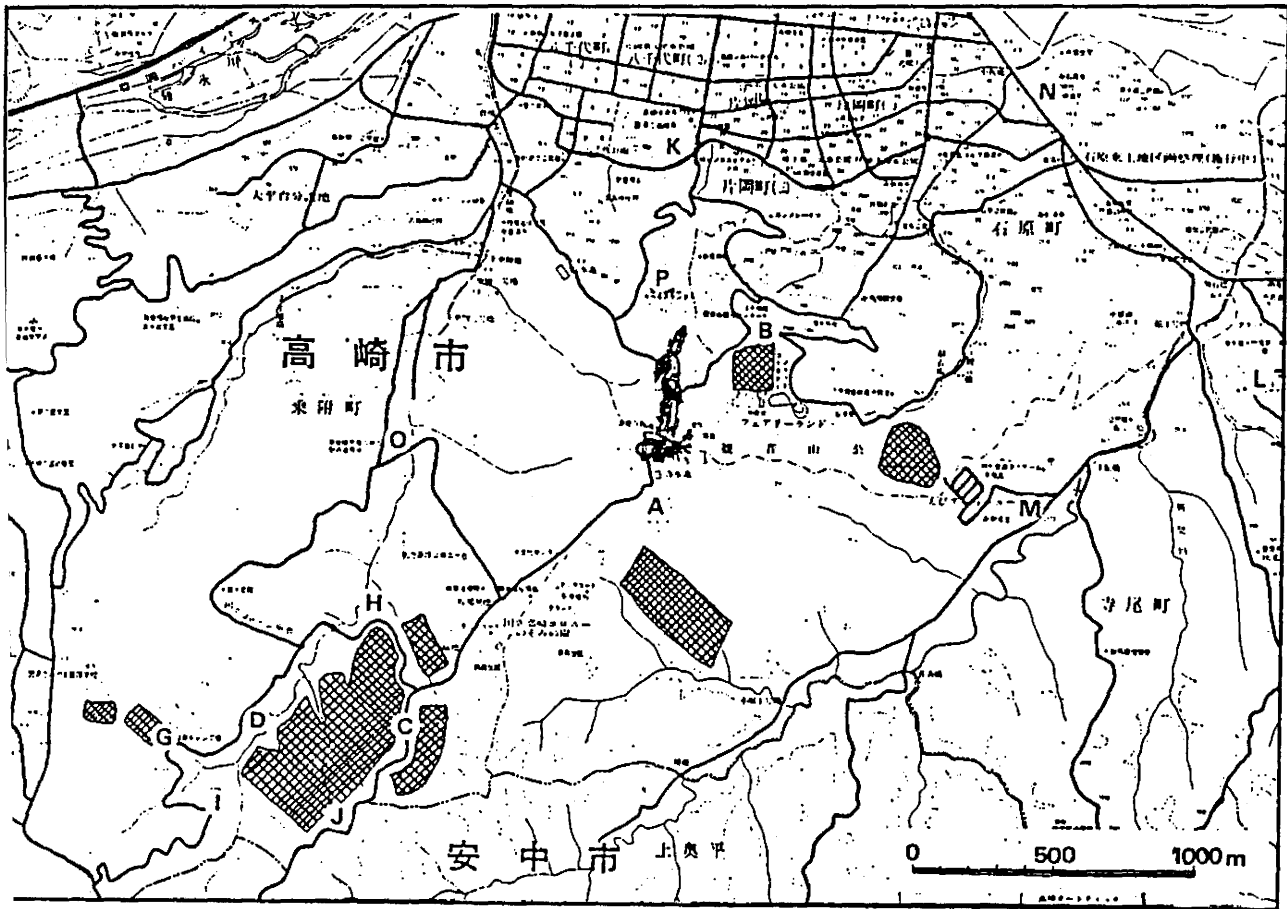


図5-6-41 MEP空中散布地域と大気汚染調査地点  
(1985年6月3日、群馬県高崎市観音山)

表5-6-41 大気中MEP濃度  
(1985年6月3~11日)

調査地点	調査日時	MEP濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]	気温 [°C]
B : 観音山駐車場	3日 5:10	nd	15
	7:40	0.086	17
	11:20	0.14	24
	16:50	0.80	24
	4日 7:00	0.017	17
	5日 13:10	0.044	30
	6日 14:30	0.067	33
	15:10	0.061	33
	7日 12:40	0.12	30
	11日 13:35	nd	19
D : 林道	3日 6:30	0.18	15
	12:55	0.27	26
	4日 6:25	0.21	17
	5日 14:10	0.010	29
	14:55	0.031	29
	6日 15:50	0.078	30
	7日 11:10	0.002	28
	11日 14:30	nd	20
A : 自然歩道	2日 16:10	nd	
	4日 4:30	0.072	15
C : 林道	3日 5:50	0.16	28
G : 乗附キャンプ場	3日 7:15	0.020	17
H : ヘリポート	3日 8:10	0.65	18
I : 林道	7日 12:00	nd	30
J : 林道	6日 16:25	0.001	29
K : 高崎高校	3日 8:40	0.013	20
L : 農大二高	3日 9:10	0.009	20
	6日 17:30	0.003	30
M : 高風園	3日 10:00	nd	24
N : 石原第一幼稚園	3日 10:50	nd	24
O : 国立コロニー駐在所	3日 17:30	0.013	25
P : ヘルズセンター	3日 13:30	nd	26
Q : 上奥平公民館	3日 15:10	nd	26
R : 産業廃棄物処理地	3日 15:40	nd	

## 第2回調査

散布地域：(図5-6-42参照)

散布日時：1986年5月28日5:00~9:00

散布剤： スミバイン(MEP80%)  
120倍希釈液240ℓ/ha

散布林端から300m離れ、谷をへだてた北側にある国立コロニー職員住宅地(A地点)に自動大気採取装置を設置した。この調査が同採取装置の最初の使用である。散布地の外での測定となった。散布地域と測定点Aの位置を図5-6-42に示した。なお一部手動で採取した北側林道(B地点)は桑畑の中であり、また比較のために1点採った森林中(C地点)も図中に示した。

大気中MEP濃度測定結果を表5-6-42に、その時間変動を図5-6-43に示した。散布後急速に大気中農薬濃度が上昇し、その状態が待続した後、夕方から減少し、また朝方上昇した。この傾向は気温と対比してみると、その変化に対応していることが認められる。通常大気汚染においては、ガス、煙が1時放出されると、2m/sの微風下でも10分で1.2kmも移動して、その地点に長く留まることはなく、一旦樹木葉上あるいは土壤に付着した農薬が揮発することに原因がある。夕方から気温の低下と共に減少するのも同じ理由による。当日は風向が不定でやや東寄りの1~3m/sの微風で、散布地域方向から直接吹くことは少なく、そのために大気濃度は低い水準で記録されたと推定される。森林中散布地点では1.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ が記録された。森林内は細い小道の外は一帯が人が入れない藪状の雑木林と化している。この状態はマツの生育にとって不適切であり、松枯れが起こるのも当然なことである。

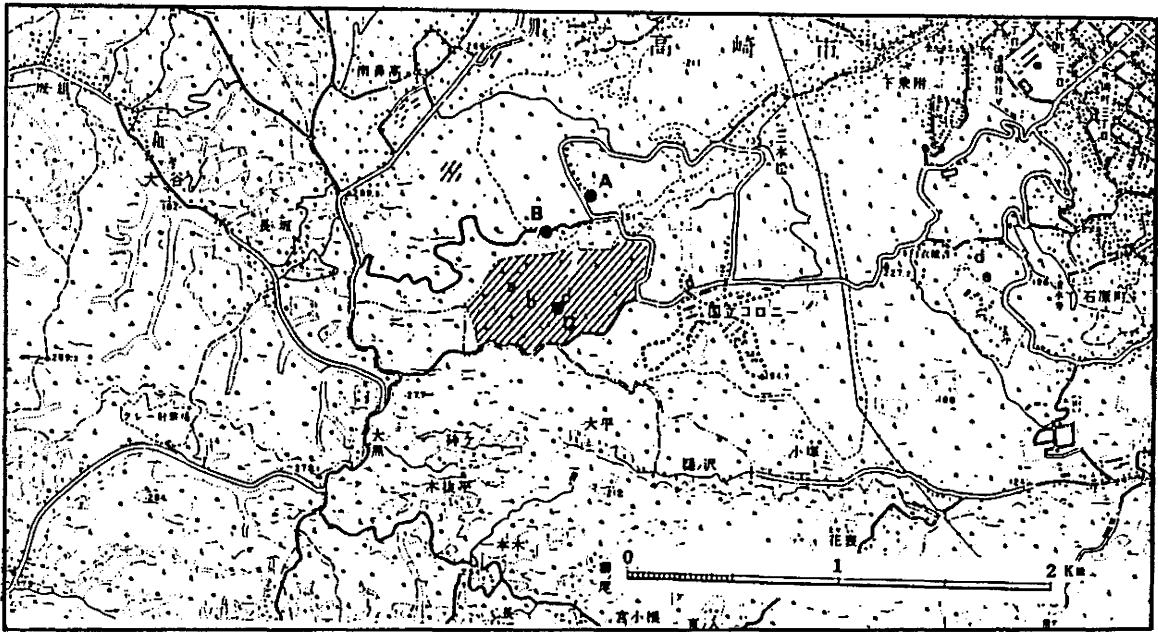


図5-6-42 MEP空中散布地域と大気汚染調査地点  
(1986年5月28日、群馬県高崎市観音山)

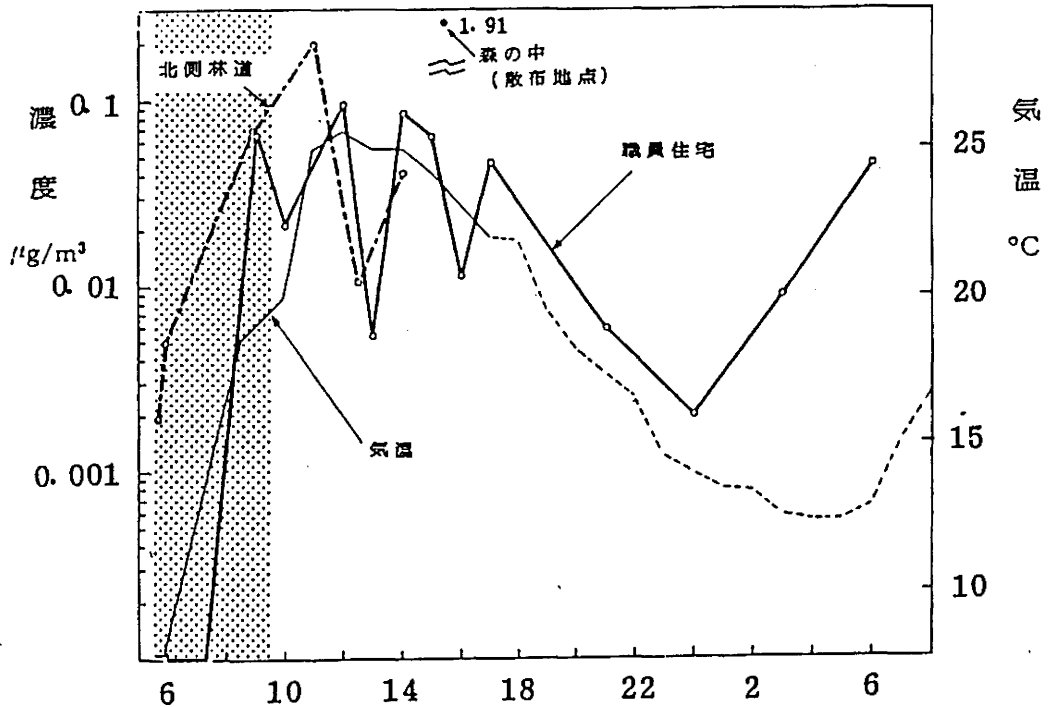


図5-6-43 大気中MEP濃度の時間変化と気温変化  
(1986年5月28~29日、群馬県高崎市観音山)

表5-6-42 大気中MEP濃度  
(1986年5月28日調査。群馬県高崎市観音山)

日付	時刻	気温[℃]	濃度[μg/m <sup>3</sup> ]
5/28	6:00		不検出
	7:10		不検出
	8:30	18.5	0.008
	9:00	19.2	0.068
	10:00	20.0	0.021
	11:00	25.2	0.047
	12:00	25.6	0.094
	13:00		0.005
	14:00		0.085
	15:00	24.2	0.064
	16:00		0.011
	17:00	22.0	0.047
	21:00		0.006
5/29	0:00		0.002
	3:00		0.009
	6:00		0.046
5/28	5:40	8.0	0.002 (B地点)
	5:55	8.0	0.005 (B地点)
	8:55	19.0	0.066 (B地点)
	11:00	25.0	0.195 (B地点)
	12:30	25.0	0.010 (B地点)
	14:00	25.0	0.040 (B地点)
	15:25		1.91 (C地点)

## 5. 6. 5 群馬県太田市金山

## 第1回調査

散布地域：群馬県太田市金山

散布日時：1988年6月1日午前4時30分から、  
同日午前7時頃まで。

散布薬剤：MEP80%乳剤

散布量：空中散布地域(30ha)では、  
1haあたり120倍希釈液を240ℓ、  
地上散布地域(5ha)では、  
1haあたり180倍希釈液を1200ℓ、  
散布総量は35haにMEP75kg。

当日の風向風速は、前橋气象台から提供を受けた。太田市内には観測点がないので桐生の気象を参考に示した。大気汚染調査地域の気象は、午前中は無風もしくは弱い北風、午後には無風もしくは弱い南風の晴れであった。

調査地点の位置を図5-6-51に示す。前年のMEP空中散布の時に農薬の被害を訴えた者が住んでいたマンションの駐車場(地図中A地点)に自動大気採取装置を設置して、大気中農薬濃度を定点観測した。この分析結果を表5-6-51に示す。散布中および直後と午後にMEPが大気中から検出された。

自動車に積み込んだ電動ポンプで、農薬散布当日の大気中農薬濃度を金山の周辺各所(地図中a~i地点)で測定した。周辺での濃度測定結果を表5-6-52に示す。市内各所での試料の採取時刻が異なるので単純な比較はできないが、汚染の程度を知ることができる。

また、農薬を散布した金山から南北に走っている道路沿い(地図中1~14地点)に、測定用のろ紙を置き、ろ紙上に降り落ちた農薬を測定した。ろ紙による飛散量調査の結果を表5-6-53に示す。

定点測定地点は、散布松林の南に位置し、北風または無風の時に高い濃度のMEPガスがやってくる。今回の調査では試料採取の打ち切り直前の16時に最高濃度3.1μg/m<sup>3</sup>という高濃度が観測された。ほぼ同じ頃、東山球場で、3.6μg/m<sup>3</sup>と同様の値が得られている。

昼ごろの測定値が低い原因は、当日の日中の風向が南風であったためである。幸いなことに、松林の北側にはほとんど民家など人の住んでいるところが少なく、日中に農薬の影響が少なくて済んだ。また、夕方に濃度が高くなったのは、夕風になったためである。



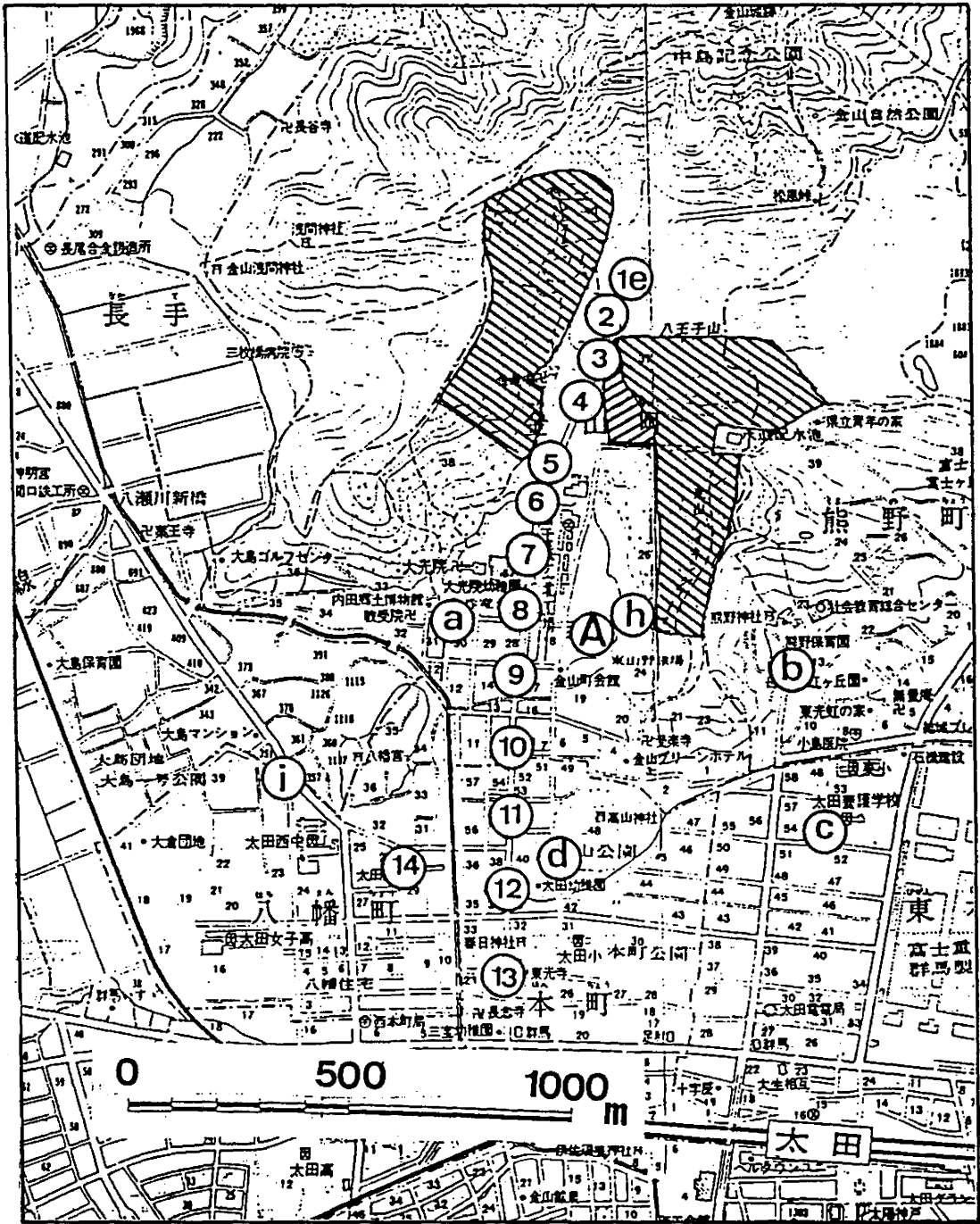


図5-6-51 MEP空中散布地域と大気汚染調査地点  
 (1988年6月1日、群馬県太田市金山)

表5-6-51 大気中MEP濃度の時間変化  
(1988年6月1日調査。群馬県太田市金山)

日付	時刻	MEP濃度[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	風向	風速	備考
6/1	0:00	nd			
	1:00	nd			
	2:00	nd			
	3:00	nd	C		
	4:00	nd	C		散布開始前
	5:00	0.06	SE	1	散布中
	6:00	0.24	WSW	1	
	7:00	0.08	W	1	
	8:00	0.07	SSE	1	散布終了後
	9:00	0.06	S	2	
	10:00	nd	SSE		
	11:00	nd	SSE	2	
	12:00	nd	SE	3	
	13:00	0.05	E	2	
	14:00	nd	SSW	1	
	15:00	0.55	ESE	2	
	16:00	3.1	C		
17:00	1.6	NNE	2		

注) ・ ndは検出限界以下(0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)  
 ・ 風速風向は、前橋气象台調べの桐生市内の値。桐生市は太田市の北に隣接する。

表5-6-52 大気中MEPの濃度分布  
(1988年6月1日調査。群馬県太田市金山)

地図上記号	場所	時刻	気温[ $^{\circ}\text{C}$ ]	MEP濃度[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
a	大光院幼稚園	11:10	19.5	0.10
b	熊野保育園	11:39	20.4	0.79
c	太田養護学校	12:11	22.4	nd
d	太田幼稚園	12:35	22.4	0.02
e	森の茶屋	13:05	20.4	0.21
f	太田市役所	14:00	22.4	nd
g	平安閣	14:39	22.4	nd
h	東山球場	15:27	22.0	3.6
i	太田西中	15:59	21.0	0.02

注) ndは、検出限界以下(0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)を示す。

表5-6-53 MEP飛散量  
 (1988年6月1日調査。群馬県太田市金山)

地図番号	散布域からの距離[m]	飛散量[ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]
1	100	61
2	100	49
3	50	55
4	50	640
5	100	320
6	150	180
7	200	170
8	300	42
9	350	23
10	400	9
11	550	tr
12	700	nd
13	900	nd
14	800	tr

注) trは、定量限界以下(5 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 以下)。  
 ndは、検出限界以下(2 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 以下)。

## 5. 6. 6 群馬県沼田市三峰山

1986年6月9日にはこれまで農薬散布のなかった群馬県沼田市三峰山と戸神山で初めて空中散布が行われるというので、調査を実施した。この時は散布地域の山林内で電源がえられなかったので車のバッテリーから電源を取ってポンプを駆動してサンプルを採取した。散布地域と測定点の位置を図5-6-61に示した。大気中にMEP濃度測定結果を表5-6-61に、その時間変動を図5-6-62に示した。この調査では、測定地点は散布地域内であり、大気濃度は $1\sim 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ の高い水準で継続した。早朝のピークは散布中のミストおよび蒸気の影響を直接受けたものであり、一旦減少してからの増加は樹木葉上に付着した農薬からの揮発を明らかに示している。採取は夕方まで終りとなったが、その間気温との相関が認められる。記録では12時32分に散布中直下よりも高い値 $9.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

なお、三峰山と戸神山の森林相は、松林枯死の状況にはなかった。しかし、ここでも雑木林化して、日照、風当たりが悪くなった森林相であり、松が生育しにくくなっている。

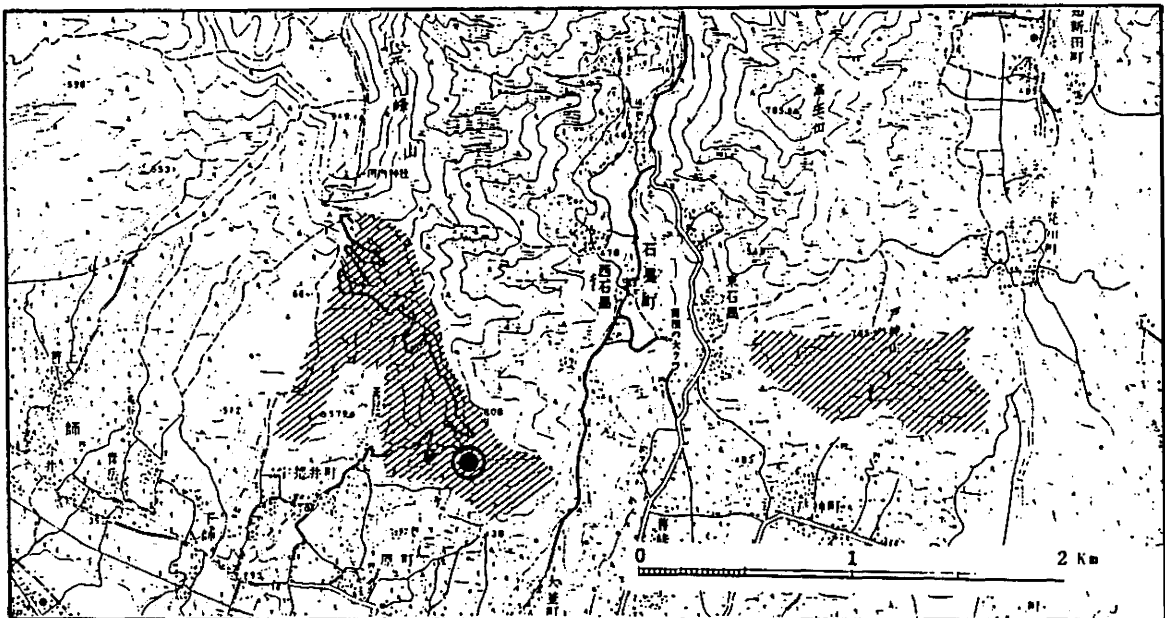


図5-6-61 MEP空中散布地域と大気汚染調査地点  
(1986年6月9日、群馬県沼田市三峰山)

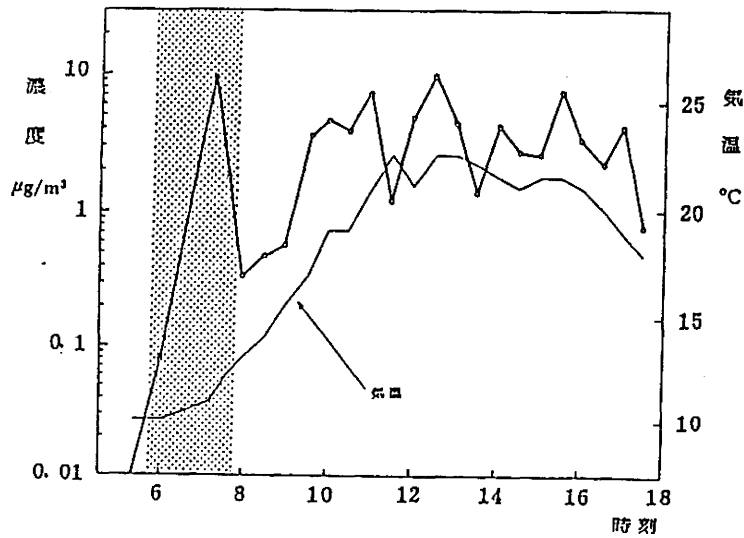


図5-6-62 大気中MEP濃度の時間変化と気温変化  
(1986年6月9日、群馬県沼田市三峰山)

表5-6-61 大気中MEP濃度の時間変化  
(1986年6月9日調査。群馬県沼田市三峰山)

時刻	気温[°C]	濃度[μg/m³]
5:20	10.0	0.002
6:02	10.0	0.080
7:15	11.0	9.5
7:27	12.0	1.8
8:00	13.0	0.33
8:31	14.0	0.47
9:00	15.5	0.56
9:33	17.0	3.5
10:00	19.0	4.5
10:30	19.0	4.0
11:06	21.0	7.1
11:30	22.5	1.1
12:00	21.0	4.7
12:32	22.5	9.7
13:00	22.5	4.3
13:32	22.0	1.3
14:00	21.5	4.2
14:31	21.0	2.6
15:02	21.5	2.5
15:32	21.5	7.6
16:02	21.0	3.3
16:34	20.0	2.2
17:01	19.0	4.2
17:30	18.0	0.79

## 5. 6. 7 山梨県大月市岩殿山

## 第1回目調査

散布日 : 1990年6月19日  
 散布地域 : 山梨県大月市 岩殿山  
 散布時刻 : 午前5時から7時40分  
 散布薬剤 : スミバイン (MEP 80%)  
 散布方法 : ヘリコプターによる空中散布  
 調査項目 : 1. 自動大気採取装置による大気汚染調査。  
 調査期間 : 6月19日から20日まで

岩殿山北東の住宅地（散布境界から300m）で大気汚染調査を行った。その結果を表5-6-7.1と図5-6-7.1に示す。大気汚染調査の最高値は0.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。散布当日午前中の汚染濃度の最高値が0.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったのに対して、当日夕方から最高値0.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、翌朝0.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。このように散布時よりも散布後の大気汚染濃度のほうが高くなる傾向もこれまでの調査結果と一致している。これは、日中の太陽の日射によって大気の上下移動が活発に起こるのに比べ、夜間は大気が安定になって汚染物質が薄まる速度が遅くなるからである。

山梨県大月市岩殿山 MEP空中散布  
周辺住宅地での大気中農薬濃度

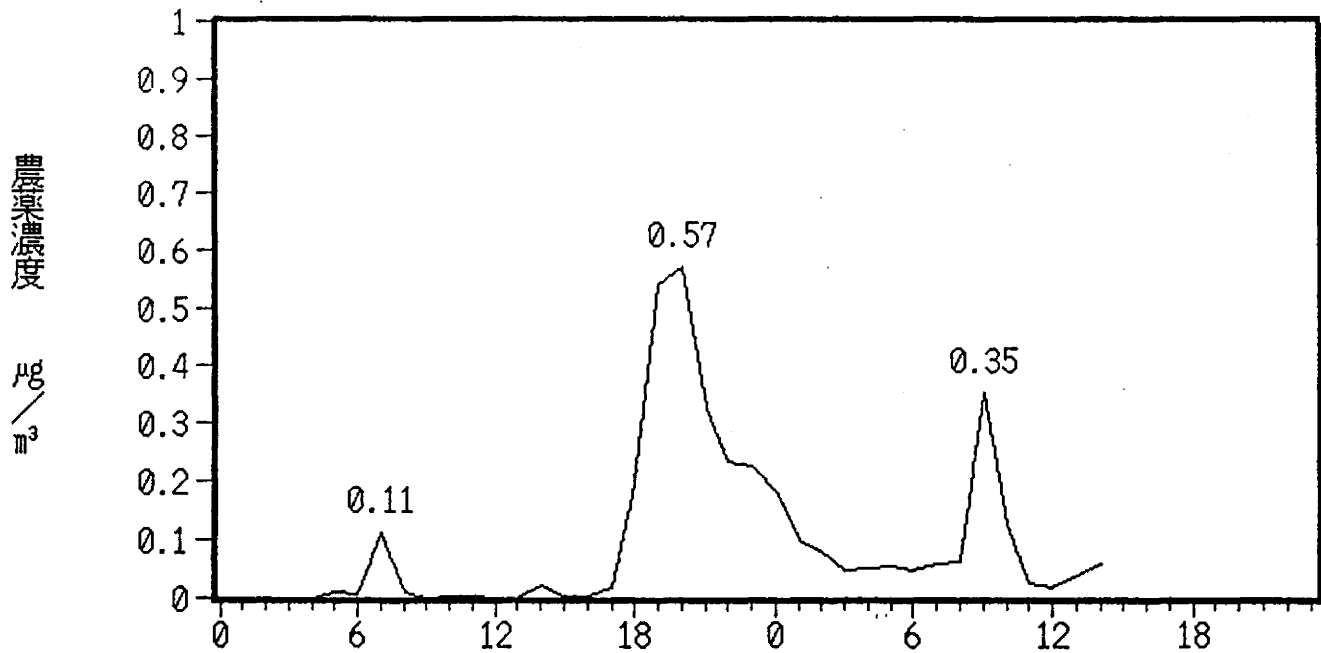


図5-6-7.1 大気中MEP濃度の時間変化  
 (1990年6月19~20日、山梨県大月市岩殿山)

表5-6-71 大気中MEP濃度の時間変化  
(1990年6月19日調査。山梨県大月市)

日	時	MEP濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]	
19日	4	nd	
	5	0.01	
	6	0.009	
	7	0.11	
	8	0.01	
	9	nd	
	10	0.003	
	11	0.002	
	12	nd	
	13	nd	
	14	0.02	
	15	0.002	
	16	0.005	
	17	0.02	
	18	0.20	
	19	0.54	
	20	0.57	
	21	0.32	
	22	0.23	
	23	0.23	
	20日	0	0.18
		1	0.10
		2	0.08
3		0.05	
4		0.05	
5		0.06	
6		0.05	
7		0.06	
8		0.06	
9		0.35	
10		0.12	
11		0.03	
12		0.02	
13		0.04	
14		0.06	

注：ndは不検出（0.002 μg/m<sup>3</sup>以下）。

## 5. 6. 8 山梨県甲府市片山健康の森・白山

## 第1回調査

散布日 : 1989年6月6日～7日  
 散布時刻 : 午前5時から午前8時  
 散布地域 : 山梨県甲府市健康の森 (空中散布)  
 散布薬剤 : スミパイン (MEP80%)  
 散布面積 : 片山北面 (30ha<6日>)  
           白山西面 (15ha<7日>)  
 散布量 : 144倍希釈薬剤を1haあたり240ℓ

## 調査項目:

## 飛散量調査

調査日 : 6月7日。

調査地点 : 18地点。

## 大気汚染調査

調査日 : 6月6日。

調査地点 : 自動採取装置による1時間毎の採取、1地点。

午前・昼・夕方の3回採取、6地点。

松林内での薬剤使用量から計算した単位面積当りの有効成分 (MEP) 量は、130000  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  になる。飛散調査結果を表5-6-8.1に示す。千代田湖 (南) の値が、最高値で1500  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  になった。市街地に吹き下ろす風に乗って農薬が流れたことが、はっきりと示された。

大気汚染調査の結果を表5-6-8.2に示す。夕方に大気が安定して農薬成分が周辺に漂っている様子が観測された。また、周辺の測定点でも影響が認められた。1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  を超えるような高濃度汚染は、散布時間中の健康の森駐車場と夕方の定点連続測定点でみられた。



表5-6-81 MEP飛散量  
(1989年6月7日調査。山梨県甲府市白山)

採取地点	MEP [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]
羽黒小学校	23
羽黒幼稚園	32
県立希望の家	85
羽黒町内住宅地(2)	20
大宮神社	19
羽黒町内住宅地(1)	10
花園病院	nd
鳥獣センター	nd
青少年キャンプ場	nd
和田峠	nd
下帯那	nd
上帯那	nd
千代田湖(東1)	nd
千代田湖(東2)	nd
千代田湖(南)	1500
千代田湖(西)	nd
千代田小学校	nd

注: ndは不検出(10 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 以下)

表5-6-82 大気中MEP濃度の時間変化と分布  
(1989年6月6日調査。山梨県甲府市健康の森)

測定地点	採取時刻	MEP [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
上野地区(南側桑畑)	04:00	nd
	05:00	0.004
	06:00	0.008
	07:00	0.016
	08:00	0.034
	12:00	0.013
	13:00	0.019
	14:00	0.010
	15:00	0.023
	16:00	0.012
	17:00	0.096
	18:00	1.0
	19:00	0.25
健康の森駐車場	06:07	3.8
上野地区(部落内)	12:58	0.009
	18:27	0.045
吉沢立正保育園	13:15	0.022
	17:42	0.007
浄水場取水口	08:50	0.027
	17:42	0.084
千代田小学校	14:15	0.044
千代田湖(東2)	14:36	0.010
	16:47	0.003

注: ndは不検出(0.003 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)

## 第2回調査

散布日時：1989年7月5日  
 散布時刻：7時30分から10時30分  
 調査地点：山梨県甲府市湯村山周辺（地上散布）  
 散布農薬：スミバイン（MEP80%） 180倍希釈液  
 散布量：1ha当り600ℓ  
 散布面積：18ha  
 調査項目：大気中農薬濃度変化調査  
 天候：5日午前4時から30分大雨、  
       のち晴。日中南風、夜間北風  
       6日 晴。日中南風。

散布域の南側に、自動大気採取装置を設置し、1時間毎に20ℓの大気を採取した。

表5-6-83に濃度測定値を示す。午前中に散布された農薬は、午後になって水分が乾燥するとともに揮発し始め、特に夜間の大気が安定するころに高濃度になった。最高値は5月23日の3μg/㎥であった。

表5-6-83 大気中MEP濃度の時間変化  
 (1989年7月5日調査。山梨県甲府市湯村山)

時刻	MEP [μg/㎥]	時刻	MEP [μg/㎥]
【7月5日散布当日】		【7月6日散布翌日】	
03:00	0.01	00:00	0.77
04:00	0.01	01:00	2.18
05:00	nd	02:00	1.09
06:00	0.01	03:00	1.95
07:00	0.01	04:00	1.35
08:00	0.01	05:00	1.14
09:00	0.03	06:00	0.24
10:00	0.01	07:00	0.24
11:00	0.02	08:00	0.20
12:00	0.05	09:00	0.14
13:00	0.65	10:00	0.13
14:00	0.02	11:00	0.06
15:00	0.03	12:00	0.04
16:00	0.34	13:00	0.05
17:00	0.96	14:00	0.03
18:00	1.06	15:00	0.02
19:00	0.54	16:00	0.03
20:00	1.28	17:00	0.03
21:00	1.75		
22:00	1.86		
23:00	2.97		

注：ndは不検出（0.01μg/㎥以下）

## 第3回調査

散布日 : 1990年5月28日  
 散布地域 : 片山健康の森地区 63 ha  
           白山地区 5 ha  
           計 68 ha (地上散布)  
 散布時刻 : 片山健康の森地区 午前4時30分から12時30分  
           白山地区 午前10時30分から13時  
 散布薬剤 : スミバイン (MEP80%)  
           散布面積 : 65 ha  
           散布量 : 180倍希釈液を1ha当り、600ℓ  
           デナボン (NAC5.0%)  
           散布面積 : 3.06 ha  
           散布量 : 50倍希釈液を1ha当り、600ℓ

## 調査項目 :

1. 自動大気採取装置による大気汚染調査を3地点で行った。  
    調査期間 : 5月28日から30日まで
  1. 山宮ハイタウン内の住宅前
  2. 羽黒町の住宅前
  3. 千代田湖の湖畔
2. ろ紙による飛散農薬量調査  
    調査日 : 5月28日 (散布当日)  
    林内1地点を含む9地点。

調査結果は、表5-6-84と表5-6-85に示すとおりであった。

表5-6-84 MEP地上散布の飛散量  
(1990年5月28日調査。山梨県甲府市)

ろ紙番号	採取場所	回収時刻	MEP飛散量 [μg/m <sup>2</sup> ]
R1	山宮団地E通り	7:12	nd
R2	山宮ハイタウンA氏宅	7:05	3900
R3	山宮ハイタウンB氏宅	7:07	280
R4	片山林道みゆきの小道	12:20	44000
R5	西甲府病院	7:20	nd
R6	羽黒町C氏宅	12:00	nd
R7	千代田湖ドライブイン	12:00	nd
R8	千代田湖湖畔	12:10	620
R9	千代田湖D氏宅	12:05	1000

(注) 農薬散布時間 片山健康の森 : 4:30 - 12:30  
 白山 : 10:30 - 13:00

表5-6-85 気象状況と大気中MEP濃度の時間変化  
(1990年5月28日調査。山梨県甲府市)

日 時	風向	風速 [m/s]	気温 [°C]	日照 [h]	山宮ハイタウン		羽黒町住宅地		千代田湖 湖畔	
					採取時刻	濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]	採取時刻	濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]	採取時刻	濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]
28 0	SSW	1	16.7	0.0						
1	C	0	15.9	0.0						
2	C	0	15.4	0.0						
3	SSW	1	14.7	0.0					03:14	0.00
4	C	0	14.1	0.0					04:14	0.00
5	C	0	13.5	0.0	04:57	8.45				
6	C	0	14.4	0.0	05:50	3.31			06:16	0.03
7	SSE	1	15.8	0.9	06:49	1.32	07:16	0.00	07:18	0.02
8	C	0	17.5	1.0	07:53	0.72			08:10	0.04
9	ENE	1	19.8	1.0	08:49	0.78			09:13	0.03
10	SE	1	21.5	1.0	09:46	0.06			10:23	0.03
11	WSW	1	23.9	1.0	10:36	0.05			11:09	0.17
28 12	N	2	25.2	1.0	11:53	0.03	12:01	0.00	12:22	0.16
13	N	2	27.1	0.9	12:52	0.14	13:04	0.00	13:15	0.27
14	SW	5	26.9	0.2	13:53	0.31			14:11	0.49
15	SW	5	26.2	0.1	14:52	0.02	15:14	0.00	15:12	0.81
16	SW	5	24.8	0.0	15:50	0.02	16:04	0.00	16:17	0.39
17	SW	4	24.2	0.0	16:53	0.05			17:29	0.63
18	SW	3	23.1	0.2			18:03	0.01	18:18	0.20
19	WSW	3	21.4	0.0	18:49	0.94				
20	NNW	2	20.2	0.0			20:02	0.08	20:14	0.51
21	WNW	2	19.4	0.0	20:50	2.19				
22	WNW	3	18.0	0.0			22:12	0.02	22:16	0.17
23	W	2	17.0	0.0	22:53	0.65				
29 0	C	0	16.7	0.0						
1	C	0	15.3	0.0	00:58	1.06				
2	C	0	14.5	0.0			02:24	0.02	02:17	0.19
3	W	1	13.8	0.0	02:49	1.42				
4	SSE	1	14.0	0.0			04:07	0.01	04:10	0.07
5	WNW	1	13.1	0.0	04:47	1.60				
6	SSE	1	14.0	0.8			06:08	0.02	06:12	0.09
7	SW	1	16.0	1.0	06:53	0.36				
8	C	0	17.4	1.0			08:05	0.01	08:10	0.14
9	WNW	1	19.8	1.0	08:53	0.07				
10	SSW	2	22.2	1.0			10:18	0.00	10:12	0.15
11	WSW	2	24.4	1.0	10:51	0.04				

(次のページに続く)

表5-6-85 (続き)

日 時	風向	風速 [m/s]	気温 [℃]	日照 [h]	山宮ハイタウン		羽黒町住宅地		千代田湖 湖畔	
					採取時刻	濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]	採取時刻	濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]	採取時刻	濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]
29 12	SW	3	26.0	1.0					12:18	0.21
13	W	6	27.6	1.0	12:57	0.02				
14	SW	6	27.2	1.0			14:10	0.00	14:17	0.44
15	SE	6	25.7	0.6	14:54	0.05				
16	E	3	24.7	0.9					16:20	0.04
17	SSW	2	24.5	1.0						
18	SW	4	22.9	0.4	18:09	0.03	17:59	0.02	18:22	0.25
19	SW	2	21.3	0.0			18:56	0.01		
20	N	1	19.9	0.0	20:13	0.39			20:16	0.32
21	WNW	2	18.9	0.0			20:53	0.01		
22	WNW	2	18.0	0.0	22:12	0.26			22:15	0.18
23	WNW	2	17.3	0.0			22:51	0.01		
30 0	NNE	1	16.4	0.0	00:14	0.68			00:15	0.00
1	S	1	15.2	0.0			00:52	0.01		
2	SW	1	14.3	0.0	02:16	0.98			02:17	0.07
3	C	0	13.7	0.0						
4	SSE	1	13.6	0.0	04:14	1.21			04:14	0.07
5	SW	1	13.3	0.0			04:44	0.01		
6	C	0	14.0	0.6	06:11	0.95			06:19	0.17
7	C	0	16.0	1.0			06:50	0.01		
8	S	1	17.4	1.0	08:13	0.32			08:23	0.12
9	W	1	19.7	1.0			08:52	0.03		
10	WSW	1	22.2	1.0	10:13	0.17			10:18	0.07
11	NNW	2	25.0	1.0						
30 12	SW	2	26.4	1.0	12:14	0.10			12:20	0.32
13	SSW	2	28.5	1.0			12:53	0.01		
14	SSW	3	28.7	1.0	13:59	0.13				
15	SW	6	28.3	1.0						
16	SW	6	27.3	0.6						
17	SSE	4	25.9	0.9						
18	S	4	24.8	0.4						
19	SW	3	22.2	0.0						
20	N	1	21.1	0.0						
21	NW	2	20.6	0.0						
22	NW	1	20.0	0.0						
23	W	1	19.2	0.0						
24	WNW	1	18.4	0.0						

(終わり)

注：気象データは気象庁アメダスより。

## 第4回調査

散布日時： 1991年6月4日  
散布場所： 山梨県甲府市湯村山  
散布農薬： スミバイン (MEP 80%) 180倍希釈液  
散布量： 1haあたり600ℓ。

散布面積： 18ha。

調査地点： 山梨県甲府市湯村山

農薬散布後の林内で、農薬により死亡もしくは飛べなくなっている昆虫類を採取した。分析方法は次のとおりである。採取した昆虫類の重量を測定したのち、100mlのベンゼンを加えて、昆虫の表皮に付着している農薬成分を抽出した。抽出液を2mlとり、ガスクロマトグラフ（島津GC4CM-FPD）に注入して分析した。

その分析結果は、昆虫類の総重量36.2gに含まれるMEPの濃度は73.5μg/gであった。

農薬を浴びて道路や通路でのたうち回っている昆虫類は、野鳥の格好の餌食になっている。大きな問題は、これらの昆虫に付着している農薬量が、野鳥の健康に影響するかどうかということである。

まず、野鳥が餌を食べる量について考える。体重15gのシジュウカラが1日に必要とするカロリーは約15キロカロリーであるという。このことから、昆虫類の栄養価を1gあたり約1キロカロリーと見積ると、昆虫類をおよそ15g摂取することになる。つまり、野鳥は自分の体重とほぼ同じ量の昆虫類を食べるという推定がなりたつ。

野鳥がこの分析結果のような農薬が付着した昆虫類を食べた場合、体重1kgあたりのMEP摂取量を計算すると経口摂取量として73.5mg/kg体重となる。野鳥類に重大な影響があらわれると考えられる。



## 5.7 ゴルフ場における大気汚染

### 5.7.1 趣旨

最近、ゴルフ場での農薬使用量が多いことが注目され、ゴルフ場建設ラッシュともいえる乱開発のなかで、農薬汚染に関する資料の整備が要望された。

### 5.7.2 神奈川県中部の代表的なゴルフ場の周辺大気汚染調査

今回の調査は、基礎的な状況把握のために、神奈川県中部地区の代表的なゴルフ場で、大気中の農薬濃度を測定した。各ゴルフ場の農薬散布の種類や量について具体的な情報がまったく無いの状況なので、できるだけ多数のゴルフ場を縦覧して、平均的な汚染状況を知ることが目的である。

調査を行ったのは、神奈川県内9箇所のゴルフ場である。分析項目は、窒素燐検出器つきガスクロマト装置による窒素系または燐系農薬の検出と、質量分析計つきガスクロマト装置による4種農薬（ダイアジノン・EPN・TPN・MEP）の分析とした。

調査実施日：1988年6月13日と16日。

13日は戸塚カントリー倶楽部で多数本の試料を採取して、主に分析法の検討をした。16日には他の8箇所の試料を2～3本ずつ採取した。

天候：13日が東風曇りで、16日が南風晴れ。

試料採取：TENAX捕集管に数十リットルの大気を通して採取した。試料の採取に際してはゴルフコースの風下で行うようにした。

NP-FID：HP社5840A(NP-FID)

GC/MASS：日本電子JMS-DX303HF

分析質量数は以下の通りである。

ダイアジノン：152, 179

EPN：157, 169

TPN：264, 266

MEP：260, 277

調査結果を表5-7-1に示す。NP-FID検出器を用いて3箇所のゴルフ場でそれぞれ、MEP・ダイアジノン・不明成分を検出した。GC/MASSでは、5箇所のゴルフ場でTPNを検出した。

今回、予備調査としてゴルフ場を廻り、TPNを初めいくつかの農薬を検出した。実際に農薬が散布されてからどのくらい経過しているかも不明であるし、散布面積や散布量の情報がない状態では、詳細な評価はできない。また、今回の測定値はゴルフコース上の値ではなく、コースの風下の測定値である。また、散布が予想されるグリーンやティーグラウンドからの距離もまちまちであるから、どのゴルフ場が汚染されているとかいないとか



の判断をすることはできない。

除草剤の中には、フェアウェーも含めてゴルフ場全体に撒くものがあるという。大気汚染が問題になるとすれば、そのような場合であろう。

表5-7-1 ゴルフ場周辺の農業大気汚染  
(1988年6月16日調査。神奈川県中部)  
単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ゴルフ場名	採取時刻	T P N	その他
戸塚カントリー倶楽部	13日の平均	0.001	
湘南カントリークラブ	10:50	0.007	
スリーハンドレットクラブ	11:30	0.014	MEP (0.024)
茅ヶ崎ゴルフ場	13:00	nd	ダイアジノン (0.004)
湘南シーサイドカントリー倶楽部	13:50	nd	不明成分 (MEPとダイアジノンの中間)
本厚木カントリー倶楽部	15:00	nd	バナフィンの容器が捨ててあった。
厚木国際カントリー倶楽部	15:30	0.002	
大厚木カントリー倶楽部	16:30	nd	
中津川カントリークラブ	17:00	0.002	

### 5.7.3 あるゴルフ場での除草剤散布

千葉県内のあるゴルフ場の協力を得て、除草剤散布に伴う農業汚染濃度の測定を行った。

調査日時：1988年6月29日

農業散布量は、

水量	250	$\text{ml}/\text{m}^2$
ベスロジン19.4%乳剤	1	$\text{ml}/\text{m}^2$
アシュラム37%乳剤)	0.4	$\text{ml}/\text{m}^2$
2,4PA (Na) 95%水和剤	0.2	$\text{g}/\text{m}^2$

であり、ゴルフコースの2つのフェアウェイに散布された。1つは、午前10時過ぎには散布が終了した。このコースのフェアウェイ上の風下地点に自動大気採取装置を設置して、30分毎に大気試料を集めた。もう一つは、その2つ隣のコースで昼前に除草剤散布が行われた。これらのコースを取り囲むように、数地点でも大気の採取を行った。

分析結果を表5-7-2と表5-7-3に示す。アシュラムと2,4-PA (Na) は、揮発性がないので大気汚染とならない。しかし、水溶性が高いので水汚染の原因になりやすいと思われる。ベスロジンは、揮発性のある除草剤で、除草剤の大気汚染の分析対象として選んだ。

表5-7-2 ゴルフ場の除草剤散布による大気中ベスロジン濃度の時間変化  
(1988年6月29日調査)

試料採取時間	ベスロジン濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
10:00~10:19	29
10:30~10:53	21
11:00~11:28	24
11:30~11:58	13
12:00~12:28	10.8
13:30~13:51	6.1
14:00~14:20	6.0
14:30~14:51	4.8
15:00~15:27	3.3
15:30~15:51	3.5
16:00~16:21	2.5
16:30~16:56	2.8
17:00~17:21	2.4

表5-7-3 ゴルフ場の除草剤散布による大気中ベスロジン濃度の分布  
(1988年6月29日調査)

地点番号	位置	試料採取時刻	ベスロジン濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
a.	散布コースの西	13:31~12:39	3.1
		16:29~16:36	2.7
		16:48~16:55	2.1
		17:22~17:27	2.3
b.	レストハウス	11:14~11:33	0.88
		16:15~16:25	nd
		17:31~17:50	nd
c.	コース内	13:51~14:01	0.03
		14:02~14:06	0.35
		16:07~16:13	0.21
		17:09~17:15	0.13
d.	コース内	15:11~15:15	nd
e.	コース内	15:00~15:07	0.09
f.	コース内	14:44~14:54	0.06
g.	コース内	14:37~14:42	0.03
h.	コース内	14:29~14:35	0.19
		16:37~16:43	1.0
i.	コース内	14:10~14:16	0.11
		14:16~14:25	0.10

注: ndは、検出限界以下 ( $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下) である。

## 5. 7. 4 ゴルフ場のグリーンへのダイアジノン散布試験

あるゴルフ場の協力を得て、以下の実験をおこなった。

散布地 : ゴルフ場練習用コースにグリーンを想定した面積を区切った部分。  
 散布面積 :  $22\text{ m} \times 23\text{ m} \approx 500\text{ m}^2$  の領域。  
 散布農薬 : ダイアジノン (5%) 粒剤  
 散布量 :  $1\text{ m}^2$  あたり  $6\text{ g}$ 、計  $3\text{ kg}$  を散布した。  
 散布時刻 : 1988年7月14日、11時35分から11時45分まで。  
 測定日 : 散布当日と翌日。  
 測定地点 : 自動連続採取地点 散布域の西端。  
                   東地点 散布域の東端から1 m離れた所。  
                   西地点 散布域の西端から77 m離れた所。

測定結果を表5-7-4に示す。

表5-7-4 ゴルフ場のグリーンへの殺虫剤散布実験  
1988年7月14~15日 単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^2$

時刻	自動採取地点	東地点	西地点	風向	風速[m/s]
12:00	1.8				
12:30	1.8			ENE	1.0
13:00	1.9		0.10	ENE	1.1
14:30	1.4				
14:00	1.4		0.13		
14:30	1.5				
15:00	1.9			ENE	1.1
15:30	1.2				
16:00	3.7		0.06	C	0.0
16:30	3.3				
17:00	3.9		0.06	C	0.0
17:30	2.7				
18:30	2.3				
20:00	2.2				
21:30	1.2				
23:00	1.3				
2:00	1.3				
3:30	1.2				
5:00	1.7				
6:30	1.2				
8:00	1.0				
9:30	1.3	0.43		WSW	1.0
10:00	1.5				
10:30	1.2	0.25			
11:00	1.0			NW	1.8
11:30	1.0	0.39			
12:00	0.85	0.19			
12:30	1.3				
13:00	1.1	0.28		NW	1.7
13:30	1.3	0.19		C	0.0
14:00	1.4	0.17			
14:30	1.3				
15:00	1.6	0.11			
15:30	1.5	0.08		C	0.0

## 5.8 シロアリ防除による屋内空気汚染

### 5.8.1 趣旨

クロルデンは、1950年から農薬として稲や野菜に使われていたが、1968年に農薬登録が失効した有機塩素系殺虫剤である。その後も農薬取締り法の対象外の用途では使用され続けてきた。おもにシロアリ対策として、建築用木材への塗布、建築合板の接着剤への添加、土台木材への注入、敷地土壌への注入が行われた。このため、農薬登録失効後の1972年から1985年に環境庁が警告するまで、急速に輸入量が増え多量に消費された。一般住宅の多くでもクロルデンの散布が行われてしまった。1986年9月になって化審法の特定化学物質に指定され、全ての用途での製造、販売、使用が禁止された。しかし、クロルデンの残留は長期間継続するので、今後も大きな問題を残すことになった。

クロルデンは、典型的な有機塩素化合物であることから、大きな残留性を持っている。たとえば、畑地土壌中での半減期が有機燐系農薬では10日前後であると言われるのに比べ、クロルデンは1年程度にもなる。また、難分解成分で脂肪によく溶けるので、生態濃縮によって食物連鎖のステップを上がる度に濃縮されていく。さらに食物連鎖がなくても定常的に汚染物質に曝されているときは、生体の脂肪などに蓄積されていくために高濃度になることが知られている (IARC(1979))。1980年ごろから、日本の環境中でも魚、底質、食品、母乳、血液などでクロルデンが検出されるようになっていく。

クロルデンは毒性の点からも問題が大きい。人体中毒症状としては、吐き気、おう吐、下痢、食欲不振、震え、けいれん等がある。慢性中毒では、中枢神経系刺激、肝腎障害、肺水腫、消化管刺激症状がある (植村ら(1988))。その成分の1つであるヘプタクロルは、餌に混ぜられたマウスに高い確率で肝臓癌を発生させ、他の成分も構造式の類似性から発ガン性が疑われている (IARC(1979))。

殺虫剤クロルデンは、その製法上複数の類似した化合物の混合物である。成分は、*t*-クロルデン、*c*-クロルデン、*t*-ノナクロル、*c*-ノナクロル、 $\gamma$ -クロルディーン、ヘプタクロルなど少なくとも20数種類の化合物が含まれている。その中では、先に名を挙げた6種類の含有量が多く、その他の成分の含有量は少ない。

成分の割合は製造時の条件で大きく変化するので、製品によって異なる。本研究室で購入したクロルデン40%剤では、ヘプタクロル 1.0に対して、 $\gamma$ -クロルディーン 1.

3、t-クロルデン 2.0、c-クロルデン 1.5、t-ノナクロル 1.6、c-ノナクロル 0.9の割合で含有していた。また實成ら(1987)によると、ヘプタクロル 4.47%、t-クロルデン 12.80%、c-クロルデン 7.90%、t-ノナクロル 7.17%、c-ノナクロル 3.53%であった。

なお、本論文のなかでは種々の成分の総称として、クロルデンを用いる。個別の成分を特に指定するときは、 $\alpha$ -クロルディーン、 $\gamma$ -クロルディーン、ヘプタクロル、t-クロルデン、c-クロルデン、t-ノナクロル、c-ノナクロルなどのように成分名を使うことにする。

### 5.8.2 分析装置

試料の分析には、ECDガスクロマトグラフおよびガスクロマトグラフ質量分析計を用いた。ECD分析では、

装置：HP 5840 A ガスクロマトグラフ  
 カラム：キャピラリーカラム  
 HP Ultra 1, 25m×0.32mm $\phi$ , Crosslinked Methyl Silicone Gum 0.52 $\mu$ m  
 または、SPB-1, 30m×0.32mm $\phi$ , Methyl Silicone Gum 1.0 $\mu$ m  
 キャリヤーガス：窒素 0.5 kgw/cm<sup>2</sup>  
 カラム温度：80℃→8℃/min.昇温→240℃

クロマトグラムの一例を図2にしめす。定量限界はそれぞれ0.05 $\mu$ g/m<sup>3</sup>であった。

ガスクロマトグラフ質量分析では、

装置：日本電子製JMS-DX303HF (SIM法)  
 カラム：メガボアキャピラリーカラム  
 HP-1, 5m×0.53mm $\phi$ , Methyl Silicone Gum 2.65 $\mu$ m  
 選択質量数：  
 Heptachlor (ヘプタクロル) 339と341  
 Chlordene (クロルディーン) 305と307  
 Chlordane (クロルデン) 375と377  
 Nonachlor (ノナクロル) 409と411

本法による定量限界は、あとのそれぞれの表に記した。

### 5.8.3 岐阜市O団地

住宅団地における事例岐阜市O団地において1985年前後に270戸の一戸建て住宅の1/3強の家庭で集中的に白蟻駆除剤散布を実施した。その後、住民の多くがじん麻疹、湿疹、口内炎、あるいは全身的農薬中毒症状に悩まされるようになったことを受けて、1989年8月30日に団地内数軒の家屋と周辺環境のクロルデン調査を行った。それぞれ84年5月、88年8月に散布した家屋、対象として未散布の家屋および野外数地点とした。簡単な家屋構造と採取位置を図5-8-1に示した。家屋内では床下の土壌、床下空気、

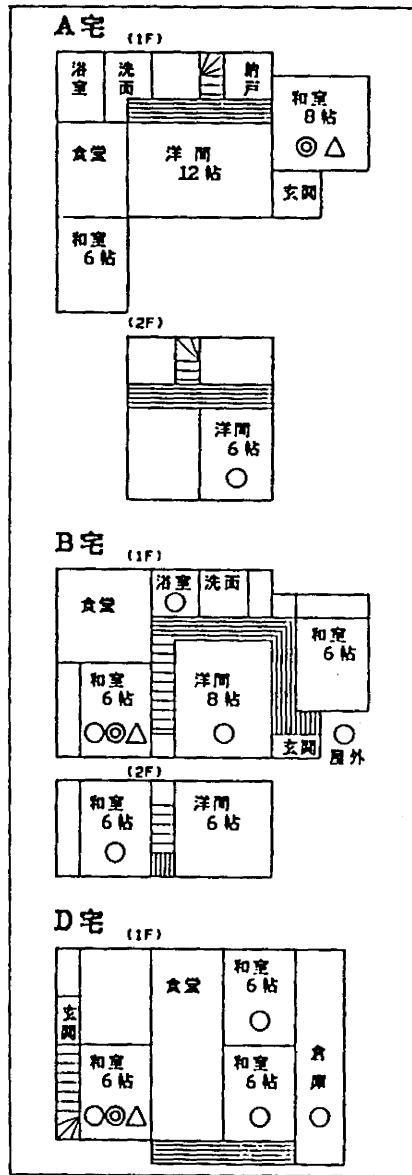


図5-8-1  
クロルデン試料採取家屋の見取図  
(1989年9月、岐阜市O団地)  
○：空気汚染測定位置  
◎：床下空気採取位置  
△：床下土壌採取位置

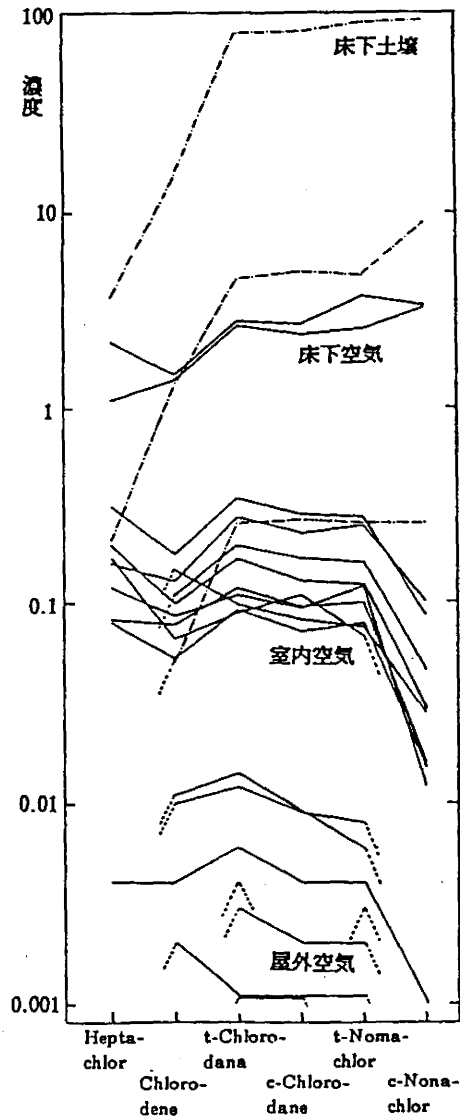


図5-8-2  
クロルデンの濃度比率  
(1989年9月、岐阜市O団地)  
実線：空气中濃度[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]  
一点鎖線：土壌中濃度[ $\mu\text{g}/\text{g}$ ]

一階室内空気、二階室内空気を採取しGC/MS-SIMで分析した。土壤中のクロルデン類濃度を表5-8-1に、空気中の濃度を表5-8-2に示した。なお、各家屋は郊外の庭付き2階建て住宅で、床下が密閉式の近年典型的な構造であった。

この調査結果から以下の点が明らかになった。まず、床下土壌は、84年散布が360 $\mu\text{g/g}$ で高く、88年散布では24 $\mu\text{g/g}$ と低くなっている。後者は、クロルデン禁止後の散布であるので、もっと以前に散布したクロルデンが残留していることになる。また、代替えのウッドラックを使用した家の土壌にも少量残留していた。しかし、未散布の家の床下土壌と団地周辺の幼稚園の運動場の土壌では、不検出であった。

つぎに、室内空気であるが、B宅、D宅共に高い濃度が床下に充満していることがわかった。この場合、土壌濃度の多少にかかわらず大気濃度は変わっていないことを示している。居住空間の方も床下の濃度に相応して両者の差はなく、0.39~1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。この測定では、クロルデンは床下を発生源として、室内に一様に拡がっていることがわかる。なお、未散布の家も空気にわずかな汚染が認められた。これは、屋外からきた周辺空気のバックグラウンドか、家具などに使用されたクロルデンかどちらかの原因による。

屋外の空気では、団地内路上、生協、および少し離れた幼稚園で少量であるが検出された。各家庭から発生しているクロルデンガスが周囲大気を汚染していると考えられる。対照地域として約800m離れた蕎麦屋では痕跡が認められた。ただ、都市環境では $\text{ng}/\text{m}^3$ オーダーのバックグラウンドが測定される例が知られているので、ある程度以下のクロルデンの存在が一般環境値であるのか当団地起源によるのかは確証できない。この調査の範囲では、家庭の床下から室内、屋外へ拡散しているとするのが妥当である。

クロルデン類各成分の濃度比率を図5-8-2に示した。これは、測定した6成分について濃度を対数表示したものである。これによれば、床下土壌、床下空気、室内空気および屋外空気について、汚染のレベルと成分比率の変化がわかる。汚染のレベルでは、床下濃度を1とすれば室内濃度は1/10、屋外濃度は1/100以下となっている。成分比率については、ヘプタクロルが土壌で低く、空気が高くなっているのが認められるが、これは揮発性の差による。また、c-ノナクロルが室内空気でも低くでているのも同じ理由が考えられる。ただ、床下空気と土壌では似た傾向であって、この成分は畳の部分で吸着される性質があるかも知れない。いずれにしても、床下に撒かれたクロルデンは土壌に残留して分解せず、長期にわたって揮発し続けて環境空気を汚染していることが判明した。

表5-8-1 土壤中のクロルデン類の残留濃度  
(1989年8月30日調査。岐阜市O団地) 単位:  $\mu\text{g}/\text{g}$

番号 場所 (散布時期)	ハプタ クロル	$\gamma$ クロル デイン	t-クロル デン	c-クロル デン	t-ナ クロル	c-ナ クロル	6成分 合計
S1 A宅 (未散布)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0
S2 幼稚園 (屋外)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0
S3 B宅 (84年5月散布)	3.7	15.	79.	81.	89.	92.	360
S4 C宅 (88年トリアジン散布)	nd	0.05	0.26	0.27	0.26	0.26	1.1
S5 D宅 (88年8月散布)	0.21	1.3	4.6	5.0	4.8	9.0	24
検出限界	0.10	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	

表5-8-2 空气中クロルデン類濃度  
(1989年8月30日調査。岐阜県O団地) 単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

番号 採取場所	ハプタ クロル	$\gamma$ クロル デイン	t-クロル デン	c-クロル デン	t-ナ クロル	c-ナ クロル	合計
【A宅 未散布】							
1 床下	nd	0.011	0.014	0.009	0.006	nd	0.040
2 二階	nd	0.010	0.012	0.009	0.008	nd	0.038
【B宅 1984年5月散布】							
3 床下	2.2	1.5	2.8	2.7	3.8	3.4	16.
4 一階東	0.12	0.086	0.11	0.094	0.12	0.012	0.54
5 一階西	0.16	0.13	0.28	0.23	0.25	0.10	1.2
6 二階	0.082	0.078	0.12	0.096	0.10	0.016	0.49
7 風呂場	0.081	0.053	0.092	0.071	0.078	0.015	0.39
8 屋外	nd	0.15	0.098	0.082	0.075	0.028	0.43
【D宅 1988年8月散布】							
9 床下	1.1	1.4	2.7	2.4	2.6	3.4	14.
10 倉庫	0.32	0.18	0.35	0.29	0.28	0.085	1.5
11 一階西	nd	0.11	0.20	0.17	0.16	0.045	0.85
12 一階南	0.20	0.099	0.17	0.13	0.12	0.029	0.75
13 一階北	0.17	0.067	0.091	0.11	0.068	nd	0.50
【屋外】							
14 生協	0.004	0.004	0.006	0.004	0.004	0.001	0.023
15 E宅	nd	nd	0.004	nd	0.003	nd	0.013
16 F宅	nd	nd	0.003	0.002	0.002	nd	0.008
17 幼稚園	nd	0.002	0.001	0.001	0.001	nd	0.005
18 蕎麦屋	nd	nd	0.001	0.001	nd	nd	0.001
検出限界	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	



## 5. 8. 4 各地の家屋調査事例

クロルデンによる白蟻防除は全国的に実施されてきており、各地に共通の事例であるといえることができる。広島県下1例、神奈川県下2例を示す。

広島県S氏宅には1979年にクロルデンが散布されていた。調査は1986年11月に行った。その調査結果を表5-8-3に示す。

表5-8-3 室内空气中クロルデン濃度  
(1979年散布。1986年11月調査。広島県S氏宅)  
単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

場所	ヘプタ クロル	γクロル デン	t-クロル デン	c-クロル デン	t-ナ クロル	c-ナ クロル	6成分 合計
6畳和室	0.11	0.13	0.22	0.16	0.17	0.07	0.86
玄関	0.11	0.08	0.12	0.09	0.13	0.07	0.60
浴室	0.20	0.27	0.75	0.49	3.0	0.07	4.78
台所	0.25	0.26	0.69	0.57	3.9	0.10	5.77
平均	0.16	0.18	0.44	0.32	1.8	0.08	3.00

次の、神奈川県T氏宅は、1984年10月19日にクロルデンの散布を行った。最初の調査は、1986年10月23日に室内外の空气中クロルデン濃度を測定した。同宅の見取図を図5-8-3に示し、測定結果を表5-8-4に示す。つぎに、1988年7月1日から6日間の連続測定を行った。このとき同宅は無人であったので、ときどき窓の開閉を試してみた。結果を表5-8-5と図5-8-4に示す。その中で7月2日には、各部屋の濃度をもう一度測定し、床下の土壌や木材に残留している農薬量を測定した。この結果を表5-8-6と表5-8-7に示す。

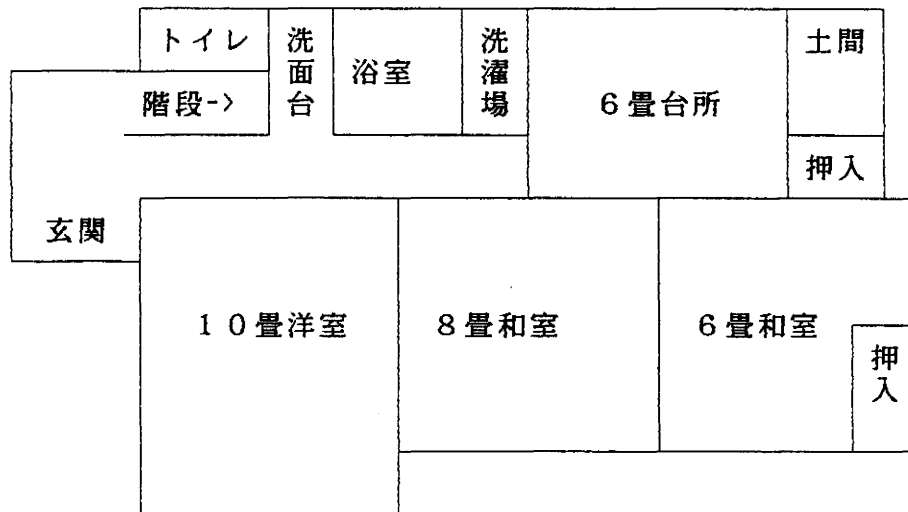


図5-8-3 神奈川県T氏宅一階平面図

表5-8-4 室内空气中のクロルデン濃度  
 (1984年10月散布。1986年10月調査。神奈川県T氏宅)  
 単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

採取地点	ヘプタクロル	$\gamma$ クロルディーン*	クロルデン	c-クロルデン	4成分合計
= 1階 =					
6畳和室	0.49	0.72	0.31	0.21	1.73
8畳和室	0.34	0.63	0.18	0.22	1.37
玄関	0.61	0.81	0.34	0.26	2.02
廊下(ビニール下)	0.26	nd	0.15	nd	0.41
8畳和室(ビニール下)	0.27	0.57	0.48	0.19	1.51
= 2階 =					
7畳洋室	0.46	0.72	0.11	0.07	1.36
6畳和室	0.28	0.57	0.12	0.12	1.09
6畳洋室	0.55	0.96	0.15	0.07	1.73

\* 本表の $\gamma$ -クロルディーンの値は、 $\alpha$ -クロルディーンの濃度からの換算値。

表5-8-5 室内空气中クロルデン濃度の時間変化  
 (1984年10月散布。1988年7月調査。神奈川県T氏宅)  
 単位：μg/m<sup>3</sup>

月日	時刻	室温 [°C]	γクロル デン	ヘプタ クロル	t-クロル デン	c-クロル デン	t-ナ クロル	c-ナ クロル	6成分 合計	
7/1	10:00	22.2	0.21	0.08	0.14	0.09	0.10	0.01	0.6	
	12:00	22.5	0.25	0.12	0.22	0.16	0.15	0.02	0.9	
	14:00	23.5	0.19	0.09	0.18	0.12	0.11	0.01	0.7	
	16:00	24.2	0.42	0.18	0.31	0.22	0.21	0.02	1.4	
	18:00	24.8	0.27	0.11	0.23	0.16	0.15	0.02	0.9	
	20:00	24.9	0.37	0.15	0.30	0.21	0.21	0.02	1.3	
7/2	22:00	24.5	0.25	0.12	0.23	0.15	0.15	0.02	0.9	
	00:00	24.0	0.23	0.09	0.18	0.13	0.12	0.01	0.8	
	02:00	23.8	0.39	0.19	0.36	0.24	0.24	0.03	1.5	
	04:00	23.4	0.33	0.15	0.29	0.21	0.20	0.02	1.2	
	06:00	23.2	0.35	0.20	0.37	0.25	0.25	0.03	1.5	
	08:00	23.2	0.33	0.18	0.33	0.23	0.23	0.03	1.3	
	12:00	23.4	0.29	0.13	0.25	0.17	0.16	0.02	1.0	
	12:20	各部屋で1枚網戸にする。								
	14:00	24.2	0.19	0.11	0.20	0.15	0.15	0.03	0.8	
	14:12	窓を全開放して、換気扇をまわす。								
	16:00	25.1	0.06	0.03	0.06	0.04	0.04	0.01	0.2	
	17:00	窓を総て閉めて、換気扇を止める。								
	18:00	24.5	0.29	0.13	0.26	0.17	0.17	0.02	1.0	
	20:00	24.5	0.25	0.09	0.23	0.15	0.16	0.02	0.9	
22:00	24.0	0.29	0.15	0.28	0.20	0.19	0.03	1.1		
7/3	00:00	23.8	0.37	0.18	0.34	0.23	0.22	0.03	1.4	
	02:00	23.2	0.27	0.11	0.24	0.17	0.17	0.02	1.0	
	04:00	23.0	0.21	0.10	0.20	0.14	0.13	0.02	0.8	
	12:00	23.2	0.25	0.12	0.24	0.17	0.17	0.02	1.0	
	14:00	23.5	0.33	0.15	0.28	0.20	0.20	0.02	1.2	
	16:00	23.8	0.29	0.13	0.25	0.17	0.17	0.02	1.0	
	18:00	23.9	0.33	0.16	0.30	0.21	0.20	0.02	1.2	
	20:00	23.8	0.37	0.16	0.33	0.23	0.23	0.03	1.4	
	22:00	23.5	0.48	0.29	0.39	0.27	0.25	0.03	1.7	
	7/4	10:00	窓を開ける。							
10:00		24.2	0.17	0.08	0.16	0.11	0.11	0.01	0.6	
12:00		24.6	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.1	
14:00		25.8	0.06	0.03	0.07	0.05	0.05	0.01	0.3	
16:00		26.0	0.08	0.04	0.07	0.06	0.05	0.01	0.3	
17:00		窓を閉める。								
18:00		26.0	0.22	0.11	0.19	0.14	0.13	0.02	0.8	
20:00		25.5	0.24	0.11	0.23	0.17	0.16	0.02	0.9	
22:00	25.2	0.21	0.10	0.19	0.15	0.14	0.02	0.8		

(次のページに続く)

表 5-8-5 (続き)

単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

月日	時刻	室温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$\gamma$ クロル デイン	ヘプタ クロル	t-クロル デイン	c-クロル デイン	t-ノナ クロル	c-ノナ クロル	6成分 合計
7/5	00:00	24.6	0.27	0.13	0.23	0.17	0.16	0.02	1.0
	02:00	24.2	0.22	0.10	0.20	0.15	0.15	0.02	0.8
	04:00	24.0	0.18	0.09	0.16	0.12	0.11	0.01	0.7
	06:00	23.8	0.18	0.09	0.16	0.12	0.11	0.01	0.7
	08:00	23.8	0.27	0.13	0.24	0.18	0.15	0.02	1.0
	10:00	23.8	0.24	0.12	0.21	0.15	0.15	0.02	0.9
	12:00	23.9	0.27	0.13	0.23	0.17	0.16	0.02	1.0
	14:00	24.0	0.31	0.14	0.24	0.18	0.17	0.02	1.1
	16:00	24.4	0.27	0.12	0.22	0.17	0.16	0.02	1.0
	18:00	24.5	0.24	0.11	0.20	0.16	0.15	0.02	0.9
	20:00	24.3	0.23	0.11	0.20	0.15	0.15	0.02	0.9
22:00	24.2	0.25	0.11	0.19	0.15	0.14	0.02	0.9	
7/6	02:00	23.8	0.52	0.24	0.42	0.33	0.29	0.03	1.8
	04:00	23.7	0.49	0.22	0.39	0.30	0.28	0.03	1.7
	06:00	23.4	0.40	0.17	0.31	0.24	0.22	0.02	1.4
	08:00	23.4	0.46	0.21	0.37	0.28	0.25	0.03	1.6
	10:00	23.5	0.40	0.16	0.28	0.21	0.19	0.01	1.2
	12:00	24.0	0.53	0.11	0.18	0.14	0.13	0.01	1.1
	14:00	24.5	0.31	0.14	0.24	0.19	0.16	0.02	1.1

(終わり)

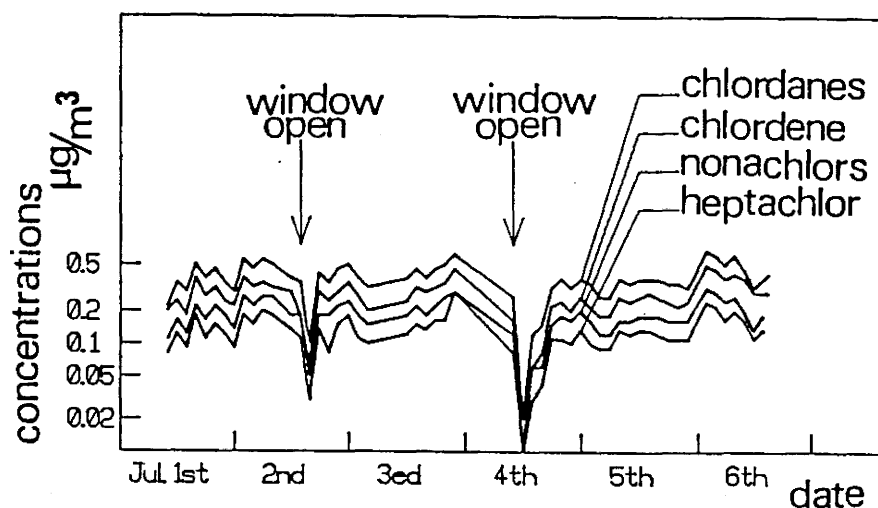


図 5-8-4 室内空气中クロルデン濃度の時間変化  
 (1984年10月19日クロルデン散布、 )  
 (1988年7月1~6日調査、神奈川県T氏宅)

表5-8-6 各部屋のクロルデン濃度

(1984年10月散布。1988年7月2日調査。神奈川県T氏宅)

単位：μg/m<sup>3</sup>

部屋	採取時刻	h <sup>+</sup> ク クロル	γク ロル デ イ ン	t-ク ロ ル デ ン	c-ク ロ ル デ ン	t-ナ ク ロ ル	c-ナ ク ロ ル	6成分 合計
<b>【密閉時】</b>								
8畳和室	10:45-11:03	0.69	0.96	1.70	1.10	1.10	0.38	5.9
8畳和室	11:05-11:30	0.67	1.10	1.60	0.99	1.00	0.11	5.5
6畳和室	10:50-11:09	0.23	0.44	0.51	0.34	0.32	0.04	1.9
台所	11:13-11:25	0.36	0.61	0.83	0.57	0.57	0.06	3.0
洗濯場	11:29-11:44	0.41	0.77	0.98	0.66	0.66	0.07	3.6
10畳洋室	11:33-11:48	0.47	0.83	1.10	0.76	0.76	0.08	4.0
洗面台	11:51-12:10	0.52	0.75	1.30	0.92	0.93	0.10	4.5
玄関	11:53-12:13	1.20	1.80	3.00	2.00	2.00	0.22	10.2
<b>【半開放】</b>								
6畳和室	13:16-14:12	0.18	0.29	0.42	0.28	0.27	0.03	1.5
8畳和室	13:17-13:33	0.13	0.22	0.30	0.20	0.21	0.02	1.1
10畳洋室	13:37-13:50	0.07	0.09	0.17	0.11	0.12	0.01	0.6
<b>【床下】</b>								
6畳和室	14:15	3.81	3.40	9.61	7.11	7.40	4.10	35.4
台所	15:42	2.10	3.40	4.60	3.80	3.70	1.20	18.8

表5-8-7 土壌や家屋でのクロルデン残留濃度  
 (1984年10月散布。1988年7月2日調査。神奈川県T氏宅)  
 単位： $\mu\text{g}/\text{g}$

場所	ヘプタ クロル	$\gamma$ クロル デイン	t-クロル デン	c-クロル デン	t-ナ クロル	c-ナ クロル	6成分 合計
<b>【床下土壌(深さ)】</b>							
和6畳	0cm	13.0	11.0	28.0	37.0	37.0	188.0
	5cm	nd	nd	nd	nd	nd	0.0
	10cm	nd	nd	nd	nd	nd	0.0
	20cm	nd	nd	nd	nd	nd	0.0
	30cm	nd	nd	nd	nd	nd	0.0
	50cm	nd	nd	nd	nd	nd	0.0
	60cm	nd	nd	nd	nd	nd	0.0
台所	0cm	5.9	4.7	13.0	14.0	16.0	74.6
	5cm	nd	nd	nd	nd	nd	0.0
	10cm	nd	nd	nd	nd	nd	0.0
	20cm	nd	nd	nd	nd	nd	0.0
	30cm	nd	nd	nd	nd	nd	0.0
庭土	3cm	nd	nd	nd	nd	nd	0.0
<b>【床下木材】</b>							
和6畳	下板	0.5	1.0	0.5	0.9	1.0	5.3
	横細柱	5.0	9.8	11.0	11.0	9.1	53.1
	横柱	nd	nd	nd	nd	0.5	0.5
	柱	nd	nd	nd	nd	nd	0.0
	畳裏	8.6	9.8	20.0	18.0	17.0	81.1
台所	横細柱	nd	nd	0.5	nd	nd	0.5
	横柱	3.2	4.8	6.3	5.7	5.6	29.3
	柱	4.4	7.9	9.1	8.0	7.4	40.1

注：nd は、不検出 ( $\text{nd} < 0.5 \mu\text{g}/\text{g}$ )

最後の1例は神奈川県内の集合住宅の1戸である。5階建ての団地の1階の部屋の床下にクロルデンを1981年11月11日に散布した。測定は1987年10月9日に行った。その時の気温は25℃であった。結果を表5-8-8に示す。

これらの結果でわかるように、クロルデン散布家屋の室内汚染濃度は1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後の水準であって、これが平均的状況であると考えられる。また、散布から数年経っても汚染が継続しているのが明らかである。

表5-8-8 室内空气中クロルデン残留濃度  
(1981年11月散布。1987年10月9日調査。神奈川県Y氏宅)  
単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

場所	ヘプタ クロル	$\gamma$ クロル デイン	t-クロル デン	c-クロル デン	t-ナ クロル	c-ナ クロル	6成分 合計
床下(北東側)	—	—	0.20	0.18	0.13	—	0.51
床下(北西側)	—	1.3	1.5	0.75	1.4	—	5.0
床下(南側)	0.33	0.54	1.8	1.3	1.1	0.67	5.7
床下(納戸)	0.38	0.50	1.1	0.90	0.64	0.36	3.9
納戸	0.11	0.19	0.36	0.81	0.19	0.11	1.8
4畳半和室	—	—	0.34	0.23	—	—	0.57
浴室	—	—	0.04	0.04	—	—	0.08

### 5. 8. 5 対策についての問題点

日本国民のかなりの人達が身近な生活環境においてクロルデン汚染に曝されている現状に対して、対応策が必要である。まず、クロルデン禁止措置の遅れ、かつ業者の駆け込み使用などの違法行為が被害を大きくした。さらに、クロルデンの使用禁止後から白蟻防除剤として、クロルピリホスなどの有機リン系農薬、アレスリンなどの合成ピレスロイド系農薬、T P I Cなどの未登録殺虫剤などが用いられている。これらの代替品は、残留性が少なくなった代わりに、人体に対する急性毒性はむしろ強くなっており、かえって事態の悪化が心配される。家庭内で使用される殺虫剤、防カビ剤、殺菌剤、除草剤などには農薬登録されていないものも多く、その危険性についての十分な検討がされていない。農薬登録失効後から多用されたクロルデンのような失策を繰り返してはならない。

白蟻防除を必要とする家屋には、観察した限り構造的な欠陥があると考えられる。元々夏の高温多湿の気象条件に適した日本家屋は床が高く、換気を良好にする配慮が加えられてきたにもかかわらず、近年新建材と便利さを売り物にして密閉型の構造が流行するようになった。しかし、これは文化的な生活条件を無視した傾向であって、殺虫剤による防除を前提とした建築様式は望ましい方向ではない。人々が住居環境をよく考えると共に、とくに行政が安全性に対する指導を徹底することを希望したい。



## 5.9 団地の周辺緑地からの大気汚染

身近な生活環境で使われるものに、園芸用の殺虫剤がある。団地や公園の緑地は面積が大きいので農薬散布が行われると、周囲の大気を汚染する。特に、団地は生活の場であり、子供や老人、病人など弱者も生活しているので、監視と測定が必要である。

神奈川県横浜市旭区にある左近山団地（中央地区）は、およそ1300世帯からなる5階建ての団地で、団地の建物の間には芝地と生け垣などの緑地が広がっている。団地の住民で組織している住宅管理組合は、昭和62年度予算ベースで芝生除草剤散布（年2回）に159万5千円、樹木・芝生病害虫駆除に90万円の農薬を散布している。昭和59年頃から住民のなかから除草剤散布の反対の声が挙がり始めているが、継続して毎年除草剤と殺虫剤の散布が行われている。ここをフィールドにして調査を継続した。

### 第1回調査

散布日：1988年2月8～9日  
散布農薬：除草剤 MCP P (Na)

2月8日に散布されたMCP P (Na)については、この薬剤がイオン性の物質であるため不揮発性で大気汚染はみられなかった。

### 第2回調査

散布日：1988年3月9日  
散布農薬：除草剤 CAT

散布当日の夕方と翌日の大気を採取し分析した。分析条件は、

ガスクロマトグラフ装置：HP社5840A  
カラム：supelco製SPB-1 (30m×0.32mmφ×1.0μm)  
150℃(1分間) - 10℃/分 - 260℃  
キャリア：N<sub>2</sub>、0.3kgw/cm<sup>2</sup>。  
検出器：NP-FID

である。カラム上の保持時間は17.8分であった。CATは、メタノール以外の溶媒にはほとんど溶解しないので注意が必要であった。自動大気採取装置を3-6棟東側に設置して採取した試料の大気中農薬濃度を表5-9-1に示す。また、散布翌日の団地周辺での大気中濃度を表5-9-2に示す。

シマジンの標準使用量は、春の芝に対して10aあたり200gである。農薬成分CATが50%含まれているので、1平方メートルあたり100mgの農薬成分を散布すること

表5-9-1 団地の大気中除草剤濃度の時間変化  
(1988年3月9日調査。神奈川県横浜市左近山団地3-6棟)

日付	時刻	CAT濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]	気温 [°C]	備考
3月09日	15:58-16:08	1.3	12	隣で農薬散布中 別所で農薬散布中
	16:21-16:42	1.0	9	
	16:46-17:05	0.39	10	散布作業終了後
	17:06-18:05	0.37	8	
3月10日	9:00-9:14	0.019	5	散布翌日
	9:30-9:42	0.014	7	
	10:00-10:08	0.010	12	
	10:30-10:40	0.041	15	
	11:00-11:12	0.008	23	
	12:00-12:15	0.10	26	
	13:00-13:11	0.037	15	
	13:30-13:41	0.060	15	
	14:00-14:09	0.035	14	
	15:00-15:10	0.35	14	
	15:30-15:45	0.19	14	
	16:00-16:09	0.042	14	
	16:30-16:40	0.085	13	
	17:00-17:11	1.9	13	
	17:30-17:37	0.10	12	
	18:00-18:09	0.26	11	
	18:30-18:39	0.025	10	
散布当日平均	(4検体)	0.77		
散布翌日平均	(17検体)	0.21		

表5-9-2 散布翌日の大気中除草剤濃度の分布  
(1988年3月10日調査。神奈川県横浜市左近山団地付近)

位置	時刻	CAT濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]	気温 [°C]	備考
3街区6棟東	13:30-13:41	0.060	15	測定定点 小学校裏
2街区22棟東	13:08-13:30	0.023	14	
2街区14棟西	13:36-13:57	0.047	14	
浄性院駐車場	14:06-14:29	nd	16	
新幹線横	15:00-15:22	nd	16	

注) ndは0.01以下で不検出。当日の風は、弱い東風だった。  
今回シマジンを散布したのは、3・4・5街区であり、3街区が最も西側(風下)になる。2街区は、小学校をはさんでさらに西側にあり散布域から200~300mのところであり、そこには除草剤の散布をしていない。  
浄性院と新幹線は、散布域の中心からおおよそ1kmの地点である。

になる。

CATの大気汚染濃度は、散布当日で平均 $0.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、翌日でも平均 $0.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。最高濃度は翌日の17時00分の $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であるが、これは揮発成分の濃度ではなく風で舞い上がった土壤に付着していた農薬成分が測定されたためかもしれない。濃度が日中激しく上下しているのは、普段は5階建ての建物の陰になっている芝に太陽の直接光線があたって地表温度の高くなる数時間だけ、そこから農薬成分が揮発するので、全体的な農薬揮発量の変動が大きくなるためであると考えられる。

大人の人の呼吸量は静かにしているときで1日 $14 \text{m}^3$ と見積れるので、これを平均濃度に乗じると、一日の摂取量が計算できる。その値は、散布当日で $11 \mu\text{g}$ 、翌日は $3 \mu\text{g}$ であった。

### 第3回調査

調査日：1989年3月23～24日

散布農薬：CAT

調査項目：自動大気採取装置を3-6棟東側に設置

測定結果を表5-9-3に示す。今回の調査では、CATの大気中濃度は散布当日の日中の平均で $0.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。昨年の結果に比べると多少低めであるが、風速や気温の影響が考えられる。

表5-9-3 大気中CAT濃度の時間変化  
 (1989年3月23日調査。神奈川県横浜市左近山団地3-6棟)

日付	採取時刻	CAT [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
23日	08:30-08:46	nd
	09:00-09:12	nd
	09:30-09:56	nd
	10:00-10:09	0.28
	10:30-10:47	0.26
	11:00-11:09	nd
	11:25-11:40	0.28
	11:30-11:42	0.08
	11:40-11:50	0.09
	11:50-11:58	0.31
	12:00-12:13	0.08
	12:30-12:46	nd
	13:00-13:09	0.71
	13:30-13:40	0.05
	14:00-14:13	0.28
	14:30-14:49	0.44
	15:00-15:14	0.11
	15:30-15:46	0.39
	16:00-16:28	0.29
16:30-16:40	0.15	
17:00-17:25	0.09	
17:30-17:46	nd	
23日	18:00-18:11	nd
	18:30-18:43	0.19
	19:00-19:28	nd
	19:30-19:45	nd
	20:00-20:12	0.07
	20:30-20:40	0.06
	21:00-21:15	0.09
	22:00-22:15	0.08
	22:30-22:39	nd
	23:30-23:58	nd
	24日	00:30-00:45
01:30-01:47		0.05
02:30-02:42		0.05
03:30-03:49		0.07
04:30-04:41		nd
05:30-05:40		nd
06:30-06:45		0.27
07:30-07:40		nd
08:30-08:54		nd
09:30-09:42		0.19
10:30-10:13		nd
11:30-11:39		nd
12:30-12:50		nd
13:30-13:42		nd

注: ndは不検出(0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)

## 第4回調査

調査日：1989年5月2日

散布農薬：殺虫剤 イソキサチオン（50%）乳剤

調査地点：3-3棟前

分析結果を表5-9-4に示す。散布直後の大気中濃度は7.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ にも達した。夜まで

一日中殺虫剤が検出され、風速風向の影響により濃度が上下している。午後2時まえに2.

2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ など高い値が測定されている。表5-9-4 大気中イソキサチオン濃度の時間変化  
(1989年5月2日調査。神奈川県横浜市左近山団地3-3棟)

時刻	気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	イソキサチオン [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
10:25-10:35	19	7.4
11:10-11:28	19	0.35
11:40-11:50	19	0.30
12:10-12:27	20	0.23
12:40-13:02	19	0.15
13:10-13:19	19	0.63
13:40-14:02	19	2.2
14:10-14:25	19	0.26
14:40-14:59	19	0.32
15:10-15:37	19	0.35
15:40-15:49	19	0.20
16:10-16:30	19	0.33
16:40-16:49	19	0.22
18:10-18:21	19	0.18
18:40-19:02	18	1.6
19:10-19:31	17	1.0
19:40-20:06	16	0.45
20:10-20:20	16	1.1
20:40-20:53	16	0.71
21:10-21:19	16	0.50
21:40-21:50	15	0.50

## 第6章 環境汚染の濃度評価

### 6.1 測定値の濃度水準の考え方

第5章で様々な地域の大気中農薬濃度を測定してきた。ここでは、そのデータを基にして濃度水準に関して評価を試みる。

まず、従来の方法で測定値を整理して表6-1-1に示す。このままでは、水田のBPMCとMEPの違いを見たり、MEPの水田と森林を比べたりしても、はっきりしたことを読み取るのは難しい。特にこの整理方では、偶然に計測された最高値が平均値や標準偏差に大きく影響してしまうという問題が発生する。また、この最高値が再び出現する可能性を評価することも難しい。

次に、本分析法による検出限界以上のデータを、農薬散布後の大気汚染の影響のある期間、影響のある距離範囲のデータと定め、これを対数正規確率紙にプロットしたものをそれぞれ図6-1-1、図6-1-2、図6-1-3に示す。農薬の大気汚染濃度の累積度数分布は直線となり、この濃度の拡がりが対数正規分布になっていることが判明した。これを表6-1-2に示す。なお、水田のMEP大気中濃度が直線から少し外れた結果になっているのは、検出データ数が87検体とやや少なかったためである。

対数正規分布を決定する2つの値、50%値 ( $\exp(\mu)$ ) と標準偏差 ( $\exp(\sigma)$ ) もそれぞれ示した。前者は、測定データの対数の平均  $\mu$  を指数演算したものである。これが高いほど汚染のレベルが高いことを示している。後者は、測定データの対数の標準偏差  $\sigma$  を指数演算したもので、これを標準偏差と呼ぶことにする。これが大きいほど濃度変化が大きいことを示している。両者とも図から読み取るのではなく、測定データから直接に演算で求めることができる。

また、16%値 ( $\exp(\mu + \sigma)$ ) や2.3%値 ( $\exp(\mu + 2\sigma)$ ) を考えることで、高濃度汚染の頻度を推定することができる。たとえば水田のMEPの場合、 $0.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (50%値) 前後の濃度が一般的であり、 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (16%値) 前後の濃度はしばしば見られる。 $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2.3%値) 以上の値は、極めて高い水準にあることが明かになる。このような頻度の推定は、分布の形を確認してからでないといけない。

表 6 - 1 - 1 各地での農薬大気汚染測定結果  
 単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	調査 年. 月. 日	調査地	検出数/ 分析数	平均	最大	標準偏差
水田	BPMC					
	87. 05. 27	栃木県日光今市市	35 / 42	1.5	17.0	3.0
	87. 06. 26	"	12 / 13	0.60	2.0	0.59
	88. 07. 23	新潟県巻町	46 / 46	0.91	4.8	1.02
	88. 07. 27	埼玉県富士見市	17 / 17	0.59	1.9	0.65
	88. 08. 06	新潟県巻町	15 / 19	0.58	3.8	0.90
	88. 08. 15	山形県白鷹町	36 / 43	2.0	14.0	2.9
88. 08. 18	群馬県館林市	6 / 7	2.8	5.1	1.9	
水田	MEP					
	88. 07. 23	新潟県巻町	46 / 46	0.51	2.0	0.45
	88. 07. 27	埼玉県富士見市	17 / 17	0.51	2.0	0.50
	88. 08. 06	新潟県巻町	19 / 19	0.21	1.2	0.27
88. 08. 18	群馬県館林市	6 / 7	1.2	2.5	0.74	
森林	MEP					
	85. 06. 03	群馬県高崎市	24 / 34	0.13	0.80	0.20
	86. 05. 28	"	21 / 23	0.13	1.9	0.40
	86. 06. 09	群馬県沼田市	24 / 24	3.3	9.7	2.8
	86. 07. 07	福島県福島市	93 / 101	0.24	2.2	0.40
	88. 06. 01	群馬県太田市	15 / 27	0.70	3.1	1.1
88. 06. 05	島根県弥栄村	11 / 11	0.060	0.36	0.10	
畑地	PCNB					
	86. 05. 08	群馬県嬬恋村	18 / 18	2.1	5.1	1.09
	86. 05. 10	"	13 / 13	0.61	1.4	0.78
	86. 05. 27	"	10 / 10	2.1	6.9	1.9
	86. 06. 17	"	42 / 42	1.8	12.7	3.2
	86. 07. 25	"	10 / 10	2.4	7.4	2.3
	86. 08. 15	"	16 / 16	0.21	0.48	0.14
	86. 09. 26	"	12 / 12	0.072	0.19	0.047
	86. 10. 15	"	10 / 10	0.047	0.10	0.026
	86. 11. 29	"	11 / 11	0.008	0.019	0.005
87. 02. 07	"	1 / 1	0.002	0.002	-	
87. 04. 11	"	10 / 11	0.044	0.084	0.023	

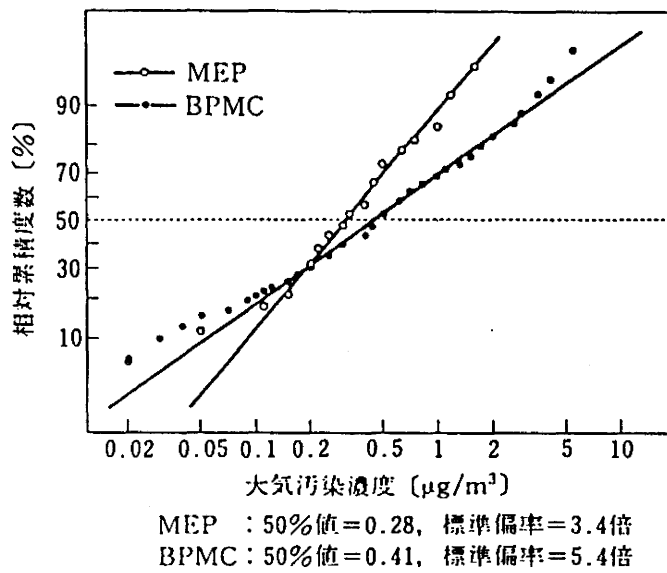


図 6 - 1 - 1 水田に空中散布した農薬の大気中濃度の確率分布

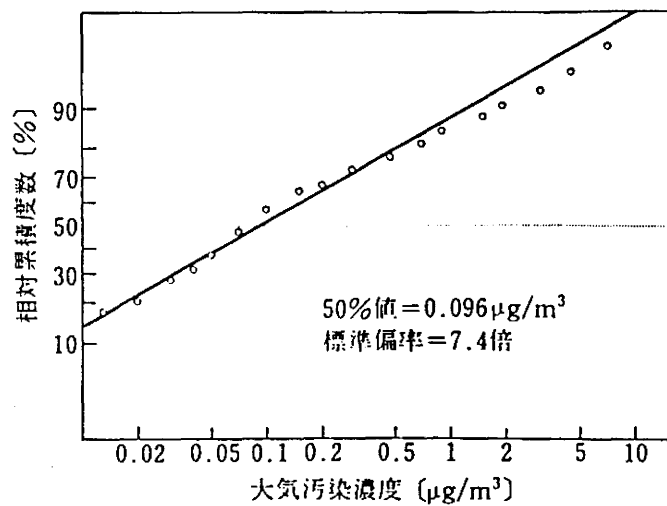


図 6 - 1 - 2 松林に散布したMEPの大気中濃度の確率分布

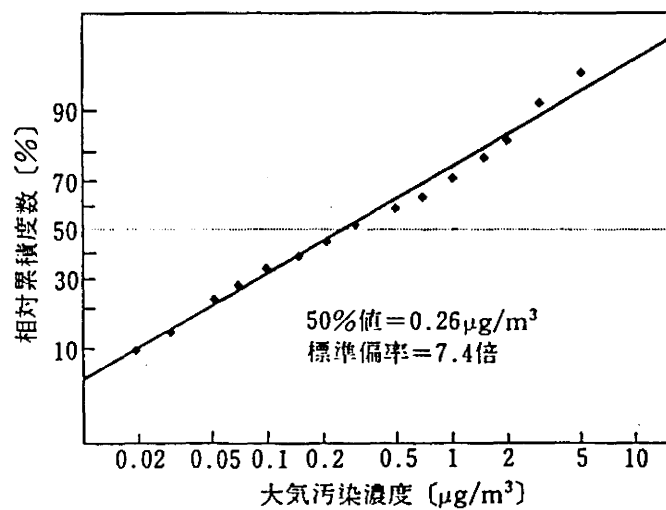


図 6 - 1 - 3 畑地の土壌殺菌をしたPCNBの大気中濃度の確率分布



表6-1-2 農薬大気汚染の影響範囲と統計量

散布地	農薬	検体数	影響範囲 期間	距離	基本統計量		
					平均値 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	最大値 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	標準偏差 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
水田	BPMC	167	3日	6km	1.3	17	2.2
水田	MEP	87	3日	6km	0.49	2.5	0.5
森林	MEP	188	1週間	5km	0.63	9.7	1.5
畑地	PCNB	153	1年	15km	1.1	12.7	2.1

散布地	農薬	対数正規分布統計量			
		50%値 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	標準偏差 [倍]	16%値 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	2.3%値 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
水田	BPMC	0.41	5.4	2.2	12.0
水田	MEP	0.28	3.4	1.0	3.2
森林	MEP	0.096	7.4	0.7	5.3
畑地	PCNB	0.26	7.4	1.9	14.2

水田に散布された2成分について比較すると、BPMCの50%値が $0.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、MEPの50%値が $0.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となっているが、この相違は両成分の揮発性の差に原因するものと考えられる。同様に、BPMCの標準偏差率は5.4倍と大きく、MEPは3.4倍の変動しかしないのは、前者が速く揮発して高濃度になったあと早く減衰してしまうのに比べ、後者は比較的ゆっくり揮発する性質であることの表れである。

林の松に空中散布されたMEPは、50%値が $0.096 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と水田に比べて小さくなっている。これは、森林の樹葉に日光が遮られて温度が高くないことや、風が通り抜けないので揮発ガスが滞留して外部へ出てこないことによる。また、森林内では水田よりも高い大気中濃度が観測されて、標準偏差率が7.4倍と高くなっている。

また、MEP大気汚染の影響は水田で3日ほどしか観測されないのに、森林では1週間以上に渡って大気汚染が継続している。同じ農薬成分であっても、散布の状況が違えば大気中濃度の様相は全く異なるものになることを示している。

畑地の土壌に鋤込まれたPCNB殺菌剤では、50%値が $0.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。この値は水田のMEPに相当する量で大きな値である。標準偏差率が7.4倍と高くなっているのは、土壌から染み出して来る農薬の汚染が1年の長期間継続することで、気候の影響を受け、その変動が当然大きくなる理由による。

以上で見てきた通り、統計的標本としては種々の条件の偏りなどの問題を含むにもかかわらず、150検体以上の測定値があれば、大気中農薬汚染濃度は対数正規分布として扱うことができた。従来の何検体の分析の内何検体検出とか、最高値いくらかという評価方法にくらべて、この対数正規分布による大気中農薬濃度の評価方法は、多量の大気汚染測定データを影響期間と影響距離、50%値、標準偏差率の4つの値で規定して比較することができるため、濃度水準評価に対する有効な方法となる。

## 6.2 人間の摂取量の評価

実際の測定値を人間の摂取量にあてはめて評価したいということがよくある。次に5.3節で測定した高原野菜単作地帯のPCNB汚染を例にして評価計算してみよう。従来から農薬の規準は、消費者が食品から摂取する農薬量を減らすことに重点が置かれてきたので、食品中の残留規準などには様々な資料が発表されている。

今仮りに残留農薬に対する食品摂取許容量を目安とすると、前に記したようにWHOによりPCNBの体重kg当りの1日当り摂取許容量は $0.007 \text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ となっている。

これを体重50kgの成人として $\mu\text{g}$ で表わすと350 $\mu\text{g}/\text{day}$ である。一方、嬬恋村の大気汚染の水準を今鳥居峠から田代湖間について5～6月の全測定値を平均すると、2.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、これを一応現在までえられた代表値とする。1日普通人が14 $\text{m}^3$ の大気を呼吸するとして、 $2.44 \times 14 = 34.16 \mu\text{g}/\text{day}$ の摂取量となる。これは前記許容量の約10%である。

この量が健康にどのように影響するかは検討の余地のあるところである。幾つかの参考を述べると一般に大気汚染の場合は水質等より変動が著しく、平均値の10倍程度の幅は地域や日によって普通に認められる。現に本調査の範囲でも5倍の値が測定されている。従って、条件によって1日許容量を超える場合は容易に想像される。

つぎに大気汚染による肺からの摂取は食品として腸からの摂取に比べて毒性が強いことであって、10倍以上数十倍にもなることが指摘されている。PCNBにはこれら大切なデータが出されていないが、少なくとも同列に扱うことはできない筈で、仮りに10倍としてすでに許容量に相当する。

もう1つ、環境庁告示による残留農薬基準値0.08ppmをとると、今回の濃度平均値に対しては、基準内で最大に汚染された野菜約430gを毎日食べる量に相当する。さらに、この場合も肺からの吸収の危険性は同様にさらに加算されよう。食品からの残留農薬を通じて摂取する農薬量よりも、大気汚染で呼吸から摂取する農薬量が多くなっていることが判った。

### 6.3 クロルデン汚染濃度の評価

まず、クロルデンに関するいろいろな基準値を述べる。基準値を設定する機関の立場の相違によってそれぞれの基準値には大きな隔りがある。

国連機関のFAO/WHO(1986)は、1日当り摂取許容量(ADI)を

クロルデン	0.0005mg/kg/日
ヘプタクロル	0.0005mg/kg/日

としている。仮に、餌に混ぜて摂取するのと呼吸で肺から吸入するのとで毒性に違いが無いとしてみると、この値を体重50kg、1日の呼吸量15 $\text{L}$ の人で換算して、大気汚染濃度として、

クロルデン	1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ヘプタクロル	1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

という値が得られる。しかし、一般に経口毒性よりも吸入毒性の方が強いことが知られて

いる。これは、経口の場合には、消化器管での吸収のロスや肝臓での解毒作用の働きがあるのに比べ、吸入の場合には毒物が直ちに動脈から全身に流れるためである。したがって、大気からの摂取許容量は上記の計算値よりも少ない値と考えるのが普通である。

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH(1980)) が発表した労働環境での最大連続暴露の許容濃度 (TLV) では、

クロルデン                      500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

となっている。この値は、1週間に40時間この濃度で作業しても労働者に健康上の悪影響がないと判断される値である。しかし、この濃度以下で健康傷害が起こらないことを保証するものではなく、職業上の利益を得る健康な労働者に対する基準であるから、一般の生活環境に当てはめることはできないと明記されている。したがって、TLVで示される数値で農薬類の安全性の根拠とするのは非常識であると考えられる。

米国National Academy of Sciences (NAS(1982)) の暫定勧告値では、

クロルデン                      5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 ヘプタクロル                      2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

である。これは、住宅に使われたクロルデンの室内汚染に対する直接的なガイドラインである。なお、その後1986年にFAO/WHOで毒性見直しが行われ、クロルデンのADIは0.001mg/kg/日から、ヘプタクロルと同じ0.0005mg/kg/日に修正されている。この事情を勘案して、ここではクロルデン類の基準値としてヘプタクロルのNAS勧告値2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ をより妥当と考える。

殺虫剤クロルデンは類似した複数の化合物の混合物であるので、すべての濃度を合計した数値で評価する。5.8節にあるクロルデンの調査結果では、床下の空気の多くはこの基準値2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ をケタ違いに大きく上回っている。また、室内居住空間でもほぼこの値前後の汚染レベルであり、いくつかの測定結果はこれを上回っていた。他の測定点でも、室内の換気の変えれば容易に基準値を越えてしまうであろうことは、床下の高濃度状態からも明らかである。

#### 6.4 MEPの基準値について

MEPについても、クロルデンと同様に基準について考察することができる。しかし、MEPの場合は散布地周辺住民の健康被害に関する沢山の訴えがあるので、そのようなことが起こらないように基準を設定していく必要がある。

日本産業衛生学会(1989)が勧告したMEPのTLVは、平均1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。こ

の値でいえば、農薬空中散布直下での水田内作業も許容されるほどである。1977年の千葉での水田内の死亡事故例をみるまでもなく、この勧告自身が一般環境への流用を禁じている。

食品からの摂取について、WHO/FAO(1986)のADIは、 $0.005\text{mg/kg}$ 体重/日となっている。この値を仮に体重 $50\text{kg}$ 、呼吸量 $15\text{m}^3$ /日の成人を考えると $17\mu\text{g}/\text{m}^3$ という値になる。

また、厚生省の農薬残留基準では、MEPは穀物、果実、野菜を通じてすべて $0.2\text{ppm}$ である。仮に食物量 $1\text{kg}/\text{日}$ 、呼吸量 $15\text{m}^3/\text{日}$ で換算すると、 $13\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。

しかし、経口毒性と吸入毒性の強さは明確に区別される必要がある。前者は胃腸で消化吸収された成分が肝臓に入って解毒され、静脈から肺を通して動脈に運ばれて全身に到達する。摂取してから作用点の神経に到達するまでに、長い道のりがある。それに比べて、吸入した毒物は、肺から直ちに動脈に流れて全身に達する。このため、吸入毒性の方が経口毒性よりもケタ違いに高くなることがある。特に、肝臓で解毒する可能性のあるものは特に顕著である。MEPの両毒性の差がどの程度違うのか分からないが、仮に10倍とすれば、先に計算したADIからの値は $1.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ になり、残留基準からの値は $1.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ になる。

空中散布後のアンケート調査で様々な身体症状を訴える人がでている(2.8節)。そのような状況で環境中の農薬大気汚染濃度を計測してきたところ、 $\text{数}\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度であるという結果を得た。

以上のような考察から、MEPの場合、ヒトに対する急性の影響の少ない規制値を作るとすれば、 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の値になるであろう。真に安全な基準値を設定するためには、さらに本格的な疫学調査と大気汚染実態調査を組み合わせた上でデータを積み上げる必要がある。

---

## 第7章 数理モデルのための会話型計算システムの開発

---

### 7.1 目的

環境汚染の解析や予測に数理モデルを使う試みは、活発に研究が進められている分野である。スーパーコンピュータを駆使して複雑な地形での微気象まで考慮した汚染予測が試みられる一方で、近年急速に進歩したパーソナルコンピュータの能力で十分に実用的な結果が得られる数理モデルも少なくない。現在のパーソナルコンピュータの普及率はめざましく、誰でも容易にアクセスできる環境が整ったとみてよい。数理モデルによる環境汚染の把握を一部の研究者だけのものから、もっと広範囲の人が扱えるものに普及していく時期が来ているといえる。

環境汚染の数理モデルは、単位過程（物質移動、生物過程、物理過程、・・・）の組合せでセル（コンパートメント）の物質収支を記述し、そのセルを組み合わせてシステム全体の様子を記述していくような階層構造を持つのが一般である。このようなシステムを説明するとき、全体像から順に細かい部分を説明していくトップダウンの記述方法がより判り易くなる。しかし、これを計算プログラムに直す過程で問題が起こる。従来的高级言語は、計算機に計算させる順序を記述するために設計されているために、論文中に現れるような箇条書にされた数式をそのまま計算することができない。計算するためには、下位の計算要素から求めるべき最上位の計算要素に至る計算順序の道筋をコンピュータプログラマーが指定しなければならない。これは、論理の順番を逆にしすることに相当し、多くの努力が必要であった。ここに、計算の順序を意識しないで、計算機を利用できるようなツールの必要性が生まれてきた。オブジェクト指向プログラミングというのがその解決方法として提示されているものである。

数理モデルの結果は、常に実際の環境測定結果で検証されなければならない。検証の結果として不合理な結果が見いだされたときに、その原因がモデルのどこにあるのかを調べなければならない。しかし、従来的高级言語で数理モデルを記述してしまうと、計算途中

のパラメータ（計算要素）の値を表示したり、計算モデルの一部を仮に交換してみたりといった作業は容易ではない。ここに、即座に必要な値を操作できるような会話型のツールの必要性が生まれる。

数理モデルを記述する上での従来の計算環境での問題点を表7-1-1にまとめた。これらの問題を解決するために、新しく会話型の計算システムを開発し、N I F E（N umerator of I temized Formula Expressions, 発音：ナイフ）と命名した。

表7-1-1 コンピューターによる代表的な計算環境

電子計算機言語	特徴	問題点
【大型計算機】		
Fortran	高速、豊富な演算ライブラリ	予測式の変更に柔軟に対応できない。
DDSL, SDS(DYNAMO)	シミュレーション専用言語	操作が容易でない。予測式の構築後に有効。
【パーソナルコンピューター】		
BASIC	プログラム修正が容易	ボトムアップな記述。見通しのわるいプログラム。
Fortran, C, . . .	高速	ボトムアップな記述。修正から実行までが煩雑。
表計算	修正が容易、再計算	変数の扱いが面倒。関数が引数を持たない。

## 7.2 N I F Eの規格

### 7.2.1 可読性の高い記述方法

#### (1) 計算要素の名前

計算要素とは、関数、変数、行列型関数、行列である。これらの名前は、英字のほかに、カタカナ、漢字、ギリシャ文字、ロシア文字、数字（半角の数字だけは名前の1文字目には使用できない）、演算子ではない記号など計算機で扱えるほぼ全ての文字の組合せて任意に記述する。大文字小文字、全角文字半角文字は区別される。このことによって、計算要素のほとんどを学術論文中にあらわれる慣用的な名前で記述することができる。

#### (2) 数値の記述

N I F Eの計算環境では、演算はすべて倍精度浮動小数点で行われる。このようにすることによって、従来の計算機言語で可読性を著しく損傷していた型宣言を省いた。入力さ

れる数値の記述方法は、整数 (123)、小数 (123.45)、指数表示 (123.45E-67) のいずれも許される。指数表示の E は 10 の累乗を示している。

### (3) 計算式の計算

数理モデルに含まれる要素の値がいつでも即座に取り出せる事を重視した。計算要素や数値を含んだ計算式を入力すると、直ちに計算が行われてその値が表示される。このとき定義式に単位の記述があれば、同時に単位も表示することで利用者の便宜を図っている。

### (4) 関数の定義

最も基本になる計算要素が関数である。その定義の方法は、例えば次のようになる。

```
> C(t)=C0 exp(-k t) '汚染濃度[ppm]'
```

ここで、「C」が関数名であり、必要に応じて引数「(t)」が記述される。等号「=」が関数の定義であることを示す。そのあとに計算式「C0 exp(-k t)」が記述される。つまり、通常の物理数学の式そのままの記述である。このような計算式に於て、従来の高級言語では乗算の記号「\*」が不可欠であったが、NIFEでは可読性を高めるため空白で区切れば乗算記号が省略できる。計算式の演算は関数定義の段階では行われないので、計算式中の計算要素 (C0, k, t) は、この後でも前でも任意の位置で定義されていれば充分である。以下必要に応じて、「'」で始まるコメントで定義の説明を記述する。コメント内に「[ppm]」のような単位の記述があれば、計算結果の表示の時に一緒に表示される。単位の表示は、利用者の理解を助け、誤解を防ぐための重要な機能である。

### (5) 行列ベクトルの記述

行列やベクトルは、数理モデルの各コンパートメント毎の計算要素の記述や不規則な時間変化を伴う気象条件の記述には欠かせないものである。目的に合わせて、以下の数通りの定義方法が用意されている。

#### (a) 要素並びによる定義

```
A[3,3]={1,2,3,4,5,6,7,8,9}'
```

#### (b) 添え字の計算による定義



```
B[3,3]=[i,j] i+j+f(i,j)☒
```

(c)行列計算による定義

```
C[]=A+A*B+inv(B)☒
```

(d)関数faa(x),fal(x)...fww(x)による定義

```
D(x)[alw,alw]=f☒
```

(a)から(c)の方法では、行列ベクトル定義の時点で行列要素の値を計算し、その値を記憶してしまうので、定義後に下位の計算要素（この例では  $f(x,y)$  である）を修正しても行列要素の値は変化しない（計算時間の短縮のため）。これは変数型の行列という。このため、定義式の通りに再計算する「.matrix」命令が別に用意される。

(d)の方法は、関数型の行列を定義する方法である。この場合は行列Dを参照する度に改めて関数  $f??(x)$ （? は alw のいずれか）を計算する。このため、計算時間は多く必要になるが、下位の計算要素の修正について、常に正しい値を自動的に持つことになる。これは、シミュレーションの実行に於て重要である。

## 7. 2. 2 モデル構築支援

### (1) 表示命令

表示関係の命令には、定義の一覧を表示する .list命令、ある計算要素を使用している上位の計算要素を調べる .select命令、ある計算要素の計算の中で値を参照されている下位の計算要素を調べる.reference命令がある。例えば、

```
C(t)=C0 exp(-k t) '汚染濃度[ppm]
k=k1+k2+k3      '減衰速度係数[1/h]
```

である場合、Cは、k に対する上位の計算要素、k1,k2,k3 は、k に対する下位の計算要素である。数理モデルが単純なら .list命令だけで十分であるが、複雑になり定義の数が増えるにつれて .select命令や.reference命令で表示する定義を絞り込むことで思考を支

援する。watch命令は、重要な計算要素を指定して、その値をディスプレイ画面の上部に常時表示しておく。この機能により、下位の計算要素の修正や計算式の変更による計算要素の値の変化をシミュレートする。

## (2) 制御命令

シミュレーションを繰り返したり、計算結果を一覧表にして表示したり、行列ベクトル演算を繰り返したりするために、do, if, for, while, repeatなどの制御命令が用意されている。これらの命令によって様々なマクロ命令を手続きとして利用したり、外部の手続きファイルを読み込んで実行したりする。外部の手続きファイルはライブラリとしても整備されつつあり、現在、「最小自乗法」、「ルンゲ・クッタ法による常微分方程式の数値計算」などが手軽にNIFEから利用できるようになっている。

## (3) 変数の代入

制御命令を有効に活用するためには変数の利用が不可欠である。NIFEでは、変数の代入には、代入記号「<」を用いる。従来的高级言語では、

```
N=N-1
```

という代入文が許されたが、NIFEでは再帰演算の定義になってしまう。代入記号をつかい、

```
N<N-1
```

の様に記述する。

## (4) グラフの描画 (PC9801版のみ)

計算結果を折れ線グラフで示すために、draw, from, toなどのグラフ描画命令がある。たとえば、

```
> .draw x,0,1000,10,x,F(x) □
```

という命令は、xを0から1000まで10間隔で変化したときのF(x)という関数の値をグラフに描画する。グラフの表示位置の指定(VXmax, VXmin, VYmax, VYmin)、グラフの論理座標の指定(Xmax, Xmin, Ymax, Ymin)、座標軸の描画(.coord)、色の指定(.color)、グラフの削除(.cls)など必要な命令が揃えてある。

グラフ上の1点に印を付ける dot命令は、実測値の表示や規制値の境界を示すのに用いられる。

また、描いたグラフ上の点をマウスでクリックしてその論理座標値を予約変数 (Xmouse, Ymouse) に取り込み、これらを表示したり計算したりすることで、グラフの結果の検討を深めることができる。例えばグラフから、最大汚染濃度を読み取ったり、基準値まで減衰するのに必要な時間を求めたりするときに有効な機能である。

#### (5) 計算の途中結果の監視

数理モデルが複雑になると、有り得ない結果が出力されて、その原因が判らなくなることもある。そのような場合には、`.set trace on`命令を用いると計算途中の全ての計算要素の値を逐一表示するので、モデルの不適切な部分を発見しやすくなる。

### 7. 2. 3 モデルの修正支援

#### (1) 関数の修正

既に定義されている関数と同名の関数を定義すると、

```
> C(t)=C0 exp(-(k+k3)t)+ I
old: C(t)=C0 exp(-k t) '汚染濃度[ppm]
new: C(t)=C0 exp(-(k+k3)t)+ I '汚染濃度[ppm]
```

の様にコメントを引き継ぎながら定義が入れ換わる。このように数理モデルの変更修正がいつでも容易に出来ることは必須要件である。

ある計算要素の修正によって、それより上位の計算要素の値も当然変化する。(ただし、行列の要素だけは `.matrix`命令の後に変化するので注意が必要である。) この機能を使うことで、モデルや条件を様々に変化させたときの結果を随時シミュレートし互いに比較することができるのである。

既に定義されている計算要素の一部分だけを修正するのに、その定義の全体をもう一度初めから入力しなおすのは不便である。そこで `.edit`命令を使い、指定した定義をディスプレイ上に呼び出しフルスクリーンモードで修正して再定義する。

#### (2) 行列の要素への代入

行列には気象データなどを入れることが多い。シミュレーションの都合で部分的に値を変更してみたい場合がしばしば発生する。その場合には、以下の方法が用いられる。

##### (a) 全体の代入更新

```
> A[<A+5E[3,3]
```

行列ベクトルの計算をしてその結果をすべて代入する方法である。この例では、行列 A の対角成分に 5 が加えられる。代入記号「<」を使い、再帰的な行列計算式も許される。

(b)要素を指定して代入

```
> A[1,*]<{g(4)+g(1/4),45,0.25}
```

行列の行や列の指定に「\*」を使うことで、特定の列や行に代入する。[\*,\*]とすると全体であり、[0,0]であれば唯1つの要素を指定することになる。代入記号「<」の後ろは、行列要素の並びであり、「g(4)+g(1/4)」の様に計算式でもよい。計算式は即座に計算されて答えの値が代入される。

(c).input命令

```
> .input A[1,0]
```

とすると、A[1,0]からA[2,2]まで順に値をひとつずつ会話モードで代入するようになる。

N I F Eが順番に

```
I A[1,0] {現在値} < { }
```

のように尋ねてくるので、利用者は {} 内に代入したい値もしくはその計算式を記入する。利用者が改行キーを押すと、次のA[1,1]に移り、最後のA[2,2]まで入力が続く。

### (3) 定義名の変更

小さい数理モデルから、徐々に修正と追加を繰り返して大きな数理モデルを構築していく過程で、計算要素の名前をまとめて変更する必要があることがある。.rename命令により、指定した計算要素の名前を別な名前に書き換えることができる。

### (4) 定義の削除と全削除

不要になった定義は、.del命令で削除する。.newは、全ての定義を削除する。

### (5) 定義の保存と読み込み

記憶している定義は、`.save`命令でディスクファイルに書き出して、保存する。これは、`.do`命令によって後日読み込んで使用できるので、長期間にわたって数理モデルの計算や修正を繰り返すことができる。さらに、これによって書き出されたファイルの書式はMS-DOSの標準テキストフォーマットであるので、エディタやワープロを初め様々なユーティリティで加工・再編集・利用することができる。関数の可読性が極めて高いので、その数理モデルの解説を随所に書き加えるだけで報告書になる。この報告書は、そのままNIFEに読み込ませて値の計算をさせることが可能である。報告書の中で、プロンプト「>」が先頭に付いている行だけをNIFEが理解し、その他の行は説明と見なされ、読み飛ばされるようになっているからである。

### (6) 結果の保存

NIFE実行中の計算結果を、`.set data to`命令でディスクファイルに書き出すように指定する。これもMS-DOS標準テキストフォーマットなので、他のプログラムで容易に再利用される。たとえば、計算結果の一覧表を表計算ソフトに読み込ませたり、グラフ描画ソフトで加工したりする。

また、全ての実行過程は、`.set log to`命令でディスクファイルに記録されるので、あとで修正の過程や計算値を検討するときに使う。

## 7.2.4 初心者から熟練者まで対応

数理モデルの操作が誰にでもできるようになるというのは、NIFEの重要な目標の一つである。

### (1) 動作環境

日本電気製PC9801（互換機を含む）で動作するPC9801版と様々なMS-DOS機で動作するMSDOS汎用版（グラフ機能などが割愛されている）がある。また、NIFE自身は、ANSI準拠のC言語で記述されているので、他機種への移植は困難ではない。

### (2) アシスト

NIFEの既設定値では、ディスプレイ画面の最下段の2行には、利用者が使おうとしている命令についての解説が常に表示されている。利用者は、この行を見ながら命令に必要なパラメータを記入していくことができる。さらに、画面の最上段5行にはフルスクリ

ーンモードで入力しているカーソルなどの制御キーについての一覧表が表示される。熟練者は、これらのアシスト2行とカーソル制御一覧5行を、`.set assist`命令で非表示にすることができる。

### (3) ヘルプ機構

`.help`命令で、N I F Eについての様々な情報を表示する。命令の解説やN I F Eの使用例などを見ることができる。また、ヘルプ情報の書かれているファイルもMS-DOS標準テキストフォーマットであるので、必要に応じてヘルプ情報を書き換えたり、ヘルプファイルを切り換えたりすることで様々な要求に対応している。

このヘルプ機構はハイパーリンクのようなページ制御機能を持ち、利用者は関連項目の解説を縦横無尽に参照していくことができる。

### (4) ファンクションキー (PC9801版のみ)

キーボードにある10個のファンクションキーとSHIFTキー、GRPHキーを組み合わせることにより、N I F Eのほとんどの制御命令がファンクションキーから入力でき、制御命令のメニューの役割を果たしている。

## 7.3 評価

具体的な使用例は、第8章に譲る。

環境科学の分野で数理モデルを必要とする度合は、これから更に高くなると考えられる。ひとつは環境アセスメントや未来予測のために、もうひとつは汚染機構の説明と汚染対策の指針を得るためにである。

これまで提案されてきた数理モデルの多くは、普通の数学物理化学の書式から逸脱した電子計算機の為の言語によって記述され、大型電子計算機といういわばブラックボックスの中からいきなり「地球が温暖化する」とか「皮膚ガンが増加する」などの結論だけが出てくることになっている。

しかし、民主主義の原則の中で政策的結論を導くための数理モデルは、できるだけ多くの人々が理解し操作できるように提示される必要がある。そのためには、通常の数学や物理化学の書式で関数を積み上げて数理モデルを構築できること、数理モデルの妥当性について何回でも条件を変えながら検討できること、パーソナルコンピュータで計算操作が簡単にできることなどの要件が求められる。

ここで開発したN I F Eは、上記の要件を満たした数理モデルの構築支援ツールとして

広範な用途に利用できる。

現在、N I F Eはシェアウェアとして広く公開されているので、誰でも試用することができる。最も簡単で早い入手方法は、商業コンピュータ通信のNIFTY-Serveに接続し、FGALAP というフォーラムのデータライブラリ7番（情報管理・統計ソフト）で入手する方法である。N I F Eは同フォーラムでも高い評価を得ている。

## 第8章 数理モデルによる解析

### 8.1 煙突拡散式へのNIFEの適用

煙突から排出された汚染物質の濃度の予測式を例に用いて、NIFEの機能を解説する。高さH0[m]の煙突から排出された汚染物質が、観測地点O(x,y,z)でどのくらいの濃度になるかを予測する最も一般的で簡単なモデルにブルームモデルがある。これに基づいて計算する。

まず、表8-1-1に煙突の有効高さHeを計算するために必要な式をNIFEへの入力書式で記載した。このように論文や教科書に書かれている数式をほとんど変更せずにそのままNIFEに登録定義できる。煙突の諸元は、仮想のものを定義した。この定義式を登録すると次のようにHeとタイプするだけで、Heの値と単位を求めることができる。

```
> He [ ]
He=65.1972 [m]
```

利用者の求めに応じて、どんな計算要素の定義や値でも即座に表示する。いくつかの計算要素の値をまとめて表示するには、次のような複文で指定する。

```
> He;Hm;Ht;H0 [ ]
He=65.1972 [m]   Hm=4.89511 [m]
Ht=10.302 [m]   H0=50 [m]
```

実際の高さよりも有効高さが何%高くなっているかを計算し、単位を[%]と表示するには、

```
> (He-H0)/H0*100 [%] [ ]
(He-H0)/H0*100 [%]=30.3943 [%]
```



とする。このように、任意の数式を書くとNIFEはたちどころにその計算値を表示する。利用者はこの機能を使って、数理モデルの各計算要素が現在どのような値になっているかを簡単に調べ、数理モデルの検討を続けられる。

同じ名前でもう一度定義すると、古い定義が新しい定義に置き換わる。数理モデルの修正は、変更のある関数をこの機能で新しい定義に書き換えればよい。また、計算条件を変更することで、さまざまなシミュレーションを行える。例えば、排気温度Tgを、

```
> Tg=600 [ ]
old: Tg=500      '排気温度 [K]
new: Tg=600      '排気温度 [K]
```

とすると、古い定義の500[K]が削除されて、600[K]になる。このとき、Tgに付いていたコメントが自動的に引き継がれる。これに伴って、その上位の計算要素の値も同時に変化する。例えば、煙突の有効高さHeは、

```
> He [ ]
He=70.3654 [m]
```

のように値を表示してみると、先の約65mよりも高くなっていることが判る。このシミュレーション機能は、数理モデルや入力条件を様々に変化させたときの応答を見るための重要な手段である。

つぎに、表8-1-2に観測点O(x,y,z)での汚染濃度をブルームモデルで計算するための定義式をNIFEの書式で示す。Coの定義に現れるif()関数は、第一引数の正負で第二、第三引数の値を選ぶ関数でNIFEに予め組み込まれている。この関数によって、煙突の風上での汚染濃度をゼロにした。排気ガスの拡散の様子には大気の安定度は重要な要素になる。どの安定度を選択すべきかは、このモデルの重要な内容であるので選択の基準をコメントとして記述しておく。「=」で始まる文、つまり関数名がない関数定義文は、コメントの定義文と見なされ、計算式の説明などを関数定義と同様に登録して置くようにする。排煙の広がりや計算する部分では、大気の安定度に応じて数表を読み取る位置が異なるので、その位置をCONDITIONという値で指し示すようにした。ここでは、大気の状態をとりあえず CONDITION=B としておく。定義中に現れるlookup(Za[\*],LE,x)は、数表Zaを検索してZa[i,0]がx以下であるようなiを値として返す。つまり、行列を

表 8-1-1 煙突の有効高さを求める計算式

## 煙突有効高さ

- >  $He = H_0 + (H_m + H_t)K$  '煙突の有効高さ [m]  
 >  $H_m = 4.77 / (1 + 0.43U/V) * \sqrt{Q_0 V/U}$  '運動量の効果 [m]  
 >  $H_t = 6.37g Q_0/U^3 * (T_g - T_0)/T_0 * (2\log(J) + 2/J - 2)$  '温度と密度の効果 [m]  
 >  $J = U^2 / \sqrt{Q_0 V} * (0.43\sqrt{T_0/g/G} - 0.28V/g * T_0/(T_g - T_0)) + 1$

## 煙突の仕様

- >  $Q_0 = 1$  '排出量 [ $N_m^3/s$ ]  
 >  $V = 5$  '排出速度 [m/s]  
 >  $T_g = 500$  '排気温度 [K]  
 >  $K = 1$  '修正係数  
 >  $H_0 = 50$  '煙突の高さ [m]  
 >  $C_0 = 1000000$  '排出口濃度 [ $ng/N_m^3$ ]  
 >  $Q = Q_0 * C_0$  '汚染質の排出速度 [ng/s]

## 気象条件

- >  $T_0 = 300$  '気温 [K]  
 >  $U = 3$  '平均風速 [m/s]  
 >  $g = 9.8$  '重力加速度 [ $m/s^2$ ]  
 >  $G = 0.016$  '大気の温度勾配 [K/m]

数表とみなして該当項目を検索する関数で、これもNIFEの組み込み関数である。このような関数を用いることで、大気の状態をCONDITIONに定義するだけで、必要な数表を参照して計算を進められる。数表の記述では、継続行の印&を用いて複数の行にまたがって記述することで行と列の対応を分かりやすくした。

表8-1-1, 表8-1-2のように定義式が登録されれば、任意の空間座標の観測点 $O(x,y,z)$ での汚染濃度を知ることが出来る。例えば、風下200m高さ0mでは、

```
> Co(200,0,0)
Co(200,0,0)=0.343013 [ng/Nm3]
```

さらに、表8-1-3に示すように、.repeat命令と変数への代入を組み合わせることで、煙突からの風下距離 $x$ に対する汚染予測濃度 $Co$ などの一覧表を作るのも容易である。また、表8-1-4に示した命令によって、汚染予測濃度のグラフが描かれる。画面上に表示されたグラフに説明のための文字を加えたものが、図8-1-1である。

このように利用者は、任意の計算要素の定義や値を参照したり、計算式に修正を加えたり、一覧表を作成したり、グラフを描いたりして、構築しようとする数理モデルの結果を検討する。問題点や改良出来ることがあれば、更にモデルの計算式や条件を変更して計算を試みる。これを繰り返すことで、高度な数理モデルを構築することができる。

なお、このブルームモデルの諸定義は、NIFEの使用事例として、NIFEのオンラインヘルプ・リファレンスマニュアル(本論文付録2)にもっと詳しく記載されている。

表8-1-2 煙突の汚染濃度計算式を登録するNIFEの手続きファイル  
(Statistical (Gaussian) Theory)

## 【汚染濃度】

```
> Co(x,y,z)=if(x-0.01,0,Cx) ' O点(x,y,z)での汚染濃度 [ng/Nm3]
> Cx=Q/(2π σy σz U) *Kcy(Kcz1+Kcz2) ' (x,y,z)での濃度 [ng/Nm3]
> Kcy=exp(-0.5 y^2/σy^2) ' Y軸の広がり
> Kcz1=exp(-0.5 (z-He)^2/σz^2) ' Z軸の広がり (直接)
> Kcz2=exp(-0.5 (z+He)^2/σz^2) ' Z軸の広がり (地面の反射)
```

## 【大気不安定度】

```
> = =====
> = 風速 日射量 夜間
> = [m/s] 強 並 弱 本雲り 雲り 晴れ
> = -----
> = <2 A A-B B D - -
> = 2-3 A-B B C D E F
> = 3-4 B B-C C D D E
> = 4-6 C C-D D D D D
> = >6 D D D D D D
> = =====
> A=1 '大気の状態=強不安定
> B=2 '大気の状態=並不安定
> C=3 '大気の状態=やや不安定
> D=4 '大気の状態=中立
> E=5 '大気の状態=やや安定
> F=6 '大気の状態=並安定
```

## 【排煙の広がり】

```
> CONDITION=B '*** 大気の状態 ***
> σz=if(5000-σz1,5000,σz1) '煙の鉛直方向の広がり[m]
> σz1=σza (x/1000)^σzb
> σza=Za[ lookup(Za[*],0),LE,x), CONDITION]
> σzb=Zb[ lookup(Zb[*],0),LE,x), CONDITION]
> σy=0.46511628x*tan(0.017453293(σyc-σyd*log(x/1000))) '水平方向広がり[m]
> σyc=Ycd[CONDITION,1]
> σyd=Ycd[CONDITION,2]
```

## 【排煙の広がりを計算するための数表】

```
> = x, A, B, C, D, E, F,
> Za[19,7]={ 0, 158.080, 90.673, 61.141, 34.459, 23.331, 15.209, &
& 150, 170.220, 90.673, 61.141, 34.459, 23.331, 15.209, &
:
: (途中省略)
& 40000, 453.850, 109.300, 61.141, 44.053, 47.618, 27.074, &
& 60000, 453.850, 109.300, 61.141, 44.053, 47.618, 34.219 }
> = x, A, B, C, D, E, F,
> Zb[19,7]={ 0, 1.05420, 0.93193, 0.91465, 0.86974, 0.81956, 0.81558, &
& 150, 1.09320, 0.93193, 0.91465, 0.86974, 0.81956, 0.81558, &
:
: (途中省略)
& 40000, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.29592, 0.29592, 0.27436, &
& 60000, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.29592, 0.29592, 0.21716 }
> Ycd[7,3]={ 0, 0, 0, &
& A, 24.1670, 2.5334, &
& B, 18.3330, 1.8096, &
& C, 12.5000, 1.0857, &
& D, 8.3330, 0.72382, &
& E, 6.2500, 0.54287, &
& F, 4.1667, 0.36191 }
```

表8-1-3 汚染濃度の距離別一覧表を作る命令と計算結果

```

> .set echo off
> x<0[m]; y<0[m]; z<0[m]; .repeat 20; x<x+100; Co;  $\sigma_z$ ;  $\sigma_y$ 
x=0 [m]   y=0 [m]   z=0 [m]
--- 繰り返し: 20回 ---
x=100 [m] Co=1.43608e-007 [ng/Nm3]    $\sigma_z$ =10.6059 [m]    $\sigma_y$ =19.2655 [m]
x=200 [m] Co=0.343013 [ng/Nm3]        $\sigma_z$ =20.2342 [m]    $\sigma_y$ =36.1662 [m]
x=300 [m] Co=4.02241 [ng/Nm3]          $\sigma_z$ =29.5251 [m]    $\sigma_y$ =52.2025 [m]
x=400 [m] Co=7.71169 [ng/Nm3]          $\sigma_z$ =38.6034 [m]    $\sigma_y$ =67.6827 [m]
x=500 [m] Co=9.01619 [ng/Nm3]          $\sigma_z$ =47.5269 [m]    $\sigma_y$ =82.7522 [m]
x=600 [m] Co=8.85438 [ng/Nm3]          $\sigma_z$ =56.3288 [m]    $\sigma_y$ =97.4959 [m]
x=700 [m] Co=8.11475 [ng/Nm3]          $\sigma_z$ =65.031 [m]     $\sigma_y$ =111.97 [m]
.
. (途中省略)
.
x=1900 [m] Co=2.15108 [ng/Nm3]         $\sigma_z$ =164.914 [m]    $\sigma_y$ =273.076 [m]
x=2000 [m] Co=1.97571 [ng/Nm3]         $\sigma_z$ =172.988 [m]    $\sigma_y$ =285.798 [m]

```

表8-1-4 汚染濃度のグラフを描くための手続き

```

> .coord 0
> Xmin=0[m]; Xmax=2000[m]
> Ymin=0[ng/m3]; Ymax=20[ng/m3]
> draw> .draw i,Start/dx,End/dx, i*dx, Co( i*dx,y,z)
> Start<0; End<2000; dx<50; y<0;
> z<0; .do draw
> z<20; .do draw
> z<40; .do draw
> z<60; .do draw

```

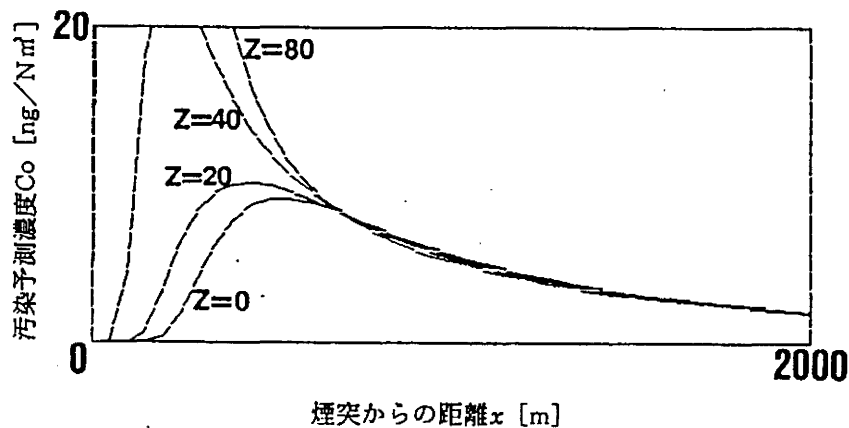


図8-1-1 測定高度 (Z) についての予測大気中濃度

## 8.2 高原野菜単作地帯のモデルへのNIFEの適用

### 8.2.1 趣旨

濃度予測式の一例をNIFEで計算する。使用する予測式は川本らが開発した農薬の運命予測モデル（川本(1989)）である。数式番号や表の番号にKのプリフィックスのあるものは、川本の論文における番号を示している。NIFEでさまざまな数理モデルを簡単に扱えることを示すと同時に、この川本のモデルを参考に次節（8.3節）で水田の空中散布についてのモデルを提案した。

この節は、このままNIFEに入力する手続きファイル（NIFEに対するプログラムのようなもの）になっている。MS-DOS上から、

```
A>NIFE 8_2.PRC
```

とすることで、NIFEが起動して高原野菜産地のPCNB汚染濃度の予測式の定義が読み込まれ、濃度変化のグラフが描かれる。この節において、以下に示すような">"で始まる行は、本論文に必要な式の記述であると同時に、NIFEに対する命令文でもある。

この方法を用いることによって、論文そのものを、計算プログラムとすることができる。将来、学術論文がペーパーメディアだけでなく、電子メディアでも供給されるようになったときに、この機能は論文に記載された数式を直ちにNIFEで検証してみることができるとを意味する。すでに、学術情報センターでは電子関連と化学関連の論文について全文データベースを収録している。

### 8.2.2 モデルの構造

川本はこのモデルを東京圏の有機塩素化合物と群馬県嬭恋村のPCNBに適用している。ここでは後者について述べることにする。

```
> LOCATION=TUMAGOI      '定義域の名称
> POLLUTANT=PCNB        '汚染物質の名称
```

定義域を4つのコンパートメント（大気と土壌と水と底質）に分割して、各コンパートメント内では濃度が均一であると、もしくは1つの代表値で表現できると仮定している。

コンパートメントに農薬が進入したり、分解したり、コンパートメント間で移動したりする量を予測することによって、次のような線形常微分方程式の問題に帰着させている。

$$\begin{aligned}
 (dC_i/dt)V_i &= I_i - K_{deg_i}V_iC_i + K_{j_i}V_jC_j - K_{i_j}V_iC_j + Q_{j_i} - Q_{i_j} - K_{adi}V_iC_i + K_{adi}V_iC_{in} \\
 & \quad \begin{array}{l}
 \text{' } C_i: \text{濃度 [g/m}^3\text{]} \\
 \text{' } i: \text{コンパートメントの記号 (a, s, w, se)} \\
 \text{' } V_i: \text{コンパートメントの容積 [m}^3\text{]} \\
 \text{' } \text{進入速度 [g/d]} \\
 \text{' } \text{分解} \\
 \text{' } \text{拡散移動 (j} \rightarrow \text{i)} \\
 \text{' } \text{拡散移動 (i} \rightarrow \text{j)} \\
 \text{' } \text{非拡散移動 (j} \rightarrow \text{i)} \\
 \text{' } \text{非拡散移動 (i} \rightarrow \text{j)} \\
 \text{' } \text{移流の流出速度} \\
 \text{' } \text{移流の流入速度}
 \end{array}
 \end{aligned}
 \tag{K4-1}$$

### 8. 2. 3 コンパートメントの大きさの定義

各コンパートメントを、の4つ部分とし、その大きさを以下のように定義(Table K6-5)している。

> $V_a = A_a \cdot L_a$		' 大気の容積 [m <sup>3</sup> ]
> $V_s = A_s \cdot L_s$		' 土壌の容積 [m <sup>3</sup> ]
> $V_w = A_w \cdot L_w$		' 水の容量 [m <sup>3</sup> ]
> $V_{se} = A_{se} \cdot L_{se}$		' 底質の容量 [m <sup>3</sup> ]
> $L_a = 200$	[TUMAGOI]	' 大気コンパートメントの深さ [m]
> $L_s = 0.15$	[TUMAGOI]	' 土壌コンパートメントの深さ [m]
> $L_w = 0.1$	[TUMAGOI]	' 水コンパートメントの深さ [m]
> $L_{se} = 0.03$	[TUMAGOI]	' 底質コンパートメントの深さ [m]
> $L = 5000$	[TUMAGOI]	' 風方向のコンパートメント長さ [m]
> $A_a = A_s + A_w$		' 大気コンパートメント面積 [m <sup>2</sup> ]
> $A_s = L^2$	[TUMAGOI]	' 土壌コンパートメント面積 [m <sup>2</sup> ]
> $A_w = 1e6$	[TUMAGOI]	' 水コンパートメント面積 [m <sup>2</sup> ]
> $A_{se} = A_w$		' 底質コンパートメント面積 [m <sup>2</sup> ]
> $X_s = 0.05$	[TUMAGOI]	' 土壌の有機炭素含有率 []
> $X_{se} = 0.06$	[TUMAGOI]	' 底質中の有機炭素含有率 []

### 8. 2. 4 分解速度定数の定義

分解速度定数の値を測定(K4.3.3)し、値(Table K6-9)を示している。

- > K1=0.01 [PCNB] '大気中OHラジカルによる酸化速度定数 [1/d]
- > K2=0.014 [PCNB] '土壌中での微生物分解速度定数 [1/d] (おもに好気)
- > K3=0 [PCNB] '水中での光分解速度定数 [1/d]
- > K4=0.03 [PCNB] '水中での加水分解速度定数 [1/d]
- > K5=0.16 [PCNB] '水中での微生物分解速度定数 [1/d]
- > K6=6.5 [PCNB] '底質中での微生物分解速度定数 [1/d] (おもに嫌気)
- > Kdega=K1 '大気中分解速度 [1/d]
- > Kdegs=K2 '土壌中分解速度 [1/d]
- > Kdegw=K3+K4+K5 '水中分解速度 [1/d]
- > Kdegse=K6 '底質中分解速度 [1/d]
- > fsa=1.4e-7 [PCNB] '質量分配割合[] (土壌コンパートメント内の空气中)
- > fsew=1.2e-3 [PCNB] '質量分配割合[] (底質コンパートメント内の間隙水中)
- > =

#### 8.2.5 拡散移動過程 (二重境膜理論)

つぎにコンパートメント間の農薬の拡散による移動量を定義(Table K4-2)している。

厳密な式と省略した式があるが、この場合は簡略形で充分だという。

- > Kwa=Kwa.omi '水→大気 速度定数 [1/d]
- > Kwa.str=(1/Lw)/(1/Kl+1/Ka/Kg) 'Kwa 厳密形 (K3-11)
- > Kwa.omi=Ka\*Kg/Lw 'Kwa 省略形 (Ka<<1e-3) (K3-15)
- > Kaw=Kaw.omi '大気→水 速度定数 [1/d]
- > Kaw.str=(1/Ka/La)/(1/Kl+1/Ka/Kg) 'Kaw 厳密形 (K3-12)
- > Kaw.omi=Kg/La 'Kaw 省略形 (Ka<<1e-3) (K3-16)
- > Kl=2.4\*sqrt(32/M) '水中物質移動係数 [m/d] (K3-13)
- > Kg=276\*sqrt(18/M) '大気中物質移動係数 [m/d] (K3-14)
- > Ka=1.7e-4 [PCNB] '気液平衡定数 [ ] (Table K5-6)
- > M=295.34 [PCNB] '分子量
- > Ksa=(1/Psa/Ls)\*fsa/(1/Kg+1/Kgs) '土壌→大気 速度定数 [1/d] (K3-17)
- > Kas=(1/La)/(1/Kg+1/Kgs) '大気→土壌 速度定数 [1/d] (K3-18)
- > Kgs=Kg\*Psa^(10/3)/(Psa+Psw)^2 '土壌内空气中物質移動係数 [m/d]



- > Psa=0.25 [TUMAGOI] '土壤の空隙率
- > Psw=0.25 [TUMAGOI] '土壤の間隙水率
- > Kwse=(1/Lw)/(2/Kq) '水→底質 速度定数 [1/d] (K3-21)
- > Ksew=(1/Psew/Lse)\*fsew/(2/Kq) '底質→水 速度定数 [1/d] (K3-23)
- > Psew=0.75 [TUMAGOI] '底質の間隙水の割合

### 8. 2. 6 非拡散的移動過程

つぎにコンパートメント間の農薬の移流による移動量を定義している。まず、雨の影響は次のように扱っている。

- > Qsw=r\*R\*As\*Cs/Koc/Xs '土壤→水 流出量 [g/d] (K4-2)
- > r=1/3 [TUMAGOI] '土壤に入った水の流出率
- > R=0.005 [TUMAGOI] '土壤中での半減期の2倍の期間の平均降雨量 [m/d]
- > Kd=Koc\*Xs '土壤吸着平衡定数 [ ] (K3-7)
- > Koc=2e4 [PCNB] '有機炭素当りの土壤吸着平衡定数[-] (Table K5-9)
- > Qaw=R\*Aw\*Cr '大気→水 流出速度 [g/d] (K4-4)
- > Qas=R\*As\*Cr '大気→土壤 流出速度 [g/d] (K4-5)
- > Cr=Ca/Ka '雨水中の濃度 [g/m<sup>3</sup>] (K4-3)

次に、風の影響を次のように扱っている。

- > Kada=(60\*60\*24)/Ta '大気移流の速度定数 [1/d] (K4-7)
- > Ta=(L/u)\*(1+2\*D/u/L) '大気中滞留時間 [s] (K4-6)
- > u=2 [TUMAGOI] '平均風速 [m/s]
- > D=3e6 '大気中渦拡散係数 [m/s<sup>2</sup>]

そして、河川の流れを次のように扱っている。

- > Kadw=q/Vw '水の移動速度定数 [1/d] (K4-8)
- > q=R\*(As\*r+Aw) '水の流量 [m<sup>3</sup>/d]

### 8. 2. 7 物質収支式

これまでに定義したパラメータを用いて物質収支式(Table K4-3)を以下のように与えている。

【大気】

$$dCa/dt = Ia/Va - \{ K1 + Kaw + Kas + Kada + R*(Aw+As)/Ka/Va \} * Ca$$

$$+ Kwa * ( Vw / Va ) * Cw + Ksa * ( Vs / Va ) * Cs + Kada * Can$$

【土壌】

$$dCs/dt = Is/Vs - ( K2 + Ksa + r * R * As / Koc / Xs / Vs ) * Cs \\ + ( ( Kas * Va + R * As / Ka ) / Vs ) * Ca$$

【水】

$$dCw/dt = Iw/Vw - ( K3 + K4 + K5 + Kwa + Kwse + Kadw ) * Cw \\ + ( ( Kaw * Va + R * Aw / Ka ) / Vw ) * Ca \\ + Ksew * ( Vse / Vw ) * Cse \\ + ( r * R * As / Koc / Xs / Vw ) * Cs \\ + Kadw * Cwn$$

【底質】

$$dCse/dt = - ( K6 + Ksew ) * Cse + Kwse * ( Vw / Vse ) * Cw$$

### 8. 2. 8 式の簡略化とその解

つぎに、川本の方法に従って方程式を簡略化し、方程式の解析解をもとめる。まず、土壌中濃度に比べ大気中濃度は大変に小さくなることが予想されるため、大気から土壌に戻る農薬量を無視することができる。また、水と底質のコンパートメントも重要でないとして無視する。このとき、土壌に関する物質収支式は  $C_s$  だけの微分方程式となり、容易に解析解が得られる。

【瞬間的に農薬を投入した土壌】

$$dCs/dt = - ( K2 + Ksa + r * R * As / Koc / Xs / Vs ) * Cs \quad (K4-11) \\ = - Bcs * Cs$$

これを解いて、

- >  $Cs.n(t) = Cs0 * \exp(-Bcs * t)$  ' 土壌汚染 (K4-12)
- >  $Is0 = 1.6e8$  [PCNB] ' 農薬投入量 (一時的) [g] (P.K204)
- >  $Cs0 = Is0 / Vs$  ' 初期汚染 [g/  $m^3$ ]
- >  $Bcs = K2 + Ksa + r * R * As / Koc / Xs / Vs$  '  $C_s$  の係数
- >  $Cs.k(t) = 42 \exp(-0.014t)$  ' 土壌汚染 (計算結果) [g/  $m^3$ ] (表 K6-14)

$Cs.n$  は、以上に定義したパラメータを用いて N I F E が計算した土壌中濃度の解析解である。また、 $Cs.k$  は川本論文の計算結果である。

つぎに、 $C_s$  が求まると大気中農薬濃度  $C_a$  も同様に求まることになる。

【その大気】

$$dCa/dt = ( Ksa * Vs / Va ) * Cs \\ - ( K1 + Kas + Kada + R * As / Ka / Va ) * Ca \quad (K4-13)$$

$$= ( Ksa * Is0 / Va ) * \exp(- ( K2 + Ksa + r * R * As / Koc / Xs / Vs ) * t) \\ - ( K1 + Kas + Kada + R * As / Ka / Va ) * Ca \quad (K4-14)$$

$$= A \cdot \exp(-B \cdot t) - C \cdot Ca$$

A, B, Cを上のようにおき、これを解く。

>  $Ca.n(t) = (A / (C - B)) \cdot \exp(-C \cdot t) \cdot (\exp((C - B) \cdot t) - 1)$  '大気汚染濃度 [g/m<sup>3</sup>] (K4-15)

>  $A = Ksa \cdot Is0 / Va$

>  $B = Bcs$

>  $C = K1 + Kas + Kada + R \cdot As / Ka / Va$

>  $Ca.k(t) = 3e-6 \cdot \exp(-0.058 \cdot t) \cdot (\exp(0.044 \cdot t) - 1)$  '大気汚染(計算結果)(表 K6-14)

> =

同様に  $Ca.n$  は、N I F E が計算した大気中濃度の解析解である。また、 $Ca.k$  は川本論文の計算結果である。

### 8. 2. 9 グラフ表示

この結果をグラフ表示する。PC9801のグラフィック画面(横640ドット、縦400ドット)の範囲で土壌汚染濃度のグラフの領域を設定する。以下の  $VXmin$  や  $Xmin$  などの変数はグラフ領域を指定するための予約名である。

>  $VXmin=110; VXmax=310; VYmin=100; VYmax=300$

つぎにグラフ領域の各頂点の値を指定する。土壌中濃度の最高値は初期値の  $42 \text{ g/m}^3$  なのでY軸の最大値を50とし、X軸は350日とした。

>  $Xmin=0; Xmax=350; Xscale=30; Ymin=0; Ymax=50; Yscale=10$

グラフを書くための分割数を50とし、X軸の増分(dx)を定義する。

>  $STEP=50; dx=(Xmax-Xmin)/STEP$

以下のようなわずな命令で、これまで定義してきた数式に従って土壌中濃度( $Cs.n$ )のグラフをN I F Eに描かせることができる。

>  $.cls 2; .coord 0; .draw x,Xmin,Xmax,dx,x,Cs.n(x)$

同様に、大気中濃度の結果についてグラフ化するのは、以下の命令である。

>  $VXmin=430; VXmax=630; Ymax=2.5e-6; Yscale=0.5e-6$

>  $.coord 0; .draw x,Xmin,Xmax,dx,x,Ca.n(x)$

ここで描いたグラフを図8-2-1に示す。N I F Eのグラフ機能はグラフの形を見る程度のものであるので、タイトルやx軸、y軸の数値などは表示しない。

きちんとした報告書に載せるためのグラフは、データをファイルに書き出してグラフ作

成専門のプログラム（たとえばNgraph（石坂(1991)）など）に行わせる。例えば、本論文の8.4節のグラフは、このようにして描いたものである。

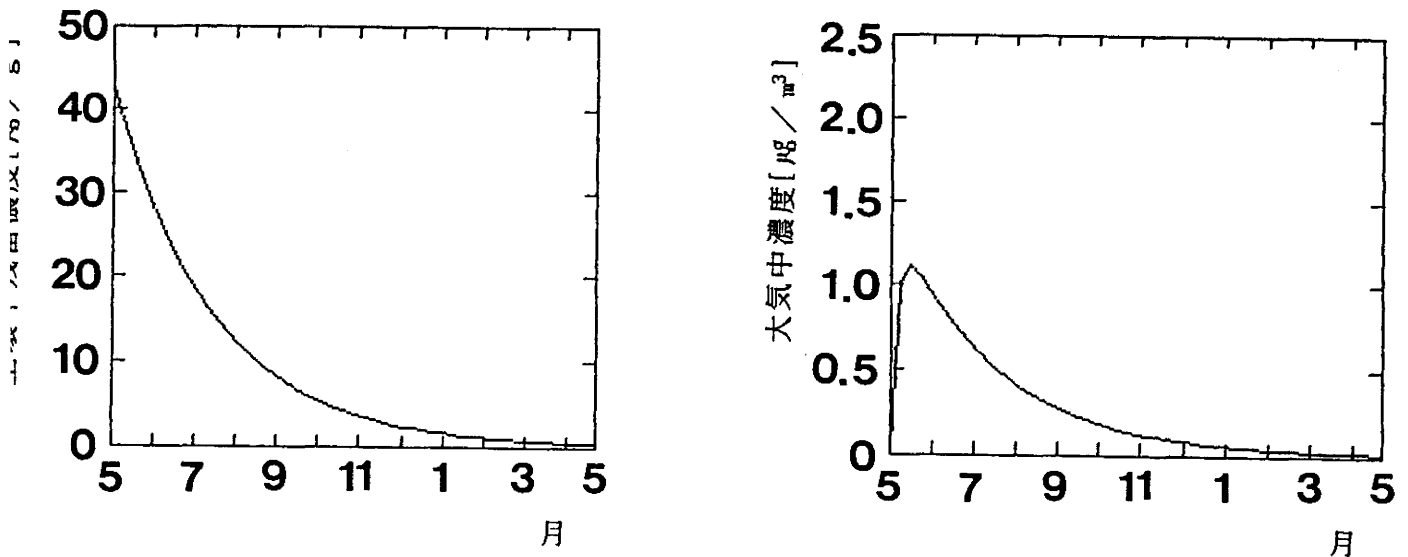


図8-2-1 PCNB残留濃度シミュレーション結果

#### 8.2.10 他の定義域や成分への適用

これまでは、高原野菜産地のPCNBの汚染濃度の場合について記述してきた。数式の定義のなかで[TUMAGOI]と記載のあるものは高原野菜産地に特有の値であり、[PCNB]と記載してあるのは農業PCNBに特有の値の定義である。

そこでこの部分を入れ換えれば、直ちに他の地域や農業成分にこのモデルを使うことができるわけである。この定義変更のための手続きファイルを表8-2-1(TOKYO.PRC)、表8-2-2(TUMAGOI.PRC)、表8-2-3(FTHALIDE.PRC)、表8-2-4(PCNB.PRC)に示す。たとえば、東京圏に設定し直すには、

```
>.do TOKYO.PRC
```

とすれば、定義域の情報に変更される。

表 8-2-1 手続き (TOKYO.PRC) の内容

---

地域設定を東京圏に変更するための手続き	
> LOCATION=TOKYO	'定義域の名称
> TOKYO=1	'東京圏 (do tokyo.prc)
> Psa=0.25 [TOKYO]	'土壌の空隙率
> Psw=0.25 [TOKYO]	'土壌の間隙水率
> Psew=0.75 [TOKYO]	'底質の間隙水の割合
> r=1/3 [TOKYO]	'土壌に入った水の流出率
> R=0.004 [TOKYO]	'土壌中での半減期の2倍の期間の平均降雨量 [m/d]
> L=5000 [TOKYO]	'風方向のコンパートメント長さ [m]
> u=3 [TOKYO]	'平均風速 [m/s]
> La=1000 [TOKYO]	'大気コンパートメントの深さ [m]
> Ls=0.03 [TOKYO]	'土壌コンパートメントの深さ [m]
> Lw=15 [TOKYO]	'水コンパートメントの深さ [m]
> Lse=0.03 [TOKYO]	'底質コンパートメントの深さ [m]
> As=6.2e9 [TOKYO]	'土壌コンパートメント面積 [m <sup>2</sup> ]
> Aw=1.2e9 [TOKYO]	'水コンパートメント面積 [m <sup>2</sup> ]
> Xs=0.02 [TOKYO]	'土壌の有機炭素含有率 [-]
> Xse=0.06 [TOKYO]	'底質中の有機炭素含有率 [-]

---

表 8-2-2 手続き (TUMAGOI.PRC) の内容

---

地域設定を嬬恋地区に変更するための手続き	
> LOCATION=TUMAGOI	'定義域の名称
> TUMAGOI=0	'嬬恋地域 (do tumagoi.prc)
> Psa=0.25 [TUMAGOI]	'土壌の空隙率
> Psw=0.25 [TUMAGOI]	'土壌の間隙水率
> Psew=0.75 [TUMAGOI]	'底質の間隙水の割合
> r=1/3 [TUMAGOI]	'土壌に入った水の流出率
> R=0.005 [TUMAGOI]	'土壌中での半減期の2倍の期間の平均降雨量 [m/d]
> L=5000 [TUMAGOI]	'風方向のコンパートメント長さ [m]
> u=2 [TUMAGOI]	'平均風速 [m/s]
> La=50 [TUMAGOI]	'大気コンパートメントの深さ [m]
> Ls=0.15 [TUMAGOI]	'土壌コンパートメントの深さ [m]
> Lw=1 [TUMAGOI]	'水コンパートメントの深さ [m]
> Lse=0.03 [TUMAGOI]	'底質コンパートメントの深さ [m]
> As=25e6 [TUMAGOI]	'土壌コンパートメント面積 [m <sup>2</sup> ]
> Aw=1e6 [TUMAGOI]	'水コンパートメント面積 [m <sup>2</sup> ]
> Xs=0.05 [TUMAGOI]	'土壌の有機炭素含有率 [-]
> Xse=0.06 [TUMAGOI]	'底質中の有機炭素含有率 [-]

---

表8-2-3 手続き (TUMAGOI.PRC) の内容

---

対象物質をフサライドに変更するための手続き		
> POLLUTANT=TCPT		' 汚染物質の名称
> TCPT=1		' フサライド (.do tcpt.prc)
> K1=0.01	[TCPT]	' 大気中OHラジカルによる酸化速度定数 [1/d]
> K2=0.25	[TCPT]	' 土壌中での微生物分解速度定数 [1/d] (おもに好気)
> K3=0	[TCPT]	' 水中での光分解速度定数 [1/d]
> K4=0.05	[TCPT]	' 水中での加水分解速度定数 [1/d]
> K5=0.25	[TCPT]	' 水中での微生物分解速度定数 [1/d]
> K6=0.078	[TCPT]	' 底質中での微生物分解速度定数 [1/d] (おもに嫌気)
> fsa=1.8e-7	[TCPT]	' 質量分配割合 (土壌コンパートメント内の空气中)
> fsew=1.2e-2	[TCPT]	' 質量分配割合 (底質コンパートメント内の間隙水中)
> Ka=2.2e-5	[TCPT]	' 気液平衡定数 [-] (Table K5-6)
> M=271.92	[TCPT]	' 分子量
> Koc=2e3	[TCPT]	' 有機炭素当りの土壌吸着平衡定数 [-] (Table K5-9)
> Is0=0	[TCPT]	' 農薬投入量 (一時的) [g] (P.204)

---

表8-2-4 手続き (PCNB.PRC) の内容

---

対象物質をPCNBに変更するための手続き		
> POLLUTANT=PCNB		' 汚染物質の名称
> PCNB=0		' 殺菌剤PCNB (do t:pcnb.prc)
> K1=0.01	[PCNB]	' 大気中OHラジカルによる酸化速度定数 [1/d]
> K2=0.014	[PCNB]	' 土壌中での微生物分解速度定数 [1/d] (おもに好気)
> K3=0	[PCNB]	' 水中での光分解速度定数 [1/d]
> K4=0.03	[PCNB]	' 水中での加水分解速度定数 [1/d]
> K5=0.16	[PCNB]	' 水中での微生物分解速度定数 [1/d]
> K6=6.5	[PCNB]	' 底質中での微生物分解速度定数 [1/d] (おもに嫌気)
> fsa=1.4e7	[PCNB]	' 質量分配割合 (土壌コンパートメント内の空气中)
> fsew=1.2e-3	[PCNB]	' 質量分配割合 (底質コンパートメント内の間隙水中)
> Ka=1.7e-4	[PCNB]	' 気液平衡定数 [-] (Table K5-8)
> M=295.34	[PCNB]	' 分子量
> Koc=2e4	[PCNB]	' 有機炭素当りの土壌吸着平衡定数 [-] (Table K5-9)
> Is0=1.6e8	[PCNB]	' 農薬投入量 (一時的) [g] (P.204)

---

## 8. 2. 1 1 モデルの評価

このあとNIFEのさまざまな機能を利用して、このモデルを操作し条件を換えて再計算したり、計算途中の数値を調べたりした。その結果、このモデルの計算には次のような計算ミスや不合理な数値の利用があることが判った。

(1) 川本の計算結果では、

$$Ca.k(t)=3e-8*\exp(-0.058*t)*(exp(0.044*t)-1) \quad \text{'大気汚染(計算結果)(表 K6-14)}$$

であるが、この0.058の値がNIFEの計算結果0.222と異なっていた。川本はK1, Kas, R\*As/Ka/Vaの3項を計算しわすれて、Kadaの項だけしか計算していなかったことがわかった。

(2) 空気中の農薬の滞留時間を文献の式から、

$$Ta=(L/u)*(1+2*D/u/L) \quad \text{'大気中滞留時間 [s] (K4-6)}$$

$$u=2 \quad [TUMAGOI] \quad \text{'平均風速 [m/s]}$$

$$D=3e6 \quad \text{'大気中渦拡散係数 [m/s^2]}$$

$$L=5000 \quad [TUMAGOI] \quad \text{'風方向のコンパートメント長さ [m]}$$

としているが、実際にこの滞留時間Taの値をみると、1500000秒という長大な時間になってしまっていた。一方、風が吹き抜けるのに必要な時間は、 $L/u=2500$ 秒であって、両者の差が著しく大きく不合理であった。これは、川本が引用したCohenら(1985)の拡散係数が異常に大きいためである。

(3) 前項の問題を回避するため、とりあえず渦拡散係数を0[m/s<sup>2</sup>]として、風による移流が主要要素になるようにして計算を行うと、計算結果の大気中濃度は実際の数値(5.3節)とは桁違いに小さくなってしまった。

この理由として、まず大気コンパートメントの高さ200mの妥当性と、土壌からの揮発速度に気温の要素が入っていないため夏の高温状況に対応できないことが問題であると考えられる。特に、川本の結果で大気中濃度の最高時期が土壌濃度の最高時期(農薬投入時)より遅くなっているのは、大きな大気中渦拡散係数Dによって大気中滞留時間が異常になっていたからである。現実には夏に大気中のPCNB濃度が高くなるのは、土壌温度が高くなるためと考えられる。

従来、これらのような数理モデルの問題点を、普通に記述された論文やその計算プログラムから読み取るのは、極めて困難な作業である。したがって、著者を盲目的に信頼して、プログラムやその結果をブラックボックスからの結論として受け入れるよりしかたがなか

った。

しかし、N I F Eの書式で記述された数理モデルの論文ならば、読者はその数値の取扱を逐一検証しながら数理モデルの検討をすることができるので、上記のような問題点を容易にあぶりだすことができる。

このような利点ゆえ、この項のような論文原稿とN I F E手続き（プログラム）との二重化には大きな意義がある。どんなに厳密な数理モデルであっても、それが作者にしか操作できないものであったら、そのモデルを現実に役立てることはできないからである。数理モデルの構築・検証・運用にN I F Eが有効であることが確かめられた。



## 8.3 水田空中散布の汚染モデルの提案

### 8.3.1 大気中農薬の起源

水田への農薬空中散布の大気汚染調査を第5章で多数回実施してきた結果から、大気中農薬の起源には3つの経路が考えられた。

第1点は、散布した農薬ミストからの揮発であり、この効果は散布中から1時間程度で終わる。これは、極く弱い風が吹いていても、浮遊しているミストは1時間で数km以上遠くに運ばれてしまうからである。比較的揮発性の高いBPMCのような農薬の場合は、この浮遊しているミストからの揮発による大気汚染が一番大きくなっている。

第2点は、水田の水からの揮発である。水中から大気中に農薬が揮発して行く速度  $F$  [ $\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$ ] の理論として、二重境膜理論が一般的である。水相と気相のフガシチの差の圧力によって、境界面近くの水と空気のそれぞれの層での拡散係数  $k_w$  と  $k_g$  [ $\text{m}/\text{hr}$ ] の抵抗に逆らいながら、農薬分子が移動する量で揮発速度を説明している。水中濃度  $C$  [ $\text{mol}/\text{m}^3$ ] と大気中分圧  $P$  [ $\text{atm}$ ]、ヘンリー一定数  $H$  [ $\text{atm}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$ ]、気体定数  $R$  ( $8.2\cdot 10^{-5}$   $\text{m}^3\cdot\text{atm}/\text{mol}/\text{K}$ ) から、

$$F = k_{ol} (C - P/H) M \quad (8-3-1)$$

のようになる。ここで  $k_{ol}$  は液相基準の総括物質移動係数で、

$$1/k_{ol} = 1/k_w + RT/Hk_g \quad (8-3-2)$$

である。

第3点は、作物の葉や土壤に落ちた農薬成分が揮発する経路である。揮発速度  $F$  [ $\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ ] は、第3章で示したように気温  $T$  [ $\text{K}$ ] によって指数関数的に増加する。そのため、天気のよい日の水田では、直射日光に照らされて急速に表面温度が高くなり、農薬成分は揮発して昼過ぎには出尽くしてしまうことが起こる。曇天の場合には、少しずつ揮発して来るため、大気中濃度が急上昇することがないかわりに一日中汚染が続く。

森林への空中散布の場合、上記の第1点と第3点の影響による揮発が起きている。第1点について云えば、山の上の松林に農薬散布する場合にヘリコプターの飛行高度が水田の場合よりも高くなり、大気中のミストの滞留時間も長くなって、ミストからの揮発量も増える。第3点については、森林で直射日光が射さないことから、十分な表面温度がえられず農薬の揮発がゆっくりと、しかし1週間にわたって、大気汚染を継続させる。

畑地の土壌処理の場合、散布の形態が土壌に農薬を埋め込むとしていることから、他の場合と異なる。土壌中での農薬の拡散速度と表面からの揮発速度によって大気汚染が起きている。このため、1年以上の長期間に渡って、絶えず農薬が染みだして大気汚染を形成している。第3点に示したように、土壌からの揮発速度は気温に大きく影響されて、秋から冬になるにつれて土壌中の残留量の減少よりも速く大気汚染濃度が減少している。大気汚染が極小になるのは、雪で地表がシールされる冬であり、雪が溶けて春になると再び大気汚染が見られる。

### 8.3.2 モデルの概説

空中散布では、数百から数千haにもおよぶ広大な散布域に、早朝の数時間で農薬が散布される。これは、煙突などの点発生源からの汚染とは全く異なり、広大な面発生源の中に住居が点在し、住民が生活を営んでいると見なせる。そこで、面発生源である散布域の中の1点を指定し、その場所の汚染について考察を進めることとした。このモデルの目的は、この住民が呼吸によって摂取する農薬量を見積ることと、農薬が揮発する要因について考察を加えることである。8.2節で調べた川本(1989)のモデルを参考に構成することにした。

このモデルを「NIFEに記述された空中散布農薬のモデル(NIFE-AAP)」と名付ける。8.2節と同様に、この8.3節もそのままNIFEへの手続きファイルとして読み込ませることができる。簡単な説明を行いながら、モデルの定義をしていく。

NIFE-AAPは、図8-3-1に示す5つのコンパートメント内の残存量と3つの流出先への流出量からなる8元連立常微分方程式を計算するようになっている。8要素の農薬量の総和は、常に最初の散布量(Spray)と等しい。各コンパートメント内の農薬成分存在量ベクトルQについて、連立常微分方程式

$$\begin{bmatrix} dQ_a/dt \\ dQ_l/dt \\ dQ_w/dt \\ dQ_s/dt \\ dQ_c/dt \\ dQ_b/dt \\ dQ_f/dt \\ dQ_d/dt \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_a \\ Q_l \\ Q_w \\ Q_s \\ Q_c \\ Q_b \\ Q_f \\ Q_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} MV_a \\ MV_l \\ MV_w \\ MV_s \\ MV_c \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8-3-3)$$

で数理モデルを記述している。行列Tは移動係数(transport coefficients)で、濃度に依存した移動量を算出する。Tに含まれる内容は、分解(Kd?)、拡散(D??)、雨(R?a)、風

(Wa)、水流(Ww)の影響である。MVは追加投入量と濃度に依存しない移動量である。今回のモデルでは途中での農薬の追加投入はゼロである。MVに含まれる要素は、揮発(Va?)と雨(Rw?)の影響である。

モデルの設定に当たり、具体的な数値を必要とする場面では、秋田県中部の十文字町にある水郷地帯の水田の条件を勘案して設定しておく。

> LOCATION=RICE '秋田県十文字町の水田についての条件

この仮定を使った定義には[RICE]の標識を付加してあるので、別の地域の水田についてシミュレーションを行う場合には、この項目について必要な修正を加えるものとする。

また、散布農薬については、殺菌剤フサライドの数値を設定した。

> POLUTANT=TCPT '殺菌剤フサライド(Tetrachlorophthalide)

この仮定を使った定義には[TCPT]という標識が付加してあるので、別の農薬についてシミュレーションする場合には、この項目について必要な修正を加えるものとする。

これらの修正は、NIFEを使うことによって簡単に行うことができる。

### 8.3.3 コンパートメントの設定

NIFE-AAPは、水田管理の基本単位である10aの面積の水田を、図8-3-1に示すような5つのコンパートメントと3つの流出先に分割して計算する。

> cpt=8 'コンパートメントと流出先の総数

それぞれのコンパートメントには、1文字のシンボルを割り振り以後の定義での添え字として用いる。それぞれ以下のように定めた。

> compartments=alwscbfd 'コンパートメントシンボル名

> a=0 '大気(Air); l=1 '畦(Levees); w=2 '水(Water)

> s=3 '底質(Sediment); c=4 '作物(Crops)

> b=5 '風(Blow-away); f=6 '河川(Flow-out); d=7 '分解(Decomposition)

モデル計算を行う水田は散布地域の内部にある10aの面積である。日本では、水田の経営管理はこの10aの面積を基本単位に行われているからである。大気コンパートメントの大きさは、

> Aa=1000 [RICE] '大気コンパートメントの面積 [m<sup>2</sup>]

> La=50(1+ 2SunShine) '日照を考慮した大気コンパートメントの高さ [m]

> Va=Aa La '大気コンパートメントの体積 [m<sup>3</sup>]

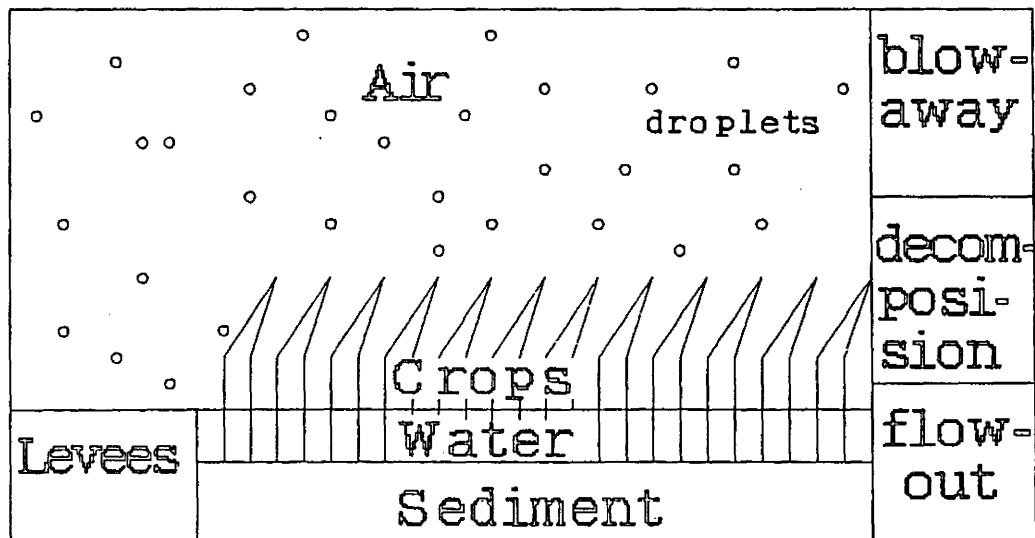


図8-3-1 5つのコンパートメントと3つの流出先

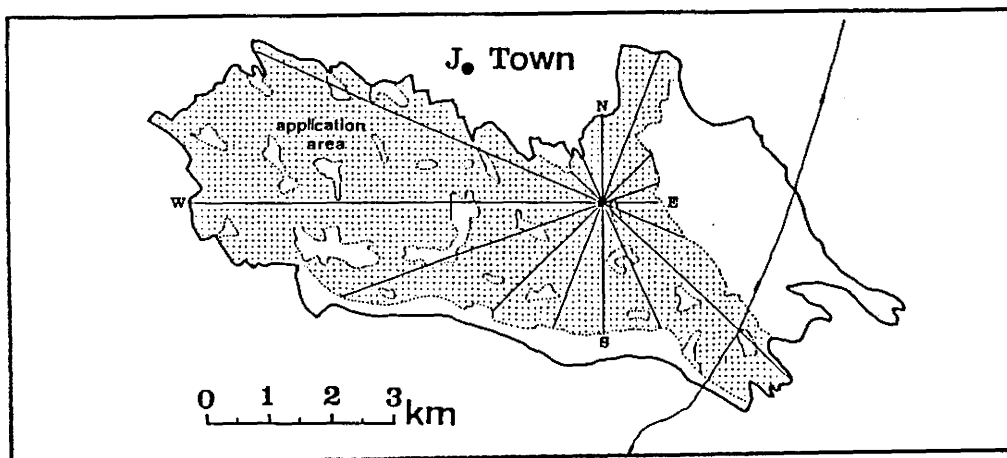


図8-3-2 散布域のなかのシミュレーション対象水田の位置  
(16方位の距離を配列MAPに指定する。)

のように設定あるいは計算される。以下同様に他のコンパートメントの大きさは、

- >  $A_l = A_a - A_w$  '畦コンパートメントの面積 [m<sup>2</sup>]
- >  $L_l = 0.05$  [RICE] '畦コンパートメントの深さ [m]
- >  $V_l = A_l L_l$  '畦コンパートメントの体積 [m<sup>3</sup>]
- >  $A_w = 0.95 A_a$  [RICE] '水コンパートメントの面積 [m<sup>2</sup>]
- >  $L_w = 0.03$  [RICE] '水コンパートメントの深さ [m]
- >  $V_w = A_w L_w$  '水コンパートメントの体積 [m<sup>3</sup>]
- >  $A_s = A_w$  '底質コンパートメントの面積 [m<sup>2</sup>]
- >  $L_s = 0.02$  [RICE] '底質コンパートメントの深さ [m]
- >  $V_s = A_s L_s$  '底質コンパートメントの体積 [m<sup>3</sup>]
- >  $A_c = 10 A_w$  [RICE] '作物コンパートメントの面積 [m<sup>2</sup>]
- >  $L_c = 1e-4$  [RICE] '作物コンパートメントの厚さ [m]
- >  $V_c = A_c L_c$  '作物コンパートメントの体積 [m<sup>3</sup>]

となる。3つの流出先には大きさを定義しない。

モデル水田の位置は、図8-3-2に示すように、その中心から散布域の境界まで16方位について距離を測定して、次の配列(MAP)で定義する。

- >  $MAP[17] = \{3600\}$  '水田の位置(16方位に測った散布域の距離) [m]

ここでは、初期値として全方位に3600[m]の値を設定しているが、シミュレーションの実行前に、気象条件(WEATHER)の設定と同時に、計算対象地域の値を設定することにする。

#### 8.3.4 空中散布の諸条件の設定

空中散布によって最初に1度だけ農薬が投入される。秋田県十文字町の散布条件は、1900haの総散布面積(Area)、

- >  $Area = 1900e4$  [RICE] '総散布面積 [m<sup>2</sup>]

に対して、総薬剤使用量(Consume)が3800ℓであり、その農薬成分濃度(Conc)が12%である。

- >  $Consume = 3800e3$  [RICE] '薬剤総使用量 [ml]
- >  $Conc = 0.12$  [TCPT] '農薬含有濃度 [g/ml]

散布液は原液のまま散布した。この散布方法は原液微量散布法と呼ばれている。

- >  $dilute = 1$  [RICE] '薬剤希釈倍率 [倍]

したがって、10aのシステム内に散布されたのは、

> liquid=dilute Consume Aa/Area '散布液滴の総量 [ml]

> spray=liquid Conc/dilute '散布農薬成分量 [g]

で求められる。以上の条件の場合、散布農薬成分量(spray)は24gになった。

この様に散布された農薬は、散布分配率( $E_a, E_c$ )で各コンパートメントに分配され、農薬の初期量ベクトル( $Q_0$ )が決定する。散布分配率は、十文字町での実態調査(5.5.01項)のときに試料を採取して定めた。

>  $Q_0(\text{)[\%comparts]}=Q_0$  '農薬の初期量ベクトル [g]  
 >  $Q_{0a}=E_a \text{ spray}$  '大気コンパートメントにある初期量 [g]  
 >  $Q_{0l}=(1-E_a)(A_l/A_a)\text{spray}$  '畦コンパートメントにある初期量 [g]  
 >  $Q_{0w}=(1-E_a)(A_w/A_a)(1-E_c)\text{spray}$  '水コンパートメントにある初期量 [g]  
 >  $Q_{0s}=0$  '底質コンパートメントにある初期量 [g]  
 >  $Q_{0c}=(1-E_a)(A_w/A_a)E_c \text{ spray}$  '作物コンパートメントにある初期量 [g]  
 >  $Q_{0?}=0$  '他の3つの流出先には初期量は無い [g]  
 >  $E_a=0.01$  [RICE] '大気への散布分配率 [-]  
 >  $E_c=0.6$  [RICE] '作物への散布分配率 [-]

この条件で求めた  $Q_0$  は次の値[g]である。

$Q_0[*]=\{ 0.2400, 1.1880, 9.0288, 0.0000, 13.5432, 0.0000, 0.0000, 0.0000 \}$

この $Q_0$ を初期条件として、さきの連立微分方程式を計算することが、数理モデルのシミュレーションである。

シミュレーションで刻々と変化する農薬存在量は、8元ベクトルの $Q$ に入れておくことにする。

>  $Q[]=Q_0$  '農薬存在量ベクトル [g]

空中散布した薬剤は、半径( $r=100\mu\text{m}$ )の水滴のかたちで作物や畦に到達する。実際の散布では、ノズルから吹き出す水滴の大きさは分布を持ち、一定値ではないが、まずは簡単のため代表的な値を一つ定め全ての水滴が同じ大きさであると仮定する。水滴の大きさの分布の影響については、次のシミュレーションの実施(8.4節)で考察する。水滴は、図8

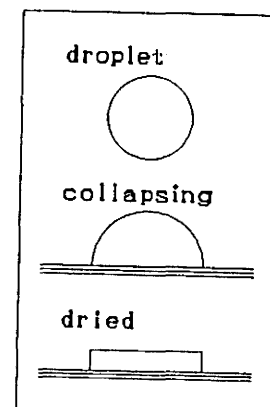


図8-3-3  
葉や畦の表面に落ちて潰れる水滴

-3-3に示すように、作物などの表面に付着する時につぶれて、半径( $r1=126\mu\text{m}$ )に広がる。  
ここで1.26とは2の3乗根である。

>  $r=100e-6$  '水滴の半径 [m]  
>  $r1=1.26r$  '表面に付着してつぶれた水滴の半径 [m]

作物と畦に到達する水滴の数をそれぞれ  $Nc$  と  $Nl$  とすると、

>  $Nc=(\text{liquid } Q0c/\text{spray})/(4/3 * \pi (100r[\text{cm}])^3)$  '作物に到達する水滴の数 [個]  
>  $Nl=(\text{liquid } Q0l/\text{spray})/(4/3 * \pi (100r[\text{cm}])^3)$  '畦に到達する水滴の数 [個]

である。したがって農薬が大気に接触する面積は、それぞれ作物の葉の上で総表面積( $Sc$ )、畦で総表面積( $Ss$ )になる。

>  $Sl=Nl (\pi r1^2)$  '作物上の農薬の総表面積 [ $\text{m}^2$ ]  
>  $Sc=Nc (\pi r1^2)$  '畦上の農薬の総表面積 [ $\text{m}^2$ ]

この面積は、農薬の揮発量を決定する重要な要因になる。

次は、シミュレーション時間の定義である。空中散布は、7時に行われたので、シミュレーションの開始時刻(Start)を7にする。

> Start=7 'シミュレーション開始時刻 [h]  
> time=Start '現在の時刻 [h]

その直後から60時間の濃度変化を計算することにする。

> End=Start+60 'シミュレーション終了時刻 [h]

### 8.3.5 気象条件の設定

気象の表(WEATHER)には、1時間毎の風向(windD)、風速(windV)、気温(temp)、日照時間(sun)、降水量(rain)の値を格納する。日本では、気象庁アメダスによって全国各地のデータが集計整理されているので、それを利用することもできる。初期値として、南風1m、気温30℃、曇りの気象条件を設定しておく。実際の具体的な数値は、シミュレーションの実行前に配列WEATHER[]に流し込むことにする。シミュレーションのなかでは、16方位を次のシンボリック名で表現する。

> C = 0 'calm wind  
> N = 1; NNE= 2; NE = 3; ENE= 4; E = 5; ESE= 6; SE = 7; SSE= 8  
> S = 9; SSW=10; SW =11; WSW=12; W =13; WNW=14; NW =15; NNW=16 '16方位

120時間分の気象の表を用意し、初期値を設定する。

```

> WEATHER[120,5]={ S, 1, 30.0, 0.0, 0} '毎時気象{風向,風速,気温,日照,降水}
> windD=WEATHER[time,0] '風向 [-]
> windV=WEATHER[time,1] '風速 [m/s]
> temp=WEATHER[time,2] '気温 [℃]
> sun=WEATHER[time,3] '日照時間 [h]
> rain=WEATHER[time,4]/1e3 '降水量 [m]

```

気象庁アメダスからは日照時間しか得られないので、太陽高度から日射を次のように推定した。

```

> SunShine=if(SUN,0,SUN); SUN= -sun cos( $\pi$  time/12) sin( 66  $\pi$ /180) '日射

```

ここで、if()は夜間の値が負にならないようにするために使用した。

### 8. 3. 6 分解速度定数の設定

各コンパートメント内での分解速度定数(K1~K6)の値は、川本(1990)によった。

```

> K1=0.01 [TCPT] '大気中での酸化分解速度定数 [1/d]
> K2=0.25 [TCPT] '畦での生物分解速度定数 [1/d]
> K3=0 [TCPT] '水中での光分解速度定数 [1/d]
> K4=0.05 [TCPT] '水中での加水分解速度定数 [1/d]
> K5=0.25 [TCPT] '水中での生物分解速度定数 [1/d]
> K6=0.078 [TCPT] '底質中での生物分解速度定数 [1/d]
> Kda=K1/24 '大気中での分解速度定数 [1/h]
> Kdl=K2/24 '畦上での分解速度定数 [1/h]
> Kdw=(K3+K4+K5)/24 '水中での分解速度定数 [1/h]
> Kds=K6/24 '底質中での分解速度定数 [1/h]
> Kdc=0 '作物上での分解速度定数 [1/h]

```

### 8. 3. 7 二重境膜の設定

コンパートメント間の拡散(D??)は、二重境膜理論(the two-film mass transfer model)によって拡散速度を算出するのが一般的である。

水と大気の境界面では、農薬は大気(農薬量  $Q_a$ )から水へ単位時間に( $D_{wa} Q_a$ )移動し、同時に水(農薬量  $Q_w$ )から大気へ( $D_{aw} Q_w$ )移動する。 $D_{wa}$  と  $D_{aw}$  は次の式で求め



られる。

- >  $D_{wa} = K_L A_w / P_{Caw} V_a$  '大気から水への拡散速度係数 [1/h]
- >  $D_{aw} = K_L A_w / V_w$  '水から大気への拡散速度係数 [1/h]
- >  $K_L = 1 / (1 / P_{Caw} k_g + 1 / k_l)$  '液相基準の総括物質移動係数 [m/h]
- >  $k_g = 11.5 \sqrt{18/M}$  '気相物質移動係数 [m/h]
- >  $k_l = 0.1 \sqrt{32/M}$  '液相物質移動係数 [m/h]
- >  $M = 271.92$  [TCPT] '農薬の分子量
- >  $P_{Caw} = 2.2e-5$  [TCPT, 25°C] '気液平衡常数 [-]

底質と水の境界面でも同様に、

- >  $D_{sw} = k_l A_s P_s / 2V_w$  '水から底質への拡散速度係数 [1/h]
- >  $D_{ws} = k_l A_s P_s P_{Cws} / 2V_s$  '底質から水への拡散速度係数 [1/h]
- >  $P_{Cws} = 1.2e-2$  [TCPT] '水と底質への分配比率 [-]
- >  $P_s = 0.75$  [RICE] '底質の含水率 [-]

### 8. 3. 8 揮発速度の設定

畦と作物からの揮発速度をそれぞれ  $V_{al}$  と  $V_{ac}$  とする。これらの値は、第3章で求めた値 ( $H_v, volaty$ ) から計算する。この揮発速度は、農薬量に依存せず、表面積と温度に依存する。if()をつかって農薬の存在量以上に揮発してしまうことを防ぐことにする。また、フサライドの場合、単層皮膜面密度以下では、極端に揮発速度が遅くなることを考慮した。

- >  $V_{al} = \text{if}(Q[1]/S1 - MSD, 0, V_{al0})$  '畦からの揮発速度 [g/h]
- >  $V_{al0} = \text{if}(Q[1]/2 - V_{al1}, Q[1]/2, V_{al1})$  '畦の農薬量 ( $Q[1]$ ) を正に保つ
- >  $V_{al1} = 0.001 S1 \exp(volaty - H_v/R(TEMP1 + 273.15))$
- >  $TEMP1 = temp + 10 \text{ SunShine}$  '畦の表面温度 [°C]
- >  $V_{ac} = \text{if}(Q[c]/Sc - MSD, 0, V_{ac0})$  '作物からの揮発速度 [g/h]
- >  $V_{ac0} = \text{if}(Q[c]/2 - V_{ac1}, Q[c]/2, V_{ac1})$  '作物上の農薬量 ( $Q[c]$ ) を正に保つ
- >  $V_{ac1} = 0.001 Sc \exp(volaty - H_v/R(TEMPc + 273.15))$
- >  $TEMPc = temp + 5 \text{ SunShine}$  '作物の表面温度 [°C]

第3章で求めたフサライドの揮発速度の諸定数は以下の通りである。

- >  $volaty = 13.67$  [TCPT] '揮発係数 [-]
- >  $H_v = 29747$  [TCPT] '蒸発熱 [J/mol]

> MSD=40e-3 [TCPT] '単層皮膜面密度 [g/㎡]  
 > R=8.314 '気体定数 [J/mol K]

### 8.3.9 水の影響の設定

雨は、大気中で大気内濃度に平衡になる濃度の農薬成分を溶かし出し、水田と畦に流れ込む。これによる農薬の移動量は、大気中の農薬量を  $Q_a$  に比例し、それぞれ ( $R_{wa} Q_a$ ) と ( $R_{la} Q_a$ ) になる。この係数は、農薬の気液平衡定数( $PC_{aw}$ )から、

>  $R_{wa} = A_w \text{ rain} / V_a PC_{aw}$  '大気から水への雨による農薬の洗浄率 [-]  
 >  $R_{la} = A_l \text{ rain} / V_a PC_{aw}$  '大気から畦への雨による農薬の洗浄率 [-]  
 と求められる。

さらに、水田に降った雨の  $E_c$  が作物にあたり、作物上の農薬を飽和濃度(sol)まで流し出す。畦の農薬も同様に流し出される。この量を以下に示す。ここでも、作物上の存在量  $Q_c$  より多く流し出さないように、ここでもif()関数を使う。

>  $R_{wc} = \text{if}(Q[c] - V_{ac} - R_{wc0}, Q[c] - V_{ac}, R_{wc0})$  '作物から水への雨による農薬の洗浄量 [g]  
 >  $R_{wc0} = \text{sol } E_c (1e6 A_w \text{ rain})$   
 >  $R_{wl} = \text{if}(Q[l] - V_{al} - R_{wl0}, Q[l] - V_{al}, R_{wl0})$  '畦から水への雨による農薬の洗浄量 [g]  
 >  $R_{wl0} = \text{sol } (1e6 A_l \text{ rain})$   
 >  $\text{sol} = 2.49e-6$  [TCPT] '農薬の溶解度 [g/ml]

水田への給水(water)は、散布翌日の朝(time-30<0)までは河川汚濁防止のため水を止めるが、以後は一時間に一回の給水率(Ww)で水流すこととした。

>  $W_w = \text{water} / V_w$  '単位時間あたりの入れ替え回数 [1/h]  
 >  $\text{water} = \text{if}(\text{time} - 30, 0, V_w) + (\text{rain } A_a)$  '水の排水量 [m³/h]

### 8.3.10 風の影響の設定

風速(windV)は、大気の換気回数(Wa)を決定する。これは風上にある水田の長さ(L)で風速を割ったものである。

>  $W_a = 3600 \text{ windV} / L$  '大気の換気回数 [1/h]  
 >  $L = \text{MAP}[\text{windD}]$  'モデル対象水田の風上にある散布水田の距離 [m]

### 8.3.11 移動係数行列と移動ベクトルの設定

移動係数行列 T と移動ベクトル MV は、以上の計算式を寄せ集めたものとして定義され、このモデルの骨格になる。具体的には、以下のように記述される。ここでは、関数型の行列  $t()$  と  $mv()$  で定義しておく。

```
> t(%comparts%,%comparts%)=T      '移動係数行列 (関数型行列) [-]
> mv(%comparts%)=MV                '移動ベクトル (関数型行列) [g/h]
```

まず、移動係数行列 T の要素について考える。移動による減少量は行列の対角成分の位置で記述される。

```
> Taa=-(Kda+Tla+Twa+Tsa+Tca)-Wa    '大気中農薬の減少量係数
> Tll=-(Tal+Kdl+Twl+Tsl+Tcl)      '畦上の農薬の減少量係数
> Tww=-(Taw+Tlw+Kdw+Tsw+Tcw)-Ww    '水中の農薬の減少量係数
> Tss=-(Tas+Tls+Tws+Kds+Tcs)      '底質中農薬の減少量係数
> Tcc=-(Tac+Tlc+Twc+Tsc+Kdc)      '作物上農薬の減少量係数
```

それぞれのコンパートメントへの流入の係数は次のようになる。

```
> Tal=0;      Taw=Daw; Tas=0;   Tac=0  '大気への流入係数
> Tla=Rla;    Tlw=0;   Tls=0;   Tlc=0  '畦への流入係数
> Twa=Dwa+Rwa; Twl=0;   Tws=Dws; Twc=0  '水への流入係数
> Tsa=0;      Tsl=0;   Tsw=Dsw; Tsc=0  '底質への流入係数
> Tca=0;      Tcl=0;   Tcw=0;   Tcs=0  '作物への流入係数
> Tba=Wa;     Tfw=Ww;                '風への流出係数と河川への流出係数
> Tda=Kda; Tdl=Kdl; Tdw=Kdw; Tds=Kds; Tdc=Kdc '分解係数
> T??=0      'その他の T の要素はゼロとする
```

例えば、初期の気象条件では、行列 T の値は

```
T[0,*]={ -1.0585, 0.0000, 0.0022, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
T[1,*]={  0.0000,-0.0104, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
T[2,*]={  0.0561, 0.0000,-0.4435, 0.0077, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
T[3,*]={  0.0000, 0.0000, 0.4288,-0.0110, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
T[4,*]={  0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
T[5,*]={  1.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
T[6,*]={  0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
T[7,*]={  0.0004, 0.0104, 0.0125, 0.0033, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
```

である。また、1 時間に 10 mm の強い雨の時は、

```
T[0,*]={ -10.1474, 0.0000, 0.0022, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
T[1,*]={  0.4545,-0.0104, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
T[2,*]={  8.6925, 0.0000,-0.7944, 0.0077, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
T[3,*]={  0.0000, 0.0000, 0.4288,-0.0110, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
T[4,*]={  0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
```

```
T[5,*]={ 1.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
T[6,*]={ 0.0000, 0.0000, 0.3509, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
T[7,*]={ 0.0004, 0.0104, 0.0125, 0.0033, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
```

となる。

次に、濃度に依存しない移動量ベクトルMVの要素について考える。

```
> MVa=Val+Vac           '大気への移動量 [g/h]
> MVl=-Val-0.5Rwl      '畦への移動量 [g/h]
> MVw=+Rwc+0.5Rwl     '水への移動量 [g/h]
> MVs=0                '底質への移動量 [g/h]
> MVc=-Vac-Rwc        '作物への移動量 [g/h]
> MV?=0                '3つの流出先への移動量 [g/h]
```

ここで、正の値は流入量であり、負の値は流出量である。また、畦に降った水の50%が水に入り、残り50%は土に染み込むとした。例えば、初期の気象条件ではMVは

```
MV[*]={ 0.0095, -0.0008, 0.0000, 0.0000, -0.0087, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
```

であり、10mmの強い雨の時は、

```
MV[*]={ 0.0095, -0.5927, 14.1243, 0.0000, -13.5410, 0.0000, 0.0000, 0.0000 }
```

である。

行列TとベクトルMVの特性として、要素を縦に加え合わせた値がゼロになるように設計されている。このため、5つのコンパートメントと3つの流出先の農薬量を加え合わせると、いつでも最初の農薬量(spray)と等しい量になる。農薬がどこに行くのかを理解し易くなっている。

以上で、モデルに必要な計算式の全てを定義した。

### 8.3.12 シミュレーションのための手続きの定義

微分方程式(8-3-3)を逐次計算法の一つであるルンゲクッタ法で計算するために、若干のプログラミングが必要である。NIFEの場合、プログラムはマクロの一種である手続き文によって行う。これは次のようなものになる。おなじことをするプログラムをFORTRANなどの別の言語で記述する場合に較べて、NIFEでは簡潔に要点だけをプログラムすればよいことが判る。

シミュレーションを行うマクロ手続きaapを次のように定義する。

```
> aap>.do init;.do GRfrom;.do keep;.repeat End-Start;.do hour 'シミュレーション
```

これを起動すると、変数やベクトル値を初期化(init)し、Start時刻からEnd時刻までの農薬存在量を計算(hour)し、結果をグラフとして図8-3-4のように図示するまでのシミュレーション計算をすべて行ってくれる。手続きaapが内部で起動するサブ手続きは次のものである。

```
> init>.coord;.coord 1;.matrix Q,Qk;time<Start;dt<dt();Intake<0 '初期化設定
```

これは、シミュレーションの開始のための初期化をおこなう。ディスプレイ画面に座標軸を描き、変数を初期値に戻す。

```
> hour>T[]<t; MV[]<mv; .repeat Count; .do RK; .do GRto; .do keep 'つぎの1時間
```

これは、1時間分のシミュレーションを行う。変数 time で指定された時刻の気象条件を使って移動係数行列 T と移動ベクトル MV を計算してから、ルンゲクッタ法(RK)で微分方程式の数値計算をして、グラフに書き込み(GRto)、計算結果を記憶(keep)する。このとき、1時間を幾等分かに分割して計算する。その分割数を Count とする。ここでは4とした。

```
> dt= 1/Count '時間の増分 [h]
```

```
> Count=4 '1時間の分割計算回数
```

記憶する計算結果の内容は、時刻と大気中濃度[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]と他のコンパートメント内の残留量[g]であり、次の手続きが担当する。

```
> keep> Qk[(time-Start)*Count,*]< &
```

```
& {time,1e6Q[a]/Va,Q[l],Q[w],Q[s],Q[c],Q[b],Q[f],Q[d]} '計算結果の記録
```

データの格納場所は次のデータ配列(Qk)である。

```
> Qk[]=0[(End-Start)*Count+1,cpt+1]
```

'計算結果の格納行列

### 8. 3. 1 3 ルンゲ・クッタ法の定義

連立微分方程式  $dQ=(TQ+MV)dt$  の数値計算法としてルンゲ・クッタの方法を使っている。この手続きは以下の通りである。ベクトル行列の計算も数式通りの記述で済むので、数値計算の教科書の記述とほぼ同じように表現することができる。ただし、ここで代入記号の"<"だけが異なる。

```
> RK > RK0[]<(T Q +MV)*dt; Y0[]<Q+RK0/2; time<time+dt/2; &
```

```
& RK1[]<(T Y0+MV)*dt; Y1[]<Q+RK1/2; &
```

```
& RK2[]<(T Y1+MV)*dt; Y2[]<Q+RK2 ; time<time+dt/2; &
```

```
& RK3[]<(T Y2+MV)*dt; Y3[]<Q+(RK0+2RK1+2RK2+RK3)/6; &
```

```
& .do RKok; .do RKerr
```

量的なベクトル(Y0~Y3)の値が負になることは有り得ないので、もしも負になってしまった場合は計算間隔(dt)を更に1/4の長さにして再計算するように設計した。

```
> RKok> .if ok+0.5; time; windD; windV; rain; temp; Q[ ]<Y3; .do assess
```

```
> RKerr> .if -ok; time; Y?=: &
```

```
& time<time-dt; dt<dt/4; .do RK; .do RK; .do RK; .do RK; dt<4dt
```

```
> ok=sigma(i,0,cpt-1, &
```

```
& if(Y0[i]+5e-4,-1,0)+if(Y1[i]+5e-4,-1,0) &
```

```
& +if(Y2[i]+5e-4,-1,0)+if(Y3[i]+5e-4,-1,0) )
```

### 8.3.14 グラフ描画の設定

グラフを描く位置や大きさ、色などの設定は次のようにした。

```
> VXmin=50; VXmax=600; VYmin=90; VYmax=390 '表示画面上のグラフの描画位置
```

```
> Xmin= 0 [h]; Xmax= 72 [h]; Xscale=6 [h] 'X軸(時間)の設定
```

```
> Ymin=-3Yscale; Ymax=3Yscale; Yscale=5; 'Y軸(量、濃度)の設定
```

```
> .color 5,7,4,3,2,7,5 'グラフの色の設定
```

```
> GR0=if(GR0a,GR0a,0); GR0a=Ymin+5e6Q[a]/Va '大気汚染濃度[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]の計算
```

```
> GR1=Q[l]; GR2=Q[w]; GR3=Q[s]; GR4=Q[c]; '各コンパートメントの残留量 [g]
```

```
> GR5=Q[b]; GR6=Q[f]; GR7=Q[d]; '各流出量 [g]
```

次の2つの手続きが、先の手続き(aap)から呼ばれてグラフを描く。

```
> GRfrom>.from time,GR0,GR1,GR2,GR3,GR4
```

```
> GRto> .to time,GR0,GR1,GR2,GR3,GR4 'グラフ描画
```

### 8.3.15 評価のための手続き

マクロ手続き(assess)には、結果の検討のために必要な計算を記述する。次の例は、住民の1分間の呼吸量を10ℓとした場合の大気中農薬成分の呼吸摂取量(Intake)を評価するための式である。安全側をとるために、気管に入った農薬成分は100%人体に吸収されるものとした。

```
> Intake=0 '住民が呼吸によって農薬を摂取する見積量 [g]
```

```
> assess> Intake<Intake+0.6Q[a]/Va*dt '評価のための手続き
```

シミュレーションが終了したときの Intake の値が呼吸摂取量の見積である。

### 8. 3. 16 シミュレーションの実際

シミュレーションの実施は以下の通りになる。この8. 3節の記述をそのまま定義手続き(8\_3.PRC)としてN I F Eに読み込ませた後、気象条件を配列WETHERに、地理条件を配列MAPに、それぞれ代入する。そのつぎに、8. 3. 12項で定義したマクロ手続きaapを ".do aap"と起動することでシミュレーション計算が開始する。

N I F Eはインタープリター言語であるので、計算実行速度はコンパイラ言語よりおそい。このN I F E-A A Pモデルでは、散布直後から15分間隔で60時間後までの予測を行っているが、80286(12MHz、80287無し)での計算時間は26分であった。計算時間は、もっと高速のCPUを使うとか80x87を併用するなどで改善が可能である。一方、インタープリター言語であるゆえに、途中の計算パラメータの表示や変更を随時自由に行ってモデルを検討できるという利点を持っている。

N I F Eを利用して数理モデルが簡潔かつ要領よく記述できた。条件を様々に変更しながら、シミュレーションを繰り返すことで、アセスメントを行うことができる。

## 8.4 水田空中散布シミュレーション

### 8.4.1 1990年秋田県十文字町フサライド散布の場合

最初に、シミュレーションの妥当性を見るために、気象と地理の条件を、図8-3-2で示した秋田県十文字町（1990年8月9～11日）として計算をおこなった。この地点は、そのとき大気中の農薬汚染濃度の連続測定を行った場所である。シミュレーションの結果を図8-4-1に示す。大気汚染濃度の実測値は同図に・印で示した。計算に使用した気象データと実測値は既に第5章で表5-5-16に示してある。この気象データは隣町の湯沢にある気象庁アメダスのデータである。

シミュレーション結果と実測値の大気中農薬濃度変化は、細かいところでは不一致な点もあるが、全体的な濃度レベルは両者とも同じである。

9日の午前7時に空中散布が行われたとしてシミュレーションがはじまる。9日14時に、実際の測定値では $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の高濃度があったが、シミュレーションでは再現できなかった。この時刻の気象データにも高濃度になる理由は見あたらず、実測値がなぜ高いのかは不明である。9日の夕方18時頃から翌日18時頃までの大気汚染濃度の推移は両者ともよく一致している。10日の夕方18時以降は、シミュレーションでは大気汚染が継続することになっているが、実測値ではもう大気汚染の発生は終了してしまっている。これは、シミュレーションの作物上の農薬残存量が雨のため10日の18時前後と22時前後に急減していることと関係する。シミュレーションでは、18時の降雨後も農薬が残り、24時になって全部なくなるという結果であるが、現実には18時の降雨までで作物上の農薬がすべて洗い流されてしまったことが不一致の原因である。降水量の僅かな測定誤差が顕著に影響したと考える。

このような不確定要因があるものの、このモデルによって農薬の運命について概略を理解し評価することはできる。この計算条件では、単位面積10aに散布されたフサライド24gは、最初に大気に0.2g、土壤に1.2g、水に9.0g、作物に13.5g分配される。大気中濃度が高くなったのは、散布時の7時に $4.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、9時半に $0.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、23時に $0.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、翌日21時に $0.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である。いずれも風速が0[m/s]になった直後に出現している。散布の翌日中までに作物上の農薬成分がほとんど雨で洗い流されてしまうため、3日目以降には大気汚染が発生しなくなっている。散布の60時間



後では、底質に8.9 g残留し、底質以外のコンパートメントへの残留はきわめて僅かである。残りは、系内で2.5 gが分解し、風下へ0.6 g、河へ11.8 g流失する。

水田周辺住民が呼吸から摂取する農薬量(Man)は、60時間で3[μg]となった。このフサライドの量は、従来の毒性学で最大無作用量とされてきた量からはけた違いに少ない。しかし、散布地域周辺住民の健康アンケート調査(彦坂ら(1990))において風上と風下の間で有意の差が認められていることから、化学物質過敏症を含めた検討を要する重要な結果である。

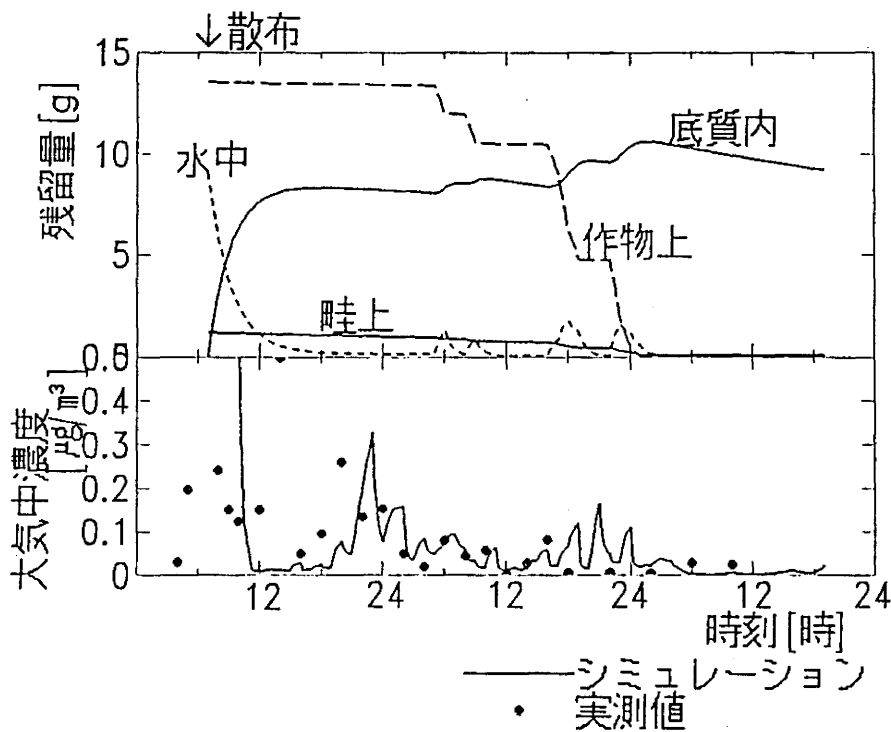


図8-4-1 シミュレーションの結果  
(1990年8月9~11日の秋田県十文字町の設定。フサライド)

#### 8.4.2 1990年仙台市フサライド散布の場合

つぎに、同じ農薬成分フサライドを散布した例として、1990年7月17～19日の仙台での空中散布（表5-5-24）についてシミュレーションをおこなってみた。使用した気象条件は、気象庁アメダス（仙台）の値であり、比較的よく農薬が検出できた岡田地区の地理条件を用いた。MAPを算出するための散布域を図8-4-2に示す。

このときの散布では17日の空中散布の直後に土砂降りの雨が降ってしまい、翌18日に再散布が行われた。この状況を再現するために、つぎのwatch文を加えて翌日の再散布をシミュレーションに再現した。

```
> saisanpu> .if if(-abs(time-(7+24)),0,1); .if Q0[a]-Q[a]; Q[ ]<Q+Q0
> .watch saisanpu
```

この手続き文(saisanpu)の意味は、時刻(time)が翌日の7時(7+24)であって、かつ、再散布が行われていなければ(.if Q0[a]-Q[a])、散布1回分の農薬(Q0)を系(Q)に追加する（農薬の再散布をする）ということである。これを次の.watch文で常時実行の指定をしておく、シミュレーションの実行中に手続きsaisanpu が絶えず繰り返し実行されるようになるので、指定された時刻にイベントを起こすことができる。この方法を使うことにより、モデルそのものには全く手を加えずに、シミュレーション条件が特殊なものを扱うことができた。

シミュレーションの結果を図8-4-3に示す。大気汚染濃度の実測値は、・印で示した。17日の7時に散布された農薬は、7時に5mm、8時に11mmという土砂降りの雨で洗い流されてしまい、一旦水中に入り、速やかに底質に移行する。作物上の残留農薬量はゼロになってしまい、畦での残留量と水中の溶解成分からの揮発だけで大気汚染が発生する。深夜0時前後の大気中濃度は、気象データから風の状態で値であることがわかる。翌日7時に再散布が行われて同日深夜までは、作物上に残留する農薬からの揮発によって大気濃度が高くなる様子は、シミュレーションと実測がよく一致している。3日目の午前1時にシミュレーションの大気濃度値が突発的に高くなっているのは、この時間の風速データが風であることを示しているからである。

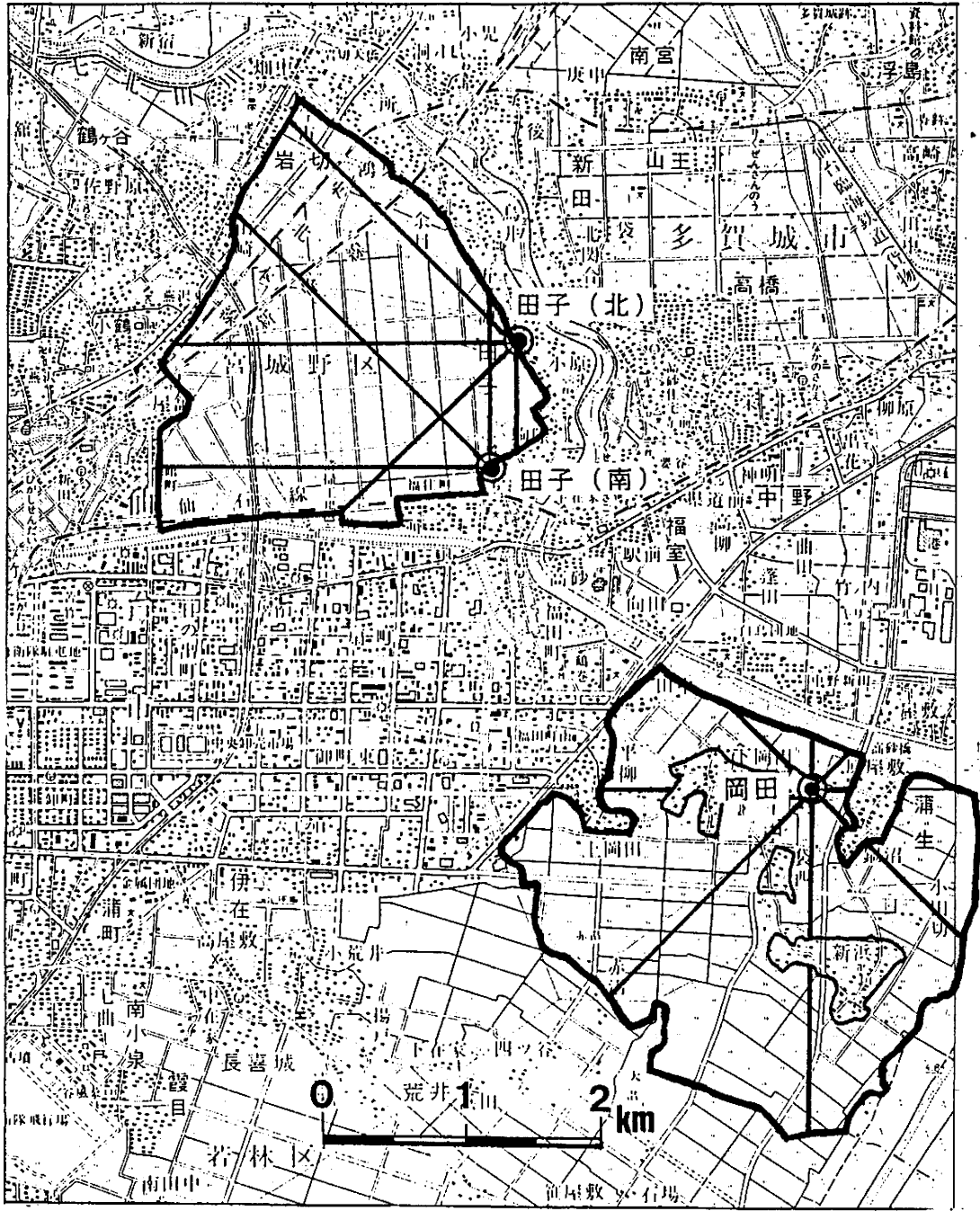


図 8 - 4 - 2 仙台市の空中散布域と測定地点

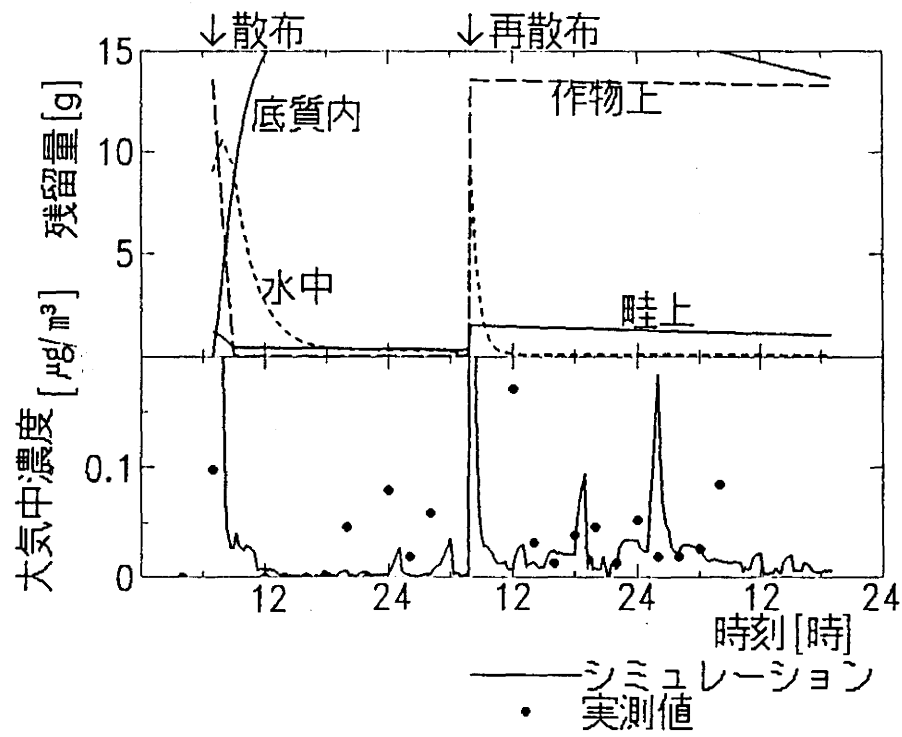


図8-4-3 シミュレーションの結果  
 (1990年7月17~19日の宮城県仙台市の設定。フサライド)

## 8.4.3 1989年秋田県十文字町MEP散布の場合

殺菌剤フサライドについては、ほぼ実測濃度レベルのシミュレーション結果が得られることが判った。そこで、パラメータの検討不足を承知の上で代表的な殺虫剤MEPについてシミュレーションを試みた。

秋田県十文字町での1989年8月10～12日の気象データ(表5-5-13)を用いて、殺虫剤MEPの分解速度定数など判らない数値はゼロとおき、分子量、ヘンリー定数、水への溶解度、薬剤の濃度、3章の揮発速度実験結果だけを使ってシミュレーションを行った。大気中濃度は図8-4-4の下段実線のようにになった。・印で示した実測値と比べると、けた違いに低い値になってしまった。

そこで、MEPの揮発速度Fを境界層理論による推定平均値257[mg/m<sup>2</sup>/h]にして、もう一度計算したところ、同図の下段波線のようにおおよそレベルが一致することがわかった。89年は期間中に特に際だった気象変動はなく、シミュレーション結果の残留量のグラフ(同図上段)もなだらかに変化している。シミュレーション結果で大気中濃度が突発的に高くなっているのは、やはり気象データの風に対応している。

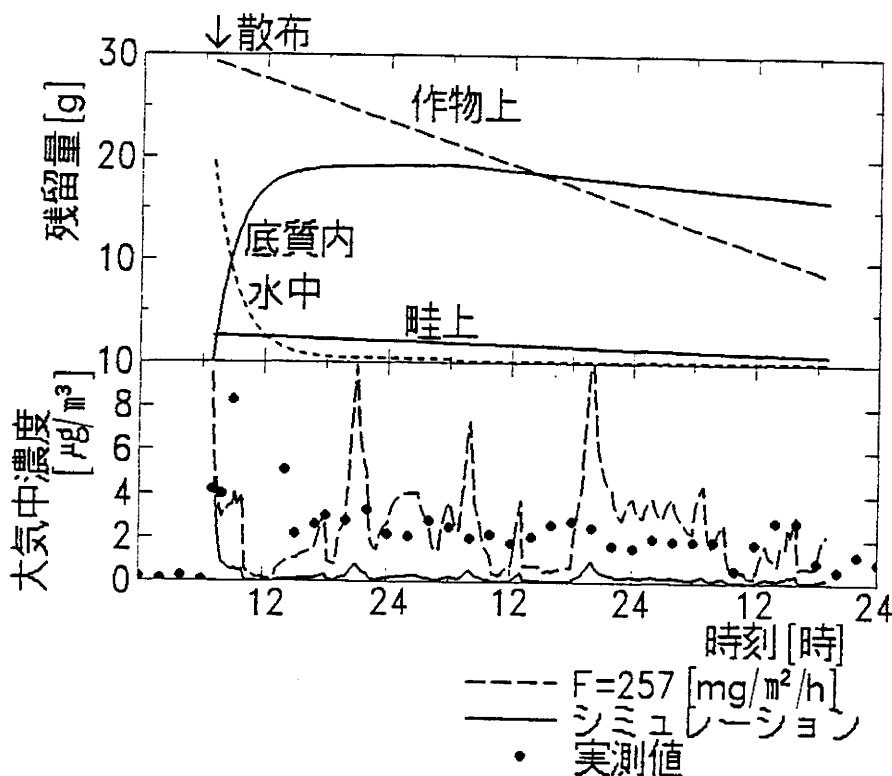


図8-4-4 シミュレーションの結果  
(1989年8月10～12日の秋田県十文字町の設定。MEP)

## 8.4.4 1990年秋田県十文字町MEP散布の場合

同じ秋田県十文字町での、1990年8月9～11日の気象条件で、殺虫剤MEPのシミュレーションを行った。結果を図8-4-5に示す。89年と同様に、MEPの揮発速度を257[mg/m<sup>2</sup>/h]とおくとよく測定結果に合う。90年はフサライドのシミュレーションで示したように何度か降雨があつて、各コンパートメントの残留量は大きく変化している。特に、散布直後の午前8時の風と午後9時から11時までの風による大気中濃度の上昇は、シミュレーション、実測値ともに顕著に現れている。

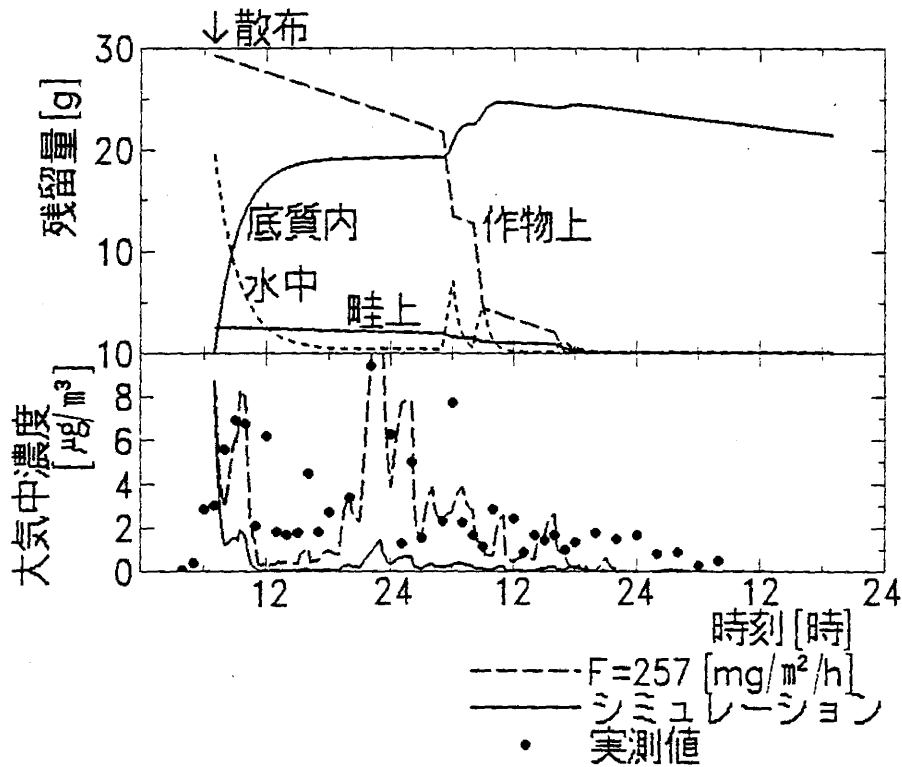


図8-4-5 シミュレーションの結果  
(1990年8月9～11日の秋田県十文字町の設定。MEP)

#### 8.4.5 今後の検討課題

このように予測を行うために必要な情報の内、入手困難なものや研究不足なものがある。それがシミュレーション値と実測値の差を作っている。この点について考察を行う。

##### ===揮発速度===

まず、最も重要な要素は農薬の揮発速度である。ここに示した4つのシミュレーション結果から、揮発速度測定実験のフサライドの値は妥当であるが、MEPの測定実験値は低すぎて実態と合っていないことが判った。同一の手順で同時に測定したものであるので、MEPの値だけに問題があるとすれば、これは飽和蒸気圧の差による本質的な違いであると考えよりない。MEPの飽和蒸気圧は30℃で $1.37 \times 10^{-4}$ mmHg（住友化学(1988)）であり、フサライドのは23℃で $2 \times 10^{-8}$ mmHg（呉羽化学(1990)）であって一万倍も差がある。もう一つ例を上げるなら、殺虫剤BPMCの蒸気圧は30℃で0.8mmHgであるから、MEPとの差は約1万倍、フサライドとの差は約1億倍に達する。したがって、もし第3章で考察したように農薬の揮発速度と蒸気圧が比例しているとする大気中の農薬濃度も1万倍の差が出なければならない。

しかし、実際の大気中濃度の差は2つの薬剤を同時に撒いたときに、BPMCとMEPでは新潟県巻町（表5-5-5.3）で見たようにほぼ同じか2倍程度の差しかなく、MEPとフサライドも秋田県十文字町（表5-5-1.7）で見たように数十倍の差しかない。つまり、揮発速度と蒸気圧が比例しているということだけでは、現実の汚染状況を説明できていないことになる。本研究では、この点について明快な回答を得ることができなかった。これは、今後の課題とする。

##### ===大気コンパートメントの高さ===

このモデルでは大気コンパートメントの高さ $L_a$ を

$$L_a = 50(1 + 2\text{SunShine}) \quad \text{'日照を考慮した大気コンパートメントの高さ [m]}$$

とした。これは、ブルームモデルの鉛直方向の拡散幅 $\sigma_z$ の値について、パスキルの大気安定度分類のBとDでは $\sigma_z$ が3倍程度変化することを参考にして、日射による上昇気流の影響が $(1 + 2\text{SunShine})$ 程度であると仮定して計算を試みたのである。しかし、大気コンパートメントの高さは、空気中の汚染物質の濃度に密接に影響するものであるのに、系統だった研究がされていない項目である。今後の検討が必要である。

## ===気象情報===

入手できる気象情報の質も、シミュレーションの結果に大きく影響する。現実の気象は、このモデルで使用した毎時の気象情報よりも、もっと複雑である。また、実際の風向風速は秒単位で大きく変動するものである。また、特にアメダスの気象データでは1 m/s以下の風速は無風扱いになるために、モデル計算値が実際の測定値よりもずっと大きくなってしまふことがある。風速が1 m/s未満の場合には、通常の風速計ではその測定は難しい。

しかし、気象データについて、細かな項目についてすべて測定しなければならないということでは、実際に農業濃度を測定するよりもはるかに多種多様な気象要素を測定する方がコストがかかってしまう。日常的に入手し易い気象データを用いて、必要であるが測定しにくいデータを推定する方が、様々な場所や時間でシミュレーション結果を比較するためには便利である。本モデルでも、日射エネルギーの代わりに日照時間を利用し、土壌表面温度や作物表面温度も気温と日照時間からの推定値を用いた。

## ===物理化学データ===

各コンパートメント内での農薬成分の分解速度や揮発速度などのような物理化学的データは、報告されているものが少ないし、あっても未整理でモデルに応じた数値を得るのが難しい。とくに、様々な温度での数値の変化まで検討したデータはきわめて少ない。



## 8.5 水田空中散布モデルの検討

実際の気象条件では、さまざまな要因が複雑に絡み合ってしまうので、大気汚染の発生機構が分かりにくくなってしまふ。そこで、仮想的な気象条件を設定し、そのパラメータを個々に変化させて検討することにした。共通の基礎条件は、南の風(windD=S)、風速1 m/s(windV=1)、気温30℃(temp=30)、曇り(sun=0)、降水なし(rain=0)、風上の水田の距離3600 m(L=3600)、散布薬剤 フサライド12%(Conc=0.12)、希釈倍率15倍(dilute=15)、散布量3ℓ(liquid=3000[ml])、散布粒半径100μm(r=100e-6[m])とした。

### 8.5.1 風速の影響

大気濃度に最も影響があるのは、風速(windV)である。図8-5-1に風速(windV)を1, 2, 3, 5[m/s]と変化した場合の計算結果を示す。風上にある水田の距離(L)を3600 mとしてあるので、換気回数(Wa)は、それぞれ、1, 2, 3, 5[1/h]となる。散布60時間後までの周辺住民のフサライドの摂取量(Intake)はそれぞれ、98.0, 50.6, 34.1, 20.6[μg]になった。

風速と大気汚染濃度がおおよそ反比例するのは、基礎的な事項である。

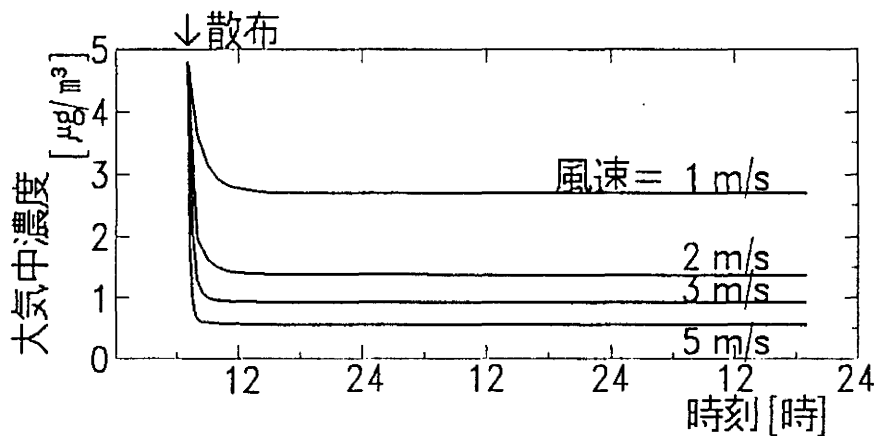


図8-5-1 大気汚染濃度に対する風速の影響

## 8.5.2 雨の影響

散布当日の18時から20時までに4mmの降水があったとして、シミュレーションした結果を図8-5-2に示す。雨によって、作物の葉に付着していた13.5gのフサライドのうち5.9gが水に流され、水中の濃度が高くなる。その後、この成分は底質に徐々に吸収されていく。大気汚染濃度は、雨のあいだ洗い流されるために一時的に $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ まで低くなるが、雨が上がった後は元の濃度( $2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )に回復する。しかし、作物の葉の上に残留している農薬がなくなると大気濃度は急速に減少し、60時間後にほとんどゼロとなる。

60時間後までの摂取量(Intake)は、88.6 $\mu\text{g}$ であり、雨が降らないときより約1割減少した。

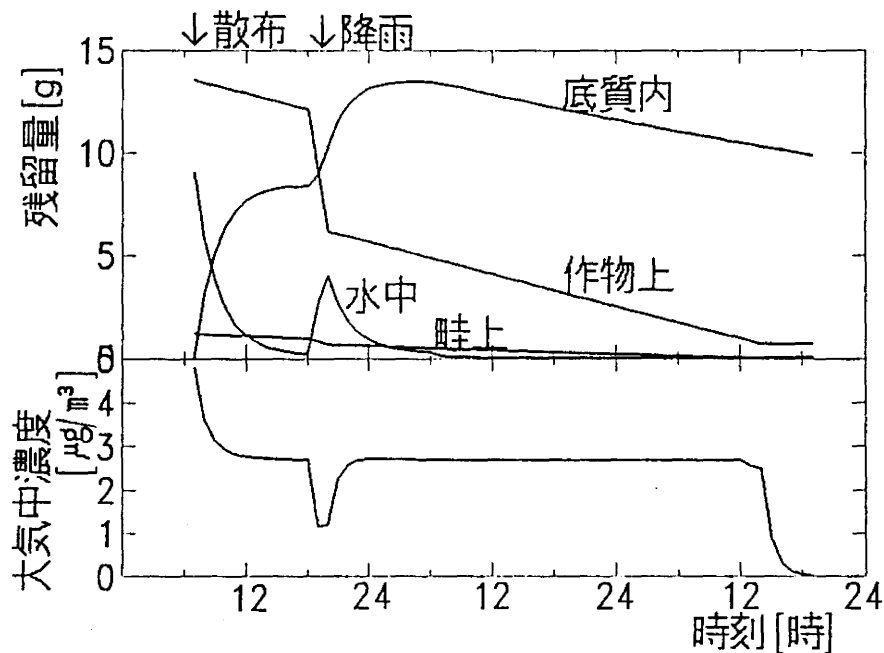


図8-5-2 農薬の残留量と大気汚染濃度に対する雨の影響  
(散布当日18時から20時までに4mmの降雨)

## 8.5.3 雨量の影響

図8-5-3には、18時から20時までの2時間に、雨無し、4mm、6mm、10mmの降水があった場合の汚染濃度の変化予測を示した。少量の降水の場合、雨量によって葉の上に残留する農薬量が変化し、大気汚染継続時間が減少する。10mm以上の多量の降水があると葉の上の農薬はすべて洗い流されて無駄になり、大気汚染も終了する。

雨によって大気汚染が終了する現象は、前節でシミュレーション計算をした1990年8月9日の十文字町水田空中散布(5.5.1)をはじめ、1985年6月の高崎観音山(5.6.4)などで見られた現象である。逆に小雨が降った程度では、葉の上の農薬をすべて洗い流すことができずに、大気汚染が継続することがわかった。

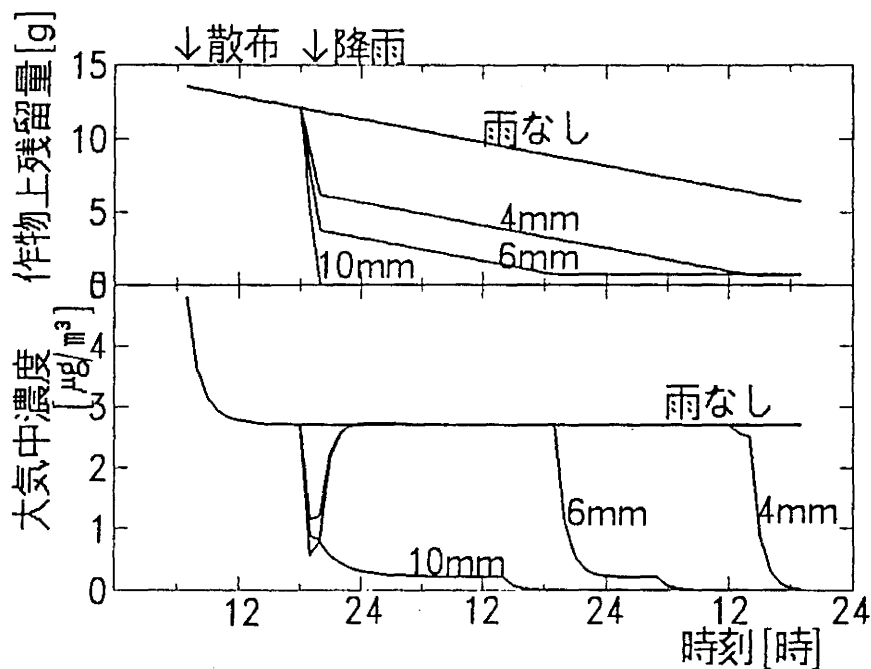


図8-5-3 農薬の作物上の残留量と大気汚染濃度に対する雨量の影響

## 8.5.4 日照の影響

気温を30℃で固定したまま、日射があるとした場合のシミュレーション結果を図8-5-4に示す。上昇気流の発生により、日中の大気汚染濃度は曇りの天気の場合の半分以下に減少する。60時間まで周辺住民の摂取量(Intake)は、73.8μgであり、日照が無い場合よりも25%減少している。

日中に気温が高くなっているにもかかわらず、大気汚染濃度が下がる現象は、環境実態調査ではよく観測される現象である。たとえば、1986年5月8日の嬬恋村のPCNB濃度の日変化(図5-3-3)、1988年7月23日の新潟県巻町での大気中農薬の濃度変化(図5-5-52)、1990年6月19日の山梨県大月市での大気中MEP濃度の時間変化(図5-6-71)などで、日中よりも夕方以降夜になってから高濃度汚染が観測される例がある。

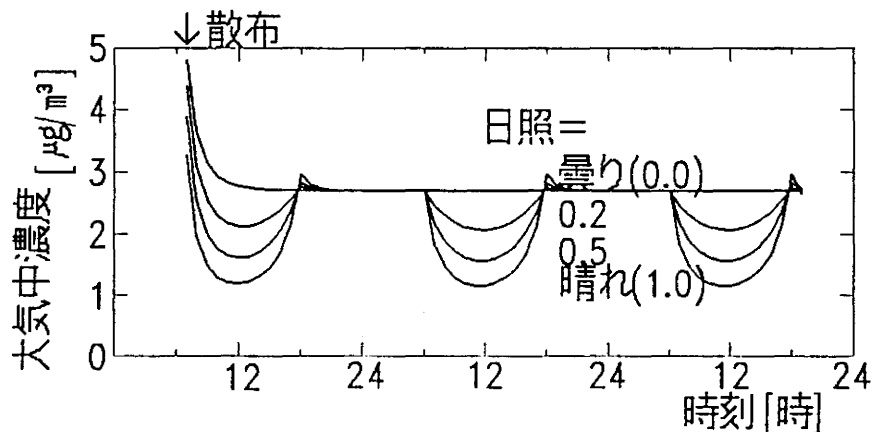


図8-5-4 大気汚染濃度に対する日照の影響  
(ただし、気温を30℃に固定し、変化させない場合)

### 8.5.5 気温の影響

気温の変化が大気汚染に与える影響をみるために、早朝と日中の気温差を $10^{\circ}\text{C}$ とした3つの温度帯についてシミュレーションを行った。その結果の大気中濃度について図8-5-5に示す。周辺住民の摂取量(Intake)は、 $12\sim 22^{\circ}\text{C}$ の気温帯なら $60\mu\text{g}$ であるが、 $32\sim 42^{\circ}\text{C}$ の気温帯では2倍の $128\mu\text{g}$ に上昇している。

この図では午後に最高濃度が現れているが、実際には先の日照による上昇気流の発生のため、最高値が夕方に観測されることが多い。また、海陸風の影響のあるところでは、夕方に凧になることもその理由の一つである。

気温の低下と共に一度低くなった大気汚染濃度が、気温の回復と共に再び以前と同じレベルまで高くなる現象は、ビニールハウス内のTPNの濃度変化(表5-2-1)や、\$孺恋村のPCNB濃度の年間変化(図5-3-9)などで見られた現象である。

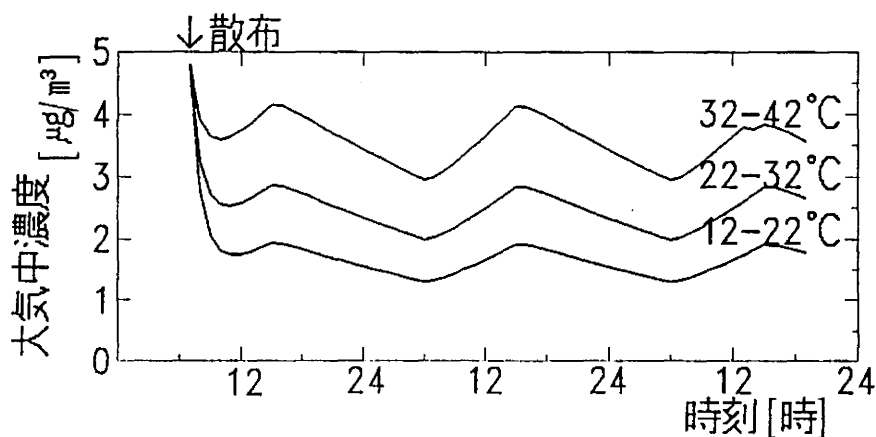


図8-5-5 大気汚染濃度に対する気温の影響

## 8. 5. 6 希釈倍率の影響

散布者が大気汚染濃度を調節する方法に、薬剤の希釈倍率(dilute)の選択がある。10 aあたり24 gずつのフサライドを散布する場合でも、12%の原液を200 m<sup>3</sup>散布する、15倍に希釈して3 L、30倍で6 L、50倍で10 Lなどと変化させると、シミュレーション結果には大きな違いが現れる。これを図8-5-6にしめす。

原液散布では、汚染の残留が最も長期間になるが、大気汚染濃度は一番低く0.2 μg/m<sup>3</sup>程度である。葉の上の薬剤の表面積(S<sub>c</sub>)は1.3 m<sup>2</sup>(葉の推定面積の0.01%)にしかすぎないので、薬剤効果の点で問題がある。

15倍希釈液3 L散布では、S<sub>c</sub>は20.2 m<sup>2</sup>となり、大気汚染濃度は、2.7 μg/m<sup>3</sup>である。日本の水田では、原液散布と3 L散布がほとんどである。

50倍希釈液10 L散布では、S<sub>c</sub>は67.2 m<sup>2</sup>で、大気汚染濃度は9.0 μg/m<sup>3</sup>まで高くなる。しかし、汚染の継続時間は30時間程度である。

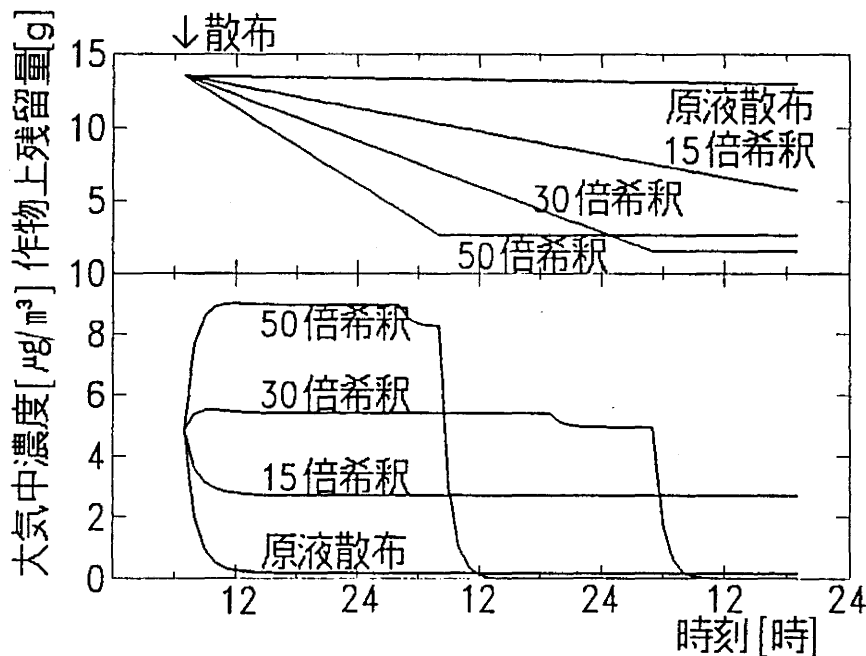


図8-5-6 農薬の作物上の残留量と大気汚染濃度に対する薬剤の希釈倍率の影響

## 8. 5. 7 散布水滴の大きさの影響

散布水滴の半径( $r$ )を調節しても、大気汚染濃度を調節することができる。図8-5-7に、半径を25、50、100、200 $\mu\text{m}$ と変化させたときの葉の上の残留量と大気汚染濃度の時間変化を示す。

半径25 $\mu\text{m}$ のような細かい水滴で散布した場合は、葉の上の薬剤の表面積( $S_c$ )は80.6 $\text{m}^2$ になり、散布のムラは少なくなる。10.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の高濃度大気汚染が発生するが、散布後20時間で終了する。水田周辺への薬剤の飛散が問題になるだろう。

一方で、半径200 $\mu\text{m}$ の大きな水滴で散布した場合には、大気汚染濃度は1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度であるが、汚染継続時間が201時間と長くなる。また、薬剤の面積( $S_c$ )は0.9 $\text{m}^2$ と少なくなるため、薬剤の撒きムラが問題になるだろう。

現実の大気汚染では、この図8-5-7のようにある時刻で急に大気中濃度が減少するようなことはない。これは、散布された水滴の大きさが均一ではなく、分布を持っているからである。この大きさの分布を持った水滴による大気汚染のシミュレーションは、図8-5-7に示した個々のグラフを水滴の大きさの分布に従う重み付けで加重平均したものになる。なぜなら、このモデルの基本式(8-3-3)は線形な微分方程式であるからである。

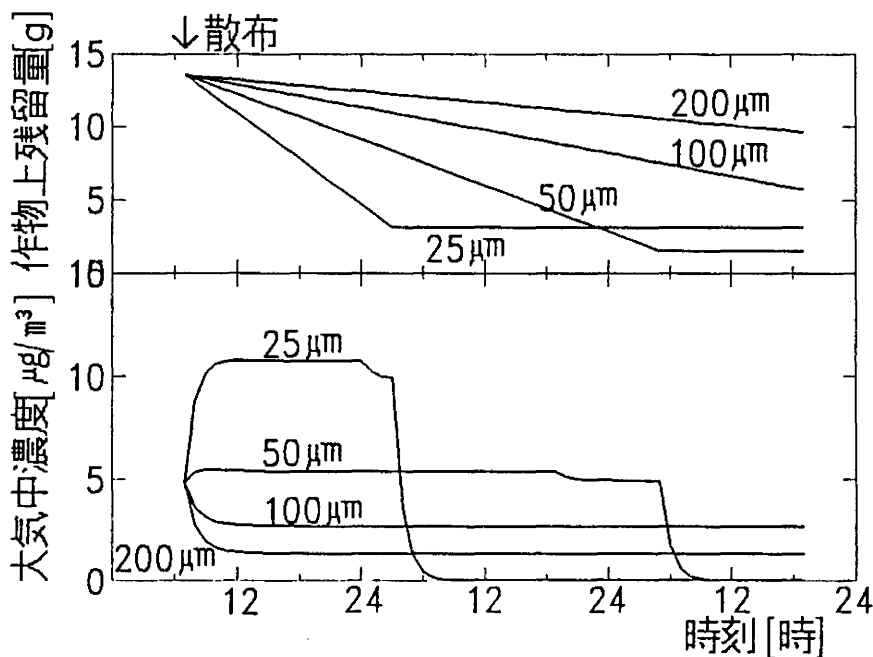


図8-5-7 農薬の作物上の残留量と大気汚染濃度に対する散布水滴の大きさの影響

### 8.5.8 まとめ

大気汚染の発生機構について理解するために、仮想的な気象条件も元でシミュレーションを繰り返した。その結果をまとめて表8-5-1に示す。

大気汚染濃度に強く影響する要因として、風速(windV)、作物の葉の上に残留している農薬薬剤の表面積(Sc)、気温(temp)が挙げられる。この内、Scは散布方法の改善によって人為的に制御できる項目であり、散布量(liquid)、散布水滴の大きさ(r)によって決まる。汚染の継続時間に影響する要因としては、表面積(Sc)、気温(temp)のほか雨による葉の洗浄の影響が大きいことが判明した。

水田に空中散布された農薬が周辺住民の健康に影響を及ぼすのは、おもに大気汚染を通じて呼吸器から農薬を摂取するためであると考えられる。このNIFE-AAPによれば、散布地域周辺住民の農薬摂取量を推定することができるので、疫学調査の実施とあわせて農薬被害の実態を把握し、両者の因果関係を考察することが可能となる。

このようにNIFEを利用して数理モデルが簡潔かつ要領よく記述できた。条件を様々に変更しながら、シミュレーションを繰り返すことで、アセスメントを行うことができる。今回開発したNIFE-AAPは、現実の汚染の再現や予測、汚染機構の解明など広い範囲に応用できるモデルである。



表8-4-1 各シミュレーション条件での大気汚染計算結果

設定条件	最高濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]	吸入量 [μg]	60時間後 の汚染継続	
<b>【実際条件】</b>				
秋田県十文字町 (1990年8月9日)	0.7	3.0	終了	
宮城県仙台市 (1990年7月17日)	0.18	1.2	継続	
秋田県十文字町 (1989年8月10日MEP)	1.0	9.6	継続	
同上 (MEP:F=200[mg/m <sup>2</sup> /h])	8.7	70.1	継続	
秋田県十文字町 (1990年8月9日MEP)	1.5	9.2	終了	
同上 (MEP:F=200[mg/m <sup>2</sup> /h])	12.7	48.1	終了	
<b>【仮想条件 注:*印の条件が共通設定値】</b>				
風速の影響	1 m/s *	2.7	98.0	継続
	2 m/s	1.4	50.6	継続
	3 m/s	0.9	34.1	継続
	5 m/s	0.6	20.6	継続
雨量の影響	0 mm *	2.7	98.0	継続
	4 mm	2.7	88.6	終了
	6 mm	2.7	59.1	終了
	10 mm	2.7	23.0	終了
日照の影響	0.0 (日照なし) *	2.7	98.0	継続
	0.2	2.7	89.1	継続
	0.5	2.7	81.1	継続
	1.0 (日照あり)	2.7	73.8	継続
気温の影響	12℃~22℃	1.9	59.8	継続
	22℃~32℃	2.8	89.0	継続
	32℃~42℃	4.1	128.4	継続
	30℃ *	2.7	98.0	継続
希釈倍率の影響	原液0.2ℓ	0.2	8.5	継続
	15倍希釈液3ℓ *	2.7	98.0	継続
	30倍希釈液6ℓ	5.4	147.9	終了
	50倍希釈液10ℓ	9.0	134.8	終了
散布水滴の半径の影響	25 μm	10.8	129.6	終了
	50 μm	5.4	147.9	終了
	100 μm *	2.7	98.0	継続
	200 μm	1.4	50.1	継続

## 第9章 まとめ

本研究は、日本であまり問題にされていなかった農業による大気汚染現象に着目した。本研究の最終目的は、農業による環境汚染を防止することである。しかし、研究を始めた頃は、農業の大気汚染の実態が全く不明であって、科学的な考察を進めるためのデータすらない状況であった。

そこで、本研究は環境実態調査に重点を置いて行うこととなった。農業大気汚染の測定手法として、固体吸着剤TENAX-GCを使った捕集管による常温吸着捕集法を農業大気汚染に適用してこれを確立した。さらに様々な自動化技術も開発した。連続大気分析装置は、ガスクトマトグラフを改造して自動濃縮装置を取り付けたもので、汚染の現場で農業大気汚染濃度の刻々の変化を記録するものである。自動大気採取装置は、30本の試料採取管を順に交換しながら、一定時間間隔で大気中農業成分の採取を行うものである。これらの技術を駆使して、多数検体の環境汚染測定を繰り返し実施した。

この実態調査で集積した知見を活かして、水田へ空中散布された農業の動態についての数理モデルを提案し、大気汚染が発生する機構を示した。このモデルは、農業蒸気の広大な面発生源と見なせる農業散布域の中の一点を指定して、その位置での大気中農業濃度の時間変化を求めるようになっている。実際の農業汚染の再現シミュレーションを行い、殺菌剤フサライドの散布については、ほぼ実測値の通りの結果が得られた。さらに、仮想的な気象条件を設定し大気汚染濃度に影響するパラメータをひとつずつ変化させて、農業大気汚染の発生メカニズムについて考察を行った。

また、この数理モデルを構築するに際して、様々な数理モデルを簡条書にした数式の集合として一般的に操作できる計算システムNIFE (Numerator of Itemized Formula Expressions) を開発した。煙突からの煙の拡散を扱うブルームモデルの例と、孀恋地区のPCNB大気汚染を予測する数理モデルの例について計算を行い、NIFEで様々なモデルを容易に操作でき、数理モデルの構築と運用に有効であることを示した。その上で、本研究で提案した水田空中散布農業の大気汚染の数理モデルをNIFEで取り扱った。

これらの実態調査の結果と数理モデルで示した農業大気汚染の発生機構についての知見

によって、農薬散布による大気汚染を数理的に把握することが可能になった。

本研究の主要な成果は、以下のものである。

第3章「農薬の揮発速度の測定」では、揮発速度を決定する3つの要因（拡散速度、移送速度、気化速度）について考察を行い、6種の有機塩素系農薬（PCNB、ヘプタクロル、ヘプタクロルエポキシド、NIP、CNP、DDT）と2種の代表的な農薬（フサライド、MEP）について温度を変えながらそれぞれの揮発速度を測定した。揮発速度と温度の関係について考察し、揮発速度Fをつぎのような温度の関数として整理した。

$$F = \exp(V - Hv/RT) \text{ [mg/m}^2\text{/h]}$$

さらに、境界層理論を用いて、MEPの揮発速度を推定し、葉の全面に農薬が塗布されている場合よりも斑点状に農薬が付着する場合の方が揮発速度が大きくなった。

第4章「大気汚染の測定法の開発」では、

- (1) 固体吸着剤TENAX-GCによる常温採取法とガスクロマトグラフ装置への直接導入法を検討し、殺虫剤MEPについて回収率の実験をおこない、十分な回収率が得られた。これにより農薬大気汚染の常温吸着法による測定法を確立した。
- (2) ガスクロマトグラフ装置に自動濃縮装置を組み込んだ低沸点化合物用の自動大気分析装置を改良して、高沸点の農薬も分析できるように作り換えた。これを実際に稼働させて、大気中の殺菌剤PCNBを検出した。
- (3) TENAX捕集管を自動的に交換しながら一定時間間隔の大気を採取するための自動大気採取装置を開発した。全国の農薬汚染調査で利用して、数多くの試料を得た。

第5章「環境汚染の測定」では、日本各地で多数の環境実態調査を行った。その調査の内容を克明に記録し整理して、汚染の現状と機構を把握した。

内容別に次の9節に分かれる。(1) 種苗工場からの大気汚染、(2) ビニールハウス内の空気汚染、(3) 高原野菜单作地帯における大気汚染、(4) こんにゃく単作地帯における大気汚染、(5) 水田への空中散布による大気汚染、(6) 山林における大気汚染、(7) ゴルフ場における大気汚染、(8) シロアリ防除による室内汚染、(9) 団地の周

辺緑地からの大気汚染。それぞれについて、数次にわたる多数検体の調査を実施し、概ね状況を把握することができた。

第6章「環境汚染の濃度評価」では、農薬の大気汚染濃度の累積度数分布が対数正規分布になっていることを示した。対数正規分布を決定する2つの値、50%値  $\exp(\mu)$  と標準偏差  $\exp(\sigma)$  もそれぞれ示した。高濃度汚染の頻度を推定では、たとえば水田のMEPの場合、 $0.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (50%値) 前後の濃度が一般的であり、 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (16%値) 前後の濃度はしばしば見られる。 $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2.3%値) 以上の値は、極めて高い水準にあることが明かになった。

従来の何検体の分析の内何検体検出とか、最高値を使った評価方法にくらべて、この対数正規分布による大気中農薬濃度の評価方法は、多量の大気汚染測定データを50%値と標準偏差の2つの値で規定して比較することができるため、濃度水準を比較評価するための有効な方法となることを示した。

さらに、測定された大気汚染濃度から呼吸による摂取量を計算し、食品の安全基準による摂取量などと比較して、大気汚染のほうが大きな値になることがあることを示した。

第7章「数理モデルのための会話型計算システムの開発」では、数理モデルの開発、修正、運用を支援する会話型計算システムNIFEの仕様について解説し、このプログラムを完成させた。

NIFEはコンピュータ通信ネットワークを通じて、数百人に利用されて70人以上の利用者から友好利用者の申請を受けるなど、高い評価を得ている。

第8章「数理モデルによる解析」では、次の事を行った。

- (1) NIFEの基本性能を示す簡単な例として、煙突からのブルームモデルの計算を行った。
- (2) 高原野菜单作地帯についてのモデル(川本(1989))へのNIFEの適用を行い、NIFEが様々なモデルの運用と評価のために有効であることを示した。
- (3) 水田に空中散布した農薬は稲の葉の表面からの揮発によって大気汚染を引き起こす。第5章でおこなった環境農薬汚染の膨大な実態調査から得られた大気汚染の発生機構についての知見を考察して、NIFE-AAPと名付けられた数理モデ

ルを提案した。

- (4) 提案した水田空中散布のモデルに、秋田県十文字町や宮城県仙台市での実際の条件を設定しシミュレーションを行った。環境実測値とシミュレーションの計算結果は、代表的な殺菌剤フサライドについてはだいたい一致した。しかし、殺虫剤MEPについては、第3章で測定した揮発速度を用いるとシミュレーションの大気中農薬濃度が実測値より小さくなってしまった。第3章で境界層理論により推定された揮発速度  $F = 257 \text{ [mg/}\text{m}^2\text{/h]}$  を仮定すると、大気中濃度の実測値とシミュレーション結果の濃度レベルが一致するようになった。
- (5) このモデルに仮想的な気象条件を設定した上でそのパラメーターを一つずつ変化させてシミュレーションを行い、その結果を考察した。大気汚染濃度に強く影響する要因として、風速(windV)、作物の葉の上に残留している農薬薬剤の表面積(Sc)、気温(temp)が挙げられる。この内、Scは散布方法の改善によって人為的に制御できる項目であり、散布量(liquid)、散布水滴の大きさ(r)によって決まる。汚染の継続時間に影響する要因としては、Sc、tempのほか雨(rain)による葉の上の農薬の洗浄による影響が大きいことを示した。この結果は、第5章の環境汚染の実態調査の結果をよく説明している。

水田への農薬空中散布に関する数理モデルが簡潔かつ要領よく記述できた。条件を様々に変更しながら、シミュレーションを繰り返すことで、アセスメントを行うことができる。現実の汚染の再現や予測、汚染機構の解明など広い範囲に応用できるモデルであることを示した。

なお、農薬汚染と言うのは、今日の世界的な問題のひとつであって、研究の過程において実態調査結果がその都度、社会的な反響を呼ぶことになった。調査結果は、まず速報としてその地域に住む人々のところへ届けられ地域での議論のための基礎資料として利用され、その都度、横浜国立大学環境科学研究センター紀要の報文として印刷公表され、さらに様々な書物やメディアに引用されて広い範囲の人々に利用された。

従来の農薬の規制は、その使用者の安全と食品の残留規制が主なものであった。この状態では、農薬環境問題に関心のある人であっても、部外者として農薬使用に意見をすることしかできなかった。しかし、本研究が農薬の大気汚染を解明することによって地域にすむ全ての人が呼吸によって農薬を摂取していることが明らかになったので、多くの人が農

薬問題の当事者として議論に参加できるようになった。さらに、農薬の散布後の一般住民の健康異常についても注意が払われるようになり、多くのアンケート調査が実施され、心配された健康被害が現実の事であると知れたのは2.8節で述べたとおりである。

この様なことを通して、農薬の使用に規制が設けられたり、人々の自覚を促す効果があって、農薬汚染の発生を現実に食い止めることもあった。このことも、本研究のひとつの成果であったと考える。

また学会についても、本研究が農薬の大気汚染の問題を指摘した後、大気汚染学会において毎年数件の農薬大気汚染に関する報告がされるようになった。たとえば、1989年（川崎）では、城所ら「大気中に存在する農薬と土壌（1）－フサライドの粘土鉱物な対する相互作用－」、川田ら「大気中農薬の年間変動」。1990年（金沢）では、川田ら「松くい虫防除で空中散布されたMEPの大気中濃度変動」、森山ら「水稻病虫害防除で空中散布された農薬の大気中濃度変動」、西川ら「農薬の空中散布に伴う大気中濃度変動」、長谷川ら「ゴルフ場における大気中農薬調査」、奥村ら「農薬の大気中への移行速度について」。1991年（北九州）では、森山ら「農薬の地上散布時期における水田近傍の大気中農薬濃度の推移」、鈴木ら「川崎市における大気中農薬の検索（1）ゴルフ場及び環境中の農薬調査」などのような研究がなされた。

このことから、本研究が一般社会に対しても学会に対しても一定の影響を与えるものであったことが判る。これらの成果は今後、農薬汚染を防止するための科学的な対策のための基礎として活用したい。

## 参考文献

## 【第1章】

- 保田仁資：道後平野および大洲盆地における大気中の有機リン農薬の濃度，  
日本化学会誌，1980(4)，pp.645-653 (1980)
- Glotfelty, D.E. and J.H. Caro: Introduction, Transport, and Fate of Pesticides  
in Atmosphere, ACS Symp. Ser. 17, pp.42-62 (1975)
- Glotfelty, D.E.: The Atmosphere as a Sink for Applied Pesticides,  
J. Air Poll. Control Assoc., 28(9), pp.917-921(1987)
- Mulla, M.S., L.S. Mian, and J.A. Kawecki: Distribution, Transport, and Fate of the  
Insecticides Malathion and Parathion in the Environment,  
Residue Reviews, 81, pp.1-159 (1981)
- Rapaport, R.A., N.R. Urban, P.D. Capel, J.E. Baker, B.B. Looney, S.J. Eisenreich,  
and E. Gorham: "New" DDT Inputs to North America: Atmospheric Deposition,  
Chemosphere, 14(9), pp.1167-1173(1985)
- Spencer, W.F., W.J. Farmer, and M.M. Cliath: Pesticide Volatilization,  
Residue Reviews, 49, pp.1-49 (1973)
- Spencer, W.F.: Movement of DDT and its derivatives into the atmosphere,  
Residue Reviews, 59, pp.91-115 (1975)

## 【第2章】

- 飯田勝彦ら：農薬による金目川水系の汚染実態調査，  
神奈川県公害センター年報，16，p.39(1984)
- 石井吉夫：農薬の三河湾への流出と安全性評価の考え方，  
生態化学，7(2)，pp.19-31(1984)
- 石田紀郎ら：豊川水系におけるCNP汚染，調査報告書(1985)。
- 上杉泰彦ら：農薬の環境における分解，化学総説，2，pp.57-120(1973)
- 植村振作・河村宏・辻万千子・富田重行・前田静夫：「農薬毒性の事典」，三省堂(1988)
- 宇根 豊：「減農薬稲作のすすめ」，農文協(1986)
- 小野洋ら：霞ヶ浦の農薬汚染，水質汚濁研究，9(7)，pp.14-17(1986)
- 御厨初子ら：佐賀県における水田地帯のクリーク水の農薬による汚染，  
生態化学，6(2)，pp.23-33(1983)
- 金沢 純：農薬の脂肪・水間の分配係数の測定とその評価，  
生態化学，6(1)，pp.3-7(1983)。
- 川田訓平ら：土壌殺菌剤Pentachloronitrobenzene(PCNB)の土壌からの消失に及  
ぼす温度の影響について，環境化学総合研究所年報，5，pp.99-106(1985)。
- 河野謙一ら：航空防除による散布農薬の水系に及ぼす影響，  
生態化学，3(3)，pp.13-20(1980)。
- 環境庁大気保全局企画課監修：農薬の毒性と健康影響，公害研究対策センター(1989)
- 木村紫晃ら：土壌バイオマスと土壌中における農薬の分解量との関連について，  
環境科学総合研究所年報，5，pp.107-112(1985)。
- 小林主一：農薬開発研究および安全性，粉体と工業，19(3)，pp.41-53(1987)
- 塩飽邦憲ら：柑橘栽培従事者の農薬による皮膚傷害，  
日本農村医学会誌，33(1)，pp.22-28(1984)
- 島袋定・比が尚き・大山峰吉：大気中エチレンジブロマイド(EDB)の測定法，  
沖縄県公害衛生研究所報，20，pp.87-89(1986)
- 實成文彦・浅川富美雪・真鍋秀樹・後藤敦・中嶋泰知：クロルデン類の室内空気汚染に  
関する研究(第1報 拡散型サンプラーによる気中クロルデンの測定法)，  
日本公衆衛生誌，34-2，pp.55-61(1987)
- 鈴木茂・永野敏・佐藤静雄：東京・神奈川地域における環境大気中および室内  
空気中クロルデン類の測定，大気汚染学会誌，25(2)，pp.123-132(1990)
- 鈴木学：北九州地方河川の農薬汚染の実態，生態化学，4(4)，pp.3-10(1982)
- 全国保険医団体連合会：「農薬被害に関する実態・意識アンケート調査結果」(1991.11)
- 田上 昭：化学物質の分配係数・水溶解度データ集，生態化学，5(3)，pp.48-61(1982)
- 通産省：「新規化学物質等に係る試験の方法について」，化学物質の審査及び製造等の  
規制に関する法律による通達，昭和49年7月13日。
- 塚本烈史ら：有機リン殺虫剤プロパホスの水系における消長，  
生態化学，6(3)，pp.28-36(1983)
- どじょう通信，18・19合併号，反農薬東京グループ(1990)

- 富澤長次郎・上路雅子・腰岡政二：「最新 農薬データブック(1989年版)」，ソフトサイエンス社(1989)
- 富永泰子ら：河川水中及び底質中の農薬の微量分析(1-4,4'-6)，新潟県公害研究所報告，7, pp.70-74(1982)，8, pp.65-69(1983)，8, pp.70-74(1983)，9, pp.54-57(1984)，10, pp.12-13(1985)，10, pp.15-18(1985)，10, pp.19-22(1985)。
- 中南 元ら：ジフェニール・エーテル系除草剤による琵琶湖・淀川水系，筑後川および有明海周辺等の水系の汚染，生態化学，8(1)，pp.3-11(1985)
- 中村 修：「減農薬による地域農業の再生——近代化農業批判試論——」，佐賀県減農薬研究会(1987)
- 難波龍人・本間啓蔵・堀内浩史・宮田幹夫・石川哲：環境化学物質の眼アレルギー疾患への影響，第94回日本眼科学会総会口演妙録，I 1-29(1990)
- 西内康浩ら：農薬『混合製剤』の魚類に対する毒性，生態化学，4(1)，pp.17-22(1981)
- 西内康浩：農薬の水生動物にたいする影響評価-VIII，生態化学，8(3)，pp.11-17(1985)
- 日本産業衛生学会：許容濃度等の勧告(1989)，産業医学，31，pp.257-300(1989)
- 日本農村医学会：特集 農薬中毒研究，日本農村医学会誌，27(4)，(1976)
- 日本農村医学会：特集 農業化学物質の人体並びに環境に及ぼす影響に関する研究，日本農村医学会誌，30(1)，(1979)
- 日本農村医学会：特集 農薬中毒，日本農村医学会誌，33(2)，(1984)
- 農薬要覧(1990年度版)，日本植物防疫協会(1990)
- 能勢和夫ら：ブタクロールの東西谷田川における消長，日本農薬学会第11回大会，C214(1986)
- 野田ら：農作業に起因する呼吸器傷害に関する研究，日本農村医学会誌，27(1)，pp.1-49(1976)
- 原田篤也ら：有機合成化合物に対する微生物の作用，化学総説，2，pp.31-56(1973)
- 彦坂直道・菊池誠太郎・古内文子・町田光子：農薬空中散布の環境及び健康への影響調査，公衆衛生，54(5)，pp.353-357(1990)
- 彦坂直道ら：パラコート散布作業者の健康問題，日本農村医学会誌，33(1)，pp.19-21(1984)
- 星川よし孝ら：分配係数と濃縮濃縮倍率の相関性について，生態化学，6(3)，pp.45-53 (1983)
- 堀 克也ら：熊本県内水圏における農薬汚染，生態化学，5(2)，pp.3-13(1982)
- 丸 諭：千葉県内河川の農薬モニタリング，生態化学，8(3)，pp.3-10(1985)
- 松島松翠ら：いわゆるハウス病の実態，日本農村医学研究所年報，1，pp.209-217(1970)
- 盛岡 通：化学物質の環境内での運命予測に関するモデル，生態化学，5(3)，pp.31-47 (1982)
- 保田仁資：道後平野および大洲盆地における大気中の有機リン農薬の濃度，日本化学会誌，1980-4，pp.645-653(1980)
- 山下 衛：農薬中毒，新興医学出版社(1984)
- 山谷正治ら：空中散布された農薬の水系における消長，生態化学，8(3)，pp.3-10(1985)
- 山本 出ら：衛生・農業害虫防除を目的とする生態化学的研究，日産科学振興財団研究報告，7，pp.209-224(1984)
- 渡辺信英ら：琵琶湖水系における有機塩素化合物の追跡，生態化学，6(3)，pp.28-36(1983)
- Abbot, D.C., Harrison, R.B., Tatton, J.O'G., and Thomson, J. : Organochlorine Pesticides in the Atmosphere, Nature, 211, pp.259-261(1966)
- ACGIH: Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Work Environment and Biological Exposure Indices with Intended Changes for 1984-85, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc.(1984)
- Alter, L. : DRASTIC: A System to Evaluate the Pollution Potential of Hydrogeologic Settings by Pesticides, ASC Symposium Series 315 (American Chemical Society), pp.141-158(1986)
- Billings, W.N. and T.F. Bidleman: Field Comparison of Polyurethane Foam and Tenax-GC Resin for High-Volume Air Sampling of Chlorinated Hydrocarbons, Environ. Sci. & Tech., 14(6), pp.679-683(1980)
- Cohen, Y. and P.A. Ryan: Multimedia Modeling of Environmental Transport: Trichloroethylene Test Case, Environ. Sci. Technol., 19, pp.412-417(1985)
- FAO/WHO: FAO plant production and protection papers 78, (1986)
- Farwell, S.O., F.W. Bowes, and D.F. Adams: Evaluation of XAD-2 as a Collection



- Sorbent for 2,4-D Herbicides in Air,  
J. Environ. Sci. Health, B12(1), pp.71-83(1977)
- Grover, R. and L.A.Kerr : Evaluation of Silica Gel and XAD-4 as Adsorbents for Herbicides in Air, J. Environ. Sci. Health, B13(3), pp.311-321(1978)
- Hoff, R.M. et al. : Atmospheric Concentrations of Chlordane at Mould Bay, N.W.T., Canada, Chemosphere, 15(4), pp.449-452(1982)
- Hill, R.H., Jr., and J.E.Arnold : A Personal Air Sampler for Pesticides, Arch. Environm. Contam. Toxicol. 8-5, pp.621-628(1979)
- Jackson, M.D., and R.G.Lewis : Insecticide Concentrations in Air after Application of Pest Control Strips, Bull. Environm. Contam. Toxicol., 27(1), pp.122-125(1981)
- Johnson, E.R., T.C.Yu, and M.L.Montgomery : Trapping and Analysis of Atmospheric Residues of 2,4-D, Bull. Environm. Contam. Toxicol., 17(3), pp.369-372(1977)
- Leidy, R.B., C.G.Wright, K.E.MacLeod, H.E.Dupree, and Jr. : Concentration and Movement of Diazinon in Air, J. Environ. Sci. Health, B19(8&9), pp.747-757(1984)
- Liebowitz, D.P. and J.A.Kriz : Collection and Determination of COUNTER(Terbufos) Insecticide in Air, Am.Ind.Hyg.Assoc.J., 44(8), pp.567-571(1983)
- Livingston, J.M. and C.R.Jones : Living Area Contamination by Chlordane Used for Termite Treatment, Bull. Environm. Contam. Toxicol., 27, pp.406-411(1981)
- Lloyd-Jones, C.P. : Evaporation of DDT, Nature, 229, pp.65-66(1971)
- Mackay, D. and S.Paterson :
- Melancon, S.M. et al. : Evaluation of SESOIL, PRZM and PESTAN in a Laboratory Column Leaching Experiment, Environmental Toxicology and Chemistry, 5, pp.865-878(1986)
- Maolden, L.V. : Pests as Part of the Ecosystem, ACS Symposium Series 336 (American Chemical Society), pp.77-85(1987).
- Que Hee, S.S., R.G.Sutherland, and M.Vetter : Glc Analysis of 2,4-D Concentrations in Air Samples from Central Saskatchewan in 1972, Environ. Sci. & Tech., 9(1), pp.62-66(1975)
- Seiber, J.N. and J.E.Woodrow : Methods for studying pesticide atmospheric dispersal and fate at treated areas, Residue Reviews, 85, pp.217-229(1983)
- Seiber, J.N. et al. : Models for Assessing the Volatilization of Herbicides Applied to Flooded Rice Fields, Chemosphere, 15(2), pp.127-138(1986)
- Tanabe, S., H.Hidaka, and R.Tatsukawa : PCBs and Chlorinated Hydrocarbon Pesticides in Antarctic Atmosphere and Hydrosphere, Chemosphere, 12(2), pp.277-288(1983)
- Thomas, T.C. and J.N.Seiber : Chromosorb 102(an Efficient Medium for Trapping Pesticides from Air), Bull. Environm. Contam. Toxicol., 12(1), pp.17-25(1974)
- Van Dyk, Louis P and Krischnamurthy Visweswariah : Pesticides in air: Sampling methods, Residue Reviews, 55, 91-134(1975).
- Wachs, T., W.H.Gutenmann, E.H.Buckley, and D.J.Lisk : Concentration of Diazinon in Air of a Retail Garden Store, Bull. Environm. Contam. Toxicol., 31(5), pp.582-584(1983)
- White, A.W., Jr., L.A.Harper, R.A.Leonard, and J.W.Turnbull : Trifluralin Volatilization Losses from a Soybean Field, J. Environ. Qual., 6-1, pp.105-110(1977)
- Willis, G.H., J.F.Parr, R.I.Papendick, and S.Smith : A system for Monitoring Atmospheric Concentrations of Field-Applied Pesticides, Pesticides Monitoring Journal, 3-3, pp.172-176(1969)
- Woodrow, J.E., J.N.Seiber, D.G.Crosby, K.W.Moilanen, C.J.Soderquist, and C.Mourer : Airborne and Surface Residues of Parathion and Its Conversion Products in a Treated Plum Orchard Environment, Arch. Environm. Contam. Toxicol. 6, pp.175-191(1977)
- Wyllie, J.A., J.Gabica, W.W.Benson, and J.Yoder : Exposure and Contamination of the Air and Employees of a Pentachlorophenol Plant(Idaho-1972), Pesticides Monitoring Journal, 9(3), pp.150-153(1975)
- Willis, G.H., J.F.Parr, R.I.Papendick, and S.Smith : A system for Monitoring

- Atmospheric Concentrations of Field-Applied Pesticides,  
Pesticides Monitoring Journal, 3(3), pp.172-176(1969)
- Yeboah, P.O. and W.W. Kilgore: Evaluation of XE-340 as a Trapping Medium for  
Airborne Organochlorine Pesticides,  
Bull. Environm. Contam. Toxicol., 33(1), pp.13-19(1984)
- Zhong, W.Z., A.T. Lemly, and R.J. Wagenet: Quantifying Pesticide Adsorption and  
Degradation during Transport through Soil to Ground Water,  
ACS Symposium Series 315 (American Chemical Society), pp.61-77(1986)

## 【第3章】

- 小林清志・飯田嘉宏: 新版移動論, 朝倉書店(1989)
- Hashimoto, A: A Kinetic Study on the Evaporation of Pesticides on Glass Surface  
in Air Current, J. Pesticide Sci., 14(4), pp.457-464(1989)
- Spencer, W.F., W.J. Farmer, and M.M. Clith: Pesticide Volatilization,  
Residue Reviews, 49, pp.1-49(1973)

## 【第4章】

- 花井義道・山下暁・高橋敬子・加藤龍夫: 大気中の高沸点炭化水素と芳香族誘導体の  
測定, 横浜国立大学環境科学研究センター紀要, 3(1), pp.27-34 (1977)
- 花井義道・加藤龍夫・飯塚徹谷: 大気中ハロゲン化炭化水素の自動分析,  
横浜国立大学環境科学研究センター紀要, 11(1), pp.17-27(1984)
- 花井義道・加藤龍夫・青木祥市: 大気中微量有害成分のGC/MS-SIMによる連続  
自動分析法, 横浜国立大学環境科学研究センター紀要, 11(1), pp.29-36(1984)
- 田中昭雄・真砂秀夫・原善彦・狩野氏家淳雄: 有機リン農薬の簡易・迅速分析法,  
群馬県衛生公害研究所報, 14, 83(1982)
- Billings, W.N. and T.F. Bidleman: Field Comparison of Polyurethane Form and  
Tenax-GC resin for High-volume Air Sampling of Chlorinated Hydrocarbons,  
Environm. Sci. & Techn., 14(6), pp.679-683(1980)
- Brown, R.H. and C.J. Purnell: Collection and Analysis of Trace Organic Vapour  
Pollutants in Ambient Atmospheres. The Performance of a TENAX-GC Adsorbent  
Tube, J. Chromatography, 178, pp.79-90(1979)
- Pellizzari, E.D., J.E. Bunch, B.H. Carpenter, and E. Sawicki: Collection and  
Analysis of Trace Organic Vapor Pollutants in Ambient Atmospheres,  
Environm. Sci. & Techn., pp.552-555(1975)

## 【第5章】

- 實成文彦・浅川富美雪・真鍋芳樹・後藤敦・中島泰知: クロルデン類の室内空気汚染  
に関する研究(第1報 拡散型サンプラーによる気中クロルデンの測定法),  
日本公衆衛生誌, 34(2), pp.55-61(1987)
- 植村振著作: 「松枯れ - 農薬空中散布では防げない -」, 日本消費者連盟(1985)
- 静岡県浜松市空中散布を考える会: 「マツクイムシ防除に関するメモ 人体への影響」  
(第2版)(1985)
- 九州地区薬剤研究会議: 「これでよいのか松枯れ対策 - その疑問にこたえて -」(1979)

## 【第6章】

- 日本産業衛生学会: 許容濃度等の勧告(1989), 産業医学, 31, pp.257-300(1989)
- ACGIH: Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in  
the Work Environment and Biological Exposure Indices with Intended Changes  
for 1984-85,  
American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc.(1984)
- FAO/WHO: FAO plant production and protection papers 78, (1986)
- NAS: National Academy of Sciences committee on toxicology (USA)(1982)

## 【第8章】

- 石坂 智: Ngraph(Ver 5.1), NIFTY-Serve FGALAP LIB-7-73 NGRP51.LZH(1991)
- 川本克也: 有機塩素化合物による環境汚染の評価と予測, 横浜国立大学工学研究科  
博士課程後期 学位論文(1989)
- 川本克也・浦野紘平: 環境科学会誌, 3(4), pp.249-259(1990)
- 川本克也・浦野紘平: 有機塩素系農薬の特定地域での環境中運命予測,  
日本化学会誌, 1991(5), pp.497-504(1991)

- 呉羽化学工業(株) 農薬技術部：フサライドの毒性試験の概要，  
日本農薬学会誌，15(2)，pp.311-314(1990)
- 住友化学工業(株) 農業化学品管理室：フェニトロチオンの毒性試験の概要，  
日本農薬学会誌，13(2)，pp.401-405(1988)
- 彦坂直道・菊池誠太郎・古内文子・町田光子：農薬空中散布の環境および健康への影響  
調査，公衆衛生，54-5，pp.353-358(1990)
- Addison, J.B. : Measurement of Vapour Pressures of Fenitrothion and Matacil,  
Chemosphere, 10(4), pp.355-364(1981)
- Cohen, Y. and P.A. Ryan : Multimedia Modeling of Environmental Transport:  
Trichloroethylene Test Case, Environ. Sci. Technol., 19, pp.412-417(1985)
- Eisenreich, S.J., B.B. looney, and J.D. Thornton : Airborne Organic Contaminants  
in the Great Lakes ecosystem,  
Environm. Sci. & Techn., 15(1), pp.30-38(1981)
- Smith, J.H., D. Mackay, C.W.K. Ng : Volatilization of pesticides from water,  
Residue Reviews, 85, pp.73-88(1983)
- Spencer, W.F., W.J. Farmer, and M.M. Cliath : Pesticide Volatilization,  
Residue Reviews, 49, pp.1-49(1973)

## 謝辞

本研究は、まず全国の実態に関する調査が性質上、重要な内容を占めます。それぞれの地域で農家、市民および自治体などの多くの方々の協力が必要でした。これらの方々に感謝の意を表します。

とくに青山美子医師からは、研究の全般に渡って示唆に富んだ助言と支援をいただきました。丸橋賢医師からは奨学寄付金を得て本研究を継続することができました。

横浜国立大学安全工学大講座で指導教官として懇切なる御教授を給りました上原陽一教授と堀雅宏助手に改めて感謝の言葉を述べさせていただきます。

横浜国立大学環境科学研究センターで本研究を進めるにあたり、長年の環境科学研究の技術を示され、最高の機器を与えて下さった加藤龍夫教授と花井義道助手の献身的な御助力に感謝いたします。

## 発表論文・口頭発表リスト

## (A) 本論文を構成する報文

- 1) 樋田 博・加藤龍夫：  
「農業による大気汚染現象と濃度評価」  
安全工学、27巻6号、387頁-393頁  
1988年
- 2) 樋田 博・花井義道・加藤龍夫：  
「大気中農薬の連続分析法と自動採取法の開発」  
大気汚染学会誌、25巻2号、133頁-142頁  
1990年
- 3) Hiroshi TSUCHIDA and Tatsuo KATOU：  
"Mathematical Model of Pollution caused by Aerial Application  
of Pesticides to Rice Fields"  
CHEMOSPHERE, 24(7), pp.867-880,  
1992年

## (B) 本論文を構成する審査のない報文

- 1) 花井義道・加藤龍夫・樋田 博：  
「農業による大気汚染-基礎実験と実態調査」  
横浜国立大学環境科学研究センター紀要、12巻1号、47頁-59頁  
1985年
- 2) 加藤龍夫・花井義道・樋田 博：  
「野菜单作農業地帯の大気中農薬汚染」  
横浜国立大学環境科学研究センター紀要、13巻1号、15頁-23頁  
1986年
- 3) 加藤龍夫・花井義道・樋田 博：  
「スミチオンの空中散布による大気汚染」  
横浜国立大学環境科学研究センター紀要、13巻1号、25頁-36頁  
1986年
- 4) 樋田 博・花井義道・佐川房江・加藤龍夫：  
「土壌殺菌剤PCNBの環境動態」  
横浜国立大学環境科学研究センター紀要、14巻1号、15頁-23頁  
1987年
- 5) 樋田 博・花井義道・加藤龍夫：  
「水田における空中散布農薬の大気汚染」  
横浜国立大学環境科学研究センター紀要、15巻1号、29頁-48頁  
1988年
- 6) 樋田 博・朱 黎明・加藤龍夫：  
「白蟻防除剤クロルデンの住宅汚染」  
横浜国立大学環境科学研究センター紀要、16巻2号、137頁-145頁  
1990年
- 7) 樋田 博・花井義道：  
「水田空中散布農薬の大気汚染についての継続調査結果」  
横浜国立大学環境科学研究センター紀要、17巻1号、9頁-19頁  
1991年
- 8) 樋田 博・加藤龍夫：

「数理モデルの構築と運用のための会話型計算システムの開発  
 ——環境拡散モデルを例として——」

横浜国立大学環境科学研究センター紀要、17巻1号、1頁-8頁  
 1991年

- 9) 榎田 博・加藤龍夫：  
 (資料)「大気中の農薬汚染の計測技術」  
 安全工学、29巻4号、272頁-279頁  
 1990年

(C) 口頭発表

- 1) 榎田 博・花井義道・加藤龍夫・青山美子：  
 「農薬による大気汚染(1) 揮発速度」  
 第26回大気汚染学会 813 1985年11月
- 2) 花井義道・榎田 博・加藤龍夫・青山美子：  
 「農薬による大気汚染(2) 環境実態調査」  
 第26回大気汚染学会 814 1985年11月
- 3) 榎田 博・花井義道・加藤龍夫・青山美子：  
 「農薬による大気汚染(3) PCNBとMEPの実態調査」  
 第27回大気汚染学会 455 1986年11月
- 4) 榎田 博・花井義道・加藤龍夫：  
 「農薬による大気汚染(4) PCNBの年間変化、水田のNP系農薬空散」  
 第28回大気汚染学会 4328 1987年10月
- 5) 榎田 博・花井義道・加藤龍夫：  
 「農薬による大気汚染(5) 水田への空中散布」  
 第29回大気汚染学会 4319 1988年11月



\*\*\*\*\*  
 \* 付録1 大気自動採取装置 \*  
 \* 取扱説明書 \*  
 \* \*  
 \* 1989年4月1日 (C) 1989 植田 博 \*  
 \*\*\*\*\*

大気自動採取装置 (AAS-2形) の命令一覧表

番号	記号	命令	機能
#1	N (*62)	NOW	現在時刻の設定
#2	S (*71)	START	動作開始時刻の設定
#3	I (*43)	INTERVAL	動作間隔の設定
#4	V (*83)	VOLUME	大気採取量の設定
#5	C (*23)	COUNT	未採取の捕集管の数の設定
#6	L (*53)	LIST	採取動作の記録を表示
#7	T (*81)	TOTAL	積算流量の表示
#8	F (*33)	FLOW	瞬時流量の表示
#9	R (*72)	RELAY	手動操作および状態表示
	D (*31)	CLOCK	日付、時、分、秒の表示
	M (*61)	MENU	必要項目の連続設定

=====  
**命令入力の一般的な操作方法**  
 =====

命令は、番号 (#?) または記号 (\*??) の何れでも入力することができます。例えば、動作開始時刻の設定 (START) をするためには、

#? : NSIVCLTFR: 11:45

の表示のとき、#と2を押せばよく、

Start: 1200 Now: 11:48

修正入力する項目の下に、カーソルの線が出ますから、そこに値を書き込みます。修正の必要のないときには、数字をいれなくてそのまま、#を押してください。変更するときは、正しい数字を入れてから、#を押して下さい。そのとき、数字を間違えたときには、\*に続いて0を押すと一文字戻すことができます。( \*に続いて二ケタの数字を入れると、アルファベットが入力されます。しかし、この自動採取装置には無意味です。)

たとえば、開始時刻を13時30分に設定するときには、1330と数字をいれて、

Start: 1330 Now: 11:48

#を押すと、設定されます。

Start: 1330 Now: 11:48

入力が終わると、カーソルは消えて、次の開始時刻の表示を続けています。別の命令をするときには、#を押して下さい。#を押さないでこのままにしておけば、自動採取装置が動作する度に次の開始時刻を表示し続けます。

=====  
**基本操作の方法**  
 =====



## 電源を入れるとき

本装置を水平な安定した場所に設置して、電源コードをつないで下さい。電源スイッチは、本装置の左下にあります。

電源をいれると、

```
== AUTO AIR SAMPLER ==
```

と表示したあと、

```
PUSH START (SEF-51), #
```

と表示して、止まります。

左上の黄色い流量計 (SEF-51) の青い START ボタンを押して下さい。流量計の表示盤に、歯車のマークが点滅しているのを確認して下さい。点滅していないときは、もう一度 START ボタンを押してみてください。この操作によって、吸引する大気の量の計測が始まります。確認したら、右下のプッシュボタンの # を押して下さい。これ以降の操作は、すべてプッシュボタンで行います。

## 捕集管のセッティング

測定対象成分に応じた吸着剤を充填した捕集管を用意します。捕集管の栓を取り外して、捕集管 (未採取) 保持レールに、これを並べます。本装置は、1度に30本の捕集管を並べておくことができます。試料の採取が終わると、1本ずつレールの下側に排出されます。30本以上の採取を行うときは、途中の任意の時に、捕集管の補充と回収を行うことができます。

## 試料採取条件の最初の設定

つづいて、試料採取に必要な条件の設定を行います。本装置が順番に入力内容を質問しますので、必要な項目に数字をいれてください。現在時刻、開始時刻、採取間隔、採取量、採取本数の順に入力を行います。ここで設定した項目は、いつでも後から訂正、修正、変更することができます。

現在時刻の設定をします。

```
Now: 01st time=0000
```

(日付) (時分)

まず、今日の日付を2桁の数字でいれて、#を押してください。

```
Now: 14th time=0000
```

(日付) (時分)

つぎに、時刻を24時間制で4桁の数字にしていれて、#を押してください。

```
Now: 14th time=0923
```

(日付) (時分)

最初の試料採取時刻を設定します。

```
Start:**** Now:09:23
```

試料採取時刻を24時間制で4桁の数字にしていれて、#を押してください。

```
Start: 1030 Now: 09:23
```

(開始時刻) (現在時刻)

カーソル(数字の下の線)が消えて、設定値が表示されます。#を押してください。

```
Interval: 60 min.
```

(採取間隔(単位:分))

2回目以降の採取の採取間隔を設定します。初期設定値は60分です。このままで良ければ、#を押してください。修正するときは、数字を入力してから、#を押してください。

```
Interval: 30 min.
```

(採取間隔(単位:分))

カーソル(数字の下の線)が消えて、設定値が表示されます。#を押してください。

```
Volume: 20 L 09:24
```

(採取大気量) (現在時刻)

採取大気量を設定します。初期設定値は、20リットルです。このままで良ければ、#を押してください。修正するときは、数字を入力してから、#を押してください。

```
Volume: 15 L 09:24
```

(採取大気量) (現在時刻)

カーソル(数字の下の線)が消えて、設定値が表示されます。#を押してください。

```
Count: 0 tube(s)
```

(未採取の捕集管の本数)

未採取の捕集管の本数を設定します。この数は、捕集管の保持レールの上側ゲートの上に残っている捕集管の数と一致してなければなりません。さきほど、セッティングした捕集管の本数を入力して、#を押してください。

```
Count: 30 tube(s)
```

(未採取の捕集管の本数)

カーソル(数字の下の線)が消えて、設定値が表示されます。#を押してください。これで、設定がすべて終わり、採取開始時刻がくるとポンプが動き始めます。

本装置のカバーをつけてそのまま、採取終了を待ちます。決められた時間間隔で、捕集管に大気を吸引して、捕集管が無くなるまで動作を続けます。

途中で、採取間隔や採取大気量を変更したり、捕集管を追加・回収するときは、カバーを開いて所定の命令で行うことができます。

#### ----- 捕集管の回収 -----

試料を採取した捕集管は、捕集管(採取済み)保持レールに貯ります。捕集管の横に刻印してある捕集管番号をノートに記録しながら順番に回収して、栓を付けて保存します。LIST命令によって、採取動作の記録を表示できますから、これもノートに書き写します。LIST命令は、#に続いて6を押します。

```
List: UP=2 DOWN=8
```

と表示したのち、最後の採取の記録を表示します。

11	14.15:30-	15	20
----	-----------	----	----

採取番号 日付 時 分 採取時間 採取量

採取番号 : 電源を入れてから、何番目の採取であることを示す。  
 時刻 : 採取開始時刻  
 採取時間 : ポンプが動作していた時間 (単位:分)  
 採取量 : 吸引できた空気量 (単位:リットル)

数字の2と8で、前や後の記録を表示させることができます。2を押すと最初の捕集管の記録から順番に、8を押すと1つ前の記録を表示します。最大200本分の記録を持つことができます。

この例では、11番目の試料は、14日の午後3時30分から採取したもので、採取終了時刻は午後3時45分、採取量は20リットルであることがわかります。もし目詰まりした捕集管などで、採取予定量を採取できないものがあったときは、この表示が、例えば

6	14.10:30-	58	5
---	-----------	----	---

採取番号 日付 時 分 採取時間 採取量  
 のようになります。58分間かかって、5リットルの採取しかできなかったのですから、捕集管に何らかのトラブルがあったことが判ります。本装置では、次の採取開始時刻の2分前になると、大気の前定採取量に満たなくても強制的に採取を中止して、次の捕集管の採取に備えるようになっています。

#### ----- 電源を切るとき -----

ポンプやモーターが止まっているときなら、いつでも電源を切ることが出来ます。本装置の左下の電源スイッチを切ってください。

しかし、ポンプが動いているときには、ポンプを停止して吸引管を捕集管から外さなければなりません。そのためには、RELAY命令で大気採取を中断することができます。

#に続いて9を押すと、RELAY命令になります。

Relay:01	7	0	P
----------	---	---	---

最後のPの文字が大気採取中の表示です。ここで、\*を押すと大気採取を中断することができます。吸引管がはずされて、捕集管が下に落ちたら、電源を切ることができます。RELAY命令の詳しい説明は、各命令の説明で行います。

#### ----- 命令の指定 -----

すべての命令は、どんなときでも実行して、設定値を修正したり、表示したりすることができます。番号で命令を指定するときには、#を押すと、

#?:NSIVCLTFR:#	11:45
----------------	-------

(命令の一覧表) (現在時刻)

と表示されますから、左から何番目の命令かを数えて、数字を入力すると命令が実行されます。

命令の頭文字で指定するときは、\*を押すと、

296 *??:CDFILNMRSTV:*
-----------------------

## (命令の一覧表)

と表示されますから、命令の頭文字の書いてある数字を押して、次に、左中右に対応して123のいずれかを押します。

たとえば、S (START) は、7のキーが、

PRS
7

となっていますから、\*73です。

-----  
キーの使い方

プッシュキーボタンは、0から9までの数字と、#、\*の全部で12個からなっています。本装置では、これらを組み合わせて、数字とアルファベットを入力できるようになっています。アルファベットの入力には、まず\*を押してから、数字キーの上には3文字のアルファベットが刻印されていますのでその数字を押し、続いて左中右に対応して123のいずれかを押します。

0~9	数字
#	入力 (enter)、実行
*0	1文字訂正 (BS)
*??	アルファベット

## =====

## 命令毎の解説

=====

各命令をABC順に解説します。設定値の表示修正方法は、最初のページをご覧ください。

-----  
COUNT (#5, \*23)

Count: 0 tube(s)
------------------

(未採取の捕集管の本数)

未採取の捕集管の本数を設定します。この数は、捕集管の保持レールの上側ゲートの上に残っている捕集管の数と一致してなければなりません。捕集管を追加したときは、この命令で追加本数だけ数を増やします。

本装置は、採取を行う度に自動的に1つつ減少します。未採取の捕集管の本数がゼロになると、つぎの採取時刻が来ても採取を始めません。捕集管を追加して、この数字も再設定してください。つぎの時刻からまた採取を始めます。

-----  
DISPLAY CLOCK (\*31)

Clock: 01st 12:25:48
----------------------

日付            時      分      秒

現在時刻の表示をします。

-----  
 FLOW (#8, \*33)  
 -----

Flow = 0.00 L/min 13:28

(瞬時流量) (現在時刻)

現在の瞬時流量を表示します。

-----  
 INTERVAL (#3, \*41)  
 -----

Interval : 60 min.

(採取間隔 (単位:分))

採取間隔を設定・表示します。

-----  
 LIST (#6, \*53)  
 -----

List : UP=2 DOWN=8

と表示したのち、最後の採取の記録を表示します。

11 14.09:30 - 15 20

採取番号 日付 時 分 採取時間 採取量

採取番号 : 電源を入れてから、何番目の採取であることを示す。  
 時刻 : 採取開始時刻  
 採取時間 : ポンプが動作していた時間 (単位:分)  
 採取量 : 吸引できた空気量 (単位:リットル)

数字の2と8で、前や後の記録を表示させることができます。2を押すと最初の捕集管の記録から順番に、8を押すと1つ前の記録を表示します。最大200本分の記録を持つことができます。

-----  
 MENU (\*61)  
 -----

電源を入れたときと同様に、現在時刻、開始時刻、採取間隔、採取量、残り本数の表示と設定を続けて行います。

-----  
 NOW (#1, \*62)  
 -----

Now: 14th time=0923

(日付)

(時分)

現在時刻の表示と設定を行います。

-----  
 RELAY (#9, \*72)  
 -----

Relay: 01234567LR0WSP

この例では、わかりやすいようにすべての文字を並べてあるが、実際には条件にあった文字だけが表示される。その条件とは、

- 0～7 : リレー信号の0～7が出ていることを示す。
- 0 : モーターを逆回転させる。
- 1 : 吸引チューブの接続モーター
- 2 : 左ゲートのモーター
- 3 : 右ゲートのモーター
- 4～6 : なにもつながっていません。
- 7 : ポンプの電源
- L : 左(下側)ゲートのマイクロスイッチ
- R : 右(上側)ゲートのマイクロスイッチ
- O : 自動大気採取動作中(operate)
- W : 秒単位の時間待ち(wait)
- S : マイクロスイッチの状態が変化するまでの待ち(switch)
- P : 大気採取ポンプ自動運転中(pump)

RELAY命令中では、次のキーで大気採取装置の手動操作をすることができる。

- 0～7 : 対応するリレーのON/OFFを反転させる。
- 8, 9, # : RELAY命令の終了。
- \* : 自動運転中のポンプを強制停止して、捕集管を排出する。

-----  
 START (#2, \*73)  
 -----

Start: 1200 Now: 11:48

(開始時刻)

(現在時刻)

自動採取を開始する時刻を表示・設定する。  
 自動採取が始まると、採取間隔を加えた次の採取時刻に自動的に書き換えられる。

-----  
TOTAL (#7, \*81)  
-----

Total:        12 L        16:21
---------------------------------

(積算流量)

(現在時刻)

積算流量と現在時刻の表示

-----  
VOLUME (#4, \*83)  
-----

Volume:        20 L        16:35
----------------------------------

(採取大気量) (現在時刻)

採取大気量の表示・設定と現在時刻の表示

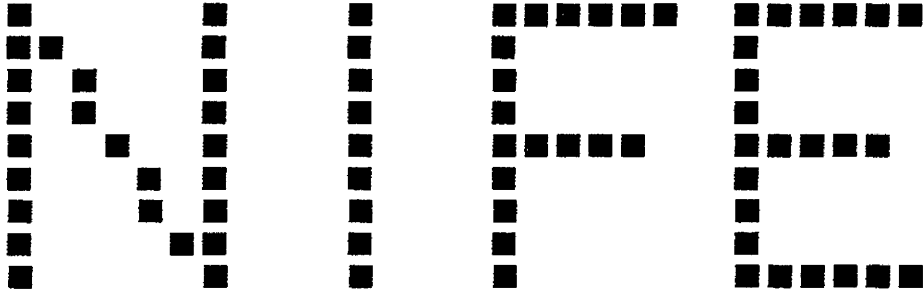
=====  
**本体仕様**  
 =====

名称：	自動大気採取装置 (AAS-2)
本体外寸：	横幅 82 cm、 高さ 58 cm、 奥行き 28 cm。
電源：	AC100V200W
大気捕集管数：	1～30本 (1本単位で指定、途中で追加補充可能)
自動採取間隔：	5～1439分 (1分単位で指定)
採取大気量：	1～999リットル (1リットル単位で指定)
採取動作記録件数：	最大200本分
基本命令数：	11 (各種設定、状態表示、手動制御)
制御装置：	Z80相当マイクロコンピュータ (4MHz)
表示装置：	20桁1行液晶表示器
入力装置：	プッシュボタン (テンキー、#、*)
大気吸引ポンプ：	ヤマトPG-15
積算流量計：	エステックSEF-51
大気吸引速度：	0～2リットル/分





付録 2



N I F E [Ver 1. 53] リファレンスマニュアル  
( Numerator of Itemized Formula Expressions.)

(C)1991 THUCHIDA Hiroshi

( 1 Page: 80 columns, 60 lines )

## 【目次】

項目	PAGE	項目	PAGE	項目	PAGE
NIFE.....	3	組込関数.....	13	印字.....	23
menu.....	3	builtinfunctio	13	print.....	23
目次.....	3	average.....	14	text.....	23
top.....	3	dim.....	14	message.....	23
著作.....	4	det.....	15	名変更.....	24
著作権.....	4	if.....	15	rename.....	24
copyright.....	4	if関数.....	15	changename....	24
連絡先.....	4	inpr.....	15	表示.....	24
著作者.....	4	lookup.....	15	list.....	24
author.....	4	mod.....	16	save.....	24
address.....	4	sigma.....	16	保存.....	24
mail.....	4	sum.....	17	型.....	25
試用者.....	5	行列の組込関数	17	type.....	25
友好利用者....	5	キー割当.....	17	select.....	25
料金支払い者..	6	key.....	17	watch.....	26
通常利用権....	6	ctrlkey.....	17	reference.....	26
謝辞.....	6	定義.....	17	参照関係.....	26
thanks.....	6	definition....	17	非表示.....	26
企画.....	7	関数.....	18	color.....	27
参考文献.....	7	function.....	18	色.....	27
動作環境.....	8	外部関数.....	18	Xmax.....	27
操作.....	8	外部関数詳説..	19	Xmin.....	27
operation.....	8	行列.....	19	Ymax.....	27
操作2.....	8	関数型行列....	20	Ymin.....	27
operation2....	8	変数.....	20	論理座標.....	27
起動時環境....	9	var.....	20	VXmax.....	28
環境変数.....	9	variable.....	20	VXmin.....	28
C F G設定....	9	変数利用.....	20	VYmax.....	28
複文.....	10	別名.....	21	VYmin.....	28
記号.....	10	alias.....	21	物理座標.....	28
mark.....	10	comment.....	21	マウス.....	28
ファイル.....	10	注釈.....	21	mouse.....	28
file.....	10	rem.....	21	Xmouse.....	28
end.....	11	remark.....	21	Ymouse.....	28
quit.....	11	手続き.....	21	cls.....	28
ctrlZ.....	11	proc.....	21	do.....	29
終了.....	11	procedure.....	21	実行.....	29
命令.....	11	edit.....	22	手続きファイル	29
command.....	11	編集.....	22	break.....	29
cmd.....	11	del.....	22	repeat.....	30
com.....	11	消去.....	22	繰り返し.....	30
命令2.....	11	delete.....	22	for.....	30
グラフ.....	12	erase.....	22	if.....	30
graph.....	12	undefine.....	22	if命令.....	30
計算表示文....	12	new.....	23	while.....	31
計算.....	12	全削除.....	23	set.....	31
calculate.....	12	sys.....	23	設定.....	31
calc.....	12	system.....	23	setfile.....	31
ワイルドカード	13	msdos.....	23	setproc.....	31
計算順序.....	13	dos.....	23	setdata.....	31

## 【目次】

項目	PAGE	項目	PAGE	項目	PAGE
setlog.....	31	SYS013.....	40	MEM007.....	45
setassist.....	32	SYS014.....	40	MEM008.....	45
setend.....	32	SYS015.....	41	MEM009.....	45
setformat.....	32	SYS017.....	41	MEM010.....	45
書式.....	32	SYS018.....	41	MEM011.....	45
format.....	32	SYS019.....	41	MEM012.....	45
setname.....	33	SYS020.....	41	MEM013.....	45
setecho.....	33	SYS021.....	41	MEM014.....	45
settalk.....	33	SYS022.....	41	MEM015.....	45
settrace.....	33	SYS023.....	41	MEM016.....	45
setstep.....	34	SYS024.....	42	LIMIT001.....	46
setwatch.....	34	SYS026.....	42	LIMIT002.....	46
setreflexive..	34	SYS027.....	42	LIMIT003.....	46
matrix.....	35	SYS028.....	42	LIMIT004.....	46
input.....	35	SYS029.....	42	LIMIT005.....	46
move.....	35	SYS100.....	42	LIMIT007.....	46
to.....	35	CALC001.....	43	LIMIT008.....	46
draw.....	36	CALC002.....	43	FILE001.....	46
作画.....	36	CALC003.....	43	FILE002.....	46
dot.....	36	CALC004.....	43	FILE003.....	46
点描.....	36	CALC005.....	43	FILE004.....	46
coord.....	37	CALC006.....	43	FILE005.....	46
Xscale.....	37	CALC007.....	43	FILE006.....	47
Yscale].....	37	CALC008.....	43	FILE007.....	47
addin.....	37	CALC009.....	43	const.....	47
外部命令.....	37	CALC010.....	43	定数.....	47
中断.....	37	CALC011.....	43	常数.....	47
ESC.....	37	CALC012.....	43	物理定数.....	47
help.....	38	CALC013.....	44	電磁気定数.....	47
@.....	38	CALC014.....	44	素粒子定数.....	48
@.....	38	CALC015.....	44	物理化学定数..	48
@.....	38	CALC016.....	44	使用例.....	49
@【.....	38	CALC017.....	44	煙突.....	49
ヘルプファイル	38	CALC018.....	44	煙突 2.....	49
ヘルプファイル	38	CALC019.....	44	煙突 3.....	50
helpfile.....	38	CALC020.....	44	煙突 4.....	50
ヘルプ索引....	39	CALC021.....	44	煙突 5.....	50
N I F E ヘルプ	39	CALC022.....	44	煙突 6.....	51
SYS001.....	40	CALC023.....	45	煙突 7.....	53
SYS002.....	40	CALC024.....	45	煙突 8.....	54
SYS003.....	40	CALC025.....	45	煙突 9.....	54
SYS004.....	40	CALC026.....	45	煙突 1 0.....	55
SYS005.....	40	CALC027.....	45	煙突 1 1.....	56
SYS006.....	40	CALC028.....	45	煙突 1 2.....	56
SYS007.....	40	MEM001.....	45	煙突 1 3.....	57
SYS008.....	40	MEM002.....	45	煙突復活.....	57
SYS009.....	40	MEM003.....	45	? アプリケーシ	58
SYS010.....	40	MEM004.....	45	? グラフが描け	58
SYS011.....	40	MEM005.....	45		
SYS012.....	40	MEM006.....	45		

=====

【プログラムの概要】

=====

B馬鹿でも Aアホでも Sすぐに Iいじれる Cコンピュータ といわれる Beginner's All-purpose Symbolic Instruction CodeつまりBASIC言語が最初に目指していたものは、あのスバゲッティプログラムではなく、ダイレクトモードでの会話型の操作環境であったのだらうと思います。しかし、いつのまにかBASICはプログラムモードでの使用が中心になってダイレクトモードは忘れ去られていきました。

このプログラムNIFEでは、改めてダイレクトモードのインタープリターに脚光を当てようとしています。それは、関数電卓のための新たな言語の提案でもあり、理工系の学生への福音でもあります。

BASICとNIFEの違いを挙げるなら次の4点に凝縮されるでしょう。

- (1) BASICが変数とその計算を基礎に成り立っていると考えるのなら、このNIFEは、関数とその計算を基礎に成り立っています。
- (2) BASICがsaveするものは変数の値でなくプログラムですが、NIFEがsaveするものは関数の定義です。
- (3) 従来の高級言語プログラムは、データ処理の順序を記述するように設計されていますが、NIFEは、数学の式のような順序と無関係な関数定義の集まりを処理するため設計されています。
- (4) 強力な手続きファイル機能とユーザーカスタマイズ可能なヘルプ機能を持ち、科学技術計算の他にもCAIや科学公式事典などの用途が考えられます。

つまりNIFEは、関数定義をオブジェクトとするオブジェクト指向言語なのでした。具体的に比較してみましょう。

PC9801にディスクをいれなくてROM-BASICを起動して、次の計算をさせてみましょう。

Y=10000	販売価格 (Y) が10000円の品物があります。
TAX=INT((3/103)*Y)	内税を計算してみましょう。
? TAX	値はいくらでしょう。
291	291円が税金でした。
Y=2500	次の品物の販売価格は2500円です。
? TAX	税金はいくらでしょう
291	???あれあれ、10000円の品物と同じ税金が!!!
TAX=INT((3/103)*Y)	もう一度、内税を計算してみましょう。
? TAX	
72	やっと正しい税金が計算できた。

つまり、計算が済んだあとで元のパラメータ (ここではY) を変更しても、計算結果 (ここではTAX) の値に影響をあたえることはできないのです。これが、計算結果の値だけを覚えている代入文の限界です。従来 of 計算機言語のほとんどは、この代入文がプログラミングのほとんどを占めていました。

でも、NIFEは違います。同じことをやってみましょう。

A>NIFE	NIFEをMSDOSから起動します。
> Y=10000	販売価格10000円です。
> TAX=int((3/103)Y)	内税の計算式を覚えさせます。
> TAX	内税はいくらになるのでしょうか。
TAX=291	291円です。(ここまではBASICとおなじです。)
> Y=2500	販売価格を2500円に替えましょう。
old: Y=10000	
new: Y=2500	価格を変更したことをNIFEが確認します。
> TAX	内税はいくらになるのでしょうか。

TAX=72

計算式の通りに正しい税金を計算してくれます。

NIFEは計算結果の数値ではなく、計算の式を記憶していますから、式のパラメータに変更があったときでも、常に正しい値を表示することができます。

必要な関係式を定義してさえ置けば、いつでもどんなパラメータでも自由に値を変更することができて、その計算結果はいつ見ても、関係式に定義された関係を保つておくことができます。これがNIFEのシミュレーション機能です。

- 関数の定義は、完全に数学の式と同じに記述する。  
例： $f(x, y) = x + 2y$   
 $S = (a + b)h / 2$
- 計算式を書くと、値を計算して表示する。  
例： $1 + 2 + 3$   
 $f(S + 2, S^2) + f(S - 2, \text{sqrt}(S))$
- 変数への代入もサポートする。代入記号として、<を使う。  
例： $x < 55$   
 $y < 1 + 2 + 3$
- 行列やベクトルの計算（四則演算と逆行列など）ができる。  
例： $A[2, 2] = \{1, 3, 5, 1\}$   
 $B[2, 2] = \text{inv}(A) + A$
- 繰り返しや、定義式のファイル保存など、いくつかの命令を用意する。  
繰り返し：`. repeat 10; x < x + 10; f(x); g(x)`  
定義保存：`. save (ファイル名)`  
定義読出：`. do (ファイル名)`  
定義変更：`. edit (関数名)`  
グラフ作画：`. draw (グラフデータ) (MSDOS版では使用できません)`  
など多数の制御命令がある。
- 手続き定義文をつかって、マクロ命令がつくれる。
- 強力な入力支援メッセージ(assist)とオンラインヘルプ(.help)を備えている。
- インタプリタで動作することで、式の変更や追加を迅速かつ容易に行うようにする。

NIFTY-ServeのFGALAP-会議室7番では、NIFE実践講座が休眠中です。様々な具体例で、NIFEの使用方法を解説しています。ご覧ください。質問もお受け致します。

みなさんからの質問や要望をぜひ、お聞かせ下さい。なお、NIFEは挨拶強要ウェアですので、ヘルプファイルの利用権の取得の説明をよくお読みになって手続きをとってくださいませよう、御協力をお願い致します。

樋田 博

@@

【 NIFE menu 目次 top 】

```
*****
NIFE [Ver 1.53]
(Numerator of Itemized Formula Expressions.)
*****
(C) 1991. TSUCHIDA Hiroshi.
```

このプログラムは、箇条書にした数式を評価演算します。

- 関数定義式を書くと、その場では評価せずに、関数メモリに記憶されていきます。
- 数式を書くと、定義式を参照しながら演算が行われて、結果が表示されます。

3. 計算結果は、必要に応じて変数メモリに記憶したり、ファイルに書き出したり、グラフ(PC9801版のみ)として表示したりできます。
4. 行列定義式を書くと、その定義を関数メモリに記憶した後、各要素が計算されて変数として保存されます。行列を数式通りに四則演算できます。
5. 記憶した定義式や変数は、ファイルに書き出して後日再利用することができます。
6. いくつかのまとまった命令を手続きとして登録することができます。
7. あらかじめ、定義式などの命令を手続きファイルに作成しておくことができます。

つぎの中から表示したい解説の項目を選んでください。

@ 1:関数 2:計算 V:変数 F:ファイル G:グラフ 4:行列 5:保存 &  
& 6:手続き 7:操作 8:命令 D:定義 M:記号 L:物理定数 C:著作 \*:使用例

@@

【 著作 著作権 copyright 】

=====  
(C) 1991 榎田 博. All Rights Reserved.  
=====

このプログラムは、N I F E (ナイフ) と称するシェアウエアです。しかし、無料で友好利用者になれるので、NIFTY-FGALAPではフリーウエアに準じた扱いをされます。このプログラムについての著作権上のすべての権利は榎田博がもっています。

このプログラムの利用権は、次の3つのいずれかに当てはまる者に与えられます。

1. プログラムを入手してから、このプログラムを試用する期間。(試用者)
2. 著作者に友好を表明している者(友好利用者)
3. 利用料金を送金した者(料金支払い者)

\*\* 免責 \*\*

1. このプログラムの仕様は、上記の利用権取得者にも連絡する事なく突如、変更され続けています。
2. このプログラムによって得た結果の確認・検算は、利用者の責任とします。
3. 本プログラムの実行結果について、著作者はいかなる責任も負いません。

\*\* 禁止事項 \*\*

1. 本プログラムを改造、改変すること。
2. 本プログラムの譲渡につき、送料(通信費等を含む)以外の金品を徴収すること。

@ T:試用者 G:友好利用者 F:料金支払い者 M:連絡先 D:動作環境

@@

【 連絡先 著作者 author address mail 】

著作者: 榎田 博 (つちだ ひろし)  
Author: Mr. TSUCHIDA Hiroshi.

in Japan-----

- ◎ NIFTY : MHB02012
- SIMAIL: 横浜国立大学/環境科学研究センター/榎田 博
- PC-VAN: GAG90302 knife

international-----

- BITNET: D33345@jpnac.bitnet
- CSNET : D33345@sinet.ad.jp
- CIS : 71711,2012
- GENie : T.HIROSHI

- 
- ◎ POST : 〒240 横浜市保土ヶ谷区横浜国立大学環境科学研究センター
  - ◎ POST : the Institute of Environmental Sci. and Tech.,  
Yokohama National University, Yokohama 240, JAPAN.

- 郵便振替：東京6-354432 樋田博  
 ○印は、著作者による日常的なサポートが可能なネットです。ご意見ご感想は、できるだけNIFTY-FGALAP-3会議室-7情報管理統計ソフトへお寄せ下さい。  
 @ C:著作権 M:目次

@@

## 【 試用者 】

- N I F Eを入手した者（人間のみ＝法人・団体は含まない）は、  
 1回限り、自動的に試用者としての利用権を得ます。  
 試用者としての権利を失うのは、  
 1. 友好利用者または料金支払い者になったとき。  
 2. 実行結果や作成した手続きを第三者に見せたとき。  
 （他のプログラム（エディタやデータベース、表計算、作画など）で加工したものを見せたときを含む。）  
 ----->直ちに、友好利用者または料金支払い者になってください。  
 3. N I F Eを破棄したとき。  
 試用者の権利を失ったものは、そのバージョン以前のN I F Eについては、再び試用者の権利を得ることはできません。友好利用者または料金支払い者になってください。

- 試用者に許された利用権は以下のものだけである。  
 1. 本プログラムを実行し、結果を得ること。複製を作成、所持すること。  
 2. 20行未満の手続きを作成し、本プログラムに実行させること。  
 3. 本プログラムを他者に無償で譲渡すること。

@ C:著作権 G:友好利用者 F:料金支払い者 M:連絡先

@@

## 【 友好利用者 】

- 著作者に友好を表明した者（人間のみ＝法人・団体は含まない）は、友好利用者として通常の1年間の利用権を取得する。毎年正月に著作者に挨拶する必要がある。（なお、宗教・地域社会の都合で別の時期（たとえばクリスマス）に挨拶する習慣のある者は、その挨拶で以後1年間の利用権を得る。）料金は無料である。最初の友好の表明は正月に限らず、いつでも受け付けられる。  
 友好の表明の方法は、特に指定されない。著作者宛に電子メールを送付してもよいし、FGALAPの7番会議室に書き込んでもよい。もちろん、郵便ハガキ1枚でも結構である。もしも、バグを発見した場合にはできるだけFGALAPの会議室（7番）に報告して欲しい。メールでは、他の利用者がバグの存在を知ることができないからである。友好の表明に最低限含まれるべき事項は、  
 名前（もしくはハンドル）、住所（もしくはID）、「友好の表明を示す文章」、および「登録の意志を示す文章」の四点である。

- 友好利用者の資格を喪失するのは、以下の場合である。  
 1. 毎年1回（正月など）、電子メール（FGALAP-7番会議室での公開メールを含む）または郵便物を著作者に送らなかったとき。  
 （電子メールはメールボックスが満杯のときは受け付けられない。）  
 N I F Eをどんな場面でどのくらい使用したかについて、職業上の秘密などに差し支えない程度に知らせていただけるとうれしい。  
 2. 著作者に非友好の宣言をしたとき。

@ C:著作権 T:試用者 F:料金支払い者 M:連絡先 R:通常利用権



@@

## 【 料金支払い者 】

著作者に友好を表明しないでNIFEを今後も使用したい場合は、事務的に郵便振替用紙に住所と名前を明記して5000円を送金すればよい。「友好の表明」は、書かなくてもよい。また、毎年正月の挨拶も義務ではなくなる。

郵便振替：東京6-354432 樋田博

料金支払い者には、通常の利用権が認められる。この支払いによってNIFEの将来のバージョンアップ版(Ver.1.XX, 2.XX)についての通常の利用権も得られるが、NIFEの根本的改訂版(Ver.3.00)以降については利用権の継続を保証しない。また、料金支払い者に対して個別にバージョンアップ版のお知らせや郵送を行うことは、保証できないので、バージョンアップ情報の入手にはそれぞれ努力してください。著作者の広報の義務は、NIFTY-FGALAP-会議室7番までといたします。

著作権のページの免責事項を御了解承認の上、料金を送金して下さい。

@ C:著作権 T:試用者 G:友好利用者 M:連絡先 R:通常利用権

@@

## 【 通常利用権 】

この許可は、人間に対して行われ、法人・団体は含まれない。法人・団体では実際に操作する者がそれぞれ利用権を取得しなければならない。許可された人間が直接操作する限り、何台のコンピュータ上で実行してもよい。利用権取得者にはNIFE終了時の著作権の注意書きを無表示にする簡単な方法が通知されます。

通常の利用権で許されるのは、

1. 本プログラムを実行し、結果を得ること。複製を作成、所持すること。
2. 任意の手続きを作成し、本プログラムに実行させること。
3. 実行結果や作成した手続き等を記録、加工、編集して譲渡、公表すること。
4. 本プログラムを他者に無償で譲渡すること。
5. 他のBBSに転載登録すること。(条件:著作者が提供したアーカイブのまま転載すること。著作者に転載の通知をすること。)
6. 本プログラムの機能向上を提案し、バグを報告すること。(勝手な改変は禁止)
7. 教育機関の教室で、教育のために利用権者の直接指導の元で、複数の生徒学生に本プログラムの操作・実行をさせること。

以下の項目に付いては、著作者にその都度許可を得て下さい。

1. 他の機種に移植するとき。(著作者としてはできるだけ支援します。)
2. 有料の雑誌や本などに電子的に本プログラムを掲載すること。  
(紹介記事は、たくさんお願い致します。)
3. NIFEを改造改変するとき。

@ C:著作権 A:連絡先 T:謝辞 R:参考文献

@@

## 【 謝辞 thanks 】

本ソフトウェアの開発に当たりフリーウェアである以下のソフトに多大なる恩恵を受けました。作者の方々のご努力に感謝致します。また、これらを紹介していただきましたFGALsのSYSOP, SUBOP, FORUMOPの方々にもお礼申し上げます。また、FLABOの皆さんには技術的な様々な援助をいただきました。

FD : 出射 厚氏  
MS : K-CRAFT氏

FM : K.Torii氏  
LHA : 吉崎栄康氏

DIET : Teddy Matsumoto氏  
 mabTerm : 馬淵 淳氏(FMSX)  
 BDIFF/BUPDATE : T. Tanaka氏  
 SWAP : Nico Mak and Mansfield Software Group  
 PRT++ : (シェアウェア) 豊嶋久道氏

本ソフトウェアの利用規定に関しましては、煩雑で御面倒に思われるかもしれませんが、作者としては誰がどこでどのようにこの作品を使用しているのかに興味があります。また、当初からの計画として様々なライブラリや事典、コースウェアの作成を企画したいと考えていますので、そのお知らせや協力を求めたいと思います。

挨拶強要ウェアとして登場してからおよそ1年がすぎ、ダウンロード数が数百で、登録者数が約40といったところです。別になにか義務が生じるわけでもありませんから、ぜひ試用者から通常の利用権取得者になってください。メールひとついただければ、それで作者は満足するのですから。

@ C:著作権 A:連絡先 P:企画

@@

【 企画 】

=====  
 企画を募集中  
 =====

NIFEを使って様々な試みができるのでしょうか。企画を募集しています。たとえば、

ヘルプ機構を使った 物理公式事典の作成  
 ヘルプ機構を使った C A Iコースウェアの作成  
 手続きファイルを使った 機能別ライブラリの作成

企画や作品ができましたら、ぜひ公開して下さいますようお願いいたします。通常の利用権取得者であれば、このような作品を有料・無料を問わず公開することができます。

今回、物理化学事典のプロトタイプを入れておきました。ご覧になって好奇心が刺激されたかたは、著作者までご連絡ください。事典の起動方法は、  
 > .do physchem.ndc  
 です。

@ R:通常利用権

@@

【 参考文献 】

なお、学術論文へのNIFEの引用または利用の場合には、参考文献に

植田 博・加藤龍夫：数理モデルの構築と運用のための会話型計算システムの開発——環境拡散モデルを例として——，横浜国立大学環境科学研究センター紀要，17(1)，pp.1-8 (1991)。  
 Hiroshi TSUCHIDA and Tatsuo KATOU: Development of a Interactive Numerator to make and use Simulation Models —With an illustration of an environmental diffusion model—, Bulletin of the Institute of Environmental Science and Technology Yokohama National University, 17(1),pp.1-8 (1991).

を記載していただければ幸いです。

@ C:著作権 A:連絡先

@@

【 動作環境 】

PC9801版は、VRAMからの文字の取り込みとファンクションキーの定義、グラフィック描画のために、PC9801とその互換機でしか動作しません。配布のアーカイブ名は N I F E (番号) . L Z Hです。

MS-DOS汎用ESC版は、上のPC9801版から機種依存になる機能を取り除いたものです。したがって、グラフなどは描くことができません。配布のアーカイブ名は N I F E (番号) E . L Z Hです。

他の機種への移植を希望される方は、旧バージョンのN I F E (Ver1.2)のソースが、N I F T Y - S e r v e F G A L A P - L I B # 7 にあります。また、機種依存が問題になる入出力の部分のソースもF L A B Oで公開していますから、ご検討になってください。その上で、著作者に連絡していただければ、最新のソースの提供をさせていただくこともあります。

動作確認機種： PC-286VF  
 動作確認DOS： MS-DOS Ver3.1  
 開発言語： MS-Quick C (Ver2.0)

@

@@

【 操作 operation 】

=====  
 起動方法  
 =====

A>nife MS-DOSから、n i f eで起動します。

A>nife (手続きファイル[.PRC])

n i f eを起動して手続きを実行します。  
 手続きファイルが.end命令で終了しているときには、  
 N I F Eを終了して、MS-DOSに戻ります。

A>nife help [単語]

n i f eの解説を表示します。

=====  
 終了方法  
 =====

> .end 終了命令を入力します。

=====  
 計算の中断  
 =====

計算中にESCを押すと計算を打ち切って、つぎの作業ができます。  
 また、手続きなどの実行中に任意キーを押すと、命令の挿入ができます。

@ O:操作2 S:使用例 E:起動時環境 P:手続きファイル

@@

【 操作2 operation2 】

\*\*関数の定義文\*\*

> (関数名) = (式) (注釈)

\*\*命令はピリオドで始まります。\*\*

> .save (file名[.PRC]) (型)

> .list (型)

```

**変数の定義文**          > .select {+|-} (名) [{+|-}(名)]...
> (変数名) < (式)          > .edit (名)
                             > .new
**計算表示文**          > .help (名)
> (式)                      > .repeat (式); (複文)
                             > .set (指定項目) (指定)
**定義表示文**          > .del (名), (名), (名) ...
> (名) =                    > .sys (MS-DOSコマンド)
                             > (手続き名) > (複文)
**複文**                > .do (手続き名)
> (文); (文) ...           > .do (file名[.PRC])
                             > .matrix (行列名), (行列名) ...
**別名**                > ' (注釈)
> (別名) == (定義名)       > = (注釈)
                             > .syk (file名[.SYM])  ほか多数あります。

```

@ D:定義 C:計算 L:表示 .:命令 M:記号 S:使用例

@@ 【 起動時環境 環境変数 】  
●機能追加1.4

MS-DOSからNIFEを起動するときに、次の環境変数を設定することで、機能を選択することができます。

A>set NIFECFG= (自動読み込み手続きファイルのフルパス名)

これが設定されているかもしくは、NIFE.EXEのあるディレクトリにNIFE.CFGがあると、自動読み込み手続きファイルとして、まず最初に読み込まれます。.set命令などの初期値の変更などを記述したり、アプリケーションのオートスタートに利用できます。

環境変数に指定するのは、上記のNIFECFGだけになりました。

その他の設定は、この自動読み込み手続きファイル(CFGファイル)のなかですることになります。

@ C:CFG設定

@@ 【 CFG設定 】

自動読み込み手続きファイル(CFGファイル)のなかで、様々な設定が行えます。ファイルのなかの任意の行に、各行の行頭から空白などは入れずに、記述して下さい。

NIFEHELP= (ヘルプファイルのフルパス名)

.help命令で利用するヘルプファイルを変更します。

NIFEOS=MSDOS98

NEC-PC9801、エプソンPC286(386)を使用する方は、必ず設定して下さい。

以下は、NIFE(ESC版)で有効です。

NIFEOS=MSDOSFM

富士通FMR、FM-Townsを使用する方は必ず設定して下さい。

NIFEOS=IBMDOS

IBM PS/55などを使っている方は必ず設定して下さい。

NIFEOS=MSDOSESC

ANSIエスケープシーケンスの使えるMS-DOSの機種の方は、この設定です。(J-3100、AXなど)

のように指定して下さい。

●変更1.49

@ H:help P:手続きファイル S:set

@@ 【 複文 】

=====  
複文  
=====

関数定義文、変数定義文、計算表示文、各種命令文などは、記号 ; で区切ることで、1行に幾つも並べることができます。  
これを複文といいます。

@

@@ 【 記号 mark 】

= 関数定義：左辺に関数名、右辺に定義式を書く。  
> 手続定義：左辺に手続き名、右辺に手続きの複文を書く。  
< 変数定義代入：左辺に変数名、右辺に数式を書く。  
[] 行列の添え字、単位：行列の添え字を指定する。単位を明示する。  
{ } 行列の要素：行列の要素を並べて記述する。  
( ) 計算順序、関数引数：数学の書式通りの意味です。  
- 減算、指定解除：数学の減算。selectやwatch命令では、指定解除。  
+ 加算、指定：数学の加算。selectやwatch命令では、指定。  
\* 乗算、行列の不定添え字：数学の乗算。単語の切れ目が明確なら省略してもよい。  
/ 除算：数学の除算。  
^ 累乗：数学の累乗。実数乗も可能。  
, コンマ：引数などの句切り、計算の句切り。  
# 番号、ワイルドカード：定義文の登録番号、定義名のワイルドカード（無条件一致）。  
? ワイルドカード：定義名のワイルドカード（一文字一致）。  
! 非表示指定：定義式や命令文の先頭につけると、非表示の指定になる。  
\$ Watch指定：定義式の前頭に付けると、常時表示（watch）の指定になる。  
" 文字列：文字列の表示命令を表す。  
& 継続行：命令を次の行に継続する。  
' 注釈開始：これ以降は注釈文。  
; 文末：1つの命令ごとに、この文末記号で区切る。複文の句切り。  
% マクロ置換：.do命令で解釈するとき、MS-DOSのBATファイルのようにマクロ置換する。  
@ =:関数 >:手続き <:変数 [:行列 +:計算 #:定義 ?:ワイルドカード

@@ 【 ファイル file 】

N I F Eで利用されるファイルは、一般に以下のものです。

NIFE.EXE	N I F Eの本体
NIFE.CFG	C F Gファイル：初期設定の命令を記述した手続きファイル (環境変数NIFECFGで変更可能)
NIFE.HLP	ヘルプファイル：リファレンスマニュアル (CONFIGファイル内の指定などで変更可能)
*.PRC	手続きファイル：定義の保存と実行（拡張子は変更可能）
*.FNC	外部関数実行ファイル：外部関数の演算で呼び出される。
*.HLP	ヘルプファイル（ユーザー作成）
*.NDC	辞典型ライブラリーファイル
*.ADD	アドイン命令実行ファイル：（予告）
CLEAR.EXE	グラフィック画面の消去（N I F Eの終了時には、グラフを消さない）
EDITOR.BAT	ユーザーの都合のよいエディタが起動するようにします。
NIFE.DOC	N I F Eの概要の説明
NIFE.LST	最新版ライブラリなどの所在。

@ H:help P:手続き F:手続きファイル O:外部関数 E:環境変数 C:cls

@@ 【 end quit ctrlZ 終了 】

=====

> .end '実行の終了

=====

>プロンプトの出ているときに、.end 命令を実行すると、  
N I F Eは終了し、MS-DOSのコマンドレベルに戻ります。  
このとき、.set end に1または2が設定してあると、  
N I F Eを終了してよいですか。(y/N)  
定義式をセーブしますか。(Y/n)  
という質問が出ますから、YまたはNで答えて下さい。  
.set end 0 のときは、いきなり終了してしまいますので注意してください。

Ver1.3までは、ctrl-ZでもN I F Eを終了しましたが、  
Ver1.4からは、.end だけが有効になりました。  
ctrl-Zは、最終行の行末への移動です。

@ C:命令 O:操作

@@ 【 命令 command cmd com 】

=====

制御文 1

=====

.save (ファイル名[.PRC]) [型]	'定義文の保存。ファイルに定義を書き込みます。
.do (手続き名)	'手続きの実行。記憶した複文を計算する。
.do (ファイル名[.PRC])	'ファイルからの実行
.(手続き名)	'手続きの実行。do の省略形。
.list {定義名 .型}	'定義名または型の定義状況を表示する。ワイルドカード可
.select [+ -] (名) [型]	'名を含む定義文を表示。ワイルドカード (?#)可能。
.reference [階層] (名)	'名を計算するのに必要な定義を選択。
.edit [名]	'定義をスクリーンエディットする。
.help [名]	'HELP。この文法一覧の表示。
.set (設定項目) (設定)	'各種設定をする。
.del (名) [型] [, (名) [型]]...	'定義の解除。
.sys (MS-DOSコマンド)	'MS-DOSのコマンドを実行する。
.new	'定義の解除。
.end	'N I F Eを終了する。

@ C:命令 2 1:save 2:do 3:list 4:select 5:reference 6:edit 7:sylk 8:help &  
& 9:set D:del S:sys N:new E:end

@@ 【 命令 2 】

=====

制御文 2

=====

' (注釈)	'注釈、定義しない。
= (注釈)	'注釈定義文

```
.repeat (式);(複文)      '複文を繰り返す。(式)の回数。
.for (変数名),(初期値式),(終値式);(実行文)[;(複文)][;(複文)]
                          '変数の値を変えながら繰り返す。
.if (評価式);(実行文)[;(複文)][;(複文)]  '式が正零なら、実行する。
.while (評価式);(実行文)[;(複文)][;(複文)] '式が正零の間、実行する。
.matrix [行列名]         '行列を定義通りに再計算する。
.input (行列名) [添え字] '行列に値をいれる。
.watch [+-(定義名) [型] [(+)(名) [型]] ... '定義の結果を常に表示する。
"..."                  ' " で囲まれた文字列を印字します。
.rename (変更前の定義名) (変更後の定義名) '定義名の変更をします。
.addin (ファイル名[.ADD]) 'アドイン命令を実行します(Ver1.43では予告のみ)
.break                    '実行展開中の手続きを中断します。
このほかにグラフ関連の命令もあります。
```

```
@ C:命令 1:注釈 2:repeat 3:for 4:if命令 5:while 6:matrix &
& 7:input 8:watch 9:印字 A:rename D:rename E:addin F:break G:graph
```

@@

【 グラフ graph 】

```
===== 【MSDOS汎用(ESC)版では、使用できません】
```

```
グラフの作画
```

```
=====
```

```
.cls                    '画面を消去します。
.color 式 [,式]...     '色の指定をします。
.draw 変数名,式s,式e,式x,式y '変数を変化させた軌跡を作画します。
.dot 式 (X座標),式 (Y座標) '指定位置に点を打ちます。
.from 式x,式y [,式y1]... 'グラフの書き始めを指定します。
.to 式x,式y [,式y1]...  'グラフの線を引きます。
.coord                 'XY座標軸を描く。
Xmax=式                '領域の右端論理座標 (未設定=100)
Xmin=式                 '領域の左端論理座標 (未設定=0)
Ymax=式                 '領域の上端論理座標 (未設定=100)
Ymin=式                 '領域の下端論理座標 (未設定=0)
VXmax=式                '表示領域の右端物理座標 (未設定=640)
VXmin=式                '表示領域の左端物理座標 (未設定=40)
VYmax=式                '表示領域の上端物理座標 (未設定=400)
VYmin=式                '表示領域の下端物理座標 (未設定=40)
Xmouse;Ymouse          'マウスの左ボタンを押した位置 (論理座標)
```

```
@ S:cls C:color D:draw P:dot F:from T:to O:coord &
& X:論理座標 V:物理座標 M:マウス
```

@@

【 計算表示文 計算 calculate calc 】

```
=====
```

```
計算表示文      ただの数式は、計算されて値が表示されます。
```

```
=====
```

```
> K
> x+5*F(x,log(2)+8)
> exp(log(3)+log(2))
> (式)
```

複文でつなぐことによって、多数の計算結果を1行に書くことができます。

```
> x; x^2; x^3; f(x); g(x+2,f(x+2)); g(1,x)
```

.set name で、計算の答えに計算式を書くか書かないかを指定します。  
 .set file で、計算結果をファイルにすることができます。  
 .set format で、計算結果の表示書式を変えることができます。

@ F:関数 M:行列 V:変数 O:計算順序 N:setname L:setfile S:setformat

@@ 【 ワイルドカード 】

=====  
 ワイルドカード  
 =====

定義名には、ワイルドカード (#?) を含めることができます。

#以降は任意の文字列が対応します。?は、任意の1バイトに対応します。  
 漢字1文字は、??です。

通常のワイルドカードでは、任意文字の一致は\*が使われますが、N I F E  
 においては、\*はかけ算符号になるので、#を使用しています。

@ C:命令

@@ 【 計算順序 】

\*\*\*\*\*  
 (式)の計算順序  
 \*\*\*\*\*

( ), 引数, 変数, 関数, 組込関数, ^, \* / · 空白, + - の順位で、  
 左から右に評価されます。

空白演算子は、式の初めでは、かけ算 (\*) になり、  
 割り算 (/) の後では、割り算になります。

関数の引数の評価は、その関数の計算の直前に行われ、直後に無効になります。  
 引数は、関数内の暗黙の引数にも影響します。これは、関数の引数が関数の計  
 算中だけ有効な変数への代入と考えられるからです。

```
> m=100
> f(x,m)=g(x)
> g(x)=m
> f(3,5);m
  f(3,5)=5 m=100
```

式の後ろには単位を [ ] でくくって書くことができます。

```
> V= a*t [m/s]
> a/(a+b)*100[%]
```

@ F:関数 V:変数

@@ 【 組込関数 builtinfunction 】

=====  
 組み込み関数 以下の関数はあらかじめ定義されています。  
 ===== (大文字でも参照できます。)



abs() '絶対値      sqrt() '平方根      mod(,) '剰余      sign() '符号  
exp() '指数      log(),ln()'対数      log10() '常用対数      int() '越えない整数  
sin() '正弦      cos() '余弦      tan() '正接      inpr(,)'ベクトル内積  
asin() '逆正弦      acos() '逆余弦      atan() '逆正接      pi,π '円周率  
(j0(),j1(),jn(n,),y0(),y1(),yn(n,))'ベッセル関数はVer1.4で削除になりました)  
sigma(変数名,初期値,終値,式) '総和      sum(行列計算式) '行列要素の総和  
if(?,-,+0) '条件計算      average(行列計算式)'行列要素の平均  
if(-5,1,2)=1      if(10,1,2)=2  
lookup(行列,条件,式) '行列の表を参照する  
行列の \* 印の所を検索する。条件: EQ,LE,LT,GE,GT  
lookup(A[\*],EQ,5) は、 A[i,0]=5 であるような i を捜して返す。  
dim(行列,位置) '行列のdimensionを返す。位置は、 1 から3まで。  
det(答えが行列になる式) '式を計算して得た行列の行列式の値。

組み込み関数の特注品が必要な場合には、外部関数を利用してください。

@ M:行列の組込関数 F:関数 O:外部関数 &  
& S:sigma I:if関数 P:inpr L:lookup D:dim T:det M:sum A:average

@@ 【 average 】  
===== ●新関数Ver1.48

組み込み関数 average()

=====

行列の要素の平均を返します。

書式: average( 行列の計算式)

@ B:組込関数

@@ 【 dim 】

=====

組み込み関数 dim()

=====

行列の大きさを返します。

書式: dim( 行列の計算式, 位置)

行列の計算式の結果の行列について、その大きさを返します。  
位置は計算式で、0から2の値を持つときは、  
対応する次元の添え字の大きさを返します。  
位置が3の値を持つときには、行列全体の要素の数を返します。

たとえば、

> A[2,5,7]={0}

> dim(A,0); dim(A,1); dim(A,2); dim(A,3)

dim(A,0)=2      dim(A,1)=5      dim(A,2)=7      dim(A,3)=70

となります。

@ B:組込関数

@@ 【 det 】

=====  
 組み込み関数 det()  
 =====

行列式の値を返します。

書式： det( 行列の計算式)

行列の計算式には、行列同士の加減乗累乗、スカラー倍などができます。

【お詫び】 Ver 1.42以前のNIFEでは、  
 det(A)\*2 のような計算を誤って、det( (A)\*2 ) と計算してしまう  
 バグがありました。かならず最新版のNIFEをご利用下さい。

@ B:組込関数

@@ 【 if if関数 】

=====  
 組み込み関数 if()  
 =====

条件式の値によって、第二引数を計算するか、第三引数を計算するか決めます。  
 指定されなかった方の計算式の演算は行われませんので、エラーの回避などにも  
 利用されます。

条件式が、負の場合に第二引数、正または零の場合に第三引数を演算します。  
 例：> ABS(x)=if(x,-x,x)

条件式が、正の場合に第二引数、負または零の場合に第三引数としたいばあいには  
 第一引数の条件にマイナスをつけて符号を逆転します。  
 例：> modifiedLOG(x)=if(-x,log(x),-1e999)

【注意】 Ver1.48から評価式の判断基準が  
 .if命令 .while命令において変更になりましたが、  
 この if()組み込み関数については従来とおりです。

@ B:組込関数 I:if命令

@@ 【 inpr 】

=====  
 組み込み関数 inpr()  
 =====

ベクトルの内積を計算します。2つの引数でベクトルの次元が一致していれば、  
 次元数は問いません。

書式： inpr( 答えがベクトルになる計算式, 答えがベクトルになる計算式)

@ B:組込関数

@@ 【 lookup 】

=====  
 組み込み関数 lookup()  
 =====

lookup()関数は、行列を数表に見立てて該当する項目を捜し出します。

書式： lookup( 行列, 条件, 式)

行列の添え字のうち1つは \* 印にしておきます。他の添え字は値を指定します。例： A[\* , 0]  
 条件は、EQ, LE, LT, GE, GT のいずれかです。  
 それぞれ =, <=, <, >=, > の意味です。  
 式は、計算式です。

例えば、lookup( A[\* , 0], EQ, 5) という式は、  
 A[i, 0]=5 であるような i を探して返します。  
 つまり、Aという数表の何行目で、0列目の値が5になっているかが判るわけです。  
 見つからないときは、行列の大きさの値を返します。

@ B:組込関数

@@ 【 mod 】  
 =====  
 組み込み関数 mod(, )  
 =====

mod(, )は、整数の割り算の剰余を求めます。書式は、

書式： mod( 割られる式, 割る式)

です。引数は、倍長整数で処理されますから、  
 -2,147,483,648 から 2,147,483,647  
 の範囲になければなりません。

@ B:組込関数

@@ 【 sigma 】  
 =====  
 組み込み関数 sigma()  
 =====

sigma()は数列の総和を求める関数です。書式は、

書式： sigma( 変数名, 初期値, 終値, 式)

使用例： sigma( i, 0, n, f(i) )  $\sum_{i=0}^n f(i)$

@ B:組込関数

@@

【 sum 】

```
=====
組み込み関数 sum()
=====
```

●新関数Ver1.48

行列の要素の総和を返します。

書式： sum( 行列の計算式)

@ B:組込関数

@@

【 行列の組込関数 】

答えが行列になる計算式で使われる、行列の組み込み関数には以下のものがあります。

E[ ]	: 単位行列。[ ]に大きさを書く。	例： E[2,2]
O[ ]	: ゼロ行列（要素がすべてゼロの行列）。	例： O[2,45,2]
inv()	: 逆行列。( )には答えが行列になる式を書く。	例： inv(A+B)
trans()	: 転置行列。	例： trans(A*B)
outpr(,)	: ベクトルの外積。(, )には答えが3次元ベクトルになる式を書く。	例： outpr(K,J)

@ M:行列 F:関数 C:計算

@@

【 キー割当 key ctrlkey 】

N I F Eでは、入力編集場面で多様な編集機能を持っています。  
ここで、使える機能キーは、（カーソルキーなどはPC9801版のみ）

C R、CTRL-M	' 編集の終了	
CTRL-E、カーソルUP	' 上の行へ（継続行にいるとき）	
CTRL-X、カーソルDOWN	' 下の行へ（継続行があるとき）	
CTRL-S、カーソルLEFT	' 1文字左に	I N S、CTRL-V ' 挿入と上書モードの切換
CTRL-D、カーソルRIGHT	' 1文字右に	B S、CTRL-H ' カーソル直前の1文字削除
CTRL-A	' 1単語左に	D E L、CTRL-G ' カーソル上の1文字削除
CTRL-F	' 1単語右に	C L R、CTRL-T ' カーソル以後の削除
CTRL-Q、ROLLUP	' 行の先頭に	T A B、CTRL-I ' 8タブ
CTRL-R、ROLLDOWN	' 行末に	&、CTRL-J ' 継続行を作る
CTRL-W	' 先頭行の先頭に	CTRL-O ' 命令の説明
CTRL-Z	' 最終行の行末に	CTRL-K、HELP ' 機能キーの一覧表

（PC9801版では、） S H I F Tキーを押しながらカーソル移動すると、画面上の任意の表示文字を入力行に複写することができます。計算結果を取り込んだり、計算式を取り込んで部分修正したり、ヘルプファイルの内容の部分を取り込んだりすることができます。

@ C:命令 T:型

@@

【 定義 definition 】

N I F Eが記憶する定義には、以下の種類があります。

関数	$f(x)=5x^2+3x+1$	
外部関数	<code>outfunc(x,y)=&gt;A:¥NIFE¥OUTFUNC</code>	●新機能 Ver1.43
行列	$A[3,3]=\{1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$ $A[4,5]=[i,j] \ i+j$ $A[]=\text{inv}(B)+\text{trans}(C)+D * E$	
関数型行列	$F(x)[\text{abc},\text{abc}]=f$	●新機能 Ver1.40
変数	$x<123$ $A[1,2]<456$	
手続き	$P> \ x<x+dx; \ f(x); \ g(x)$	
別名	$s==x$	
注釈	=注釈文	

@ F:関数 O:外部関数 M:行列 2:関数型行列 V:変数 P:手続き A:別名 C:注釈 T:型

@@ 【関数 function】  
[型: F]

関数の定義文 等号(=)を含んだ文は、関数定義文です。

```

> F(x,y)=x^2-2*x+1+y^3-2*y-5 'Fxの定義
> K=1+(F(5,y+2)+3)*4+(5/sqrt(y)-6) > E=m*v^2/2 '運動エネルギー
> (関数名)=(式) '(注釈)

```

関数定義文が現れるとNIFEはそれを記憶しますが、その時点では計算は行われません。従って、定義文の中に未定義な名前があっても差し支えありません。計算が実行されるまでには、定義されていなければよいのです。

このため、計算の順序を気に掛ける事なく、思い付くままに数式を定義していくことができます。

すでに、同名の定義がある時には、古い定義は削除され、新しい定義に置き変わります。このとき、新しい定義に注釈が付いていないときには、古い注釈が引き継がれます。手続きの実行中に再定義が起きたときは、ライブラリーとの定義名の衝突の可能性があるため、手続きの実行が一時的に中断されます。

@ M:行列 V:変数 N:計算 C:命令 O:計算順序 F:組込関数 T:型

@@ 【外部関数】  
[型: F]  
●新機能Ver1.43

外部関数

NIFEに内蔵されている関数では不足するときには、専用の外部関数をプログラミングすることができます。

外部関数の定義は、通常関数定義に準じて行います。書式は、

```

関数名(引数リスト) => 外部関数実行ファイル名[.FNC] 'コメント[単位]
outfunc(x,y)=>A:¥NIFE¥OUTFUNC 'サンプルの外部関数(足し算)

```

です。(=>)が外部関数の定義のシンボルです。上の例のようにフルパスで指定しなくてもPATHが通っていれば、OUTFUNCだけで充分です。

この様に定義しておけば、あとはNIFEの通常関数と全く同等に、

```
outfunc(123,789)+outfunc(a,b+c)
```

のように利用することができます。

なお、.listなどに対する型は、普通の関数と同じfです。

@ F:関数 D:外部関数詳説 T:型

@@

【 外部関数詳説 】

外部関数実行ファイルは、MS-DOSのEXEファイルと同型式のファイルですが、拡張子を変名して、FNCにしたものとします。もちろん特に、EXEなどと指定すれば、そのままでも使えます。しかし、一般のEXEと区別するために、変名することをお勧めします。

計算式を評価するときに、この外部関数があると MS-DOSで

A>外部関数ファイル名 NIFefunc 2 XXXX:XXXX

と実行したときのような状態で外部関数ファイルが起動されます。

第一引数の NIFefunc は、NIFEからの正当な起動であることを知らせます。

第二引数の 2 は、引数が2個あることを示しています。

第三引数の XXXX:XXXX は、16進数で示した引数リストの評価結果のアドレスであり、関数の結果を書き込む位置でもあります。

実行の度にディスクから起動しますので動作は鈍いですが、常駐型のプログラムはだれでも作れるものではない（もちろん私も作ったことがない）ので、この形にしました。通常のEXEが作れる方ならNIFEの関数を拡張できるわけです。さらに詳しくは、サンプル OUTFUNC.C をご覧下さい。

@ F:関数 O:外部関数

@@

【 行列 】  
[型: M]

=====

行列の定義（注意：添え字の数は、1-3個。）

=====

x[3]={2,4,6}	' 3次のベクトル
a[3,3]={1,2,3,4,5,6,7,8,9}	' 3行3列の行列
M[4,5,6]=[i,j,k]i+j+k	' 4階5行6列を(i+j+k)で初期設定する。
a[]=b*c+inv(b)-trans(c^3)	' 行列の計算による定義。(b,cも行列)

=====

行列への代入

=====	a[]< b*c+inv(b)	' 全体の更新
a[*,*]<{9,8,7,6,5,4,3,2,2-1}		' すべて更新
a[0,*]<{f(8),5*f(2),2}		' 部分の更新
a[2,2]<{3*log(2)}		' ひとつの更新

=====

行列の参照

=====	a[2,2]	' ひとつの値
a[i,j]*b[2-j,k]+36		' 式の中で、
.list a[1,*]		' 定義と部分の表示
.list a		' 定義と全体の表示

=====

行列の関数

=====	inv()	' 逆行列
trans()		' 転置行列
E[]		' 単位行列
0[],0[]		' ゼロ行列
+ - * ^		' 和差積累乗

【注】Ver1.41から、行列の割り算は未定義としました。逆行列を掛けてください。

@ F:関数 V:変数 N:計算 M:関数型行列 T:型



ただし、変数  $x$  は、 $e, k, T$  との関係を失い、単なる数値になっていますから  $e, k, T$  を変更しても  $x$  の値は変化しなくなります。

関係を復活するためには、変数  $x$  を削除 (`.del x v`) してください。関数  $x$  の定義が残ります。変数  $x$  を定義している状態で関数  $x$  を参照する場合にはカッコをつけて  $x()$  としてもよいでしょう。

@ F:関数 V:変数

@@ 【 別名 alias 】  
[型 : B]

=====

別名 (別名) == (定義名)

=====

よく使う公式は、手続きファイルなどで保存して置きます。

このとき、公式の定義で使われている定義名と、いま計算しようとしている定義名が一致しないことがあります。

公式の手続きファイルを書き換えるのでは大変ですので、公式の中での定義名を別名として登録することで、公式集をそのまま利用できます。

別名の登録後は、別名が計算式や命令のなかに現れると、定義名に読み替えられて解釈されます。たとえば、

> a=123

> b==a        bをaの別名に定義します。

> b

   b=123        bを参照するとaの値になります。

> b<456

   a=456        bに代入しようとする、aに代入されます。

他に、定義内容そのものを書き換えてしまう `.rename` 命令があります。

@ F:関数 R:rename T:型

@@ 【 comment 注釈 rem remark 】  
[型 : C]

=====

> ' (注釈) '注釈、定義しない。

> [注釈番号]= (注釈) '注釈定義文

=====

> ' で始まる注釈は、なにも影響を残しません。

> = で始まる注釈は、注釈番号が自動的に付加されて、登録されます。

のちに、`.list` や `.save`、`.edit`、`.del` などの対象になります。

これは、いわば関数名の無い関数定義文ということもできます。関数名の代わりに注釈番号が付けられます。積極的に注釈番号を指定して定義したり修正したりすることができます。

@ C:命令 T:型 M:記号 T:型

@@ 【 手続き proc procedure 】  
[型 : P]

=====



## 手続きの定義

=====

頻繁に使う命令はひとまとめにして、手続きに登録することができます。  
簡単なものなら、

```
(手続き名) > (文); (文); (文) . . .
```

と複文の形で登録します。手続き記号 (>) の後ろの複文を記憶します。

たとえば、 $i$  を1つ増やして、 $f(i)$  と  $g(i^2+3*i)$  の値を表示する作業を繰り返すならば、

```
> incdisp > i<i+1; f(i); g(i^2+3*i)
```

というように手続きの定義をして、

```
> .do incdisp
```

```
> .do incdisp
```

```
> .do incdisp
```

と繰り返せばよいのです。

さらに、大規模なものはファイル (拡張子.PRC) にしておくことができます。  
また、save命令で保存した定義文ファイルも、この手続きファイルの一種であり、

```
> .do (ファイル名)
```

で読み込みます。

@ D:do P:手続きファイル T:型

@@

【 edit 編集 】

=====

```
.edit [#[番号]] [定義名] 'スクリーンエディットする。
```

=====

定義を再編集します。カーソルを自由自在に移動して修正することができます。  
またPC9801版では、SHIFTキーと共にカーソル移動すると、画面上の任意の文字を  
コピーすることができます。

定義名の前に # をつけると、その前後の定義もカーソルupdownで同時に編集できます。  
この # に番号をつけると、定義名ではなく定義番号で編集する定義を指定します。  
定義名は、関数・行列・手続き・注釈・別名などです。

変数は .edit ではなく、直接再定義してください。

指定された定義名が未定義の場合は、その旨表示した後、定義式の入力を促します。  
名を省略したときは、直前の入力命令を再編集します。

たとえば、

```
> f(x)=3*x^2+2*x-5
```

```
> .edit f .edit 命令によって次の行が表示されて、編集を待ちます。
```

```
E f(x)=3*x^2+2*x-5
```

@ C:命令 K:キー割当

@@

【 del 消去 delete erase undefine 】

=====

```
.del (消去定義名) [型] [, (消去定義名) [型]] . . . '定義の解除。
```

=====

型で示された定義集合から、名の定義を削除します。  
消去定義名には、ワイルドカードを使うことができます。

型を省略したときは、全ての型の定義を削除します。

【注意】以前のマニュアルに以下のような記述がありましたが、Ver1.3頃から

```
-----
× 変数、手続き、関数（行列、注釈）、の順に名を捜して、×
× 見つけたところの定義を1つ削除します。×
-----
```

型に関係なく消えるように変更されています。

すべての定義をまとめて削除するときは、> .new を使います。

```
@ C:命令 N:new W:ワイルドカード
```

```
@@ 【 new 全削除 】
```

```
=====
```

```
.new '定義の解除。'
```

```
=====
```

すべての定義を抹消します。ただし、.set関連の設定はそのまま残ります。

個別に消去するときは、> .del を使います。

```
@ C:命令 S:set D:del
```

```
@@ 【 sys system msdos dos 】
```

```
=====
```

```
.sys (MS-DOSコマンド) 'MS-DOSのコマンドを実行する。'
```

```
=====
```

任意のMS-DOSコマンドが実行できます。命令を省略すると、

```
COMMAND.COM
```

(環境変数COMSPECでパス名や命令を変更できます。)

を起動します。EXITコマンドでCOMMAND.COMを終了します。

メモリ容量が足りなくて目的のプログラムが起動できないときは、フリーウェアのSWAPを利用すると良いでしょう。-Fオプションは不要になりました。

```
> .sys SWAP (でっかいプログラム) オプション
```

とすると、NIFEのほとんどをEMSやハードディスクに退避させてからでっかいプログラムがロードされます。

NIFEの実行ログを.set log toなどで取っていた場合、

この命令の実行中だけ、一時的にログファイルは閉じられ、終了後に、再び

アペンドオープンされます。従って、この.sys命令で自由にログファイルを操作

編集参照することができます。

●操作性向上Ver1.46

実行後は、再びNIFEを継続して操作できます。

```
@ C:命令
```

```
@@ 【 印字 print text message 】
```

```
=====
```

```
"...." '任意の文字列の印字。'
```

```
=====
```

"で囲まれた文字列を印字します。文字列には、以下のエスケープシーケンスが

使えます。

¥a:ベル ¥b:バックスペース ¥e:ESC ¥f:改頁 ¥n:改行 ¥r:行頭 ¥t:タブ  
¥": " ¥¥:¥

たとえば、

```
> "質量: ";M;"エネルギー: ";M*C^2
質量: M=0.001 エネルギー: M*C^2=9e+13
のように使います。
```

@ C: 命令

@@ 【 名変更 rename changename 】

```
=====
.rename (変更前の定義名) (変更後の定義名) '定義名の変更をします。
=====
```

他の定義文の中で参照されている名も同時に変更されますから、論理的关系を失わずに定義名の変更ができます。変更後の定義名がすでにあるときには、作業を中断するか強行するかを尋ねてきます。

定義文そのものを変更しない「別名の定義(=)」と  
定義文そのものを変更してしまう「定義名変更(.rename)」を上手に使い分けてください。

@ C: 命令 A: 別名

@@ 【 表示 list 】  
●仕様整理1.53

```
=====
.list '全定義の表示。
(定義名) [型]= '定義内容の表示。=の後ろになにも記述しないとき。
.list [定義名] [型] '定義の表示(「定義名=」と同じ)。
(行列名) [添え字]= '表示範囲を指定した行列の表示。
.list (行列名) [添え字] '表示範囲を指定した行列の表示。
.list . (型) '指定型の定義文の表示。
=====
```

記憶している定義を、表示します。ただし、定義文の先頭が!で始まる非表示指定になっていたり、.select命令や.reference命令で非表示指定されている定義は表示されません。

関数の表示のとき、その関数の値が既に計算されていれば、その値も表示します。  
f = x + y + z = 1 2 3 '合計  
-----

定義名行列名には、ワイルドカード(#?)を含めることができます。.list T??  
行列には、表示する要素の範囲を添え字で指定することができます。.list A[2,\*,\*]

@ C: 命令 T: 型 W: ワイルドカード !: 非表示 S: select R: reference

@@ 【 save 保存 】

```
=====
.save (ファイル名[.PRC]) [型] '定義文の保存。ファイルに定義を書き込みます。
=====
```

型で指定した定義を、ファイルに書き出します。このファイルは、  
 > do (ファイル[.prc])  
 で、手続きファイルとして読み込むことができます。  
 任意のエディタで編集できるテキストファイル形式です。

型が省略されたときには、関数、行列、変数、手続きなどすべてを保存します。  
 ただし、非表示の指定が付いているものは保存されません。

ファイル名の拡張子を省略するとPRCが付きます。同名のファイルがすでに  
 存在するときは、更新するかどうか確認した後に、古いファイル名の拡張子を  
 BAKにしてから、新しいファイルを書き出します。

@ C:命令 D:do P:手続きファイル T:型

@@ 【型 type】

====

型 型は、関数や変数、手続きなどを区別するための文字です。

====

関数を指定する文字	:	f,F
行列を指定する文字	:	m,M
関数型行列を指定する文字	:	o,O
注釈を指定する文字	:	c,C
別名を指定する文字	:	b,B
関数と行列と注釈を指定する文字	:	E,e
変数を指定する文字	:	v,V
手続きを指定する文字	:	p,P
行列のデータを指定する文字	:	d,D (save, list に有効)
.set の状態を指定する文字	:	s,S (save, list に有効)
非表示の定義を指定する文字	:	l,L
WATCHする定義を指定する文字	:	w,W
定義番号の表示を指定する文字	:	n,N (list に有効)
計算値の表示を指定する文字	:	x,X (list に有効)
全てを指定する文字	:	a,A

複数指定するとき!を挟むと、!以降は否定の意味になります。

例 ed!c は、注釈を除く関数と行列(データ表示)の意味です。

@ C:命令 S:save L:list R:search D:del

@@ 【select】

=====

.select [+|-] (名) [型] '名を含む定義文を表示非表示の切り替え。

=====

ワイルドカード(?#)可能。

型で指定した定義の中で、名を使用している定義の表示/非表示を切り替えます。  
 +を指定すると表示、-を指定すると(.LIST命令などで)非表示になります。  
 名には、ワイルドカードの#?が使えます。  
 型が省略されたときには、関数、行列、変数、手続きなどすべてを検索します。

== 指定の例 ==

> .select -#+AAA 'すべてを非表示にしてから、AAA を含む定義を表示に  
 にする。  
 > .select -bbb 'bbb を含む定義は表示しないようにする。

@ C:命令 L:list W:ワイルドカード T:型 !:非表示

@@ 【 watch 】

```
=====
.watch [+-(定義名) [型] [(+)(名) [型]] ...'定義の結果を常に表示する。
=====
```

- + : ワッチの指定記号 (\$) を付加する。
- : ワッチの指定記号 (\$) を削除する。

定義式の最初の文字が \$ のとき、その定義はワッチ指定になります。この定義は、画面上部に常に結果が表示されるようになります。

計算の最終結果の定義式をワッチ指定にしておくこと、途中のパラメータを変える度に計算結果が判りますから、シミュレーションなどの分野で役に立ちます。

また、手続きもワッチ指定にできます。

@ C:命令 W:ワイルドカード T:型

@@ 【 reference 参照関係 】

```
=====
.reference [階層,] (定義名) [, (定義名)]...'定義が参照している定義だけを
===== 表示するようにします。
```

#### 使用例

```
> .reference a 'a の参照を調べます。
```

```
> .list
```

とすると、a を求めるのに必要な定義だけが表示されます。解除は、

```
> .select +#
```

です。

```
> .reference 3,a
```

●新機能1.4 (階層)

とすると、a を求めるために必要な定義を3階層まで表示させます。

この階層を指定するのは数字でなければなりません。変数や数式は使えません。

@ C:命令 W:ワイルドカード S:select L:list !:非表示

@@ 【 非表示 】

```
=====
非表示
=====
```

定義の数が多くなってくると、.listで定義式の一覧を見ても表示が多すぎて訳がわからなくなってしまいます。そんな時、不必要な定義に!印を付けるとその定義は非表示となり、.listでは見えなくなります。

非表示にする方法は、幾つかあります。

1. 定義をするとき非表示を指定する。
  - > ! (定義式) 定義式の前に、!があると非表示になります。
2. .editで!を書き加える。
  - > .edit (定義名)
  - E ! (定義式) 定義式の前に、!を書き加えれば、非表示になります。
3. .selectで指定する。
  - > .select - (定義名) 定義式の中に定義名を含むすべての定義を非表示にします。

4. > .select -#+ (定義名) 全ての定義を非表示にした後に  
定義名を含む定義だけ表示するようにします。
5. .reference で指定する。  
> .reference (定義名) 定義名を計算するために不要な定義を  
非表示にします。
- さらに、.listのワイルドカード表示を組み合わせれば、自在に表示できるでしょう。

@ L:list E:edit S:select R:reference

@@ 【 color 色 】

=====  
.color [式] [, [式]] [, [式]]... '色の指定をします。  
=====

式は色の値で、0から7の値をとり、カラーコードになります。

0 : 見えません (黒)    2 : 緑            4 : 赤            6 : 黄色  
1 : 青                    3 : 水色        5 : 紫            7 : 白

変更する必要のない所には式を書かなければそのままの値になります。

.coord は、1番目の式の色値を使ってX Y軸や枠を描きます。

.draw は、2番目の式の色値を使って(x,y)の軌跡を描きます。

.to は、2番目以降8番目までのそれぞれ対応する色で線を描きます。

9番目からは、表示文字の色指定です。

9:システム 10:入力編集文字 11:エラー 12:エコー 13:データ 14:質問  
15:キー解説 16:文法誤り 17:ガイド 18:ワッチ 19:通常文 20:トレース  
文字の色指定は、色番号に

+10:反転 +100:下線 +1000:点滅 することで表示を飾ります。

【注】MS-DOS(ESC)版では、9番目以降のみが有効です。

色の指定が全く無く .colorだけの時は、対話形式で色指定します。

@ G:graph C:coord D:draw T:to

@@ 【 Xmax Xmin Ymax Ymin 論理座標 】

=====  
Xmax=式 '領域の右端論理座標 (未設定=100)  
Xmin=式 '領域の左端論理座標 (未設定=0)  
Ymax=式 '領域の上端論理座標 (未設定=100)  
Ymin=式 '領域の下端論理座標 (未設定=0)  
=====

画面の VXmax, VXmin, VYmax, VYmin で定義されたビューポート領域の論理的な座標を設定します。

任意の実数値をとりますが、minよりmaxの値が大きくなければなりません。

これらの名前は予約名ですが、関数や変数に定義しなおして値を変更します。

これらが未定義の時には、カッコ内の未設定値が仮定されます。

これらの値は、.coord, .draw, .from の命令で評価されます。

.to では、直前の .from で評価したものがそのまま使われるので、評価されません。

@ G:graph C:coord D:draw F:from T:to V:VXmax M:マウス

@@ 【 VXmax VXmin VYmax VYmin 物理座標 】

```

=====
VXmin=式 '表示領域の左端物理座標 (未設定=100)
VXmax=式 '表示領域の右端物理座標 (未設定=600)
VYmin=式 '表示領域の下端物理座標 (未設定= 80)
VYmax=式 '表示領域の上端物理座標 (未設定=280)
=====

```

画面上の表示領域の物理座標を設定します。

V X は、0 から 6 3 9 (PC9801) の値でなければなりません。

V Y は、0 から 3 9 9 (PC9801) の値でなければなりません。

これらの名前は予約名ですが、関数や変数に定義しなおして値を変更します。

これらが未定義の時には、カッコ内の未設定値が仮定されます。

論理座標は、Xmaxなどで指定します。

これらの値は、.coord , .draw , .from , .dot の命令で評価されます。

.to では、直前の .move で評価したものがそのまま使われるので、評価されません。

@ G:graph C:coord D:draw F:from T:to X:Xmax M:マウス

@@ 【 マウス mouse Xmouse Ymouse 】

===== 【 E S C バージョンでは使えません。 】

Xmouse Ymouse 予約変数。マウスの左ボタンを押した場所の論理座標値

=====

グラフを表示すると、ディスプレイ上にマウスカーソルが現れます。

マウスの左ボタンを押した位置が論理座標に変換して、Xmouse と Ymouse の2つの

予約変数に代入されます。その物理位置は、次に左ボタンが押されるまで不変です。

VXmax などの物理座標系、Xmax などの論理座標系の設定を変更して新たに作画すると新しい座標系で換算されます。

連続的にマウスの位置の座標値を見たいときは、

```
> .while 1; Xmouse; Ymouse; "Ye[2AYr"
```

などとするとよい。これは、.while命令の無限回繰り返しで、ESC で終了する。

@ C:coord X:論理座標 V:物理座標

@@ 【 cls 】

=====

.cls 式 '画面を消去します。

=====

【注】MS-DOS(ESC)版はテキスト画面についてだけです。

式の値によって消去する画面が決まります。

n=1:テキスト画面 n=2:グラフィック画面 n=3:両画面 n=4:VIEW枠 n=5:初期化

.sys命令で起動したソフトによってグラフィック設定が変更されてしまったとき

.cls 5 を使って再設定します。

N I F E は終了時のグラフィック画面の初期化をしません。

N I F E で描いたグラフを続けて別のプログラムで加工することを考慮しての措置です。

N I F E の実行中は、.clr 2 命令でグラフィック画面のクリアをします。

N I F E の終了後には、同梱の CLEAR.EXE を実行するとグラフは見えなくなります。

ただし、見えなくなるだけで、GVRAMの初期化まではしません。

@ G:graph

@@ 【 do 実行 】

```
=====
.do (手続き名) (パラメータリスト) '手続きの実行。記憶した複文を計算する。
.do (ファイル名[.PRC]) (パラメータリスト)'ファイルからの実行
.(手続き名) (パラメータリスト) 'do の省略形(手続き名のみ) ●新規能1.44
=====
```

まず、手続き名が手続き定義文(名>複文)で定義されているかが調べられます。もし、定義されていれば、その複文が実行されます。

もし、定義されていなければ、手続き名をファイル名として検索しファイルがあれば、記述に従って命令を実行します。

このとき、パラメータリストで定義内のパラメータ%1から%9を変更することができます。パラメータ%1から%9の使い方は、MS-DOSのバッチファイルと同様です。また%関数定義名%というものが手続きに含まれている場合は、定義の=以降の文字列と置き変わります。

実行の様子を確認する場合は、

.set echo on や .set step on

などを使います。.set step on のときは、中断することができて、S .break とすると、手続きの途中で .do を中断します。計算実行中はESCキーでも中断します。

@ C:命令 S:set 1:setecho 2:setstep 3:break P:手続き F:手続きファイル

@@ 【 手続きファイル 】

手続きファイルの書式は、

N I F Eのコマンドラインからの入力とまったくおなじです。

行の先頭が、「>」で始まる行は、命令として解釈されます。

行の先頭が、「E」で始まる行は、キーボードで編集してから、解釈されます。

行の先頭が、「'」または、「"」で始まる行は、注釈表示文です。.set echo の設定に関わらず、表示されます。 ●1.42機能追加

行の終わりが、「&」で、つぎの行の始まりが、「&」のときは、継続行です。

継続行は、20行程度まで有効です。

その他の行は、.set echo off や .set echo on の時は、読み飛ばされます。

.set echo all のときは、ディスプレイに表示されます。

手続きファイルの実行は.doコマンドで行います。

> .do {手続き名|手続きファイル名[.PRC]} [引数1] [引数2]...

このとき、引数nはMS-DOSのBATと同様に、手続きの中の%nへ置き換えられます。

引数の最大9個で空白で区切られます。%9は文末までの全てを引き受けます。

@ D:do E:edit S:setecho

@@ 【 break 】

```
=====
S .break '展開実行中の do や repeat を中断します。
=====
```

普通、> .set step on を指定したときに使います。.do や .repeat が1行ずつ命令を解釈する度に、> .set step on の指定によりキーボードから命令を受け付け



られます。このとき、.break 命令をいれると、以後の手続きを解釈実行せずに、.do や .repeat を中断します。

@ C:命令 S:setset D:do R:repeat P:手続き

@@ 【 repeat 繰り返し 】

=====  
 .repeat (式);(複文)'複文を繰り返す。(式)の回数。  
 =====

うしろの複文を、式の回数だけ繰り返し実行します。

実行の様子を確認する場合は、

> .set echo on

> .set step on

などを使います。> set .step on のときは、

S .break

とすると、繰り返し回数以前に .repeat を中断します。

また、計算実行中にはESCキーによって繰り返し計算を中断させられます。

●仕様変更1.4

Ver1.3までは、(式)と(複文)の句切り記号は「,」でしたが、  
 Ver1.4から、「;」に変更になりました。ただし当分は「,」も使えます。

@ C:命令 M:複文 S:set 1:setecho 2:setstep B:break

@@ 【 for 】

=====  
 .for (変数名),(初期値式),(終値式)[,(増分値式)];(実行文)[;(複文)][;(複文)]  
 =====

変数の値を初期値から終値まで増分値ずつ変化させて、(実行文)[;(複文)]...を実行します。増分値を指定しなければ、1が仮定されます。

実行例:

.for x,10,30;x:f(x);g(x)

.for x,100,50,-2.5;x:f(x)

また、計算実行中にはESCキーによって繰り返し計算を中断させられます。

@ C:命令 M:複文

@@ 【 if if命令 】

=====  
 .if (評価式);(実行文)[;(複文)][;(複文)]  
 =====

●評価条件変更1.48

評価式を計算してみて、+1e-9以上ならば、(実行文)[;(複文)]...を実行します。

【重大変更】 評価式の判断基準が、作者の勝手な都合で変更になりました。

Ver1.47以前では、正またはゼロで動作しましたが、

Ver1.48からは、(+1e-9)以上のときだけになりました。

各種手続き中にこれを使っていた場合には修正が必要になります。

@ C:命令 M:複文 I:if関数

```

@@                                     【 while 】
=====                               ●評価基準変更1.48
.while (評価式);(実行文)[;(複文)][;(複文)]
=====

```

評価式を計算してみて (1e-9) 以上の間、  
(実行文)[;(複文)]...を繰り返し実行します。

【重大変更】 評価式の判断基準が、作者の勝手な都合で変更になりました。  
Ver 1.47以前では、正またはゼロで動作しましたが、  
Ver 1.48からは、(+1e-9)以上のときだけになりました。  
各種手続き中にこれを使っていた場合には修正が必要になります。

@ C:命令 M:複文

```

@@                                     【 set 設定 】
. SETには以下の種類があります。
.set name [ON/off]                '答えの前に計算式を書く。
.set file [to [ファイル名[.txt]]] [ON/off] '画面表示をfileにも書く。
.set proc [to [ファイル名[.prc]]] [ON/off] '入力命令をfileにも書く。
.set data [to [ファイル名[.dat]]] [ON/off] '演算結果をfileにも書く。
.set log [to [ファイル名[.log]]] [ON/off] '画面表示をfileにも書く。
.set format 書式文字列            '数値の表示形式を指定する。
.set echo [ON/all/off]            'do 命令の入力命令等を表示する/しない。
.set talk [ON/off]                '関数や手続きの登録を復唱する/しない。
.set trace [on/OFF]              '関数や変数の評価を逐次トレース表示する/しない。
.set step [on/OFF]               'do 命令の1行毎に命令の入力機会を設ける/ない。
.set assist 0~2                  'キー入力の援助をする。
.set watch [ON/off]              '$を付けて定義した関数や手続きを画面上部に表示する。
.set end 0~2                      '0:無確認終了 1:確認後終了 2:保存後終了
                                     ●end 1.49

```

各種の設定を表示したり、指定したり切り替えたりする。

```

@ C:命令 N:setname F:setfile F:setproc F:setlog %:setformat H:setecho &
& T:settalk R:settrace S:setstep A:setassist W:setwatch E:setend

```

```

@@                                     【 setfile setproc setdata setlog 】
=====
.set file [to [ファイル名[.txt]]] [ON/off] '画面表示をfileにも書く。
.set proc [to [ファイル名[.prc]]] [ON/off] '入力命令をfileにも書く。
.set data [to [ファイル名[.dat]]] [ON/off] '演算結果をfileにも書く。
.set log [to [ファイル名[.log]]] [ON/off] '画面表示をfileにも書く。
=====
これらは、同時に1つしかONにできません。
file と log は、実行過程のすべての表示を記録しますが、
proc は、入力関連のものだけ記録し、そのまま > .do (ファイル名[.prc])
で読み込むことができます。
data は、出力関連のものだけを記録します。> .set name offや> .set format
などと併用することによって、結果をデータベースや表計算に利用できます。@
すべてテキストファイルですから、ワープロやエディタで任意に編集ができます。

```

OFF、ONでは、出力を一時的に停止したり、再開したりします。  
 TOでファイル名を省略すると、現在書き出しているファイルを閉じます。  
 すべてのオプションを省略すると、現在の設定を表示します。

@ C:命令 D:do N:setname C:setformat S:set

@@ 【 setassist 】

=====  
 .set assist 0~2 '入力の援助のレベルを指定します。  
 =====

次に何を入力したら良いのかについて説明を画面上部に表示します。

0のとき、何も表示しない。

1のとき、次の入力項目を表示します。

2(初期値)のとき、次の入力項目とコントロールキーの一覧を表示します。

@ C:命令 S:set K:キー一覧

@@ 【 setend 】

●新命令Ver1.49

=====  
 .set end 0~2 '終了時の確認をとるかをとらないかを設定します。  
 =====

0のとき、.end命令で、何も確認せずに終了します。

1のとき、.end命令で、終了の確認をしてから終了します。

2(初期値)のとき、.end命令で終了の確認をした後、定義を保存して終了します。

@ C:命令 S:set K:キー一覧

@@ 【 setformat 書式 format 】

=====  
 .set format "[abc1]%"[+- #][123][.45]l{f|e|g}[abc2][%s][abc3]"  
 =====

'値表示形式の変更設定

数値の計算結果などの表示形式を設定します。

書式指定文字列の前後に" "付けて下さい。

[abc1] : 必要に応じて任意の文字列を前置することができます。

% : 必ず書いて下さい。(手続きファイルには、%%と書いて下さい。)

[+- #] : +があると、正符号をつけます。負符号は無条件でつきます。

-があると、数字を左詰めに書きます。

#があると、有効桁まで0を付けます。

[123] : 印字幅

[.45] : 精度

l : 必ず書いて下さい。(半角小文字のエル)

{f|e|g} : 必ずどれかを選んで下さい。(半角小文字)

fは、固定小数点表示形式 1 2 3. 4 5 6

eは、指数表示形式 1. 2 3 4 5 6 e + 2

gは、fとeの自動選択。

[abc2] : 任意の文字列を間に挟むことができます。

%s : 単位の表示位置に%sと書きます。省略すると単位を書きません。

[abc3] : 任意の文字列を後置することができます。

参考までに、これはC言語の書式文字列です。初期値は、"%lg %s¥t"です。

@ S:set

@@ 【 setname 】

=====  
 .set name [ON/off] '答えの前に計算式を書く。  
 =====

これがONのとき（初期値）、	これがOFFのとき、
> .set name on	> .set name off
> a+b+c;1+2+3	> a+b+c;1+2+3
a+b+c=16            1+2+3=6	16            6

ONもOFFも指定しないときは、設定の現在値を表示します。

【注意】Ver1.41以前のバージョンで、set name の表示や保存が、set neme になっていました。以前は命令の省略形との一致の確認がいい加減でしたので、neme のままでも通用してしまいましたが、Ver1.42から厳密に一致を取りますので、エラーになってしまいます。saveなどで定義を保存した方は確認して下さい。エディタで、neme をname に書き直せば正常に動作するはずです。

@ S:set F:setfile

@@ 【 setecho 】

=====  
 .set echo [ON/all/off] '.do 命令の入力命令等を表示する/しない。  
 =====

ON（初期値）のとき、> .do や > .repeat で展開した命令を表示します。  
 allのとき、ONと同様ですが、読み込んだ手続きの無関係な文も表示します。  
 （無関係な文とは、手続きファイルで>やEで始まらない文のことです。）  
 （無関係な文は、NIFEの演算処理には全く影響しません。）  
 OFFのとき、> .do や > .repeat で展開した命令を表示せずに実行します。

ONもOFFも指定しないときは、設定の現在値を表示します。

@ C:命令 D:do R:repeat S:set

@@ 【 settalk 】

=====  
 .set talk [ON/off] '関数や手続きの登録を復唱する/しない。  
 =====

ON（初期値）のとき、定義の登録について状況を表示します。  
 OFFのとき、定義の登録について状況を表示しません。  
 ONもOFFも指定しないときは、設定の現在値を表示します。

@ C:命令 S:set

@@ 【 settrace 】

=====

```
.set trace [on/OFF] '関数や変数の評価を逐次トレース表示します。
=====
```

計算式の演算の様子を確認するときに使います。  
 ON のとき、関数や変数の評価が行われる度に、それを表示します。  
 OFF (初期値) のとき、表示しません。  
 ON も OFF も指定しないときは、設定の現在値を表示します。

N I F E の計算結果に疑いをもった場合などに指定して、計算の途中経過を確認するために使います。 .set log to (logfile名) も指定しておくとも画面上で流れ去った表示をあとでエディタやページャーでゆっくりと確認できます。

```
@ C:命令 S:set
```

```
@@ [ setstep ]
```

```
=====
.set step [on/OFF] 'do 命令の1行毎に命令の入力機会を設けます。
=====
```

これは、 > .do や > .repeat の実行の様子を確認するときに使います。  
 ON のとき、 > .do で命令を1行展開実行する度に、または  
           > .repeat で複文を1回実行する度に、  
           S  
           のように命令の入力待ちになります。  
           なん行でも任意の命令を手動で挿入することができます。  
           S .break  
           の入力で、.do の実行を中断することができます。  
           空行の入力で、.do は次の行の展開を継続します。  
 OFF (初期値) のとき、無条件で .do の展開を続けます。  
 ON も OFF も指定しないときは、設定の現在値を表示します。

```
@ C:命令 D:do R:repeat B:break S:set
```

```
@@ [ setwatch ]
```

```
=====
.set watch [On/off] '$の付いた関数や手続きを画面上部に常時表示します。
=====
```

計算結果の変化を常に確認するときに使います。  
 ON のとき、それを表示します。  
 OFF (初期値) のとき、表示しません。  
 ON も OFF も指定しないときは、設定の現在値を表示します。

```
@ C:命令 S:set
```

```
@@ [ setreflexive ]
●操作性向上 Ver1.44
```

```
=====
.set reflexive
=====
```

N I F E Ver1.44 から、この指定をしなくても再帰計算が許可されるようになりました。これは、主要部分でスタックの残りを N I F E が自動的に確認するようになったからです。従って、この命令は廃止されました。

スタックの残量が不足してしまうとNIFEは事前に計算を打ち切って、命令の入力待ちに戻ります。あまり複雑すぎる計算では、スタックが不足することがあります。

@ C:命令 S:set

@@ 【 matrix 】

=====  
 .matrix [行列名] [, 行列名] ... '行列を定義通りに再計算する。  
 =====

行列は、定義されたときに要素の値をすべて計算し、その値をtableにしているため、@ それ自身の要素への代入やその定義計算式に含まれる要素の値を変更をすると、最初の定義と実際の中身に相違ができます。これを順番に定義通りに再計算して、相違をなくします。定義名を省略したときは全ての行列定義が再計算されます。行列名にはワイルドカード（#?）が使えます。

関数型行列を使えば、その値は常に下位の計算要素の変更に追従します。ただし、計算時間は多く必要になります。

@ C:命令 M:行列 W:ワイルドカード F:関数型行列

@@ 【 input 】

=====  
 .input (行列名) [[添え字]] '行列に順に値を代入する。  
 =====

●新命令 Ver1.44

行列の値を書き直すときに、添え字をいちいち書くのはたいへんに面倒なものです。そこで、自動的に行列名と添え字、現在の値を表示して、数値の代入を促します。行列は定義済みでなければなりません。現在値を変更したくないときは、そのまま改行してください。

使用例:

```
> .input A 行列全体への代入
I A[0]{現在値}<(ここに代入する値の計算式を書く)
I A[1]{現在値}<(ここに代入する値の計算式を書く)
...
> .input B[2,3] 行列の部分への代入
I B[2,3]{現在値}<(ここに代入する値の計算式を書く)
I B[2,4]{現在値}<(ここに代入する値の計算式を書く)
I .break (カーソルを戻して、.breakすると途中終了)
> .input C[1,*,0] 行列ヘリストで代入
> C[1,*,0]<{(式のリストを並べる。)}
> C[1,*,1]<{(式のリストを並べる。)}
```

@ M:行列

@@ 【 move to 】

=====  
 .move 式x, 式y [,式y1]... 'グラフの書き始めを指定します。  
 .to 式x, 式y [,式y1]... 'グラフの線を引きます。  
 =====

最初の式は、x座標の値になります。

2番目以降の式は、y座標の値になります。

最大14のy座標を指定して、14本のグラフを同時に描くことができます。

たとえば、

```
> .move 0,10,10,10
> .to 10,10,20,33
> .to 20,10,30,99
> .to 30,10,40,999
> .to 40,10,50,925
```

とすると、

```
10->10->10->10->10
10->20->30->40->50
10->33->99->999->925
```

の三本の折れ線が描かれます。座標は、Xmax や VXmax などに変換されます。

それぞれの色は、.color で指定した2番目以降の色が使われます。

8本目からは1本目と同色で点線になります。

●機能強化1.52

@ G:graph X:Xmax V:VXmax C:color

@@ 【 draw 作画 】  
【MS-DOS(ESC)バージョンでは使えません】

```
=====
.draw 変数名,式(初期値),式(終値) [,式(増分)],式(X座標),式(Y座標)
=====
```

媒介変数を変化させた軌跡を作画します。

たとえば、

```
> .draw x,0,100,x,F(x)
> .draw x,0,100,3,x,F(x)
```

は、xの値を0から100に変化させたときの点(x, F(x))の軌跡を描きます。変数は、初期値から増分ずつ増やされて、終値をこえる直前まで線を描きます。

増分が省略されているとき(パラメーターが5個のとき)には、

1が仮定されます。(以前のバージョンと上位互換) ●機能追加(Ver1.42)

このとき、

Xmax,Xmin,Ymax,Ymin が指定されていれば、拡大縮小して表示します。

VXmax,VXmin,VYmax,VYmin が指定されていれば、ディスプレイのその範囲に表示します。

.color で指定した2番目の色を使います。

@ G:graph X:Xmax V:Vmax C:color

@@ 【 dot 点描 】  
【MS-DOS(ESC)バージョンでは使えません】

```
=====
.dot 式(X座標),式(Y座標) [,式(大きさ) [,色]]
=====
```

指定位置に点を打ちます。位置の指定は論理座標で指定します。

このとき、

Xmax,Xmin,Ymax,Ymin が指定されていれば、拡大縮小して表示します。

VXmax,VXmin,VYmax,VYmin が指定されていれば、ディスプレイのその範囲に表示します。

大きさは、物理座標の大きさを指定します。

●新機能 Ver1.48

色が指定していないときには、.color で指定した3番目の色を使います。

@ G:graph X:Xmax V:Vmax C:color

@@ 【 coord Xscale Yscale】  
【MS-DOS(ESC)バージョンでは使えません】

```
=====
.coord 式 '枠やXY軸を書く。
Xscale= (式); Yscale= (式) '式の間隔で目盛りを振ります。
Xscale[]= (行列定義); Yscale[]= (行列定義) '行列の要素の位置に目盛り
=====
```

式の値が0のとき、表示域を枠で囲みます。

1のとき、X軸を書きます。

2のとき、Y軸を書きます。

3のとき、X軸とY軸を書きます。

10のとき、座標の値の一覧を表示します。

●新機能1.4

表示に使われる色は、.colorの最初の色です。表示位置は、座標設定の予約名Xmax、VXmaxなどを使って計算されます。

XscaleやYscaleが定義してあると、.coord命令の時に軸と同時に目盛りをつけます。

等間隔の目盛りが必要なときは、その間隔をXscaleに設定します。

不揃いな目盛りが必要なとき(対数グラフなど)は、行列Xscaleを使います。

例えば、Xscale[5]={log(2),log(5),log(10),log(20),log(50)}のようにします。

●新機能1.52

@ G:graph X:Xmax V:VXmax C:color M:マウス

@@ 【 addin 外部命令】  
●まだご利用になれません。

```
=====
> .addin (ファイル名[.ADD]) [,パラメータ1] [,パラメータ2]. . . . .
===== '外部命令の実行
```

EXEファイルの拡張子を、ADDに変名したものを実行します。

ADDin作成規約により、ADDからNIFEの中の定義や計算値を参照できるだけでなく、NIFEの主要な内部ファンクションを利用して実行させることができます。

パラメータは、ADDが必要とする個数(最大10個)を渡すことができます。

パラメータの句切りには、コンマ(,)が必要です。

パラメータの最初の1文字が"の場合には、

"で囲まれた文字列がそのまま渡されます。

それ以外のパラメータは、計算された結果が渡されます。

詳しい利用方法は、それぞれのADDの説明を見て下さい。

@ Q:終了 B:前頁 I:目次 C:命令

@@ 【 中断 ESC】

計算中にESCキーやカーソルキーを押すと計算が中断され、命令の入力状態に戻れます。

また、繰り返し命令(.repeat .for .while)や手続きファイルの実行などでは、任意のキーを押すと実行が一時中断し、任意の命令を入れることができます。

この状態でのプロンプトは、">"ではなく、"S"になり何かの中断中であることを示します。"S"プロンプトは命令の入力がある限り続けてあらわれ、空行の入力によって、中断していた命令の実行を再開します。再開をキャンセルするのは、

S .break 命令です。



@ Q:終了 B:前頁 M:目次 R:repeat F:for W:while D:do X:break

@@ 【 help 】

```
=====
> .help [名] 'HELP。この文法一覧の表示。
=====
```

名で指定したキーワードに関連した解説を表示します。  
名を省略したときは、目次が表示されます。

解説の最後に、関連項目のメニューが表示されて次々に説明を辿っていくことができます。また、前頁をたどって元に戻ることもできます。(20頁分)

選択には、ESC:終了 BS:前頁 TAB:menu SPACE:検索語 SHIFT+CR:実行と表示されますから、関連ページの記号、またはESC,BS,TABなどを選んで下さい。関連ページの記号は、大文字で入力しても小文字で入力してもかまいません。SPACEバーを打つと、メニューにない検索語を直接入力できます。また、ここでSHIFT+CRを打つと、ヘルプ画面の内容をN I F Eの手続きのように実行します。

ヘルプファイルの場所は、MSDOS(Ver.3以上)ではNIFE.EXEのあるディレクトリ、(Ver.2XX)ではカレントディレクトリです。デフォルトのヘルプファイル名は、NIFE.HLPですが、CONFIGファイル内で再指定したり、定義関数NIFEHELPがあるとパスやヘルプファイル名を変更できます。

ヘルプファイルの末尾には自動的に索引が書き加えられます。

@ C:命令 F:ヘルプファイル切替 H:ヘルプファイル構造 X:ヘルプ索引

@@ 【 ヘルプファイル切替 】

複数のヘルプファイルを切り換えて参照することができます。切り換えるには、関数定義 NIFEHELP にヘルプファイル名を記述します。

@ H:ヘルプファイル構造 X:ヘルプ索引

@@ 【 ヘルプファイル構造 helpfile 】

ヘルプファイルは、単純なテキストファイルで構成されています。したがって、N I F Eのユーザーは、このヘルプファイルを自由にカスタマイズすることができます。N I F Eは、著作権の説明で述べたように無償で他者に譲渡することができますが、そのときには必ず著作者提供のヘルプファイルをそのまま添付してください。ユーザが修正・作成したヘルプファイルは、NIFE.HLP以外のファイル名にして公開できます。注意深く作成されたヘルプファイルは、手続きファイルに優るとも劣らないコースウェアの記述ができます。C A Iの分野での利用が可能でしょう。

ヘルプファイルの構造 次の単位で構成されるページの繰り返しです。

@@ ページ名 [ページ名2] [ページ名3] ....	ページの始まり
本文テキスト	本文テキスト
@*	前ページ境界
@> N I F Eの命令文	サンプル実行文 (選択実行)
@>> N I F Eの命令文	サンプル実行文 (強制実行)
@ 関連項目リスト	ページの終わり

このヘルプファイル(NIFE.HLP)では、ページの始まりのページ名を【】で囲んで行の終わりの方に書いてあります。これは、ヘルプファイルを印刷してマニュアルにするときに見やすいように工夫してあるだけで、ユーザーヘルプファイルには必要ありません。注意: 「menu」というページが必ず必要です。

@ X:ヘルプ索引 N:N I F Eヘルプエンジン

@@

### 【 ヘルプ索引 】

検索を高速化するためにヘルプファイルには、自動的に索引が付加されます。ヘルプファイルには、リードオンリーの属性をつけないでください。エディタで編集した場合には、索引部分を削除しておいてください。N I F Eが改めて自動的に作成しなおします。ヘルプ機能を検索単語を指定しないで起動したときには、「menu」というページが検索されますので、ヘルプファイルにはかならず、「menu」というページを作ってください。

索引の構造は以下のようになっています。

HEL P本文	
HEL P本文	
HEL P本文	
HEL P本文	
CTRL_Z	
ページ位置 (10進数)	ページ名
ページ位置 (10進数)	ページ名
ページ位置 (10進数)	ページ名
ページ位置 (10進数)	ページ名
索引位置 (10進数)	NIFEHELPindexed

ヘルプ本文とは、CTRL\_Z で区切られていますから、普通のエディタで編集すると、索引部分は削除され好都合です。

最後の位置にNIFEHELPindexedと書いてあるのが、索引済みの印になっています。

@ H:ヘルプファイル N:N I F Eヘルプエンジン

@@

### 【 N I F Eヘルプエンジン 】

このヘルプエンジンは、計算環境NIFEというプログラムのために作成されたものであるが、その入力編集部分、表示部分、ヘルプエンジン部分のC言語ソースが、プログラムパーツとして公開されている。

このプログラムパーツの著作権は、NIFEの作者の植田にあるが、だれでもこのプログラムパーツを改変し、加工して自由にプログラムを作成頒布することができる。ただし、ヘルプファイルを共通に相互に利用しあうことができるように、ヘルプ機能の文字「@」について、「NIFEHELPindexed」の符号は変更しないように要請する。

また、それぞれの標準ヘルプファイルと利用マニュアルには、  
「このプログラムの部分には、

プログラムパーツEditDisp (著作権者: 植田 博)

が利用されています。

植田氏の連絡先はNIFTY-Serve ID:MHBO2012です。

EditDispは、NIFTY-Serve FLABOのプログラムパーツで、どなたにも入手できる。MS-DOS用の編集入力・画面表示・ヘルプ機能

のためのC言語のソースプログラムである。」  
 という記載をつけることを要請しておく。

@

【 システムエラー 】

@@ SYS001

SYS001: ESCを押したので、計算を中断しました。

@ O:操作

@@ SYS002

SYS002: .del で指定した名前は未定義です。  
 型の選択を間違えた場合と、全く未定義の場合があります。

@ D:del

@@ SYS003

SYS003: 記録保存用のファイル名を指定していません。  
 > .set file to (ファイル名)などで指定します。

@ F:file

@@ SYS004

SYS004: 定義表示文で指定した名前は未定義です。

@

@@ SYS005

SYS005: 行列定義文で添え字の変数名が不适当です。  
 行列[添え字のリスト]=[添え字の変数名リスト]式  
 GYOURETU[3,3]=[i,j] f(i,j)

@ M:行列

@@ SYS006

SYS006: 未定義の行列に、数値を格納しようとしてしました。  
 未定義名[3,\*]<{1,2,3}

@ M:行列

@@ SYS007

SYS007: .edit で指定した名前の関数や配列はありません。

@ E:edit

@@ SYS008

SYS008: .edit で指定した名前の変数はありません。

@ E:edit

@@ SYS009

SYS009: .edit で指定した名前の手続きはありません。

@ E:edit

@@ SYS010 SYS011 SYS012 SYS013

SYS010-SYS013: 座標設定の大小関係が乱れています。もしくは、範囲外の値です。

@ G:graph X:Xmax V:VXmax

@@ SYS014

SYS014: グラフィックモードが設定できません。  
 ハードウェア構成に問題があるのでしよう。

code = 1000 : Video Mode の設定ができません。

code = 100 : 色の再設定ができません。  
 code = 10 : グラフィックページやテキストページが設定できません。

@

@@ SYS015

SYS015: マウスドライバーがありません。  
 マウスでグラフの座標読み取りなどの機能が失われますが、  
 N I F Eの実行には差し支えありません。

マウスの機能を使いたいときは、N I F Eを一度終了し、マウスドライバー  
 を組み込んでから、もう一度N I F Eを立ちあげてください。

@

@@ SYS017

SYS017: 未定義行列の要素に、数値を格納しようとしてしました。  
 未定義名[3,1]<123

@ M:行列

@@ SYS018

SYS018: 関数であるのに、行列のように扱って、数値を格納しようとしてしました。

@ F:関数 M:行列

@@ SYS019

SYS019: 行列でないものを表示しようとしてしました。

@ M:行列

@@ SYS020

SYS020: 行列の定義文で、行列の数式を計算したところエラーになりました。

@ M:行列

@@ SYS021

SYS021: .help で指定した単語にはヘルプメッセージがありません。

@ H:help

@@ SYS022

SYS022: .sys で M S - D O S のコマンドの実行に失敗しました。

主なエラー原因

命令が長すぎます(128まで)

COMMAND.COMがありません

COMMAND.COMが無効です

メモリが足りません

【対策】

少ないパラメータで起動できる  
 ように工夫して下さい。

環境変数 COMSPEC が正しく  
 COMMAND.COMを指し示しているか  
 確認して下さい。

別のディスクをAドライブに差し込んで  
 いませんか。

F G A L S TのL I B 8にあるS W A P  
 というプログラムを利用して下さい。

@ S:sys

@@ SYS023

SYS023: N I F Eの終了コマンドが入力されました。

@

@@ SYS024

SYS024: .rename では、定義されていない名前を変更することはできません。

@ R:rename

@@ SYS026

SYS026: この定義名は、関数以外の定義名ですから演算することができません。

表示命令

> .list (定義名)

を使って、どの様に定義したかを再確認してみてください。このエラーは、変数の参照に(引数)を付けたり、数式の中に手続きの定義名を書いたときなどにも発生します。

@ L:list

@@ SYS027

SYS027: 手続きを解釈実行しているときに定義の再定義や計算エラーがありました。Sプロンプトに続けて、任意の命令を行うことができます。

再定義: 既に定義されている関数や手続きと同名のを、手続きの中で定義しました。定義を書き換えるつもりならばそのままリターンで実行を続けて下さい。意図しない定義名が二重定義になってしまったときには、変更された定義内容をもとに書き戻してから、手続きの実行を継続または中断して下さい。

エラー: エラーの発生で以後の手続きの実行が無意味なら.breakで中断して下さい。必要な処置でエラーの原因と結果を修正できるなら、修正してから、手続きを継続して下さい。

S .break ブレーク命令をいれると、以後の手続きを中止します。

S (SHIFT+カーソル) 画面表示文字の切り出しモードになります。古い定義をなぞって入れることができます。

などや、計算エラーの原因の追求などをすることができます。

Sプロンプトに続けて空行の入力で、以後の手続きの解釈を続行します。

@ D:do P:手続き B:break

@@ SYS028

SYS028: 定義の表示命令で未定義の名前を指定しました。

> .list (定義名)

> (定義名) =

を確認してください。

@ L:list

@@ SYS029

SYS028: 計算式の表示文で、計算式の途中で計算を打ち切る記号が混じっていたために、計算式の最後まで計算が行われませんでした。

例えば、式の途中で、`,`がある場合、`A+123,456`  
余分な閉じカッコがある場合、`B+789)*C`

などにこのエラーが発生します。

@ 計算表示文

@@ SYS100

SYS100: N I F E の M S - D O S ( E S C ) バージョンは、画面上にグラフを描くことができません。

P C 9 8 0 1 とその互換機を利用されている方は、

N I F E の P C 9 8 0 1 バージョンをご利用下さい。

その他の機種をご利用の方は、

N I F E でグラフを描くには、ライブラリ H P G L を使ってプロットにグラフを描く方法があります。

または、データをファイルに書き出して、他のソフトウェアに読み込ませてグラフにしてください。

@

## 【 計算エラー 】

- @@ CALC001  
CALC001: ゼロで割り算をしました。原因となった計算式の部分が示されますから計算式の再検討をして下さい。  
@
- @@ CALC002  
CALC002: 未定義の関数を引用しました。関数名や変数名の確認をしてください。  
@ F:関数
- @@ CALC003  
CALC003: 行列の要素の値を得るのに、[]で添え字を指定していません。スカラー値の計算式に行列が現れる場合、添え字で要素の位置を示す必要があります。  
@ M:行列
- @@ CALC004  
CALC004: lookup()で、条件を満たすものがテーブルにありませんでした。  
(funcsub)  
@ L:lookup
- @@ CALC005  
CALC005: lookup()では、行列を指定しなければなりません。  
(funcsub)  
@ L:lookup
- @@ CALC006  
CALC006: lookup()で指定した行列は、定義されていません。  
(funcsub)  
@ L:lookup
- @@ CALC007  
CALC007: lookup()で指定したものは、関数であり、行列ではありません。  
(funcsub)  
@ L:lookup
- @@ CALC008  
CALC008: lookup()の行列の指定に、検査項目を示す\*がありません。  
(funcsub)  
@ L:lookup
- @@ CALC009  
CALC009: lookup()の行列の ] が閉じていません。  
(funcsub)  
@ L:lookup
- @@ CALC010  
CALC010: inv()の行列が正方行列ではありません。  
@ I:inv
- @@ CALC011  
CALC011: inv()の行列のランクが低いため、逆行列は求まりません。  
@ I:inv
- @@ CALC012  
CALC012: abs[]の行列が、2次元正方行列ではありません。  
@ A:abs

@@ CALC013

CALC013: 行列の足し算引算で、要素の数が一致しませんでした。  
それぞれの行列の大きさを確認して下さい。

@ M: 行列

@@ CALC014

CALC014: 行列の割り算で、正方行列でないので逆行列ができません。

@ M: 行列

@@ CALC015

CALC015: 行列のかけ算で、要素の数が不適當です。  
左側の行列の列数と右側の行列の行数は一致しなければなりません。  
それぞれの行列の大きさを確認して下さい。

@ M: 行列

@@ CALC016

CALC016: 行列の累乗 (^) は、正方行列にしか使えません。  
行列の行数と列数を一致させて下さい。

@ M: 行列

@@ CALC017

CALC017: 行列の ] が閉まっていません。

@ M: 行列

@@ CALC018

CALC018: ter() の行列が 2 次元行列ではありません。

@ M: 行列

@@ CALC019

CALC019: 添え字の大きさが行列の定義範囲を越えています。行列の大きさを  
確認してください。

@ M: 行列

@@ CALC020

CALC020: 数式の終わり方が正常ではありません。意味不明な記号があります。  
「余分なもの (%s)」で示した %s の最初の文字がエラーの原因です。  
入力数式を修正して下さい。

@

@@ CALC021

CALC021: 不適切な位置に記号があらわれました。このエラーは、2 項演算子の  
前後にオペランドがないときや演算子が 2 つ連続しているときに発生  
します。入力数式を修正して下さい。

@

@@ CALC022

CALC022: 浮動小数点演算ルーチンまたは 80 x 87 でエラーになりました。

エラーサブコードの意味は、以下のとおりです。

FPE_INVALID	0x81
FPE_DENORMAL	0x82
FPE_ZERODIVIDE	0x83
FPE_OVERFLOW	0x84
FPE_UNDERFLOW	0x85
FPE_INEXACT	0x86
FPE_UNEMULATED	0x87
FPE_SQRTNEG	0x88
FPE_STACKOVERFLOW	0x8a

```
FPE_STACKUNDERFLOW      0x8b
FPE_EXPLICITGEN          0x8c  /* raise( SIGFPE ); */
```

- @
- @@ CALC023  
CALC023: カッコを開いて始まった計算で、その対になるカッコが閉じていません。問題になった部分が表示されますから、数式を再検討して下さい。
- @
- @@ CALC024  
CALC024: 計算数式の中には、ワイルドカードを含んだ定義名を使うことはできません。
- @
- @@ CALC025  
CALC025: 外部関数 \*.FNC の実行にエラーが発生しました。外部関数プログラムが見つからなかったり、ロード実行するためのメモリが不足した場合などが考えられます。
- @
- @@ CALC026  
CALC026: カッコを開いて始まった行列計算で、その対になるカッコが閉じていません。問題になった部分が表示されますから、数式を再検討して下さい。
- @
- @@ CALC027  
CALC027: 関数定義式の終わり方が正常ではありません。意味不明な記号がある。「余分なもの(%s)」で示した%sの最初の文字がエラーの原因です。定義数式を修正して下さい。
- @
- @@ CALC028  
CALC028: 行列のかけ算で新しくできた行列の大きさが64KBytesの壁を超えるほど大きくなってしまいました。N I F Eでは扱えません。
- @
- @@ MEM001  
MEM001: 関数計算中に引数名を処理するためのメモリが不足しました。不必要な定義文や手続き文を削除(.del)してください。
- @ D:del
- @@ MEM002 MEM003 MEM004 MEM005  
MEM002-MEM005: 定義を記憶するためのメモリが不足しました。不必要な定義文や手続き文を削除(.del)してください。
- @ D:del
- @@ MEM006  
MEM006: 手続きの実行に必要なメモリが不足しました。不必要な定義文や手続き文を削除(.del)してください。
- @ D:del
- @@ MEM007 MEM008 MEM009  
MEM007-MEM009: 行列の定義をするのに必要なメモリが不足しました。不必要な定義文や手続き文を削除(.del)してください。
- @ D:del
- @@ MEM010 MEM011 MEM012 MEM013 MEM014 MEM015 MEM016  
MEM0010-MEM016: 行列の計算中にワークとなるメモリが不足しました。



不必要な定義文や手続き文を削除 (.del) してください。

@ D:del

@@ LIMIT001

LIMIT001: 関数の引数のための一時的なローカル変数が用意できません。  
減多に発生しないエラーです。ローカル変数が1000個を超えます。  
関数の引数(ローカル変数)を減らして、普通の変数(グローバル変数)  
や関数で値を渡すように改造するほか手はありません。

(calcsb)

@ V:変数 F:関数

@@ LIMIT002

LIMIT002: sigma()の作業変数が用意できません。減多に発生しないエラーです。

(funcsb)

@

@@ LIMIT003

LIMIT003: 関数などの定義が多すぎます。定義数の最大は1000件です。  
不要なものを削除 (.del) してください。

@ F:定義 D:del

@@ LIMIT004

LIMIT004: 行列の定義文で添え字の作業変数を作れませんでした。  
減多に発生しないエラーです。

@ M:行列

@@ LIMIT005

LIMIT005: 変数の定義文で変数を作れませんでした。

@ V:変数

@@ LIMIT007

LIMIT007: .drawで使用する作業変数を作ることができませんでした。  
減多に発生しないエラーです。

@ D:draw

@@ LIMIT008

LIMIT008: 行列のデータの個数が8000個を超えています。  
N I F Eでは扱うことができません。大きさを工夫して下さい。

@

@@ FILE001

FILE001: .save用のファイルが作れませんでした。

@ S:save

@@ FILE002

FILE002: .help用のファイルが見つかりません。  
NIFE.HLPをNIFE.EXEとおなじディレクトリに置いて下さい。

@

@@ FILE003

FILE003: txt,prc,datの記録保存用のファイルが作れません。

@ F:setlog

@@ FILE004

FILE004: .do で指定した名前は、手続き名ではなく、  
ファイル(.prc)でもありません。

@ D:do

@@ FILE005

FILE005: .SYLK用のファイルが作れませんでした。

@ S:sylk

@@ FILE006

FILE006: txt,prc,darの記録保存用のファイルに書き込めません。  
ディスクのデータがいっぱいです。不要なデータを削除してください。

@ L:setlog

@@ FILE007

FILE007: .saveの手続き保存用のファイルに書き込めません。  
ディスクのデータがいっぱいです。不要なデータを削除してください。

@ S:save

@@ const 定数 常数 物理定数

物理定数を紹介し定義を援助します。理科年表平成2年度版によりました。

電磁気定数

c=2.99792458e8 '真空中の光速度[m/s]  
 $\mu_0=1.2566370614e-6$  '真空中の透磁率[H/m] (4e-7  $\pi$ )  
 $\epsilon_0=8.854187817e12$  '真空中の誘電率[F/m] (1/(4e-7  $\pi$ )/c<sup>2</sup>)  
G=6.67259e-11 '万有引力定数[N·m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>]  
h=6.6260755e-34 'プランク定数[J·s]  
e=1.60217733e-19 '素電荷[C]

素粒子および原子定数

me=9.1093897e-31 '電子の質量[kg]  
mp=1.6726231e-27 '陽子の質量[kg]  
mn=1.6749286e-27 '中性子の質量[kg]  
m $\mu$ =1.8835327e-28 '  $\mu$ 粒子の質量[kg]

物理化学定数

mu=1.6605402e-27 '原子質量単位[kg]  
NA=6.0221367e23 'アボガドロ定数[1/mol]  
k=1.380658e-23 'ボルツマン定数[J/K]  
F=9.6485309e4 'ファラデー定数[C/mol] (e·NA)  
R=8.314510 '1モルの気体定数[J/mol/K] (NA·k)  
V0=2.241410e-2 '完全気体の体積[m<sup>3</sup>/mol] (0度、1 atm)

@ E:電磁気定数 A:素粒子定数 P:物理化学定数

@@ 電磁気定数

電磁気定数

> c=2.99792458e8 '真空中の光速度[m/s]  
>  $\mu_0=1.2566370614e-6$  '真空中の透磁率[H/m] (4e-7  $\pi$ )  
>  $\epsilon_0=8.854187817e12$  '真空中の誘電率[F/m] (1/(4e-7  $\pi$ )/c<sup>2</sup>)  
> G=6.67259e-11 '万有引力定数[N·m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>]  
> h=6.6260755e-34 'プランク定数[J·s]  
> e=1.60217733e-19 '素電荷[C]

@ E:電磁気定数 A:素粒子定数 P:物理化学定数

## @@ 素粒子定数

## 素粒子および原子定数

>  $m_e=9.1093897e-31$  '電子の質量[kg]  
 >  $m_p=1.6726231e-27$  '陽子の質量[kg]  
 >  $m_n=1.6749286e-27$  '中性子の質量[kg]  
 >  $m_\mu=1.8835327e-28$  ' $\mu$ 粒子の質量[kg]

@ E: 電磁気定数 A: 素粒子定数 P: 物理化学定数

## @@ 物理化学定数

## 物理化学定数

>  $m_u=1.6605402e-27$  '原子質量単位[kg]  
 >  $N_A=6.0221367e23$  'アボガドロ定数[1/mol]  
 >  $k=1.380658e-23$  'ボルツマン定数[J/K]  
 >  $F=9.6485309e4$  'ファラデー定数[C/mol] ( $e \cdot N_A$ )  
 >  $R=8.314510$  '1モルの気体定数[J/mol/K] ( $N_A \cdot k$ )  
 >  $V_0=2.241410e-2$  '完全気体の体積[m<sup>3</sup>/mol] (0度、1atm)

@ E: 電磁気定数 A: 素粒子定数 P: 物理化学定数



```
@> g=9.8      '重力加速度 [m/s2]
@> H0=50      '煙突の高さ [m]
@> C0=1000000 '排出口濃度 [ng/Nm3]
@> Q=Q0*C0    '汚染質の排出速度 [ng/s]
```

気象条件も次のように入れておきます。

```
@> T0=300     '気温 [K]
@> U=3        '平均風速 [m/s]
@> G=0.016    '大気の温度勾配 [K/m]
@*
```

これで、煙突有効高さの計算の定義が終わりました。  
次は、C「煙突3」です。

```
@ C:煙突3 S:save N:new F:関数
```

```
@@ 煙突3
```

```
=====
定義の表示
=====
```

これまで定義した関数を一覧で見たいときには、.list命令を使います。

```
@> .list
```

Heの定義を見たいときには、次の2つの方法があります。

```
@> He=        'ひとつは、名前の後に=付ける方法です。
@> .list He    'もうひとつは、.list命令を使う方法です。
どちらでも同じ結果が得られます。ワイルドカードを使うこともできます。
@> .list H?
```

ワイルドカード?を使うと、He, Hm, Ht, H0が順に表示されます。

```
@*
```

定義の表示方法について学びました。次は、C「煙突4」です。

```
@ C:煙突4 L:list W:ワイルドカード
```

```
@@ 煙突4
```

```
=====
値の計算
=====
```

値を見るときには、定義名を書けばよいのです。

```
@> He
```

まとめて見たいときは、複文にして、

```
@> He;Hm;Ht;H0
```

これらを使って式を書けば、計算が行われて値を表示します。また、定義に単位があれば、その単位も表示しています。

```
@> (He-H0)/H0*100[%]
```

この例では、実際の高さよりも有効高さが何%高くなっているかを計算しました。

```
@*
```

任意の数式を書くと、N I F Eはたちどころにその計算値を表示します。

次は、C「煙突5」です。

```
@ C:煙突5 X:計算
```

```
@@ 煙突5
```

```
=====
定義式の変更
```

=====

既に入っている定義式を変更する方法は、ひとつは同じ名前でもう一度定義する方法です。このとき、最上段のアシスト欄に「同じ名前の定義がすでにある」と警告がでます。排気温度 Tg を変えてみましょう。

@> Tg=600

古い定義の 500 K が削除されて、600 K になりました。このとき、Tg に付いていたコメントが自動的に引き継がれていることに注意して下さい。

これに伴い、煙突の有効高さ He の計算値も変わります。表示してみましょう。

@> He

先ほどよりも大きくなっていることがわかります。定義式を変更するもうひとつの方法は、.edit 命令を使う方法です。

> .edit Tg

E Tg=600 '排気温度 [K]■

となりますから、カーソル■を左に動かして、600 を 500 に書き戻してください。では、やってみましょう。

@> .edit Tg

Tg を戻したので、有効高さ He も元に戻ります。

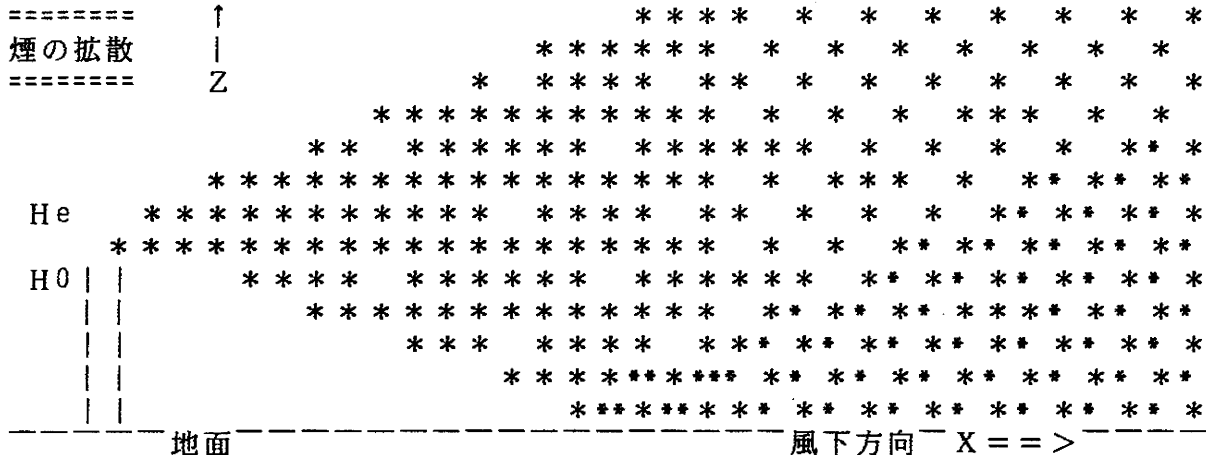
@> Tg;He

@\*

以上で、煙突の有効高さの計算が終わりました。続きは、C「煙突6」です。また、.list や .edit の解説を選んだ後で B「前頁」を選べば、この場面に戻ってこれます。

@ C:煙突6 L:list S:計算 F:関数 E:edit

@@ 煙突6



\* : 直接煙突から出た汚染物質 = Kcz1  
\*\* : 地面で反射した汚染物質 = Kcz2

O 点(x,y,z)での汚染濃度は、煙突の風上ではゼロ、風下ではCxです。  
@> Co(x,y,z)=if(-x,Cx,0) 'O点(x,y,z)での汚染濃度 [ng/Nm3]

ここで、if()を使って x<=0 のときは計算せずにゼロにしています。  
Cxは、Statistical (Gaussian) Theoryで計算するとつぎようになります。

@> Cx=Q/(2π σy σz U)\*Kcy(Kcz1+Kcz2) '(x,y,z)での濃度 [ng/Nm3]

@> Kcy=exp(-0.5 y^2/σy^2) 'Y軸の広がり

@> Kcz1=exp(-0.5\*(z-He)^2/σz^2) 'Z軸の広がり (直接)

@> Kcz2=exp(-0.5\*(z+He)^2/σz^2) 'Z軸の広がり (地面の反射)

=====
大気の状態
=====

排出ガスの広がり標準偏差σyとσzを決める必要がありますが、そのためには当日の大気の状態(安定度)を6段階の指標A~Fで指定します。次の表が大気安定度の判別の目安です。重要な表なので、コメントの形でN I F Eに記憶させて

おきましょう。コメント定義文は、関数名のない関数定義文ということができます。つまり、=で始まる行がコメント定義文なのです。

```
@> =
@> =          大気の安定度
@> = =====
@> =   風速(m/s)      日射量      夜間
@> =           強      並      弱      本雲り 雲り      晴れ
@> = -----
@> =   <2      A      A-B      B      D      -      -
@> =   2-3      A-B      B      C      D      E      F
@> =   3-4      B      B-C      C      D      D      E
@> =   4-6      C      C-D      D      D      D      D
@> =   >6      D      D      D      D      D      D
@> = =====
```

```
@> A=1 '大気の状態=強不安定
@> B=2 '大気の状態=並不安定
@> C=3 '大気の状態=やや不安定
@> D=4 '大気の状態=中立
@> E=5 '大気の状態=やや安定
@> F=6 '大気の状態=並安定
大気の状態をこの表から選んでA~Fを決めます。ここでは、とりあえず
      C O N D I T I O N = B
とします。後でいろいろ換えてみてください。
@> CONDITION=B '*** 大気の状態 ****
```

コメント定義文には、関数名に相当するコメント番号が自動的に振られます。見てみましょう。コメント定義文だけを見るには、.list命令に型指定.cを付けます。

```
@> .list .c
このコメント番号を使って、.edit (コメント番号)のようにコメントの修正など
することもできます。
```

つぎに、縦方向の排出ガスの広がり  
標準偏差σzを求めましょう。参考書に  
は、つぎのような表が書いてあります。  
このような表を参照するのが、組み込  
み関数のlookup関数です。まず、表を行  
列で定義します。

安定度 = B のとき

```
=====
x|      σ za|      σ zb
-----+-----+-----
0|  90.673|  0.93193
150| 90.673|  0.93193
200| 98.483|  0.98335
400|109.300|  1.09710
=====
```

```
> TableB[4,3]={ 0, 90.673, 0.93193, &
&          150, 90.673, 0.93193, &
&          200, 98.483, 0.98335, &
&          400,109.300, 1.09710 }
lookup(TableB[* ,0],LT,x)は、
TableB[i,0]<xになる i を返しますから、
```

$\sigma z = \sigma za (x/1000)^{\sigma zb}$   
ただし、5000を超えるときには  
 $\sigma z = 5000$ とする。

```
σ z1=σ za(x/1000)^σ zb
σ z=if(σ z1-5000,5000,σ z1)
σ za=Tableb[ Tablepnt, 1]
σ zb=Tableb[ Tablepnt, 2]
Tablepnt=lookup(TableB[* ,0],LT,x)
とすればよいわけです。ここでは、全ての大気安定度に対応するようにします。
@> σ z=if(5000-σ z1,5000,σ z1) '煙の鉛直方向の広がり[m]
@> σ z1=σ za (x/1000)^σ zb
@> σ za=Za[ lookup(Za[* ,0],LE,x), CONDITION]
@> σ zb=Zb[ lookup(Zb[* ,0],LE,x), CONDITION]
@> =          x,          A,          B,          C,          D,          E,          F
@> Za[19,7]={ 0, 158.080,  90.673,  61.141,  34.459,  23.331,  15.209, &
&          150, 170.220,  90.673,  61.141,  34.459,  23.331,  15.209, &
&          200, 179.520,  98.483,  61.141,  34.459,  23.331,  14.457, &
&          250, 217.410,  98.483,  61.141,  34.459,  23.331,  14.457, &
```

```

&      300, 258.890, 98.483, 61.141, 32.093, 21.628, 14.457, &
&      400, 346.750, 109.300, 61.141, 32.093, 21.628, 14.457, &
&      500, 453.850, 109.300, 61.141, 32.093, 21.628, 14.457, &
&      700, 453.850, 109.300, 61.141, 32.093, 21.628, 13.953, &
&     1000, 453.850, 109.300, 61.141, 32.093, 21.628, 13.953, &
&     2000, 453.850, 109.300, 61.141, 32.093, 22.534, 14.823, &
&     3000, 453.850, 109.300, 61.141, 33.504, 22.534, 16.184, &
&     4000, 453.850, 109.300, 61.141, 33.504, 24.703, 16.184, &
&     7000, 453.850, 109.300, 61.141, 33.504, 24.703, 17.836, &
&    10000, 453.850, 109.300, 61.141, 36.650, 26.970, 17.836, &
&    15000, 453.850, 109.300, 61.141, 36.650, 26.970, 22.651, &
&    20000, 453.850, 109.300, 61.141, 36.650, 35.420, 22.651, &
&    30000, 453.850, 109.300, 61.141, 44.053, 35.420, 27.074, &
&    40000, 453.850, 109.300, 61.141, 44.053, 47.618, 27.074, &
&    60000, 453.850, 109.300, 61.141, 44.053, 47.618, 34.219 }
@> =      x,      A,      B,      C,      D,      E,      F
@> Zb[19,7]={ 0, 1.05420, 0.93193, 0.91465, 0.86974, 0.81956, 0.81558, &
&      150, 1.09320, 0.93193, 0.91465, 0.86974, 0.81956, 0.81558, &
&      200, 1.12620, 0.98332, 0.91465, 0.86974, 0.81956, 0.78407, &
&      250, 1.26440, 0.98332, 0.91465, 0.86974, 0.81956, 0.78407, &
&      300, 1.40940, 0.98332, 0.91465, 0.75660, 0.75660, 0.78407, &
&      400, 1.72830, 1.09710, 0.91465, 0.75660, 0.75660, 0.78407, &
&      500, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.75660, 0.75660, 0.78407, &
&      700, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.75660, 0.75660, 0.68465, &
&     1000, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.63077, 0.63077, 0.63227, &
&     2000, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.57154, 0.57154, 0.54503, &
&     3000, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.57154, 0.57154, 0.46490, &
&     4000, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.50527, 0.50527, 0.46490, &
&     7000, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.50527, 0.50527, 0.41507, &
&    10000, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.46713, 0.46713, 0.41507, &
&    15000, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.46713, 0.46713, 0.32681, &
&    20000, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.37615, 0.37615, 0.32681, &
&    30000, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.37615, 0.37615, 0.27436, &
&    40000, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.29592, 0.29592, 0.27436, &
&    60000, 2.11660, 1.09710, 0.91465, 0.29592, 0.29592, 0.21716 }

```

同様に $\sigma y$ も参考書の表から求めます。

```

@>  $\sigma y(x) = \text{if}(-x, \sigma yp, 0)$  '水平方向広がり[m]
@>  $\sigma yp = 0.46511628x * \tan(0.017453293(\sigma yc - \sigma yd * \log(x/1000)))$  '水平方向広がり[m]
@>  $\sigma yc = Ycd[\text{CONDITION}, 1]$ 
@>  $\sigma yd = Ycd[\text{CONDITION}, 2]$ 
@> Ycd[7,3]={ 0, 0, 0, &
&      A, 24.1670, 2.5334, &
&      B, 18.3330, 1.8096, &
&      C, 12.5000, 1.0857, &
&      D, 8.3330, 0.72382, &
&      E, 6.2500, 0.54287, &
&      F, 4.1867, 0.36191 }

```

@\*

これで参考書に書いてあることをすべてNIFEに書き込んで定義しました。  
次は、C「煙突7」です。

@ C:煙突7 F:関数 X:行列

@@ 煙突7

=====



## 濃度計算

=====

さあ、値を見てみましょう。

煙突の排出口での濃度は、

```
@> Co=
```

でした。さて、風下200m高さ0mでは、

```
@> Co(200,0,0)
```

いろいろな地点の濃度をみてみましょう。

```
@> Co(200,0,He);Co(200,0,He/2)
```

```
@> Co(300,0,0);Co(500,0,0);Co(1000,0,0);Co(2000,0,0)
```

```
@> Co(500,0,0);Co(500,50,0);Co(500,100,0)
```

(x, y, z) を別に定義して、Coには引数を付けずに計算することもできます。

```
@> x=500 '風下 [m]
```

```
@> y=0 '風下方向に対する横方向のずれ [m]
```

```
@> z=0 '地上高 [m]
```

```
@> Co
```

```
@*
```

煙突の風下での濃度予測値を計算してみました。次は、C「煙突8」です。

```
@ C:煙突8 X:計算 F:関数
```

```
@@ 煙突8
```

=====

一覧表をつくる。

=====

ひとつずつ値を計算するのは、面倒なので一覧表をつくることにしましょう。

風下方向100m間隔で地上の濃度と煙の広がり具合をみます。

xの値を100mずつ変化させるために、変数xを使います。変数の定義

記号は<です。変数xなら、

```
x < x + 100
```

のような使い方ができます。関数でx = x + 100とするのは数学的に不合理になりますから、できません。(計算実行時にエラーになります。)

また、繰り返しには、.repeat命令を使います。

```
@> .set echo off 'これはきれいな一覧表を得るためのおまじないです。
```

```
@> x<0; .repeat 20; x<x+100; Co; σz; σy
```

さらに、バージョン1.4からは、もっと便利な.for .while .ifなどの制御文が使えるようになりました。これを使うと、一覧表は、

```
@> .for x,100,2000,100; x; Co; σz; σy
```

のようになります。

```
@*
```

このように、汚染濃度の一覧表を作りました。次は、C「煙突9」です。

```
@ C:煙突9 V:変数 R:repeat S:setecho
```

```
@@ 煙突9
```

=====

手続きを使う

=====

y, zをいろいろに変えて一覧表を作りたいのですが、そのたびに

```
x<0; .repeat 20; x<x+100; Co; σz; σy
```

または、.for x,100,2000,100; x; Co; σz; σy

とキーボードからタイプするのは面倒です。そこで、これを手続きとして登録してしましましょう。

手続きの定義記号は、>です。>の前に手続き名、後ろに手続きの本体を書きます。

```
@> clist> .for x,Xmin,Xmax,dx; x; Co; σz; σy
```

```
@> dx=100 '計算間隔 [m]
```

```
@> Xmin=0 [m]
@> Xmax=2000 [m]
```

このように、計算間隔や計算範囲など変更の可能性の高い部分は手続き本体と別に  
するほうが、汎用性をあって便利になります。

手続きの実行は、.do命令です。観測点高度を10 mにして、やってみましょう。

```
@> z<10
```

zの修正は、関数  $z = 10$  でもよいのですが新旧の定義の表示などなにかと  
うるさいので、数値だけの修正は変数  $z < 10$  を使う方がよいようです。計算時間も  
変数の方が関数より速くなります。

```
@> .do clist
```

NI FEのバージョン1.44から、.do (手続き名)の省略形として、.(手続き名)  
も使えるようになりました。あたかも新しい命令ができたかのような書式ですね。  
実際には、次のようにします。

```
@> z<20; .clist
```

```
@*
```

このように、頻繁に使う命令は手続きにしてみると便利です。

次は、C「煙突10」です。

```
@ C:煙突10 P:手続き D:do
```

```
@@ 煙突10
```

```
=====
グラフを描く
=====
```

つぎに、これをグラフにしてみましょう。

まず、表示画面の枠を描きましょう。枠の位置は自由に設定できますが、今回は  
デフォルトの枠を使います。

```
@> .coord 0
```

つぎに論理座標を決めます。横軸は0 mから2000 mとします。

```
@> Xmin=0[m]; Xmax=2000[m]; Xscale=200[m]
```

縦軸は、0 ng/m<sup>3</sup> から20 ng/m<sup>3</sup> で良いでしょう。

```
@> Ymin=0[ng/m3]; Ymax=20[ng/m3]; Yscale=5[ng/m3]
```

$y = 0$ 、 $z = 0$  で  $x$  を変化させた時の濃度  $C_0$  をプロットしましょう。  
媒介変数  $i$  を0から40まで変化させたときの  $(50i, C_0(50i))$  の軌跡を描きます。

```
@> .draw i,0,40,50i,Co(50i),0,0
```

さらに、.draw は、増分を指定できるようになり、ますます使いやすくなります。  
これも手続きにして登録して置きましょう。

```
@> graph> .draw x,Xmin,Xmax,dx, x, Co
```

```
@> dx<50; y<0; z<0
```

次に、グラフの色を変えて  $z = 20$  mのグラフを描いてみましょう。

.draw命令が使うのは、.colorの2番目の色なので

```
@> .color ,6
```

```
@> z<20; .graph
```

この .graph は、.do graph の省略形でしたね。

さらに、幾つか描きましょう。

```
@> .color ,5; z<40; .graph
```

```
@> .color ,4; z<60; .graph
```

いかがでしたでしょうか。簡単にグラフが描けたと思います。

では、グラフを消しましょう。

```
@> .cls 2; .color ,7
```

```
@*
```

地上高別の汚染濃度グラフを描きました。次は、C「煙突11」です。

@ C:煙突11 G:グラフ

@@ 煙突11

```
=====
ワッチ指定 (常時表示)
=====
```

N I F Eでは、指定した定義の値を常に表示し続けることができます。たとえば、x, y, z, Coの値を常時表示に指定してみましょう。

```
@> .watch +x +y +z +Co
```

つぎに、いろいろなパラメータの値を変えてみます。それに応じて表示の数値も変化することを確かめて下さい。

```
@> x<500;y<0;z<0
```

```
@> Tg=600
```

```
@> T0=280
```

```
@> CONDITION=C
```

```
@> U=5; CONDITION=D
```

ワッチ指定になっている定義は、\$印が付いています。逆に、何かを定義するときに\$印を先頭に付けると、その定義はワッチ指定になります。また、関数や変数だけでなく、手続きもワッチ指定にすることができます。例えば、

```
@> $ watchproc> He;H0;(He-H0)/H0*100[%]
```

などのようにすると、手続きwatchprocは、毎回自動的に実行されます。この機能を使って、様々なシミュレーションを試みることができます。

@\*

ワッチの解除は、すべてを意味するワイルドカード#に解除のマイナス記号を付けて、

```
> .watch -#
```

とします。次は、C「煙突12」です。

@ C:煙突12 W:watch F:関数

@@ 煙突12

```
=====
表示その2
=====
```

さて、ここまでの定義をもう一度見てみましょう。

```
@> .list
```

定義が沢山ありすぎてよく判りませんね。これまでも、特定の型だけ表示する

```
@> .list .p      '手続きだけの表示
```

や、名前にワイルドカードを使った表示

```
@> .list σ#
```

などを使ってきました。

次に、定義の中身によって表示非表示を区別する例を示します。

まず、定義のなかに指定された単語を含んでいる定義を捜し出すには、.select命令を使います。たとえば、風速Uを含む定義を探しましょう。

```
@> .select -# +U      '全ての定義を非表示にしてから、Uを含むものを選ぶ。
```

そうすると、ふつうに.list命令をしても

```
@> .list
```

Uが入っているものしか表示されません。といっても、削除された訳ではありませんから、

```
@> Co
```

のように、ちゃんと計算できます。どうなっているのかを見るためには、

```
@> .list .a      '全てを見る指定
```

とします。非表示になっている定義には、非表示の!印が付いていることが判るでしょう。

もうひとつ、何かの値を計算するのに不必要な定義を非表示にする`.reference`命令があります。たとえば、煙突の有効高さ`He`を計算するのに後半の拡散式は不要です。そこで、

```
@> .reference He
とすると、ふつうに.list命令をしても
@> .list
このように、Heに必要なものしか表示されません。
```

非表示を解除するには、すべてを意味するワイルドカード`#`を使って、

```
@> .select +#
とします。これで、すべて見えるようになります。見てみましょう。
@> .list
@*
```

`select`や`reference`命令を使って、必要な定義だけを表示させることができました。次は、`C`「煙突13」です。

```
@ C:煙突13 L:list S:select R:reference !:非表示
```

```
@@ 煙突13
```

これで、煙突からの煙の拡散を例にした`NIFE`の使用事例を終わります。

これを参考にして、自由自在に`NIFE`を使いこなして下さい。

ここで定義した関数などは、`help`モードを終了しても残っていますから、いろいろな条件の場合の濃度予測など自由にやってみてください。

また、煙突の実行例の最初に保存した定義を復活させたいときは、`F`「煙突復活」を選択して下さい。

```
@ C:煙突 F:煙突復活
```

```
@@ 煙突復活
```

まず、煙突関連の定義を消します。

```
@> .new
つぎに、保存していた定義を読みだします。
@> .do $NIFE$.PRC
```

```
@ C:煙突
```

```
*****
  こんなとき どうする 【Q & Aコーナー】
*****
N I F Eの操作で、トラブルに遭遇したら、まずここを読んでみて下さい。
```

@@ ?アプリケーションが起動できない

.SYS 命令でアプリケーションを起動しようとしたとき、メモリーが不足しているといわれて起動できなかった。

**【対策】**

FGALSTのLIB-8にあるSWAPというプログラムを利用して下さい。  
 > .sys SWAP (でっかいアプリケーション)

@

@@ ?グラフが描けない

.SYS 命令で別のアプリケーションを実行したときに、そのアプリケーションがグラフィック機能の設定値を変更してしまうことがあります。  
 代表的なものでいえば、Ngraphなどのグラフ作画ツールなどです。

**【対策】**

.cls 5 命令を実行して下さい。設定値を元に戻してグラフを書き直すことができます。

次のようなマクロを組んでNgraphなどを起動するとよいでしょう。  
 > Ngraph>.sys SWAP Ngraph; .cls 5

**【問題点】**

.sys 以前に表示されていたグラフも消去されてしまいます。

@ S:sys C:cls

## 【索引】

項目	PAGE	項目	PAGE	項目	PAGE
@.....	38	copyright.....	4	MEM002.....	45
@.....	38	ctrlkey.....	17	MEM003.....	45
@.....	38	ctrlZ.....	11	MEM004.....	45
@【.....	38	definition....	17	MEM005.....	45
addin.....	37	del.....	22	MEM006.....	45
address.....	4	delete.....	22	MEM007.....	45
alias.....	21	det.....	15	MEM008.....	45
author.....	4	dim.....	14	MEM009.....	45
average.....	14	do.....	29	MEM010.....	45
break.....	29	dos.....	23	MEM011.....	45
builtinfunctio	13	dot.....	36	MEM012.....	45
calc.....	12	draw.....	36	MEM013.....	45
CALC001.....	43	edit.....	22	MEM014.....	45
CALC002.....	43	end.....	11	MEM015.....	45
CALC003.....	43	erase.....	22	MEM016.....	45
CALC004.....	43	ESC.....	37	menu.....	3
CALC005.....	43	file.....	10	message.....	23
CALC006.....	43	FILE001.....	46	mod.....	16
CALC007.....	43	FILE002.....	46	mouse.....	28
CALC008.....	43	FILE003.....	46	move.....	35
CALC009.....	43	FILE004.....	46	msdos.....	23
CALC010.....	43	FILE005.....	46	new.....	23
CALC011.....	43	FILE006.....	47	NIFE.....	3
CALC012.....	43	FILE007.....	47	operation.....	8
CALC013.....	44	for.....	30	operation2....	8
CALC014.....	44	format.....	32	print.....	23
CALC015.....	44	function.....	18	proc.....	21
CALC016.....	44	graph.....	12	procedure.....	21
CALC017.....	44	help.....	38	quit.....	11
CALC018.....	44	helpfile.....	38	reference.....	26
CALC019.....	44	if.....	15	rem.....	21
CALC020.....	44	if.....	30	remark.....	21
CALC021.....	44	if関数.....	15	rename.....	24
CALC022.....	44	if命令.....	30	repeat.....	30
CALC023.....	45	inpr.....	15	save.....	24
CALC024.....	45	input.....	35	select.....	25
CALC025.....	45	key.....	17	set.....	31
CALC026.....	45	LIMIT001.....	46	setassist.....	32
CALC027.....	45	LIMIT002.....	46	setdata.....	31
CALC028.....	45	LIMIT003.....	46	setecho.....	33
calculate.....	12	LIMIT004.....	46	setend.....	32
changename....	24	LIMIT005.....	46	setfile.....	31
cls.....	28	LIMIT007.....	46	setformat.....	32
cmd.....	11	LIMIT008.....	46	setlog.....	31
color.....	27	list.....	24	setname.....	33
com.....	11	lookup.....	15	setproc.....	31
command.....	11	mail.....	4	setreflexive..	34
comment.....	21	mark.....	10	setstep.....	34
const.....	47	matrix.....	35	settalk.....	33
coord.....	37	MEM001.....	45	settrace.....	33

## 【索引】

項目	PAGE	項目	PAGE	項目	PAGE
setwatch.....	34	Xscale.....	37	参照関係.....	26
sigma.....	16	Ymax.....	27	試用者.....	5
sum.....	17	Ymin.....	27	実行.....	29
sys.....	23	Ymouse.....	28	謝辞.....	6
SYS001.....	40	Yscale】.....	37	手続き.....	21
SYS002.....	40	?アプリケーション	58	手続きファイル	29
SYS003.....	40	?グラフが描け	58	終了.....	11
SYS004.....	40	C F G設定....	9	書式.....	32
SYS005.....	40	N I F Eヘルプ	39	消去.....	22
SYS006.....	40	キー割当.....	17	常数.....	47
SYS007.....	40	グラフ.....	12	色.....	27
SYS008.....	40	ファイル.....	10	設定.....	31
SYS009.....	40	ヘルプファイル	38	素粒子定数....	48
SYS010.....	40	ヘルプファイル	38	組込関数.....	13
SYS011.....	40	ヘルプ索引....	39	全削除.....	23
SYS012.....	40	マウス.....	28	操作.....	8
SYS013.....	40	印字.....	23	操作2.....	8
SYS014.....	40	煙突.....	49	中断.....	37
SYS015.....	41	煙突10.....	55	注釈.....	21
SYS017.....	41	煙突11.....	56	著作.....	4
SYS018.....	41	煙突12.....	56	著作権.....	4
SYS019.....	41	煙突13.....	57	著作者.....	4
SYS020.....	41	煙突2.....	49	通常利用権....	6
SYS021.....	41	煙突3.....	50	定義.....	17
SYS022.....	41	煙突4.....	50	定数.....	47
SYS023.....	41	煙突5.....	50	電磁気定数....	47
SYS024.....	42	煙突6.....	51	点描.....	36
SYS026.....	42	煙突7.....	53	動作環境.....	8
SYS027.....	42	煙突8.....	54	非表示.....	26
SYS028.....	42	煙突9.....	54	表示.....	24
SYS029.....	42	煙突復活.....	57	複文.....	10
SYS100.....	42	外部関数.....	18	物理化学定数..	48
system.....	23	外部関数詳説..	19	物理座標.....	28
text.....	23	外部命令.....	37	物理定数.....	47
thanks.....	6	環境変数.....	9	別名.....	21
to.....	35	関数.....	18	変数.....	20
top.....	3	関数型行列....	20	変数利用.....	20
type.....	25	企画.....	7	編集.....	22
undefine.....	22	記号.....	10	保存.....	24
var.....	20	起動時環境....	9	名変更.....	24
variable.....	20	繰り返し.....	30	命令.....	11
VXmax.....	28	計算.....	12	命令2.....	11
VXmin.....	28	計算順序.....	13	目次.....	3
VYmax.....	28	計算表示文....	12	友好利用者....	5
VYmin.....	28	型.....	25	料金支払い者..	6
watch.....	26	行列.....	19	連絡先.....	4
while.....	31	行列の組込関数	17	論理座標.....	27
Xmax.....	27	作画.....	36	ワイルドカード.....	13
Xmin.....	27	使用例.....	49		
Xmouse.....	28	参考文献.....	7		

## 付録 3 (1) 表一覧

- 表 2 - 1 - 1 農薬の用途別分類と生産量
- 表 2 - 1 - 2 農薬製剤の分類
- 表 2 - 1 - 3 主な農薬の単位面積当りの標準使用量
- 表 2 - 3 - 1 環境大気汚染調査事例の測定方法と最高値
- 表 2 - 3 - 2 日本の河川などで検出された農薬
- 表 2 - 4 - 1 SWRCB Criteria for Selection of Priority Chemicals
- 表 2 - 7 - 1 A C G I H (1984) と日本産業衛生学会 (1989) による
- 表 2 - 7 - 2 航空散布による生活環境の大気中農薬の指針値  
(農林水産航空協会 (1991))
- 表 2 - 8 - 1 水田空散における被害例  
(1987年7月食生活改善普及会調べ)
- 表 2 - 8 - 2 1989年度の水田空中散布の健康被害など  
(反農薬東京グループ調べ (1990) より作成。)
- 表 3 - 3 - 1 低面密度のときの揮発速度測定結果
- 表 3 - 3 - 2 高面密度のときの揮発速度測定結果
- 表 3 - 5 - 1 揮発速度測定実験 (2)
- 表 4 - 1 - 1 T E N A X 捕集管の回収率
- 表 4 - 2 - 1 自動分析のためのタイムプログラム
- 表 5 - 2 - 1 ビニールハウス内の空気中農薬濃度  
(1985年5月8日調査。群馬県前橋市)
- 表 5 - 3 - 1 高原野菜单作地帯の大気中農薬汚染濃度  
(群馬県嬬恋村)
- 表 5 - 3 - 2 高原野菜单作地帯の農薬水質汚染濃度  
(群馬県嬬恋村)
- 表 5 - 3 - 3 高原野菜单作地帯の土壌残留農薬濃度  
(群馬県嬬恋村)
- 表 5 - 3 - 4 河川での P C N B 等の減衰  
(1986年度群馬県吾妻川)
- 表 5 - 4 - 1 大気中クロルピクリン濃度  
(1985年4月10日、5月8日、86年4月26日調査。群馬県子持ち村)
- 表 5 - 4 - 2 大気中クロルピクリン濃度  
(群馬県吾妻村)



- 表 5-5-11 大気中CVMP濃度の分布調査  
(1988年8月11日調査。秋田県十文字町)
- 表 5-5-12 農業用水路水のフサライド濃度  
(1988年8月11日調査。秋田県十文字町)
- 表 5-5-13 大気中MEP濃度の時間変化  
(1989年8月調査。秋田県十文字町)
- 表 5-5-14 十文字町付近の市町村のフサライド空中散布  
(1989年度第二回散布)
- 表 5-5-15 農薬残留濃度  
(1989年8月10日調査。秋田県十文字町)
- 表 5-5-16 フサライド汚染濃度  
(1989年8月22日調査。秋田県十文字町)
- 表 5-5-17 大気中フサライド濃度の時間変化と気象データ  
(1990年8月9日調査。秋田県十文字町)
- 表 5-5-21 大気中フサライド濃度  
(1989年7月14日調査。宮城県仙台市)
- 表 5-5-22 農薬飛散量調査結果  
(1989年7月14日調査。宮城県仙台市)
- 表 5-5-23 フサライドの水質汚染濃度  
(1989年7月14日調査。宮城県仙台市)
- 表 5-5-24 周辺民家での大気中フサライド濃度の時間変化  
(1990年7月17日調査。宮城県仙台市)
- 表 5-5-25 空中散布農薬の水質汚染濃度 $\mu\text{m}$ (1990年7月調査。宮城県仙台市等)
- 表 5-5-26 フサライド飛散量  
(1990年7月18日調査。宮城県仙台市)
- 表 5-5-27 フサライド飛散量  
(1990年7月調査。宮城県各所)
- 表 5-5-31 散布周辺への農薬飛散量  
(1988年8月15日調査。山形県白鷹町)
- 表 5-5-32 大気中BPMC濃度の時間変化  
(1988年8月15～16日調査。山形県白鷹町鮎貝住宅地内)
- 表 5-5-33 大気中農薬の濃度分布  
(1988年8月15日調査。山形県白鷹町)
- 表 5-5-34 大気中農薬濃度の分布調査  
(1989年8月14日調査。山形県白鷹町)
- 表 5-5-35 水質農薬汚染濃度  
(1989年8月14日調査。山形県白鷹町)
- 表 5-5-36 農薬の飛散量  
(1989年8月14日調査。山形県白鷹町)
- 表 5-5-37 大気中農薬濃度の時間変化

- (1990年8月14日調査。山形県白鷹町)
- 表5-5-38 水質MPP汚染濃度  
(1990年8月14日調査。山形県白鷹町)
- 表5-5-39 農薬飛散量調査  
(1990年8月14日調査。山形県白鷹町)
- 表5-5-41 大気中MPP濃度の時間変化  
(1987年8月21~22日調査。山形県高島町)
- 表5-5-42 水質試料中の農薬濃度  
(1988年8月19日、89年8月22日調査。山形県高島町)
- 表5-5-43 農薬飛散量  
(1988年8月19日、89年8月22日調査。山形県高島町)
- 表5-5-51 農薬飛散量  
(1988年6月19日、7月23、24日調査。新潟県巻町)
- 表5-5-52 大気中CVMP濃度の時間変化  
(1988年6月19日調査。新潟県巻町)
- 表5-5-53 大気中農薬濃度の時間変化  
(1988年7月23~24日、8月6日調査。新潟県巻町)
- 表5-5-54 大気中農薬の濃度分布  
(1988年7月23~24日、8月6日調査。新潟県巻町)
- 表5-5-61 大気中フサライド濃度の時間変化  
(1987年8月22日調査。福島県松川町)
- 表5-5-71 農薬飛散量  
(1987年8月9日調査。茨城県八郷町)
- 表5-5-81 大気中農薬濃度  
(1988年8月18日調査。群馬県館林市)
- 表5-5-82 大気中農薬濃度  
(1988年9月9日調査。群馬県館林市)
- 表5-5-83 水質汚染濃度  
(1988年9月9日調査。群馬県館林市)
- 表5-5-84 農薬の飛散量  
(1988年9月9日調査。群馬県館林市)
- 表5-5-91 散布水田内での大気中農薬濃度の時間変化  
(1987年5月26日調査。栃木県今市市)
- 表5-5-92 民家での大気中農薬濃度の時間変化  
(1987年5月27日調査。栃木県今市市)
- 表5-5-101 水田空中散布農薬の飛散量  
(1991年6月12日調査。埼玉県浦和市)
- 表5-5-111 大気中農薬の濃度分布  
(1988年7月27日調査。埼玉県富士見市)
- 表5-5-112 農薬の飛散量  
(1988年7月27日、8月29日調査。埼玉県富士見市)

- 表 5 - 5 - 1 4 1 大気中MEP濃度  
(1985年7月15日調査。千葉県佐原市)
- 表 5 - 6 - 2 1 大気中のNAC濃度  
(1987年7月16日調査。宮城県石巻市)
- 表 5 - 6 - 3 1 大気中MEP濃度の時間変化  
(1986年7月7日調査。福島県福島市信夫山)
- 表 5 - 6 - 3 2 大気中MEP濃度の分布  
(1986年7月7日調査。福島市信夫山)
- 表 5 - 6 - 3 3 MEP地上散布による大気汚染  
(1987年6月26日調査。福島県福島市もちざり観音)
- 表 5 - 6 - 3 4 MEP空中散布による大気汚染  
(1987年7月6日調査。福島市水林自然林)
- 表 5 - 6 - 3 5 MEPの飛散量  
(1987年7月6日調査。福島市水林自然林)
- 表 5 - 6 - 4 1 大気中MEP濃度  
(1985年6月3～11日調査。群馬県高崎市観音山周辺)
- 表 5 - 6 - 4 2 大気中MEP濃度  
(1986年5月28日調査。群馬県高崎市観音山)
- 表 5 - 6 - 5 1 大気中MEP濃度の時間変化  
(1988年6月1日調査。群馬県太田市金山)
- 表 5 - 6 - 5 2 大気中MEPの濃度分布  
(1988年6月1日調査。群馬県太田市金山)
- 表 5 - 6 - 5 3 MEP飛散量  
(1988年6月1日調査。群馬県太田市金山)
- 表 5 - 6 - 6 1 大気中MEP濃度の時間変化  
(1986年6月9日調査。群馬県沼田市三峰山)
- 表 5 - 6 - 7 1 大気中MEP濃度の時間変化  
(1990年6月19日調査。山梨県大月市)
- 表 5 - 6 - 8 1 MEP飛散量  
(1989年6月7日調査。山梨県甲府市白山)
- 表 5 - 6 - 8 2 大気中MEP濃度の時間変化と分布  
(1989年6月6日調査。山梨県甲府市健康の森)
- 表 5 - 6 - 8 3 大気中MEP濃度の時間変化  
(1989年7月5日調査。山梨県甲府市湯村山)
- 表 5 - 6 - 8 4 MEP地上散布の飛散量  
(1990年5月28日調査。山梨県甲府市)
- 表 5 - 6 - 8 5 気象状況と大気中MEP濃度の時間変化  
(1990年5月28日調査。山梨県甲府市)
- 表 5 - 7 - 1 ゴルフ場周辺の農業大気汚染  
(1988年6月16日調査。神奈川県中部)

- 表 5-7-2 ゴルフ場の除草剤散布による大気中ベスロジン濃度の時間変化  
(1988年6月29日調査)
- 表 5-7-3 ゴルフ場の除草剤散布による大気中ベスロジン濃度の分布  
(1988年6月29日調査)
- 表 5-7-4 ゴルフ場のグリーンへの殺虫剤散布実験
- 表 5-8-1 土壌中のクロルデン類の残留濃度  
(1989年8月30日調査。岐阜市O団地)
- 表 5-8-2 空気中クロルデン類濃度  
(1989年8月30日調査。岐阜県O団地)
- 表 5-8-3 室内空気中クロルデン濃度  
(1979年散布。1986年11月調査。広島県S氏宅)
- 表 5-8-4 室内空気中のクロルデン濃度  
(1984年10月散布。1986年10月調査。神奈川県T氏宅)
- 表 5-8-5 室内空気中クロルデン濃度の時間変化  
(1984年10月散布。1988年7月調査。神奈川県T氏宅)
- 表 5-8-6 各部屋のクロルデン濃度  
(1984年10月散布。1988年7月2日調査。神奈川県T氏宅)
- 表 5-8-7 土壌や家屋でのクロルデン残留濃度  
(1984年10月散布。1988年7月2日調査。神奈川県T氏宅)
- 表 5-8-8 室内空気中クロルデン残留濃度  
(1981年11月散布。1987年10月9日調査。神奈川県Y氏宅)
- 表 5-9-1 団地の大気中除草剤濃度の時間変化  
(1988年3月9日調査。神奈川県横浜市左近山団地3-6棟)
- 表 5-9-2 散布翌日の大気中除草剤濃度の分布  
(1988年3月10日調査。神奈川県横浜市左近山団地付近)
- 表 5-9-3 大気中CAT濃度の時間変化  
(1989年3月23日調査。神奈川県横浜市左近山団地3-6棟)
- 表 5-9-4 大気中イソキサチオン濃度の時間変化  
(1989年5月2日調査。神奈川県横浜市左近山団地3-3棟)
- 表 6-1-1 各地での農業大気汚染測定結果
- 表 6-1-2 農業大気汚染の影響範囲と統計量
- 表 7-1-1 コンピューターによる代表的な計算環境
- 表 8-1-1 煙突の有効高さを求める計算式
- 表 8-1-2 煙突の汚染濃度計算式を登録するNIFEの手続きファイル
- 表 8-1-3 汚染濃度の距離別一覧表を作る命令と計算結果
- 表 8-1-4 汚染濃度のグラフを描くための手続き
- 表 8-2-1 手続き (TOKYO.PRC) の内容

- 表 8 - 2 - 2 手続き (TUMAGOI.PRC) の内容
- 表 8 - 2 - 3 手続き (TUMAGOI.PRC) の内容
- 表 8 - 2 - 4 手続き (PCNB.PRC) の内容
- 表 8 - 4 - 1 各シミュレーション条件での大気汚染計算結果

## 付録 3 (2) 図面一覧

- 図 2 - 2 - 1 吸収管による液体捕集法の例 (Willisら(1975))
- 図 2 - 2 - 2 捕集カラムの例 (Farwellら(1977), Hillら(1979))
- 図 2 - 2 - 3 拡散サンプラーの例 (實成ら(1987))
- 図 3 - 1 - 1 皮膜の状態
- 図 3 - 3 - 1 低面密度残存量の減少 PCNB (20℃)
- 図 3 - 3 - 2 高面密度残存量の減少 PCNB (35℃)
- 図 4 - 1 - 1 TENAX捕集管の構造
- 図 4 - 1 - 2 加熱導入装置 (左) と連続自動分析装置 (右) の構造
- 図 4 - 2 - 1 連続自動分析結果  
(1985年6月2～10日、群馬県前橋市)
- 図 4 - 2 - 2 クロマトグラムの一例  
(1985年6月6日 7時48分、群馬県前橋市)
- 図 4 - 3 - 1 自動大気採取装置の構造
- 図 5 - 2 - 1 ビニールハウスに散布した農薬の気中濃度  
(1985年5月8日 群馬県前橋市)
- 図 5 - 3 - 1 クロマトグラムの一例  
(1985年5月16日、群馬県嬭恋村田代小学校前)
- 図 5 - 3 - 2 散布前の汚染濃度とキャベツ栽培地  
(1986年4月4日、群馬県嬭恋村)
- 図 5 - 3 - 3 大気中PCNB濃度の変化  
(1986年5月8日、群馬県嬭恋村田代小学校前)
- 図 5 - 3 - 4 PCNB濃度分布  
(1986年5月10日、群馬県嬭恋村)
- 図 5 - 3 - 5 PCNB濃度分布  
(1986年5月27日、群馬県嬭恋村)
- 図 5 - 3 - 6 PCNBの広域分布調査  
(1986年6月17日、群馬県嬭恋村)
- 図 5 - 3 - 7 PCNB等の水質汚染の分布調査  
(1986年8月15日、群馬県嬭恋村)
- 図 5 - 3 - 8 土壌中のPCNB等の深さ別の残留濃度  
(1986年8月15日、群馬県嬭恋村)
- 図 5 - 3 - 9 PCNB等の年間濃度変化  
(1986年度、群馬県嬭恋村)
- 図 5 - 3 - 10 PCNBの土壌中残留濃度の減衰


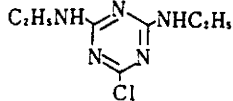
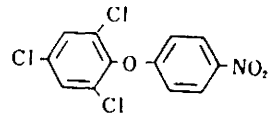
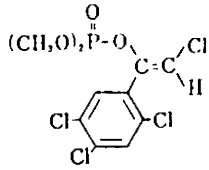
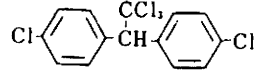
- 図5-3-11 吾妻川でのPCNBとPCAの存在比  
(1986年8月15日、群馬県吾妻川)
- 図5-4-1 大気中クロロピクリン採取地点  
(1985年4月10日、群馬県子持村)
- 図5-5-11 大気中CVMPの濃度分布  
(1988年8月11日、秋田県十文字町)
- 図5-5-12 空中散布前後の大気中MEP濃度変化  
(1989年8月4~13日、秋田県十文字町)
- 図5-5-13 大気中農薬 (MEP、フサライド) の濃度変化  
(1990年8月9~11日、秋田県十文字町)
- 図5-5-31 大気中BPMC濃度の時間変化  
(1988年8月15日、山形県白鷹町)
- 図5-5-32 大気中BPMCの濃度分布  
(1988年8月15日、山形県白鷹町)
- 図5-5-41 大気中IBP濃度の時間変化  
(1989年8月22日、山形県高島町)
- 図5-5-51 大気中CVMP濃度の時間変化  
(1988年6月19日、新潟県巻町ふれあい会館)
- 図5-5-52 住宅地での大気中農薬 (BPMC, MEP) の濃度変化  
(1988年7月23~24日、新潟県巻町)
- 図5-5-53 大気中BPMCの濃度分布  
(1988年7月22日、新潟県巻町)
- 図5-5-54 大気中MEPの濃度分布  
(1988年7月22日、新潟県巻町)
- 図5-5-91 散布水田内の大気中農薬 (BPMC, マラソン) の濃度変化  
(1987年5月26日、栃木県今市市)
- 図5-5-92 住宅地での大気中農薬 (BPMC, マラソン) の濃度変化  
(1987年5月27~30日、栃木県今市市)
- 図5-5-93 大気中農薬 (BPMC, ダイアジノン) の濃度分布  
(1987年6月26日、栃木県今市市・日光市)
- 図5-5-131 水田からの距離と農薬飛散量  
(1988年7月21日、神奈川県伊勢原市)
- 図5-5-132 大気中MTMC濃度の時間変化  
(1989年7月18~19日、神奈川県伊勢原市)
- 図5-6-31 福島市信夫山MEP散布域と測定地点  
(1986年7月7日、福島県福島市信夫山)
- 図5-6-32 大気中MEP濃度の時間変化と気象  
(1986年7月7~13日、福島県福島市信夫山)
- 図5-6-33 大気中MEP濃度の分布  
(1986年7月7日、福島県福島市信夫山周辺)

- 図 5 - 6 - 4 1 M E P 空中散布地域と大気汚染調査地点  
(1985年6月3日、群馬県高崎市観音山)
- 図 5 - 6 - 4 2 M E P 空中散布地域と大気汚染調査地点  
(1986年5月28日、群馬県高崎市観音山)
- 図 5 - 6 - 4 3 大気中 M E P 濃度の時間変化と気温変化  
(1986年5月28～29日、群馬県高崎市観音山)
- 図 5 - 6 - 5 1 M E P 空中散布地域と大気汚染調査地点  
(1988年6月1日、群馬県太田市金山)
- 図 5 - 6 - 6 1 M E P 空中散布地域と大気汚染調査地点  
(1986年6月9日、群馬県沼田市三峰山)
- 図 5 - 6 - 6 2 大気中 M E P 濃度の時間変化と気温変化  
(1986年6月9日、群馬県沼田市三峰山)
- 図 5 - 6 - 7 1 大気中 M E P 濃度の時間変化  
(1990年6月19～20日、山梨県大月市岩殿山)
- 図 5 - 8 - 1 クロルデン試料採取家屋の見取図  
(1989年9月、岐阜市O団地)
- 図 5 - 8 - 2 クロルデンの濃度比率  
(1989年9月、岐阜市O団地)
- 図 5 - 8 - 3 クロルデン試料採取家屋の見取図  
(1986年10月23日調査、神奈川県T氏宅)
- 図 5 - 8 - 4 室内空气中クロルデン濃度の時間変化  
(1988年7月1～6日調査、神奈川県T氏宅)
- 図 6 - 1 - 1 水田に空中散布した農薬の大気中濃度の確率分布
- 図 6 - 1 - 2 松林に散布した M E P の大気中濃度の確率分布
- 図 6 - 1 - 3 畑地の土壌殺菌をした P C N B の大気中濃度の確率分布
- 図 8 - 1 - 1 測定高度 ( Z ) についての予測大気中濃度
- 図 8 - 2 - 1 P C N B 残留濃度シミュレーション結果
- 図 8 - 3 - 1 5つのコンパートメントと3つの流出先
- 図 8 - 3 - 2 散布域のなかのシミュレーション対象水田の位置  
(16方位の距離を配列 M A P に指定する。)
- 図 8 - 3 - 3 葉や畦の表面に落ちて潰れる水滴
- 図 8 - 4 - 1 シミュレーションの結果  
(1990年8月9～11日の秋田県十文字町の設定。フサライド)
- 図 8 - 4 - 2 仙台市の空中散布域と測定地点
- 図 8 - 4 - 3 シミュレーションの結果  
(1990年7月17～19日の宮城県仙台市の設定。フサライド)
- 図 8 - 4 - 4 シミュレーションの結果  
(1989年8月10～12日の秋田県十文字町の設定。M E P)



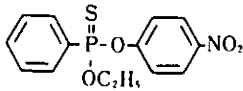
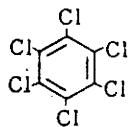
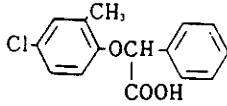
- 図 8-4-5 シミュレーションの結果  
(1990年8月9～11日の秋田県十文字町の設定。MEP)
- 図 8-5-1 大気汚染濃度に対する風速の影響
- 図 8-5-2 農薬の残留量と大気汚染濃度に対する雨の影響  
(散布当日18時から20時までに4mmの降雨)
- 図 8-5-3 農薬の作物上の残留量と大気汚染濃度に対する雨量の影響
- 図 8-5-4 大気汚染濃度に対する日照の影響  
(ただし、気温を30℃に固定し、変化させない場合)
- 図 8-5-5 大気汚染濃度に対する気温の影響
- 図 8-5-6 農薬の作物上の残留量と大気汚染濃度に対する薬剤の希釈倍率の影響
- 図 8-5-7 農薬の作物上の残留量と大気汚染濃度に対する散布水滴の大きさの影響

## 付録 4 本論文の第 3 章から第 8 章に登場する農薬

農薬登録名 化学名 用途	主な商品名 化学式 蒸気圧	国際標準名 1 日当りの許容摂取量 (ADI)
B P M C o-sec-butylphenyl methylcarbamate 殺虫剤 水田	バッサ $C_{11}H_{15}NO_2$ :207.3 0.808mmHg/30°C	fenobucarb $C_7H_7-CH(CH_3)OCONHCH_3$ 
C A T 2-chloro-4,6-bis(ethylamino)-1,2,3-triazine 除草剤 芝地	シマジン $C_7H_{12}ClN_5$ :201.7 6.1e-9mmHg/20°C	simazin $C_7H_8NH_2N_3NHC_2H_5$ 
C N P 2,4,6-trichlorophenyl 4-nitrophenyl ether 除草剤 水田	M O $C_{12}H_6Cl_3NO_2$ :318.6 0.35mmHg/109°C	chlornitrofen 2 µg/kg体重/日 
C V M P (Z)-2-chloro-1-(2,4,5-trichlorophenyl)vinyl demethyl phosphate 殺虫剤 水田	ガードサイド $C_{10}H_6Cl_4O_4P$ :366.0 4.2e-8mmHg/20°C	tetrachlorvinphos $(CH_3O)_2P(=O)OCH=C(Cl)C_6H_2Cl_3$ 
D D T 1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethane 殺虫剤 汎用	農薬登録失効 $C_{14}H_9Cl_5$ :354.5 1.9e-7mmHg/20°C	D D T 5 µg/kg体重/日 
D D V P 2,2-dichlorovinyl dimethyl phosphate 殺虫剤 汎用	D D V P $C_4H_7Cl_2O_4P$ :221.0 1.2e-2mmHg/20°C	dichlorvos 4 µg/kg体重/日 $(CH_3O)_2PO OCH=CCl_2$

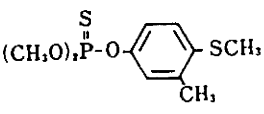
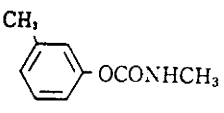
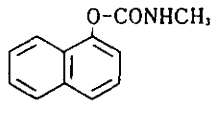
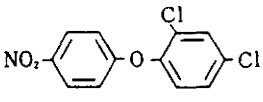

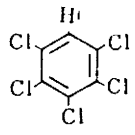
(次ページへ続く)

## 付録 4 (続き)

農薬登録名 用途	主な商品名 化学式 蒸気圧	国際標準名 1日当りの許容摂取量(ADI)
EDDP O-ethyl S,S-diphenyl phosphorodithioate 殺菌剤 水田	ヒノザン $C_{14}H_{15}O_2PS_2$ :310.4	edifenphos 3 µg/kg体重/日  $C_2H_5O-P(=S)(SC_6H_5)_2$
EPN O-ethyl O-p-nitrophenyl phenylphosphonothioate 殺虫剤 汎用	EPN $C_{14}H_{14}NO_4PS$ :323.3 3e-4mmHg/100°C	EPN  
HCB hexachlorobenzene 殺虫剤 PCNB不純物	農業未登録 $C_6Cl_6$ :284.8 1.089e-5mmHg/20°C	hexachlorobenzene  
IBP S-benzyl O,O-diisopropyl phosphorothioate 殺菌剤 水田	キタジンP $C_{13}H_{21}O_3PS$ :288.4 1.85e-6mmHg	iprofenfos  $[(CH_3)_2CHO]_2P(=S)SCH_2C_6H_5$
MCP P(Na) α-(4-chloro-o-tolyloxy)phenylacetic acid 除草剤 芝地	MCP P $C_{15}H_{12}ClO_3Na$	MCP PA  
MEP O,O-dimethyl O-4-nitro-m-tolyl phosphorotioate 殺虫剤 汎用	スミチオン $C_9H_{12}NO_5PS$ :277.2 6e-4mmHg/20°C	fenitrothion 5 µg/kg体重/日  $(CH_3O)_2P(=S)-O-C_6H_3(NO_2)(CH_3)$

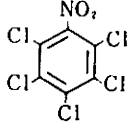
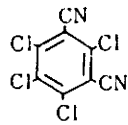
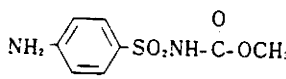
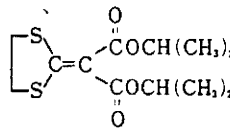
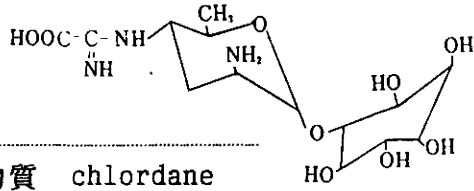
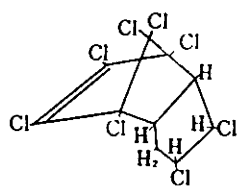
(次ページへ続く)

## 付録 4 (続き)

農薬登録名 用途	主な商品名 化学式 蒸気圧	国際標準名 1日当りの許容摂取量(ADI)
M P P 0,0-dimethyl 殺虫剤 水田	バイジット 0-4-methylthio-m-tolyl $C_{10}H_{15}O_3PS_2$ :279.3 3e-5mmHg/20°C	fenthion phosphorothioate 0.5 µg/kg体重/日 
M T M C m-tolyl 殺虫剤 水田	ツマサイド methylcarbamate $C_9H_{11}NO_2$ :165.2 1.45e-3mmHg/20°C	metolcarb 
N A C 1-naphthyl 殺虫剤 松林	セビン, デナボン methylcarbamate $C_{12}H_{11}NO_2$ :201.2 1.45e-3mmHg/20°C	carbaryl 10 µg/kg体重/日 
N I P 2,4-dichlorophenyl 除草剤 水田	農薬登録失効 4-nitrophenyl ether $C_{12}H_7Cl_2NO_3$ :284.1 8e-6mmHg/40°C	nitrofen 
P C A pentachloroaniline P C N B 変成物	$C_6H_2Cl_5N$	pentachloroaniline 
P C B pentachlorobenzene P C N B 不純物 本論文ではポリクロロビフェニールの意味では用いない	$C_6HCl_5$	pentachlorobenzene 

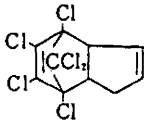
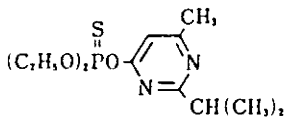
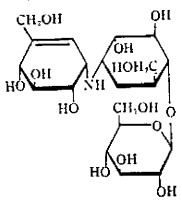
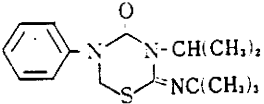
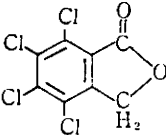
(次ページへ続く)

## 付録 4 (続き)

農業登録名 用途	主な商品名 化学式 蒸気圧	国際標準名 1日当りの許容摂取量(ADI)	
P C N B pentachloronitrobenzene 殺菌剤 高原野菜	P C N B $C_6Cl_5NO_2$ :295.3 1.33e-4mmHg/25°C	quintozene 7 µg/kg体重/日	
T P N tetrachloro-isophthalonitrile 殺菌剤 汎用	ダコニール $C_6Cl_4N_2$ :265.9 9.2mmHg/170.4°C	chlorothalonil 30 µg/kg体重/日	
アシュラム methy sulfanilcarbamate 除草剤 芝地	アージラン $C_8H_{10}N_2O_4S$ :230.2	asulam	
イソプロチオラン di isopropyl 1,3-dithiolan-2-ylidenemalonate 殺虫殺菌剤 水田	フジワン $C_{12}H_{18}O_4S_2$ :290.4	isoprothiolane	
カスガマイシン [5-amino-2methyl-6-(2,3,4,5,6-pentahydroxycyclohexyloxy) tetrahydropyran-3-yl]amino-α-iminoacetic acid 殺菌剤 水田	カスガマイシン $C_{14}H_{25}N_3O_9$ :379.4	kasugamycin	
クロルデン 1,2,4,5,6,7,8,8-octachloro-2,3,3a,4,7,7a-hexahydro-4,7-methanoindene 殺虫剤 白蟻	農業登録失効・特定化学物質 $C_{10}H_6Cl_8$ :409.8 1e-5mmHg/25°C	chlordan 0.5 µg/kg体重/日	

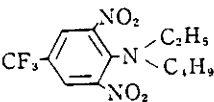
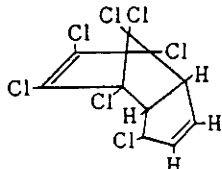
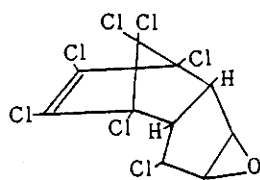
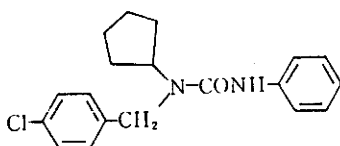
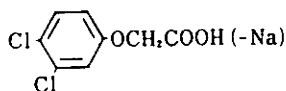
(次ページへ続く)

## 付録 4 (続き)

農薬登録名 用途	主な商品名 化学式 蒸気圧	国際標準名 1日当りの許容摂取量(ADI)
クロルディーン 4,5,6,7,8,8-hexachloro-3a,4,7,7a-tetrahydro-4,7-methanoindene クロルデン不純物	$C_{10}H_6Cl_6$ :338.9	chlordene
		
クロルピクリン trichloronitromethane 殺虫殺菌剤 こんにゃく	クロルピクリン $CCl_3NO_2$ :164.4 23.8mmHg/25°C	chloropicrin $Cl_3 \cdot C \cdot NO_2$
ダイアジノン 0,0-diethyl 殺虫剤 汎用	ダイアジノン 0-2-isopropyl-6-methylpyrimidin-4-yl $C_{12}H_{21}N_2O_3PS$ :304.4 1.4e-6mmHg/20°C	diazinon phosphorothioate 2 µg/kg体重/日
		
バリダマイシン 1L-(1,3,4/2,6)-2,3-dihydroxy-6-hydroxymethyl-4-[(1S,4R,5S,6S)-4,5,6-trihydroxy-3-hydroxymethylcyclohex-2-enylamino]cyclohexyl-3D-glucopyranoside 殺菌剤 水田	バリダマイシン $C_{20}H_{35}NO_{13}$ :497.2	validamycin A
		
ブプロフェジン 2-tert-butylimino-3-isopropyl-5-phenyl-1,3,5-thiadiazinan-4-one 殺虫剤 水田	アブロード $C_{16}H_{23}N_3OS$ :305.4 9.4e-6mmHg/25°C	buprofezin
		
フサライド 4,5,6,7-tetrachlorophthalide 殺菌剤 水田	ラブサイド $C_6H_2Cl_4O_2$ :271.9	fthalide
		

(次ページへ続く)

## 付録 4 (続き)

農薬登録名 用途	主な商品名 化学式 蒸気圧	国際標準名 1日当りの許容摂取量(ADI)
ベスロジン N-butyl-N-ethyl- 除草剤 芝地	バナフィン N-butyl-N-ethyl- $\alpha, \alpha, \alpha$ -trifluoro-2,6-dinitro-p-toluidine $C_{13}H_{16}F_3N_3O_4$ :335.3 4e-7mmHg/25°C	benfluralin 1日当りの許容摂取量(ADI)
		
ヘブタクロル 殺虫剤 クルデン不純物	農薬登録失効 $C_{10}H_5Cl_7$ :373.3 3e-4mmHg/25°C	heptachlor 0.5 $\mu$ g/kg体重/日
		
ヘブタクロルエポキシド 殺虫剤 ヘブタクロル酸化物	農薬登録失効 $C_{10}H_5Cl_7O$ :389.3	
		
ペンシクロン 殺菌剤	モンセレン $C_{19}H_{21}ClN_2O$ :328.8	pencycuron 1-(4-chlorobenzyl)-1-cyclopentyl-3-phenyl-urea
		
マラソン 殺虫剤	マラソン $C_{10}H_{19}O_6PS_2$ :330.4 4e-5mmHg/30°C	malathion 20 $\mu$ g/kg体重/日
		$(CH_3O)_2P(=S)-S-CH_2-COOC_2H_5$
2,4 P A (Na) 除草剤	2,4-Dソーダ塩 $C_8H_5Cl_2NaO_3$ :243.0 0.4mmHg/140°C	2,4-D
		

(終わり)

最新農薬データブック (富沢ら、1989) より

## 論文要旨

1991年12月25日

物質工学	専攻	氏名	榎田 博
論文題名	農薬による大気汚染		
第1章 はじめに			
<p>農薬は、環境中に広く散布して生物に様々な影響を与えることを目的として、多量に生産され使用されている。したがって、環境問題で農薬は避けて通ることのできない重要な課題である。とくに大気汚染に関して、日本各地で空中散布の増加と共に被害の訴えも多くなり、農薬取締り上の不備が指摘されるようになった。その最も重要な点は、汚染の実態が不明であって、科学的考察を進めるに十分なデータが欠如していることである。</p> <p>そこで本研究では、(2章)従来の研究を総括し、(3章)農薬の揮発速度について研究し、(4章)農薬大気汚染の測定法を確立して自動分析法や自動大気採取装置を開発し、(5章)日本各地での農薬大気汚染の実態を把握し、(6章)その濃度レベルの評価を行い、(7章)数理モデルのための会話型計算システムを開発し、(8章)水田の空中散布などについて数理モデルの検討と汚染メカニズムの解明をおこなった。</p>			
第2章 従来の研究			
<p>農薬大気汚染に関する従来の研究を次の9節に分類して解説した。(1)農薬の一般事項、(2)測定方法、(3)調査事例、(4)毒性、(5)分解性、(6)効果、(7)規制事例、(8)被害実態、(9)数理モデル。</p>			
第3章 農薬の揮発速度の測定			
<p>環境に広く薄く散布された農薬は、空気と接する表面積が大きくなるために、小さな揮発速度しかない農薬であっても大気汚染の原因となる。</p> <p>農薬の揮発速度は、非平衡状態での移動速度である。揮発速度を決定する3つの要因(</p>			



<p>拡散速度、移送速度、気化速度) について考察を行い、揮発速度(F)が次のような温度の関数になることを示した。</p>
$F = \exp(V - H_v/RT) \text{ [mg/m}^2\text{/h]}$
<p>ここで、Vは比例係数、<math>H_v</math>はモル当りの気化熱、Rは気体定数、Tは絶対温度である。</p>
<p>農薬の面密度が大きく農薬分子が多層に積み上がっているような高面密度の状態では空気との接触表面にある農薬分子数が一定なので、揮発速度は時間変化しない。農薬の面密度が単層飽和面密度より小さくなると、表面にある分子が疎らになり、揮発の速度は農薬の残留面密度と比例するようになる。</p>
<p>6種類の有機塩素系農薬について、様々な温度で揮発速度を測定し、先の温度の関数として整理した。また、数理シミュレーションで使うために、水田の代表的な殺菌剤フサライドと殺虫剤MEPの揮発速度を測定した。</p>
<p>第4章 大気汚染の測定法の開発</p>
<p>大気中の農薬濃度の測定方法についての研究をおこなった。次の3節よりなる。</p>
<p>(1) 固体吸着剤TENAX-GCによる常温採取法とガスクロマトグラフ装置への直接導入法を検討し、代表的で中程度の揮発性をもつ殺虫剤MEPについて回収率の実験をおこなった。その結果、十分な回収率が得られた。</p>
<p>(2) ガスクロマトグラフ装置に自動濃縮装置を組み込んだ低沸点化合物用の自動大気分析装置を改良して、高沸点の農薬も分析できるように作り換えた。これを実際に稼働させて、大気中の殺菌剤PCNBを検出した。</p>
<p>(3) TENAX捕集管を自動的に交換しながら一定時間間隔の大気を採取するための自動大気採取装置を開発した。この改良を重ねて、多数の農薬汚染調査で利用した。</p>
<p>第5章 環境汚染の測定</p>
<p>日本各地で多数の環境実態調査を行った。その調査の内容を克明に記録し整理した。内</p>

容別に次の9節に分かれる。(1) 種苗工場からの汚染、(2) ビニールハウス、(3) 高原野菜単作地帯、(4) こんにゃく単作地帯、(5) 水田への空中散布、(6) 山林における大気汚染、(7) ゴルフ場、(8) シロアリ防除、(9) 団地や公園。

## 第6章 環境汚染の濃度評価

農業の大気汚染濃度の累積度数分布は対数確率紙の上で直線となり、この拡がり対数正規分布になっていることが判明した。対数正規分布を決定する2つの値、50%値 ( $\exp(\mu)$ ) と標準偏差 ( $\exp(\sigma)$ ) もそれぞれ示した。前者は、測定データの対数の平均  $\mu$  を指数演算したものである。これが高いほど汚染のレベルが高いことを示している。後者は、測定データの対数の標準偏差  $\sigma$  を指数演算したもので、これを標準偏差と呼ぶことにする。これが大きいほど濃度変化が大きいことを示している。また、16%値 ( $\exp(\mu + \sigma)$ ) や 2.3%値 ( $\exp(\mu + 2\sigma)$ ) を考えることで、高濃度汚染の頻度を推定することができる。たとえば水田のMEPの場合、 $0.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (50%値) 前後の濃度が一般的であり、 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (16%値) 前後の濃度はしばしば見られる。 $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2.3%値) 以上の値は、極めて高い水準にあることが明らかになった。

従来は何検体の分析の内何検体検出とか、最高値を使った評価方法にくらべて、この対数正規分布による大気中農業濃度の評価方法は、多量の大気汚染測定データを50%値と標準偏差の2つの値で規定して比較することができるため、濃度水準評価に対する有効な方法となる。

さらに、測定された大気汚染濃度から呼吸による摂取量を計算し、食品の安全基準による摂取量などと比較して、大気汚染のほうが大きな値になることがあることを示した。

## 第7章 数理モデルのための会話型計算システムの開発

数理モデルの開発、修正、運用を支援する会話型計算システムの仕様について解説した。このシステムはNIFE (ナイフ) と名付けられたプログラムで、MS-DOSのパーソ

ナルコンピュータ上で動作するインタープリター型の言語である。数式として表現できる
ほとんどのモデルについて、容易に操作することができる。
数理モデルは、できるだけ多くの人々が理解し操作できるように提示される必要がある。
そのためには、通常の数学や物理化学の書式で関数を積み上げて数理モデルを構築できる
こと、数理モデルの妥当性について何回でも条件を変えながら検討できること、パーソナル
コンピュータで計算操作が簡単にできることなどの要件が求められる。ここで開発した
N I F Eは、上記の要件を満たした数理モデルの構築支援ツールとして広範な用途に利用
できる。
N I F Eはコンピュータ通信ネットワークを通じて、多くの人に利用され、高い評価を
得ている。
第8章 数理モデルによる解析
(1) N I F Eの基本性能を示す簡単な例として、煙突からのブルームモデルの計算を行
った。
(2) 高原野菜单作地帯についてのモデル(川本(1989))へのN I F Eの適用を行い、N
I F Eが様々なモデルの運用と評価のために有効であることを示した。
(3) 水田に空中散布した農薬は稲の葉の表面からの揮発によって大気汚染を引き起こす。
第5章でおこなった多数の環境汚染の実態調査から得られた大気汚染の発生機構について
の知験を考察して、N I F E-AAPと名付けられた数理モデルを提案した。
この節は、論文の原稿であると同時に、N I F Eに対するプログラムであるという極めて
ユニークな二重構造で記述されている。これも、N I F Eへの入力書式の可読性の高さ
のゆえである。将来、学術論文がペーパーメディアだけではなく、電子メディアでも供給
されるようになったときに、この機能は論文に記載された数式を直ちにN I F Eで検証し
てみることを意味する。
(4) 提案した水田空中散布のモデルでシミュレーションを行い、実際の環境測定値と比

<p>較した。殺菌剤フサライドは、秋田県十文字町（1990年）と宮城県仙台市（1990年）について、環境実測値とシミュレーションの結果は、だいたい一致している。殺虫剤MEPについては、秋田県十文字町（1989年と1990年）について計算をおこなったところ、実測値よりかなり低い濃度になってしまった。実測値に合わせるためには、MEPの揮発速度を第3章で求めた値ではなく、<math>F=200</math> [mg/m<sup>2</sup>/h]程度であるとしなければならなかった。風向風速の変化や降雨の影響をよく再現説明できた。このモデルについての今後の課題についてまとめた。</p>
<p>(5) 仮想的な気象条件を設定した上でそのパラメーターを一つずつ変化させてシミュレーションを行い、その結果を考察した。大気汚染濃度に強く影響する要因として、風速(w indV)、作物の葉の上に残留している農薬薬剤の表面積(Sc)、気温(temp)が挙げられる。この内、Scは散布方法の改善に依って人為的に制御できる項目であり、散布量(liquid)、散布水滴の大きさ(r)によって決まる。汚染の継続時間に影響する要因としては、Sc、tempのほか雨(rain)による葉の上の農薬の洗浄による影響が大きかった。この結果は、第5章の環境汚染の実態調査の考察をよく説明している。</p>
<p>NIFEを利用して数理モデルが簡潔かつ要領よく記述できた。条件を様々に変更しながら、シミュレーションを繰り返すことで、アセスメントを行うことができる。今回開発したNIFE-AAPは、現実の汚染の再現や予測、汚染機構の解明など広い範囲に応用できるモデルであると考えられる。</p>
<p>第9章 まとめ</p>
<p>本研究を総括した。</p>
<p>付録1 自動大気採取装置(AAS-2)取扱説明書</p>
<p>付録2 NIFEリファレンスマニュアル</p>
<p>付録3 図表一覧</p>
<p>付録4 本論文に登場する農薬</p>

## Air Pollution Caused by Pesticides

by Hiroshi TSUCHIDA

( Adviser: Prof. Youichi UEHARA )  
( and Prof. Tatsuo KATOU )

## ABSTRACT

The pesticides pollution is an important environmental problem. However, the actual conditions of pesticides in air have been unknown in Japan.

Then, in this research: The previous researchs are summarized. The volatile speed of the pesticides is measured. The method to measure concentration of pesticides in air is examined. The automatic analyzer of pesticides in air and the automatic air sampler are developed to get the time courses of atmospheric concentration of pesticides. The actual concentrations at various places in Japan are measured. These data are evaluated. A mathematical model for the pesticide concentration in the rice fields where the pesticide is sprayed from a helicopter. The model is examined and the mechanism of the air pollution is elucidated.

In Chapter 2, previous researchs concerning the atmospheric pesticide pollution are classified into the following nine paragraphs and explained. (1)General matter. (2)Method to measure. (3)Investigation in fields. (4)Toxicity. (5)Decomposition. (6)Effect. (7)Restriction. (8)Damage. (9)Mathematical model.

In Chapter 3, volatile speed of pesticides are measured and discussed.

In Chapter 4, three methods to measure atmospheric pesticide pollution are developed. (1)The collection method of the solid adsorbent(TENAX-GC) is examined. (2)The automatic air analyzer is improved to measure the pesticides

of high boiling point. (3)The automatic air sampler collects atmospheric pesticides into the TENAX-tubes at regular time intervals. It was used repeatedly in many field-investigations of atmospheric pesticides.

In Chapter 5, A lot of environmental actual conditions of atmospheric pesticides are investigated at various places in Japan. (1)Pollution from a seed factory. (2)Indoor air pollution in greenhouses. (3)Air pollution in a truck farm of cabbage. (4)Air pollution in a truck farm of arum root. (5)Air pollution caused by aerial spray of pesticide in rice fields. (6)Air pollution caused by aerial spray of pesticide in pine forests. (7)Air pollution in golf courses. (8)Indoor air pollution by termite control. (9)Air pollution from green of a housing complex.

In Chapter 6, data from these investigation are evaluated. The distribution of atmospheric concentration of pesticides is the logarithm regular distribution. The inhalant intake of man is estimated from the measurements, and compared with the oral intake.

In Chapter 7, new interactive calculation system for mathematical model is developed. It is named "Numerator of Itemized Formula Expressions(NIFE)." Most models, which can be expressed as a series of mathematical formulae, are easily operated with NIFE on a MS-DOS microcomputer.

In Chapter 8, a mathematical model(NIFE-AAP) is developed to analyze air pollution caused by aerial application of pesticides to rice fields. The model is described in the interpreter language NIFE. It consists of eight-dimension-simultaneous linear-differential equations. Five compartments in the dimensions are air, levees, water, sediment, and crops. The remaining three are a blow-away destination, a flow-out destination, and decomposition. The structure of the model is explained in detail. About the insecticide fenitrothion, the results of the model simulation are considerably lower than the environmental actual measurements at Jumonji-town(1989,1990). However, about the fungicide Fthalide, they are corresponding to the level of measurements at Sendai-city(1990) and Jumonji-town(1990). Moreover, the

simulations are repeatedly performed in changing hypothetical meteorological and spraying parameters. As a result, time course of the quantity of pesticide residue in each compartment is shown in figures, and the inhalant intake of pesticide for an inhabitant is estimated.

KEY WORDS: Pesticide, Air pollution, Field research, mathematical model

学位論文 農薬による大気汚染

1991年12月25日

著者：槌田 博

横浜国立大学大学院工学研究科 工D24