

# 博士論文

川崎市川崎区を対象にした有毒ガス漏えい事故時の住民避難に関する研究

A study on the evacuation of residents in case of toxic gas release  
focused on Kawasaki-ku, Kawasaki city

国立大学法人 横浜国立大学大学院  
環境情報学府

金 奉賛  
Bongchan Kim

2021年3月



## 摘 要

化学工場のフィジカルリスクとしては大きく火災、爆発、有毒ガス漏えいで分類することができると考えられる。この中で有毒ガス漏えいの場合、事故が発生した現場近くの作業者はガスを吸入して致命的な被害を受ける恐れがあり、漏えいした有毒ガスが大量の場合は事業所内のみならず、周辺地域まで拡散する可能性がある。さらに漏えいしたガスが無色無臭の場合、住民の立場では洪水や台風のような自然災害と異なるため、災害の予測や発生について分かり難く、避難開始の遅れによる大きな人的被害が発生する恐れがある。漏えい事故による人的被害を防ぐためには取り扱っている化学物質に関する被害影響を事前に予測して対策を策定する必要があり、漏えいしたガスの拡散範囲が広くて周辺地域の住民まで影響を及ぼすと判断される場合には住民避難に関する計画も策定する必要がある。

そこで、本研究では、行政や関係機関で化学工場から有毒ガス漏えい事故発生時の住民避難計画を策定する基盤を確立することを目的とし、漏えい事故を想定したシミュレーション分析を行ってヒトの呼吸高さでの濃度分布や屋内濃度変化などを把握することと共に住民の避難意思構造を明らかにした。更に、得られた結果に基づいて住民避難に関する考察及び提案した。

第2章では、化学工場から有毒ガス漏えい事故が発生して周辺住民に大きな影響を与えた事故や住民避難が行われたの事故事例を検討して大量の有毒ガスが継続的に漏えいする状況があり得ることが分かり、行政や関係機関の判断及び災害対応能力によっては住民避難の遅れが生じると言える。また、地理情報システムを用いて日本の工業団地の空間特性を把握した結果、工業地域は臨海部に多く分布しているため地形の勾配はほぼなく、その周辺に住居専用地域が広く分布していることが分かった。それに加えて川崎市川崎区の住居地域の建物密集度は0.36であった。

事故事例分析と空間特性把握から確認できたことを基にフッ化水素及び硫化水素の拡散シミュレーションを行うことで被害影響範囲の把握を把握した。漏えい量が大量(10&20 ton)の場合はフッ化水素及び硫化水素に関わらずほぼ全域でAEGL-3の基準を超えることが分かった。また、1 tonのフッ化水素の場合は600 mまでAEGL-3以上、1 kmまでAEGL-2以上であった。一方、硫化水素の場合は400 mまでAEGL-3以上、600 mまでAEGL-2以上であることが分かったため、1 km圏内までは危険領域であると結論付けられる。

第3章では、川崎市川崎区の工業団地周辺の住民を対象に直接訪問法で質問紙調査を行い、統計分析を行った。特に事故発生時の避難意思やそれに影響を及ぼす要因の把握、また避難開始まで必要な時間、避難時の移動手段などを把握した。本調査の前に大学生及び日・韓の若年層を対象に予備調査を行い、設計した質問票の検討を行った。大学生を対象にした調査(n=225)の結果、化学工場から得たい情報は安全情報より災害や避難場所などの危険情報をより得たいと思っ

日・韓の若年層(日本： $n=108$ 、韓国： $n=158$ )を対象にした調査の探索的因子分析結果から日本と韓国両国とも類似な変数の構成で五つの因子(周辺環境、恐怖感、心理的負担、情報内容、知識)が抽出することができた。因子間の相関分析から知識因子は恐怖感及び情報内容因子と有意に相関することを確認し、心理的負担は恐怖感及び情報内容と負の相関することが確認できた。

川崎区の住民を対象にした調査( $n=784$ 、有効回答率：約 98%)の探索的因子分析を行った結果、五つの因子(環境情報、知識、有毒ガス恐怖感、化学工場恐怖感、主観的規範)が抽出できた。下位尺度間相関分析を用いて因子間の相関性を確認した結果、知識因子以外の因子は互いに正の相関を示し、知識因子は有毒ガス恐怖感因子のみと負の相関を示した。五つの因子を用いて重回帰分析を行った結果、環境情報、主観的規範、有毒ガス恐怖感因子が避難意思に有意に影響を与えることが分かった。

階層的重回帰分析を行った結果、属性項目のみでの避難意思の説明力は約 6%で低く、重回帰分析で避難意思に影響を及ぼした三つ因子と避難の面倒さ・行政の避難判断信頼度を追加投入することで有意に説明力が増加( $R^2=.508, \Delta R^2=.445$ )することを確認し、属性項目の中では年齢、子供有無、要補助人数が有意に影響を与えることが分かった。避難時に適する移動手段としては徒歩が、情報伝達方法としては消防・役所からの呼びかけが最も多いことが分かり、避難切っ掛けとしては避難指示・勧告が最も多く、続いて公務員の呼びかけの順であった。切っ掛けから避難のための平均準備時間は 34.5 分であってその中央値は 30 分であることが確認できた。回答者が感じる心理的安全距離は 3 km 以上が約 9 割を占めていることが分かった。

第 4 章では、第 2 章と 3 章で得られた結果を基に屋内避難時の曝露濃度、屋外曝露による死亡確率、避難開始時間、避難意思向上、移動手段、情報伝達方法について考察し提言した。第 2 章で得られた平均濃度を基に屋内濃度変化を検討した結果、漏えい量が 1 時間当たり 1 ton の場合でも屋内の 1 時間平均濃度は 400 から 600 m 圏内まで AEGL-2 以上になり、1 時間経過時点からは 600 m 圏内まで AEGL-2 以上になることが確認できたため、漏えいが継続される場合には漏えい源から 600 m 圏内の住民は屋内にとどまらず素早く避難すべきであることを示した。

屋外曝露による死亡確率は Probit 分析を用いて検討した結果、1 時間当たり 1 トンのフッ化水素漏えいの場合に 30 分の曝露でも 200 m まで死亡する確率があるため、隣接事業所の従業員が避難する段階で少なくとも 400 m 圏内の屋外にいる住民は素早く屋内に避難すべきであることを示した。

第 3 章から得られた結果を基に避難開始時間を検討した結果、東日本大震災の避難開始時間は大きな差があることが分かり、避難に関する情報を伝達する際に自宅で滞留する場合の危険性に関する情報を含めて伝えて避難のための準備時間を繰り上げる必要があることを述べた。避難行動意思構造を基に住民の避難意思向上のための検討をした結果、要補助人数が 2 人以上の人の負担軽減の必要性を示し、子供がいる人の混乱防止のための避難を要しない場合は情報内容に明確に伝えることが望ましいことを提言した。また、リスクコミュニケーションやワークショップの際に住民が疑似的な被災及び避難を間接経験できるように企画することは避難意思を高める一つの方法であるについて述べた。

移動手段の場合は徒歩が 40%を占めているため、避難時の曝露される危険性を防ぐためには自動車を活用した方が素早く避難でき、特に濃度が集中される 1 km 圏内においては短い時間でも高濃度のガスを吸入する可能性が高いため、自動車で即座に避難する方が望ましいと提言した。情報伝達方法は、災害状況や避難に関する情報を消防・警察や行政から素早く伝達することは非常に重要であり、情報伝達の際に被害状況、避難指示・勧告、避難場所や区域、交通制御に関する情報を含めて発信することと共に屋内避難時の危険性についても伝達する必要があると提言した。

最後に第 5 章は結言として本研究から得られた知見をまとめた。

本研究で得られた結果は、行政や関係機関で漏えい事故発生時の避難計画を策定する基盤に活用できる考えられる。また、有毒ガス漏えい事故時の住民避難に関する研究は日本のみならず、世界的にもほぼ行われていない現状であるため、本研究で得られた有毒ガス漏えい事故時における住民の避難意思決定構造などに関する新たな知見は後続研究者らに参考できる資料として学術的貢献があると言える。



# 目次

<b>第1章 緒言</b>	1
1.1 研究背景	3
1.2 日本の製造工業の現状	4
1.3 ガス拡散に関する既往研究	4
1.4 住民避難に関する既往研究	5
1.5 災害による避難	5
1.6 本研究の着目点及び目的	6
1.6.1 本研究の着目点	6
1.6.2 本研究の目的	6
第1章の参考文献	8
第1章の図表	11
<b>第2章 有毒ガス漏えい事故による工業団地周辺地域への影響</b>	15
2. はじめに	17
2.1 有毒ガス漏えいの事件事例分析	17
2.2 工業団地周辺の空間特性の把握	19
2.2.1 地理情報システム(GIS)の定義	19
2.2.2 地理情報システムの収集	19
2.2.3 工業地域周辺の用途地域及び標高	19
2.2.3.1 工業地域周辺の用途地域	19
2.2.3.2 工業地域周辺の標高	20
2.2.3.3 川崎市川崎区の空間分析	20
2.3 有毒ガス拡散に関する事故シナリオの検討	21
2.3.1 事故シナリオ	21
2.3.1.1 米国環境庁(EPA)の事故シナリオ	21
2.3.1.2 事故シナリオの決定	21
2.3.2 曝露濃度の基準	22
2.3.2.1 Acute Exposure Guideline Level (AEGLs)	22
2.3.2.2 Emergency Response Planning Guideline (ERPGs)	22
2.3.2.3 Temporary Emergency Exposure Limits (TEELs)	23
2.3.2.4 AEGLs、ERPGs、TEELs の比較	23

2.3.3 研究対象ガスの特性	24
2.4 有毒ガスの拡散シミュレーション	24
2.4.1 採用した解析モデル	24
2.4.2 FDS での Large Eddy Simulation (LES)	24
2.4.3 シミュレーションの設定	26
2.4.4 有毒ガスの拡散シミュレーション解析の結果	26
2.4.4.1 フッ化水素漏えいの結果	26
2.4.4.2 硫化水素漏えいの結果	27
2.5 第 2 章のまとめ	28
第 2 章の参考文献	29
第 2 章の図表	33
<b>第3章 工業団地周辺の地域住民を対象にした漏えい事故時の避難に関する質問紙調査</b>	<b>55</b>
3. はじめに	57
3.1 採用した分析方法及びソフトウェア	57
3.2 人の行動に関する理論	58
3.3 大学生を対象にした予備調査	58
3.3.1 研究目的及び予備調査概要	58
3.3.2 質問票の設計	59
3.3.3 質問紙調査の結果	59
3.3.3.1 回答者の属性	59
3.3.3.2 避難経験及び認知項目の結果	59
3.3.3.3 有毒ガスに関する知識及び恐怖感、避難不可時間帯	60
3.3.3.4 災害情報の提供方法及び化学工場から受けたい情報	61
3.3.3.5 統計分析	61
3.3.4 大学生を対象にした予備調査のまとめ	62
3.4 日・韓の若年層を対象にした予備調査	63
3.4.1 研究目的及び予備調査概要	63
3.4.2 質問票の設計	63
3.4.3 質問紙調査の結果	64
3.4.3.1 回答者の属性及び記述統計量	64
3.4.3.2 背景要因による有意差分析のための母平均差検定	65



3.4.3.3 避難時の移動手段及び情報伝達方法	66
3.4.3.4 探索的因子分析	67
3.4.4 日・韓の若年層を対象にした予備調査のまとめ	68
3.5 川崎市川崎区の住民を対象にした質問紙調査	69
3.5.1 研究目的及び本調査の概要	69
3.5.2 調査方法	70
3.5.3 質問票の設計	71
3.5.4 質問紙調査の結果	72
3.5.4.1 回答者の属性	72
3.5.4.2 基本統計量	72
3.5.4.3 回答者属性による避難意思の有意差分析	73
3.5.4.4 因子抽出のための探索的因子分析	73
3.5.4.5 避難意思に関する重回帰分析	74
3.5.4.6 避難意思のグループ化による重回帰分析	75
3.5.4.7 回答者属性を用いた階層的重回帰分析	75
3.5.4.8 漏えい事故時の適する移動手段及び情報伝達方法	76
3.5.4.9 避難の切っ掛け及び準備時間、心理的安全距離	77
3.5.4.10 質問紙調査外の住民との会話から分かったこと	78
3.5.5 川崎市川崎区の住民を対象にした質問紙調査のまとめ	78
3.6 第3章のまとめ	80
第3章の参考文献	83
第3章の図表	87
<b>第4章 有毒ガス漏えい事故時の住民避難に関する検討</b>	<b>113</b>
4. はじめに	115
4.1 屋内避難の検討	115
4.1.1 建物の気密性及び換気量	115
4.1.2 屋内濃度変化	115
4.1.2.1 フッ化水素の漏えい時の室内濃度	115
4.1.2.2 硫化水素の漏えい時の室内濃度	116
4.1.2.3 考察	116
4.2 屋外曝露による死亡確率の検討	117

4.2.1 Probit 分析	117
4.2.2 死亡確率	117
4.2.2.1 フッ化水素に 30 分間曝露される場合	117
4.2.2.2 硫化水素に 30 分間曝露される場合	118
4.2.2.3 フッ化水素に 60 分間曝露される場合	118
4.2.2.4 硫化水素に 60 分間曝露される場合	118
4.2.3 考察	119
4.3 避難開始時間の検討	119
4.4 住民の避難意思向上のための検討	120
4.5 避難時の移動手段に関する検討	121
4.6 情報伝達方法に関する検討	122
4.7 第 4 章のまとめ	123
第 4 章の参考文献	125
第 4 章の図表	127
<b>第5章 結言</b>	<b>145</b>
<b>付録</b>	<b>153</b>
付録 3-1	155
付録 3-2	169
付録 3-3	177
<b>研究成果</b>	<b>189</b>
<b>謝辞</b>	<b>191</b>

## 第 1 章 緒言



## 1.1 研究背景

科学技術及び産業の発展と共に幅広い領域で化学物質は使用され、機械装備、石油製品、食品、電子関係製品、ゴム・プラスチックなど我々に生活と密接している。また、新規化学物質も継続に開発されている。世界で流通されている化学物質の 86.7%は 10 カ国で生産されており、その中で中国が最も多く生産している。日本の場合、世界 4 位の化学物質の生産国であり、アジアでは 2 位である(CEFIC, 2020)。化学工場では化学物質を貯蔵・生産のために取り扱っているが、化学物質は可燃性、支燃性、有毒性など物質ごとに様々な特性を持っており、混合した場合の反応も異なる。

化学物質は人と環境に大きく影響を及ぼすため、化学物質を管理する法律が施行されている。日本では、人の健康を損なう恐れまたは動植物の生息・生育に支障を及ぼす恐れがある化学物質による環境の汚染を防止することを目的として 1973 年に制定された「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律(化審法)」(経済産業省, 参照 2)と事業者による化学物質の自主的な管理の改善を促進し、環境の保安上の支障を未然に防止することを目的とする「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律(化管法)」(経済産業省, 参照 3)に従って管理されている。米国の場合は有害化学物質管理法(TSCA : Toxic Substance Control Act)(EPA, 参照 4)に、EU は REACH(Registration, Evaluation, Authorization, Restriction)に、韓国は化学物質の登録及び評価などに関する法律(化評法)に従い管理されている(Cho, 2017)。それに加えて、製造施設の工程には事故防止のための安全システムが確保されているが、製造事業所での高圧ガス保安法関係の事故は継続的に発生している。

Table 1.1 に示す通り、高圧ガス保安協会の統計資料(高圧ガス保安協会, 2021)によると 2020 年の製造事業所で発生した事故は 552 件であり、その中で 75 件はコンビナートで発生し、2016 年から 2020 年までコンビナートで発生した平均事故件数は 59 件で減少の傾向はみられていないことが分かる。また、高圧ガス事故全体の原因別件数の中でその他項目を除くと Table 1.2 に示す通りに設備の維持管理の不良が原因の事故が最も多く発生している。1958 年、日本最初のコンビナートができてから 60 年以上も経過しているため(石油化学工業協会, 参照 1)、設備の老朽化がその原因の一つであると考えられる。

化学工場のフィジカルリスク(若倉ら, 2004)としては大きく火災、爆発、有毒ガス漏えいで分類することができると考えられる。この中で有毒ガス漏えいの場合、事故が発生した現場近くの作業者はガスを吸入して致命的な被害を受ける可能性があり、漏えいした有毒ガスが大量の場合は事業所内のみならず、周辺地域まで拡散する可能性がある。さらに漏えいしたガスが無色無臭の場合、住民の立場では五感で認知し難いため、避難開始の遅れによる大きな人的被害が発生する可能性が十分あると考えられる。有毒ガス漏えい事故の例として、大きな人的被害が発生した 1984 年のインド・ボパール漏えい事故(Chouhan, 2005)と 2003 年の中国 Kaixian 漏えい事故(Jianfeng, 2009)を挙げられる。両事故は人と環境に致命的な損傷を起こす有毒ガスの漏えい事故であり、住民の避難が遅れて大きな被害が発生した共通点がある。このように大きな人的被害や環境破壊を防ぐためには取り扱っている化学物質に関する被害影響を事前に予測して対策を策定する必要があり、漏えいしたガスの拡散範囲が広くて周辺地域の住民まで影響を及ぼすと判断される場合には住民避難に関する計画も策定する必要がある。

## 1.2 日本の製造工業の現状

初めて工業統計調査が行われた明治 42 年の生産額の構成比は染織が 49.4%、飲食物が 18.5%、化学が 14.5%で全体の 8 割以上を占めており、昭和 30 年の出荷額の構成比は食料・飲料が 17.9%、繊維・衣服が 17.5%、化学工業が 11%を示している(経済産業省, 参照 3)。経済産業省(2020)の 2019 年確報産業別統計表によると 2018 年の製造品出荷額は 331 兆 8094 億円であり、製造品の構成比は Fig. 1.1 に示すように輸送用機械が 21.1%で最も多く、続いて化学が 9%、食料品が 9%を占めており、上位 8 位以外の産業が 33.4%を占めている。

Table 1.3 は製造出荷額(従業者 4 人以上の事業所)の上位 5 位までの都道府県及び主な産業を 3 位まで示したものである。出荷額は愛知県が 48 兆 7,220 億円で最も高く、続いて神奈川県が 18 兆 4,431 億円、大阪府が 17 兆 5,615 億円、静岡県が約 17 兆 5,000 億円、兵庫県が約 16 兆 5,000 億円であり、全体の出荷額構成比は各々 14.7%、5.6%、5.3%、5.3%、5.0%である。主な産業の 3 位以内に化学と石油が含まれている都道府県は神奈川県のみであり、その構成比を合わせると神奈川県の 23.5%(石油: 12.7%、化学: 10.8%)を占めている。全体出荷額が最も高い愛知県に比べても神奈川県の化学(神奈川: 約 2 兆、愛知: 約 1.3 兆)・石油(神奈川: 約 2.3 兆、愛知: 約 0.7 兆)の出荷額は高い。

神奈川県(2020(1))の工業統計調査結果報告によると、Table 1.4 に示す通り、神奈川県内での製造品出荷額は川崎市(約 4.2 兆円)が最も高く、続いて横浜市(約 4 兆円)、藤沢市(約 1.5 兆円)である。特に、川崎市の場合、約 4.2 兆円の中で約 3.2 兆円が川崎区の出荷額であり、神奈川県内で 3 位の藤沢市を 2 倍以上も上回っている。川崎区の主要業種の中で石油と化学が 1・2 位の構成比を示しており、その構成比は合わせて約 70%を占めている。このような川崎区の場合、石油コンビナート等災害防止法(参照 6)の第 2 条第 2 号により臨海部の 24.07 km<sup>2</sup>の面積が特別防災区域で指定されており(神奈川県, 2020(2))、範囲は Fig. 1.2 に示す通りで住居地域と接している。特別防災区域の内に特定事業所の数は 51 ヶ所があり、有毒ガスを貯蔵する 100 トン未満のタンクは 20 基がある(川崎市, 2020)。そのため、有毒ガス漏えい事故発生時には周辺地域の住民に影響を与える可能性が十分あると考えられる。

## 1.3 ガス拡散に関する既往研究

ガス拡散影響予測に関する研究の場合、既往では比較的簡単に解析できる常用プログラムを用いた分析が多く行われた。多く用いられたソフトウェアとしては ALOHA、DEGADIS、HGSYSTEM、SLAB があり、モデル検証のために実験と比較する研究も行われている(Hanna et al., 1993; Touma et al., 1995)。上記のソフトウェアは米国のエネルギー省の化学物質の拡散及び被害評価のための実務委員会から最も普遍的に使用できると判断されたモデルでもある(Lazaro et al., 1997; Jung et al., 1999)。

しかし、上記のプログラムは地形や障害物のモデリング、また 3 次元の分析ができない短所がある。ガス拡散の場合、漏えい源の周辺が都心地域である場合は建物や風の影響で乱流の流動特性を持つ(Ko et al., 2015(1))。最近では過去に比べてコンピューターの性能向上によって大空間の拡散解析に数値流体力学(Computational Fluid Dynamics: CFD)を用いて研究が行われている。大気汚

染の分野でも CFD を用いた研究が活発に行われており (Li et al., 2006; Chavez et al., 2011; Tominaga and Stathopoulos, 2013; Liu et al, 2017; Sedighi and Bazargan, 2019)、有毒ガス漏えい事故を想定した解析も行われている。Pontiggia et al. (2011) は CFD を用いて実際の町をモデリングした上、アンモニア漏えい事故に関する解析を行い、ガス拡散に建物が影響することを確認し、Ko et al. (2015(2)) は LES を用いて韓国で起きたフッ化水素事故を再現した。Zhang and Chen (2010) は硫化水素の漏えいを評価し、Lovreglio et al. (2016) は二酸化窒素の拡散を想定して開放空間にいる人への影響濃度を評価した。

#### 1.4 住民避難に関する既往研究

住民避難に関する研究の多くは自然災害を対象に行われており、有毒ガス漏えい事故時の住民避難に関する研究はほぼ行われていない現状である。このような状況は日本のみではなく、世界的にも同様である。漏えい事故時ではないが住民の避難意思または避難行動に関する研究としては、津波によって発令された避難勧告範囲の地域住民を対象に避難意思決定要因を分析した研究 (加藤, 諏訪, 2011) や避難意思に影響を及ぼす要因を分析するために行動理論に基づいて質問紙調査し、避難意思決定要因を示した研究 (関谷, 田中, 2016)、大規模地震の時の自動車避難方策を検討した研究 (長尾ら, 2015) などが挙げられる。

避難行動は個人の類型、社会的役割、対処知識、その他の多様な人的要因から影響を受ける (Li and Zhu, 2013; Hofinger et al., 2014)。従って、一般的に住民の立場では自然災害に比べて化学災害の経験は少なく、対処知識の差も生じると考えられるため、自然災害を想定した避難意思構造と有毒ガス漏えい時の意思構造は異なる可能性も十分ある。Zang et al. (2014; 2017) は一酸化炭素の漏えい事故時の情報伝達方法による避難について研究を行い、Gai and Deng (2019) も情報伝達方法と避難有無について調査研究を行った。このような発災時の情報伝達や避難時間などに関する物理的時間に関する研究も非常に重要であるが、漏えい事故時の住民の避難意思、または避難行動に影響を与える要因に関する研究も必要であると考えられる。しかし、前述の通りに漏えい事故時の住民の避難意思に関する研究はほぼ行われていない。

#### 1.5 災害による避難

住民の避難が必要な災害には台風や大雨、また地震や津波のような自然災害が挙げられる。台風や大雨の場合は被害の恐れが予想される場合にはテレビやラジオのメディアなどから災害の発生事前に情報を収集し、事前避難または避難の備えができる。一方、地震の場合は事前に予見できない特徴はあるが自ら揺れを感じることで災害の発生を認知することができ、身の安全を確保するための行動をすることができる。更に地震による津波警報の情報から津波に対する事前避難または避難備えができる。

しかしながら、化学工場や石油化学コンビナートなどで発生する化学災害の場合、爆発を伴う事故や大型火災の時に周辺住民が事故発生に関して認知することができるが、有毒ガス漏えい事故のみの場合は住民の立場では認知し難い特徴がある。特に漏えいするガスが無色無臭の場合、住民は五感で漏えい事故の発生に関して認知できない可能性があるため、素早い避難や避難備えの遅れが発生する恐れがある。さらに、住民が漏えい事故による避難に関する情報を得る時期は

有毒ガスの拡散を止めることができない場合であるため、自然災害よりも素早く避難行動を取る必要がある。特に大量漏えい事故の場合、住民は認知している近所の避難所よりも長距離の避難も考えられるため、住民には避難所に関する事前情報がない特徴があると考えられる。

住民の避難開始以後からは政府や関係機関の災害及び避難情報発信、避難誘導などの全体的な対応・避難プロセスは災害種類によらず類似であると考えられるが、上記で述べた通りに住民の立場での災害発生の認知及び避難開始の時期の相違点があると言える。

## 1.6 本研究の着目点及び目的

### 1.6.1 本研究の着目点

前述の通りに化学工場から有毒ガス漏えい事故発生時に人的被害の軽減のためには漏えいガスによる拡散範囲の評価のみならず、住民の避難行動に影響を及ぼす要因と共に避難時の移動手段や事故情報伝達方法などの把握が必要である。また、把握できた有毒ガス拡散濃度及び住民避難行動を基に住民の避難計画を策定する必要がある。

化学工場で発生する有毒ガス漏えい事故は作業者のみならず、周辺地域まで拡散し、人と環境に致命的な損害を引き起こす可能性がある。そのため、有毒ガス漏えいに関する既往研究及び住民避難に関する研究を検討したところ、有毒ガス漏えい事故の影響に関して多くの研究が障害物や市街地の建物などを考慮せず、拡散範囲のみを評価している。近年、CFDを用いた分析も行われているが、事業所内の拡散評価や事故事例の再現が多く、ガスの濃度分布に関しても拡散範囲のみに分析されることが多い。漏えい事故発生による住民の避難が行われる際に住民の呼吸高さの濃度分布評価は重要であると考えられるが、呼吸高さでの濃度分布に関する研究はほぼ行われていない。そこで、本研究では都市環境を考慮し、全体的な拡散範囲の濃度のみならず、住民の呼吸高さでの濃度分布に着目する。

災害の発生時に住民の避難が素早く行われると人的被害を軽減させることができる。そのため、洪水や地震などの自然災害を対象にした住民避難行動に関する研究は多く行われているにも関わらず、化学工場で発生する有毒ガス漏えい事故を想定した住民の避難意思に関する研究は行われていない。そこで、本研究では化学工場から有毒ガス漏えい事故発生時の住民の避難意思構造に着目し、研究対象としては前述の石油化学産業の構成比が多い川崎区の住民にする。

### 1.6.2 本研究の目的

本研究では、行政や関係機関で化学工場から有毒ガス漏えい事故発生時の住民避難計画を策定する基盤を確立することを目的とし、漏えい事故を想定したシミュレーション分析を行って住民の呼吸高さでの濃度分布や屋内濃度変化などを把握することと共に住民の避難意思構造を明らかにする。その後、両結果に基づいて住民避難に関する考察及び提案する。以下に本論文の構成を示す。

第2章では、工業団地で有毒ガス漏えい事故が発生する場合の周辺地域への影響を分析する。そのために化学工場で有毒ガス漏えい事故が発生して周辺住民に大きな影響を与えた事故、住民避難が行われた過去の事故事例を分析することと共に地理情報システムを用いて工業団地の空間



特性を把握する。更に事件事例分析と空間特性把握から得られた条件に基づいて有毒ガス拡散シミュレーションを行い、被害影響範囲の把握及び避難時の曝露濃度などを把握する。

第3章では、工業団地周辺の住民を対象に質問紙調査及び統計分析を行い、有毒ガス漏えい事故発生時の避難意思構造、移動手段・情報伝達方法、避難開始時間などを明らかにする。本質問紙調査の先に大学生を対象に基礎的な調査を行い、日・韓の若年層を対象に予備調査を行う。予備調査から質問項目の問題点を把握・補完した上、川崎市川崎区の工業団地1km圏内の住民を対象に質問紙調査を行い、統計分析する。

第4章では、第2章と第3章で得られた結果に基づき、有毒ガス漏えい事故時の住民避難に関して考察・提案する。第2章の結果を用いて屋内避難時の濃度変化を把握し、屋外曝露による死亡確率をProbit分析から把握する。第3章の結果を用いて避難開始時間、避難時の移動手段、情報伝達手段などについて検討する。

第5章では、本研究で得られた知見をまとめる。

## 第 1 章の参考文献

- Chavez, M., Hajra, B., Stathopoulos, T., Bahloul, A. (2011) Near-field pollutant dispersion in the built environment by CFD and wind tunnel simulations, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99, pp.330-339
- Cho, T.J. (2017) Policies and legislation concerning chemical substances management in Japan, *Public Law Journal*, Korean Comparative Public Law Association, Vol.18, No.3, pp.491-528
- Chouhan, T.R. (2005) The Unfolding of Bhopal Disaster, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 18 pp.205–208
- European Chemical Industry Council (CEFIC) (2019) Facts & figures 2020
- Gai, W., Deng, Y. (2019) Survey-based analysis on the diffusion of evacuation advisory warnings during regional evacuations for accidents that release toxic vapors: A case study, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 57, pp.174-185
- Hofinger, G., Zinke, R., and Künzer, L. (2014) Human factors in evacuation simulation, planning, and guidance, *Transportation Research Procedia*, Vol.2, pp.603-611.
- Jianfeng, L., Bin, Z., Yang, W., and Mao, L. (2009) The Unfolding of ‘12.23’ Kaixian Blowout Accident in China. *Safety Science*, Vol. 47, No. 8, pp.1107-1117
- Jung, S.H., Yoon, D.Y., Kim, Y.S. (1999) Usage characteristics of publicly-available accidental release models, *Journal of Korea Society for Atmospheric Environment*, Vol. 15, No.5, pp.687-696
- Ko, M.W., Oh, C.B., Han, Y.S., Do, K.H (2015(1)) Investigation of turbulent analysis methods for CFD of gas dispersion around a building, *Fire Sci. Eng.*, Vol. 29, No.5, pp.42-50
- Ko, M.W., O, C.B., Han, Y.S., Choi, B.I., Do, K.H., Kim, M.B., Kim, T.H. (2015(2)) Large eddy simulation for the prediction of unsteady dispersion behavior of hydrogen fluoride, *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol.30, No.1, pp.14-20
- Lazaro, M.A., Woodard, K., Hanna, S.R., Hesse, D.J., Huang, J.C, Lewis, J., Mazzola, C.A (1997) Model review and evaluation for application in DOE safety basis documentation of chemical accidents - modeling guidance for atmospheric dispersion and consequence assessment, ANL/EAD/TM-75, Environmental Assessment Division, Argonne National Laboratory, Argonne, IL
- Li, L.M., and Zhu, G.Q. (2013) The questionnaire of influence factors in the commercial building evacuation, *Procedia Engineering*, Vol.52, pp.171-180

Li, X.X., Liu, C.H., Leung, D.Y.C, Lam, K.M. (2006) Recent progress in CFD modelling of wind field and pollutant transport in street canyons, *Atmospheric Environment*, 40, pp.5640-5658

Liu, W., Liu, D., Gao, N. (2017) CFD study on gaseous pollutant transmission characteristics under different ventilation strategies in a typical chemical laboratory, *Building and Environment*, 126, pp.238-251

Lovreglio, R., Ronchi, E., Maragkos, G., Beji, T., Merci, B. (2016) *Journal of Hazardous Materials*, 318, pp.758-771

Pontiggia, M., Landucci, G., Busini, V., Derudi, M., Alba, M., Scaioni, M., Bonvicini, S., Cozzani, V., Rota, R. (2011) CFD model simulation of LPG dispersion in urban areas, *Atmospheric Environment*, 45, pp.3913-3923

Sedighi, A.A, Bazargan, M. (2019) A CFD analysis of the pollutant dispersion from cooling towers with various configurations in the lower region of atmospheric boundary layer, *Science of the Total Environment*, 696, 133939

Tominaga, Y., Stathopoulos, T. (2013) CFD simulation of near-field pollutant dispersion in the urban environment: A review of current modeling techniques, *Atmospheric Environment*, 79, pp.716-730

Touma, J.S., Cox, W.M., Thistle, H., Zapert, I.G (1995) Performance evaluation of dense gas dispersion models, *Journal of Applied Meteorology*, Vol.34, pp.603-615

Zhang, N., Ni, X.Y., Huang, H., Duarte, M. (2017) Risk-based personal emergency response plan under hazardous gas leakage: Optimal information dissemination and regional evacuation in metropolises, *Physica A*, 473, pp.237-250

Zhang, N., Huang, H., Su, B., Zhao, J., Zhang, B. (2014) Information dissemination analysis of different media towards the application for disaster pre-warning, *Information of Different Media*, 9-5, pp.1-12

神奈川県 (2020) 2019年神奈川県工業統計調査結果報告

神奈川県 (2020) 神奈川県石油コンビナート等防災計画及び資料編

川崎市 (2020) 川崎市臨海部防災対策計画

経済産業省 (2020) 2019年確報 産業別統計表

高圧ガス保安協会 (2021) 最近の高圧ガス事故集計(令和2年2月まで)

若倉正英, 高木伸夫, 菊池武史 (2004) 化学物資のフィジカルリスク評価システムの開発, *安全工学*, 安全工学会, Vol. 43, No. 4, pp.240-245

加藤史訓, 諏訪義雄 (2011) 2010 年チリ地震津波からの釧路市民の避難に関する調査, 土木学会論文集B2(海岸工学), 67-2, pp.I\_1271-I\_1275

関谷直也, 田中淳 (2016) 避難の意思決定構造—日本海沿岸住民に対する津波意識調査より—, 自然災害科学, 35, pp.91-103

長尾一輝, 大畑長, 柿元祐史, 花房比佐友, 二上洋介, 江藤和昭, 桑原雅夫 (2015) 大規模地震時における自動車避難行動を考慮した避難施策の評価, 土木学会論文集D3(土木計画学), 71-5, pp.I\_53-I\_68

## 参照URL

- 1) 石油化学工業協会 : <http://www.jpca.or.jp/trends/history.html>
- 2) 経済産業省(化審法) : [https://www.meti.go.jp/policy/chemical\\_management/kasinhou/index.html](https://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/kasinhou/index.html)
- 3) 経済産業省(化管法) : [https://www.meti.go.jp/policy/chemical\\_management/law/index.html](https://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/law/index.html)
- 4) EPA(TSCA) : <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-toxic-substances-control-act>
- 5) 経済産業省(我が国の工業) : <https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/wagakuni/2011.html>
- 6) e-GOV 法令検索(石災法) : <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=350AC0000000084>

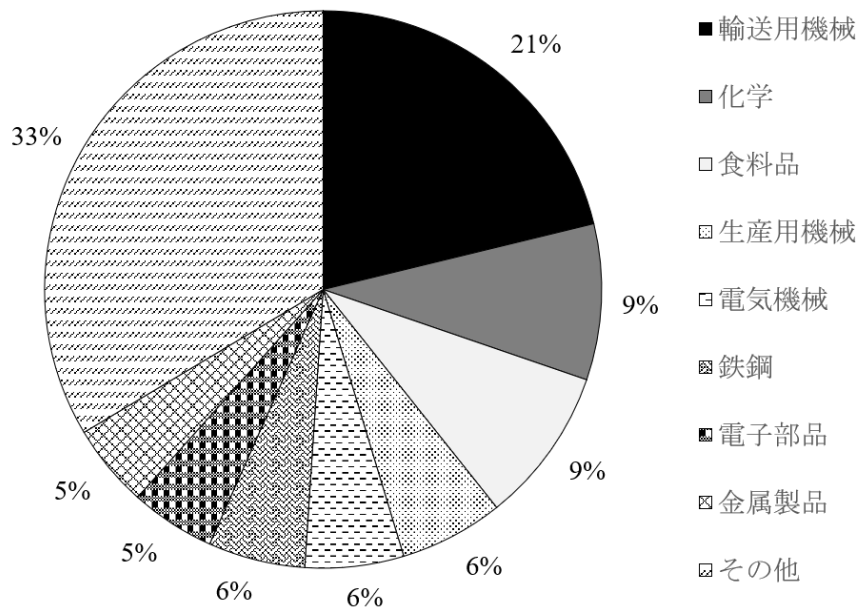


Fig. 1.1 Composition ratio of manufactured goods (adopted from 経済産業省, 2020)

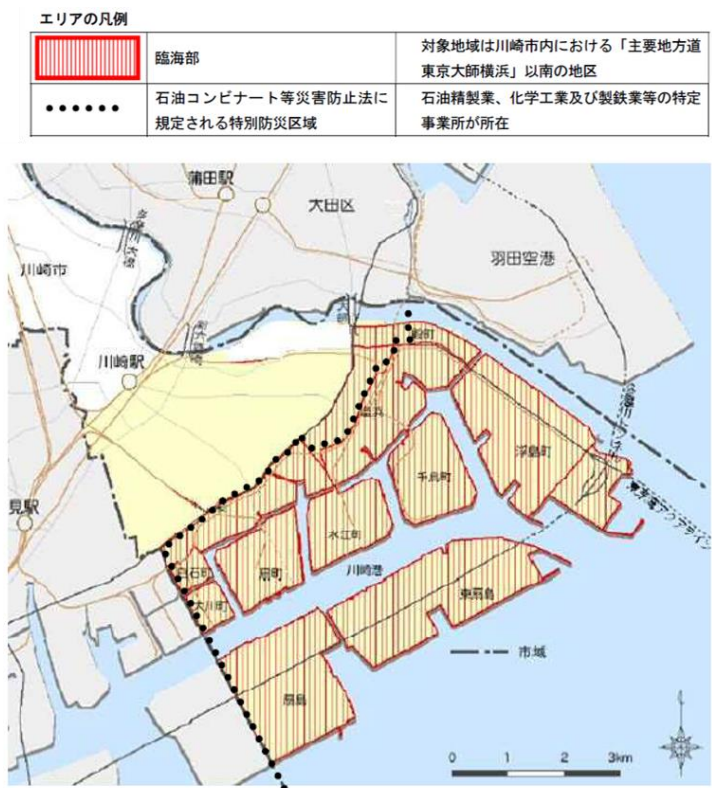


Fig. 1.2 Range of special disaster prevention area (adopted from 川崎市, 2020)

**Table 1.1 Trends in high-pressure gas accidents in manufacturing facility****(adopted from 高圧ガス保安協会, 2021)**

	2016	2017	2018	2019	2020
冷凍	193	272	271	328	284
コンビナート	45	45	44	86	75
LP	17	22	12	33	36
一般	84	138	145	167	157
計	339	477	472	614	552

**Table 1.2 Cause of accident in high-pressure gas (adopted from 高圧ガス保安協会, 2021)**

	2016	2017	2018	2019	2020
設備の設計、製作の不良	89	80	95	150	73
設備の維持管理の不良	224	290	277	289	254
組織体制の不良	10	15	11	14	10
ヒューマンファクター	48	52	41	74	59
その他	396	524	409	351	257

**Table 1.3 Value of manufactured goods shipments and composition ratio**

(adopted from 経済産業省, 2020)

	金額 (億円)	順位	構成比	1位		2位		3位	
				産業	構成比	産業	構成比	産業	構成比
全体	3,318,094		100.0	輸送	21.1	化学	9.0	食料	9.0
愛知	487,220	1	14.7	輸送	55.3	電気	6.0	鉄鋼	5.2
神奈川	184,431	2	5.6	輸送	22.6	石油	12.7	化学	10.8
大阪	175,615	3	5.3	化学	10.7	金属	9.2	生産	9.1
静岡	175,395	4	5.3	輸送	25.6	電気	14.0	化学	10.8
兵庫	165,067	5	5.0	化学	13.5	鉄鋼	11.7	輸送	10.4

**Table 1.4 Value of manufactured goods shipments and composition ratio in Kawasaki-ku**

(adopted from 神奈川県(1), 2020)

	金額 (億円)	順位	1位		2位		3位	
			産業	構成比	産業	構成比	産業	構成比
神奈川	184,431		輸送	22.6	石油	12.7	化学	10.8
川崎市	42,012	1	石油	27.7	化学	25.3	輸送機	13.5
川崎区	31,996		石油	36.4	化学	32.8	鉄鋼	14.5
横浜市	40,548	2	石油	28.4	食料	14.5	輸送機	12.7
藤沢市	15,056	3	輸送機	70.8	はん用 機器	11.9	食料	2.9





## 第 2 章 有毒ガス漏えい事故による工業団地周辺地域への影響



## 2. はじめに

本章の目的は、工業団地で有毒ガス漏えい事故が発生する場合の周辺地域への影響を分析することであり、そのために化学工場で有毒ガス漏えい事故が発生して周辺住民に大きな影響を与えた事故、住民避難が行われた過去の事故事例を分析することと共に地理情報システムを用いて工業団地の空間特性を把握した。更に事故事例分析と空間特性把握から確認できた条件を基に有毒ガス拡散シミュレーションを行い、被害影響範囲の把握及び避難時の曝露濃度などを把握した。

### 2.1 有毒ガス漏えいの事故事例分析

有毒ガス漏えい事故が発生すると漏えいした物質は周辺地域まで拡散して地域に住んでいる住民、または環境に大きな影響を与える可能性がある。過去、漏えい事故が発生し、周辺住民が大きな人的被害を受けた事例や避難を行った事例を下記に述べる。

#### (1) イタリア・セベソのダイオキシン漏えい事故 (Case 1)

1976年7月10日12時37分、イタリアのセベソ近所の化学工場で反応器内部の圧力増加によって安全弁が開けられ、TCDD(2,3,7,8-tetracholorodibenzo-p-dioxin、推定両：約15から30kg)を含んだ蒸気が漏えいし、約18km<sup>2</sup>の広い範囲の地域へ拡散した。この漏えい事故によって地域住民は頭痛、目の炎症などが生じ、19人のこともたちは皮膚炎で地域病院に入院した。その後、何週間もこの地域で動物と植物の高い死亡率を経験し、住民の間で約200件程度のクロロアクネが報告されたが、これはたいてい子供たちであった(Brenda et al., 2018)。避難は事故発生から約2週間後に化学工場の南東側の約0.15km<sup>2</sup>の領域の179人が避難し、数日後、約1.1km<sup>2</sup>領域の全ての住民が避難した(di Domenico et al., 1980)。

#### (2) インド・ボパール MIC 漏えい事故 (Case 2)

最悪の化学災害とも呼ばれるインド・ボパール Methyl isocyanate(MIC)漏えい事故は、1984年12月3日、都心の北部にある工場内の33mの長い大気換気ラインで約41トンのMICが90分間にかけて全て漏えいされた(Sharan et al., 2000)。漏えいされたMICは約13km<sup>2</sup>の広い範囲へ拡散し、少なくとも2,500人が死亡し、200,000人が負傷する大型人命被害を起こした(Fthenakis, V.M., 2001)。この事故の原因はMIC貯蔵タンクに水が入り反応してタンクの温度及び圧力を増加させ、圧力によるリリーフバルブラインの破裂版が圧力爆発して漏えいが発生した。適切な時期にサイレンは作動せず、周辺住民やコミュニティのための避難計画もなかった(Chouhan, T.R., 2005)。

#### (3) 米国・ルイジアナの鉄道車両タンク漏えい事故 (Case 3)

1995年10月23日15時55分後ごろ、ルイジアナのボガルサにある化学工場で鉄道車両タンクのドームで四酸化二窒素混合物が漏えいする事故が発生した(NTSB, 1998)。従って、工場職員は非常対応機関に報告した上、消防ホースを使って蒸気を抑制し、16時30分ごろ消防が工場に到着したが、16時45分頃、車両タンクのB-end Headが破裂して大量の暗褐色雲が発生した。このタンクの内部で発生した化学反応の中和及び希釈などを通じて制御されるまで36時間が

掛かった。この事故によって近所の 3,000 人が避難し、4,710 人が病院で診療を受け、その中で 81 人は入院した。

(4) 米国・ルイジアナの塩素漏えい事故 (Case 4)

2003 年 7 月 20 日、アメリカ・ルイジアナのバトンルーージュにある化学工場で塩素冷却設備の破損によって冷却システムに塩素が入った。その塩素によって冷却材の注入ポンプが故障して約 6.5 トンの塩素が漏えいされた。この事故によって労働者 8 人が負傷しその中で 4 人は入院した。また、約 800 m 範囲の周辺住民に避難勧告が出された(CSB, 2005)。

(5) 米国・アリゾナの塩素州漏えい事故 (Case 5)

2003 年 11 月 17 日 11 時 30 分ごろ、アリゾナ州グレンデールにある工場で塩素漏えい事故が発生した。多量の塩素がスクラバーに排出され、洗浄物質の洗浄能力を弱化させて洗浄されない塩素が約 6 時間にかけて継続に大気中へ漏えいされた。約 2,400m 範囲の地域住民に避難命令を出したが、対象地域には 2,500 世帯と 7,200 人の住民が居住していた。この事故で 16 人が病院で治療を受けた。

(6) 中国・Kaixian の硫化水素漏えい事故 (Case 6)

2003 年 12 月 23 日、中国の天然ガス生産の重要地域である Kaixian の北西側にある Xiaoyan 村の LuoJia 16H ガス井で硫化水素を含んだ高濃度の天然ガスが大量に噴出し、広い領域に拡散する事故が発生した(Li et al., 2009)。この事故によって 242 人が死亡し、1242 人が入院、また、65,000 人が避難を行った。この事故で最も被害が大きかったのは Xiaoyan 村の人々であり、死亡者の約 9 割がこの村の出身であった。また、事故発生地点から 300~500 m 範囲の住民はほぼ生き残らず、半径約 5 km の周辺地域が漏えいガスに影響を受けた。噴出事故が制御不能状態になった時点(23 日 22 時 4 分)から約 26 分後に周辺住民が避難を始め、政府に状況を報告したが明確な指針を得なかったため、漏えいは約 18 時間(23 日 22 時 4 分から 24 日 15 時 55 分まで)の間に継続された。

(7) 韓国・グミのフッ化水素漏えい事故 (Case 7)

2012 年 9 月 27 日 15 時 43 分ごろ、韓国グミ市にある化学工場でフッ化水素漏えいが発生して 5 人が死亡し、12 人が負傷、検診を受けた件数が 12,243 件の人的被害が発生した。この事故はタンクコンテナにフッ化水素を注入する過程で作業者が安全規則を守らず作業し、足が滑ってしまいバルブを誤作動させた(KOSHA, 2013)。バルブが閉じられたのは 23 時 30 分(事故発生から約 8 時間)であり、約 8 トンのフッ化水素が半径 4 km に拡散した。周辺住民 300 人は約 6 km 離れている他の村の住民センターに避難した(Jung and Park, 2016)。15 時 50 分ごろ、消防及び警察によって半径 300 から 400 m 内の住民を避難させ、その後、影響範囲が拡張されることによって 19 時 10 分ごろに半径 1.4 km 内の住民を、20 時ごろ 3 km 内の住民を避難させた。この事故により問題点として政府の対応能力不足や住民への情報伝達問題などが挙げられた(Min and Lee, 2014)。

以上の事象事例を整理して Table 2.1 に示す。周辺地域まで影響を与えて住民の避難が行われる場合は漏えいする有毒ガスの量が多く、1 時間以上も継続的に漏えいする状況であることが分かった。また、政府や関係機関の災害対応によって被害は大きくなる可能性が十分あることが分かった。

## 2.2 工業団地周辺の空間特性の把握

工業団地の周辺地域の空間特性を把握するために地理情報システム(GIS: Geographic Information System)を用いて標高や地域内の建築物密集度などを確認した。GIS データを活用するために本研究では ArcGIS10.4.1 を用いた。

### 2.2.1 地理情報システム(GIS)の定義

地理情報システム(GIS)は時空間上の諸般の現象を位置情報(Vector、Raster)と属性情報を結合し、コンピューターを通じて入力・貯蔵・検索・更新などの情報を管理して適切な操作・処理・分析できるシステムを言う。地理学、測地・測量の分野で活発に活用されており、空間的情報を効率的に理解することができる(LH, 2014)。データモデルはベクタデータモデルとラスタデータモデルがある。ベクタデータの場合、線(ライン)、点(ポイント)、面(ポリゴン)のデータであり、全てのデータが各々属性情報と結合し、固有の ID 持つ。ラスタデータは衛星画像や航空写真のようなイメージデータのである(佐土原 et al., 2005)。

### 2.2.2 地理情報システムの収集

工業団地周辺の空間特性を把握するために地理情報を収集した。各地域の数値標高モデル(DEM)及び基本項目のデータは国土地理院の「情報地図情報基盤サイト(参照 1)」から収集し、地域の境界データは E-stat の「政府統計の総合窓口(参照 2)」から収集した。また、研究対象である川崎市川崎区に関するバス停留所(ポイント)、鉄道(ライン)、用途地域(ポリゴン)に関するデータは国土交通省の「国土地理情報ダウンロードサービス(参照 3)」から収集した。

### 2.2.3 工業地域周辺の用途地域及び標高

#### 2.2.3.1 工業地域周辺の用途地域

用途地域とは、市街地の土地利用を決めるための分類で住居・商業・工業など 12 種類で構成されている。各地域に対する用途が決まると、それぞれの目的に応じて建てられる建築物の種類が決められる。用途地域の中で主に住居のための地域に関しては下記の通りである(国土交通省,2020)。

- 第一種低層住居専用地域 : 低層住宅のための地域。小規模な店舗や事務所を兼ねた住宅、小学校などが建てられる。容積率 : 50~200%、建蔽率 : 30~60%
- 第二種低層住居専用地域 : 主に低層住宅のための地域。小中学校などの他、150 m<sup>2</sup>までの一定の店舗などが建てられる。容積率 : 50~200%、建蔽率 : 30~60%

- 第一種中高層住居専用地域：中高層住宅のための地域。病院、大学、500 m<sup>2</sup>までの一定の店舗などが建てられる。容積率：100～500%、建蔽率：30～60%
- 第二種中高層住居専用地域：主に中高層住宅のための地域。病院、大学などのほか、1,500 m<sup>2</sup>までの一定の店舗や事務所など必要な利便施設が建てられる。  
容積率：100～500%、建蔽率：30～60%
- 第一種住居地域：住居の環境を守るための地域。3,000 m<sup>2</sup>までの店舗、事務所、ホテルなどは建てられる。容積率：100～500%、建蔽率：50～80%
- 第二種住居地域：主に住居の環境を守るための地域。店舗、事務所、ホテル、カラオケボックスなどは建てられる。  
容積率：100～500%、建蔽率：50～80%

地域の境界データと用途地域データを用いて工業地域の周辺にある住居地域を確認した。その結果を Fig. 2.1 に示す。工業地域の場合、臨海に多く分布しており、その周辺に住居目的の地域が多く分布していることが確認できた。工業地域で有毒ガス漏えい事故が発生する場合、住民が住居している地域まで拡散し、影響を及ぼす可能性は十分あると考えられる。

### 2.2.3.2 工業地域周辺の標高

数値標高モデル(DEM)データを活用し、ArcGIS 用いて五つの工業団地(京浜・阪神・瀬戸内・中京・北九州)の標高を入力した結果を Fig. 2.2 に示す。2.2.3.1 で確認した通りに工業地域の場合は臨海に多く分布しているため、工業地域及びその周辺地域はほぼ勾配がないことを確認した。

### 2.2.3.3 川崎市川崎区の空間分析

#### (a) 標高及び用途地域

Fig. 2.3 は川崎市川崎区及び横浜市鶴見区の周辺標高を示したものである。川崎区の場合、全域において平地になっていることが分かった。Fig. 2.4 は川崎区の用途地域を示したものである。準工業地域・工業地域・工業専用地域の近所に第二種住居地域及び準住居地域が多く分布していることが分かった。

#### (b) 地域内の建築物密集度及び人口密度

地域内の建築物の密集度及び人口密度を確認するために基本項目データの属性情報を用いた。Fig. 2.5 は川崎区内の建物を示したものであり、点線は首都高速神奈川 1 号横羽線(通称：産業道路)を示したもので、産業道路を基準に工業地域の反対側に建物が密集していることが分かった。Fig. 2.6 は建物総合面積と各町の床面積から建物の密集度を示したものである。全体平均密度は 0.328 であるが、多摩川付近の町の場合は一部川も面積として含まれているため側周辺及び産業道路を基準に工業地域の方をを排除すると建物の密集度は平均 0.36(点線内の地域のみ)であることが分かった。Fig. 2.7 は 100 m<sup>2</sup>の当たりの人数である人口密度を示したものである。住居地域に人口密度が高いことが確認でき、全体人口密度の平均は 151.4 人であることが分かった。

## 2.3 有毒ガス拡散に関する事故シナリオの検討

### 2.3.1 事故シナリオ

化学物質の漏えい事故による被害影響範囲を検討するためには適切な事故シナリオが必要である。米国の環境庁(EPA)では漏えい事故に関する最悪事故シナリオと共に代替事故シナリオの選定方法を提供しているため(EPA, 2009)、選定方法を参考にして事故シナリオを決める。

#### 2.3.1.1 米国環境庁(EPA)の事故シナリオ

##### (1) 最悪の事故シナリオ

最悪の事故シナリオは有毒化学物質が漏えいし、人や環境に及ぼす影響が最大の事故シナリオである。漏えい量は貯蔵タンクや容器などの単一容器で貯蔵できる最大量を10分間にかけて全量漏えいするシナリオであり、有毒ガス漏えい量の計算は下記の式(2.1)に従う。

$$R_R = \frac{Q_R}{10} \quad (4.1)$$

ここで、 $R_R$ は漏えい率(kg/min)であり、 $Q_R$ は漏えい量(kg)である。

気象条件は下記の通りである。

- 1) 風速及び大気安定度は1.5 m/s、非常に安定(F)にする。
- 2) 大気温度は25°C、大気湿度は50%にする。
- 3) 漏えい源の高さ：地表面から漏えいすることと想定する。

##### (2) 代替の事故シナリオ

代替の事故シナリオは最悪の事故シナリオより発生する可能性が高く、人や環境に影響を及ぼす影響が事業所の外側まで与える場合に活用できるシナリオであり、気象条件は下記の通りである。

- 1) 風速及び大気安定度は実際に該当する地域の気象条件を利用する。ただし、風速及び大気安定度を確認できない場合、風速は3 m/s、大気安定度は中立(D)にする
- 2) 大気温度は該当地域の最小1年間の平均温度及び平均湿度にし、確認できない場合は大気温度を25°C、大気湿度を50%にする。
- 3) 漏えい源の高さは実際漏えいされる高さを利用、または地表面の漏えいを想定する。

#### 2.3.1.2 事故シナリオの決定

本研究における事故シナリオは事故事例分析、工業地域の空間分析の結果を基に米国の環境庁のシナリオを参考にして決定した。漏えい源としては硫化水素によって被害が大きかった事故事例とフッ化水素によって被害が発生した事例から着目し、本研究の対象有毒ガスとした。住民の避難が必要だった事故事例の場合、その漏えい状況が継続される場合であったため、本研究では

1 時間以上の継続漏えい事故を想定し、漏えいする量は 1 時間当たり 1 トン、10 トン、20 トンの漏えいを想定した。

事故発生の時間帯や風向・風速の変化によってガス拡散流動や濃度分布は変化すると考えられる。しかし、全ての気象条件をシミュレーション解析することが現実的に不可能であるため、気象条件の場合、EPA で提案しているように平均値を採用した。該当する地域の気象データを用いて平均値を活用すべきであるが、気象庁のデータには本研究の対象である川崎区のデータがないため、最も近い横浜市の気象データを活用した。横浜市の 3 年間平均最高気温は 35.97℃であり、湿度は 67.6%、平均風速は 3.57 m/s である。また、漏えい源の高さの場合、本研究では化学工場の特定工程の事故を想定していないため、地表面から漏えいすることにした。

## 2.3.2 曝露濃度の基準

### 2.3.2.1 Acute Exposure Guideline Level (AEGLs)

Acute Exposure Guideline Level (AEGLs)は米国の環境保護庁(EPA: Environmental Protection Agency)で開発され、化学物質漏えいや災難による一般市民に対する曝露の濃度及び時間に関するガイドラインである。曝露時間は 10 分、30 分、1 時間、4 時間、8 時間で区分し、また各時間に対する濃度を AEGL-1, AEGL-2, AEGL-3 で区分している。各レベルに関する定義は下記の通りである(National Academies, 2001)。

- AEGL-1  
敏感な集団を含む一般人口が相当の不快感及び刺激、または症状を伴わない非感覚的効果を経験できると予測される空気中の濃度。しかし、障害を起こさなく、一時的であり、曝露が中断されると可逆的に回復できる。
- AEGL-2  
敏感な集団を含む一般人口が非可逆的または他の深刻で持続可能な逆健康効果及び待避能力の障害を経験できると予想される空気中の濃度。
- AEGL-3  
敏感な個人を含む一般人口が命の威嚇または死亡する可能性がある空気中の濃度。

ここで、敏感な集団とは子供、老人、喘息感受性及び他の疾病を持っている人であり、以上の内容を図として示すと Fig. 2.8 の通りである。

### 2.3.2.2 Emergency Response Planning Guideline (ERPGs)

Emergency Response Planning Guideline (ERPGs)は米国の産業衛生業界(AIHA: American Industrial Hygiene Association)で発表したガイドラインであり、化学物質漏えいによる地域社会の事故対応に関する ERPG-1、ERPG-2、ERPG-3 で区分している。各レベルに関する定義は下記の通りである(Finis et al., 2008)。



- ERPG-1  
ほぼ全ての人が 1 時間の間に曝露されても不快な臭いを感じなく、また健康上の問題を経験しない空気中の最大濃度。
- ERPG-2  
ほぼ全ての人が最大 1 時間の間、保護措置能力の損傷、回復不可能、または深刻な健康上の影響が発生しない空気中の最大濃度。
- ERPG-3  
ほぼ全ての人が最大 1 時間の間、命の威嚇する健康上の影響を経験しない空気中の最大濃度。

### 2.3.2.3 Temporary Emergency Exposure Limits (TEELs)

Temporary Emergency Exposure Limits (TEELs)は米国の合衆国エネルギー省(DOE: Department of Energy)で発表した基準であり、AEGL または ERPG の基準を使用できない場合に使用するための非常曝露基準である(DOE, 2016)。化学物質に曝露される場合の健康影響濃度を示し、ERPGs や AEGLs のように TEEL-0、TEEL-1、TEEL-2、TEEL-3 で区分している。各レベルに関する定義は下記の通りである。

- TEEL-0  
たいていの人の健康に影響を及ぼす危険がない臨界濃度。
- TEEL-1  
敏感な人を含む一般人口が不快感、刺激、ある症状を伴わない非感覚的効果を経験する空気中の最大濃度。しかし、障害を起こさなく、一時的であり、曝露が中断されると可逆的に回復できる。
- TEEL-2  
敏感な人を含む一般人口が非可逆的または他の深刻で持続可能な逆健康効果及び待避能力の障害を経験できると予想される空気中の濃度。
- TEEL-3  
敏感な人を含む一般人口が命の威嚇または死亡を経験できる空気中の濃度。

### 2.3.2.4 AEGLs、ERPGs、TEELs の比較

上記の各曝露濃度基準は非常時に活用できる化学物質に対する曝露基準を示しているため、概念的には類似である。しかし、各基準は異なる機関によって決められたため、ガイドラインの結果導出の方法も異なる。そのため、曝露時間や健康の影響度、対象集団に関する定義も異なる。各曝露基準の比較を Table 2.2 に示す。AEGLs と TEELs は敏感集団を含むと明記している一方、ERPGs の場合は敏感集団が含まれるかについては明確ではない(Alberta Health, 2017)。また、AEGLs

と TEELs は有る能動以上ではどのような逆健康効果を経験できるかを示している一方、ERPGs はある健康効果がない濃度を示している米国の合衆国エネルギー省(DOE)では AEGLs、ERPGs、TEELs の活用に対して、AEGLs の値がない場合には ERPGs の値を活用し、ERPGs の値もない場合には TEELs の値を活用することを勧告している(Yoon, 2016)。従って本研究においては AEGLs の基準を採用することにする。本研究の対象ガスであるフッ化水素及び硫化水素の AEGLs 基準を Table 2.3(参照 4, 5)に示す。

### 2.3.3 研究対象ガスの特性

本研究の対象有毒ガスであるフッ化水素及び硫化水素の物理的特性と吸入時の症状を確認するために厚生労働省の GHS 対応モデルラベル・モデル SDS 情報(参照 6)を参考した。フッ化水素(参照 7)の蒸気密度は 0.7、融点は $-83.53^{\circ}\text{C}$ 、沸点は $19.51^{\circ}\text{C}$ であり、無色の強い刺激臭を持っている。吸入した場合の急性症状及び遅発性症状としては灼熱感、咳、めまい、頭痛、息苦しさ、吐き気、息切れ、咽頭痛、反吐がある。

硫化水素(参照 8)の場合、蒸気密度は 1.19、融点は $-85^{\circ}\text{C}$ 、沸点は $-60^{\circ}\text{C}$ であり、無色の腐敗した卵のような特徴的な臭気を持っている。吸入した場合の急性症状及び遅発性症状としてはフッ化水素と類似に頭痛、めまい、咳、咽頭痛、息苦しさ、意識喪失がある。

## 2.4 有毒ガスの拡散シミュレーション

### 2.4.1 採用した解析モデル

漏えい事故が発生し、大気中に漏えいすると乱流の特性を持つが、大空間を対象にした実験研究は費用や時間の問題、また有毒ガスの場合は安全や環境問題も発生させる可能性がある。コンピューターの性能向上により既往ではあまり行われなかった数値流体力学(CFD)を用いた大空間の解析が行われている。乱流解析の方法としては DNS (Direct Numerical Simulation)、LES (Large Eddy Simulation)、RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes)がある。DNS は最も精度高く解析できるが、漏えい事故のような大空間を解析することが現実的に不可能であるが、RANS の場合は比較的素早く解析できる長所(Ko et al., 2015)がある。LES は RANS より解析時間は多くかかるが、複雑な流動解析には LES の方がより精度が高い(Salim et al., 2011)と報告されている。本研究で行われるガス拡散は大空間の拡散流動であるため、CFD の LES の解析を行うことにした。本研究で採用したソフトウェアは NIST で開発し、LES 解析ができる Fire dynamics simulator (FDS) Ver.6 である。

### 2.4.2 FDS での Large Eddy Simulation (LES)

一般的な乱流モデルは変動量を時間平均することに比べて Large Eddy Simulation (LES)は空間的に平均し、粗い計算格子成分(grid-scale: GS)とその以下の小さな変動成分(subgrid-scale: SGS)に区分して GS は直接計算し、SGS はモデル化して計算する(谷口, 1996)。FDS で LES の運動方程式は DNS 方程式に式(2.2)の Box Filter を用いて得られる(McGrattan et al., 2018; Ahn, 2014)。

$$\bar{\phi}(x, y, z, t) = \frac{1}{V_c} \int_{x-\delta x/2}^{x+\delta x/2} \int_{y-\delta y/2}^{y+\delta y/2} \int_{z-\delta z/2}^{z+\delta z/2} \phi(x', y', z', t) dx' dy' dz' \quad (4.2)$$

ここで、 $\phi$ はスカラーであり、filter width ( $\Delta$ )は $\Delta = V_c^{1/3}$ ,  $V_c = \delta x \delta y \delta z$ である。フィルターされた LES 運動方程式は式(4.3)のようになる。

$$\frac{\partial \bar{\rho} \tilde{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \tilde{u}_i \tilde{u}_j) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \frac{\partial \bar{\tau}_{ij}}{\partial x_j} - \frac{\partial \tau_{ij}^{sgs}}{\partial x_j} + \bar{\rho} g_i + \bar{f}_{a,i} + \overline{\dot{m}_b''} \tilde{u}_{b,i} \quad (4.3)$$

ここで、 $\tau_{ij}^{sgs}$ は SGS 応力モデルであり、式(4.4)のように定義される。

$$\tau_{ij}^{sgs} \equiv \rho(\tilde{u}_i \tilde{u}_j - \tilde{u}_i \tilde{u}_j) \quad (4.4)$$

式(4.3)を FDS のための形にするために SGS 応力を分解して偏差部分に関する構成関係でニュートンの粘性法則を適用する。 $\bar{\tau}_{ij}$ は粘性応力の偏差部分であり、総偏差応力は式(4.5)のようにモデルされる。

$$\tau_{ij}^{dev} \equiv \bar{\tau}_{ij} + \tau_{ij}^{sgs} - \frac{1}{3} \tau_{kk}^{sgs} \delta_{ij} = -2(\mu + \mu_t) \left( \bar{S}_{ij} - \frac{1}{3} (\nabla \cdot \tilde{u}) \delta_{ij} \right) \quad (4.5)$$

ここで、 $\delta_{ij}$ はクロネッカーのデルタ( $\delta_{ij} = 1$  if  $i = j$ ,  $\delta_{ij} = 0$  if  $i \neq j$ )であり、 $\bar{S}_{ij}$ はひずみテンソルで式(4.6)のように示す。

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4.6)$$

FDS には乱流粘性 $\mu_t$ をモデルするための Constant coefficient Smagorinsky モデル、Dynamic Smagorinsky モデル、Deardorff モデル、Vreman モデルがあり、基本設定としては Deardorff モデルが採用されており、式(4.7)のようにモデルされる。

$$\mu_t = \rho C_v \Delta \sqrt{k_{sgs}} \quad ; \quad k_{sgs} = \frac{1}{2} ((\bar{u} - \hat{u})^2 + (\bar{v} - \hat{v})^2 + (\bar{w} - \hat{w})^2) \quad (4.7)$$

ここで、 $\bar{u}$ は格子セル中心での $u$ の平均値であり、 $\hat{u}$ は隣接格子に対する $u$ の加重平均値で式(4.8)のように定義され、 $\hat{v}$ と $\hat{w}$ も類似に定義される。モデル定数 $C_v$ は 0.1 で固定される。

$$\bar{u}_{ijk} = \frac{u_{ijk} + u_{i-1,jk}}{2} \quad ; \quad \hat{u}_{ijk} = \frac{\bar{u}_{ijk}}{2} + \frac{\bar{u}_{i-1,jk} + \bar{u}_{i+1,jk}}{4} \quad (4.8)$$

### 2.4.3 シミュレーションの設定

計算領域は Fig. 2.9 に示す通り、長さ 3,072 m、幅 208 m、高さ 104 m の大きさに設定した。解析領域の格子は解析時間の効率のために、高さによって異なる大きさにした。Fig. 2.10 に示す通りに地表面から高さ 20 m までは 2 m の立方体の格子で構成し、20~40 m は 4 m の立方体、40~104 m は 8 m の立方体で構成した。計算領域の総格子数は 1,876,992 であり、解析時間は 3600 秒である(2 秒間隔で計測)。Fig. 2.11 は漏えい源の位置を示したもので、漏えいするガスが近くの境界を超えないように境界領域から約 60 m 離れている所に位置させた。

建物を表現するための障害物の設定に空間分析から分かった建築密集度 3.6 を考慮して Fig. 2.12 のように適用し、高さは 1 階当たり 3 m と想定して平均 2 階と 4 階の 2 種類のモデリングをした。建物のような障害物、また地形・道路の配置などによってガス拡散流動や濃度変化が考えられるが、本研究の場合、特定の化学工場、または特定地域のみ漏えい事故を想定した解析ではないため、本シミュレーションでの建物のモデリングは一定に配置した。

濃度の計測地点は Fig. 2.13 に示す通り、漏えい源から 100 m, 200 m, 400 m, 600 m, 800 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m, 2500 m, 3000 m 離れている地点で各々五つの高さ(1.5 m, 4.5 m, 7.5 m, 13.5 m, 28.5 m)で計測し、総 50 ヲ所である。気象条件(風速・湿度・温度)は 2.3.1.2 に述べた通りであり、空気より比重が大きい硫化水素の場合は住民生活領域で大きく影響を与えられると考えられるため、最悪シナリオの風速条件である 1.5 m/s についても評価した。また、Davenport-Wieringa roughness length( $z_0$ )は 0.5m (very rough)、Obukhov length( $L$ )は 350m (Stable)、 $Z_{ref}$ は 10 m に設定した。Table 2.4 は本研究で行われた 18 件の漏えいケースについて示したものである。

### 2.4.4 有毒ガスの拡散シミュレーション解析結果

#### 2.4.4.1 フッ化水素漏えいの結果

##### (a) 1ppm 到達時間

各測定地点で 1 ppm 以上になる時間を Table 2.5 に示す。全体的に漏えい量が増えることによって 1 ppm まで到達する時間は短くなる傾向はあるが、200 m までは 1 分内に到達し、600 m までは 130 秒前後、1 km までは 200 秒前後であることが分かった。3 km 地点では 1 トンの場合は平均 637 秒前後、10 トンの場合は 555 秒、20 トンの場合は 527 秒であることが分かった。

##### (b) 濃度分布

本研究では継続漏えい事故を想定して解析を行ったため、各測定地点で 1 ppm に到達した以後から解析終了までの濃度平均値を整理し、Table 2.6 に示す。漏えい量が 1 トンの場合、200 m までは 200 ppm 以上、600 m では 50 ppm 以上、1 km では 25 ppm 以上であることが分かった。また、2 km では約 10 ppm、3 km では約 5 ppm であることが分かった。10 トンの場合は 2 km まで約 100 ppm 以上になり、3 km 地点でも 50 ppm 以上であることが分かった。20 トンの場合は全領域にかけて 100 ppm 以上であることが分かった。建物 4 階の場合は 2 km 地点でも 100 ppm 以上であることが分かった。20 トンの場合 2500 m まで約 100 ppm であることが分かった。

### (c) AEGLs 基準による危険領域

上記の平均濃度に対する AEGLs の基準を適用して各測定地点での危険度を確認した。1 時間基準濃度(AEGL-1: 1、AEGL-2: 24、AEGL-3: 44)を採用して各地点の危険度を AEGL-1 は黄色、AEGL-2 は赤色、AEGL-3 は灰色で表し、その結果を Table 2.7 に示す。1 トンの場合は 600 m まで AEGL-3 以上、800 m から 1 km は AEGL-2 以上、1.5 km からは AEGL-1 以上になる領域であることが分かった。10 トン及び 20 トンの場合は全領域にかけて AEGL-3 以上の濃度を示すことが分かった。

#### 2.4.4.2 硫化水素漏えいの結果

##### (a) 1 ppm 到達時間

風速が 1.5 m/s の場合、各測定地点で 1 ppm 以上になる時間を Table 2.8 に示す。漏えい量が増えることによって 1 ppm まで到達する時間は短くなる傾向が見られた。また、同じ条件で建物の状況だけが異なる 2 階と 4 階建物の場合、400~600 m 間までは大きな差はないが 800 m 以上からは 4 階建物の方が 1 ppm に早く到達する傾向が見られた。また、100 m の高さ 28.5 m の測定点では漏えい量に関わらず 1 ppm に到達しなく、200 m の場合は建物が 2 階の場合のみ 1 ppm に到達しないことが分かった。

Table 2.9 は平均風速の時の結果を示したもので、風速 1.5m/s の場合と同様に漏えい量が増えることと建物の 4 階の場合が 1 ppm に到達する時間が早い傾向が見られた。また、100 m 及び 200 m の高さ 28.5 m の測定点では漏えい量に関わらず 1 ppm に到達しなかった。

##### (b) 濃度分布

各測定地点で 1 ppm に到達した以後から解析終了までの濃度平均値を整理して、風速 1.5m/s の結果は Table 2.10 に、平均風速の結果は Table 2.11 に示す。全体的な能動分布は平均風速より 1.5m/s の場合、平均濃度が高かった。風速が 1.5m/s で 1 トン漏えいの場合、400 m までは 100 ppm 以上であり、1 km では約 30 ppm であることが分かった。2 km では約 10 ppm、3 km では約 5 ppm であることが分かった。10 トンの場合は 1500 m まで 100 ppm 以上になり、建物 4 階の場合は 2 km 地点でも 100 ppm 以上であることが分かった。20 トンの場合 2500m まで約 100 ppm であることが分かった。

### (c) AEGLs 基準による危険領域

AEGLs の 1 時間基準濃度(AEGL-1: 0.51、AEGL-2: 27、AEGL-3: 50)を採用し、風速 1.5m/s の結果を Table 2.12 に、平均風速の結果を Table 2.13 に示す。漏えいする量が大量である 10 トンと 20 トンの場合ほぼ全域が AEGL-3 を超えることが分かり、10 トンの漏えい量に平均風速の場合は 2 km 以後の領域で AEGL-2 の範囲であることが分かった。前述の大量漏えいより現実的に起こり得る 1 トンの場合は、風速 1.5 m/s は 600 m まで平均風速は 400 m まで AEGL-3 を超えることが分かり、AEGL-2 を超える領域は風速 1.5 m/s の場合に 1 km まで、平均風速は 600 m までであることが分かった。

## 2.5 第2章のまとめ

本章では工業団地で有毒ガス漏えい事故が発生する場合の周辺地域への影響を分析するために化学工場で有毒ガス漏えい事故が発生して周辺住民に大きな影響を与え住民避難が行われた過去の事故事例を分析することと共に地理情報システムを用いて工業団地の空間特性を把握した。更に事故事例分析と空間特性把握から確認できた条件を基に有毒ガス拡散シミュレーションを行い、被害影響範囲の把握及び避難時の曝露濃度を把握した。本章から得られた結果は下記の通りである。

- (1) 事故事例を分析した結果、周辺地域まで有毒ガスが漏えいし、住民の避難が行われた状況は大量の有毒ガスが漏えいすることと共にその有毒ガスが止まらず継続的に漏えいする状況であることが分かった。また、政府や関係機関の判断及び災害対応能力によって住民の避難の遅れが生じることが分かった。
- (2) 地理情報システムを活用して日本の五つの工業団地周辺の空間分析を行った結果、工業地域の場合臨界に多く分布しているため、工業団地周辺の場合は勾配が多くないことを確認した。また、研究対象である川崎区の場合、全域が平坦であることが確認でき、工業地域の周辺に第二種住居地域が多く分布していることが分かった。さらに、住居地域が密集している領域の建築物密集度を確認した結果、0.36であることが確認できた。
- (3) 有毒ガスの拡散シミュレーションを行った結果、漏えいする量が10・20トンの場合はほぼ全域がAEGL-3を超えることが分かり、1トンの場合は、風速1.5 m/sは600 mまで平均風速は400 mまでAEGL-3を超えることが分かり、AEGL-2を超える領域は風速1.5 m/sの場合に1 kmまで、平均風速は600 mまでであることが分かった。

以上の結果から、工業団地の周辺には住居目的の用途地域が多く分布しているため、有毒ガス漏えい事故が発生する場合、周辺地域の住民に影響を及ぼすと考えられる。また、有毒ガス漏えいが継続される事故が起きる場合、1 km圏内の地域はAEGLs-2の領域になるため、住民の避難行動が必要であると考えられる。従って第3章では工業団地周辺の地域住民を研究対象とし、漏えい事故時の避難に関する質問紙調査を行う。

## 第 2 章の参考文献

- Ahn, C.S (2014) A study on characteristics of turbulence models for numerical fire analysis in large space structure, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol.14, No.5, pp.219-227
- Brenda, E., Marcella, W., Paolo, B., Stefano, S., Jennifer, A., Paolo, M. (2018) The Seveso accident: A look at 40 years of health research and beyond, *Environment international* 121 pp.71–84
- Chouhan, T.R. (2005) The Unfolding of Bhopal Disaster, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 18 pp.205–208
- Hanna, S.R., Chang, J.C., Strimaitis, D.G. (1993) Hazardous gas model evaluation with field observations, *Atmospheric Environment*, 27A, pp.2265-2285
- U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB) (2005) Final report: Final investigation report (Honeywell chemical incidents), Report NO. 2003-13-I-LA
- U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB) (2007) Final report: Final investigation report (DPC Enterprises), Report NO. 2004-02-I-AZ
- United States Environmental Protection Agency (2009) Risk management program guidance for offsite consequence analysis, EPA-550-B-99-009
- Department of Energy (DOE) (2016) DOE Handbook: Temporary emergency exposure limits for chemicals: Methods and practice. DOE-HDBK-1046-2016
- di Domenico, A., Silano, V., Viviano, G., Zapponi, G. (1980) Accidental release of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) at Seveso, Italy: II. TCDD distribution in the soil surface layer, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 4 pp.298–320
- Finis, C., Scott, P., Michael, H. (2008) Development of emergency response planning guidelines (ERPGs), *Journal of Medical Toxicology*, Vol. 4, No.2, pp.127-131
- Fthenakis, V.M. (2001) A release of nitrogen oxides in Bogalusa, Louisiana and similarities of causation to the Bhopal MIC release, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 14 pp.245–250
- Jung, K.J., Park, H.W. (2016) Tracing interorganizational information networks during emergency response period: A webometric approach to the 2012 Gumi chemical spill in South Korea, *Government Information Quarterly*, 33 pp.133–141

- Ko, M.W., Oh, C.B., Han, Y.S., Do, K.H. (2015) Investigation of turbulent analysis methods for CFD of gas dispersion around a building, *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 29, No. 5, pp. 42-50
- Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA) (2013) 불화수소 누출사고 사례연구, 2013-중대산업-267, pp-1-33
- Korea Land and Housing Corporation (LH) (2014) 쉽게 업무에 적용할 수 있는 GIS 길라잡이, 한국토지주택공사
- Li, J., Zhang, B., Wang, Y., Liu, M. (2009) The unfolding of '12.23' Kaixian Blowout Accident in China, *Safety Science* 47 pp.1107–1117
- McGrattan, K., McDermott, R., Hostikka, S., Floyd, J., Vanella, M. (2018) Fire dynamics simulator technical reference guide volume 1: mathematical model, National Institute of Standards and Technology, pp.25-30
- Min, Y.K., Lee, D.K. (2014) A Study on the Desirable Plan to Manage Disaster Management System of Gumi Industrial Complex – Focused on the Disaster Medical System Improvement of the Initial Reaction to the Accidental Release of Hydrogen Fluoride in Gumi -, *Korean Review of Crisis & Emergency Management*, Vol.10, No.2 pp.1–21
- National Academies (2001) Standing operating procedures for developing acute exposure guideline levels (AEGs) for hazardous chemicals
- NTSB (National Transportation Safety Board) (1998) Hazardous materials factual report, DCA-96-MZ-001, Washington, D.C. 20594
- Salim, S. M., Buccolieri, R., Chan, A., Sabatino, S. D. (2011) Numerical Simulation of Atmospheric Pollutant Dispersion in an Urban Street Canyon: Comparison between RANS and LES”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 99, No. 2, pp. 103-113
- Sharan, M., Gopalakrishnan, S.G., McNider, R.T., Singh, M.P. (2000) A numerical investigation of urban influences on local meteorological conditions during the Bhopal gas accident, *Atmospheric Environment* 34 pp. 539–552
- U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (2005) “ July 20, 2003, Chlorine Release, HONEYWELL INTERNATIONAL, INC., BATON ROUGE, LOUISIANA”,
- Yoon, C.S. (2016) 화학물질의 비상시 (누출, 사고) 기준, Korean industrial health association, Deep information, pp.22-31



佐土原 聡, 吉田 聡, 川崎 昭如, 古屋 貴司 (2005) 図解 ArcGIS—身近な事例で学ぼう—, 古今書院

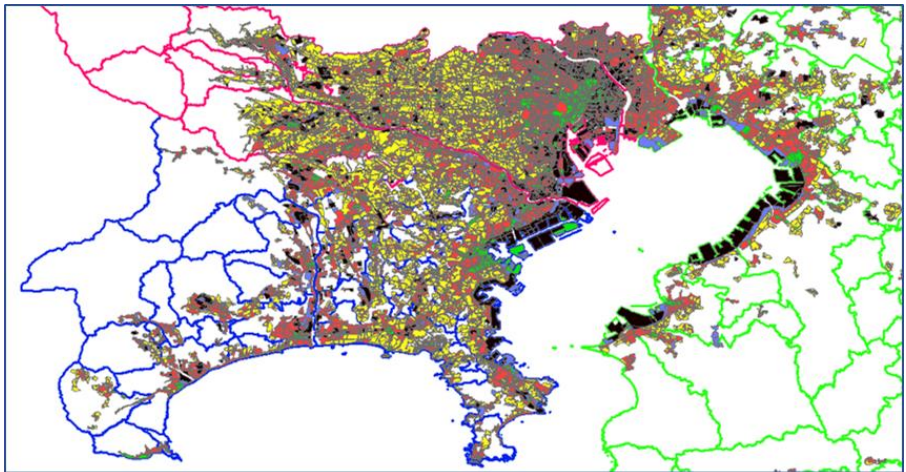
谷口 真一 (1996) ラージ・エディ・シミュレーション(LES) (その 1 LES モデルと数値計算法), ターボ機械, ターボ機械協会, Vol.24, No.6, pp.46-52

国土交通省 (2020) 都市計画制度の概要(土地利用計画制度)

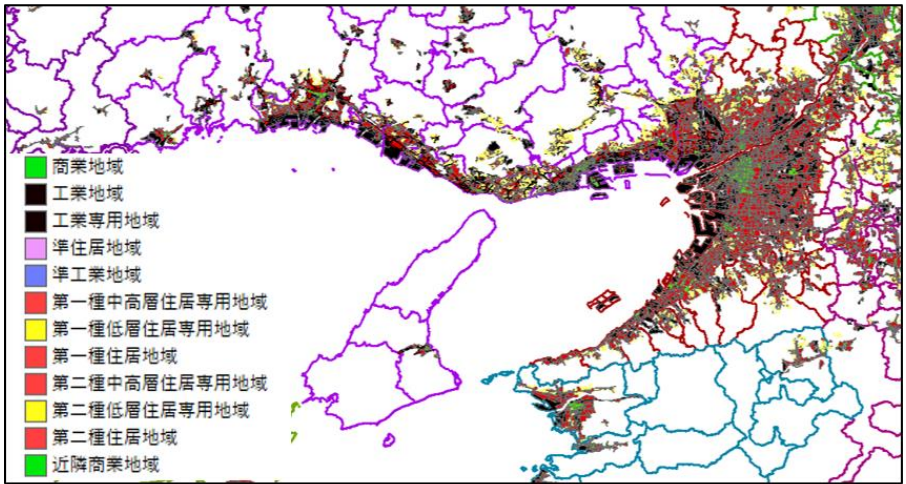
## 参照 URL

- 1) 国土地理院-情報地図情報基盤サイト : <https://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 2) E-stat-政府統計の総合窓口 : <https://www.e-stat.go.jp/gis>
- 3) 国土交通省—国土地理情報ダウンロードサービス : <https://nlftp.mlit.go.jp/>
- 4) EPA, Acute exposure guideline levels(HF) : <https://www.epa.gov/aegl/hydrogen-fluoride-results-aegl-program>
- 5) EPA, Acute exposure guideline levels(H<sub>2</sub>S) : <https://www.epa.gov/aegl/hydrogen-sulfide-results-aegl-program>
- 6) 厚生労働省—GHS 対応モデルラベル・モデル SDS 情報 : [https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen\\_pg/GHS\\_MSD\\_FND.aspx](https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pg/GHS_MSD_FND.aspx)
- 7) 厚生労働省—職場のあんぜんサイト(フッ化水素) : <https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen/gmsds/7664-39-3.html>
- 8) 厚生労働省—職場のあんぜんサイト(硫化水素) : <https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen/gmsds/0998.html>

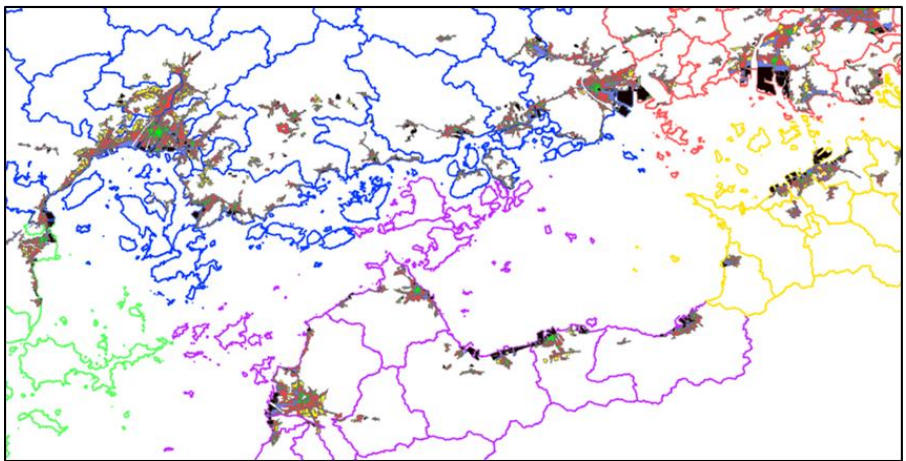




(a) Keihin industrial district

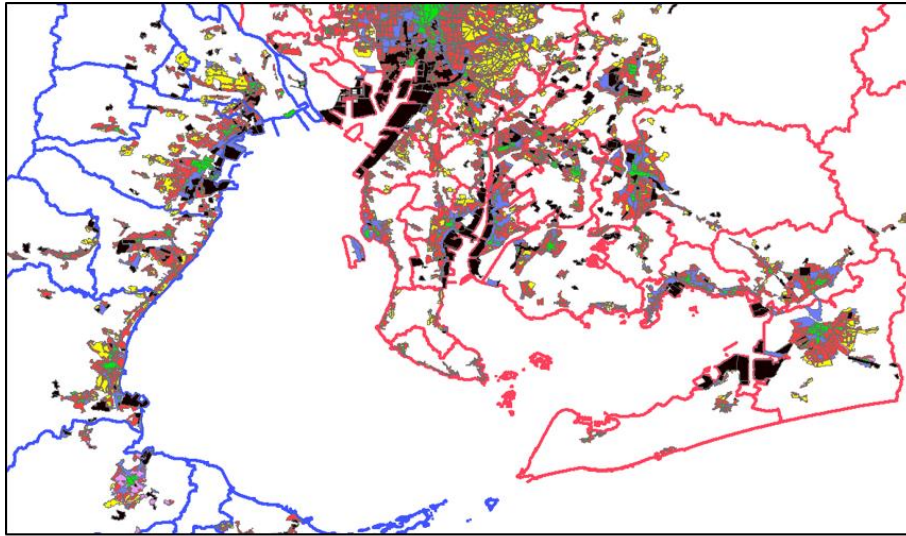


(b) Hanshin industrial district

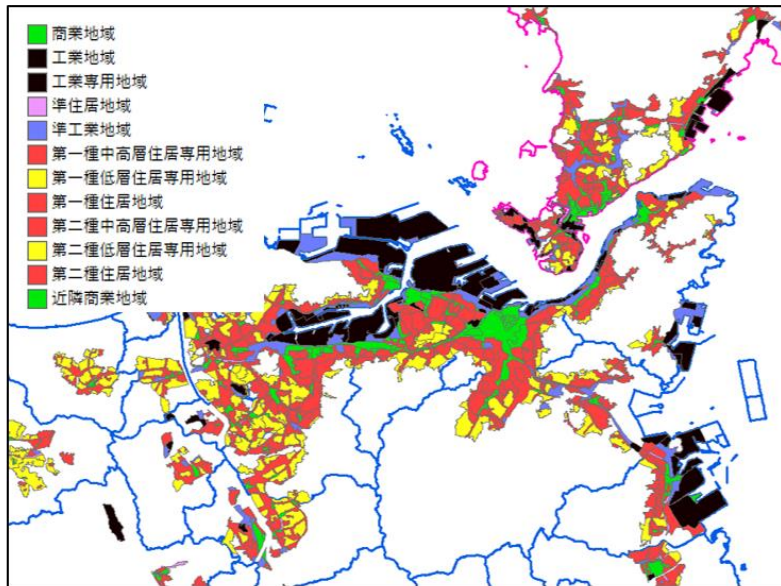


(c) Setouchi industrial district

**Fig. 2.1 Use district of industrial area (continue)**



(d) Chukyo industrial district



(e) Kitakyushu industrial district

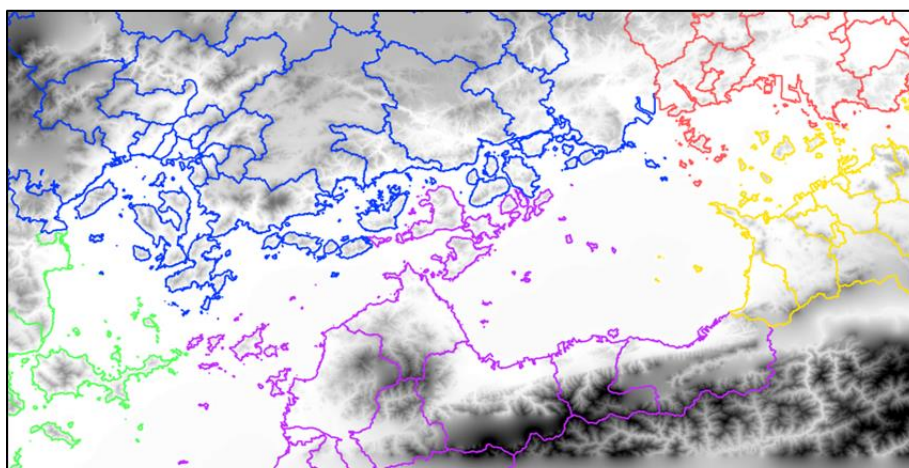
**Fig. 2.1 Use district of industrial area**



(a) Keihin industrial district

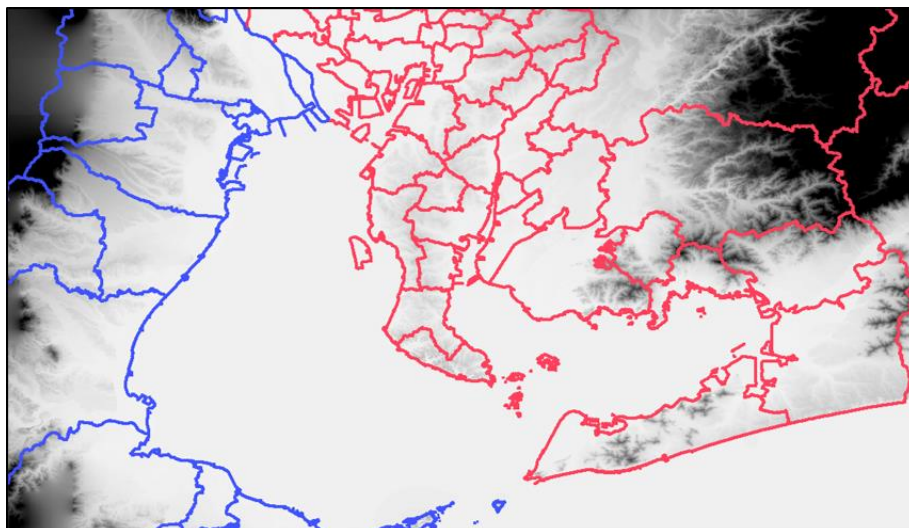


(b) Hanshin industrial district

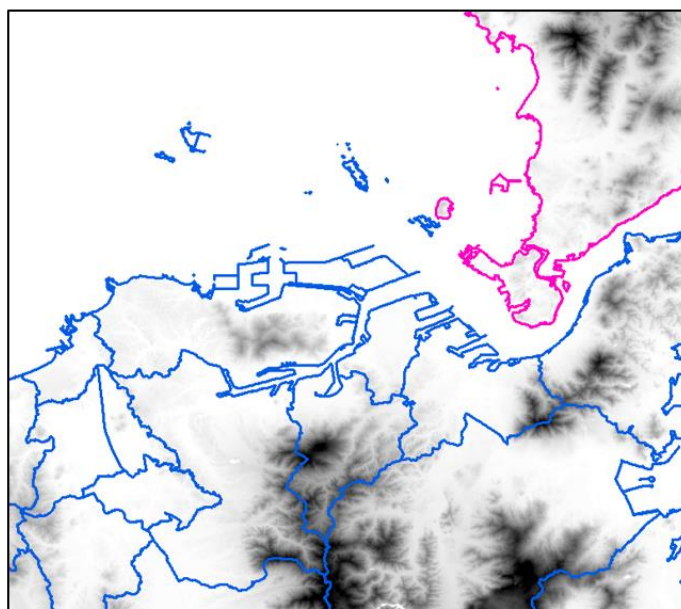


(c) Setouchi industrial district

**Fig. 2.2 Elevation of industrial area (continue)**

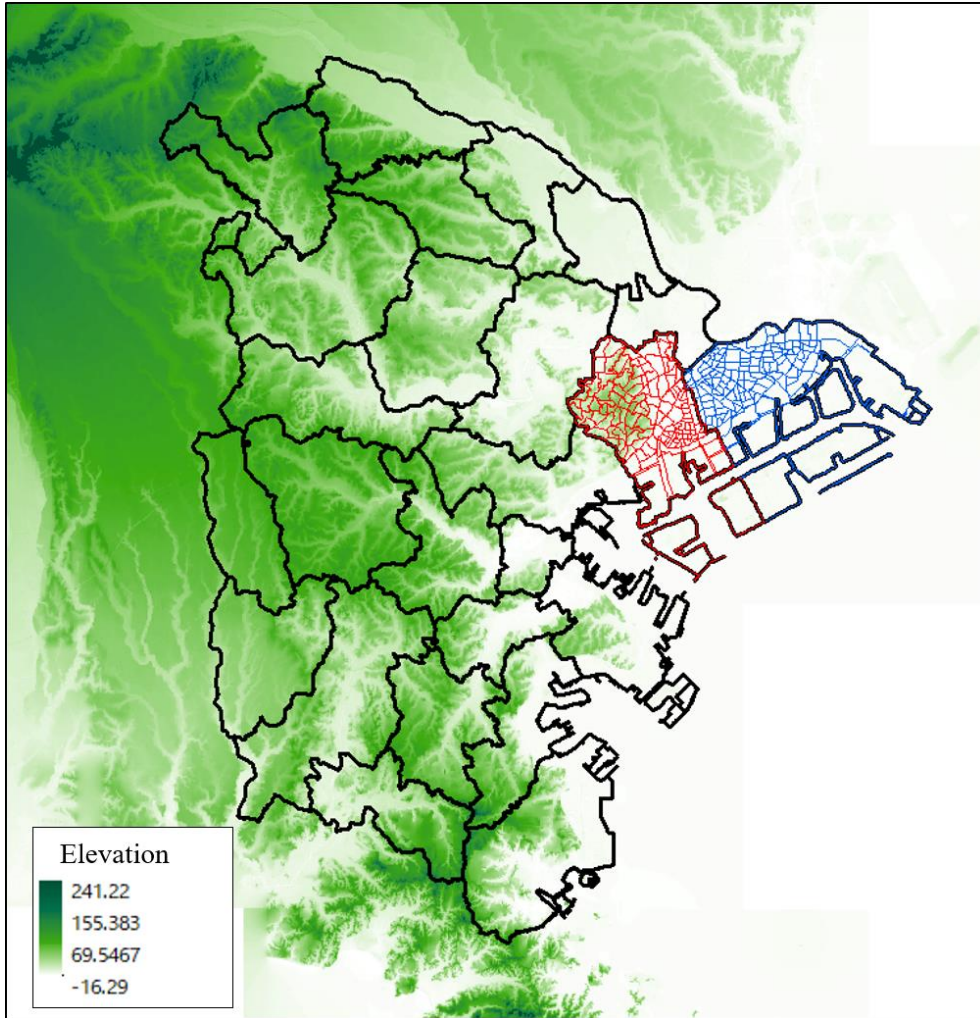


(d) Chukyo industrial district



(e) Kitakyushu industrial district

**Fig. 2.2 Elevation of industrial area**



**Fig. 2.3 Elevation of Kawasaki-ku and Tsurumi-ku**

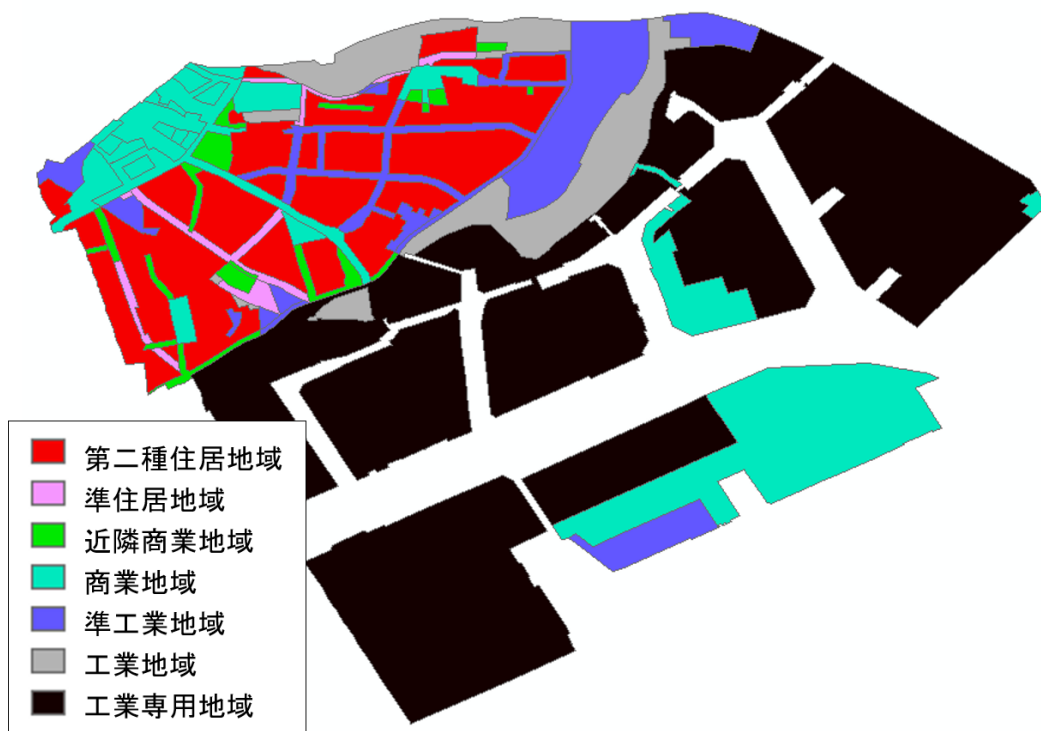
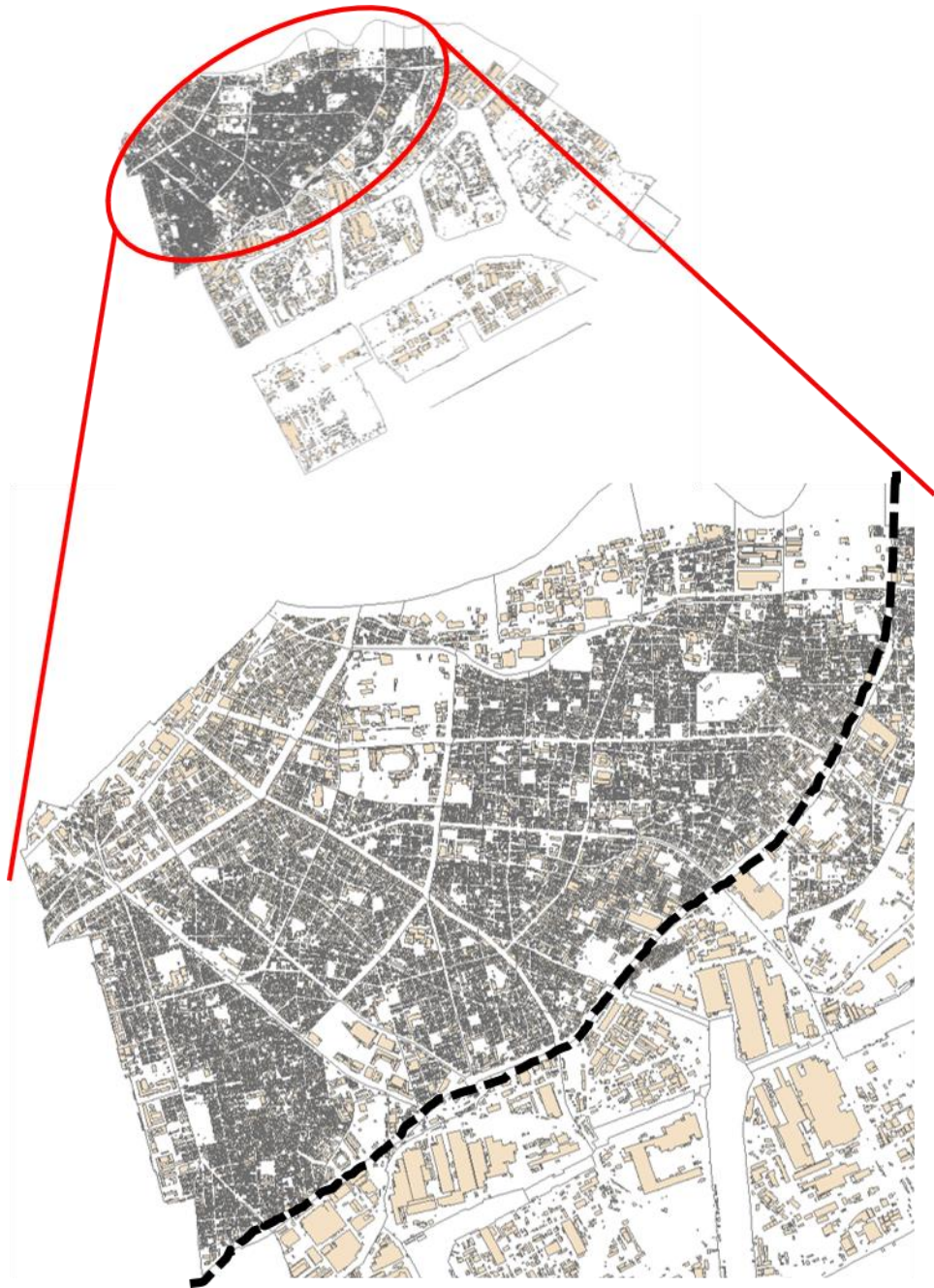


Fig. 2.4 Use district of Kawasaki-ku





**Fig. 2.5 Building layout in Kawasaki-ku**

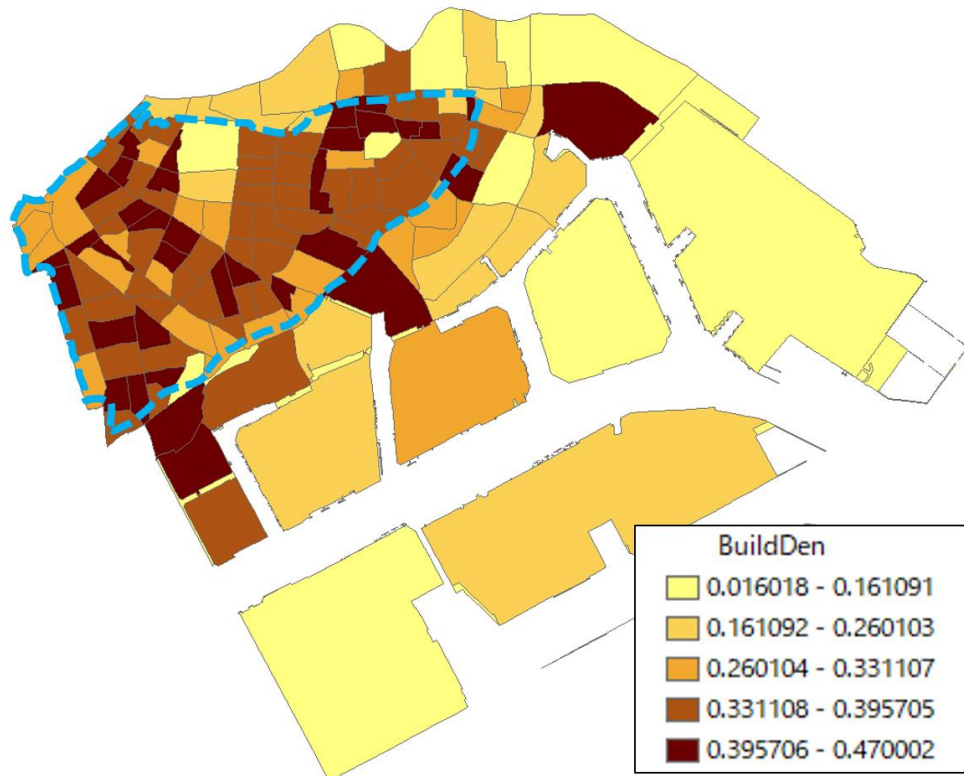


Fig. 2.6 Building density of Kawasaki-ku

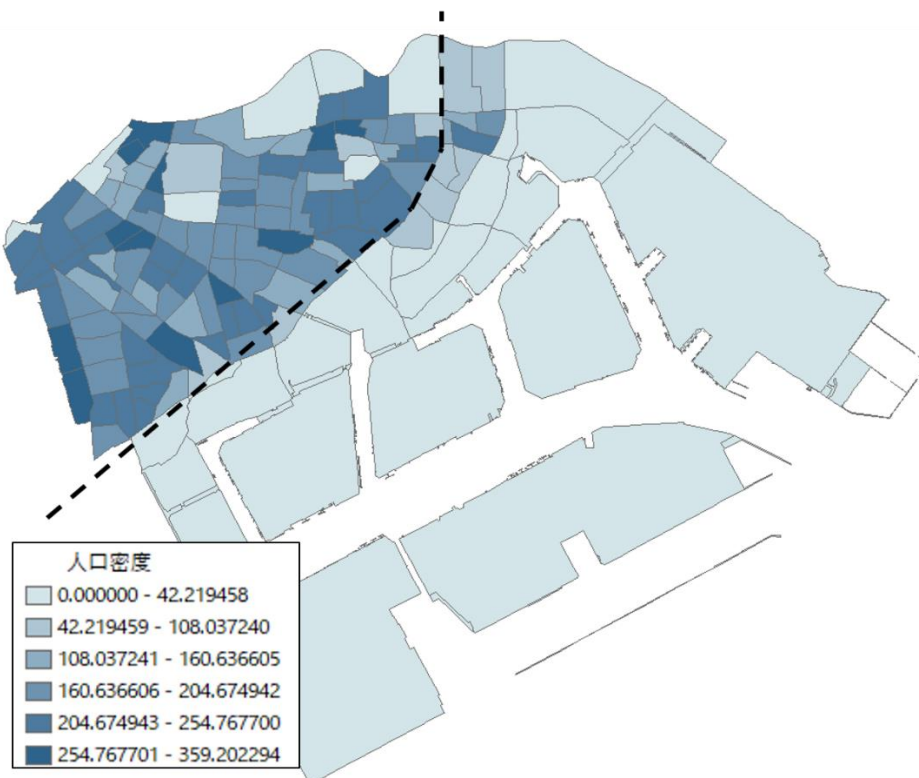
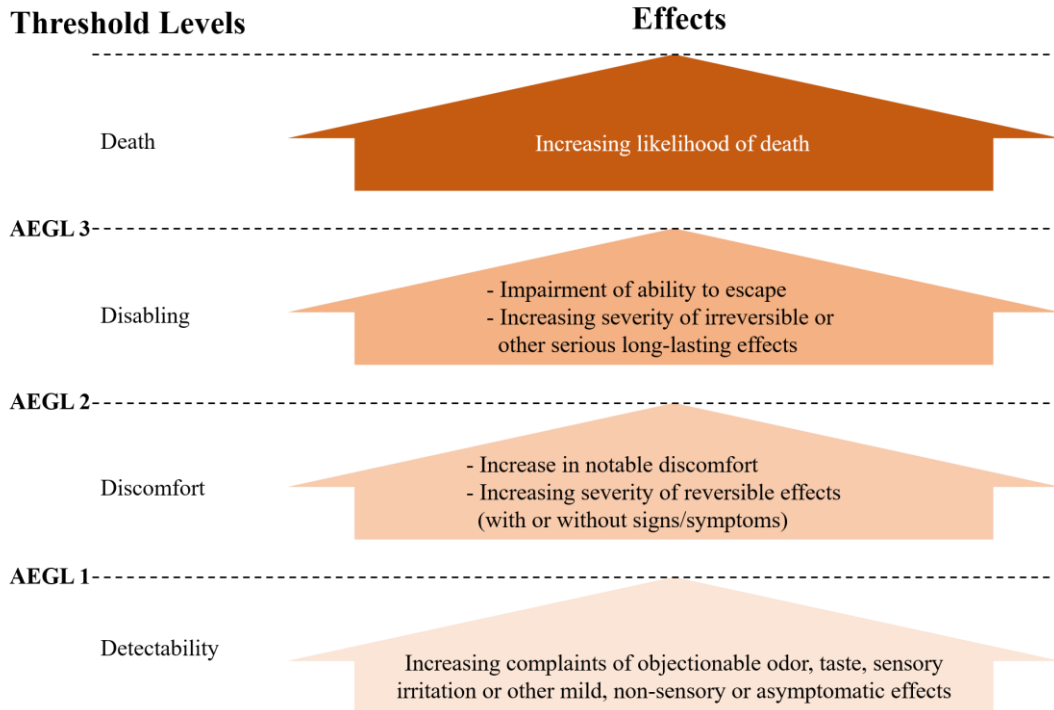
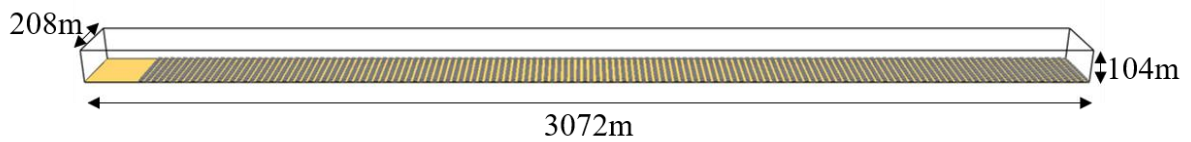


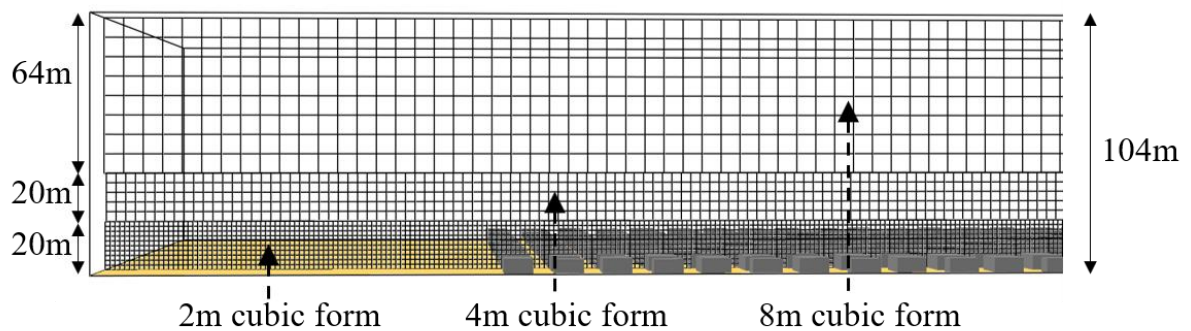
Fig. 2.7 Population density of Kawasaki-ku



**Fig. 2.8 Health effects according to AEGLs standard**



**Fig. 2.9 Numerical analysis domain**



**Fig. 2.10 Grid setting using multiple mesh**

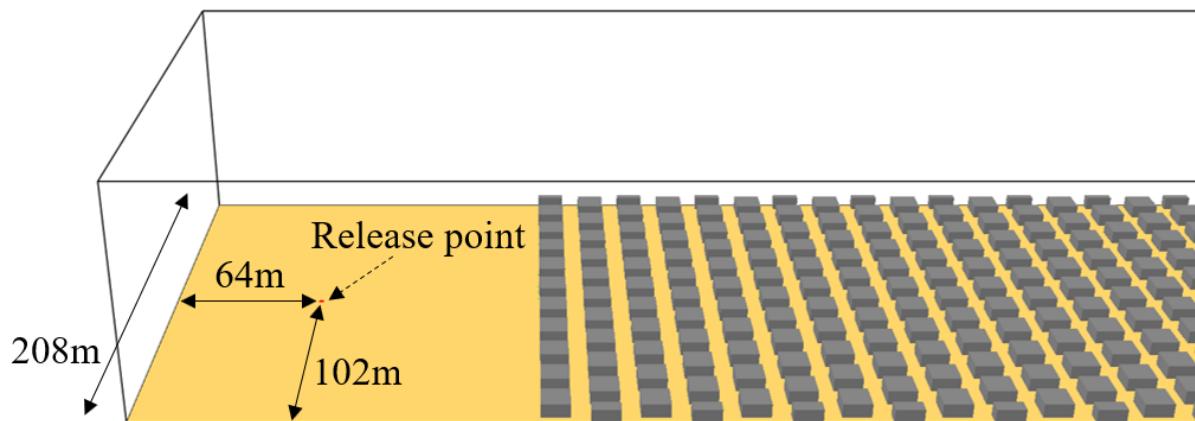


Fig. 2.11 Position of release point

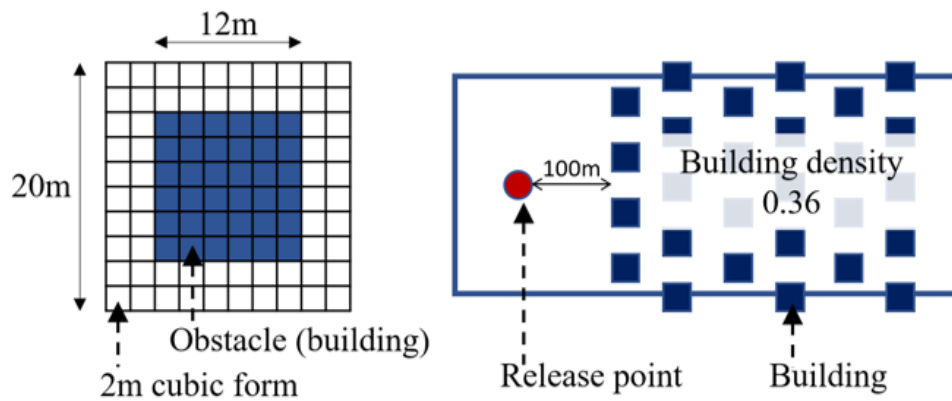


Fig. 2.12 OBST (building) setting

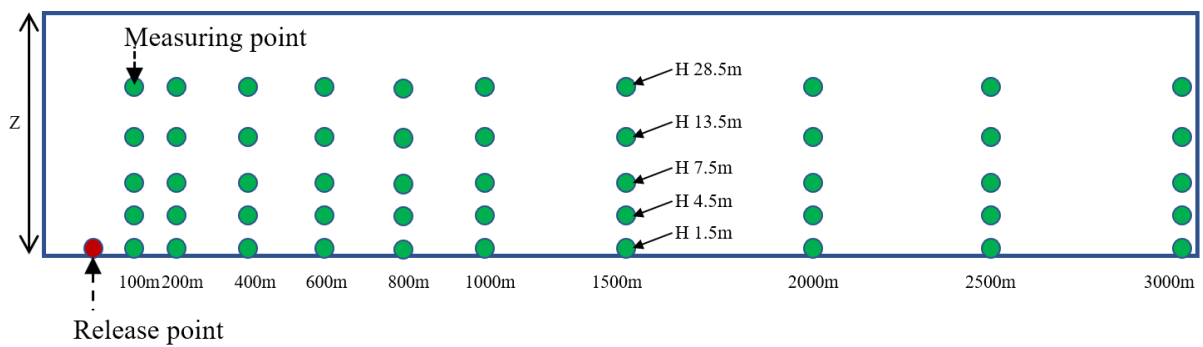


Fig. 2.13 Measuring point of toxic gas concentration

**Table 2.1 Cases of toxic gas release accident**

Case	Occurrence date	Substance	Amount of release	Release time	Influence range	Area of the evacuation	Number of evacuees	Casualties
1	7.10.1976	TCDD	15-30 kg		18km <sup>2</sup>	1.1km <sup>2</sup>	736	Injury: 200
2	12.3.1984	MIC	41 ton	1.5 hr.	13km <sup>2</sup>			Death: 2,500 Injury: >200,000
3	10.23.1995	Dinitrogen tetroxide		36 hr.			3,000	Hospitalization: 81 Checkup: 4710
4	7.20.2003	Chlorine	6.5 ton	3.5 hr.		800m <sup>2</sup>		Injury: 8 Hospitalization: 4
5	11.17.2003	Chlorine	1.6 ton	6 hr.		2.4km <sup>2</sup>	7,200	Injury: 16
6	12.23.2003	Hydrogen sulfide		18 hr.	5km <sup>2</sup>		65,000	Death: 242 Injury: 1242
7	9.27.2012	Hydrogen fluoride	8 ton	8 hr.	4km <sup>2</sup>	3km <sup>2</sup>		Death: 5 Injury: 12 Checkup: 12,243

**Table 2.2 Comparison of AEGLs, ERPGs, and TEELs (adapted from Alberta Health, 2017;****Yoon, C.S., 2016)**

	AEGLs	ERPGs	TEELs
Publishing agency	USEPA/NAS	AIHA	DOE
Published values	131	145	>3000
Exposure Duration	10, 30, 60min, 4, 8hr	60 min	15, 60 min
Target population	General population including susceptible individuals	Nearly all individuals	General population including susceptible individuals
Airborne Concentration	Above	Below	Above
Health Effects	Could	Without	Could

**Table 2.3 Acute exposure guideline levels of hydrogen fluoride and hydrogen sulfide**  
(adapted from 参照 7, 8)

		10 min	30 min	60 min	4 hr	8 hr
HF	AEGL 1	1	1	1	1	1
	AEGL 2	95	34	24	12	12
	AEGL 3	170	62	44	22	22
H <sub>2</sub> S	AEGL 1	0.75	0.60	0.51	0.36	0.33
	AEGL 2	41	32	27	20	17
	AEGL 3	76	59	50	37	31

**Table 2.4 Simulation conditions for each case**

Toxic gas	Amount of Release	Wind speed (m/s)	Building height (m)	Floor level	Case No.
Hydrogen fluoride	1 ton (0.278 kg/s)	3.57 (Average wind speed)	6	2	1
			12	4	2
	10 ton (2.778 kg/s)	3.57 (Average wind speed)	6	2	3
			12	4	4
	20 ton (5.556 kg/s)	3.57 (Average wind speed)	6	2	5
			12	4	6
Hydrogen sulfide	1 ton (0.278 kg/s)	1.5	6	2	7
			12	4	8
		3.57 (Average wind speed)	6	2	9
			12	4	10
	10 ton (2.778 kg/s)	1.5	6	2	11
			12	4	12
		3.57 (Average wind speed)	6	2	13
			12	4	14
	20 ton (5.556 kg/s)	1.5	6	2	15
			12	4	16
		3.57 (Average wind speed)	6	2	17
			12	4	18

**Table 2.5 Result of time to reach 1ppm from release hydrogen fluoride (average wind speed)**

(sec)

HF	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	28	50	94	151	200	242	357	453	552	657
	4.5	26	48	92	149	197	240	352	451	550	653
	7.5	26	48	92	149	194	237	350	449	530	650
	13.5	30	46	92	140	190	235	334	439	526	639
	28.5			92	138	176	228	326	415	521	619
1ton 4F	1.5	26	58	100	144	178	225	331	432	544	652
	4.5	24	46	94	141	177	218	327	427	542	652
	7.5	24	45	93	137	175	216	326	424	525	629
	13.5	22	39	82	129	165	216	314	420	514	636
	28.5			76	112	149	196	292	388	489	586
10ton 2F	1.5	26	48	94	146	183	223	302	391	471	568
	4.5	26	46	91	142	183	216	281	394	468	561
	7.5	26	46	91	142	168	216	293	394	466	561
	13.5	27	46	91	136	168	213	278	379	454	557
	28.5			91	127	158	190	281	367	454	545
10ton 4F	1.5	24	48	82	132	156	197	286	384	477	566
	4.5	22	43	79	129	151	195	285	382	477	564
	7.5	22	41	72	127	151	194	285	377	477	562
	13.5	21	36	70	117	151	192	281	372	466	542
	28.5		36	69	103	136	170	257	355	439	530
20ton 2F	1.5	26	48	91	142	187	201	292	357	444	543
	4.5	24	46	89	139	185	201	288	351	441	523
	7.5	24	46	88	137	182	201	286	351	441	523
	13.5	26	45	89	136	163	199	286	350	435	511
	28.5		52	89	127	158	190	266	338	422	506
20ton 4F	1.5	22	46	79	125	153	195	290	374	468	543
	4.5	21	41	74	124	151	194	288	372	466	540
	7.5	21	39	72	122	151	190	286	367	466	538
	13.5	21	34	70	120	147	178	274	364	458	537
	28.5		36	69	103	136	172	259	343	434	507
Mean		24	45	85	132	167	206	298	389	481	573

**Table 2.6 Result of average concentration distribution of hydrogen fluoride (average wind speed)**  
(ppm)

HF	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	634.0	259.7	133.3	61.4	41.9	28.7	15.7	10.5	7.4	5.6
	4.5	1478.8	312.5	141.0	64.3	42.3	29.1	15.8	10.5	7.5	5.6
	7.5	1362.6	357.9	144.4	66.1	42.4	29.3	16.0	10.4	7.5	5.6
	13.5	1.6	451.5	125.1	67.0	41.6	29.0	15.6	10.2	7.4	5.5
	28.5			17.3	29.9	22.9	18.6	12.2	8.4	6.3	4.8
1ton 4F	1.5	593.9	220.6	81.4	49.8	35.8	25.5	13.1	9.4	6.9	5.6
	4.5	889.4	231.6	83.3	50.6	35.9	25.5	13.3	9.5	6.9	5.5
	7.5	1056.2	239.2	84.7	51.2	36.0	25.5	13.4	9.5	6.9	5.5
	13.5	212.7	292.0	87.7	52.4	35.6	25.2	13.7	9.5	7.0	5.5
	28.5			51.2	35.5	22.3	17.6	11.6	8.5	6.4	5.0
10ton 2F	1.5	1756.8	1070.1	835.4	450.9	349.6	257.5	146.3	104.5	76.5	57.5
	4.5	5366.2	1311.2	918.4	483.0	357.2	260.0	147.7	104.8	76.6	57.7
	7.5	8340.4	1511.1	978.5	509.3	361.5	262.4	150.1	104.9	76.8	57.7
	13.5	3058.9	2728.1	1107.7	600.6	382.2	268.3	149.6	103.3	75.3	57.2
	28.5			393.2	435.5	272.9	209.9	130.0	90.0	65.7	50.8
10ton 4F	1.5	2649.9	603.2	397.6	334.4	280.1	222.2	135.7	103.2	76.0	61.0
	4.5	4428.6	732.2	426.5	348.8	285.0	225.8	137.6	103.6	76.4	61.2
	7.5	5802.4	825.0	447.5	359.0	289.1	228.5	139.5	103.7	76.9	61.2
	13.5	7179.1	1286.6	545.1	403.9	305.8	237.6	147.8	104.4	78.6	60.7
	28.5		980.4	853.0	435.9	296.4	221.5	138.1	98.3	72.7	56.8
20ton 2F	1.5	1961.0	1015.1	676.6	591.9	556.5	434.2	278.5	201.3	150.7	115.3
	4.5	4950.5	1221.9	722.8	637.2	565.8	441.0	282.9	201.2	150.9	115.1
	7.5	7374.8	1418.7	792.4	666.2	576.9	446.2	287.3	201.5	151.1	115.0
	13.5	16878.9	3354.9	1237.1	837.4	628.9	466.8	290.9	201.2	148.8	113.4
	28.5		257.3	1931.8	963.7	562.2	421.8	260.3	177.7	129.3	100.7
20ton 4F	1.5	2961.0	420.9	647.7	622.0	540.2	428.6	268.6	204.0	151.7	121.2
	4.5	4749.6	536.5	695.9	649.1	552.2	435.0	272.6	205.3	152.5	121.4
	7.5	6343.8	612.8	737.9	668.4	562.4	439.8	276.2	205.9	153.2	121.5
	13.5	14034.9	1201.5	955.1	759.8	597.3	458.6	293.1	208.5	156.0	121.4
	28.5		2680.2	1631.4	876.0	590.4	452.7	281.9	195.7	144.0	112.2



**Table 2.7 Result of risk of following AEGLs of hydrogen fluoride (average wind speed)**

(ppm)

HF	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5					AEGL-2	AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	4.5					AEGL-2	AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	7.5					AEGL-2	AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	13.5	AEGL-1				AEGL-2	AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	28.5	AEGL-3	AEGL-3	AEGL-1	AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
1ton 4F	1.5					AEGL-2	AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	4.5					AEGL-2	AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	7.5					AEGL-2	AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	13.5					AEGL-2	AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	28.5	AEGL-3	AEGL-3	AEGL-3	AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
10ton 2F	1.5										
	4.5										
	7.5										
	13.5										
	28.5	AEGL-3	AEGL-3								
10ton 4F	1.5										
	4.5										
	7.5										
	13.5										
	28.5	AEGL-3									
20ton 2F	1.5										
	4.5										
	7.5										
	13.5										
	28.5	AEGL-3									
20ton 4F	1.5										
	4.5										
	7.5										
	13.5										
	28.5	AEGL-3									

AEGL-3    AEGL-2    AEGL-1

**Table 2.8 Result of time to reach 1ppm from release hydrogen sulfide (wind speed 1.5m/s)**

(sec)

H <sub>2</sub> S	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	60	110	211	360	447	549	821	1116	1348	1538
	4.5	57	106	202	316	447	544	811	1092	1312	1527
	7.5	57	106	201	314	427	542	809	1089	1308	1526
	13.5	64	103	201	312	427	537	811	1030	1245	1517
	28.5	-	-	206	309	422	508	734	1030	1234	1481
1ton 4F	1.5	55	122	215	341	413	520	720	971	1221	1474
	4.5	51	105	201	316	401	514	717	971	1211	1471
	7.5	50	96	197	312	398	511	715	971	1209	1457
	13.5	47	84	175	288	396	509	708	927	1135	1428
	28.5		134	167	264	346	444	689	904	1137	1365
10ton 2F	1.5	58	108	209	346	434	544	749	955	1178	1390
	4.5	55	105	202	314	427	538	754	950	1166	1389
	7.5	55	105	201	314	425	527	754	948	1142	1387
	13.5	60	101	199	314	417	518	731	943	1111	1372
	28.5	-	-	233	302	398	504	718	912	1101	1296
10ton 4F	1.5	51	106	201	281	388	482	664	910	1113	1325
	4.5	50	98	185	278	382	460	662	904	1106	1329
	7.5	47	91	177	278	381	455	660	904	1102	1323
	13.5	45	81	165	269	346	444	629	859	1085	1318
	28.5	-	84	161	262	326	420	624	838	1063	1233
20ton 2F	1.5	57	108	209	345	447	549	744	960	1138	1308
	4.5	55	105	202	324	430	545	742	960	1140	1303
	7.5	55	105	201	321	424	494	741	958	1140	1287
	13.5	58	101	201	312	407	492	734	940	1108	1293
	28.5	-	-	202	297	396	470	670	885	1091	1265
20ton 4F	1.5	50	105	196	281	389	460	674	881	1096	1308
	4.5	48	96	184	278	388	453	670	878	1087	1301
	7.5	47	89	182	276	388	442	669	876	1083	1296
	13.5	43	79	163	271	388	439	664	861	1054	1277
	28.5	-	82	160	235	319	405	617	825	1001	1219
Mean		53	101	194	301	401	494	714	942	1149	1367

**Table 2.9 Result of time to reach 1ppm from release hydrogen sulfide (average wind speed)**

(sec)

H <sub>2</sub> S	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	27	50	96	151	201	261	369	499	600	708
	4.5	26	48	93	149	199	255	353	489	597	713
	7.5	26	48	93	147	199	254	348	489	595	718
	13.5	29	46	93	147	189	235	333	478	576	687
	28.5	-	-	105	137	187	228	331	454	566	677
1ton 4F	1.5	27	60	103	151	183	231	346	454	578	689
	4.5	26	48	98	144	178	228	345	451	569	684
	7.5	24	46	98	142	177	228	343	451	569	682
	13.5	22	39	82	137	175	214	331	441	555	681
	28.5	-	-	77	117	161	197	305	423	538	650
10ton 2F	1.5	27	50	94	149	190	240	350	439	531	595
	4.5	26	48	93	147	189	238	346	422	528	593
	7.5	26	48	93	146	187	235	345	420	525	593
	13.5	27	46	91	144	185	230	317	417	513	593
	28.5	-	-	91	134	175	216	303	413	499	581
10ton 4F	1.5	24	53	99	142	168	218	317	410	497	579
	4.5	24	46	91	132	166	209	317	401	495	578
	7.5	22	43	91	129	165	209	312	398	495	576
	13.5	21	38	81	118	163	192	298	394	468	564
	28.5	-	-	74	111	149	192	283	369	444	540
20ton 2F	1.5	27	48	94	147	189	243	339	434	513	629
	4.5	26	48	93	144	190	242	338	432	518	627
	7.5	26	48	91	142	190	238	331	432	513	614
	13.5	27	46	91	141	187	230	329	413	495	603
	28.5	-	-	91	132	173	209	309	408	485	586
20ton 4F	1.5	24	51	94	137	170	219	302	398	482	576
	4.5	22	45	89	132	168	201	298	396	477	573
	7.5	22	43	89	130	168	199	297	396	477	564
	13.5	21	38	72	118	165	195	293	384	473	564
	28.5	-	-	74	111	149	185	279	370	444	537
Mean		25	47	90	137	178	222	324	426	521	619

**Table 2.10 Result of average concentration distribution of hydrogen sulfide (wind speed 1.5m/s)**  
(ppm)

H <sub>2</sub> S	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	1320.2	469.2	176.7	80.2	49.3	31.7	16.0	10.0	6.9	5.0
	4.5	1424.9	507.3	175.7	80.3	48.9	31.7	16.0	10.0	6.9	5.0
	7.5	862.1	529.0	172.5	80.0	47.7	31.5	16.0	10.0	6.9	5.0
	13.5	1.2	373.6	117.3	66.7	41.2	29.0	15.6	9.7	6.7	5.0
	28.5	-	-	8.4	15.2	15.1	14.5	11.5	8.1	5.9	4.3
1ton 4F	1.5	1187.3	303.8	107.2	63.0	44.9	32.2	17.2	11.2	7.7	5.7
	4.5	1466.4	314.0	108.5	63.8	45.2	32.3	17.3	11.2	7.7	5.7
	7.5	1339.0	323.3	109.5	64.5	45.5	32.4	17.3	11.3	7.6	5.6
	13.5	64.5	364.3	111.0	66.8	45.7	32.6	17.5	11.2	7.4	5.6
	28.5	-	1.6	44.7	45.5	30.5	23.4	14.7	9.8	6.4	4.9
10ton 2F	1.5	7685.4	3108.7	1232.7	594.8	374.7	257.1	132.2	82.9	57.9	41.5
	4.5	4995.7	2962.0	1296.0	601.6	371.6	256.3	133.1	83.1	57.7	41.5
	7.5	2487.4	2804.3	1287.9	595.5	364.0	252.5	133.0	83.3	57.3	41.5
	13.5	3.5	343.6	818.8	474.2	309.8	225.9	128.2	81.9	56.1	41.0
	28.5	-	-	10.9	74.5	102.1	113.4	89.1	65.3	47.2	33.9
10ton 4F	1.5	7271.1	2184.1	762.7	531.6	406.9	302.2	165.4	105.1	72.2	52.8
	4.5	6384.3	2211.3	768.3	538.0	407.7	301.2	164.9	105.1	72.0	53.0
	7.5	3848.9	2220.1	774.4	544.1	408.0	300.8	163.9	105.2	71.8	52.8
	13.5	34.6	2203.7	806.9	568.5	400.8	294.4	159.3	103.2	70.9	52.6
	28.5	-	72.6	318.1	306.5	225.3	184.5	123.0	85.4	60.5	46.6
20ton 2F	1.5	11543.3	5539.7	2578.3	1312.2	765.4	499.5	249.0	151.7	98.2	71.0
	4.5	8138.5	5498.4	2517.8	1300.7	751.8	491.3	248.0	151.8	98.5	71.4
	7.5	4167.3	5424.6	2419.4	1270.8	730.4	472.2	247.3	151.5	98.6	71.1
	13.5	5.8	2043.6	1422.0	900.9	564.0	402.8	233.8	147.3	97.2	70.5
	28.5	-	-	28.0	100.1	112.9	150.0	151.1	115.0	84.3	60.9
20ton 4F	1.5	8491.9	3521.0	1412.0	993.9	749.9	552.6	303.2	188.1	129.1	92.8
	4.5	8594.7	3575.8	1409.2	1003.4	749.4	551.4	301.4	188.0	128.5	92.6
	7.5	5818.7	3594.7	1410.7	1009.2	747.3	548.4	299.5	187.4	127.9	92.2
	13.5	65.8	3483.3	1409.6	1022.6	725.5	534.5	293.2	183.2	124.7	90.7
	28.5	-	104.8	570.8	514.9	383.2	312.0	209.8	145.3	104.5	79.0

**Table 2.11 Result of average concentration distribution of hydrogen sulfide (average wind speed)**  
(ppm)

H <sub>2</sub> S	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	401.4	209.2	77.7	37.4	24.6	16.9	9.0	6.2	4.5	3.4
	4.5	795.4	239.6	80.7	38.3	24.7	17.1	9.1	6.2	4.5	3.4
	7.5	642.1	266.2	81.6	38.6	24.6	17.1	9.2	6.2	4.5	3.4
	13.5	0.6	213.5	67.8	36.7	23.1	16.3	9.0	6.1	4.4	3.4
	28.5			7.7	15.7	12.2	10.7	7.2	5.1	3.8	3.0
1ton 4F	1.5	369.5	140.1	50.1	29.7	21.0	15.1	7.7	5.5	4.0	3.2
	4.5	550.8	143.0	50.9	30.1	21.1	15.1	7.8	5.5	4.0	3.2
	7.5	624.6	145.8	51.4	30.4	21.1	15.0	7.9	5.5	4.0	3.2
	13.5	77.2	165.9	51.9	31.2	20.7	14.5	8.0	5.5	4.1	3.2
	28.5			24.4	19.1	12.5	9.7	6.6	4.9	3.7	2.9
10ton 2F	1.5	5413.8	2341.8	759.0	341.9	215.6	147.6	78.1	54.3	39.9	30.6
	4.5	6344.8	2446.9	773.7	345.3	212.7	146.9	79.0	54.0	40.0	30.6
	7.5	4017.9	2522.0	771.3	342.8	208.7	145.6	79.5	53.9	40.1	30.6
	13.5	5.1	915.8	545.4	292.8	181.0	134.4	76.6	52.7	39.4	30.2
	28.5			28.7	69.7	78.6	77.6	60.0	44.7	33.9	26.7
10ton 4F	1.5	3958.7	1372.6	487.8	286.8	202.3	146.0	76.0	54.8	38.8	31.0
	4.5	5650.5	1413.0	497.9	290.0	202.7	146.0	76.8	54.8	39.0	31.0
	7.5	5736.0	1434.8	503.2	291.6	202.3	145.9	77.4	54.7	39.2	31.0
	13.5	384.3	1538.1	502.1	293.3	197.9	142.1	79.3	54.4	39.6	30.7
	28.5			195.9	173.8	119.9	97.7	66.2	47.8	35.9	28.2
20ton 2F	1.5	11951. 3	4155.3	1346.0	626.2	401.5	277.9	150.2	104.5	76.0	59.2
	4.5	10174. 2	4183.3	1371.6	635.6	398.7	277.9	151.3	104.3	76.4	59.3
	7.5	5388.9	4143.5	1355.0	631.8	393.3	275.0	151.6	104.1	76.5	59.0
	13.5	7.4	633.0	862.4	522.7	346.9	254.7	147.4	101.2	74.9	58.1
	28.5			9.5	107.4	139.6	141.9	114.8	86.3	65.5	51.5
20ton 4F	1.5	8487.7	2836.4	912.2	553.4	394.9	288.9	153.1	109.0	79.0	63.1
	4.5	11130. 1	2881.0	923.9	561.3	396.2	288.1	154.4	109.2	79.3	63.0
	7.5	10125. 2	2897.4	933.8	566.5	396.9	287.9	155.4	109.2	79.6	62.9
	13.5	370.9	3038.9	956.7	577.4	392.3	283.0	159.1	108.6	80.8	62.4
	28.5			452.2	340.5	246.1	196.3	132.8	96.7	73.4	56.6

**Table 2.12 Result of risk of following AEGLs of hydrogen sulfide (wind speed 1.5m/s)**

(AEGLs)

H <sub>2</sub> S	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5										
	4.5										
	7.5										
	13.5										
	28.5										
1ton 4F	1.5										
	4.5										
	7.5										
	13.5										
	28.5										
10ton 2F	1.5										
	4.5										
	7.5										
	13.5										
	28.5										
10ton 4F	1.5										
	4.5										
	7.5										
	13.5										
	28.5										
20ton 2F	1.5										
	4.5										
	7.5										
	13.5										
	28.5										
20ton 4F	1.5										
	4.5										
	7.5										
	13.5										
	28.5										

AEGL-3 AEGL-2 AEGL-1

**Table 2.13 Result of risk of following AEGLs of hydrogen sulfide (average wind speed)**

(ppm)

H <sub>2</sub> S	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5				AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	4.5				AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	7.5				AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	13.5	AEGL-1			AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	28.5			AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
1ton 4F	1.5				AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	4.5				AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	7.5				AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	13.5				AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
	28.5			AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1	AEGL-1
10ton 2F	1.5									AEGL-2	AEGL-1
	4.5									AEGL-2	AEGL-1
	7.5									AEGL-2	AEGL-1
	13.5	AEGL-1								AEGL-2	AEGL-1
	28.5			AEGL-2					AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1
10ton 4F	1.5									AEGL-2	AEGL-1
	4.5									AEGL-2	AEGL-1
	7.5									AEGL-2	AEGL-1
	13.5									AEGL-2	AEGL-1
	28.5								AEGL-2	AEGL-1	AEGL-1
20ton 2F	1.5										
	4.5										
	7.5										
	13.5	AEGL-1									
	28.5			AEGL-1							
20ton 4F	1.5										
	4.5										
	7.5										
	13.5										
	28.5										

AEGL-3   AEGL-2   AEGL-1





**第3章 工業団地周辺の地域住民を対象にした漏えい事故時の避難に関する  
質問紙調査**



### 3. はじめに

本章の研究目的は工業団地周辺で住居している住民の有毒ガス漏えい事故発生時の避難行動に関する基礎的な知見を得ることである。1章で述べた通りに有毒ガス漏えい時の住民避難や避難意思に関する研究はほぼ行われていないため、実際に工業団地周辺の住民を対象に質問紙調査を行い、統計分析をおこなった。特に事故発生時の避難意思やそれに影響する要因の把握、また避難開始まで必要な時間、避難時の移動手手段などを把握した。

本質問紙調査の先に大学生を対象に基礎的な調査を行い、さらに構成した質問項目で床・天井効果などの統計分析に影響を与える項目はないか検討するために日・韓の若年層を対象に予備調査を行った。本調査では2章の結果から有毒ガス漏えい事故時に危険と判断された工業団地1km圏内の川崎市川崎区住民を対象にした。

#### 3.1 採用した分析方法及びソフトウェア

本研究では統計分析のために IBM SPSS Statistics ver.25 を活用し、主に活用した分析は母平均差分析(t-test)、一元配置分散分析(One-way ANOVA)、因子分析、相関分析、重回帰分析、階層的重回帰分析である。別度の言及のない限り本研究での平均は算術平均であり、各分析に関する概要は下記の通りである。

- 母平均差検定(t-test)

統計分析の標本が二つの場合に活用でき、平均差の有無に対して分析できる方法である。対応のある標本と独立した標本で区分される。対応のある標本の場合は事前・事後を比較してその効果を評価することに活用され、独立した標本の場合は関連性のない両標本を分析する際に活用される。本研究では独立した標本の母平均差検定を採用した。

- 分散分析(ANOVA)

統計分析の標本が三つ以上の場合に水準間の平均差について F 分布を用いて分析できる方法である。分析する要因の数によって一元・二元・多元配置に区分されるが、本研究では一元配置分散分析(One-way ANOVA)を採用して分析を行った。また、その後の検定としては LSD 法(Least significant difference method)を用いて水準間の有意差を確認した。

- 因子分析及び相関分析

因子分析は多変数の観測データから共分散や相関関係などを用いて変数間の関係を分析し、相関がある変数らから共通因子と呼ばれる潜在変数を抽出できる方法である。構築された理論を確認する確認的因子分析と新たな理論を作る探索的因子分析で区分されるが、作られている有毒ガス漏えい事故時の避難意思に関する因子構造はまだ提案されていないため、本研究では探索的因子分析を採用した。相関分析は構成された変数の間での関連性を分析する方法であり、正方または負方の線形関係の程度を把握することに活用される。本研究では一般的に用いられるピアソンの相関分析を採用した。

- 重回帰分析・階層的重回帰分析

独立変数が連続尺度の目的変数に与える影響力を確認できる分析方法であり、独立変数の数によって単回帰・重回帰分析で区分できる。本研究では上記の因子分析から抽出された因子を独立変数として活用するため、重回帰分析を活用して分析を行った。調査された回答者の属性データの場合は連続尺度ではないため、各変数をダミー変数に変換して回帰分析の独立変数として活用した。また、回答者属性変数を制御変数とした避難意思への影響を分析するために階層的重回帰分析も用いた。

### 3.2 人の行動に関する理論

人の行動を予測、または説明するための研究は心理学や社会科学分野で既往から多く行われて来た。Fishbein and Ajzen (1973)は合理的行動理論(Theory of reasoned action: TRA)を提案した。この理論の場合、人はある特定行動がどのような結果になるかを合理的に考え、それに従った決定をすると報告し、Fig. 1.1 のように人間の行動意図(Behavioral intention)を態度(Attitude toward the behavior)と主観的規範(Intention)の二つの要因により予測できると報告した。合理的行動理論は人の行動を比較的簡潔に説明できるとの長所でありながら短所あったが、以後の合理的行動理論を修正した計画的行動理論(Theory of planned behavior: TPB)が提案されるまで多く活用された(Norman and Smith, 1995) (Fig. 1.2)。

計画的行動理論は合理的行動理論の概念を拡張して開発されたモデルであり(Ajzen, 1991)、人間の行動において行動意図は重要な要因であって直接に影響を与え、また行動意図と行動は個人の行動制御力からも影響を受ける。以後、計画的行動理論を基に説明力を上げるため、新たな変数の追加、経路変更などを行い、計画的行動理論を拡張または深化させた拡張版計画行動理論(Extended Theory of Planned Behavior)に発展した(Perugini and Bagozzi, 2001)。

人の行動意思決定モデルである KPABC-model (Reniers et al., 2014; Hillson and Murray-Webster, 2005)は Fig. 1.3 に示すように知識(Knowledge)は認知に、認知(Perception)は態度に、またその態度(Attitude)によって行動(Behavior)に影響を与え、その結果(Consequences)は新たな知識になるプロセスのモデルである。

### 3.3 大学生を対象にした予備調査

#### 3.3.1 研究目的及び予備調査概要

有毒ガス漏えい事故発生時の避難に関する基礎的な調査として予備調査を行った。予備調査は2016年9月、約1週間にかけて行われ、調査期間中に回答に影響を与えるような有毒ガス漏えい事故(周辺住民の死亡または負傷)は発生しなかった。

既往研究で人間行動は背景要因(個人的・人口的・社会的)により影響を受けると報告されており(Leeuw et al., 2015)、20代の場合、化学事故発生時の対処方法に関する認識が特に低く(Bae, 2016)、韓国の場合は日本に比べて学校教育課程(小学校・中学校・高校)での防災教育は不十分であると報告されている(Kim, 2016)。また、情報は「資料+人間の解析」であり、知識は「情報+人間の行動」であると報告されているため(Kang and Oh, 2000)、低年齢のほど災害経験の不足及び災害に関する

習得知識は低いと考えられる。そこで、本予備調査では 20 代の中でも対象者の背景要因を可能な限り同質とするため、大学生(韓国湖西大学の消防防災学科に在学している大学(院)生を主に)を調査対象とした。特定学科の学生を対象にしたのは回答者の防災への関心度が類似であると考えられたためである。

質問紙の回答に掛かる時間は約 15 分内程度であり、調査協力のお願ひ及び調査目的、無記名調査であることを説明した後、質問紙を配布した。回答の完了次第にその場で回収し、全 228 件が回収できた。また、回収された回答に多くの欠損がある場合、データを補完せず全部破棄し、一部だけ未回答がある場合は未回答としてデータを整理した。全回答の中で欠損のない有効回答数は 225 件になり、有効回答率(99%)は高いと言える。本節では本予備調査の重要結果のみを記述し、詳細は付録(付録 3-1(質問項目)、3-2(各質問の結果))として添付する。

なお、「横浜国立大学の人を対象とする研究論理審査申請及び研究実施に関する手引」に従って、委員会審査不要条件を全て満たした上で調査を実施した。

### 3.3.2 質問票の設計

質問項目は KPABC-model を考慮して構成し、大きく経験、知識、認知、態度、回答者属性などで分類して全 36 問で構成し、主な質問項目を Table 3.1 に示す。また、全質問項目の詳細は付録 3-1 に示す。

有毒ガスの種類及び毒性知識に関する質問は Likert スケールの 6 件法を用い、「全く知らない」の場合は 1 点、「よく／多く知っている」の場合は 6 点に設定した。さらにリスク認知(Perception of risk)で重要な変数である恐怖感(Slovic, 2000)に関する項目も構成し、「全く怖くない」を 1 点に、「非常に怖い」を 6 点にした。化学工場から受けた情報については「全く必要ない」を 1 点に、「とても必要」を 6 点に設定し、事故情報提供方法に関しては「全く適しない」を 1 点に、「とても適する」を 6 点に設定した。

### 3.3.3 質問紙調査の結果

#### 3.3.3.1 回答者の属性

全体回答者の属性については Table 3.2 に示す。平均年齢は約 21.6 歳であり、性別及び先行系列の場合、その割合は両方とも約 74%が男性及び理系であることが確認でき、専攻系列及び性別で男性と理系に片寄っていることが分かった。文系の場合は約 18%であり、その他の系列は約 7%であった。

#### 3.3.3.2 避難経験及び認知項目の結果

避難に関する経験及び認知項目に関する結果を Table 3.3 に示す。避難に関する経験に関する項目である避難経験、屋外スピーカーの放送を聞いた経験、避難訓練の参加経験に質問した結果、避難経験のある回答は約 7%であって避難経験のある回答者は極めて少ないことが分かった。経験のある回答者の中でその約 7 割は建築物の火災が原因で避難したと回答した。一方、約 93%の避難経験のない回答者の中で約 94%は避難するほどの災害を経験していないと回答した。屋外スピ

一カーの放送を聞いた経験のある回答者は約 3 割であり、経験のない回答者は約 7 割であることが分かった。また、避難訓練に参加した経験のある回答者は約 71%であり、経験のない回答者は約 29%であることが分かった。

認知項目である災害時の対応方法、避難場所の認知、屋外スピーカーの認知、有毒ガス影響範囲について質問した結果、災害時の対応方法について「教育を受けたことがある」と回答した割合は約 86%であり、「受けたことない」の場合は約 14%であることが分かった。家の最寄りの避難場所について知っている回答者は約 38%であり、避難場所を認知できていない回答者は約 62%であることが分かった。屋外スピーカーの認知の場合、知っている回答者は約 72%であって避難場所の認知に比べてその割合は比較的に高いことが分かった。また、漏えいした有毒ガスが与える影響範囲について質問した結果、全体の平均値( $M$ )は約 34km であるが、1000km 以上であると回答した 3 人を排除するとその平均は約 15.7km ( $SD=27.74$ km)であり、中央値は 5km であった。

屋外スピーカーの放送を聞いた経験がある回答者は約 3 割であることに比べて屋外スピーカーを認知している質問では約 7 割が知っていると回答した。これは韓国特徴であるの民間防衛訓練のサイレンから屋外スピーカーの存在について認知しているが、実際に災害発生による放送を聞いた経験はないためであると考えられる。韓国の場合は避難するほどの自然災害は日本に比べて少ないため、屋外スピーカー放送の経験及び最寄りの避難場所認知の割合が低いと考えられる。災害経験の学習によって避難行動に影響を受けることを考慮する(Kang, 2004)と経験の不足は避難場所への無関心、それによる避難開始の遅延に繋がるため、常に教育やチラシなどを活用して活発に自宅の最寄り避難場所について認知させる必要があり、災害発生時に情報を伝達する際には避難場所や安全領域を明確に伝達する必要があると考えられる。

### 3.3.3.3 有毒ガスに関する知識及び恐怖感、避難不可時間帯

有毒ガスに関する知識及び恐怖感項目に関する結果を Table 3.4 に示す。有毒ガスの種類及び毒性知識について質問した結果、有毒ガスの種類に関する知識の平均値( $M$ )は  $M=3.51$  であり、標準偏差( $SD$ )は  $SD=0.97$  であることが確認できた。有毒ガスの毒性に関する平均及び標準偏差は  $M=3.67$ 、 $SD=1.02$  であることが確認できた。たいていの回答者は有毒ガスの種類及び毒性について一般的な知識を持つことが分かった。化学工場に関する恐怖感の場合、平均値は  $M=4.16$  であり、標準偏差は  $SD=0.95$  であることが確認でき、回答者は少々恐怖を感じていることが分かった。避難不可時間帯に関する結果を Fig. 3.4 に示す。避難について「常に可能」と回答した割合は約 44%であったが、避難不可時間帯として「00~06 時」と回答した割合もほぼ同じ割合であることが分かった。避難対象者が深夜時間で睡眠している状態であると外部のサイレンや情報を気づき難くなることを意味するため、避難開始の遅延に繋がる可能性も十分あると考えられる。インドボパール事故(Chouhan, 2005)や中国で発生した硫化水素漏えい事故(Jianfeng, 2009)の場合は深夜時間に発生して大きな人的被害を発生させたため、深夜時間に適する情報伝達に関する研究も必要であると考えられる。

### 3.3.3.4 災害情報の提供方法及び化学工場から受けた情報

災害時の情報提供方法及び化学工場から受けた情報に関する項目の結果を Table 3.5 に示す。災害発生時の情報提供方法の場合、屋外スピーカーの放送(防災無線)が平均  $M=5.54(SD=0.76)$  で最も適する方法であることが分かった。続いて消防や警察からのお知らせ、携帯緊急メールが各々  $M=5.39(SD=0.91)$ 、 $M=5.37(SD=0.91)$  であることが確認でき、避難者にとって信頼性が高い情報伝達方法であると考えられる。一方、SNS(Social Network Service)、広報車、新聞・チラシの場合は各々  $M=4.12(SD=1.48)$ 、 $M=3.28(SD=1.56)$ 、 $M=3.23(SD=1.50)$  を示し、これらは比較的緊急時の情報伝達方法として適さないと評価されたことが分かった。研究対象が大学生であるため、自分から能動的に情報習得できる SNS やインターネットの方がより適合度の高い結果になると予想したが、能動的な情報習得よりも受動的方法をより信頼し適すると考えられる。

化学工場から受けた情報の場合、連続無事故日数以外の全ての項目で  $M>5.2$  の結果を示した。災害による避難場所及び災害情報、また実施されている安全対策が各々  $M=5.54(SD=0.76)$ 、 $M=5.40(SD=0.79)$ 、 $M=5.35(SD=0.86)$  を示し、続いて取り扱っている化学物質、化学工場の危険性が各々  $M=5.29(SD=0.99)$ 、 $M=5.28(SD=0.93)$  を示した。一方、連続無事故日数の場合は  $M=4.33(SD=1.30)$  で比較的評価値は低かったが、 $>3.5$  であった。

災害時の情報伝達方法及び化学工場から受けた情報項目の多くで天井効果が見られた。また、たいていの回答者は化学工場の安全情報よりも危険性や事故時の対策などの情報をより受けたいと思っていることが分かった。一般市民を対象に質問紙調査を実施して化学工場から得たい情報は化学工場の危険性、安全対策、事故発生時の対応方法であると報告した Fukuda et al.(2005)の研究及び爆発事故が発生した化学工場の周辺住民は化学工場から安全情報よりも危険情報をより望んでいると報告した Koshiba and Ohtani(2015)の研究結果と一致する結果であると考えられる。

### 3.3.3.5 統計分析

性別、専攻系列(理系、文系+その他)、避難意思による化学工場に対する恐怖感、有毒ガス種類及び毒性に対する知識の有意差を分析するために統計分析を実施した。分析方法としては母平均差検定(t-test)を用い、帰無仮説は「従属変数(恐怖感、知識)にグループ間(性別、系列、意思)の差はない」であり、有意である場合は帰無仮説を棄却して「差が有る」ことになる。本研究の有意水準は 5% であり、F 検定による等分散が認められない場合は Welch's t-test を用いた。統計分析を行った結果を Table 3.6 に示す。

化学工場の恐怖感の場合、男性の平均は  $M=4.14(SD=0.98)$ 、女性は  $M=4.27(SD=0.78)$  であり、性別による有意差( $p>0.5$ )は確認できなかった。また、理系の平均は  $M=4.20(SD=0.96)$ 、文系は  $M=4.10(SD=0.86)$  で、専攻による有意差( $p>0.5$ )は確認できなかった。一方、避難意思がある回答者の場合は  $M=4.23(SD=0.91)$ 、避難意思がない回答者は  $M=3.89(SD=1.02)$  で、避難意思による有意差( $p<.001$ )が確認できた。

有毒ガスの種類に関する知識の場合、男性の平均は  $M=3.58(SD=0.97)$ 、女性は  $M=3.32(SD=0.97)$  であり、性別による有意差( $p>0.5$ )は確認できなかった。また、避難意思がある回答者の場合は  $M=3.55(SD=0.96)$ 、避難意思がない回答者は  $M=3.31(SD=1.08)$  で、避難意思による有意差( $p>0.5$ )は

確認できなかった。一方、理系の平均は  $M=3.70(SD=0.85)$ 、文系は  $M=2.95(SD=1.11)$  で、専攻による有意差 ( $p<.001$ ) が確認できた。

有毒ガスの毒性に関する知識の場合、男性の平均は  $M=3.73(SD=1.07)$ 、女性は  $M=3.52(SD=0.84)$  であり、性別による有意差 ( $p>0.5$ ) は確認できなかった。また、理系の平均は  $M=3.80(SD=0.90)$ 、文系は  $M=2.95(SD=1.11)$  で、専攻による有意差 ( $p<.001$ ) は確認できなかった。一方、避難意思がある回答者の場合は  $M=3.74(SD=1.01)$ 、避難意思がない回答者は  $M=3.31(SD=1.02)$  で、避難意思による有意差 ( $p<.05$ ) が確認できた。

専攻系列によって有毒ガスに関する種類と毒性知識の有意差が確認できたが、化学工場の恐怖感に関する有意差は確認できなかった。従って化学的知識に関わらず化学工場自体に恐怖感を持つことが分かった。韓国消防防災庁国立防災研究所の調査(NIDP, 2005)では一般的な国民の場合は化学・生物・放射能事故の発生可能性と予想被害の規模を小さく考えていると報告している。しかし、化学団地周辺住民を対象に調査を行った Bac(2016)の研究では約 20 種の事故の中で化学工場の事故の場合は事故発生の可能性・事故発生に関する心配・事故発生時の被害の深刻性について高く評価している。本研究の場合、化学工場周辺住民ではなく一般大学生を対象にしたが、2005 年以後に発生したグミ化学団地の漏えい事故やウルサンホスゲン漏えい事故などがメディアで報道されたため、その影響を受けた可能性もあると考えられる。また、実際に塩素漏えい事故が発生した地域の一般市民を対象に調査した Grasa et al.(2002)の研究によると化学工場から情報を得ている人より得ていない人の方が有意に化学工場を危険と思っていると報告している。本研究対象の大学生のたいていは周辺に工場がないため、恐怖感をより感じた可能性も考えられる。

### 3.3.4 大学生を対象にした予備調査のまとめ

大学生を対象に有毒ガス漏えい時の避難意思など確認するために基礎的な予備調査を行った結果、得られた知見は下記の通りである。

- 有毒ガス漏えい時の避難に関する情報は公的機関や屋外スピーカーを活用して伝達する方が適合であり、避難場所に関する明確な情報も共に伝達すべきであると考えられる。
- 化学工場からは安全に係る情報も得たいと思っているが、災害や避難場所などの危険情報をより得たいと思っていることが分かった。情報伝達方法は自分から能動的に情報習得できる方法より受動的方法をより信頼し適すると考えていることが分かった。また、化学工場から得たい情報及び災害情報伝達方法の適合度の項目で天井効果が発生することが分かった。
- 避難意思と恐怖感の間で有意差があり、専攻系列と化学物質に関する知識(毒性・種類)の間でも有意差があることが確認できた。また、避難意思と有毒ガス毒性知識の間でも有意差が確認できた。



本予備調査は回答者の背景要因による影響を出来る限り排除するために 20 代の大学生のみを対象に行われたため、得られた結果を全ての年齢に一般化することは難しいと考えられる。また、本調査の質問構成では避難意思に影響する要因を明らかにすることはできなかったが、この予備調査から恐怖感と避難意思の有意差を確認できたため、恐怖感と避難意思に影響する因子になる可能性があり得ることが分かった。更に化学工場から得たい情報及び災害情報伝達方法の質問項目(6 件法)で天井効果などの問題点も確認できたため、以後調査の質問票では改良する必要があることが分かった。

### 3.4 日・韓の若年層を対象にした予備調査

#### 3.4.1 研究目的及び予備調査概要

本予備調査の目的は有毒ガス漏えい事故発生時の避難行動を分析するための基礎的な調査であり、避難行動に影響を及ぼす要因の探索及び避難時の適すと考える移動手段及び情報伝達方法について把握することにある。それに加えて、韓国の場合は日本の災害対応方案及び防災システムなどを考察して論議(Kim, 2011; Park, 2016)しているため、日本と韓国の化学物質規制システムに類似点が多く(Han, 2003; Chung and Kim, 2009)、両国の差を把握することも一つの目的である。

調査は 2017 年 2 月中の 2 週間にかけて日本の若年層を対象に行い、同年 5 月中の 2 週間にかけて韓国の若年層を対象に行った。両国の調査期間中に質問紙調査の回答に影響を及ぼすような有毒ガス漏えい事故(周辺住民の避難や住民の死傷)は発生しなかった。

質問調査の方法としては調査のための費用低減及び調査期間を短縮すると共に、スマートフォンやパソコン活用が十分できると判断される対象者であるため、インターネット調査法を用いた。質問紙の作成及び配布は Google form を活用し、完成された質問紙の URL は SNS や e-mail を通じて配布された。回収された回答数は、日本の場合は 130 件、韓国の場合は 176 件であり、若年層ではない場合と多くのデータ欠損がある回答を排除した有効回答は日本と韓国各々 108 件(有効回答率 : 83.0%)、158 件(有効回答率 : 90.3%)で全 266 件である。

3.3 節では背景要因を固定するために大学生を対象にしたが、本予備調査では背景要因を拡張して研究対象を両国の若年層にした。若年層の基準は、日本の場合は青少年の採用の促進等に関する法律施行規則の第 9 条で 15 歳以上から 35 歳未満として決められており、韓国の場合は青年雇用促進特別法施行令の第 2 条で 15 歳から 34 歳以下を若年層として決めている。そのため、本予備調査では自ら十分に避難判断できると判断される 18 歳以上から 34 歳以下の若年層を研究対象とした。

なお、「横浜国立大学の人を対象とする研究論理審査申請及び研究実施に関する手引」に従って、委員会審査不要条件を全て満たした上で調査を実施した。

#### 3.4.2 質問票の設計

本予備調査でも人の行動意思決定モデルである KPABC-model を主に考慮して質問項目を構成し、リスク認知で重要な変数である恐怖感に対する質問も共に構成した。さらに、不安感と避難意思に影響を与えると報告した Kato and Suwa (2011)の研究を参考にして質問項目を構成した。大学生を対象とした 3.3 節の予備調査の結果から情報伝達に関する項目で天井効果が生じたため、

本予備調査では移動手段及び情報伝達方法について一つを選択する質問として構成した。質問票は全 21 項目で構成されており、質問項目の詳細を Table 3.7 に示す。

移動手段及び情報伝達方法、回答者の属性を排除した全ての項目は Likert スケールを用いた。Lee (1991)の報告によると、文化的特性による反応傾向に対して日・韓の場合は尺度の中間範囲に回答する傾向があり、Likert スケールを用いる場合は中心化傾向があるため尺度の区間をより細分化することを考慮するほうが望ましい(Park et al., 2014)と報告されているため、本調査では Likert スケールの 6 件法を用いた。

設計された質問紙は筆者が韓国語で作成の後、日本語翻訳を行い、翻訳された質問紙を日本人の研究者と検討したうえ、日本の若年層を対象にした調査が行われた。また、検討された質問紙を再び韓国語に翻訳したうえ、韓国の若年層を対象に調査した。翻訳のエラーを防ぐために日・韓の行動特性に対して研究を行った Seo et al. (2011)の方法を採用して比較・検討の後に最終修正したため、両国の質問内容は本質的に同様であると言える。

質問項目は答えやすい一般的でありながら研究と関連する内容を初めに、回答者の属性に関する項目は最後に配置(Leung, 2001)した。Likert スケールを用いた質問項目の場合は類似な質問項目が連続しない範囲で無作為に配置した。また、調査の最初画面で設問の目的及び無記名であること、学術的分析以外の使用はないことを対象者が調査の回答の前から確認できるようにした。

本予備調査を行う前、質問票の内容が回答者に明確に伝達されるか、設計された項目の中で修正及び補完すべきところはないかを検討するために 30 人の大学生を対象に予備調査を行った。その結果、回答者は回答する現位置と自宅、どこに回答基準をすればよいか混乱し、化学工場の位置によって回答は変わるという意見があったため、本予備調査には回答者の混乱防止及び同様な環境条件を想定できるように「あなたは化学工場の周辺に住んでいます。その化学工場が無色無臭の有毒ガス漏えい事故が発生しました」という前提条件を付与することにした。また、前提条件は回答前から認知できるように回答画面を構成した。回答には平均約 10 分程度の時間が掛かった。

### 3.4.3 質問紙調査の結果

#### 3.4.3.1 回答者の属性及び記述統計量

日本と韓国の回答者の男女割合及び平均年齢を Table 3.8 に示す。日本の回答者( $n=108$ )の場合、男性の割合は約 72%、女性は約 28%であり、平均年齢は 24.5 歳であることが分かった。一方、韓国の回答者( $n=158$ )の男女割合は各々 62%、38%であり、平均年齢は 26.3 歳であることが分かった。

質問票の中で Likert スケールの 6 件法を用いた 17 項目に対する記述統計量を Table 3.9 に示す。周辺環境による避難態度(ABW, ALN, NB, LCE, LP, IE)に関する項目の場合、日本( $M=3.22, SD=1.88$ )と韓国( $M=4.79, SD=1.56$ )、両国とも  $M>3.5$  であることが分かったが、避難の面倒さ(IE)項目で日本と韓国の大きな差が確認でき、日本の場合は  $M<3.5$  であることが分かった。一方、知識(KTG, KCP)に関する項目の場合、日本と韓国、両国とも  $M<3$  を示し、有毒ガスと化学工場に対する知識は一般的によく分からない状況であると考えられる。有毒ガス及び化学工場に関する恐怖感(FCP, FNC, FTG)は日本と韓国、両国とも  $M>3.5$  を示し、たいていの回答者は恐怖感を感じていることが分かった。避難時の情報の必要性(FDI, IIA)については両国とも  $M>5.4$  を示し、その要求度は非常に高

いことが分かった。避難及び避難生活に対する不安感(ASL, AE)の場合、両国とも  $M > 4.3$  を示し、一般的に不安感を感じることが確認できたが、避難時の家財に対する不安感(AHG)の場合は日本 ( $M=5.02, SD=1.32$ ) に比べて韓国 ( $M=3.99, SD=1.54$ ) の方が低いことが分かった。政府機関の避難判断信頼(AEE)項目では日本 ( $M=3.82, SD=1.40$ ) に比べて韓国 ( $M=3.27, SD=1.45$ ) の方が低いことが分かった。

#### 3.4.3.2 背景要因による有意差分析のための母平均差検定(t-test)

国籍(日本・韓国)及び性別による有意差を分析するために母平均差検定(t-test)を行った。帰無仮説は「従属変数(6件法の各項目)にグループ間(国籍、性別)の差はない」であり、有意である場合は帰無仮説を棄却して「差が有る」ことになる。分析結果、有意差が確認できた項目を整理し、各々 Table 3.10(国籍), 3.11(性別)に示す。

##### (a) 国籍(日本・韓国)による有意差分析

日・韓の有意差を確認した結果(Table 3.10)、周辺環境による避難態度である発生時間帯(ALN)、近所の人々の行動(NB)、同居状況(LCE, LP)項目で有意差( $p_{ALN} < .01, p_{NB} < .01, p_{LCE} < .001, p_{LP} < .01$ )を確認することができ、日本の若年層より韓国の方が避難時の周辺環境の影響は少ないことが分かった。また、有毒ガス及び化学工場に対する知識(KTG, KCP)項目でも有意差( $p_{KTG} < .001, p_{KCP} < .01$ )を確認することができ、日本に若年層より韓国の方が有意に高いが、両国とも  $M < 3.5$  であるため、両国とも知識を持っていないと考えていることが分かった。化学工場に関する恐怖感(FNC)の項目の場合は日本の若年層に比べて韓国の方が有意( $p < .01$ )に恐怖感を強く感じることを確認できた。一方、避難生活(ASL)、家財(AHG)、避難自体の不安感(AE)の場合、各項目で有意差( $p_{ASL} < .001, p_{AHG} < .001, p_{AE} < .05$ )を確認することができ、日本の若年層の方が韓国に比べて有意に不安感を強く感じることを確認できた。また、避難の面倒さ項目(IE)でも有意差( $p < .001$ )を確認することができ、日本の若年層の方が韓国に比べて有意に面倒さを感じるということが分かった。政府の避難指示の信頼度(AEE)に関する項目でも有意差( $p < .01$ )を確認することができ、日本の若年層に比べて韓国の方が有意に低いことが分かった。

韓国の若年層の場合は日本の若年層と比べて近隣の化学工場に対する恐怖感を有意に強く感じており、避難に対する不安感は有意に低いことが確認できた。さらに周辺環境による避難態度でも有意に影響は少ないことが確認できた一方、政府の避難指示に対する信頼度は低いことが分かった。避難意思は心理的コストと負の相関(Sekiya and Tanaka, 2016)であるため、不安感及び周辺環境の影響を避難時の心理的コストとして想定する場合、日本の若年層より韓国の方が避難意思は強い可能性もあると考えられる。このような差は韓国より日本の若年層の方が住民避難に関する直接・間接経験が多いため、人の心理的コストは比較的に高くなったと考えられる。避難指示の信頼度に関しては韓国の若年層は消極的な傾向が見られた。災害安全に対する不安感は政府の信頼を阻害させる要因であって 2014 年のセウォル号船舶事故の以後から政府に対する信頼は低くなった(Lee and Min, 2015)と報告されており、韓国企業の災害対備活動の場合は日本に比べて災害に対する危険度認知が非常に低くて地域社会への支援意思も少ない(Kwon et al., 2013)と報告されている。前述の報告内容を考慮すると韓国の場合は大型事故(テグ地下鉄火災事故、セウォル号船

船事故など)やゴミ漏えい事故などで政府と関係機関の対応及び判断、さらに継続に発生する漏えい事故などによって信頼度が低くなったと考えられる。信頼度は非常の遅く高くなり、急激に崩壊される(Shim, 2009)ため、韓国の場合は信頼度を高めるための努力が必要であると考えられる。

#### (b) 性別による有意差分析

性別による有意差を確認した結果(Table 3.11)、近所化学工場に関する恐怖感(FNC)の場合、韓国の男女間の有意差( $p < .01$ )が確認でき、男性( $M = 3.82$ )より女性( $M = 4.45$ )の方が恐怖感を強く感じる事が分かったが、日本の場合は男女間の有意差( $p > .05$ )を確認できなかった。避難及び避難生活に対する不安(ASL, AE)項目の場合は日本( $p_{ASL} < .05, p_{AE} < .001$ )と韓国( $p_{ASL} < .001, p_{AE} < .01$ )両方とも性別による有意差を確認することができ、男性より女性の方が避難に対する不安感を強く感じる事が分かった。一方、避難時の家財に対する不安(AHG)の場合、韓国は男女間の有意差( $p < .05$ )が確認できたが、日本( $p > .05$ )の場合は確認できなかった。化学工場及び有毒ガスに対する知識項目(KCP, KTG)の場合は、日本と韓国両方とも有意差を確認することができ、男性の方が女性より化学工場及び有毒ガスについて平均値は高いが、国による有意差分析でも述べたようにその平均は両国とも  $M < 3.5$  であるため、知識を持っていないと考えていることが分かった。

女性は男性に比べて化学工場及び有毒ガスに対する知識(KTG, KCP)は有意に低いことが確認でき、不安(ASL, AHG, AE)に関する項目、また、近所化学工場に対する恐怖感(FNC)が有意に強いことが分かった。知識に関する有意差の場合、3.3 節の調査で明らかになったように性別による知識の差はなく、専攻による有意差は有ることが分かった。一般的に男性の方が理系の割合が高いと推測できるため、専攻による差であると考えられる。不安感の場合、漏えい事故ではないが被曝などに対する不安感は男性よりも女性の方が高い(Niigata Prefecture, 2018)と報告されており、化学工場から漏えいする有害化学物質に関するリスク認知は男性より女性が高い(Lindell and Hwang, 2008)と報告されているため、本研究の結果と一致すると言える。

#### 3.4.3.3 避難時の移動手段及び情報伝達方法

有毒ガス漏えい事故発生時、自分に適すると考えられる移動手段及び情報伝達方法について質問した結果を Fig. 3.5 に示す。避難時の適する移動手段として日本の若年層の場合は自動車・バイクの割合が約 39%で最も高く、続いて歩道が約 32%であり、自転車、電車・バスが 14%の割合であることが分かった。一方、韓国の場合も自転車・バイクの割合が最も高かったが、日本に比べて 30%以上を上回る約 74%の割合であった。続いて日本と同じように歩道(約 15%)、自転車(約 8%)、電車・バス(約 3%)の順であったが、その割合は日本の半分くらいであることが分かった。

東日本大震災の際に石巻市住民の移動パターン及び移動距離に対する避難行動分析を行った Yanagihara and Murakami (2013)の研究によると歩道で移動した住民の平均移動距離は約 500 m で、自動車を用いた場合は約 2.3 km であると報告されており、津波発生時の移動手段に関する資料からも類似な結果(MLIT, 2013)を確認できる。移動方法の選択を避難時の移動距離と想定する場合、韓国の若年層が日本に比べてより長距離の避難を考慮しているとも言え、これは有毒ガス漏えい事故発生時の心理的被害範囲をもっと広く想定しているとも言える。

適する情報伝達方法として日本の若年層の場合、テレビ・ラジオの割合が約 32%で最も多かったが、屋外スピーカーと(約 31%)の差は極めて小さかった。続いて SNS・インターネットが約 27%、広報車が約 10%であることが分かった。一方、韓国の場合、SNS・インターネットが約 36%で最も多く、続いてテレビ・ラジオが 27%、屋外スピーカーが 25%、広報車が約 10%であることが分かった。大学生を対象にした予備調査では能動的情報収集よりも受動的情報の適合度が高かったが、韓国の若年層の場合は SNS・インターネットの割合が最も多かった。このような差は質問の回答類型が異なるためであると考えられる。大学生の時は 6 件法で全ての方法に対して適合度を評価したが、若年層を対象にした本予備調査では一つだけを選択する選択型であったため、このような差が出たと考えられる。しかし、受動的情報であるテレビ・ラジオ及び屋外スピーカーの割合を加えると約 52%を占めるため、受動的情報は若年層にも有効な情報伝達方法であると考えられる。

#### 3.4.3.4 探索的因子分析

避難意思に影響を及ぼす可能性がある要因を抽出するために探索的因子分析を行った。因子分析の前にスクリープロット(Scree plot) 及び Kaiser-Guttman rule を活用して因子数を決定した。

##### (a) 因子数決定

質問票の全項目のうち、回答者の属性、避難時の移動手段、情報伝達方法、避難信頼度に関する項目を排除した 16 項目を変数として用いて因子数決定の後、因子分析の結果から全ての因子において因子負荷量が小さい変数(日本: IE、韓国: AHG)を排除して改めてスクリープロットを行った。両国各々 15 項目に対するスクリープロットの結果を Fig.3.6 に示す。スクリープロット基準及び固有値 1 以上を因子として認める Kaiser-Guttman rule により因子数は両国とも 5 であることが分かった。また、日本と韓国の 5 因子までの累積寄与率は各々 73.15%、72.83%であり、十分高いと言える。

##### (b) 探索的因子分析

因子抽出方法としては最尤法(Maximum likelihood method)を採用し、因子回転方法としては、抽出される因子の間に相関性はないと言えないため、直交回転ではなく因子間の相関を認める斜交回転(Oblique rotation)を採用した。相関行列の適合性は Kaiser-Meyer-Olkin(KMO)値の算出と Bartlett の球面性検定から判断した。一般的に KMO 値が 0.7 以上の場合は適合性が良いと判断(Kaiser, 1974)することができる。また、有意な影響を及ぼすと判断される因子負荷量は多くの研究者によって 0.3 から 0.7 まで多様な意見が報告されているが、本予備調査の因子分析では一般的に採用される 0.4 を基準(Kang et al., 2013)に分析を行った。抽出された因子の内的整合性を分析するためにはクロンバックの  $\alpha$ (Cronbach  $\alpha$ )値を確認した。一般的に認められる  $\alpha$  値の基準は 0.7 以上であるが、探索的因子分析の場合はその基準を 0.6 まで下げて分析することも可能であるため、本予備調査の分析では 0.6 を基準(Nunnally and Bernstein, 1994; Hair et al., 2006)に分析した。因子抽出の際に一般的に活用される回帰分析法(Uluman and D gan, 2016)を用いて因子得点を変数として得た後、因子間の相関関係を分析(Pearson)するための変数として活用した。

探索的因子分析の結果の場合、回転後の0.4以上の因子負荷量(構造行列)、クロンバックの $\alpha$ 値、固有値、KMO及びBartlett検定結果をまとめてTable 3.12に示す。因子分析の適合性を評価するKMO値はそれぞれ、日本は.70、韓国は.74を示し、両国とも適合性は良いと言える。また、Bartlettの球面性検定から両国とも $p<.001$ であることが確認できたため、標本の相関が因子分析に適合していることが分かった。抽出された五つの因子の内的整合性を確認した結果、両国の全ての因子において基準値の0.6以上であることが確認できたため、内的整合性は適合であると言える。

因子構造行列から因子3と因子4の順番の差はあるが、両国とも因子を構成する変数は類似であることが分かった。抽出された因子を構成する変数を参考にして各因子を命名した。因子1の場合、避難時の天気、時間、同居状況、近所の人、面倒さの項目で構成されているため「周辺環境(F-SE)」と命名し、因子2は化学工場及び有毒ガスに対する恐怖感項目で構成されたため「恐怖感(F-F)」と命名した。因子3は避難及び家財に関する不安項目で構成されたため「心理的負担(F-PB)」と、因子4は有毒ガス及び化学工場に関する知識項目で構成されたため「知識(F-K)」、因子5は詳細の情報及び被害範囲に関する項目で構成されたため「情報内容(F-IC)」と命名した。なお、F-K及びF-IC因子の構成変数は共に2だったことに留意が必要である。

因子間の相関分析の結果をTable 3.13に示す。周辺環境因子(F-SE)の場合、韓国は心理的負担(F-PB)以外の全ての因子と正相関することが確認でき、心理的負担因子は負相関することが分かったが、日本の場合は情報内容因子(F-IC)のみと正相関することが分かった。心理的負担因子(F-PB)の場合は恐怖感(F-F)及び情報内容因子(F-IC)とも負相関することが分かったが、知識因子(F-K)とは正相関することが分かった。恐怖感因子(F-F)と知識因子(F-K)の間に有意な関係は確認できなく、知識(F-K)と情報内容因子(F-IC)の間でも有意な関係は確認できなかった。

#### 3.4.4 日・韓の若年層を対象にした予備調査のまとめ

避難行動に影響を及ぼす要因の探索及び避難時の移動手段、また情報伝達手段の把握と共に背景要因による有意差分析を行うために日本と韓国の若年層を対象にした質問紙調査を行った結果、得られた知見は下記の通りである。

- 国籍(日・韓)による有意差を確認した結果、日本に比べて韓国の場合は避難の際に周辺環境による影響は有意に小さく、近所化学工場に対する恐怖感には有意に強く、避難に対する不安感には有意に小さい傾向が確認できた。政府の避難指示信頼度では日本の方が韓国に比べて有意に高く、避難の面倒さは有意に強く感じる事が分かった。また、有毒ガス及び化学工場に対する知識は韓国の方が有意に高かったが、平均値は3.5以下を示したため、たいていの回答者は知識を持っていないと考えていることが分かった。
- 性別による有意差を確認した結果、男性より女性の方が近所化学工場に対する恐怖感及び避難に対する不安感を有意に強く感じていることが分かった。有毒ガス及び化学工場に関する知識の場合、女性より男性の方が有意に平均値は高いことが分かったが、大学生を対象にした予備調査で性別による有意差はなく、専攻による有意差は確認できたため、その影響も十分あると考えられる。

- 適する移動手段としては日本と韓国両国とも自動車・バイクが最も割合が高かったが、その割合は日本に比べて韓国の方が約 2 倍であることが分かった。そのため、韓国の場合、有毒ガス漏えい時に交通渋滞が発生する可能性が十分にあるため、事前に交通制御に関する対策を模索する必要があると考えられる。情報伝達方法の場合、日本はテレビ・ラジオが最も多い割合を示したが、韓国の場合は SNS・インターネットの割合が最も多いことが分かった。
- 探索的因子分析を行った結果、日本と韓国両国とも五つの因子を抽出することができ、因子構造が類似であることが分かった。各因子を周辺環境、恐怖感、心理的負担、情報内容、知識と命名し、因子間の相関関係も確認した。心理的負担は恐怖感及び情報内容と負相関し、知識とは正相関することが分かった。恐怖感と知識、知識と情報内容の間で有意な関係は確認できなかった。

本予備調査は研究対象を若年層として限定しており、十分とは言えないサンプルサイズを用いて分析し、さらに化学工場周辺の実際の住民ではないことなど、いくつかの限界がある。また、本予備調査には漏えい事故時の避難意思に関する質問項目はなかったため、抽出された因子がどの程度の影響を及ぼすかについて明らかにできなかったが、この予備調査から日本と韓国の因子構造が類似であることから国による差はない可能性が高いことや性別間の有意差があるという知見を得ることができた。さらに質問票の中で情報内容に関する項目では天井効果が発生したため、本調査時の質問票を補完及び修正する必要性が確認でき、また避難意思に関する質問項目が必要であることが分かった。

### 3.5 川崎市川崎区の住民を対象にした質問紙調査

#### 3.5.1 研究目的及び本調査の概要

本調査の目的は有毒ガス漏えい事故発生時の避難意思に影響を及ぼす要因を明らかにすることである。そのために実際に工業地域の周辺に居住している住民を対象に 2017 年 9 月中旬から 2018 年 2 月末まで調査を行った。なお、この調査期間中、回答者の評価値に影響するような有毒ガス漏えい事故が日本で起きていないことを確認した。研究対象は神奈川県川崎市川崎区及び一部の横浜市鶴見区の住民であり、首都高速神奈川 1 号横羽線(通称：産業道路)から 1 km 圏内に住居している住民の中でも自ら避難意思を決定すると判断される 18 以上の住民を対象にした。調査領域は Fig. 3.7 に示す通りの約 7 km<sup>2</sup>、調査が行われた詳細区域は下記の通りである。

川崎区：浅野町 1 丁目から 4 丁目、京町 3 丁目、小田町 4 丁目から 6 丁目

鋼管通町 1 丁目から 4 丁目、浜町 1 丁目から 4 丁目、桜本町 1 丁目及び 2 丁目

池上新町 1 丁目及び 2 丁目

鶴見区：汐入町 1 丁目から 3 丁目、仲通町 3 丁目、浜町 1 丁目及び 2 丁目

朝日町 1 丁目及び 2 丁目

本調査の対象住民の場合、周辺に様々な工場があることを確実に認知しており、特に過去に大気汚染について経験(奥富, 1967)したため、一般市民よりも周辺の化学工場から有毒ガス漏えい事故の発生及びそれによる避難について想定し易いと考えられる。質問紙調査で回収された回答数は 797 件であり、その中で回答データに多くの欠損がある場合はデータを補完せずに破棄した。最終的に分析で活用した有効回答は 784 件であり、有効回答は全体の 98.4%であるため、有効回答率は高いと言える。

必要標本数を決定する式(3.1)を基に回収できた標本数を用いて最大誤差の範囲を求めることができる。調査を行った全ての町において 18 歳以上の人口は神奈川県人口統計(神奈川県統計センター, 2017)を用いて整理した結果を Table 3.14 に示す。調査対象の人口は 43,432 人である。

$$n = \frac{N}{\left(\frac{\varepsilon}{K(\alpha)}\right)^2 \frac{N-1}{P(1-P)} + 1} \quad (3.1)$$

ここで、 $n$  は必要標本数(784 件)、 $N$  は母集団の大きさ(調査現場の人口数、18 歳以上 : 43,432 人)、 $\varepsilon$  は精度、 $K(\alpha)$  は信頼係数(1.96)、 $P$  は母比率(0.5)である。本調査で得られた標本数(784 件)から求めた標本誤差は±3.5%である。

### 3.5.2 調査方法

質問紙調査の手法(島崎, 2017)は電話、ウェブ、郵送などの活用する非対面の方法があり、一方、調査員が直接に質問紙調査の対象者と対面して調査を行う面接調査法及び留め置き調査法がある。電話で聞き取る調査方法は比較的短時間でも調査できる長所はあるが質問数が多い場合は出来ない短所がある。ウェブ調査は調査の時間と費用、また回答者の負担を低減できる長所があるが、回答できる年齢層が限られている短所があり、特定区域のみの回答を得ることが難しい。郵送の場合、比較的調査費用が安く特定地域のみ調査もできる長所があるが、回収率が低く、回収まで時間がかかる短所がある。一方、面接調査及び留め置き方法の場合、調査員の負担が大きく調査費用も場合によっては高くなる短所はあるが、比較的高い回収率が期待できることや回答者が質問について理解し難しい場合でも調査員が直接に説明を補足できるなどの長所がある。

そこで、本調査においては調査員が直接に訪問してお願いする留め置き調査方法を主にして、回答対象者が高齢の時など、場合によっては面接調査法(ヒアリング)を用いて調査を行った。質問紙調査の流れは 4 段階で行われ、各段階については下記の通りである。

- 一段階：少なくとも調査の一週間前から研究対象者(回答者)が調査員の訪問について認知できるように調査予定地域で「質問紙調査のご協力のお願い」手紙(Fig. 3.8)を予定地域の全ての郵便箱に投入
- 二段階：訪問予定期間内に訪問して質問紙調査の協力可否について聞き、協力意思のある回答者の場合は三段階へ、協力意思のない場合は次の家へ訪問(一段階)
- 三段階：質問票を配布し、回答者に回収希望日時を聞く
- 四段階：回収希望日時に回収のための訪問



### 3.5.3 質問票の設計

大学生を対象にした予備調査からは適する災害情報伝達方法の質問項目(6件法)で天井効果が生じることが確認できたため、本調査の質問票では一つを選択する質問に修正した。また、化学工場から得たい情報の場合はほぼすべての項目が高い評価値を示したため、質問票から排除した。

日・韓の若年層を対象にした予備調査からは避難意思への影響を分析するための6件法の避難意思項目の必要性が確認できたため、本調査の質問票には避難意思に関する項目を追加した。更に情報の必要性に関する項目で天井効果が生じたため、情報の必要性に関する項目は排除した。また、両予備調査から少ない回答者の属性ではあるが、有意差を確認できたため、本調査の質問票には回答者に関する属性項目をより多めに構成した。

有毒ガス漏えい事故時の住民避難に関する知見は報告されていないため、全体的な質問票は3.4.2節で述べたように人の行動意思決定モデルを主に参考にして質問を構成し、リスク認知で重要な変数である恐怖感の項目も共に構成した。社会心理学分野で人間行動・意図を研究する際に計画的行動理論(Ajzen, 1991; Madden et al., 1992)を基に多く研究が行われている。人間の行動には行動意図が直接に影響を及ぼし、その意図には個人の態度・行動に関する主観的規範、行動制御が影響を及ぼす。有毒ガス漏えい事故時ではなく津波発生時の場合であるが、このような理論を活用し住民避難意思構造について研究した関谷・田中(2016)によると避難意思に自己・他者に関する規範と心理的コストなどが避難行動意図に影響を及ぼすと報告した。そのため、本調査の質問票には予備調査では含まれていなかった自己・他者規範に関する項目を追加した。

既往研究で他の国に比べて日本人の場合は極端な回答を避け、中間回答が多い傾向があると報告されており、多くの中間回答は調査の分析や結果に影響を及ぼすことが明らかになっている。そのため、本調査の質問票の中でLikertスケールを用いる質問項目は中間回答を防ぐために6件法を採用することにした。

最終的な質問票の項目数は回答者の属性及び自由記述を含めて39項目であり、そのうちLikertスケールを採用した項目は有毒ガス漏えい事故時の避難意思を含めて22項目である。また、避難時に適する移動手段及び情報伝達方法についても選択型の質問として構成した。Table 3.15は質問項目について簡単に整理して示したものであり、質問票の詳細は付録3-3に示す。

質問票の表紙には調査研究の目的及び無記名であることと得られたデータは学術的使用以外には使用しないことを明記した。さらに、回答者が原子力発電所などを化学工場として想像することを防ぐために化学工場とは何かについて明記したため、回答者は化学工場についてより明確に想像できたと考えられる。質問票内の各質問項目の配置は、回答しやすい項目から初め、6件法の項目は質問類型が連続しないように、また、最後には回答者の属性に関する質問を配置した。

なお、「横浜国立大学の人を対象とする研究論審査申請及び研究実施に関する手引」に従って、委員会審査不要条件を全て満たした上で調査を実施した。

### 3.5.4 質問紙調査の結果

#### 3.5.4.1 回答者の属性

回答者の属性の中で回答者の性比及び年齢は Table 3.16 に、その他は Table 3.17 に示す。性比の場合、男性が 362 件、女性が 422 件で各々約 46%、約 54%を占めている。得られて回答数は 18～29 歳の年齢層が 67 件で最も少なく、年代が増えるほど多くなる傾向が見られた。さらに 50 代以下の場合、女性に比べて男性の回答が少なく、70 代以上の回答は男性の割合が多いことが分かった。若年層または 50 代以下の男性の割合が低いことは、実際に質問紙調査を行う時間帯が午前 9 時半から午後 6 時半までに行ったため、調査時間帯に若年層及び 50 代以下の男性は不在が多かったためであると考えられる。一方、高齢者は調査時間帯に在宅の場合が多かったためであると考えられる。

その他の属性(Table 3.17)の場合、既婚者の割合は約 78%、就労者の割合は約 43%、子供と同居している者の割合は約 20%、化学災害経験がある者の割合は約 8%であることが分かった。また、常に避難準備をした者の割合は 44%、自動車運転ができる者の割合は約 56%であり、住居の形の場合は一軒家が約 87%を占めていた。要補助人数が 2 人以上の者の割合は約 22%、ペットを飼っていない者の割合は約 69%であることが分かった。住居する階の場合は 2 階が最も多い約 57%であった。ダミー変数名の場合は階層的重回帰分析で属性データを変数として活用するためである。階層的重回帰分析については以後該当する節で述べる。

#### 3.5.4.2 基本統計量

Likert スケールを用いた質問項目に関する基本統計量(平均値、標準偏差)を Table 3.18 に示す。不安感に関する質問である避難時に有毒ガスにさらされること(ETG)、自宅の家財(HG)、避難生活(SL)項目で平均値が各々 $M=1.89$ 、 $M=2.16$ 、 $M=1.92$ を示し、多くの回答者は不安を感じる事が分かった。また、事故時の周辺環境による態度の質問である悪天候(BW)、深夜(LN)、近所の人が避難しない(NNE)、避難先が遠い(SDL)の項目で平均値が各々 $M=4.09$ 、 $M=4.67$ 、 $M=4.37$ 、 $M=4.08$ を示し、多くの回答者は周辺状況に関わらず避難すべきであると思っていることが分かった。恐怖感に関する質問である有毒ガス(TGD)、漏えい事故(TGA)、化学工場(CP)に関する項目で各々 $M=4.96$ 、 $M=4.77$ 、 $M=3.80$ を示し、たいていの回答者は恐怖感を感じていることが分かった。一方、化学工場の周辺にすること(LCP)に関する項目では $M=3.54$ を示し、その恐怖は他の項目に比べて強くないことが分かった。心理的コストに関する質問である避難自体が大変(EBD)と避難の面倒さ(ED)に関する項目でその平均値は $M<3.5$ を示す一方、家の方が安全(SSH)は $M=4.23$ を示した。他者に対する規範の三項目(OWA、OSE、ORE)の場合は $M>4.2$ を示すことを確認できた。知識に関する質問である対処方法(CS)、有毒ガス(TGK)、取り扱う化学物質(DC)の項目で $M<2.30$ を示し、回答者の多くは周辺工場で取り扱っている化学物質や事故時の対象方法について認知してなく、有毒ガスに関する知識も持っていないと思っていることが分かった。事故時に行政の避難判断及び支持(AEE)に関する項目では $M=4.03$ を示し、多くの回答者は行政の避難判断及び支持を信頼していることが確認できた。最後に、有毒ガス漏えい事故発生時の避難意思(EGR)は $M=4.46$ を示し、たいていの回答者は漏えい事故時に避難意思を持っていることが確認できた。

### 3.5.4.3 回答者属性による避難意思の有意差分析

回答者属性項目を用いて避難意思の有意差を確認するために母平均差検定(t-Test)及び一元配置分散分析(ANOVA)を用いて統計分析を行った。帰無仮説は「避難意思にグループ間(回答者属性)の差はない」であり、有意である場合は帰無仮説を棄却して「差が有る」ことになる。回答者の属性項目の中で性別、結婚有無、職業、子供有無、化学災害の経験有無、常に避難準備有無、自動車運転可否、住居形態は母平均差検定を行い、要補助人数、ペット、住居階については一元配置分散分析を行った。その結果を Table 3.19 に示す。

母平均差検定を行った結果、性別、化学災害の経験有無、常に避難準備有無の項目で有意差があることが分かった。性別の場合は男性( $M=4.57$ )の方が女性( $M=4.36$ )より有意( $p<.01$ )に強い避難意思を持っていること、化学災害の経験有無の場合は経験のある人( $M=4.82$ )の方がいない人( $M=4.43$ )より有意( $p<.01$ )に強い避難意思を持っている、避難準備有無の場合は準備できている人( $M=4.57$ )ができていない人( $M=4.38$ )より有意( $p<.01$ )に強い意志を持っていることが分かった。一方、結婚有無、職業、子供有無、自動車運転可否、住居形態の項目の場合、有意差が認められなかった。

一元配置分散分析を行った結果、ペット及び住居階の項目の場合は有意差が認められなく、要補助人数項目のみに有意差( $p<.05$ )があることが確認できた。要補助人数による三つの標本間の有意差を確認するために LSD 法(Least significant difference method)による下位検定を行った結果を Table 3.20 に示す。要補助人数がいない場合と 1 人の場合の間で有意差はなかったが、要補助人数が 2 人以上の標本はいない標本( $p<.05$ )及び 1 人の標本( $p<.05$ )と両方とも有意差が確認できたため、要補助人数が 2 人以上の場合は有意に避難意思が弱いと言える。

### 3.5.4.4 因子抽出のための探索的因子分析

避難意思に影響を与える潜在変数を抽出するために探索的因子分析を行った。3.4.3.4 節で述べた通りに因子分析の先にスクリープロット(Scree plot)及び Kaiser-Guttman rule を基に因子数を決定した。Likert スケールを用いた 22 項目のうち、避難意思を排除した 21 項目を独立変数として用い、21 変数の互いに強い相関( $>.90$ )はないことを確認した。スクリープロットから確認できた因子数を用いて因子分析を行い、その結果から全ての因子において因子負荷量が小さい変数の場合は分析から排除し、再びスクリープロットを行った。最終に用いた変数は 15 項目であり、Fig. 3.9 に示す通りに因子数は 5 であることが分かり、因子 5 までの累積寄与率は 74.2%である。

因子抽出方法としては最尤法、因子回転方法としては斜交回転のプロマックス法を採用した。因子分析の結果から得られる構造行列の因子負荷量の場合は.60 以上、KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)値.70 以上、クロンバックの  $\alpha$  の値は.70 以上を基準に適合性を判断した。探索的因子分析の結果を Table 3.21 に示す。KMO 値( $>.81$ )及び Bartlett の球面性検定( $p<.001$ )から因子分析の適合性は良いと言え、抽出された因子の内的整合性はクロンバックの  $\alpha$  値( $>.70$ )から良いと言える。

抽出された五つの因子について各因子を構成している変数を参考にして命名した。因子 1 の場合は有毒ガス漏えい事故発生時の周辺環境による避難に関する自己規範に関する項目(LN, BW, NNE, SDL, SSH)で構成されたため「環境状況(F-ES)」と名付けた。因子 2 の場合、有毒ガスや周辺工場を取り扱う化学物質、また事故時の対象方法の知識に関する項目(TGK, CS, DC)で構成されたため「知識(F-KN)」と名付けた。因子 3 の場合は漏えい事故や有毒ガスに対する恐怖感と避難時

の有毒ガスにさらされる不安感に関する項目(TGD, TGA, ETG)で構成されたため「有毒ガス恐怖感(F-FG)」と名付け、因子 4 の場合は化学工場自体及び周辺に住むことに関する項目(CP, LCP)で構成されたため「化学工場恐怖感(F-FP)」と名付け、因子 5 は他者に対する規範の項目(OSE, ORE)で構成されたため「主観的規範(F-SN)」と名付けた。なお、F-FP 及び F-SN 因子に関しては、2 変数のみから成り立っていることに留意する必要がある。

因子分析の時に回帰分析法を用いて得られた因子得点を活用して抽出できた五つの因子間の相関関係を分析するために下位尺度間相関分析を行った結果を Table 3.22 に示す。環境状況因子(F-ES)の場合、知識因子(F-KN)以外の有毒ガス恐怖感因子(F-FG)、化学工場恐怖感因子(F-FP)、主観的規範因子(F-SN)と有意に正の相関( $p<.001$ )を持つことが分かった。一方、知識因子(F-KN)の場合は有毒ガス恐怖感因子(F-FG)と有意に負の相関( $r=-.227, p<.001$ )することが分かったが、他の因子との有意な相関はないことが分かった。有毒ガス恐怖感因子(F-FG)の場合は全ての因子(F-ES, F-KN, F-FP, F-SN)と有意に相関( $p<.001$ )しており、化学工場恐怖感因子(F-FP)の場合は知識因子(F-KN)以外の全ての因子(F-ES, F-FG, F-SN)と有意に正の相関( $p<.001$ )することが分かった。主観的規範因子(F-SN)の場合は知識因子以外の全ての因子(F-ES, F-FG, F-SN)と有意に正の相関( $p<.001$ )することが分かった。

#### 3.5.4.5 避難意思に関する重回帰分析

因子分析で抽出された因子と避難意思の関係を把握するために、二つ以上の独立変数と従属変数の相関関係を分析できる重回帰分析を行った。独立変数として因子分析から得られた因子得点を用い、従属変数としては避難意思に関する質問項目(EGR)を用いて分析を行った。帰無仮説は「避難意思に独立変数(因子)の影響はない」であり、有意である場合は帰無仮説を棄却して「影響する」ことになる。

変数投入方法としては説明力が高い独立変数から投入して回帰モデルを構成し、有意ではない変数は排除するステップワイズ法を用いた。また、独立変数の間に多重共線性の発生を確認するために *VIF*(Variance inflation factor)値を確認した。一般的には *VIF* 値が 10 以下であると多重共線性の問題はないと判断する。残差の独立性判断は Durbin-Watson 値(*DW*)を確認(Karadas et al., 2015)した。*DW* 値は 0 から 4 の間の値になり、2 に近いほど残差は独立していると判断できる。なお、本研究における有意水準は 5%であり、重回帰分析の結果を Table 3.23 に示す。

変数投入法としてステップワイズ法を用いたため、最終的に説明力が有意ではない因子であった知識(F-KN)と化学工場恐怖感(F-FP)は排除され、環境状況(F-ES)、主観的規範(F-SN)、有毒ガス恐怖感(F-FG)の因子が有意に影響を及ぼすことが分かった。得られた回帰モデルは有意( $F=226.34, df=3, p<.001$ )であることを確認した。また、独立変数間の *VIF* 値は全て $<2.0$ になることを確認できたため、多重共線性がないことも確認した。

得られた回帰モデルの決定係数( $R^2$ )は  $R^2=.465$ 、自由度調整済み決定係数( $adj. R^2$ )は  $adj. R^2=0.463$  であるため、その説明力は高いと言える。また、残差の独立性を確認するために Durbin-Watson 値を確認した結果、 $DW=2.04$  であったため、独立性が取れて自己相関はないと考えられる。環境状況(F-ES)の偏回帰係数( $B$ )及び標準偏回帰係数( $\beta$ )は  $B=.402, \beta=.380$ 、主観的規範(F-SN)は  $B=.349, \beta=.311$ 、有毒ガス恐怖感(F-FG)は  $B=.093, \beta=.089$  であった。重回帰分析の結果から避難意思は環境状況因

子に最も強く影響を受け、続いて主観的規範因子、有毒ガス恐怖感因子の順に影響を受けることが分かった。得られた回帰モデルは式(3.2)のように示すことができる。

$$\text{EGR}=4.46+0.402\times(\text{F-ES})+0.349\times(\text{F-SN})+0.093\times(\text{F-FG}) \quad (3.2)$$

#### 3.5.4.6 避難意思のグループ化による重回帰分析

避難意思に関する質問項目は Likert スケールの 6 件法を用いたため、避難意思について消極的なグループ( $\text{ERG}\leq 3$ )と積極的なグループ( $\text{ERG}\geq 4$ )の二つのグループで区分することができる。消極的なグループの回答数は 113 件であり、積極的なグループは 671 件である。6 件法で調査した 21 質問項目を用いて各グループの避難意思に影響を及ぼす変数を確認するために重回帰分析を行った。また、各グループの分析と共に回答者全体に対する重回帰分析も行い、影響変数の差を確認した。重回帰の分析方法及び仮説 3.5.4.5 節と同様であり、分析結果を Table 3.24 に示す。全ての変数において  $VIF\leq 2$  を示して  $DW$  値は 2 に近いことを確認したため、多重共線性の問題はなく残差の独立性も確認できた。

避難意思に消極的なグループ(Group A)の場合、その決定係数( $R^2$ )は.243 程度であったため、その説明力は必ずしも高いとは言えないが、得られた回帰モデルは有意( $F=11.64$ ,  $df=3$ ,  $p<.001$ )であることを確認した。避難意思に影響を及ぼす項目としては三つの項目(SDL, ORE, OSE)のみが有意であり、標準偏回帰係数に関して SDL は  $B=.32$ 、ORE は  $B=.35$  の正相関であったが、OSE の場合は  $B=-.22$  の負相関であることが分かった。

避難意思に積極的なグループ(Group B)の場合、得られた回帰モデルは有意( $F=48.80$ ,  $df=8$ ,  $p<.001$ )であり、その決定係数( $R^2$ )は.371 を示すことが確認できたため、説明力を持つと言える。避難意思に影響を及ぼす変数は八つ項目であり、消極的なグループと同様に OSE 項目が含まれているが、負の相関ではなく正の相関( $B=.13$ )することが確認できた。さらに因子分析の際に排除された項目の中で避難の面倒さ(EI)項目が有意に影響を及ぼし、標準偏回帰係数は  $\beta=.12$  であることが分かった。

両グループを合わせた全体回答者の場合、得られた回帰モデルは有意( $F=88.29$ ,  $df=9$ ,  $p<.001$ )であり、決定係数( $R^2$ )は.507 を示したため、その説明力は高いと言える。避難意思に影響を及ぼす変数の中には因子分析の際に排除された項目の中で避難の面倒さ(EI)項目と行政避難指示に関する信頼(AEE)の項目が有意に影響を及ぼすことが確認でき、各々標準偏回帰係数は  $\beta=.12$ ,  $\beta=.09$  であることが分かった。

#### 3.5.4.7 回答者属性を用いた階層的重回帰分析

回答者の属性が避難意思に与える影響を確認することと共に属性項目を制御変数として活用し、属性項目と抽出した因子、また因子分析で除されたが 3.5.4.6 節で影響力を確認した避難の面倒さと避難指示信頼度項目が避難意思に与える影響を確認するために階層的重回帰分析を行った。帰無仮説は「避難意思に独立変数(因子、避難の面倒さ、避難指示信頼度、回答者属性)の影響はない」

であり、有意である場合は帰無仮説を棄却して「影響する」ことになる。その結果を Table 3.25 に示す。

回帰分析を行うために属性項目の場合、年齢以外の変数をダミー変数に変換し、新たに名付けた(Table 3.17 参照)。例として、性別のダミー変数の新たな名である D.Gender.M の場合、女性(R)の方がレファレンスになり、分析結果から男性の影響増減をレファレンスと比べて確認することができる。本階層的重回帰分析はステップ 1・2 で構成されており、ステップ 1 は属性項目のみを強制投入して避難意思への影響を確認した。また、ステップ 2 では上記で述べた通りにステップ 1 に加えて抽出した因子(F-ES, F-FG, F-SN)、避難の面倒さ(EI)、避難指示信頼度(AEE)を追加投入し決定係数の変化を確認した。両ステップとも全項目において DW 値は 2 に近く、VIF $\leq$ 4 を示した。

属性項目のみ投入するステップ 1 の場合、避難意思には七つの項目が有意に影響を及ぼすことが分かった。正の影響を示した項目は子供がいる方( $\beta=.142$ )、常に避難準備をしている方( $\beta=.093$ )、年齢が多くなるほど( $\beta=.121$ )、避難経験がある方( $\beta=.081$ )、男性の方( $\beta=.075$ )であることが分かった一方、要補助人数が 2 人以上の方( $\beta=-.143$ )、既婚の方( $\beta=-.083$ )の場合は有意に負の影響を及ぼすことが分かった。しかし、属性項目のみの回帰モデルの決定係数( $R^2$ )は.063 であることが分かったため、その説明力は低いと言える。

ステップ 2 の回帰モデルの決定係数( $R^2$ )は.508 を示し、属性項目全体が投入されている状況でもその説明力は有意に増加( $\Delta R^2=.445, p<.001$ )することが分かった。属性項目で有意に影響する項目は要補助人数 2 人以上、子供がいる、年齢項目であり、追加投入された因子と避難面倒さ及び避難指示信頼度項目も有意に影響を及ぼすことが分かった。標準偏回帰係数は要補助人数 2 人以上( $\beta=-.074$ )、子供がいる( $\beta=.083$ )、年齢項目( $\beta=.085$ )、F-ES( $\beta=.360$ )、F-FG( $\beta=.088$ )、F-SN( $\beta=.245$ )、避難面倒さ( $\beta=.108$ )、避難指示信頼度( $\beta=.094$ )である。得られた回帰モデルは式(3.3)のように示すことができ、因子間の相関関係を含めて Fig. 3.10 のように示すことができる。

$$\begin{aligned} \text{EGR} = & 3.48 + 0.382 \times (\text{F-ES}) + 0.275 \times (\text{F-SN}) + 0.108 \times (\text{AEE}) + 0.092 \times (\text{F-FG}) + 0.091 \times (\text{EI}) \\ & + 0.005 \times (\text{Age}) + 0.206 \times (\text{Child}) - 0.175 \times (\text{Help}) \end{aligned} \quad (3.3)$$

子供がいる	: 1	要補助人数 2 人以上	: 1
子供がいない	: 0	要補助人数 2 人未満	: 0

#### 3.5.4.8 漏えい事故時の適する移動手段及び情報伝達方法

有毒ガス漏えい事故が発生して避難する場合に避難に最適である移動手段及び情報伝達手段について質問した結果を Table 3.26 及び 3.27 に示し、各年齢層における割合を Fig. 3.11 及び 3.12 に示す。

適する移動手段の場合、徒歩が 324 件で最も選択が多く、続いて自動車が 215 件、自転車 194 件であることが確認でき、回答者は移動手段として徒歩、自動車、自転車が適すると考えていることが分かった。また、それ以外のバイク、バス、電車などは 784 件のうち、51 件になり、避難

時の移動手段としてその選考度は低いことが分かった。年齢層に区分して割合を確認すると、高年齢になるほど徒歩の割合は高くなり、自動車の割合は低くなる傾向が見られたが、年齢層と選択した移動手段の間での統計的有意関係はなかった。

適する情報伝達方法の場合、消防や役所からの呼びかけが 242 件で最も多く、続いて TV が 160 件、携帯メールサービスが 137 件、屋外スピーカーが 130 件で多いことが分かった。一方、広報車両(27)やラジオ(34)、インターネット(31)などは情報伝達方法としての選考度が低いことが分かった。年齢層に区分して割合を確認すると、高年齢になるほど消防や警察からの呼びかけの割合が高くなり、インターネット及び携帯メールサービスの割合は低くなる傾向が見られたが、年齢層と選択した情報伝達方法の間で統計的有意関係はなかった。

#### 3.5.4.9 避難の切っ掛け及び準備時間、心理的安全距離

どのような状況が避難行動をとる避難切っ掛けになるか確認するため質問し、その結果を Table 3.28 に示す。避難切っ掛けとして七つの状況を設定し、共に避難しない項目も選択肢として構成した。各状況は以下の通りである。

- ① 有毒ガス漏えい事故が発生したことを知った時
- ② 避難勧告に関する情報を受けた時
- ③ 避難指示に関する情報を受けた時
- ④ 近所の人から避難を呼びかけられた時
- ⑤ 消防や役所の人から直接に避難を呼びかけられた時
- ⑥ 家の中で変な臭いがした時
- ⑦ 有毒ガスが家の近くまで広がってくるのが見えた時
- ⑧ その他(自由記述)
- ⑨ 避難しない

避難切っ掛けとしては、避難指示の情報を受けた時が 253 件(32.3%)で最も多く、続いて避難勧告に関する情報を受けた時が 220 件(28%)、消防や役所からの避難呼びかけが 167 件(21.3%)で多いことが分かった。近所の人からの呼びかけは 39 件、身に危険を感じて避難する状況(状況⑥・⑦)は 18 件で少ないことが分かり、事故発生について知った時の場合も 73 件で多くはなかった。その他の場合は 3 件でその理由としては避難場所に関する情報・避難方向など避難に関する詳細情報が得られた時と回答した。また、避難しないと回答した人は 11 人であることが分かり、その理由度しては、「自力での避難が困難であるため」が 6 人、「どこへ避難すればよいか分からないと思うため」が 2 人、「体が不自由な家族がいるため」が 2 人、「避難するのは危険であると思うため」が 1 人であることが分かった。回答者属性と避難切っ掛けの間に統計的有意関係を確認した結果、有意関係はなかった。

避難のための準備時間について質問した結果、平均時間は 34.5 分であり、中央値は 30 分であることが分かった。避難準備時間に対して 120 分を超過する回答は 150 分が 1 件、180 分が 3 件、240 分が 1 件である。120 分を超過する回答は排除した上、避難準備時間を 5 分間隔で整理し、避

難準備完了時間による避難開始の累積率を Fig. 3.13 に示す。共に、避難の切っ掛けになる状況を「状況①」、「状況②・③」、「状況④・⑤」、「状況⑥・⑦」の四つのグループで区分できると考えられるため、グループ化された各切っ掛けのみの避難開始の累積率も示した。全体及び切っ掛けの累積率を15分間隔で整理して Table 3.29 に示す。回答者全体の避難準備開始累積率は30分で67.4%、45分で75%、60分で96.1%であり、各切っ掛けのみの累積率も回答者全体の割合と類似な傾向であることが分かった。また、避難意思と避難準備時間の間に統計的有意関係を確認した結果、有意関係はなかった。

心理的安全距離項目である漏えい事故が発生した工場からどの程度離れていれば安全であると思うかについて質問した結果を Table 3.30 に示す。最も多かった距離は10 km 以上20 未満で219 件である。続いて20 km 以上が205 件、5 km 以上10 km 未満が119 件であることが分かった。避難者の中で約9 割は避難を行う際に3 km 以上離れている場所まで移動する可能性があることが分かった。

#### 3.5.4.10 質問紙調査外の住民との会話から分かったこと

高齢の回答者はヒアリング調査で行う場合が多かった。高齢の回答者らは有毒ガス漏えい事故発生時に可能であれば避難したいと思っているが、家族や自治体、または消防や警察などの支援がない限り運動能力の低下や病気、例えばルーゲリック病などにより一人で避難することは難しいため、支援がない場合は「命を天に任す」「仕方ない」「もう十分に長生きした」などの避難自体を諦める傾向があることが分かった。

主婦の回答者らと屋外スピーカーに関する会話から、新しく建てられた住宅の場合に気密性が高くなって屋外スピーカーの放送が聞こえても内容を聞き取れないため、「家の内にいる場合は情報伝達手段として無用だ」「何と言うのか分からない」などの屋外スピーカーの情報伝達能力を信じない傾向があることが分かった。

川崎区に長い間住み続けて来た回答者らと過去の公害に関する会話からは、過去に公害が問題であった時期には「洗濯物を外に干すと白いTシャツが他の色に変わった」「いつも臭ってた」などの話を聞いた。また、「今、有毒ガス漏えい事故が発生して家の中で変な臭いがしたとしても避難しないと思う。たまたま変な臭いはするので事故だと思わないかも」の話も聞いた。質問紙調査の時に調査員であった本著者も調査現場で変な臭いを嗅いだ経験が何回かある。事故や避難に関する情報が適切に伝達できなかった場合は避難開始の遅れやそのまま曝露される可能性も十分あることが分かった。

#### 3.5.5 川崎市川崎区の住民を対象にした質問紙調査のまとめ

有毒ガス漏えい事故発生時の避難意思に影響を及ぼす要因を明らかにするために工業地域の周辺に居住している川崎市川崎区の住民を対象に質問紙調査を行った結果、得られた知見は下記の通りである。

- 回答者の多くは有毒ガス漏えい事故発生時の周辺環境に関わらず避難すべきであると思っていることが分かり、避難にかかわる不安感及び有毒ガス自体や事故に対する恐怖感



を持っていることが分かった。一方、化学工場の周辺に住むことに対する恐怖感はこの他の恐怖に比べて強くないことが分かった。また、周辺化学工場で取り扱う化学物質、化学物質自体、事故発生時の対処方法に関する知識を持っていないと思っていることが分かった。

- 探索的因子分析を行った結果、五つの因子が抽出できた。因子1の場合は「環境情報(F-ES)」、因子2は「知識(F-KN)」、3は「有毒ガス恐怖感(F-FG)」、4は「化学工場恐怖感(F-FP)」、5は「主観的規範(F-SN)」である。下位尺度間相関分析を用いて因子間の相関性を確認した結果、知識因子以外の因子は互いに正の相関することが分かったが、知識因子は有毒ガス恐怖感因子のみと負の相関することが分かった。
- 因子分析から抽出された五つの因子を用いて重回帰分析を行った結果、環境情報因子、主観的規範因子、有毒ガス恐怖感因子が避難意思に有意に影響を与えることが分かり、得られた回帰モデル( $R^2=.465$ )を基に重回帰式を示した。避難意思への影響力は環境情報因子>主観的規範因子>有毒ガス恐怖感因子の順であることを見出した。
- 避難意思によるグループ化を行い、全ての変数を用いて重回帰分析を行った結果、避難意思に消極的なグループの避難意思は主観的規範及び自己規範のみに影響を受けることが確認でき、積極的なグループの避難意思は不安・恐怖感、避難の面倒さなどの影響を受けることが確認できたため、各グループにおける避難意思の影響変数の差を見出した。また、因子分析の際に排除された二つの項目(AEE, EI)が有意に避難意思に影響することが分かった。
- 回答者属性を制御変数として活用し、階層的重回帰分析を行った結果、属性項目のみでの避難意思の説明力は約6%であることが分かったが、重回帰分析で活用した三つ因子(F-ES, F-SN, F-FG)とグループによる分析の際に確認できた二つの項目(AEE, EI)を追加投入することで有意に説明力が増加( $R^2=.508, \Delta R^2=.445$ )することを確認した。また、属性項目の中では年齢、子供有無、要補助人数が有意に影響を与えることが分かり、得られた回帰モデルを基に回帰式を示した。
- 避難時に適する移動手段としては徒歩が最も多く、続いて自動車、自転車の順であることが確認でき、情報伝達方法としては公務員からの呼びかけが最も多く、続いてTV、携帯メールサービス、屋外スピーカーの順であることが分かった。
- 事故時の避難切っ掛けとしては避難指示が最も多く、続いて避難勧告、公務員の呼びかけの順であることが確認でき、避難のための平均準備時間は34.5分であってその中央値は30分であることが確認できた。回答者が感じる心理的安全距離は3 km以上が約9割を占めていることが分かった。

住民を対象に調査を行い、有毒ガス漏えい事故時の住民の避難意思に関する新たな知見を得ることができた。しかし、調査に協力した住民と協力しなかった住民の間で防災に関する関心度や避難に関する意思などは異なる可能性も考えられるため留意する必要がある。また、全体回答者のうちに若年層の割合が低い傾向があり、実際の有毒ガス漏えい事故以後に避難した住民を対象にした質問紙調査ではないことも留意する必要がある。さらに本調査で回答に対する負担は下げて協力率は向上させるために可能な限り質問数を絞り込んで避難意思に係る質問項目(Likert スケール)は 21 項目で構成したため留意する必要がある、後続研究では上記の留意点を解決する必要があると考えられる。

### 3.6 第3章のまとめ

工業団地周辺で住居している住民の有毒ガス漏えい事故発生時の避難行動に関する基礎的な知見を得るために、大学生及び日・韓の若年層を対象に予備調査から質問紙の補完・改善を行い、最終的には川崎市川崎区の住民を対象に質問紙調査を行った。第3章の調査から得られた知見は以下の通りである。

- (1) 大学生を対象にした調査で、化学工場から得たい情報は安全に係る情報よりも災害や避難場所などの危険に関する情報をより得たいと思っていることが分かった。また、避難意思と恐怖感の間で有意差を確認でき、化学物質に関する知識と専攻系列の間でも有意差を確認できた。一方、性別と知識の間の有意差を確認することはできなかった。
- (2) 日・韓の若年層を対象にした調査で、韓国は日本に比べて避難の時に周辺環境による影響は有意に少なく、近所化学工場に関する恐怖感はあるに強く、避難時の不安感はあるに小さいことが確認できた。有毒ガス及び化学工場に対する知識は両国とも平均値 3.5 以下を示したため、回答者の多くは知識を持っていないと思っていることが分かった。
- (3) 日・韓の若年層を対象にした調査で、男性より女性が近隣の化学工場に関する恐怖感及び避難に関する不安感を有意に強く感じており、有毒ガス及び化学工場に関する知識の場合、女性より男性方が有意に平均値は高いことが分かった。しかし、大学生を対象にした調査を考慮すると性別による知識の有意差は専攻系列による差である可能性も十分あると考えられる。
- (4) 日・韓の若年層を対象にした調査で、探索的因子分析結果から日本と韓国両国とも類似な変数の構成で五つの因子(周辺環境、恐怖感、心理的負担、情報内容、知識)が抽出することができた。因子間の相関分析から知識因子は恐怖感及び情報内容因子と有意に相関することを確認し、心理的負担は恐怖感及び情報内容と負の相関することが確認できた。

- (5) 住民を対象にした調査で、回答者の多くは有毒ガス漏えい事故発生時の周辺環境に関わらず避難すべきであると思っていることが分かり、避難にかかわる不安感及び有毒ガス自体や事故に対する恐怖感を持っていることが分かった。一方、化学工場の周辺に住むことに対する恐怖感は他の恐怖に比べて強くないことが分かった。また、周辺化学工場で取り扱う化学物質、化学物質自体、事故発生時の対処方法に関する知識を持っていないと思っていることが分かった。
- (6) 住民を対象にした調査で、探索的因子分析を行った結果、五つの因子(環境情報、知識、有毒ガス恐怖感、化学工場恐怖感、主観的規範)が抽出できた。下位尺度間相関分析を用いて因子間の相関性を確認した結果、知識因子以外の因子は互いに正の相関することが分かったが、知識因子は有毒ガス恐怖感因子のみと負の相関することが分かった。
- (7) 住民を対象にした調査で、五つの因子を用いて重回帰分析を行った結果、環境情報、主観的規範、有毒ガス恐怖感因子が避難意思に有意に影響を与えることが分かり、得られた回帰モデル( $R^2=.465$ )を基に重回帰式を示した。避難意思への影響力は「環境情報」>「主観的規範」>「有毒ガス恐怖感」因子の順であることを見出した。
- (8) 住民を対象にした調査で、避難意思に消極的なグループの避難意思は主観的規範及び自己規範のみに影響を受けることが確認でき、積極的なグループの避難意思は不安・恐怖感、避難の面倒さなどの影響を受けることが確認できたため、各グループにおける避難意思の影響変数の差を見出した。また、因子分析の際に排除された二つの項目(AEE, EI)が有意に避難意思に影響することが分かった。
- (9) 住民を対象にした調査で、階層的重回帰分析を行った結果、属性項目のみでの避難意思の説明力は約 6%であることが分かったが、重回帰分析で活用した三つ因子(F-ES, F-SN, F-FG)とグループによる分析の際に確認できた二つの項目(AEE, EI)を追加投入することで有意に説明力が増加( $R^2=.508, \Delta R^2=.445$ )することを確認した。また、属性項目の中では年齢、子供有無、要補助人数が有意に影響を与えることが分かり、得られた回帰モデルを基に回帰式を示した。
- (10) 住民を対象にした調査で、避難時に適する移動手段としては徒歩が最も多く、続いて自動車、自転車の順であることが確認でき、情報伝達方法としては公務員からの呼びかけが最も多く、続いて TV、携帯メールサービス、屋外スピーカーの順であることが分かった。
- (11) 住民を対象にした調査で、事故時の避難切っ掛けとしては避難指示が最も多く、続いて避難勧告、公務員の呼びかけの順であることが確認でき、避難のための平均準備時間は

34.5 分であってその中央値は 30 分であることが確認できた。回答者が感じる心理的安全距離は 3 km 以上が約 9 割を占めていることが分かった。

第 3 章で有毒ガス漏えい事故発生時の周辺住民の避難意思に影響を与える要因及び属性項目、避難の切っ掛け及び避難準備時間などに関する新たな知見が得られたため、漏えい事故時の住民の避難意思決定構造や避難行動予測に関する研究、また、避難計画の策定などで基礎的な知見として活用できると考えられる。

### 第3章の参考文献

Ajzen, I. (1991) The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 50, pp.179-211

Bae, C.H. (2016) A Study on Chemical Accidents Risk Perception and Awareness of Countermeasures of Residents near Chemical Plants. Master's thesis, Inje University, pp. 31-36.

Chen, C., Lee, S., Stevenson, H.W. (1995) Response style and cross-cultural comparisons of rating scales among East Asian and North American students, *Psychological Science*, 6, 170-175

Chung, S.T., and Kim, K.I. (2009) Case studies of chemical incidents and emergency information service in Korea. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 22, No. 4, pp. 361-366.

Chouhan, T.R. (2005) The Unfolding of Bhopal Disaster. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 18, Issues 4-6, pp. 205-208.

de Leeuw, A., Valois, P., Ajzen, I., and Schmidt, P. (2015) Using the Theory of Planned Behavior to Identify Key Beliefs Underlying Pro-environmental Behavior in High-school Students: Implications for Educational Interventions. *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 42, pp. 128-138.

Fishbein, M., Ajzen, I. (1975) *Belief, attitude, intention and behavior: An introduction to theory and research*, MA: Addison- Wesley

Fukuda, T., Fukasawa, S., Sugihara, H., Watanabe, Y., Koyama, F., Inagaki, K., Kai, M., Kato, H., Matsuoka, S., and Kojima, N. (2005) Questionnaire Survey and Consideration on Safety Information from a Chemical Plant Desired by Inhabitants. *Sociotechnica, Sociotechnology Research Network*, Vol. 3, pp. 146-154.

Grasa, G., Navarro, V., Rubio, O., Pena, J.A., and Santamaria, J. (2002) A Comparative Study of Risk Perception in Small and Large Communities Where Chemical Industries are Present. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 15, Issue 6, pp. 525-530.

Hair, J.F., Black, C.W., Babin, J.B., Anderson, R.E., and Tatham, L.R. (2006) *Multivariate Data Analysis* 6<sup>th</sup> edition. New Jersey: Pearson.

Han, I.S. (2003) A Comparative Analysis of Korean Industrialization with Japan. Mokwon University Industry & Management Research Institute, Vol. 17, pp.3-20.

Hillson, D., Murray-Webster, R. (2005) *Understanding and Managing Risk Attitude*; Gower Publishing Ltd.; Aldershot, England, UK

Jianfeng, L., Bin, Z., Yang, W., and Mao, L. (2009) The Unfolding of '12.23' Kaixian Blowout Accident in China. *Safety Science*, Vol. 47, No. 8, pp. 1107-1117.

Kaiser, H.F. (1974) An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, Vol. 39, No. 1, pp. 31-36.

Kang, D.S., and Oh, K.T. (2000) Knowledge Management and Major Player in Government-supported Research Institute. *Journal of Information Management, KISTI*, Vol. 31, No. 2, pp. 1-10.

Kang, S.H. (2004) Study on the Refuge Behavior in Flooded Area and its Simulation Based on the Questionnaire Survey. *J. Korea Water Resour. Assoc.*, Vol. 37, No. 3, pp. 241-248.

Kang, T.H., Jo, H.Y., and Oh, M.A. (2013) A study on the use-realities of exploratory factor analysis in educational research. *The Korean Association for Educational Methodology Studies*, Vol. 25, No. 3, pp. 521-541.

Karadas, M., Celik, H.M., Serpen, U., Toksoy, M. (2015) Multiple regression analysis of performance parameters of a binary cycle geothermal power plant, *Geothermics*, 54, pp.68-75

Kato, F., and Suwa, Y. (2011) Survey on evacuation in Kushiro City from the Chilean-earthquake tsunami in 2010. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)*, Vol. 67, No. 2, pp. I\_1271-1275.

Kim, C.H. (2011) Legal response system to earthquakes and tsunami in Japan. *Korea Law Review, Legal Research Institute of Korea University*, Vol. 60, pp. 1-32.

Kim, S.I. (2016) A Comparison of School Safety Education in Korea and Japan: Focused on the School Curricula of Korea and Japan. Master's thesis, Korea National University of Education, pp. 85-88.

Koshiha, Y., and Ohtani, H. (2015) Public Perception of Physical Risks: Effect of the Experience of Repeated Explosion Accidents at a Chemical Plant. *Open Journal of Safety Science and Technology*, Vol. 5, pp. 45-54.

Kwon, Y.T., Yoon, M.O., and Choi, H.C. (2013) The comparative study on the perception of business activities about disaster preparedness between Korean and Japan. *Journal of the Korean Society of Disaster Information*, Vol. 9, No. 4, pp. 383-391.

Lee, D.K., and Min, Y.K. (2015) After ferry Sewol disaster, How does disaster and safety perception affect government trust?: Centers on the omnibus survey of disaster and safety perception conducted by Korean research. *Crisisonomy*, Vol. 11, No. 3, pp. 19-38.

Lee, S.H. (1991) The possibility of standardized international advertising strategy. Ph.D. dissertation, Busan National University.

- Leung, W.C. (2001) How to design a questionnaire. *Student BMJ*, Vol. 9, pp. 187-189
- Lindell, M.K., and Hwang, S.N. (2008) Households' perceived personal risk and responses in a multihazard environment. *Risk Analysis*, Vol. 28, No. 2, pp. 539-556.
- Madden, T.J., Ellen, P.S., Ajzen, I. (1992) A comparison of the theory of planned behavior and the theory of reasoned action, *Personality and Social Psychology Bulletin*, 18(1), pp.3-9
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan (MLIT) (2013) Report on escape route, evacuation facility arrangement and escape guidance assuming tsunami evacuation (3rd ed.). Project Research Report, pp. 73-83.
- NIDP (2005) Research on People's Consciousness of the Disaster Prevention and Disaster Management Administration. National Institute for Disaster Prevention, pp. 18-34.
- Niigata Prefecture. (2018) A comprehensive report on the evacuation life of Fukushima first nuclear power accident: The report of a questionnaire survey. pp. 26-27.
- Norman, P., Smith, L. (1995) The theory of planned behaviour and exercise: An investigation into the role of prior behavior, behavioral intentions and attitude variability, *European Journal of Social Psychology*, Vol.25, No.4, pp.403-415
- Nunnally, C.J., and Bernstein, H.I. (1994) *Psychometric theory* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill, Inc.
- Park, H.A., Bae, S.W., and Park, J.S. (2014) The likert scale attention points applied to research on attitude and interests on science education. *Journal of the Korean Association for Science Education*, Vol. 34, No. 4, pp. 385-391.
- Park, J.R. (2016) The disaster welfare and community response in Japan. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 17, No. 1, pp. 199-208.
- Reniers, L.L.G., Ponnet, K., Kempeneers, A. (2014) Higher education chemical lab safety interventions: Efficacious or ineffective?, *Journal of Chemical Health & Safety*, Vol.21, No.1, pp.4~8
- Slovic, P. (2000) *The Perception of Risk*. Earthscan Publications, pp. 137-153.
- Perugini, M., Bagozzi, R.P. (2001) The role of desires and anticipated emotions in goal-directed behaviors: Broadening and deepening the theory of planned behavior, *British Journal of Social Psychology*, Vol.40, No.1, pp.79-98
- Sekiya, N., and Tanaka, A. (2016) Evacuation decision making process: Analysis of questionnaire survey in coast of the Japan Sea. *Journal of Japan Society for Natural Disaster Science*, Vol. 35, Special Issue, pp. 91-103.

Seo, B.Y., Park, N.S., Koishi, H., and Ito, T. (2011) A cross-cultural study on the behavioral characters in interpersonal relationship of Korean and Japanese college students. *The Korean Journal of Educational Psychology*, Vol. 25, No. 1, pp. 201-217.

Shim, J.S. (2009) Trust in nuclear power plant, perceived risk and benefit, and acceptance. *The Korean Association for Policy Studies*, Vol. 18, No. 4, pp. 93-123.

Madden, T.J., Ellen, P.S., Ajzen, I. (1992) A comparison of the theory of planned behavior and the theory of reasoned action, *Personality and Social Psychology Bulletin*, 18-1, pp.3-9

Uluman, M., D gan, C.D. (2016) Comparison of factor score computation methods in factor analysis, *Australian Journal of Basic Applied Sciences*, 10-18, pp143-151

Yanagihara, S., and Murakami, H. (2013) A study on travel means and distances of tsunami evacuation in Ishinomaki urban area after the 2011 great east Japan earthquake disaster. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.A1 (Structural Engineering & Earthquake Engineering (SE/EE))*, Vol. 69, No. 4, pp. I\_1013~I\_1020.

神奈川県統計センター (2017) 神奈川県人口統計調査結果報告—平成28年1月～12月, 神奈川県統計センター

小柴佑介, 大谷英雄 (2018) 化学プラント周辺住民のフィジカルハザードに係るリスク認知, *安全工学*, 57-2, pp.145-154

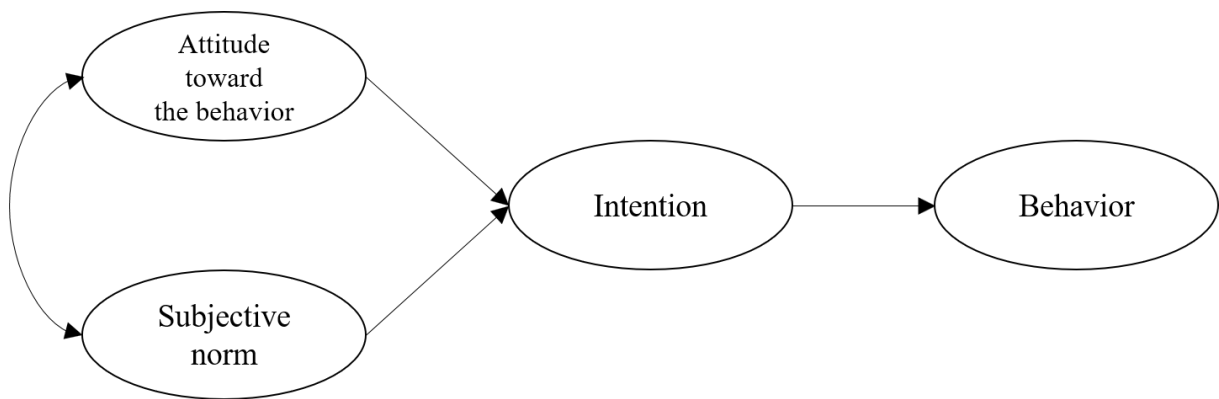
関谷直也, 田中淳 (2016) 避難の意思決定構造—日本海沿岸住民に対する津波意識調査より—, *自然災害科学*, 35, pp. 91-103

奥富一成 (1967) 横浜・川崎における大気汚染の地理学的研究, *人文地理*, 19-2, pp.199-214

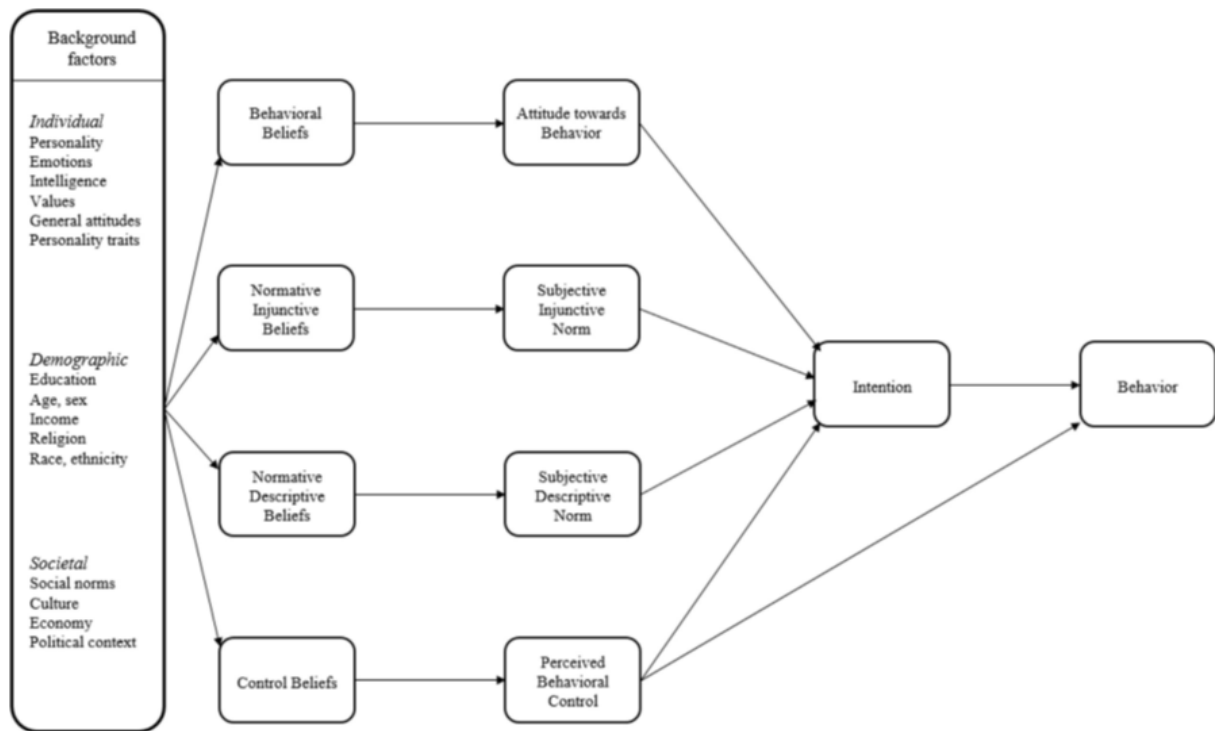
島崎哲彦 (2017) 大竹延幸, *社会調査の実際- 統計調査の方法とデータの分析-* 第12 版, 学文社, pp.16-58

増田真也, 坂上貴之 (2014) 調査の回答における中間選択-原因, 影響とその対策-, *心理学評論*, 57-4, pp.472-494

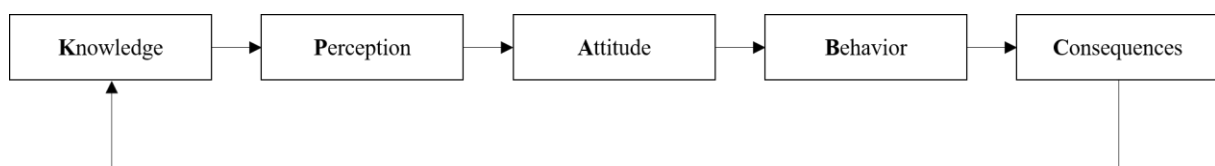




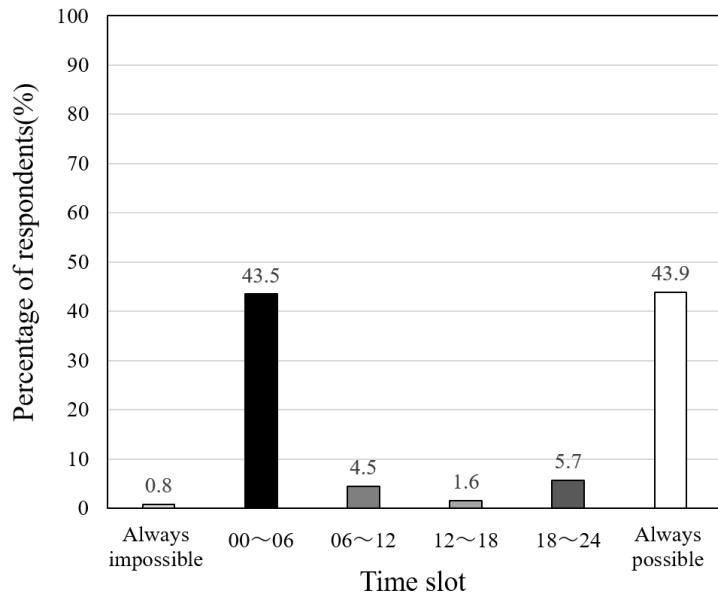
**Fig. 3.1 Theory of reasoned action model (TRA) (adopted from Madden et al., 1992)**



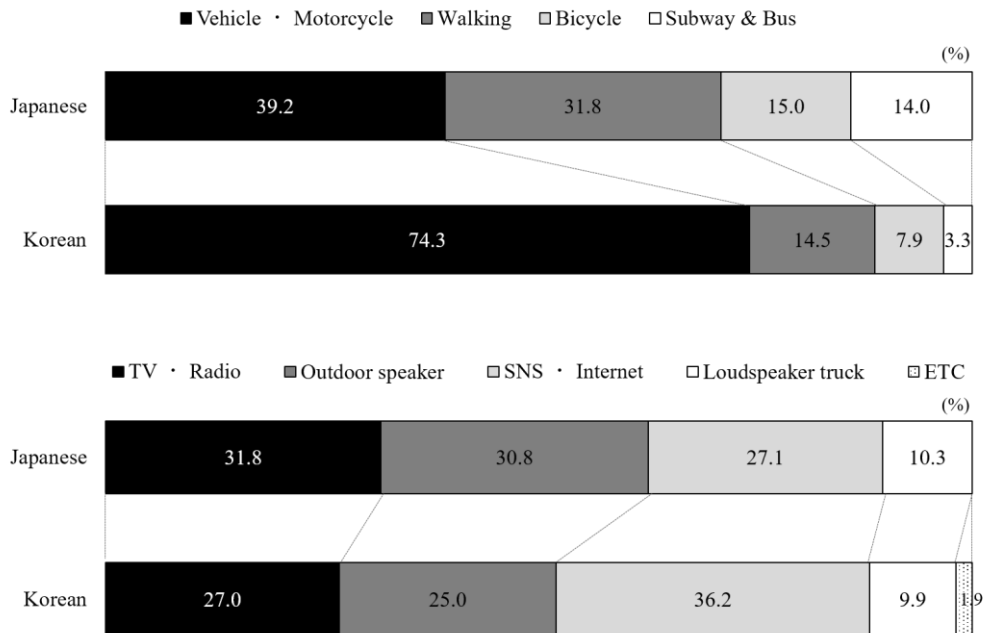
**Fig. 3.2 Theory of planned behavior model (TPB) (adopted from de Leeuw et al., 2015)**



**Fig. 3.3 KPABC model (adopted from Reniers et al., 2014)**



**Fig. 3.4 Impossible time slot for evacuation in the survey for college students**



**Fig. 3.5 Distribution of desired means of transportation and information tool in the survey for younger adults**

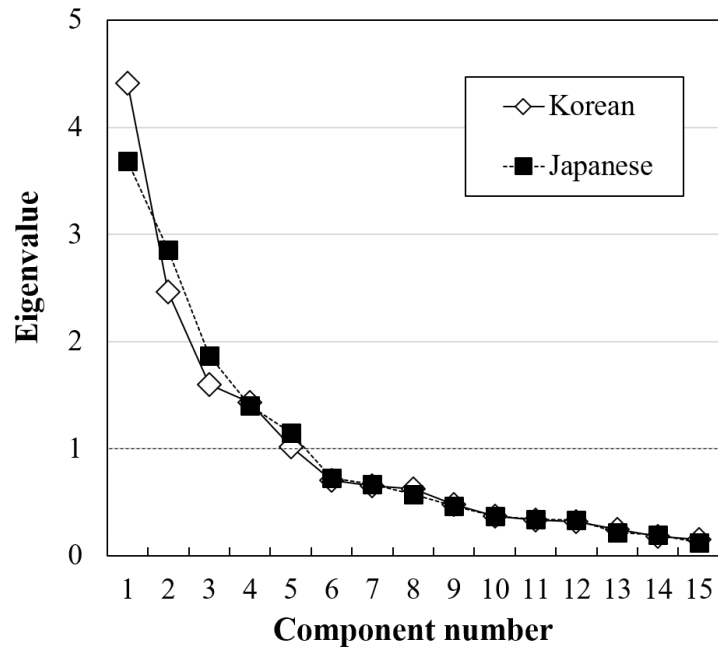


Fig. 3.6 Results of Scree test in the survey for younger adults

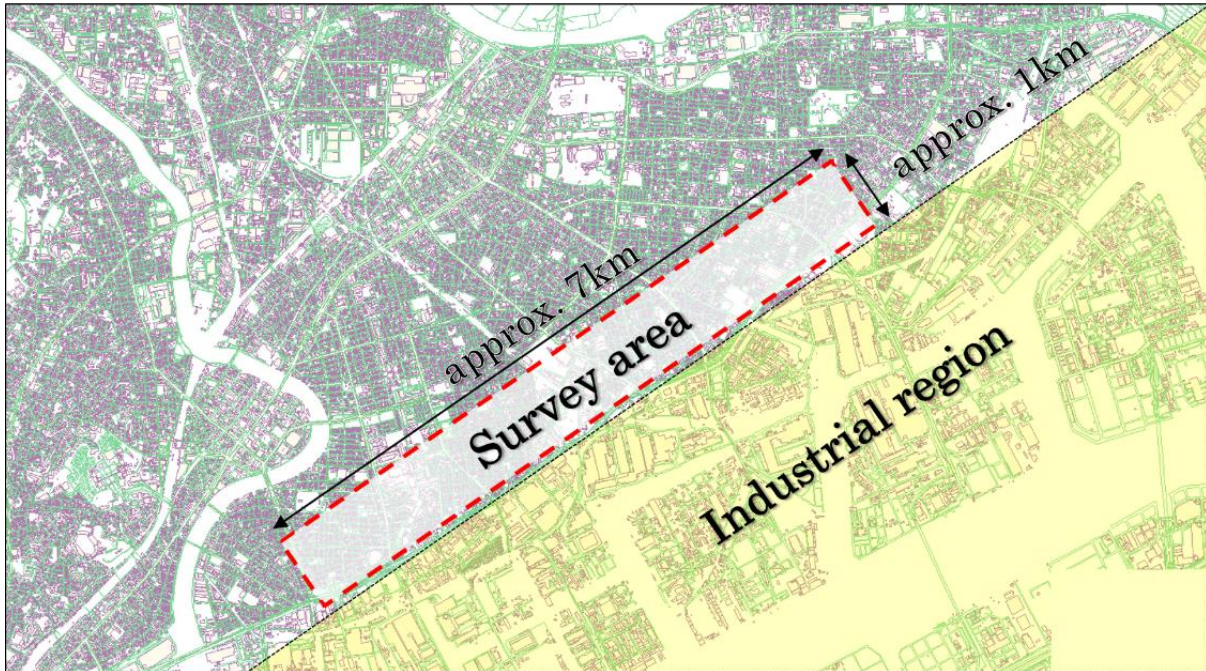


Fig. 3.7 Area of the questionnaire survey

## アンケート調査ご協力のお願い

ますますご清栄のこととお喜び申し上げます。私たちは横浜国立大学化学安全工学研究室に所属している三浦と金というものです。この度学術研究の一環として、工場からの有毒ガス漏れ事故が起きた際、住民の避難行動に影響及ぼす要因を明らかにする研究を行っています。この調査では、神奈川県18歳以上の方を対象に、化学災害に対する意識や避難意図について伺いたいと思っています。

- アンケートに正解はありませんので、直感で簡単にチェックできる形になっています。
- もし訪問時にお時間がない場合、ご都合の良い時間を教えていただければ、調査員が後日回答していただいた質問紙を回収しに伺います。 (その場で回答していただくこともできます)
- ご回答はすべて統計的に処理し、学術研究以外の用途に使用しません。
- データ収集が終わった後、すべて適切に廃棄することをお約束いたします。  
(無記名であり、個人を特定できる質問はありません)

本調査の工場というのは特定の工場を指すものではありません。

お忙しいところ恐縮ですが、ご協力の程、よろしくお願いいたします。

月 日～ 月 日の間に

調査員の学生が学生証を持参し、腕章を身に付けて調査に伺う予定です。

つまらないものですが、お礼の粗品も用意しておりますので、ぜひご協力お願いします

横浜国立大学化学安全工学研究室

指導教員： 大谷 英雄

調査員： 金 奉賛

メールアドレス： kim-bongchan-cb@ynu.jp

横浜国立大学

〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-1

Fig. 3.8 Request for cooperation to the survey

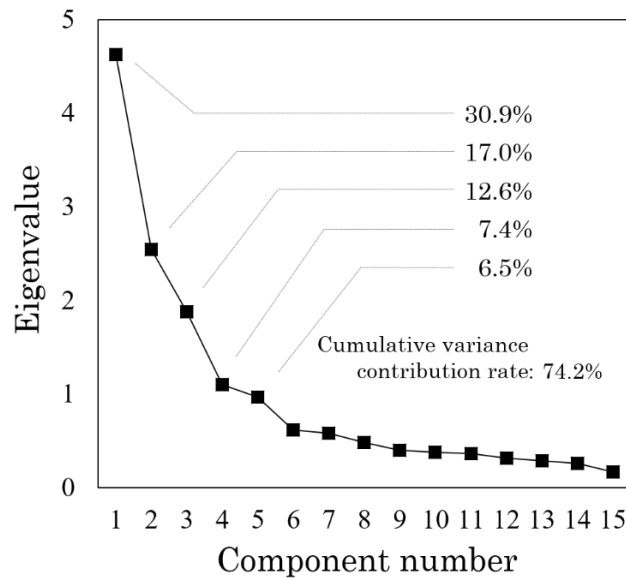


Fig. 3.9 Results of Scree test in the survey for residents

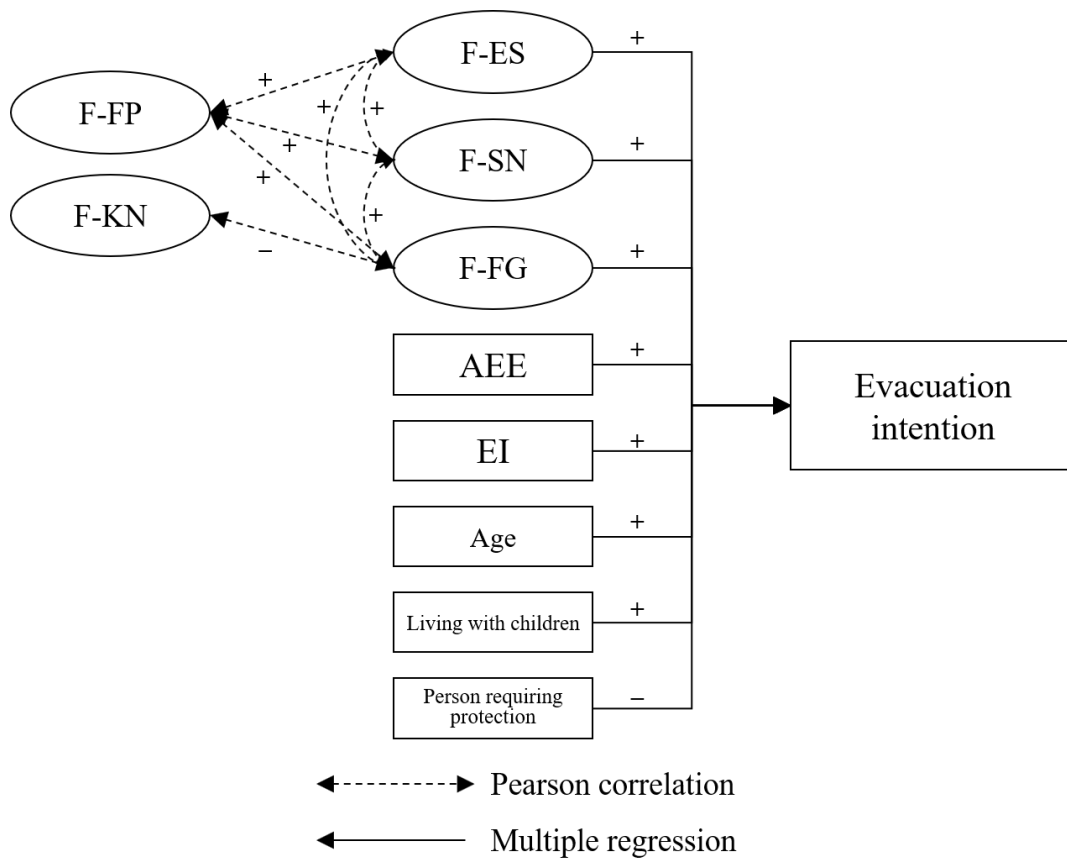


Fig. 3.10 Factors and demographic variable affecting to evacuation intention, correlation between the latent factors

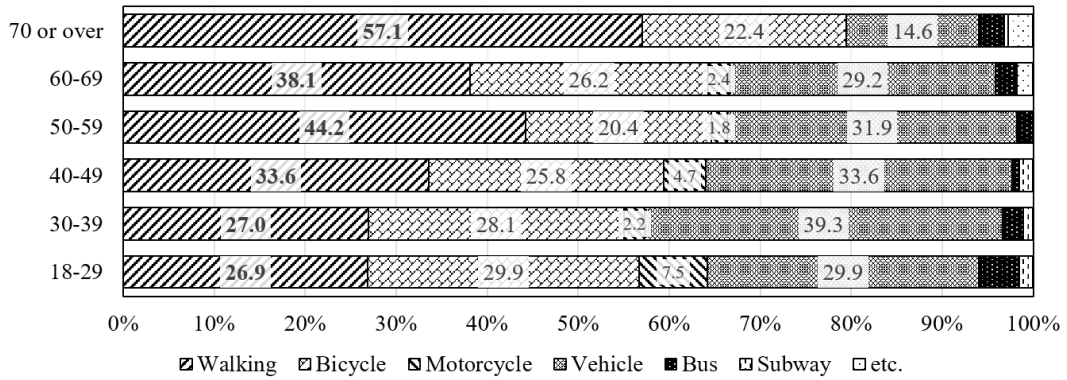


Fig. 3.11 Distribution of desired means of transportation

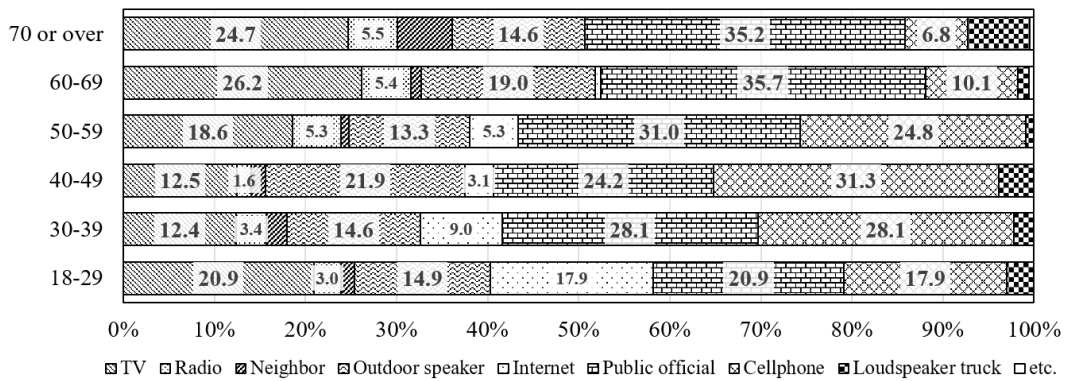


Fig. 3.12 Distribution of desired information tool

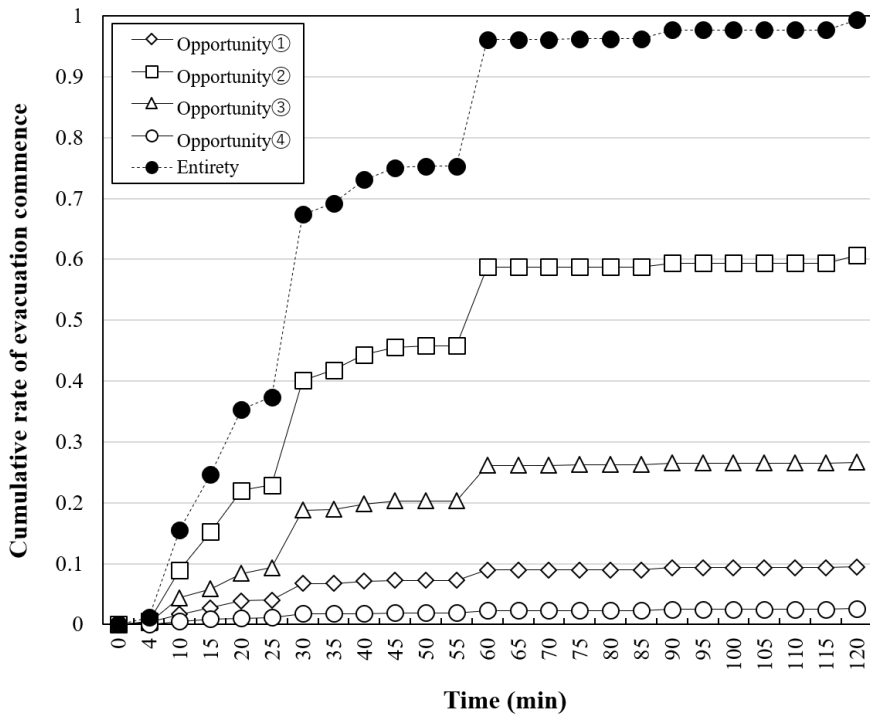


Fig. 3.13 Cumulative rate of evacuation commence

**Table 3.1 Items and details in the questionnaire survey for Hoseo University students**

Items	Details		
Experience	• Evacuation experience	• Experience in hearing emergency alerts	• Evacuation training
Knowledge	• Kind of toxic gases	• Toxicity of chemicals	
Perception	• Evacuation area • Directly affected distance	• Outdoor speaker • Coping strategies of disaster	• Fear for chemical plant
Attitude	• Evacuation or stay	• Impossible time for evacuation	
Information	• Desired information	• Informative way	
Properties of respondents	• Gender	• Major field (at the Univ.)	• Age

**Table 3.2 Demographic data of the participants in the survey for Hoseo University students (n=225)**

		<i>n</i>	%
Gender	Male	166	73.8
	Female	59	26.2
Major	Sciences and engineering	168	74.7
	Humanity	41	18.2
	Others	16	7.1
Sum		225	100
Average age		21.6yrs	

**Table 3.3 Results of experience and perception in the survey for college students**

		<b>(n=225)</b>	
		( <i>%</i> )	
		Yes	No
Experience	Evacuation experience	6.7	93.3
	Hearing emergency alerts	29.8	70.2
	Evacuation training	71.1	28.9
Perception	Coping strategies of disaster	85.7	14.3
	Evacuation area	37.8	62.2
	Outdoor speaker	71.6	28.4
	Evacuation or stay	84.4	15.6
Affected distance (km)		<i>M=15.7, SD=27.7</i>	

**Table 3.4 Results of knowledge and fear in the survey for college students****(n=225)**

		<i>M</i>	<i>SD</i>
Knowledge	Kind of toxic gases	3.51	0.97
	Toxicity of chemicals	3.67	1.02
Fear	Chemical plant	4.16	0.95

**Table 3.5 Results of information items in the survey for college students****(n=225)**

		<i>M</i>	<i>SD</i>
Informative way	Emergency disaster SMS	5.37	0.91
	SNS	4.12	1.48
	Internet	4.82	1.25
	Television	5.28	0.85
	Radio	4.78	1.26
	Broadcast of outdoor speakers	5.58	0.73
	Newspaper and handbill	3.23	1.50
	Loudspeaker truck(or car)	3.28	1.56
	Fire fighters and policemen	5.39	0.91
Desired information	Safety record	4.33	1.30
	Chemical accident hazard	5.28	0.93
	Handling chemicals	5.29	0.99
	Safety measure	5.35	0.86
	Accident information	5.40	0.79
	Evacuation area	5.54	0.76



**Table 3.6 Results of t-Tests for fear, kind of toxic gases, and toxicity of chemicals in the survey for college students**

(n=225)

			<i>n</i> (%)	<i>M</i> ( <i>SD</i> )	Variance <i>p</i> -value	<i>t</i>	<i>p</i>
Fear	Gender	Male	166(73.8)	4.14(0.98)	0.053	0.939	.349
		Female	59(26.2)	4.27(0.78)			
	Major	Sci.&Eng.	168(74.7)	4.20(0.96)	0.360	0.638	.524
		Humanity	57(25.3)	4.10(0.86)			
	The will	Evacuation	190(84.4)	4.23(0.91)	0.318	2.002	.047*
		Stay	35(15.6)	3.89(1.02)			
Knowledge of toxic gas kind	Gender	Male	166(73.8)	3.58(0.97)	1.000	1.737	.084
		Female	59(26.2)	3.32(0.97)			
	Major	Sci.&Eng.	168(74.7)	3.70(0.85)	0.011	4.693	.001***
		Humanity	57(25.3)	2.95(1.11)			
	The will	Evacuation	190(84.4)	3.55(0.96)	0.322	1.298	.196
		Stay	35(15.6)	3.31(1.08)			
Knowledge of gas toxicity	Gender	Male	166(73.8)	3.73(1.07)	0.030	1.482	.141
		Female	59(26.2)	3.52(0.84)			
	Major	Sci.&Eng.	168(74.7)	3.80(0.90)	0.050	5.821	.001***
		Humanity	57(25.3)	2.95(1.11)			
	The will	Evacuation	190(84.4)	3.74(1.01)	0.871	2.301	.022*
		Stay	35(15.6)	3.31(1.02)			

\**p*<.05, \*\*\**p*<.001

**Table 3.7 Questionnaire items and endpoint / type in the survey for younger adults**

Items		6-point Likert scale	
		1	6
態度	<p>有毒ガス漏えい事故が発生した時が悪天候(雨や雪)の場合、あなたは避難すると思いますか。(ABW)</p> <p>有毒ガス漏えい事故が発生した時が遅い時間帯(深夜や早朝)の場合、あなたは避難すると思いますか。(ALN)</p> <p>近所の人が避難をしていなかった場合、あなたも避難をしないと思いますか。(NB)</p> <p>小さな子供やお年寄りと同居をしている場合、あなたは避難すると思いますか。(LCE)</p> <p>ペットがいる場合、あなたは避難するともいますか。(LP)</p> <p>有毒ガス漏えい事故が発生した時、あなたは避難することがどの程度面倒だと思いますか。(IE)</p>	<p>確実に避難しない</p> <p>確実に避難しない</p> <p>確実に避難しない</p> <p>確実に避難しない</p> <p>確実に避難しない</p> <p>確実に避難しない</p> <p>とても面倒</p>	<p>確実に避難する</p> <p>確実に避難する</p> <p>確実に避難する</p> <p>確実に避難する</p> <p>確実に避難する</p> <p>確実に避難する</p> <p>ほとんど面倒ではない</p>
知識	<p>あなたは、有毒ガスに対してどの程度知識がありますか。(KTG)</p> <p>あなたは、化学工場に対してどの程度知識がありますか。(KCP)</p>	<p>ほとんど知らない</p> <p>ほとんど知らない</p>	<p>よく知っている</p> <p>よく知っている</p>
恐怖感	<p>あなたは、化学工場自体に対して恐怖感がありますか。(FCP)</p> <p>あなたは、家の近くに化学工場があることに対して恐怖感がありますか。(FNC)</p> <p>あなたは有毒ガスに対して恐怖感がありますか。(FTG)</p>	<p>ほとんど恐怖感はない</p> <p>ほとんど恐怖感はない</p> <p>ほとんど恐怖感はない</p>	<p>とても恐怖感が強い</p> <p>とても恐怖感が強い</p> <p>とても恐怖感が強い</p>
必要 情報	<p>あなたは有毒ガス漏えい事故発生の情報を知った時に具体的にどんな事故が発生したかという情報が必要ですか。(FDI)</p> <p>避難するかどうか決める際に、あなたは有毒ガスの影響が生じる範囲についての情報が必要ですか。(IIA)</p>	<p>ほとんど必要ない</p> <p>ほとんど必要ない</p>	<p>とても必要</p> <p>とても必要</p>
不安感	<p>有毒ガス漏えい事故が発生し避難をした場合、避難生活に不安はありますか。(ASL)</p> <p>有毒ガス漏えい事故が発生し避難をしている場合、あなたは自宅に残してきた家財に対する不安はありますか。(AHG)</p> <p>有毒ガス漏えい事故が発生した場合、あなたは避難をすることに対して不安はありますか。(AE)</p>	<p>ほとんど不安はない</p> <p>ほとんど不安はない</p> <p>ほとんど不安はない</p>	<p>とても不安</p> <p>とても不安</p> <p>とても不安</p>
避難 指示 信頼度	<p>有毒ガス漏えい事故が発生した場合に、あなたは行政の避難指示などの判断を信頼できますか。(AEE)</p>	<p>ほとんど信頼できない</p>	<p>とても信頼できる</p>
移動手段	<p>防災無線、SNS・インターネット、テレビ・ラジオ、行政の広報車、その他</p>	<p>一つ選択</p>	
情報伝達	<p>自動車・バイク、自転車、公共交通(電車・バス)、歩道、その他</p>	<p>一つ選択</p>	
属性	<p>年齢、性別</p>		

**Table 3.8 Demographic data of the participants in the survey for younger adults**

Characteristics		<i>n</i>	%	Average age
Japanese ( <i>n</i> =108)	Male	78	72.2	24.5
	Female	30	27.8	
Korean ( <i>n</i> =158)	Male	98	62.0	26.3
	Female	60	38.0	

**Table 3.9 Results of mean and standard variation scores in the survey for younger adults**

	Variable	<i>n</i> =108		<i>n</i> =158	
		Japanese		Korean	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Attitude	[ABW] Accident in bad weather	4.06	1.46	4.29	1.52
	[ALN] Accident at late nighttime	3.94	1.48	4.47	1.48
	[NB] Neighborhood behavior	3.81	1.49	4.40	1.41
	[LCE] Living with child(ren), elder(s), or disadvantaged	4.35	1.52	5.08	1.21
	[LP] Living with pets	4.37	1.32	4.88	1.24
	[IE] Irksomeness of evacuation	3.22	1.88	4.79	1.56
Knowledge	[KTG] Knowledge of toxic gas	2.18	1.37	2.67	1.22
	[KCP] Knowledge of chemical plant	2.24	1.45	2.97	1.33
Fear	[FCP] Fear about chemical plant itself	3.60	1.44	3.86	1.35
	[FNC] Fear about near chemical plant	3.66	1.45	4.06	1.44
	[FTG] Fear about toxic gas	4.83	1.24	4.55	1.31
Desired information	[FDI] Further detailed information	5.44	0.94	5.52	0.94
	[IIA] Information of influence area	5.62	0.69	5.58	0.95
Anxiety	[ASL] Anxiety about shelter life	5.13	1.24	4.37	1.39
	[AHG] Anxiety about household goods	5.02	1.32	3.99	1.54
	[AE] Anxiety about evacuation	4.74	1.31	4.33	1.41
Trust	[AEE] Administrative estimate about evacuation	3.82	1.40	3.27	1.45

**Table 3.10 Results of t-test on country effects in the survey for younger adults**

Variable	Country	<i>M(SD)</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
ALN	Japanese	3.94(1.48)	2.83	.005**
	Korean	4.47(1.48)		
NB	Japanese	3.81(1.49)	3.25	.001**
	Korean	4.40(1.41)		
LCE	Japanese	4.35(1.52)	4.34	<.001***
	Korean	5.08(1.21)		
LP	Japanese	4.37(1.32)	4.70	.002**
	Korean	4.88(1.24)		
KTG	Japanese	2.18(1.37)	4.70	<.001***
	Korean	2.97(1.33)		
KCP	Japanese	2.24(1.45)	2.60	.002**
	Korean	2.67(1.23)		
FNC	Japanese	3.66(1.45)	2.22	.028*
	Korean	4.06(1.44)		
ASL	Japanese	5.13(1.24)	4.58	<.001***
	Korean	4.37(1.39)		
AHG	Japanese	5.02(1.32)	5.68	<.001***
	Korean	3.99(1.54)		
AE	Japanese	4.74(1.31)	2.40	.017*
	Korean	4.33(1.41)		
IE	Japanese	3.22(1.88)	7.37	<.001***
	Korean	4.78(1.56)		
AEE	Japanese	3.82(1.40)	3.08	.002**
	Korean	3.27(1.45)		

\**p*<.05, \*\**p*<.01, \*\*\**p*<.001

**Table 3.11 Results of t-test on gender effects in the survey for younger adults**

Variable	Country	Gender	<i>M(SD)</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
FNC	Japanese	Male	3.55(1.42)	1.23	.221
		Female	3.93(1.51)		
	Korean	Male	3.82(1.43)	2.73	.007**
		Female	4.45(1.38)		
ASL	Japanese	Male	4.97(1.27)	2.14	.035*
		Female	5.53(1.07)		
	Korean	Male	4.06(1.40)	3.66	<.001***
		Female	4.87(1.24)		
AE	Japanese	Male	4.49(1.39)	3.39	<.001***
		Female	5.40(0.77)		
	Korean	Male	4.09(1.41)	2.76	.007**
		Female	4.72(1.34)		
AHG	Japanese	Male	4.90(1.42)	1.55	.124
		Female	5.53(0.96)		
	Korean	Male	3.74(1.51)	2.58	.011*
		Female	4.38(1.52)		
KCP	Japanese	Male	2.49(1.45)	2.96	.004**
		Female	1.60(1.25)		
	Korean	Male	2.87(1.28)	2.71	.010*
		Female	2.35(1.09)		
KTG	Japanese	Male	2.44(1.43)	3.32	.001**
		Female	1.50(0.94)		
	Korean	Male	3.21(1.36)	3.04	.003**
		Female	2.57(1.20)		

\**p*<.05, \*\**p*<.01, \*\*\**p*<.001

**Table 3.12 Rotated factor loadings ( $\geq 0.4$ ) and alpha reliabilities in the survey for younger adults**

Variable	Factor loadings										Cronbach's $\alpha$		
	Factor 1		Factor 2		Factor 3		Factor 4		Factor 5		J	K	
	J*	K**	J	K	J	K	J	K	J	K			
<b>Surrounding environment (F-SE)</b>													
LP	.78	.82											
ALN	.86	.78											
ABW	.82	.69									.87	.82	
LCE	.58	.61											
NB	.78	.60											
IE	-	.53											
<b>Fear (F-F)</b>													
FCP			.96	.98							.77	.84	
FNC			.80	.84									
FTG			.47	.59									
<b>Psychological burden (F-PB)</b>													
ASL					.99	.99					.71	.87	
AE					.78	.59							
AHG					-	.49							
<b>Knowledge (F-K)</b>													
KTG					.96			.99			.92	.84	
KCP					.89			.74					
<b>Information content (F-IC)</b>													
IIA									.89	.76			
FDI									.72	.70			
Eigenvalue	3.69	4.42	2.86	2.46	1.87	1.60	1.41	1.43	1.15	1.02	-	-	
<b>KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)</b>											.70	.74	
<b>Bartlett's test of sphericity</b>											$\chi^2$	705.3	1052.9
											<i>p</i>	<.001	<.001

\*:Japanese, \*\*:Korean

**Table 3.13 Pearson's correlation coefficients between factors of each country in the survey for younger adults**

	F-SE		F-F		F-PB		F-K		F-IC	
	J	K	J	K	J	K	J	K	J	K
<b>Surrounding environment (F-SE)</b>	1									
<b>Fear (F-F)</b>	.118	.393***	1							
<b>Psychological burden (F-PB)</b>	.059	-.230**	-.261**	-.266**	1					
<b>Knowledge (F-K)</b>	-.049	.291***	-.108	.114	.362**	.230**	1			
<b>Information content (F-IC)</b>	.228*	.343***	.246*	.285***	-.297**	-.230**	-.055	-.123	1	

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ . Note: J and K represent Japanese and Korean, respectively

**Fig. 3.14 Demographic statistics in the survey area**

Area		Gender	18-29yrs	30-39yrs	40-49yrs	50-59yrs	60-69yrs	70yrs or over	Sum	
川崎区	浅田 (1-4 丁目)	Male	608	545	606	559	633	662	3613	
		Female	470	388	469	441	479	821	3068	
	京町 (3 丁目)	Male	185	293	322	208	297	300	1605	
		Female	200	310	293	260	331	427	1821	
	小田 (4-6 丁目)	Male	657	534	642	556	575	578	3542	
		Female	447	390	509	414	455	770	2985	
	鋼管通 (1-4 丁目)	Male	441	392	528	434	432	446	2673	
		Female	377	350	402	366	338	595	2428	
	浜町 (1-4 丁目)	Male	559	498	588	531	548	540	3264	
		Female	406	338	389	359	391	613	2496	
	桜本 (1-2 丁目)	Male	655	424	555	447	542	537	3160	
		Female	330	329	411	356	418	667	2511	
	池上新町 (1-2 丁目)	Male	305	306	420	366	289	334	2020	
		Female	266	237	275	259	214	420	1671	
Sum			5906	5334	6409	5556	5942	7710	36857	
鶴見区	汐入町 (1-3 丁目)	Male	227	190	238	198	198	201	1252	
		Female	154	122	187	140	132	263	998	
	仲通町 (3 丁目)	Male	81	114	121	101	106	126	649	
		Female	70	70	64	72	68	113	457	
	浜町 (1-2 丁目)	Male	65	64	86	61	85	78	439	
		Female	50	45	75	35	83	97	385	
	朝日町 (1-2 丁目)	Male	177	165	196	170	248	232	1188	
		Female	133	159	176	180	283	276	1207	
	Sum			957	929	1143	957	1203	1386	6575
	Total									43432

**Table 3.15 Questionnaire items and endpoint / type in the survey for residents living near chemical plant**

Items		6-point Likert scale	
		1	6
避難する時にあなたは有毒ガスにさらされることに不安を感じると思いませんか。(ETG)		とても不安	ほとんど不安はない
避難した場合、あなたは避難生活に不安を感じると思いませんか。(SL)		とても不安	ほとんど不安はない
避難した場合、あなたは自宅に残した家財について不安を感じると思いませんか。(HG)		とても不安	ほとんど不安はない
有毒ガス漏えい事故が発生した場合、あなたは激しい雨や風の時でも避難すべきであると思いませんか。(BW)		避難すべきではない	確実に避難すべき
有毒ガス漏えい事故が発生した場合、あなたは深夜でも避難すべきであると思いませんか。(LN)		避難すべきではない	確実に避難すべき
有毒ガス漏えい事故が発生した場合、あなたは近所の人がほとんど避難しなくても避難すべきであると思いませんか。(NNE)		避難すべきではない	確実に避難すべき
有毒ガス漏えい事故が発生した場合、避難先が遠くても避難すべきであると思いませんか。(SDL)		避難すべきではない	確実に避難すべき
あなたは有毒ガスについて恐怖感がありますか。(TGD)		ほとんど恐怖感はない	非常に恐怖感あり
あなたは有毒ガス漏えい事故について恐怖感がありますか。(TGA)		ほとんど恐怖感はない	非常に恐怖感あり
あなたは化学工場に対して恐怖感がありますか。(CP)		ほとんど恐怖感はない	非常に恐怖感あり
あなたは化学工場の近くに住んでいることに対して恐怖感がありますか。(LCP)		ほとんど恐怖感はない	非常に恐怖感あり
あなたは避難すること自体が大変であると思いませんか。(EBD)		とても大変	全く大変ではない
有毒ガス漏えい事故が発生しても、あなたは自宅にいた方が避難するよりも安全であると思いませんか。(SSH)		家の方が非常に安全	避難の方が非常に安全
たいした有毒ガス漏えい事故ではなかったら、避難するのは面倒であると思いませんか。(EI)		とても面倒	全く面倒ではない
有毒ガス漏えい事故が発生し、あなたが避難する状況になったら「あなたにとって大切な人たちの望む通り」にあなたは行動すると思いませんか。(OWA)		全く望む通り行動しない	必ず望む通り行動
あなたにとって大切な人たちは「有毒ガス漏えい時に、あなたは避難すべきである」と考えていると思いませんか。(OSE)		全くそう考えていない	必ずそう考えている
有毒ガス漏えい時、あなたにとって大切な人たちは、あなたに避難をすすめると思いませんか。(ORE)		全くすすめない	必ずすすめる
あなたは近くの化学工場で取り扱っている化学物質についてどの程度知っていますか。(DC)		ほとんど知らない	良く知っている
あなたは有毒ガス漏えい時の対処方法についてどの程度知っていますか。(CS)		ほとんど知らない	良く知っている
あなたは有毒ガスについてどの程度知っていますか。(TGD)		ほとんど知らない	良く知っている
あなたは行政の避難指示などの判断をどの程度信頼できますか。(AEE)		ほとんど信頼できない	とても信頼できる
有毒ガス漏えい事故が発生した場合、あなたは避難すると思いませんか。(EGR)		確実に避難しない	確実に避難する
移動手段	テレビ、ラジオ、近所の人からの呼びかけ、屋外スピーカー、インターネット、消防や警察からの呼びかけ 携帯メールサービス、広報車両、その他	一つ選択	
情報伝達	自動車、自転車、電車、バス、歩道、バイク、その他	一つ選択	
影響範囲	1km未満、1km以上から3km未満、3km以上から5km未満、5km以上から10km未満、10km以上から20km未満、20km以上	一つ選択	
属性	性別、年齢、結婚の有無、化学災害経験の有無、平時避難準備の有無、職業、要補助人数、子供有無、ペットの有無、自動車の有無と運転可否、住居形態、居住階		



**Table 3.16 Demographic data of the participants in the survey for residents (1)***n*(%)

Age	Male	Female	Sum
18-29yrs	30(3.8)	37(4.7)	67(8.5)
30-39yrs	36(4.6)	53(6.8)	89(11.4)
40-49yrs	49(6.2)	79(10.1)	128(16.3)
50-59yrs	41(5.2)	72(9.2)	113(14.4)
60-69yrs	86(11.0)	82(10.5)	168(21.5)
70yrs or over	120(15.3)	99(12.6)	219(27.9)
<b>Sum</b>	<b>362(46.1)</b>	<b>422(53.9)</b>	<b>784(100)</b>

**Table 3.17 Demographic data of the participants in the survey for residents (2)**

Variable	Dummy Variable	<i>n</i>	%	
Marital status	Married	(D.Marit.M)	614	78.3
	Unmarried	R	170	21.7
Experience (chemical disaster)	I or neighborhood have	(D.Exp.H)	60	7.6
	I don't have	R	724	92.4
Bug-out bag	Prepared	(D.EvacEq.P)	345	44.0
	Unprepared	R	439	56.0
Housing type	Detached house	(D.House.D)	685	87.4
	Other	R	99	12.6
Vehicle driving	Possible	(D.Vehicle.P)	440	56.1
	Impossible	R	344	43.9
Occupation	Outworking	(D.Occu.W)	336	42.9
	Other	R	448	57.1
Household	Living with child(ren)	(D.Child.L)	154	19.6
	Without child(ren)	R	630	80.4
Number of Person requiring protection	0	R	367	46.8
	1	(D.Help.1)	245	31.3
	2 or over	(D.Help.2)	172	21.9
Pet	Dog / Cat	R	168	21.4
	Other	(D.Pet.1)	77	9.8
	Without pet	(D.Pet.1)	539	68.8
House / building story	Single-story	R	63	8.0
	Two-story	(D.Floor.1)	450	57.4
	Three-story or over	(D.Floor.2)	271	34.6

**Table 3.18 Results of mean and standard variation scores in the survey for residents**

	Items	<i>M</i>	<i>SD</i>
ETG	Exposure to toxic gas	1.89	0.89
SL	Shelter life	1.92	0.90
HG	Household goods	2.16	1.13
BW	Bad Weather	4.09	1.36
LN	Late nighttime	4.67	1.15
NNE	Neighborhood do not evacuate	4.37	1.04
SDL	Shelter in far distant location	4.08	1.13
TGD	Toxic gas	4.96	0.98
TGA	Toxic gas release accident	4.77	0.96
CP	Chemical plant	3.80	1.22
LCP	Living the vicinity of the chemical plant	3.54	1.22
EBD	Evacuation behavior is very difficult	2.54	1.27
SSH	Safe to stay at home than to evacuate	4.23	1.08
EI	Evacuation is irksome	3.05	1.17
OWA	According to the wishes	4.28	1.03
OSE	Others think that you should evacuate	4.34	0.95
ORE	Others recommend evacuation to you	4.42	0.96
DC	Dealing with chemicals in neighboring chemical plant	2.04	1.23
CS	Coping strategy in case of toxic gas release	2.10	1.14
TGK	Toxic gas knowledge	2.20	1.26
AEE	Administrative estimate about evacuation	4.03	0.86
EGR	Evacuation intention	4.46	0.98

**Table 3.19 Results of t-test and ANOVA on evacuation intention in the survey for residents**

Variable		n(%)	Evacuation intention (EGR) M(SD)	t-Test	ANOVA
				p	p
Gender	Male	362(46.1)	4.57(0.99)	.003**	
	Female	422(53.9)	4.36(0.97)		
Marital status	Married	614(78.3)	4.44(0.99)	.249	
	Unmarried	170(21.7)	4.54(0.94)		
Occupation	Outworking	336(42.9)	4.52(0.97)	.158	
	Other	448(57.1)	4.42(0.99)		
Household	Living with child(ren)	154(19.6)	4.49(0.95)	.709	
	Without child(ren)	630(80.4)	4.45(0.99)		
Experience (chemical disaster)	I or neighborhood have	60(7.6)	4.82(0.85)	.001**a	
	I don't have	724(92.4)	4.43(0.99)		
Bug-out bag	Prepared	345(44.0)	4.57(0.94)	.008**	
	Unprepared	439(56.0)	4.38(1.01)		
Vehicle driving	Possible	440(56.1)	4.45(0.97)	.630	
	Impossible	344(43.9)	4.48(1.00)		
Housing type	Detached house	685(87.4)	4.47(0.97)	.652	
	Other	99(12.6)	4.41(1.11)		
Number of Person requiring protection	0	367(46.8)	4.50(0.98)	.046*	
	1	245(31.3)	4.52(1.00)		
	2 or over	172(21.9)	4.30(0.95)		
Pet	Dog / Cat	168(21.4)	4.37(1.01)	.101	
	Other	77(9.8)	4.31(0.95)		
	Without pet	539(68.8)	4.51(0.98)		
House / building story	Single-story	63(8.0)	4.40(1.02)	.370	
	Two-story	450(57.4)	4.43(1.00)		
	Three-story or over	271(34.6)	4.53(0.95)		

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , a: Welch's t-Test

**Fig. 3.20 Result of multiple comparisons**

Number of person requiring protection		Mean difference	SE	Significance
0	1	-.020	0.081	.808
	2 or over	-.202*	0.091	.026
1	0	-.020	0.081	.808
	2 or over	-.222*	0.098	.023
2 or over	0	-.202*	0.091	.026
	1	-.222*	0.098	.023

\* $p < .05$

**Table 3.21 Result of explanatory factor analysis, factor loadings ( $\geq |0.6|$ ) and alpha reliabilities in the survey for residents**

Variable	Factor loadings					Communalities	Cronbach's $\alpha$
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5		
<i>Environmental status (F-ES)</i>							
LN	<b>.84</b>	-.05	.30	.17	.42	.72	.823
BW	<b>.74</b>	-.02	.29	.19	.36	.55	
NNE	<b>.67</b>	-.00	.37	.35	.44	.48	
SDL	<b>.62</b>	-.06	.28	.17	.51	.43	
SSH	<b>.61</b>	-.06	.314	.24	.59	.45	
<i>Knowledge (F-KN)</i>							
TGK	-.01	<b>.92</b>	-.20	.03	-.00	.84	.890
CS	-.01	<b>.90</b>	-.18	.03	-.02	.81	
DC	-.10	<b>.76</b>	-.15	.05	-.03	.58	
<i>Fear of toxic gas (F-FG)</i>							
TGD	.32	-.13	<b>.90</b>	.45	.33	.82	.844
TGA	.39	-.15	<b>.79</b>	.55	.35	.64	
ETG	.34	-.23	<b>.74</b>	.35	.26	.56	
<i>Fear of chemical plant (F-FP)</i>							
CP	.25	-.04	.49	<b>.84</b>	.26	.71	.818
LCP	.22	.11	.40	<b>.83</b>	.27	.70	
<i>Subjective norm (F-SN)</i>							
OSE	.42	-.01	.28	.25	<b>.76</b>	.58	.711
ORE	.41	-.01	.26	.22	<b>.71</b>	.51	
KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)						.812	
Bartlett's test of sphericity					$\chi^2$ [105,784]	5421.05	
					<i>p</i>	<.001***	

\*\*\* $p < .001$

**Table 3.22 Zero-order correlation matrix among the latent factors in the survey for residents**

	F-ES	F-KN	F-FG	F-FP
F-KN	-.055			
F-FG	.470***	-.227***		
F-FP	.338***	.040	.603***	
F-SN	.677***	-.029	.451***	.394***

\*\*\* $p < .001$

**Table 3.23 Final regression model using the latent factors as independent variables**

Independent variable	Unstandardized coefficient		Standardized coefficient	$p$	$VIF$	$R$	$R^2$	$Adj. R^2$
	$B$	Std. error	$\beta$					
Regression coefficient	4.46	0.026		.000***		.682	.465	.463
F-ES	0.402	0.039	.380	.000***	1.971			
F-SN	0.349	0.041	.311	.000***	1.929			
F-FG	0.093	0.032	.089	.003**	1.339			

Note: Dependent variable: Evacuation intention (EGR)

\*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ ,  $F=226.34$ \*\*\*,  $DW=2.04$ ,  $VIF$ : Variance Inflation Factor

**Table 3.24 Multiple regression analyses for the low and high evacuation-intention groups  
(Group A and B, respectively)**

Variable	Group A( <i>n</i> =113) [EGR≤3]		Group B( <i>n</i> =671) [EGR≥4]		Entirety( <i>n</i> =784) [EGR=1~6]	
	<i>B</i> ( $\beta$ )	<i>p</i>	<i>B</i> ( $\beta$ )	<i>p</i>	<i>B</i> ( $\beta$ )	<i>p</i>
Constant	2.04	.000***	1.60	.000***	0.13	.493
SDL	0.16(.32)	.000***	0.12(.18)	.000***	0.20(.23)	.000***
ORE	0.16(.35)	.000***	-	-	0.08(.08)	.012*
OSE	-0.11(-.22)	.021*	0.10(.13)	.000***	0.09(.09)	.005**
NNE	-	-	0.08(.11)	.004**	0.11(.12)	.000***
SSH	-	-	0.08(.11)	.003**	0.15(.16)	.000***
EI	-	-	0.07(.12)	.003**	0.10(.12)	.000***
TGA	-	-	0.09(.11)	.004**	-	-
LN	-	-	0.09(.13)	.001**	-	-
ETG	-	-	0.08(.10)	.006**	-	-
TGD	-	-	-	-	0.11(.11)	.000***
BW	-	-	-	-	0.09(.13)	.000***
AEE	-	-	-	-	0.10(.09)	.001**
<i>R</i> ( <i>R</i> <sup>2</sup> )	.493(.243)		.609(.371)		.712(.507)	
<i>Adj. R</i> <sup>2</sup>	.222		.363		.501	
<i>F</i> ( <i>df</i> )	11.64(3)		48.80(8)		88.29(9)	
<i>p</i> ( <i>DW</i> )	.000*** (2.12)		.000*** (2.04)		.000*** (2.07)	

Note: Dependent variable: Evacuation intention (EGR)

\**p*<.05, \*\**p*<.01, \*\*\**p*<.001

**Table 3.25 Result of hierarchical regression analysis for evacuation intention**

Variable	Step 1		Step 2	
	<i>B</i>	$\beta$	<i>B</i>	$\beta$
Constant	3.772		3.480	
D.Help2	-0.339	-.143**	-0.175	-.074*
D.Child.L	0.351	.142**	0.206	.083*
D.EvacEq.P	0.184	.093**	0.034	.017
Age	0.007	.121*	0.005	.085*
D.Exp.H	0.301	.081*	0.179	.048
D.Gender.M	0.149	.075*	0.049	.025
D.Marit.M	-0.197	-.083*	-0.130	-.054
D.Occu.W	0.138	.070	0.012	.006
D.Pet2	0.134	.063	0.058	.027
D.Floor2	0.154	.074	0.036	.018
D.House.D	0.126	.043	0.061	.020
D.Help1	-0.048	-.023	-0.012	-.006
D.Pet1	-0.053	-.016	-0.105	-.032
D.Vehicle.P	-0.029	-.015	-0.023	-.012
D.Floor1	0.033	.017	-0.054	-.027
F-ES			0.382	.360***
F-FG			0.092	.088**
F-SN			0.275	.245***
AEE			0.108	.094***
EI			0.091	.108***
$R^2(\Delta R^2)$	.063		.508(.445***)	
<i>F</i>	3.418***		39.368***	

Note: Dependent variable: Evacuation intention (EGR)

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ ,  $DW = 2.07$

**Table 3.26 Result of desired means of transportation**

Age	Walking	Bicycle	Motorcycle	Vehicle	Bus	Subway	etc.	Sum
18-29	18	20	5	20	3	1	0	67
30-39	24	25	2	35	2	1	0	89
40-49	43	33	6	43	1	2	0	128
50-59	50	23	2	36	2	0	0	113
60-69	64	44	4	49	4	0	3	168
70 or over	125	49	0	32	6	1	6	219
sum	324	194	19	215	18	5	9	784

**Table 3.27 Result of desired information tool**

Age	TV	Radio	Neighbor	Outdoor speaker	Internet	Public official	Cellphone	Loudspeaker truck	etc.	Sum
18-29	14	2	1	10	12	14	12	2	0	67
30-39	11	3	2	13	8	25	25	2	0	89
40-49	16	2	2	28	4	31	40	5	0	128
50-59	21	6	1	15	6	35	28	1	0	113
60-69	44	9	2	32	1	60	17	2	1	168
70 or over	54	12	13	32	0	77	15	15	1	219
Sum	160	34	21	130	31	242	137	27	2	784

**Table 3.28 Distribution of evacuation opportunity (What makes you start evacuating from you home?)**

	Situation								
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
n	73	220	253	39	167	10	8	3	11
%	9.3	28.0	32.3	5.0	21.3	1.3	1.0	0.5	1.3

①有毒ガス漏えい事故が発生したことを知った時 ②避難勧告に関する情報を受けた時 ③避難指示に関する情報を受けた時  
④近所の人から避難を呼びかけられた時 ⑤消防や役所の人から直接に避難を呼びかけられた時 ⑥家の中で変な臭いがした時  
⑦有毒ガスが家の近くまで広がってくるのが見えた時 ⑧その他(自由記述) ⑨避難しない

**Table 3.29 Cumulative rate of evacuation commence**

[%]

	Time (min)							
	15	30	45	60	75	90	105	120
Entirety	0.25	0.68	0.76	0.97	0.97	0.98	0.98	1.00
Opportunity①	0.03	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Opportunity②	0.15	0.40	0.46	0.59	0.59	0.59	0.59	0.61
Opportunity③	0.06	0.19	0.20	0.26	0.26	0.27	0.27	0.27
Opportunity④	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
Opportunity①	0.29	0.71	0.77	0.95	0.95	0.99	0.99	1.00
Opportunity②	0.25	0.66	0.75	0.97	0.97	0.98	0.98	1.00
Opportunity③	0.22	0.70	0.76	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00
Opportunity④	0.35	0.70	0.75	0.90	0.90	0.95	0.95	1.00



**Table 3.30 Distance of psychological safety area from toxic gas release accident**

	Distance (km)						Sum
	<1	1-3	3-5	5-10	10-20	>20	
n	10	53	119	178	219	205	784
%	1.3	6.8	15.2	22.7	27.9	26.1	100



## 第 4 章 有毒ガス漏えい事故時の住民避難に関する検討



## 4. はじめに

本章の目的は第2章と3章で得られた結果を基に住民避難に関する考察・行政や関係機関で避難計画を策定する際に基礎的な資料として活用するための提言を行うことである。

### 4.1 屋内避難の検討

#### 4.1.1 建物の気密性及び換気量

地球環境問題を背景とした「次世代省エネルギー基準」により住宅の断熱・気密化が政策的に進まれており、住宅の断熱・気密化は消費エネルギーの低減のみならず、快適な室内環境や健康性の向上のメリットもある(松原, 2009)。一方で、現代の住宅は高断熱・高气密化されているため、シックハウスの対策として建築基準法では住宅の一定の換気量を決めている。住宅等の居室の場合、その換気回数は0.5回/h以上である。そのため、漏えい事故が発生した場合、屋内避難した住民が外部の空気を遮断しようとしても外部の空気は室内に流入されるため、室内のガス濃度が徐々に増加すると考えられる。室内のガス濃度変化は式(4.1)で計算(Glickman and Ujihara, 1990)できる。

$$\frac{dC(t)}{dt} = \lambda[C_0 - C(t)] \quad (4.1)$$

ここで、 $C_0$ は屋外濃度(ppm)、 $C(t)$ は $t$ 時間での室内濃度(ppm)、 $\lambda$ は室内換気率(回/h)である。本研究において屋外濃度は第2章で確認した平均風速の時の平均濃度を用い、室内換気率は最低基準である0.5にした。

#### 4.1.2 屋内濃度変化

##### 4.1.2.1 フッ化水素の漏えい時の室内濃度

Table 4.1 は平均風速条件(3.57 m/s)のフッ化水素漏えい時の室内濃度変化(漏えい開始から1時間)を平均して示したものであり、Table 4.2 は室内最高濃度である1時間経過した時点での濃度を示したものである。1トンの平均濃度の場合には漏えい場所から200mまでは、4階高さまでAEGL-3を上回り、400mでAEGL-2、600m以上はAEGL-1以上であることが分かった。一方、1時間時点での濃度は400mまでAEGL-3とAEGL-2を上回る濃度であり、600mはAEGL-2とその付近であり、800m以後はAEGL-1以上であることが分かった。10トンの平均濃度の場合、漏えい場所から1kmまでAEGLs-3を上回り、1.5kmでAEGL-2、2km以上はAEGL-1以上であることが分かった。一方、1時間時点での濃度は1.5kmまでAEGL-3を上回る濃度であり、2、2.5kmはAEGL-2以上、3km以後はAEGL-1以上であることが分かった。20トンの平均濃度の場合、漏えい場所から1.5kmまでAEGL-3を上回り、2km以後ではほぼ全域でAEGL-2以上であることが分かった。一方、1時間時点での濃度は全域でAEGL-3を上回ることが分かった。

#### 4.1.2.2 硫化水素の漏えい時の室内濃度

##### (a) 風速 1.5 m/s

Table 4.3 は風速 1.5 m/s 条件のフッ化水素漏えい時の室内濃度変化を平均して示したものであり、Table 4.4 は室内最高濃度である 1 時間経過した時点での濃度を示したものである。1 トンの平均濃度の場合には漏えい場所から 200 m まで AEGL-3 を上回り、400 m で AEGL-2 以上または付近、600 m 以上は AEGL-1 以上であることが分かった。一方、1 時間時点での濃度は 400 m まで AEGL-3 と AEGL-2 を上回る濃度であり、600 m は AEGL-2 とその付近であり、800 m 以後は AEGL-1 以上であることが分かった。10 トンの平均濃度の場合、漏えい場所から 1 km まで AEGL-3 を上回り、1.5 km で AEGL-2、2 km 以上は AEGL-1 以上であることが分かった。一方、1 時間時点での濃度は 1.5 km まで AEGL-3 を上回る濃度であり、2.25 km は AEGL-2 または付近、3 km 以後は AEGL-1 以上であることが分かった。20 トンの平均濃度の場合、漏えい場所から 1.5 km まで AEGL-3 を上回り、2 km で AEGL-2 以上、2.5 km 以後は AEGL-1 以上であることが分かった。一方、1 時間時点での濃度は全域で 2 km まで AEGL-3 を上回り、2.5 km で AEGL-3 または 2 であり、3 km は AEGL-2 であることが分かった。

##### (b) 平均風速

Table 4.5 は平均風速条件のフッ化水素漏えい時の室内濃度変化を平均して示したものであり、Table 4.6 は室内最高濃度である 1 時間経過した時点での濃度を示したものである。1 トンの平均濃度の場合には漏えい場所から 100 m まで AEGL-3 を上回り、200 m で AEGL-3 以上または AEGL-2 付近、400 m 以上は AEGL-1 以上であることが分かった。一方、1 時間時点での濃度は 200 m まで AEGL-3 を上回る濃度であり、400 m は AEGL-2 とその付近であり、600 m 以後は AEGL-1 以上であることが分かった。10 トンの平均濃度の場合、漏えい場所から 600 m まで AEGL-3 を上回り、0.8~1 km で AEGL-2、1.5 km 以上は AEGL-1 以上であることが分かった。一方、1 時間時点での濃度は 1 km まで AEGL-3 を上回る濃度であり、1.5 km は AEGL-2 または付近、2 km 以後は AEGL-1 以上であることが分かった。20 トンの平均濃度の場合、漏えい場所から 1 km まで AEGL-3 を上回り、1.5 km で AEGL-2 以上、2 km 以後は AEGL-1 以上であることが分かった。一方、1 時間時点での濃度は全域で 1.5 km まで AEGL-3 を上回り、2~2.5 km で AEGL-2、3 km は AEGL-1 であることが分かった。

#### 4.1.2.3 考察

本研究の事故シナリオの中で漏えい量が最も少ない 1 時間当たり 1 トンの場合でも屋内の 1 時間平均濃度は 400 m 圏内まで AEGL-2 以上になり、1 時間経過時点からは 600 m 圏内まで AEGL-2 以上になることを確認できた。600 m 以上の地点では AEGL-1 の範囲ではあるが、屋内濃度は継続的に増加することに留意する必要がある。そのため、1 時間当たり 1 トン以上の有毒ガスを漏えいする事故の時、停止失敗による継続漏えい状況になった場合には周辺住民に屋外避難に関する情報を提供する必要があると考えられる。特に、避難開始まで準備に時間が掛かることを考慮すると、少なくとも漏えい源から 500 m 範囲の住民には最小限の準備の上、素早く避難することを伝える必要があると考えられる。

## 4.2 屋外曝露による死亡確率の検討

本節では有毒ガスに屋外で曝露される場合の死亡確率を検討するために第3章で確認した平均濃度を用いて Probit 分析を行った。分析から得られる確率単位変数( $Y$ )は付録 4-1 に示し、本章では確率単位変数を死亡確率( $P$ )に変換した結果のみを示す。

### 4.2.1 Probit 分析

Probit 分析は殺虫剤の開発中に様々な能動条件で虫の反応が異なることを基に、Chester Ittner Bliss によって容量—反応(Dose-Response)の回帰線を S 形曲線(Sigmoid)から線形(Linear)に変換するアイデアを開発した(Greenberg, 1980)。このアイデアを基にイギリスの統計学者である David John Finney は 1952 年に現代まで使用される Probit 分析を提案した(Vincent Kim)。毒性物質の曝露に対する反応曲線は確率( $P$ )及び確率単位変数( $Y$ )で式(4.2)のように関係式で表現でき、Fig. 4.1 のように S 形曲線になる(Crowl and Louvar, 2012)。

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \quad (4.1)$$

Fig. 4.1 の S 形曲線を線形で表現するために容量をログモデルにし、式(4.3)のように表現することができる。式(4.4)は曝露容量を示す値であり、曝露される濃度と時間で示す(Lee, 2020)。

$$Y = k_1 + k_2 \ln V \quad (4.2)$$

$$V = \sum C^n \cdot t_{exp} \quad (4.3)$$

ここで、 $Y$  は確率単位変数、 $k_1$ ,  $k_2$ ,  $n$  は対象物質に関する確率単位変数の定数、 $V$  は容量、 $C$  は濃度(ppm)、 $t_{exp}$  は曝露時間(min)である。得られた確率単位変数を基に Table 4.7 の死亡確率( $P$ )と確率単位変数( $Y$ )の関係通じて死亡確率を示すことができる。

Table 4.8 に示す通りに Probit 定数は物質ごとに異なる。本研究の対象物質であるフッ化水素及び硫化水素の定数は下記の通りである。

フッ化水素 :  $n=1.00$ ,  $k_1=-25.8689$ ,  $k_2=3.3545$

硫化水素 :  $n=1.43$ ,  $k_1=-31.42$ ,  $k_2=3.008$

### 4.2.2 死亡確率

#### 4.2.2.1 フッ化水素に 30 分間曝露される場合

Table 4.9 は平均風速条件のフッ化水素漏えい時の死亡確率を示したもので、1 トンの漏えいの場合、漏えい場所から 200 m まで死亡する確率があり、100 m の場合は約 100%死亡確率を示している。10 トンの場合は、漏えい場所から 400 m まで死亡確率が 100%であり、600~800 m でも死

亡する確率があることが分かった。20 トンの場合、漏えい場所から 800 m までは 90%以上の死亡確率を示し、1 km では 80%以上、1.5 km と 2 km でも死亡する確率があることが分かった。

#### 4. 2. 2. 2 硫化水素に 30 分間曝露される場合

Table 4.10 は風速 1.5 m/s 条件の硫化水素漏えい時の死亡確率を示したものである。1 トンの場合、フッ化水素と同様に漏えい場所から 200 m まで死亡する確率があることを確認したが、建物が 4 階の場合は、200 m での死亡確率は低いことが分かり、100 m は約 100%死亡確率を示していることが分かった。10 トンの場合は、漏えい場所から 400 m まで死亡確率が約 100%であり、400 ~800 m でも死亡する確率があることが分かった。また、1 km の地点でも確率は低い死亡する可能性があることを確認した。20 トンの場合、漏えい場所から 800 m までは 90%以上の死亡確率を示し、1 km では約 80%以上、1.5 km でも確率は低い死亡する可能性があることが分かった。

Table 4.11 は平均風速条件の結果を示したものであり、1 トンの場合、漏えい場所から 100 m まで死亡する確率があることを確認した。10 トンの場合は、漏えい場所から 200 m まで死亡確率が約 100%であり、400 m では建物 2 階より 4 階のほうが低い死亡確率であることを確認し、600 m でも高くはないが死亡する可能性があることを確認した。20 トンの場合、漏えい場所から 400 m までは約 100%の死亡確率を示し、600 m では 80%以上、0.8~1km でも確率は低い死亡する可能性があることが分かった。

#### 4. 2. 2. 3 フッ化水素に 60 分間曝露される場合

Table 4.12 は平均風速条件のフッ化水素漏えい時の死亡確率を示したもので、1 トンの漏えいの場合、漏えい場所から 400 m まで死亡する確率があり、200 m まで 90%以上の死亡確率を示し、400 m での死亡確率は低いことが分かった。10 トンの場合は、漏えい場所から 800 m まで死亡確率は 95%以上であり、1 km でも死亡確率は 80%以上であることが分かった。1.5~2 km 区間では高くはないが死亡確率があることを確認した。20 トンの場合、漏えい場所から 1.5 km までは 94%以上の死亡確率を示し、2 km での死亡確率もほぼ 70%以上であることが分かった。また、2.5~3 km 区間でも高くはないが死亡確率があることを確認した。

#### 4. 2. 2. 4 硫化水素に 60 分間曝露される場合

Table 4.13 は風速 1.5 m/s 条件の硫化水素漏えい時の死亡確率を示したものである。1 トンの建物 2 階の場合、漏えい場所から 200 m まで 90%以上の高い死亡確率を示すことが確認できたが、建物が 4 階の場合は、200 m での死亡確率は 60%以上であるが 2 階に比べて低いことが分かった。また、100 m は 100%の死亡確率を示していることが分かった。10 トンの場合は、漏えい場所から 600 m まで死亡確率が約 100%であり、800 m でもほぼ 90%以上であることが分かった。また、1 km の地点でも死亡する確率があることを確認した。20 トンの場合、漏えい場所から 1 km まではほぼ約 100%の死亡確率を示し、1.5 km でも死亡する確率があることを確認した。

Table 4.14 は平均風速条件の結果を示したものであり、1 トンの建物 2 階の場合、漏えい場所から 200 m まで死亡する確率があることを確認したが、4 階の場合、200 m の高さ 13.5 m の 2%以外に死亡確率がないことを確認した。10 トンの場合は、漏えい場所から 400 m まで死亡確率が約



100%であり、600 m では建物 2 階(約 80%以上)より 4 階(約 60%以上)のほうが低い死亡確率を示すことが分かった。また、800 m でも両方とも高くはないが死亡確率があることを確認した。20 トンの場合、漏えい場所から 600 m までは約 100%の死亡確率を示し、800 m でも 90%以上、1 km でもほぼ約 50%以上の死亡確率を示すことが分かった。

#### 4.2.3 考察

Fig. 4.2 は川崎市臨海部防災対策計画-本編 (川崎市, 2021) で示している石油コンビナートのエリア区分である。エリア 1 の場合、住居地域と非常に隣接しているため、有毒ガス漏えい事故が発生した場合には住民に影響を及ぼすと考えられる。本研究の事故シナリオの中で漏えい量が最も少ない 1 時間当たり 1 トンの場合で 30 分の曝露でも 200 m まで死亡する確率があることが確認できる。

川崎市臨海部防災対策計画の中で有毒ガス漏えい事故時の避難の流れを Fig. 4.3 に示す。漏えい事故を停止失敗した場合に事業所従業員の避難を実施し、続いて事業所外までガスが拡散する場合に隣接事業所の従業員の避難を実施する。その後にも漏えい停止を失敗する場合に周辺住民の避難を実施する流れである。しかし、前述の通りにエリア 1 は住居地域と非常に隣接しているため、隣接事業所の従業員が避難を実施する段階で少なくとも 400 m 圏内の屋外にいる住民は素早く屋内に避難する必要がある、周辺住民の避難実施の判断が出されるまで避難のために準備する必要があると考えられる。そのために、住民避難に関する情報が出される前に 400 m 圏内では緊急屋内避難に関する情報提供ができるように屋外スピーカーを活用した緊急放送に関する計画を樹立する必要があると考えられる。

#### 4.3 避難開始時間の検討

第 3 章の 3.5.4.9 で述べた避難のための準備時間は言い換えると避難開始時間であるため、その結果を基に避難開始時間に関する検討を行う。グループ化した四つの切っ掛けに対して情報伝達遅延を考慮して Table 4.15 に示すように六つの状況を想定し、有毒ガス漏えい事故の発生時間を 0 分にして事故発生から各切っ掛けの遅延時間を示したものである。例としてケース 4 の場合は事故発生から避難勧告や避難指示の情報を得る(切っ掛け②)まで 5 分の時間が掛かり、近所の人や公務員(消防・警察など)から避難の呼びかけを呼びかけられるまで 15 分、家で身の危険を感じるまで 30 分の時間が掛かる状況である。ケースごとの避難開始累積率を 15 分間隔で整理して 120 分までの結果を Table 4.16 に、Fig. 4.4 には 5 分間隔で示すことと共に Fig. 4.5 にケースごとの近似線を示す。

質問紙調査から切っ掛け②(避難勧告・指示)及び③(消防及び役所の呼びかけ)の割合が高いことが分かっているため、切っ掛け②まで情報伝達遅延がないケース 1 から 3 まで場合は 30 分で 50%以上の避難開始率を示したが、ケース 4 から 6 まででは約 30%であることが分かった。45 分では切っ掛け③の遅延時間が 20 分以内であるケース 1、2、4 においては約 70%、ケース 3、5、6 は約 60%であることが分かった。

Fig. 4.6 は東日本大震災時の避難開始に関する予測値 (松林 and 中畑, 2015) 及びヒアリング調査からの避難開始のデータ (国土交通省都市局, 2013; 熊谷 and 富田, 2015) を本研究の結果と比較

したものである。東日本大震災の避難開始時間は 30 分内で 70%以上を占めており、40 分で 90%以上になることを確認した。しかし、本研究の結果からは 30 分で約 50%、40 分で最大約 70%であることが確認でき、大きな差があることが分かった。ただし、これら既往研究の調査対象者は、本研究と異なり、生存者のみである点に留意が必要で、死者の避難開始時間を考慮すると、Fig. 4.6 の既往研究のプロットは右側へシフトする可能性もあると考えられる。

有毒ガス漏えいの事例ではないが、平成 29 年 1 月、有田市にある製油所内での火災により隣接する 1.5 km 圏内地域に避難指示が発令され、地域住民を対象に質問紙調査を行った既往研究(嶋田, 2020)によると、避難者数が最も多くなったのは避難指示発令から約 6 時間後(568 人)であり、1 時間後は 60 人、2 時間後は 202 人、3 時間後は 374 人である。このように避難指示が出されたにも関わらず避難完了まで長く時間が掛かることが分かる。無論、避難所が事故現場から約 2.5 km 程度離れているため、移動時間による影響も考えられるが、少なくとも避難開始は 5 時間も継続されたことが分かる。前述の事故事例は有毒ガス漏えい事故ではないが、火災による多量の黒煙が発生し、有毒ガスの発生も検討した上の避難指示であった。上記 4.1 節で確認したように有毒ガス漏えい事故が継続される場合、屋内濃度も危険な濃度まで徐々に増加するため、避難開始時間を繰り上げる必要があると考えられる。したがって、避難に関する情報を伝達する際に自宅で滞留する場合の危険性に関する情報を含めて伝える必要があると考えられる。

#### 4.4 住民の避難意思向上のための検討

第 3 章の住民を対象にした質問紙調査の結果から避難意思に影響を及ぼす要因は環境状況・主観的規範・有毒ガス恐怖感の三つの因子と行政の避難指示信頼度、避難の面倒さ、年齢、子供有無、要補助人数であることを明らかにした。この要因の中で要補助人数以外の項目は避難意思に正の相関を示した。

要補助人数が 2 人以上の場合、避難意思に負の影響を及ぼす。要介護度の高い高齢者の介護者が持つ介護負担に着目して避難意思決定構造について報告した柳澤 and 鷲(2016)によると、約 6 割の介護者は大地震でも避難しないと回答した。本研究での要補助人数は高齢者のみではなく未就学児も含まれており、更に高齢者に関しても要介護度の調査は行われていないため、既往研究の結果と直接的に比べることは難しいが、要補助人数の増加は負担の増加である想定すると既往研究の結果と矛盾しない結果であると言える。従って有毒ガス漏えい事故時にも要補助人数が負の影響を与えることだけでなく、避難自体を諦めることに繋がる可能性も十分あると考えられる。それに加えて、高齢者の場合に避難意思があっても周りの支援がないと避難を諦める傾向(3 章の 3.5.4.10)もある。したがって、避難意思が下がらないように又は避難を諦めないように、常に要補助人の避難支援に関する対策が必要であると考えられる。災害時要援護者避難支援制度があるため、要補助人に関する情報は行政により自治会(町内会)・自主防災組織などと共有されるが、実際の避難支援がどのような形で行われるかについて詳しく説明することで避難に関する負担軽減になると考えられる。また、化学工場またはコンビナートの関係機関では漏えい事故が発生した場合、行政と自治会(町内会)や自主防災組織などとの連携システムに関する説明も避難負担を軽減させる一つの方法であると考えられる。また、漏えい源が住居地域と隣接しており、周辺事業所

従業員の避難を決めた時、関係機関では行政や自治会などへ援護準備要請の連絡することは素早い対応に繋がる一つの方法であると考えられる。

子供がいる場合、避難意思に正の影響を及ぼす。有毒ガスに関して子供と同居している回答者のリスク認知が高いことを明らかにした既往研究(小柴 and 大谷, 2018)、同居している子供がいる場合は避難行動に影響を受けると報告した研究(Drabek, 2001)、また原発事故後に住民を対象に行われた調査でも子供と同居している方が高いリスク認知を示すと報告した研究(Houts et al., 1984)と本研究の結果は矛盾しないと言える。子供がいる人はリスク認知が高いため、子供のために災害対応として即座に避難したいと思う可能性がある(小柴 and 大谷, 2018)。このような状況は避難が必要ではない状況にも関わらず子供と共に避難行動をとる原因の一つになる可能性がある。そのため、漏えい事故や避難に関する情報を伝達する際には子供と共に住んでいる人が混乱しないよう避難行動を取る必要がない場合に限って明確に避難を要しないと明記する必要があると考えられる。

有毒ガス恐怖感及び行政の避難指示に関する信頼度の場合、避難意思に正の影響を及ぼす。しかし、有毒ガス恐怖感の増加は住居環境に対するストレスも増加し、他の地域への移住に繋がる可能性もある。そのため、有毒ガス恐怖感の低減させながら他の影響要因で避難意思の向上を目指さなければならない。避難意思には影響しないが知識因子は有毒ガス恐怖感と負の相関を示すため、近所の化学工場で取り扱う化学物質、化学物質に関する知識、漏えい事故時の対処方法に関する住民の知識向上は有毒ガス恐怖感を軽減させると考えられる。特に政府や関係機関からの近所の化学工場で取り扱う化学物質、その物質に関する簡単な知識、化学工場での事故防止策、漏えい事故時の対処方法を含めた防災教育または説明が行われる場合、有毒ガス恐怖感の軽減と共に知識の向上、さらに政府や関係機関の避難指示に関する信頼度の増加も期待できると考えられる。

嶋田(2020)の調査によると、製油所火災が発生して避難勧告が発令されたにも関わらず、避難していない人の割合は42%であり、その理由としては「自宅は安全だと思った」が46%を占めている。また、今中 et al.(2020)の研究で避難しなかった者は自治体などからのリスクや避難の呼びかけは伝わらず、行政に事故のことを問い合わせするなど、収集した情報から判断して避難しなかった可能性があることを言及した。避難意思を高めるために、大量漏えい事故が継続される場合の屋内避難の危険性や漏えい事故自体のリスクに関して住民が認知する必要がある、そのために住民向けのリスクコミュニケーションまたはワークショップを行う必要があると考えられる。津波を対象にした研究ではあるが、加藤 et al.(2009)は避難意思決定要因に基づき、疑似的な被災及び避難経験を得る方法として動画及び復元画を用いて避難に関するワークショップを行うことで避難勧告発令時の避難意向を高めることができたと報告した。従って、リスクコミュニケーションやワークショップの際に住民が疑似的な被災及び避難を経験できるように企画することは避難意思を高める一つの方法であると考えられる。

#### 4.5 避難時の移動手段に関する検討

第3章で適する移動手段として徒歩が約40%で最も多く、続いて自動車が約27%、自転車が約25%であることが分かった。東日本大震災時の住民の移動パターン及び移動距離に対する避難行

動を分析した既往研究(柳原 and 村上, 2013)によると、徒歩で移動した人の移動距離は平均約 500 m であり、自動車を用いて避難した場合は約 2.3 km を移動したと報告した。また、自動車で避難するにもかかわらず非常に遠くまで避難した場合は少なく、比較的に近い避難所に移動した場合は多く、避難所の周辺で交通渋滞が発生したと報告した。本研究の 3 章で得られた心理的安全距離の結果によると有毒ガス漏えい事故時の心理的安全距離は 3 km 以上が約 92% 占めているため、たいいて住民は前述の既往研究より比較的遠くまで避難すると考えられる。しかし、適する移動手段として徒歩が 40% を占めているため、避難の際に有毒ガスに曝露される恐れがあると考えられる。避難時の曝露危険性を防ぐためには自動車を移動手段として活用した方が安全であり、素早く避難できると考えられる。特に年代が高くなるほど徒歩の選考度が高まる傾向が見られ、濃度が集中される 1 km 圏内の場合は短い時間でも高濃度のガスを吸入する可能性が高いため、自動車で即座に避難する方が望ましいと考えられる。しかし、避難の際に交通渋滞などの問題が生じる可能性があるため、警察の協力を得て交通制御する必要がある、長距離避難の避難も想定した上、県域間の連携(梅本, 2011)も重要であると考えられる。また、避難先の周辺道路で交通渋滞が発生しないように避難所の位置を分散させる方が望ましく、行政や関係機関では事前に自動車避難に関する検討を行う必要もあると考えられる。

#### 4.6 情報伝達方法に関する検討

第 3 章で適する情報伝達手段(複数回答不可)として消防や警察からの呼びかけ(約 31%)が最も多く、続いて TV(約 20%)、携帯メールサービス(約 18%)、屋外スピーカー(約 17%)の順で多いことが分かった。有毒ガス漏えい事故ではなく製油所の火災による住民避難ではあるが、嶋田(2020)の調査結果によると、避難指示に関する情報取得(複数回答可)は市役所・消防の広報車から 30%、防災無線から 23%、家族・友人・知人から 17% を占めており、津波発生時の調査研究(加藤 and 諏訪, 2011)によると、テレビから 81%、広報車・消防車から 55%、屋外拡声器から 35% を占めている(複数回答可)ことが報告されている。また、神戸市東灘区で発生した地震後の LP ガス漏えい事故(梅本 et al., 2005)ではラジオから 30%、近隣の住人から 28%、消防車・パトカー 27% を占めていることが報告されている。有毒ガス漏えい事故時の住民の避難状況ではない異なる災害状況でも本研究から得られた情報伝達手段の結果と類似な傾向が見られ、災害状況や避難に関する情報を消防・警察や行政から素早く伝達することは非常に重要であると言える。

情報伝達手段によって得られる情報内容は異なるため(梅本 et al., 2005)、住民の立場では避難を行う際に十分な情報を得られない可能性もあると考えられる。そのため、情報を伝達する際に住民が要望する情報を含めて伝達する必要があると考えられる。今中 et al.(2020)の研究によると、災害発生直後に必要な情報として、事業所における被害の状況、避難指示・勧告、避難場所、交通制御に関する要望の割合が高いと報告した。本研究では要望する情報内容までは調査されていないが、前述の調査(今中 et al., 2020)は化学工場周辺の特別防災地域住民を対象に行われているため、本研究の調査対象とも一致していると言える。従って、情報伝達の際に被害状況、避難指示・勧告、避難場所や区域、交通制御に関する情報を含めて発信することと共に屋内避難時の危険性についても伝達する必要があると考えられる。

#### 4.7 第4章のまとめ

本章では屋内避難時の曝露濃度、屋外曝露による死亡確率、避難開始時間、避難意思向上、移動手段、情報伝達方法について考察及び提言をした。第4章で得られた知見は以下の通りである。

- (1) 第2章で得られた濃度データを用いて屋内濃度変化について検討した結果、漏えいが継続される事故の場合、漏えい量が1時間当たり1トンの場合でも屋内の1時間平均濃度は400から600m圏内までAEGL-2以上になり、1時間経過時点からは600m圏内までAEGL-2以上になることが確認できた。そのため、停止失敗による継続漏えい状況になった場合には周辺住民に屋外避難に関する情報を素早く提供する必要がある。特に、避難開始までの準備に時間が掛かることを考慮すると、少なくとも漏えい源から500m圏内の住民には最小限の準備の上、素早く安全な区域へ避難することを伝える必要があると考えられる。
- (2) 第2章で得られた濃度データを用いて屋外曝露による死亡確率を検討した結果、1時間当たり1トンの場合に30分の曝露でも200mまで死亡する確率があることが確認できた。漏えい事故を停止失敗した場合に隣接事業所の従業員が避難を実施する段階で少なくとも400m圏内の屋外にいる住民は素早く屋内に避難し、行政や関係機関から周辺住民の避難実施の判断が出るまで避難のための準備をする必要があると考えられる。また、そのための屋外スピーカーを活用した緊急放送に関する計画を樹立する必要があると考えられる。
- (3) 第3章で得られた避難のための準備時間データを用いて避難開始時間を検討した結果、東日本大震災の避難開始時間は30分内で70%以上を占めていることに比べて、本研究の結果からは30分で約50%、40分で最大約70%であることが確認でき、大きな差があることが分かった。避難に関する情報を伝達する際に自宅で滞留する場合の危険性に関する情報を含めて伝えて避難開始時間を繰り上げる必要があると考えられる。
- (4) 第3章で得られた避難行動意思構造を基に住民の避難意思向上のための検討をした結果、要補助人数が2人以上の場合、避難意思に負の影響を及ぼすことと共に高齢者の場合には避難意思はあっても周りの支援がないと避難を諦める傾向があるため、住民に実際の避難支援がどのような形で行われるかを詳しく説明して避難に関する負担を軽減させる必要がある。行政と自治会(町内会)や自主防災組織などとの連携システムに関する説明も避難負担を軽減させる一つの方法であると考えられる。
- (5) 子供がいる人はリスク認知が高いため、避難が必要ではない状況にも関わらず子供と共に避難行動をとる可能性がある。そのため、漏えい事故や避難に関する情報を伝達する際には子供と同居している人が混乱しないよう避難行動を取る必要がない場合には明確に避難を要しないと明記する必要があると考えられる。

- (6) 有毒ガス恐怖感の増加は住居環境に対するストレスも増加するため、有毒ガス恐怖感の低減させる必要がある。住民の知識向上は有毒ガス恐怖感を軽減させる化学工場での事故防止策、漏えい事故時の対処方法を含めた防災教育または説明が行われる場合、有毒ガス恐怖感の軽減と共に知識の向上、さらに政府や関係機関の避難指示に関する信頼度の増加も期待できると考えられる。更にリスクコミュニケーションやワークショップの際に住民が疑似的な被災及び避難を経験できるように企画することは避難意思を高める一つの方法であると考えられる。
- (7) 第3章で得られた避難時の移動手段に基づいて検討した結果、適する移動手段として徒歩が40%を占めているため、避難の際に有毒ガスに曝露される恐れがある。避難時の曝露される危険性を防ぐためには自動車を移動手段として活用した方が安全であり、素早く避難できると考えられる。特に濃度が集中される1km圏内の場合には短い時間でも高濃度のガスを吸入する可能性が高いため、渋滞などによる閉塞に留意する必要があるが、自動車で即座に避難する方が望ましいと考えられる。
- (8) 第3章で得られた情報伝達方法に基づいて検討した結果、災害状況や避難に関する情報を消防・警察や行政から素早く伝達することは非常に重要であり、情報伝達の際に被害状況、避難指示・勧告、避難場所や区域、交通制御に関する情報を含めて発信することと共に屋内避難時の危険性についても伝達する必要があると考えられる。

第2章と第3章で得られた結果を基に住民避難に関する考察及び提言した。有毒ガス漏えい事故時の住民避難に関する研究はほぼ行われていないため、本章で得られた知見は行政や関係機関で漏えい事故発生時の避難計画を策定する際に基礎的な資料として活用できる考えられる。

#### 第4章の参考文献

Crowl, D. A., Louvar, J. F. (2012) Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications, Pearson Higher Education, pp.76~80

Drabek, T.E. (2001) Disaster warning and evacuation responses by private business employees, Disasters, 25, pp.76-94

Finney, D. J., Ed. (1952) Probit Analysis, Cambridge, England, Cambridge University Press.

Glickman, T.S., Ujihara, A.M. (1990) Deciding between in-place protection and evacuation in toxic vapor cloud emergencies, Journal of Hazardous Materials, Vol.23, pp.57-72

Greenberg, B.G. (1980) Chester I. Bliss, 1899-1979, International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique, Vol.48, No.1, pp.135-136.

Houts, P.S., Lindell, M.K., Hu, T.W., Cleary, P.D., Tokuhata, G., Flynn, C.B. (1984) The protective action decision model applied to evacuation during the Three Mile Island crisis, Int. J. Mass Emerg. Disast., 2, pp. 27-40

Lee, H.T. (2020) Estimation of the relative risk of the sensitive groups in a toxic gas leakage accident, master thesis, Aju Univ., pp.24-28

Perry, W.W., Articola, W.P. (1980) Study to modify the vulnerability model of the risk management system. Final report, Enviro Control, Inc., Rockville, MD (USA), AD-A-084214k, pp.C1-C12

Vincent Kim, Probit Analysis

今中厚志, 村山武彦, 錦澤滋雄, 長岡篤 (2020) 化学工場における災害時の地方自治体の避難指示に対する周辺住民の行動—石油コンビナート等特別防災区域を対象として—, 環境情報科学 学術研究論文集, Vol.34, pp.79-84

梅本通孝 (2011) 県域間に及ぶような長距離避難における住民の避難手段選択に関する研究, 都市計画論文集, 日本都市計画学会, Vol.46, No.3, pp.132-142

梅本通孝, 熊谷良雄, 石上努, 村松健 (2005) 兵庫県南部地震後の神戸市東灘区 LP ガス漏えい事故による住民避難の要因分析, 地域安全学会論文集, 地域安全学会, Vol.7, pp.341-350

加藤史訓, 諏訪義雄, 桜井厚, 安藤章, 川除隆広 (2009) 避難意思決定要因に基づく津波避難ワークショップの効果分析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.65, No.1, pp.1356-1360

加藤史訓, 諏訪義雄 (2011) 2010年チリ地震津波からの釧路市民の避難に関する調査, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.67, No.2, I\_1271-1275

川崎市 (2020) 川崎市臨海部防災対策計画一本編, 川崎市総務企画局危機管理室, pp.110-116

国土交通省都市局 (2013) 津波避難を想定した避難路、避難施設の配置及び避難誘導について(第3版), pp.18-65

熊谷謙太郎, 富田孝史 (2015) 津波避難開始時間の数理モデル, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.71, No.5, I\_171-180

小柴佑介, 大谷英雄 (2018) 化学プラント周辺住民のフィジカルハザードに係るリスク認知, 安全工学, 57-2, pp.145-154

嶋田博之 (2020) 製油所火災における住民避難について, 安全工学, 安全工学会, Vol.59, No.2, pp.103-107

松林由里子, 中畑摩耶 (2015) 東日本大震災における岩手県野田村での歩道と自動車による避難行動について, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.71, No.2, I\_1627-1632

松原斎樹, 澤島智明 (2009) 「高断熱高気密住宅」と「風の通る家」は矛盾しない, 廃棄物資源循環学会誌, Vol.20, No.3, pp.101-107

柳澤幸夫, 鶯春夫 (2016) 在宅における介護負担が津波避難の意思決定に及ぼす影響, (公財) 在宅医療助成勇美記念財団, pp. 1-13

柳原純夫, 村上ひとみ (2013) 東日本大震災における石巻市内での避難行動—移動パターン・移動距離からの分析—, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.69, No.4 (地震工学論文集第32巻), I\_1013-1020



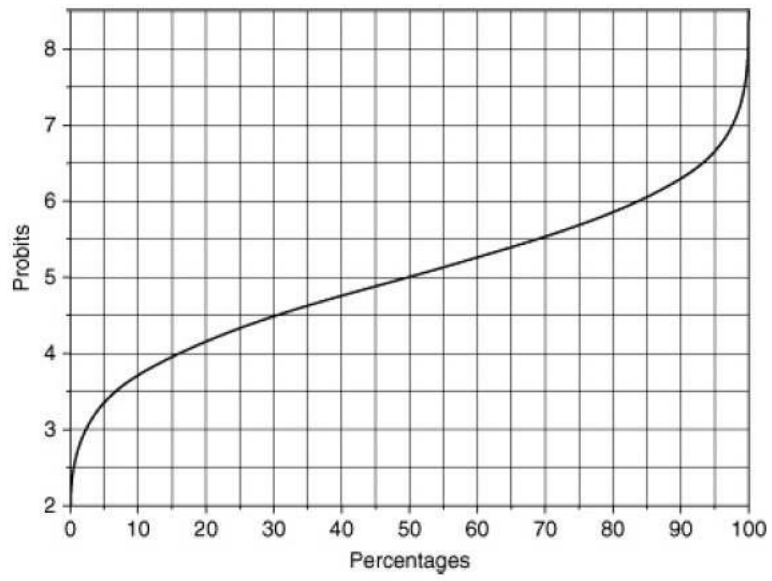


Fig. 4.1 The probit function (adopted from Crowl and Louvar, 2012)

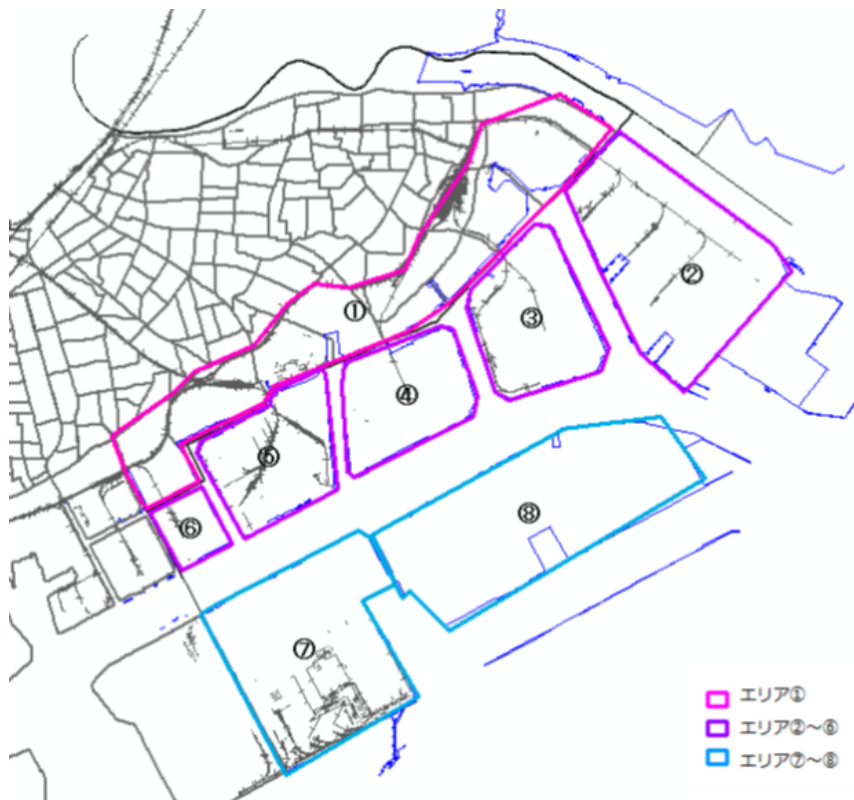


Fig. 4.2 Area division of petrochemical complex in Kawasaki-ku (adopted from 川崎市, 2020)

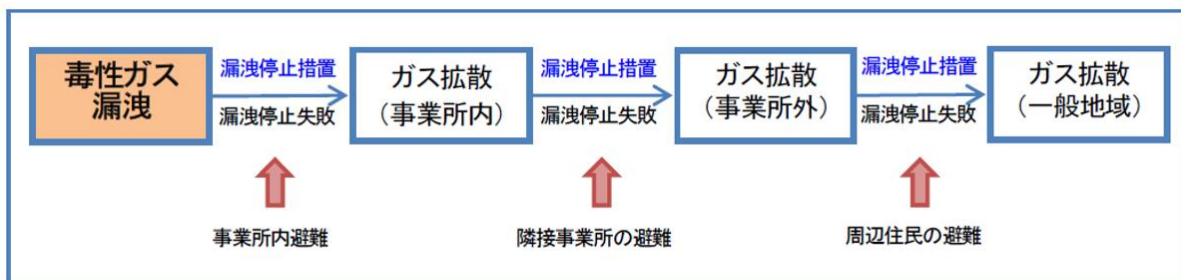


Fig. 4.3 Flow of evacuation in case of toxic gas release (adopted from 川崎市, 2020)

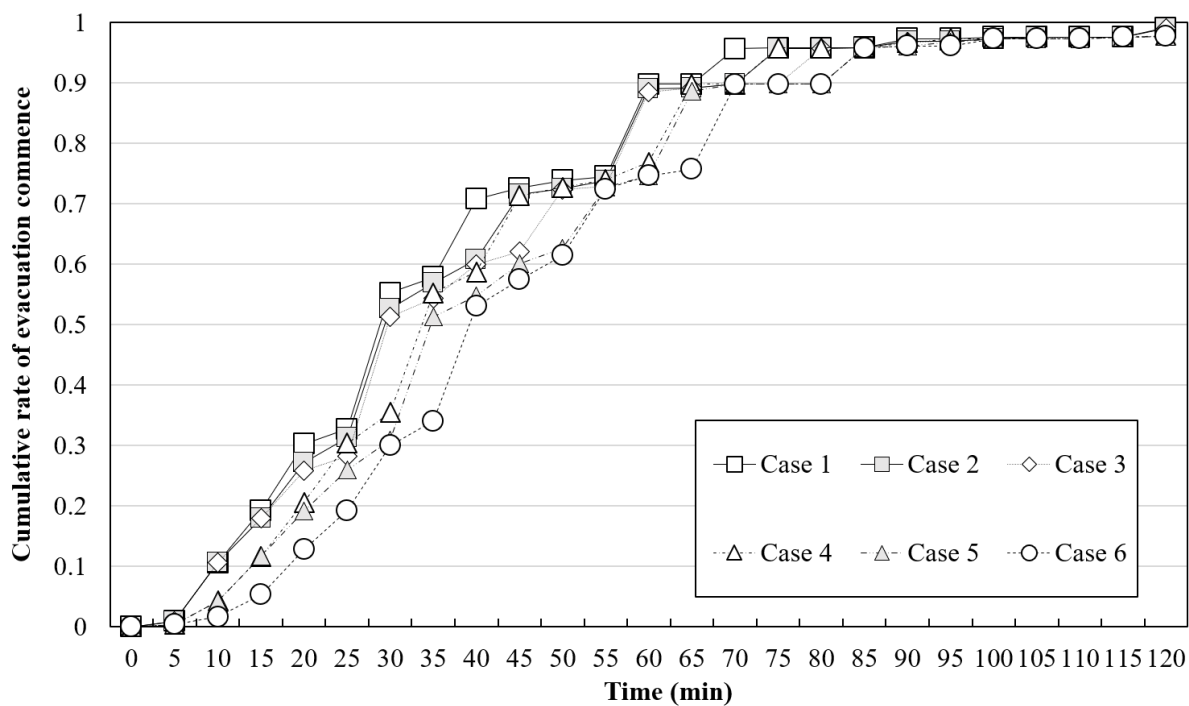


Fig. 4.4 Cumulative rate of evacuation commencement for each case

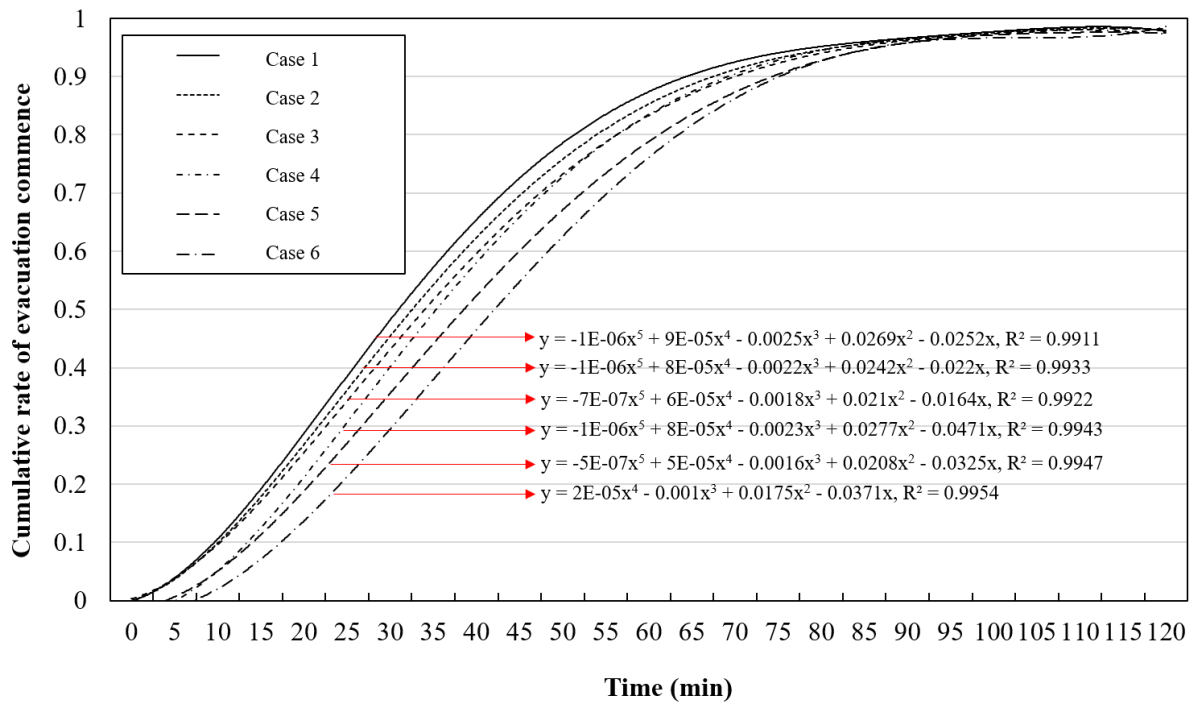


Fig. 4.5 Approximating line of Cumulative rate of evacuation commence for each case

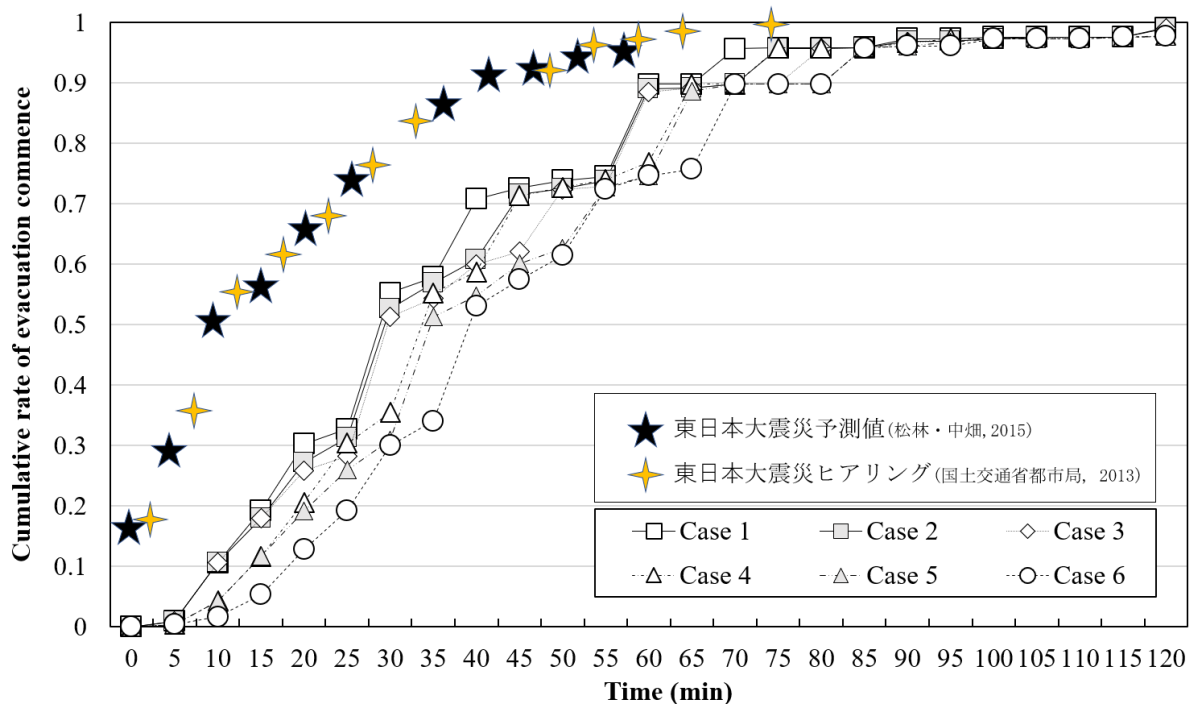


Fig. 4.6 Comparison of evacuation commence with earthquake and tsunami disaster

**Table 4.1 Result of average indoor concentration for 1 hour (HF, average wind speed= 3.57 m/s)**

(ppm)

HF	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	135.1	55.3	28.4	13.1	8.9	6.1	3.3	2.2	1.6	1.2
	4.5	315.2	66.6	30.1	13.7	9.0	6.2	3.4	2.2	1.6	1.2
	7.5	290.4	76.3	30.8	14.1	9.0	6.2	3.4	2.2	1.6	1.2
	13.5		96.2	26.7	14.3	8.9	6.2	3.3	2.2	1.6	1.2
	28.5			3.7	6.4	4.9	4.0	2.6	1.8	1.3	1.0
1ton 4F	1.5	135.1	55.3	28.4	13.1	8.9	6.1	3.3	2.2	1.6	1.2
	4.5	189.6	49.4	17.8	10.8	7.7	5.4	2.8	2.0	1.5	1.2
	7.5	225.1	51.0	18.0	10.9	7.7	5.4	2.8	2.0	1.5	1.2
	13.5	45.3	62.2	18.7	11.2	7.6	5.4	2.9	2.0	1.5	1.2
	28.5			10.9	7.6	4.8	3.7	2.5	1.8	1.4	1.1
10ton 2F	1.5	374.4	228.1	178.0	96.1	74.5	54.9	31.2	22.3	16.3	12.3
	4.5	1143.7	279.4	195.7	102.9	76.1	55.4	31.5	22.3	16.3	12.3
	7.5	1777.6	322.1	208.6	108.5	77.0	55.9	32.0	22.3	16.4	12.3
	13.5	651.9	581.4	236.1	128.0	81.5	57.2	31.9	22.0	16.1	12.2
	28.5			83.8	92.8	58.2	44.7	27.7	19.2	14.0	10.8
10ton 4F	1.5	374.6	228.0	178.0	96.1	74.5	54.9	31.2	22.3	16.3	12.3
	4.5	943.9	156.1	90.9	74.3	60.7	48.1	29.3	22.1	16.3	13.0
	7.5	1236.7	175.8	95.4	76.5	61.6	48.7	29.7	22.1	16.4	13.0
	13.5	1530.1	274.2	116.2	86.1	65.2	50.6	31.5	22.3	16.7	12.9
	28.5		208.9	181.8	92.9	63.2	47.2	29.4	21.0	15.5	12.1
20ton 2F	1.5	417.9	216.4	144.2	126.1	118.6	92.5	59.4	42.9	32.1	24.6
	4.5	1055.1	260.4	154.0	135.8	120.6	94.0	60.3	42.9	32.2	24.5
	7.5	1571.8	302.4	168.9	142.0	123.0	95.1	61.2	42.9	32.2	24.5
	13.5	3597.4	715.0	263.7	178.5	134.0	99.5	62.0	42.9	31.7	24.2
	28.5		54.8	411.7	205.4	119.8	89.9	55.5	37.9	27.6	21.5
20ton 4F	1.5	418.2	216.3	144.2	126.2	118.6	92.5	59.4	42.9	32.1	24.6
	4.5	1012.3	114.4	148.3	138.4	117.7	92.7	58.1	43.8	32.5	25.9
	7.5	1352.0	130.6	157.3	142.4	119.9	93.7	58.9	43.9	32.7	25.9
	13.5	2991.2	256.1	203.6	161.9	127.3	97.7	62.5	44.4	33.2	25.9
	28.5		571.2	347.7	186.7	125.8	96.5	60.1	41.7	30.7	23.9

AEGL-3    AEGL-2    AEGL-1

**Table 4.2 Result of indoor concentration after 1 hour (HF, average wind speed= 3.57 m/s)**

(ppm)

HF	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	249.5	102.2	52.5	24.2	16.5	11.3	6.2	4.1	2.9	2.2
	4.5	581.9	123.0	55.5	25.3	16.6	11.5	6.2	4.1	2.9	2.2
	7.5	536.2	140.8	56.8	26.0	16.7	11.5	6.3	4.1	2.9	2.2
	13.5		177.7	49.2	26.3	16.4	11.4	6.2	4.0	2.9	2.2
	28.5			6.8	11.8	9.0	7.3	4.8	3.3	2.5	1.9
1ton 4F	1.5	249.4	102.2	52.4	24.2	16.5	11.3	6.2	4.1	2.9	2.2
	4.5	350.0	91.1	32.8	19.9	14.1	10.0	5.2	3.7	2.7	2.2
	7.5	415.6	94.1	33.3	20.1	14.2	10.1	5.3	3.7	2.7	2.2
	13.5	83.7	114.9	34.5	20.6	14.0	9.9	5.4	3.7	2.8	2.2
	28.5			20.2	14.0	8.8	6.9	4.6	3.4	2.5	2.0
10ton 2F	1.5	691.3	421.1	328.7	177.4	137.6	101.3	57.6	41.1	30.1	22.6
	4.5	2111.5	515.9	361.4	190.0	140.6	102.3	58.1	41.2	30.1	22.7
	7.5	3281.9	594.6	385.0	200.4	142.2	103.2	59.1	41.3	30.2	22.7
	13.5	1203.6	1073.5	435.9	236.3	150.4	105.6	58.9	40.7	29.6	22.5
	28.5			154.7	171.4	107.4	82.6	51.2	35.4	25.8	20.0
10ton 4F	1.5	691.4	421.1	328.7	177.4	137.6	101.3	57.6	41.1	30.1	22.6
	4.5	1742.6	288.1	167.8	137.3	112.1	88.9	54.2	40.8	30.1	24.1
	7.5	2283.2	324.6	176.1	141.3	113.7	89.9	54.9	40.8	30.2	24.1
	13.5	2824.9	506.3	214.5	158.9	120.3	93.5	58.2	41.1	30.9	23.9
	28.5		385.8	335.6	171.5	116.6	87.2	54.3	38.7	28.6	22.4
20ton 2F	1.5	771.6	399.4	266.3	232.9	219.0	170.9	109.6	79.2	59.3	45.4
	4.5	1948.0	480.8	284.4	250.7	222.6	173.5	111.3	79.2	59.4	45.3
	7.5	2901.9	558.2	311.8	262.1	227.0	175.6	113.1	79.3	59.5	45.3
	13.5	6641.7	1320.1	486.8	329.5	247.5	183.7	114.5	79.2	58.6	44.6
	28.5		101.2	760.1	379.2	221.2	166.0	102.4	69.9	50.9	39.6
20ton 4F	1.5	771.8	399.4	266.3	232.9	219.0	170.9	109.6	79.2	59.3	45.4
	4.5	1868.9	211.1	273.8	255.4	217.3	171.2	107.2	80.8	60.0	47.8
	7.5	2496.2	241.1	290.4	263.0	221.3	173.1	108.7	81.0	60.3	47.8
	13.5	5522.6	472.8	375.8	299.0	235.0	180.4	115.3	82.0	61.4	47.8
	28.5		1054.6	641.9	344.7	232.3	178.1	110.9	77.0	56.6	44.1

AEGL-3    AEGL-2    AEGL-1

**Table 4.3 Result of average indoor concentration for 1 hour (H<sub>2</sub>S, wind speed= 1.5m/s)**

(ppm)

H <sub>2</sub> S	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	281.4	100.0	37.7	17.1	10.5	6.8	3.4	2.1	1.5	1.1
	4.5	303.7	108.1	37.5	17.1	10.4	6.8	3.4	2.1	1.5	1.1
	7.5	183.7	112.7	36.8	17.0	10.2	6.7	3.4	2.1	1.5	1.1
	13.5	0.3	79.6	25.0	14.2	8.8	6.2	3.3	2.1	1.4	1.1
	28.5			1.8	3.2	3.2	3.1	2.5	1.7	1.3	0.9
1ton 4F	1.5	281.4	100.0	37.6	17.1	10.5	6.8	3.4	2.1	1.5	1.1
	4.5	312.5	66.9	23.1	13.6	9.6	6.9	3.7	2.4	1.6	1.2
	7.5	285.4	68.9	23.3	13.7	9.7	6.9	3.7	2.4	1.6	1.2
	13.5	13.7	77.6	23.7	14.2	9.7	6.9	3.7	2.4	1.6	1.2
	28.5		0.3	9.5	9.7	6.5	5.0	3.1	2.1	1.4	1.0
10ton 2F	1.5	1638.0	662.6	262.7	126.8	79.9	54.8	28.2	17.7	12.3	8.8
	4.5	1064.7	631.3	276.2	128.2	79.2	54.6	28.4	17.7	12.3	8.8
	7.5	530.1	597.7	274.5	126.9	77.6	53.8	28.3	17.8	12.2	8.8
	13.5	0.7	73.2	174.5	101.1	66.0	48.2	27.3	17.5	12.0	8.7
	28.5			2.3	15.9	21.8	24.2	19.0	13.9	10.1	7.2
10ton 4F	1.5	1637.9	662.5	262.7	126.8	79.9	54.8	28.2	17.7	12.3	8.8
	4.5	1360.7	471.3	163.7	114.7	86.9	64.2	35.1	22.4	15.4	11.3
	7.5	820.3	473.2	165.0	116.0	87.0	64.1	34.9	22.4	15.3	11.3
	13.5	7.4	469.7	172.0	121.2	85.4	62.7	33.9	22.0	15.1	11.2
	28.5		15.5	67.8	65.3	48.0	39.3	26.2	18.2	12.9	9.9
20ton 2F	1.5	2460.2	1180.7	549.5	279.7	163.1	106.5	53.1	32.3	20.9	15.1
	4.5	1734.6	1171.9	536.6	277.2	160.2	104.7	52.8	32.3	21.0	15.2
	7.5	888.2	1156.1	515.6	270.8	155.7	100.6	52.7	32.3	21.0	15.2
	13.5	1.2	435.5	303.1	192.0	120.2	85.9	49.8	31.4	20.7	15.0
	28.5			6.0	21.3	24.1	32.0	32.2	24.5	18.0	13.0
20ton 4F	1.5	2459.5	1180.4	549.4	279.6	163.1	106.5	53.1	32.3	20.9	15.1
	4.5	1831.8	762.1	300.3	213.8	159.7	117.5	64.2	40.1	27.4	19.7
	7.5	1240.1	766.1	300.7	215.1	159.3	116.9	63.8	39.9	27.3	19.7
	13.5	14.0	742.4	300.4	217.9	154.6	113.9	62.5	39.1	26.6	19.3
	28.5		22.3	121.6	109.7	81.7	66.5	44.7	31.0	22.3	16.8

AEGL-3    AEGL-2    AEGL-1

**Table 4.4 Result of indoor concentration after 1 hour (H<sub>2</sub>S, wind speed= 1.5m/s)**

(ppm)

H <sub>2</sub> S	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	519.5	184.6	69.5	31.6	19.4	12.5	6.3	3.9	2.7	2.0
	4.5	560.7	199.6	69.2	31.6	19.2	12.5	6.3	3.9	2.7	2.0
	7.5	339.2	208.2	67.9	31.5	18.8	12.4	6.3	3.9	2.7	2.0
	13.5	0.5	147.0	46.1	26.3	16.2	11.4	6.1	3.8	2.6	1.9
	28.5			3.3	6.0	5.9	5.7	4.5	3.2	2.3	1.7
1ton 4F	1.5	519.5	184.6	69.5	31.6	19.4	12.5	6.3	3.9	2.7	2.0
	4.5	577.0	123.6	42.7	25.1	17.8	12.7	6.8	4.4	3.0	2.2
	7.5	526.9	127.2	43.1	25.4	17.9	12.8	6.8	4.4	3.0	2.2
	13.5	25.4	143.3	43.7	26.3	18.0	12.8	6.9	4.4	2.9	2.2
	28.5		0.6	17.6	17.9	12.0	9.2	5.8	3.8	2.5	1.9
10ton 2F	1.5	3024.1	1223.3	485.1	234.0	147.4	101.2	52.0	32.6	22.8	16.3
	4.5	1965.8	1165.5	510.0	236.7	146.2	100.9	52.4	32.7	22.7	16.3
	7.5	978.8	1103.5	506.8	234.3	143.2	99.4	52.3	32.8	22.5	16.3
	13.5	1.4	135.2	322.2	186.6	121.9	88.9	50.4	32.2	22.1	16.1
	28.5			4.3	29.3	40.2	44.6	35.1	25.7	18.6	13.3
10ton 4F	1.5	3024.1	1223.2	485.0	234.0	147.4	101.2	52.0	32.6	22.8	16.3
	4.5	2512.2	870.1	302.3	211.7	160.4	118.5	64.9	41.4	28.3	20.8
	7.5	1514.5	873.6	304.7	214.1	160.5	118.4	64.5	41.4	28.2	20.8
	13.5	13.6	867.2	317.5	223.7	157.7	115.8	62.7	40.6	27.9	20.7
	28.5		28.6	125.2	120.6	88.7	72.6	48.4	33.6	23.8	18.3
20ton 2F	1.5	4542.2	2179.8	1014.5	516.4	301.2	196.5	98.0	59.7	38.6	28.0
	4.5	3202.4	2163.6	990.7	511.8	295.8	193.3	97.6	59.7	38.8	28.1
	7.5	1639.8	2134.5	952.0	500.0	287.4	185.8	97.3	59.6	38.8	28.0
	13.5	2.3	804.1	559.5	354.5	221.9	158.5	92.0	58.0	38.3	27.7
	28.5			11.0	39.4	44.4	59.0	59.5	45.2	33.2	24.0
20ton 4F	1.5	4541.7	2179.6	1014.4	516.3	301.2	196.5	98.0	59.7	38.6	28.0
	4.5	3381.9	1407.1	554.5	394.8	294.9	217.0	118.6	74.0	50.6	36.4
	7.5	2289.6	1414.5	555.1	397.1	294.0	215.8	117.8	73.7	50.3	36.3
	13.5	25.9	1370.6	554.7	402.4	285.5	210.3	115.4	72.1	49.1	35.7
	28.5		41.2	224.6	202.6	150.8	122.8	82.6	57.2	41.1	31.1

AEGL-3    AEGL-2    AEGL-1

**Table 4.5 Result of average indoor concentration for 1 hour (H<sub>2</sub>S, average wind speed= 3.57 m/s)**

(ppm)

H <sub>2</sub> S	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	85.5	44.6	16.6	8.0	5.2	3.6	1.9	1.3	1.0	0.7
	4.5	169.5	51.1	17.2	8.2	5.3	3.6	1.9	1.3	1.0	0.7
	7.5	136.9	56.7	17.4	8.2	5.2	3.6	2.0	1.3	1.0	0.7
	13.5	0.1	45.5	14.5	7.8	4.9	3.5	1.9	1.3	0.9	0.7
	28.5			1.6	3.4	2.6	2.3	1.5	1.1	0.8	0.6
1ton 4F	1.5	85.5	44.6	16.6	8.0	5.2	3.6	1.9	1.3	1.0	0.7
	4.5	117.4	30.5	10.8	6.4	4.5	3.2	1.7	1.2	0.8	0.7
	7.5	133.1	31.1	11.0	6.5	4.5	3.2	1.7	1.2	0.9	0.7
	13.5	16.5	35.4	11.1	6.6	4.4	3.1	1.7	1.2	0.9	0.7
	28.5			5.2	4.1	2.7	2.1	1.4	1.0	0.8	0.6
10ton 2F	1.5	1153.8	499.1	161.8	72.9	45.9	31.5	16.6	11.6	8.5	6.5
	4.5	1352.3	521.5	164.9	73.6	45.3	31.3	16.8	11.5	8.5	6.5
	7.5	856.3	537.5	164.4	73.1	44.5	31.0	16.9	11.5	8.5	6.5
	13.5	1.1	195.2	116.2	62.4	38.6	28.6	16.3	11.2	8.4	6.4
	28.5			6.1	14.8	16.8	16.5	12.8	9.5	7.2	5.7
10ton 4F	1.5	843.7	292.5	104.0	61.1	43.1	31.1	16.2	11.7	8.3	6.6
	4.5	1204.3	301.2	106.1	61.8	43.2	31.1	16.4	11.7	8.3	6.6
	7.5	1222.5	305.8	107.3	62.1	43.1	31.1	16.5	11.7	8.4	6.6
	13.5	81.9	327.8	107.0	62.5	42.2	30.3	16.9	11.6	8.4	6.5
	28.5			41.7	37.0	25.6	20.8	14.1	10.2	7.6	6.0
20ton 2F	1.5	2547.2	885.6	286.9	133.5	85.6	59.2	32.0	22.3	16.2	12.6
	4.5	2168.4	891.6	292.3	135.5	85.0	59.2	32.2	22.2	16.3	12.6
	7.5	1148.5	883.1	288.8	134.7	83.8	58.6	32.3	22.2	16.3	12.6
	13.5	1.6	134.9	183.8	111.4	73.9	54.3	31.4	21.6	16.0	12.4
	28.5			2.0	22.9	29.8	30.2	24.5	18.4	14.0	11.0
20ton 4F	1.5	2546.4	885.5	286.8	133.5	85.6	59.2	32.0	22.3	16.2	12.6
	4.5	2372.1	614.0	196.9	119.6	84.5	61.4	32.9	23.3	16.9	13.4
	7.5	2158.0	617.5	199.0	120.7	84.6	61.4	33.1	23.3	17.0	13.4
	13.5	79.0	647.7	203.9	123.1	83.6	60.3	33.9	23.1	17.2	13.3
	28.5			96.4	72.6	52.4	41.8	28.3	20.6	15.6	12.1

AEGL-3    AEGL-2    AEGL-1



**Table 4.6 Result of indoor concentration after 1 hour (H<sub>2</sub>S, average wind speed= 3.57 m/s)**

(ppm)

H <sub>2</sub> S	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	157.9	82.3	30.6	14.7	9.7	6.7	3.5	2.4	1.8	1.3
	4.5	313.0	94.3	31.7	15.1	9.7	6.7	3.6	2.4	1.8	1.3
	7.5	252.7	104.7	32.1	15.2	9.7	6.7	3.6	2.4	1.8	1.3
	13.5	0.2	84.0	26.7	14.4	9.1	6.4	3.5	2.4	1.7	1.3
	28.5			3.0	6.2	4.8	4.2	2.8	2.0	1.5	1.2
1ton 4F	1.5	157.9	82.3	30.6	14.7	9.7	6.7	3.5	2.4	1.8	1.3
	4.5	216.7	56.3	20.0	11.8	8.3	5.9	3.1	2.2	1.6	1.3
	7.5	245.8	57.4	20.2	12.0	8.3	5.9	3.1	2.2	1.6	1.3
	13.5	30.4	65.3	20.4	12.3	8.2	5.7	3.2	2.2	1.6	1.3
	28.5			9.6	7.5	4.9	3.8	2.6	1.9	1.5	1.2
10ton 2F	1.5	2130.3	921.5	298.7	134.5	84.8	58.1	30.7	21.4	15.7	12.0
	4.5	2496.6	962.8	304.4	135.9	83.7	57.8	31.1	21.3	15.7	12.0
	7.5	1581.0	992.4	303.5	134.9	82.1	57.3	31.3	21.2	15.8	12.0
	13.5	2.0	360.3	214.6	115.2	71.2	52.9	30.1	20.7	15.5	11.9
	28.5			11.3	27.4	30.9	30.5	23.6	17.6	13.3	10.5
10ton 4F	1.5	1557.7	540.1	191.9	112.9	79.6	57.4	29.9	21.6	15.3	12.2
	4.5	2223.4	556.0	195.9	114.1	79.8	57.4	30.2	21.5	15.4	12.2
	7.5	2257.1	564.6	198.0	114.7	79.6	57.4	30.4	21.5	15.4	12.2
	13.5	151.2	605.2	197.6	115.4	77.9	55.9	31.2	21.4	15.6	12.1
	28.5			77.1	68.4	47.2	38.5	26.0	18.8	14.1	11.1
20ton 2F	1.5	4702.7	1635.1	529.6	246.4	158.0	109.3	59.1	41.1	29.9	23.3
	4.5	4003.5	1646.1	539.7	250.1	156.9	109.4	59.5	41.1	30.1	23.3
	7.5	2120.5	1630.4	533.2	248.6	154.8	108.2	59.6	40.9	30.1	23.2
	13.5	2.9	249.1	339.3	205.7	136.5	100.2	58.0	39.8	29.5	22.9
	28.5			3.8	42.3	54.9	55.8	45.2	34.0	25.8	20.3
20ton 4F	1.5	4702.2	1635.0	529.6	246.4	158.0	109.3	59.1	41.1	29.9	23.3
	4.5	4379.6	1133.7	363.5	220.9	155.9	113.4	60.7	43.0	31.2	24.8
	7.5	3984.2	1140.1	367.4	222.9	156.2	113.3	61.2	43.0	31.3	24.8
	13.5	145.9	1195.8	376.5	227.2	154.4	111.4	62.6	42.7	31.8	24.6
	28.5			177.9	134.0	96.8	77.3	52.3	38.1	28.9	22.3

AEGL-3    AEGL-2    AEGL-1

**Table 4.7 Conversion of Probit to fatality data (adopted for Crowl and Louvar, 2012)**

<b>%</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>0</b>	-	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
<b>10</b>	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
<b>20</b>	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
<b>30</b>	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
<b>40</b>	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
<b>50</b>	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
<b>60</b>	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
<b>70</b>	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
<b>80</b>	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
<b>90</b>	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
<b>%</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>
<b>99</b>	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09

**Table 4.8 Probit coefficients for toxic chemical lethality (adopted for Perry and Articola, 1980)**

Chemical	Exponent of concentration ( <i>n</i> )	Constant ( <i>k</i> <sub>1</sub> )	Slope ( <i>k</i> <sub>2</sub> )
Acrolein	1.00	-9.9315	2.0488
Acrylonitrile	1.43	-29.4224	3.008
Ammonia	1.36	-28.33	2.27
Carbon tetrachloride	2.50	-6.29	0.408
Chlorine	2.64	-36.45	3.13
Hydrogen chloride	1.00	-16.85	2.00
Hydrogen cyanide	1.43	-29.4224	3.008
Hydrogen fluoride	1.00	-25.8689	3.3545
Hydrogen sulfide	1.43	-31.42	3.008
Methyl bromide	1.00	-56.81	5.27
Phosgene	1.00	-19.2736	3.6861
Propylene oxide	2.00	-7.415	0.509
Sulfur dioxide	1.00	-15.670	2.10
Toluene	2.50	-6.794	0.408

**Table 4.9 Result of mortality rate from exposure for 30 minutes (HF, average wind speed= 3.57 m/s) (%)**

HF	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	98.5	20.7	-	-	-	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	42.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	60.3	-	-	-	-	-	-	-	-
	13.5	-	85.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1ton 4F	1.5	97.5	8.3	-	-	-	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	11.6	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	13.8	-	-	-	-	-	-	-	-
	13.5	7.0	33.7	-	-	-	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10ton 2F	1.5	100.0	100.0	100.0	84.8	57.0	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	89.7	60.0	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	92.4	61.3	-	-	-	-	-
	13.5	100.0	100.0	100.0	97.3	68.3	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	72.0	82.0	25.7	-	-	-	-	-
10ton 4F	1.5	100.0	97.8	73.0	51.0	28.7	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	99.7	80.3	56.7	31.0	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	99.9	84.4	60.7	32.3	-	-	-	-	-
	13.5	100.0	100.0	95.3	75.0	39.3	-	-	-	-	-
	28.5	-	100.0	100.0	82.0	35.7	-	-	-	-	-
20ton 2F	1.5	100.0	100.0	99.2	97.4	95.9	81.8	28.0	4.7	-	-
	4.5	100.0	100.0	99.6	98.5	96.4	83.3	29.7	4.7	-	-
	7.5	100.0	100.0	99.8	99.0	96.9	84.2	31.7	4.7	-	-
	13.5	100.0	100.0	100.0	100.0	98.4	87.4	33.0	4.7	-	-
	28.5	-	19.8	100.0	100.0	96.2	79.0	21.0	1.9	-	-
20ton 4F	1.5	100.0	78.8	98.7	98.2	95.0	80.5	24.2	5.1	-	-
	4.5	100.0	94.8	99.4	98.8	95.6	81.8	25.7	5.4	-	-
	7.5	100.0	98.0	99.7	99.1	96.2	83.0	27.0	5.6	-	-
	13.5	100.0	100.0	100.0	99.8	97.6	86.2	34.0	6.0	-	-
	28.5	-	100.0	100.0	100.0	97.4	85.2	29.3	3.9	-	-

**Table 4.10 Result of mortality rate from exposure for 30 minutes (H<sub>2</sub>S, wind speed= 1.5m/s)**

(%)

H <sub>2</sub> S	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	100.0	60.1	-	-	-	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	72.9	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	99.8	78.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	13.5	-	24.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1ton 4F	1.5	100.0	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	7.2	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	9.1	-	-	-	-	-	-	-	-
	13.5	-	20.9	-	-	-	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10ton 2F	1.5	100.0	100.0	100.0	90.1	24.3	1.0	-	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	91.0	23.3	1.0	-	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	90.1	20.7	-	-	-	-	-
	13.5	-	14.1	99.7	62.5	6.5	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10ton 4F	1.5	100.0	100.0	99.1	79.0	36.7	5.2	-	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	99.1	80.5	36.7	5.0	-	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	99.2	81.7	37.0	5.0	-	-	-	-
	13.5	-	100.0	99.5	86.2	34.0	4.1	-	-	-	-
	28.5	-	-	8.1	5.9	-	-	-	-	-	-
20ton 2F	1.5	100.0	100.0	100.0	100.0	99.1	70.7	-	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	100.0	98.9	68.0	-	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	100.0	98.4	61.7	-	-	-	-
	13.5	-	100.0	100.0	99.9	85.5	35.0	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20ton 4F	1.5	100.0	100.0	100.0	100.0	98.9	83.5	5.3	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	100.0	98.8	83.3	5.1	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	100.0	98.8	82.7	4.8	-	-	-
	13.5	-	100.0	100.0	100.0	98.3	79.7	4.0	-	-	-
	28.5	-	-	86.7	75.0	27.3	6.9	-	-	-	-

**Table 4.11 Result of mortality rate from exposure for 30 minutes (H<sub>2</sub>S, average wind speed= 3.57 m/s)**  
(%)

H <sub>2</sub> S	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	34.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4.5	99.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	94.8	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-
	13.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1ton 4F	1.5	22.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4.5	83.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	93.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10ton 2F	1.5	100.0	100.0	90.0	13.8	-	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	92.2	14.8	-	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	92.2	14.0	-	-	-	-	-	-
	13.5	-	100.0	82.0	3.9	-	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10ton 4F	1.5	100.0	100.0	67.0	3.2	-	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	70.0	3.6	-	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	71.7	3.8	-	-	-	-	-	-
	13.5	28.7	100.0	71.3	4.0	-	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20ton 2F	1.5	100.0	100.0	100.0	93.4	34.5	2.4	-	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	94.2	33.3	2.4	-	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	94.0	31.3	2.1	-	-	-	-
	13.5	-	94.1	99.8	76.7	15.2	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20ton 4F	1.5	100.0	100.0	100.0	83.8	32.0	3.5	-	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	85.0	32.3	3.4	-	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	86.0	32.7	3.4	-	-	-	-
	13.5	-	100.0	100.0	87.6	31.0	2.8	-	-	-	-
	28.5	-	-	54.3	13.4	-	-	-	-	-	-

**Table 4.12 Result of mortality rate from exposure for 1 hour (HF, average wind speed= 3.57 m/s)**

(%)

HF	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	100.0	93.0	23.0	-	-	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	98.0	29.0	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	99.5	32.0	-	-	-	-	-	-	-
	13.5	-	100.0	17.0	-	-	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1ton 4F	1.5	100.0	83.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	87.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	89.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-
	13.5	80.0	97.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10ton 2F	1.5	100.0	100.0	100.0	100.0	99.4	93.0	34.0	6.0	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	100.0	99.5	93.0	35.0	6.0	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	100.0	99.6	94.0	37.0	6.0	-	-
	13.5	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7	95.0	37.0	6.0	-	-
	28.5	-	-	99.8	100.0	95.0	79.0	21.0	2.0	-	-
10ton 4F	1.5	100.0	100.0	99.8	99.1	96.0	84.0	25.0	6.0	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	99.4	97.0	85.0	27.0	6.0	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	99.5	97.0	86.0	28.0	6.0	-	-
	13.5	100.0	100.0	100.0	99.9	98.0	89.0	35.0	6.0	-	-
	28.5	-	100.0	100.0	100.0	98.0	84.0	27.0	4.0	-	-
20ton 2F	1.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.0	74.0	38.0	11.0
	4.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.0	74.0	38.0	11.0
	7.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.0	75.0	38.0	11.0
	13.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.0	74.0	36.0	10.0
	28.5	-	93.0	100.0	100.0	100.0	100.0	94.0	60.0	20.0	5.0
20ton 4F	1.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	95.0	76.0	39.0	15.0
	4.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	95.0	76.0	39.0	15.0
	7.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.0	77.0	40.0	15.0
	13.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.0	78.0	42.0	15.0
	28.5	-	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.0	71.0	32.0	10.0

**Table 4.13 Result of mortality rate from exposure for 1 hour (H<sub>2</sub>S, wind speed= 1.5m/s)**

(%)

H <sub>2</sub> S	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	100.0	99.1	3.0	-	-	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	99.6	3.0	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	99.8	3.0	-	-	-	-	-	-	-
	13.5	-	91.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1ton 4F	1.5	100.0	68.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	74.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	77.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	13.5	-	90.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10ton 2F	1.5	100.0	100.0	100.0	100.0	92.0	41.0	-	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	100.0	91.0	40.0	-	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	100.0	90.0	38.0	-	-	-	-
	13.5	-	84.0	100.0	99.2	72.0	22.0	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10ton 4F	1.5	100.0	100.0	100.0	99.8	96.0	68.0	2.0	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	99.8	96.0	67.0	2.0	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	99.9	96.0	67.0	2.0	-	-	-
	13.5	-	100.0	100.0	100.0	95.0	64.0	1.0	-	-	-
	28.5	-	-	75.0	70.0	21.0	5.0	-	-	-	-
20ton 2F	1.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.6	36.0	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.5	35.0	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.1	35.0	-	-	-
	13.5	-	100.0	100.0	100.0	100.0	96.0	26.0	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20ton 4F	1.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	68.0	6.0	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	67.0	6.0	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	66.0	6.0	-	-
	13.5	-	100.0	100.0	100.0	100.0	99.8	63.0	5.0	-	-
	28.5	-	-	100.0	99.7	93.0	73.0	13.0	-	-	-

**Table 4.14 Result of mortality rate from exposure for 1 hour (H<sub>2</sub>S, average wind speed= 3.57 m/s)**

(%)

H <sub>2</sub> S	Height [m]	Distance [m]									
		100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
1ton 2F	1.5	95.0	13.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	29.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	47.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	13.5	-	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1ton 4F	1.5	91.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4.5	99.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13.5	-	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10ton 2F	1.5	100.0	100.0	100.0	84.0	16.0	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	85.0	15.0	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	84.0	13.0	-	-	-	-	-
	13.5	-	100.0	99.9	63.0	4.0	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10ton 4F	1.5	100.0	100.0	99.4	60.0	10.0	-	-	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	99.5	61.0	10.0	-	-	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	99.6	62.0	10.0	-	-	-	-	-
	13.5	85.0	100.0	99.6	63.0	9.0	-	-	-	-	-
	28.5	-	-	8.0	3.0	-	-	-	-	-	-
20ton 2F	1.5	100.0	100.0	100.0	100.0	95.0	54.0	-	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	100.0	95.0	54.0	-	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	100.0	94.0	52.0	-	-	-	-
	13.5	-	100.0	100.0	99.8	86.0	39.0	-	-	-	-
	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20ton 4F	1.5	100.0	100.0	100.0	99.9	95.0	61.0	-	-	-	-
	4.5	100.0	100.0	100.0	100.0	95.0	60.0	-	-	-	-
	7.5	100.0	100.0	100.0	100.0	95.0	60.0	-	-	-	-
	13.5	91.0	100.0	100.0	100.0	94.0	57.0	1.0	-	-	-
	28.5	-	-	99.0	84.0	34.0	8.0	-	-	-	-



**Table 4.15 Classification of situations due to delayed information delivery**

	Opportunity ①	Opportunity ②	Opportunity ③	Opportunity ④
Case 1	0	0	10	30
Case 2	0	0	15	40
Case 3	0	0	20	40
Case 4	0	5	15	30
Case 5	0	5	25	40
Case 6	0	10	25	40

**Table 4.16 Cumulative rate of evacuation commence for each case**

[%]

	Time (min)							
	15	30	45	60	75	90	105	120
Case 1	19.3	55.2	72.6	89.8	95.7	97.3	97.5	99.1
Case 2	18.0	52.7	71.5	89.0	95.6	96.9	97.5	99.0
Case 3	18.0	51.2	62.1	88.5	89.8	96.8	97.3	99.0
Case 4	11.6	35.4	71.3	76.8	95.7	96.6	97.5	97.8
Case 5	11.6	30.9	60.0	74.6	89.8	96.1	97.3	97.7
Case 6	5.3	30.0	57.4	74.6	89.8	96.1	97.3	97.7



## 第 5 章 結言



## 5. 結言

化学工場のフィジカルリスクとしては大きく火災、爆発、有毒ガス漏えいで分類することができると考えられる。この中で有毒ガス漏えいの場合、事故が発生した現場近くの作業者はガスを吸入して致命的な被害を受ける可能性があり、漏えいした有毒ガスが大量の場合は事業所内のみならず、周辺地域まで拡散する可能性がある。さらに漏えいしたガスが無色無臭の場合、住民の立場では洪水や台風のような自然災害と異なり、災害の予測や発生について分かり難く、避難開始の遅れによる大きな人的被害が発生する可能性がある。漏えい事故による人的被害を防ぐためには取り扱っている化学物質に関する被害影響を事前に予測して対策を策定する必要があり、漏えいしたガスの拡散範囲が広くて周辺地域の住民まで影響を及ぼすと判断される場合には住民避難に関する計画も樹立する必要がある。

そこで、本研究では、行政や関係機関で化学工場から有毒ガス漏えい事故発生時の住民避難計画を策定する基盤を確立することを目的とし、漏えい事故を想定したシミュレーション分析を行って住民の呼吸高さでの濃度分布や屋内濃度変化などを把握することと共に住民の避難意思構造を明らかにした。更に、得られた結果に基づいて住民避難に関する考察及び提案した。各章における主な結論を以下にまとめる。

第2章では、化学工場から有毒ガス漏えい事故が発生して周辺住民に大きな影響を与えた事故や住民避難が行われたの事故事例を分析することと共に地理情報システムを用いて日本の工業団地の空間特性を把握した。更に事故事例分析と空間特性把握から確認できた条件を基に有毒ガス拡散シミュレーションを行い、被害影響範囲の把握及び避難時の曝露濃度などを把握した。第2章から得られた結果は下記の通りである。

- (1) 事故事例を分析した結果、周辺地域まで有毒ガスが漏えいし、住民の避難が行われた状況は大量の有毒ガスが漏えいすることと共にその有毒ガスが止まらず継続的に漏えいする状況であることが分かった。また、政府や関係機関の判断及び災害対応能力によって住民の避難の遅れが生じることが分かった。
- (2) 地理情報システムを活用して日本の五つの工業団地周辺の空間分析を行った結果、工業地域の場合臨界に多く分布しているため、工業団地周辺の場合は勾配が多くないことを確認した。また、研究対象である川崎区の場合、全域が平坦であることが確認でき、工業地域の周辺に第二種住居地域が多く分布していることが分かった。さらに、住居地域が密集している領域の建築物密集度を確認した結果、0.36であることが確認できた。
- (3) 有毒ガスの拡散シミュレーションを行った結果、漏えいする量が10・20トンの場合にはほぼ全域がAEGL-3を超えることが分かり、1トンの場合は、風速1.5 m/sは600 mまで平均風速は400 mまでAEGL-3を超えることが分かり、AEGL-2を超える領域は風速1.5 m/sの場合に1 kmまで、平均風速は600 mまでであることが分かった。

以上の結果から、工業団地の周辺に住居目的の用途地域が多く分布していることが確認でき、有毒ガス漏えいが継続される事故が起きる場合、1 km 圏内の地域は AEGL-2 の領域になるため、住民の避難行動が必要であると考えられる。従って第 3 章では川崎市川崎区の工業団地周辺の地域住民を研究対象とし、有毒ガス漏えい事故時の避難に関する質問紙調査を行った。

第 3 章では、川崎市川崎区の工業団地周辺の住民を対象に質問紙調査を行い、統計分析をおこなった。特に事故発生時の避難意思やそれに影響する要因の把握、また避難開始まで必要な時間、避難時の移動手段などを把握した。本調査の前に大学生及び日・韓の若年層を対象に予備調査を行い、設計した質問票の検討を行った。第 3 章から得られた知見は下記の通りである。

- (1) 大学生を対象にした調査で、化学工場から得たい情報は安全に係る情報よりも災害や避難場所などの危険に関する情報をより得たいと思っていることが分かった。また、避難意思と恐怖感の間で有意差を確認でき、化学物質に関する知識と専攻系列の間でも有意差を確認できた。一方、性別と知識の間の有意差はないことが分かった。
- (2) 日・韓の若年層を対象にした調査で、韓国は日本に比べて避難の時に周辺環境による影響は有意に少なく、近所化学工場に関する恐怖感はある程度強く、避難時の不安感はある程度小さいことが確認できた。有毒ガス及び化学工場に対する知識は両国とも平均値 3.5 以下を示したため、回答者の多くは知識を持っていないと思っていることが分かった。
- (3) 日・韓の若年層を対象にした調査で、男性より女性が近所化学工場に関する恐怖感及び避難に関する不安感を有意に強く感じており、有毒ガス及び化学工場に関する知識の場合、女性より男性方が有意に平均値は高いことが分かった。しかし、大学生を対象にした調査を考慮すると性別による知識の有意差は専攻系列による差である可能性も十分あると考えられる。
- (4) 日・韓の若年層を対象にした調査で、探索的因子分析結果から日本と韓国両国とも類似な変数の構成で五つの因子(周辺環境、恐怖感、心理的負担、情報内容、知識)が抽出することができた。因子間の相関分析から知識因子は恐怖感及び情報内容因子と有意に相関することを確認し、心理的負担は恐怖感及び情報内容と負の相関することが確認できた。
- (5) 住民を対象にした調査で、回答者の多くは有毒ガス漏えい事故発生時の周辺環境に関わらず避難すべきであると思っていることが分かり、避難にかかわる不安感及び有毒ガス自体や事故に対する恐怖感を持っていることが分かった。一方、化学工場の周辺に住むことに対する恐怖感はこの恐怖に比べて強くないことが分かった。また、周辺化学工場で行われる化学物質、化学物質自体、事故発生時の対処方法に関する知識を持っていないと思っていることが分かった。

- (6) 住民を対象にした調査で、探索的因子分析を行った結果、五つの因子(環境情報、知識、有毒ガス恐怖感、化学工場恐怖感、主観的規範)が抽出できた。下位尺度間相関分析を用いて因子間の相関性を確認した結果、知識因子以外の因子は互いに正の相関することが分かったが、知識因子は有毒ガス恐怖感因子のみと負の相関することが分かった。
- (7) 住民を対象にした調査で、五つの因子を用いて重回帰分析を行った結果、環境情報、主観的規範、有毒ガス恐怖感因子が避難意思に有意に影響を与えることが分かり、得られた回帰モデル( $R^2=.465$ )を基に重回帰式を示した。避難意思への影響力は「環境情報」>「主観的規範」>「有毒ガス恐怖感」因子の順であることを見出した。
- (8) 住民を対象にした調査で、避難意思に否定的なグループの避難意思は主観的規範及び自己規範のみに影響を受けることが確認でき、肯定的なグループの避難意思は不安・恐怖感、避難の面倒さなどの影響を受けることが確認できたため、各グループにおける避難意思の影響変数の差を見出した。また、因子分析の際に排除された二つの項目(AEE, EI)が有意に避難意思に影響することが分かった。
- (9) 住民を対象にした調査で、階層的重回帰分析を行った結果、属性項目のみでの避難意思の説明力は約 6%であることが分かったが、重回帰分析で活用した三つ因子(F-ES, F-SN, F-FG)とグループによる分析の際に確認できた二つの項目(AEE, EI)を追加投入することで有意に説明力が増加( $R^2=.508, \Delta R^2=.445$ )することを確認した。また、属性項目の中では年齢、子供有無、要補助人数が有意に影響を与えることが分かり、得られた回帰モデルを基に回帰式を示した。
- (10) 住民を対象にした調査で、避難時に適する移動手段としては徒歩が最も多く、続いて自動車、自転車の順であることが確認でき、情報伝達方法としては公務員からの呼びかけが最も多く、続いて TV、携帯メールサービス、屋外スピーカーの順であることが分かった。
- (11) 住民を対象にした調査で、事故時の避難切っ掛けとしては避難指示が最も多く、続いて避難勧告、公務員の呼びかけの順であることが確認でき、避難のための平均準備時間は 34.5 分であってその中央値は 30 分であることが確認できた。回答者が感じる心理的安全距離は 3 km 以上が約 9 割を占めていることが分かった。

以上の結果から、有毒ガス漏えい事故発生時の周辺住民の避難意思に影響を与える要因及び属性項目、避難の切っ掛け及び避難準備時間などに関する新たな知見が得られたため、漏えい事故時の住民の避難意思決定構造や避難行動予測に関する研究で基礎的な知見として活用できると考えられる。また、本質問紙調査の場合、川崎区の住民を対象に調査を行ったが、質問票の項目の中には特定工場や地域に関する質問はないため、他の工業地域でも活用でき、更に日・韓の若年

層の因子構造は類似であることから海外の工業地域でも避難意思決定構造のみならず避難開始時間など、参考できる資料として活用できる知見であると考えられる。

第4章では、第2章と3章で得られた結果を基に屋内避難時の曝露濃度、屋外曝露による死亡確率、避難開始時間、避難意思向上、移動手段、情報伝達方法について考察し提言した。第4章で得られた知見は以下の通りである。

- (1) 屋内濃度変化について検討した結果、漏えいが継続される事故の場合、漏えい量が1時間当たり1トンの場合でも屋内の1時間平均濃度は400から600m圏内までAEGL-2以上になり、1時間経過時点からは600m圏内までAEGL-2以上になることが確認できた。そのため、停止失敗による継続漏えい状況になった場合には周辺住民に屋外避難に関する情報を素早く提供する必要がある。特に、避難開始までの準備に時間が掛かることを考慮すると、少なくとも漏えい源から500m範囲の住民には最小限の準備の上、素早く安全な区域へ避難することを伝える必要があると考えられる。
- (2) 屋外曝露による死亡確率を検討した結果、1時間当たり1トンの場合に30分の曝露でも200mまで死亡する確率があることが確認できた。漏えい事故を停止失敗した場合に隣接事業所の従業員が避難を実施する段階で少なくとも400m圏内の屋外にいる住民は素早く屋内に避難し、行政や関係機関から周辺住民の避難実施の判断が出るまで避難のための準備をする必要があると考えられる。また、そのための屋外スピーカーを活用した緊急放送に関する計画を樹立する必要があると考えられる。
- (3) 避難開始時間を検討した結果、東日本大震災の避難開始時間は30分内で70%以上を占めていることに比べて、本研究の結果からは30分で約50%、40分で最大約70%であることが確認でき、大きな差があることが分かった。避難に関する情報を伝達する際に自宅で滞留する場合の危険性に関する情報を含めて伝えて避難開始時間を繰り上げる必要があると考えられる。
- (4) 住民の避難意思向上のための検討をした結果、要補助人数が2人以上の場合、避難意思に負の影響を及ぼすことと共に高齢者の場合には避難意思があっても周りの支援がないと避難を諦める傾向があるため、住民に実際の避難支援がどのような形で行われるかを詳しく説明して避難に関する負担を軽減させる必要がある。行政と自治会(町内会)や自主防災組織などとの連携システムに関する説明も避難負担を軽減させる一つの方法であると考えられる。
- (5) 子供がいる人はリスク認知が高いため、避難が必要ではない状況にも関わらず子供と共に避難行動をとる可能性がある。そのため、漏えい事故や避難に関する情報を伝達する



際には子供と同居している人が混乱しないよう避難行動を取る必要がない場合には明確に避難を要しないと明記する必要があると考えられる。

- (6) 有毒ガス恐怖感の増加は住居環境に対するストレスも増加するため、有毒ガス恐怖感の低減させる必要がある。住民の知識向上は有毒ガス恐怖感を軽減させる化学工場での事故防止策、漏えい事故時の対処方法を含めた防災教育または説明が行われる場合、有毒ガス恐怖感の軽減と共に知識の向上、さらに政府や関係機関の避難指示に関する信頼度の増加も期待できると考えられる。更にリスクコミュニケーションやワークショップの際に住民が疑似的な被災及び避難を経験できるように企画することは避難意思を高める一つの方法であると考えられる。
- (7) 避難時の移動手段について検討した結果、適する移動手段として徒歩が40%を占めているため、避難の際に有毒ガスに曝露される恐れがある。避難時の曝露される危険性を防ぐためには自動車を移動手段として活用した方が安全であり、素早く避難できると考えられる。特に濃度が集中される1km圏内の場合には短い時間でも高濃度のガスを吸入する可能性が高いため、渋滞などによる閉塞に留意する必要があるが、自動車で即座に避難する方が望ましいと考えられる。
- (8) 情報伝達方法について結果、災害状況や避難に関する情報を消防・警察や行政から素早く伝達することは非常に重要であり、情報伝達の際に被害状況、避難指示・勧告、避難場所や区域、交通制御に関する情報を含めて発信することと共に屋内避難時の危険性についても伝達する必要があると考えられる。

以上、本研究で得られた知見は、行政や関係機関で漏えい事故発生時の避難計画を策定する基盤になると考えられる。しかし、本研究にはいくつかの留意点がある。質問紙調査の場合、調査に協力した住民のみの回答であり、協力しなかった住民の避難意思や防災への関心は異なる可能性があり得るため、質問紙調査自体の限界でもあるが協力した住民のみの結果であることに留意する必要がある。また、若年層の割合は低くこと、実際の有毒ガス漏えい事故以後の避難者を対象にした調査ではないこと、回答の負担を下げるために質問項目が十分とは言えない数であることに留意する必要がある。更にガス拡散シミュレーションの場合は計算領域が大空間であったため、格子の大きさを十分に細かく構成することができなかつたことに留意する必要がある。

しかし、本研究で得られた知見は、前述の通りに有毒ガス漏えい事故時の住民避難計画の基盤に資すると考えられる。また、緒言で述べた通りに有毒ガス漏えい事故時の住民避難に関する研究は日本のみならず、世界的にもほぼ行われていない現状であるため、本研究で得られた有毒ガス漏えい事故時における住民の避難意思決定構造に関する新たな知見は後続研究者らに参考できる資料として学術的貢献があると考えられる。更に、実際に有毒ガス漏えい事故が発生し、避難した住民を対象に調査を行う場合、事故前後の避難意思の変化や実際との避難開始時間の差など

の把握するための比較資料としても資すると考えられる。また、得られた避難意思決定構造は知識、恐怖感、不安感などの関係についても明らかにしたため、リスクコミュニケーションや防災教育でも参考できる資料であると考えられる。

## 付 録



## ガス漏れ発生時の避難行動に関する調査

横浜国立大学 化学安全工学研究室

私たちは化学工場からの有毒ガス漏れ事故といった化学災害が起きた際に、被害を出来るだけ最小限にするための研究を行っております。

皆様のご回答は避難経験及び防災意識がガス漏れ発生時の避難行動に与える影響について分析できる貴重な資料になり、最終的にガス漏れによる避難計画や情報伝達計画にも役に立つデータになると思っております。また、ご回答頂いた内容は統計分析を目的として使用し、研究の目的以外には絶対に使用しません。個人を特定できる質問はありませんが、データ収集が終わった後、全て破棄することを約束いたします。

本質問の回答には約 10～20 分ほどの所要時間が必要であると予想されます。お忙しいところ、申し訳ございませんが、ご回答のほど、どうぞ宜しくお願い致します。

## [回答のやり方]

☞ **項目選択型**：当てはまるところにチェックをしてください。

複数選択が可能な質問は「複数選択可」と明記されております。

例 1)

質問○ ○○○を○○○か。

ある       無い

例 2)

質問○ ○○○を○○○か。

AAAA       CCCC

BBBB       DDDD

例 3)

質問○ ○○○を○○○か。

①    ②    ③    ④    ⑤    ⑥

--	--	--	--	--	--

☞ **程度選択型**：左の項目全てについて当てはまる程度にチェックしてください。

質問○ ○○○を○○○か。

	1	2	3	4	5	6
項目 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
項目 2			<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
項目 3					<input checked="" type="checkbox"/>	

☞ **取り入れ型**：括弧に当てはまる項目を選択し、番号を記入してください。

質問○ ○○○を○○○か。

(A) ○○○	(B) ○○○	(C) ○○○
A-① ああああ	B-① ええええ	C-① きききき
A-② いいいい	B-② おおおお	C-② くくくく
A-③ うううう	B-③ かかかか	C-③ けけけけ

番号記入！      番号記入！      番号記入！

(A- **③** ) が○○し、(B- **①** ) の○○で、(C- **②** ) へ○○した。

☞ **追加質問**：共通で、または答えによって質問の内に追加質問がある場合があります。

共通の場合、質問に「追加質問有」と明記されています。

次のページから質問が始まります。

ご回答、宜しくお願い致します。

**質問 1** 災害や事故が起きた際、あなたは避難をしたことがありますか。

(当てはまる所にチェックしてください)

ある

無い

(あると答えた方は質問 2~4 へ)

(無いと答えた方は質問 5~7 へ)

質問 2~4 は質問 1 で「ある」と答えた方にお聞きします。

**質問 2** あなたが直近に避難した時の状況と経験数に関して教えてください。

\*当てはまる項目を下のカッコに入れてください。「その他」の場合、直接にお書きください。

(A) 災害や事故	(B) 情報源	(D) 避難した場所
A-① 地震	B-① 隣近所の話	D-① 近くの広場、公園
A-② 火山活動	B-② SNS・インターネットの避難情報	D-② 親戚、又は知人の家
A-③ 都市火災	B-③ 屋外スピーカー (防災無線)	D-③ 近くの学校
A-④ 土砂災害	B-④ テレビやラジオの放送	D-④ 他の地域
A-⑤ 大雨、洪水	B-⑤ 屋内の避難警報	D-⑤ 建物の外
A-⑥ 近隣の工場事故	B-⑥ その他 (直接記入)	D-⑥ その他 (直接記入)
A-⑦ 建物内の火災	<b>(C) 内容</b>	
A-⑧ その他 (直接記入)	C-① 避難勧告、または避難命令	
	C-② 危険を感じたため、自主的に避難	
	C-③ その他 (直接記入)	

(A- )が発生し、(B- )からの(C- )がきっかけで、

(D- )へ避難した。

今までの避難経験数は ( )回である。

**質問 3** あなたが直近に避難をした時の避難場所と移動方法についてお聞きします。

(E) 避難場所の指定有無	(F) 移動方法
E-① 避難場所として指定された場所	F-① 歩き
E-② 自己判断上の場所	F-② 自家用車
E-③ その他(直接記入)	F-③ 電車やバス
	F-④ その他(直接記入)

避難所は (E- ) であり、避難場所まで (F- ) で移動した。





**※ 質問 8～16 は全員お答えください ※**

**質問 8** あなたは屋外スピーカー（防災行政無線）を知っていますか。

- 知っている  知らない

**質問 9** あなたは屋外スピーカーからの防災行政無線の放送を聞いたことがありますか。

- 聞いたことがある（追加質問へ）  聞いたこと無い（追加質問無し）

↳ **【追加質問】**

屋外スピーカーの放送は自宅で良く聞こえますか。（ 良く聞こえる  聞こえない）

**質問 10** あなたは避難訓練に参加したことはありますか。

- 参加したことがある  参加したことは無い

**質問 11** あなたは災害時の対応(避難計画・備蓄品)について教育を受けたことがありますか。  
(小・中・高での教育を含む)

- 教育を受けたことがある(追加質問無し)  受けたことが無い(追加質問へ)

↓  
**【追加質問】** あなたは災害時の対応について知っていますか。

- 知っている  知らない

↳ その情報はどこから得ましたか。(  (例：テレビ番組) )

ここからは有毒ガスについて、全員にお聞きします。

**質問 12** あなたは、どのくらいの数の有毒ガスを知っていますか。

①	②	③	④	⑤	⑥
全く知らない	知らない	余り知らない	少し知っている	知っている	多く知っている

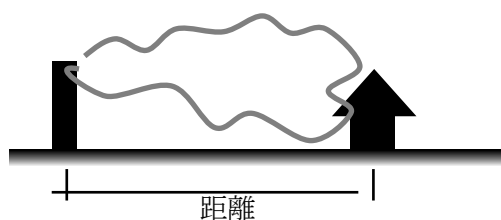
**質問 13** あなたは、有毒ガスの毒性をどの程度知っていますか。

①	②	③	④	⑤	⑥
全く知らない	知らない	余り知らない	少し知っている	知っている	良く知っている

**質問 14** あなたは有毒ガスを取り扱う化学工場についてどのくらい恐怖感を感じますか。

①	②	③	④	⑤	⑥
全く怖くない	怖くない	多少怖くない	少し怖い	怖い	非常に怖い

**質問 15** 有毒ガスを取り扱う化学工場から、有毒ガス漏れ事故が発生する場合、被害を受ける距離（半径）はどこまでであると思いますか。（追加質問有）



距離（数字）	単位選択
( )	<input type="checkbox"/> メーター(m)
	<input type="checkbox"/> キロメートル(km)

**【追加質問】** 有害ガスと聞いて、思い浮かぶガスを記入して下さい。

↳ ( )

**質問 16** 例えば、あなたの住んでいる家の近くの化学工場で、有毒ガスが漏れた場合、あなたは避難すると思いますか。

- 避難する  
(すると答えた方は質問 17～18 へ)
- 避難しない  
(しないと答えた方は質問 19～20 へ)

質問 17・18 は質問 16 で「避難する」と答えた方にお聞きします。

質問 17 あなたは避難をする場合、どのような情報が入ったら避難をしますか。(複数選択可能)

(情報源・内容、それぞれ当てはまる所にチェックしてください)

どのような情報源から	どのような内容が
<input type="checkbox"/> テレビ・ラジオ <input type="checkbox"/> 隣近所の人のお話 <input type="checkbox"/> 屋外スピーカー(防災行政無線) <input type="checkbox"/> SNS・インターネット <input type="checkbox"/> その他 ( )	① 避難勧告や避難命令がある時 ② 危険を感じる時、自主的に避難 ③ その他 ( )

質問 18 あなたは避難をする場合、どこへどのような方法で避難をしますか。

(場所・方法・様相時間、それぞれ当てはまる所にチェック及びお書きください)

どこへ	どの方法で	予想移動時間
<input type="checkbox"/> 近くの広場、公園 <input type="checkbox"/> 親戚、又は知人の家 <input type="checkbox"/> 近くの学校 <input type="checkbox"/> 他の地域 <input type="checkbox"/> 建物の外部 <input type="checkbox"/> その他 ( )	① 歩き ② 自家用車 ③ 電車やバス ④ その他 ( )	( )分

続いて質問 21 以降にもご回答ください

質問 19・20 は質問 16 で「避難しない」と答えた方にお聞きします。

質問 19 あなたが避難しないと思う理由を教えてください。

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> 隣近所の人でも避難しないと思う為      | <input type="checkbox"/> どこへ避難すれば良いか知らない為  |
| <input type="checkbox"/> 仕事や作業を手放したくない為        | <input type="checkbox"/> 家に一緒に暮らす老人・子供が居る為 |
| <input type="checkbox"/> 面倒であると思う為             | <input type="checkbox"/> 避難するほど危険であると思う為   |
| <input type="checkbox"/> 避難するより家に居た方が安全であると思う為 |  |
| <input type="checkbox"/> その他 ( )               |  |

**質問 20** あなたはどのような情報が入れば、避難すると思いますか。

(情報源・内容それぞれ当てはまる所にチェックしてください)

どのような情報源から	どのような内容が
<input type="checkbox"/> テレビ・ラジオ <input type="checkbox"/> 隣近所の話 <input type="checkbox"/> 屋外スピーカー(防災行政無線) <input type="checkbox"/> SNS・インターネット <input type="checkbox"/> その他 ( )	<input type="checkbox"/> 避難勧告や避難命令がある時 <input type="checkbox"/> 危険を感じる時、自主的に避難 <input type="checkbox"/> その他 ( )
その他 ( )	

続いて質問 21 以降にもご回答ください

**※ 質問 21 からは全員お答えください ※**

**質問 21** あなたが自宅にいる時、避難が不可能な時間帯はいつであると思いますか。

(時間帯によって当てはまる避難不可時間をチェックしてください。複数選択可能)

	常に不可能	0時～6時	6時～12時	12時～18時	18時～24時	常に可能
避難不可 時間帯						

**質問 22** あなたが知っているガス漏れ事故がありましたら、ご記入ください。

**質問 23** あなたは有毒ガスを取り扱う化学工場からどのような内容の情報提供を受けたいですか。(それぞれ当てはまるところにチェックしてください。)

	全く 必要ない	必要ない	余り 必要ない	多少必要	必要	とても必要
化学工場の連続無事故日数						
化学工場の危険性						
取り扱っている化学物質						
実施されている安全対策						
災害情報(火災、ガス漏れなど)						
災害による避難場所						
その他(自由記述)						

**質問 24** あなたは有毒ガスを取り扱う化学工場で災害発生時、その情報提供はどのような方法で受け取りたいと思いますか。(それぞれ当てはまるところにチェックしてください。)

	全く 適しない	適しない	余り 適しない	少々 適する	適する	とても 適する
携帯緊急メール						
SNS						
インターネットニュース						
テレビ						
ラジオ						
屋外スピーカー(防災無線)						
新聞・チラシ						
広報車						
消防や警察からのお知らせ						
その他(自由記述)						

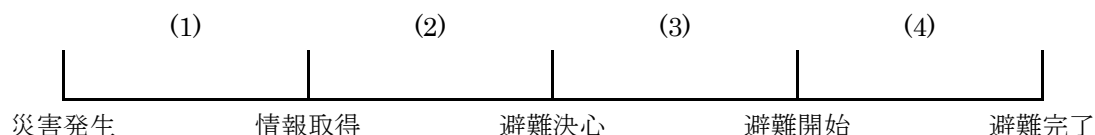
**質問 25**

あなたの自宅の近くには有毒ガスを取り扱う化学工場があり、現在、自宅に居る状況を前提とします。

\*近くの化学工場から有毒ガスであるホスゲンの漏えい事故が発生しました。

下の項目に当てはまる予想所要時間をお書きください。

(5分単位でご記入ください。ただし、5分以内の場合、詳細な分数を書いても大丈夫です。)



	予想所要時間
災害発生から避難情報を得るまで	(1) (                      ) 分
避難情報を得てから避難を決心するまで	(2) (                      ) 分
避難決心から避難開始まで	(3) (                      ) 分
避難開始から避難所まで移動時間	(4) (                      ) 分

**質問 26**

あなたは非常袋（防災用品・備蓄品が入った）を日頃から準備していますか。

- 準備しない（追加質問へ）                       準備する（追加質問無し）

↳ **【追加質問】** 予想される準備時間は（                      ）分

**質問 27**

工場(化学プラントやコンビナートなど)の近くに安心して住むために  
欲しい情報などがありましたら、ご自由にお書きください。

**質問 28** あなたの年齢・性別・学歴を教えてください。

年齢 [            ] 歳

性別  男             女

学歴            \*最終学歴に当てはまるところへチェックしてください  
(現在の在学中である学生の場合、学年をお書きください)

学校	卒業可否	系列
<input type="checkbox"/> 中学校	<input type="checkbox"/> 在学(学年:        )	<input type="checkbox"/> 文系
<input type="checkbox"/> 高等学校	<input type="checkbox"/> 休学	<input type="checkbox"/> 理系
<input type="checkbox"/> 大学	<input type="checkbox"/> 卒業	<input type="checkbox"/> 体育・芸術系
<input type="checkbox"/> 大学院	<input type="checkbox"/> その他(            )	<input type="checkbox"/> その他(            )
<input type="checkbox"/> 専門学校		
<input type="checkbox"/> その他 (            )		

**質問 29** あなたの職業を教えてください。

- 会社員                       自営業                       無職・定年退職  
 パート・アルバイト       公務員                       専門職(            )  
 学生                           専業主婦・専業主夫       その他(            )

**質問 30** あなたのご家族構成について教えてください。

(ご自身を含んで、当てはまる年齢層に人数を記入してください)

年齢	10未 満	10代	20代	30代	40代	50代	60代	70以 上
例: 5人家族の場合		1	1		2			1
人数								

**質問 31** あなたの住居形式を教えてください。

建物類型:  マンション  アパート  一戸建て  その他(            )  
 建物総階数: 地下[        ]階から地上[        ]階  
 現居住階数: [        ]階

**質問 32**

あなたがお住まいになる地域は住み始めから何年になりますか。

- 半年以内                       1年以内                       2年以内
- 3年以内                       4年以内                       5年以上

**質問 33**

あなたは家でどのような方法で換気をしていますか。(複数選択可)

- 換気口を開ける               窓を開ける               24時間換気システムを利用
- 換気扇をまわす               その他 (                      )

**質問 34**

あなたは家にいる際、1日のうちに、どのくらいの換気をしますか。  
(季節によって当てはまる換気時間を表示してください)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	時	
例1	朝・夜、換気する場合							←————→															←————→				
例2	←————→							寝る時のみ換気する場合															←————→				
春																											
夏																											
秋																											
冬																											

**質問 35**

もし、あなたが家にいる時に外からの異臭を感じた場合どうしますか。(複数選択可)

- 窓を閉める                       通報する (消防、役所などに)
- 臭いの原因を家の中で探す       臭いの原因を家の外で探す
- 気にせずそのままにする       その他 (                      )

**質問 36**

あなたの家の近くに有毒ガスを取り扱う化学工場はありますか。

- ある                                       無い
- 工場はあるが化学工場かは分からない       工場の有無を全く分からない

**質問 37**

あなたは寝ている中、アラームや音を気付き、よく起きますか。

- 起きる                                       起きない



ご回答の時、分かりにくい事や不便なことがありましたら、  
自由にお書きください

本調査はここで終了です。  
ご協力、誠にありがとうございます。



	Q1	%
ある	15	6.666667
ない	210	93.333333
Sum	225	100

	Q2_A	%
地震	2	13.333333
火山活動	0	0
都市火災	0	0
土砂災害	0	0
大雨、洪水	2	13.333333
近隣の工場事故	0	0
建物内の火災	11	73.333333
その他	0	0
sum	15	100

	Q2_B	%
隣近所の人のお話	2	13.333333
SNS・インターネット	0	0
屋外スピーカー	2	13.333333
テレビやラジオの放送	0	0
屋内の避難警報	7	46.666667
その他	4	26.666667
sum	15	100

	Q2_C	%
避難勧告、または避難命令	9	60
危険を感じたため、自主的に避難	6	40
その他	0	0
sum	15	100

	Q2_D	%
近くの広場、公園	0	0
親戚、又は知人の家	1	6.666667
近くの学校	0	0
他の地域	1	6.666667
建物の外	12	80
その他	1	6.666667
sum	15	100

平均避難回数	1.2
--------	-----

	Q3_E	
避難場所として指定された場所	2	13.333333
自己判断上の場所	11	73.333333
その他	2	13.333333
Sum	15	100

	Q3_F	
歩き	14	93.333333
自家用車	1	6.666667
電車やバス	0	0
その他	0	0
sum	15	100

	Q4-1	Q4-2	Q4-3	Q4-5
1分未満	0	3	1	12
1~5分	9	7	11	1
6~10	2	1	1	0
11~20	2	1	0	0
21~30	0	1	0	0
31~45	0	0	0	0
46~60	0	0	0	0
61~90	0	0	0	0
91~120	0	0	0	0
121以上	0	0	0	0
sum	13	13	13	13
未応答	2	2	2	2

	Q5	%
避難するほどの災害を経験していない	202	93.51852
どこへ避難すれば良いか知らなかった為	1	0.462963
仕事や作業のことで手放せなかった為	0	0
家に一緒に暮らす老人や子供が居た為	1	0.462963
面倒だった為	1	0.462963
隣近所の人も避難しなかった為	5	2.314815
避難するより家に居た方が安全であると思った為	5	2.314815
その他	1	0.462963
sum	216	100

	Q6	%
知っている	70	33.81643
知らない	137	66.18357
Sum	207	100
未応答	3	

	Q6_a	%
指定された場所	45	64.28571
自己判断上の場所	25	35.71429
sum	70	100

	Q6_aTime	%
平均予想時間	5.20714	Min

	Q8	%
知っている	161	71.55556
知らない	64	28.44444
Sum	225	100

	Q9	%
聞いたことがある	67	29.77778
聞いたこと無い	158	70.22222
Sum	225	100

	Q9_a	%
良く聞こえる	46	77.9661
聞こえない	13	22.0339
Sum	59	100
未応答	8	

	Q10	%
参加したことがある	160	71.11111
参加したことは無い	65	28.88889
sum	225	100

	Q11	%
教育を受けたことがある	192	85.71429
受けたことがない	32	14.28571
Sum	224	100
未応答	1	

	Q11-a	%
知っている	13	50
知らない	13	50
Sum	26	100
未応答	6	

	Q12	%
全く知らない	7	3.111111
知らない	31	13.77778
余り知らない	53	23.55556
少し知っている	109	48.44444
知っている	24	10.66667
多く知っている	1	0.444444
sum	225	100

	Q13	%
全く知らない	6	2.666667
知らない	24	10.66667
余り知らない	52	23.11111
少し知っている	103	45.77778
知っている	35	15.55556
良く知っている	5	2.222222
sum	225	100

	Q14	%
全く怖くない	2	0.888889
怖くない	8	3.555556
多少怖くない	40	17.77778
少し怖い	87	38.66667
怖い	77	34.22222
非常に怖い	11	4.888889
sum	225	100

	Q15	%
1km 未満	28	12.96296
1~5km	87	40.27778
6~10km	49	22.68519
11~20km	16	7.407407
21~50km	17	7.87037
51~100km	15	6.944444
101km 以上	4	1.851852
Sum	216	100
未応答	9	

	Q16	%
避難する	190	84.44444
避難しない	35	15.55556
sum	225	100

	Q17_1	%
テレビ・ラジオの避難情報	121	38.4127
隣近所の人の話	18	5.714286
屋外スピーカーの避難情報	126	40
SNS・インターネットの避難情報	47	14.92063
その他	3	0.952381
Sum	315	100
未応答	4	

	Q17_2	%
避難勧告や避難命令がある時	127	57.99087
危険を感じる時、自主的に避難	92	42.00913
その他		0
sum	219	100
未応答	15	

	Q18_1	%
近くの広場、公園	29	13.48837
親戚、又は知人の家	29	13.48837
近くの学校	29	13.48837
他の地域	94	43.72093
建物の外部	20	9.302326
その他	14	6.511628
sum	215	100
未応答	1	

	Q18_2	%
歩き	76	38
自家用車	87	43.5
電車やバス	34	17
その他	3	1.5
Sum	200	100
未応答	9	

	Q18_3	
平均時間	32.211	
未応答	24	

	Q19	%
隣近所の人でも避難しないと思う為	2	4.651163
どこへ避難すれば良いか知らない為	10	23.25581
仕事や作業を手放したくない為	0	0
家に一緒に暮らす老人・子供が居る為	0	0
面倒であると思うため	1	2.325581
避難するほど危険であると思う為	8	18.60465
避難するより家に居た方が安全であると思う為	20	46.51163
その他	2	4.651163
sum	43	100

	Q20_1	%
テレビ・ラジオの避難情報	18	41.86047
隣近所の人のお話	1	2.325581
屋外スピーカーの避難情報	19	44.18605
SNS・インターネットのひな情報	5	11.62791
その他	0	0
Sum	43	100
未応答	3	

	Q20_2	%
避難勧告や避難命令がある時	23	63.88889
危険を感じる時、自主的に避難	13	36.11111
その他	0	0
Sum	36	100
未応答	2	

	Q21	%
常に不可能	2	0.813008
0～6 時	107	43.49593
6～12 時	11	4.471545
12～18 時	4	1.626016
18～24 時	14	5.691057
常に可能	108	43.90244
sum	246	100

	Q23_1	%
全く必要ない	7	3.139013
必要ない	16	7.174888
余り必要ない	27	12.10762
多少必要	67	30.04484
必要	59	26.4574
とても必要	47	21.07623
sum	223	100
未応答	2	

	Q23_2	%
全く必要ない	1	0.444444
必要ない	4	1.777778
余り必要ない	2	0.888889
多少必要	34	15.11111
必要	68	30.22222
とても必要	116	51.55556
sum	225	100
未応答	0	

	Q23_3	%
全く必要ない	2	0.888889
必要ない	4	1.777778
余り必要ない	5	2.222222
多少必要	29	12.88889
必要	61	27.11111
とても必要	124	55.11111
sum	225	100
未応答		

	Q23_4	%
全く必要ない	0	0
必要ない	2	0.892857
余り必要ない	7	3.125
多少必要	24	10.71429
必要	69	30.80357
とても必要	122	54.46429
sum	224	100
未応答	1	

	Q23_5	%
全く必要ない	0	0
必要ない	2	0.896861
余り必要ない	3	1.345291
多少必要	21	9.41704
必要	74	33.18386
とても必要	123	55.15695
sum	223	100
未応答	2	

	Q23_6	%
全く必要ない	1	0.44843
必要ない	2	0.896861
余り必要ない	1	0.44843
多少必要	11	4.932735
必要	65	29.14798
とても必要	143	64.12556
sum	223	100
未応答	2	

	Q24_1	%
全く適しない	2	0.896861
適しない	2	0.896861
余り適しない	6	2.690583
少々適する	16	7.174888
適する	73	32.73543
とても適する	124	55.60538
Sum	223	100
未応答	2	

	Q24_2	%
全く適しない	12	5.454545
適しない	19	8.636364
余り適しない	52	23.63636
少々適する	33	15
適する	56	25.45455
とても適する	48	21.81818
sum	220	100
未応答	5	

	Q24_6	%
全く適しない	1	0.454545
適しない	1	0.454545
余り適しない	2	0.909091
少々適する	9	4.090909
適する	60	27.27273
とても適する	147	66.81818
sum	220	100
未応答	5	

	Q24_3	%
全く適しない	6	2.702703
適しない	6	2.702703
余り適しない	21	9.459459
少々適する	38	17.11712
適する	68	30.63063
とても適する	83	37.38739
sum	222	100
未応答	3	

	Q24_7	%
全く適しない	27	12.38532
適しない	44	20.18349
余り適しない	73	33.48624
少々適する	24	11.00917
適する	25	11.46789
とても適する	25	11.46789
sum	218	100
未応答	7	

	Q24_4	%
全く適しない	1	0.44843
適しない	2	0.896861
余り適しない	3	1.345291
少々適する	27	12.10762
適する	85	38.11659
とても適する	105	47.0852
sum	223	100
未応答	2	

	Q24_8	%
全く適しない	34	15.38462
適しない	40	18.09955
余り適しない	55	24.88688
少々適する	41	18.55204
適する	24	10.85973
とても適する	27	12.21719
sum	221	100
未応答	4	

	Q24_5	%
全く適しない	5	2.242152
適しない	7	3.139013
余り適しない	27	12.10762
少々適する	35	15.69507
適する	68	30.49327
とても適する	81	36.32287
sum	223	100
未応答	2	

	Q24_9	%
全く適しない	1	0.45045
適しない	2	0.900901
余り適しない	7	3.153153
少々適する	23	10.36036
適する	55	24.77477
とても適する	134	60.36036
sum	222	100
未応答	3	

	Q25-1	Q25-2	Q25-3	Q25-5
1分未満	1	7	7	1
1~5分	100	147	133	56
6~10	63	31	39	54
11~20	32	20	20	40
21~30	12	8	13	29
31~45	2	2	4	10
46~60	8	5	2	16
61~90	0	0	0	2
91~120	2	0	2	8
121以上	0	0	0	2
sum	220	220	220	218
未応答	5	5	5	7

	Q27-1	%
0~5	0	0
6~10	0	0
11~15	0	0
16~20	82	36.44444
20~25	135	60
26~30	7	3.111111
31~40	1	0.444444
41~50	0	0
51~60	0	0
61~70	0	0
71以上	0	0
sum	225	100

	Q27-2	%
男	166	73.77778
女	59	26.22222
sum	225	100

	Q27-3(1)	%
中学校	0	0
高等学校	0	0
大学	218	97.75785
大学院	5	2.242152
専門学校	0	0
その他	0	0
sum	223	100
未応答	2	

	Q27-3(2)	%
文系	41	18.27411
理系	168	74.61929
その他	16	7.106599
Sum	225	

	Q28	%
会社員	0	0
自営業	0	0
無職・定年退職	0	0
パート・アルバイト	0	0
公務員	2	0.888889
専門職	0	0
学生	223	99.11111
専業主婦・専業主夫	0	0
sum	225	100

	Q31	%
半年以内	11	4.888889
1年以内	19	8.444444
2年以内	23	10.22222
3年以内	16	7.111111
4年以内	14	6.222222
5年以内	142	63.11111
Sum	225	100

	Q32	&
換気口を開ける	18	6.081081
窓を開ける	225	76.01351
24時間換気システムを利用	7	2.364865
換気扇をまわす	43	14.52703
その他	3	1.013514
sum	296	100



	Q33-1	Q33-2	Q33-3	Q33-4
0 時間	20	17	21	45
1~4	37	22	30	86
5~8	61	27	66	74
9~12	40	18	35	11
13~16	24	27	26	4
17~20	12	13	13	1
21~24	31	101	34	4
Sum	225	225	225	225

	Q34	%
窓を閉める	175	47.42547
通報する	30	8.130081
臭いの原因を家の中で探す	88	23.84824
臭いの原因を家の外で探す	57	15.44715
気にせずそのままにする	15	4.065041
その他	4	1.084011
Sum	369	100

	Q35	%
ある	8	3.555556
無い	179	79.555556
工場はあるが化学工場かは 分からない	26	11.555556
工場の有無を全く知らない	12	5.333333
sum	225	100

	Q36	%
起きる	190	84.82143
起きない	34	15.17857
sum	224	100
Non-A	1	



# 「化学工場からの有毒ガス漏れ事故発生時の 避難行動に関する研究」

横浜国立大学 化学安全工学研究室

本調査は、化学工場からの有毒ガス漏えい事故といった化学災害が起きた際に、被害を最小限にすることを目的として行っています。回答者のプライバシーの保護に配慮し、ご回答はすべて統計的に処理しますのでご迷惑をおかけすることはありません。お忙しいところ申し訳ございませんが、ご協力をお願いします。

## 補足

本調査は神奈川県の皆様を対象としています。また、化学工場と言っても特定の化学工場についての調査ではありません。

## ご記入にあたってのお願い

- 質問紙にお名前を書いていただく必要はありません。
  - 質問への回答は特に指示のない限りあてはまる回答選択肢の項目番号や箱に○をつけてください(択一)。
  - 本質問紙は10ページ、回答にかかる時間は5分～10分程度です。
  - 回答を訂正する場合はバツ印などで、訂正したことを明示していただくようお願いいたします。
- ◎ 化学工場とは「化学、工業用薬品、液化ガス、石油化学系基礎製品、プラスチック原料、合成ゴム、医薬品、化粧品、石鹼、合成洗剤、塗料、火薬、接着剤、写真フィルムなど」を製造する工場を言います。

自宅にいる場合を想定してお考えください。

1 有毒ガス漏えい事故が発生して避難する場合、あなたは、どの移動手段で避難するのが最適であると思いますか。（最も適するものを一つだけ選んでください）

1. 徒歩                      2. 自転車                      3. バイク・オートバイ  
4. 自動車                      5. バス                      6. 電車  
7. その他（                      ）

2 有毒ガス漏えい事故が発生したときに、あなたは何で情報を得たいですか。（最も適するものを一つだけ選んでください）

1. テレビ                      2. ラジオ                      3. 近所の人からの呼びかけ  
4. 屋外スピーカー              5. インターネット              6. 消防や警察からの呼びかけ  
7. 携帯メールサービス          8. 広報車両                      9. その他（                      ）

3 避難をする時に、あなたは有毒ガスにさらされることに不安を感じると思いますか。

- |                      |                    |                                |                               |                   |                      |
|----------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------|
| 全く不安を<br>感じないと<br>思う | 不安を<br>感じないと<br>思う | どちらかと<br>言えば不安を<br>感じないと<br>思う | どちらかと<br>言えば不安を<br>感じると<br>思う | 不安を<br>感じると<br>思う | とても不安を<br>感じると<br>思う |
|----------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------|

4 あなたは有毒ガスについて恐怖感がありますか。

- |                |        |                        |                        |        |               |
|----------------|--------|------------------------|------------------------|--------|---------------|
| ほとんど<br>恐怖感はない | 恐怖感がない | どちらかと<br>言えば恐怖感<br>がない | どちらかと<br>言えば恐怖感<br>がある | 恐怖感がある | 非常に恐怖感<br>がある |
|----------------|--------|------------------------|------------------------|--------|---------------|

自宅にいる場合を想定してお考えください。

- 5 有毒ガス漏えい事故が発生した場合、あなたは激しい雨や風の時でも避難すべきであると思いますか。

確実に  
避難すべき  
ではないと  
思う

避難すべき  
ではないと  
思う

どちらかと  
言えば避難す  
べきではない  
と思う

どちらかと  
言えば避難す  
べきであると  
思う

避難すべき  
であると  
思う

確実に  
避難すべき  
であると思う

- 6 避難をした場合、あなたは避難生活に不安を感じると思いますか。

全く不安を  
感じないと  
思う

不安を  
感じないと  
思う

どちらかと  
言えば不安を  
感じないと  
思う

どちらかと  
言えば不安を  
感じると  
思う

不安を  
感じると  
思う

とても不安を  
感じると  
思う

- 7 有毒ガス漏えい事故が発生した場合、あなたは深夜でも避難すべきであると思いませんか。

確実に  
避難すべき  
ではないと  
思う

避難すべき  
ではないと  
思う

どちらかと  
言えば避難す  
べきではない  
と思う

どちらかと  
言えば避難す  
べきであると  
思う

避難すべき  
であると  
思う

確実に  
避難すべき  
であると思う

- 8 避難した場合、あなたは自宅に残した家財について不安を感じると思いますか。

全く不安を  
感じないと  
思う

不安を  
感じないと  
思う

どちらかと  
言えば不安を  
感じないと  
思う

どちらかと  
言えば不安を  
感じると  
思う

不安を  
感じると  
思う

とても不安を  
感じると  
思う

自宅にいる場合を想定してお考えください。

9 有毒ガス漏えい事故が発生した場合、あなたは近所の人ほとんど避難しなくても避難すべきであると思いますか。

確実に 避難すべき ではないと 思う	避難すべき ではないと 思う	どちらかと 言えば避難す べきではない と思う	どちらかと 言えば避難す べきであると 思う	避難すべき であると 思う	確実に 避難すべき であると思う
-----------------------------	----------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------	------------------------

10 あなたは有毒ガス漏えい事故について恐怖感がありますか。

ほとんど 恐怖感はない	恐怖感がない	どちらかと 言えば恐怖感 がない	どちらかと 言えば恐怖感 がある	恐怖感がある	非常に恐怖感 がある
----------------	--------	------------------------	------------------------	--------	---------------

11 あなたは避難すること自体が大変であると思いますか。

とても 大変であると 思う	大変であると 思う	どちらかと 言えば 大変であると 思う	どちらかと 言えば大変 ではないと 思う	大変ではない と思う	全く 大変ではない と思う
---------------------	--------------	------------------------------	-------------------------------	---------------	---------------------

12 有毒ガス漏えい事故が発生し、あなたが避難する状況になったら「あなたにとって大切な人たちの望む通り」にあなたは行動すると思いますか。

全く 望む通りに 行動しないと 思う	望む通りに 行動しないと 思う	どちらかと 言えば 望む通りに 行動しないと 思う	どちらかと 言えば 望む通りに 行動すると 思う	望む通りに 行動すると 思う	必ず 望む通りに 行動すると 思う
-----------------------------	-----------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	----------------------	----------------------------

自宅にいる場合を想定してお考えください。

13 あなたは化学工場に対して恐怖感がありますか。

ほとんど 恐怖感はない	恐怖感がない	どちらかと 言えば恐怖感 がない	どちらかと 言えば恐怖感 がある	恐怖感がある	非常に恐怖感 がある
----------------	--------	------------------------	------------------------	--------	---------------

14 あなたは近くの化学工場で取り扱っている化学物質についてどの程度知っていますか。

ほとんど 知らない	知らない	どちらかと 言えば 知らない	どちらかと 言えば 知っている	知っている	よく 知っている
--------------	------	----------------------	-----------------------	-------	-------------

15 有毒ガス漏えい事故が発生しても、あなたは自宅にいた方が避難するよりも安全であると思いますか。

家にいた方が 非常に 安全である	家にいた方が 安全である	どちらかと 言えば 家にいた方が 安全である	どちらかと 言えば 避難した方が 安全である	避難した方が 安全である	避難した方が 非常に 安全である
------------------------	-----------------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------	------------------------

16 あなたにとって大切な人たちは「有毒ガス漏えい時に、あなたは避難すべきである」と考えていると思いますか。

全く そう考えて いないと 思う	そう考えて いないと 思う	どちらかと 言えば そう考えて いないと 思う	どちらかと 言えば そう考えて いると 思う	そう考えて いると 思う	必ず そう考えて いると 思う
---------------------------	---------------------	-------------------------------------	------------------------------------	--------------------	--------------------------

自宅にいる場合を想定してお考えください。

17 あなたは化学工場の近くに住んでいることに対して恐怖感がありますか。

ほとんど 恐怖感はない	恐怖感がない	どちらかと 言えば恐怖感 がない	どちらかと 言えば恐怖感 がある	恐怖感がある	非常に恐怖感 がある
----------------	--------	------------------------	------------------------	--------	---------------

18 あなたは有毒ガス漏えい時の対処方法についてどの程度知っていますか。

ほとんど 知らない	知らない	どちらかと 言えば 知らない	どちらかと 言えば 知っている	知っている	よく 知っている
--------------	------	----------------------	-----------------------	-------	-------------

19 たいした有毒ガス漏えい事故ではなかったら、避難するのは面倒であると思いますか。

とても 面倒である と思う	面倒である と思う	どちらかと 言えば 面倒である と思う	どちらかと 言えば面倒 ではないと 思う	面倒ではない と思う	全く 面倒ではない と思う
---------------------	--------------	------------------------------	-------------------------------	---------------	---------------------

20 有毒ガス漏えい時、あなたにとって大切な人たちは、あなたに避難をすすめると思いますか。

全く すすめないと 思う	すすめないと 思う	どちらかと 言えば すすめないと 思う	どちらかと 言えば すすめると 思う	すすめると 思う	必ず すすめると 思う
--------------------	--------------	------------------------------	-----------------------------	-------------	-------------------



自宅にいる場合を想定してお考えください。

21 有毒ガス漏えい事故が発生した場合、避難先が遠くても避難すべきだと思いますか。

		どちらかと 言えば	どちらかと 言えば		
遠かったら 確実に 避難すべきで はないと思う	遠かったら 避難すべきで はないと思う	遠かったら 避難すべきで はないと思う	遠くても 避難すべきで あると思う	遠くても 避難すべきで あると思う	遠くても 確実に 避難すべきで あると思う

22 あなたは行政の避難指示などの判断をどの程度信頼できますか。

		どちらかと 言えば	どちらかと 言えば		
ほとんど 信頼できない	信頼できない	信頼できない	信頼できる	信頼できる	とても 信頼できる

23 あなたは有毒ガスについてどの程度知っていますか。

		どちらかと 言えば	どちらかと 言えば		
ほとんど 知らない	知らない	知らない	知っている	知っている	よく 知っている

24 あなたは有毒ガス漏えい事故が発生した工場からどの程度離れていれば安全であると思いますか。

1km未満	1km以上 から 3km未満	3km以上 から 5km未満	5km以上 から 10km未満	10km以上 から 20km未満	20km以上

自宅にいる場合を想定してお考えください。

25 有毒ガス漏えい事故が発生した場合、あなたは避難すると思いますか。

確実に 避難しないと 思う	避難しないと 思う	どちらかと 言えば 避難しないと 思う	どちらかと 言えば 避難すると 思う	避難すると 思う	確実に 避難すると 思う
---------------------	--------------	------------------------------	-----------------------------	-------------	--------------------

26 あなたはどのような状況になった場合、避難行動をとると思いますか。

(当てはまるもの一つに○を付けたうえ、質問27または28へ)

1. 有毒ガス漏えい事故が発生したことを知った時 (○をつけてから質問27へ)
2. 避難勧告に関する情報を受けた時 (○をつけてから質問27へ)
3. 避難指示に関する情報を受けた時 (○をつけてから質問27へ)
4. 近所の人から避難を呼びかけられた時 (○をつけてから質問27へ)
5. 消防や役所の人から直接に避難を呼びかけられた時 (○をつけてから質問27へ)
6. 家の中で変な臭いがした時 (○をつけてから質問27へ)
7. 有毒ガスが家の近くまで広がってくるのが見えた時 (○をつけてから質問27へ)
8. その他 ( ) (○をつけてから質問27へ)
9. 避難しない (質問28へ)

質問26の中で1～8を選択した方は「質問27」へ

質問26で9(避難しない)を選択した方は「質問28」へ





34 あなたの自宅にペットがいれば教えてください。(複数選択可能)

1. 犬                      2. 猫                      3. 金魚・鯉                      4. 熱帯魚
5. 亀                      6. 鳥                      7. ハムスター・モルモット
8. その他 (                      )                      9. 飼っていない

35 あなたは化学災害を経験したことがありますか。

1. ある                      2. 知り合いや家族が経験している                      3. ない

36 あなたは常に何かしらの避難への備え(防災グッズや持ち出し袋など)をしていますか。

1. はい                      2. いいえ

37 あなたは免許、または車を持っていますか。(世帯の中でだれか持っている場合も含む)

1. 免許も車も持っている                      2. 免許はあるが車はない
3. 免許はないが車はある                      4. 免許も車もない

38 あなたの住居形態を教えてください。(2と3の場合、お住まいの階をご記入ください)

1. 一軒家                      (                      階立て)
2. アパート                      (                      階)
3. マンション                      (                      階)
4. その他 (形態:                      ) (                      階)

ご協力まことにありがとうございます。

他にご意見がありましたら、ご自由にお書きください



## 研究成果

### 査読論文

1. 金奉賛、小柴、大谷、化学工場から有毒ガス漏えい時における周辺住民の避難意思に影響を及ぼす要因、安全工学誌、Vol.59, No.2 pp.92-102 (2020)
2. 金奉賛、小柴、大谷、Factors affecting evacuation behavior in case of toxic gas release: Questionnaire survey of Korean and Japanese younger adults, J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol.19, No.1 (2019)
3. 金、小柴、大谷、Kwon Youngjin, A questionnaire survey for college students on evacuation will and information delivery in case of toxic gas release, J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol.17, No.5 (2017)

### 受賞

1. Asia Pacific Symposium on Safety 2017 Best Paper Award
2. 大学(院)生災難安全論文公募展 2018 優秀賞

### 国際会議

1. Kim, Koshiba, Ohtani, Questionnaire Survey for Younger Adults on Evacuation Behavior in Case of Toxic Chemical Release, Asia Pacific Symposium on Safety (2017)

### 学会発表

1. 金、小柴、大谷、避難経験及び防災意識が有毒ガス漏れ事故発生時の避難に与える影響—若年層への質問紙調査—、安全工学研究発表会 (2016)
2. 金、春原、小柴、大谷、有毒ガス漏えい時の避難行動に影響を与える要因に関する質問紙調査研究、産業・化学機械と安全部門研究発表講演会 2017 夏 (2017)
3. 金、小柴、大谷、有毒ガス漏えい時における避難意思に関する研究：質問紙調査、安全工学研究発表会 (2018)
4. 金、小柴、大谷、有毒ガス漏えい事故時における工業団地周辺住民の避難意思とフェイス項目の関係性の検討、安全工学研究発表会 (2019)





## 謝 辞

来日してから長い間にかけて研究の進め方や論文完成までご指導・助言を頂いた横浜国立大学大学院環境情報研究院長の大谷英雄指導教授に深く謝意を表します。また、ご多忙のところ、本論文の審査をしてくださり、貴重なご教示を頂いた横浜国立大学大学 先端科学高等研究院 三宅淳巳教授、横浜国立大学大学 先端科学高等研究院 渋谷忠弘教授、横浜国立大学大学院 環境情報研究院 岡泰資教授、横浜国立大学大学院 環境情報研究院 熊崎美枝子准教授に深く謝意を表します。大谷研究室に入ってからずっと論文添削や相談、研究支援などに関してお力添え頂いた小柴佑介博士にも深く謝意を表します。

大谷研究室で出会った研究室の皆さんにも感謝いたします。様々な相談に乗ってくださり、ご応援を頂いた旭化成の佐野和彦博士にも深く謝意を表します。また、まるで長い付き合いの友達のような仲良くしてくれた東京消防庁の山本洋平さん、同庁の角熊裕司さんにも誠に感謝します。

この場に居られるよう修士までご指導を頂いた湖西大学 安全消防学部 消防防災学科 Kwon Youngjin 教授にも深く謝意を表します。また、応援してくれた湖西大学 超高層長大トンネル防災研究室の先輩・後輩の皆さんにも感謝します。

経済的心配せず、2016年から現在まで奨学金のご支援を頂いた公益財団法人 高山国際教育財団及び事務局の皆様にも深く謝意を表します。また、質問紙調査にご協力を頂いた川崎区の研究対象地域の住民の皆さんにも感謝いたします。

最後にいつも心配と応援してくれた私の両親と弟に深く謝意を表します。

2021年3月

金 奉賛