

博士論文

気候変動問題におけるマネジメント手法に関する研究

A Study on Management Measures
for Climate Change Issue

国立大学法人 横浜国立大学大学院
環境情報学府

栗原 崇
Takashi KURIHARA

2015年3月

要旨

地球規模の気候変動は、いまだそのメカニズムは解明されているわけではなく、また気候変動を回避するなどの解決策があるわけではない。しかし、気候変動枠組条約（UNFCCC）や気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の活動は欧州諸国により政治的に主導され、気候変動メカニズムは既知であるかのように認識されている。数多くの利害関係者が存在する気候変動問題は、科学的側面をふまえたマネジメント問題として取り扱う時期に来ているが、具体的なマネジメント手法の検討はなされていない。そこで、気候変動問題をどのように広くとらえ、社会としてどのようにマネジメントしていくべきかについて、気候変動問題におけるマネジメント手法に関する研究を行った。方法論の展開では、従来型の古典的なプロジェクト管理によるアプローチを示し、古典的手法でとらえきれない不確実さについてはプログラム管理によるアプローチによって、古典的手法を克服するためのマネジメント手法の開発を行った。

現実社会では、人為的 CO₂ 排出による地球温暖化を防止することを目的とし、外交、政治、行政、産業などにおいて様々な温暖化防止プロジェクトが進行している。それらの多くは、米国で誕生したプロジェクトマネジメント体系によって推進されている。本論文の幹である気候変動問題におけるマネジメント手法を考えたとき、多岐にわたるステークホルダー、複雑に絡み合う相互関係を、京都議定書のような大気中 GHG 濃度安定化を目的とした単一的な枠組みでコントロールすることは難しい。しかし、京都議定書のような国際的枠組みであっても一つのプロジェクトとして認識すれば、気候変動に関する包括的な取り組みをプログラムとしてとらえることができる。気候変動もしくは地球温暖化と関連付けられる各プロジェクト、またそれらに関連した気候変動問題を包括的にマネジメントするプログラム、これらの関係性を鳥瞰的にマネジメントするには、プロジェクト・プログラムマネジメント（P2M）の概念が有用である可能性が高い。

そこで本博士論文では、以上の背景を踏まえ研究目的を大きく二分した。前半（第1章から第4章）では、気候変動問題の現状について概観し、気候変動研究の状況を整理した。そして後半の研究へ導入を容易にするために古典的なアプローチ手法によるマネジメントの事例研究を実施した。後半（第5章から第7章）では、古典的手法を克服するためのマネジメント手法の開発を行った。様々なステークホルダーが介在する気候変

動問題を包括的にとらえ、唯一解を求めるのではなく、中庸的に気候変動問題の未来社会をマネジメントする手法の検討を行った。マネジメント手法の検討では、大きく分け3つの概念を導入した。プロジェクトマネジメントによる古典的手法ではとらえられない不確実さを扱うために、上位概念であるプログラムマネジメントの概念を導入し、持続可能な環境社会を実現するための方法論の開発を行った。

第1章では、研究の背景と目的、およびプロジェクト・プログラムマネジメントによる気候変動問題マネジメントへのアプローチが有用であることを示した。

第2章では、気候変動問題を概観した後、気候変動に関する研究動向を整理した。1990年代以降、予防原則の立場で政治的に取扱われている気候変動問題について、その成り立ちや、昨今の自然変動要因からの研究動向など、多視座的に広範な調査を実施した。科学的な気候研究の動向は、複雑に発展を遂げ日進月歩の状態であるが、現状の環境政策などには取り入れられていないことを示した。気候変動問題は数多くの科学者や社会が関与しているが、情報の正確性や妥当性、気候変動問題に関するコンセンサスに多くのステークホルダーが支配されており、レジリエンスの低い状態にある。集団心理的なバイアスが科学的なコンセンサスを確固たるものに育て上げており、その情報を基にして環境政策が作られていると示唆された。

第3章では、日本の経済界で取り扱われる地球温暖化対策について述べた。日本は公害病の歴史を踏まえ、企業の環境意識が高い。また、グローバル化の流れに乗り、環境マネジメントシステムの構築も進んでいる。日本では未だGHG排出抑制は立法化されていないものの、国や企業を挙げてのCO₂排出抑制に関する取り組みが熱を帯びている。気候変動問題をどのようにマネジメントしていくかを検討する上で、現状把握する必要がある。そこで、日本企業の地球温暖化対策について、概況及び調査研究を行った。経団連傘下の200社を無作為抽出し、温暖化対策の傾向分析を行った。調査結果から、相対的に製造業の取り組み傾向が盛んであり、化学、電気機器、建設業など、グリーン産業に関連した業種の取り組みが顕著であることが分かった。また、社会的責任投資（SRI）の拡大が、企業の気候変動対策に影響を与えていることを明らかにした。背景には、企業によるCO₂排出削減の取り組みは、特に欧米を中心とした投資市場からの影響を受けている可能性がある。SRI面で市場から高い評価を得るためには、市場の中心である欧米の西洋的な心理側面を理解しなければならないことを示した。

第4章では、第5章以降への導入を容易にするため、気候変動対策に関する古典的マネジメント手法であるライフサイクルアセスメント（LCA）に着目した。化石燃料から木質バイオマスへ燃料転換するにあたっての環境負荷の大きさを、CO₂排出原単位を用

いて評価し、バイオマスエネルギー導入効果に関する事例研究を行った。事例研究は十分なフィールドスタディを実施した結果を反映したもので、正確性や利用価値は十分であると判断をしているが、詳細な計算過程や計算結果を得ることを第4章の目的とはしていない。LCAは、設定されたある条件下での各種条件の組み合わせにより評価を実施するため、個別課題のマネジメントを行う「プロジェクト」としての範囲を超えることはない。気候変動問題を扱う上位概念、「プログラムマネジメント」の要素の一つとしてLCAを構成させると、気候変動問題を包括的にマネジメントするには、古典的マネジメント手法のみでは不十分であることを示した。

第5章では、気候変動問題の背景にある「気候変動は人為的CO₂排出が原因」という要因の単純化をリスクと捉え、気候変動問題を中庸的にマネジメントするフレームワークの開発を行った。東洋的なリスクマネジメントを可能にするP2Mの新たなフレームワーク形成を目指して、西洋主導の気候政策のマネジメントにP2M手法を適用した。これにより、気候変動に対して高レジリエンスな社会の構築に資する。方法論としての議論を通じて、西洋的及び東洋的アプローチの各利点を生かすことにより、気候変動政策に対する中庸的リスクマネジメントを従来のP2M線形モデルから導くための考察を行った。西洋的思考プロセスは目標に向け物事を単純化し、不向きな情報を排除する傾向がある。脆弱性の存在を認識し、様々な文脈の中から状況に応じた応答を見出す中庸的なリスクマネジメントが、気候変動問題におけるマネジメント手法に有効と示唆される。

第6章では、P2M方法論では未来社会を提供するシナリオ研究が十分になされていないことに着目し、気候変動問題における未来マネジメントには、演繹的アプローチ(探索型)のシナリオ・プランニングが適していることを見出した。第5章で示した気候変動問題への東洋的アプローチ思考を基盤とし、直線的な未来マネジメントではない、シナリオ利用者にとって都合の悪い不確実性を取り入れた未来マネジメントを可能とするマネジメント手法の開発を行った。気候変動問題を事例に、P2Mに新たなシナリオ適応力を付与する理論を構築し、非線形な未来社会に対するシナリオには探索型アプローチが不可欠であることを示した。環境行政では、種々のシナリオが前提としてサービス構築がなされている。第6章で示唆するように、行政に向けた未来社会シナリオはこれからの行政スタイルを変える可能性を秘めている。P2Mでの更なるシナリオ理論研究は、その潜在価値が高い。

第7章では、複雑系の概念である動的不安定性をプログラムマネジメントに導入し、未来社会のレジリエンスを増す管理手法研究を行った。気候変動問題は多くの心理的影

響やコンセンサスなどの関与が考えられ、マネジメントの多様性を欠き、正しい理解や適切な対処が困難になる可能性が高い。そこで、気候変動問題を事例に統合的思考法を用いた情報整理を行い、公共益を目的とした大局的なプログラムマネジメントに対し、生態系レジリエンスのような動的不安定性を導入する手法を一般化した。レジリエンスの概念を管理手法に取り入れることにより、持続可能な社会を構成するプログラムマネジメント論の新たな可能性を示唆した。システムに対して動的不安定性状態を導入するために、はじめに社会全体が対極的視点を持つことができる理想的な状態の分析を行った。そして、次に理想形が適用できない不確実性が多い状態の分析を複雑系の視点から行うことで、持続可能な社会を構築する新たなプログラムマネジメント手法を開発した。

第8章では、本論文の研究目的に対する結論、今後の気候変動問題マネジメントに関する提言、本研究の価値について述べた。

本博士論文では、人はメンタル面での思考のバイアスを持っていること、気候変動問題に対する中庸的な視点の必要性、複雑性を含んだ未来マネジメント手法の可能性、劣化状態から持続可能な社会を構築するマネジメント手法の有用性、などについて多視座的に知見を広げた。システム全体をレジリエンスの高い状態へ導くプログラムマネジメントは、気候変動問題への適用をはじめ、経済的価値と生態系保護の両面の利権が複雑に存在する生物多様性問題への適用なども期待される。

目次

第1章 研究の背景と目的

1-1 はじめに ー研究の背景ー	1
1-2 プロジェクト・プログラムマネジメントによる展開	3
1-3 アニマルスピリットによる支配の認識	5
1-4 本研究の目的	7
1-5 本研究の論文の構成	8

第2章 気候変動研究の現状

2-1 2章の概要と構成	12
2-2 地球温暖化問題のはじまり	13
2-3 20世紀気温上昇の背景	15
2-4 自然変動に起因した気候変動研究の動向	19
2-5 不確実な科学を認識する	20
2-6 気候変動マネジメントにおけるメディア・リテラシーの基礎	20
2-7 Scientific Consensus	24
2-8 バイアスの影響	26
2-9 総括	28

第3章 日本企業における温暖化対策の概況

3-1 3章の概要と構成	30
3-2 日本企業の環境マネジメント	31
3-3 日本企業の環境問題への取り組み	32
3-3-1 企業による地球温暖化対策への取り組み状況調査	33
3-3-2 業種調査	37
3-3-3 環境への取り組み調査	38
3-4 環境への取り組みの評価	42
3-5 SRIが作り出す気候変動問題の是非	44

3-5-1	質問書評価結果の絶対性操作テスト	47
3-6	総括	50
第4章 ケーススタディ：バイオマスエネルギー導入効果のLCA評価		
4-1	4章の概要と構成	52
4-2	バイオマス利用とライフサイクルアセスメント	54
4-3	バイオマス利用とカーボンニュートラル	55
4-4	CO ₂ 排出量取引制度	56
4-4-1	国内クレジット制度（国内排出量削減量認証制度）	57
4-5	木質バイオマスの物理特性	60
4-5-1	含水率	60
4-5-2	密度（比重）	60
4-5-3	高発熱量・低発熱量	61
4-5-4	直接燃焼用燃料としての木質バイオマス	61
4-6	ライフサイクルアセスメントの概要	63
4-6-1	LCAの目的	64
4-6-2	分析対象：地域設定	64
4-6-3	蒸気の実蒸発量	65
4-7	LCAの実施	69
4-7-1	評価シナリオ設定	70
4-7-2	木材の主伐・間伐の設定	72
4-7-3	伐採可能範囲の設定	73
4-7-4	林地からの輸送形態	73
4-7-5	ダンプ特性	74
4-7-6	運搬	75
4-8	各プロセスの重機類製造段階に係るGHG排出原単位	76
4-8-1	シナリオ1 重機類製造段階に係るGHG排出原単位	76
4-8-2	シナリオ2 重機類製造段階に係るGHG排出原単位	76
4-8-3	ユーティリティの使用、鉄のGHG排出原単位	77
4-9	各プロセス 重機類使用段階に係るGHG排出原単位	78
4-9-1	シナリオ1 各プロセスでの重機類使用段階に係るGHG排出原単位	78

4-9-2 シナリオ2 各プロセスでの重機類使用段階に係る GHG 排出原単位	79
4-10 木質バイオマスボイラーで蒸気必要量の 100%を生成したとき	79
4-10-1 運搬/木質バイオマス 100%	79
4-10-2 各プロセスでの重機類製造段階に係る GHG 排出原単位/木質 100%	80
4-10-3 各プロセスでの使用に係る GHG 排出原単位/木質 100%	81
4-11 小型環流ボイラーの製造および使用に係る GHG 排出原単位	82
4-11-1 小型環流ボイラーの製造に係る GHG 排出原単位	82
4-11-2 A 重油の製造段階に係る GHG 排出原単位	82
4-11-3 14kL タンクローリの製造段階に係る GHG 排出原単位、および燃費	83
4-11-4 A 重油の納入輸送に係る GHG 排出原単位	84
4-11-5 小型環流ボイラーでの A 重油使用に係る GHG 排出原単位	84
4-12 計算条件設定	85
4-13 GHG 排出量の評価	87
4-13-1 インベントリ分析結果/GHG 排出原単位対象：機器製造+使用段階	87
4-13-2 インベントリ分析結果/GHG 排出原単位対象：使用段階	89
4-14 バイオマスボイラーにて全蒸気量を生成したとき（A 重油未使用）	90
4-14-1 木質バイオマス 100%/GHG 排出原単位対象：機器製造+使用段階	90
4-14-2 木質バイオマス 100%/GHG 排出原単位対象：使用段階	91
4-15 木質バイオマス利用割合による GHG 排出原単位の変化	91
4-16 GHG 排出原単位の評価	92
4-17 総括	92

第5章 気候変動問題に適用し得る東洋型リスクマネジメントの考察

5-1 5章の概要と構成	96
5-2 リスク課題としての気候変動問題	98
5-3 気候変動と西洋メンタリティ	99
5-4 アジア視点から見た気候変動問題	100
5-5 欧州主導の気候変動対策と P2M の関係性	102
5-6 P2M の脆弱性	103
5-7 西洋と東洋におけるメンタリティの違い	104
5-8 気候変動問題に対するアジア視点のリスクマネジメント	106

5-9 東洋的リスクマネジメント型フレームワークの提唱.....	107
5-10 総括	109

第6章 気候変動マネジメントにおけるシナリオ・プランニング理論の展開

6-1 6章の概要と構成	112
6-2 気候変動問題とマネジメント.....	114
6-3 プロジェクト・プログラムとシナリオ.....	114
6-3-1 未来学とシナリオ・プランニング.....	116
6-3-2 探索型シナリオ - シナリオ・プランニング -.....	117
6-4 気候変動問題とシナリオ -規範型シナリオと探索型シナリオ-.....	118
6-4-1 規範型シナリオ -IPCC 型シナリオ-.....	118
6-4-2 探索型シナリオ -気候変動シナリオに対する演繹的アプローチの実践.....	121
6-4-3 フレームワークの決定.....	122
6-4-4 データ集約.....	122
6-5 シナリオ作成	123
6-5-1 「国際協調型 未来社会シナリオ」 （骨子のみで表現する方法）	123
6-5-2 「国際協調破綻型 未来社会シナリオ」 （骨子のみで表現する方法）	124
6-5-3 「自然変動を重視した社会の秩序シナリオ」 （具体例を記述する方法） ..	124
6-6 シナリオ・プランニング型 プロジェクション・マッピング.....	125
6-7 考察 -気候変動問題とシナリオ・プランニング-.....	127
6-7-1 経済価値.....	127
6-7-2 外交価値.....	128
6-7-3 学術価値.....	128
6-7-4 P2M 方法論 シナリオ・プランニングの拡張.....	129
6-8 総括	129

第7章 動的不安定性から見たプログラムマネジメント手法

7-1 7章の概要と構成	131
7-2 気候変動マネジメントと不確実性.....	133
7-3 多様性を欠いた気候変動問題プログラム.....	134

7-4	プログラムマネジメントへの動的不安定性状態の導入.....	136
7-4-1	ダイナミズムの導入方法.....	138
7-4-2	統合的思考法適用による characterization - インテグラル・シンキング -.....	140
7-5	動的不安定性導入プロセス.....	141
7-5-1	STEP1: 統合的思考法を用いた現在状況分析.....	141
7-5-2	STEP2: プログラム全体の理想状態分析.....	144
7-5-3	STEP3-①: Polarity Management による一般化.....	145
7-5-3-1	Polarity Management とは.....	145
7-5-3-2	Polarity Management による一般化.....	146
7-5-3-3	気候変動問題への実装 - 一般化したポテンシャルエネルギー.....	149
7-5-5	STEP3-②: Multiple Optimum Management による一般化.....	151
7-6	考察.....	154
7-6-1	持続可能なプログラムを提供する学術的価値.....	155
7-6-2	P2M 方法論における新たなプログラムマネジメント論.....	155
7-7	総括.....	156

第8章 結論

8-1	気候変動問題の現状についての広範な調査に関する評価.....	157
8-1-1	気候変動問題の概況.....	157
8-1-2	日本企業における温暖化対策の概況に関する評価.....	158
8-1-3	バイオマスエネルギー導入効果の LCA 評価.....	159
8-2	気候変動問題のマネジメント手法に関する評価.....	159
8-2-1	気候変動問題に適用し得る東洋型リスクマネジメントに関する評価.....	160
8-2-2	気候変動マネジメントにおけるシナリオ・プランニングに関する評価.....	160
8-2-3	動的不安定性から見た気候変動問題のマネジメント手法に関する評価.....	161
8-3	今後の健全な環境対策に向けて.....	162

参考文献.....	163
-----------	-----

博士論文を構成する論文等.....	174
-------------------	-----

謝辞

略語表

略語	英語	日本語
AR4	Fourth Assessment Report	第4次評価報告書
AR5	Fifth Assessment Report	第5次評価報告書
CO ₂	Carbon Dioxide	二酸化炭素
EMS	Environmental Management System	環境マネジメントシステム
FAR	First Assessment Report	第1次評価報告書
GHG	Greenhouse Gas	温室効果ガス
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	気候変動に関する政府間パネル
ISO	International Organization for Standardization	国際標準化機構
LCA	Life Cycle Assessment	ライフサイクルアセスメント
P2M	Project & Program Management	プロジェクト・プログラムマネジメント
SAR	Second Assessment Report	第2次評価報告書
SRI	Social Responsibility Investment	社会的責任投資
TAR	Third Assessment Report	第3次評価報告書
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	気候変動に関する国際連合枠組条約

第1章 研究の背景と目的

1-1 はじめに ー研究の背景ー

近年、メディアでは「観測史上はじめて」という言葉により、多くの気象現象や気象の変化が報じられている。夏の高気温、集中豪雨、突風や竜巻、洪水といった気象現象の発生要因が、また最近ではアメリカや日本で観測される厳冬も地球温暖化が原因であるという説がメディアを賑わし（日経サイエンス, 2012）（Newsweek 日本版, 2014）、多くの日本人がそうであるという認識を持っている（みずほ情報総研, 2013）。近代の気象観測が整備され、日本で気象の定点観測が行われるようになって140余年だが、「観測史上はじめて」という言葉は「過去に一度もない」と同意に扱われる傾向がある。

日本では気候変動問題（Climate Change Issue）が地球温暖化問題として扱われ、その要因はCO₂排出であるという認識が常識となっている。CO₂排出削減が地球温暖化対策に寄与すると一般化されているが、国レベルでは“地球温暖化対策の推進に関する法律”が制定されてはいるものの、CO₂排出量の報告制度という位置付けであり、CO₂排出抑制について義務的な対策が課されているわけではない。

国に先立ち、地方レベルで独自のCO₂排出削減義務を課す動きが出てきている。例えば、東京都の“都民の健康と安全を確保する環境に関する条例（環境確保条例）”では、2008年（平成20年）7月の改正で「温室効果ガス排出総量削減義務と排出量取引制度」を導入している。温室効果ガスの排出量が相当程度大きい事業所¹の所有者に対し、過去3か年度の平均排出量から算定される基準排出量をもとに、第1計画期間（2010-2014年度）の削減義務率6%～8%（オフィスビル等の区分による）、第2計画期間（2015-2019年度）の削減義務率15%または17%（削減率は基準年度比）を課している。達成が見込めない場合は、都が認めるオフセットクレジット制度を利用した排出量取引により調整を行い、義務違反については事業者への勧告、違反事実の公表、罰金などの措置が課される。国際レベルでの排出量取引が円滑に行われているとは言い難い状況下で、自治体による強制措置が都内企業への負担となっている。この流れは、都市が気候変化に適応することで、ビジネス環境にとって回復力のある環境を作りあげるとして、環境意識

¹ 対象となる施設：燃料、熱及び電気等のエネルギー使用量が、原油換算で年間1,500キロリットル以上の事業所

の高い世界の主要都市がそれぞれ気候変動対策のプログラムを構築するトレンドとなっている（CDP, 2014）。

一方、日本の代表的な企業 1300 社、製造業やサービス業等の主要な業種別全国団体 121 団体、地方別経済団体 47 団体などから構成される日本経済団体連合会（経団連）は、1998 年に経団連環境自主行動計画を制定している。本計画の特徴は、①各産業が誰からも強制されることなく自主判断で行う自主的な取り組み、②極めて幅広い参加業種、③温暖化対策と廃棄物対策について、多くの産業が数値目標を定めている、④定期的にレビューすることで、産業界が環境対策について継続的に改善しつづける仕組み、である。自主的な行動計画であるというものの、多くの業種が

- ▶ 製品あたりのエネルギー原単位あるいは CO₂ 原単位の改善
- ▶ エネルギーあるいは CO₂ 排出の総量の削減
- ▶ サービスあるいは製品の仕様段階での省エネ化

といった具体的な数値目標を設定している。そのレビュー結果は監督官庁へ報告されており、業界団体の傘下企業にとっては実質的には半強制的な取り組みになっている状況にある。経団連が CO₂ 排出抑制に注力する背景には、産業界が自主的に取り組みを進めることで、CO₂ 排出削減義務化の法整備を避けるためとも言われている。

このように、国や自治体、産業界では様々な手法により地球温暖化対策が推進されているが、その背景には政策決定者である政府、学術研究機関、産業界など、多くのステークホルダーが相互関係を構築していると考えられる（図 1-1）。そしてステークホル

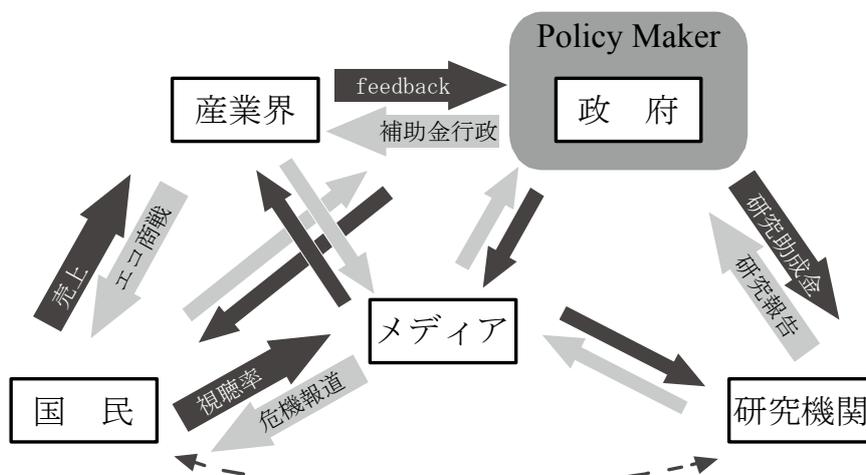


図 1-1 地球温暖化問題におけるステークホルダー間関係性

ダー間の利害関係は、地球温暖化というコンセンサスを確固たるものにするよう働いている。

地球規模の気候変動は、いまだそのメカニズムは解明されていない（伊藤，小川，2010）。しかし、UNFCCC や IPCC の活動はヨーロッパ諸国が主導する形で政治的に扱われ、気候変動メカニズムが既知であるかのように認識されている。数多くの利害関係者が存在する気候変動問題は、科学的側面を踏まえたマネジメント問題として取り扱うべき時期に来ているが、具体的なマネジメント手法の検討はされていない。

筆者は製薬メーカーに勤務し、国内外の部門・部署に対して環境に関する取り組みを推進、また社会に対してその取り組みを情報公開する業務に従事している。気候変動問題、とりわけ地球温暖化対策が企業の環境に対する取り組みの中心と捉える企業が多く、筆者の勤務先も例外ではない。さらには、投資市場も気候変動をリスク課題と設定し、持続可能な企業活動のための活動が格付け機関により評価され、企業による気候変動対策が投資対象指標ともなっている。また、評価機関からの格付けが高い企業などでは、持続可能なエネルギー源、CO₂ 排出量低減が目的でバイオマスエネルギーを利用する企業も出始めている。このような状況下で、社会は気候変動という長期的な地球の変化を正しく理解する思考を、どのように培えばよいかという課題に直面した。そこで、地球温暖化= CO₂ 排出という単純な思考ではなく、気候変動問題をどのように広くとらえ、社会として気候変動問題をどのようにマネジメントしていくべきかについて、包括的に方法論の研究を行うに至った。

1-2 プロジェクト・プログラムマネジメントによる展開

気候変動問題は、第2章で述べるようにいまだその科学的システムが解明されているわけではなく（伊藤，小川，2010）、気候変動を回避するなどの解決策があるわけではない。そのため、本論文で示すマネジメント手法により気候変動をコントロールすることが可能になるということはなく、またそれについて言及することはしない。

現実社会では、人為的 CO₂ 排出による地球温暖化を防止することを目的とし、外交、政治、行政、産業などにおいて様々な温暖化防止プロジェクトが進行している。それらの多くが、米国で誕生したプロジェクトマネジメント（Project Management Institute, 2012）体系によって推進されている。

プロジェクトとは、「特定使命を受けて、始まりと終わりのある特定期間に、資源、状況など特定の制約条件のもとで達成を目指す、将来に向けた価値創造事業である」と定義づけられ（小原，2003a）、プロジェクトマネジメントはイノベーションを創出する

ことを目的としてビジネス界で多く利用される手法である。新しいビジネスモデルの開発や大きな社会変革を起こす仕組みとの組み合わせによって、プロジェクトマネジメントによりイノベーションが発生している（吉田, 山本, 2014）。しかし、最近では多くの課題がプロジェクト化され、古典的なマネジメントでは網羅しきれないテーマも多くなってきている。例えば、吉田と山本（2014）は、成熟社会が抱える課題の特徴を示している。

- 問題設定の際に考慮すべき条件が非常に入り組んでいる（複雑性）
- 関係する人や組織の意見が対立してまとまらない（多義性）
- 将来がどうなるか予測できない（不確実性）
- 市場が全世界に広がっているため解決策の影響が広範囲になる（拡張性）

成熟社会が抱えるこれらの特徴を克服する知識は多数存在するが、社会的分業や研究の細分化が進みすぎており、全体を包括的にマネジメントすることはない。そこで、数多くのプロジェクトが失敗を経験する中からプロジェクトの上位概念として、プロジェクトを包括的にマネジメントするプログラムマネジメントが形式立てられたのが 2000 年以降のことである。

プログラムとは、「全体使命を実現する複数のプロジェクトが有機的に結合された事業」と定義づけられ（小原, 2003a）、プロジェクトとプログラムを体系づけてマネジメントする日本独自の標準として形成されたのがプロジェクト・プログラムマネジメント（P2M）である。

本論文の幹である気候変動問題のマネジメントを考えたとき、図 1-1 のように多岐にわたるステークホルダー、複雑に絡み合う相互関係を、京都議定書（UNFCCC, 1997）のような大気中 GHG 濃度安定化を目的とした単一的な枠組みでコントロールすることは難しい。しかし、京都議定書のような国際的枠組みであっても一つのプロジェクトとして認識すれば、CO₂ 関連で商機を見出す環境関連産業、東京都の環境確保条例の推進、経団連の環境自主行動計画の推進、などと同様に一つ一つのプロジェクトとして理解することができる。気候変動もしくは地球温暖化と関連付けられる各プロジェクト、またそれらに関連する気候変動問題を包括的にマネジメントするプログラム、これらの関係性（図 1-2）を鳥瞰的にマネジメントするには、プロジェクト・プログラムマネジメントの概念が有用である可能性が高い。

そこで本研究では、気候変動問題を包括的にマネジメントする手法の構築をするために、発達段階であるプロジェクト・プログラムマネジメントに着目した。気候変動をは

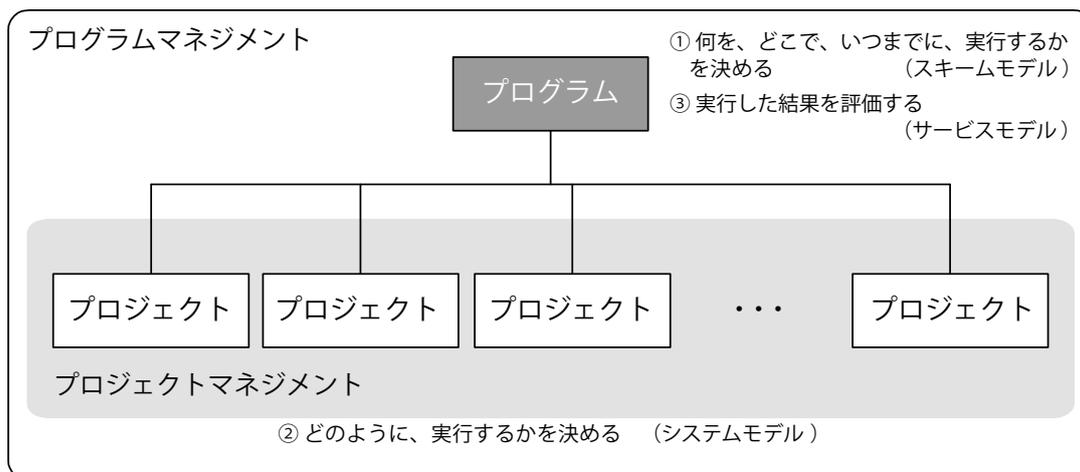


図 1-2 プログラムとプロジェクトの関係 (吉田, 山本 2014) より引用, 一部改変

はじめとする環境マネジメントに対して、自然科学の分野からは測定やシステム的手法を強調しているが、実際にはそれだけでは不十分であり、社会経済的要素の重要性も加味した意思決定が求められる (鈴木, 2006)。そこで、従来の気候変動問題に対する古典的なプロジェクト管理によるアプローチ、古典的手法でとらえきれない不確実さについてはプログラム管理によるアプローチによって、気候変動問題に関するマネジメント手法を方法論として展開することとした。

1-3 アニマルスピリットによる支配の認識

温暖化がもたらす危機に対する恐れ、CO₂ 排出抑制によるクリーンで持続可能な社会の実現。私たちが知る気候変動に対するコンセンサスは、明らかに「恐怖」と「利益」に支えられている (伊藤, 2003)。

気候変動問題を理解するには、人々の考え方や感情を律する思考パターンであるアニマルスピリット (アカロフ, シラー, 2009) に注目する必要がある。アニマルスピリットとは、George A. Akerlof が唱えた「非経済的な動機や思考パターン変化によって生じる不合理な行動」を意味し、多くの経済活動がアニマルスピリットに支配されているという。

政治・経済・外交と多岐にわたる利権に左右される気候変動問題は、5つの側面「安心」「公平さ」「腐敗と背信」「貨幣錯覚」「物語」からなるアニマルスピリットを考えることで、単純化された思考を客観視できるようになる。Akerlof の助言をふまえながら、気候変動に関するアニマルスピリットを挙げてみる。

- ▶ 安心 人は、地球温暖化は危険だから、気温上昇を食い止めるためには CO₂を出さないほうが安心だと考えている。安心とは、合理的な意思決定以上の働きを示し、思いつきで意思決定をする。安心を求めるためにエコバックを買い求める、というのも直感的な意思決定の一つである。

- ▶ 公平さ 他者だってやるべきことに照らして恥ずかしくないだけのことをやるべきと考え、気候変動に対する姿勢に公平さを持ち込む。そして、それに必要な応分な支出（例えば高価な Hybrid 車や電気自動車を購入する）などを受容し、環境に配慮している自分に幸せを感じる。

- ▶ 腐敗と背信 気候変動問題とアニマルスピリットの働きを理解するには、気候変動対策の悪い面を考慮する必要がある。例えば IPCC は、シミュレーションにより導き出した気温上昇気候モデルで危機を煽り世間が混乱しても、IPCC には何ら責任はない（Akasofu, 2008）。サイエンスから下流に位置する政策決定者によってその情報が政治利用され、シミュレーションに依存した情報がいつの間にかに腐敗していく（Demeritt, 2001）。また、背信とは形式的には合法でも悪い動機を持つ活動を意味し、例えば国や地方自治体の地球温暖化対策予算を見越した unnecessary 設備投資、再生可能エネルギーの固定価格買取制度を理由とした太陽光パネルの売り逃げ、などが挙げられる。

- ▶ 貨幣錯覚 気候変動対策の経済的手法として京都議定書に規定される排出取引（Emission Trading）は、削減に苦勞する国や企業が削減に要する多くの投資に比べ、実際にはより少ない投資や費用で容易に実行できてしまう。ここには、位置決定が名目金額の影響を受けるときに生じる貨幣錯覚がある。また、欧州市場で 2008 年に 30 ユーロ/ton-CO₂ 近くまで上昇した排出取引価格は、余剰排出権の増加に伴い 2013 年 3 月には最低で 3.5 ユーロ/ton-CO₂ まで下落している（EUROPEAN COMMISSION, 2012）。

しかし、市場価格の低下によりトン当たりの取引価値が低下したにもかかわらず、排出取引の必要性 -貨幣錯覚の不在- がうたわれている。

- 物語 物語は事実を説明するだけにとどまらず、それ自体が事実となる。国民や集団の抱く安心感は、物語を核として動く傾向がある。特に重要なのは、近年の地球温暖化がもたらす近い将来の危機といった、まったく違った未来を示した物語である。また、ニュースや世論が繰り返し伝えることで、人間の思考は物語に基づくものになっていく。

このように、気候変動問題は多くのアニマルスピリットの関与が考えられ、正しい理解や適切な対処が困難になる可能性が高いと示唆される。人間の誰しもの多かれ少なかれ持ち合わせるアニマルスピリットの存在を意識的に認識しなければ、気候変動に対する思考パターンはコンセンサスの影響を大きく受けることになる。しかし、現状のUNFCCCやIPCCを頂点とした気候変動対策の行政機能は、既に恐怖や利益といったもっぱら心理的な側面によるものが多く、多視座的なマネジメントがなされていない。

そこで、プロジェクト・プログラムマネジメントを活用した気候変動問題のマネジメント手法に関する研究では、各段階でアニマルスピリットの存在や、東洋メンタリティ、西洋メンタリティといった心理的影響を踏まえながら細部への展開を行った。心理的側面による影響の存在を認識した気候変動問題のマネジメント手法は、持続可能な環境社会を実現するための方法論のひとつとして期待される。

1-4 本研究の目的

本博士論文では、以上の背景を踏まえ、目的を以下のように設定し概念図を図1-3に示した。研究目的を大きく二分し、目的①では環境問題の筆頭に掲げられる気候変動問題を概観し、また気候変動研究の状況を整理する。そして、後半の研究へ導入を容易にするために古典的なアプローチ手法によるマネジメントの事例研究を実施した。目的②では、古典的手法を克服するためのマネジメント手法の開発を行った。

- ① 1990年代以降、世界的に対処が迫られるようになった気候変動問題について、気候変動科学を客観的に考察する。そして、気候変動問題におけるマネジメント

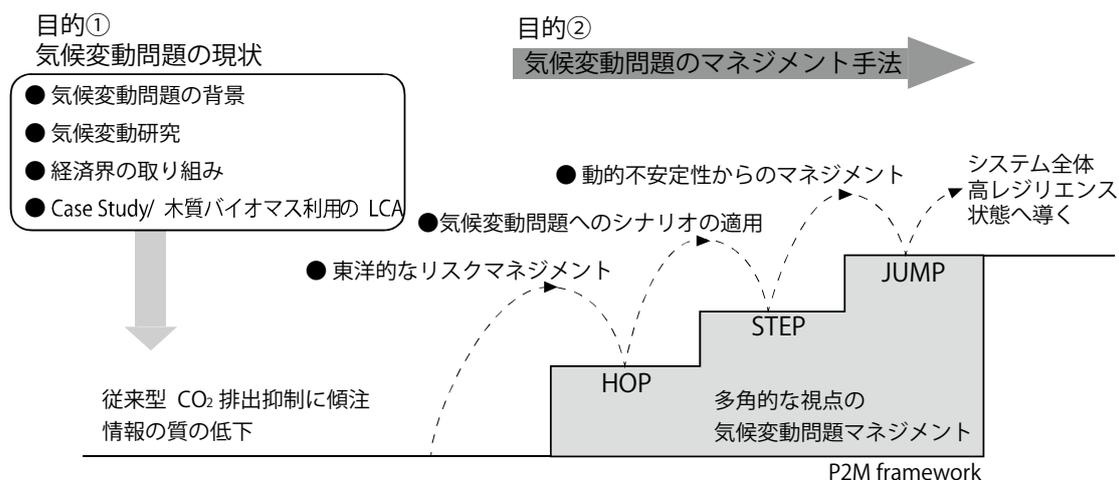


図 1-3 気候変動問題とメンタリティを関連付けた本研究の対象

手法を検討するための、多視座的な情報の整理を行う。気候変動が問題化した背景、CO₂以外の気候変動要因、日本経済界の対応などを考察する。また、気候変動対策の古典的マネジメント手法として利用が進む木質バイオマスエネルギーについて、利用に関するライフサイクルアセスメントを行い、古典的手法でとらえきれない不確実さを明らかにする。

- ② 様々なステークホルダーが介在する気候変動問題を包括的にとらえ、唯一解を求めるのではなく、中庸的に気候変動問題の未来社会をマネジメントする手法の検討を行う。マネジメント手法の検討では、大きく分け3つの概念(-hop-step-jump-の3段階)を導入する。プロジェクトマネジメントによる古典的手法ではとらえられない不確実さを扱うために、上位概念であるプログラムマネジメントの概念を導入し、持続可能な環境社会を実現するための方法論の開発を行う。

1-5 本研究の論文の構成

本論文は、8つの章から構成される(図1-4)。

- 第1章 : 研究全体の背景と目的、プロジェクト・プログラムマネジメントによる気候変動問題マネジメントへのアプローチが有用であることを示した。また、本研究の各章で行った研究内容の構成を述べた。

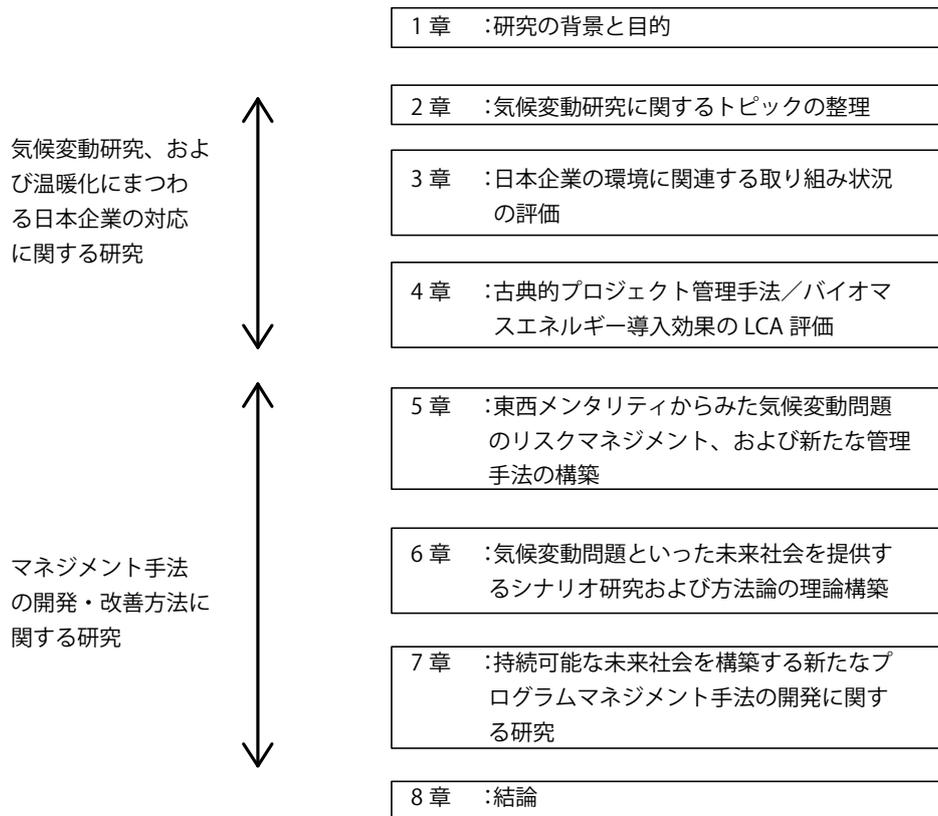


図 1-4 本研究の構成

第2章 : 気候変動問題を概観した後、気候変動に関する研究動向を整理した。気候変動問題は数多くの科学者や社会が関与しているが、情報の正確性や妥当性、気候変動問題に関するコンセンサスに多くのステークホルダーが支配されていることを示した。それにより、気候変動に関する情報が適正に評価されていない可能性を示した。

第3章 : 日本国内企業にとっての地球温暖化問題はどのように扱われているのか、経団連加盟企業の中から無作為抽出した企業 200 社に対し、対象企業が発行する CSR 報告書等を調査、評価することで述べた。また、社会的責任投資 (SRI 投資) の一環として、機関投資家は企業の気候変動対策に注目をしている。機関投資家による企業の気候変動対策評価に対し、日本企業が欧米を中心とした機関投資家から評価を受けるためには、西洋的思考を理解したマネジメントが必要であることを示した。

第4章 : カーボンニュートラルに注目し、再生可能エネルギーのひとつである木質バイオマス利用が進んでいる。CO₂ 排出削減という直線的な評価軸から派生したものだが、利用効率面から地産地消が進んでいる。木質バイオマスエネルギーの導入効果を評価するため、古典的なプロジェクト管理手法であるライフサイクルアセスメントをケーススタディとして実施した。プロジェクトとしてのライフサイクルアセスメントには一定の価値があるが、プログラム管理の視点からは古典的手法であるライフサイクルアセスメントは不十分であることを示した。第4章は、古典的マネジメント手法を実行することが目的であり、アセスメントから得る詳細結果を評価することを本章の結論とはしていない。本章から得る考察については、章末をご覧ください。

第5章 : 気候変動は人為的 CO₂ 排出が原因という従来型の地球温暖化問題は、西洋メンタリティの単純化に関与していると示唆され、非効率的、非効果的な地球温暖化対策は社会のレジリエンスを低くしている。西洋主導の気候変動対策に適用できるための、東洋的なリスクマネジメントを可能とするフレームワークを構築した。

本章は、国際 P2M 学会 2012 年春季大会で講演した内容、また国際 P2M 学会誌に投稿し、受理、掲載された論文の内容を含んでいる。

第6章 : 数あるマネジメント方法論研究対象のうち、気候変動問題といった未来社会を提供するシナリオ研究は十分になされていない。本章は、規範型・探索型シナリオ、帰納的・演繹的なアプローチの違いを理論展開し、気候変動問題を例に方法論研究を行った。

本章は、国際 P2M 学会 2013 年春季大会、及び 2013 年秋季大会で講演した内容、また国際 P2M 学会誌に投稿し、受理、掲載された論文の内容を含んでいる。

第7章 : 不確実性の高い環境問題等を扱うプログラムは、心理的影響やコンセンサスに支配され、多様性や思考の柔軟性を欠いたレジリエンスの低い状態にある場合が多い。安定解を求める従来のプログラムマネジメント

は、プログラム全体の柔軟性を損ねてしまう。本章では、複雑系の概念である動的不安定性をプログラムマネジメントに導入し、未来社会のレジリエンスを増す管理手法研究を行った。

本章は、国際 P2M 学会 2014 年秋季大会で講演した内容、また国際 P2M 学会誌に投稿し、受理、掲載予定（2015 年 3 月発行予定）の内容を含んでいる。

第 8 章 : 第 1 章から第 7 章をまとめて本研究の結論および総括を述べ、今後の課題について検討した。

第2章 気候変動問題の概況

2-1 2章の概要と構成

第2章では、世界の気候変動研究について概観をした。日本では、行政やマスメディア等により取り上げられる地球温暖化問題が正規の情報と認識される傾向にあるが、日本では取り上げられることのない海外での気候変動問題の扱われ方について現状を述べた。

最初に 2-2 にて、常識として認知されている地球温暖化の気候問題について、地球温暖化問題のはじまりを概観した。どのようにメディアに登場し、どのように危機的な課題として認識されるようになったかを述べた。

2-3 では、国際連合関連会議などで報告されたことで一般に認知されるようになった過去の地球気温について、主流となった過去気温グラフの解析を行い、十分な不確かさがあることを確認した。

2-4 では、自然変動要因から見た最近の気候変動研究動向を概観した。太陽活動の変化、大気中エアロゾル量変化による気候への影響などが研究されていることを示した。

2-5 では、SCIENCE としての科学の性質を述べた。これは、科学で証拠が示された事実、もっともらしい証拠を示されただけであって、その時にもっともらしい手法で得られたもっともらしい結果に過ぎない事を述べた。

2-6 は、気候変動問題が格好のメディアの対象であることを認識し、メディアの波に乗る際に情報が正しく伝えられていないことを示し、メディアを介して情報を発信する側、受信する側のメディア・リテラシーが求められることについて述べた。

2-7 では、科学者が扱う情報は科学者自身が作り出すコンセンサスによって正しい情報と認識されていることを述べた。

2-8 では、コンセンサスを形成するためのバイアスの影響を概観した。科学は常に社会の政策的なバイアスの中にあること、また科学者たちが持つ宗教を含んだメンタリティや利害関係、政治的な背景が影響していることを示し、2-9 で総括をした。

2-2 地球温暖化問題のはじまり

一般に、世界の地球環境保護への高まりは、1992年ブラジルのリオ・デ・ジャネイロで開催された環境と開発に関する国際連合会議（United Nations Conference on Environment and Development, UNCED）において環境と開発に関するリオ宣言（United Nations, 1992）が合意されたことが転機になっているとされている。この宣言（declaration）は27の原則（principle）からなり、地球環境と開発システムの一体性の保全への国際的な合意を追求することを明言している。特に世界の環境保護先進国や団体に影響を及ぼすことになった原則15では、

"In order to protect the environment, the precautionary approach shall be widely applied by States according to their capabilities. Where there are threats of serious or irreversible damage, lack of full scientific certainty shall not be used as a reason for postponing cost-effective measures to prevent environmental degradation."

とある。環境を保護するためには、重大なもしくは不可逆的な損害の恐れがあるところでは、十分な科学的確実性ないことを理由に費用対効果の高い対策を引き延ばしてはならないとしている。これは、未来に発生するかどうかは分からないが、可能性がゼロでないのならば対策を施すという予防原則の立場である。また、地球規模の環境と開発を調整する持続可能な開発の概念が掲げられ、生態系の健全性および安全性を保全・保護・復元するために、全地球的に協力する精神で取り組まなければならないとしている。地球環境の悪化に関するそれぞれの関与は違うが、新興国や発展途上国は持続可能な開発を目指し、先進国は大量生産・大量消費・大量廃棄を脱却するという、普遍的だが異なった責任を持つということを示している。

この会議の成果として、気候変動枠組条約、生物多様性条約、森林原則宣言、環境と開発に関するリオ宣言、アジェンダ21などが採択された。その中の気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）は、地球環境問題に関する国際的な枠組みを設定した条約である。大気中のGHG濃度を安定化させることを究極の目的とし、京都議定書（表2-1）の目的を遂行するために、気候変動対策のイニシャチブを握る存在となっている。

アメリカ航空宇宙局（NASA）Goddard Institute for Space Studiesの大気学者 Dr. James E. Hansen（当時）が、アメリカ科学振興協会発行の学術雑誌 *Science*（1981）に、「21世紀に予想される地球温暖化はほとんど前例のない規模のもので、エネルギー消費の伸びを低下させ、化石燃料と非化石燃料の併用を進めても最大2.5℃の温度上昇が見込ま

表 2-1 京都議定書の概要
(伊藤, 渡辺, 2008) より引用

京都議定書 (気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書)	
1997年12月11日議決	
先進国が6種類の「温室効果ガス」を1990年を基準として各国別に削減することを定めた条約。排出権取引などの吸収源活動を定めた京都メカニズムも採用された。	
6種類の「温室効果ガス」	
二酸化炭素(CO ₂) / メタン(CH ₄) / 亜酸化窒素(N ₂ O) / ハイドロフルオロカーボン類(HFCs) / パーフルオロカーボン類(PFCs) / 六フッ化硫黄(SF ₆)	
国別削減目標 (1990年を基準とする排出量)	
92% (-8%)	ドイツ、イギリス、フランス、イタリア、オランダ、スペイン、スウェーデン他 (EU15カ国)
93% (-7%)	アメリカ (離脱)
94% (-6%)	日本、カナダ他
100% (0%)	ロシア、ニュージーランド他
108% (+8%)	オーストラリア

れる。これは恐竜が生きた中生代の温かさに近づくほどのモノである。この温暖化によって南極の氷が解け、その結果海面が上昇して世界の多くの都市が水没し、内陸は砂漠化する恐れがある」と述べた (Hansen, *et al.*, 1981)。この論文が注目を浴びるようになったのは、1988年6月28日アメリカ連邦議会上院エネルギー委員会の公聴会にて行った Hansen の証言である。

「99%の確率で観測されている気温と人間が大気中に排出する CO₂の間には強い相関がある」

「CO₂の増加と気温の上昇は確実に原因と結果の関係にあり、人類の経済活動が大気を温暖化させ、人類と自然を破滅に追い込んでいる。だから地球環境の安全を保つには経済活動を思い切って抑制させなくてはならない」

この証言は、1985年気候変動に関する科学的知見整理のための国際会議 (フィラハ会議、オーストリア) で提起された “21世紀前半には地球平均気温の上昇が人類未曾有の規模で起こり得る” という科学者の展開、また 1987年地球温暖化防止対策について初めての行政レベルでの検討がなされたベラジオ会議 (イタリア) の後に環境と開発に関する世界委員会 (the World Commission of Environment and Development) がまとめた報告書 Our Common Future (United Nations, 1987) を踏まえたものである。

このセンセーショナルな証言は翌日の the New York Times (Shabecoff, 1988) の紙面を飾り、同年に開かれた変化する地球大気に関する国際会議 (the World Conference on the Changing Atmosphere, Toronto 28-30 JUN, 1988) にて 2005 年までに CO₂ の排出量を 20% 低減することが提案された (Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 1989)。この年、国際連合環境計画 (United Nations Environment Program: UNEP) と国際連合の専門機関である世界気象機関 (World Meteorological Organization: WMO) が共同で、1988 年気候変動に関する政府間パネル (IPCC) を設立した。その後、地球温暖化を抑制するために GHG (主に CO₂) 排出削減を求めることになる気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書 (Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change) が第 3 回気候変動枠組条約締約国会議 (Conference of Parties: COP) で採択された。これを機に、大気中の GHG 濃度を安定化させ現在および将来の気候を保護する目的で、気候変動がもたらす影響を防止するための国家間の取り決めがなされるようになる。次第に批准国間での削減量の取り決めで政治色が強くなり、2009 年 12 月コペンハーゲンで開催された第 15 回気候変動枠組み条約締約国会議 (COP15) では京都議定書に続く新たな議定書の採択は失敗に終わっている。

2013 年に発行された IPCC AR5 第一作業部会報告書 (IPCC, 2013) では、数多くの観測結果や予測シミュレーション結果等により、気候変動に対する人為起源の放射強制力が要因である確度がさらに高まったとしている。AR4 (IPCC, 2007) よりも、その精度、確信度が上がったと評価している一方、長期間にわたる気候モデルシミュレーションと観測結果 (Met Office Hadley Centre, 2013) には隔たりが認められる。AR5 Chapter 9 Box 9.2 では、Hadley Center による地球規模の地表海表温度測定結果 (1998 年-2012 年) とシミュレーション再現結果には、変化傾向に違いがみられることに言及している。しかし、AR5 では気候変動要因は AR4 の報告レベルよりも高い確率 (ベース統計を使っているので、確率という表現ではない。気候変動は将来のことなので確率と表現するのは好ましくない。主観が強い考え方。) で、人為起源 CO₂ 排出が寄与していることを強調する傾向が認められる。

2-3 20 世紀気温上昇の背景

Hansen らの主張をもとに政府・学者・民間などが IPCC のワーキンググループを重ね、TAR (IPCC, 2001) が発行された。これまでの Hansen の主張と同様に注目を浴びたのが、Mann が主に樹木の年輪 (tree rings) をもとに北半球の西暦 1000 年から 2000 年ま

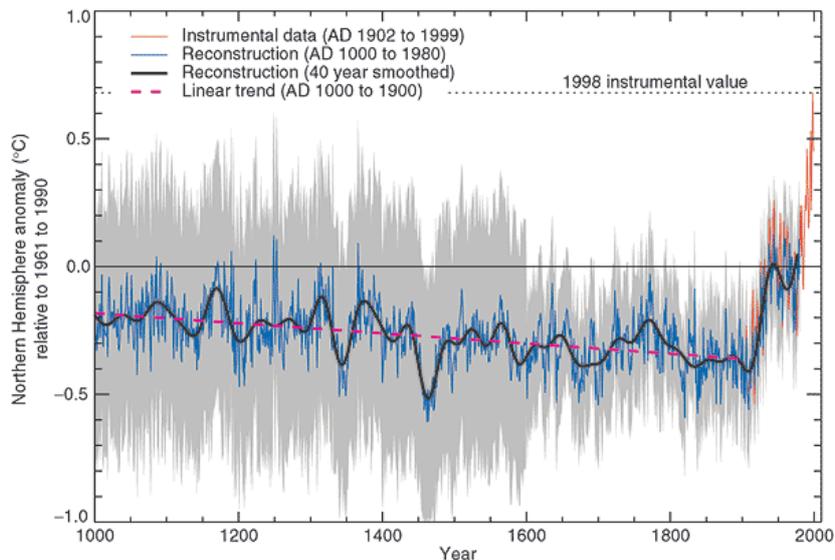


図 2-1 過去 1000 年間の地球平均気温変化推移
 IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001(TAR), Figure 2.20

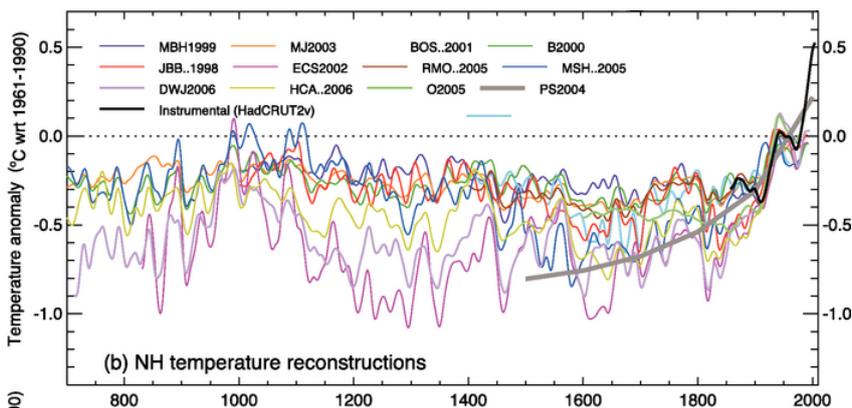


図 2-2 過去 1300 年間の地球平均気温変化推移
 IPCC Forth Assessment Report: Climate Change 2007(AR4), Figure 6.10 (b)

での平均気温変化を示したグラフ (Mann, *et at.* 1998) (Mann, 2001) が、TAR に掲載されたことである。このグラフは 1961 年から 1990 年の平均気温からの気温偏差を示す。1900 年以降急激に気温上昇していることから、黒実線の形状よりホッケースティック曲線 (Hockey Stick; 以下、HS 曲線) と呼ばれている (伊藤, 渡辺, 2008)

1900 年初頭以降、経済をはじめとする人間活動において化石燃料を多量に消費するようになったこと、それによって大気中の CO₂ 濃度が上昇傾向にあることが HS 曲線と関連付けられ、人為起源 CO₂ 排出が地球温暖化要因であると理論づけられるようになったのが、一般的な解釈である。だが、このグラフの生データ解析条件 (Mann, *et at.* 1998) や信頼区間 95% (図 2-1 灰色部) (Mann, 2001) といった重要な情報は、TAR に記

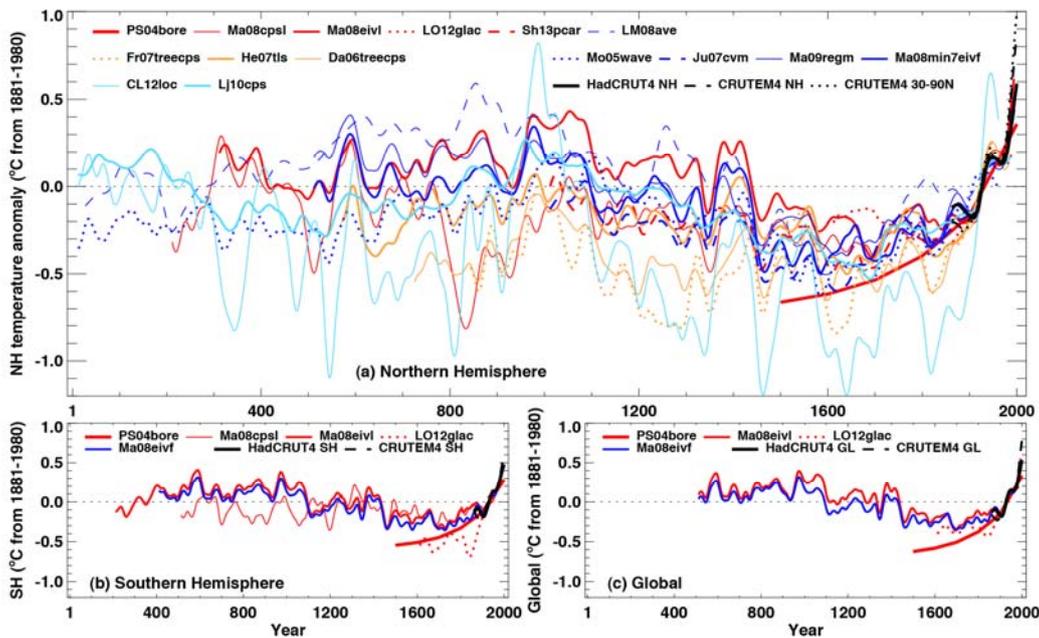


図 2-3 過去 2000 年間の地球平均気温変化推移
 IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2013(AR5), Figure 5.07

されていない。それゆえ、TAR 発行以来、科学者の論争の的となり様々な研究論文が出されており、また Mann 自身が図 2-1 の基となる論文 (Mann, *et at.* 1998) 内容の訂正を *Nature* 上 (Mann, *et at.* 2004) で行っている。

2007 年発行の AR4 (IPCC, 2007) では、複数の気候研究者らによる過去気温の再構成がなされ、気温変化推移を重ね合わせることで北半球の地球平均気温変化推移として図 2-2 が掲載された。グラフは、Mann が当初信頼区間 95%を設定していたように、時間を遡るほど導き出される過去気温に偏差があることを示している。AR4 の過去気温では中世の温暖期についての言及は十分な根拠がないことから、図 2-2 上でも中世の温暖期 (10 世紀から 14 世紀ころ) の温度上昇を確認することが出来ない。しかし、6 年後に発行された AR5 (IPCC, 2013) WG1 レポートでは、950 年頃から 1250 年頃までの温暖期、1450 年頃から 1850 年頃までの寒冷期を複数の研究論文の結果として図 2-3 (a) を掲載している。複数の研究論文をまとめて掲載するという IPCC レポートの特徴から、AR4 と AR5 が示すこれら象徴的な過去気温推移グラフの大きな違いが発生することは考えられることである。とはいえ、中世温暖期と IPCC が主張する 19 世紀以降の人為的要因による気温上昇には大きな違いがないことを示したにも関わらず、そのことに言及しない AR5 の姿勢には科学的評価が欠如していると考える。また、図 2-3 (b) (c)

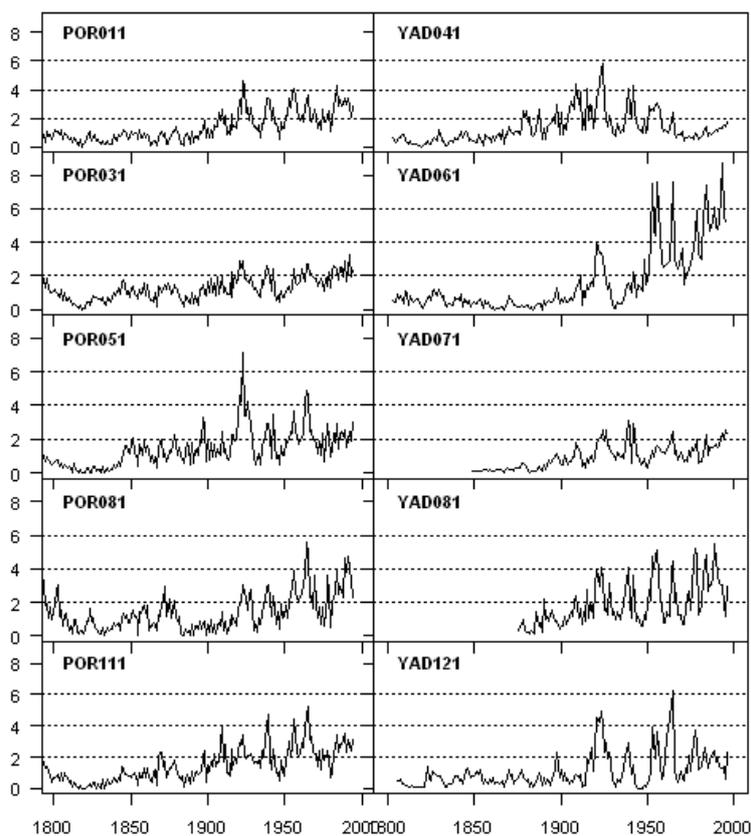


図 2-4 ロシア・ヤマル地方で採取された樹木資料の年輪データ (Briffa, 2000) Fig.2

からわかるように、南半球の変化、地球全体の変化に多する古気候学研究は十分に行われていない。

伊藤 (2010) によれば、これら古気候研究者 (paleoclimatologist) に広く使われている樹木年輪に基づく元データに疑問が生じている。世界中の古気候研究者が多く引用する Briffa (2000) がまとめたロシア・ヤマル地方の樹木年輪データを調査した McIntyre (2009) は、図 2-4 の右側に示される西暦 1800 以降の特に古い樹木資料の影響を指摘している。全体的に 20 世紀初頭以降上昇傾向にはあるが、YAD061 のグラフだけ大きく増加しているのが分かる。McIntyre は、当該地域で採取された他の 34 試料の測定結果にはこのような急激な温度上昇は認められず、全体としては 20 世紀の気温が特別であったという証拠はないとしている。だが、各時代の年輪データを重ねていくと YAD061 の上昇分が牽引役となり、Briffa のデータをもとに古気候研究者が作成する図 2-1 や図 2-2、図 2-3 といったグラフは、20 世紀以降の気温上昇が顕著となっている。

このように、IPCC ワーキンググループが採用する過去気温グラフの元データには、少なからずの疑義が散見されるが、TAR や AR4、そして AR5 に掲載され世間が注目をすれば、科学的事実として取り扱われてしまう傾向がある。

2-4 自然変動に起因した気候変動研究の動向

科学的解釈に必要な十分な情報が開示されない中、HS 曲線を代表とする TAR や AR4、さらには AR5 に掲載された過去気温情報の推移が既成事実として扱われる傾向があり、20 世紀気温上昇と CO₂ 濃度上昇 (Keeling, 1960) の関係性が正論とされている。AR4 ではクライメートゲート事件 (赤祖父, 2010) と呼ばれる恣意的な情報の操作があったとされ、国連主導による検証にまで至っている (InterAcademy Council, 2010)。必要十分な多視座的検証が行われない状況が生み出す情報の脆弱性が、温暖化問題の秩序を乱すきっかけとなっている。

一方、地球の気候変動は自然要因とする研究は幅広い分野で行われている。気候に及ぼす自然変動要因(気候強制力 (伊藤, 小川, 2010))は、太陽活動の低下 (Spruit, 1991) や、火山活動によって大気中に放出された微粒子 (debris) による遮蔽効果 (Robock, 2000)、火山噴火や石炭燃焼に伴う硫酸塩エアロゾルが気温低下に寄与していることが分かっている (Gao, 2003)。また、地球の地磁気活動に影響を与えていると考えられる太陽風の aa 指数(地磁気擾乱指数)と北半球特定域の地表気温との相関 (Itoh, 2010) を見出すなど、宇宙気象学と呼ばれる新たな分野も形成されている。さらには、古日記や文献などに記載されたヤマザクラ開花日から 3 月平均気温を推定し、その当時の太陽黒点数復元推移と比較し太陽活動と気温との関係を導く研究 (Aono, 2008) もされている。太陽黒点と気温変化の傾向から、太陽黒点数出現の傾向が過去 30 年の気候変動に支配的な影響を及ぼしていることを示す調査も行われている (Sokanki, *et al.*, 2004)。周期的に変動する太陽活動は、サイクル 24 のピークを過ぎ低下傾向にある。地球温暖化の情報の裏に隠れて情報が表に出ることがないが、今後 200 年のうちに太陽サイクルの変動が過去類を見ない寒冷をもたらす (Casey, 2014) と予想をする研究者もいる。

このように気候変動に関わる研究は、IPCC が先導する人為的 GHG 排出が気候変動の主要因とする評価報告書 (IPCC, 2007, 2001, 2014) では議論されない、とりわけ太陽活動に注目した自然変動が主要因とみる研究が増えている。気候変動問題をマネジメントするには、これら研究動向に敏感になり、幅広い多視座的な視野による考察が求められる。

2-5 不確実な科学を認識する

科学を意味するサイエンス "SCIENCE" は、ラテン語の知識という意である "SCIENTIA" を語源としており、それは知るという動詞 "SCIO" の派生語である。なぜ人為的な地球温暖化にまつわる議論が世間を賑わしているかを考えるには、第一に、私たちは科学が「真実」を示しはしないという事実を受け入れる必要がある。科学的な研究調査は、自然界が物理的にどの様に動くだろうかを説くためのツールである。そして、その説明が「真実」であるのではなく、単なるもっともらしい「証拠」を示しているということである。

科学によって過去に何があったかを説明しようとするれば、実際にその事象を調査できる「目撃者」は存在せず、科学的な手法を用いて過去の出来事を「仮定」し、それらしい証拠を取りそろえることで過去を「知ろうとした」に過ぎない。例えば、Mann, *et al.* (1998) のように樹木資料の年輪調査による過去気温の研究を行うような古気候学 (paleoclimatology) では、年輪を仮に計測するなどして数百年もしくは数千年前の気候の再構築を行おうとしている。だが、いくら調査を重ねたところでこのような手法・解釈が正確なものだということを確認する術はない。年輪と気温の関係を定量的に示せるのは、気温計測が統計的に行われ始めた 100 年程度であり、過去 2000 年間の気温と年輪を結びつけることは関係性に乏しい。

地球環境は、いかなる手段を用いても実験室に再現することはできず、気候変動の理論を確認することすらできない。気候変動にあるように、不確実性の "SCIENCE" はこれからも存在し、そして政治的な判断も「科学的なウソ」の中でなされていく可能性は大きい。こやって人々は、自分たちが社会または政治的に引導するための口実として、科学的な調査の誤用をし始める。だが、これは人間が本能的に持って生まれた習性であって、当然科学者にも言えることである。正当に気候変動科学に向き合うためには、関連情報についてのリテラシーを向上させることが欠かせない。

2-6 気候変動マネジメントにおけるメディア・リテラシーの基礎

現在、多くの人々はメディアを介して認識の多くを獲得している。地球規模に発達した通信ネットワークの中で、メディアは現実世界を醸成する能力をも獲得している。人は無意識のうちに情報に影響され、自覚のないままにメディアの発する情報に支配される。

その中で、情報とどのように接し関係を構築していくかを考えることにメディア・リテラシーがあげられる。一般に、メディア・リテラシーは「メディアを読み書きする能力」として比喩的に表現された用語であるとされている（水越, 2002）。具体的には、メディア使用能力、メディア受容能力、メディア表現能力が挙げられ、ICT ツールを使いこなす能力と、情報を受け取る側の解釈する能力、また情報を発信する側の能力などが相関する関係が必要である。

カナダでは、1980年代ころからメディア・リテラシー教育を初等・中等教育で行っており、情報を読み解く必要性が説かれている（Ontario Ministry of Education, 1989, 2008）。この背景には、インターネットやテレビなどからほぼ全ての情報を入手できるようになり、それらから得られるメッセージを十分に理解、解釈する必要が生じてきた。そのため、青少年期よりマスメディアやポピュラーカルチャー（大衆文化）に対する批判的、バランス的な視点を高める教育が行われている。その教育では、メディア情報に接するすべての人に共通する指針を指南してくれている。

1. メディアは、すべて種々の決定事項や決定的要素によって構成されている
2. メディアは、影響を及ぼし得る製作者の信念、意見等が反映されており、完全に中立的なものではない
3. メディア情報は、受け手ごとに解釈が違う
4. メディアは、商業的、概念的、政治的といった特別な背景がある
5. マスコミ機関は、独自の価値観、伝達手法で受け手に価値を伝えている

メディアから得る情報を解釈するには、上記をふまえて、どのような受け手を想定した情報か、どのようなツールを用いて伝達されているか、誰が何のために制作したのか、などを総合的に理解することが必要である。

図 2-5 を理解すると、情報の作られた過程を考えることの重要性がわかる。気候変動問題のように、IPCC や UNFCCC が主導し欧州をはじめとする主要各国政府や一部の科学者、またその背景にあるだろう環境マーケットが介在するテーマについては、政治との兼ね合いが背景にある可能性を示唆しながら情報にアプローチしていくことが必要である。その情報がメディアストリームに乗った段階で解釈に注意を要することが想像つく。メディア上で扱われる HS 曲線のように、図 2-1 黒実線部のみが抽出され偏差が消去されたグラフは、あたかも近年急激な気温上昇が観測されているかのようなミスリードをもたらしかねない。衛星利用による気温測定の開発者 Spencer は、「大衆の環境に関する認識の大部分は、主要メディア筋が伝える作られた情報に行きつく」と述べてい

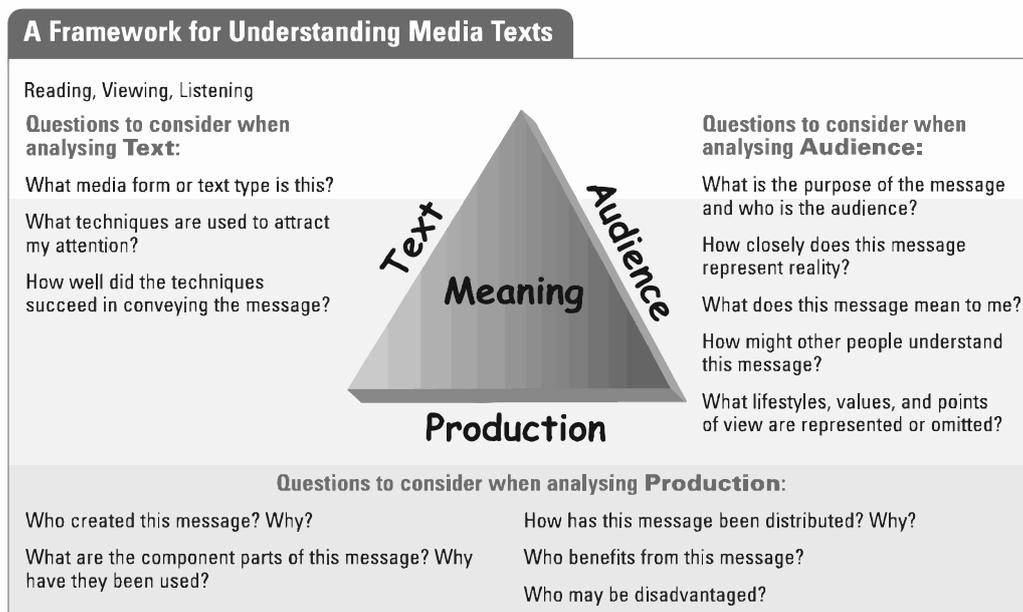


図 2-5 受け手がメディアを解釈または分析するときの考え方
 “Media Triangle” (Ontario Ministry of Education, 2008) より引用

るほどである (Spencer, 2008)。また、*Science* 誌で地球惑星学を担当していた Senior Writer の Kerr (1997) は、科学的に不確実性を含んだコンピューターシミュレーションの気候モデルにより IPCC が導いた結論に対し、メディアは騒ぎすぎているとしている。では、なぜメディアは真の情報をありのまま伝えないのだろうか。

アメリカの 1970 年代最大の政治スキャンダル「ウォーターゲート事件²」をスクープした *Washington Post* 紙の記者が、その功績を讃えられピューリッツァー賞³ (Pulitzer Prize)を受賞したように、今日の記者もどのように深刻な地球温暖化問題をメディア媒体に載せ大衆受けを良くするかを考えている。これは、科学者が新しく未知なるものに取り組む当事者でありたいと思うのと同じく、ジャーナリストは大きなトピックをつかみブレイクスルーさせピューリッツァー賞の受賞を狙っているという。*Time* 誌ですら、その側面が見て取れる。2006 年 4 月 3 日号の *Time* (2006) では地球温暖化特集をカバーストーリーに載せ、「恐ろしいぞ、とても恐ろしいぞ (Be Afraid, Be Very Afraid)」と題しこれから人類に降って襲いかかる地球温暖化の危機を、「気候が壊れている」「危機が迫っている」「自然がわたしたちにうんざりしている」といった言葉とともに紹介

² 国務省を中心に、米中央情報局(Central Intelligence Agency; CIA)と米連邦捜査局(Federal Bureau of Investigation; FBI)、現職大統領が国家犯罪とその陰謀に関与していたことが、政治中枢からの告発ではなく、*Washington Post* 紙の新米記者 Bob Woodward とベテラン記者 Carl Bernstein によりスクープされ、大統領の Richard Nixon が辞任に追い込まれた事件。

³ アメリカでもっとも権威のある、優れた新聞等の印刷報道、文学、作曲に与えられる賞。

している。Spencerによれば、*Time*が地球温暖化の証拠として取り上げた洪水、干ばつ、嵐、農作物の不作といった気象の事象は、1974年6月24日号の記事「次なる氷河期？（Another Ice Age?）」（*TIME Magazine*, 1997）で氷河期が到来したときの恐ろしさを紙面に載せたのと同じであると述べている。*Newsweek*誌も同様に、氷河期到来から地球温暖化到来へと紙面をシフトしている。

将来起こり得るかもしれないストーリーに関しては、メディアに載る段階でバイアスが生じているのは明らかであるが、この混乱はメディアにだけ要因があるというわけではない。米アラスカ大学国際北極圏研究センターの赤祖父俊一名誉教授（2008）は、次のように述べている。「科学者や一般大衆は、気候変動、地球温暖化、温室効果、そしてCO₂といった科学的な話題に、会話の中で触れるのと同じく新聞やラジオ、テレビニュースに触れ好んでいる。～（中略）～残念なことに、気象学について大きな関心が、CO₂の温室効果についての間違っただけの解釈のままメディアに載ることで情報の混乱が拡散される結果に至っていることが分かった。このことは、私が現在の温暖傾向についてたくさんの人と話をするとき、政策決定者や政府の役人ですら間違っただけの理解をし、混乱していることが見て取れる。」そして最後に「気候科学者やIPCCの他のメンバーには、この混乱している状況について直接的な責任はない。彼らには、理解の間違いやこの混乱した状況を修正する手助けをすることに尽力する責任がある」と指摘している。

1980年代後半から急激に発達した情報技術によって、世界中の出来事が瞬時に入手できる世の中になった。だが、リアルタイムの情報がすべて真実かどうかは定かではない。台風やサイクロン、地震、洪水や干ばつといった自然現象は、「災害」「恐怖」などといった「売れるネタ」として紹介されるのが常である。特に、私たち日本人は母国語を英語としない、隣国と陸地で接しない孤立した国に住んでおり、日本人が触れる海外情報はすべて通訳・翻訳を介して得ることになる。これはメディアによってバイアスがかけられ、通訳・翻訳の対象に選ばれなかった情報は、私たちは日本語で入手することはほぼない。日本人が知る「真実」は、メディア等によって操作された「真実」の可能性のあることを、再度認識をしなければならない。気候変動にまつわる情報リテラシーを高めるためにも、英語によるオリジナル文献へアクセスし、日本語による偏った情報から脱することが求められる（伊藤, 2003）。

気候変動問題については、政治家が結論を求めすぎること、マスメディアがセンセーショナルに扱っていること、を知る必要がある（伊藤, 2003）。マスメディアは常に正しい情報を発信している、という認識はリスクであることを十分に認識し、メディアや教育機関、そして情報として受け取る私たちは、必要に応じて情報の正確性を確認し、

もしくは情報の質を精査した上で事実を知らなければならない。特に、政策やメディアで取り上げられる話題については十分な配慮が求められる。情報化社会の中で「真実」を担保していくためには、全てのステークホルダーはメディア・リテラシーの認識を持たなければならない。

2-7 Scientific Consensus

1995年、人類の活動が地球気候に影響を及ぼしているという強い科学的証拠を引き下げ、IPCCが創設された。そして2007年にはIPCCのAR4が発行され、「過去50年に及ぶ地球規模の気候変動は、人為的活動が引き起こしたものを除いて説明できる可能性は極めて低い (extremely unlikely, 5%未満の確率)」と報告された。日本においては、政府が温暖化対策の旗を振り、環境省では温室効果ガス排出量を一定の排出量を超える企業に報告義務を課し、日本経済連合会では温室効果ガス排出削減の自主行動計画を策定し参加の企業・団体に削減の遂行・報告を課すなど、見たところIPCCの結論を疑うようには見えない。だが、科学は絶対ではないという立場に立てば、気候変動に関する科学的コンセンサスについて懐疑的になることは自然な流れである。特に、気候変動という政治上重要な話題であり、科学者たちはこぞって自らの研究成果を出し合う尋常ではない意気込みが見られるなど、通常の科学とは一線を画している。

温室効果ガス抑制に向けた世界的な取り組みを推進するIPCCは、学術団体ではなく気候変動に関する政府間パネルであって、政治色のある問題などを取りまとめ評価をする組織である。政治的な背景を持つトピックスを取り扱うことで、IPCCが導き出す結論にも偏りが生じている傾向がないとは言えない。

米国カリフォルニア大 the Department of History and Science Studies Program の Oreskes (2004) が、Web of Science のツールを利用し1993年から2003年までにジャーナルに掲載された査読付き論文の調査を実施した。キーワードに "global climate change (地球気候変動)" を用いて検索し、928報の査読論文が得られた。それらを以下の区分に分けて、その区分に入る論文数をグラフ化したものが図2-6である (Oreskes, 2007)。

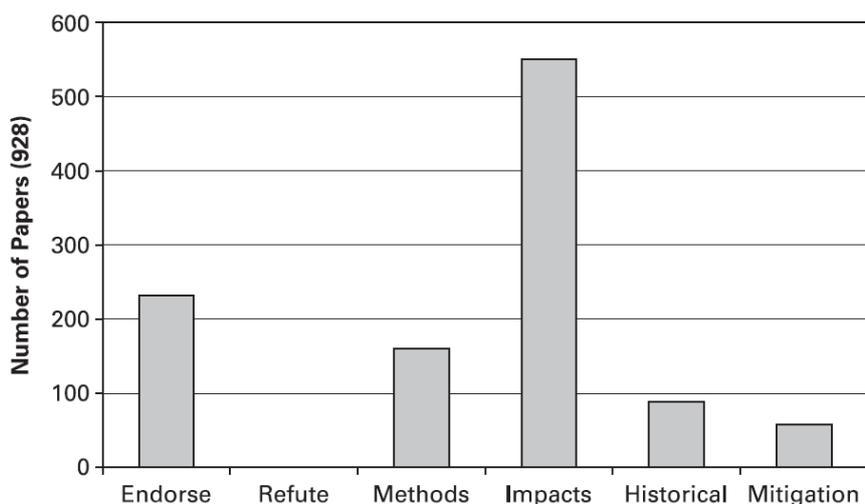


Figure 4.1

A Web of Science analysis of 928 abstracts using the keywords “global climate change.” No papers in the sample provided scientific data to refute the consensus position on global climate change.

図 2-6 1993-2003 年で発表された地球気候変動に関する論文の傾向文
 "The scientific consensus on climate change: How do we know we're not wrong?" Climate Change:
 What It Means for Us, Our Children, and Our Grandchildren より引用

- A) Endorse 明らかにコンセンサスの立場を是認している
- B) Refute 明らかにコンセンサス意見を論破している
- C) Methods 計測、監視または気候変動予測の手法や技術について述べている
- D) Impacts 気候変動の実際の影響についての可能性や証拠提示をしている
- E) Historical 古代気候の変化を扱っている
- F) Mitigation 緩和策の提案をしている

調査結果によれば、B) Refute の結果はゼロである。図 2-7 には、論述内容の割合を示した。普段、メディアを通して情報を得る私たちは、人為起源の気候変動が既に起きているのは既知として受け止めているが、想像に反して学术界で気候変動について論破されている論文はないという結果が得られている。例えば、既に発行されているジャーナル論文は次の研究者の研究ベースとなっていく。そして、研究者の間で広く受け入れられている結果については、参考文献の引用先を明示するだけで研究者たちは今論じ合うべきテーマに集中できる。その結果、928 報の半分近くが気候変動による影響を論じている。気候変動の主要因は自然変動によるという研究結果もある中で、この結果を冷静

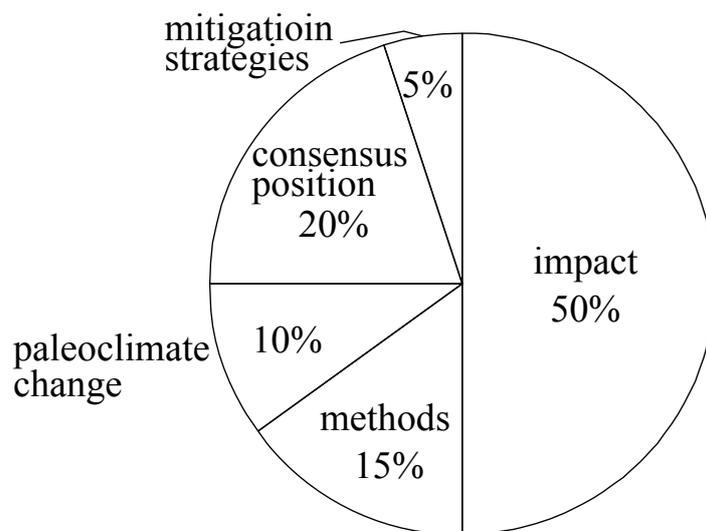


図 2-7 調査対象査読論文 928 報の論述内容割合

にとらえれば人為起源の気候変動問題はもはや科学的論争の対象ではなくなっている (Weart, 2003)。

2-8 バイアスの影響

ここで科学的なコンセンサス (Scientific consensus) が何か、を考える必要がある。半世紀以上、科学者の多くは人為起源 GHG が気候変動をもたらすと考えていたが、現在では自然変動要因を否定するものはいないことが分かってきている。しかし、私たちは現在進行形の気候変動について十分な経験知を持ち合わせない。

これを反映するように、Oreskes の調査から気候変動に異議を唱える意見があることが明白になっている。1993 年から 2003 年の間に発行された査読論文を調査した Oreskes は、検索すべき単語を "global climate change" (地球の気候変動) と設定している。なぜならば、私たち日本人がよく耳にする "global warming" (地球温暖化) という言葉は、その言葉自体が既に「温暖化」というバイアスが掛かっているために、科学的に評価をするには公平ではないためである。この条件で検索される 10,000 報以上の論文のうち、9,000 報以上の中には気候変動に懐疑的な意見、もしくは意義を唱えているものがある。だが、global climate change を専門家の立場で否定する論文がないのは、極めて異例である。ある研究者がインパクトのある査読論文を発表すれば、その後の科学の発展に伴う研究内容の再考がなくとも継続的に価値ある論文として受け継がれ、どこかの時点でそ

の成果は常識と化してしまう、このプロセスは否定できないはずである。全ての科学者に言えることであるが、研究の成果をいかに真実として分かりやすく学術団体や社会に発表するかという、コミュニケーション能力が問われている。

研究者の活動は研究結果の欲しい団体・法人・国家などから研究費を受けていることが多く、かくして研究結果は支援団体が求めるような情報に偏る傾向は否定できない。日本の例をあげれば、産業技術総合研究所や国立環境研究所といった環境関連を含めた国のシンクタンクの役割をなす研究組織は、その収入の75%強を国からの運営交付金を占め、さらには研究受託収入が15%から20%にのぼっている（産業技術総合研究所, 2011）（国立環境研究所, 2011）。大学教員を含めたこれらシンクタンク研究者は、自身の研究に必要な競争的研究資金を得るために、独立行政法人日本学術振興会が応募する科学研究費助成事業や、文部科学省が助成する科学研究費補助金などが募集をする研究分野に関連した研究テーマを選定する傾向があり、政策的なバイアスが生じている中での研究活動を実施し、スポンサーが期待する研究結果を提供していく。また、日本以上に大学教員の競争的研究資金獲得能力が求められるアメリカでは、この傾向はさらに強いと示唆される。このように、科学は常に社会の政策的なバイアスの中にあることを、アメリカの事例をもとに Spencer (2003) も述べている。

多くが無宗教である日本人には理解しづらい感覚であるが、欧米をはじめとする諸外国には様々な宗教感が存在する。宗教はもともと人々の生活とともにあるものであり、その信念をもとにして政治が行われる国も数多く、そもそも人類の科学史は宗教をなくしては語れない。科学は普遍的なものである以前に、科学者たちが持つ宗教を含んだメンタリティや利害関係、政治的な背景といったバイアスの上にある部分が多い。長く外乱に侵されずに独自文化を培ってきた日本人は、念頭に置かなければ正しい判断が出来なくなる。宗教と共に文明を発達させてきた人類は、偶像崇拜の対象になり得る地球環境のトピックスを、利害関係を含めた複雑な宗教・哲学・科学の論争の的としてきた。カリフォルニア大学ロサンゼルス校の歴史学教授であった Lynn White, Jr. は、現在のヨーロッパ諸国が牽引する気候変動対策の常軌を逸した規制を予想したかのように、次の言葉を残している（White, 1967）。

More science and more technology are not going to get us out of the present ecologic crisis until we find a new religion, or rethink our old one.

人為起源の気候変動問題はもはや科学的とは言えない背景には、西洋を中心とした科学者たちが作り出した Scientific consensus を翻すことで outlier になることを恐れる科学

者心理がバイアスとしてある。いふなれば、集団心理的なバイアスが Scientific consensus を確固たるものに育て上げており、その情報をもとにして環境政策が作られていると示唆される。

2-9 総括

前節まで述べてきたとおり、私たち日本人が日本国内で得られる情報と、特にヨーロッパを中心とした気候変動の要因認識には、大きな隔たりが存在するといえる。日本政府は、IPCC が意図する UNFCCC の GHG 排出量削減ノルマを必ず達成しようと、周りの流れに合わせて取り組みを進めることが多い。

世界的に見れば、気候変動問題、特に地球温暖化というトピックスは日本ほど取り上げられる国は少なく、またそれを信じる民衆支持の割合も半分半分という国が多い。IPCC が数年ごとに発表する Assessment Report は、地球温暖化という気候変動問題を研究対象とする科学者や協力者たちによって作成される。しかし、その内容は学術誌や査読論文のようなピアレビューを経ていないことや、2009年11月に発覚したクライメートゲート事件が海外メディアで報じられ論争の的となったことなどをわたしたち日本人は触れる機会がほとんどない。同様に、最新の気候変動科学に関する学術研究についても、Assessment Report やメディアで取り上げられることはなく、それぞれの科学分野の中での議論に留まる傾向がある。

周辺のアジア諸国と比較しても英語による情報を入手することに不慣れな日本人は、気象庁、環境省、経済産業省、またメディアによって日本語に訳された情報を正しい情報として受け入る傾向が強い。環境危機を取り上げることで存在価値を保とうとする環境省、環境省主導による様々な法規制が厳しくなるろうとも、環境ビジネスが成長することによって経済活性化につながる取り組みを支える経済産業省、また危機的な情報を流布することで視聴者・購読者を獲得して支持を得ようとするメディア。そして、結論を急ごうとする政治家の存在。だが、メディア・リテラシーをステークホルダーのそれぞれが身に着けることができれば、気候変動に関するコンセンサスの存在を認識でき、そこに作用するバイアスを冷静に見分けることが可能となるだろう。正しい情報とは何か、冷静に観察をし、それらを整理する情報処理能力の醸成を求められる。

また、冷静に気候変動問題を振り返れば、政治的であり宗教的な側面を持つことは否定すべきことではない。特段の信仰をもたない多くの日本人は、科学と宗教の長きにわたる関係が存在することを知らない。宗教を含んだメンタリティにおいて、自然科学の

議論がなされることがあること知らなければならない。科学は常に新たな法則が見出され、これまで常識とされていた事実を覆すこともある。科学者は、科学的なコンセンサスとされるメインストリームから逸しない研究を進めることで、社会的立場を維持するという傾向があることも否めない。

様々な角度から研究が続けられる気候変動だが、その予想をすることは現段階では不可能であるといえる。CO₂ 排出による影響の他にも自然変動による効果を同等に扱い、比較的短期に変動する気候への適応が必要であるが、日本政府や国内企業の動向は温暖化対策の流れが強いままである。

そこで第3章では、一般社団法人日本経済団体連合会（経団連）傘下の企業における地球温暖化対策の取り組みについて現状分析を行い、それらに影響を与えている要素の考察を行った。

また、第4章においては、第2章で述べた科学的側面、第3章で述べる現状把握をもとに、日本における地球温暖化対策に関するマネジメント法の古典的手法のひとつとして、ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment, LCA）に着目した。第5章以降の研究への導入を、容易にすることがねらいである。

第3章 日本企業における温暖化対策の概況

3-1 3章の概要と構成

第3章では、日本の経済界で取り扱われる地球温暖化対策について述べた。日本は公害病の歴史を踏まえ、企業の環境意識が高い。また、グローバル化の流れに乗り、環境マネジメントシステム（Environmental Management System, 以下 EMS）の構築も進んでいる。日本では未だ GHG 排出抑制は立法化されていないものの、国や企業を挙げての CO₂ 排出抑制に関する取り組みが熱を帯びている。気候変動問題をどのようにマネジメントしていくかを検討する上で、現状把握する必要がある。そこで、日本企業の地球温暖化対策について、概況及び調査研究を行った。

最初に 3-2 にて、日本企業が EMS を導入するに至った経緯を振り返る。日本では、20 世紀初頭より公害病の苦い経験を繰り返してきた。企業としての環境対策の基礎と、1990 年台から注目を浴びるようになった世界的な地球環境保全への取り組み、また国際標準化機構(International Organization for Standardization, 以下、ISO)による国際規格 ISO9000 シリーズおよび 14000 シリーズの普及により、環境経営の意識が高まった背景を述べる。

3-3 では、経団連に属する企業を母数とし、無作為抽出された 200 社を対象として、環境の取り組み具合を調査した。日本における地球温暖化対策の中心は、環境省を中心とする政府および経団連では、経済界への取り組みのイニシアチブは経団連が持っていることから、経団連加盟企業の動向を知ることで経済界の取り組みを客観的に評価することを目的とした。

3-4 では、環境の取り組みが投資対象企業を選定する上での判断指標の役割を担っていることを確認し、機関投資家等が注視している情報の整理を行った。非財務情報としての環境情報が、これからは環境リスクとして扱われ、持続可能な企業の選定に利用される背景を確認した。

3-5 では、機関投資家による長期投資の視点から企業分析をする際、近年、社会的責任投資（SRI 投資）スクリーニング運用がなされていることに着目した。企業による気候変動対策は最も関心の高いトピックであるが、投資材料として SRI 投資が生み出す気候変動問題について考察を行った。

3-6 では、総括を行った。

3-2 日本企業の環境マネジメント

日本の製造業では、1910年代のイタイタイ病、1950年代の水俣病、1960年代の四日市ぜんそくなどを代表とする公害病の歴史をふまえ、1970年代頃から社内に環境管理を担当する組織を持つ企業が多い。当時は公害問題の対策機能として設置された組織も、1990年代になってからは環境問題を専門に扱う部署へと機能を変えてきている。そして企業活動の情報公開が社会的地位を獲得し始めた2000年以降、環境報告書やCSR報告書といった情報公開ツールを用いて、企業は社会との対話を行っている。

かつては公害防止が環境管理の中心であったが、グローバルな投資市場が完成するにつれ、企業における環境への取り組み姿勢は企業の持続可能性を評価する指標に姿を変えている。日本市場のグローバル化に伴い、東京証券取引所第一部は機関投資家を含む海外投資家の影響を大きく受けており、上場企業には財務情報（IR情報）の他に非財務情報の公開が強く求められている。また、投資対象として長期的な経済・環境・社会的な持続可能性を持った企業を格付けする投資インデックス（DJSI ANNUAL REVIEW, 2013）も存在し、見せる環境への取り組みが企業戦略の一つになっている。

世界的なこの流れは、第2章で示した1990年以降の地球環境保護への高まり、1992年ブラジルのリオ・デ・ジャネイロで開催された環境と開発に関する国際連合会議（通称：地球サミット）の前後から「持続可能性（Sustainability）」という言葉とともに、その実現の手法の一つとしてEMSを導入する企業が増えてきたことによる。四大公害病に徒勞した日本社会では、公害発生リスクを抑制するといった環境の持続可能性を追い求める姿勢と相成り、EMSがその管理体制構築に功を奏していた。そして地球サミットがきっかけとなり、ISOが発行するEMSに関する国際規格ISO 14000シリーズが1996年に発行された。日本におけるその普及は、企業価値を高める品質マネジメントシステム：ISO 9000シリーズ（1987年に標準化され発行）を導入する企業が併せてISO 14000シリーズを取り入れ始めたことによる。

このような背景の中、地球サミットによる地球環境問題提言、第3回気候変動枠組条約締約国会議（COP3）でのUNFCCC京都議定書の採択など、環境問題が地球規模で人間社会の持続性に大きな影響を及ぼすとして、政府・行政も地球温暖化対策の動きを強めている。国内の企業活動もグローバル化が進み、それとともに環境との関わりも複雑になり、これまでのような規制を中心とした環境保全活動だけではなく、環境への取り組みを企業経営の中心に据える「環境経営」の意識を持つ企業が増えてきた。そこで、環境省を中心に「環境情報の提供の促進等による特定事業者等の環境に配慮した事業活動の促進に関する法律」（2004年公布、2005年施行）の施行、2004年「環境報告書ガ

イドライン（2003年度版）」（環境省, 2004）の策定が行われた。これらは、事業活動における環境負荷の低減に関する取り組みを推進する手段として、環境報告書の作成および公表を企業や団体に促すことで、環境活動と企業活動の円滑的な推進を図ることを目的としている。

環境報告書を通して積極的に情報公開することは、社会やステークホルダー（利害関係者）から評価を受け、環境配慮のための取り組みを企業経営に反映していくためのツールとなり、社会的説明責任(accountability)やリスクコミュニケーション (risk communication) を果たすための役割を担っている。一方、環境報告書は企業活動の一端を担う重要な経営活動の指標としての性格を持ち合わせるため、消費や投融資を行う消費者や個人投資家および機関投資家などにとっての重要な企業評価ツールとなっており、日本の上場企業の多くはIR報告書とならび、CSR報告書や環境報告書などのインターフェース文書の発行を行っている。これらの情報公開は、環境・社会・経済に関するガバナンス、情報公開のガイドラインを定めたグローバル・レポート・イニシャチブ (Global Report Initiative, GRI) が発行する GRI Sustainability Reporting Guideline (Global Reporting Initiative, 2013) に従い行われるケースが多い。GRI Guideline では、GHG Protocol (The Greenhouse Gas Protocol, 2013a, 2013b) により分類 (Scope 1:直接排出、Scope 2:間接排出、Scope 3:コーポレート バリュー チェーン排出) された GHG 排出量の公開や気候変動に起因するリスクや機会の報告が任意で求められており、世界中の投資家からの期待に応えるためには、必然と気候変動や地球温暖化というテーマに取り組み、その取り組み状況を公開せざるを得ない。

このように、ステークホルダーに環境を据える企業にとって、企業活動を行う上で欠かせない EMS といった国際標準化への対応、非財務情報としての環境リスクの把握・公表、機関投資家を含むステークホルダーが求める環境経営への対応など、必然的に地球温暖化対策もしくは気候変動というキーワードを念頭に経営を進めなければならない状況にある。

3-3 日本企業の環境問題への取り組み

日本では過熱気味の報道がなされる地球温暖化問題であるが、その波及は経済界にも及んでいる。CO₂は地球温暖化の原因であり、その排出削減は今を生きる私たちの義務であるといったコンセンサスが存在する一方で、GHG や CO₂ 排出削減義務を明文化した法律の制定はなされていない。GHG 排出量の算定および報告は「温暖化対策の推進

に関する法律」により課せられているのみで、その対象は一定規模以上のエネルギーを消費する企業に対してのみである。一方、東京都では「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例（環境確保条例）」を改正し、2002年4月より大規模事業所を対象にGHG排出量の算定・報告、目標設定等を求める「地球温暖化対策計画書制度」を導入し、2005年からは東京都による指導や助言、評価や公表の仕組みを構築し、事業者の自主的かつ計画的な対策を課している。

環境確保条例は、「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」を算定根拠として、年間のエネルギー使用量が原油換算1,500キロリットル以上⁴消費する事業者に対し、GHG排出の削減量の算定、報告の義務を負わせている。自己努力により排出削減が達成されない場合には、同じく排出削減の義務を負う企業間での排出量取引を行い、削減義務を達成させる枠組である。取り組みが悪質な場合には、社名を公表するなどの社会的措置をとることが定められている。

東京都などの条例を除き、法令でGHG排出量削減が規制されていないなか、全国区で排出削減の取り組みが盛んになっている背景には、経団連が主導する産業毎の自主的活動があげられる。1996年に発表された「経団連環境アピールー21世紀の環境保全に向けた経済界の自主行動宣言ー」（経済団体連合会、1996）では、地球温暖化、循環型経済社会の構築、環境管理システムの構築と環境監査、海外事業展開にあたっての環境配慮を重要な取り組みとして再認識されている。これまでの使い捨て社会から循環型社会へ、持続可能な発展を遂げるべく、「自主的取り組み」の強化を加盟企業に求めている。これらは、経団連地球環境憲章（1991年制定）（経済団体連合会、1991）の行動指針に基づいて行われている。

3-3-1 企業による地球温暖化対策への取り組み状況調査

ここで、経団連が1996年から進める経団連環境自主行動計画について、産業毎の地球温暖化対策の取り組み状況の調査を実施した。企業が発行するCSR報告書もしくは環境報告書、および企業ホームページについて調査検証を行った。この調査は、2012年5月26日現在の社員名簿（企業会員）に記載されている1280社の中から、Microsoft Office Excel2010 RAND関数を用いて200社の単純無作為抽出を行い、経団連に加盟す

⁴ 「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」で指定される第二種エネルギー管理指定工場等と同じ選定基準である。法令では重油換算1,500キロリットル以下になり、その後も基準値を上回らないと想定されるときに、指定工場等の指定の取り消しを申請する。一方、都民の健康と安全を確保する環境に関する条例では、エネルギー消費量が基準を3年連続で下回らなければ、指定の解除を申請できない。

る企業としての地球温暖化対策への取り組み状況を評価したものである。評価対象となった企業一覧を表 3-7 に示す。経団連公開資料には加盟企業名のみの記載であるため、上場市場、証券取引コードおよび業種は筆者による調査結果を掲載している。

調査は以下の手順に従い、実施した。

- ◆ 社員名簿より、Excel2010 RAND 関数を用いて 200 社の単純無作為抽出を実施。
- ◆ 当該企業の IR 情報等より業種の確認、上場企業においては上場市場および証券コードの調査。
- ◆ 調査対象 200 社を製造業、非製造業に二分しその傾向を調査した。
- ◆ 調査対象 200 社を業種別に分類し、対象となる計 37 業種から 1 業種 10 社以上となる業種を調査対象とした。

表 3-7 調査対象 200 社一覧
取引所の記載なき社は、非上場企業を表す

	企業名	コード	取引所	業種		企業名	コード	取引所	業種
1	株IHI	7013	東1	機械	51	株熊谷組	1861	東1	建設業
2	アイシン精機株	7259	東1	輸送用機器	52	倉敷紡績株	3106	東1	繊維製品
3	株愛知銀行	8527	東1	銀行業	53	株栗本鐵工所	5602	東1	鉄鋼
4	株アイネット	9600	東1	情報・通信業	54	株グリーンキャブ			旅客自動車運送業
5	株あおぞら銀行	8304	東1	銀行業	55	株京葉銀行	8544	東1	銀行業
6	旭硝子株	5201	東1	ガラス・土石製品	56	興銀リース株	8425	東1	その他金融業
7	株足利銀行			銀行業	57	光世証券株	8617	東1	証券・商品先物取引業
8	アジア航測株	9233	東2	空運業	58	株埼玉りそな銀行			銀行業
9	アステラス製薬株	4503	東1	医薬品	59	澤藤電機株	6901	東1	電気機器
10	東海運株	9380	東1	倉庫・運輸関連業	60	株山陰合同銀行	8381	東1	銀行業
11	アンリツ株	6754	東1	電気機器	61	三洋工業株	5958	東1	金属製品
12	株伊勢半	3099	東1	小売業	62	山陽特殊製鋼株	5481	東1	鉄鋼
13	市光工業株	7244	東1	電気機器	63	塩野義製薬株	4507	東1	医薬品
14	出光興産株	5019	東1	石油・石炭製品	64	シスメックス株	6869	東1	電気機器
15	株イトーキ	7972	東1	その他製品	65	静岡ガス株	9543	東1	電気・ガス業
16	伊藤忠ロジスティクス株			陸運業	66	首都高速道路株			建設業
17	株イマジカ・ロボットホールディングス	6879	JQ	電気機器	67	松竹株	9601	東1	情報・通信業
18	株ウェザーニューズ	4825	東1	情報・通信業	68	昭和電工株	4004	東1	化学
19	上野トランステック株			海運業	69	JX 日鉱日石金属株			非鉄金属
20	株魚国総本社			サービス業	70	JFE 商事ホールディングス株	3332	東1	卸売業
21	株うかい	7621	JQ	小売業	71	株ジェイテクト	6473	東1	機械
22	株エーアンドエーマテリアル	5391	東1	ガラス・土石製品	72	JP モルガン証券株			金融
23	エイアイユー保険会社株			保険業	73	株時事通信社			情報・通信業
24	株エイジス	4659	JQ	サービス業	74	株実業之日本社			出版業
25	エスエス製薬株			医薬品	75	蛇の目ミシン工業株	6445	東1	機械
26	SMK株	6273	東1	機械	76	株ジャパネットたかた			小売業
27	SMBC フレンド証券株			証券・商品先物取引業	77	株JALUX	2729	東1	卸売業
28	株エス・サイエンス	5721	大1	非鉄金属	78	JUKI株	6440	東1	機械
29	NEC ネットエスアイ株	1973	東1	建設業	79	スズクホールディングス株			非鉄金属
30	NOK株	7240	東1	輸送用機器	80	住友信託銀行株			銀行業
31	大分キャノンマテリアル株			電気機器	81	住友三井オートサービス株			その他金融業
32	株太田胃酸			医薬品	82	株スリーボンド			化学工業
33	大手町建物株			不動産業	83	積水化学工業株	4204	東1	化学
34	株岡三証券グループ	8609	東1	証券・商品先物取引業	84	積水ハウス株	1928	東1	建設業
35	オリンパス株	7733	東1	精密機器	85	石油資源開発株	1662	東1	鉱業
36	株オリンピック	8289	東1	小売業	86	総合警備保障株	2331	東1	サービス業
37	科研製薬株	4521	東1	医薬品	87	総合メディカル株	4775	東1	小売業
38	株カブコン	9697	東1	情報・通信業	88	ソニー株	6758	東1	電気機器
39	カルビー株	2229	東1	食料品	89	ソフトバンク株	9984	東1	情報・通信業
40	川崎汽船株	9107	東1	海運業	90	大幸薬品株	4574	東1	医薬品
41	株関電工	1942	東1	建設業	91	大成建設株	1801	東1	建設業
42	関東電化工業株	4047	東1	化学	92	大鵬薬品工業株			医薬品
43	株ガリバーインターナショナル	7599	東1	卸売業	93	宝ホールディングス株	2531	東1	食料品
44	株キャピラージャパン株			機械	94	株タケエイ	2151	TM	サービス業
45	株キャノン電子株	7739	東1	電気機器	95	株但馬銀行			銀行業
46	株九電工	1959	東1	建設業	96	第一中央汽船株	9132	東1	海運業
47	株京セラ	6971	東1	電気機器	97	株大京	8840	東1	不動産業
48	協和発酵キリン株	4151	東1	医薬品	98	大同生命保険株	8795	東1	保険業
49	株金羊社			印刷業	99	大和ハウス工業株	1925	東1	建設業
50	株クインタイルズ・トランスナショナル・ジャパン			医薬品	100	株筑邦銀行	8398	福岡	銀行業

(次ページへ続く)

第3章 日本企業における温暖化対策の概況

表 3-7 調査対象 200 社一覧
取引所の記載なき社は、非上場企業を表す（前ページよりつづき）

	企業名	コード	取引所	業種		企業名	コード	取引所	業種
101	中部電力㈱	9502	東1	電気・ガス業	151	パナソニック㈱	6752	東1	電気機器
102	㈱ツムラ	4540	東1	医薬品	152	パナホーム㈱	1924	東1	建設業
103	㈱ティールガイア	3738	東1	情報・通信業	153	日立金属㈱	5486	東1	鉄鋼
104	T&D フィナンシャル生命保険㈱	8795	東1	保険業	154	㈱日立物流	9086	東1	陸運業
105	帝国繊維㈱	3302	東1	繊維製品	155	ヒューリック㈱	3265	東1	不動産業
106	デジタルハリウッド㈱			サービス業	156	BNP パリバ証券㈱			証券・商品先物取引業
107	デュボン㈱			化学	157	㈱ビーアンドビー	2426	JQ	サービス業
108	東海カーボン㈱	5301	東1	ガラス・土石製品	158	びあ㈱	4337	東1	サービス業
109	東急不動産㈱	8815	東1	不動産業	159	富国生命保険相互会社			保険業
110	㈱東京金融取引所			金融	160	富士急行㈱	9010	東1	陸運業
111	東京製綱㈱	5981	東1	金属製品	161	㈱フジクラ	5803	東1	非鉄金属
112	㈱東京洗染機械製作所			機械	162	不二サッシ㈱	5940	東2	金属製品
113	㈱東京都民銀行	8339	東1	銀行業	163	㈱フジタ			建設業
114	㈱東京リーガルマインド			サービス業	164	㈱不二家	2211	東1	食料品
115	東光電気㈱	6921	東1	電気機器	165	芙蓉総合リース㈱	8424	東1	その他金融業
116	㈱東芝	6502	東1	電気機器	166	古河電気工業㈱	5801	東1	非鉄金属
117	日産東京販売ホールディングス㈱	8291	東1	小売業	167	武州ガス㈱			都市ガス
118	東洋製罐㈱	5901	東1	金属製品	168	平和紙業㈱	9929	大1	卸売業
119	東洋炭素㈱	5310	東1	ガラス・土石製品	169	㈱北陸銀行			銀行業
120	㈱鳥取銀行	8383	東1	銀行業	170	北海道旅客鉄道㈱			陸運業
121	豊田鉄工㈱			鉄鋼	171	㈱毎日新聞社			情報・通信業
122	日東電工㈱	6988	東1	化学	172	松井建設㈱	1810	東1	建設業
123	㈱日本アクセス			食料品	173	松尾建設㈱			建設業
124	日本郵船㈱	9101	東1	海運業	174	㈱三重銀行	8374	東1	銀行業
125	㈱南都銀行	8367	東1	銀行業	175	三重交通㈱	3232	名1	不動産業
126	㈱ニチイ学館	9792	東1	サービス業	176	三井住友海上火災保険㈱			保険業
127	日油㈱	4403	東1	化学	177	㈱三井住友フィナンシャルグループ	8316	東1	銀行業
128	㈱日清製粉グループ本社	2002	東1	食料品	178	三井生命保険㈱			保険業
129	日神不動産㈱	8881	東1	不動産業	179	三井不動産㈱	8801	東1	不動産業
130	日通商事㈱			卸売業	180	三井松島産業㈱	1518	東1	鉱業
131	日鐵商事㈱	9810	東1	卸売業	181	㈱三菱ケミカルホールディングス	4188	東1	化学
132	日本アイ・ビー・エム㈱			情報・通信業	182	三菱地所㈱	8802	東1	不動産業
133	日本 NCR㈱			情報・通信業	183	三菱電線工業㈱			電気機器
134	日本カーボン㈱	5302	東1	ガラス・土石製品	184	三八五流通㈱			陸運業
135	日本貨物鉄道㈱			倉庫・運輸関連業	185	メリルリンチ日本証券㈱			金融
136	㈱日本環境認証機構			サービス業	186	持田製薬㈱	4534	東1	医薬品
137	日本原燃㈱			電気・ガス業	187	モルガン・スタンレーMUFJ 証券㈱			金融商品取引業
138	日本航空電子工業㈱	6807	東1	電気機器	188	やちや酒造㈱			食料品
139	日本交通㈱			陸運業	189	八千代工業㈱	7298	JQ	輸送用機器
140	日本コカ・コーラ㈱			食料品	190	㈱山口銀行			金融
141	日本ゼオン㈱	4205	東1	化学	191	㈱山野楽器			小売業
142	日本農産工業㈱			食料品	192	ヤンマー㈱			機械
143	日本バイリーン㈱	3514	東1	繊維製品	193	有機合成薬品工業㈱	4531	東1	医薬品
144	日本無線㈱	6751	東1	電気機器	194	横浜ゴム㈱	5101	東1	ゴム製品
145	日本ユニシス㈱	8056	東1	情報・通信業	195	ライオン㈱	4912	東1	化学
146	日本レコードマネジメント㈱			サービス業	196	㈱リクルート			サービス業
147	ノバルティスファーマ㈱			医薬品	197	リケンテクノス㈱	4220	東1	化学
148	浜松ホトニクス㈱	6965	東1	電気機器	198	理研ビタミン㈱	4526	東2	食料品
149	阪神高速道路㈱			陸運業	199	㈱リソー教育	4714	東1	サービス業
150	㈱バスコ	9232	東1	空運業	200	㈱菱食	7451	東1	卸売業

3-3-2 業種調査

経団連加盟の1280社より、200社を単純無作為抽出した。無作為抽出された業種を、総務省による統計基準である日本標準産業分類に従い、製造業および非製造業に二分し（表3-8）、経団連加盟企業の活動としてGHG排出削減の取り組み推進状況の傾向調査を実施した。

表3-8 調査対象200社の業種別分類

製造業				非製造業			
医薬品	印刷業	化学	化学工業	卸売業	海運業	銀行業	金融
非鉄金属	機械	金属製品	鋁業	空輸業	建設業	小売業	サービス業
ゴム製品	食料品	精密機器	その他製品	出版業	保険業	情報・通信業	陸運業
鉄鋼	電気・ガス業	電気機器	都市ガス	不動産業	その他金融業		金融商品取引業
輸送用機器	ガラス・土石製品			倉庫・運輸関連業	証券・商品先物取引業	旅客自動車運送業	

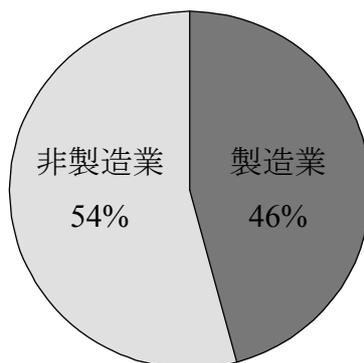


図3-7 調査対象200社 製造業・非製造業の割合

図3-7より、調査対象1280社よりから無作為抽出された標本200社は、非製造業が若干多いがほぼ二分されている。表3-8に分類された業種は、製造業および非製造業それぞれ18業種であったが、非製造業の中にはエネルギーを多量消費する海運業、空輸業、建設業、陸送業などが含まれているのが特徴である。必ずしも非製造業がエネルギーを多量消費しない業種、ということに注意を要する。

3-3-3 環境への取り組み調査

つづいて、調査対象 200 社の環境への取り組み状況を把握し、経団連が推進する地球温暖化対策および環境自主行動計画の設定が、加盟企業の環境への取り組みにどの程度影響を及ぼしているかを調べるために、CSR 報告書または環境報告書、企業ホームページ内に「地球温暖化」という単語が採用されているかを判断基準とし、調査を実施した。環境問題＝地球温暖化という認識レベルを計り、表 3-9 の採点基準に従い、採点を行った。筆者は勤務先企業において当該資料を作成する業務も担っており、配点基準の設定に関しては、筆者の業務経験により自業界および他業界の動向を踏まえたうえで採点幅を設定している。

調査対象 200 社に対して実施した調査の結果を、図 3-8 に示す。得点分布をみると、製造業は正規分布に近い形状をしているのに対し、非製造業ではほとんど取り組みをしていない企業が多くを占めている。製造業および非製造業の単純比較からは、製造業の方が環境の取り組みに関して意識が高い傾向が認められる。

また、得られたグラフを製造業、非製造業ごとに上場企業および非上場企業に分類した。製造業では上場・非上場の違いに大きな傾向の差は認められないが、非製造業では上場・非上場の違が明確に表れており、非上場企業の環境の取り組みへの意識が相対的に低いことがわかる。

表 3-9 対象における配点基準

Point	配点基準
5	自らを環境対策先進企業と位置付けていることが理解できる。環境情報の開示が十分になされている。世界的な環境問題を危機と捉え、持続可能な企業として発展していくための取り組みを実施している。
4	標準的なレベルから具体的な活動が加わり、環境データも整理をされている。報告書等をディスクロージャーツールとして利用できている。
3	環境方針などの企業の環境に対する姿勢を示し、エネルギー使用量や GHG 排出量などの環境データを確認できる。ただし、すべて十分な開示レベルではなく標準的といえるレベル。
2	確認への取り組みの記載はあるが、具体策が確認できない。または、何を組みればよいか分からない、というレベル。
1	環境への取り組みが確認できない。

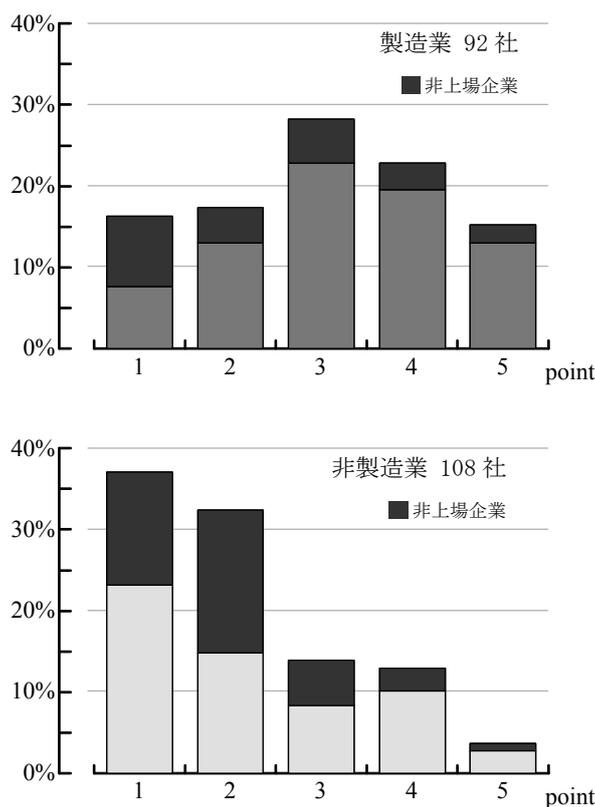


図 3-8 調査対象 200 社 製造業・非製造業別スコア分布

表 3-10 調査より得られた傾向

評価より得られた傾向	
●	製造業では、得点 1 の非上場企業割合が半分近いが、得点 2 以上では各得点ともに製造業全体の 5%以下を示している。
●	非製造業は、得点 1、2 に非製造業全体の 70%が集中している。そのうち約 45%を非上場企業が占めている。
●	非製造業の低い得点は、銀行業、サービス業、保険業が多い。
●	経団連加盟の企業であっても、自主的行動計画の認識・達成目標に違いが認められる。
●	標本 200 社のうち過半数を占める非製造業の取り組み状況は、遅れている。

製造業においては、事業活動とエネルギー消費の関係性が強く、事業活動が環境に与えるという認識があると判断できる。一方、直接的に消費材に携わらない非製造業では、全般的に環境に関する取り組み度は低いと理解できる（表3-10）。

つづいて、無作為抽出により選定された調査対象200社を業種別に分類し、1業種10社以上となる9業種について調査を行った。得点分布の評価を統計的に評価するため、1業種10社以上としている。この調査では、幅広い環境課題を地球温暖化問題と捉えて取り組んでいるかを確認した。

1業種10社以上となる業種は、製造業92社のうち医薬品（12社）、化学（10社）、電気機器（16社）、非製造業108社のうち銀行（15社）、建設業（12社）、サービス業（13社）、情報・通信業（11社）であった。

図3-10から、製造業と非製造業の傾向に違いを確認できる。製造業では、環境問題

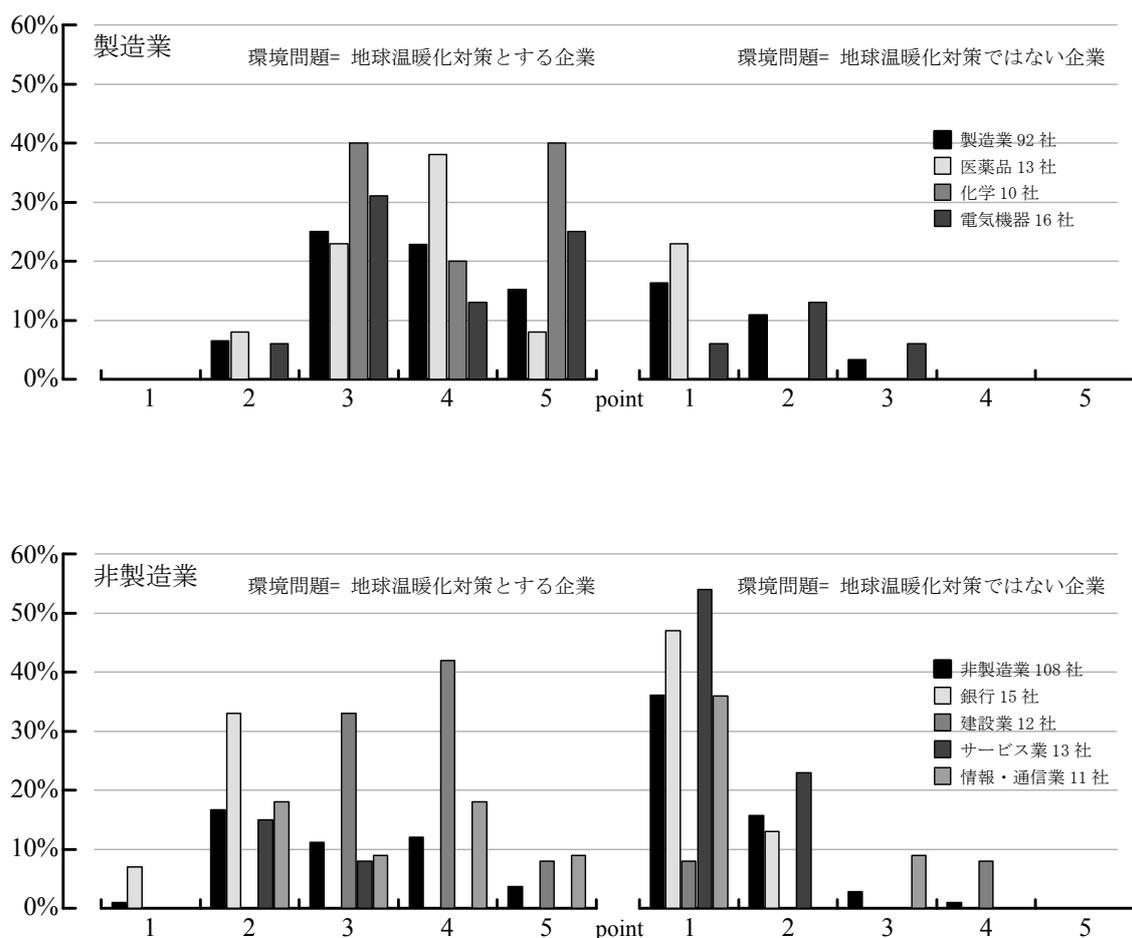


図3-10 環境への取り組みの層別の割合
製造業・非製造業および地球温暖化対策で分類

を地球温暖化問題と捉えていると示唆される企業が多く、非製造業では建築業に地球温暖化対策の傾向がみられるものの、銀行やサービス業、情報・通信業といった消費財と直接関連の薄い業態では環境問題への意識も低い傾向が認められた。

高得点を得たのは、医薬品、化学および電気機器、建設業であった。電気機器業界では「地球温暖化を防ぐために省エネ機器へ買い替えよう」というイメージを消費者に与えるため、様々な商品開発および環境へ先進的な企業であるための取り組みが盛んであることが理由と考えられる。一方、化学業界では1990年代から日本での本格的な取り組みがはじまった、レスポンシブル・ケア⁵への参画が盛んであることが大きな要因と示唆される。建設業では、電気機器と同様に「環境にやさしい家づくり」、CASBEE（建築環境総合性能評価システム）やLEED（Leadership in Energy and Environmental Design, 米国グリーンビルディング協議会による建物環境総合性能評価指標）といったグリーンビルディング指標の普及に伴う不動産価値の向上など、省エネルギーやエコフレンドリーな建築物の普及が要因と言える。

一方、地球温暖化対策への取り組みが直接的に企業業績に影響を及ぼすことのない医薬品業界について、他業種と比較しても医薬品業界の傾向として地球温暖化対策の取り組みが顕著であることがわかった。調査で得られた傾向を、表3-11に示す。

これら企業・業種に共通している点は、2010年に発行された”ISO26000 Guidance on social responsibility”（邦題：社会的責任に関する手引き）に基づいた企業経営を率先しているという点である。ISO26000の中核課題の一つに挙げられる「環境」では、「汚染の予防」「持続可能な資源の利用」「気候変動の緩和および気候変動への適応」「環境保護、生物多様性、および自然生息地の回復」が課題として挙げられている。環境問題を地球温暖化対策と取り上げることは、企業の社会的責任の活動として重要なことと認識をしている結果と考えられる。

これら結果から示唆されることは、経団連が推進する地球温暖化対策の環境自主的行動計画に強く取り組んでいる業界には、医薬品が特異的存在であること、環境自主行動計画への強い参画傾向が認められる業界は、地球温暖化対策、省エネルギー対策などのイメージが自業界の利益に結びつくことである。この傾向は、環境産業に関連する企業の特徴であると考えられるが、代表的な環境産業である自動車、エネルギー消費型である製紙業、窯業などが分析対象となっていないため、今後の検討としたい。

⁵ 化学工業界では、化学物質を扱うそれぞれの企業が化学物質の開発から製造、物流、使用、最終消費を経て廃棄・リサイクルに至る全ての過程において、自主的に「環境・安全・健康」を確保し、活動の成果を公表し社会との対話・コミュニケーションを行う活動を展開している。この活動を『レスポンシブル・ケア（Responsible Care）』と呼んでいる。
< <http://www.nikkakyo.org/organizations/jrcc/index.html> >

表 3-11 評価より得られた傾向

評価より得られた傾向
● 製造業全体では、上場企業の多くが環境問題=地球温暖化問題として認識をしている傾向が強い。
● CO ₂ 排出削減に関連した製品や取り組みが業績に連動する化学、電気機器、建設業は、地球温暖化対策に対する企業取り組みが盛んである。
● 抽出されたサンプルでは、直接的に温暖化問題が企業活動に影響を及ぼさない、医薬品業界が高得点である。
● 得点 5 は、製造業・非製造業を問わず地球温暖化問題を掲げる企業が占めている。
● 非製造業の 30%以上が得点 1 である。サンプルで取り上げた銀行、サービス業、情報・通信業でもその傾向が認められる。

本調査は無作為抽出による調査であるため常に標本誤差を意識していなければならないが、200社を抽出することは母集団の大きさ N=1000、信頼度 91.0%、母比率 50.0%、精度 6.0%の信頼性をもつ結果となるため、筆者による関係資料の読み込みによる傾向調査では、地球温暖化問題を中心とした環境への取り組みの動向を調べる上では十分な調査であったと考えている。

3-4 環境への取り組みの評価

前節まで述べてきたとおり、経団連加盟の多くの企業は地球温暖化対策を中心とした環境の取り組みを推進している。その取り組みは自社が発行する CSR 報告書や環境報告書、さらには企業ホームページを利用した情報ツールを用いて、社会のステークホルダーに対し活動報告をしている。国に先駆け、経団連がなぜ地球温暖化対策を重要課題としているかは、海外機関の動きを見ると分かりやすい。

2010年2月には米国証券取引委員会 (U.S. Securities and Exchange Commission, SEC) が気候変動情報に関する開示ガイドラインが発行され、9月には欧州で企業の非財務情報に関する業界別の共通指標である主要業績指標 (Key Performance Indicator, KPI) の

掲示、また11月にはSR (Social Responsibility, 組織による社会的責任) に対するISO規格 (ISO 26000) の発行などの動きが続いている。これは、企業活動における環境問題の重要性が高まるとともに、企業等による環境関連情報や支出についての把握や開示が求められる、それに伴うルールを制定する時期になったからと言える。

もともと欧米では、環境債務に関する認識、制度などが充実している。土壤汚染の浄化や有害廃棄物などの処理を、法律で義務化している場合が多い。そのため、土壤汚染の莫大な処理費用などを把握する必要が発生し、汚染者責任原則に基づいて浄化責任や費用負担が生じる可能性がある。すると、企業にとっては莫大な費用抛出が発生し、環境的債務を抱えることになり経営資源を圧迫しかねない。資本主義社会はそれらを環境リスクと捉え、企業にリスク把握および開示を求めるようになった。これは、環境リスクや環境対策が投資家にとっての投資情報ツールの側面を持つようになったことで、環境問題は経済問題に発展したことを意味する。

事実、米国の思想家であり環境活動家で著名なレスター・ブラウン (Lester Russell Brown) は、国連環境計画 (United Nations Environment Program) の金融イニシャチブ特別アドバイザーや、カーボン・ディスクロージャー・プロジェクト ジャパンの代表を務める金融コメンテーター 末吉竹二郎氏の著書 (末吉, 井田, 2006) に、「気候変動のリスクは巨大だが、同時にそれに関わるビジネスの機会もまた大きい」とコメントを寄せている。環境活動家と金融家にはこのような関係が多々見られ、環境活動家にとっては重要な活動の資金源となっていることが多い。お互いが利を得る立場の者同士の意思が同じ方向を向いたとき、そこには地球温暖化と銘打って金融市場に新たな金融ネタが成立をし、新たなビジネスが創出されることになる。

機関投資家をはじめとするエコノミストらは、企業がPCB処理などにまつわる資産除去債務⁶を環境リスクと捉えたのと同じように、炭素排出が課税対象となるリスクであるとし、また気候変動に関する様々な規制、事業環境変化が企業の持続可能性に関わ

⁶『資産除去債務に関する会計基準』における資産除去債務とは、「有形固定資産の取得、建設、開発又は通常の使用によって生じ、当該有形固定資産の除去に関して法令又は契約で要求される法律上の義務及びそれに準じるもの」と定義されている。つまり、建物を解体する際や土地を改変する際などで法令上生じる義務にかかる費用、または契約条件等により、土地の売却の予定がある場合の土壤汚染の調査・浄化費用や原状回復義務に基づき実施する解体にかかる費用等がこの資産除去債務として取り扱われることになる。現在、上記定義における法令上要求される義務としては、石綿障害予防規則等で規定されているアスベスト建材の除去や、PCB特別措置法で規定されているPCBの適切な処理、さらに土壤汚染対策法で規定されている特定施設廃止時の調査などがあげられる。これらの義務が将来的に発生する場合には、当該義務に対して発生する費用、つまりアスベストやPCBの撤去処分費用や土壤汚染にかかる調査対策費用を資産除去債務として、事前に負債計上する必要がでてくる。すでに米国会計基準では、将来の有形固定資産の除去のための債務に関する支出を有形固定資産の取得時にあらかじめ見積り、その割引現在価値を負債として計上するとともに有形固定資産の取得原価に算入し、資産の耐用年数にわたって費用処理することが求められている。

(国際環境ソリューションズ株式会社HPより引用 <http://www.jiban-kankyo.com/account/debt.html>)

るとして関連情報の開示を求めるようになった。昨今では、末吉氏が日本事務所代表を務める 国際的な非営利組織 Carbon Disclosure Project (本部英国、以下、CDP)が毎年実施しているカーボンリスクの情報開示 CDP Global Report では、国際環境 NGO、投資機関や監査法人をスポンサーとし、世界の TOP500 の企業を中心に事業活動に伴う炭素排出量を調査、公表を行っている。そのレポートは機関投資家や格付け会社、一般にも公開をされるが、科学の目から見た気候変動に対する取り組みを評価するツールではなく、投資家はその企業が投資する価値があるかを判断する材料となっているのが現状である。

企業価値は、ステークホルダーごとに判断指標が違うのは必然である。市場原理主義の中で企業活動を行う現実社会は、市場から高い評価を受け売上が伸び、投資家などから評価を受け株価を高めることで総資本を増やし、企業価値を高めることが必要である。その視点に立てば、CDP Global Report のような投資家に対する影響力をもつ調査は、株式市場に対するコミュニケーションツールの一つとしての側面が強くなり、気候変動対策に関する情報公開の方法により企業価値の判断を左右させる可能性もある。

3-5 SRI が作り出す気候変動問題の是非

一般に株式投資には、投資期間が1年を超えるような長期投資、1か月から3か月以内の短期投資がある（投資期間の明確な定義はない）。長期投資は、日々の相場変動にとらわれない投資ができ、株式の長期保有によって売買に伴う手数料等の支出が抑えられるメリットがある一方、売却するまで現金を手にすることができないデメリットがある。その反面、短期投資では短期間で現金化できるメリットがあるが、市場の相場変動を常に監視しなければならず、また短期間で売却が発生する手数料も無視できないコストとなるデメリットがある。そのため、長期投資はファンダメンタルな要素、短期投資はテクニカルな要素に投資判断が支配されると言われている。

機関投資家が長期投資の視点から企業分析をする際、近年、社会的責任投資（Social Responsible Investment、以下、SRI）スクリーニング運用によって資産残高が大きく増加していると言われている（川村, 2008）。SRI とは「地球環境や地球社会の持続可能性に配慮した責任ある投資」を意味しており、2006年に公表された国連の責任投資原則（The Principle for Responsible Investment、以下、PRI）の制定が背景にある。投融資においても環境や社会、企業統治（ESG）に配慮し、受益者のために長期的視点に立った最大限の利益を追求する義務が機関投資家にはあるという原則である（表 3-12）。逆の

表 3-12 国連の責任投資原則

SIX PRINCIPLES OF THE PRI	
1.	We will incorporate ESG issues into investment analysis and decision-making processes.
2.	We will be active owners and incorporate ESG issues into our ownership policies and practices.
3.	We will seek appropriate disclosure on ESG issues by the entities in which we invest.
4.	We will promote acceptance and implementation of the Principles within the investment industry.
5.	We will work together to enhance our effectiveness in implementing the Principles.
6.	We will each report on our activities and progress towards implementing the Principles.
(日本語訳 (川村, 2008) より引用)	
1.	投資分析と意志決定のプロセスに ESG 問題を組み込む。
2.	「モノ言う株主」となり、投資の方針と実践に ESG 問題を組み込む。
3.	投資先に対して、ESG 問題について適切な開示を求める。
4.	資産運用業界に本原則が受け入れられ、実行に移されるよう働きかける。
5.	本原則を実行する際の効果を高めるために、共に行動する。
6.	本原則の実行に関する活動状況や進捗状況について情報を公開する。

視点から考察すると、ESG 運用に期待する機関投資家、個人投資家に対し、持続可能性を構築・維持するために企業は ESG に配慮した企業運営が求められていることを意味する。

ESG の範囲に関する明確な定義はないが、一般的に以下のとおりである。

- ◆ 環境 (Environment) : GHG 排出の削減、廃棄物管理、資源管理、有害物質の管理、環境報告書発行など
- ◆ 社会 (Social) : コンプライアンス、労働環境への配慮、人権問題、地域への貢献活動など
- ◆ 企業統治 (Governance) : 経営意思決定の説明責任、内部監査体制の整備、腐敗防止など

中長期的運用が必要な年金基金等の機関投資家が企業の将来性や戦略を評価するに当たり、非財務情報である ESG の取り組みを評価し投資をしていく ESG 投資が活発となっている。2005 年頃から欧州の公的年金がいち早く市場への参加をはじめ、2007 年以降は企業の不正行為や環境問題についての社会の意識が高まるについて SRI 残高が拡大している。

2012 年の世界 SRI 投資合計額は 13.6 兆 US ドルとなり、欧州での SRI 残高はそのうちの 49.0%であり、日本での SRI 残高は 0.2%である (GLOBAL SUSTAINABLE INVESTMENT ALLIANCE, 2012)。環境面における SRI が取る立場は、気候変動は投資家にとって好機でもありリスクでもあるということである。CO₂排出抑制により低炭素社会を実現するためには長期的な投資が必要であり、それにより実現される低炭素社会は投資家にとって大きな投資機会となるため、機関投資家は、この現実を受容し十分な資金を流入させるための強いリーダーシップをとることを求めている (UN Global Compact Office, 2008)。しかし、日本での SRI 認知度はまだまだ低調で資金流入量が世界的に見ても少ない状態であるが、グローバルに展開をする上場企業にとっては、多くの海外機関投資家から非財務情報である ESG の開示を要求されている。さらには格付け会社等からその取り組みや開示状況に応じて、Dow Jones Sustainability Indices、FTSE4Good、Ethibel Excellence Investment Register、Morningstar Socially Responsible Investment Index などの SRI インデックスに組み入れられることで企業価値を高める機会ともなっている。

ESG 投資における最も関心の高い環境面トピックスは、気候変動である。これら調査機関が評価指標として取り入れているのが、先述した CDP Report (2013) である。CDP は世界の大企業の企業活動における環境影響および戦略を、投資家に開示するためのディスクロージャーシステムを開発した組織であり、その信頼度は高く、当初は CO₂排出、エネルギー、気候変動を対象としていたその調査体制は、今では水資源や森林保護の情報開示にまで幅を広げている。気候変動に関する情報は、実質、CDP からの質問書に対して回答を送付することで、その企業の気候変動に関する姿勢、リスクや機会としての認識などを通じて企業の持続可能性を評価されている。違う側面から表現すれば、CDP の考える気候変動問題は、質問書を介して市場が気候変動問題にどう対峙していくかを操作できるほどの影響力を持ち合わせている。

CDP は、合計 87 兆 US ドルの資産を持つ 722 の機関投資家と市場経済とともに、これらの知見をビジネス、投資、政策決定の場に提供している。しかし、気候変動に関する質問書の世界標準である Global 500 (2013) について、定性的に評価されているか

は疑問がある。選定された日本企業は33社（未回答企業は3社）あるが、自動車関連を除いて決して日本企業の評価は高くない。日本の自動車産業は環境産業の代表格であり、欧州を中心とする自動車企業と同等の評価を得ている一方、それ以外の産業から選出された日本企業の評価は相対的に高くはない。その理由として考えられるのは、世界の時価総額上位500社に選定された日本企業が、ESG投資を意識した戦略を構築しているとは限らないということである。例えば、日本の自動車企業は世界を市場とし、欧州自動車産業と競争しながらEco-Friendly Carの開発に尽力していることから、高い評価が得られていると示唆される。一方、他産業で十分な評価を得られないのは、ESG投資で高い評価を得るためのコミュニケーションツールの活用が不十分であることが考えられる。

3-5-1 質問書評価結果の絶対性操作テスト

CDP 質問書や投資格付け機関からの質問書のように、気候変動に対する企業の取り組みやリスク対応をステークホルダーに伝達するツールの場合、質問書の利用者である機関投資家が必要とする的確な情報を伝えるコミュニケーション方法が、その評価を左右する可能性がある。ESG投資が盛んな欧米の機関投資家やCDPなどの評価組織に対しては、情報の伝え方によって評価結果に変化が見られることが、検証によって分かった。

筆者は、勤務先においてCDP質問書への回答を担当しており、CDP Global 500 Climate Change Report 2010より2014までの過去5か年分、英語による記述式回答を行っている。回答者である筆者は、高得点傾向の海外メガファーマによる過去の回答方法を研究し、前年よりも高い評価を期待できる回答をすることで、同程度の活動でも回答方法の違いにより意図的に評価レベルを変えることが可能であることを検証した。特に、次章に述べる気候変動問題と西洋メンタリティの関係性（栗原, *et al.*, 2012）を研究し始めた2012年以降、順調にその効果が表れていると示唆される。

機関投資家と企業との間のコミュニケーション効果を高めるためには、東洋人と西洋人の思考の違いを認識することが必要である。CDPが対象とする世界の時価総額上位500社のほとんどは、アメリカもしくは欧州企業であるが、それらの主体となる西洋人は形式主義的な考えを持ち、西洋的思考の形式的で論理的なアプローチにずば抜けた力がある（ニスベット, 2004）。また、西洋人は事象には様々な要因があるとは考えず、原因は単一的と考える思考をもっているため、アンケート回答などではその主張を論理

的に記述することに長けているといえる。東洋で形成された論理思考の日本人は、意識をして西洋的思考にならなければ同じ軸で評価を受けること難しい。評価者が西洋人であるからには、対象物とその性質に着目した、分析的なものの見方をしている西洋人向けの回答をする必要がある。以下に留意しながら、回答を行っている。

- ◆ 自己が優れているという西洋的心理。
- ◆ 活発な議論/討論の概念に基づいた、さまざまな考えがはびこっても結局は正しい考えが勝るという認識。
- ◆ 目的志向性は、個人の主体性の概念を持つ西洋人に特徴的。
- ◆ 西洋の文章技法は、背景・問題・仮説または命題の提起・検証方法・証拠などが何を意味するかの議論・予想される反論の論破など、あらゆる文章の基本。
- ◆ 西洋人から評価を受けるためには、西洋人的文書発想が求められる。

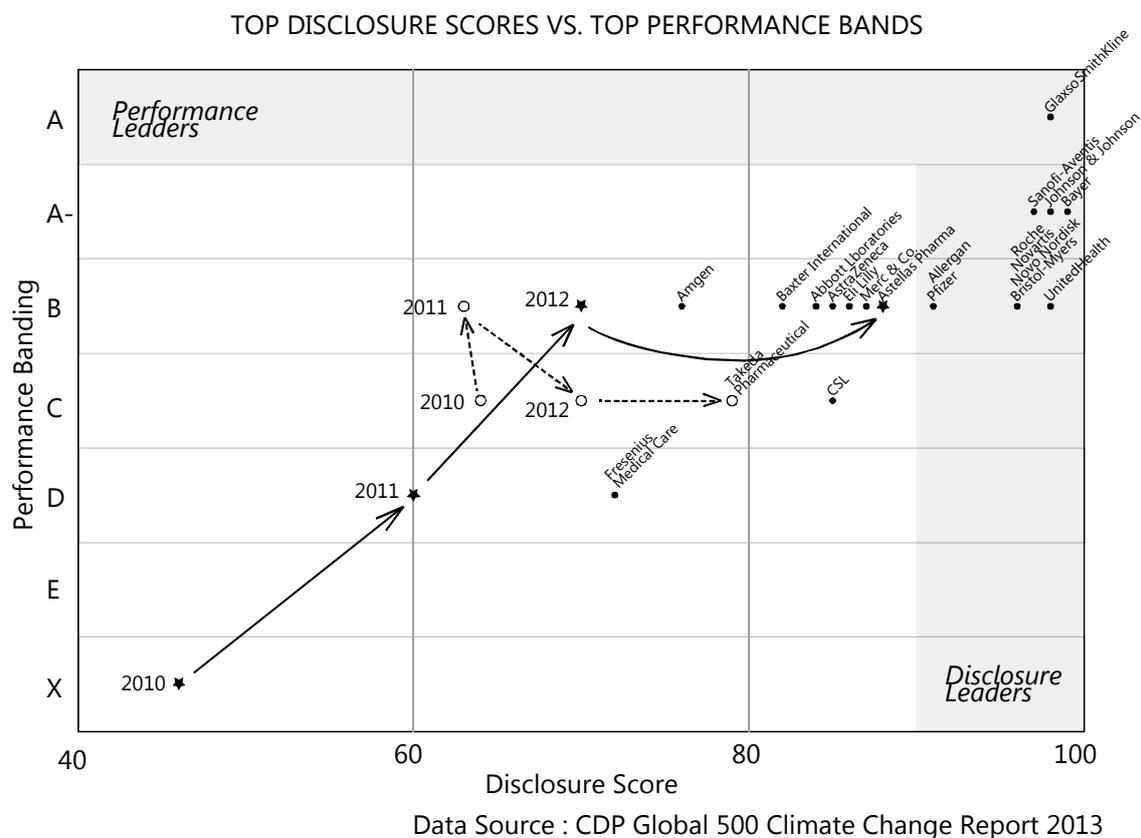


図 3-11 CDP Global 500 Climate Change Report 2013 Healthcare 部門 における筆者勤務先の評価向上推移

図 3-11 は、CDP Global 500 Climate Change Report 2013 の勤務先 (Astellas Pharma Inc.) が属する Health Care 部門評価結果を抽出しプロットしたものである。図上には、筆者が回答を行った直近過去 4 回分の評価、比較対象として CDP Global 500 Health Care 部門にリストされた日本企業である武田薬品工業の評価トレンドを矢印で示している。評価軸は、GHG 排出削減を中心とする活動指標である Performance banding、情報開示度の指標である Disclosure score で示され、Performance banding の X はランク外を表す。先に挙げた定性的な文章技法に基づいた回答は、段階的に評価結果に影響を与えていることがわかる。

2012 年分以降は、気候変動に関するマネジメント体制、リスク対応などを、体系的な責任の明示とともに記述し、定量的な表現により論述を始めたことで、Disclosure Score が大きく伸びている。

また、2014 年 10 月に新たに公開された CDP Climate Change Report 2014 (本報告書より Global 500 としてのレポートは作成されていない) の結果 (図 3-12) は、昨年度の評価よりも Disclosure score がさらに高い評価を得ている。西洋思考的な文章技法を順守

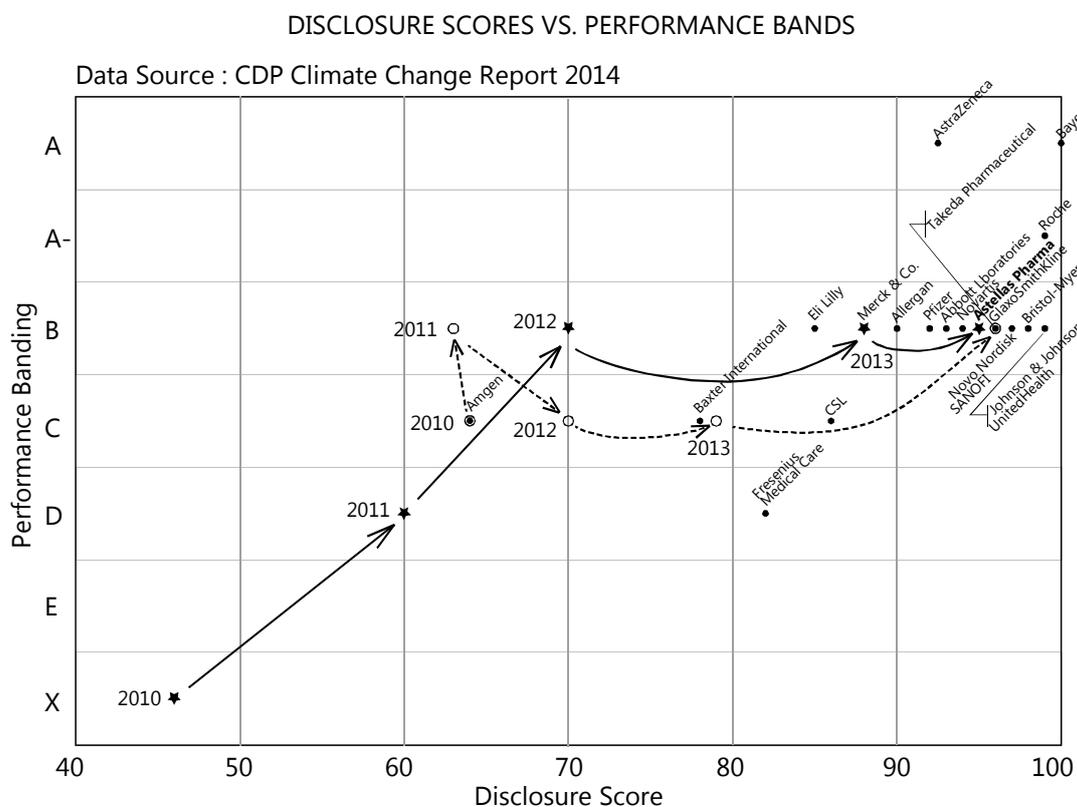


図 3-12 CDP Climate Change Report 2014 Healthcare 部門 における 筆者勤務先の評価向上推移

し比較・検証・論述などを徹底すると、さらに評価を高めることができることを示している。

これらの経年での評価操作性テストから、欧米を中心とした格付け機関等による評価は、西洋的な文章技法により企業価値を創出することが可能であることを示した。その一方、文化的に西洋的思考から離れた日本企業は、その心理的側面を理解しなければ相対的に高い評価を得られない可能性があることを意味している。中期的な本テストは、気候変動問題に限らずビジネス面でも西洋的なメンタリティ、東洋的なメンタリティの違いを理解した上でのマネジメントが必要であることを示唆している。

3-6 総括

本章では、経団連に加盟する企業の動向調査を行うことで、経済界が注視する地球温暖化対策についての傾向分析を行った。日本における環境問題は、従来は公害汚染を中心とするものであったが、オイルショックを経験した日本は徐々に省エネルギーへシフトし、また1992年の地球サミット、1996年のISO14001発行（環境マネジメントシステム）を契機に地球温暖化に軸が変化していった。経済の本格的なグローバル化の波の到来に合わせ、経済界も環境経営の意識を持つようになったことで、企業にとってのステークホルダーとのコミュニケーションツールであるCSR報告書や環境報告書の発行が定着をしていった。その流の牽引役となったのは、経団連（1996）による低炭素社会の実現に向けた強いイニシャチブの存在である。

そこで本章では、経団連加盟企業の一部を対象に企業の環境への取り組みを調査した。調査からは、環境への取り組みとして地球温暖化対策を掲げる企業が多数存在していることが明らかになった。対象企業のCSR報告書に記載されている地球温暖化対策への活動内容を筆者が評価し、化学および電気機器産業の取り組みが盛んである結果を得た。これらの業態は、Eco-Friendlyな企業イメージが消費者行動へ直結しやすい業種であり、地球温暖化対策への率先した企業取り組みが見られる傾向にあることが分かった。また調査対象（1業種10社以上が無作為抽出の対象となった業種）となった業種には、地球温暖化対策が消費者行動と連動しないと思われる医薬品業界が選出をされている。医薬品企業で高い評価を得た企業の結果からは、エネルギー消費時に多くのGHGを排出する化石燃料から、電気もしくは天然ガスに燃料転換することなどがその活動の主であった。この取り組みは経団連環境自主的行動計画の達成がゴールと考えられ、GHG排出削減がもはやゲームと化し、数値を追求する事が本質となってしまっている。

その背景には、企業によるCO₂排出削減の方向性は、特に欧米を中心とした投資市場によって形成されている可能性があることによる。世界市場でビジネスを繰り広げる企業にとって、企業が行う気候変動対策が企業価値を左右するリスク要因であることが挙げられる。ビジネスの主軸を海外に置く日本企業は必然的に気候変動問題と向き合う必要があり、西洋人が作り出した気候変動問題ビジネスの渦中に引きずり込まれていることに他ならない。長く細いトンネルの先にある点しか見ることの出来ない、西洋人的な視野に陥っていると考えられる（ニスベット, 2004）。まさしく木を見て森を見ず、状態である。

世界的に見れば気候変動の要因分析は学術的研究対象として現在進行形であり、取り巻く環境の変化に目を配っていなければトレンドを掴むことは難しい。特にヨーロッパを中心とする環境ビジネス、そこに見え隠れする背景や政府間の情報など、複雑に連鎖している状況下を認識することは困難である。プロジェクト的にCO₂の単一指標でマネジメントすることは、不確実さを許容しない脆弱性に満ちた状態を生み出すことにつながっている。

第4章 ケーススタディ：

バイオマスエネルギー導入効果の LCA 評価

4-1 4章の概要と構成

気候変動対策の一環として、再生可能エネルギーの利用が拡大している。背景には、地球温暖化問題として化石燃料の利用およびその燃焼に伴って排出される、CO₂の抑制に注目が集まったことによる好影響が挙げられる。太陽光パネルの普及、風力発電施設の設置など、新たな機器や技術の開発とともに需要も拡大しているが、設備導入に伴う補助金制度や、ドイツでも同様の制度が破綻に傾いている電力固定買取制度などの見通しの難しさが懸念される。

一方、再生可能エネルギーのうち、木質バイオマスは古くから燃料として利用がされ、気候変動問題が一般化した後は、カーボンニュートラルの面から企業等による木質バイオマス発電などで利用が拡大している。CO₂排出という単一指標の中から生まれた利用拡大ではあるが、地産地消によるメリットをサプライチェーンで享受できるエネルギー利用方法としては評価が高い。

そこで本章では、気候変動対策に関するマネジメント法の古典的な手法の一つである、ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment, LCA）に着目した。CO₂排出を指標として環境負荷をマネジメントする伝統的手法であり、化石燃料から木質バイオマスへ燃料転換するにあたっての環境負荷の大きさを、CO₂排出原単位を用いて評価し、バイオマスエネルギー導入効果に関する事例研究を行った。

本章での事例研究は、岩手県庁農林水産部、岩手県林業技術センター、および木質バイオマス利用事業者へのヒヤリングを含む、十分なフィールドスタディを実施した結果を反映したものである。正確性や利用価値は十分にあると判断をしているが、詳細な計算過程や計算結果を得ることが目的ではなく、第5章以降の研究への導入を容易にするための古典的なマネジメント手法を展開することがねらいである。そのため、本章の結論を得るにあたって詳細な LCA の展開を必要としない場合は、直接 4-17 考察へジャンプしても、本章の直接的な把握に影響はない。

4-2 では、LCA を適用する背景とバイオマス利用の傾向を示し、LCA を実施するにあたっての前提条件を示した。

4-3 では、CO₂ 排出のオフセット効果として期待されるバイオマス利用時のカーボンニュートラルの概念について、その一般的な根拠について論じた。

4-4 では、バイオマスエネルギー利用による排出量取引上のメリットを概観するため、CO₂ 排出量取引に関する各種取引制度の関係性を示し、また国内排出量削減量認証制度による CO₂ 排出量削減の方法論について概観した。

4-5 では、木質バイオマス利用に際して必要な物理特性について述べ、直接燃焼用燃料としての木質バイオマスについて調査を行った。

4-6 では、ライフサイクルアセスメントの目的を示し、モデル工場での燃料転換を想定した必要な燃料の発熱量を算出した。

4-7 では、積み上げ法によるライフサイクルアセスメントを実施するにあたって、評価シナリオの設定、木材の伐採や輸送に関する基本情報の設定を行った。

4-8 では、林地での伐採、輸送に係る車輛、チップ化工程で使用する重機、木質バイオマスボイラーなどの、製造段階に係る GHG 排出原単位を算出した。

4-9 では、4-8 で挙げた各重機類の使用段階に係る GHG 排出原単位を、シナリオごとに算出した。

4-10 では、モデル工場にて必要な蒸気量すべてを木質バイオマスに依存した場合の、各種 GHG 排出原単位などを算出し、各シナリオとの比較材料とした。

4-11 では、既設として想定している小型環流ボイラー、燃料（A 重油）、燃料輸送用車両および納入などに関し、それぞれ製造段階、使用段階に係る GHG 排出原単位を算出した。

4-12 では、ライフサイクルアセスメントでの各種 GHG 排出原単位算出に用いた計算条件を一覧表にした。

4-13 では、これまでに得られた各 GHG 排出原単位より、インベントリ分析の結果を示した。ここでは、GHG 排出原単位を機器製造および使用段階で評価する場合、使用段階のみで評価する場合について比較を行った。

4-14 では、4-10 と同様に必要な蒸気量すべてを木質バイオマスに依存した場合の GHG 排出原単位について、機器製造及び使用段階で評価する場合、使用段階のみで評価する場合について比較を行った。

4-15 では、得られた GHG 排出原単位を基に、現状システム、および各シナリオ、全量を木質バイオマスに依存するケースについて、比較検証を行った。

4-16 では、ライフサイクルアセスメントを実施した結果について、木質バイオマス利用による環境影響を最適化するための考察を行い、4-17 では総括をした。

4-2 バイオマス利用とライフサイクルアセスメント

日本での化石エネルギー依存度は一次エネルギーの85%近く(2008年度)(BP, 2009)を占めており、世界のエネルギー需要の急増を背景に、質と量を求めることは困難になることが懸念されている。世界全体でのバイオマス利用率は、一次エネルギー総供給量に対し約9.5%を占め、先進地域では平均約3.7%、開発途上地域では平均約15.3%であるが、日本での利用率は約0.85%に過ぎず、今後の世界エネルギー需要を鑑みるとバイオマスを含めた新エネルギーの利用拡大が求められている(松村, 2008)。また、バイオマスを含めた再生可能エネルギーの利用は、直線的にCO₂で評価をするカーボンニュートラルの面からも利用が拡大する傾向にある。

そこで本章では、利用が拡大している木質バイオマスの利用に関して、CO₂排出に関する制度体系、および利用時の環境影響面ライフサイクルフローを最適化するため、CO₂を指標とした古典的な評価方法「LCA」を実施した。一般的に、LCAは消費財などの原材料の採取(鉄鉱石の採掘等)から製造、使用および廃棄に至るすべての過程を通して、製品が環境に与える負荷の大きさを定量的に整理、評価する手法である(石川, 赤井, 2001)。LCAは、その実施により環境負荷を数値化し、低炭素社会実現により気候変動抑制に寄与するという古典的なマネジメント手法である。LCAによる評価方法には、CO₂排出量の合計や、欧州を中心に利用が広がるcarbon footprint(ライフサイクル各段階のCO₂排出割合を表記する)などがあり、またISO14020シリーズの環境ラベル規格化に伴い、一般消費財などでは商品差別化を意図した付帯情報として算出が進んでいる。

本章で実施するように、LCAは設定されたある条件下での各種条件の組み合わせにより評価を実施するため、個別課題のマネジメントを行う「プロジェクト」としての範囲を超えることはない。図1-2に示すように、気候変動問題を扱う上位概念、「プログラムマネジメント」の要素の一つとしてLCAを構成させると、気候変動問題を包括的にマネジメントするには、古典的マネジメント手法のみでは不十分であることを理解することができる。

LCAを実施するにあたって、実施目的を次のように設定する。木質バイオマス利用検討では、モデル工場(岩手県八幡平市周辺を想定)を設定し、モデル工場で利用する蒸気の一部を小型貫流ボイラー(燃料:A重油)から木質バイオマスボイラーへ切り替え、木質バイオマスエネルギーの効率的な利用条件を提示する。

4-3 バイオマス利用とカーボンニュートラル

気候変動のプロセスは、化石燃料として地下に蓄えられていた炭素を大気中に CO_2 として放出することが要因の一つになっている、と考えられている。木質バイオマスは古代より燃料として利用されているが、最近では再生可能エネルギーとしての注目がなされるようになった。 CO_2 排出削減という直線的な評価軸から派生したものだが、利用効率面から地産地消が進んでいる。燃料として燃やした木質バイオマスから放出される CO_2 は、いずれ植物の光合成 (photosynthesis) に利用され気候変動要因とされる CO_2 としての総量の変化に影響はない、いわゆるカーボンニュートラル (carbon neutral) として扱われる (図 4-1)。次式は、光合成の化学反応式を表している。



表 4-1 で示すように、熱量当たりの CO_2 排出量は石油と同等、メタンより多いが、主伐や間伐がなされた後に後継樹が生育しているならば、再び樹木に吸収され実質的な排出量はゼロになる。

光合成について、太陽エネルギーは植物体内でアデノシン三リン酸 (ATP) として化学エネルギーに変換されるとともに、還元型補酵素 (NADP) を生成し、上記化学反応式によって CO_2 を有機物に変換する。また、化石燃料に含まれる硫黄 (S) は硫酸 (H_2SO_4) となり酸性雨の原因となるが、バイオマスにはほぼ硫黄は含まれず、燃焼時に生じるばい煙が酸性雨要因になる可能性は低く、酸性雨対策 (図 4-2) としても注目をされる。

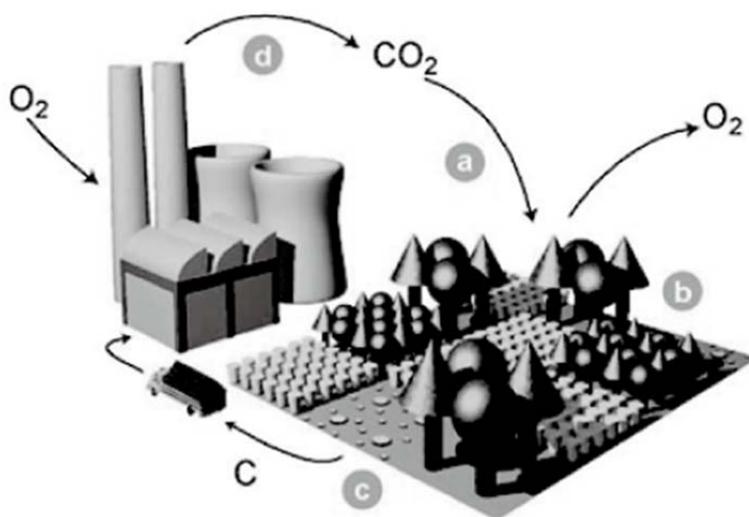


図 4-1 カーボンニュートラル概念図 (Source: Matthews, R. and Robertson, K, 2002)

表 4-1 主要な燃料の特性 (古賀, 2002)

燃料	原子数比			重量比(%)			熱量	CO ₂ 量
	炭素	水素	酸素	炭素	水素	酸素	MJ/kg	kg/GJ
石炭	1	1	< 0.1	85	6	9	28	120
石油	1	2	0	85	15	0	42	75
メタン	1	4	0	75	25	0	55	50
木材	1	1.5	0.7	49	6	45	20 (全乾材)	77

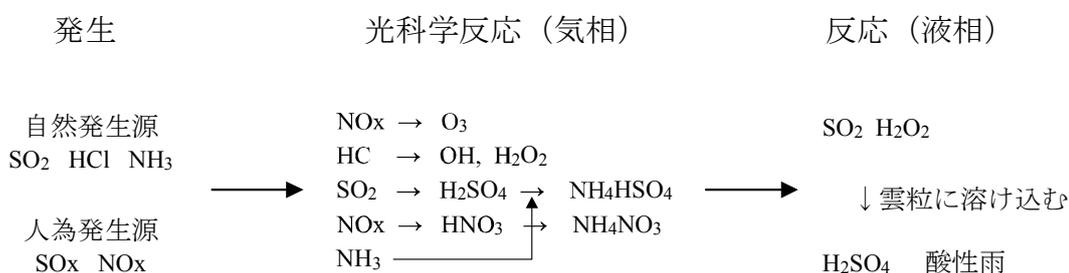


図 4-2 酸性雨の発生フロー

4-4 CO₂ 排出量取引制度

従来の化石燃料からのエネルギー源シフトにより、シフトしたエネルギーに相当するCO₂排出量を他企業・団体などは市場を通して取引ができる。これにより、再生可能エネルギーを利用する組織に排出量取引上のメリットが生じる。

CO₂ 排出量取引制度には各種制度やスキームが存在するが、バイオマス利用によるCO₂ 排出削減効果を得るためには、これら取引制度を利用してバイオマス利用による効果をカーボンオフセットとして計上出来なければならない。

- 試行排出量取引スキーム
- 国内クレジット(CDM)制度
- オフセットクレジット(J-VER)制度
- 自主参加型排出量取引制度
- 京都議定書・京都メカニズム
- 東京都排出量取引制度

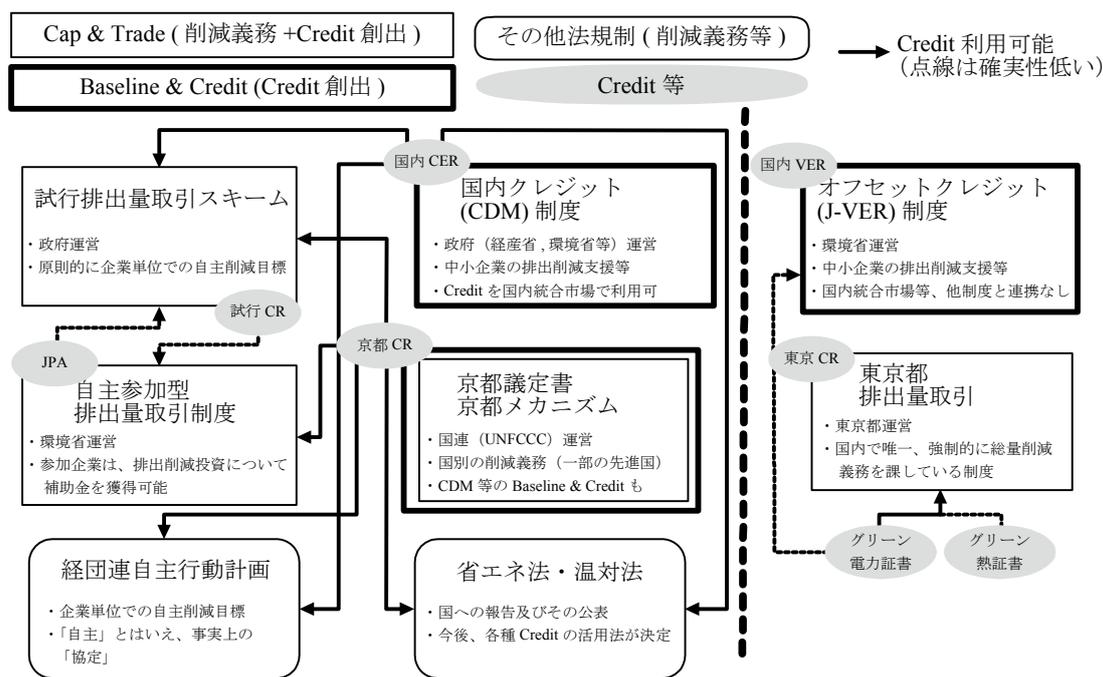


図 4-3 各種排出量取引制度の関係

ここで、各種排出量取引制度の関係を図 4-3 に模式化した。

様々な取引制度があり、CO₂ 排出削減によって生じたクレジットを制度間で取引できる仕組みは、まだ十分に完備されていない。木質バイオマスを例に挙げると、国内クレジット制度・京都議定書／京都メカニズム・オフセットクレジット制度 (J-VER) などで CO₂ 排出量削減効果を計上できるが、検証機関による検証が必要など手順は煩雑である。

4-4-1 国内クレジット制度 (国内排出量削減量認証制度)

ここでは国内クレジット制度である国内排出量削減量認証制度に焦点を当て、木質バイオマスボイラー利用を事例とし、CO₂ 排出量削減の方法論について述べる。

国内クレジット制度において、様々な手法により削減される CO₂ 排出量の算出方法が定められている (国内クレジット制度, 2011)。本ケーススタディの場合、燃料転換によるバイオマスボイラー新設であるため、“方法論番号 001-A ボイラーの新設”の適用となる。算出根拠となるベースライン排出量は、化石燃料を利用する一般的なボイラーを導入した場合に想定される CO₂ 排出量である。モデル工場の場合、A 重油を使用す

る小型貫流ボイラーであり、その効率は一般的に選択し得る標準的ボイラーの効率を使用する。

ベースラインエネルギー使用量

$$Q_{\text{fuel,BL}} = \sum_{i=1}^i (F_{\text{fuel},i,\text{PJ}} \times \text{HV}_{\text{fuel},i,\text{PJ}} \times \frac{\varepsilon_{\text{PJ}}}{\varepsilon_{\text{BL}}})$$

- $Q_{\text{fuel,BL}}$:ベースラインエネルギー使用量 [GJ/年]
 $F_{\text{fuel},i,\text{PJ}}$:バイオマスボイラー設置後の燃料*i*の使用量 [t, kL, m³N 等]
 $\text{HV}_{\text{fuel},i,\text{PJ}}$:バイオマスボイラー設置後の燃料*i*の単位発熱量 [GJ/ton, GJ/kL, GJ/m³N 等]
 ε_{PJ} :バイオマスボイラー効率 [%]
 ε_{BL} :A重油を利用した小型貫流ボイラーの効率 [%]

ベースライン排出量

$$\text{EM}_{\text{BL}} = Q_{\text{fuel},i,\text{BL}} \times \text{CF}_{\text{fuel},i,\text{BL}} \times \frac{44}{12}$$

- EM_{BL} :ベースライン排出量 [t-CO₂/年]
 $Q_{\text{fuel},i,\text{BL}}$:ベースラインエネルギー使用量 [GJ/年]
 $\text{CF}_{\text{fuel},i,\text{BL}}$:ベースラインとして想定する化石燃料の単位発熱量あたりの炭素排出量 [t-C/GJ]

事業実施後排出量

バイオマスボイラー設置導入後、バイオマス燃料と天然ガスなど複数の燃料源を使用するとき、種類ごとの燃料の使用量と単位発熱量から事業実施後排出量を算定する。

$$\text{EM}_{\text{BL}} = \sum_{i=1}^i (F_{\text{fuel},i,\text{PJ}} \times \text{HV}_{\text{fuel},i,\text{PJ}} \times \text{CF}_{\text{fuel},i,\text{PJ}} \times \frac{44}{12})$$

- EM_{BL} :事業実施後排出量 [t-CO₂/年]
 $F_{\text{fuel},i,\text{PJ}}$:バイオマスボイラー設置後の燃料*i*の使用量 [t, kL, m³N 等]
 $\text{HV}_{\text{fuel},i,\text{PJ}}$:バイオマスボイラー設置後の燃料*i*の単位発熱量 [GJ/ton, GJ/kL, GJ/m³N 等]
 $\text{CF}_{\text{fuel},i,\text{PJ}}$:ベースラインとして想定する化石燃料の単位発熱量あたりの炭素排出量 [t-C/GJ]

リーケージ排出量

排出量削減取組みの実施によって生じるバウンダリー外でのCO₂排出量の変化であって、技術的に計測可能かつ当該事業に起因するものを、リーケージ排出量で考慮する。また、設備の生産、運搬、設置、廃棄に伴うCO₂排出量は、リーケージとしてカウントしない。

LE:リーケージ排出量 [t-CO₂/年]

設備更新やシステム変更に伴う CO₂ 排出削減量は、ベースライン排出量より事業実施に伴う効果、およびリーケージの影響による効果を差し引いたものである。

排出削減量

$$ER = EM_{BL} - (EM_{PJ} + LE)$$

- ER :排出削減量 [t-CO₂/年]
- EM_{BL} :ベースライン排出量 [t-CO₂/年]
- EM_{PJ} :事業実施後排出量 [t-CO₂/年]
- LE :リーケージ排出量 [t-CO₂/年]

CO₂ 排出量報告にあたっては、"実排出量" (調整前排出量) から"京都メカニズムクレジット"や"国内クレジット制度 (国内認証排出削減量)"などの効果、他者が削減した効果を取得した排出量などを差し引いた"調整後排出量"を求める必要がある (図 4-4)。本研究でのバイオマス利用による排出削減量は、以上の算出方法によって求められる。

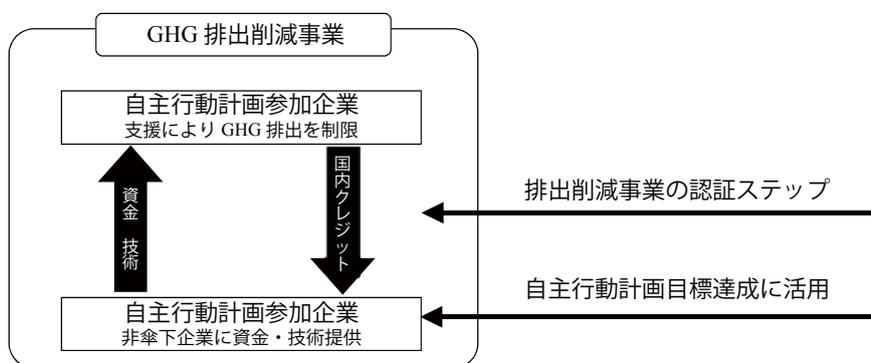


図 4-4 各種排出量取引制度の関係

4-5 木質バイオマスの物理特性

木質バイオマスの利用方法には、直接的に燃焼を行う物理的変換、高温下にさらすことで生じる燃焼ガス（熱分解ガス）を利用する熱化学的変換、微生物の分解作用によるメタン発酵やエタノール発酵などの微生物学的変換などがあり、化石資源に依存しない新たなエネルギー資源としてそれぞれ脚光を浴びている。自然由来の木質バイオマスは、利用する樹種やその比重、利用時の含水量の違いなどにより、利用可能な熱量に変化が生じるため、常に熱量を意識した検討が欠かせない。以下に、木質バイオマスを利用するにあたっての全般的な熱量の考えについて記す。

4-5-1 含水率

燃料としての利用価値が高まっている木質資源は、木炭など樹木の幹・枝を利用することが多かったが、近年では木材工業や建設現場からの廃材にも利用価値が高まっている。そのため、木質バイオマスの形態は多岐にわたり、またその含水率も100%以上の状態から10%以下までと幅広く、利用の状態、形態によってその対応が異なることに注意をしなければならない。立木の伐採直後含水率は、針葉樹で100%を超え広葉樹では70%程度である（岩手県林業技術センター, 2008）。

$$\text{含水率(乾量基準)} = \frac{(m + m_0)}{m_0} \times 100[\%]$$

m_0 は水分を含んでいない木材質量、 m は水分を含んでいる木材の質量を表す。一般に、燃料用木材チップの含水率は以下の通りに分類される。

低含水率チップ	: 乾量基準の含水率	40%以下
標準含水率チップ	: 乾量基準の含水率	40-80%
高含水率チップ	: 乾量基準の含水率	80-120%

4-5-2 密度（比重）

単位容積中の木材実質分の質量のことであり、燃焼に直接寄与するため、密度は発熱量と燃焼に密接な関係がある。針葉樹材の比重は乾燥時で0.38-0.50程度、広葉樹材は0.30-0.90程度であり、文献ではスギは0.38、ヒノキは0.44で比重は小さい部類に入る

(古賀, 2002)。木材の比重は、品種、個体、高さ方向部位、半径方向部位、樹齢などで異なり、また気候、栽培密度、成長速度などで変化する。

4-5-3 高発熱量・低発熱量

可燃物に当初から含まれている水分と、燃焼によって生じる水分とをすべて蒸発させるための熱量を含む熱量を高発熱量 (Higher Heating Value、HHV)、または総発熱量と呼ぶ。一方、可燃物に当初から含まれている水分を蒸発させるための熱量を含まない熱量を低発熱量 (Lower Heating Value、LHV)、または新発熱量と呼ぶ。低発熱量を求める式は以下の通りである (古賀, 2002)。

$$H_l = \frac{H_{h0} - 600(9h_0 + u)}{1 + u}$$

ここで、 H_l は低発熱量[MJ/kg]、 H_{h0} は全乾時高発熱量[MJ/kg]、 h_0 は全乾重量 1kg 当たりの水素量[kg/kg]、 u は全乾重量 1kg 当たりの水分量[kg/kg]を表す。

一般に、燃料用チップの含水率条件は 120%以下が望ましいとされるが、燃料用木材チップの標準発熱量は含水率区分に応じているといえる。含水率が高まれば、木材に含まれる水分を蒸発させるための莫大な潜熱が必要となり、燃焼によって本来得られるエネルギーが水分蒸発のために消費されてしまい、エネルギー利用率が低下してしまう。利用の際には、いかに含水率の低いチップを調達・利用するかの対策が必要である。チップの含水率が高いと、ボイラー炉内の燃焼温度が上がらず不完全燃焼となり、黒煙が発生するなど大気汚染要因にもなってしまう。

低含水率チップ	: 14.9 MJ/kg	(含水率 20%相当)
標準含水率チップ	: 10.5 MJ/kg	(含水率 60%相当)
高含水率チップ	: 7.9 MJ/kg	(含水率 100%相当)

4-5-4 直接燃焼用燃料としての木質バイオマス

木質バイオマスには、その一次形態、加工方法の違いにより燃料として得られる熱量に違いがある。粉碎型チップ(バーク)は建築廃材や製材廃材由来のものが多く、10-20cm程度の長さがあり、ボイラー利用時などで自動搬送する際にベルトコンベアに干渉し

ラブル要因になることが多い。建築廃材は家屋等の解体現場より収集されるものがほとんどなため、廃材には壁紙・塗料・土・泥などを含んでおり、得られる熱量にばらつきが生じる。また、焼却時には燃料由来の塩素・クロム・ヒ素などが発生するため、注意を要する。最近では、環境意識の高い廃棄物処理業者が建築廃材などの再生処理を行い、高品質な粉砕型チップとして木質燃料化する事業を行うところも出てきており、これまで建築廃材の使いにくかった点が解消される動きもある。

切削型チップは、林地もしくは工場にてチップ加工を行うのが一般的である。製紙工場向けチップ加工工場が多く、得られる品質は安定している。木質ペレットは、薪や炭と比較し利便性が高く、家庭においてストーブ燃料として利用されることが多い。樹木を構成する幹などの木質部を一度粉砕し、加熱・圧縮により成形したもので、含水率は10%程度と非常に低く、その低発熱量は灯油の半分程度と高い。だが、加工施設の数が少なく、また加工工程が複雑で価格が高い。

表 4-2 燃料となる木質バイオマスの例
(新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2010) 表 2.5-2 を参考に筆者作成

分類	含水率 [kg-H ₂ O/kg-wet]	発熱量 [MJ/kg-wet]	有害物質の含有
林地残材	0.50-0.55 生材	8 - 10	少ない
製材残材	0.30-0.40 合板由来 0.45-0.55 製材由来	10	少ない
建設廃材	0.25-0.40 変動が大きい、季節の 影響もあり。	10 - 13	塩素・クロム・銅・ ヒ素、金属、土砂、 灰分等
破砕型チップ	0.30-0.40 平衡含水状態	6-8	少ない
切削型チップ	0.10-0.20 平衡含水状態	8-10	少ない

図 4-5 主要な燃料の特性
(左) 粉砕型チップ (バーク) (中) 切削型チップ (右) ペレット



森林で主伐・間伐した丸太は樹種により 60-400%の含水率なため、燃焼用燃料と使用するには乾燥工程を経る必要がある。切削型チップを例にとると、切削により体積が300%近くなるため（岩手県林業技術センター、2005）、保管場所などの制約が出る。一般には丸太のまま伐採した場所に放置する、林地に野積みをする、製材工場などで保管をするなどの方法があるが、伐採後の含水率変化は材のおかれた周囲環境・樹種・部位・形状に依存する。特に杉の林地葉枯らし乾燥では含水率低下率が大きく、2-3 カ月で 40-50%程度、8 か月程度で平衡状態の 20%程度の含水率になる結果が得られている（岩手県林業技術センター、2006）。

4-6 ライフサイクルアセスメントの概要

国際標準化機構（International Organization for Standardization, ISO）は、LCA の実施事例増加に伴い共通軸を確立することが望ましいとし、評価手法の規格化を図った。LCA とは、原材料調達から設計・製造、使用、リサイクル、廃棄処分という製品のライフサ

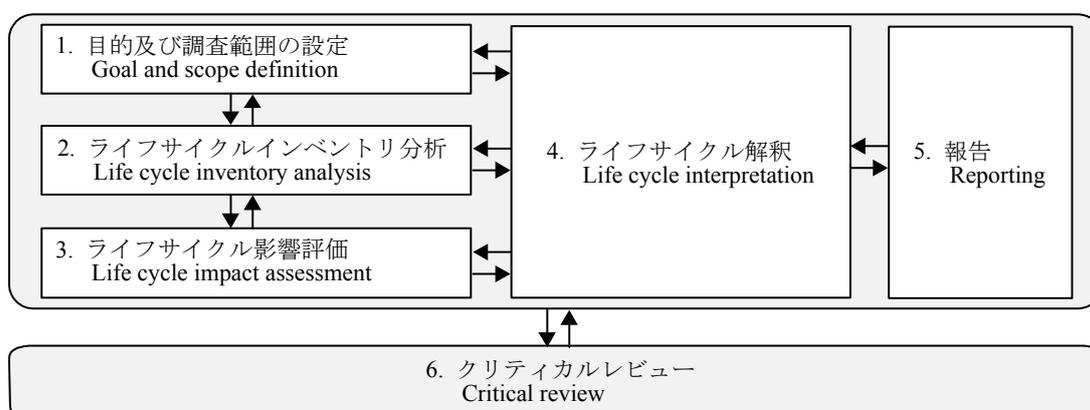


図 4-6 LCA の構成段階

表 4-3 LCA 関連の ISO/JIS 規格

規格番号	表題
ISO 14040	原則および枠組み
ISO 14041	目的および調査範囲の設定ならびにインベントリ分析
ISO 14042	ライフサイクル影響評価
ISO 14043	ライフサイクル解釈

イクルにわたって、製品の使用する資源やエネルギーと、製品が排出する環境負荷を科学的、定量的、客観的に推定・評価し、潜在的な環境影響を評価する方法である。ISO 14040 をもとに、LCA の構図を示す（図 4-6）。

4-6-1 LCA の目的

本章で実施する LCA は、モデル工場での蒸気供給システム（小型貫流式ボイラー）の燃料転換を行い、既存燃料である A 重油使用量を削減し、化石燃料の消費によって排出されていた CO₂ 量を減らすケーススタディである。ケーススタディでは、木質バイオマスを代替燃料にした際、森林から排出される丸太、加工された木質チップ、運送、ボイラーでの燃焼、焼却灰処分などの一連のフローが、A 重油を燃焼させた場合と比べどの程度の環境負荷を示すのかを検証し、再生可能エネルギーであるバイオマスの導入効果検証 GHG 排出原単位を指標に LCA 分析にて行う。得られた結果は、燃料転換によって削減される GHG 排出量の効果、環境影響面のライフサイクルフロー最適化を実現するための判断材料となる。

4-6-2 分析対象：地域設定

ケーススタディでは、木質バイオマス資源が豊富な岩手県八幡平市周辺を検討フィールドと設定した。木質バイオマス利用には、主伐・間伐を行う森林をどこに設定するか、林作業と資源加工場所（木質チップ工場）、および木質チップ加工場所と消費地であるモデル工場との距離が、LCA 結果に変化を与える。

図 4-7 に、東北地方の木質系バイオマスの市町村別賦存量及び利用可能量のマップを示す（新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2011）。この地域は日本でも有数の木質資源賦存量・利用可能量ポテンシャルがあるため、十分な森林資源がある地域であることが分かる。これら森林資源の多くは、主伐期を迎えた立木が多数あり、十分な主伐・間伐・枝打ちを行わなければ森林の質の維持が行き届かない現状にある。

設定する木質チップ工場は、モデル工場を中心に半径 30km に利用可能な箇所とする。木質チップ購入価格は、輸送コストの違いによって大きく変化するため、モデル工場周辺での木質チップ工場の存在は影響が大きい。

主伐・間伐等の作業場所と木質チップ加工工場、木質チップ加工工場とモデル工場との距離を、それぞれ半径 30km と仮定した。ただし、土場にてチップ化作業を行う場合

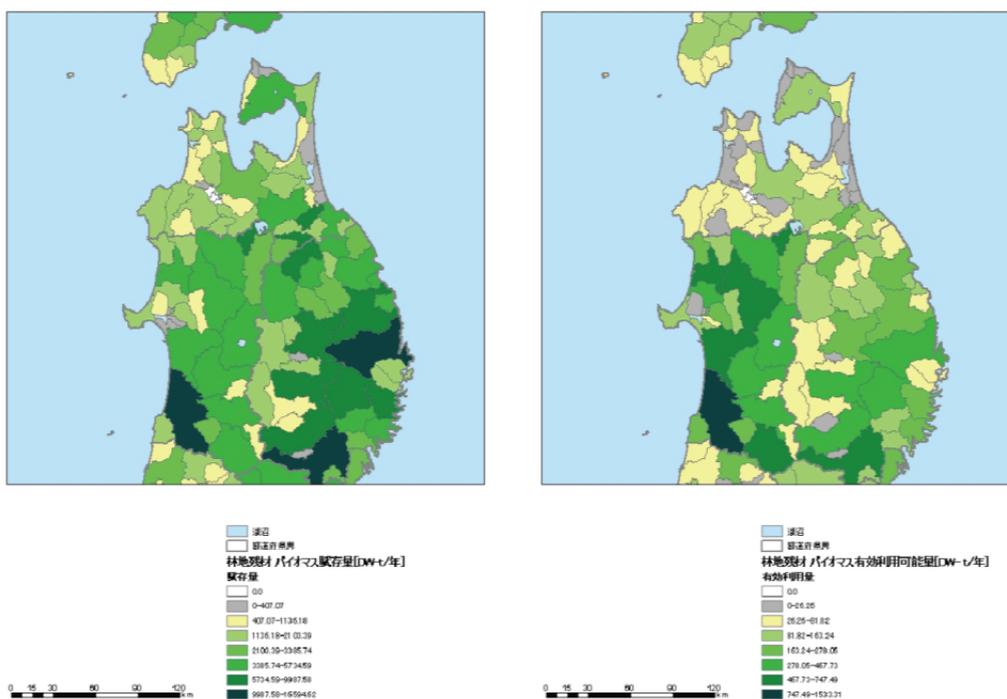


図 4-7 木質系バイオマスの市町村別 (左) 貯存量 (右) 利用可能量 (新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2011) より引用

は、チップ加工工場でチップ化を行う場合と同様の作業フィールドとし条件を同一のものとする。

4-6-3 蒸気の実蒸発量

モデル工場で生成する蒸気の一部を木質バイオマス由来に転換とした場合の、システム構築の違いによる環境負荷を検証する。モデル工場では、一年を通じて時間当たり 4-5.5 tons 程度の蒸気を小型貫流ボイラーで生成している。図 4-8 に、年間で蒸気使用量が最大・最小の月の蒸気使用量および燃料使用量トレンドを示した。ベースロードに相当する 2 tons/hr 分の蒸気を、A 重油を燃料源とする小型貫流ボイラーから木質バイオマスボイラーに変更したとき、稼働に必要な切削型チップ量を算出する。

$$\begin{aligned}
 \text{ボイラー効率}[\%] &= \frac{\text{出熱}}{\text{入熱}} \times 100 \\
 &= \frac{\text{実蒸発量} \times (\text{蒸気の比エンタルピー} - \text{給水の比エンタルピー})}{\text{燃料消費量} \times \text{燃料の発熱量}}
 \end{aligned}$$

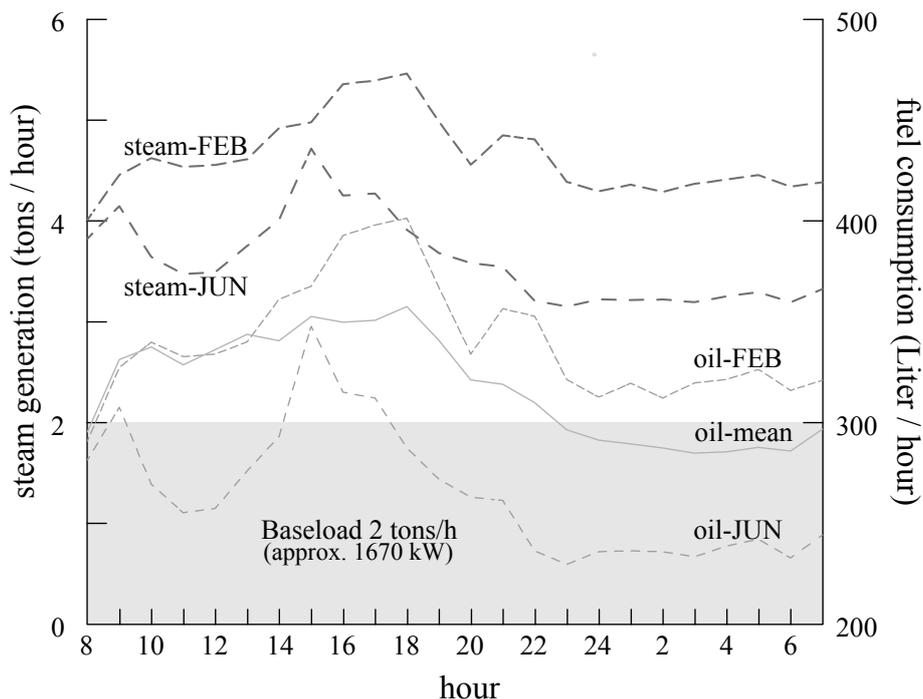


図 4-8 モデル工場 蒸気使用状況 (1日)

ボイラー効率 0.9、発生蒸気圧 0.8 MPa, 給水温度 15 °Cと仮定すると、表 4-4 から得られる飽和蒸気エンタルピーを用いて実蒸発量を求める。

$$\begin{aligned}
 & \text{燃料消費量 [kg/h]} \times \text{燃料の発熱量 [MJ/kg]} \\
 &= \text{実蒸発量} \times \frac{\text{蒸気の比エンタルピー} - \text{給水の比エンタルピー}}{\text{ボイラー効率}} \\
 &= 2000 \text{ [kg/h]} \times \frac{2.767 \text{ [MJ/kg]} - 0.063 \text{ [MJ/kg]}}{0.9} = 6008.9 \text{ [MJ/h]} \\
 &= 1669.1 \text{ [kWh]}
 \end{aligned}$$

A 重油の高位発熱量 45.2[MJ/kg]より、A 重油消費量[kg]を求める。

$$\text{A 重油消費量[kg]} = \frac{6008.9 \text{ [MJ/h]}}{45.2 \text{ [MJ/kg]}} = 132 \text{ [kg/h]}$$

表 4-4 で示した各種熱源の発熱量より、切削型チップ発熱量 9 MJ/kg とすると、切削型チップの必要量は以下となる。

$$\text{切削型チップ必要量} = \frac{6008.9 \text{ [MJ/h]}}{9 \text{ [MJ/kg]}} = 668 \text{ [kg/h]}$$

この結果より、

$$\text{一日当たり切削型チップ必要量} = 668 \text{ [kg/h]} \times 24 \text{ [h/day]} = 16,032 \text{ [kg/day]}$$

一日当たり約 16,000 kg の切削型チップを確保する必要がある。ボイラー効率 0.9、発生蒸気圧 0.1 MPa, 給水温度 15 °C と仮定すると、表 4-4 から得られる飽和蒸気エンタルピーを用いて実蒸発量を求められる。

$$\begin{aligned} & \text{燃料消費量 [kg/h]} \times \text{燃料の発熱量 [MJ/kg]} \\ &= \text{実蒸発量} \times \frac{\text{蒸気の比エンタルピー} - \text{給水の比エンタルピー}}{\text{ボイラー効率}} \\ &= 2000 \text{ [kg/h]} \times \frac{2.676 \text{ [MJ/kg]} - 0.063 \text{ [MJ/kg]}}{0.9} = 5806.7 \text{ [MJ/h]} \\ &= 1613.0 \text{ [kWh]} \end{aligned}$$

計算で使用了物理単位の変換は、以下の通りである。

$$1 \text{ [J/s]} = 1 \text{ [W]}$$

$$1 \text{ [kWh]} = 1000 \text{ [W]} \times 3600 \text{ [s]} = 3.6 \text{ [MJ]}$$

表 4-4 蒸気表可能量 (NEDO 技術資料より引用)

圧力	飽和温度	飽和蒸気内部エネルギー	飽和液エンタルピー	飽和蒸気エンタルピー	飽和蒸気エントロピー
MPa	℃	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg・K)
0.0017051	15.00	2396.1	62.99	2528.9	8.7814
0.10	99.63	2506.1	417.46	2675.5	7.3594
0.15	111.37	2519.7	467.11	2693.6	7.2233
0.20	120.23	2529.5	504.70	2706.7	7.1271
0.25	127.44	2537.2	535.37	2716.9	7.0527
0.30	133.55	2543.6	561.47	2725.3	6.9919
0.35	138.88	2548.9	584.33	2732.4	6.9405
0.40	143.63	2553.6	604.74	2738.6	6.8959
0.45	147.93	2557.6	623.25	2743.9	6.8565
0.50	151.86	2561.2	640.23	2748.7	6.8213
0.55	155.48	2564.5	665.93	2753.0	6.7893
0.60	158.85	2567.4	670.56	2756.8	6.7600
0.65	162.01	2570.1	684.28	2760.3	6.7331
0.70	164.97	2572.5	697.22	2763.5	6.7080
0.75	167.78	2574.7	709.47	2766.4	6.6847
0.80	170.43	2576.8	721.11	2769.1	6.6628
0.85	172.96	2578.7	732.22	2771.6	6.6421
0.90	175.38	2580.5	742.83	2773.9	6.6226
0.95	177.69	2582.1	753.02	2776.1	6.6041
1.00	179.91	2583.6	762.81	2778.1	6.5865

4-7 LCA の実施

木質バイオマスを利用するに当たり、環境負荷面で最適なマテリアルフローを導き出す。バイオマス利用者は、カーボンニュートラルにより CO₂ 排出量はゼロカウントされるが、実際の環境負荷は木質バイオマスを利用するためのサプライチェーンも考慮すべきである。バイオマス利用の環境負荷を、サプライチェーン全体 (図 4-9) を含め GHG 排出原単位として評価した。

ライフサイクルインベントリ (Life Cycle Inventory ;LCI) の検討は、積み上げ法および産業連関法のうち、積み上げ法によって行うものとする。産業連関法を用いる場合、森林資源を利用するケースでは検討過程の違いによって、得られる結果に信頼性がもてなくなる可能性があるためである。

本 LCA では、独立行政法人産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センター及び社団法人産業環境管理協会が開発をした、LCA 分析ソフト Simple LCA を利用する。

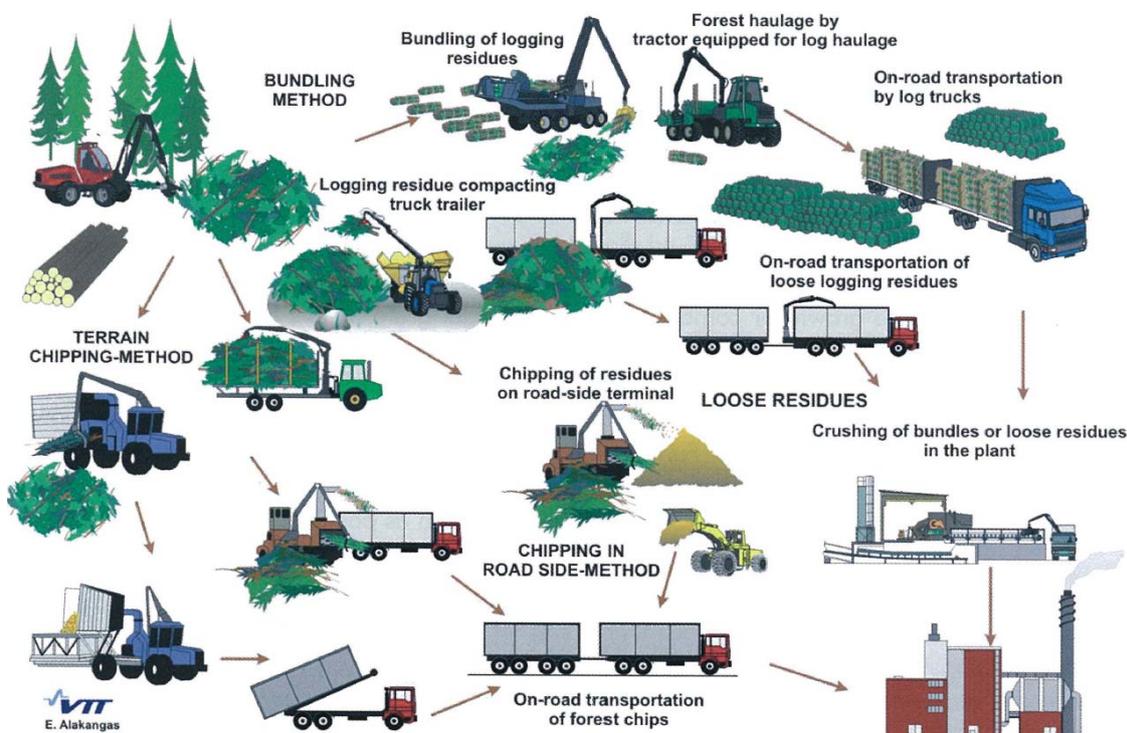


図 4-9 木質バイオマス利用のサイクルの例

出典:E. Alakangas VTT Processes, Espoo, Finland; Operational experience and studies to increase the viability of biomass use

4-7-1 評価シナリオ設定

A 重油由来の蒸気 2 tons/hr に相当する木質バイオマス約 16 tons/day を供給するため、二つのシナリオを検討した。林地から切り出す丸太をチップ化するプロセスを、麓のチップ工場で行うか、林地でチップ化するかである。以下に、共通する条件設定を示す。

シナリオ1 ～工場でのチップ化～

林地において主伐・間伐した木質バイオマスを林地から運び出し、チップ加工工場においてチップ化するシナリオである。林地を移動して立木の伐採や枝払いなどの一連作業を行うことができる車両系機械であるハーベスタを利用し、造材された材を荷台に積み運搬する集材用車両であるフォワーダ（図 4-12）によってトラックへの積込が可能な場所まで輸送する。木材チップ加工工場まで輸送された後にチップ化がなされ、トラックによってモデル工場まで輸送される一連のフローとする。シナリオ1のライフサイクルフローを、図 4-10 に示す。

シナリオ2 ～林地でのチップ化～

林地にハーベスタ（図 4-12）、フォワーダ、移動式チップパー（図 4-12）などを持ち込み、現地でチップ化した上でトラックによりモデル工場へ輸送するシナリオである。なお、このシナリオでは伐採した丸太を林地でチップ化する。一般に丸太をチップパーで加工すると、その体積は約 2.8-3 倍になると言われている（岩手県林業技術センター、2005）。ここでは丸太からチップへの体積変化を 2.7 倍と仮定した（表 4-5）。シナリオ2のライフサイクルフローを、図 4-11 に示す。

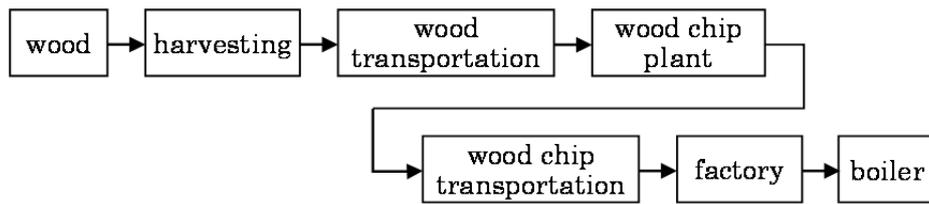


図 4-10 シナリオ1 ライフサイクルフロー

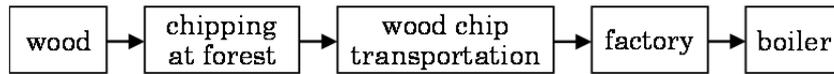


図 4-11 シナリオ2 ライフサイクルフロー



図 4-12 (左) ハーベスタ (右) フォワーダ (下) チッパー

4-7-2 木材の主伐・間伐の設定

バイオマス利用のケーススタディより得られた木質バイオマス必要量、16 tons/day を確保する必要がある。主伐・間伐した丸太は、すべてチップ化に使用するものとして試算を行う。含水率 56%程度の木質チップ密度 300 kg/m³ とすれば年間 19,506 m³(木質チップ換算)となる。木質チップは、チップ化することにより容積が丸太材積の約 2.7 倍に増加するため、丸太換算では年間 7,224 m³に相当する主伐・間伐を行う必要がある。主伐・間伐を行う上での条件設定を表 4-5 に示す。

土場での主伐・間伐作業は、チェーンソー・ハーベスタ（グラップルローダ）・フォワーダを利用し行う。全国中央林業連合会が示す代表的な一日当たり燃料消費量を表 4-6 に示す。一日の稼働時間を 8 時間とする。

表 4-5 必要間伐量

	木質チップ換算	丸太換算
一日必要事業量	53.4 m ³	19.79 m ³
年間必要事業量	19,506 m ³	7,224 m ³
チップ密度（含水率 56%のとき）	300 kg/m ³	
丸太からチップへの容積変化係数	2.7	
丸太密度（含水率 56%のとき）	810 kg/m ³	
1ha 当たりの搬出材積	50 m ³ /ha	
想定間伐フィールド面積	144 ha	

表 4-6 各種重機類の燃費（佐々木, 2006）を参考に筆者作成

機器	油種	燃費
チェーンソー	ガソリン	3 L/day
ハーベスタ（グラップルローダ）	軽油	30 L/day
フォワーダ	軽油	48 L/day
移動式チップパー	軽油	42 L/day

4-7-3 伐採可能範囲の設定

図4-13で示した独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）算出の岩手県内利用可能木質バイオマス資源賦存量（新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2006）は、林地に既存の林道を基準に、林道から25mまでを木質資源利用可能部分としている。そのため、本LCAでは木質資源を林地から支障なく運び出せるものとし、林地を開拓するための作業工程は省略する。

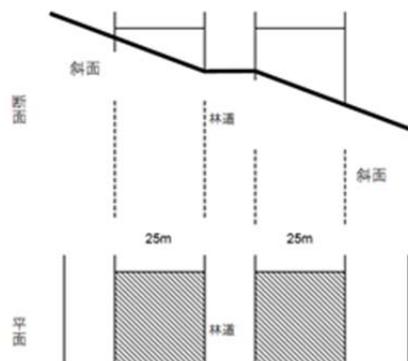


図4-13 NEDO木質資源利用可能部分
（新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2006）より引用

4-7-4 林地からの輸送形態

林地（土場）から木質資源を輸送する際の形態を、シナリオ1では丸太のまま、シナリオ2では木質チップに加工した場合で比較を行った。輸送にはダンプ車やウイング車などが用いられることが多いが、本LCAでは取り回しのしやすさ、輸送工程一往復での輸送能力、チップ荷降ろしのしやすさなどを考慮し、ダンプ車を輸送手段として仮定した（図4-14）。インベントリ分析では、積載重量が4tダンプ車および10tダンプ車にて比較検討を実施した。



図4-14 丸太,チップ輸送用車両（左）ダンプ車（右）ウイング車

4-7-5 ダンプ特性

前提条件では、土場から丸太材の搬出、もしくは土場でチップ化をして搬出するいずれの場合においても4tダンプ車および10tダンプ車を利用できるものとし、新たに林道整備などの必要が発生しないこととする。必要間伐量および各種ダンプの積載能力（岩手県林業技術センター, 2005）より、丸太およびチップ材（含水率56%）の積載可能量を算出した（表4-7）。

また、経済産業省 Carbon Footprint of Products の詳細情報及びプロセスデータに公開されている道路交通輸送プロセスデータより、各種車両の積載率別の燃費を利用し以降のインベントリ分析を行う（表4-8）。

表4-7 ダンプ車積載量（岩手県林業技術センター, 2005）を参考に作成

	最大積載量 kg	荷台容積 m ³	丸太積載可能量 m ³	チップ積載可能量 m ³
10tダンプ車	7,250	24.7	8.95	24.17
4tダンプ車	2,400	16.4	2.96	8.00

表4-8 ダンプ車 積載率別燃費（経済産業省, 2010）より抽出

積載率	燃費 km/L	
	10tダンプ車	4tダンプ車
100%	2.7	3.8
75%	2.9	4.0
62%	3.0	4.1
50%	3.1	4.3
25%	3.6	4.9
10%	4.2	5.8
0%	4.2	5.8

4-7-6 運搬

シナリオ1では、主伐・間伐を行う森林土場と木材チップ加工工場の距離を30 km、木材チップ加工工場とモデル工場の距離を30 kmとして算出を行った。

シナリオ2では、土場とモデル工場間を最長60 kmと仮定をしている。シナリオ2の距離60 kmは、モデル工場から30 km以内にある木質チップ加工工場から、同じく30 km以内の林地にて主伐・間伐を行うものとし、この場合の最長距離と同じ距離としている。

拠点間の運行について、ダンプ車の時速25 km、チップの積降に掛る作業時間0.8 h/回などから、拠点間運行に必要な車両台数を算出し、シナリオ1およびシナリオ2の重機類製造段階に係るGHG排出原単位、各プロセス使用段階に係るGHG排出原単位の算出に用いた。

使用するダンプの積載量の違いによって、各プロセスで必要とされる台数に開きが生じていることが分かる(表4-9、表4-10)。

表4-9 10tダンプ車 必要台数

10tダンプ車使用		距離 km	h/往復	往復 数 /day	稼働 率	のべ台数 /年間稼働 日	の べ 必 要 台 数	必要 車両 台数
シナリオ1	土場 → チップ工場	30	2.80	2	0.70	4.04	5	3
	チップ工場 → モデル工場	30	2.80	2	0.70	4.04	5	3
シナリオ2	土場 → モデル工場	60	4.00	2	1.00	4.04	5	3

表4-10 4tダンプ車 必要台数

4tダンプ車使用		距離 km	h/往復	往復 数 /day	稼働 率	のべ台数 /年間稼働 日	の べ 必 要 台 数	必要 車両 台数
シナリオ1	土場 → チップ工場	30	2.80	2	0.70	12.19	13	7
	チップ工場 → モデル工場	30	2.80	2	0.70	12.19	13	7
シナリオ2	土場 → モデル工場	60	4.00	2	1.00	12.19	13	7

4-8 各プロセスの重機類製造段階に係る GHG 排出原単位

表 4-11 および表 4-12 に、重機類の製造段階にかかる GHG 排出原単位を示す。主伐・間伐に用いる重機類は、岩手県労林水産部森林整備課への訪問調査から得られたデータ、カタログ等を参照し、重量を導いている。重機類のほとんどが鉄で構成されていると仮定し、この重量に鉄の GHG 排出原単位を乗じるとともに、年間処理量、年間稼働率を乗じてライフサイクルで発生する GHG 排出量を算出した。算出には Simple LCA を用いて計算をしている。

モデル工場での一日当たり必要な切削型チップ量 16 tons、丸太（含水率 56%）比重 300 kg/m^3 とした場合で、シナリオ 1 およびシナリオ 2 の製造段階に係る GHG 排出原単位を算出する。その他の条件として、各種重機類必要台数は、チェーンソー 2 台、ハーベスタ、チップパーおよびフォワーダは各 1 台とする。耐用年数は、チェーンソーは消耗品に近いため 1 年、それ以外は機械損料表をもとに 10 年と設定した。4 t ダンプ車および 10 t ダンプ車についても、耐用年数を 10 年としている。A 重油消費量削減に利用するウッドチップボイラーは、必要蒸気量を発生できる能力をもつ機種の種類を、6,500 kg（すべて鉄換算）と仮定した。なお、蒸気負荷変動分に対応する小型貫流ボイラーは既設のものを利用する。

4-8-1 シナリオ 1 の重機類製造段階に係る GHG 排出原単位

熱源として必要とされる木質チップ量は丸太換算で $6.6 \text{ m}^3/\text{day}$ であるが、これは年間必要量を 365 日で除したものであり、主伐・間伐作業を年間 200 日行うものとするれば、一日当たり必要な丸太搬送量は 36.12 m^3 （木質チップ換算 97.52 m^3 ）となる。運搬作業において、木材および加工済み木質チップの積降しに要する時間を 1 回当たり 0.8 h、ダンプ車の運搬速度 25 km/h 、一日の稼働時間を 8 h とすれば、作業に必要な各種ダンプの台数は、10 t ダンプ車 30 km 運搬の工程ごとに 3 台、4 t ダンプ車 30 km 運搬のごとに 7 台となる。

4-8-2 シナリオ 2 の重機類製造段階に係る GHG 排出原単位

シナリオ 2 は、土場にてチップパーを用いて木質チップ化を行い、木質チップを土場からモデル工場へ運搬を行うフローである。運搬作業においては、シナリオ 1 と同様な条件を与えたときに必要な各種ダンプの台数は、10 t ダンプ車 60 km 運搬のとき 3 台、4 t ダンプ車 60 km 運搬のとき 7 台となる。

表 4-11 シナリオ1 重機類製造段階に係る GHG 排出原単位

シナリオ 1	重機類	台数	重量	耐用 年数	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
			kg	y	kg-CO ₂ /MJ	kg-CH ₄ /MJ	kg-N ₂ O/MJ	kg-CO ₂ /MJ
土場	チェーンソー	2	4.65	1	6.09E-05	4.37E-10	7.48E-10	6.11E-05
	ハーベスタ	1	6,740	10	4.42E-03	3.18E-08	5.42E-08	4.44E-03
	フォワーダ	1	6,200	10	4.05E-03	2.92E-08	4.98E-08	4.07E-03
輸送	10 t ダンプ 30 km	3	11,500	10	2.11E-02	1.52E-07	2.59E-07	2.12E-02
	4 t ダンプ 30 km	7	4,500	10	1.92E-02	1.38E-07	2.36E-07	1.93E-02
チップ 工場	チップパー	1	2,890	10	1.89E-03	1.36E-08	2.32E-08	1.90E-03
	チップ工場	1	50,000	15	1.64E-02	1.18E-07	2.02E-07	1.65E-02
輸送	10 t ダンプ 30 km	3	11,500	10	2.11E-02	1.52E-07	2.59E-07	2.12E-02
	4 t ダンプ 30 km	7	4,500	10	1.92E-02	1.38E-07	2.36E-07	1.93E-02
消費	チップボイラー	1	6,500	10	5.69E-03	4.08E-08	6.98E-08	5.71E-03

表 4-12 シナリオ2 重機類製造段階に係る GHG 排出原単位

シナリオ2	重機類	台数	重量	耐用 年数	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
			kg	y	kg-CO ₂ /MJ	kg-CH ₄ /MJ	kg-N ₂ O/MJ	kg-CO ₂ /MJ
土場	チェーンソー	2	4.65	1	6.09E-05	4.37E-10	7.48E-10	6.11E-05
	ハーベスタ	1	6,740	10	4.42E-03	3.18E-08	5.42E-08	4.44E-03
	フォワーダ	1	6,200	10	4.05E-03	2.92E-08	4.98E-08	4.07E-03
	チップパー	1	2,890	10	1.89E-03	1.36E-08	2.32E-08	1.90E-03
輸送	10 t ダンプ 60 km	3	11,500	10	3.01E-02	2.17E-07	3.70E-07	3.03E-02
	4 t ダンプ 60 km	7	4,500	10	2.75E-02	1.98E-07	3.37E-07	2.76E-02
消費	チップボイラー	1	6,500	10	5.69E-03	4.08E-08	6.98E-08	5.71E-03

4-8-3 ユーティリティの使用、鉄の GHG 排出原単位

ユーティリティの使用に伴う GHG 排出原単位、および鉄の GHG 排出原単位は、LCA 分析ソフト Simple LCA のデフォルト値を用いた（表 4-13）。

表 4-13 ユーティリティ・鉄の GHG 排出原単位

		発熱量	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
		MJ/unit	kg-CO ₂ /MJ	kg-CH ₄ /MJ	kg-N ₂ O/MJ	kg-CO ₂ /MJ
軽油	L	38.2	2.73E+00	7.44E-05	4.44E-05	2.75E+00
A 重油	L	39.1	2.82E+00	7.80E-05	4.66E-05	2.84E+00
電力	kWh	3.6	4.17E-01	9.40E-06	1.94E-05	4.23E-01
ガソリン	L	34.6	1.23E-01	8.97E-05	5.35E-05	1.41E-01
鉄	kg	-	2.10E+00	1.51E-05	2.58E-05	2.11E+00

4-9 各プロセス 使用段階に係る GHG 排出原単位

林地にて主伐・間伐を行うために使用する各種重機類、および木質資材を次工程へ運搬するダンプ車、木質チップ加工工場でのチップパー利用等について、使用段階によるGHG 排出原単位を算出した。なお、木質チップ加工工場およびウッドチップボイラー稼働に伴う電力使用量は、算出根拠となるデータ取得が不可能なため算出から除外する。

4-9-1 シナリオ1 各プロセスでの重機類使用段階に係る GHG 排出原単位

シナリオ1における各プロセス段階での重機類使用に伴うGHG 排出原単位を算出した(表4-14)。排出原単位は、使用プロセスでのGHG 排出量を求め、耐用年数、年間処理量、木質チップ発熱量を乗除することで、単位発熱量当たりのGHG 排出原単位を算出した。輸送については、各工程間のトンキロ法(総重量 ton×距離 km)によるGHG 排出量算出を行っている。プロセス使用のGHG 排出原単位は、表4-14 および表4-15に示すSimple LCAのデフォルト値を用いている。

表4-14 シナリオ1 各プロセス使用段階に係る GHG 排出原単位

シナリオ1	重機類	台数	重量	耐用年数	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
			kg	y	kg-CO ₂ /MJ	kg-CH ₄ /MJ	kg-N ₂ O/MJ	kg-CO ₂ /MJ
土場	チェーンソー	2	4.65	1	4.61E-04	3.36E-07	2.00E-07	5.30E-04
	ハーベスタ	1	6,740	10	5.11E-03	1.39E-07	8.28E-08	5.14E-03
	フォワーダ	1	6,200	10	8.16E-03	2.22E-07	1.33E-07	8.21E-03
輸送	10 t ダンプ 30 km	3	11,500	10	2.21E-03	0.00E+00	3.66E-11	2.21E-03
	4 t ダンプ 30 km	7	4,500	10	2.63E-03	0.00E+00	4.36E-11	2.63E-03
チップ工場	チップパー	1	2,890	10	7.13E-03	1.95E-07	1.16E-07	7.17E-03
	チップ工場	1	50,000	15	-	-	-	-
輸送	10 t ダンプ 30 km	3	11,500	10	2.21E-03	0.00E+00	4.36E-11	2.21E-03
	4 t ダンプ 30 km	7	4,500	10	2.63E-03	0.00E+00	4.36E-11	2.63E-03
消費	チップボイラー	1	6,500	10	-	-	-	-

表4-15 シナリオ2 各プロセス使用段階に係る GHG 排出原単位

シナリオ2	重機類	台数	重量	耐用年数	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
			kg	y	kg-CO ₂ /MJ	kg-CH ₄ /MJ	kg-N ₂ O/MJ	kg-CO ₂ /MJ
土場	チェーンソー	2	4.65	1	4.61E-04	3.36E-07	2.00E-07	5.30E-04
	ハーベスタ	1	6,740	10	5.11E-03	1.39E-07	8.28E-08	5.14E-03
	フォワーダ	1	6,200	10	8.16E-03	2.22E-07	1.33E-07	8.21E-03
	チップパー	1	2,890	10	7.13E-03	1.95E-07	1.16E-07	7.17E-03
輸送	10 t ダンプ 60 km	3	11,500	10	4.42E-03	0.00E+00	7.33E-11	4.42E-03
	4 t ダンプ 60 km	7	4,500	10	4.42E-03	0.00E+00	8.69E-11	4.42E-03
消費	チップボイラー	1	6,500	10	-	-	-	-

4-9-2 シナリオ2 各プロセスでの重機類使用段階に係る GHG 排出原単位

シナリオ1と同様に、林地土場にて木質チップ加工を施したうえでモデル工場へ輸送を行う、シナリオ2の各プロセス使用によるGHG排出原単位を算出した（表4-15）。

4-10 木質バイオマスボイラーで蒸気必要量の100%を生成したとき

本LCAでは、モデル工場での蒸気生成ベースロード分を、木質バイオマスに転換する試算を行っているが、比較対象として蒸気生成に必要なエネルギーの全てを木質バイオマス由来にした場合に、GHG排出原単位がどのように変化をするかの考察を行った。

4-10-1 運搬/木質バイオマス100%

A重油の燃焼によって得られていた熱量76,189GJを、全て切削型木質チップによるものとして計算を行い、必要な丸太、加工済み木質チップの運搬に要する10tダンプ車（表4-16）および4tダンプ車（表4-17）の必要台数を算出した。

表4-16 10tダンプ車 必要台数/木質バイオマス100%

10tダンプ車使用		距離 km	h/往復	往復数 /day	稼働率	のべ台数 /年間稼働日	のべ必要台数	必要車両台数
シナリオ1	土場 → チップ工場	30	2.80	2	0.70	5.84	6	3
	チップ工場 → モデル工場	30	2.80	2	0.70	5.84	6	3
シナリオ2	土場 → モデル工場	60	4.00	2	1.00	5.84	6	3

表4-17 4tダンプ車 必要台数/木質バイオマス100%

4tダンプ車使用		距離 km	h/往復	往復数 /day	稼働率	のべ台数 /年間稼働日	のべ必要台数	必要車両台数
シナリオ1	土場 → チップ工場	30	2.80	2	0.70	17.64	18	9
	チップ工場 → モデル工場	30	2.80	2	0.70	17.64	18	9
シナリオ2	土場 → モデル工場	60	4.00	2	1.00	17.64	18	9

4-10-2 各プロセスでの重機類製造段階に係る GHG 排出原単位／木質 100%

前項と同様に、A 重油から木質バイオマスへ 100%燃料転換をした場合を想定し、重機類製造段階に係る GHG 排出原単位を、シナリオ 1（表 4-18）およびシナリオ 2（表 4-19）について算出した。

表 4-18 シナリオ 1：各重機類ライフサイクル GHG 排出原単位／木質バイオマス 100%

シナリオ 1	重機類	台数	重量	耐用 年数	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
			kg	y	kg-CO ₂ /MJ	kg-CH ₄ /MJ	kg-N ₂ O/MJ	kg-CO ₂ /MJ
土場	チェーンソー	2	4.65	1	3.27E-05	2.35E-10	4.02E-10	3.28E-05
	ハーベスタ	1	6,740	10	2.38E-03	1.71E-08	2.91E-08	2.39E-03
	フォワーダ	1	6,200	10	2.18E-03	1.57E-08	2.68E-08	2.19E-03
輸送	10 t ダンプ 30 km	3	11,500	10	1.13E-02	8.16E-08	1.39E-07	1.14E-02
	4 t ダンプ 30 km	9	4,500	10	1.33E-02	9.56E-08	1.63E-07	1.33E-02
チップ工場	チップパー	1	2,890	10	1.02E-03	7.30E-09	1.25E-08	1.02E-03
	チップ工場	1	50,000	15	1.28E-02	9.18E-08	1.57E-07	1.28E-02
輸送	10 t ダンプ 30 km	3	11,500	10	1.13E-02	8.16E-08	1.39E-07	1.14E-02
	4 t ダンプ 30 km	9	4,500	10	1.33E-02	9.56E-08	1.63E-07	1.33E-02
消費	チップボイラー	1	6,500	10	3.06E-03	2.19E-08	3.75E-08	3.07E-03

表 4-19 シナリオ 2：各重機類ライフサイクル GHG 排出原単位／木質バイオマス 100%

シナリオ 2	重機類	台数	重量	耐用 年数	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
			kg	y	kg-CO ₂ /MJ	kg-CH ₄ /MJ	kg-N ₂ O/MJ	kg-CO ₂ /MJ
土場	チェーンソー	2	4.65	1	3.27E-05	2.35E-10	4.02E-10	3.28E-05
	ハーベスタ	1	6,740	10	2.38E-03	1.71E-08	2.91E-08	2.39E-03
	フォワーダ	1	6,200	10	2.18E-03	1.57E-08	2.68E-08	2.19E-03
	チップパー	1	2,890	10	1.02E-03	7.30E-09	1.25E-08	1.02E-03
輸送	10 t ダンプ 60 km	3	11,500	10	1.62E-02	1.17E-07	1.99E-07	1.63E-02
	4 t ダンプ 60 km	9	4,500	10	1.90E-02	1.37E-07	2.33E-07	1.91E-02
消費	チップボイラー	1	6,500	10	3.06E-03	2.19E-08	3.75E-08	3.07E-03

4-10-3 各プロセスでの使用に係る GHG 排出原単位／木質 100%

前項と同様に、A 重油から木質バイオマスへ 100%燃料転換をした場合を想定し、使用段階に係る GHG 排出原単位を、シナリオ 1（表 4-20）およびシナリオ 2（表 4-21）について算出した。

表 4-20 シナリオ 1：各プロセス使用段階による GHG 排出原単位／木質バイオマス 100%

シナリオ 1	重機類	台数	重量	耐用年数	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
			kg	y	kg-CO ₂ /MJ	kg-CH ₄ /MJ	kg-N ₂ O/MJ	kg-CO ₂ /MJ
土場	チェーンソー	2	5	1	2.48E-04	1.81E-07	1.07E-07	2.85E-04
	ハーベスタ	1	6,740	10	2.75E-03	7.47E-08	4.45E-08	2.76E-03
	フォワーダ	1	6,200	10	4.39E-03	1.20E-07	7.13E-08	4.41E-03
輸送	10 t ダンプ 30 km	3	11,500	10	1.19E-03	0.00E+00	1.97E-11	1.19E-03
	4 t ダンプ 30 km	9	4,500	10	1.41E-03	0.00E+00	2.34E-11	1.41E-03
チップ工場	チップパー	1	2,890	10	3.83E-03	1.05E-07	6.25E-08	3.86E-03
	チップ工場	1	50,000	15	-	-	-	-
輸送	10 t ダンプ 30 km	3	11,500	10	1.19E-03	0.00E+00	2.34E-11	1.19E-03
	4 t ダンプ 30 km	9	4,500	10	1.41E-03	0.00E+00	2.34E-11	1.41E-03
消費	チップボイラー	1	6,500	10	-	-	-	-

表 4-21 シナリオ 2：各プロセス使用段階による GHG 排出原単位／木質バイオマス 100%

シナリオ 2	重機類	台数	重量	耐用年数	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
			kg	y	kg-CO ₂ /MJ	kg-CH ₄ /MJ	kg-N ₂ O/MJ	kg-CO ₂ /MJ
土場	チェーンソー	2	5	1	2.48E-04	1.81E-07	1.07E-07	2.85E-04
	ハーベスタ	1	6,740	10	2.75E-03	7.47E-08	4.45E-08	2.76E-03
	フォワーダ	1	6,200	10	4.39E-03	1.20E-07	7.13E-08	4.41E-03
	チップパー	1	2,890	10	3.83E-03	1.05E-07	6.25E-08	3.86E-03
輸送	10 t ダンプ 60 km	3	11,500	10	2.38E-03	0.00E+00	3.94E-11	2.38E-03
	4 t ダンプ 60 km	9	4,500	10	2.38E-03	0.00E+00	4.67E-11	2.38E-03
消費	チップボイラー	1	6,500	10	-	-	-	-

4-11 小型貫流ボイラーの製造および使用に係る GHG 排出原単位

モデル工場の既存ボイラーシステムは、A 重油を燃料とする小型貫流ボイラーの複数台数運転により、適正な蒸気送気量および蒸気圧を維持している。日々変動する蒸気使用量のベースロード分（A 重油高位発熱量 45.2 MJ/kg のとき、1665.1 kWh 分に相当）を、ウッドチップボイラーによる生成に切り替えたとき、小型貫流ボイラーのみによる蒸気生成と比較したときの GHG 排出原単位を求める。

4-11-1 小型貫流ボイラーの製造段階に係る GHG 排出原単位

既存ボイラーシステムから生成される蒸気量は、年間を通して最大送気量 6 tons/h 程度であり、小型貫流ボイラー（送気能力 2 tons/h）8 基を台数制御・負荷制御を行い常時 2-3 基での運転を行っている。本 LCA では台数制御運転される小型貫流ボイラーの製造段階 GHG 排出原単位を定量的に算出することは不可なため、既存システムでは小型貫流ボイラー3 基、ウッドチップボイラー導入後の負荷変動対応には 2 基を利用するものとして、製造段階 GHG 排出原単位を算出する（表 4-22）。

表 4-22 小型貫流ボイラー製造段階に係る GHG 排出原単位

項目	台数	重量	耐用年数	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
		kg	y	kg-CO ₂ /MJ	kg-CH ₄ /MJ	kg-N ₂ O/MJ	kg-CO ₂ /MJ
小型貫流ボイラー（現状）	3	6,960	10	1.92E-05	1.38E-10	2.36E-10	1.93E-05
小型貫流ボイラー（導入後）	2	4,640	10	1.92E-05	7.31E-11	1.25E-10	1.02E-05

4-11-2 A 重油の製造段階に係る GHG 排出原単位

小型貫流ボイラー燃料の A 重油について、某国での原油採掘、日本への輸送、精製工程を経て、A 重油となるまでのプロセスにおいて生じる GHG 原単位について算出した。なお、算出には Simple LCA の製造に係るデフォルト値を用いているが、デフォルト値を算出するにあたってどのプロセスまで包含しているかは不明なため、原油産出国から日本への輸送プロセスで生じる GHG 排出量は加味していない。比較対象は、現状システムでの A 重油年間消費量と、ベースロード分を担う木質ボイラーを導入したあとの、負荷変動分を担う小型貫流ボイラーの A 重油年間消費量とする。算出によって得られた GHG 排出原単位は、年間消費量の違いだけによるため、単位熱量当たりの GHG 排出原単位は同値 (Simple LCA システム上の端数微誤差はある) となる (表 4-23)。

表 4-23 A 重油の製造段階に係る GHG 排出原単位

項目	台数	使用量	耐用年数	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
		L	y	kg-CO ₂ /MJ	kg-CH ₄ /MJ	kg-N ₂ O/MJ	kg-CO ₂ /MJ
A 重油 木質ボイラー導入前	-	1,948,571	-	2.74E-03	2.00E-06	1.19E-06	3.15E-03
A 重油 木質ボイラー導入後	-	612,408	-	2.74E-03	1.99E-06	1.19E-06	3.15E-03

4-11-3 14kL タンクローリの製造段階に係る GHG 排出原単位、および燃費

モデル工場への A 重油供給方法は、青森県八戸地区にある石油コンビナートから 14 kL タンクローリによる納入を想定している。タンクローリ製造に係る GHG 排出原単位の算出には、14 kL から 16 kL が積載可能な一般的なタンクローリ車両重量から、使用原料を鉄 8,000 kg と設定する（表 4-24）。

また、先述と同様に、経済産業省 Carbon Footprint of Products の詳細情報及びプロセスデータに公開されている道路交通輸送プロセスデータ（経済産業省, 2010）より、14 kL タンクローリ積載率別の燃費（表 4-25）を利用し以降のインベントリ分析を行う。

表 4-24 14 kL タンクローリの製造段階に係る GHG 排出原単位

項目	台数	重量	耐用年数	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
		kg	y	kg-CO ₂ /MJ	kg-CH ₄ /MJ	kg-N ₂ O/MJ	kg-CO ₂ /MJ
14 kL タンクローリ	1	8,000	10	1.13E-05	8.11E-11	2.62E-10	1.13E-05

表 4-25 14kL タンクローリ 積載率別燃費

積載率	燃費 km/L
	14 kL タンクローリ
100%	2.5
75%	2.6
62%	2.7
50%	2.8
25%	3.2
10%	3.8
0%	3.8

4-11-4 A重油の納入輸送に係るGHG排出原単位

青森県八戸市八戸地区石油コンビナートから岩手県八幡平市付近に想定したモデル工場までは、110 kmの距離を有し、通常の運行では片道100分を要する。14 kL タンクローリの使用に係るGHG排出原単位の算出は、往路が積載率100%、復路が積載率0%としたときの燃料消費量を算出し、年間往復回数140回を乗じることで年間軽油消費量を求めた（表4-26）。輸送するA重油の量は、表4-23に示したものと同様とする。

表4-26 A重油の納入輸送に係るGHG排出原単位

重機類	台数	重量	耐用年数	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
		kg	y	kg-CO ₂ /MJ	kg-CH ₄ /MJ	kg-N ₂ O/MJ	kg-CO ₂ /MJ
ローリ搬入_ボイラー導入前	1	8,000	10	3.65E-05	9.96E-10	5.95E-10	3.67E-05
ローリ搬入_ボイラー導入後	1	8,000	10	1.15E-05	3.14E-10	1.88E-10	1.16E-05

4-11-5 小型貫流ボイラーでのA重油使用に係るGHG排出原単位

モデル工場での蒸気生成に用いる小型貫流ボイラーの運転について、現状の小型貫流ボイラーのみの場合、およびベースロード分を木質ボイラーに転換した場合での、A重油使用に係るGHG排出原単位を算出した（表4-27）。

カーボンニュートラルである木質バイオマスをベースロード分に利用することで、A重油消費量100%分の発熱量を、削減後のA重油量発熱量で賄うことができる。そのため、木質バイオマスボイラー導入後のGHG排出原単位は低下する。

表4-27 木質バイオマスボイラー導入後、A重油使用に係るGHG排出原単位

項目	台数	使用量	耐用年数	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
		L	y	kg-CO ₂ /MJ	kg-CH ₄ /MJ	kg-N ₂ O/MJ	kg-CO ₂ /MJ
A重油 木質ボイラー導入前	-	1,948,571	-	7.22E-02	2.00E-06	1.19E-06	7.26E-02
A重油 木質ボイラー導入後	-	612,408	-	2.27E-02	6.26E-07	3.74E-07	2.28E-02

4-12 計算条件設定

Simple LCA での各種 GHG 排出原単位算出に用いた各種計算条件を、表 4-28 にまとめた。

表 4-28 GHG 排出原単位算出に用いた各種計算条件 ①

	項目	数値など	単位	備考	
その他 熱源	燃焼	小型貫流ボイラー	総重量 (鉄換算)	2,320 kg	
			運転台数	3 台	木質バイオマスボイラー導入前
			運転台数	2 台	木質バイオマスボイラー導入後
			A 重油燃焼量 (年間)	1,948,571 L	木質バイオマスボイラー導入前
			A 重油燃焼量 (年間)	612,408 L	木質バイオマスボイラー導入後
輸送	A 重油輸送	14kL タンクローリ	総重量 (鉄換算)	8,000 kg	
			燃費 (積載率: 100%)	2.5 km/L	道路交通輸送プロセスデータ
			燃費 (積載率: 0%)	3.8 km/L	道路交通輸送プロセスデータ

	項目	数値など	単位	備考		
全般	対象地域	岩手県八幡平市周辺地域	m ³			
	機能単位	発熱量 MJ 当たり		発熱量 MJ 当たりの木質チップ加工、燃焼に係る環境負荷を評価する		
	環境負荷	地球温室効果ガス		二酸化炭素(CO ₂)、メタン(CH ₄)、亜酸化窒素(N ₂ O)を対象とする		
	間伐材積		50 m ³ /ha・年	岩手県林業技術センター		
	間伐材比重	木質チップ		300 kg/m ³	岩手県林業技術センター	
		丸太密度		810 kg/m ³	岩手県林業技術センター	
	含水率		56 %	岩手県林業技術センター		
間伐、 チップ化 プロセス	間伐	作業日数		200 日/年	全国中央林業連合会統計値	
		年間処理量	丸太換算		7,224 m ³	
			木質チップ換算		19,506 m ³	
		処理量/作業日	丸太 (体積)		36.12 m ³	
			丸太 (重量)		29,257 kg	
			木質チップ (体積)		97.52 m ³	
			木質チップ (重量)		29,257 kg	
		チェーンソー	重量		4.65 kg	
			燃費/day		6 L/day	2 台分
		ハーベスタ	重量		6,740 kg	
			燃費/day		30 L/day	1 台分
		フォワーダ	重量		6,200 kg	
			燃費/day		48 L/day	1 台分

第4章 ケーススタディ：バイオマスエネルギー導入効果のLCA評価

表 4-28 GHG 排出原単位算出に用いた各種計算条件 ②

		項目	数値など	単位	備考
シナリオ1 10t ダンプ車	林地-チップ加工工場	車両	使用ダンプ車	10t	10t ダンプ車使用
			必要車両台数	3台	
			10t ダンプ車燃費	2.5km/L	
			作業エリア平均時速	25.0km/h	
			走行距離	30km	
	チップ加工	チップパー	総重量(鉄換算)	2,890kg	
		チップ加工工場	総重量(鉄換算)	50,000kg	
	チップ加工工場-モデル工場	車両	使用ダンプ車	10t	10t ダンプ車使用
			必要車両台数	3台	
			走行距離	30km	
積降	作業	シナリオ1に要する積降時間	0.8h		
4t ダンプ車	林地-チップ加工工場	車両	使用ダンプ車	4t	4t ダンプ車使用
			必要車両台数	7台	
			4t ダンプ車燃費	4.0km/L	
			作業エリア平均時速	25.0km/h	
			走行距離	30km	
	チップ加工	チップパー	総重量(鉄換算)	2,890kg	
	チップ加工工場-モデル工場	車両	使用ダンプ車	4t	4t ダンプ車使用
			必要車両台数	7台	
			走行距離	30km	
	積降	作業	シナリオ1に要する積降時間	0.8h	
シナリオ2 10t ダンプ車	林地-チップ加工工場	車両	使用ダンプ車	10t	10t ダンプ車
			必要車両台数	3台	
			ダンプ燃費	2.5km/L	
			作業エリア平均時速	25.0km/h	
			走行距離	60km	
	チップ加工	チップパー	総重量(鉄換算)	2,890kg	
		チップ加工工場	総重量(鉄換算)	50,000kg	
	チップ加工工場-モデル工場	車両	使用ダンプ車	10t	10t ダンプ車
			必要車両台数	3台	
	積降	作業	シナリオ2に要する積降時間	0.8h	
4t ダンプ車	林地-チップ加工工場	車両	使用ダンプ車	4t	4t ダンプ車使用
			必要車両台数	7台	
			4t ダンプ車燃費	4.0km/L	
			作業エリア平均時速	25.0km/h	
			走行距離	60km	
	チップ加工	チップパー	総重量(鉄換算)	2,890kg	
	チップ加工工場-モデル工場	車両	使用ダンプ車	4t	4t ダンプ車使用
			必要車両台数	7台	
			走行距離	30km	
	積降	作業	シナリオ2に要する積降時間	0.8h	

表 4-29 各シナリオの GHG 排出原単位（重機製造+使用段階）

	A 重油 100% 使用	シナリオ1 _10tダンプ車	シナリオ1 _4tダンプ車	シナリオ2 _10tダンプ車	シナリオ2 _4tダンプ車
間伐	0.00E+00	2.24E-02	2.24E-02	2.24E-02	2.24E-02
林地チップ化	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.12E-02	1.12E-02
輸送	0.00E+00	2.34E-02	2.19E-02	3.47E-02	3.20E-02
チップ工場チップ化	0.00E+00	2.55E-02	2.55E-02	0.00E+00	0.00E+00
輸送	0.00E+00	2.34E-02	2.19E-02	0.00E+00	0.00E+00
燃焼	7.58E-02	3.17E-02	3.17E-02	3.17E-02	3.17E-02
小型貫流ボイラー	1.93E-05	1.02E-05	1.02E-05	1.02E-05	1.02E-05
total	7.58E-02	1.27E-01	1.24E-01	1.00E-01	9.74E-02

表 4-30 各シナリオの GHG 排出原単位（使用段階のみ）

	A 重油 100% 使用	シナリオ1 _10tダンプ車	シナリオ1 _4tダンプ車	シナリオ2 _10tダンプ車	シナリオ2 _4tダンプ車
間伐	0.00E+00	1.39E-02	1.39E-02	1.39E-02	1.39E-02
林地チップ化	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.17E-03	7.17E-03
輸送	0.00E+00	2.21E-03	2.63E-03	4.42E-03	4.42E-03
チップ工場チップ化	0.00E+00	7.17E-03	7.17E-03	0.00E+00	0.00E+00
輸送	0.00E+00	2.21E-03	2.63E-03	0.00E+00	0.00E+00
燃焼	7.58E-02	3.17E-02	3.17E-02	3.17E-02	3.17E-02
小型貫流ボイラー	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
total	7.58E-02	5.72E-02	5.80E-02	5.72E-02	5.72E-02

4-13 GHG 排出量の評価

木質燃料を利用した蒸気生成システムに変更した場合における GHG 排出原単位の結果を表 4-29 および表 4-30 に示す。先に算出した GHG 排出原単位をシナリオ 1、2 に分け、それぞれ運搬車両が 10 t ダンプ車および 4 t ダンプ車の場合分けを行い、それぞれのプロセスで算出された原単位を合算し、各シナリオの GHG 排出原単位を求めた。

4-13-1 インベントリ分析の結果／GHG 排出原単位対象：機器製造+使用段階

GHG 排出原単位は、木質バイオマスボイラーを利用するに当たって使用する、関連重機や車両等の製造、A 重油の製造に係る GHG 排出原単位を合算し、シナリオごとに積算比較を行った（図 4-15）。燃焼プロセスだけを比較すれば、A 重油 100%使用時の GHG 排出原単位が一番大きいことが分かる。小型貫流ボイラーのみを使用している場合、既存設備である小型貫流ボイラーの製造に係る GHG 排出量、運転に係る GHG 排出量は単位エネルギー MJ 当たりの GHG 排出量は極小である。一方、シナリオ 1、2 は

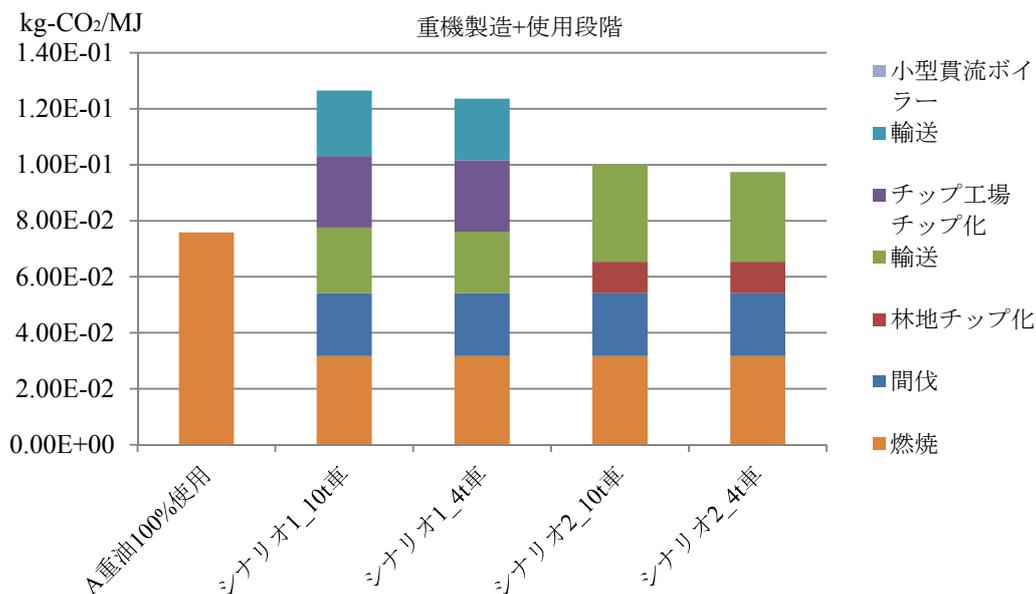


図 4-15 各シナリオの GHG 排出原単位 (重機製造+使用段階)

林地での間伐作業、輸送、チップ工場での木質チップ化もしくは林地での木質チップ化、それらに係る重機・設備類の製造・使用の GHG 排出を計上している。

現状ボイラーシステム、シナリオ 1、シナリオ 2 の GHG 排出原単位を比較すると、シナリオ 2 の GHG 排出原単位が一番高く、現状ボイラーシステムが低い結果が得られた。単純に木質バイオマス利用によって A 重油使用量が削減された効果だけを見れば、シナリオ 1 およびシナリオ 2 は GHG 排出抑制の面で大きな評価が得られるが、木質バイオマスボイラーを利用するために林地から間伐材を運び出し、最終形態である木質チップの利用形態までの加工等を含めると、単位 MJ 当たりの GHG 排出原単位は増加することが分かった。

シナリオ 1 とシナリオ 2 の輸送プロセスを比較すると、トンキロ法で求めるプロセスは総重量と輸送距離は同値であるが、輸送工程の多いシナリオ 1 では保有するダンプ台数が多く製造時の GHG 排出量が影響をし、シナリオ 1 の GHG 排出原単位が大きくなっている。

木質チップ化工程では、各シナリオで使用するチップパーは同機種であり同値だが、シナリオ 1 で設定するチップ化工場設置時の GHG 排出負荷が影響を与え、シナリオ 1 の GHG 排出原単位が大きくなっている。

これら考察より、重機製造および使用段階まで含めた GHG 排出原単位では、現状小型貫流ボイラーを利用した蒸気生成システムの GHG 排出原単位が最も小さくなること

がわかった。木質バイオマスを利用した場合は、木質チップ加工工場を含まないシナリオ2がGHGの削減効果が得られる。また、シナリオ2では4tダンプ車にて輸送を行う場合が、最もGHG排出原単位を低く抑えられることが分かった。この結果は、木質チップをユースポイントに搬送するまでの効率化が求められていることを示しているといえる。

4-13-2 インベントリ分析の結果／GHG 排出原単位対象：使用段階

前項では重機製造から使用段階までを包含したGHG排出原単位を算出し、評価を行った。ここでは、重機類の製造段階のGHG排出量を考慮から除外し、A重油の製造・使用、重機類の使用、輸送段階での燃料消費などから算出されるGHG排出原単位によって比較を行った（図4-16）。

使用段階のみの比較では、シナリオ1およびシナリオ2は現状ボイラーシステムの排出原単位を、大きく下回ることが分かった。輸送プロセスはトンキロ法によりSimple LCAへの入力を実施しており、各シナリオでの差はないが、林地から木質チップ化工場間および木質チップ化工場からモデル工場へ、4tダンプ車でピストン輸送するシナリオ1（4tダンプ車使用）では、一日の輸送量分を100%に近い積載量で往復できないため、他のシナリオに比べ稼働率が下がってしまうことでGHG排出原単位が若干高くなってしまいうことに起因している。

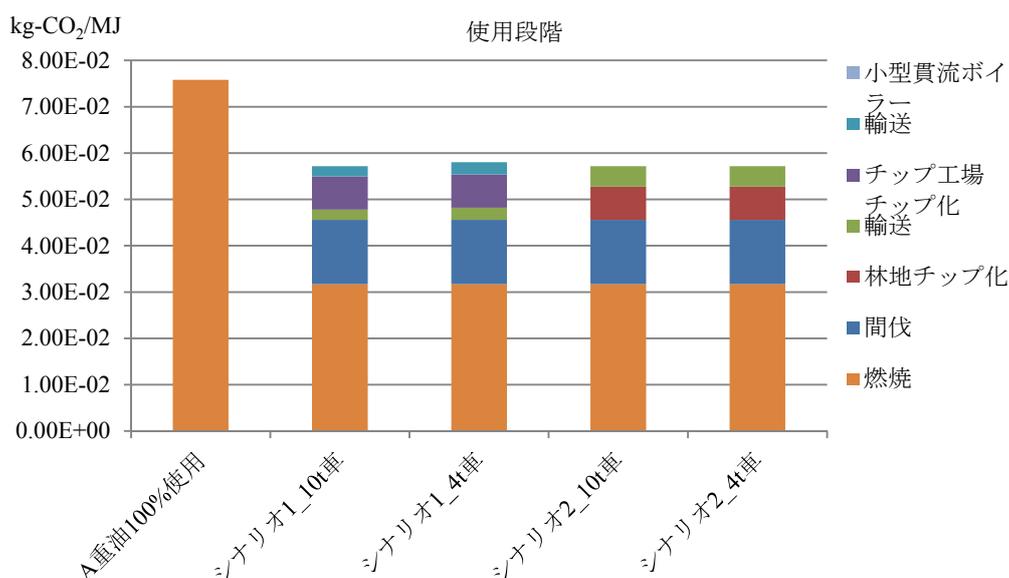


図4-16 各シナリオのGHG 排出原単位 (使用段階のみ)

4-14 バイオマスボイラーにて全蒸気量を生成したとき（A重油未使用）

前項で得られた GHG 排出原単位（表 4-29 と表 4-30）は、生成する総蒸気量のベースロード以外の変動分を、A 重油を燃料源とする小型貫流ボイラー（既存設備）で生成させたときの GHG 排出負荷を加味した、木質バイオマスとの A 重油の混焼による GHG 排出原単位である。ここでは、蒸気生成エネルギー源をすべて木質バイオマスにて賄うとした場合の GHG 排出原単位を求め、現状システム、シナリオ 1、シナリオ 2 および木質バイオマスのみの熱源の GHG 排出原単位を比較する。

4-14-1 木質バイオマス 100%/GHG 排出原単位対象：機器製造+使用段階

必要熱量 76,189,120 MJ、1 日当たり切削型チップ必要量 29,820 kg、年間丸太必要量 13,437 m³ より、重機製造および使用段階での GHG 排出量原単位を表 4-31 に示した。得られた GHG 排出原単位は、A 重油と切削型チップを両方利用する場合と比べて大きく減少していることが分かる。これは、ウッドチップボイラーを利用時の各プロセス効率が向上したことによる。

表 4-31 各シナリオの GHG 排出原単位（重機製造+使用段階）

	A 重油 100% 使用	シナリオ 1 10tダンプ車	シナリオ 1 4tダンプ車	シナリオ 2 10tダンプ車	シナリオ 2 4tダンプ車
間伐	0.00E+00	1.21E-02	1.21E-02	1.21E-02	1.21E-02
林地チップ化	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.04E-03	6.04E-03
輸送	0.00E+00	1.26E-02	1.48E-02	1.86E-02	2.14E-02
チップ工場チップ化	0.00E+00	1.77E-02	1.77E-02	0.00E+00	0.00E+00
輸送	0.00E+00	1.26E-02	1.48E-02	0.00E+00	0.00E+00
燃焼	7.58E-02	3.07E-03	3.07E-03	3.07E-03	3.07E-03
小型貫流ボイラー	1.93E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
total	7.58E-02	5.80E-02	6.23E-02	3.98E-02	4.26E-02

表 4-32 各シナリオの GHG 排出原単位（使用段階のみ）

	A 重油 100% 使用	シナリオ 1 10tダンプ車	シナリオ 1 4tダンプ車	シナリオ 2 10tダンプ車	シナリオ 2 4tダンプ車
間伐	0.00E+00	7.46E-03	7.46E-03	7.46E-03	7.46E-03
林地チップ化	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.86E-03	3.86E-03
輸送	0.00E+00	1.19E-03	1.41E-03	2.38E-03	2.38E-03
チップ工場チップ化	0.00E+00	3.86E-03	3.86E-03	0.00E+00	0.00E+00
輸送	0.00E+00	1.19E-03	1.41E-03	0.00E+00	0.00E+00
燃焼	7.58E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
小型貫流ボイラー	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
total	7.58E-02	1.37E-02	1.41E-02	1.37E-02	1.37E-02

4-14-2 木質バイオマス 100%/GHG 排出原単位対象：使用段階

同様に、使用段階分のみを抽出した GHG 排出原単位を表 4-32 に算出した。

4-15 木質バイオマス利用割合による GHG 排出原単位の変化

得られた結果をもとに、現状システム、シナリオ1、シナリオ2および木質バイオマスのみの熱源の GHG 排出原単位をグラフ化した（図 4-17）。

各シナリオおよび条件によって GHG 排出量原単位に変化がみられるのは、シナリオ1では輸送に要するダンプ車台数がシナリオ2に対し多いこと、またチップ加工工場での切削型チップ製造工程では工場設備の建設時環境影響を加味しているための結果である。蒸気生成に要する全てのエネルギーを木質バイオマスにした場合、A 重油使用に関連する環境影響を計上しない、輸送工程・チップ加工工程において多量の切削型チップを取り扱うことによる効率化の好影響が反映されたものになっている。

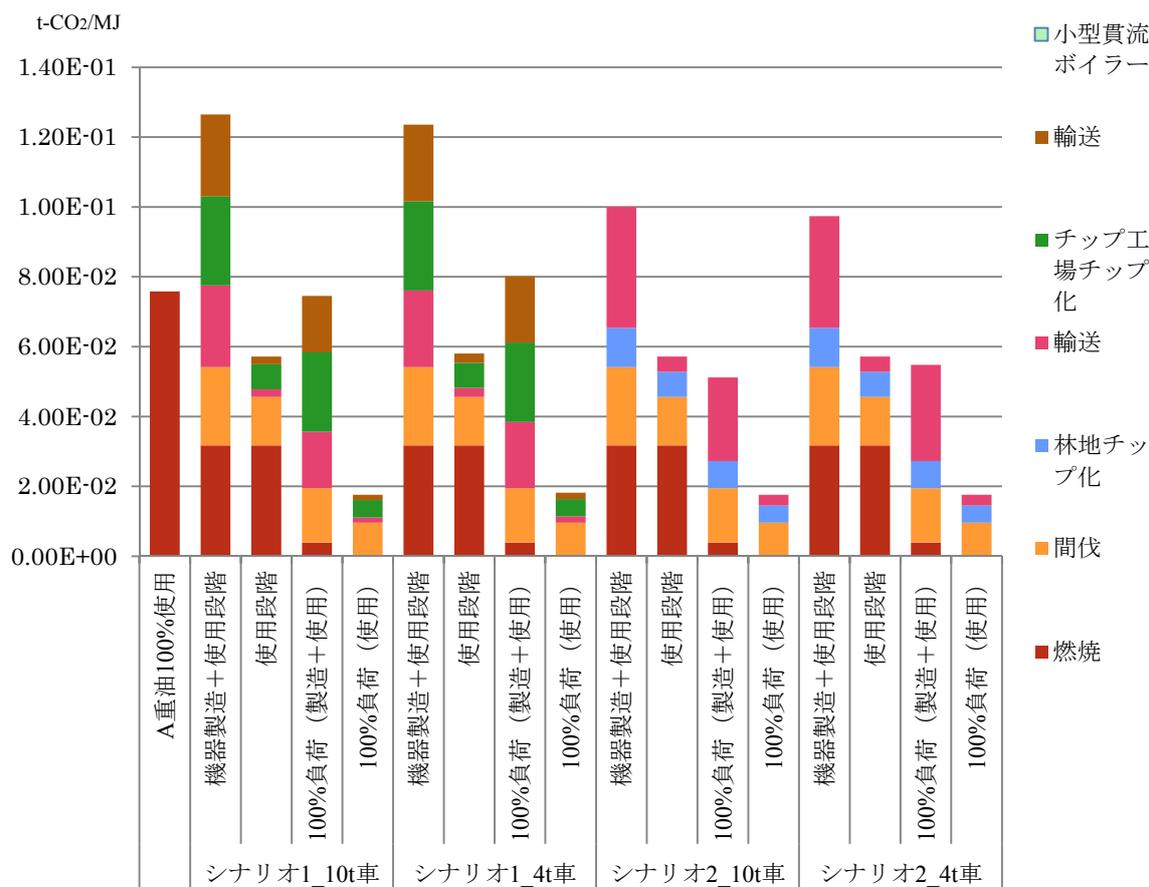


図 4-17 木質バイオマス利用割合による GHG 排出原単位の変化

4-16 GHG 排出原単位の評価

得各種条件を付加したインベントリ分析の結果、ライフサイクルフローの設定によって得られるGHG排出原単位が大きく変化することが分かった。現状システム、シナリオ1、シナリオ2および木質バイオマスのみの熱源の4通りを比較したが、蒸気生成のベースロード分を木質バイオマスエネルギーによって賄うとき、一般的な木質バイオマスボイラーの工業用途に比べ処理量が十分に多くはないため、各種機器類製造時および使用段階でのGHG排出原単位は大きくなっている。シナリオ1では、木質チップに加工するための工場建設負荷分が加味されているため、製造機器+使用段階でのGHG排出量原単位が突出している。また、シナリオ1とシナリオ2のライフサイクルフローは、輸送工程の違いによる。このことは、輸送工程でのGHG排出原単位を下げるために、輸送距離を短くし運搬効率の高い輸送方法を選択する必要があることを示している。すなわち、林地とモデル工場を直結できるシナリオ2のライフサイクルフローがシナリオ1に対し有意さがあることが分かった。本LCAではシナリオ1およびシナリオ2ともに合計輸送距離が60kmとなる設定であったが、輸送距離が短いときのGHG排出原単位削減効果は大きい。

これら結果が示すことは、木質バイオマス利用による環境影響を最適化するには小さな事業者で木質バイオマス利用を実現するよりも、事業規模を大きくし効率化を図ることが重要であるということである。

4-17 総括

本章では、モデル工場にて木質バイオマスを利用するシステム構成を、LCAにより環境影響の面から考察をした。LCAは評価対象、評価方法などを評価者自らが設定を行い、定量的な評価を行うこととされている。そのため、本LCAではA重油のみを燃料源とした従来型小型貫流ボイラーシステム、A重油から木質バイオマスボイラーへ100%エネルギー転換をした場合も含めて計算し、GHG排出原単位を用いて比較評価を行った。得られたLCA結果は、モデル工場にて木質バイオマスボイラーを導入するにあたって低環境負荷を実現するための判断材料となり、その結果を一般化すれば広範囲な事業者が木質バイオマスを利用する際の指針として利用できるものである。

LCAを用いたバイオマスエネルギー導入による環境影響を評価した、本ケーススタディで得られた知見を以下に記す。

- モデル工場の蒸気生成ベースロード分 2000 kg/h を木質バイオマスエネルギーに燃料転換したとき、蒸気の比エンタルピー、給水の比エンタルピー、ボイラー効率および切削型チップの発熱量より、切削型木質チップ必要量は 16 ton/day であった。ただし、利用する木質バイオマスの種類、含水率などの条件により、必要量は見直さなければならない。
- シナリオ 1 およびシナリオ 2 のライフサイクルフローを設定し、重機や設備、切削型木質チップの加工・輸送、混焼用いる A 重油の輸送といった、木質バイオマスボイラーの利用にあたっての GHG 排出原単位を算出した。
- インベントリ分析の結果、A 重油のみで蒸気生成を行う現行ボイラーシステムの GHG 排出原単位は、使用する重機類の製造段階および使用段階では 7.58E-02 tons-CO₂/MJ となった。製造段階の GHG 排出量原単位が 1.93E-05 tons-CO₂/MJ とごく少量なため、使用段階のみの GHG 排出原単位は前者と同値と判断して問題ない。
- インベントリ分析の結果、蒸気生成のベースロードを木質バイオマスエネルギーに転換したボイラーシステム案の GHG 排出原単位は、使用する重機類の製造段階および使用段階では、シナリオ 1 のとき 10 t ダンプ車利用 1.27E-01 tons-CO₂/MJ、4 t ダンプ車利用 1.24E-01 tons-CO₂/MJ であり、シナリオ 2 のとき 10 t ダンプ車利用 1.00E-01 tons-CO₂/MJ、4 t ダンプ車利用 9.74E-02 tons-CO₂/MJ となった。使用段階のみでは、シナリオ 1 のとき 10 t ダンプ車利用 5.72E-02 tons-CO₂/MJ、4 t ダンプ車利用 5.80E-02 tons-CO₂/MJ であり、シナリオ 2 のとき 10 t ダンプ車利用 5.72E-02 tons-CO₂/MJ、4 t ダンプ車利用 5.72E-02 tons-CO₂/MJ となった。
- 比較対象のために行ったインベントリ分析の結果、これまでの A 重油消費量相当のエネルギーを全て木質バイオマスエネルギーに転換したボイラーシステムの GHG 排出原単位は、使用する重機類の製造段階および使用段階では、シナリオ 1 のとき 10 t ダンプ車利用 5.80E-02 tons-CO₂/MJ、4 t ダンプ車利用 6.23E-02 tons-CO₂/MJ であり、シナリオ 2 のとき 10 t ダンプ車利用 3.98E-02 tons-CO₂/MJ、4 t ダンプ車利用 4.26E-02 tons-CO₂/MJ となった。

- ▶ 比較対象のために行ったインベントリ分析の結果、これまでのA重油消費量相当のエネルギーを全て木質バイオマスエネルギーに転換したボイラーシステムのGHG排出原単位は、使用段階のみでは、シナリオ1のとき10tダンプ車利用 $1.37E-02$ tons-CO₂/MJ、4tダンプ車利用 $1.41E-02$ tons-CO₂/MJであり、シナリオ2のとき10tダンプ車利用 $1.37E-02$ tons-CO₂/MJ、4tダンプ車利用 $1.37E-02$ tons-CO₂/MJとなった。
- ▶ GHG排出原単位に変化をもたらす要因は、各拠点間の距離、重機類の選定、各プロセスの効率および事業規模が挙げられる。LCAの結果、シナリオ2のライフサイクルフローを選定し、林地とモデル工場間の距離を極力短くできる地域設定が必要である。重機類の製造段階に係るGHG排出原単位を減らすためには、効率化された大規模事業者等との連携により得られる切削型チップを利用することも考える必要がある。

木質バイオマス利用におけるライフサイクルを考慮すると、利用のプロセスの違いによって環境影響に違いが生じることが分かった。環境影響に変化を与えるパラメータには、輸送距離、重機類、作業効率が挙げられる。輸送距離はシナリオ2を選定し、さらには林地で加工された切削型チップを直接モデル工場へ搬送する距離を短くすることが必要である。また、作業に要する重機類の稼働率を上げるプロセスを構築し、必要以上に重機類を導入・稼働させない、そして高い作業効率のもと加工された切削型チップを利用するために、単独での切削型チップ加工の他、他者と共同で事業を実施するなどの可能性を検討しなければならないことも明らかになった。

ここまで、木質バイオマス利用の効率性についてLCAにより詳細の分析を実施したが、得られた結果には限界があることを再確認しなければならない。この古典的な評価手法では、評価対象の設定条件によりその得られる結果を意図したものとできる点に注意を要する。また、LCA計算が複雑になる、もしくは信頼度が低くなる傾向を避けるために、設定するパラメータも限定的になってくる。パラメータとして十分な根拠データを得られない場合には、パラメータ化することも困難である。LCA条件を設定した段階と検討段階での状況が変化した場合なども、直線的な評価に不安定さをもたらすことにつながる。このように、設定条件があってはじめて実施が可能となるLCAは、その条件変化により大きく影響を受ける。

マネジメント対象として、木質バイオマスの効率的な利用を目指すプロジェクトを推進するのであれば、ある条件下で行ったLCAは議論の単純化のために有用であると考える。だが、複数存在する気候変動問題に関するプロジェクトの一つとして、木質バイオマス利用効率性についてLCAを用いるとすれば、CO₂による単一的な評価軸で結果を導くにはその有用性は不十分である。

LCAのような古典的マネジメント手法では、とらえきれない要素や不確実性が存在することが明らかである。気候変動問題に関するマネジメントには、各段階でのプロジェクトを認識し、様々な角度から包括的にプログラム管理によるアプローチを構築すべきと考える。

次章以降では、広範囲なステークホルダーが存在する気候変動問題について、古典的マネジメント手法から脱した、新しいマネジメント手法を展開する。

第5章 気候変動問題に適用し得る

東洋型リスクマネジメントの考察

5-1 5章の概要と構成

世界の国々を取り巻く気候変動問題は、地球温暖化対策やカーボン市場などの環境ビジネスを牽引する西洋諸国が主導権を握る状況にある。背景にある「気候変動は人為的CO₂排出が原因」という要因の単純化は、対象課題を単純化し分析を行うという西洋メンタリティが関与していると考えられる。このような単純化は、対象を限定したプロジェクト要素の議論には効果があるが、不確実な要素が多い気候変動問題等への適用は、非効果的かつ非効果的な対策に繋がり、社会のレジリエンスを低くする。

第5章では、マネジメントにおける文脈の脆弱性を認識し、東洋的なリスクマネジメントを可能にするプロジェクト・プログラムマネジメント（P2M）の新たなフレームワーク形成を目指して、西洋主導の気候政策のマネジメントにP2M手法を適用する。これにより、気候変動に対して高レジリエンスな社会の構築に資する。具体的には、方法論としてのアジア的アプローチに関する議論を通じて、西洋的及び東洋的アプローチの各利点を生かすことにより、気候変動政策に対する中庸的リスクマネジメントを従来のP2M線形モデルから導くための考察を行った。

最初に5-2にて、気候変動問題が世界的に環境リスク課題として政治的に扱われるようになった背景を概観した。

5-3では、気候変動問題を主導するヨーロッパ文化が持つ予防原則の考え方と人為的CO₂論の関連性を、西洋的メンタリティの面から考察をした。

5-4では、東洋的メンタリティの持つ「中庸」に着目し、気候変動にまつわる課題についてはそれらに関する文脈条件から中庸を得た応答を見出すことを示した。

5-5では、従来の気候変動対策がプロジェクト・プログラムマネジメントで掲げられるモデルに合致していることを示し、気候変動問題を例にレジリエンス（回復性）を併せ持つ新しいフレームワークを検討した。

5-6では、複雑に現代社会が絡み合う気候変動問題に対しIPCCが進める直線的なマネジメント体系の脆弱性と、同様にプログラム化されたP2Mの脆弱性について述べた。

5-7 では、西洋と東洋のメンタリティの違いについて先行事例を交えて概観し、気候変動問題に対する視野の狭さを示し、リスクマネジメントに対して東洋的な視野を持つことの有用性を示した。

5-8 では、人為的 CO₂ 排出が気候変動に与える影響が大きいとする単純化された文脈に対し、中庸の徳を基とした文脈重視の東洋的なリスクマネジメントが有効であることを示唆した。

5-9 では、従来の気候変動対策がプロジェクト・プログラムマネジメントで掲げられるモデルに合致していることを示し、気候変動問題を例にレジリエンス（回復性）を併せ持つ新しいフレームワークを考察した。ここでは、気候変動問題への取り組みに対しアジア視点でのマネジメントを考え、予防原則と順応管理に加えシステム強化を加えた東洋的リスクマネジメント型フレームワークを提唱した。

5-10 では、総括を行った。

5-2 リスク課題としての気候変動問題

昨今の地球温暖化は、人間の経済活動等で排出される GHG によるとされ、特に CO₂ の排出がその主たる要因と理解されている。日本では、政府や行政、教育機関、産業界など様々な方面で、地球温暖化要因である CO₂ の排出を抑制すべきとした取組みが行われている。次世代を担う子供たちの教育も例に漏れず、平成 24 年 4 月から全面実施される新学習指導要領・生きる力「中学校学習指導要領」では、基礎科学のひとつとして地球温暖化について触れることと定められ国民全体での認知度を高める方向にある（文部科学省, 2012）。

一方、世界の地球環境保護への高まりは、1992 年環境と開発に関する国際連合会議において環境と開発に関するリオ宣言が合意されたことがきっかけになっている（United Nations, 1992）。会議の成果として、気候変動枠組条約、生物多様性条約、森林原則宣言、環境と開発に関するリオ宣言、アジェンダ 21 などが採択され、気候変動枠組条約では大気中の GHG 濃度を安定化させることが究極の目標とされた。地球気温と CO₂ の関係は 1960 年 Keeling（1960）による大気中 CO₂ 濃度の研究が有名であるが、学術雑誌 *Science*（1981）にアメリカ航空宇宙局 Hansen *et al.*（1981）が寄せた地球温暖化と化石燃料消費、海面上昇との因果関係についての論文を機に、1988 年 Hansen による米国連邦議会上院エネルギー委員会公聴会での証言、この証言を伝える *The New York Times* 紙（1988）、同年に開催された変化する地球大気に関する国際会議（1988）（Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 1989）などを経て、国際

表 5-1 京都議定書の概要（伊藤, 2011b） P. 16 より引用）

京都議定書 (気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書) 1997 年 12 月 11 日議決	
先進国が 6 種類の「温室効果ガス」を 1990 年を基準として各国別に削減することを定めた条約。排出権取引などの吸収源活動を定めた京都メカニズムも採用された。	
6 種類の「温室効果ガス」	
二酸化炭素(CO ₂) / メタン(CH ₄) / 亜酸化窒素(N ₂ O) / ハイドロフルオロカーボン類(HFCs) / パーフルオロカーボン類(PFCs) / 六フッ化硫黄(SF ₆)	
国別削減目標 (1990 年を基準とする排出量)	
92% (-8%)	ドイツ、イギリス、フランス、イタリア、オランダ、スペイン、スウェーデン他 (EU15 カ国)
93% (-7%)	アメリカ (離脱)
94% (-6%)	日本、カナダ他
100% (0%)	ロシア、ニュージーランド他
108% (+8%)	オーストラリア

連合環境計画と国連の専門機関である世界気象機関が共同で IPCC (1988) を設立、GHG の濃度安定化を目的とした京都議定書成立へとつながっている (表 5-1)。だが、国連気候変動枠組み条約第 17 回締約国会議 (COP17) での合意形成プロセスが困難を極めたように、気候変動問題のマネジメントは純粋な科学に基づくというよりも政治的要素を帯びているのが現状である。第 3 章で述べたように、日本の行政や経済界もこの国際的な動きの影響を大きく受けている。日本経団連において影響力の大きい特定の製造業を中心に、CO₂ 排出削減を目的とした環境自主行動計画の推進が進められている。CO₂ 排出抑制の公約 (Hatoyama, 2009) を必達したい政府、「環境にやさしい」ものづくりで商機を得たい特定の製造業の思惑の一致は、CO₂ に単純化された日本の気候変動対策を生み出している。その背景には、グリーンビジネスの成長や気候変動対策における国際的な発言力を獲得したい外交上の理由など、既に本質からずれた目的へと変化している傾向があり (LAM, 2010)、単純化によるリスクが生じている。

そこで第 5 章では、気候変動をリスクマネジメント問題ととらえ、気候変動対策システムと P2M の関連から今後の気候変動問題へのアプローチとしての新たな P2M フィールドの可能性を考察する。

5-3 気候変動と西洋メンタリティ

第 4 章までは、地球温暖化を中心とする世界の気候変動問題、国内企業の地球温暖化対策について考察を行った。世界の気候変動問題は自然科学の議論の範疇を超え、いまや国連まで含めた国際間協議の重要テーマの一つまで成長をしている。気候変動要因は人類活動に起因した炭酸ガス排出、土地利用の変化、太陽活動の変化、太陽風、大気循環、エアロゾルなどがあることが分かってきている。どれも明確な因果関係を示せる段階ではなく「気候の自然変動については十分に分かっていない」(伊藤, 2011b) のが現状であり、気象学・気候学、地球物理学などでは最前線の研究がなされている。だが、気候変動問題はもはや自然科学の議論の範疇を超え、国連まで含めた国際間協議の重要テーマのひとつとなり政治色を帯びている状況にある。産業界の視点に立てば環境産業にとっては大きなビジネス機会であり、またメディアの情報伝達の不確かさや視聴率獲得目的の過度な誇張など、それぞれの立場によって気候変動にまつわる情報は様々なバイアスが掛けられている状況にある。

気候変動問題を主導する欧州には「予防原則」の考え方が根付いている。実際の気温がそれほど上昇していなくとも将来は上昇の恐れがあり対策は急務とされた人為的

CO₂要因論は、予防原則に取り組む格好のテーマとなったわけだが、この予防原則も西洋人メンタリティが得意としている手法であることは社会心理学者 Nisbett (2003) の調査からも分かる。西洋人は物事を単純化しそこから規則を見出すことに長けている半面、見出された規則を一般化しすぎる傾向や、規則に基づいて環境を制御できると思いつ込む傾向がある。この傾向は、古くは古代ギリシアといった歴史や環境にあり、単純化による理想化と一般化を進め一部の矛盾を網羅していく合理化が、近代科学を生み出す礎となったと言われている。それ故に、気候変動要因の一つに身近な CO₂ が存在する可能性が見えてくると、「西洋人の視野はターゲットに集中しやすく、トンネルのように狭い」と Nisbett (ニスベット, 2004) に表現されるその西洋的メンタリティは、図 5-1 A)のように CO₂ が唯一の気候変動原因で、その濃度を制御すれば地球気候も制御できるという考えに立ち、図 5-1 B)で表わされる気候変動の様々な要因を排除した現在の地球温暖化論が生み出されている (伊藤, 2012)。

5-4 アジア視点から見た気候変動問題

気候変動問題は純粋な科学としての議論ではなく、生物多様性の喪失、不平等な経済開発、熱帯雨林の劣化、貿易の制限、先住民の利権の侵害、知的財産権など、世界が抱

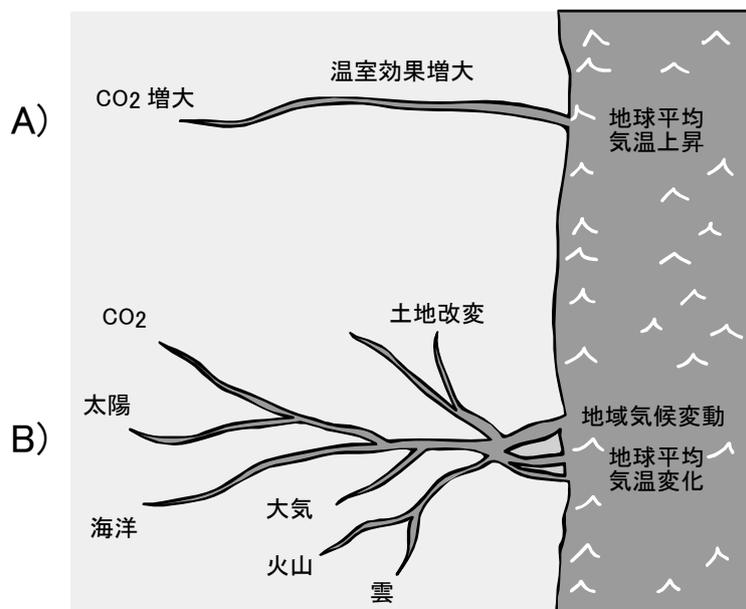


図 5-1 気候変動の考え方についての流域モデル ((伊藤, 2012) p. 91 図 2 を改変)
A)川筋が一本の場合 B)複数の支流と河口がある場合

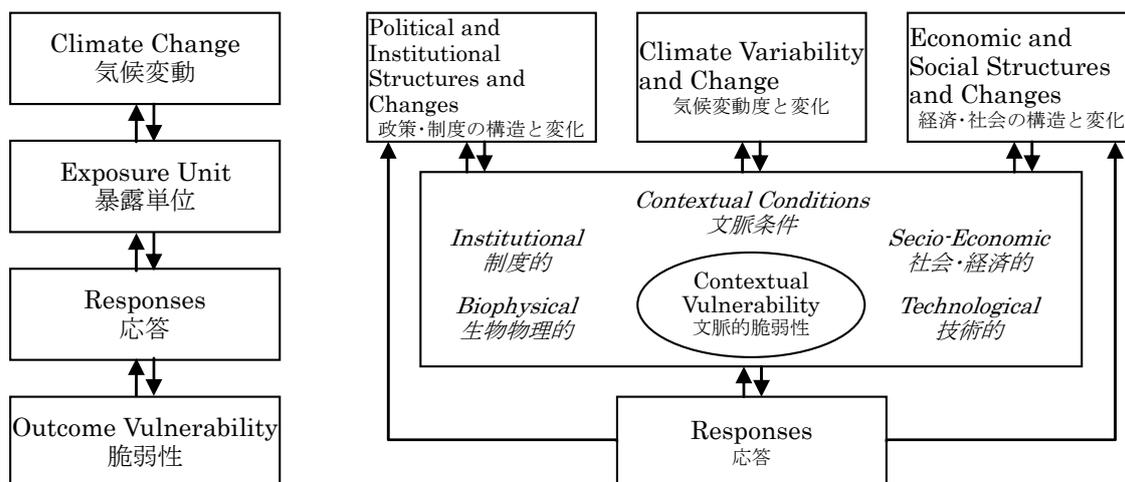


図 5-2 気候変動の脆弱性に関する解釈 ((Pielke, 2011) figure 4 を改変)
 左：従来の線形で西洋的なもの 右：循環的で文脈重視な東洋的なもの

える多くの課題が絡み合い、「気候変動政治」(Prins, *et al.*, 2010) ともいべき解決が困難な状況に陥っている。様々なステークホルダーが作り上げてきた気候変動問題は、GHG 排出抑制という単一指標による包括的で強制力を持った UNFCCC で解決することはもはや不可能に近い。

IPCC の推進する気候変動対策について、Pielke (2011) はその脆弱性評価を図 5-2 左のように単純化された直線のプロセスによって表わし、東洋人の「中庸」的な文脈を重視する脆弱性評価を図 5-2 右のように提案している。IPCC の実質的な主導権を握る欧州は、様々な気候変動要因を GHG 排出とすることで将来の気候変動リスクを単純化し最小限化する「予防原則」を採用しているが、これは単純化を好む西洋的メンタリティが大いに反映されたものである。その反面、この図の基となった Fussler (2007) の報告によれば、脆弱性にまつわる異なった概念や専門用語の存在は気候変動研究をより複雑にし、これまで行われた解決に向けた試みを達成できなかったものはないとしている。この「中庸」的な概念図は、矛盾を嫌う西洋的メンタリティを明示した上で矛盾は見かけに過ぎないという東洋的メンタリティの考えに立ち、様々な「文脈」を重視した脆弱性評価が優れていることを示している。

西洋的「京都議定書」のトップダウン的な長年にわたる支配にも関わらず、時間や労力、費用などの投入をしても世界的な脱炭素化を進められていない。Pielke の脆弱性評価に当てはめれば、気候変動度とその変化、気候変動にまつわる政策・制度の構造や、

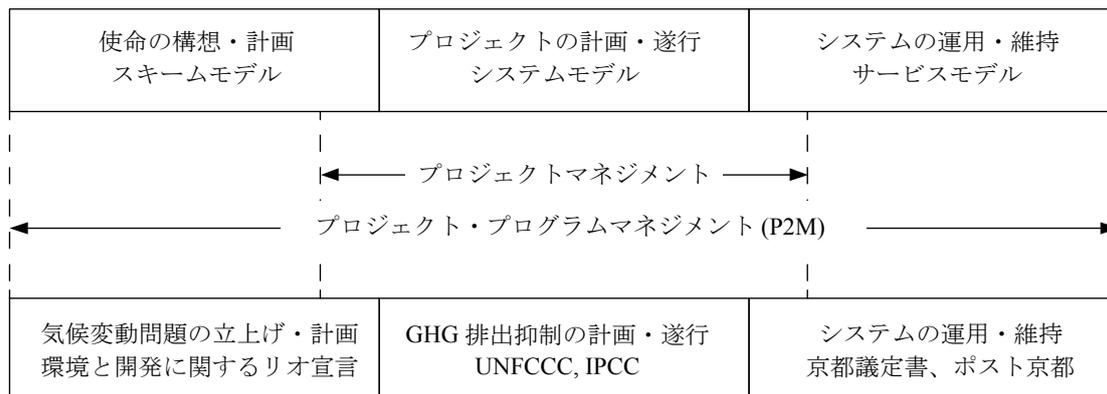


図 5-3 UNFCCC, IPCC の主導する気候変動対策と P2M の関係性
((小原, 2002) p.116 図表 3-9 に加筆)

経済・社会の構造などの変化に対し、それらに関わる文脈条件から中庸を得た応答を見出すことが、レジリエンス（回復性）を併せ持つ気候変動対策の構築に必須である。

5-5 欧州主導の気候変動対策と P2M の関係性

気候変動対策と P2M の関係は、欧州が実権を握る気候変動対策の実行プロセスを鳥瞰すれば、そのプロセスが P2M 手法に準拠していることが分かる（図 5-3）。P2M の 3S モデルはスキームモデル、システムモデル、サービスモデルからなり、計画の立案、実行、運用というフローをなしている。これに UNFCCC や IPCC が主導する気候変動の枠組を重ね合わせると、気候変動を中心とした環境問題のリスク化を図った環境と開発に関するリオ宣言（スキームモデル）、気候変動対策を担う IPCC およびそのワーキンググループ（システムモデル）、そして気候変動対策の国際的な枠組みを取り決めた気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書（サービスモデル）が該当していると示唆される。

プロジェクトマネジメントに相当するシステムモデルをつかさどる IPCC には、物理化学的な研究を進める Working Group 1（WG 1）、影響や変化への適応・脆弱性の研究を進める WG 2、気候変動の緩和を研究する WG 3 のプロジェクトが存在する。これら WG では個別のテーマにそって議論を重ね次なる Assessment Report 発行に向けた作業を行っているが、小原（2011）の考えを適用すれば、それらの環境はプログラムに参加するメンバーのインフラストラクチャーを意味し、人間系、情報系、文化系の知的資産を利用するためのプラットフォームと解釈できる。さらには、これらプロジェクトに

より解決すべき気候変動課題を取り決めた気候変動枠組み条約や京都議定書は、プラットフォームに参加する国々によりその内容が議論をされている。この一連の流れは、気候変動対策という全体使命に対する複数のプロジェクトが有機的に結合されている点で、P2Mの基本的な体系が備わっていると見ることができる。

現在の枠組のなかで推進される気候変動対策は、欧州を中心とする国々が事実上の主導権を握り、その中で検討される新たな取り組みや規制が参加各国の利便に必ずしも結び付かないことが多く見られるため、システムモデルやサービスモデルを位置付ける合意プロセスが難航し、包括的な意見形成を行うことが困難となっている。岡安（2011）が述べている通り、グローバル課題やフロンティア課題をGHGといった単一の要素で解決することができないことの表れであり、気候変動に対する認識や対策、緩和などについて偏りが生じている。単一的なプロジェクトマネジメント体系が組織や人の壁を超えることを難しくしているが、小原の提唱する日本版プロジェクトマネジメントであるP2Mに対し新たに東洋的なフレームワークを付加することで、P2Mを用いた気候変動対策の新たな考え方を見出すことができると考える。

5-6 P2Mの脆弱性

小原（2003a, 2003b）はP2Mの開発にあたり、世界標準では類を見ないプログラムの領域に切り込むことで、現代社会の複雑な課題をプログラムに複合して解決すると述べている。まさしく先進国や新興国間、さらには欧州、米州、アジアなど様々なファクターが混在する気候変動問題は、現代社会の複雑な課題としてプログラム化し解決すべきトピックであるが、IPCCが主導するプロセスは様々な気候変動要因をGHGに単純化し、ターゲットを排出抑制に絞った直線的なプロジェクト体系（図5-3）となっている。単純化され潜在化するリスクは気候変動の脆弱性に繋がると考えられるが、同様にプログラム化されたP2Mにとっても脆弱性が生じる要素があると示唆される。

これは、プロジェクトマネジメントが米国を中心に研究開発されPMBOK（Project Management Institute, 2012）として広く一般化した背景と関係がある。プロジェクトマネジメントにおける西洋人は、複雑なプロジェクト要素を全体観、共通観の理解のもとで共通マネジメントとセグメントされた個別マネジメントに単純化し、それらを複合利用し成果物を確実に獲得する。だが、気候変動問題のように、本来考慮すべき事象が直線的なプロジェクトフローから排除された段階で、潜在化したリスクが導かれる成果物の品質に多少なりとも影響を与え、脆弱性が顕在化しレジリエンス（回復性）が低下

していくことになる。日本版プロジェクトマネジメントとして開発された P2M が旧来の西洋的なプロジェクトマネジメントを踏襲しているからには、P2M そのものも潜在的な脆弱性を抱えていることを認識しなければならない。

5-7 西洋と東洋におけるメンタリティの違い

私たちアジア人の暮らしは 1950 年代以降急速に欧米化し始め、日本では当たり前のように欧米からの情報をタイムリーに享受することが出来るようになった。産業もグローバル化の流れに乗ることで、日本企業が世界の国々に産業をもたらすグローバル経済の一翼を担えるよう適応してきた。日本人の得意とする適応が、日本国内での国際標準 (ISO) の普及を支え、物事をルール化、単純化していくという西洋的手法を自然と受け入れていったと言える。

では、そもそも西洋人と東洋人にはどのようなメンタリティの違いがあるのか。Nisbett は、自らの人間観に合致するように世界を理解しているとしたら、現代の東アジア人は古代中国の思想家と同じような包括的な世界観を持っているかもしれないし現代のヨーロッパ人は古代ギリシアの思想家と同じような分析的な世界観を持っているかもしれないと考えた。Imai と Gentner の研究 (1997) では、西洋人と東洋人は、文字通り異なった世界を見ているとも書かれている。例えば、西洋人が彫像を見ているとき、東洋人は大理石を見ている。西洋人が壁を見ているとき、東洋人はコンクリートを見ている。西洋人は目立った対象物とその性質に着目した分析的な見方をし、東洋人は物体の連続性や環境での関係性に焦点を当てた包括的な見方をしている。さらには、東洋人は包括的な視点で場を認識し出来事同士の関係を観察する能力を持っている一方、西洋人は人や物を環境から切り離された各々独立なものとして捉え、出来事が少しでも変化するとすればそれは直線的な変化をすると考えており、自分でその出来事を制御できていると思っている。

Chiu (1972) が行った現代の西洋人と東洋人の認知の違いを確かめる実験からも、それを確かめることが出来る。図 5-4 に例示した絵を準備し、牛、鶏、草を二つにグループピングするとしたらどれが適切かを西洋人と東洋人の子どもに質問をする。西洋人の子どもたちは「分類学上」のカテゴリーに基づいて牛と鶏を選ぶが、東洋人の子どもの場合は「牛は草を食べるから」というもので牛と牧草を選んだ。西洋人は動物と植物に分類する傾向があるが、東洋人には牛と草の関係が強いと考える。この傾向は、西洋人

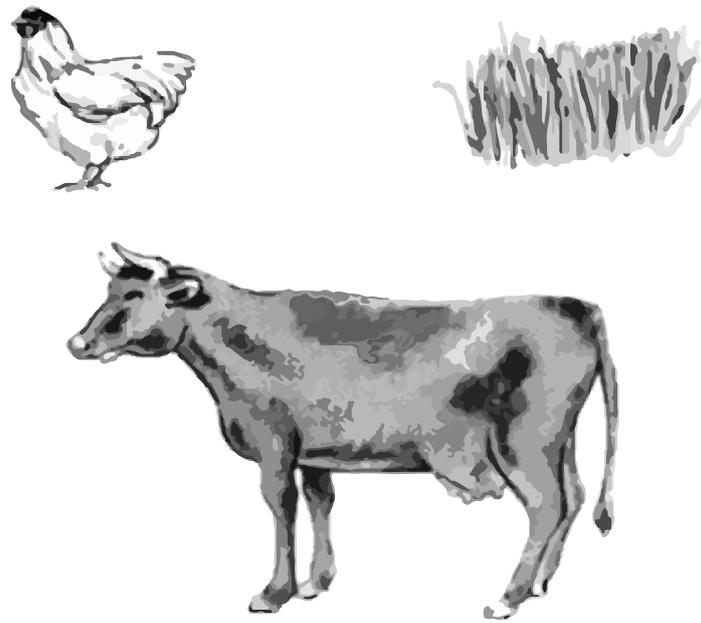


図 5-4 東西メンタリティの違いを示すテスト (Nisbett, 2003)
(Chiu, 1972) p. 11165 Fig.1 を改変

は性質を重要視し、東洋人は関係性に着目するメンタリティを持ち合わせているために生じるものである。

物事が複雑に関係し合いながら世界が構成されていると考える東洋人の考えは、物事を単純化させていく西洋人の考えと比較すれば、十分に真実に近いといえる。西洋人が単純さを好んだことで、反証をするなど議論を繰り返し科学が発達していったのも真実である。東洋人は、これらの状況を文脈としてとらえ多くの要素に目を向け関係性に焦点を当てる思考プロセスを持ち合わせているが、西洋人は文脈を無視して対象物を強調することを好むプロセスであり、Nisbett は西洋人の視野は「トンネルのように」狭いとまで表現し、さらに伊藤 *et al.* (2012) は西洋的メンタリティを生態系のような複雑なシステムを捉えるのには不向きだろうと述べている。

現代の日本人は幼少のころから英語教育に触れるなど、確実に西洋メンタリティを受け入れている。そのことは、知らずのうちに自らに西洋的思考の一次フィルターを背負わせており、気候変動対策を CO₂ 排出抑制に単純化する西洋の考えを受け入れ、それらの文脈を捉えることなく対象物として強調するプロセスに陥っているといえる。いま、西洋と東洋のメンタリティの両方を理解できる視野を持ち合わせる機会が増えたが、西洋と東洋の双方のメンタリティの違いを理解することができれば、気候変動対策を含め

たリスクマネジメントにその思考を応用することが可能となり、伊藤の掲げる「方法論としてのアジア」を実現することが出来ると考える。

5-8 気候変動問題に対するアジア視点のリスクマネジメント

中国をはじめ、中国の文化、宗教に大きく影響を受けていた東洋諸地域では、物事は絶えず変化する非線形なものであって、広い視野を持ち関係性を探ろうとする考えを持つ。西洋では、人が生きるのは線形なものであって理想的に単純な世界と考えている。この考えは、東西の医学に例えると分かりやすい。東洋医学では、健康な状態は身体の様々な力のバランスや器官どうしの関係によって決まると考えている。按摩や鍼灸、漢方といった東洋医学的方法は、身体のバランスを整えて回復力を強化させることを意図している。他方、現代の医学の中心となす西洋医学では、病気の外科的原因を殺菌や外科手術で排除することが主であり、多くの地域で何千年ものあいだ行われている。

古代ギリシアでは盛んにディベートが繰り返され、哲学や論理学が発達した。三段論法をはじめとする論理学の基礎を築いたアリストテレスは、政治集会などでの討論の末に矛盾の存在が議論を破綻させることを理解していた。攻撃的な議論に打ち勝つための論理的分析は、文脈を単純化し形式的な構造にすることで議論が妥当かの判断ができる。一方の中国では、論理学に変わる弁証法が発達した。弁証法とは、文脈を排除するのではなく、事象を適切な文脈のなかに置いて考えることであり、常に様々な事象との関係性を保ちながら変化を続け再編成される。論語の雍也篇にある孔子の言葉「中庸之為徳也其至矣乎。民鮮久矣。（中庸の徳たるや、其れ至れるかな。民鮮きこと久し。）」にあるように、過不足なく適度にバランスよく行動できることは人徳として最高である、と考える「中庸の徳」は東洋でよく好まれる考え方である。

これを踏まえ実際の生態系を考えると、東洋メンタリティの方が複雑系を考えるには自然であると言えよう。気候変動問題に対する現在の動きは、間違いなく欧州を中心とした社会が気候変動による現在および将来の危機をあおり、地球温暖化の防止に大きく貢献するのはCO₂排出抑制であるという直線的なリスクマネジメントとなっている。極東に生きる東洋人はその姿に対し不自然に感じるメンタリティを持ち合わせているはずである。特に語学に堪能ではない日本人は自ら「生きた」情報を得ることをせず、メディア等により視聴者の気を引きやすい「特ダネ」として「CO₂排出による地球温暖化は深刻」という単純化された情報を疑いもせず受け入れ、西洋の線形的な解の中に身を置いている状況にある。物事や出来事を単体で捉え、抽象的な規則を当てはめようとする

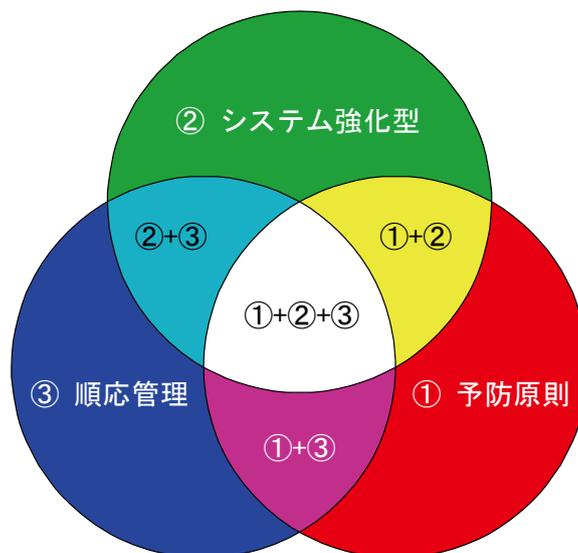


図 5-5 3 種類のリスク対応型とその混合型を光の三原色でモデル的に表示したもの
(伊藤, 2011a) より引用

れば極端で誤った結論を導くこととなり、単純化されたことでベクトルを失ったリスクは潜在化し、気候変動の脆弱性は増すこととなる。脆弱性が低く、更には高いレジリエンス（回復性）を併せ持つ気候変動システムを形成するためには、「中庸」の考えをもつ文脈重視の東洋的なリスクマネジメントが有効と考える。

5-9 東洋的リスクマネジメント型フレームワークの提唱

新たな提唱は、レジリエンスを併せ持った P2M フレームワークを構築することである。気候変動問題を例に詳細を示す。

様々なステークホルダーが作り上げてきた気候変動問題は、CO₂をはじめとする GHG 排出により地球は温暖化傾向にあるというものである。ヨーロッパでは「原因除去型の予防原則」、米国では事象が起きてから対処をする「順応管理⁷」が主流であるが、CO₂ 排出抑制に視点を置いていることから、西洋型の管理手法であることに違いはない。西洋の影響を受けていない東洋人であれば、不確実性に満ちた原因を追及するよりも、社会の脆弱性やレジリエンス（回復性）に着目した「システム強化型予防」（伊藤, 2011a）

⁷ 不確実性が高い事象の管理について、いかに科学的に立ち向かうか、そのためには少し進み、そこで得られた結果を次に活かし、また進んで結果を見ながら次に活かすという考え方。米国では、予防原則の対立概念として使われる。

を実践することがメンタリティとして備わっているはずであるから、中庸のなすシステムを提供することが理にかなっていると考える。

The Hartwell Paper (Prins, *et al.*, 2010) でも述べられているように、気候変動に起因するコストや被害を最小化もしくは回避するための技術や組織、管理体制を進化させ、気候と社会が抱える潜在的なリスクの双方が変化している中では、それらへの適応能力を高めることが重要である。また伊藤が示す図 5-5 のように、予防保全や順応管理、システム強化型予防といったリスク対応型の融合は、これまでの西洋型リスク対応とレジリエンス重視の東洋的リスク対応の両面を同じフレームとして扱うことを表現している。

東洋的リスクマネジメント型フレームワークでは、東洋・西洋メンタリティや文化的側面を考慮し日本式プロジェクトマネジメントシステムである P2M にレジリエンス（回復性）を与えることが可能となり、西洋型リスク対応が抱える潜在的な脆弱性の理解を容易にしている。P2M の目標・課題設定で用いられるプロファイリング手法であるバックキャスト⁸ とフォアキャスト⁹ を例にすると、あるべき姿から行動をプロファイリングするバックキャストは予防保全、着実にステップを進めるフォアキャストは順応管理のリスク対応型をしている。

これら西洋型リスク対応は、直線的な思考プロセスによって目標を定めプロジェクトを定義していくが、そのプロセスは目標に向けて行うべき物事を単純化する中で見出しやすくするものであって、そこに脆弱性が生じてしまう。単純化を進めることは目標達成のために不向きな情報を排除していくことであり、排除された情報から何かを得ようというプロセスはない。脆弱性の存在を認識し、西洋型リスク対応では排除されていた情報、もしくは考慮されることのなかった情報などを取り入れ、様々な文脈の中からその場合や時々に見合った応答を見出していく中庸的なリスクマネジメントが、提唱する東洋型リスクマネジメントである。

図 5-6 では、循環型で文脈重視な東洋型リスクマネジメントの概念図を示している。ここで特徴的な考えは、従来の P2M では直線的で一方向なマネジメントモデルであったものを中庸的なリスクマネジメントとして定義し直すために、すべての考察で文脈的脆弱性を認識することと、文脈的脆弱性から計画そのものの見直しを可能とすることである。脆弱性が低く、高いレジリエンス（回復性）をもった P2M のマネジメントモデ

⁸ 将来を予測するのに持続可能な目標となる社会の姿を想定し、その姿から現在を振り返って何をすればよいかを考える手法。地球温暖化や食料不足など、現状継続では破局的な将来が予想される場合などに用いられることが多い。

⁹ 過去の実績等に基づいて、着実に物事を積み上げていく手法。また、その方法で将来を予測すること。

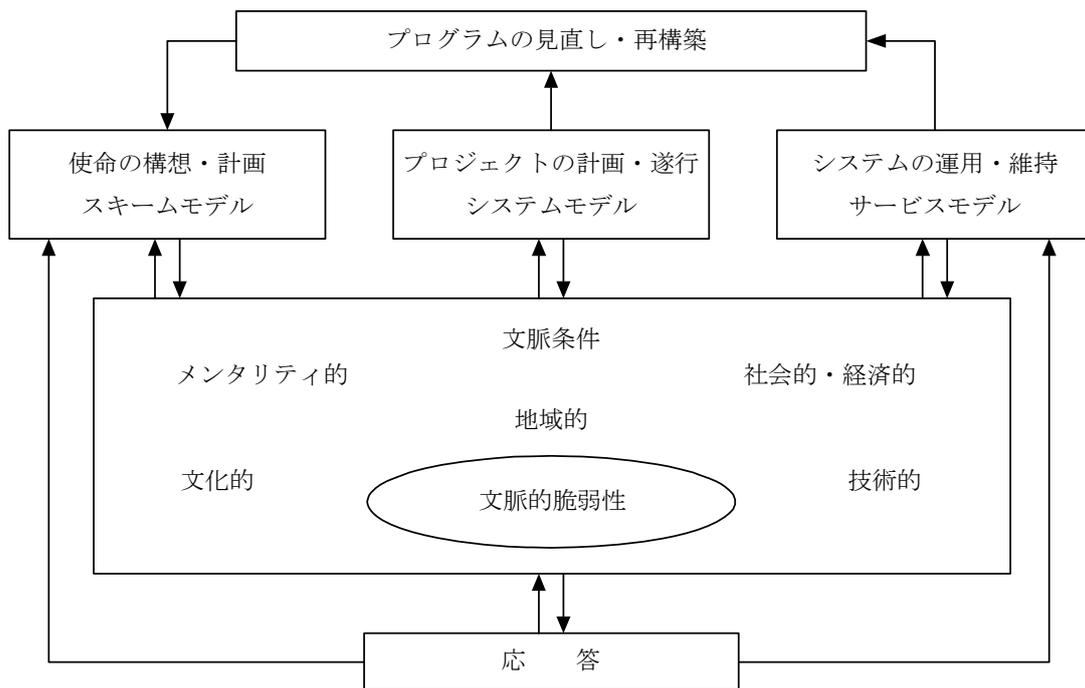


図 5-6 循環型で文脈重視な東洋型リスクマネジメントのモデル図

ルを形成するためには、「中庸」の考えを持つ東洋型リスクマネジメントが有効と示唆される。

5-10 総括

気候変動問題と P2M 理論をメンタリティ面から考察することにより、P2M の新たな展開として、アジア視点のリスクマネジメントの手法を導入することを提唱した。西洋的メンタリティに基づく直線的な PM の特徴を持つ P2M に、アジア的な循環的要素を取り入れることで、IPCC が進める極端な気候変動対策を改良して、東洋的な中庸をマネジメント要素とする対策の構築が可能となる。また、国際政治の面が強調されてきた気候変動問題をリスク問題として捉え直して P2M 理論を応用することは、気候変動問題への新たなアプローチを提供するとともに、P2M の適用範囲を広げることにもなる。高レジリエンス社会に構築に必要な、循環型で文脈重視型の気候変動対策を準備するためにも、P2M のマネジメントモデルの更なる開発が求められる。

第5章では、西洋人と東洋人のメンタリティの違いと、欧州が主導権を握る気候変動問題との関連を示し、気候変動に与える様々な要因があるにもかかわらず、なぜ GHG 排出量に特化した気候変動対策なのかを、メンタリティの側面から大局的に評価をした。

京都議定書 GHG 排出削減目標の達成に向け、日本経済界が大きな負担を負いながら必死の努力を続けている。世界の GHG 排出量の 40%強（日本エネルギー経済研究所, 2011）を占める中国とアメリカが排出削減の義務を負わない枠組のなかで、欧州の国々が主導する気候変動問題に真面目に取り組む日本の姿があるわけだが、その背景にはそれぞれの文化に基づいたメンタリティがあり、気候変動問題に対して大きく影響を及ぼしている。そこには、西洋人と東洋人のメンタリティの違いにもとづく思考の違いが存在し、特に西洋人は思考の過程で様々な要因を単純化していき、単純化された目標に向かって議論を進めることを好む。このメンタリティは、古代に欧州で花開いた自然科学の発達のように、議論を重ねながらもっともらしい解を見つけ法則を作り出していくプロセスには向いているとする先行研究は多い。地球温暖化を中心とする気候変動問題においては、地球気候に及ぼす要因の先端研究では太陽活動、土地改変、大気中の煤といった多種多様なものがあげられており、それらの影響は人為活動由来 GHG 排出による大気中 CO₂ 濃度上昇が要因といわれる地球平均気温上昇分よりも大きいと言われている。だが、単純化を進めていったことで CO₂ 要因という考えが主流となり、先端研究の議論を深める余地すらない状況となっている。

このように、気候変動問題の成り立ちやそのステークホルダーらによる議論プロセスを踏まえ、新たな思考環境を提供するために、東洋的メンタリティによる気候変動問題のレジリエンス（回復性）を高める新たなプロセスを提案した。現在の IPCC 主導による政府間検討の進展困難をみれば、CO₂ 要因に単純化したこと、その議論には先進国や新興国、発展途上国といった国々の利権が絡むこと、などが学術的な議論を阻害していることが分かる。先行き不透明な推進プロセスにあるいまこそ、東洋的な思考プロセスを取入れ気候変動問題の幅広い議論の機会を提供するものである。

また、これら IPCC を中心とした気候変動問題の推進プロセスは、Assessment Report を作成するために設置された Working Group がプロジェクトの役割を担うプロジェクトマネジメントとなっていることが分かる。気候変動が世界的な環境問題として取り上げられるようになったリオ宣言に遡ると、スキームモデル、システムモデル、サービスモデルといった小原らが提唱した P2M とそのモデルが同一、もしくは類似していることが理解できる。IPCC による気候変動対策の推進が難航していることを P2M と比較すると、気候変動問題と同様に P2M にもシステムモデルやサービスモデルに東洋的なレジ

リエンス（回復性）を高める思考プロセスが設定されていないことが見出せた。これにより、気候変動問題の思考プロセスへの新たな検討モデルを提供すると同時に、P2Mモデルに対しても東洋メンタリティを踏まえた「中庸」的な思考プロセスを提供することが、今後のP2Mの有効性を高めるために有効な手法であることが示唆された。これまでP2Mには文化的な背景を考慮したモデルが十分に整備されてはおらず、それ故にP2Mモデルに合致しない種々の情報を考慮した有効なマネジメントが提供できているとは言い切れない。東洋的な検討プロセスを提供するに当たり、様々な情報を適宜取り入れ最善のマネジメント・プロセスを構築するために、東洋的リスクマネジメント型フレームワークを提唱した。このフレームワークは、プログラムマネジメントの思考の幅を広げ、最適なマネジメントを常に行うための新たなツールとして、その効果を期待することが出来ると考えている。

第5章では、西洋メンタリティの単純化プロセスの脆弱性に着目してきたが、その要因の多くは不確実性を排除する思考プロセスにあった。気候変動問題に対する各種プロジェクトを構成する場合、気候変動とCO₂の関係性を前提としたプロジェクトがそのほとんどを占めている。プロジェクトマネジメント自体が、西洋的な線形プロセスでマネジメントされているため、不確実性を取り入れたプロジェクトを構成することは、不確実性を意図的に織り込まなければ難しい。そこで第6章では、不確実性を演繹的に気候変動問題のマネジメントに取り入れることが可能なシナリオ・プランニングを取り上げ、気候変動問題の未来をマネジメントする手法の開発を行う。

第6章 気候変動マネジメントにおける

シナリオ・プランニング理論の展開

6-1 6章の概要と構成

環境の複雑性や将来の不確実性が増す中、問題解決に望まれる将来像を描き、中長期的な視点からの戦略立案が重要となっている。数あるプロジェクト・プログラムマネジメント（P2M）方法論研究対象のうち、未来社会を提供するシナリオ研究は十分になされていない。これは、従来型マネジメントが、将来の構造的不連続変化を生じないフォアキャストとバックキャストを中心に、構成されてきているからである。前提条件が変化しない、また不確実性を排除する傾向にあるという点で、古典的なマネジメント手法の域から脱することができていない。

そこで第6章では、規範型・探索型シナリオ、帰納的・演繹的なアプローチの違いを理論展開し、気候変動問題を例に方法論研究を行った。第5章で示した気候変動問題への東洋的アプローチ思考を基盤とし、直線的な未来マネジメントではない、シナリオ利用者にとって都合の悪い不確実性を取り入れた未来マネジメントを可能とするマネジメント手法の開発を行った。その中で、気候変動問題に対する従来の規範型アプローチ“IPCC型シナリオ”は、非線形因子による前提が真ではなくなっている可能性を示した。未来マネジメントには、演繹的アプローチ（探索型）のシナリオ・プランニングが適していることを示した。環境行政向けの未来社会シナリオは、政策決定者に論理的・分析的な思考を与える可能性がある。

6-2では、気候変動問題とシナリオの関連性について概観し、論点の再確認を行った。

6-3では、プロジェクトプログラムにて用いられるシナリオの考え方について、従来のP2Mが提供している未来シナリオ（未来学）と、不確実性が高く制御が困難な課題に対するシナリオのフレームワークについて整理を行った。ここでは、シナリオについて規範型と探索型という二つの導出法を示した。

6-4では、規範型シナリオによるマネジメントの限界の有無について、IPCCシナリオを検証事例として議論を行った。また、そこから気候変動シナリオに対する演繹的アプローチのフレームワーク構築のための準備を行った。

6-5 では、実際に3種類のシナリオを作成した。シナリオ作成では、簡便な方法での表記、また従来具体例を記述する手法の展開を行った。

6-6 では、シナリオを利用する意思決定者がどのような判断を行う可能性があるのかについて、プランニング、推定、政策判断の視点からプロジェクション・マッピングの提唱を行った。

6-7 では、線形的なステップを辿る従来型 P2M から、不確実性を伴いながら非線形的な変化を経て到達する未来を論理的・分析的にマネジメントするシナリオ・プランニングについて、経済価値、外交価値、学術価値の面から考察を行った。

6-8 では、総括を行った。

6-2 気候変動問題とマネジメント

地球を取り巻く環境問題は、人類の発展に伴う自然の脆弱性の多様化により、その複雑さが増している。産業革命以降、化石燃料を中心としたエネルギーに依存した生活で QOL (Quality of Life) を高めた一方、エネルギー獲得競争に伴う自然環境の汚染といった劣化が見られている。また、新興国や発展途上国での人口増加は食糧問題とも直結し、乱雑な農地開拓が引き起こす環境問題も懸念されている。種々ある環境の脆弱性の例の中でも、環境問題の代表格とされるのが気候変動問題であろう。大気中 CO₂ 濃度の長期観測を行った Keeling (1960) や地球温暖化と化石燃料、海面上昇との因果関係を示した Hansen *et al.* (1981) の研究が契機となり、1992 年には環境と開発に関する国際連合会議でリオ宣言、アジェンダ 21 などが採択された。気候変動枠組条約では、大気中の GHG 濃度を安定化させることが究極の目標とされた。IPCC の発行する AR4 では、20 世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、GHG の中でも、特に人為起源 CO₂ 濃度の上昇によってもたらされた可能性が非常に高いと示唆している。しかし最近になって、この気温上昇が自然変動であるという見方も出ている (Large, Yeager, 2012)。

このような状況では、気候変動問題は科学の問題というよりも、マネジメント問題として捉えるべきである。気候変動によってもたらされる将来の危機は、あらかじめ想定したシナリオがアンサンブルされることで作り出されていると考える。不特定多数の利害関係者が存在する中で、客観的な気候変動科学の評価、妥当な未来像の提供などが難しい状況が続いている。第 6 章では、P2M 研究対象である方法論としてのシナリオ・プランニング (第 6 章ではライティングではなくプランニングで表記を統一する) の理論展開をし、気候変動行政に適用させるシナリオの考察、およびその事例提供をする。未来の不確実性に対応する、新たなプロジェクト・プログラム適用拡大の可能性を示す。

6-3 プロジェクト・プログラムとシナリオ

周辺環境の複雑性や将来の不確実性が増す中で、問題解決のために望まれる将来像を描き、中長期的な視点から戦略を立て実行に移していくことが重要となっている。その対処法として、P2M ではプロファイリングマネジメントが提供されている (小原, 2003a, 2003b)。プロファイリングとは、不透明なプログラムを可視化する作業を意味する。

「ありのままの姿」と「あるべき姿」のギャップを認識しミッションを記述し、与えられた使命を全うするための思考を展開するプロセスである。そして、ミッションを意図

表 6-1 P2M の主な方法論の研究対象 (国際 P2M 学会 HP より)

シナリオ	全体観や創造発想可能視する方法論の研究 未来学、創造発想、シナリオライティング、認知心理方法論 ヒューマンファクター、問題解決設計、ナレッジマネジメント
システム	システムの最適化方法論の研究 システム工学、ソフトシステム方法論、アーキテクチャ方法論 コカレントエンジニアリング、社会システム工学
モデリング	モデリングの構造による実現化と IT 支援方法論の研究 概念モデル、論理モデル、実装モデル、ビジネスモデル、プロセス モデル エージェントモデル、エンタープライズモデル
投資評価	投資対効果とマネジメントに関する方法論の研究 戦略マネジメント、ポートフォリオ、投資計画と分析評価 バランススコアカード、金融リスクマネジメント、価値工学
Game & Simulation	ゲーミングとシミュレーションによる方法論の研究 政策・戦略ゲーム、模擬世界表現、合意形成、教育・訓練ゲーム

表 6-2 CiNii に掲載されている国際 P2M 学会誌採用論文の
テーマによる領域と方法論のポジショニング数 (2013 年 9 月 8 日時点)

方法論 \ 領域	ネット系	開発系	改革系	サービス系	行政系
シナリオ	1	4	1	2	0
システム	3	11	9	13	9
モデリング	2	27	13	22	8
投資評価	2	6	4	12	4
Game & Simulation	1	4	1	0	0

して「ありのままの姿」から「あるべき姿」へと向かうシナリオを作成することが、プロファイリングマネジメントであり、未来学と呼ばれる方法論である。未来学が求めるシナリオの展開は、あるべき姿をどのように実現するかを表現することであり、表 6-1 に示す P2M における主な方法論の研究対象のひとつとされている (国際 P2M 学会, 2014)。

国立情報学研究所が提供する論文検索サイト CiNii に掲載されている国際 P2M 学会誌採用論文 159 報 (2013 年 9 月 8 日現在) について、テーマによる領域と方法論のポジショニングについての論文数を表 6-2 にまとめた。ビジネスモデルなどのプログラム

に関する研究は多いものの、シナリオ研究はまだ十分になされていない。また、環境問題が対象になり得るシナリオ-行政系では、まだ研究報告がなされていない。これは、ビジネス分野を中心に P2M 研究がなされてきた傾向があり、社会モデルに対する研究が発展途上にあること、また、環境問題のような不確実性の大きな対象には、線形的マネジメントである 3S モデルの適用が難しいことによると考えられる。環境行政の重要性が増すいま、行政等の適応力を高めるためにも、行政系シナリオ研究が求められる。

6-3-1 未来学とシナリオ・プランニング

シナリオが重要となるアプローチとして、未来学とシナリオ・プランニングが挙げられる。未来学に関しては、フランスの哲学者 Gaston Berger が 1950 年代に La Prospective (予測) (Berger, 1964) を提唱し、のちに政治や社会のプランニングにシナリオが活用された。フランス流のシナリオ手法は、あるべき未来を想定し、その未来世界を実現するために何をすべきか、に立った規範型シナリオ (normative scenario) である。共通性を見出すことに単純化された推論であり、帰納的アプローチ¹⁰ であると言える。また特徴として、ある組織にとって都合の良い未来世界像、実現に向けたアクションプランは、その組織の戦略として活用されることが多い。共通性を見出すことに単純化された推論であり、古典的な未来マネジメント手法である。

一方、米国で誕生をしたシナリオ・プランニングは、探索型シナリオ (exploratory scenario) である。演繹的アプローチ¹¹ に基づいて集められたデータを鳥瞰、選別し、そこにシナリオのフレームワークを見つけ出す (ヴァン・デル・ハイデン, 2003)。いくつかの異なるシナリオを想定し、未来のある時点における状況を簡潔に表現することで、いかなるシナリオが発生しても対処ができるよう組織的なシミュレーションに活用し、未来の不確実性を論理的・構造的に理解することが目的である。

未来学は、これまで P2M で研究・活用されてきた「構造的不連続変化が生じない未来を予測するフォアキャストイング」「あるべき将来から現在を振り返り将来リスクを回避するために将来予測をするバックキャストイング」の考えが近く、予防原則的である。いずれも「あるべき姿」を想定している点で、規範型シナリオと言える。一方のシナリオ・プランニングは、順応管理的である。それまで検討してきたにも関わらずそれでも残る不確実性に対し、シナリオ利用者に論理的・分析的な思考によって新しい発見

¹⁰ 帰納的(Induction): 個々の個別または特殊事情に基づいて、共通する一般的・普遍的命題や法則を導出すること

¹¹ 演繹的(Deduction): 一般的・普遍的な命題や法則を前提とし、論理的に必然となる個別または特殊事情を導出すること

を与えることが目的であって、未来世界を予測することではない。ここで、3S モデルのスキームモデルに相当する「シナリオ」と「シナリオ・プランニング」は同一なものではなく、機能・役割を混同しないよう注意を要する。

長期的な将来像は不確実性が高く、それゆえに唯一の将来像のみを前提とすることは、適当ではない。不確実性が高く制御が困難とされる気候変動問題の場合、シナリオを構成する因子が何であるかを示すことが、シナリオのフレームワーク骨格づくりの命題になり得る。プロジェクト・プログラムには、これまで検証されてきた未来学や規範型シナリオに加え、未来の不確実性を受け入れる探索型シナリオの研究が必要である。

6-3-2探索型シナリオ - シナリオ・プランニング -

予測を立て管理をする規範的シナリオ（未来学）は古く、多方面で利用されている。一方、複雑性や将来の不確実性が増す中で、民間や行政は望まれる将来像を描き中長期的な戦略を立て実行に移すことが求められるが、将来を正確に予想することは不可能である。しかし、来る将来を事前に認識しておくことは、意思決定者の的確な判断材料として有効である。Kahn, Wiener（1967）により手法が確立されたシナリオ・プランニングは、1970年代、ロイヤル・ダッチ・シェル社が事業戦略構築のために、未来がどうなるのか、それがなぜ起こるのかについて複数の未来のストーリーをシナリオとしてまとめ、来る「石油危機」に効果的に対応した例が有名である。Wack（1985）が関わったシェル社の例のように、未来学におけるシナリオとの大きな違いは、その目的は将来を正確に描き出すことではなく、未来に関するより良い意思決定を行うことにある。さらに意思決定には、不確実性の他に制御可能かという判断も不可欠である。もし、不確実性が低く制御可能であれば、リスクは小さく最適な解をもった将来を描ける。他方、シナリオ・プランニングは不確実性が高く、制御が不可能なときの将来の記憶を導くのに適している。

一般に、作成するシナリオ数は3つあるいは4つが妥当と言われている（シュワルツ, 2000）。3シナリオの場合、①現在とほぼ同じか現在よりも良い、②現在より悪化する、③現在とは異質だが現在よりは改善する、という集合である。可能性のある未来を設定し、様々な可能性を考えそれに対する対応をあらかじめ想定しリハーサルする。方法論としてのシナリオ・プランニングは、定量的根拠に基づくものではなく、様々な可能性を物語として未来を表現することが重要である。

6-4 気候変動問題とシナリオ –規範型シナリオと探索型シナリオ–

6-4-1 規範型シナリオ –IPCC 型シナリオ–

気候変動のシナリオ研究は、GHG 排出抑制という単一指標による包括的で強制力を持った UNFCCC 及び IPCC 作業部会を中心に行われている。IPCC 型シナリオは、大気中 CO₂ 濃度上昇がもたらす世界平均地上気温の上昇をシミュレーションによって導き出し、社会環境の変化をもとに未来予想している（規範型シナリオ）。先進国主導で「地球の平均気温上昇を産業革命以前のレベルに比べ 2°C 以内に抑制すること」と政治判断がされている点は、未来学そのものの考え方である。AR4 では、表 6-3 の 6 つのシナリオが用意されている。

複数モデルによる 21 世紀末の世界平均地上気温は、個々のモデルの標準偏差を伴って表現され、2000 年の世界平均地上気温を 0°C としたときの偏差は最大で +6°C 程度になっている。ここで、IPCC 型シナリオのシミュレーションを世界平均地上気温の観測値と比較し、規範型シナリオ（未来学）が気候変動には不適であることを考察する。検証では、英国 Met Office Hadley Centre が公開している気象観測データ（Met Office Hadley Centre, 2013）、および米国 NASA Goddard Institute for Space Studies が公開する年平均地球表面気温のシミュレーションおよび実観測値推移を用いた。前者では、AR4（IPCC, 2007）の 6 つの予想未来が示す世界平均地上気温の推移に対し、19 世紀末から 2012 年までのスムーズ化した実世界平均地上気温推移を、1980-2000 年でフィットするように重ね合わせた（図 6-1）。グラフから、2000 年以降の実世界平均気温が、いずれのシナリオ標準偏差域からも脱していることがわかる。

表 6-3 予測される 21 世紀末世界平均気温の変化（1980-1990 年との比較）
（IPCC, 2007） Table SPM.3 を改変

GHG 排出シナリオ	世界平均気温の変化
A1FI：化石エネルギー源重視	4.0°C (2.4-6.4°C)
A1：高成長社会シナリオ A1T：非化石エネルギー重視	2.4°C (1.4-3.8°C)
A1B：各エネルギー源のバランス重視	2.8°C (1.7-4.4°C)
A2：多元化社会シナリオ	3.4°C (2.0-5.4°C)
B1：持続発展型社会シナリオ	1.8°C (1.1-2.9°C)
B2：地域共存型社会シナリオ	2.4°C (1.4-3.8°C)

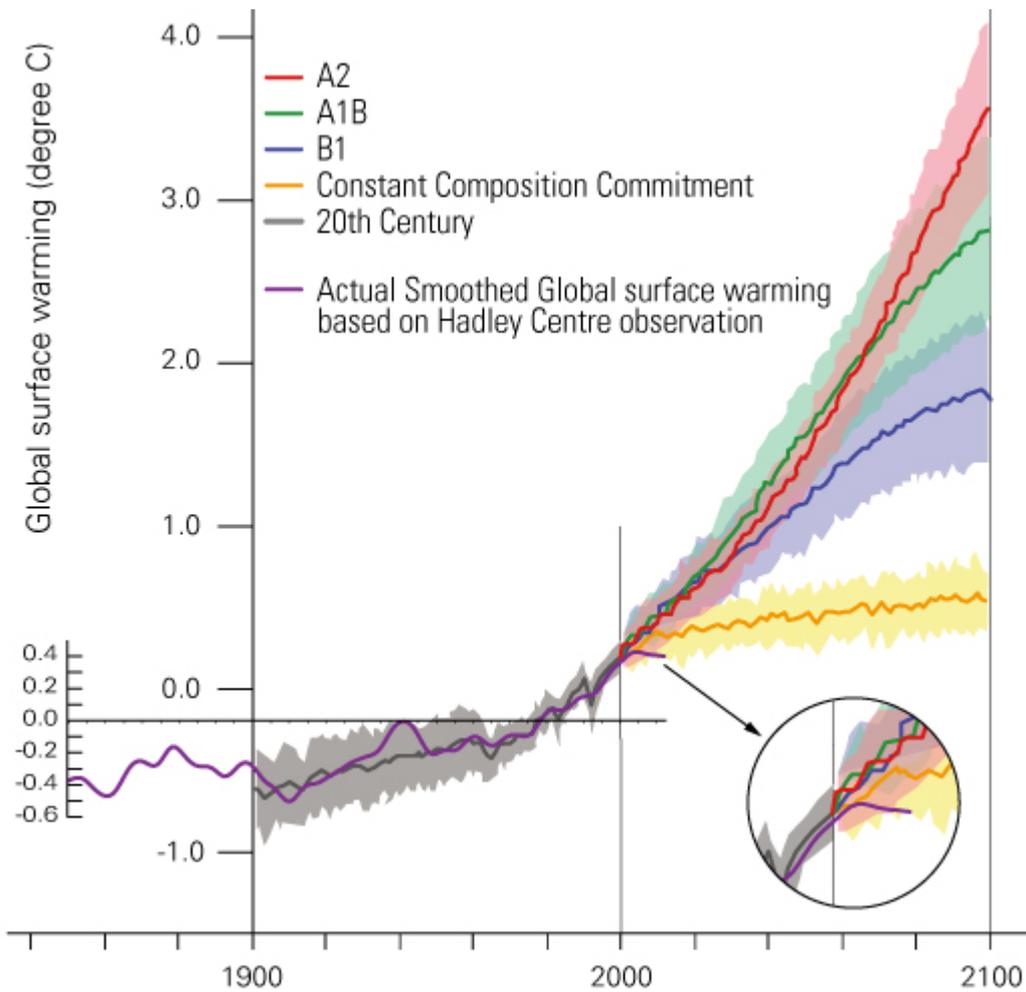


図 6-1 AR4 (IPCC, 2007) Fig.10.4 (一部改変) と世界平均気温、CO₂濃度 (Met Office Hadley Centre, 2013) を合成

また、CO₂濃度が上昇を続ける一方で気温上昇が 2000 年近辺以降停滞していることが観測されている。6 つの予想未来シナリオは、いずれも現状を予測できていない。

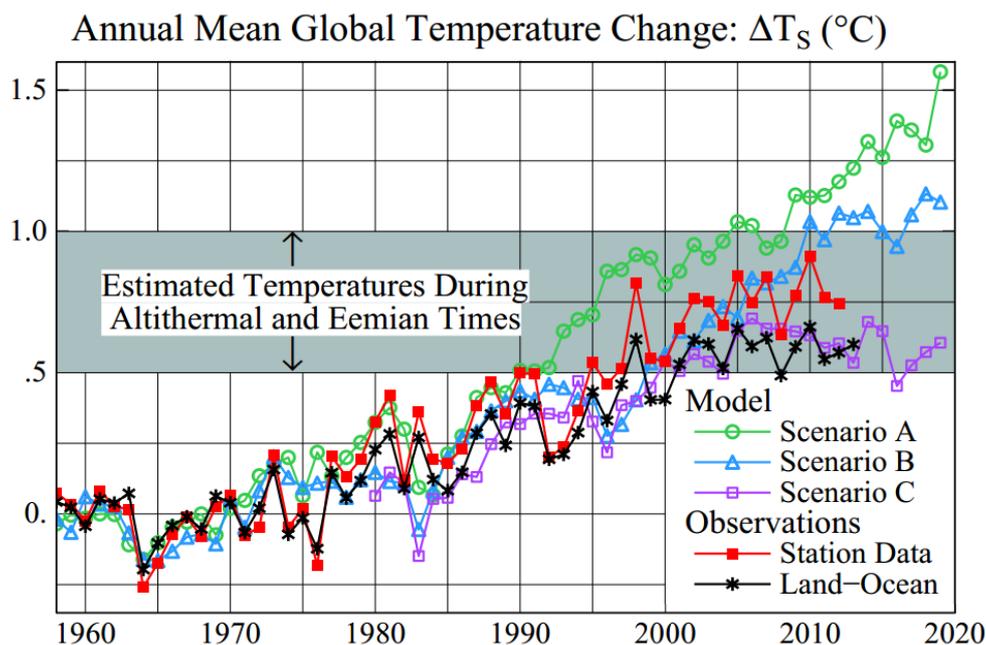


図 6-2 年平均地球気温変化のシナリオと陸地-海洋気温の観測値 (Sato, Hansen, 2006) を引用

表 6-4 図 6-2 のシナリオモデル 参考文献 (Hansen, et al., 2006) より筆者作成

MODEL	Scenario Story
Scenario A	次の 50 年で大規模な噴火がなく、GHG 排出が指数的に増加する場合
Scenario B	1988 年以降の 50 年で大規模噴火 3 回、適度な GHG 増加率の中間的シナリオ
Scenario C	考えられる以上の劇的な排出削減により 2000 年以降 GHG 増加が止まった場合

図 6-2 は、気候変動研究の先駆者である Hansen *et al.* (2006) が作成した、シミュレーション・シナリオ（規範型シナリオ）と大陸 - 海洋表面平均温度の実測値推移最新版である。シミュレーションは、表 6-4 の条件で実施されている。大陸 - 海洋表面平均温度が横ばいとなり、Scenario C よりも観測値が下回っており、いずれのシナリオも満足していないことがわかる。このように、大気中 CO₂ 濃度が 393.82 ppm (2012 年平均) まで上昇 (National Oceanic&Atmospheric Administration, 2014) している一方で、大陸 - 海洋表面平均温度はその上昇が止まっている。AR4 や Hansen らの支配的因子を CO₂ 濃度上昇としたシミュレーションは、極端な温度上昇を生み出している。しかし、限られた非線形な支配因子による地球温暖化システムの帰納的アプローチにおいて、その隠

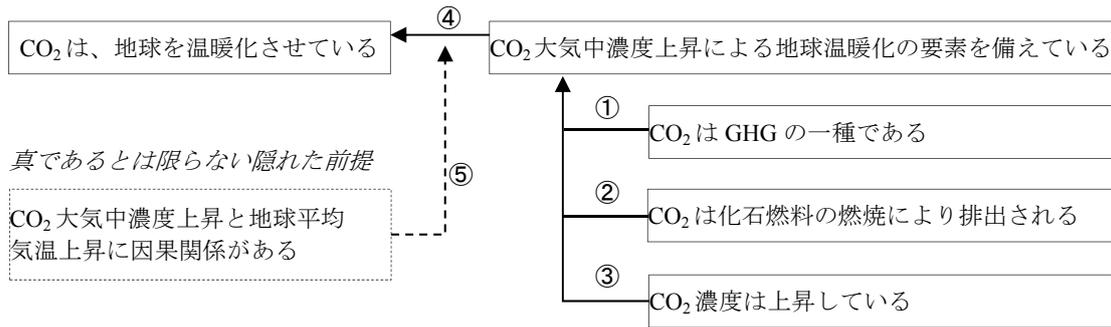


図 6-3 地球温暖化システムの帰納的推論：真であるとは限らない前提がある推論の例

れた前提が真ではなくなったとき（図 6-3 の⑤）、推論は破綻してしまう。IPCC 型シナリオのモデル計算結果と実観測データの乖離が確認されたいま、気候変動問題には新しい探索型シナリオを提供し、シナリオに幅を持たせなければならないと考える。

6-4-2 探索型シナリオ – 気候変動シナリオに対する演繹的アプローチの実践

気候変動問題をマネジメントするには、既知のコンセンサスから思考を解放することが不可欠である。その手段こそ探索型シナリオにおける演繹的アプローチであり、不確実で制御不可能な未来をマネジメントする方法論である。論理思考（演繹法推論）により考察すると、客観的なシナリオの準備が可能となる。「CO₂は地球を温暖化させている」という確からしさが「不確か」であることが示されたことで、シナリオ利用者にと

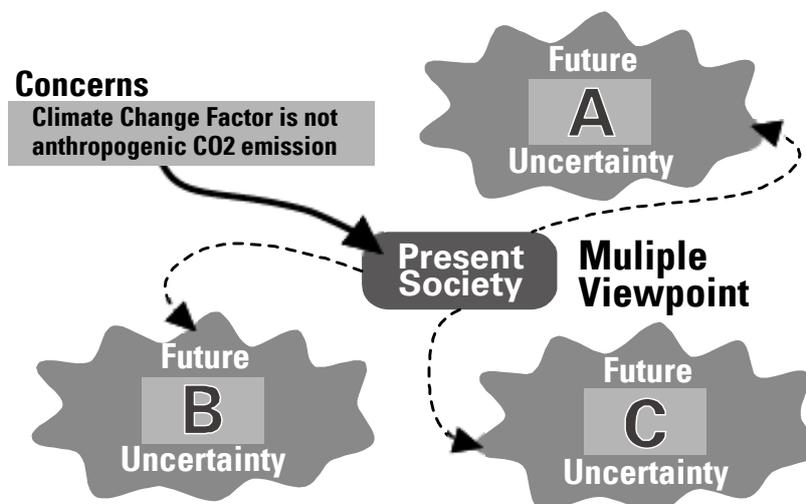


図 6-4 演繹的推論：シナリオ・プランニングのフレームワーク

っての関心事は「因子が人為的 CO₂ 排出ではないこと」であろう。この新たな因子をベースにシナリオに必要なデータを収集・整理し、「現在のトレンド」「将来の不確実性の高い事項」をもとに多視座的にシナリオ構造を見出す（図 6-4）。演繹的アプローチの特徴は、理論的、分析的であること、また起こり得そうな予想や予測、シナリオ利用者に好都合な未来を描くのではなく、複数の未来の可能性を理論的な結果として提示することである。よって作成する複数の未来は、現在から非連続的に描かれる想定された未来である。

「シナリオ利用者がどの未来の実現を目指すべきか」を含めないで新たに構築する探索型シナリオは、既存のコンセンサスに支配されることのない、自由な発想から生まれる未来を提供することに主眼を置く。具体的なシナリオは複数作成することが可能であるが、第6章では P2M におけるシナリオの適用可能性を広げる基盤研究の位置づけであるため、フレームワークを示し、具体的なシナリオ作成例によって今後の P2M 研究に対する方法論を提供することとする。

6-4-3 フレームワークの決定

前述のように、常識とされてきた地球温暖化シナリオが、各種観測データから乖離する可能性が見えてきた。そこで探索型シナリオフレームとして、既存型である規範型フレーム「人為的 CO₂ 排出増加による地球温暖化 【①国際社会協調型】と【②国際協調破綻型】」、および探索型フレーム「③気候変動が人為的 CO₂ 排出以外の要素による可能性が大きい」の3つを設ける。今後の気候変動対策行政には、CO₂ 排出抑制に注力してきた IPCC の活動からは得られなかった異質なシナリオ、前提条件「自然要因による気候変動」の未来シナリオが必要だからである。

6-4-4 データ集約

シナリオ作成作業にあたり、現在および将来の気候変化要因、気候変動問題について、事象の分析を行う。フレームを規範型シナリオと探索型シナリオに大別し、それぞれに影響を与えると考えられる因子の洗い出しを実施した（表 6-5）。

表 6-5 シナリオに影響を与える因子の抽出

	現在のトレンド、確からしそうな事項	将来展開が想定しにくい、確実性の高い事項
規範型	CO ₂ 濃度上昇による地球温暖化は確か	米・中・印 等の CO ₂ 排出抑制目標設定の参加は?
	国連および IPCC の科学的知見は権威のあるもの	IPCC のどのシナリオを現実に進んでいくのか?
	CO ₂ 排出抑制で、温暖化スピードを抑えられる	いつまで国連主導の国際協調型対策が続くか?
	経済成長に相関した排出量削減目標が設定できる	参加国・非参加国の経済成長への影響は?
	ポスト京都議定書目標が着実に進展・普及	排出取引制度の普及・成熟しているか?
探索型	地球年平均気温（陸地－海洋）は、2000 年以降大きな変化はない	20 年後の地球年平均気温が現在と比較し何℃か?
	気候変動要因は未解明だが、自然要因による変動が確からしい	UNFCCC の対応策が CO ₂ 排出抑制から適応策へ変化しているかどうか?
	地球温暖化と CO ₂ 濃度上昇に相関はない	世界のエネルギー生産・消費動向による価格変動
	地球温暖化ビジネスが成立している	

6-5 シナリオ作成

探索型シナリオにより作成される 3 つのシナリオは、①現在と同等の「国際協調型」（規範的）②現在より悪化する「国際協調破綻型」（規範的）、③現在とは異質の「自然変動重視型」（探索型）で構成される。これらについて、骨子のみで表現手法、具体例を記述する伝統的な表現手法によりシナリオ作成を行った。

6-5-1 「国際協調型 未来社会シナリオ」（骨子のみで表現する手法）

- AR4 に次ぐ報告書でも CO₂ 排出と地球平均気温の因果関係が確かめられ、先進国・新興国などが排出抑制に向け、経済的手法も含めながら協調している。
- ポスト京都議定書も順調に推進し、米・中・印 等主要排出国も目標設定に加わっている。
- 排出削減目標の柔軟な見直しが許容され、経済成長にリンクした年度目標を設定できる。

6-5-2 「国際協調破綻型 未来社会シナリオ」 (骨子のみで表現する手法)

- CO₂排出と地球平均気温との相関は認められたが、どのシナリオを推移するか不明であり、UNFCCC 参加各国の足並みはかつてないほど乱れている。
- 排出量取引による削減義務化は市場価格の高騰を招き、国連主導による取引制度の普及は限界に達した。UNFCCC から離脱する国が続き、その仕組みが形骸化しつつある。
- 条約による CO₂排出抑制の義務化で、設備投資等を余儀なくされた経済界は体力を奪われ、対象である先進諸国では GDP が低下し雇用が継続的に失われている状況が続いている。

6-5-3 「自然変動を重視した社会の秩序シナリオ」 (具体例を記述する手法)

地球気候の変化は、太陽活動の変動、惑星間の潮汐力、海洋の振動、北極振動などの影響を大きく受けることが長年の観測結果より解明されている。地球全体の地表－海洋の平均気温観測データからは、2000 年以降横ばいだった気温変化が下降局面に入っていることが示されているが、北極振動などの影響で局所的に高気温が観測される地域もある。1978 年からの気象衛星観測により、北極海氷面積は観測当初と同じ水準まで回復していることが分かっている。地球は既に間氷期から氷期に向かう長いトレンドに入った、とみる科学者が多い。IPCC を中心とした気候変動政策は、急激な地球年平均気温の低下を防ぐ科学的対応策の検討組織や、変化する気候に人類が適応していくための手段を検討する組織で対策が進められている。

かつて CO₂排出削減に商機を得た環境ビジネスは、大きく衰退している。CO₂大気中濃度上昇と地球年平均気温の変化に相関がないことが示されたことで、世界中で石炭資源の争奪戦が繰り広げられると同時に、NO_x排出を極限まで低減した石炭火力発電所、煤煙をガス発電所並みまで抑えた排煙装置が稼働している。市場が石炭のポテンシャルに着目したことで、原油価格が急落しエネルギー価格が安定をした。採掘技術が進んだことで、石炭可採埋蔵量は年々増えているが、将来の石炭枯渇に備え地熱利用の技術開発が進んでいる。

米国上院公聴会は温暖化問題の混乱を招いた 1988 年 6 月の証言を重くとらえ、科学的知見を問う証言制度の大幅見直しを進めている。自然変動に起因し長期トレンドで地球年平均気温が低下していくことに、各国が共通の視点から議論し準備を進めている。

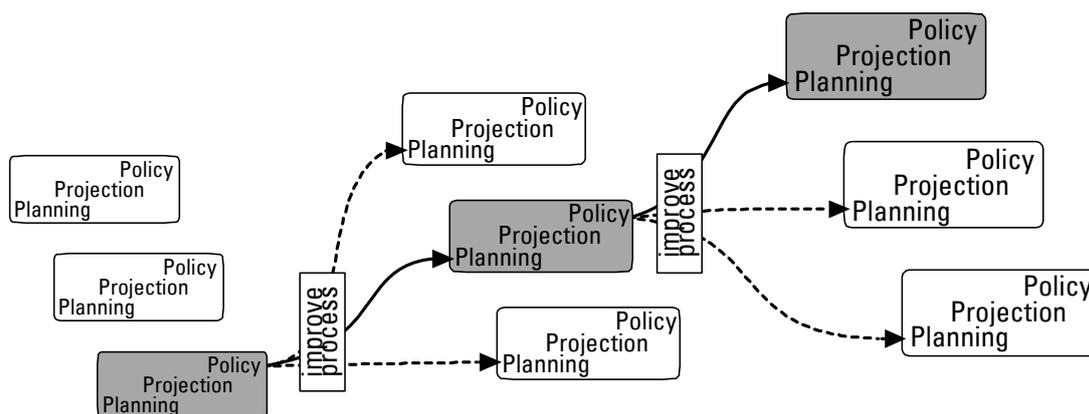


図 6-5 3P モデルの概念図

規制により温暖化対策投資を強いられた産業界は、本来の投資を実施している。CO₂ 排出抑制が気候変動に影響を与えなかった事実を知る私たちは、非人為的に変化する気候や気象に対し柔軟に受け入れる準備が整っている。CO₂ 排出量集計スキームは、今ではエネルギー使用の合理化の指標のひとつとして利用されている。

6-6 シナリオ・プランニング型 プロジェクション・マッピング

シナリオ・プランニングは、フレームの中で複数の未来が可能性とともに変化する因果関係や支配的因子について、シナリオ利用者に未来世界の問いかけやハイレベルな議論を投げかけることが目的である。不確実性の高い未来を扱うシナリオ・プランニングでは、幅の狭い、システムダイナミクスのような確度高い未来に適用する 3S モデルは不適であるため、3S モデルの拡張版である 3P モデルを考案した（図 6-5）。

プランニング（Planning）、推定（Projection）、政策判断（Policy decision）からなる 3P モデルは、演繹的に作成された未来世界のあるシナリオが現実となった時、その時点で得られる、もしくは想定される因子をもとにシナリオ・プランニングにより次の未来を表現する。政策決定者（意思決定者と読替えても良い）がこのプロセスを継続・改善していくことで、質の高い意思決定を行うことが可能となる。また、3S モデルと違い確度の低いシナリオ・プランニングを定性的に表現するために、未来世界で政策決定者がどのような判断を行う可能性があるか、バランススコアカードを拡張したプロジェクション・マッピング（Projection Mapping）を利用するとマネジメントが円滑になる。未来世界での判断材料を想定したプロジェクション・マッピングは、演繹的アプローチが示す

表 6-6 政策決定者向け プロジェクション・マッピングの例

	未来要素のマッピング	想定される因子	政策決定者の判断
環境		<ol style="list-style-type: none"> 1. 農作物不作 2. 凍死者増 3. 局所的な高気温発生 4. 降雨・降雪増 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 農業技術開発推進 2. 住民の集団移転の検討 3. 気候脆弱性の理解、対応指示 4. 治水整備、冬季の集団移転
経済		<ol style="list-style-type: none"> 1. 石炭技術の急速な発展 2. 化成品業界の復活 3. 重電業界の加勢 4. 新たな投資指標の開発 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 石炭利権の買い付け指示 2. 補助金配賦による後押し 3. トップセールスの加速 4. 有報への環境負荷指標記載義務
外交		<ol style="list-style-type: none"> 1. エネルギー安全保障安定 2. UNFCCC の解体 3. 新たな環境カードの登場 4. 途上国のエネルギー開発支援 	<ol style="list-style-type: none"> 1. エネルギー価格引き下げ指示 2. 環境官庁のミッション見直し 3. 候補の事前調査指示 4. エネルギー開発の国策化
政策		<ol style="list-style-type: none"> 1. 不確実性を許容する政策 2. GDP 成長を牽引 3. セカンドオピニオンの利用 4. 探索型政策立案の普及 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 新たな政治スタイルの構築 2. 経済成長を見越した金融緩和 3. 他者意見伺いのルール策定 4. 多視座的政策による実行確実性

未来世界ごとの判断ツールとして、3P モデルが次のプロセスに移行するごとに作成する。詳細すぎる情報は、政策決定に有意の影響を及ぼしかねないため、簡便に、情報の展開を求める道具としてプロジェクション・マッピングを使うことができる。

表 6-6 では、自然変動を重視した記述型シナリオに対する「政策決定者向け プロジェクション・マッピングの例」を作成した。ある時点の未来を想定し、その時に想定される因子や判断の可能性について、シナリオに対する政策決定者の判断材料となる概要を提供するものである。例では、未来指標と想定される「自然変動」「CO₂濃度規制緩和」「氷河期へ向かう」というベクトルを設け、政策決定の判断材料となる「環境」「経済」「外交」「政策」について事象の連関、想定される因子やそれに対する政策決定者判断の想定事例をマップ化した。シナリオと合わせたプロジェクション・マッピングは、シナリオ利用者による活発な議論を呼び起こし、未来社会での事象を利用者自らが考えることを促し、論理的・分析的な思考を可能とする。将来を俯瞰したとき、どう変化するか知りえない未来について、シナリオごとに想定される未来要素を列挙しておくこと

で、将来の意思決定がスムーズになると示唆される。このようにプロジェクション・マッピングは、シナリオ・プランニングを P2M で具体化するのに有用である。

6-7 考察 -気候変動問題とシナリオ・プランニング-

これまで P2M が扱ってきたシナリオは、あるべき姿を想定したフォアキャストイングやバックキャストイングといった規範型シナリオであった。線形的なステップを辿ることで、シナリオである事業計画などが単一化され、潜在的な将来リスクが拡大する可能性を秘めている。一方、探索型であるシナリオ・プランニングは、不確実性を伴いながら非線形的な変化を経て到達する未来を、論理的・分析的に思考することが目的のマネジメントツールである。未来に影響を与える決定因子は何か。将来の考えられる未来リスクは何か。政策決定者がいくつかの未来社会を理解することで、多視座的に、不確実で制御不可能な未来をマネジメントすることが可能となる。ここで、気候変動問題にシナリオ・プランニングを適用することで得られるプログラムの価値について考察を行う。

規範型シナリオである IPCC 型シナリオは、かつて掲げたあるべき姿と現実が大きく乖離し、現実とシナリオが破綻しているといえる。規範型シナリオ適用が限界に達している気候変動マネジメントの場合、IPCC 型シナリオのように CO₂ という指標が単純すぎるため国際協調を述べるにはそぐわない。同じ CO₂ 濃度、気温だとしても、社会環境は協調関係で変化するものであるからである。そこで、シナリオ・プランニングを気候変動問題に適用する価値を、「経済」「外交」「学術」面から評価した。

6-7-1 経済価値

2013 年 5 月、はじめて大気中 CO₂ 濃度が 400ppm に達したことを受け、国際エネルギー機関 (International Energy Agency) は 2020 年までに気温上昇を 2°C 以内に抑制するためには、BAU (business as usual) で 19 兆 US ドル、クリーンエネルギーへの転換は最低でも 5 兆 US ドルの追加投資が必要だとしている (International Energy Agency, 2013)。これらの投資で技術革新が進むことは期待できるが、2012 年の米国 GDP 16.2 兆 US ドル、日本 GDP 518 兆円と比較すれば、IPCC 型シナリオのままでは回収できない莫大な投資が発生することになる。また、財政面からエネルギー等重要課題の改善を分析する Climate Policy Initiative は、投資のスピードが頭打ちになりつつあるが 2013 年には 3590 億 US ドルの投資がなされると推計している (Climate Policy Initiative, 2013)。従来の

未来学的な IPCC シナリオは権威あるコンセンサスと認識されているため、地球温暖化の主要因とされる CO₂ 排出を抑制するために、世界では巨額な投資が横行している。一方、CO₂ の持つ温室効果は観測レベルで強い相関があるとは言えず、科学的には自然変動要因の効果を無視することは出来ない。強いコンセンサスに認識が支配されるのを避けることができるシナリオ・プランニングは、複数の未来を演繹的にマネジメントし、気候変動を理解し国際社会が正しく適応をしていく機会を与えることができる。気候変動対策として提出される過剰なまでの回収できない投資が見直されれば、19 兆 US ドルにも及ぶ資金が市場に流れ、経済への好影響は十分に可能性がある

6-7-2 外交価値

気候変動問題により影響を受ける各国の最重要政策は、エネルギーの継続的な確保と供給である。可採埋蔵量が 8,609 億トンとされる石炭は (BP, 2013) 最も安定したエネルギー源とされるが、他エネルギー源と比較し燃焼に伴う CO₂ 排出量が多いことで先進国を中心に利用拡大の動きが抑えられている。それにより、天然ガス資源などの低 CO₂ 排出エネルギー源に需要が集中し、投機的な価格高騰を招き外交カードの一つとなっている。ICPP 型シナリオの破綻が既知となったいま、気候変動に対する演繹的アプローチにより外交的価値を創出できる。例えば、石炭利用により懸念される環境への影響は、燃焼に伴うエアロゾル排出である。燃焼により発生する二酸化硫黄は硫酸塩エアロゾルの主成分であり、偏西風や季節風にのり近隣諸国の健康被害を引き起こし人的資源の損失を招いている。この状況を踏まえ論理的・分析的に探索型シナリオが作成されれば、低エアロゾル排出の石炭利用に向けた技術革新や国際間協力が推進され、人的資源損失の機会を防ぐことができ、外交的価値が創出される可能性がある。

6-7-3 学術価値

科学分野のコミュニティは、新しい知を創出する訓練は受けていても、世間とのコミュニケーション方法や研究スポンサーから研究内容について独立である訓練は受けておらず、また専門家間において論議や証拠を十分に説明することはほぼない (Oreskes, 2007)。科学者は、研究領域での大勢意見に反することはなく、ある時点での事実が科学のコンセンサスとなる。ところが気候変動に関しては、科学的知見がコンセンサスに至るプロセスが異なる。各国の利害に大きな影響を及ぼす気候変動は、政治的に気候変

動コンセンサスがもたらされている。非常に強く政治色を帯びた、科学研究機関ではない IPCC により主導される気候変動問題は、学術領域に大きな影響を及ぼしている。気候変動科学の場合、政策的に予算化されコンセンサスペースの研究が優先される傾向が強く、研究の多様性が失われている。シナリオ・プランニングは、制限された状況から思考を解放することが可能である。意図的にコンセンサスから脱し、気候変動要因を多眼的にとらえ多視座的に未来の可能性を構築するスキルは、気候変動への適応性を高めるだけでなく、学術領域では多方面で多視座的な思考を研究プロセスに適用できる価値がある。

6-7-4 P2M 方法論 シナリオ・プランニングの拡張

気候変動マネジメントへの規範型シナリオ適用が限界に達している、という考察はこれまでなされていない。気候変動のように支配的因子が不確実な場合、未来社会を演繹的に推論しマネジメントすることが方法論として求められる。環境行政のさらなる役割が求められるいま、P2M における行政系マネジメント手法の開発は、今後の P2M 適用範囲拡大に必要不可欠なテーマである。バランススコアカード拡張版であるプロジェクション・マッピングなど、方法論に応じた新たなツールを開発することも P2M の発展に求められる。第6章では、シナリオ作成者が状況に応じて規範型シナリオ・探索型シナリオを選択し、さらには帰納的そして演繹的なアプローチをテーマや対象の違いによって適宜使い分けられるよう、気候変動を例に理論展開を試みた。シナリオ・プランニング事例研究を通じた、P2M 方法論の拡張が求められる。

6-8 総括

シナリオ・プランニングを P2M 方法論の一つとして注目したのは、シミュレーションに頼らない未来社会への適応力を高めるためである。周辺環境の複雑性や将来の不確実性が増す非線形な社会において、論理的思考により未来社会をマネジメントする新たな P2M 型シナリオ・プランニングの提供を行った。第6章では気候変動問題を事例に、P2M に新たなシナリオ適応力を付与する理論を構築し、非線形な未来社会に対するシナリオには探索型アプローチが不可欠であることを示した。環境行政では、種々のシナリオが前提としてサービス構築がなされている。第6章で示唆するように、行政に向け

た未来社会シナリオはこれからの行政スタイルを変える可能性を秘めている。P2Mでの更なるシナリオ理論研究は、その潜在価値が高いだろう。

第7章 社会システムの動的不安定性からみた

プログラムマネジメント手法

－ 気候変動問題を事例に －

7-1 7章の概要と構成

これまで述べてきたように、不確実性の高い環境問題等を扱うプログラムは、心理的影響を受けたコンセンサスやイデオロギーに支配され、多様性や思考の柔軟性を欠いたレジリエンスの低い状態にある場合が多い。安定解を求める従来のプログラムマネジメントは、プログラム全体の柔軟性を損ねてしまう。そこで、気候変動のように支配的因子が不確実なテーマへの対応とし、未来社会を演繹的に推論しマネジメントするために、第6章ではシナリオ・プランニングを展開しマネジメント法を開発した。

第7章では、これまで論じたプログラムマネジメントを発展させ、気候変動問題のプログラムが人々のメンタリティや心理の影響を受けていることを加味し、複雑系の概念である動的不安定性をプログラムマネジメントに導入し、未来社会のレジリエンスを増す管理手法研究を行った。気候変動問題を事例に統合的思考法を用いた情報整理を行い、動的不安定性を導入する手法を一般化した。レジリエンスの概念を管理手法に取り入れることにより、持続可能な社会を構成するプログラムマネジメント論の新たな可能性を示唆した。

はじめに7-2では、環境課題は政治的な力が作用し「あるべき姿」がコンセンサスに支配されている可能性を示し、不確実な未来に対する適応力を高めるための、社会システムの動的不安定性からみたプログラムマネジメントを導入する論点の確認を行った。

7-3では、気候変動問題を扱うプログラムは、最新の自然変動要因の研究成果を反映せず、GHG以外の要因を無視する傾向にあることを示した。そして、UNFCCCやIPCCが既に人為的CO₂排出を気候変動の安定解とほぼ決定づけてしまい、その思考から脱することができない状態であることを概観した。

7-4では、劣化状態の気候変動マネジメントプログラムが自然状態へ転移するために、プログラムマネジメントに生態系レジリエンスの様な動的不安定性のフレームワークを構築する提起を行った。ここでは、複雑系と不安定性の概念をプログラムに取り入れ、

システムに対するダイナミズムの導入方法、包括的な現実を多視座的に把握するための統合的思考法の整理を行った。

7-5 では、動的不安定性の導入プロセスを示し、気候変動問題におけるマネジメント手法の一般化を行った。マネジメント対象の統合的思考法を用いた現状分析、プログラム全体の理想状態分析、そして **Polarity Management** および **Multiple Optimum Management** による手法の一般化を行った。

7-6 では、プログラムマネジメント手法に複雑系概念を取り入れ、持続可能な社会を構築するプログラムマネジメント論の意義について考察を行った。

最後に、7-7 では全体の総括を行った。

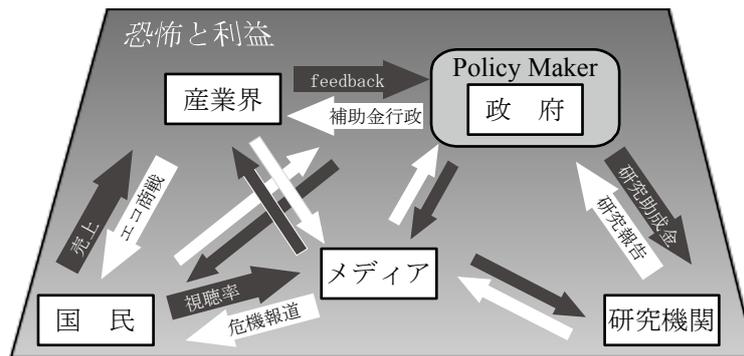


図 7-1 気候変動問題のステークホルダーを支える恐怖と利益

7-2 気候変動マネジメントと不確実性

不確実性を伴いながら非線形的な変化を経て到達する制御不可能な未来に対しては、シミュレーションに依存せず適応力を高めるための探索型シナリオが不可欠である。しかし、社会では長期的な将来像に対する不確実性を受容しているケースは少ない。プロジェクト・プログラムマネジメントが扱ってきた「あるべき姿」を想定したフォアキャストやバックキャストである規範型シナリオも、シナリオが単一化され潜在的な将来リスクが拡大する可能性を秘めている。そこで第6章では、気候変動のように支配的因子が不確実なテーマを扱う行政系マネジメントを取り上げ、未来社会を演繹的に推論しマネジメントする方法論“シナリオ・プランニング”を展開し、気候変動対策のマネジメント法を開発した（栗原、伊藤, 2014）。現代の急速かつ不連続的な環境変化の中では、プログラムマネジメントには不確実性要素への的確な対応が求められている（小原, 2003a, 2003b）。しかし、政治的な力が作用する傾向にある環境行政では、「あるべき姿」がコンセンサスによって支配されていることが多く（Oreskes, 2007）（Demenitt, 2001）（図 7-1）、不確実な未来社会への適応力が低い。このコンセンサスによって、人々の考え方や感情を律する思考パターンは多様性を欠いた状態に陥っている事実を直視しなければならない。そして、プログラムの多様性が失われている状態を認識し、コンセンサスから思考を解放し不確実な未来への適応力を高めるための、社会システムの動的不安定性から見たプログラムマネジメントが望まれる。

従来、プロジェクト・プログラムマネジメントではあるべき未来を基盤にしたプログラムを展開してきたが、気候変動対策をはじめとする不確実性の高い環境問題などは、プログラムマネジメントを通して未来社会のレジリエンスを高めるフレームワークが必要である。そこで第7章では気候変動問題を事例として取り上げ、公共益を目的とした大局的なプログラムマネジメントに対し、生態系レジリエンスのような動的不安定性

状態を導入する。システムに対して動的不安定性状態を導入するために、はじめに社会全体が対極的視点を持つことができる理想的な状態の分析を行い、次に理想形が適用できない不確実性が多い状態の分析を複雑系の視点から行うことで、持続可能な社会を構築する新たなプログラムマネジメント手法を論じる。

7-3 多様性を欠いた気候変動問題プログラム

人類は、太古の昔より環境に影響を与えてきた。古代には灌漑による都市文明の発達、中世には開墾による森林の衰退、近世には産業革命に伴う都市人口急増による公衆衛生の悪化、現代ではベトナム戦争における軍事目標としての環境破壊が記憶に新しい。それぞれの時代の環境問題はしばしば権力者社会の要請によって解決をみてきた。国連が人間環境会議（1972年、ストックホルム）において地球規模の環境問題を政治・経済・外交のテーマとして取り上げたことで、環境問題は政治課題としての側面が強くなった（馬場, 1979）。現在の政治課題としての代表格は気候変動であり、IPCCが中心となったプログラムが構成・運用されている。IPCCが数年ごとに発表する評価報告書には、人類がCO₂排出を抑制できないときの地球平均気温上昇の影響が記載され、気候変動に関するバイブルとして認識されている。評価報告書が掲げる危機を回避するため、欧州諸国をはじめとする主要先進国ではGHG排出削減や再生可能エネルギー、産業の環境負荷低減などを目指したグリーン・イノベーションに対する政治的支援が行われている。しかし、近年の気候変動に関する自然変動要因の最新研究成果（Spruit, 1991）（Robock, 2000）（Gao, 2007）（Itoh, 2010）（Aono, Kazui, 2008）（Solanki, *et al.*, 2004）（Casey, 2014）（伊藤, 2015）（宮原, 2015）（田中, 2015）（安田, 2015）は反映されていない。これは、UNFCCCが気候変動自身の制御ではなくGHGの濃度制御を最終目的としているため、IPCC評価書においてもGHG以外の要因を無視する傾向があり（伊藤, 渡辺, 2008）、さらに評価報告書にある政策決定者向けの要約（Summary for Policymakers）を基に、各国の気候変動に対する行政が進められていることに起因している特殊な例である。そもそもIPCCはintergovernmentalとあるように、複雑な国家間の課題を各国の有利に働くよう結論を導く性格がある。そのため、現状の気候変動政策と違う知見を取り入れることは、これまで政治・経済・外交が作り上げてきたプログラムという物語を否定することになりかねず、思考の単純化を進めてきた西洋メンタリティの影響が出ていると考えるべきである（栗原他, 2012）。

IPCC が発行してきた評価報告書を読み解くと、IPCC 主導の気候変動プログラムが発行の度に多様性を失い、単純化されてきた状況を確認することができる。IPCC は、これまで 1990 年 第 1 次評価報告書 (FAR) (IPCC, 1990)、1995 年 第 2 次 (SAR) (IPCC, 1995)、2001 年 第 3 次 (TAR) (IPCC, 2001)、2007 年 第 4 次 (AR4) (IPCC, 2007)、そして 2013 年 第 5 次評価報告書 (AR5) (IPCC, 2013) を公表している。FAR では、IPCC 創設後間もないこともあり、科学的評価において人為的 CO₂ 排出は増加傾向にあるものの、大気と海洋間、大気中と地上の間の CO₂ の自然変動による変化に比べれば十分に影響は小さいとしている。その後、徐々に人為的温暖化の考えが強くなり、TAR では「地球温暖化の原因は人間活動である確率が 66%」と表現され、AR4 では 90%、そして AR5 では 95%まで上昇しほぼ断定している。しかし、あくまでこれは報告書筆者たちの「確信」に過ぎない (伊藤, 2015)。2012 年の Large と Yeager の論文では (Large, Yeager, 2012)、大気と海洋間の熱収支を解析し、温度上昇原因について温室効果ガスの増加は原因ではないとしたが、この重要な論文は AR5 の最終版になるまで原稿には加えられていない (伊藤, 2015)。これは、UNFCCC や IPCC が既に人為的 CO₂ 排出を気候変動の安定解とほぼ決定づけてしまっているため、その思考から脱することができない状態であることを示している (図 7-2)。

このように、気候変動プログラムが硬直化した要因は、現状の UNFCCC や IPCC を頂点とした気候変動対策の行政機能が、既に恐怖や利益といったもっぱら心理的な側面によるものが多く、多視座的なマネジメントがなされていないことが挙げられる (伊藤, 渡辺, 2008)。気候変動プログラムは、IPCC、国家、学術、産業、マスメディアなど多数の要素が強く相互作用する状況にあり、カオス的である。そして、政治経済色が強くなることで情報が多岐にわたり複雑性が増している。GHG 濃度安定化を目指した UNFCCC も、多種の情報が CO₂ 排出抑制へと単純化されエントロピー障壁 (プリゴジン, スタンジェール, 1987) となっている。

気候変動マネジメントに関するプログラム自身が、解決課題が単純化されたことで既に負の領域に突入した劣化状況下であり、恣意的に膠着した状態から脱するフィードバックプロセスを進めなければ進化することができない。そのために必要な作業は、種々の情報を多視座的に各々の差異を尊重しながら、どれかひとつに固執せず統合していくことである (青木他, 2010)。プロジェクト・プログラムマネジメント等における不合理な行動 (アカロフ, シラー, 2009) の存在への理解が深まったことで、従来型の線形的プログラムからダイナミックな変化を導き出すマネジメント方法を提供する必要性

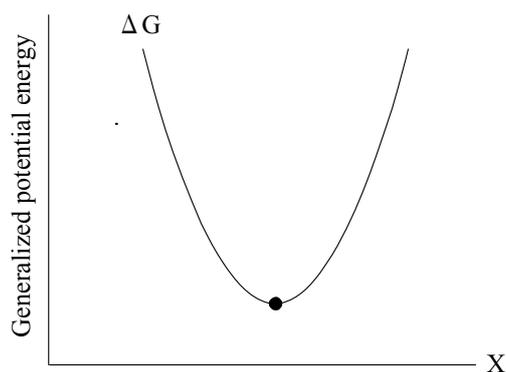


図 7-2 安定した系（アトラクタ）。定常解は平衡状態を示す。

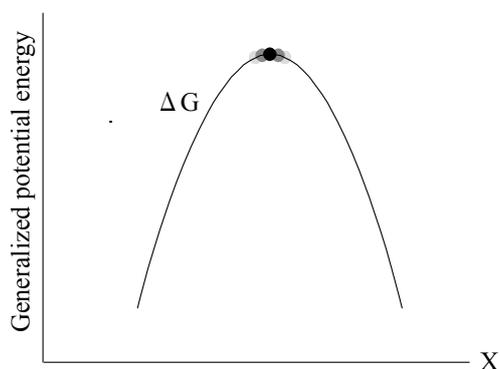


図 7-3 系が複雑になり不安定化した状態。生態系などの非線形では不安定状態を保つために、不安定点の周りでシステムが揺らいでいる。

が示唆される。次節以降では複雑系課題に対するプログラムについて、ダイナミックな思考をもたらす手法を展開する。

7-4 プログラムマネジメントへの動的不安定性状態の導入

コミュニケーションを重ね不可逆的に豊かになった人間の知は、カオス状態で相互作用を繰り返し、カタストロフィを迎える。意思をもつ人間が利権というパラメータを回避することは難しく、情報は個別の利益を求め一方向の時間とともに臨界点を過ぎてしまう。気候変動問題のように経済市場や世論、さらには政治を巻き込んだ複雑系は、相互作用を大きく変化させる可能性がある一方、生態系のレジリエンスのように情報の「劣化した状態」を「自然状態」へ転移することも起こりうる（雨宮, 2006）。劣化した状態の気候変動マネジメントプログラムが自然状態へ転移するためには、プログラム

マネジメントに生態系レジリエンスのような動的不安定性のフレームワークを構築することが必要である。

気候変動マネジメントプログラムの未来社会でのレジリエンスを高めるには、硬直化した思考を解放し鳥瞰的な視点を持つことだが、統合的な思考を妨げようとするのは、ある一つの物語を絶対化しようとする私たちの心理的な傾向だと言われている。現状の人為的 CO₂ 排出が気候変動の主要因と一般化されているように、IPCC 型気候変動マネジメントは固定概念化した知に支配されており、思考の柔軟性を欠いたレジリエンスが低下した安定状態にある。

この状態を気候変動に関する心理的要素、それに影響された多数のステークホルダーなど、多くの要素数、関係性の割合（連結の割合）といった構造の側面においてとらえると、Gardner と Ashby が「複雑-不安定性」の法則を要素数 n と要素間の連結度 c (c の割合) を用いて数学的に示したように、連結の割合が同一であるとき n が大きいほど、また、要素数には関係なく c が増大するにつれ、平衡状態の安定性の確率は低下する、という状態が示されていると考えてよい (Gardner, Ashby, 1970) (鞠子, 1996)。すなわち、系の複雑性が増すほど、その系の平衡安定状態 (図 7-2) が出現する確率が低下することを示している (May, 1972)。

気候変動対策は、多種多様なステークホルダーが関与しながらその防止策が講じられ安定的に組織されているように理解されがちだが、複雑系からの最新の研究成果からすれば安定にマネジメントされた状態ではないことを示すことができる。一方、システムが複雑 (非線形状態) になり平衡状態が不安定化すると (図 7-3)、安定な非定常解 (アトラクタ) が不安定化した平衡解の周りに出現し、そのような複数のアトラクタが存在する場合、アトラクタから別のアトラクタへ簡単に移動することで、多様性が増した系は動的に安定すると予想されている (Holling, 1973)。さらに、より多くの相互作用する要素があれば、より多くの安定な非平衡状態が存在し、それらの状態が時間・空間的な移り変わりをもたらすことで系のレジリエンスは増大するのである (Holling, 1973)。

従来は多様な意見が生み出す状態やシステムは時間的に変化することない平衡解のように安定だと認識されてきたが、複雑性と安定性の理論では従来とは違った結果を得ている。固執してしまった固定概念のような平衡安定点 (図 7-2) は、外力を加えなければ動くことがない。その一方、多くの社会の構成人員を確保するなどして社会が多様性に富んだポテンシャル状態が増えると、平衡点は不安定になり、自発的に不安定平衡点の周りをゆらぐ非定常点が登場するようになる (図 7-3)。

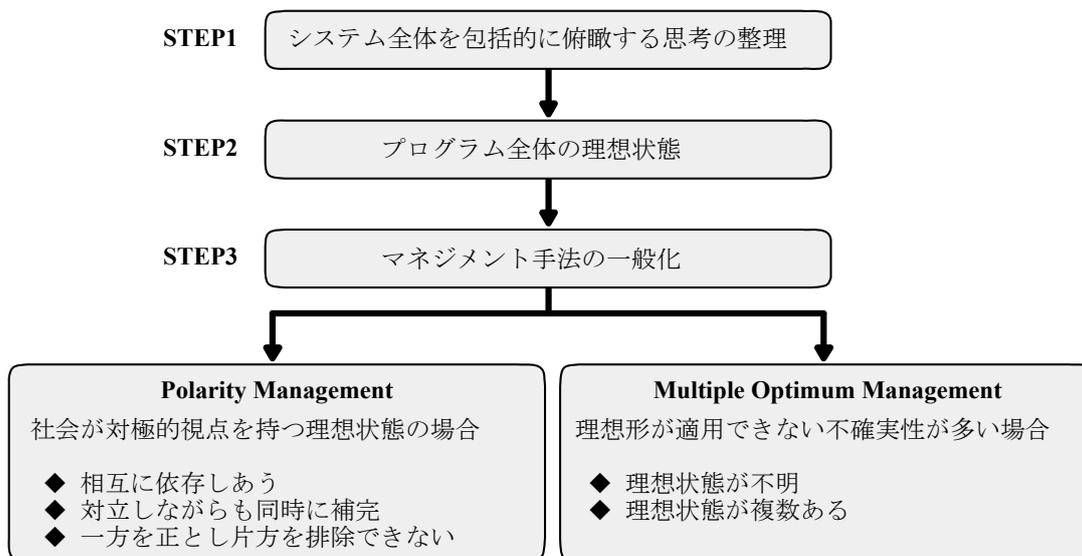


図 7-4 動的不安定性の導入プロセス

取り巻く社会状況の変化に合わせ、遷移をし続ける持続可能な状態が実現するだろう。複雑系と不安定性の概念をプログラムマネジメント理論に取り入れることで、要素数や連結度を考慮した不安定状態をマネジメントし、複雑系の特性である不安定性が系をローカルオプティマム (local optimum) に至るダイナミズムを導き、多様な組織が共存しプログラム自身も進化していくレジリエンスの増した動的な持続可能社会を提供できると考える。

7-4-1 ダイナミズムの導入方法

システムにおいて単純化された一つの安定解は、プログラム全体の柔軟性を損ねてしまう。気候変動問題の場合では、人為的 CO₂ 排出による地球温暖化、また CO₂ 排出抑制による地球温暖化の制御という固定概念である。そこで、プログラムマネジメントに対してダイナミズムを導入し、複雑系の視点から未来社会のレジリエンスを増す手法を提供する。導入では次の3段階 (図 7-4) により、包括的な思考の整理を行いプログラム全体の理想状態を導き、その理想状態を適用できるかの状態別により表 7-1 に示す管理手法を適用する。

表 7-1 複雑系システムから見た未来社会のレジリエンスを増す管理手法

理想状態適用可否	適用する管理手法	適用条件
適用可能	<p>Polarity Management 理想的な対極の状態を維持する</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 相互に依存しあう ● 対立しながらも同時に補完し合う ● どちらかを正解としてもう片方を排除できない (鈴木, 2011) 図表 4-1 より)
適用困難	<p>Multiple Optimum Management 理想形を示せない動的不安定状態の導入をする</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 理想状態が不明のとき ● 理想状態が複数あると考えられるとき

STEP1 従来型のマネジメント手法では、コンセンサスに影響を受け多くの欠陥を内包する可能性が出てくる。そこで、これまでプログラムを構成していた従来のコンセンサスやイデオロギーの影響を排除し、システム全体を包括的に俯瞰するための典型的な思考の整理を、統合的思考法 (integral thinking) を用いて行う。

STEP2 次に、気候変動問題プログラム全体を取り巻く不安定性が排除され、プログラム全体が理想状態を示している状態を導き出す。

STEP3 システムに対して動的不安定性を導入するには、大きく二つの手法が考えられる (表 7-1)。社会全体が対極的な視点を持つことができている理想的な状態においては、物語化された気候変動に関するこれまでのコンセンサスを是とする立場、気候変動要因に自然変動を挙げる立場の両方から、統合的思考法を気候変動問題に拡張し、Polarity Management により便宜的な一般化 (orienting generalization) を試みる。理想形が適用できない不確実性が多い場合には、動的不安定性の視点から Multiple Optimum Management によりプログラムの一般化を実施する。多様な組織が互いに共存できるレジリエンスの増した未来社会の構築を目的に、ダイナミックな不安定状態を築くために必要な新たなプログラムマネジメント法を展開する。

STEP3 の後者で示す状態は、ゆるやかな結合度により複雑-不安定性を回避し不安定性をコントロールする状態である。様々なステークホルダーが関与をはじめると、そういった固定概念や代表するような意見がもっと多様に出てきて、時間には固定化されず、時間とともにある程度の幅を持っている状態である。

7-4-2 統合的思考法適用による characterization – インテグラル・シンキング –

プログラムを構成する不完全な情報や視点が多数存在し、真実や盲点、限界も内包されていることを知り、そして不完全な情報や視点を統合することを通して、より完全な全体像を構築することが求められる。人はレンズを通して世界（object）を見ており、またそのレンズは一人ひとり違う。

それぞれのレンズを通して集められた多岐にわたる情報を精査し、重要な事実を導き出すことが統合的思考法（integral thinking）である（鈴木, 2011）。世界を観察、探究、理解しようとする、何らかのレンズを通しているために観察対象を無意識に浮かび上がらせてしまい、特定領域が明らかになると同時に他領域が不鮮明になる。そこで、個々のレンズを通した視点を組み合わせ、できる限り世界を包括的にとらえることがインテグラル・シンキングの基本である。単なる情報の整理法や道具（tool）としてではなく、統合的思考法を利用する人の意識や存在そのものを変容させるための活動（activity）として実践する。

人の意識と知識をより進化させるために必要なアプローチとして、以下の3段階を挙げる。

- i. あらゆるものを尊重、包括し、排除しない（非排除）
- ii. そうして得られたより包括的視点から、いま現在の状況に対しどれが適切な方法化を見極める（展開）
- iii. それらの方法を使って、リアリティに働きかける（生成）

そして、また新たな現象が生じ、現在状況も変わることで新たなアプローチプロセスがはじまる。しかし、世界の見方は多元的であるため、多岐にわたる現実に触れるためには「内面（主観）と外面（客観）」と「個（個体・単数）と集合（社会・複数）」の4つの領域から統合的に理解する必要がある。人が経験するあらゆる状況や課題は表7-2の4つの領域が内包されているが、真に包括的に現実を把握するためには、これら4つの領域に属する情報をバランスよく収集し、統合することが重要である。

表 7-2 世界の4領域 ((鈴木, 2011) 図表 1-2 を改変)

	内面 interior	外面 exterior
個 individual	主観的 (経験的) 私 (I)	客観的 (行動的) それ (IT)
集合 collective	私たち(WE) 社会的 (価値的)	それら(ITS) 文化的 (制度的)

4領域分析では対象や課題を設定し、各領域の視点に立ってそれらの情報を整理する。情報を収集するときには、単にたくさんの情報を収集するのではなく、すべての領域を考慮することが必要である。左上領域（個の内面）は、問題や課題に取り組む関係者ひとりひとりの主観領域で、設定した課題などについて自身が感じていること、考えていることが挙げられる。左下領域（集団の内面）は、関係者が共有している空気や風土や文化であり、常識や規範、世界観や価値観が入る。右上領域（個の外面）は、関係者ひとりひとりの客観的な領域で、第三者が観察できる具体的な行為や行動、表情や姿勢などの動作が該当する。右下領域（集団の外面）は、コミュニティの客観的に観察できる領域で、関連する組織などの物理的な側面が相当する。そしてそのときどきで課題の性質を統合的に見極め、対応するために適切なレンズを選択できることが統合的思考に求められる。

7-5 動的不安定性の導入プロセス

動的不安定性の導入は、図 7-4 で示す3つのSTEPで行う。STEP3では、マネジメントにおける理想状態の状況に応じ、2つのマネジメント手法を選択することができる。

7-5-1 STEP1：統合的思考法を用いた現在状況分析

気候変動問題におけるマネジメントの便宜的な一般化とは、人為的 GHG 排出による地球温暖化を主張する側、さまざまな自然変動要因による地球規模の振動を主張する側、双方の考える全体像を認識することである。IPCC の第4次評価報告書 (AR4) や第5次評価報告書 (AR5) が中心となる人為的 GHG 排出による地球温暖化を主張するグループを集団 A、気候変動要因に自然変動などのその他要因を挙げるグループを集団 B として、それぞれの視点から気候変動問題に対する現在状況分析を行う。

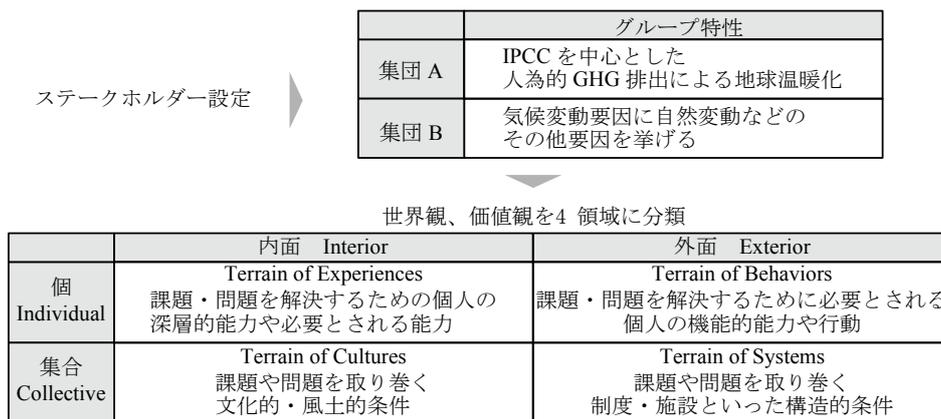


図 7-5 集団が問題に対処するための4領域分析（下段図は（鈴木, 2011）図表 6-2 を改変）

まず、気候変動問題に関するステークホルダーとして、集団 A、集団 B を設定する。それぞれの組織が考える世界観（object）や価値観（subject）を、表 7-2 で示す世界の4つの領域を具体的に記述する（図 7-5）。統合的思考法により4つの視点を通して概観し、集団 A、集団 B が問題に対処するために必要な最小限度の情報共有を可能とする。この4領域分析では、気候変動問題について、課題・問題を解決するための個人の深層的能力や必要とされる能力（experiences）、課題や問題を取り巻く文化的・風土的条件（cultures）、課題・問題を解決するために必要とされる個人の機能的能力や行動（behaviors）、課題・問題を取り巻く制度・施設といった構造的条件（systems）の4側面に分類し（鈴木, 2011）、それぞれの異なった立場から気候変動問題に適応していくための十分な理解を提供するものである（O'Brien, Hochachka, 2005）（Esbjörn-Hargens, Zimmerman, 2009）。

表 7-3 では、UNFCCC や IPCC が主張する人為的 GHG 排出による地球温暖化の立場に立った集団 A の4領域分析を行った。集団 A は、政治的な国家の利益・企業の利益といった背景の中で、研究助成や設備投資に関する補助金が下支えをし、環境のために、環境にやさしい、といったイデオロギーに支配されている傾向が強い。一方、表 7-4 の集団 B に関する4領域分析では、CO₂ を中心とした気候変動研究の陰に隠れてしまうため、十分な外部環境による支援がなされていない可能性がある。気候変動に関する研究は、太陽活動や火山活動などの観点から幅広く行われているが、十分な発信ができているとは言い難い。

表 7-3 集団 A の 4 領域分析

	内面 interior	外面 exterior
個 individual	<p>Terrain of Experiences</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ advocacy 的役割の大義を持つことで、充実感や正義感を心理的な reward として感じている。 ➢ 科学者はその時代の社会的・政治的制約を無意識に反映させている。 ➢ イデオロギーに呪縛されている状態で、客観的な視点に脆弱性がある可能性。 ➢ 視たくないものを拒絶・隠蔽する自己欺瞞。 	<p>Terrain of Behaviors</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ シミュレーションによる気候変動予測を絶対視し、CO₂以外の可能性を排除する傾向。 ➢ 都合の良い論文ばかりを研究する傾向。 ➢ 政治論争や利己的な国家利益、国際企業によるロビー活動で、政治権力と距離感が近い。 ➢ シミュレーションモデルに頼り、将来予測が中心となる研究動向。 ➢ 文脈を無視し少ない科学的情報で判断傾向。 ➢ 多面的な情報収集力に欠ける傾向。
集合 collective	<p>Terrain of Cultures</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 排他的で、救世主的な願望がある。 ➢ IPCC 加盟国が自国の都合の良いデータを強調する傾向を避けられない。 ➢ “多勢に無勢”状態で反論をしづらい傾向。 ➢ 気候変動被害を被っていると悲惨さをアピールし、政策の具にしている国がある。 ➢ メディアは公平に科学的な側面から気候変動問題を取り扱っていない。 ➢ AR4 や AR5 の慢性化がみられる。 ➢ 既に CO₂ 要因による気候変動の確証バイアスが確立している。 ➢ 社会はエネルギー確保のため、石炭供給能力を増している。 	<p>Terrain of Systems</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 低環境負荷に関連する産業と IPCC などの思惑が一致している。 ➢ 環境産業（自動車・電機など）のイノベーションを誘導している ➢ 炭素税により国の税収が増え、排出量取引で投資家が利ざやを得る。 ➢ 機関投資家が企業に GHG 排出量報告を求めることで、検証する監査業界が活況となる。 ➢ 気候変動対策の補助金により国として CO₂ 要因気候変動問題を後押ししている。 ➢ 国により気候変動の教育内容が異なる。 ➢ Caron Footprint など、消費者購買意欲を左右するツールとして CO₂ が利用されている。

表 7-4 集団 B の 4 領域分析

	内面 interior	外面 exterior
個 individual	<p>Terrain of Experiences</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 歪曲された気候科学の一般常識を正したい、という正義感を持っている。 ➢ CO₂ の温室効果を理解し、それ以上に気候影響の大きい他の factor を対極的に評価している。 ➢ CO₂ だけが注目されることに疑問を抱いている 	<p>Terrain of Behaviors</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 気候変動システムは未だ解明されていないため、自然変動要因の定量的開示が難しい。 ➢ 利他主義のもと、観測データに基づいた定量的、多角的な気候変動の研究をしている。 ➢ 研究動向の情報発信力は不十分。
集合 collective	<p>Terrain of Cultures</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 自然要因が注目を得るための地道な研究活動。 ➢ UNFCCC や IPCC などの国際交渉の場では、自然変動要因は取り上げられない。 ➢ メディアは“懐疑論者”の意見と高を括る。 ➢ 近年、地球平均気温の変化が見られていないことは報じられない。 	<p>Terrain of Systems</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 社会環境からの理解が得られない。 ➢ 十分な研究助成金が準備されていない。 ➢ 産業界との直接的な連携は少ない。 ➢ 「環境問題=気候変動=CO₂」という時代の流れが、研究の発展の障壁となっている

集団 A と集団 B の 4 領域分析では、それぞれ挙げられた項目に量的、またパワーバランスの不均衡が見て取れる。さらに、集団 A と集団 B の間には、明らかな相互作用が認められないことがわかる。これは、多くの利権が集団 A の周りに存在し、CO₂ を中心とした研究が中心になっていることが要因のひとつと考えられる。また、政治論争や利己的な国家利益、国際企業によるロビー活動などのために、本来行われるべき科学の正当な議論に発展していない状況にもある（フェイガン, 2001）。このように普段軽視しがちな視点に気付くことができる 4 領域分析を用いた現在状況分析は、4 領域にまたがるさまざまな要素が相互に影響していることを整理することはできるが、集団 A と集団 B の間にある根本的な障壁を乗り越えるための解を提供はしてくれない。あくまで、現状を整理するためのツールと理解するべきである。

7-5-2 STEP2 : プログラム全体の理想状態分析

次のステップでは、集団 A と集団 B の間にある根本的な障壁について、障壁を乗り越えたプログラム全体の理想状態を描写する（表 7-5）。障壁が解決されたとき、集団 A と集団 B が置かれた 4 領域の各領域がどのような理想状態になっているかを想定する。気候変動問題のマネジメントにおいて最も期待されることは、学術領域において集団 A と集団 B が同等の環境下での学術研究がなされている状況である。それぞれの学術研究が同等に評価を受け、双方の知見を活かしながら気候変動研究が相乗的に発展していくことが望まれる。集団 A と集団 B の現状みられるパワーバランスの不均衡は、研究

表 7-5 望まれる気候変動マネジメントの目標分析：理想状態

	内面 interior	外面 exterior
個 individual	Terrain of Experiences ▶ 研究者は、複数の視点から気候変動に関する研究を推進できている。 ▶ 多岐にわたる気候変動要因を柔軟に理解し、受容している。 ▶ 建設的な気候変動研究が進み、先入観を持たない研究環境が醸成されている。	Terrain of Behaviors ▶ 気候変動は複雑系との認識が広まり、要因の単純化を避けるのが鉄則となっている。 ▶ 気候感度の違いにより、気候変動要因についての対策を講じることができる。 ▶ 他分野との連携により、社会が気候変動に対する適応力を身に付けることができている。
	Terrain of Cultures ▶ 客観的な気候変動の知識を収集できるようになり、人々の過度な不安が取り除かれている。 ▶ メディア・リテラシーが高まり、様々な気候変動要素を公平に知ることができている。 ▶ 緩やかな気候変化に対し、慌てずに議論し変化に適応できる社会が構築されている。	Terrain of Systems ▶ 広く研究助成金が配賦され、アカデミアの研究範囲が広がっている。 ▶ 環境産業は新たなビジネスモデルを構築し、気候変動とは異なる活況を生み出している。 ▶ UNFCCC が見直され、幅広く気候変化に適応する議論がされており、国家利益を求める論争はなされていない。

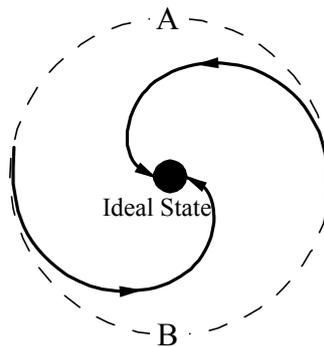


図 7-6 理想状態へと収束する状態

環境や周辺の産業界の成熟度の違いなどが想定されるが、その不均衡が解決された状態が STEP2 での姿だと考える。そのため、この段階での状態は、集団 A と集団 B が相対していた状態から理想状態へ収束したそれぞれ収束した状態（図 7-6）を示している。

STEP2 では、すべてのステークホルダーが 4 領域のそれぞれに柔軟にレンズを置くことができ、ある領域からその他の領域を俯瞰することで、様々な角度から気候変動問題を包括的に理解できる状況を作り出す。気候変動という複雑系のマネジメント課題を取り扱う場合には、一方に加担しない中庸的な共通解を設定することに注意を払わなければならない。また、現在状況分析を行った STEP1 では、集団間には明らかな相互作用を認められなかったが、表 7-5 に示す未来目標を設定するにあたっては、集団 A と集団 B の双方の視点から、共通する相互作用を明確にする必要がある。

7-5-3 STEP3-①：Polarity Management による一般化

7-5-3-1 Polarity Management とは

Polarity Management は、互いに独立させることが難しい対立関係の課題を解決するマネジメント手法である（Johnson, 1996）。Polarity Management の導入として、好事例を紹介する（Johnson, 2014）（Heracleous, Wirts, 2014）。航空業界にとって“コストの効率性”と“サービスの質”は相反する軸を持っているが、infinity loop（図 7-7）によってこのパラドックスをマネジメントし、世界で最も高い評価を受けているのがシンガポール航空（SIA）である。現在、サービス無視でコスト重視の[-A]の状態にあるとする（図 7-7）。顧客を失い、売上が上がらない状況は、顧客重視で素晴らしいサービスを提供する状態[+B]へと動くエネルギーを生み出す。[-A]は課題であり、[+B]は解決策である。しかし、これはコストを無視したサービス重視の遷移である。サービスだけに

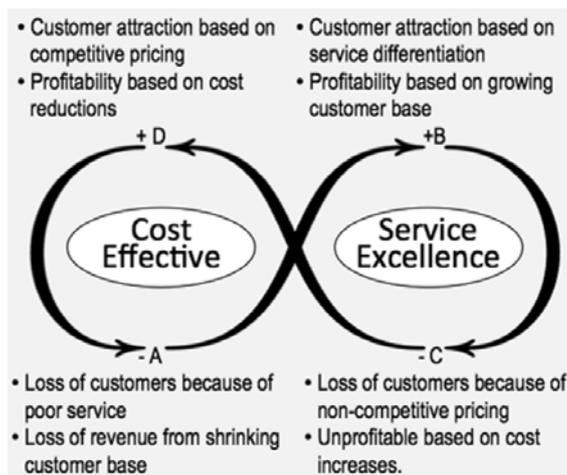


図 7-7 (Johnson, 2014) Figure2 Polarity Infinity Loop With Upsides and Downsides を引用

焦点を当てたことで価格競争に負け利用者が減り、サービス重視の限界[-C]を経験する。するとその状態が“課題”として認識され、価格優位に立ち利益を生むコスト視点のエネルギーが生まれ“解決策 [+D]”へと遷移する。継続的に両極のマネジメントがされることで、競争的優位な体質を得られる。

SIA は対立軸にあるコストとサービスの両立をするために、優秀な学生を採用し SIA で働くというプライオリティを与え、人件費を抑えながらもアジアらしいサービスの質を高める一方、若い人材による生産性・効率性の向上を図り、また機材ライフサイクルを短くし整備を抑制、長距離フライト路線を増やすことで機材使用時間を延ばし稼働率を高めること、など両軸の効率化により成し遂げている。

Porter (1980) は低価格化と差別化を同時に長期的に成し遂げ、競争的優位に立つことは不可能だと述べているが、Polarity Management では、一方の軸で利益を得続けるために他方の軸でも利益を獲得し続けることで両立が可能となる。そのための必要条件は、呼吸のように、必ず相互関係にあることである。さて、SIA の事例により Polarity Management の概要を示したところで、議論を気候変動マネジメントに戻す。

7-5-3-2 Polarity Management による一般化

STEP1 および STEP2 の考察から、課題や問題に対処するための最低限の情報が抽出された。相対した集団に対して一方の組織を中心に研究助成が実施され、また CO₂ と関連したグリーン産業の活性化といった外部要因の差によって、それぞれの集団がアンバランス状態にある。気候変動問題では、そのアンバランスな要因がさらに社会影響を及ぼし、社会が生み出す圧倒的なコンセンサスの形成へとつながっている。偏った認識が

政治や経済を動かし、メディアが情報を選択し、社会は情報量の豊かな集団 A の学術的立ち位置を正しい情報として認識をするに至る。気候変動に関する議論の多様性が減少した状態は、不確実な未来への適応力ポテンシャルを低下させ、気候変動に対する対極的な思考を排除する可能性がある。そこで STEP3-①では、STEP2 に描いた不確実な未来への対処を考えるために、持続可能な未来に向けた社会のレジリエンスを高める枠組みを、表 7-1 に示す Polarity Management 手法を用いて明示する。

STEP2 にて示した気候変動マネジメントは、集団 A および集団 B による学術研究が同等的环境下で、双方の知見を活かしながら発展する気候変動研究の状況と、あわせて産業界も新たなビジネスモデルを構築していく外部環境の状況を想定している。主張を異にする対極的な集団 A と集団 B が存在するとき、そこには異種の存在がもたらす緊張が生じる。また、その緊張は取り巻く外部環境に刺激を与える。統合的な思考にも基づきこれらの刺激を許容すると、そこには必ず動き (movement) が生じる。気候変動に関する学術研究とそれを取り巻く外部環境は、一方を優位に立つことを肯定することもなく、双方が絶え間なく作用しあう状態を維持することで、統合的なバランスをとることができる。

STEP2 を軸にして、集団 A および集団 B の良好な競争関係、そのアウトカムである外部環境の質が常に相互作用し合い、振動し向上し続けることで不安定状態を保つことが望まれる統合状態である。この状態は図 7-8 示すように、STEP2 にて示した理想状態の周りを、集団 A および集団 B がそれぞれ対極的な状態を振動しながら保っている、一種の理想化された状態である。

図 7-9 は、気候変動の要因を「人為的 CO₂ 排出を中心とした温室効果ガス」とする軸、他方、「自然変動などのその他要因」を挙げる軸で Infinity Loop を作成した。集団 A と

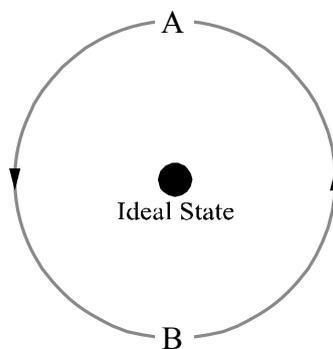


図 7-8 理想状態に束縛されながら振動を続ける状態 (一種の理想化された状態)

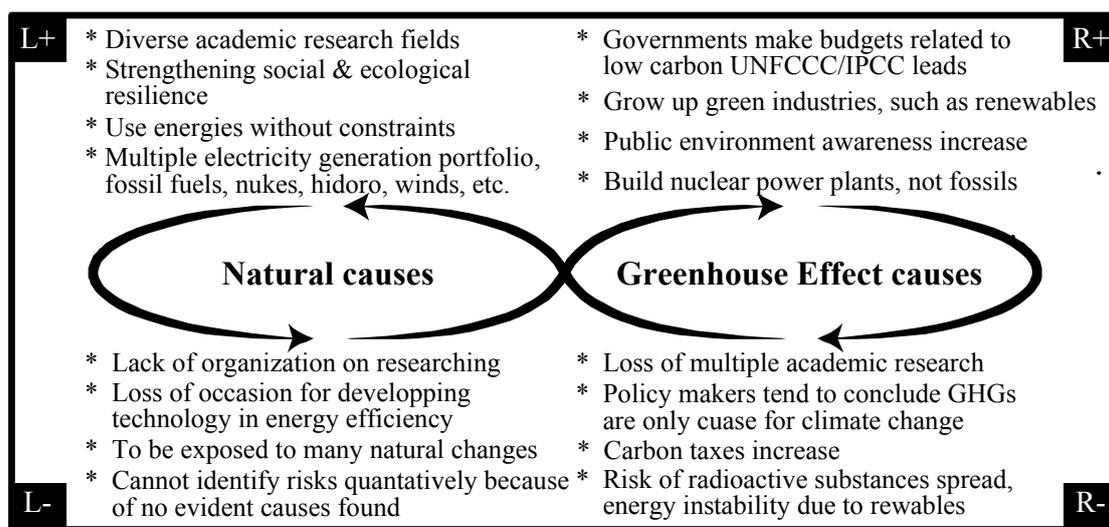


図 7-9 気候変動要因の対極的視点の状態:不安定状態 (Johnson, 2014) Figure2 を参考に作成

集団 B は、それぞれ対極に位置する。気候変動問題に関するステークホルダーは、国家、政治、産業、学術、そして社会など、広い関係性にある。図 7-9 右側では、温室効果ガスによる気候変動によって生じるステークホルダーの変化、図 7-9 左側では自然変動によって生じるステークホルダーの変化の想定される代表例を記載した。不確実性を論理的・構造的に受け入れる (栗原, 伊藤, 2014) ことで気候変動マネジメントに多様性が増し、多様な集団による高い解決能力をもたらすことができるようになる (Hong, Page, 2004)。Infinity Loop は、単一条件や意見だけではなく対極を取り込むことで、継続的に相乗効果が得られることを示されている。気候変動に関する明解なメカニズムや対処策などが得られていない場合、気候変動問題がマネジメントされている状態とは、学術面の継続的な発展、関連する科学技術の発展、エネルギーの安全保障や利用効率化などが継続的に進み、社会が変化を享受する状態を維持することである (Johnson, 1996)。

図 7-9 で示す気候変動問題の対極的なマネジメントを考察するとき、次のような持続可能なプロセスが想定される。あるとき、気候変動研究は十分に論拠ある要因を見出せず、学術研究では組織だった研究がされない、気候変動の量的リスクを見出せない状況にあるとする (左下 L-の状態)。この停滞状態から政府間組織などによる戦略刺激が加わり、気候変動対策への新たな動きが進み、“L-” から対極へ動き “R+” へ遷移する。世間の関心が集中し、予算も技術開発も進み、CO₂ 排出削減に向けたエネルギー選択が行われている (R+)。しかし “R+” の状態は CO₂ 排出に情報が特化することでレジリエンスの低下に結びつき “R+” から “R-” へ状態が下降する (R-)。「人為的 CO₂

排出を中心とした温室効果ガス」とする負の側面“R-”からみた対極な状態は、気候変動研究が学術的に広範囲になされ、社会や生態系のレジリエンスが強固なものとなっている“L+”の状態である(L+)。エネルギーの多様化が構築され、対立軸とは異質の経済活況が到来する。そして、統率なく気候変動研究が多様化されれば、社会などのレジリエンスも低下し“L+”から“L-”へ状態が下降する(L-)。継続して Infinity Loop によるマネジメントを行えば、気候変動対策やマネジメントの質が向上し、社会や生態系のレジリエンスが強固なものとなる。

Polarity Management において未だ発展段階にある気候変動問題をマネジメントするには、常に「人為的 CO₂ 排出を中心とした温室効果ガス要因」と「自然変動などのその他要因」を対極に置き、Infinity Loop の状態によりプロセス管理をすることが、必要条件である。対極側の存在なくしては、自身の存在はあり得ない。片極の利益を創出するには、もう一方の極の利益も合わせて創出することが求められる。もし、対極軸の設定が不可能な場合は、Polarity Management によるプログラム管理から次節で述べる Multiple Optimum Management へ移行する必要がある。

気候変動対策のプログラム全体においては、例えば集団 A による「人為的 CO₂ 排出を中心とした温室効果ガス要因」の主張が大勢を占めるようになれば、いずれ集団 A の周辺環境や活動の支援にも偏りが生じ対極性の低下に至る。しかし STEP2 で示すように、集団 A と集団 B の対等な存在によって相互作用が生まれ競争的に学術研究が推進されていけば、STEP3-①で示された中庸的な相互作用をもたらす外部環境と研究活動の関係が振動を生み出し、持続可能なプロセスが構築されていく。このように、これまでのプログラム・プロジェクトマネジメントでは議論されてこなかった対極的なマネジメントが、社会のレジリエンスを高める礎となると示唆される。

7-5-3-3 気候変動問題への実装 - 一般化したポテンシャルエネルギー

前述の STEP3-①をふまえ、プログラムの偏りを改善するためには、人為的 CO₂ 排出による地球温暖化を主張する集団 A、気候変動要因に自然変動を挙げる集団 B の間にある根本的な障壁やその関係を理解する必要がある。気候変動問題は、各集団を取り巻く外部環境のポテンシャルの違いにより、その状態が違う。例えば、温暖化対策に関連したグリーンビジネス界の盛況を維持、もしくは加速させるために、集団 A に有用な多額の国家予算が補助金として用意されている。一方、グリーンビジネス界の流れと対峙する集団 B に有用な予算は、基礎的研究の一部として用意されている程度である。こ

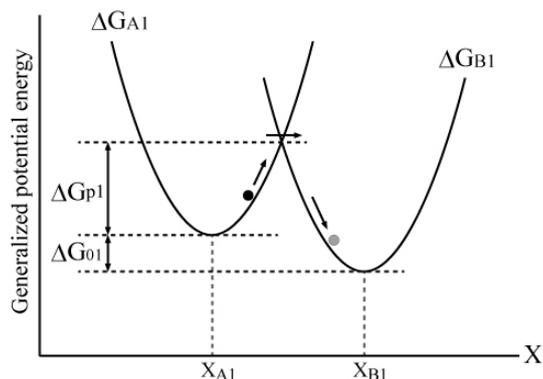


図 7-10 STEP1における集団 A と集団 B の状態

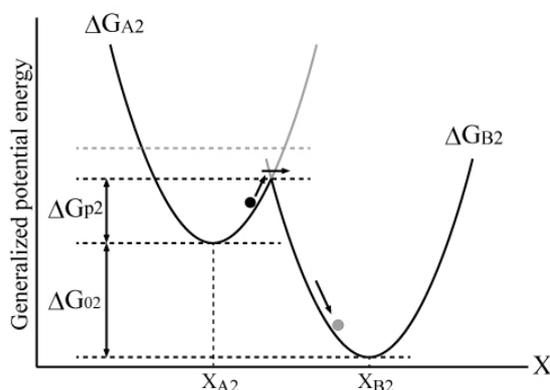


図 7-11 STEP2 ΔG_{B2} のポテンシャルを下げ、障壁を乗り越え易くした状態

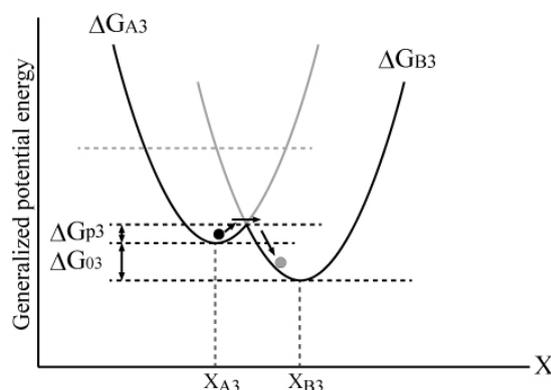


図 7-12 STEP2 ΔG_{A3} と ΔG_{B3} の間隔を近くし、障壁を乗り越え易くした状態

のように、プログラムそのものに偏りが生じている場合には、偏りを改善するためにそれぞれの集団を表すプログラムを模式化し、それらの相互関係をふまえて改善策を検討すると理解が容易になる。

気候変動問題のマネジメントに関する考察を簡単にするために、第7章では集団 A と集団 B のとり得る状態変化を、一般化したポテンシャルエネルギー（平衡からの距離の二乗に比例）を用いて示すことにする（窪川, *et al.*, 1988）。集団 A と集団 B の平衡状態を、一般化したポテンシャルエネルギー ΔG_{A1} および ΔG_{B1} とする。STEP1 での双方の関係性を、図 7-10 に示す。十分な研究環境が確保されている集団 A の関数 ΔG_{A1} は、集団 B の関数 ΔG_{B1} よりも高いポテンシャルエネルギー状態にある。それぞれが平衡状態にあるとすると、その間には十分に大きなポテンシャルエネルギーの障壁（energy barrier） ΔG_{p1} があり、 ΔG_{A1} と ΔG_{B1} に変化を生じさせるための相互関係に

乏しい。そのため ΔG_{A1} と ΔG_{B1} が関係を対等にし、共存関係を構築するための基盤が備わっていない。

STEP2で描写した根本的な障壁を乗り越えた状態は、 ΔG_{Ai} と ΔG_{Bi} の相互関係を変化させることで実現が可能となる(図7-11および図7-12)。STEP3-①で示した安定したプログラムを実現させるインパクトファクターは、 ΔG_{Ai} と ΔG_{Bi} の間に存在する一般化されたポテンシャルエネルギーの障壁 ΔG_{pi} を乗り越え、安定状態に遷移するための作用である(窪川, *et al.*, 1988)。その作用は、自発的なものに限らず、外力によっても働くと考えられる。集団Aと集団Bが反発した状態では自発的な相互作用は見出しにくい、インセンティブのような外力により相互作用を働かせることが可能である。例えば、新たに炭素排出税が課せられ今後の市場拡大に期待を抱かない研究者が集団Aから集団Bに移行する、新たな市場開拓の動きにより集団Bに対する産業投資が活発になる、ということも考えられる。

競争的な研究活動の推進、外部環境変化の創出などが継続的に行われることで、STEP2の理想状態に近くなると考えられる。図7-11および図7-12に示すように、 ΔG_{Ai} と ΔG_{Bi} の状態を認識し、ポテンシャルエネルギー状態がもっとも安定となるように相互関係を見出せば、STEP3-①の気候変動問題を安定してマネジメントできると考えられる。望まれるマネジメントは、定常状態ではなく、常に相互関係を維持しながら振動を続ける動的状態と示唆される。

7-5-4 STEP3-② : Multiple Optimum Managementによる一般化

ここまで気候変動に関する課題や問題に対処するための思考の整理として、コンセンサスやイデオロギーなどの影響を排除するために統合的思考法を用いた多視座的分析を行い、また理想状態を基盤としたPolarity Managementの手法を示した。統合的な思考の方法論により、多くのステークホルダーが存在する気候変動問題を十分にマネジメントできる可能性が高いが、更にマネジメント手法に汎用性を持たせるために表7-1に示すMultiple Optimum Managementにより一般化を行う。

プログラム全体における安定したマネジメントは、プログラムに関わるステークホルダーの関連度を考慮する必要がある。Gardner, Ashby (1970)による定義を応用すれば、プログラムの複雑さは要素数 n が増大することと、連結度 c が増大することと定義ができる。気候変動問題の場合、要素の種類は関係するステークホルダーの数、外部環境の状況数などが該当し、連結度は各要素間の構造安定のパラメータである。“7-4.

プログラムマネジメントへの動的不安定性状態の導入”で示したように、系の複雑性が増すほど平衡安定状態（図 7-2）が出現する確率が低下し、システムが不安定になる（図 7-3）。

IPCC を中心とした気候変動対策のシステムでは、産官学民など多くのステークホルダーが地球温暖化に関連するコンセンサスやイデオロギーに相互影響を受けており、システム全体が安定状態をしているように見受けられる。この状態は、現実にはステークホルダー間の連結度が少ないために生じている（Rejmánek, Straý, 1979）。

例えば、IPCC の気候変動に関する評価報告書に含まれる政策決定者向け要約のように、集団 A の立場から報告されたレポートをベースに政策が企画され、準備された企画に沿うように多くの学術研究が進められている。また、グリーン産業を国家戦略として育てたい政府と産業界の思惑の一致、ビッグスポンサーとメディアの関係、そして気候変動要因の偏った情報をメディアから得る一般人。多種多様なステークホルダー、そして複雑システムであっても、実際にはいくつかの小システムに独立してコンパートメントされているために、ステークホルダー間の連結度が少ない。そのため、このような IPCC 型の気候変動対策では単一的に安定な定常状態であり、定常状態が存在するということは変化に適応できない柔軟性を欠いたレジリエンスの低い状態である（図 7-13）。

そこで、Multiple Optimum Management を適用しプログラム全体の多様性を増すための一般化を行う。太陽活動の変動や火山噴火や化石燃料燃焼に伴う硫酸エアロゾルの放出、農地開墾や都市化による土地改変といった気候変動を支配する最新の研究などについて、プログラム全体に対する要素 n として取り扱う。それぞれの要素 n は連関が薄い独立したものであるから、連結度 c も低い状況になる。気候変動に関する科学は日々発展しており、気候変動問題の理想状態は示すことができないが、気候変動に関連する様々な研究状況や成果が複雑に存在する非線形の複雑系システムとして考えられる（図 7-14）。

複雑系システムの特長として自然と不安定状態が生まれ、一つの安定な非定常状態（Equilibrium）に限らず複数のアトラクタがある場合、これら要素の多様性が増せば系はあるアトラクタから別のアトラクタへ簡単に変動が可能となる（Holling, 1973）。また、より多くの安定な非定常状態が存在することで、全体の持続性は増強される。不安定性の数はより多くの多様性や空間的状况に対応したマネジメント領域を増し、結果としてシステム全体のレジリエンスを増大し得る。

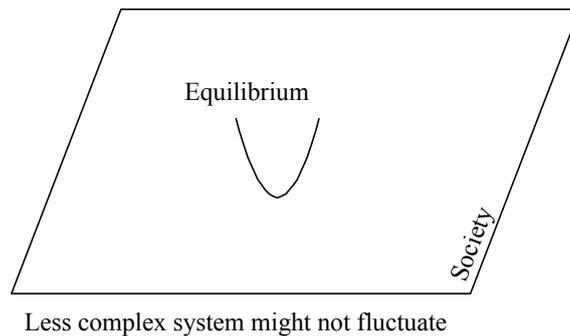


図 7-13 安定な非定常状態。非線形では理論解は導けないが、ダイナミックに欠けたレジリエンスの低い不健康状態。

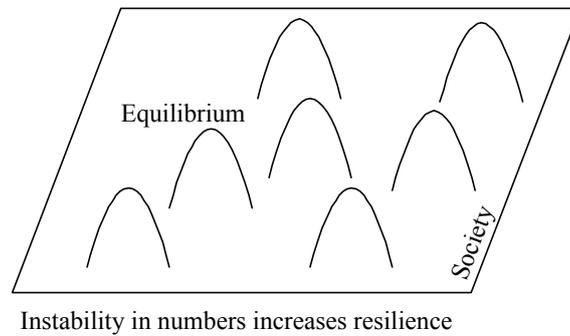


図 7-14 時間的なゆらぎの中で様々な気候変動要因が安定に存在する、レジリエンスの増した状態。

この状態は、数学的にも証明をされている。Page ら (Hong, Page, 2004) は、ハイレベルの solver たちは似たような振る舞いをしがちで、集団になっても個人のときとさほど変わらない出来を示す一方、ランダムだが賢い solver の集団は多様になる傾向があり、個の多様性が集団としてより良い結果を導くことを示している。ただし、Page は多様性が能力に勝るには、一定の条件下で成り立つとしている (Hong, Page, 2001)。

- ① 問題が難しくなければならない、
- ② 人々が賢くなければならない、
- ③ 人々が多様でなければならない、
- ④ 大きな母集団からある程度の大きさのグループを選ばなければならない。

この十分条件が満たされ、気候変動に関する様々な分野の研究者が各分野でのパフォーマンスを発揮すれば、図 7-14 に示す多数のアトラクタを行き来し、より良い解を導きレジリエンスが増大する。

従来型マネジメントでは不確実な要素を排除し、コンセンサスに支配されたあるべき姿を想定しマネジメントしてきた。だが、持続可能な社会をマネジメントするためには、バックキャストのような線形システムでは対応できない。プログラム全体を非線形システムとしたとき、システムが複雑である場合、プログラムを構成する各要素の独立性の自由がなければシステムは不安定になる。気候変動のようにインパクトファクターの多いプログラム課題に対しては、ファクターごとの動的不安定状態を存在させ、「ゆるやかな結合系」に着目してプログラムの安定性を高めることを公準としてとらえるべきである。

7-6 考察

プロジェクト・プログラムマネジメントでは、フォアキャストやバックキャストによりあるべき結果や将来を想定して、マネジメントフローが構築されてきた。中庸の視点を備えたマネジメント方法（栗原, *et al.*, 2012）の考察がなされてきたように、一方通行ではなく文脈を重視した循環型のマネジメントモデルも構築されている。だが、プログラムを構成するにあたりその前提条件が不確実な場合、もしくは別視点からの考察を要する場合など、プログラムそのものを俯瞰してレビューしなければならない事案についてはこれまで考察されていない。そこでプログラムを構築する上でのメンタリティや心理の存在を認識し、コンセンサスから思考を解放し不確実な未来への適応力を高めるための、動的不安定性からみたプログラムマネジメント手法について提唱を行った。

気候変動問題は、UNFCCC や IPCC で人類が対峙すべき重大なテーマとして取り上げられてから、国家間の駆け引きを伴う政策の道具となり、純粋な科学問題として評価されることが少ない。従来のプログラムでは、想定された“地球気温は CO₂ 濃度増加により温暖化している”という前提により、気候変動対策がマネジメントされてきた。しかし、現実には科学としての探究よりも、“地球気温は CO₂ 濃度増加により温暖化しているはずだ”という「確信」によって人々の行動が操作されている可能性が大きい。気候変動問題に対する統合的な思考を身に付け、プログラムマネジメントに生態系レジリエンスのような変化を持たせる枠組を構築することが求められる。第7章では、プログラム全体にダイナミズムを導入するため、社会全体が対極的視点を持つことができる理想的な状態を管理する Polarity Management、理想形が適用できない不確実性が多い状態を管理する Multiple Optimum Management を、複雑系システムの立場からプログラムマ

マネジメント手法として新たに提供した。下記に、従来のプログラムにはない新たな価値を考察した。

7-6-1 持続可能なプログラムを提供する学術的価値

プログラムマネジメントを利用する対象は、伝統的には宇宙開発や軍事開発のような大規模管理があるが、不連続に変化を続ける現代の環境の中では複雑性、不確実性などへの的確な対応が期待されている（小原, 2003a, 2003b）。しかし環境問題の代表格である気候変動問題にあるように、様々なステークホルダーに関連するマネジメント課題では、フォアキャストやバックキャストに代表される従来型管理手法の規範型シナリオで、複雑性や将来の不確実性が増す非線形未来社会をマネジメントすることができない（栗原, 伊藤, 2014）。実際には気候変動をテーマにする多くのプログラムやプロジェクトが存在するが、気候変動に関するコンセンサスやイデオロギーを示したように、プログラムを支える前提に思考が支配されている状態が多く、劣化した状態に陥っていることを否定はできない。その状況下でプログラムを構成し、各種プロジェクトを遂行しても劣化した状態から自然状態へ転移させることは難しい。

そこで、第7章で示した複雑系と不安定性の概念を取り入れたプログラムマネジメント理論では、従来プログラムを構成する前提条件となっているコンセンサスやイデオロギーの存在を認識したうえで、プログラムに動的不安定性を生み出すフレームワークを構築している。生態系レジリエンスにおける複雑系システムの概念をマネジメント手法に取り入れたことは、持続可能な社会を構築するプログラムマネジメント論の新たな可能性を示したと示唆される。さらにプログラムのクオリティを向上させるには、多様な要素が存在する環境を準備することが重要である（Hong, Page, 2001）。特に、プログラムの前提となる条件に対極的な側面を新たに用意し、双方の要素を肯定するマネジメントを実現すれば、プログラム自体にも多様性が生じはじめ、従来のプログラムマネジメントでは導き出せなかった未来社会のレジリエンスを高める効果を期待できるようになる。

7-6-2 P2M 方法論における新たなプログラムマネジメント論

P2M 既往研究では、先行研究（栗原, 伊藤, 2014）にて示した通りビジネス系を中心としたモデル研究が多くなされてきたが、第7章で取り上げた気候変動問題のように

行政系モデルを対象とした研究は十分に進んでいない。行政系におけるプログラムには、複雑に絡み合った背景が存在する。例えば日本では、長期の自民党政権下で、政治家・官僚・業界（政・官・業）の「鉄の三角形」と呼ばれる利益構造が出来上がり、アメリカには下院常任委員会・関係省庁・利益団体からなる「鉄の三角形」がある（吉原, 2008）。これら支持団体からの支援を継続して受け入れられるよう、政治はプログラムの解釈を変化させていく。また、日本では官僚主導の政策立案、アメリカでは利益団体がロビー活動を通じて法案作成に関与するなど、政策に対する独立性が確保されているとは言い難い。

このような状況下で行政系 P2M に求められる能力は、行政系プログラムそのものを長期的に持続可能なものにするための幅広い見識の集約、そしてプログラム自身の推進力によって社会のレジリエンスを高めることである。STEP2 に示すようなプログラム全体の理想状態を目指すには、プログラムを構成する要素の統合的思考法による整理、ステークホルダーの状態や理想状態の適用可否別に管理手法の一般化を行い、ゆるやかな結合の中に動的状態を生み出すレジリエンスが必要である。行政系プログラムに対しては、表立たない複雑な利益構造が背景にあるからこそ、その不合理な行動を律するマネジメント手法が求められる。今後、多視座的なマネジメント方法を通じ、非線形な複雑系課題に対する動的不安定性を導入する事例の探索を継続し、プログラムマネジメント論のさらなる充実が期待される。

7-7 総括

第7章では、持続可能な社会を構築するための管理手法として、社会システムの動的不安定性から見たプログラムマネジメント手法の一般化を行った。実社会は、非線形状態である。マネジメント課題を複雑系で扱うと、多様な組織が共存しプログラム自体が進化するレジリエンスの増した動的な社会を提供できる。そこで、統合的思考法を用いて世界 (object) を包括的にとらえ、中庸的な状態で対極的にマネジメントを行う Polarity Management、より多くの安定な非定常状態を導き全体の持続性を増強させる Multiple Optimum Management の提唱を行った。社会システムのレジリエンスを増す管理手法研究は、いまだ発展途上である。提唱したフレームワークの適用事例を増やし、動的不安定性の観点から持続可能な社会を構築する管理手法の充実を図る価値は高いだろう。

第8章 結論

以下に、本博士論文の研究目的に対する結論、今後の気候変動問題におけるマネジメントに関する提言、本研究の価値について述べた。

8-1 気候変動問題の現状についての広範な調査に関する評価

第2章から第4章では、1990年代以降世界的に対応が迫られるようになった気候変動問題について、社会的にどのように認識され扱われているか、多視座的に調査、評価を実施した。また、CO₂排出を指標として環境負荷をマネジメントする古典的手法LCAについて、事例研究を行った。その結果、研究目的①に掲げた気候変動問題の現状に関する多視座的な評価結果を得た。

8-1-1 気候変動問題の概況

気候変動問題は政治的に扱われるようになった1990年代初頭より、一貫してその流を主導してきたのはUNFCCCを根拠とするIPCCである。学術組織ではないIPCCが定期的に発行する気候変動に関する評価報告書は、政策決定者向けの政治色のある指南書的作用を持ち、学術論文ではないものの外交や学術面に一定の影響を与えている。評価報告書は、20世紀気温上昇の根拠となる情報を古気候学に依存して構成しており、自然変動に起因した気候変動研究の動向を反映していない。

背景には、気候変動に関わる学術研究がScientific Consensusに影響を受けている可能性があることが示唆される。話題性やインパクトのある研究テーマに科学者が集中し、研究資金を獲得しやすいテーマに研究が集中する傾向があることが明らかになった。このことは、科学は常に社会の政策的なバイアスの中にあることを意味し、研究者の集団心理的なバイアスがScientific Consensusを確固たるものに育て上げていると言える。

気候変動に関するメカニズムは、いまだ解明されていない。それにもかかわらず、政治が外交問題としての結論を求めすぎること、マスメディアがセンセーショナルに扱っていることなど、十分に幅広い言論が繰り広げられているとは言えない。数多くの利害関係者が存在する気候変動問題は、情報化社会の中で人為的CO₂排出による地球温暖化に偏重している状況にあることを理解し、すべてのステークホルダーはメディア・リテラシーの認識を持った行動が求められることを示した。

8-1-2 日本企業における温暖化対策の概況に関する評価

日本企業の地球温暖化対策は、日本経済団体連合会が1996年から進める経団連環境自主行動計画により大きく影響を受けていることを、経団連加盟企業に対する調査により明らかにした。

加盟企業のうち200社の単純無作為抽出を行い、対象企業が環境への取り組みをCSR報告書または環境報告書、企業ホームページを調査することで評価した。調査結果より、製造業92社では、先進的に環境配慮の取り組みを実施している企業から、環境への取り組みが確認できない企業まで幅広く存在するが、環境方針や企業の環境に対する姿勢を公開するなどの標準的といえるレベルの企業が多数を占めていることが分かった。非製造業108社では、非製造業にカテゴリーされる建設業では取り組みが評価されたが、製造業と比較すると地球温暖化対策に対する取り組みは総じて低いことを明らかにした。また、製造業、非製造業について1業種10社以上となる業種別評価では、直接的に地球温暖化対策が企業活動に影響を与える化学・電気機器・建設業の業界で、取り組みが高く評価された。その他、高い評価が得られた業界は、地球温暖化対策と企業活動に直接的な関連性がないと思われる医薬品業であることが分かった。

本調査では、代表的な環境産業である自動車、エネルギー消費型の製紙業、窯業などが分析対象となっていないため、日本経済の全般に対する調査は今後の課題としたい。

次に、経済のグローバル化に伴う企業価値評価として、環境への取り組みの評価が進んでいることの考察を行った。機関投資家をはじめとするエコノミストは、企業からのCO₂排出が企業の持続可能性に影響を与えるとし、非財務情報の一環としてCO₂排出量の情報公開を求めている。グローバル企業は、非財務指標であるESGマネジメントについて情報公開を積極的に行っているが、その代表的なDisclose ToolであるCDP Global 500 Climate Change Reportを例に挙げ、ESG投資が盛んな欧米の機関投資家やCDPなどの評価組織に対しては、情報の伝え方によって評価結果に影響を与えることを検証により示した。評価質問書への回答は、西洋的思考の形式的で論理的なアプローチにより実施することで、相対的に高い評価を得られることが可能であることを明らかにした。

8-1-3 バイオマスエネルギー導入効果のLCA評価

地球温暖化対策のためのCO₂排出抑制策として世間が注目するようになった再生可能エネルギーについて、CO₂に特化したことで生まれた代替エネルギー利用の推進好事例をケーススタディとして考察した。

ケーススタディでは木質バイオマスの利用に焦点を当て、カーボンニュートラルの方法論に則して化石燃料から木質バイオマスへのエネルギー転換を事例にライフサイクルアセスメントを実施し、木質バイオマスの効率的な運用を評価した。モデル工場を想定し、林地から丸太を麓のチップ工場に輸送しチップ化した木質バイオマスをモデル工場に納入する場合、林地において丸太をチップ化した木質バイオマスをモデル工場に納入する場合について、使用するダンプ車の大きさ別にアセスメントを実施した。

その結果、本 LCA のシナリオ設定では、林地にてチップ化した木質バイオマスをモデル工場に納入する場合が、GHG 排出原単位が低くなることが明らかになった。また、木質バイオマス利用では大規模な利用によって GHG 排出原単位の効率が良くなるが、本シナリオのような小規模な利用の場合には、木質チップの輸送・納入工程の効率が GHG 排出原単位を大きく左右することが分かった。丸太をチップ化する際の体積増加によって輸送の効率性が低下することを加味すると、消費地であるモデル工場に極力近い場所でチップ化することが望ましいことが分かった。運搬に利用するダンプ車の大きさは、消費する木質バイオマス量の設定により輸送効率が高くなる車両を選定する必要があることが分かった。

ケーススタディより、バイオマスエネルギー導入効果を検討するにあたって GHG 排出原単位を利用した LCA を実施することは、バイオマス利用におけるライフサイクル全体の効率性を評価する上で有用であることが見出せた。その一方で、LCA は従来のプロジェクトベースの古典的マネジメント手法の側面がある。LCA は、前提条件などが固定化され不都合な情報は排除された状態での評価であり、不確実性に対する受容度が低いことを示した。

8-2 気候変動問題のマネジメント手法に関する評価

第5章から第7章では、第2章から第4章で挙げた気候変動問題と CO₂ 排出の諸問題を包括的にとらえ、複雑化した気候変動問題をマネジメントする手法について研究を行った。CO₂ 排出抑制に傾注した現状、それがもたらす情報の質の低下から、気候変動問題全体のシステムを高レジリエンス状態へ導くために、大きく分け3つのマネジメント手法・概念を導入した。

8-2-1 気候変動問題に適用し得る東洋型リスクマネジメントに関する評価

気候変動問題は UNFCCC や IPCC によって主導され、政治的側面によって合意形成プロセス至っている。この状況によりコントロールされる気候変動をリスクマネジメント問題と捉え、気候変動対策システムとプロジェクト・プログラムマネジメントとの関連から、東洋的な視点によりリスクマネジメントが可能となるフレームワークの形成をした。

従来の気候変動問題マネジメント手法は、CO₂排出抑制に単純化された線形的なものである。学術研究を含め多くのステークホルダーの視線が排除された気候変動要因に向かないまま、コンセンサスを無意識のうちに容認していることを明らかにした。

気候変動対策の多くは、グリーン経済の主導権を握る欧州がその実権を握っている。物事の要因を細分化、分析し本質要因に単純化することに長ける欧米人は、気候変動マネジメントにもその手法を取り入れている。そこで、UNFCCC や IPCC といった国際的な枠組みが、プロジェクトマネジメントから派生したプロジェクト・プログラムマネジメントのフレームワークに沿っていることを示し、気候変動問題を文脈重視の東洋的なリスクマネジメントによりマネジメントするモデルを構築した。

8-2-2 気候変動マネジメントにおけるシナリオ・プランニングに関する評価

従来型の気候変動対策は、IPCC が主導する将来の構造的不連続変化を生じない前提条件によるものである。気候の変化は様々な自然変動要因、人為的要因により総合的にみられる現象で、不確実性を排除した単一要素としてとらえることに限界がある。そこで、気候変動問題における未来マネジメントには、演繹的にアプローチをするマネジメント手法であるシナリオ・プランニングが適していることを明らかにした。

気候変動問題への適用に当たり、規範型・探索型シナリオ、帰納的・演繹的なアプローチの違いを理論展開した。そして、気候変動問題のマネジメントに対する規範型シナリオの限界を示し、未来の不確実性を受け入れる探索型シナリオについて、政策決定者に論理的、分析的な思考を与える可能性のある方法論を示した。

シナリオの示し方では、具体例を記述する伝統的な表現手法の他に、簡便に簡潔にシナリオ要素を提供するための、骨子のみで表現する手法を開発した。

また、シナリオ利用者に未来世界の問いかけやハイレベルな議論を投げかけることが目的のシナリオ・プランニング手法をさらに改良し、演繹的に作成された未来シナリオが現実となった段階で得られる、もしくは想定される因子を基に次の未来を描く 3P モ

デルを開発した。プランニング (Planning)、推定 (Projection)、政策判断 (Policy decision) からなる 3P モデルの価値を高めるため、未来世界での判断材料を想定したプロジェクト・マッピングを新たに開発した。

気候変動問題を従来の規範型から探索型のシナリオ・プランニングによりマネジメントすることで、経済価値、外交価値、学術価値などを見出すことができた。周辺環境の複雑性や将来の不確実性が増す非線形な社会において、論理的思考により未来社会をマネジメントする新たな P2M 型シナリオ・プランニングの開発を行った。今後、環境行政などに向けた未来社会シナリオの研究を継続すれば、行政スタイルを変える可能性も秘めている点で、P2M での更なるシナリオ理論研究はその潜在価値が高い。

8-2-3 動的不安定性から見た気候変動問題のマネジメント手法に関する評価

これまでのプログラムマネジメントでは、プログラムを構成するにあたってその前提条件が不確実な場合や、別視点からの考察を必要とする場合など、プログラムそのものを俯瞰してレビューするプロセスが構築されていなかった。特に環境問題など不確実性の高い課題に対しては、コンセンサスやイデオロギーによる“確信”に支配され、思考の柔軟性を欠いたレジリエンスの低い状態にある場合が多い。そこで、アニマルスピリットの存在が背景に認められる、プログラムに対するコンセンサスやイデオロギーの影響の存在を明らかにした。

そして、レジリエンスの低い劣化状態にある気候変動マネジメントプログラムについて、プログラムマネジメントに対しダイナミズムを導入し、複雑系の視点から未来社会のレジリエンスを増す手法を開発、一般化した。プログラムマネジメントに生態系レジリエンスのような動的不安定性のフレームワークを構築することで、プログラムマネジメントの劣化状態を自然状態へ転移させることが可能であることを明らかにした。

ダイナミズムの導入方法は、STEP1 から STEP3 で示した。劣化状態にあるといえる現状の気候変動問題に対し、ダイナミズムを導入するために包括的な思考の整理を行った。気候変動科学を支える対極的な研究者群を二つ設け、それぞれの立場・視点から取り囲む世界観について統合的思考法 (Integral Theory) を適用し分析した。アメリカで盛んに研究が進む Integral Theory を、気候変動問題マネジメントを含め社会システムの構築に応用した事例はなく、学問的にも初めてである。

プログラム全体の理想状態を導き、プログラムマネジメント手法として一般化した二つの方法論は、社会が対極的視点を持つ理想状態の場合 (Polarity Management)、理想形が適用できない不確実性が多い場合 (Multiple Optimum Management)、と条件を示し

導入を容易にした。レジリエンスの概念をはじめてマネジメントに適用させ、管理手法として一般化を行った。これにより、気候変動問題をマネジメントするにあたっての、持続可能性を高める新たなプログラムマネジメント論を開拓した。今後は、さらに社会システム全般に対しての適用が期待される。

8-3 今後の健全な環境問題対策に向けて

本論文で述べてきたように、気候変動の様々な要素についての学術研究は進んでいるが、まだ科学的なシステムが解明されているわけではない。予防保全的に、考えられる要素について着目し対策を進めることを否定はしない。だが、現状のCO₂排出抑制のように、単純化された取り組みが極端に進みすぎること、包括的な気候変動に対する取り組みが劣化している状況にあると言える。気候変動問題は先進国、新興国、発展途上国の違いにより政治的に利用され、また欧州・米州・アジアなどの地域間によっても国際合意により課せられたCO₂排出削減量の大きさも違う。経済面でみれば、既に企業による気候変動への対策が市場でインデックス化され、またグリーン産業のような関連産業の利益を左右するトピックになっている。複雑に絡み合う利権のもとで、気候変動に対する本質的な対応を進めることは既に困難な状況にある。

このような複雑系に対し、従来型の管理体制や管理手法から脱した、新しい概念によるマネジメントが必要である。本論文では、人はメンタル面での思考のバイアスを持っていること、気候変動問題に対する中庸的な視点の必要性、複雑性を含んだ未来マネジメント手法の可能性、劣化状態から持続可能な社会を構築するマネジメント手法の有用性、などについて多視座的に知見を広げた。

本研究では、米国で誕生したプログラムマネジメントの日本型知識体系として派生したプロジェクト・プログラムマネジメント（P2M）により、複雑化したプログラムである気候変動対策を効果的にマネジメントする手法の開発を行った。P2Mでは、まだ社会問題や環境問題など社会系マネジメントの体系整備が十分ではない。本研究で新たに提供した知識体系を基礎として、特に複雑化する課題に対して持続可能なマネジメント論を適用し広く活用の幅を広げる必要がある。気候変動問題への適用はもちろんだが、経済的価値と生態系保護という両面の利権が複雑に存在する生物多様性問題への適用なども期待される。今後、水のリスク、森林の保全など、国家、地域間に存在するであろう環境課題は多い。中庸的に、不確実性を容認した思考によって、包括的にマネジメントする手法の活用の幅を広げるため、積極的な研究の継続をして参りたい。

参考・引用文献

- Akasofu, S. (2008), A Suggestion to Climate Scientists and the Intergovernmental Panel on Climate Change, *Eos Transaction, American Geophysical Union*, Vol. 89, No. 11, 11 March 2008.
- Aono, Y. and Kazui, K. (2008), Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to reconstruction of springtime temperatures since the 9th century, *International Journal of Climatology* 28: 905-914.
- BP (2009), “Oil Reserve”.
- BP (2013), “BP Statistical Review of World Energy June 2013”, <www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf> (accessed October 31, 2014)
- Berger, G. (1964), “PHÉNOMÉNOLOGIE DU TEMPS ET PROSPECTIVE”, Presses Universitaires de France.
- Briffa, K. (2000), Annul variability in the Holocene: Interpreting the message of ancient trees, *Quaternary Science Reviews*, 19. 88-105.
- CDP (2013), Global 500 Climate Change Report 2013, CDP, <<https://www.cdp.net/CDPResults/CDP-Global-500-Climate-Change-Report-2013.pdf>>. (accessed May 4, 2014).
- CDP (2014), “PROTECTING OUR CAPITAL-How climate adaptation in cities creates a resilient place for business, based on CDP responses from 207 global cities,” CDP, <<https://www.cdp.net/CDPResults/CDP-global-cities-report-2014.pdf>>. (accessed Dec 14, 2014).
- Casey, J. L. (2014), “Natural cycles of the sun will bring worst cold in 200 years”, Op-Ed in the *Orland Sentinel*, January 4.
- Chiu, L. H. (1972), A cross-cultural comparison of cognitive styles in Chinese and American children. *International Journal of Psychology*, 7, pp. 235-242.

- Climate Policy Initiative (2013), “The Global Landscape of Climate Finance 2013”, <<http://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2013/10/The-Global-Landscape-of-Climate-Finance-2013.pdf>> (accessed October 31, 2014).
- DJSI ANNUAL REVIEW 2013 (2013), DOW JONES SUSTAINABILITY INDICES in collaboration with RobecoSAM, <<http://www.sustainability-indices.com/review/annual-review-2013.jsp>> (accessed April 15, 2014).
- Demeritt, D. (2001), “The Construction of Global Warming and the Politics of Science”, *Annals of the Association of American Geographers*, 91(2), pp. 308-337.
- EUROPEAN COMMISSION (2012), REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL, The state of the European carbon market in 2012. <http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/reform/docs/com_2012_652_en.pdf> (accessed October 31, 2014).
- Environment: Science and Policy for Sustainable Development (1989), World Conference on the Changing Atmosphere: Implications for Global Security, The Conference Statement, Volume 31, Issue 1.
- Esbjörn-Hagens, S. and Zimmerman M. E. (2009), “AN OVERVIEW OF INTEGRAL ECOLOGY –A Comprehensive Approach to Today’s Complex Planetary Issues-”, *Integral Institute*, Resource paper No.2, pp. 1-14.
- Füssel, H-M. (2007), Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research, *Global Environmental Change*, 17, pp.115-167.
- GLOBAL SUSTAINABLE INVESTMENT ALLIANCE (2012), “2012 GLOBAL SUSTAINABLE INVESTMENT REVIEW”, <<http://gsiareview2012.gsi-alliance.org/#/1/>> (accessed October 31, 2014).
- Gao, C. (2007), Atmospheric volcanic loading derived from bipolar ice cores: Accounting for the spatial distribution of volcanic deposition, *Journal of Geophysical Research*, American Geophysical Union, Vol. 112, D09109, doi:10.1029/2006JD007461
- Gardner, M. R. and Ashby, W. R. (1970), “Connectance of Large Dynamic (Cybernetic) Systems: Critical Values for Stability” *Nature*, Vol.228 NOVEMBER 21, pp. 784.
- Global Reporting Initiative (2013), “G4 SUSTAINABILITY REPORTING GUIDELINES REPORTING PRINCIPLES AND STANDARD DISCLOSURES”, <<https://www.globalreporting.org/resource/library/GRIG4-Part1-Reporting-Principles-and-Standard-Disclosures.pdf>>. (accessed October 31, 2014).

- Hansen, J., Johnson, D., Lacis, A., Lebedeff S., Lee, P., Rind, D., and Russell, G. (1981). "Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide", *Science*, **213**, pp. 957-966, doi:10.1126/science.213.4511.957.
- Hansen, J., et al. (2006), "Global temperature change", *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*. vol.103, no.39, pp.14288-14293, PNAS, <http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2006/2006_Hansen_etal_1.pdf> (accessed on OCT 31, 2014)
- Hatoyama, Kunio (2009), STATEMENT BY H.E. DR. YUKIO HATOYAMA PRIME MINISTER OF JAPAN AT THE UNITED NATIONS SUMMIT ON CLIMATE CHANGE, New York, 22 September <<http://www.un.org/wcm/webdav/site/climatechange/shared/Documents/Japan.pdf>>, (accessed November 10, 2014).
- Holling, C. S. (1973), "Resilience and Stability of Ecological Systems" *Annual Review of Ecology and Systematic*, Vol. 4: pp. 1-23.
- Hong, L. and Page S. E. (2001), "Problem Solving by Heterogeneous Agents", *Journal of Economic Theory*, Vol. 97, Issue 1, pp. 124-163.
- Hong, L. and Page S. E. (2004), "Groups of diverse problem solvers can outperform groups of high-ability problem solvers" *PNAS*, vol. 101, no. 46, pp. 16385-16389.
- IME Magazine (1997), "Another Ice Age?" June 24.
- IPCC (1990), IPCC First Assessment Report: Climate Change (FAR).
- IPCC (1995), IPCC Second Assessment Report: Climate Change 1995 (SAR).
- IPCC (2001), IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001(TAR).
- IPCC (2007), CLIMATE CHANGE 2007 THE PHYSICAL SCIENCE BASIS "Working Group 1 Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", <www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/spmssp_m-projections-of.html> (accessed October 31, 2014).
- IPCC (2013), IPCC Fifth Assessment Report: CLIMATE CHANGE 2013, The Physical Science Basis.
- Imai M. and Gentner D. (1997), A cross linguistic study on constraints on early word meaning: Linguistic influence vs. universal ontology. *Cognition*, 62, pp. 169-200.
- InterAcademy Council (2010), Climate change assessments –Review of the processes and procedures of the IPCC-.

- International Energy Agency (2013), "Tracking Clean Energy Progress 2013, IEA Input to the Clean Energy Ministerial", <http://www.iea.org/publications/TCEP_web.pdf> (accessed October 31, 2014).
- Itoh, K. (2010), "Solar Magnetic Activity Affects The Global Climate Through The Arctic Oscillation," *Second International Symposium on the Arctic Research* (8-9 December, 2010, Tokyo).
- Johnson, B. (1996), "POLARITY MANAGEMENT –Identifying and Managing Unsolvable Problems-" HRD Press.
- Johnson, B. (2014), "Reflections: A Perspective on Paradox and Its Application to Modern Management" *Journal of Applied Behavioral Science*, Vol. 50(2), pp. 206-212.
- Kahn, H. and Wiener, A. J. (1967), "The year 2000: a framework for speculation on the next thirty-three years", Macmillan Publishing Company, New York.
- Keeling, C. D. (1960), The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in the atmosphere, *Tellus* Volume 12, Number 2, pp. 199-203.
- Kerr, R. A. (1997), "Climate Change: Greenhouse Forecasting Still Cloudy", *Science*, Vol. 276, No. 5315, p. 1040.
- LAM, Peng Er (2010), The Hatoyama Administration and Japan's Climate Change Initiatives, *East Asian Policy: An International Quarterly* (Singapore), Vol.2, No.1, pp.69-77.
- Large, W. G. and Yeager, S. G. (2012), "On the Observed Trends and Changes in Global Sea Surface Temperature and Air-Sea Heat Fluxes (1985-2006)", *Journal of Climate*, **25**, pp.6123-6135.
- Mann, M. E. (2001), Climate during the past millennium, *Weather*, Vol. 56, 91-102.
- Mann, M. E., et al. (1998), Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries, *Nature*, Vol. 392, 779-787.
- Mann, M. E., et al. (2004), corrigendum Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries, *Nature*, Vol. 430, 105.
- May, R. M. (1972), "Will a Large Complex System be Stable?" *Nature*, Vol.238 AUGUST 18, pp. 414-414.
- McIntyre, S. (2009), YAD06-the Most Influential Tree in the World, September 30th.

- Met Office Hadley Centre (2013), Combined land-surface air temperature and sea-surface temperature, Global average temperature anomaly (1850-2013). (accessed OCT 30, 2013) <<http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut3/diagnostics/comparison.html>>
- National Oceanic & Atmospheric Administration (2014), Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, <www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> (accessed October 31, 2014).
- Newsweek 日本版 (2014), “「欧米の大雪は北極の温暖化のせいだ (Warming Arctic Temperatures Are To Blame) 」 2014年2月18日”, <<http://www.newsweekjapan.jp/stories/world/2014/02/post-3186.php>>, (accessed February 27, 2014)
- Nisbett, R. E. and Matsuda, T. (2003). Culture and point of view. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, pp. 11163-11170.
- Ontario Ministry of Education (1989), “Media Literacy Resource Guide”.
- Ontario Ministry of Education (2008), “A Guide to Effective Literacy Instruction, Grades 4 to 6, -A Multi-volume Resource from the Ministry of Education, Volume Seven Media Literacy”.
- Oreskes, N. (2004), ESSAY BEYOND THE IVORY TOWER “The scientific consensus on climate change,” *Science*, 3 Dec. 2004, 1686.
- Oreskes, N. (2007), "The scientific consensus on climate change: How do we know we're not wrong?" *Climate Change: What It Means for Us, Our Children, and Our Grandchildren*, edited by Joseph F. C., DiMento and Pamela Doughman, MIT Press, pp.65-99.
- O'Brien, K. and Hochachka, G. (2005), “INTEGRAL ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE”, *Journal of Integral Theory and Practice*, 5(1), pp. 89-102.
- Pielke, R. A., Wilby, R., Niyogi, D., Hossain, F., Dairuku, K., Adegoke, J., Kallos, G., Seastedt, T., and Suding, K. (2011), Dealing with Complexity and Extreme Events Using a Bottom-up, Resource-based Vulnerability Perspective. *AGU Monograph on Complexity and Extreme Events in Geosciences*, in press.
- Prins, G., Galiana, I., Grundmann, R., Hulme, M., Korhola, A., Laird, F., Nordhaus, T., Pielke Jnr, R., Rayner, S., Sarewits, D., Shellenberger, M., Stehr, N., and Tezuka, H. (2010), The Hartwell Paper: a new direction for climate policy after the crash of 2009, Institute for Science, Innovation & Society, University of Oxford; LSE Mackinder Program, London School of Economics and Political Science.
- Project Management Institute (2012), A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)-Fifth edition.

- Rejmánek M. and Stray P. (1979), “Connectance in real biotic communities and critical values for stability of model ecosystems” *Nature*, Vol. 280, JULY 26, pp. 311-313.
- Robock A. (2000), VOLCANIC ERUPTIONS AND CLIMATE, *American Geophysical Union, Reviews of Geophysics*, Vol. 38, 2, 191-219.
- Robock, A. (2000), VOLCANIC ERUPTIONS AND CLIMATE, *American Geophysical Union, Reviews of Geophysics*, Vol. 38, 2, 191-219.
- Sato, M. and Hansen, J. (2006), “Annual Mean Global Temperature Change”, Columbia University Earth Institute, <www.columbia.edu/~mhs119/Temperature/T_moreFigs/PNAS_GTCh_Fig2.pdf> (accessed on October 18, 2014).
- Shabecoff, P. (1988), Norway and Canada Call for Pact to Protect Atmosphere, *The New York Times*, June 28.
- Solanki, S. K., et al. (2004), Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years, *Nature*, Vol. 431, 1085-1087.
- Spencer, R. W. (2008), CLIMATE CONFUSION, A NEW YORK TIMES BEST-SELLER, pp.25-31, 95-99.
- Spruit, H. C. (1991), Theory of solar luminosity and solar diameter variation, In Sonett, C. and Giampapa, M., eds., *The Sun In Time*. Tucson, The University of Arizona Press: 118-158.
- TIME Magazine (2006), "Be worried, be very worried," April 3.
- The Greenhouse Gas Protocol (2013 a), “A Corporate Accounting and Reporting Standard”, <<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/ghg-protocol-revised.pdf>> (accessed October 31, 2014).
- The Greenhouse Gas Protocol (2013 b),”Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard, Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard”, <http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf> (accessed October 31, 2014).
- The New York Times (1988). Norway and Canada Call for Pact to Protect Atmosphere, June 28.
- UN Global Compact Office (2008), “Investor leadership on climate change, An analysis of the investment community’s role on climate change, and snapshot of recent investor activity”.

- United Nations (1987), *Our Common Future*, Report of the World Commission on Environment and Development. (<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>)
- United Nations (1992), REPORT OF THE UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, Annex I RIO DECLARATION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (1997), “Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change”.
- Wack, P. (1985), “Scenarios: shooting the rapids –How medium-term analysis illuminated the power of scenarios for Shell management–“, *Harvard Business Review*, November-December 1985, pp. 139-150.
- Weart, S. R. (2003), *The discovery of global warming*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- White, L. Jr. (1967), "The Historical Roots of Our Ecologic Crisis," *Science*, 10 March, Volume 155, Number 3767, pp. 1204-1207.
- みずほ情報総研株式会社 (2013), “「一国民は地球温暖化の影響をどのようにとらえているのかー地球温暖化影響に関するアンケート調査」, 2013年9月5日”, <<http://www.mizuho-ir.co.jp/company/release/2013/ondanka0905.html>>, (accessed February 27, 2014)
- イリヤ・プリゴジン, イザベル・スタンジェール, 伏見康治他訳 (1987), 「混沌からの秩序」, みすず書房.
- キース・ヴァン・デル ハイデン著 西村行功訳 (2003), 「入門 シナリオ・プランニング ゼロベース発想の意思決定ツール」, ダイヤモンド社.
- ジョージ・A・アカロフ, ロバート・J・シラー 著, 山形浩生訳 (2009), 「アニマルスピリット -人間の心理がマクロ経済を動かす-」 東洋経済新報社.
- ピーター・シュワルツ著 埴本一雄訳 (2000), 「シナリオ・プランニングの技法」, 東洋経済新報社.
- ブライアン・フェイガン著, 東郷えりか・桃井緑美子訳 (2001), 「歴史を変えた気候大変動」, 河出書房新社.
- リチャード・E・ニスベット著, 村上由紀子訳 (2004). 『木を見る西洋人 森を見る東洋人』, ダイヤモンド社. (Nisbett, R. E. (2003), *THE GEOGRAPHY OF*

THOUGHT-How Asians and Westerners Think Differently...and Why-, New York: Free Press.)

安田一郎 (2015), ”月が海や気候に与える影響”, 現代化学, 2015 年 1 月号.

伊藤公紀 (2003), 「地球温暖化-埋まってきたジグソーパズル」, 日本評論社.

伊藤公紀 (2010), ホッケースティック曲線の何が間違いなのか, 現代科学 2010 年 1 月, pp. 58-61.

伊藤公紀 (2011 a), “地球温暖化問題の向かう先; クライメートゲート事件, 原発事故が及ぼす影響”, 現代化学 2011 年 7 月号, pp. 21-26.

伊藤公紀 (2011 b), “日本は根拠なき温暖化対策に決別宣言を”, 月刊 Business i. ENECO 2011 年 12 月号, pp. 36-39.

伊藤公紀 (2012), 地球温暖化論のメンタリティ - 社会心理学的に見た気候変動問題, パリティ 2012 年 1 月号, pp. 90-93.

伊藤公紀 (2015), “見えてきた気候変動要因の本当の姿-太陽風の気候影響を例として-“, 現代化学, 2015 年 1 月号.

伊藤公紀, 小川隆雄 (2010), 地球温暖化問題へのセカンドオピニオン, 科学技術社会論 研究(9), 98-112.

伊藤公紀, 渡辺正 著 (2008), 『地球温暖化論のウソとワナ』, KK ベストセラーズ.

伊藤公紀他 (2012), “アジア視点の生態リスク管理手法『生態系の暮らし方—アジア視点の環境リスクマネジメント』(小池文人ら編著)”, 東海大学出版会, pp. 223-234.

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所 (2011), 「EDMC/エネルギー・経済統計要覧 2011」.

雨宮 隆 (2006), 「複雑系の科学がとらえた生態環境問題」, 科学, Vol. 76, No. 10, pp. 1048-1052.

岡安英俊 (2011), “ビジョン主導型の社会システム変革に関するプログラム・フレームワークの提案”, 国際 P2M 学会誌, 6, pp. 1-13.

環境省 (2004), “環境報告書ガイドライン (2003 年度版) ”, <<http://www.env.go.jp/policy/report/h15-05/all.pdf>> (accessed April 16, 2014).

- 岩手県林業技術センター (2005), “山土場からのチップの運搬工程”, 研究成果速報 No.171 平成 17 年 9 月 15 日発行.
- 岩手県林業技術センター (2006), “チップボイラー燃料利用のための木材の自然乾燥 (その 2) -丸太の補完条件別の含水率変化-”, 研究成果速報 No.221 平成 18 年 8 月 28 日発行.
- 岩手県林業技術センター, (2008) “木質資源利用ボイラー導入指針～チップボイラー・ペレットボイラーの導入に向けて～”.
- 鞠子英雄 (1996), 「『複雑-安定性』のドグマ - はじめてのシステム論」ハーベスト社.
- 吉原欽一 (2008), 「アメリカ人の政治」 PHP 研究所.
- 吉田邦夫, 山本秀男 (2014), 「イノベーションを確実に遂行する 実践 プログラムマネジメント」, 日刊工業新聞社.
- 宮原ひろ子 (2015), “天気のリズムは宇宙の影響を受けるか”, 現代化学, 2015 年 1 月号.
- 窪川 裕, 本多健一, 斉藤泰和, 安保重一, 伊藤公紀, 森山広思 (1988), 「光触媒」, 朝倉書店.
- 栗原 崇, 伊藤公紀, 雨宮隆 (2015), 「社会システムの動的不安定性からみたプログラムマネジメント手法- 気候変動問題を事例に -」 国際 P2M 学会誌 (印刷中), 国際 P2M 学会.
- 栗原 崇, 伊藤公紀 (2014), 「気候変動マネジメントにおけるシナリオ・プランニング理論の展開」 国際 P2M 学会誌, Vol.8 No.2, pp.169-182, 国際 P2M 学会.
- 栗原 崇, 伊藤公紀, 亀山秀雄 (2012), 「気候変動問題に適用し得る東洋型リスクマネジメントの考察」 国際 P2M 学会誌, Vol.7 No.1, pp.61-72, 国際 P2M 学会.
- 経済産業省 (2010), “道路交通輸送プロセスデータ”, Carbon Footprint of Products.
- 古賀信也 (2002), “炭素循環と環境保全を実現する森林バイオマス・畜産. 廃棄物発電による地域振興”, 今田盛生編, 課題番号 11794030, 平成 11 年度～平成 13 年度 科学研究費補助金, 研究代表者 今田盛生.
- 国際 P2M 学会 (2014), 国際 P2M 学会ホームページ 国際 P2M 学会について<www.iap2m.org/p2m_top.html>.

- 国内クレジット制度（国内排出量認証制度）(2011), “承認排出削減方法論”, <<http://jcdm.jp/process/methodology.html>> (accessed October 31, 2014).
- 佐々木誠一他 (2006), “燃料用チップ供給コストの試算”, 岩手林技セ研報 No.14.
- 社団法人経済団体連合会 (1991), “経団連地球環境憲章”, <<http://www.keidanren.or.jp/japanese/profile/pro002/p02001.html>>, (accessed October 31, 2014).
- 社団法人経済団体連合会 (1996), “経団連環境アピール –21 世紀の環境保全に向けた経済界の自主行動宣言–”, <<http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/pol094.html>>, (accessed October 31, 2014).
- 小原重信 (2002), 「P2M 入門」, エイチアンドアイ社
- 小原重信 (2003a), 「P2M プロジェクト&プログラムマネジメント 標準ガイドブック上巻」, PHP 研究所.
- 小原重信 (2003b), 「P2M プロジェクト&プログラムマネジメント標準ガイドブック下巻」, PHP 研究所.
- 小原重信 (2011), “P2M プラットフォームマネジメント文脈と論理”, 国際 P2M 学会誌, 5, pp. 95-96.
- 松村幸彦 (2008), 太陽の恵みバイオマス. (財)日本エネルギー学会.
- 水越 伸 (2002), 新版 デジタル・メディア社会, 岩波書店.
- 青木 聡, 久保隆司, 甲田 烈, 鈴木規夫著 (2010), 「インテグラル理論入門Ⅱ ウィルバーの世界論」, 春秋社.
- 石川雅紀, 赤井 誠 (2001), 「ISO14040 シリーズ対応 企業のための LCA ガイドブック」, 日刊工業新聞社.
- 赤祖父俊一 (2010), CO₂ 起因論はなぜ正論らしくなったのか, WEDGE, 株式会社ウェッジ, April 2010.
- 川村雅彦 (2008), 機関投資家と SRI の新しい可能性, ニッセイ基礎研 REPORT December 2008, pp.16-23. <<http://www.nli-research.co.jp/report/report/2008/12/repo0812-2.pdf>> (accessed October 31, 2014).
- 大場英樹 (1979), 「環境問題と世界史」 公害対策技術同友会.
- 田中博 (2015), “北極振動と地球温暖化の関係”, 現代化学, 2015 年 1 月号.

- 独立行政法人国立環境研究所 (2011), 平成 22 年度収支予算, <<http://www.nies.go.jp/gaiyo/yosan/index.html>> (accessed October 13, 2011).
- 独立行政法人産業技術総合研究所 (2011), 2011 年度収入・支出, <http://www.aist.go.jp/aist_j/outline/affairs/index.html> (accessed October 13, 2011).
- 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2006), “林地残存賦存量・利用可能量の推計方法 (H18 改訂版)” .
- 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2010), “バイオマスエネルギー導入ガイドブック (第 3 版)” .
- 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2011), “バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計”, <<http://appl.infoc.nedo.go.jp/biomass/biomas/download/index.html>> (accessed October 31, 2014).
- 日経サイエンス (2012), “「地球温暖化でも厳冬なのはなぜ? 原因は夏の北極海に」 2012 年 12 月 24 日”, <<http://www.nikkei.com/article/DGXBZO49854790R21C12A2000000/?dg=1>>, (accessed February 27, 2014).
- 文部科学省 (2012), “新学習指導要領・生きる力 中学校学習指導要領”, <http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/chu/ri.htm> (accessed October 31, 2014).
- 末吉竹二郎, 井田徹治 著(2006), 『カーボンリスク CO₂・地球温暖化で世界のビジネス・ルールが変わる』, 北星堂書店.
- 鈴木規夫 (2011), 「インテグラル・シンキング---統合的思考のためのフレームワーク」, コスモス・ライブラリー.
- 鈴木邦雄 (2006), 「マネジメントの生態学-生態文化・環境回復・環境経営・資源循環-」, 共立出版株式会社.

博士論文を構成する論文等

1. 公表論文（本論文を構成する査読論文）

- 1) 栗原 崇, 伊藤公紀, 亀山秀雄, 気候変動問題に適用し得る東洋型リスクマネジメントの考察, Journal of International Association of P2M (国際プロジェクト・プログラムマネジメント学会誌) Vol.7(1), 61-72 (2012)
- 2) 栗原 崇, 伊藤公紀, 気候変動マネジメントにおけるシナリオ・プランニング理論の展開, Journal of International Association of P2M (国際プロジェクト・プログラムマネジメント学会誌) Vol.8(2), 169-182 (2014)
- 3) 栗原崇, 伊藤公紀, 雨宮隆, 社会システムの動的不安定性からみたプログラムマネジメント手法- 気候変動問題を事例に -, Journal of International Association of P2M (国際プロジェクト・プログラムマネジメント学会誌), (印刷中)

2. 学会発表

- 1) 栗原 崇, 伊藤公紀, 亀山秀雄, 気候変動問題に適用し得る東洋型リスクマネジメントの考察, 国際 P2M 学会 春季研究発表大会 (2012年4月21日, 東京), 2012年4月 春季研究発表大会予稿集, pp.110-121.
- 2) 栗原 崇, 伊藤公紀, シナリオ・プランニング手法による気候変動問題の今後, 国際 P2M 学会 春季研究発表大会 (2013年4月20日, 東京), 2013年4月 春季研究発表大会予稿集, pp.198-207.
- 3) 栗原 崇, 伊藤公紀, 気候変動マネジメントにおけるシナリオ・プランニング理論の展開, 国際 P2M 学会 秋季研究発表大会 (2013年10月5日, 東京), 2013年10月 秋季研究発表大会予稿集, pp.256-265.
- 4) 小川隆雄, 栗原崇, 伊藤公紀, 気候変動対策への P2M 適用に関する考察 - ISO 認証制度を活用した MRV スキームモデルの構築 -, 国際 P2M 学会 秋季研究

発表大会 (2013年10月5日, 東京), 2013年10月 秋季研究発表大会予稿集, pp.40-50.

- 5) 栗原 崇, 伊藤公紀, 雨宮 隆, 社会システムの動的不安定性からみたプログラムマネジメント手法 - 気候変動問題を事例に -, 国際 P2M 学会 秋季研究発表大会 (2014年9月27日, 京都), 2014年9月 秋季研究発表大会予稿集, pp.99-118.

3. その他の参考論文

- 1) 小川隆雄, 栗原崇, 伊藤公紀, 気候変動対策へのP2M適用に関する考察 - ISO 認証制度を活用した MRV スキームモデルの構築 -, Journal of the International Association of P2M (国際プロジェクト・プログラムマネジメント学会誌), 8 (2), 45-55 (2014)
- 2) Investor CDP 2010 Information request: Astellas Pharma
<<https://www.cdp.net/Sites/2010/51/1051/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>>
- 3) Investor CDP 2011 Information request: Astellas Pharma
<<https://www.cdp.net/Sites/2011/51/1051/Investor%20CDP%202011/Pages/DisclosureView.aspx>> (accessed May 6, 2014)
- 4) Investor CDP 2012 Information request: Astellas Pharma Inc.
<<https://www.cdp.net/Sites/2012/51/1051/Investor%20CDP%202012/Pages/DisclosureView.aspx>> (accessed May 6, 2014)
- 5) Investor CDP 2013 Information request: Astellas Pharma Inc.
<<https://www.cdp.net/sites/2013/51/1051/Investor%20CDP%202013/Pages/DisclosureView.aspx>> (accessed May 6, 2014)
- 6) Investor CDP 2014 Information request: Astellas Pharma Inc.
<<https://www.cdp.net/sites/2014/51/1051/Investor%20CDP%202014/Pages/DisclosureView.aspx>> (accessed October 17, 2014)

謝辞

本研究に取り組むに当たり、指導教官として幅広い見識のもとご指導いただきました横浜国立大学大学院環境情報研究院の伊藤公紀教授に、ここに謹んで深甚なる謝意を申し上げます。社会人学生として受け入れていただき、また毎週金曜日の仕事帰りに登校する私に対し時間を割いていただき、様々な視点から科学や社会問題に切り込む研究者としての心構えをご指導していただきました。中味の濃い、充実した三年間を乗り切ることができたのも、偏に伊藤公紀教授の親切なご指導によるものと感謝するとともに、重ねてお礼申し上げます。

自然科学とマネジメントの融合についての研究では、終始親切なご指導、ご助言をいただいた横浜国立大学大学院環境情報研究院の雨宮隆教授に、深く感謝いたします。

本博士論文の審査を快く引き受けて下さいました横浜国立大学大学院環境情報研究院の松本真哉教授、大矢勝教授、及川敬貴准教授に深く感謝いたします。

本マネジメント手法に関する研究は、プロジェクト・プログラムマネジメント理論を応用し、気候変動問題のマネジメントに関して理論展開を行ったものです。学会発表等では、一般社団法人国際 P2M 学会副会長ならびに東京農工大学大学院工学研究院の亀山秀雄教授、国際 P2M 学会副会長の小原重信氏にご指導、ご助言いただき、深く感謝いたします。

包括的なマネジメント手法を開発するに当たり導入した Integral Theory について、その概念や展開の可能性などをご助言下さいました、日本における第一人者であるインテグラル・ジャパン総合研究所の鈴木規夫博士に深く感謝いたします。

本研究を始めるに当たり、博士後期課程への進学を強く推していただきました、東京工業大学大学院イノベーションマネジメント研究科技術経営専攻の中村昌允客員教授に感謝いたします。本研究の基盤となる研究は、専門職大学院である東京農工大学大学院技術経営研究科技術リスクマネジメント専攻に在籍していた当時、指導教官であった中村教授（当時）のもとで技術者倫理を研究し、自然科学を鳥瞰的にマネジメントする方法論研究の必要性を抱いたことがきっかけとなりました。中村教授との出会いがなければ、博士後期課程への進学もなかったと思います。お礼申し上げます。

同窓の社会人大学院生として、励ましをいただきました山崎和子氏、プロジェクト・プログラムの気候変動問題への応用について共に研究に勤しんだ小川隆雄氏には、深く感謝いたします。

さらに、伊藤・雨宮研究室でのゼミ報告では、厳しくご助言いただきました研究教員の中島啓光博士、研究室の先輩として研究面での様々なアドバイスをいただきました柴田賢一博士(現東洋大学生命科学部応用生物科学科研究助手)に深くお礼申し上げます。また、「金曜日のおじさん」を受け入れていただいた伊藤・雨宮研究室のみなさんに、お礼申し上げます。本研究論文は、伊藤・雨宮研究室のすべての皆さんとの出会いによって完成したものです。ここに深く感謝いたします。

社会人学生として、博士後期課程への進学を許可いただきましたアステラス製薬株式会社総務部部長須田武司氏、岡田昌昭氏に深く感謝いたします。

社会人になってから再び学問の扉を開くことに応援をしてくれた母 正子に、心からお礼申し上げます。

そして、週末は一緒に遊びたい筈なのに、「お父さん学校に行くんでしょ？行ってらっしゃい！」と送り出してくれた長男 嶺、長女 杏、本当にありがとう。二人の応援は、いつも励みになりました。これまで十分に遊んであげられなかった時間を、お父さんはこれから一生懸命取り戻すつもりです。

最後に、専門職課程から数えて五年間、会社員であり学生でもあった私の生活を、様々な面でサポートし、時にやさしく、時に厳しく、励まし支えてくれた妻 直子に厚く感謝の意を記したい。あなたの支えがなければ、タフな研究生活を乗り切ることは出来なかったはずです。ありがとう。

2015年2月7日

栗原 崇