

Title	温暖化対策評価システムの設計、開発
Author(s)	廣木, 大介
Citation	
Issue Date	2003-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/463
Rights	
Description	Supervisor:中森 義輝, 知識科学研究科, 修士

修 士 論 文

温暖化対策評価システムの設計、開発

指導教官 中森義輝 教授

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識システム基礎学専攻

150058 廣木 大介

審査委員： 中森 義輝 教授（主査）

Gu Jifa 教授

橋本 敬 助教授

伊藤 孝行 助教授

2003 年 2 月

目 次

1	はじめに	1
1. 1	研究の背景と目的	1
1. 2	本論文の構成	3
2	地球温暖化問題について	3
2. 1	地球温暖化問題の特徴	3
2. 2	地球温暖化に対する国際的な取り組み	3
2. 3	日本の取り組みについて	4
2. 4	社会とエネルギー消費の関係性	6
2. 5	政策評価システムの必要性	6
3	本研究で用いたデータについて	8
3. 1	IPCC 排出シナリオについて	8
3. 2	IPCC シナリオデータ SRES の構造	9
3. 2. 1	シナリオ	10
3. 2. 2	モデル	13
3. 2. 3	地域	14
3. 3	SRES データの参照方法	14
4	コンテキストモデルについて	15
4. 1	コンテキストモデル	15
4. 2	本研究におけるコンテキストモデル	16

5	温暖化対策評価システムのフレームワーク	18
5.1	システムの概要	18
5.2	実装された評価システムの概要	21
5.3	評価対象の設定	21
5.4	評価基準データの選択	23
5.5	メンバーシップ値の決定およびデータの出力	24
6	システムの実装および結果について	26
6.1	システムの実装	26
6.2	評価実験	26
6.3	図の意味について	39
7	おわりに	40

謝辞

参考文献

目 次

2. 1	各国・地域の GDP 当たり CO2 排出量(1997)	5
3. 1	SRES シナリオデータ算出の仕組み	9
3. 2	SRES データの構造	9
3. 3	叙述的シナリオの分類	10
5. 1	評価システムの概要 a	19
5. 2	評価システムの概要 b	19
5. 3	評価システムの概要 c	20
5. 4	評価システムの概要	20
5. 5	入力設定画面	23
6. 1	FossilFuel CO2 AIM A1	27
6. 2	FossilFuel CO2 ASF A1	27
6. 3	FossilFuel CO2 IMAGE A1	28
6. 4	FossilFuel CO2 MARIA A1	29
6. 5	FossilFuel CO2 MESSAGE A1	29
6. 6	FossilFuel CO2 MiniCAM A1	30
6. 7	FossilFuel CO2 AIM A2	30
6. 8	FossilFuel CO2 ASF A2	31
6. 9	FossilFuel CO2 IMAGE A2	32
6. 10	FossilFuel CO2 MESSAGE A2	33
6. 11	FossilFuel CO2 MiniCAM A2	33
6. 12	FossilFuel CO2 AIM B1	34
6. 13	FossilFuel CO2 ASF B1	34
6. 14	FossilFuel CO2 IMAGE B1	35

6. 1 5	FossilFuel C02 MARIA B1	.	.	.	.	.	.	.	.	3 5
6. 1 6	FossilFuel C02 MESSAGE B1	.	.	.	.	.	.	.	.	3 5
6. 1 7	FossilFuel C02 MiniCAM B1	.	.	.	.	.	.	.	.	3 6
6. 1 8	FossilFuel C02 AIM B2	.	.	.	.	.	.	.	.	3 6
6. 1 9	FossilFuel C02 ASF B2	.	.	.	.	.	.	.	.	3 7
6. 2 0	FossilFuel C02 IMAGE B2	.	.	.	.	.	.	.	.	3 7
6. 2 1	FossilFuel C02 MARIA B2	.	.	.	.	.	.	.	.	3 8
6. 2 2	FossilFuel C02 MESSAGE B2	.	.	.	.	.	.	.	.	3 8
6. 2 2	FossilFuel C02 MiniCAM B2	.	.	.	.	.	.	.	.	2 3

表 目 次

5. 1 入力データの種類	11
-------------------------	----

第 1 章

はじめに

1.1 研究の背景と目的

近年の地球環境問題に対する関心の高まりは、個人、企業、国家など様々なレベルにおいて具体的な対策に取り組む原動力となっている。この環境問題に対するアプローチの仕方は、その問題を認識している個人や組織によって異なり、また求める結果も、もたらされる成果も異なっている。環境問題への感心の高まりが、その解決方法において様々なアプローチを実行する反面、様々な意志決定主体が複雑に関係しあう社会での、大規模な問題に対して効果的な対策を決めることが難しくなっているのも事実である。1997年12月に開催された気候変動枠組み条約第3回締約国会議（地球温暖化防止京都会議 COP3）における温室効果ガス排出削減などの問題は、こうしたアプローチ多様さと関係する要素間の複雑性によって具体的な対策を立てることが非常に難しい問題の一つである。温暖化防止のように、温室効果ガスの排出量という一つの評価項目を満足するために、社会に対してどのような制度や政策を適用し、どのような社会を構築すれば良いのか？といった問題は、単純に特定の要素に対する最適化を行うような制度だけでは対策として不十分である。

一方、国際的な地球温暖化に関する研究は既にコンピュータシミュレーションによって、今後の社会発展の方向によってどのように変化するかが複数示されている。このコンピュータシミュレーションを利用して、国家における温暖化対策の具体的な政策が地球規模での温暖化防止にどの程度の効果を持つのかをシミュレートすることも原理的には可能である。しかし、地球規模での気候変動をシミュレートする非常に大

規模なシステムを、個別の問題ごとに構築することは、費用や利便性等の面で有用性を著しく欠くことになる。また、シミュレーション研究においては常に、結果に対するシミュレーションシステムの信頼性が問われるため、新たなシステムを生成することが、必ずしも良い結果を生むとは言えない。

本研究は、コンピュータシミュレーションによる仮想の世界が提供するデータと、現実的かつ実現可能な社会経済モデルとの間をつなぐことによって、効果的な温暖化対策の策定を支援するシステムの設計と開発を行うものである。具体的には、地球温暖化に関する対策がもたらす効果を「仮想社会経済モデル」としてカプセル化し、新たなシミュレータを構築することなく温暖化対策を評価することが目的である。また、こうしたシステムを用いた評価手法をもとに、より正確な評価を行うために必要な要素について考察する。

1.2 本論文の構成

本研究では、IPCC データを用いた温暖化対策評価システムの設計・開発を目指す。次章では温暖化対策の前提となる地球温暖化問題とその取り組みについて概要と、それを踏まえたシステムの必要性について述べる。

第3章では温暖化問題の定量的なデータで、本研究で温暖化対策の評価基準として利用する IPCC 排出シナリオ(SRES シナリオ)データについて述べる。

第4章ではコンテキストモデルについて述べる。これは、IPCC による SRES シナリオを用いて政策を評価するための具体的な手法である。

第5章ではコンテキストモデルを適用した SRES シナリオデータを用いてどのようなシステムを構築し、またどのような情報を得ることができるのかについて述べる。

第6章では実際にシステムを実装し、その結果について述べる。

第7章は本研究のまとめとする。

第 2 章

地球温暖化問題について

2.1 地球温暖化問題の特徴

ほぼ全ての社会活動が温暖化の原因となるため、地域や分野を特定した対策以上に、全地球的な協調が重要となっている。これは過去の公害問題のように、汚染を行う主体と、それによって発生する被害者という構造とは全く異なった問題である。

このため、この温暖化問題においては技術的な解決方法だけでなく、これらを効率的に運用する社会科学的なあらゆる手法を有機的に運用する、ポリシーミックスの考え方が重要とされている。しかし、現実的には環境悪化の原因物質の排出は国境や時間を超えて行われていた問題や、被害を受ける地域が広範囲に渡るため、国際的な協調体制をとることは非常に難しい課題である。そのため、国際協調の枠組みを形作るために設けられたものが以下に述べる条約と会議である。

2.2 地球温暖化に対する国際的な取り組み

地球温暖化に関する国家間の取り組みはここ数年に頻発した大規模かつ広範囲な自然災害の頻発などから、ますます重要視されるようになってきている。近年見られる国家の規模を越える大規模災害の頻発は、被害国の経済システムなどに打撃を与えている。人類にとって解決すべき優先課題であると言える。しかし、環境悪化の原因を巡ってその主要な原因を経済的な利害対立に見る傾向が強く、具体的且つ効果的な対策をとる国際的な足並みはなかなか揃わないのが現状である。こうした現状を踏まえ、

国際協調の枠組みとして1992年に『気候変動に関する国際連合枠組み条約（気候変動枠組条約）』が採択されている。この『気候変動枠組条約』締約国によって開催される会議が『気候変動枠組条約締約国会議（The Conference of the Parties : COP）』であり、1997年に京都で開催された会議は第3回目の締約国会議(COP3)であった。

COP3（京都会議）では、温室効果ガスの長期的・継続的な排出削減の第一歩として先進国の温室効果ガスの排出削減を法的拘束力を持つものとして約束する京都議定書が採択された。議定書では、先進国に対して、特定の温室効果ガスについて数値目標を達成するように約束が定められた。さらに、この数値目標を達成するための様々な手段に関して規定が行われ、京都メカニズム（共同実施）や低排出型の開発制度（クリーン開発メカニズム：CDM）などが規定された。

しかし、こうした温室効果ガス排出削減に関する様々な施策が議論されているにもかかわらず、米国は自国の産業や経済的影響を考慮して京都議定書への不参加を発表するなど、既に国際協調の足並みは乱れは始めているのが現状である。また、京都議定書では発展途上国に対する削減義務は課されていないことも、制度の不備な点としてあげる国も少なくない。

日本と経済的な関係性の深いアジア太平洋地域では、異なる発展段階の国家が存在し、温暖化ガス排出の増大や、公害の増加といった自然環境の劣化等の様々な問題が同時に顕在していくと考えられている。[1] しかし、この地域全体の環境に対する科学的な知見の蓄積はわずかであり、必ずしも環境問題に係る共通認識の醸成が進んでいるとは言えず[1]、これらを総合的に解決するような経済政策と環境政策を統合する試みは立ち後れている。

2.3 日本の取り組みについて

日本は省エネ技術の普及などによってGDP当りのCO2排出量がかなり少ない状況である(図2-1)が、排出量では、世界4位の排出量であり、温暖化防止において大きな責任を負っていると言える。こうした状況から、京都議定書において、2008年から2012年までに、温室効果ガスの排出量を1990年比で6%削減することが目

標とされているが、すでに1990年比で排出量は増加傾向にある。

こうした日本特有の状況を踏まえた上で、どのようにして目標値を達成するのがわが国に課されたもっとも大きな課題である。先の述べたように、日本はエネルギー利用効率が高他の先進諸国よりも優れていることなどから、省エネルギー技術を展開するだけでは目標達成は困難であると予想されている。従って、技術的な解決方法に頼るだけでは、削減義務を果たすことは難しく、社会全体に対して排出量を抑制する政策をとる必要に迫られている。すなわち、社会全体が、温室効果ガスの排出を抑制、削減していくためには、技術や制度を組み合わせることによってどのような社会を構築していくか？ という問題を解決していくプロセスに他ならないのである。

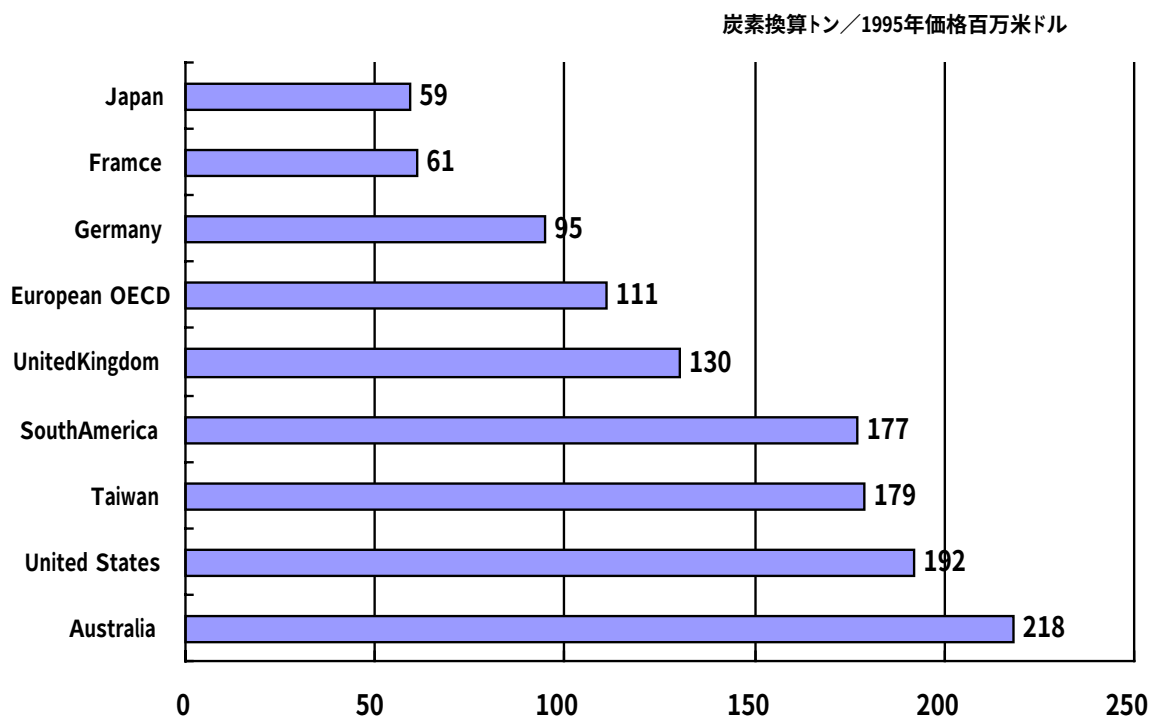


図2-1 各国・地域のGDP当たりCO2排出量(1997年)

2.4 社会とエネルギー消費の関連性

上述のように日本はエネルギー利用効率が高く、GDPに対する温室効果ガス排出量は

きわめて少ない。これは、エネルギー資源を他国に依存していることに起因し、エネルギー消費効率を上げることが即、コスト削減につながるという構造があったためである。また、石油ショックによる省エネルギーに関する社会意識の高まりなどが、機器の効率的な運用を世界トップレベルへ押し上げる支えとなっていたという一面もある。これらの要因から、エネルギーの効率的な利用に関して、日本は技術的に優れた知識を保有し温暖化ガス排出削減における強みとなっている側面と、こうした技術を活用してもなお排出量の削減に至らないという2つの現実を抱えていると言える。この矛盾する2つの事実から、日本が抱えている課題は以下のような点に集約できる。

- (1) エネルギー利用効率をさらに高める技術的イノベーションの実現
- (2) エネルギー消費を抑制するライフスタイルに対する理解と実践
- (3) 温室効果ガス排出抑制を促す制度・政策の実現

これら3つの課題は「技術の革新」「価値観の転換」「制度の変革」という社会における環境対策の枠組みのポイントとなっている。[6] 今後、我々はこの3つのポイントをどのように克服、実践していくかが、我々に課された課題である。

一方、本質的な温暖化防止のための対策としては、エネルギーの効率的な利用が他国においても実現されなければならない。このため、他国においても上記3つの課題を克服するために、技術移転や議定書によって定められた協調メカニズムを効果的に活用することを考慮する必要があると言える。

2.5 政策評価システムの必要性

上述のとおり、地球温暖化に関する対策は、国際的な協調と社会制度に対する影響範囲の広さが顕著な問題であることが分かる。また、具体的な対策が最終的にはこれを実現する社会制度の構築に依存した問題である。このため、政策立案者は温暖化防止対策を実現する社会がどのような社会なのか、またどのような社会制度であれば、温室効果ガス排出削減ができるのかを、様々な政策オプションから考慮しなければならない。しかし、政策を実行できる社会はただ一つであり、政策オプションの組み合わせを複数用意して社会実験するといったことは、規模的にも不可能である。このた

め、あらかじめとりうる政策オプションを組み合わせた、社会経済モデルの温室効果ガス排出量が、シミュレーション上ではどのような軌跡たどるのが判れば、実際の政策立案において有用な情報となる。本研究で利用する IPCC による SRES シナリオデータは、仮想の社会システムにおける温室効果ガス排出量をシミュレーションによって推計したデータであり、地球温暖化問題を科学的に解明するための基本情報として公開されているものである。従って、国家レベルの温暖化対策など、国際的な枠組みにおける社会・経済など広範囲に渡る対策を最終的に評価するためには、このデータを用いることが妥当である。このデータを用いて国家レベルでの温暖化対策が国際的な温暖化対策の枠組みの中においてどのような成果もたらすのかを評価することができれば、これは前述のような政策立案者に対して、シミュレーションを行う以上の情報を提供することができる。しかし次章で述べるように、温暖化対策評価の基準となる IPCC データは扱う範囲の大きなデータでありこのデータ構造を理解せずに取り扱うことは困難である。従って、温暖化対策を IPCC データに基づき評価できる簡便な評価システムが必要なのである。

第 3 章

本研究で用いたデータについて

3.1 IPCC 排出シナリオについて

地球温暖化がどの程度進むかは人間社会がどのような方向に発展するかによって大きく左右されることはこれまで述べてきた。将来の社会発展の描き方によってエネルギー利用や土地利用などが変化し、温室効果ガスなどの排出シナリオは変化する。結果として温暖化予測に大きな差が生まれ、対策の種類や程度が異なってくることになる。このため、具体的な温暖化対策を議論するための基本的な温暖化予測の情報として提供されているのが、温室効果ガスの時系列排出予測データ、すなわちシナリオデータである。このIPCCが公開している排出シナリオデータは図3-1に示すように、入力値に将来100年間の社会経済モデルを用いて、温室効果ガス排出の原因となる要素の推移を予測し推計モデルのDrivingForceとしている。これを全世界をカバーする複数の推計モデルを用いて、最終的に様々な温室効果ガス排出量シナリオを計算したものである。

IPCC(気候変動に関する政府間パネル)は1990年から排出シナリオを提供してきた。このIPCCによって提供されるシナリオデータは1990年以降幾度か改定されてきたが、1990年代初頭の社会変化等を考慮に入れた新しいデータを1996年にIPCC内で組織されたプロジェクトチームによって作成した。これがSRES(Special Report on Emission Scenarios)データである。

SRESデータはIPCCが提供してきた排出シナリオ400以上から2100年までを推計期間としている190のシナリオデータについて分析を行った。この190のシナリオは多様な社会経済発展の仮定のもとで推計された非常に大きな幅を持つデータとなっている。SRESデータはこの推計幅の広いデータを網羅する形で作成されたデータである。

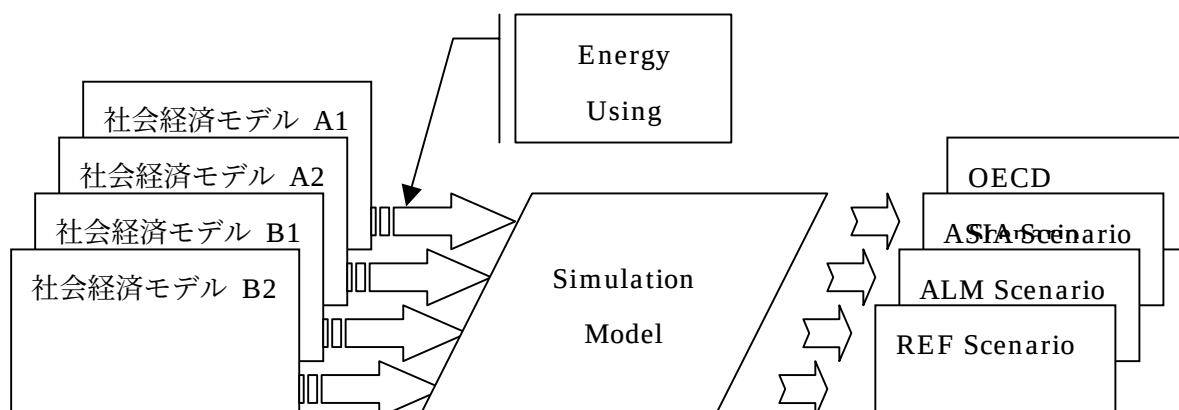


図 3-1 SRES シナリオデータ算出の仕組み

3.2 IPCCシナリオデータSRESの構造

本章では、温暖化対策を議論する上で基本となるSRESデータについてその構造や意味について述べる。基本的なSRESデータの構造は図3-2のようになっているが、以下ではこれらの詳細について述べる。なおこの章においては、4つの社会・経済シナリオについて - 「温室効果ガス排出量削減シナリオ策定調査報告書」[3]を参照、引用している。

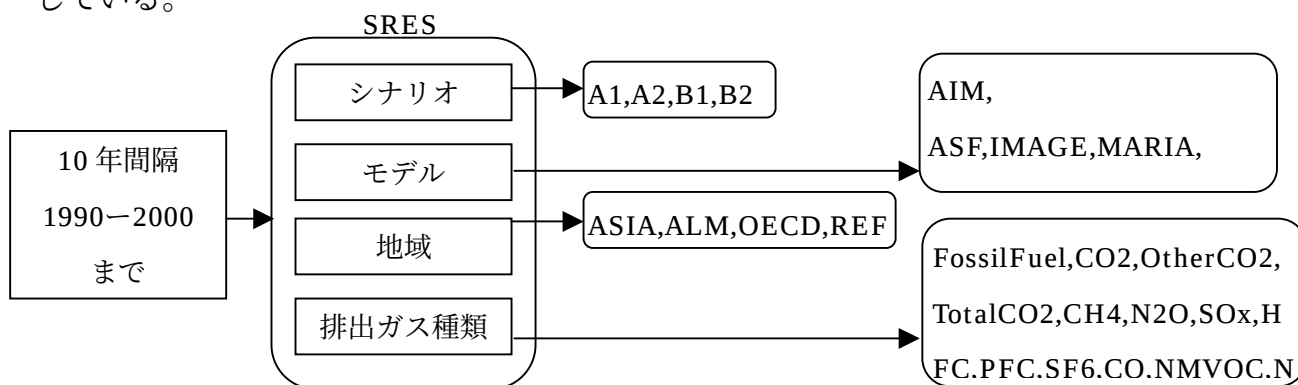


図 3-2 SRES データの構造

3.2.1 シナリオ

先に述べたように、SRESデータはまずはじめに想定する社会経済モデルについて定義を行わなければならない。しかし、社会経済モデルを定量的に定義することは

容易な作業ではない。現実にはIPCCが過去に提供してきた排出シナリオの分析から、その温室効果ガス排出シナリオには大きな幅があることが判っているが、これは推計モデルにおいて多様な経済社会発展の仮定が存在していることを意味していることから容易に想像できる。このためIPCCでは過去に提供してきた排出シナリオデータ推計にで用いられたモデルの仮定である社会経済モデルを、4つの社会モデルに分類し『叙述的シナリオ』として定性的な記述を行っている。この4つの叙述的シナリオは、社会の将来における発展の可能性を社会的・経済的・技術的・環境的パラダイムを展開したもので、定量的なシナリオの前提条件を一貫性を持って考えやすくするためのものである。

4つの叙述的シナリオはいずれも地球温暖化の軽減のための政策を含んでいないそれぞれ異なった発展方向を示した、今よりも一般的に豊かな将来世界を描いたものである。この4つの叙述的シナリオは、「A1」、「A2」、「B1」、「B2」と記号で呼ばれるものである。これら叙述的シナリオの発展の方向性は図3-3のような関係にあるとしている。

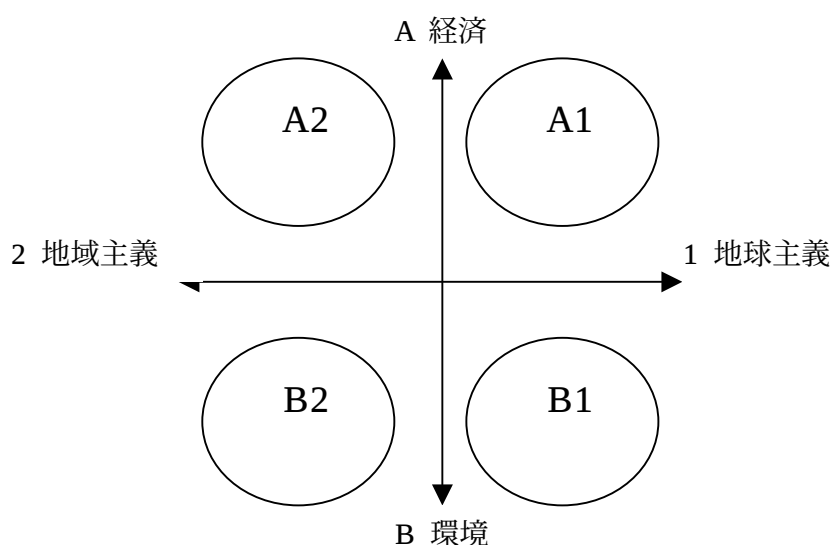


図 3-3 叙述的シナリオの分類

すなわち、ここでいう叙述的シ

ナリオとは図3-3における社会経済モデルのことを指し、社会経済モデルはこれまでのIPCCシナリオデータの推計幅から4種類に分類されたものであると言える。

図3-2の分類に示されているように4つの叙述的シナリオにはそれぞれ定性的に記述できる社会経済の傾向が示されている。A-B軸は経済発展についての相対的な方向性を示し、経済を重視するのか、環境を重視するのかをあらわす軸である。1-2軸は経済発展の方向性として、地球主義的な経済発展（グローバル経済）を目指すのか、あるいは地域主義的な経済発展を目指すのかをあらわしている。こうした2つの軸を組み合わせることで描かれる4つのシナリオの概要を説明する。

(1) A1シナリオ：高成長社会シナリオ

A1シナリオは、「高成長社会シナリオ』である。マーケットの利点を活用して世界中が更に経済成長を遂げ、教育、技術、そして社会制度に大きな変革が生じるシナリオである。過去100年間の平均経済成長率、年役3%が、今後100年間も続く都市、2050年の一人当たり所得は世界平均で2万米ドルをこえる。特に発展途上国の成長が目覚ましく、南北の格差が急速に縮まる。これにより途上国の出生率は下がり、世界人口は2050年の90億人から2100年には70億人に下がる。平均寿命は伸び、核家族化が進む。急速な経済の拡大は、大量のエネルギー資源を必要とし、資源開発や新エネルギー開発への投資が加速する。途上国の食生活が肉食嗜好に急速にシフトし、集約的農業に移行する。先進国から途上国への技術移転も進み、途上国の技術革新や自動車保有が早まる。環境問題の解決はマーケットによって大きく影響を受け、環境保全と言うよりも環境管理や創造の観点から解決が図られる。

(2) A2シナリオ：多次元社会シナリオ

A2シナリオは「多次元化社会」とでも呼べるものである。世界の各地域が固有の文化を重んじ、多様な社会構造や政治構造を構築していくことによって、世界の間常に緊張関係が生じ、国際的な貿易や人の移動、技術の移転が制限される。このため経済発展は遅れ、一人当たり所得も2050年で7千ドル程度と伸び悩む。途上国の出生率は下がらず、今世紀末の人口は150億人に達してしまう。地域間の自然資源や資産の格差は、地域間の所得格差をますます拡大させる。資源の少ない地域では技術開発への投資が加速されるが、経済成長が低めであるため一般的に技術革新は遅れ気味となる。環境への関心は相対的に低く、地域的な環境問題の深刻化のみが環境対策への動機付けとなる。

(3) B1シナリオ：持続発展型社会シナリオ

B1シナリオは「持続発展型社会シナリオ」と呼ぶことができる。環境や社会への高い関心に基づいて、地球公共財としての環境の保全と経済の発展を地球規模で両立し、バランスのとれた経済発展を図るシナリオである。資源利用の効率化(脱物質化)、社会制度、環境保護に集中的に投資がおこる。資源利用の

効率化は、資源の供給側面を重視する高成長社会シナリオと違い、資源の需要面に集中して生じる。また、廃棄物の減量化やリサイクルが進み、資源利用の効率化やリサイクルの活性化によって環境産業の市場が急速に拡大し、これが経済成長の持続に大きく貢献する。経済成長率は高成長シナリオより低くはなるが、2050年の一人当たり平均所得は1万3千ドルに達する。発展途上国では、先進国からの先端技術の移転が進み、クリーン技術が普及し、これに伴い、教育やキャパシティビルディングも大きく進展する。このため、いわゆるショートカットと呼ばれる発展パターンに乗って、途上国の公害対策が著しく進展する。公共交通システムが整備され、都市構造はコンパクト化し、低投入・低負荷型農業が普及する。自然保護を推進することで農畜産物価格は相対的に高いが、肉食への食生活へのシフトは抑えられる。

(4) B2シナリオ：地域共存社会型シナリオ

B2シナリオは、「地域共存社会型シナリオ」と呼ぶことができる。環境や社会への高い関心に基づくが、地球規模の問題への関心や国際的な問題解決という方向に向かわず、地域の問題と公平性を重視して、ボトムアップの方向で発展を図るシナリオである。マーケットにまかさずローカルな政府の政策が発展を牽引する。教育と福祉向上政策により、発展途上国の死亡率、出生率の双方が下がるため、人口は今世紀末で100億人程度となる。国際マーケットよりも地域の共存を重視する分、経済成長はやや低めとなり、2050年で一人当たり所得が1万2千ドルとなる。個人間および南北間の所得格差は縮小する。技術移転などの途上国支援は、国際的な統一ルールではなく2国間で別々にすすめられる。地域的な独立性が高まり、地域ごとの経済圏や政治システムが発展していく。これにより、エネルギー、食料、環境などの問題は、各地域の中で主体的に解決が図られる。

これら4つの叙述的シナリオから、ガス排出量を推計するシミュレーションモデルにおけるdriving forceを導きだし、次に述べる推計モデルの入力データとしている。

3.2.2 モデル

前述の叙述的シナリオをベースにした定量化（排出予測）では以下の6つのモデルがそれぞれアプローチの異なる推計モデルを用いて定量化を行った。

- ・ AIM(国立環境研究所・京都大学 アジア太平洋統合モデル)
- ・ ASF(アメリカICF Consulting 大気安定化枠組みモデル)
- ・ IMAGE(オランダ公衆衛生・環境保護研究所 温室効果ガス影響評価統合モデル)
- ・ MARIA(東京理科大学 多地域資源産業配分モデル)
- ・ MESSAGE(オーストリア国際応用システム研究所 エネルギー供給戦略・環境影響モデル)
- ・ MiniCAM(アメリカ国立大平洋北西研究所 簡略気候評価モデル)

この6つのモデリングチームによるシナリオの定量化は、最終的に40の排出シナリオとしてまとめられた。この時、それぞれのモデルで用いられる人口、経済成長率、最終エネルギー需要、CO₂排出といったモデルのdriving forcesを共通化し、相互に比較が可能なように調整されてたものが公開されている。
(http://ipcc-ddc.cru.usa.ac.uk/asres/sres_home.html)。

3.2.3 地域

叙述的シナリオを定量化する際に6つの定量化モデルは、世界を4つに分類してシナリオの推計を行っている。この4つの分類は全てのモデルにおいて共通であり、全世界すべてを示す「World」のシナリオはこれら4つの分類の総和である。以下に4つの地域区分を示す。

- ・ OECD90:1990年時点でのOECD加盟国。(北米、西欧、太平洋OECD加盟国)

- ・ REF:東欧・中欧および旧ソ連諸国。
- ・ ASIA:中東をのぞくアジアの発展途上国。(アジア社会主義諸国、中国、南アジア、その他の太平洋アジア諸国)
- ・ ALM:上記に含まれない国。アフリカ、ラテンアメリカ、中東の発展途上国。(ラテンアメリカおよびカリブ海諸国、中東および北アフリカ、サブサハラ)

3.3 SRES データの参照方法

図3-2に示しているようにSRESデータは1990年から2100年までの100年間で10年間隔でガス排出量を推計している。このデータにおいて任意のガス排出量について知りたい場合は、図3-2で示された各データ属性を指定することでそのデータを得ることができる。従って、SRES データは基本的には図3-2で示された属性の直積集合である。このため、SRESデータを扱う場合には、一般的なりレーショナルデータベースと同様の考え方を適応することが可能である。

本研究では、このSRESデータを構成する各属性をコンテキストモデルを用いてSRESデータから任意の幅をもつデータを抽出し、このデータを評価基準データとして利用している。

次章では、一般的なコンテキストモデルと本研究におけるコンテキストモデルについて説明する。

第 4 章

コンテキストモデルについて

4.1 コンテキストモデル

本研究では、SRES データをコンテキストモデルを用いて整理することにより、任意のコンテキストを選択して評価基準とすることが可能なモデルを構築する。ここではそのための基本的な情報として、既存のコンテキストモデルについて述べる。

コンテキストモデルは、次式のように定義できる。

$$\langle D, C, A_c(D) \rangle \quad (4.1)$$

D … 「ある物事」の議論領域。(例：身長 $D=[1m, 3m]$)

C … コンテキストの有限集合。(例：国籍 $C=[\text{Japanese}, \text{American} \dots]$)

A … 評価における言語の集合。(例：高さ $A=\{\text{very small}, \text{small}, \text{medium}, \text{tall}, \text{very tall}\}$)

$A_c(D) = \{a \mid a: C \rightarrow 2^D\}$ … コンテキスト C における議論領域 D に対する評価に用いられた言語の集合。(例：身長(背の高さ)という議論領域での、日本人というコンテキストにおける評価言語の集合)

$\alpha(c): (c \in C)$ … 言語表現 a のあるコンテキストにおける区間ファジィ数である。

4.2 本研究におけるコンテキストモデル

式 4.1 で示したコンテキストモデルは、SRES データにおいても適応が可能である。ここでは、コンテキストモデルを SRES データに適応した場合について述べる。

まず、SRES データがどのような構造をしているのかを考える。3 章でも述べたように、SRES データを構成する要素は大きく 3 つ存在する。それは

シナリオ

モデル

地域

の3つである。またこの3つに加えて

入力データの属性

排出ガスの種類

年

という属性が存在している。

SRES データはこの5つの属性の直積集合である。このためすべての属性値を指定しなければ、任意の値を参照することはできない。ここでは、コンテキストモデルを用いて、評価対象となる仮想社会経済モデルの比較対象を指定する。システムの実装においては、任意の排出ガスについて、時系列のデータが必要になるため、これらの項目もコンテキストモデルの中に組み込まなければならないが、ここでは簡略化のために、すでに、任意の排出ガスについて、任意の年が選択された状態を仮定して話をすすめていく。

SRES データにおける議論領域とは、ある排出ガス量の最大値と最小値の範囲にあり、次のように示すことができる。

$$D : [\max_f, \min_f] \quad \text{ある排出ガスのとりうる排出量の範囲}$$

この時、排出ガス量の区間を決定するコンテキストは、地域に依存している。

$$C = (R) \mid r \in R \quad R = \{OECD, ASIA, REF, ALM\}$$

任意のコンテキストにおける排出ガスがどのような評価されているのかを示す写像 A は、次のように示すことができる。

$$A = \{a \mid a : S \rightarrow 2^D\} \quad \text{ただし、} S = \{A1, A2, B1, B2\}$$

SRES データにおけるコンテキストモデルは、任意の排出ガスに対する評価が、地域と、モデルによって異なってくることを示している。

第 5 章

温暖化対策評価システムの フレームワーク

5.1 システムの概要

温暖化対策評価を行う場合その評価対象となるのは、温暖化対策を実行する社会そのものである。そのため、政策立案者などにとって重要なのは、

- 1.現在の社会がどのような状況にあるのかを把握できること
- 2.定量的なデータから定性的な評価を得ること
- 3.複数の政策・制度を同じ基準で評価できること

などが考えられる。よって、本研究ではこれらの踏まえた上で、実装すべき機能を次のように想定した。

- a. SRESデータの中に現在の社会状況を投影する。
- b. 投影結果から、SRESデータにおける定性的な記述データを提示する。
- c. 様々な観測データなどから、仮想社会モデルを生成する。

これらの機能を全て実装することが評価システムの開発目標である。

図5-1は上記3つの実装すべき機能のaについての概要を示したものである。政策立案者は、現実社会を観察、調査し、評価システムに対して「現在の社会の状況」を知ることができる。SRESデータの特徴から、現在の状況の位置づけが可能になれば、それをもとにした将来の排出量のおおまかな予測データを得ることができる。

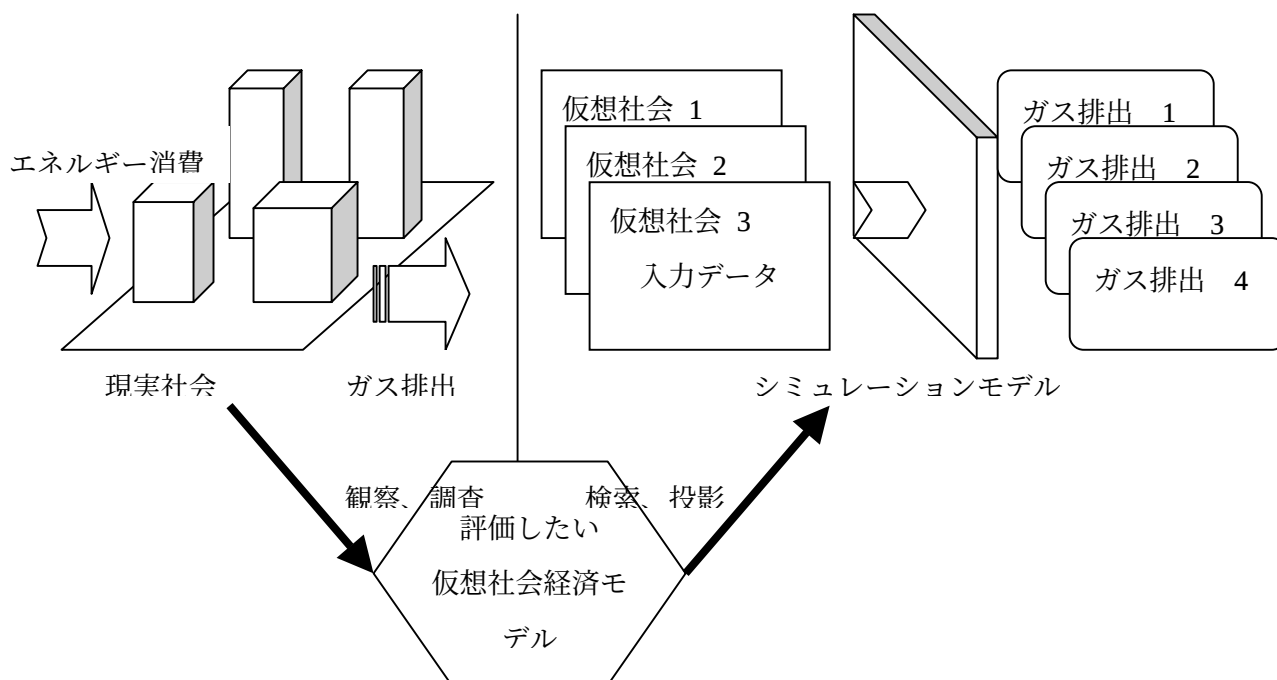


図 5-1 評価システムの概要 a

図 5-2 は、b についての概要を示したものである。SRES データには、ガス排出を推計する際に用いた仮想社会モデルが存在するが、それぞれに、社会の様々な面における定性的な評価・記述がなされている。こうした社会の細部における定性的な記述を得ることで、具体的な対策を総合的に考える支援が可能になると考えられる。c については、現在盛んに研究が行われてるエージェントベースシミュレーションや Box-Economy など、社会フレームワークをシミュレーションによって作り出す手法を利用することが考えられる。これら 3つの機能を全て実装した概略図が 図 5-4 である。図 5-4 を見ても判るように、非常に大規模なシステムとなっている。

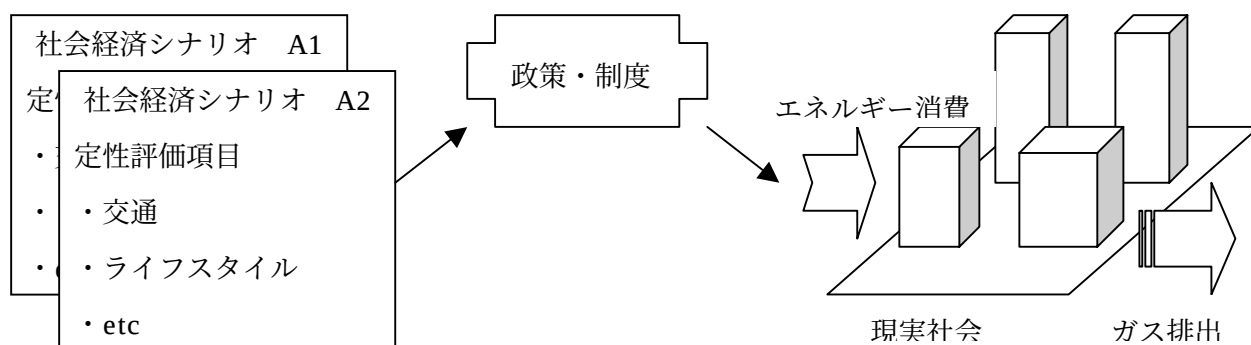


図 5-2 評価システムの概要 b

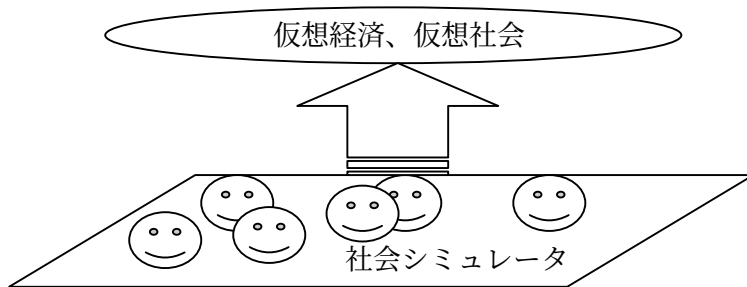


図 5-3 評価システムの概要 c

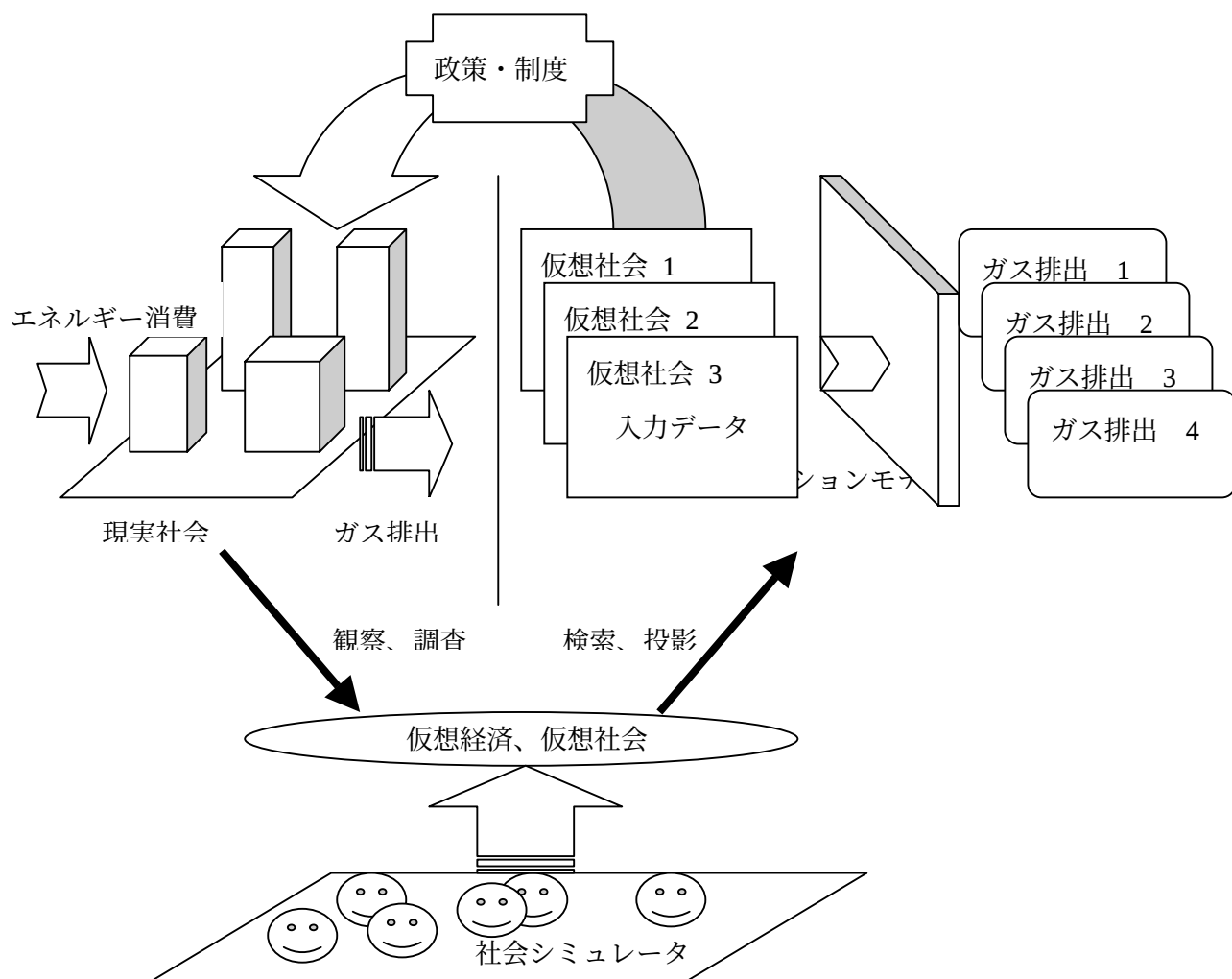


図 5-4 評価システムの概要

本研究では、この大規模な評価システムのうち、図 5-1 について実装を試みた。次に

この実装の内容について説明する。

5.2 実装された評価システムの概要

本研究における実装は、政策策定者が、現実の社会などを参考に将来100年間にわたる社会モデルを定義し、これが、SRESデータにおいてどのような位置づけになるのかを提示するものである。したがって、ここで政策策定者が知らなければならない情報は、SRESデータにおいて用いられた社会経済モデルがどのような入力項目を用いているのかだけである。このため、本研究の実装においては利用者には同じ入力項目を用いて仮想社会モデルを定義できるシステムを開発した。

実装されたシステムは、定義された社会経済モデルをSRESデータと比較し、ユーザーによる社会経済モデルが、どのモデルにおける、どのシナリオの、どの地域に類似しているのかを表示することができる。

なお、これ以降、利用者が定義する社会経済モデルを「評価対象」、SRES データを「評価基準」とし、評価基準側モデルの入力値を x 、評価対象側モデルの入力値を y とあらわす。

5.3 評価対象の設定

評価システムを利用するためにはまず評価対象となる社会経済モデルを定義しなければならない。このモデルは、評価システムによってSRESデータ空間へ投影されるため、その設定は基本的にSRESデータにおけるガス排出推計モデルで用いられた社会経済モデルと同様の項目を定義することになる。表5-1に社会経済モデルにおける定義データの種類を示す。図5-2は実際に評価システムで社会経済モデルを定義する画面である。

この評価対象の設定では、あらかじめカテゴライズされた数種類の入力値データを

設定する。この時、個々の入力値データはそれぞれのカテゴリ内での総和が 100 を超えない範囲で入力されなければならない。また、これらの入力値は 1990 年から 2100 年まで 10 年間隔で定義しなければならない。こうした制約は、評価基準となる SRES データで用いられているデータによるものである。

表 5-1 入力データの種類

Category	FinalEnergy	PrimalEnergy	Cumulative Resources	Cumulative CO2	LandUse
Attributes	Non-commercial	Coal	non-commercial	non-Commercial	Cropland
	Solids	Oil	Solids	Solids	Grassland
	Liquieds	Gas	Liquids	Liquids	EnergyBiomass
	Gas	Nuclear		Total	Forest
	Electricity	Biomass			Others
	Others	Other renewables			Total
	Total	Total			



5.4 評価基準データの選択

評価対象の設定とともに行わなければならないのが、評価基準の選択である。検索基準データは、評価対象 y がどのモデルの、どのシナリオの、どの地域に類似しているのかを調べる空間の広さを定義する。SRES データにおいて評価基準となる可能性のあるデータは、シナリオ、モデル、地域、年、排出ガス、のすべての組み合わせになっている。しかし、ここで評価基準を選択する理由は、先も述べたように、評価対象が、どのモデルの、どのシナリオの、どの地域に類似しているかを提示するためである。したがって評価基準データは、

ある年 $year$ における

$year \in Year, Year = \{1990, 2000, 2010, 2020, 2030, 2040, 2050, 2060, 2079, 2080, 2090, 2100\}$

ある排出ガス g に関して

$$g \in G \quad G = \{AnthropogenicEmissions_i \mid i = 1, 2, \textcircled{3}, 12\}$$

選択された複数のモデル m において、

$$m \in M \quad M = \{AIM, ASF, IMAGE, MARIA, MESSAGE, MiniCAM\}$$

選択されたシナリオ s の

$$s \in S \quad S = \{A1, A2, B1, B2\}$$

選択された地域 r の

$$r \in R \quad R = \{OECD, ASIA, ALM, REF\}$$

入力値 x を指定するように入力される仕組みになっている。実際にはそれぞれの集合の要素を複数個指定し、任意の集合をコンテキストとしている。

5.5 メンバーシップ値の決定およびデータの出力

ここまでに行った各種設定によって、評価対象 y を SRES データと比較するために必要な情報は全て集まったことになる。これらのデータは任意の議論領域に関する評価を x をコンテキストごとに保持している。ここでは x と y を比較する方法を説明する。先にも述べたように、評価対象 y を選択するために必要な情報は以下の通りである。

シナリオ	$S = \{A1, A2, B1, B2\}$
モデル	$M = \{AIM, ASF, IMAGE, MARIA, MESSAGE, MiniCam\}$
地域	$R = \{OECD, ASIA, ALM, REF\}$

この3つの集合を組み合わせることで、任意のコンテキスト m におけるシナリオ s におけるある地域 r の入力値ベクトルを次のように定義することができる。

$$x_m(s, r) = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad s \in S, r \in R \quad (5.1)$$

また評価対象 y についても、(5.1)式に対応するベクトルを以下のように定義する。

$$y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} \quad (5.2)$$

任意のコンテキスト m におけるシナリオ s におけるある地域 r での、2つのベクトル x, y の距離 d_m は

$$d_m(s, r) = \|x_m(s, r) - y\| \quad (5.3)$$

$$s \in S \quad S = \{A1, A2, B1, B2\} \quad r \in R \quad R = \{OECD, ASIA, ALM, REF\}$$

このベクトル間の距離を用いることで、評価対象 y と、任意のコンテキストにおける評価基準 x のデータとの間でメンバシップ値 $\mu_m(y)$ を以下のように計算することができる。

$$\mu_m(y) = 1 - \frac{d_m(s, r)}{\sum_{s, r} d_m(s, r)} \quad (5.4)$$

(5.4)式によって、任意のコンテキストにおいて、評価対象 y がどういった位置付けになるのかを提示できる。例えば、ある年のある排出ガスについて、評価対象 y があるシナリオにおける全地域のデータのどれに類似しているかはメンバシップ値をガス排出量に乗算し、その総和をとることで評価対象 y の排出量が推計できる。

第 6 章

システムの実装および結果について

6.1 システムの実装

本研究における最終的な評価システムの実装では、5 章で述べたコンテキストごとにメンバシップ値を計算するアルゴリズムが必要となる。今回は、任意のコンテキストを選択し、その範囲内でメンバーシップ値を外部からあらかじめ与えた場合に、評価対象 y がどのように表示されるかを確認した。

出力結果は、シナリオ 4 種類に対してモデルが 6 種類存在するため全部で 24 種になる。ただし、1 つのデータについてはデータの整合性がとれていなかったためこれを除いた 23 種類の出力結果を示す。

6.2 評価実験

メンバシップ値をあらかじめ与える際には、議論領域である排出ガスの種類と年をまず決定した。メンバーシップ値は、あるシナリオの、あるモデルにおいて、評価対象 y がどの地域に類似してるのかを提示した。この時、評価対象 y は、1990 年から 2100 年まで 10 年間隔で 4 地域に同じメンバシップ値(0.25)をあたえた。

なお評価対象 y は図中では Virtual と表示している。

A1 シナリオにおけるモデルごとの出力結果を図 6-1 から図 6-6 に示す。

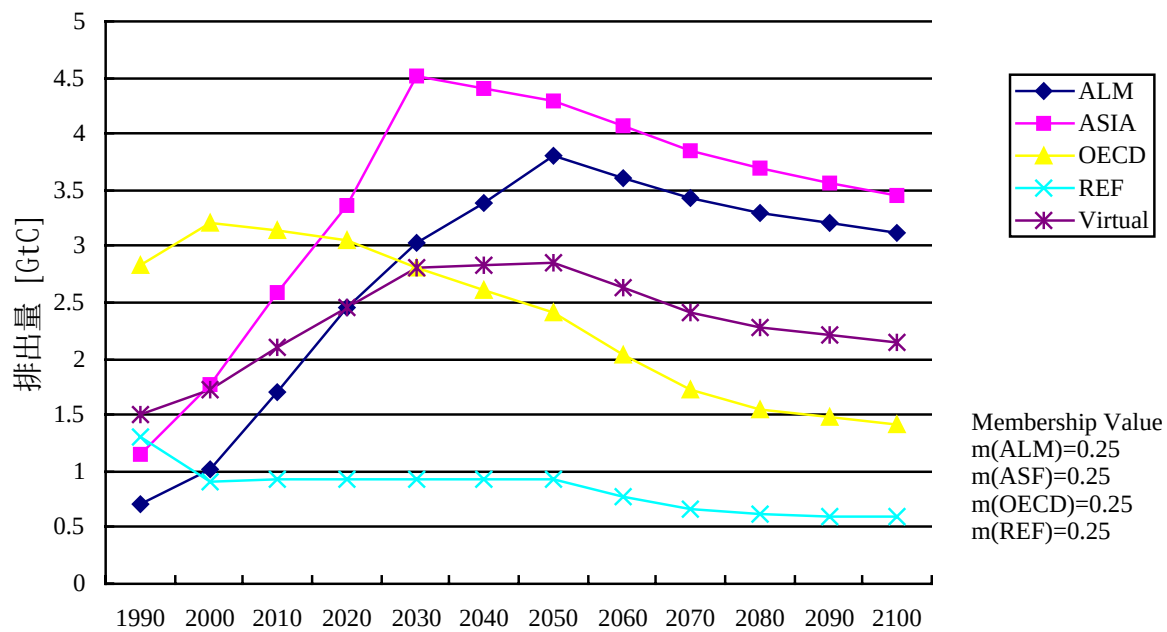


图6-1 FossilFuel CO2 AIM A1

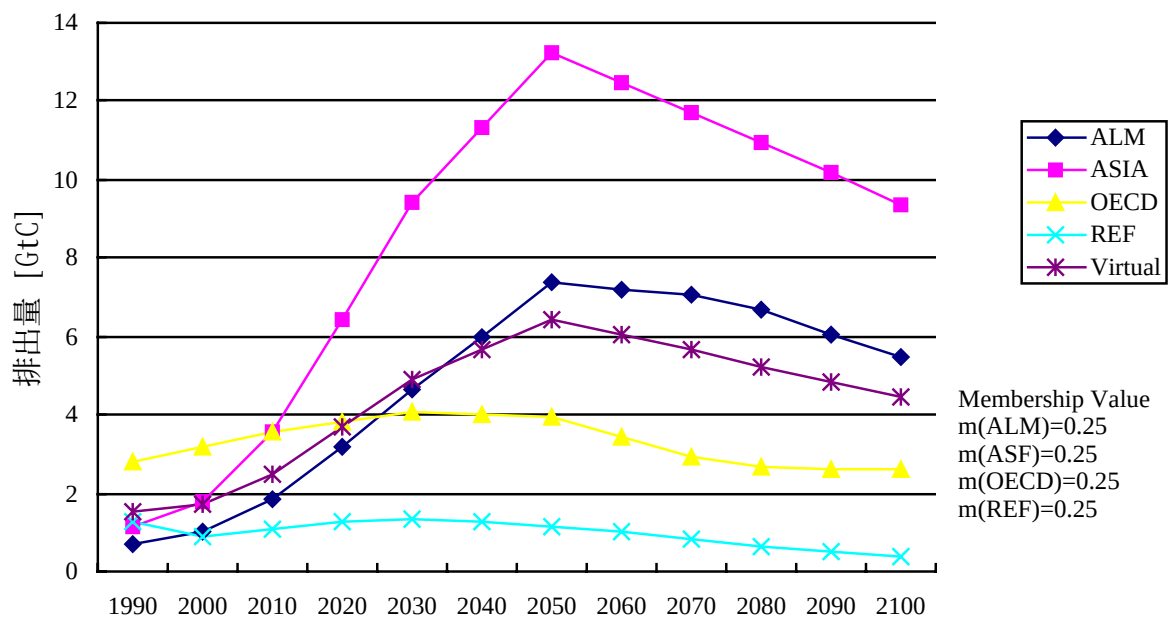
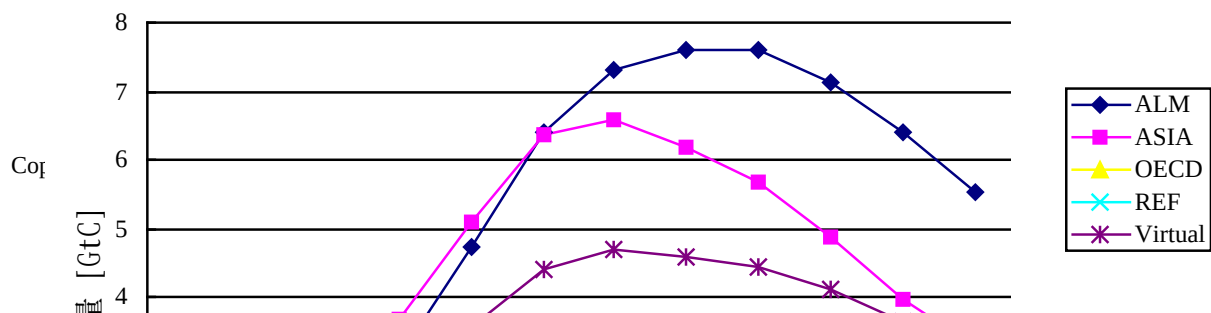


图6-2 FossilFuel CO2 ASF AIM



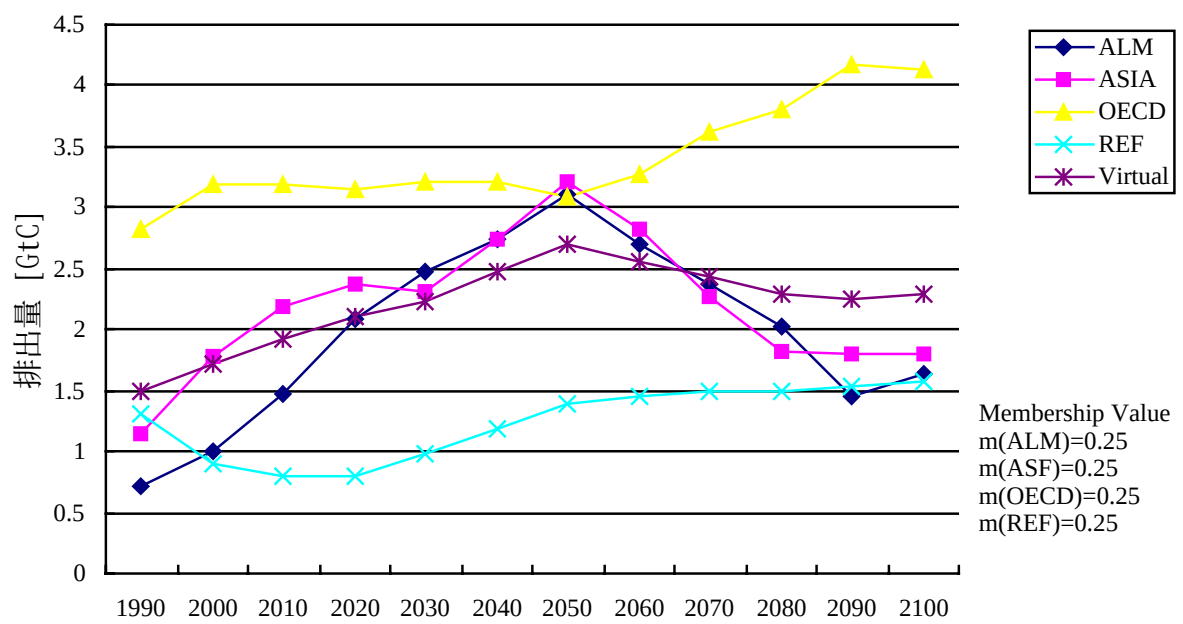
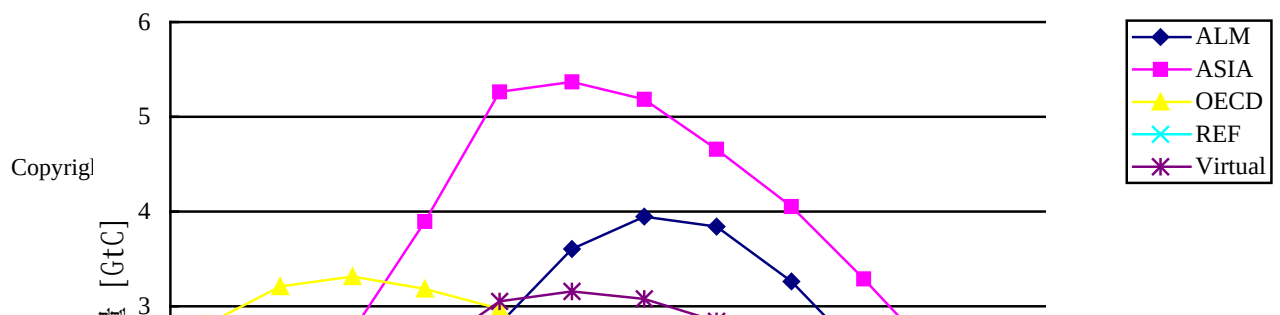


图6-4 FossilFuel CO2 MARIA A1



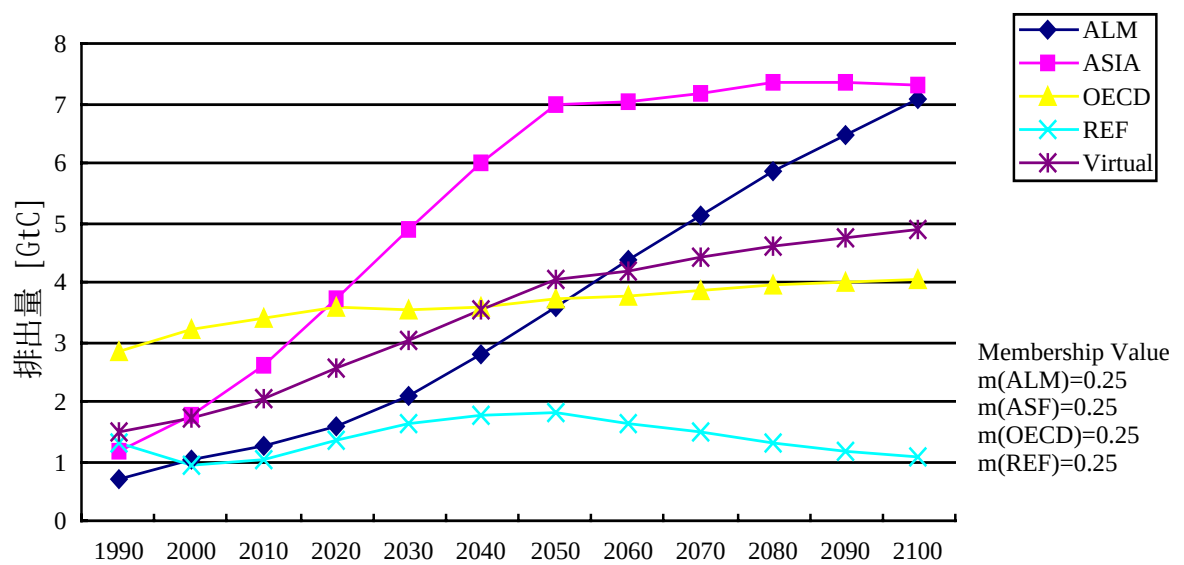


図6-6 FossilFuel CO2 MiniCAM 4

A2 シナリオにおける各モデルごとの出力結果を示す。なお A2 シナリオでは MARIA モデルのみデータの整合性がとれなかったため、計算を行っていない。

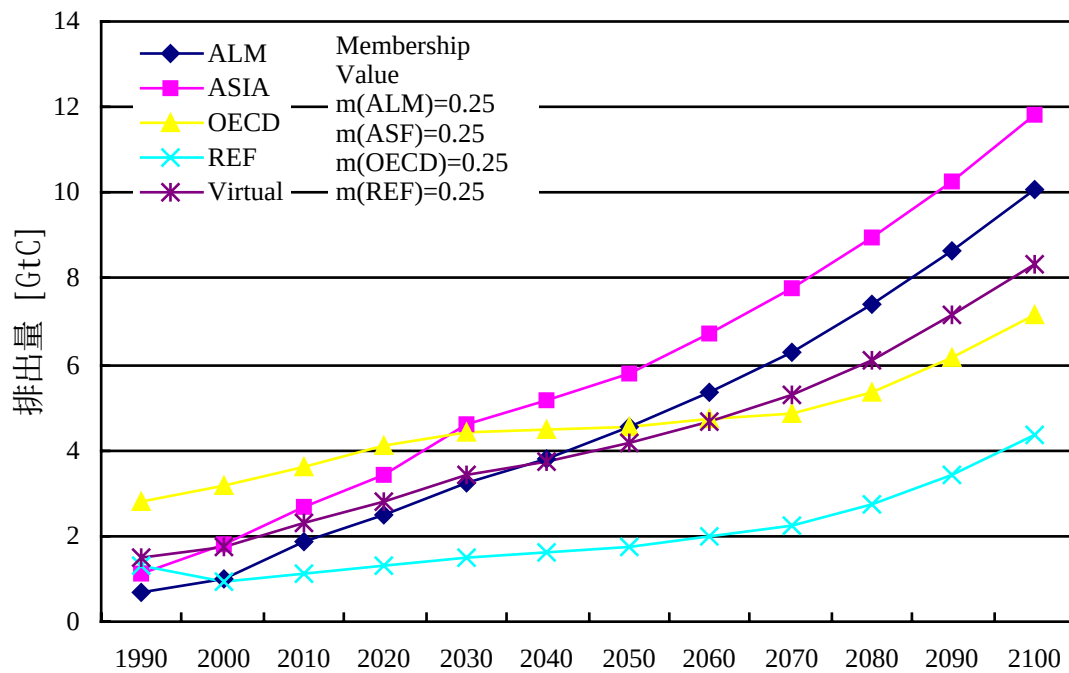


图6-7 FossilFuel CO2 AIM A2

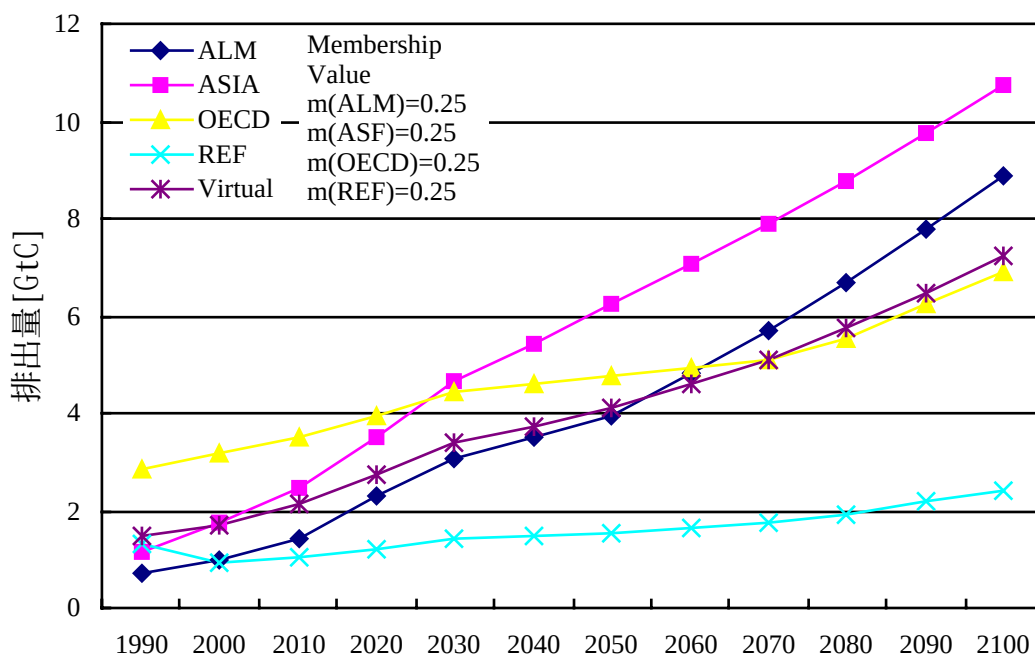
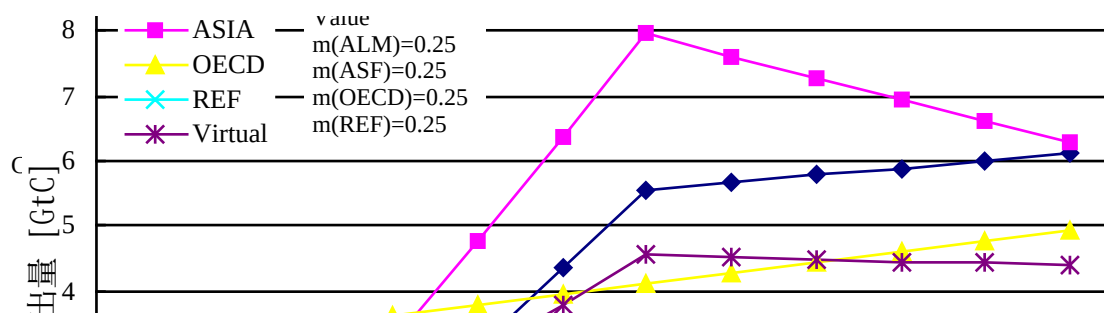


图6-8 FossilFuelCO2 ASF A2



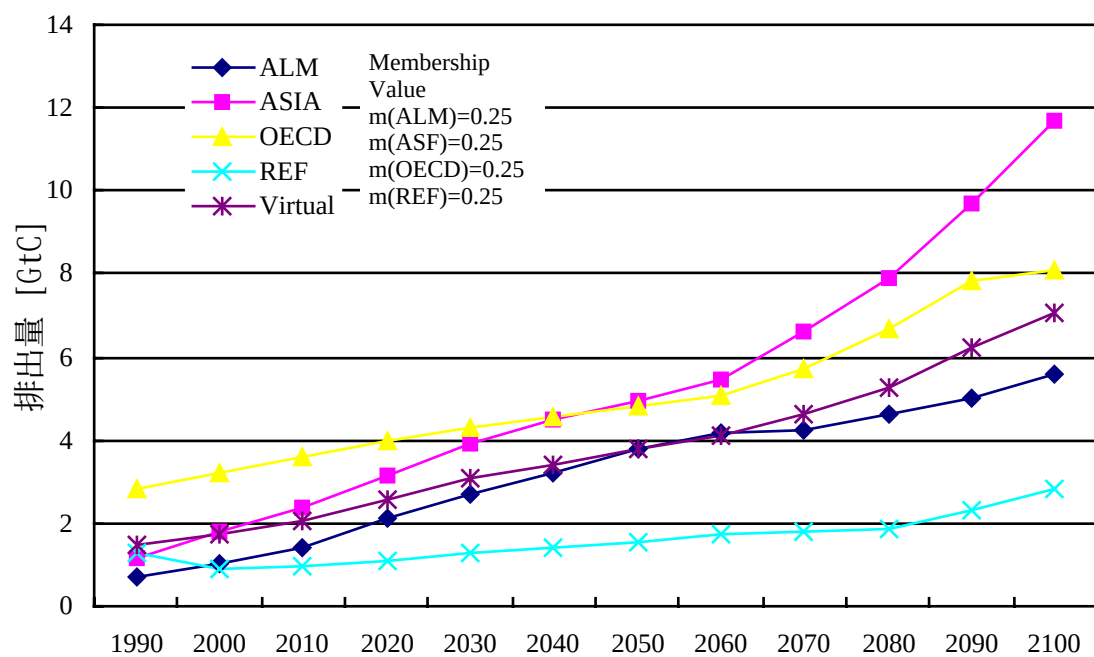
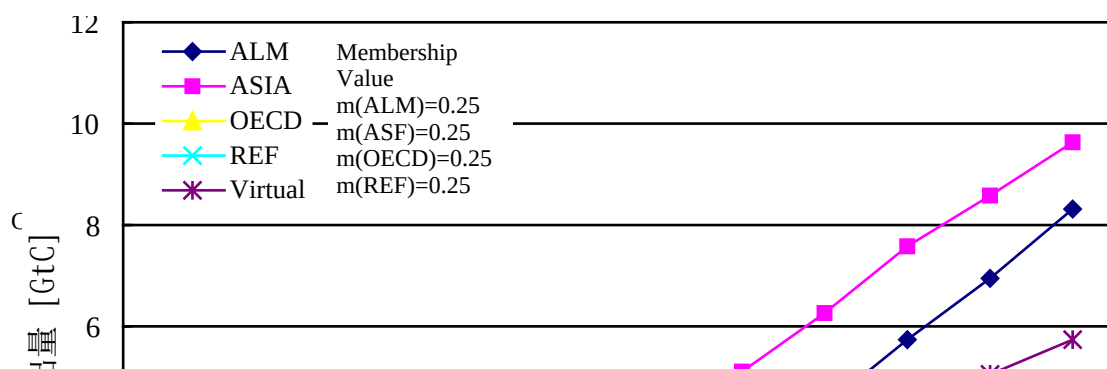


図6-10 FossilFuelCO2 MESSAGE A2



B1 シナリオにおける各モデルごとの出力結果を図 6-12 から図 6-17 に示す。

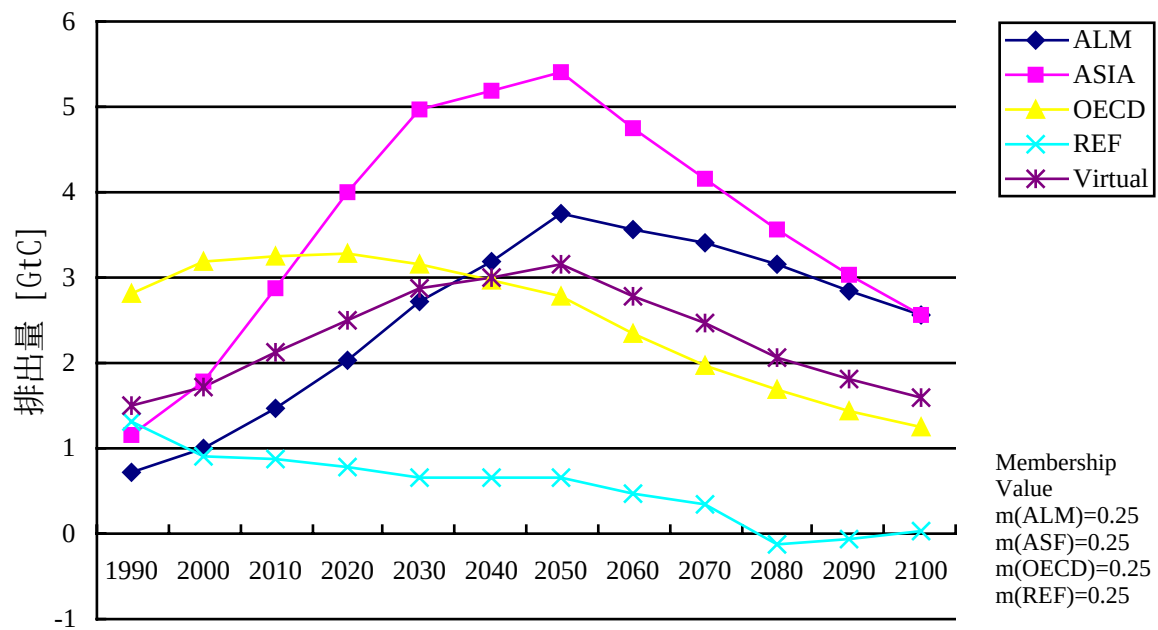


图6-12 FossilFuelCO2 AIM B1

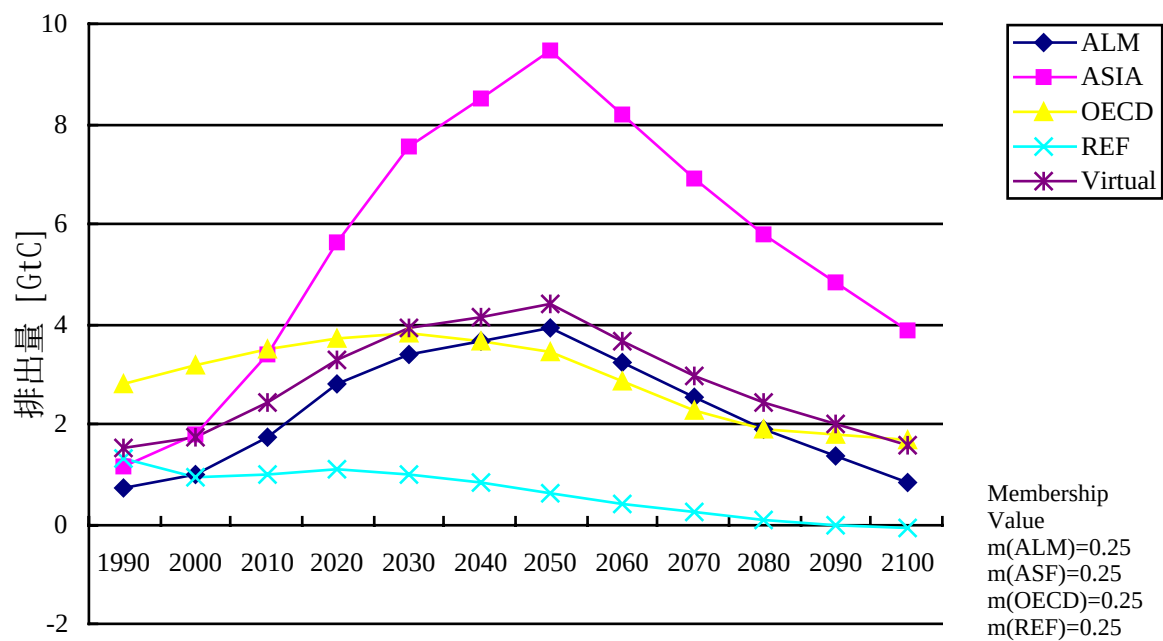
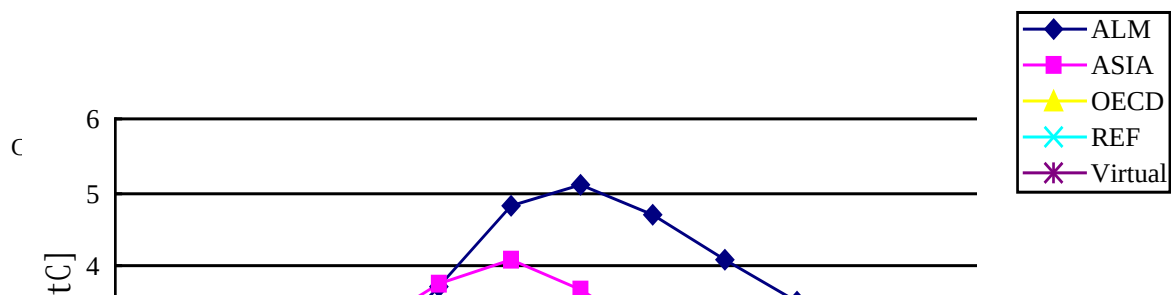


图6-13 FossilFuelCO2 ASF B1



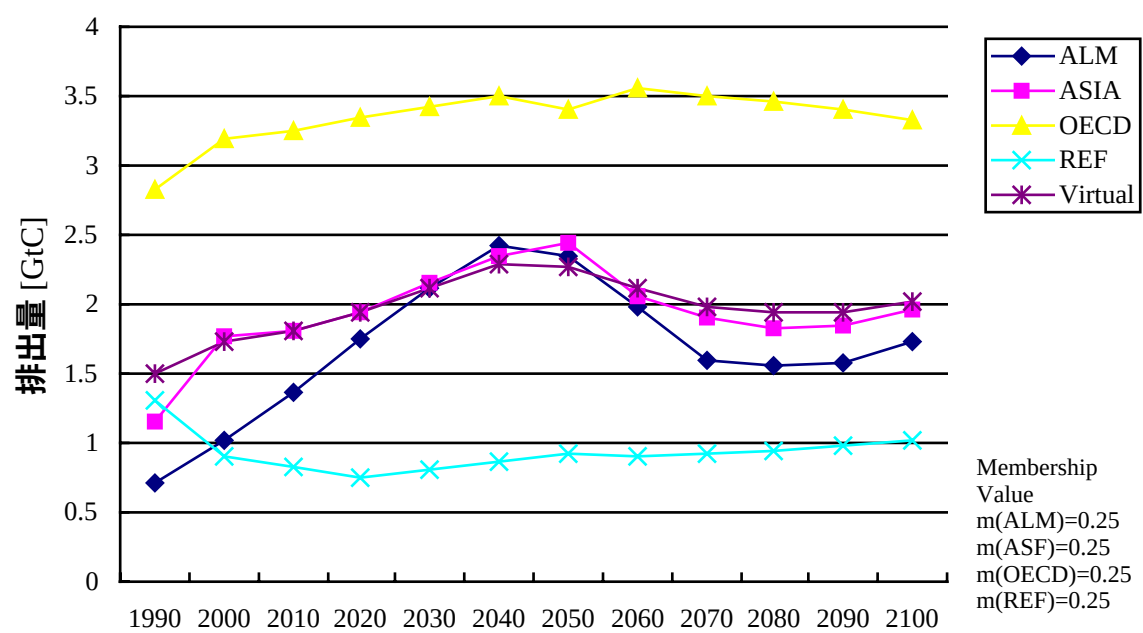
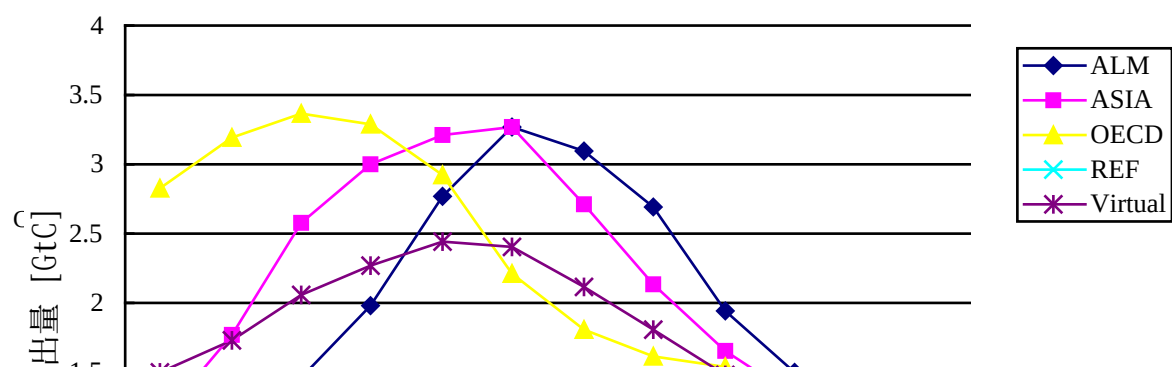


図6-15 FossilFuelCO2 MARIA B1



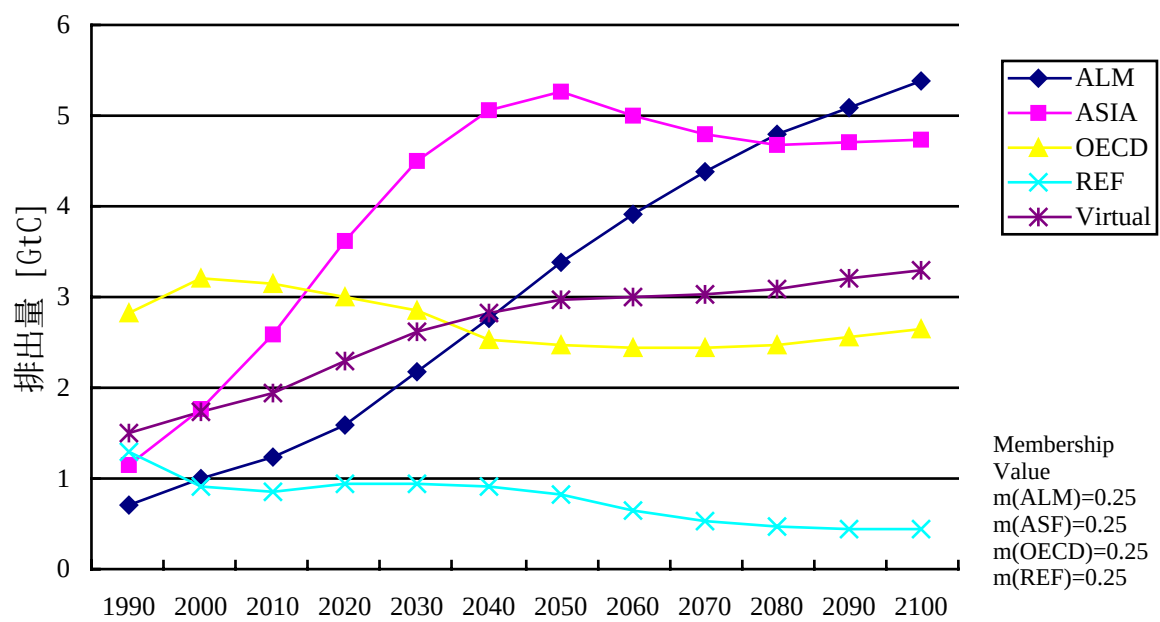


図 6-17 FossilFuelCO2 MiniCAM B1

B2 シナリオにおける各モデルごとの出力結果を図 6-18 から図 6-23 に示す。

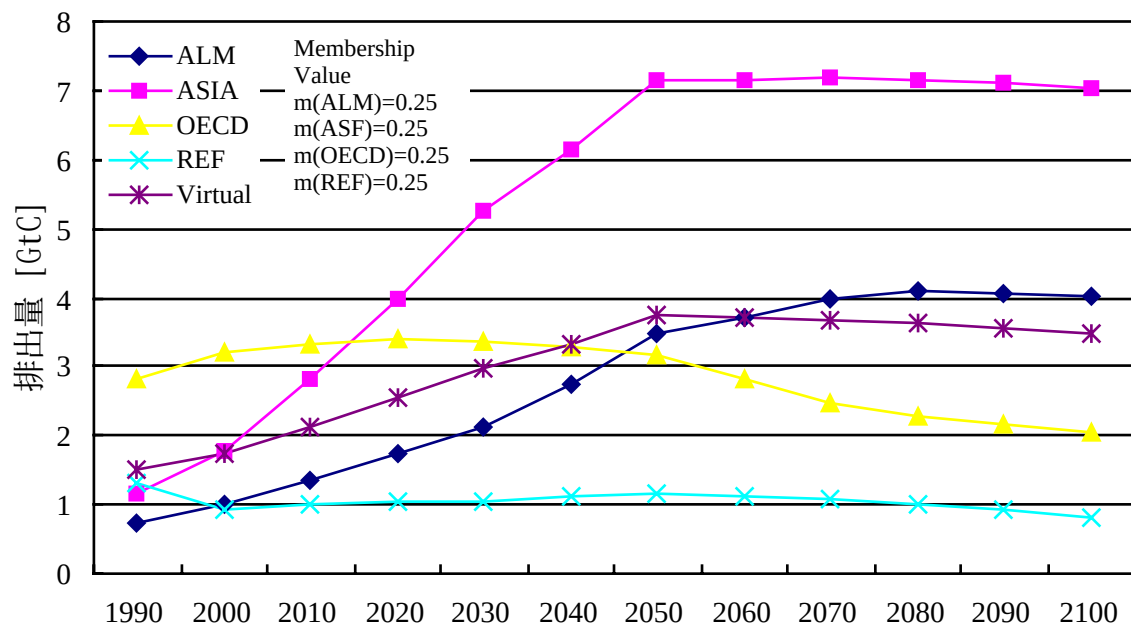


図6-18 FossilFuelCO2 AIM B2

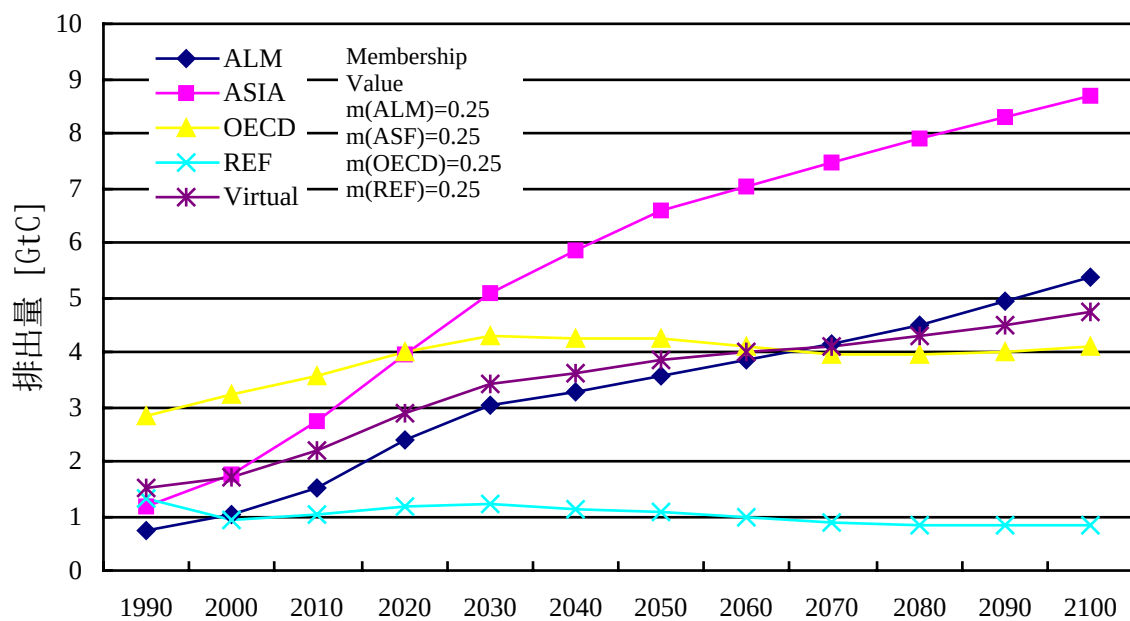
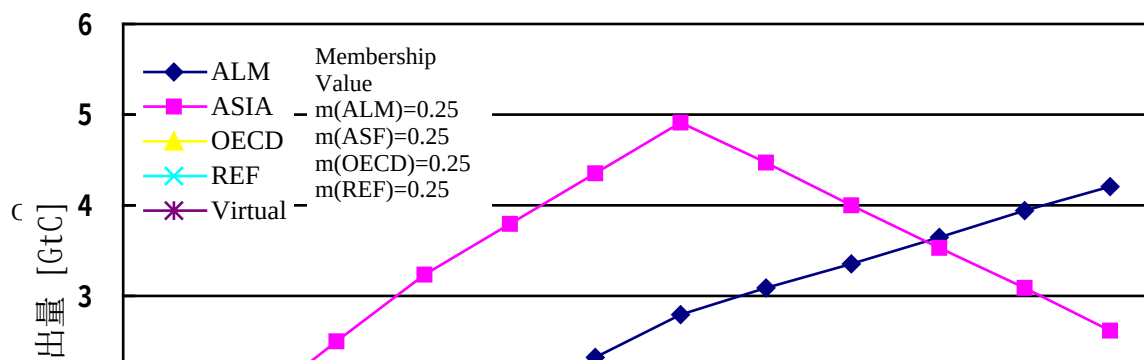


図6-19 FossilFuelCO2 ASF B2



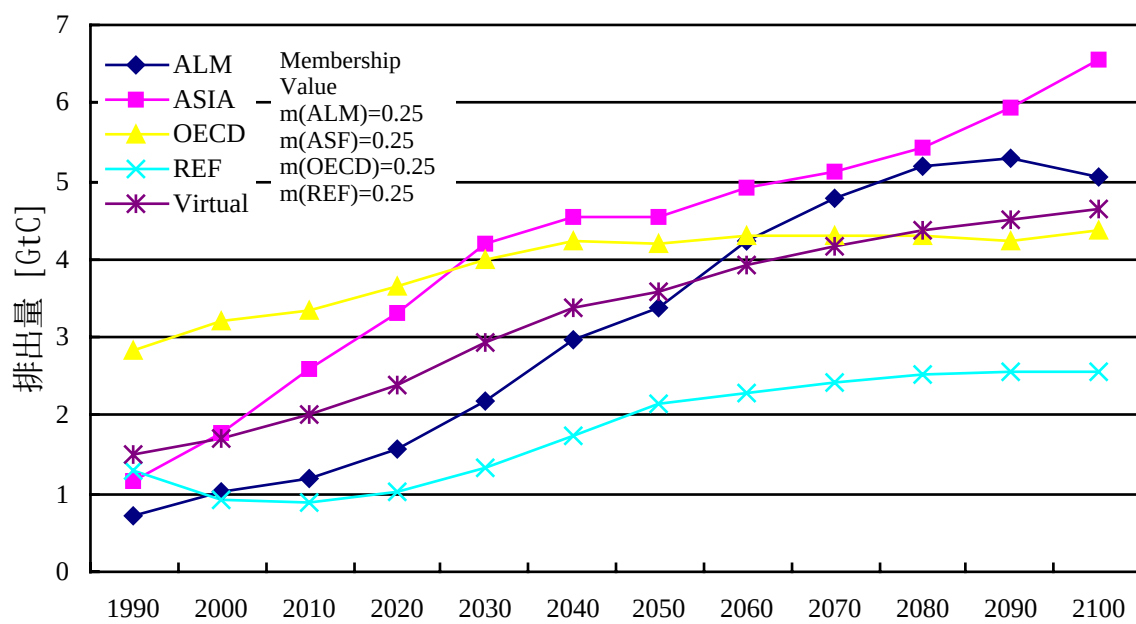
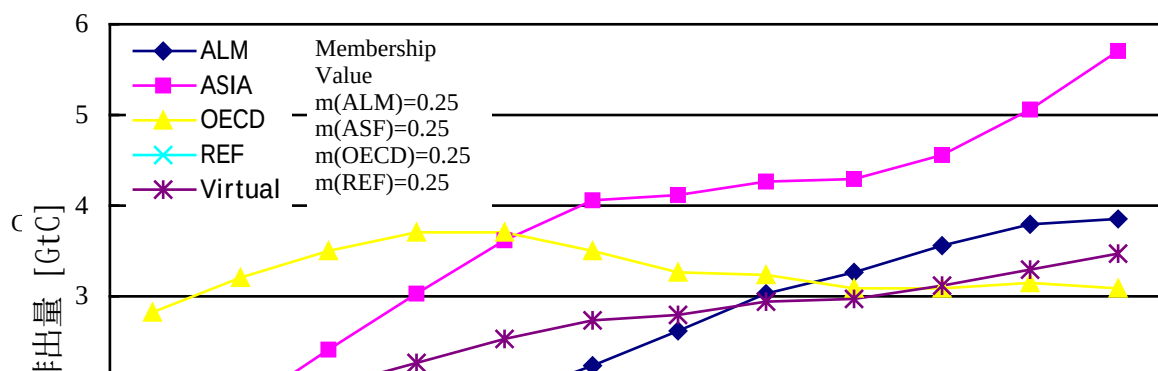


図6-21 FossilFuelCO2 MARIA B2



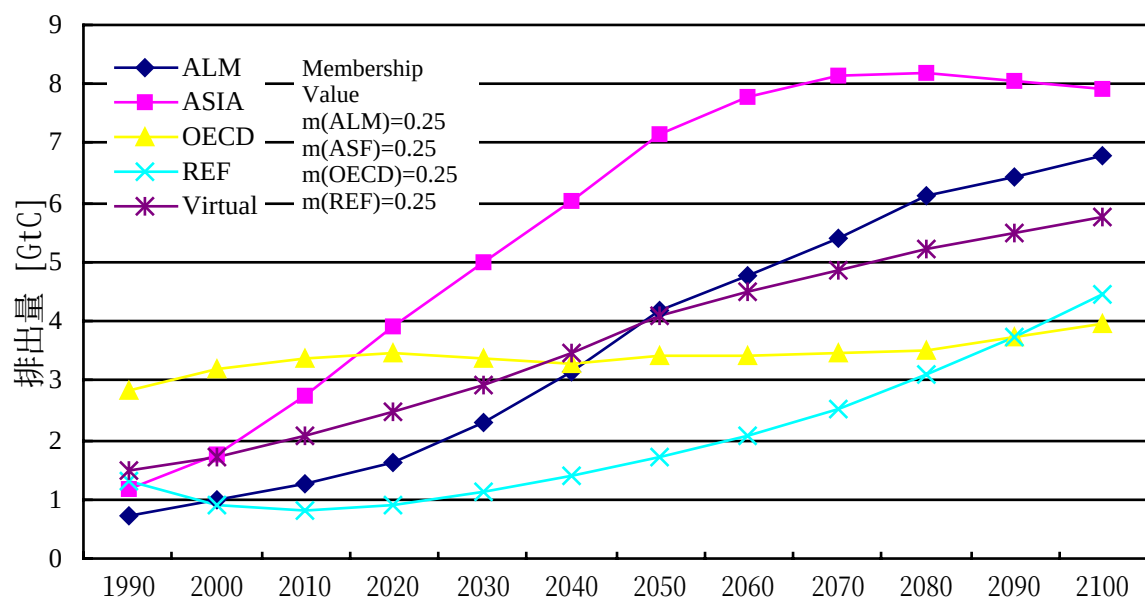


図6-23 FossilFuelCO2 MiniCAM B2

6.3 図の意味について

今回のデータ出力では、メンバシップ値を4つの地域にたいして均等に配分した。この結果、評価対象 y はそれぞれの地域の平均値をとっている。こうした結果になったのは、評価対象 y のガス排出量を推計する際にメンバシップ値をかけているためであり、4つの地域それぞれに0.25をかけた場合このような結果になるのは当然である。同様にすべての地域に対してメンバシップ値に"1"を与えた場合は、全地域の総和になる。SRES データには"World"という地域定義が存在するが、これは全地域の総和によって表されている。したがって、メンバシップ値を操作することによって、平均値や総和を恣意的に表示させることも可能である。メンバシップ値を計算することができれば、今回と同様の方法で評価対象のガス排出量を内生的に見積もることが可能になるとなり、擬似的に仮想経済社会モデルによる温室効果ガス排出量をシミュレートすることが可能になるといえる。

メンバシップ値を決定、あるいは恣意的に操作することで、SRES データ内部に擬似的にシミュレーション結果をつくり出すことはここまでの結果から明らかである。しかし、これらのデータはSRES データ内部でのメンバシップ値の決定であり、SRES データの想定を越える現象を再現することは不可能である。このため、温暖化対策評価システムを信頼できるものとするためには常に、評価基準となるデータの更新作業が必要になると思われる。

第 7 章

おわりに

本研究では、コンテキストモデルを用いたデータ検索と、メンバシップ値によるデータの重み付けを行うことで、SRES データを用いた国家レベルの温暖化対策評価を行うことを試みた。この結果、任意のコンテキストを利用して評価基準となるデータを検索し、特定のコンテキスト内においてデータの重み付けを行うことが確認できた。しかし、この試みの中で、今回実現できた部分は本来の目的からみればほんの一部に過ぎない。また、今回の研究では、SRES データにおけるコンテキストはすでに同定済みとしてシステム設計を行ったが、すでにコンテキストが同定され全データ群が属性の直積集合で表すことができる以上、本質的にはリレーショナルデータベースと同じである。コンテキストモデルを用いたデータ処理の最も重要な利点とは、全くコンテキストが同定されていないデータ群からコンテキストを発見し、それをもとにコンテキストモデルの構築とデータの処理を行うことである。

今後の課題としては、本論文であげたコンテキストモデルをデータ群すべてに適用する機能を実装することがあげられる。また、投影したデータから、SRES シナリオにおける定性的な記述データを提示できるようなシステムを開発すること、さらに仮想社会経済モデルを、さらに他のデータから自動的に生成するような仕組みを開発することが挙げられる。

謝辞

本論文を作成するにあたり、多大な御指導を賜りました中森義輝教授には研究における多大な御指導をいただき、心より感謝を申し上げます。

また、公私共にお世話になった中森研究室、複雑系解析論講座の方々に対しても感謝の言葉を申し上げたいと思います。

参 考 文 献

- [1] 平成13年度版 環境白書 環境省 編
- [2] 2003年度版 地球環境とリサイクル 政府関係資料集 産業技術会議 編
ISBN 4-990965-4-1
- [3] 4つの社会・経済シナリオについて - 「温室効果ガス排出量削減シナリオ策定調査
報告書」 - 平成13年 環境省地球環境局
- [4] リレーショナルデータベース入門 増永良文 著 サイエンス社 1991
- [5] コンテキストモデルを用いた住民意識と環境問題の関係の抽出 武田雄一 北陸
先端科学技術大学院大学修士論文 2002
- [6] 岩波講座 地球環境科学 10 持続可能な社会システム 内藤正明 加藤三郎 他
編 岩波書店 1998
- [7] エージェントベース社会シミュレーションのためのフレームワークデザイン 伊
庭崇 岩村拓哉 廣兼賢治 竹中平蔵 武藤佳恭 FIF WorkingPaper No.1 フジタ未
来経営研究所 編集・発行 2000