

B-54 アジア太平洋地域における温暖化対策統合評価モデル（AIM）の適用と改良に関する途上国等共同研究

(3) AIMモデルの拡張と比較に関する国際共同研究

研究代表者 国立環境研究所 地球環境研究グループ  
温暖化影響対策研究チーム 森田 恒幸

環境庁国立環境研究所

地球環境研究グループ 温暖化影響対策研究チーム 甲斐沼美紀子・増井利彦  
社会環境システム部 環境経済室/環境計画室 森田 恒幸・日引 聡・原沢 秀夫・高橋 潔  
(委託先) システム総合研究所  
(海外共同研究機関) 国際応用システム解析研究所・米国国立太平洋北西研究所・  
米国エネルギー・モデリング・フォーラム

平成9～11年度合計予算額 95,256 千円  
(平成11年度予算額 31,648 千円)

〔要旨〕 AIMモデルを国際機関等と共同して改良・拡張するとともに、IPCCの新しいシナリオ作成、米国エネルギー・モデリング・フォーラム（EMF）のPost-Kyotoシナリオの比較・分析に参加して、AIMモデルの予測結果を他の統合モデルと比較評価した。これらの比較評価によりAIMモデルの特性をよりの確に把握できるようになった。また、500種類を超える温室効果ガスの排出シナリオを対象に80,000件以上データを収録するデータベースを作成した。一方、国際応用システム解析研究所（IIASA）で開発された世界農業モデルを中国に適用して、農業生産への温暖化の一次影響が国際的な食糧需給市場を通じてどのように変化するかを分析した。今後、これらのモデルやデータはAIMモデルに移植していく予定である。さらに、AIMモデル普及のためのトレーニング・ワークショップを中国及びインドで行うとともに、AIM国際ワークショップを開催した。

〔キーワード〕 温室効果ガス排出シナリオ、国際比較、農業モデル、京都議定書

1. 研究の背景と目的

統合評価モデルは、ここ10年の間に急速に発展してきており、多くのモデルが世界中で開発されてきている。これらのモデルは、自然システムの複雑さ、経済モデルの複雑さ、不確実性の取り扱い方の違い等でいくつかに分類される。これらのモデルを比較・研究することは、統合評価モデルを発展させ、各国の政策担当者から与えられている課題に答えていくために重要である。本研究では、AIMモデルにより作成した温室効果ガス排出に関するシナリオをIPCC、米国エネルギー・モデリング・フォーラム（EMF）等を通じて比較・分析することにより、AIMモデルの特性を明らかにし、今後の改良に資することを目的とする。また、これらの国際比較をより体系的に行なうため、今までに作成された排出シナリオを収集してデータベース化を図る。さらに、アジア太平洋地域における地球温暖化の農業影響が大きな関心を呼んでいることを背景として、国際応用システム解析研究所（IIASA）と共同

で温暖化による食糧需給への影響を分析する。これらの成果は AIM モデル改良及び拡張のために活用するとともに、改良された AIM モデルを発展途上国に移転することを目的とする。

## 2. 統合評価モデルの国際比較

AIM モデルの特性とその予測値の特性及び信頼性を明らかにするために、世界の統合評価モデルとの間で2つの比較研究を実施した。一つは、IPCC の新しい排出シナリオに基づいて気候安定化シナリオを作成し比較を行ったものであり、他の一つは、スタンフォード大学エネルギーモデリング・フォーラム (EMF) に参加して、京都議定書の数値目標を達成するためのコストや排出量取引の価格モデルを比較したものである。

### 2.1. IPCC による排出シナリオの比較

IPCC では、1996 年から特別のプロジェクトチームを組織し、新しい排出シナリオ (SRES シナリオ) の作成作業を進めてきた。われわれのチームもこのシミュレーション作業に参加し、排出シナリオを作成するとともに、他の5つのモデルチームとシミュレーション結果の比較研究を行った。その後、1999 年から本プロジェクト・チームが中心となって、9つのモデルチームが参加して SRES シナリオをベースにした対策シナリオ (Post-SRES シナリオ) の比較研究を開始し、IPCC の第3次報告書に反映される予定になっている。以下ではこれらの比較研究の結果をまとめる。

#### 2.1.1. SRES シナリオの比較

SRES シナリオの比較では、温暖化防止の政策を導入しない「BaU ケース」を対象にして、4つの社会経済シナリオを前提としたシミュレーション結果を比較した。これらのシナリオは、西欧型経済発展シナリオ (A1)、経済ブロック化シナリオ (A2)、持続型発展シナリオ (B1)、及び環境重視型地域協調シナリオ (B2) である。シナリオ毎に、異なった潜在経済成長率、人口、及び各種技術の革新の度合いを設定した。

比較プロジェクトに参加した統合評価モデルは、我々の AIM モデルの他、国立応用システム分析研究所 (IIASA) の MESSAGE モデル、オランダ国立公衆衛生環境保護研究所 (RIVM) の IMAGE モデル、米国 ICF コーポレーションの ASF モデルなどである。図 3.1 にこれらのモデルによって推計した二酸化炭素の排出量の長期的シナリオを、また図 3.2 には二酸化硫黄のシナリオを示す。AIM モデルは、これらのシミュレーション結果の中で最も幅広い範囲で推計し、かつ部門間の整合性の保持に成功したモデルの一つとなった。これは、AIM モデルがエネルギー部門だけではなく、土地利用変化や工業プロセスをも再現できるモデルであるため、各種の社会経済発展シナリオのもとでいろいろな前提条件を大きく変化させうること、ボトムアップ型モデルとトップダウン型モデルを組み合わせた構造を持っているため、シミュレーションの中で現実社会のリアリティを再現しながら合わせて部門間の整合性を保ちうるためと考えられる。

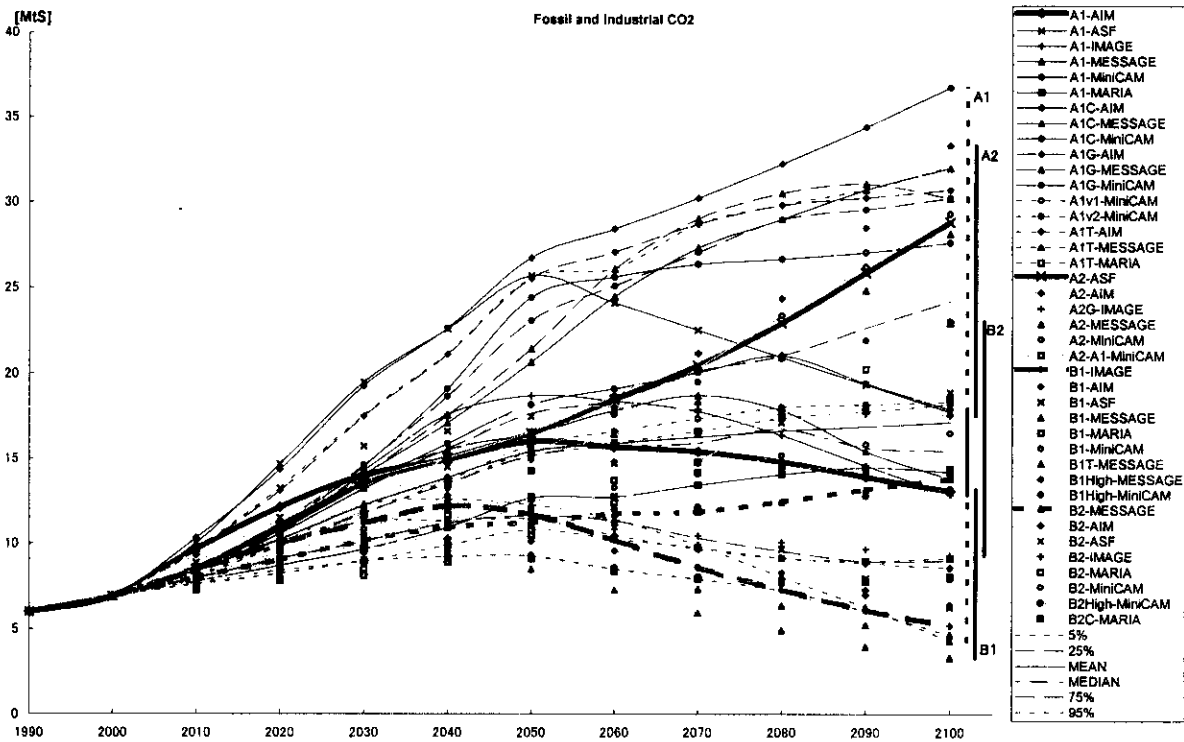


図 3.1 二酸化炭素の長期的排出シナリオの比較結果

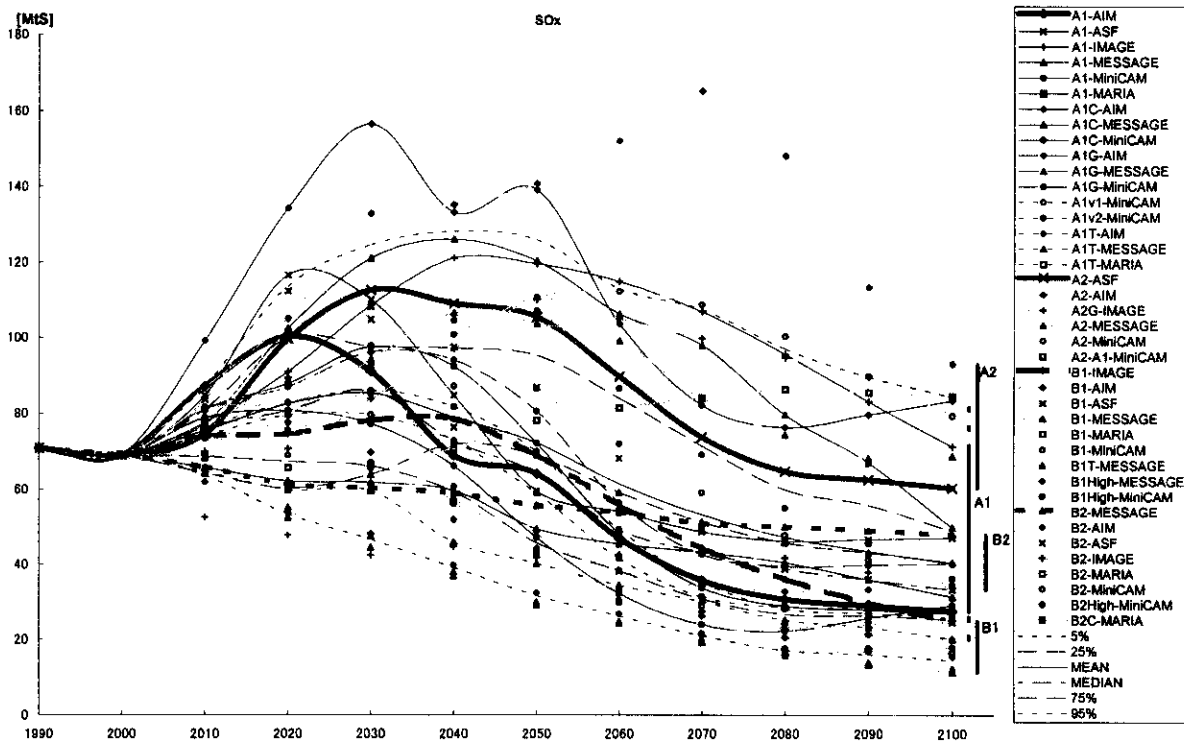


図 3.2 二酸化硫黄の長期的排出シナリオの比較結果

### 2.1.2. Post-SRESシナリオの比較

4つのSRESシナリオ(A1B, A2, B1, B2)のそれぞれを前提にして、今後100年から200年の間に大気中の二酸化炭素濃度を450~750ppmvに安定化させることを目指して、世界の主要なモデル開発チームが対策シナリオを定量化したシナリオを比較した。この比較プロジェクトに参加したモデル開発チームは、表3.1に示す9チームである。これらのチームが将来のいろいろな発展パターンに基づく「なりゆきシナリオ」を前提として、また表3.1に示したいろいろな安定化濃度レベルを前提として、対策シナリオを定量化した。図3.3及び図3.4には、各モデルが推計した550ppmv安定化シナリオについて、二酸化炭素排出量と一次エネルギー消費量が「なりゆきシナリオ」からどの程度変化したかを、「なりゆきシナリオ」からの減少率で示してある。各モデル間の推計幅の大きさ以上に、前提とした「なりゆきシナリオ」、即ち、前提とする将来の世界の発展方向によって減少率が大きく異なることが分かる。モデルの中には対策によってエネルギー消費量が拡大することを予想しているものもあるが、これは炭素隔離技術の進展が仮定されているためである。各シナリオにおける減少率の違いは、当然に、導入される温暖化対策の強度にも大きな影響を与え、各モデルにおける対策オプションの比較を通じて、より頑健性のある温暖化対策のあり方を検討した。

表3.1 IPCC安定化シナリオに参加したモデルとシミュレーションケース

	A1	A2	B1	B2
	Stabilization target in ppmv			
AIM (NIES and Kyoto University, Japan)	450 550 650	550	550	550
ASF (ICF Corporation, USA)		550 750		
IMAGE (RIVM, Netherlands)	550		450	
LDNE (Tokyo University, Japan)	550	550	550	550
MARIA (Science University of Tokyo, Japan)	550		550	450 550 650
MESSAGE-MACRO (ILASA, Austria)	450 550 650 (*)	550 750		550
MiniCAM (PNNL, USA)	550	550	550	550 (*)
PETRO (Statistics Norway, Norway)	450 550 650 750	450 550 650 750		
WorldScan (**) (CPB, Netherlands)	450 550	450 550	450	450 550

(注) (\*) Variant baselines were used, (\*\*) an early action and a delayed response were quantified.

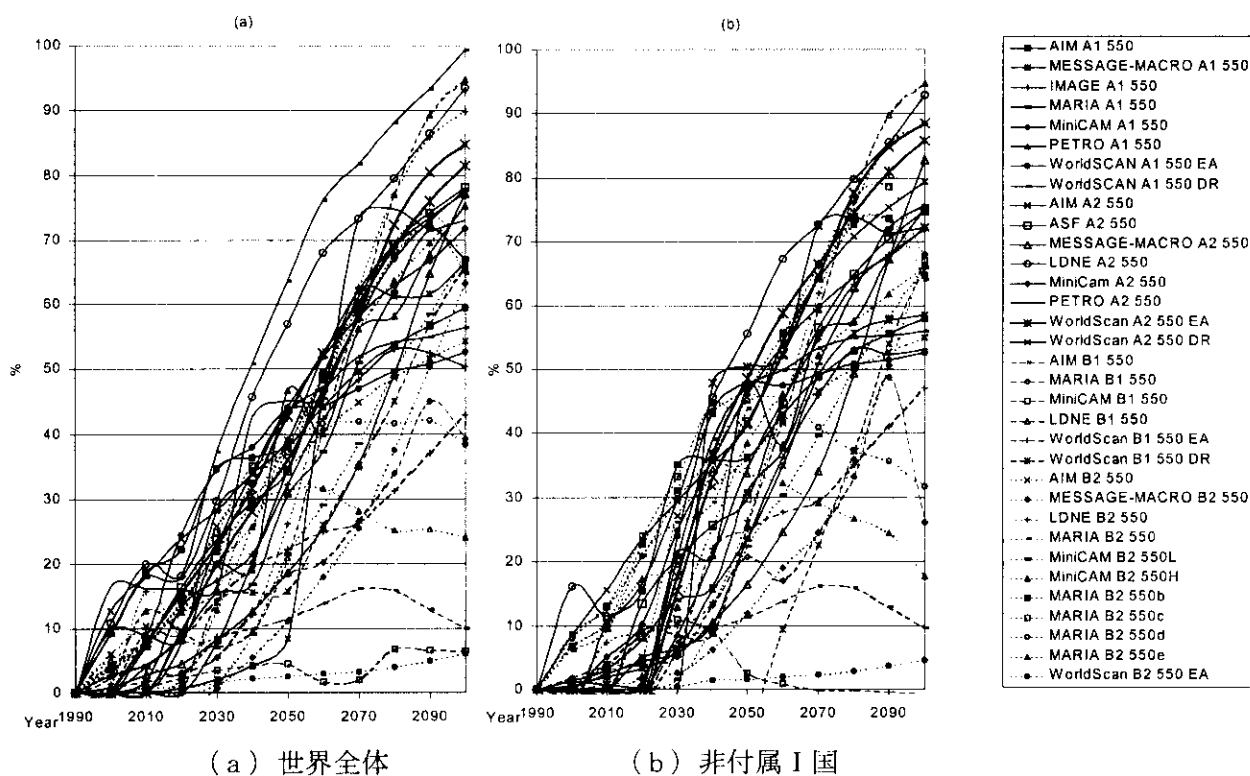


図 3.3 550ppmv 安定化のための二酸化炭素排出削減割合 (対 BaU ケース)

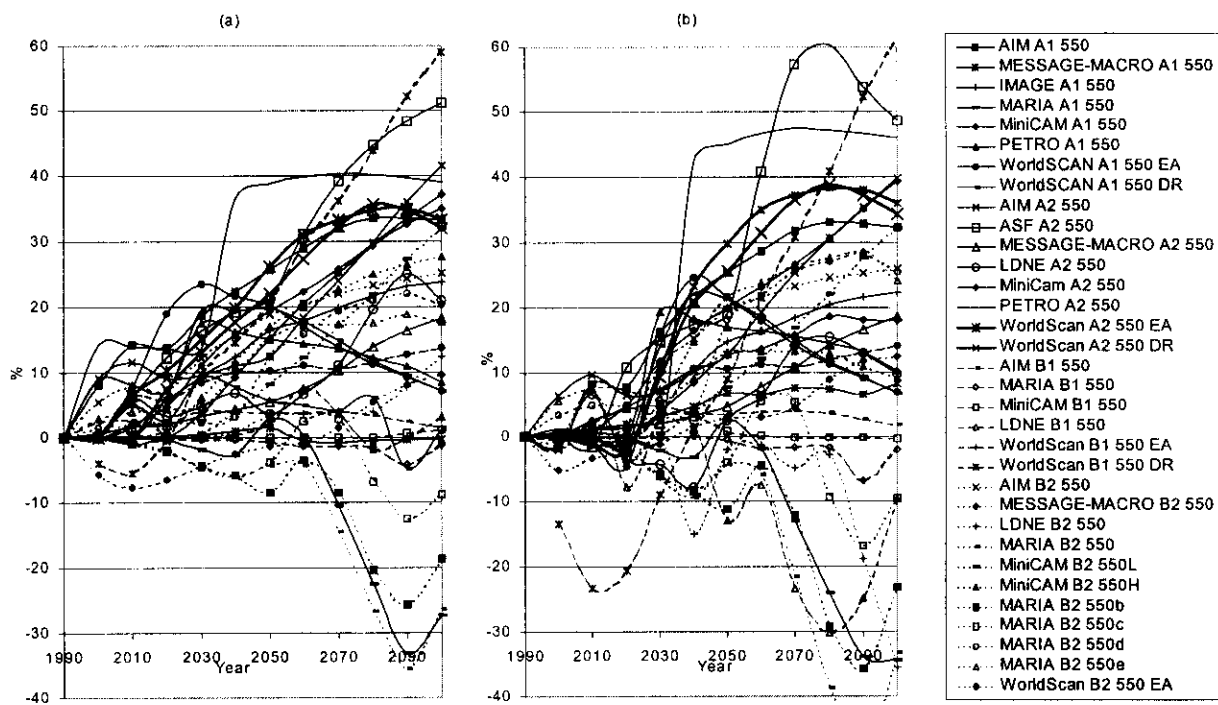


図 3.4 550ppmv 安定化のための一次エネルギー消費削減割合 (対 BaU ケース)

詳細な比較研究を通じて、これらの P o s t - S R E S シナリオに共通しているいくつかの特徴を発見した。これらの特徴は次のとおりである。

- (1) SRES ベースラインでの CO<sub>2</sub> 排出や削減率を比較すると、モデルは、多くの共通点がある。しかし、明らかな相違点もいくつかある。どのモデルも時間が経過するにつれて、CO<sub>2</sub> の削減率は増大する。このことは、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度に強力な制約がかかっていることを反映している。モデル間のバラツキはあるが、検討期間内では、大半のモデルが同一の削減率に収束していく。
- (2) A2 family で、550ppmv での安定化を達成するには、CO<sub>2</sub> 排出削減率をより大きくすることが必要なことがわかった。B1 では、削減率が最も低くなることを示している。21 世紀末での CO<sub>2</sub> 削減は、A2 では 75 から 80 %、A1 では 50 から 75%、B2 が 40 から 70 %、B1 が 5 から 40 %である。
- (3) 安定化目標レベルも、CO<sub>2</sub> 削減率に大きく影響し、これは、ベースラインシナリオが同じであってもそうである。450ppmv 安定化の場合、削減率は 21 世紀末には、A1B ベースラインの排出の 70 から 100 % に達する。
- (4) エネルギー消費の削減は、モデル間でもより複雑となっている。エネルギー削減率は、CO<sub>2</sub> 削減率と比べ、かなり幅がある。たとえば、A1 -550 安定化の変形シナリオでは、エネルギー削減率がベースラインの数値の 5 から 50% の範囲をとる。いろいろな安定化目標とエネルギー削減を対比させると、その図式はそれほど明確ではない。エネルギー消費レベルと安定化レベルの間に、強い相関関係はないのである。
- (5) ベースラインが異なるなら、安定化目標に到達するためのマクロ経済コストも異なってくる。モデル間の幅の広さにもかかわらず、A2 がもっともコストがかかり、B1 は、安定化に必要なコストが最もかからない。B1 での GDP 損失は、A1B の場合の 10 分の 1 以下、A2 の場合の 20 分の 1 以下である。
- (6) また、同一のベースラインシナリオをベースにしても、CO<sub>2</sub> 削減率とマクロ経済コストは、安定化目標レベルにかなり影響される。450ppmv 安定化での経済損失は、550ppmv の場合の 3 倍程度、650ppmv の場合の 6 - 8 倍である。このような関係は、グローバルレベル、地域レベルの両方で見られる。
- (7) また安定化目標が違えば、削減政策の導入時期も異なる必要がある。450 ppmv 安定化の場合、650 ppmv の場合より、徹底した排出削減を、しかもより早期に起こす必要がある。450ppmv 安定化の場合には、20 - 30 年にわたる非常に急激な排出削減がでてくることが観察される。

さらに、P o s t - S R E S シナリオにおいて検討された技術や対策のオプションを比較することにより、次のような結論が導かれた。

第一に、異なる SRES ベースラインの世界ではそれぞれ異なる技術／政策の施策が必要であり、同一レベルでの安定化であっても緩和コストの差異があることが示された。A1B と A2 の世界は、B1 と B2 よりも、技術／政策の施策を幅広くかつ強力に実施する必要がある。たとえば、A1B と A2 の世界では、21 世紀前半に全部門でのエネルギー効率改善、低炭素エネルギーの導入、植林の全てが必要であり、さらに世紀後半には、再生可能エネルギーや他のエネルギー分野での先進技術を追加導入することが必要となる。A1B と A2 の世界の間でも、炭素税率は、A2 の方が A1B よりはるかに高率となる。これと対照的に、B1 世界は、21 世紀前半で 550ppmv 安定化を達成するには、エネルギー効率の多少の改善と植林だけを必要とする。B1 世界における 550ppmv 安定化の経済損失は、A1B の世界の 10 分の 1 以下であり、A2 世界の 20 分の 1 である。

来世紀初めでの技術／政策手法のレベルは、次の 100 年間の開発経路選択で大きく左右される。A1B と A2 の世界で、次世代の直面する負担の急激な増加を回避しようとするなら、2000 年から 2020 年の期間内に、先進諸国において、はるかに厳しい緩和対策を導入しなければならない。途上国での GHG 排出も、A1B や A2 の世界では、21 世紀初めに reference（参照）経路から離れることが求められる。実際、21 世紀中に途上国の GHG が reference シナリオから乖離しないなら、どの SRES 世界の観点でも、550 ppmv 以下での濃度安定化は非常に困難であり、また非附属書 I 諸国の排出が reference 経路から乖離することなくこの濃度安定化レベルが達成できるのは、低 GHG 排出 reference シナリオ、つまり気候変動政策以外の政策が、GHG 排出制限または削減に貢献するシナリオだけである。

第二に、安定化レベルの選択も、技術／政策の施策、そしてそのような施策を導入するタイミング、緩和コストに大きく影響する。安定化目標レベルを 100 ppmv 下げることにより炭素税率はほぼ倍増する。450 ppmv で安定化する場合の経済損失は、550 ppmv の場合の約 3 倍であり、650 ppmv の場合の約 6－8 倍である。

第三に、単独の施策ではどれであっても、大気中 GHG 安定化のための緩和オプションを時機を得て開発し、適応し、普及するには十分でない。むしろ、技術革新、経済インセンティブ、組織枠組を基にした portfolio を適用することが可能である。21 世紀の後半では、エネルギーの炭素集約度削減の方が、GDP 中のエネルギー集約度削減よりも、緩和ポテンシャルが大きい。来世紀初めでは、エネルギー集約度削減の方が、炭素集約度削減より大きい緩和ポテンシャルをもつ。この結果は、エネルギー効率改善のために急激な社会変革を想定しないなら、どの筋書き、安定化レベルでも robust（有力）に見える。

全ての異なる SRES 世界において、大きなかつ継続的なエネルギー効率改善と植林は、緩和シナリオに共通の要素である。低炭素エネルギー導入も全てのシナリオに共通の特徴であり、特に次の 100 年間でバイオマスエネルギーの導入と 21 世紀前半での天然ガスの導入が共通している。A1B または A2 の世界では、原子力または炭素隔離が、GHG 濃度安定化の上で重要性を増してくるようになり、特に安定化目標が低い場合にはそうである。太陽エネルギーは、21 世紀後半に気候安定化へ向けて重要な役割を果たす可能性があり、特に分析した中で、より高い排出ベースラインをもつ場合と安定化レベルが低い場合に可能性がある。

第 4 に、グローバルな気候政策と国内大気汚染緩和政策を統合するなら、次の 20 年から 30 年の間に途上国での GHG 排出を効果的に削減できる。しかし、硫黄排出規制は気候変動の可能性を増大する可能性があり、中期的には環境政策と部分的に相殺し続ける可能性が高い。

農業、土地利用、エネルギーシステムに対する政策を、気候変動緩和に結び付ける必要がある。これに成功しない場合には、必要以上のコスト増大につながる可能性がある。厳格な規制レベルでは、土地での吸収隔離により追加的な排出能力を獲得する能力もコスト計算に影響する。(cost-the ing impacts) 土地からのバイオマスエネルギー供給ポテンシャルが高いなら炭素排出削減負担を緩和する。

## 2.2 EMF プロジェクトによる比較

スタンフォード大学 EMF 比較プロジェクトでは、京都議定書の目標を達成するための「対策ケース」について、国別に必要となるコストのシミュレーション結果を比較した。この際、京都議定書で合意された附属書 I 国間での排出量取引を導入したケース、世界全体で排出量を取引するケース、森林の吸収量についての認定値を変えた場合、また、二酸化炭素以外の温室効果ガス排出量を勘案した

場合などについても、比較研究した。

参加したモデルは、我々の AIM モデルの他に、オーストラリア国立大学の G-Cubed モデル、米国国立太平洋北西研究所 (PNNL) の SGM モデル、スタンフォード大学の MERGE モデル、米国チャールズリバー協会の MRT モデルなどである。

図 3.5 に 2010 年における「なりゆき」シナリオの場合の主なモデルの排出量の比較を示す。図中のモデルの中では、付属書 I 国の排出量は AIM では低く、SGM では高く推定されており、その差は約 7 億 8 千万トンである。これらの違いは、経済成長、燃料コスト、資本回収率等の推定の差によるものである。旧ソ連の排出量の見積もりの差はモデルによって大きく異なっているが、日本に関しては統計データが整備されていることもあり、モデルによる差が一番小さい。

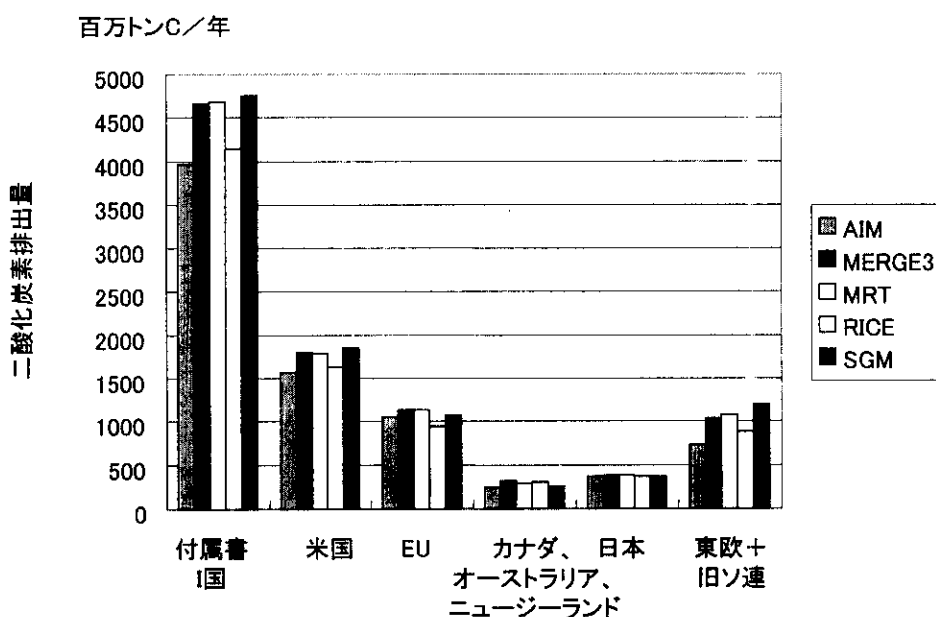


図 3.5 2010 年における「なりゆき」シナリオの排出量予測の比較

図 3.6 には各モデルが推計した限界費用の値の比較を示した。これらの限界費用の推定値のなかには、省エネ技術などの需要サイドのコストだけでなく、発電施設の効率改善などの供給サイドのコストも一部反映されている。いずれの推計結果も、日本の二酸化炭素削減の限界費用が相対的に高く、アメリカの限界費用が最も安い傾向を示した。わが国の限界費用が相対的に高い理由として、過去に省エネ対策を徹底して実施したために、省エネ対策の追加コストが高くつくこと、原子力などの低炭素エネルギーの供給に制約があることなどが指摘されている。



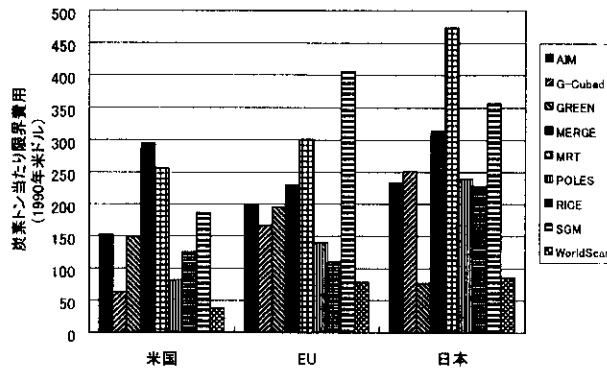


図 3.6 京都議定書を達成するための限界費用推定値の比較 (2010 年時点)

排出量取引を実施した場合の取引価格の比較を図 3.7 に示す。この図の左側には付属書 I 国間で排出量取引を導入した場合を、右側には途上国も含めて排出量取引を導入した場合を示す。どのモデルも排出量取引を行った場合、大幅に限界費用が減少しており、排出量取引の経済的効果は明確に現れている。排出量取引なしのケースと付属書 I 国間で排出量取引のケースを比較すると、多くのモデルで限界費用が半分以下に下がる。さらに、付属書 I 国間取引のケースから世界取引のケースに移行すると、取引価格が減少して各国の対策費用はさらに下がる結果となっている。

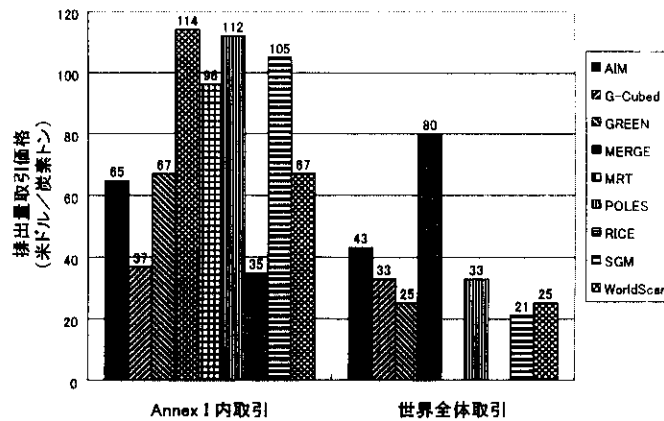


図 3.7 排出量取引価格の推定値比較 (2010 年時点)

図 3.8 は 2010 年における米国での削減費用を二酸化炭素の基準排出量に対する削減率について図示したものである。Oxford モデルでは、削減率が 20%から 30%に増加すると急激に限界費用が増加する。Worldsan は 20%以下の削減率では一番限界費用が小さいが、20%を越すと G-Cubed が小さくなる。なお、米国内で京都議定書で掲げられた目標を達成するには、基準排出量の見積もりにもよるが、25%から 30%の排出量の削減を実施する必要がある。

GDP ロスの比較を図 3.9 に示す。G-Cubed では欧州における GDP ロスを高く見積もっている。AIM

およびSGMによる推計結果には差異はあまりない。図3.10に日本におけるGDPの変化の比較を示す。オーストラリアABAREチームのGTEM(Global Trade and Environment Model)では日本によるGDP損失を大きく見積もっており、次にMERGEモデルの推定が大きい。

図3.11に先進国が国内だけで対策を行った場合の途上国での炭素漏洩の率を示す。G-Cubed、AIMモデルでは比較的低い、MERGEでは2030年に30%を越す炭素漏洩があると推定されている。これらの違いもモデルおよび前提条件の違いである。

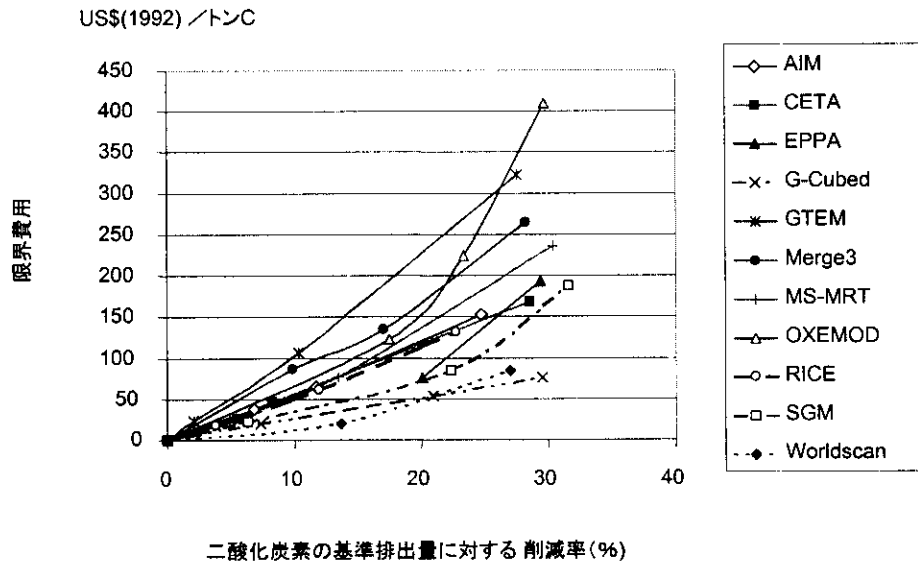


図3.8 2010年における米国での炭素排出削減の費用

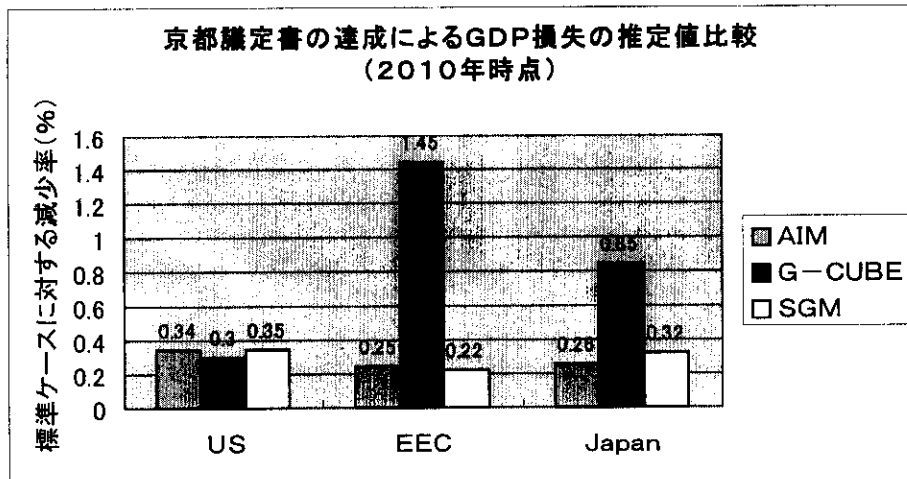


図3.9 京都議定書達成のためのGDPロス(排出量取引なし、シンク考慮)

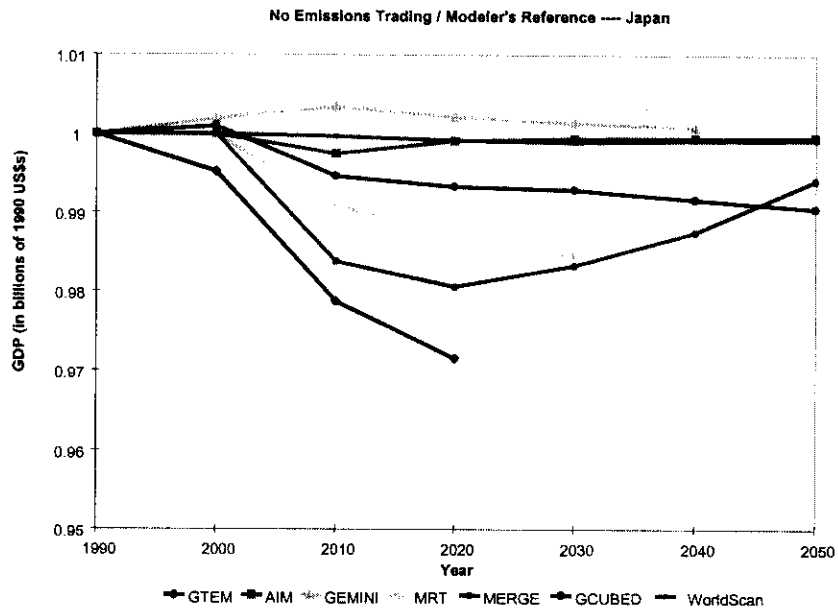


図 3.10 日本における GDP の変化

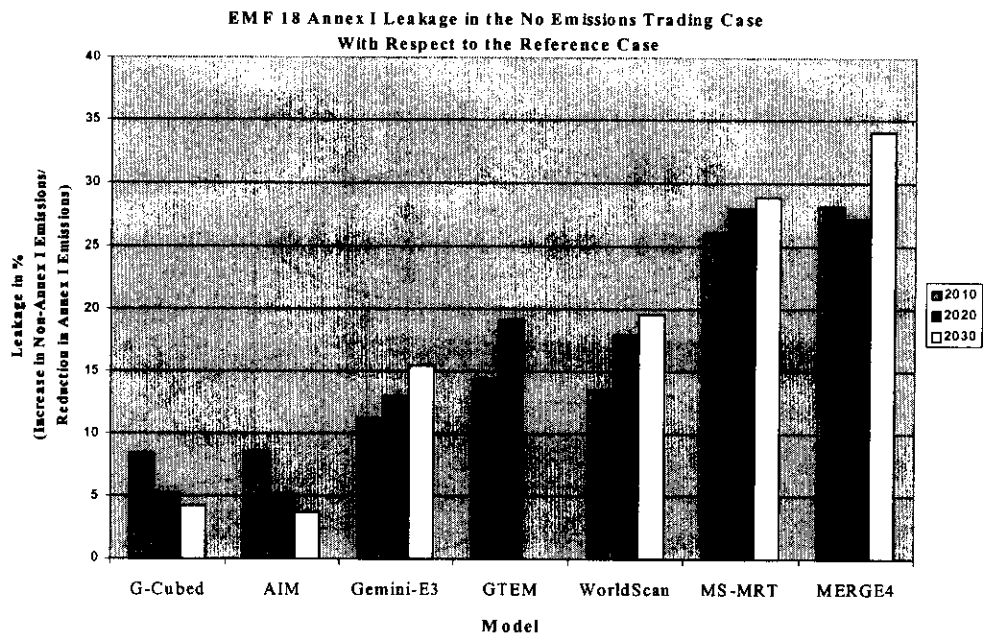


図 3.11 先進国が国内で対策を行った場合の途上国の炭素漏洩の率

### 3. 温暖化の食糧需給への影響分析モデルの開発

温暖化が進むと予想される中で、食料需給の変化を予測することは重要な問題であると認識されている。食料需給影響分析モデル開発の目的は、国際応用システム分析研究所（IIASA）の世界農業モデルを用いて、AIMにより予測された農業生産への一次影響が、国際的な食糧需給市場を通じて農業生産に与える影響を分析することである。加えて、中国を対象としたモデルのサブモジュールの詳細化と、それによる分析を行った。

図 3. 12 は、本研究において行われたモデル開発、分析の、食糧需給評価の全体枠組みにおける位置付けを図示したものである。まず第一に、人口増や経済発展のシナリオを前提条件として、気候変化に起因する作物生産性の変化（AIM 予測を利用）が食糧需給に及ぼす影響を評価するための国際貿易モデルの開発と、分析を行った（食料需給）。さらに、中国を対象として、国際貿易モデルの作物生産関数の改良・詳細化を目的として、土壌特性の作物生産への適正に関する分析（気候変化 $\leftrightarrow$ 作物生産性）、作物生産性と土地利用パターンの相関分析ならびに近年の農業生産性変化の因子分析（土地利用 $\leftrightarrow$ 作物生産性）を行った。

気候変化は水資源への影響を介在して作物の生産性に影響を与えるため、地域性を反映した農業・食料需給への影響評価に際しては、気候変動の水需給への影響を十分に勘案する必要がある。本研究では、気候変動が河川流量を通じて水の供給に与える影響を評価するための流量モデルを黄河地域について構築した（気候変化 $\leftrightarrow$ 河川流量）。また、将来の気候変動が引き起こす流量の季節変動を貯水池の運用により人間がどの程度緩和できるかについて、黄河の支川である Jinghe 川と Luanhe 川についてケーススタディ的な分析を行った（水資源供給）。さらに、水の需要側については、地域別・セクタ別の水需要推計を行った（水資源需要）。

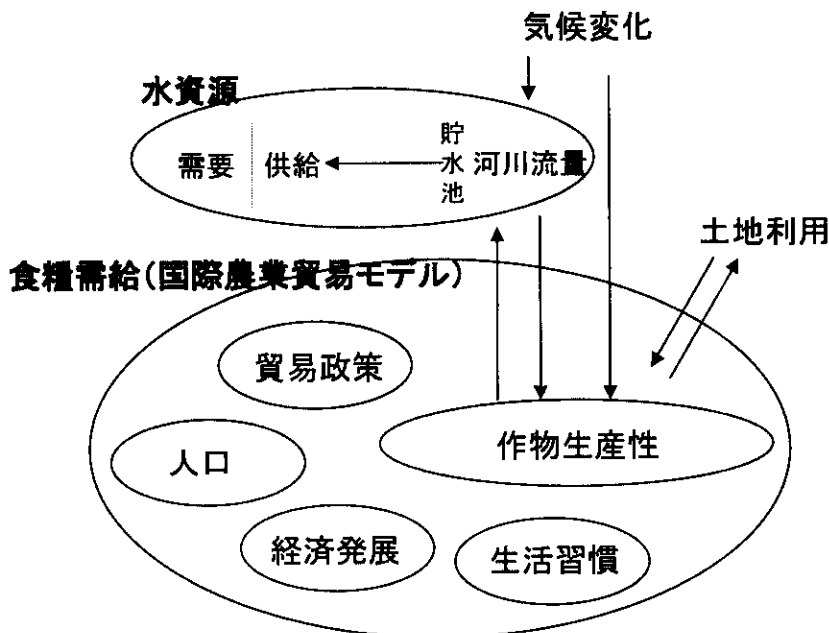


図 3. 12 食糧需給評価の全体枠組みにおけるモデル開発・分析の位置付け

### 3.1. 国際貿易モデルの開発と、温暖化による農作物生産・食糧需給への影響の推計

AIM モデルを用いて推計された気候変動による農産物の生産性の変化を、国際貿易モデルの入力とすることで、気候変動が農産物ならびにその他の製品の国際市場に及ぼす影響を評価した。社会経済がIS92a シナリオに従って発展すると仮定した場合の2100年における各地域への経済影響を図3.13に示す。2100年における農産物の生産性は、低緯度地域で減少、高緯度地域で増加する傾向が見られ、世界全体の社会的厚生の変化は深刻ではないが、インドにおける社会的厚生の変化は4.89%と、地域的に深刻な経済影響が起こりうることを定量的に評価した。

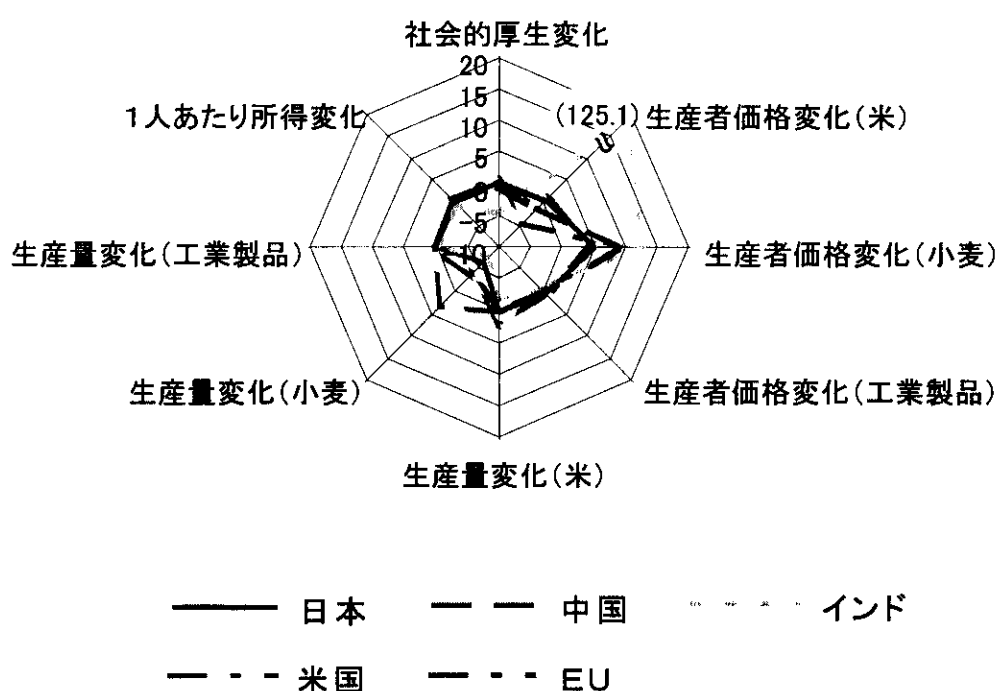


図 3.13 温暖化が引き起こされることにより生じる各地域の経済影響 (2100 年)

### 3.2. 中国における食料需給モデルの改良

#### 3.2.1. 土壌特性の作物生産への適正に関する分析

地形や土壌の農産物の生産性に対する適正を評価するモジュールを構築した。このモジュールと気候評価モジュールをもとに、中国におけるコムギ、イネ、トウモロコシの生産性について、5kmのグリッドに分割した地図を作成し、これらの農産物の生産に対する適正を評価するとともに、気候変化による農産物の生産性への影響を評価した。土壌を分類する特性とそうした特性により規定される土壌の品質を表3.2に示した。図3.14にコムギの土壌適正の結果を示す。

表3.2 土壤特性と土地品質

土壤品質		土壤特性
SQ1	栄養塩利用可能：低・中位投入に対して収穫可能	総交換可能塩基；カチオン率；組織；塩基飽和；土壤のカチオン交換容量；pH；有機炭素；土性
SQ2	栄養塩保持：中・高位投入に対して収穫可能	総交換可能塩基；pH；有機炭素
SQ3	根茎良好状態：収穫可能	効果的な深度・体積（土壤深度、石/礫）；組織・構成
SQ4	根茎に対して酸素利用可能：収穫可能	土壤排水特性
SQ5	塩分過剰：収穫可能	塩分；ナトリウム
SQ6	毒性：収穫・投入可能	毒性に関連する酸度と欠乏；過剰炭酸カルシウム・石膏
SQ7	使用可能：収穫・投入可能	効果的な土壤深度/容量；（土壤深度、岩石露頭/石/礫、）硬盤等、土性/組織・無機質、土壤支持容量、傾斜度

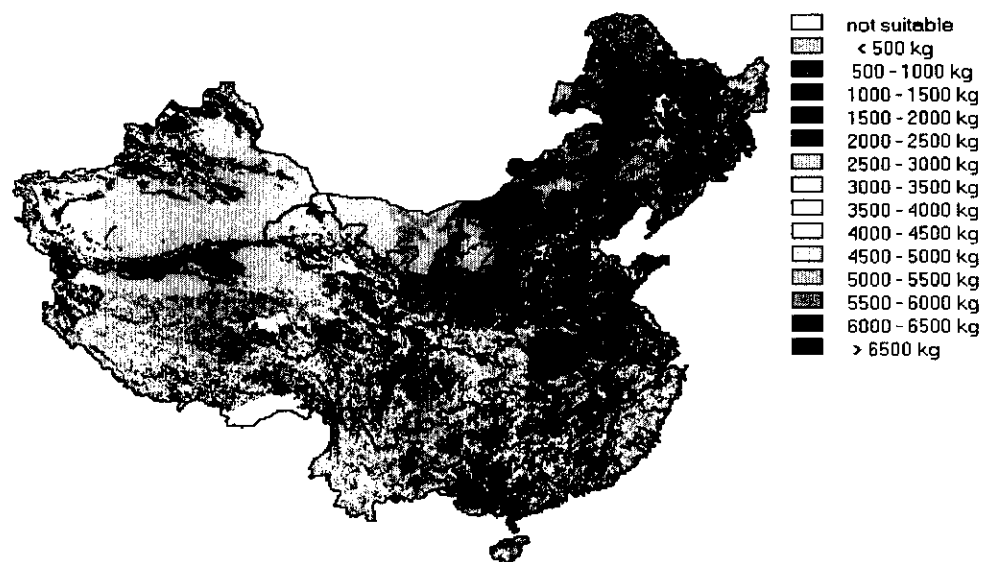


図 3.14 小麦に対する土壤適正

### 3.2.2. 作物生産性と土地利用パターンの相関分析／近年の農業生産性変化の因子分析

また、中国を対象に、統計データをもとに規準相関分析を用いて土地利用パターンの分析を行った。ここでは中国を2350の地域に分割し、灌漑農地、乾燥地、近郊農地、森林、草地、建設用地、未利用地の7つの土地利用を、人口要因、社会経済要因、農業要因、気候要因、土壌要因、地形要因を表す90の変数で評価した。次に、中国を対象に、ノンパラメトリック・インデックス・ナンバー法を用いて、労働、水田、灌漑地、牧草地、機械、運搬用家畜、化学肥料、有機肥料から農業生産性の変動を評価した。ここでは、技術進歩に起因する要因と効率改善に起因する要因に分割し、評価を行った。中国全体では1985年から1994年にかけてわずかではあるが生産性が向上しているが、1990年から1994年までの伸びが4%を超えるのに対して、1985年から1990年の生産性はマイナスであることを明らかにした。また、農業生産性の向上は、効率改善よりも技術進歩に依存し、地域的な格差も大きいことが明らかとなった。表3.3にその結果を示す。

応用一般均衡モデルについては、実際にシミュレーションを行うために必要となる社会勘定表（経済的な財の取引を表すだけでなく、農産物の産出に影響を及ぼす自然属性も併せて評価する）の構造を整理し、データ収集を行うとともに、農業モデルとリンクさせる際に必要となる農業生産物の生産関数について理論的整理を行った。物理化学の分野において不規則な形状の関係性を近似する際に用いられるモリファー法を土壌損失に適用するために、既存の分析方法である一般土壌損失方程式（USLE）のデータセットをもとにグラフ化し、USLEと比較した。その結果、モリファー法では高い降雨浸食と地形因子、高い土壌浸食と低い土壌浸食の値に対してエラーは大きい、USLEの見積もりよりもエラーが小さいことがわかった。最後に、土地利用の最適配分を考えるために、汚染源と汚染により影響を受ける農地を対象としたときに見られる農地の空間配置に関する最適化問題を、確率的準グラディエント法を用いて評価した。

表 3.3 1985年から1994年における中国各省の農業生産性の変化

省	平均年変化								
	農業生産性変化(総合)			技術要因			効率性要因		
	1985-90	1990-94	1985-94	1985-90	1990-94	1985-94	1985-90	1990-94	1985-94
Beijing	1.0279	1.0478	1.0378	1.0279	1.0478	1.0378	1.0000	1.0000	1.0000
Tianjin	1.0496	1.0162	1.0328	1.0496	1.0162	1.0328	1.0000	1.0000	1.0000
Hebei	0.9679	1.0375	1.0021	0.9484	1.0216	0.9843	1.0206	1.0156	1.0181
Shanxi	1.0087	1.0267	1.0176	1.0087	1.0267	1.0176	1.0000	1.0000	1.0000
Inner Mongolia	0.9374	1.0458	0.9902	0.9374	1.0458	0.9902	1.0000	1.0000	1.0000
Liaoning	1.0092	1.0874	1.0476	1.0092	1.0874	1.0476	1.0000	1.0000	1.0000
Jilin	0.9845	1.0787	1.0305	0.9845	1.0787	1.0305	1.0000	1.0000	1.0000
Heilongjiang	0.9750	1.0584	1.0158	0.9750	1.0584	1.0158	1.0000	1.0000	1.0000
Shanghai	0.9896	1.1009	1.0438	0.9896	1.1009	1.0438	1.0000	1.0000	1.0000
Jiangsu	0.9696	1.0928	1.0293	0.9696	1.0928	1.0293	1.0000	1.0000	1.0000
Zhejiang	0.9679	1.0885	1.0264	0.9679	1.0885	1.0264	1.0000	1.0000	1.0000
Anhui	0.9338	1.0389	0.9849	0.9593	1.0578	1.0074	0.9734	0.9821	0.9777
Fujian	0.9587	1.0883	1.0215	0.9667	1.0770	1.0204	0.9917	1.0105	1.0010
Jiangxi	0.9702	1.0825	1.0248	0.9698	1.0757	1.0214	1.0005	1.0064	1.0034
Shandong	0.9523	1.0193	0.9853	0.9523	1.0193	0.9853	1.0000	1.0000	1.0000
Henan	0.9423	1.0056	0.9734	0.9423	1.0319	0.9861	1.0000	0.9745	0.9872
Hubei	0.9770	1.0499	1.0128	0.9785	1.0479	1.0126	0.9985	1.0019	1.0002
Hunan	0.9675	1.0447	1.0053	0.9771	1.0548	1.0152	0.9902	0.9904	0.9903
Guangdong-Hainan	0.9868	1.0525	1.0192	0.9868	1.0525	1.0192	1.0000	1.0000	1.0000
Guangxi	0.9510	1.0214	0.9856	0.9601	1.0415	0.9999	0.9905	0.9807	0.9856
Sichuan	0.9734	1.0414	1.0068	0.9734	1.0414	1.0068	1.0000	1.0000	1.0000
Guizhou	0.8328	1.0354	0.9286	0.8328	1.0370	0.9293	1.0000	0.9985	0.9992
Yunnan	0.9825	0.9594	0.9709	0.9593	1.0352	0.9965	1.0242	0.9268	0.9743
Xizang	0.9367	0.9349	0.9358	0.9367	0.9349	0.9358	1.0000	1.0000	1.0000
Shaanxi	0.9683	1.0431	1.0050	0.9642	1.0569	1.0095	1.0042	0.9870	0.9956
Gansu	0.9770	1.0111	0.9939	0.9770	1.0111	0.9939	1.0000	1.0000	1.0000
Qinghai	0.9971	1.0666	1.0313	0.9971	1.0666	1.0313	1.0000	1.0000	1.0000
Ningxia	0.7671	1.0604	0.9019	0.7671	1.0604	0.9019	1.0000	1.0000	1.0000
Xinjiang	1.0020	1.0593	1.0302	1.0020	1.0593	1.0302	1.0000	1.0000	1.0000
平均	0.9627	1.0440	1.0025	0.9630	1.0487	1.0049	0.9998	0.9955	0.9976
重み付け平均	0.9658	1.0468	1.0055	0.9666	1.0517	1.0082	0.9992	0.9954	0.9973

### 3.3. 中国における水資源モデルの開発

農業に大きな影響を及ぼす水資源の需給については、総合的な水資源、インフラ整備、社会経済を取り込んだ水資源モデルを開発する必要がある。このために必要な理論をとりまとめるとともに、水資源モデルの骨格を構築した。

#### 3.3.1. 黄河流域を対象とした流量モデルの構築

気候データならびに地表面データから河川流量を中国大陸規模で推計する流量モデルを構築し、黄河に適用し、シミュレーションによる流量が実際の流量にきわめて近い結果となることを確認した。

図 3.15 は流量モデルによる黄河の流量の実績値と計算値の比較である。

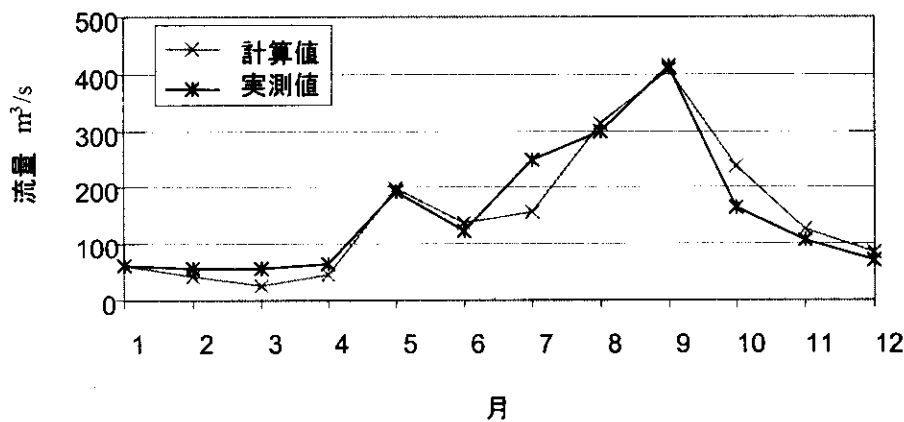


図 3.15 水資源モデルによる黄河の流量の実績値と計算値

#### 3.3.2. 貯水池の運用による流量の季節変動の緩和 (Jinghe 川と Luanhe 川についてケーススタディ)

また、黄河流域における水資源管理への人間が及ぼす影響についても検討した。気候変動は、気温・降水量などの絶対量変化を通じて水資源変化を引き起こすだけでなく、それらの日々変動・季節変動を通じた水資源変化も起こりうる。一方、季節的な水資源変動は貯水池等の人工的な設備導入により緩和されるものであり、将来の気候変動が水資源へ及ぼす変化を評価する際には、貯水池建設などの人間活動が水資源に及ぼす影響も同時に評価する必要がある。これらを同時に評価するための分析手法を提案し、それを用いて黄河流域の2支川についてケーススタディ的に基礎的な分析を行った。

中国において貯水池は灌漑水供給の安定度を増したり、洪水や堆積をコントロールするために主として建設される。つまり、その運用計画の最適化関数は下流域への放流が一年を通じ出来るだけ等しくなるようにするものであると考えることが出来る。その意味では、黄河の支川に位置する貯水池はほぼ同様の最適化関数を持つことを仮定でき、流域内の複数貯水池を集計して取り扱う「流域貯水等量」の考え方が簡略化のために用いられた。

ケーススタディの対象とした2地域は Jinghe 川と Luanhe 川であり、ともに黄河の支川である。図 3.16 ならびに図 3.17 はそれぞれの河川において将来気候の下で、貯水池容量の違いにより安



定した水供給量がどの程度変化するかを解析した結果である。V=R とは、貯水池容量が河川の年流量と同じ大きさを持つケースを示している。V=0.2R は貯水池容量が年流量の 5 分の 1 である場合であり、ほぼ現状を示している。予測される気候変化による水供給安定性への影響は、貯水池の整備により決定される水供給安定性に比べて小さい。

気候変動に対する水資源影響の適応策として、貯水池システムの整備を取り扱い、その適応効果の評価のための手法の検討と、その評価に用いるダム統計情報の収集を行った。

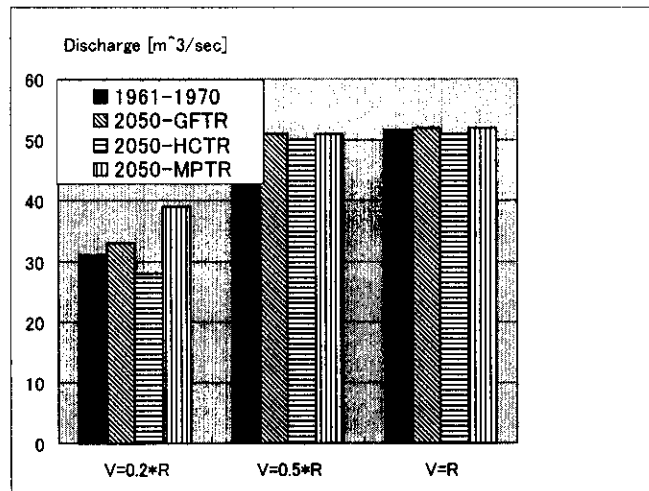


図 3.16 Jinghe 川における安定した水供給量の変化

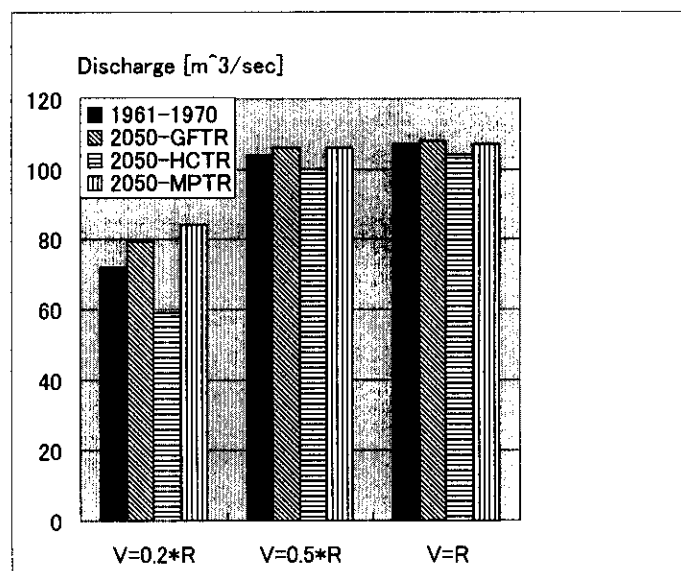


図 3.17 Launhe 川における安定した水供給量の変化

### 3.3.3. 地域別・セクタ別の水需要推計

水資源需給バランスを検討するためには、気候資源との関連を示す水供給を推計するためのツールと、水需要推計のためのツールが必要である。水需要を推計手法では、水需要は農作物、畜産、漁業、エネルギー、製造業、建設、輸送、その他サービスに分けられ、それぞれについて個別の水需要推計手法が用意されている。うちいくつかのセクタについては、地域統計資料などからデータを収集することにより、現状での水需要推計を行った。表3.4に地域別・セクタ別の水需要推計の結果をまとめる。

表3.4 地域別、セクタ別の水需要推計

Description	Northeast (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	North (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	East (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Central (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	South (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Southwest (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Plateau (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Northwest (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	by sector (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
<b>Manufacturing (Sector Average)</b>	<b>5,151.18</b>	<b>12,701.30</b>	<b>14,656.06</b>	<b>3,961.22</b>	<b>6,876.34</b>	<b>3,368.45</b>	<b>81.08</b>	<b>2,129.75</b>	<b>48,925.38</b>
Food products(311)	277.57	889.78	504.34	247.50	414.88	359.70	4.26	135.54	2,633.57
Tobacco(314)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Textiles(321)	63.47	307.33	626.13	93.34	132.02	53.49	1.44	65.97	1,343.19
Wearing apparel, except footwear(322)	6.18	23.13	33.28	4.87	29.53	2.61	0.03	1.94	101.58
Wood products, except furniture(331)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Furniture, except metal(332)	26.34	34.78	51.19	20.58	48.11	12.79	0.77	6.47	201.04
Paper and products(341)	319.66	1,000.10	1,220.95	346.88	893.88	214.28	3.06	134.58	4,133.38
Printing and publishing(342)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Industrial chemicals(351)+(352)	2,236.86	5,411.86	6,767.10	1,431.11	2,702.64	1,196.35	23.81	798.85	20,568.37
Petroleum refineries(353)+(354)	894.15	727.27	540.67	346.40	346.35	10.84	3.18	344.46	3,213.31
Rubber & Plastic Products(355)+(356)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Leather products(323)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Pottery, china, earthenware(361)+Glass	219.58	695.87	400.95	202.74	342.52	151.04	2.97	89.26	2,104.92
Iron and steel(371)+(372)	2,019.26	3,887.15	3,571.29	1,272.03	730.77	1,326.95	81.60	815.78	13,704.83
Fabricated metal products(381)	12.56	40.53	49.34	7.98	22.72	7.79	0.17	4.90	146.01
Machinery, except electrical(382)	92.97	221.92	253.94	50.67	63.03	44.97	1.43	29.39	758.31
Machinery, electric(383)	20.88	67.36	108.49	14.91	76.39	16.16	0.12	13.19	317.48
Transport equipment(384)	96.15	155.46	143.41	83.49	42.03	57.95	0.51	16.68	595.68
Professional & scientific equipm.(385)	5.52	11.91	33.22	3.43	3.71	5.02	0.07	3.89	66.76
Other manufactured products(390)	14.62	47.29	58.53	32.47	37.73	6.22	0.11	4.07	201.04
<b>Energy (Sector Average)</b>	<b>4,671.50</b>	<b>9,955.32</b>	<b>8,174.00</b>	<b>3,115.41</b>	<b>5,314.64</b>	<b>3,433.27</b>	<b>153.39</b>	<b>2,925.31</b>	<b>37,724.86</b>
Electricity	4,545.31	9,710.46	8,033.14	3,091.08	5,294.22	3,400.69	134.45	2,883.22	37,092.59
Coal	43.83	182.34	139.35	22.56	12.69	27.04	0.16	23.26	451.24
Oil	82.36	62.53	1.51	1.77	7.73	5.54	0.78	18.83	181.04
Construction	151.15	311.94	266.39	121.44	244.35	131.68	7.27	111.09	1,345.31
Transportation	4.25	8.88	7.24	3.57	6.47	3.47	0.16	3.04	37.07
Other (Service Section)	490.09	1,220.62	910.65	432.88	848.52	500.01	19.13	378.01	4,799.90
<b>Total(Manuf.Energy,Const,Trans and other)</b>	<b>11,622.76</b>	<b>24,818.51</b>	<b>23,721.11</b>	<b>7,931.72</b>	<b>12,300.28</b>	<b>7,534.59</b>	<b>285.46</b>	<b>5,822.20</b>	<b>93,996.62</b>
Livestock	136.39	416.56	147.26	208.27	118.78	505.44	134.48	269.48	6,487.75
Fisheries	467.44	876.32	2,254.64	0.00	1,969.95	782.49	0.72	136.20	2,500.00
Forestry	-	-	-	-	-	-	-	-	2,500.00
Urban Population	2,056.06	3,451.99	3,695.61	2,136.84	2,705.44	1,934.85	79.74	1,201.25	17,261.76
Rural Population	1,376.49	4,770.14	3,474.56	3,182.26	4,179.46	4,160.18	92.95	1,626.48	22,862.52
<b>Total Water Use</b>	<b>15,659.13</b>	<b>34,333.53</b>	<b>33,293.17</b>	<b>13,359.09</b>	<b>21,273.91</b>	<b>14,917.54</b>	<b>593.35</b>	<b>11,615.59</b>	<b>145,045.32</b>

#### 4. IPCC シナリオのデータベースの開発

今後、種々のユーザーの要望に応じて AIM モデルを定期的に更新及び改良していくためには、世界規模で基盤的データを収集し、これをデータベース化する必要がある。このため、過去の定量的なシナリオを収集し、これらを総合的に管理するデータベースシステムを構築した。表 3.5 に収録した排出シナリオの数を地域別に示す。世界全体の排出シナリオが最も多く、地域別及び国別では、OECD 地域、非 OECD 地域、米国、旧ソ連、中国、西欧、日本、移行経済諸国のシナリオ数が多い。データベースは ACCESS97 上で開発され、図 3.18 に示すようにシナリオの出典、種類、対象とする地域、項目、単位、時系列データがリレーショナル・データベースとして収録されている。ここで収録された項目には、温室効果ガスの排出量のみでなく、その前提となった人口や経済成長のシナリオ、土地利用のシナリオ、一次エネルギー消費量、最終エネルギー消費量等も含まれている。

表 3.5 排出シナリオデータベースの収録地域数

Region ID	Number of matching scenarios	Region ID	Number of matching scenarios
World	340	ROW	30
OECD	164	CANZ	29
non OECD	158	Mexico and OPEC	29
China	153	non OECD Annex I	29
USA	136	Middle East	27
FSU	121	Oceania	25
EEC	85	Canada	24
Japan	69	OECD Pacific	23
FSU+EEU	61	South Asia	23
Annex I	46	OECD Europe	22
non Annex I	46	SE Asia	16
Latin America	42	North America	15
India	36	Europe	12
Africa	34	OECD West	13
CP Asia	32	M East N Africa	12
East Europe	31	East Asia	12

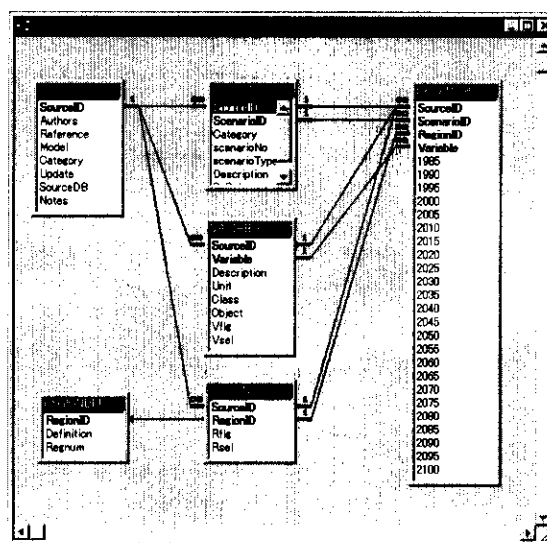


図 3.18 排出シナリオデータベースの構成

図 3.19 には、このデータベースに収録された世界規模の二酸化炭素排出シナリオを示す。図 3.20 には、世界人口予測の比較を、図 3.21 には世界 GDP 予測の比較を、図 3.22 には、世界一次エネルギー消費量の予測を、図 3.23 には炭素集約度の比較を示す。今までに作成された排出シナリオにはこのように大きな幅があり、これらのシナリオの差は使用したモデルの差よりも、前提とする社会経済シナリオの差が大きく効いていることが明らかとなった。

このデータベースに収録されたデータは、国立環境研究所のホームページ (<http://www-cger.nies.go.jp/cger-e/db/ipcc.html>) から既に世界中に配布しており、今後、種々の領域の研究者によって活用されることが期待される。

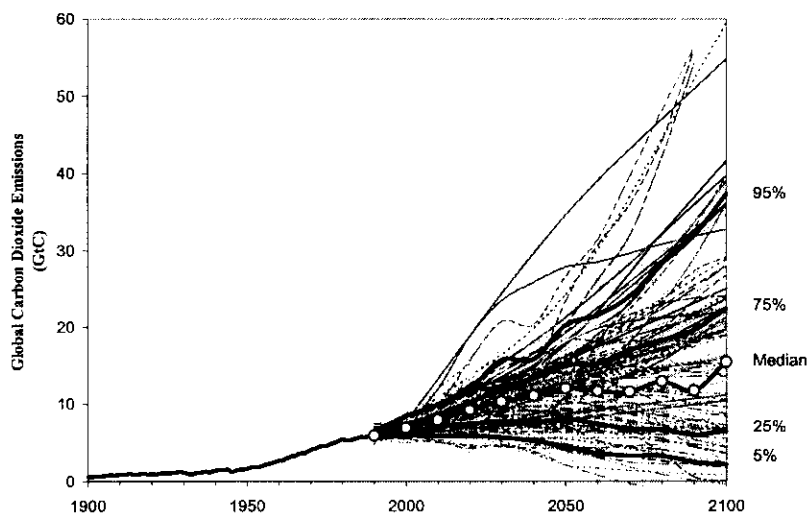


図 3.19 地球規模の二酸化炭素排出シナリオの比較

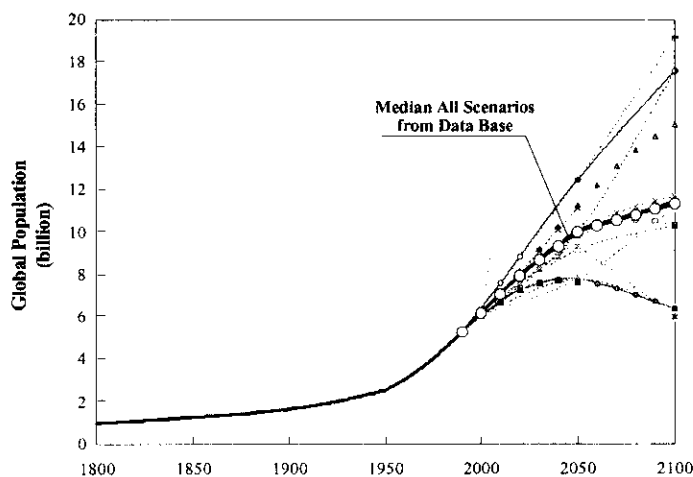


図 3.20 世界人口の予測シナリオの比較

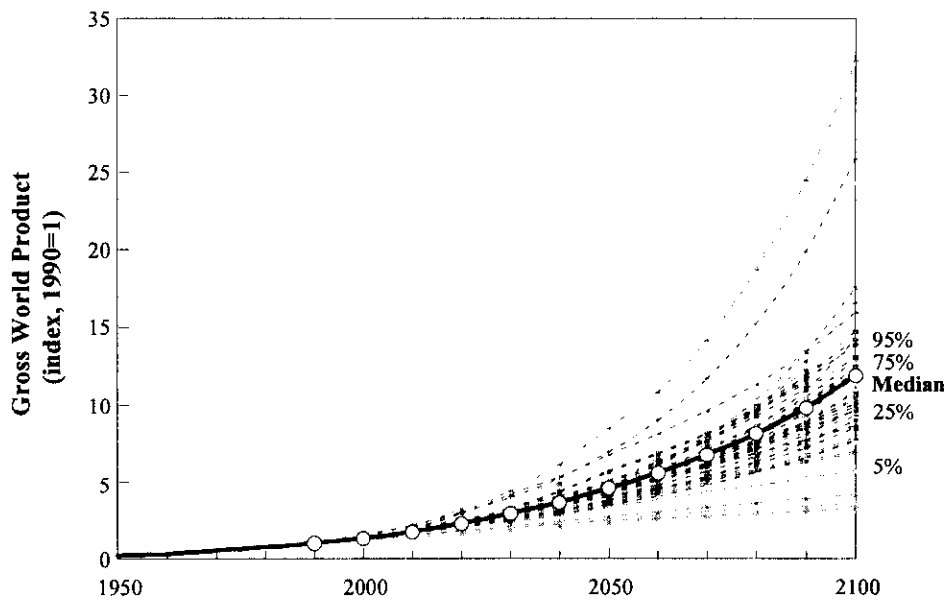


図 3.21 世界 GDP 予測の比較

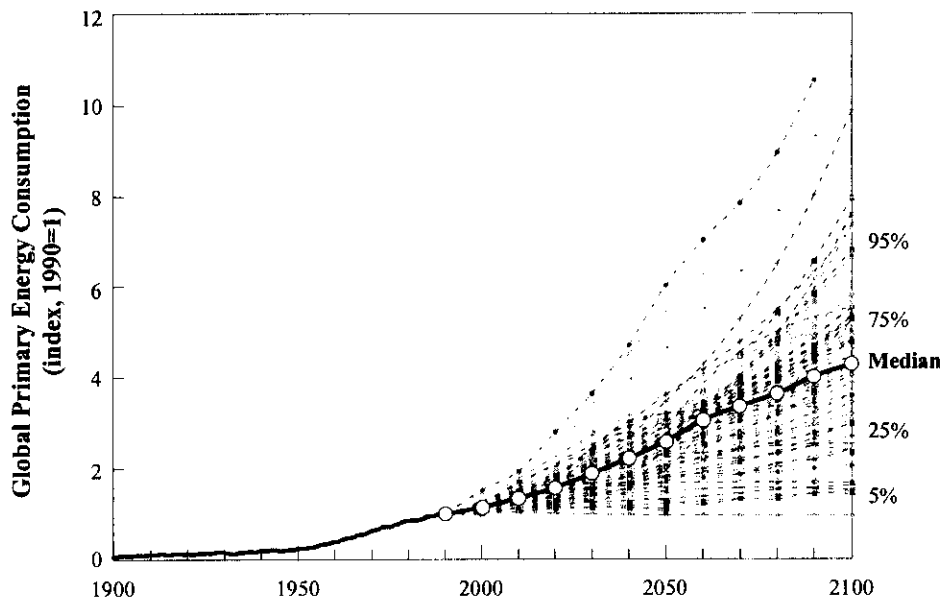


図 3.22 世界一次エネルギー消費量予測の比較

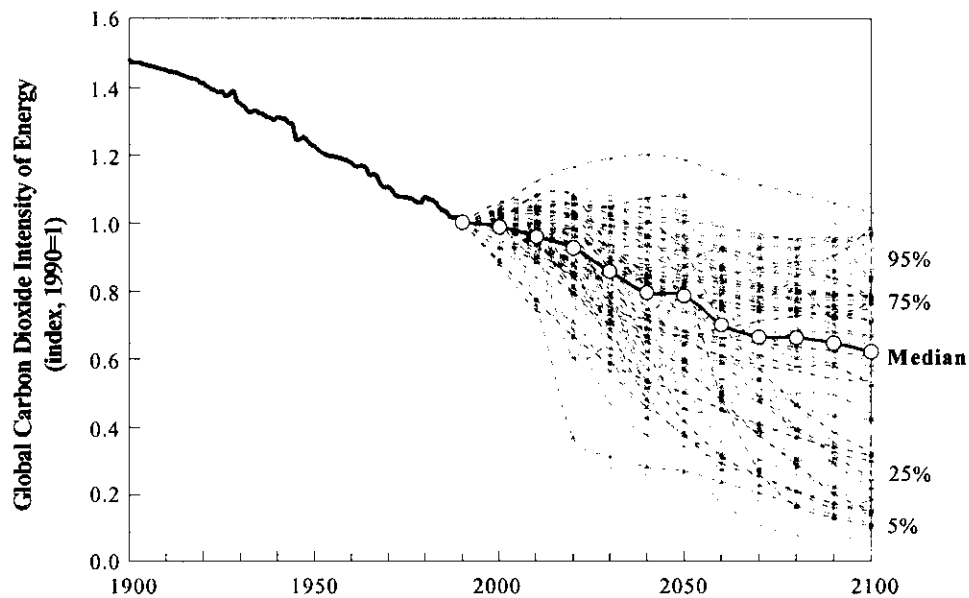


図 3.23 炭素集約度の比較

#### 5. トレーニング・ワークショップ

今までに開発してきたAIMモデルをアジアの発展途上国に移転するために、1997年8月、1998年10月に中国で、また、1998年3月と1999年2月にインドでそれぞれトレーニング・ワークショップを実施した。このワークショップには、アジア太平洋ネットワーク（APN）からの支援を受けて、それぞれ40名以上の専門家が出席し、講義とコンピュータを用いたトレーニングが行われた。その時の参加者を図3.24及び図3.25に示す。

また、毎年、つくばにおいてAIM国際ワークショップを開催している。これには毎年25名程度の参加者があり、最新のAIMモデル構築について検討した(図3.26)。



図 3.24 中国におけるトレーニング・ワークショップ (北京、1998年10月)



図 3.25 インドにおけるトレーニングワークショップ (アーメダバード、1999年2月)



図 3.26 AIM 国際ワークショップ (つくば、2000 年 3 月)

## 6. まとめ

モデルの国際比較や国際共同研究を通じて、以下の点について成果があった。① IPCCにおける気候安定化シナリオの比較分析においては、本プロジェクトを通じて日本がリーダーシップを発揮する機会を得るまでになった。② EMFの比較分析の結果は国際ジャーナルに発表することとなり、学術的にも大きな成果をおさめることとなった。③ I I A S Aとの共同研究は順調に進み、温暖化による食料需給への影響を分析する中国モデルの開発を大きく前進させることができた。④ 今までに作成された排出シナリオを収集してデータベース化を図ることにより、種々の領域の研究者に情報を提供した。今後、これらの成果をA I Mモデルの改良及び拡張のために活用するとともに、改良されたA I Mモデルを発展途上国に普及していきたい。

### [国際共同研究等の状況]

農業・水資源モデルの開発は、オーストリアの国際応用システム解析研究所と共同で行なった。エネルギー技術評価は、米国国立太平洋北西研究所と共同で研究を進めている。温室効果ガスシナリオの比較はI P C C、スタンフォード・エネルギー・モデリング・フォーラムを通じて行なった。中国とインドでA I Mトレーニング・ワークショップを実施した。



[研究成果の発表状況]

(1) 口頭発表

- ① Kainuma, M., Y. Matsuoka and T. Morita: 1997 Workshop on Climate Change Impacts and Integrated Assessment, Snowmass, U.S.A., 1997  
"Sulfur models and simulations in the Asian-Pacific Integrated Modeling"
- ② Kainuma, M.: Workshop on Integrated Assessment Modelling for Climate Change Policy Analysis, Ahmedabad, India, 1998  
"Asian-Pacific Integrated Model (AIM)"
- ③ Kainuma, M.: Workshop on Integrated Assessment Modelling for Climate Change Policy Analysis, Ahmedabad, India, 1998  
"AIM/ENDUSE model"
- ④ Kainuma, M.: Climate Change Impacts and Integrated Assessment Workshop IV, Snowmass, U.S.A., 1998.  
"Analysis of EMF16 Post-Kyoto Scenarios"
- ⑤ Kainuma, M., Y. Matsuoka and T. Morita: East Asia Workshop on Integrated Assessment Model, Beijing, China 1998  
"Post-Kyoto scenarios for developed countries"
- ⑥ Kainuma, M.: Workshop on Integrated Assessment Models (IAMs) and Climate Change Policy Analysis for Asia, Ahmedabad, India, 1999  
"Analysis of Post-Kyoto Scenarios based on AIM Model"
- ⑦ Kainuma, M.: EMF Snowmass Workshop, Snowmass, U.S.A., 1999  
"New directions of AIM modeling"
- ⑧ Kainuma, M., T. Masui and K. Takahashi: ECO-ASIA Project, Shonan, Japan, 2000  
"AIM-based analyses for ECO-ASIA Long-term Project"
- ⑨ Masui, T. and T. Morita: Workshop on Integrated Assessment Models and Climate Change Policy Analysis for Asia, Ahmedabad, India, 1999  
"New Economic Model Development for Assessing the Contribution of Environmental Industries"
- ⑩ Morita, T.: 1997 Workshop on Climate Change Impacts and Integrated Assessment, Snowmass, U.S.A., 1997  
"Development of an emission scenario database for simulations conducted since 1994 and a preliminary analysis using the database"
- ⑪ Morita, T. and R. Pandey: Workshop on Integrated Assessment Modelling for Climate Change Policy Analysis, Ahmedabad, India, 1998  
"Contribution to quantification of new IPCC emission scenarios"
- ⑫ Morita, T.: Workshop on Integrated Assessment Modelling for Climate Change Policy Analysis, Ahmedabad, India, 1998  
"Integrated assessment and the Kyoto Protocol"
- ⑬ Morita, T.: Workshop on Integrated Assessment Modelling for Climate Change Policy Analysis, Ahmedabad, India, 1998

- "AIM applications in Asian developing countries; experiences"
- ⑭ Morita, T.: Seventh NSF-JSPS Joint Science Policy Seminar, Hilo, Hawaii, 1998  
"International Cooperation in Global Environmental Science"
  - ⑮ Morita, T.: East Asia Workshop on Integrated Assessment Model, Beijing, China, 1998  
"Recent Trend on Integrated Assessment Modeling"
  - ⑯ Morita, T.: East Asia Workshop on Integrated Assessment Model, Beijing, China 1998  
"Integrated Assessment Modeling and Japan's Policy Making"
  - ⑰ Morita, T.: International Conference on Sustainable Future of the Global System, Tokyo, Japan, 1999  
"Some Implications on Alternative Emission Scenarios"
  - ⑱ Morita, T.: IPCC Expert Meeting of Stabilization and Mitigation Scenarios, Copenhagen, Denmark, 1999  
"Presentation of stabilization scenarios by different modeling teams"
  - ⑲ Morita, T. : UN Global Modeling Forum Meeting, New York, U.S.A., 2000  
"Climate stabilization scenarios based on SRES world"
- (2) 論文発表
- ① Kainuma, M., Y. Matsuoka and T. Morita: Special Issue of The Energy Journal, 207-220 (1999)  
"Analysis of Post-Kyoto Scenarios: the Asian-Pacific Integrated Model"
  - ② Nakicenovic, N., N. Victor and T. Morita: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 3 (2-4), 95-120 (1998)  
"Emission scenarios database and review of scenarios"
  - ③ Morita, T. : Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 3 (2-4), 121-131 (1998)  
"IPCC emission scenarios database"