

地球環境研究の総合化に向けたモデリングの動向

—科学と政策をつなぐプラットフォームづくりの試み—

森田恒幸*1・松岡 譲*2 (*1国立環境研究所 *2名古屋大学)

摘 要

地球環境問題の解決のためには、自然科学から社会・人文科学の広範囲な領域にまたがる科学的知見を統合し、問題の基本的な構造とその解決方向を体系的に明らかにしなければならない。このような総合化に向けた研究フロンティアは、いま、統合評価(Integrated Assessment)という領域に集約されつつある。そして、この領域の中心的な研究活動は、学際的なシミュレーション・モデルの開発である。今までに20以上のモデルが開発され、地球温暖化問題を中心に政策分析に用いられている。これらのモデルには、人間活動と地球環境との関係を詳細かつ総合的に記述した大規模モデル、地球環境の制約下で長期的な経済成長のあり方を分析する最適化タイプのモデル、地球環境変動を自然現象に焦点を当てて記述した総合モデル、政策担当者とのコミュニケーションを特に重視した簡略モデルなど、いくつかの種類に分けられる。しかし、これらのモデルは例外なく、科学と政策の相互関係を緊密にするための共通のプラットフォームとして開発されてきている。このことは、地球環境問題という難問に対応するための科学の発展の一形態と見なすことができる。そして、この新しい研究領域においては、新しい知見を加えた気候変動の将来シナリオの分析、経済モデルの改良、対策のタイミングとコストの分析、世代間・南北間の公平性の検討、地球環境変動の損害の推定、環境変動への人間の適応能力の評価、エネルギー問題と食糧問題とのトレードオフの分析、国際協力の効果と限界の検討等、大変に魅力的なトピックが次々と登場し、既存の研究領域に大きな刺激を与えている。

キーワード：地球環境，地球温暖化，総合化，モデル，統合評価 (Integrated Assessment)

1. はじめに

地球環境研究、なかでも地球温暖化分野での学際的なシミュレーション・モデルの開発は、世界的なブームになっている。地球規模の経済活動や社会の推移、これによって引き起こされる地球規模の環境変化、その結果生じる各種の環境影響や社会的影響、対策によって軽減される変化や影響の程度、さらには対策に要する費用、これらの一連の関係を計算機モデルとして記述し、多くの分野にまたがる断片的な科学的知見を統合して、そこに見える全体像を描いてみようとする研究である。

多くのモデラーにとって、このブームは予想以上の盛り上がりである。今までに経験したことのない大勢の聴衆、充実したファン、頻繁に開かれる国際研究集会、この千載一遇のチャンスに世界の精鋭がモデル開発に参入し、凌ぎを削っている。しかし、このブームは起きるべくして起きたとあってよい。人類が「地球環境問題」というとてつもない難問にぶつかり、科学と政策との緊密な相互関係が必要となった時、そこに必然的に登場し

たのがこの学際的モデリングなのである。

本稿では、この研究領域の世界的な動向を紹介するとともに、この研究領域が登場した政策科学的意味を解説し、最後に、この領域の最前線で試みられている研究トピックについて解説する。

2. 統合評価とモデル研究

学際的モデリングの研究は、統合評価 (Integrated Assessment, IA) と呼ばれる研究領域で推進されている。IA は、地球温暖化問題のように巨大なシステムを対象とした非常に重要かつ不確実な問題において、政策論争と科学論争とが密接に連携しあうための研究領域 (Schnider 教授の1994年7月の UCAR 会議での講演による) である。そして、科学的な問題認識のプロセスと政策決定のプロセスを統合することを目的としている。ここで、アセスメントとは通常、新しい科学を行うことを意味しないが、既存の断片的な知見を集め、まとめ、解釈し、できれば相互に調和させることを意味し、知的ではあるが専門家ではない政策担当者の思考を助けかつ

適切なものにするために、これらの知見をコミュニケーションすることを意味する¹⁾。IAはこのアセスメントの概念をさらに発展させ、問題の認識あるいは定式化を解決策の模索や決定と同時並行的に進行させるよう、新たな政策決定のあり方を求めるものなのである。

IAの研究の中心は、科学者と政策担当者のインターフェイスとしての研究活動であり、膨大かつ拡散した科学的知見を統合して、異なった現象の相互作用のアウトラインと不確実性を分析して、政策と科学のプライオリティを明らかにすること（Nordhaus教授の1994年6月のEMF会議における報告による）にある。その対象は、地球温暖化問題を例にとれば、経済活動⇒それによって生じる温室効果ガスの排出⇒炭素循環や大気化学反応などの自然のプロセス⇒気候の変化⇒気候変化に伴う各種の影響⇒その経済的被害⇒さらにその経済活動へのフィードバック、といった一連のプロセスを含み²⁾、これらの科学的知見の統合を目指す。

このようなインターフェイスとしての研究活動を発展させることにより、政策担当者と科学者の相互教育プロセスが形成され、検討枠組みや情報処理を通じて得られた知見が共有されることにより、政策担当者と科学者、さらには各国国民やNGO等とのコミュニケーションを活性化させ、この結果として政策オプションや研究課題の優先順位が付けられることが期待されている（Rechels博士の1994年7月のUCAR会議の講演による）。

では、巨大システムについての最新の科学的知見をどのように統合するのか。極端に広範囲に散らばった科学的知見を統合するには、非常にタフな作業が必要となる。IAでは、この統合のためのツールとして、モデル開発が進められてきたのである。即ち、科学的知見を統合する共通のプラットフォームとして、大規模な計算機シミュレーション・モデルが導入され、科学者と政策担当者、あるいは科学者どうしの間でコミュニケーションの活性化が図られたのである。

3. モデルの開発動向

IAにおけるモデル研究は、近年の地球規模での各種データの整備、個々のプロセスにおけるモデル研究の進展、それに、ハードとソフト両面のコンピュータ技術の発達により、ここ10年の間に急速に発展してきた。表1には、地球温暖化問題を中心にして、現在までに開発済み、あるいは開発中の主要な統合評価モデルを掲げた。地球環境問題のIAのためのモデルは、現在までに20種類以上開発されている。

表1に示すように、これらのモデルは地球環境問題を

対象としているために、当然のことながら全てが世界モデルとして開発されている。しかし、その開発目的は必ずしも一致している訳ではない。目的には大きく分けて2つある。一つは、地球環境という巨大な現象の何が問題となるかについて、問題自体を解明することである。他の一つは、いろいろな政策のオプションがどのように効果を発揮し、またどのような波及的影響を及ぼすかについて、政策効果を推定することである。それぞれのモデル開発では、これらの2つの目的の一方のみを強調するものや、両方の目的をもつものがある。また、問題解明を目的とするモデルの中でも、社会経済的活動から自然現象にいたる巨大な系を対象にして問題の解明を図るもの、人間と自然の相互作用の側面に焦点を当てて概括的な問題解明を図るもの、気候変化の自然現象のみに集中して問題の所存を探究するものなどがみられる。さらに、政策効果を分析するモデルにも、いろいろな政策の複合的効果の推定をめざすもの、温室効果ガスの最適な排出経路を推定して特定の政策の長期的見通しを見いだそうとするもの、技術政策に焦点を当てたものなど、これまたいくつかのタイプに分けられる。IAの推進方向は、どのような政策ニーズに答えるかに大きく依存しており、これを反映してモデル開発の目的にもいくつかの差が見られるのである。

このようにモデル開発の目的が違えば、自ずとモデルの構造も異なってくる。表2では、表1で紹介したモデルを構造によって比較してみた。それぞれのモデルがどの部分をどの程度強調しているかを、経済活動、それに伴う環境負荷の排出、自然のメカニズムの中の大気化学過程と気候変化の過程、環境変化に伴う物的影響、さらにその経済的影響、のそれぞれの構成要素に分けて示した。このような比較から、今まで開発された統合評価モデルには大きく4つのタイプがあることがわかる。

第一は、社会経済活動から気候変化、さらにはその社会経済的影響に至る全過程を、詳細に分析する大規模な統合モデルである。IAの中核に位置づけられるもので、問題解明と政策効果分析の双方に応えようとする包括的なアプローチである。今のところ、われわれのチームのAIMモデル^{3)~5)}とオランダのチームのIMAGE 2モデル⁶⁾が実際に動いている。また、米国の国立太平洋北西研究所のGCAMモデル⁷⁾、それにマサチューセッツ工科大学のMITモデル⁸⁾が現在開発中である。

第二は、比較的詳細なモデルではあるが、気候変動に関する自然現象や気候変動に伴う影響や被害の発生メカニズムに焦点を当てたIAモデルで、FUNDモデル⁹⁾やMAGICCモデル¹⁰⁾、PAGEモデル¹¹⁾などがこれに当た

表1 統合評価モデルの一覧

モデル名	開発者名	開発状況	開発目的	地域分割	備考
AIM (アジア太平洋地域統合モデル)	森田・甲斐沼・増田・原沢 (国立環境研) 松岡 (名古屋大学)	第一次バージョン開発済	アジアを中心に問題解明/政策効果分析	世界モデル 経済19地域/ 影響5分まで	アジア地域で共同開発の大規模モデル
CETA (二酸化炭素排出トラジエクトリー評価モデル)	S. Peck (EPRI) T. Teisberg (Teisberg Assoc.)	開発済	最適な排出経路の計算	世界モデル 先進国と途上国に分割	
CSERGE (地球環境社会経済研究センターモデル)	D. Maddison (CSERCE, London)	初期バージョン開発済	最適な排出経路の計算	世界のみ	
DICE (動学的気候経済統合モデル)	W. Nordhaus (Yale Univ.)	開発済	最適な排出経路の計算	世界のみ	動学的最適化モデルの適用の草分け
FUND (不確実・交渉・分配の枠組みモデル)	R. Tol (Free Univ. of Amsterdam)	開発済	最適な排出経路の計算及び影響の分析	世界モデル9 地域分割	気候変動の損害に重点を置いたモデル
GCAM (地球変動評価モデル)	J. Edmonds, H. Pitcher, N. Rosenberg, L. Sunds (Pacific Northwest Lab.)	開発中	問題解明/政策効果分析	世界モデル 9地域分割	米国で代表的な大規模モデル
ICAM2 (気候評価統合モデル—第2版)	H. Dowlatabadi, G. Morgan (Carnegy Mellon Univ.)	開発済	政策効果分析	世界モデル 先進国と途上国に分割	
IMAGE 2 (温室効果評価統合モデル—第2版)	J. Alcamo, M. Janssen, M. Krol, R. Leemans (RIVM, Netherlands)	開発済	問題解明/政策効果分析	世界モデル 経済13地域/ 影響0.5度	欧州で代表的な大規模モデル
ISM (気候変動評価統合科学モデル)	A. Jain (Lawrence Livermore Lab.) H. Kheshgi (EXXON)	開発済	気候変動予測	世界のみ	
MAGICC (温室効果ガス気候変動評価モデル)	T. Wigley (UCAR) M. Hulme (East Anglia Univ.)	開発済	気候変動予測	世界のみ	炭素循環と気候変動の代表的統合モデル
MERGE 2.0 (GHG削減政策評価モデル—第2版)	A. Manne (Stanford Univ.) R. Richels (EPRI) R. Mendelsohn (Yale Univ.)	開発済	最適な排出経路の計算	世界モデル 5地域分割	代表的な多地域動学的最適化モデル
MIT (マサチューセッツ工科大学モデル)	H. Jacoby, R. Prinn, Z. Yang (MIT)	開発中	問題解明/政策効果分析	世界モデル	開発途上の大規模モデル
NE21 (New Earth 21モデル)	藤井 (横浜国立大学) 山地 (東京大学) 茅 (慶応大学)	排出モデルは開発済	技術を中心に政策効果分析	世界モデル 10地域分割	
PAGE (温室効果の政策評価モデル)	C. Hope, E. Plambeck (Univ. of Cambridge)	開発済	政策効果分析	世界モデル 4地域分割	気候変動の損害に重点を置いたモデル
PEF (政策評価フレームワークモデル)	J. Scheraga, S. Herrod (USE. P. A.) R. Stafford 他 (DFI)	プロトタイプ・モデル 開発済	政策効果分析	世界モデル 2地域分割	
TARGETS (地域地球環境持続性目標評価モデル)	J. Rotmans, M. Janssen H. de Vries et al. (RIVM, Netherlands)	プロトタイプ・モデル 開発済	政策効果分析	世界モデル	広く地球環境の変動を分析する簡略モデル

(注記) この表は、エネルギー・モデリング・フォーラム14 (スタンフォード大学) に参加したモデルについて、このフォーラムの事務局がとりまとめた表を基に、筆者が手を加えて作成したものである。このフォーラムには上記のモデルの他に、CRPS(気候リスク政策科学モデル: Harvard Univ.)、HCRA (ハーバードリスク分析センターモデル: Harvard Univ.)、IIASA (国際応用システム研究所モデル: IIASA)、MARIA(資源産業割当の多地域モデル: 東京理科大・森)、Mini-GCAM(GCAM 簡略版モデル: Pacific Northwest Lab.他)、RAND (ランド研究所モデル: Rand Corporation)、RICE (DICE 地域分割版モデル: Yale Univ.)、YOHE (ヨーエモデル: Wesleyan Univ.) が参加している。

表2 統合評価モデルの構成

モデル名	モデル類型	強調するモデルの構成要素					
		経済	排出	大気化学	気候	物的影響	経済影響
AIM (アジア太平洋地域統合モデル)	大規模総合モデル	非常に複雑	複雑	複雑	複雑	非常に複雑	複雑(開発中)
CETA (二酸化炭素排出トランジェクトリー評価モデル)	最適経路分析モデル	複雑	簡略		簡略		簡略
CSERGE (地球環境社会経済研究センターモデル)	最適経路分析モデル	簡略	簡略		簡略		簡略
DICE (動学的気候経済統合モデル)	最適経路分析モデル	簡略	簡略		簡略		簡略
FUND (不確実・交渉・分配の枠組みモデル)	損害関数強調モデル	簡略	簡略		簡略	簡略	比較的複雑
GCAM (地球変動評価モデル)	大規模総合モデル	非常に複雑	複雑	複雑	複雑	複雑	複雑
ICAM 2 (気候評価統合モデル—第2版)	最適経路分析モデル	簡略	簡略	簡略	簡略	簡略	簡略
IMAGE 2 (温室効果評価統合モデル—第2版)	大規模総合モデル		複雑	非常に複雑	非常に複雑	非常に複雑	
ISM (気候変動評価統合科学モデル)	気候変動現象統合モデル			複雑	複雑		
MAGICC (温室効果ガス気候変動評価モデル)	気候変動現象統合モデル			複雑	複雑		
MERGE 2.0 (GHG削減政策評価モデル—第2版)	最適経路分析モデル	複雑	簡略		簡略		簡略
MIT (マサチューセッツ工科大学モデル)	大規模総合モデル	非常に複雑	複雑	非常に複雑	非常に複雑	非常に複雑	
NE21 (New Earth 21モデル)	技術革新強調モデル	簡略	非常に複雑	複雑(開発中)	複雑(開発中)		簡略(開発中)
PAGE (温室効果の政策評価モデル)	損害関数強調モデル	簡略			簡略	簡略	簡略
PEF (政策評価フレームワークモデル)	政策ツール強調モデル	簡略	簡略		簡略	複雑	複雑
TARGETS (地域地球環境持続性目標評価モデル)	政策ツール強調モデル	簡略	簡略		簡略	複雑	簡略

(注記) この表は、エネルギー・モデリング・フォーラム14 (スタンフォード大学) に参加したモデルについて、このフォーラムの事務局がとりまとめた表を基に、筆者が手を加えて作成したものである。

る。これらのモデルは、第一のタイプのモデルのサブモデルとも見なすことができ、例えば、MAGICC モデルは GCAM モデルの中に統合されて利用されている。

第三は、地球温暖化の被害を考慮しながら、将来の対策のタイミングと経済成長の最適経路を分析するために開発されている IA モデルである。構造は比較的シンプルではあるが、経済成長と地球温暖化との相互作用の解釈に適している動学的最適化タイプのモデルである。CETA モデル¹²⁾、DICE モデル¹³⁾、MERGE モデル¹⁴⁾などがこれにあたる。

第四は、モデル構造がさらにシンプルではあるが、政策担当者とのコミュニケーションを重視して、そのためのシステム開発に力点を置いた IA モデルである。PEF モデル¹⁴⁾や TARGETS モデル¹⁵⁾がこれに当たる。第一や第二の大規模な IA モデルの成果は、この種の政策担当者用コミュニケーション版によって普及されることになる。

これらの IA モデルには、各国の政策担当者から多くの宿題が与えられている。例えば、このまま進めば世紀始めから中頃にかけてどのような地球規模の変化が生じるか、推計の確実さはどの程度か、これらの変化は世界全体あるいは国別にどのような影響を及ぼすか、それを緩和するためにどのような行動が必要か、コストが過度に大きくなり過ぎない程度の行動の範囲はどこまでか、行動を先送りすることによりどのようなコストが生じるか、不確実性下でリスク回避の戦略をどうするか、科学的に推定できることと根拠のない脅しとの線をどのあたりに引くか、地球温暖化問題は他の経済問題や環境問題とどのように係わってくるか、等々である。

このような宿題に答えるために、IA モデルの開発者は一様な認識をもっている訳ではない。表 1 に掲げたモデルは、構造に大きな違いがある。先にも述べたとおり、このような巨大かつ不確実な問題に対して、政策担当者のみならずモデラーも問題の構造認識が異なるのは当然であり、そのために IA が必要となっているのである。従って、IA モデルの開発者は定期的に集まって、モデルの構造の比較やシミュレーション結果の比較を行い、問題の認識について常に厳しい討議を重ねている。そして、このコミュニケーションが IA の重要なプロセスになっている。

4. 統合評価の歴史にみるモデル研究

では、このようなモデリング研究はいつ始まってどのような歴史を経て発展してきたのか。これを理解するには IA の歴史をふりかえってみる必要がある。

IA は、地球環境問題のように巨大で不確実な問題について、政策論争と科学論争とを密接に連携させることを目的として発展してきた。その起源は30年以上も前、1960年代の米国における原子力政策の評価にさかのぼることができる (Nordhaus 教授の1994年6月の EMF 会議における報告による)。その後、1980年代から酸性雨問題に関して大量の科学者が投入され、政策決定と科学との相互作用が活発化した時期があった。いずれの場合も、膨大な科学的知見の統合の過程を通じて、政策と科学が大きく接近した。しかし、「IA」という固有の研究領域が認識されたり、これが政策決定の中核の過程として認識されるには至らなかった。事実、米国においては酸性雨問題の解明に関する大規模かつ総合的な研究プロジェクトが3回も繰り返されたが、政策決定に微々たる影響しか与えなかったといわれる (当時のプロジェクトの責任者、米国エネルギー省の Ball 氏との1995年夏の会話による)。

IA が本格的な研究領域として認識されてきたのは、1990年代に入ってからで、地球温暖化問題の政策決定においてである。この背景には、1988年に実施された米国環境保護庁の2つの総合的な研究プロジェクト¹⁷⁾¹⁸⁾、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の活動、それに、1992年に採択された国連気候変動枠組条約がある。

環境保護庁のプロジェクトは、地球温暖化問題における IA の原型ともみなせるもので、米国の以降の地球温暖化の政策形成に大きな影響を与えた。特に、このプロジェクトの中心に統合評価モデルの開発と活用が位置づけられ、IA の作業はこれらのモデルをプラットフォームとして進められたことが特記される必要がある。大気安定化フレームワーク (ASF) モデル¹⁷⁾や各種の気候変動の影響モデルは、それ以降に米国がこの分野でリードする下地をつくった。

また、IPCC は各国政府が支援して設立された科学的レビュー機関であり、国際的な IA の研究者コミュニティの形成に貢献するとともに、これらの研究者の政策決定における位置を明確にした。このレビューの過程において、IPCC は統合評価モデルを用いていくつものシナリオを示し、各国の政策担当者や科学者のコミュニケーションを深めることに努力した。先の ASF モデルが IPCC 独自の参照シナリオの作成に用いられた¹⁹⁾ほか、表 1 のモデルのほとんどが IPCC のレビューに貢献している²⁰⁾。さらに、気候変動の自然科学的知見を集約するために、MAGICC モデルなどが活用されている。そして、IPCC の統合評価モデルに対する関心はさらに高まり、来年3月にはわが国で統合評価モデルに関する IPCC の

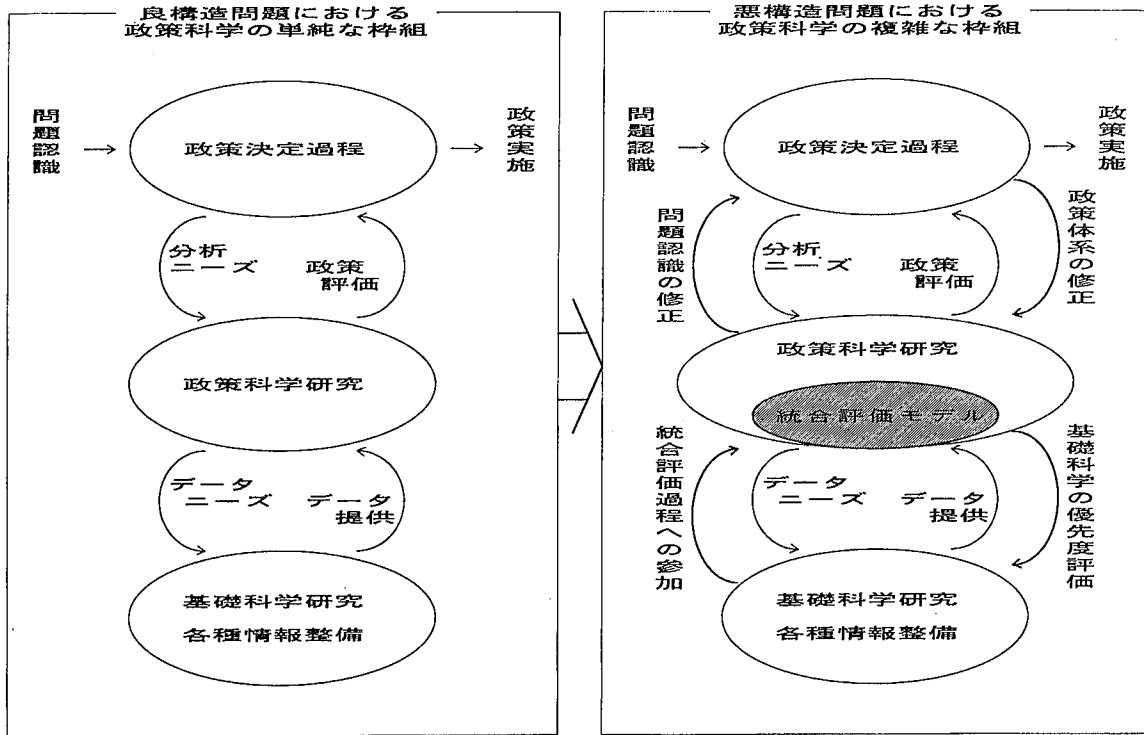


図1 政策研究のパラダイムシフトと統合評価モデル

ワークショップが計画されるまでになった。

一方、国連気候変動枠組条約の成立は、IAのニーズを決定的なものにした。特に、条約の第二条における「気候系に対して人為的干渉を及ぼすこととしない水準」の科学的解釈をめぐる、統合評価モデルへの期待は高まった。さらに、1993年頃から米国において地球温暖化の統合評価モデルに大きな研究投資がなされるに至り、定期的な研究会議が開催されるようになり、また専門のジャーナルが発刊されるまでになった。例えば、米国の大気研究大学共同機構 (UCAR) やスタンフォード大学のエネルギーモデル・フォーラム (EMF) は、世界中からIAの専門家を招いて、合宿形式でIA及び統合評価モデルのフロンティアについて研究発表と意見交換を続けている。また、ヨーロッパを中心としてIA及び統合評価モデルの国際専門雑誌「International Journal of Environmental Modeling and Assessment」が近々刊行する。なお、昨年になってIAに対する批判論文も出されるようになり²¹⁾、IAもやっと一人前の研究領域になった感がある。

以上のIAの歴史は、政策を対象とする諸科学のパラダイムの修正の歴史といつてよい。

従来、政策研究と政策決定との関係は、比較的簡単な枠組みでとらえることができた。政策研究に従事する研究者は、政策ニーズを理解しながら研究方針をたて、基礎科学や各種統計をベースにして政策を評価し、政策担

当者はその評価を参照しながら政策決定や政治的交渉の過程を進める。いわゆる、素直な「良い」構造の問題を扱う場合の典型的な枠組みである。

しかし、地球環境問題のような、巨大で不確実な「悪い」構造の問題には、このような枠組みは無力である。重要な要因が多すぎるうえに、これらの要因が大変複雑に絡み合っている問題では、総合的認識はもとより何が問題かについて明らかにすることは至難の技である。しかも、世界中の政府や国際機関が政策決定に関与するため、問題認識についての合意はもっと難しい。さらに、超長期にわたって問題が生じる場合、社会や経済のシステムは構造的な変化を遂げ、一部の自然の系さえも構造的に変わる可能性がある。

このような悪構造の問題では、図1に示すように、政策研究と政策決定の関係は大きく異なってしまう。政策研究に携わる研究者は、政策担当者の問題の基本的認識に対して異論を唱え、逆に政策担当者は研究者の結論に対して、全く異なった観点から問題提起を試みる。さらに、今まで政策の分析に関心が薄かった基礎科学分野の研究者が、自ら供給するデータの解釈が政策決定に大きな影響を及ぼすことに驚き、このようなデータを統合する過程に参加するようになり、逆に政策研究の分野からは聖域とされてきた基礎科学の分野に対して、どの研究を優先すべきかについて意見を言うようになる。かくして、科学者と政策担当者はお互いの相互作用を活発化さ

せ、政策決定の過程と科学的評価の過程が同時並行的に進められることになる。ここにおいて、問題認識の過程と解決策の模索の過程もまた、同時に進行することになり、問題認識の前提の明確化と問題の解決策の分析との間を行きつ戻りつする、いわゆる仮定統合法と呼ばれるアプローチ²²⁾が不可欠となってくる。

ここに至って、新たな政策研究のパラダイムが模索され、その方法論としてIAが、さらにその分析ツールとして統合評価モデルが導入されてきた訳である。そして、この統合評価モデルを用いて、科学をベースにした問題認識のプロセスを政策決定と一体的に進め、政策担当者が大規模な科学者集団とコミュニケーションを図るため、統合評価モデルというプラットフォームが整備されつつある。

5. 統合評価の最前線

IAのフロンティアは、地球温暖化問題を中心にして大変な活気に包まれている。それは、いろいろな学問領域からの研究者が集まり、知識の総合化に向けた緊張関係が生じているからに他ならない。とりわけ、経済学者の集団と気候学者の集団の辛辣かつ率直な意見対立、生態学者の集団の吹き込む新風、期待をもってそれを見守る政策担当者とNGO、といった光景が定例になってきた。学問の総合化が分野間の緊張関係を生み、そこから個々の学問に飛躍のチャンスを与えているのである。最後にこのフロンティアの動向の一端を紹介したい。

まず、気候変動のメカニズムについて、炭素循環や硫黄エアロゾルによる冷却効果など、最新の研究成果を取り込んだ気候変動シナリオの分析が盛んである。炭素循環のうち、今までにどこに吸収されているか分からなかった部分、即ち、ミッシングシンクが、陸域生態系と大気との炭素の交換に大きく関係していることが示唆され、将来の土地被覆や土地利用の変化と絡めた気候変動シナリオの検討が始まっている。また、硫黄エアロゾルの冷却効果についても、気候変動の地域シナリオの見直しと、それに伴う政策分析や影響分析の修正が議論されている。

次に、経済活動の長期的シナリオを分析するためのモデル開発が盛んである。経済学は今まで、5年から長くても10年くらいの期間を対象として計量経済モデルを適用してきたが、このようなモデルは30年から100年という地球温暖化問題を分析することができない。このため、長期の価格調整メカニズムを分析する一般均衡モデル、長期の経済成長や環境投資の経路を分析する動的的最適化モデル、さらには技術やライフスタイルなどの構造的変化を分析するボトムアップ・モデルの開発が盛んにな

っている。

これらのモデルを使って、いろいろな対策オプションやその組み合わせがどのような効果を持つかが評価されつつある。さらに、複数の国が協力して対策する場合の効果や、対策の時間的な割り当て方によって費用がどの程度違ってくるかについても、分析が活発化しつつある。特に、本格的な対策を後の世代に先送りすることの是非について、研究サイドからも議論が激化している。

このような次の世代への対策の先送りについては、世代間の公平性の検討が不可欠となる。経済学があまり得意としてこなかった分野である。現在、世代を超えて生じる分配問題に関して、経済学の分析枠組みを出来るだけ統一化する努力がなされつつある。そして、経済学の功利主義的なアプローチによって、世代間の公平性が大きく乱されないよう、割引率の設定にも細心の配慮が加えられるようになってきた。

一方、対策を実施しなかった場合に、どの程度の被害が生じるかについての研究も盛んになってきた。例えば、気候変動に伴う農業生産の減少とそれによる価格上昇を予測し、一般均衡モデルを用いて消費者余剰の減少分を推定したり、生命リスクや環境資産といった非市場的影響の評価についても、世界規模で試みられている。特に、非市場的影響を世界規模で評価することから、南北間で生命価値の値付けが異なってよいかといった新たな議論が起こっている。

さらに、気候変動に対して社会がどこまで順応できるかという、適応行動のモデリング研究も経済学分野で盛んになりつつある。例えば、海水面の上昇に対して沿岸域の住民が理性的な行動をとった場合、どの程度の損害を減らすことができるか、農業影響のリスクを国際市場によってどの程度吸収できるか、といった研究である。これらの研究は気候変動の被害の算定に大きな影響を及ぼす可能性がある。

また、IAの過程で、発展途上国を対象とした研究の遅れが認識されてきた。発展途上国にIAを適用する場合、経済発展の必要性、伝統社会の尊重、政策決定システムの違いから、先進国とは違ったアプローチが必要である。特に、伝統的経済システムと近代的経済システムの共存という経済の二重構造の故に、通常の経済モデルの適用には限界があり、ボトムアップ型のモデルの適用が不可欠となっている。これらの研究が急がれている。

その他、IAには今後とりくむべき多くの課題がある。第一は、モデルのコンポーネントの改良である。特に、気候変動の影響モデル、人間社会の適応過程のモデル、及び技術革新や普及の過程の内生化、さらには、途上国

のモデルの改良等が重点となろう。第二は、種々の政策オプションの複合化によって、より洗練された政策のパッケージをデザインする必要がある。特に、最適炭素税率の議論から脱して、メガポリシー及びメタポリシーの検討を進める必要がある。第三に、異なったIAモデル間での比較が必要である。これを通じて問題の定式化について議論し、たえず見直していく必要がある。第四に、IAのプロセスを国の政策決定過程のみならず、国連気候変動枠組条約に基づく国際間の交渉過程にも根づかせる必要がある。これによってIAの真価が発揮できる。

6. おわりに

IA及びそのためのモデル研究は、今後さらに大きな進展が予想される。最後に、今後の展開の方向について、最近の動きを述べる。

特筆すべき動きは3つある。第一は、気候変動を中心にしたモデルから、さらに包括的な地球環境変動モデルへの拡張である。いくつかのチームがこのような方向に走り始めている。地球環境問題が総合的・一体的に生じていることを勘案すれば当然の方向であるが、モデラーにとっては非常に骨の折れる展開であり、モデルの大規模化へのリスクやコストと、聴衆の増加とを天秤にかけながら、モデルの拡張の程度を模索しているのが実態である。第2は、エネルギーや汚染物質を中心としたモデリングから、農業や土地利用、陸域生態系や生物多様性、水資源といった分野への重点の移動である。今まで手薄な分野にモデラーの関心は移行しつつある。第3は、先進国を中心とした分析から、途上国を中心とした分析に移りつつあることである。地球規模の環境変化の影響を最も受けるのが途上国であることを考慮すれば、この傾向はむしろ健全であると言える。

今後、IAを展開していくためには多くの障害を克服しなければならないことも事実である。研究分野間の壁の取り払い、古い学問のパラダイムからの脱却、IAの質を維持するための審査制度、政策決定者のニーズのより深い理解、基礎研究の不確実さへの理解、科学的信頼性と政策的合理性との違いの理解、科学者と政策決定者とのコミュニケーションの効率化、IAコミュニティへの安定的な財政的支援、等々である。特に、最後の安定的な支援は、IAの質を確保し、政策決定を健全な方向に導くためにはどうしても必要であり、関係各方面のご理解を望む次第である。

文 献

1) Person, E.A. (1994) Searching for Integrated

Assessment. Discussion paper, 46p.

- 2) Weyant, J.P. (1994) Current Activities in Integrated Assessment of Climate Change. Discussion paper, 4p with 16 charts.
- 3) Morita, T., Y. Matsuoka et al. (1993) AIM-Asian Pacific Integrated Model for evaluating policy options to reduce GHG emissions and global warming impacts. In "Global Warming Issue in Asia", Asian Institute of Technology, 254-273.
- 4) Matsuoka, Y., M. Kainuma and T. Morita (1995) Scenario analysis of global warming using the Asian-Pacific Integrated Model (AIM). Energy Policy, 23 (4/5), 357-371.
- 5) 森田恒幸・松岡譲・甲斐沼美紀子 (1995) 地球温暖化対策の統合評価モデル (AIM) の開発. シミュレーション, 14(1), 4-11.
- 6) Alcamo, J. (ed.) (1994) IMAGE 2.0-Integrated Model of Global Climate Change. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- 7) Edmonds, J.A. et al. (1993) Design of the Global Change Assessment Model GCAM. International Workshop on Integrative Assessment of Mitigation, Impacts and Adaptation of Climate Change, IIASA.
- 8) MIT (1994) Joint Program on the Science and Technology of Global Climate Change.
- 9) Tol, R.S.J. (1995) The Climate Fund. Institute for Environmental Studies, Free University, Amsterdam, R-95/03.
- 10) Wigley, T.M.L. et al. (1993) MAGICC : Model for the Assessment of Greenhouse Induced Climate Change, University Consortium for Atmospheric Research.
- 11) CRU & ERL (1992) Development of a Framework for the Evaluation of Policy Options to Deal with the Greenhouse Effect-A Scientific Description of the Page Model. Commission of the European Communities, Directorate General for Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, Brussels.
- 12) Peck, S.C. et al. (1991) CETA-A Model for carbon emissions trajectory assessment. The Energy Journal, 13 (1), 55-77.
- 13) Nordhaus, W.D. (1994) Managing the Global Commons : The Economics of Climate Change, The

MIT Press.

- 14) Manne, A.S. et al. (1995) MERGE-A Model for evaluation regional and global effects of GHG reduction policies. *Energy Policy*, 23 (1), 17-34.
- 15) Cohan, D. et al. (1994) The Global Climate Policy Evaluation Framework. in "Global Climate Change-Science, Policy and Mitigation Strategies" Air & Waste Management Association, Pittsburgh.
- 16) Rotmans, J. et al. (1994) Global Change and Sustainable Development : A Modelling Perspective for the Next Two Decades, RIVM.
- 17) Lashof, D.A. and D.A. Tirpak (1990) Policy Options for Stabilizing Global Climate. U.S. Environmental Protection Agency.
- 18) Smith, J.B. and D. Tirpak (1989) The Potential Effects of Global Climate Change on the United States. U.S. Environmental Protection Agency.
- 19) Leggett, J., W.J. Pepper and R.J. Swart (1992) Emission Scenarios for the IPCC : an Update. in "Climate Change 1992" by IPCC, Cambridge University Press, 68-95.
- 20) Alcamo, J., A. Bouwman, J. Edmonds, A. Grubler, T. Morita and A. Sugandhy (1995) An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. in "Climate Change 1994" by IPCC, 247-304.
- 21) Kandkikar M. et al. (1995) Assessing Integrated Assessments : The Crisis of Quality. A discussion paper written for the Snowmass meeting on Integrated Assessments, 22pp.
- 22) Mitroff, I.I. and J.R. Emshoff (1979) On strategic assumption-making : a dialectical approach to policy and planning. *Academy of Management Review*, 4, 1-12.