

地球環境問題のモデル解析(3): 環境経済解析

山地 憲治

今回は CO₂ 抑制技術の評価に関するモデル解析を紹介した。今回は CO₂ 抑制に関する環境経済学的考察のためのモデル解析を紹介する。

1. CO₂ 問題に関する環境経済モデル解析の目的

CO₂ 排出に伴う環境コスト（通常の市場経済には反映されていないので外部経済コストと呼び、これを市場に反映させることを外部性の内部化という）を含めた最適な経済の姿を描くことが環境経済モデルの基本的目標である。外部経済としての環境コストを CO₂ 排出量一単位あたりで表現することができれば、それを環境税として CO₂ 排出に課税することで内部化できる。しかし、CO₂ 排出の環境コストを推定するには、「CO₂ 排出」・「大気中の CO₂ 濃度の上昇」・「温度上昇」・「気候変化」・「環境インパクト」・「損害」という一連の因果関係が定量的に分かっていなければならない。本連載の1回目に述べたように、現実にはこの因果関係には極めて大きな不確実性が数多く含まれている。地球温暖化の環境インパクトの評価自体もモデル解析の重要なテーマであるが、今回は省く。

気候変動枠組条約でも、究極的目標は「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させること」であるが、目標となる濃度水準の値は明らかにされていない。今は排出量抑制に関する当面の目標が議論されている段階である。したがって、現実の政策課題として議論されている地球温暖化防止のための経済的手段は、環境コストの内部化という純粋な意味ではなく、別途の考察によって与えられる CO₂ 排出抑制目標を効率的に達成するための政策手段としてのもので

あることを認識しておく必要がある。

CO₂ 抑制策として検討されている経済的手段を、モデル解析の視点からシステム構造によって大別すると、炭素税（補助金を含む）と排出権市場に分類することができる。政策課題を、CO₂ 発生量を与えられた水準以下に最小コストで抑制する最適化問題として定式化すれば、価格を制御変数として CO₂ 排出総量を調整する炭素税と、排出権の配分を制御変数としてコスト総計を調整する排出権市場とは、数学的に双対関係にある。今回は、まず、この2つの経済的手段に関するモデル解析を紹介する。

また、究極的な目的である環境コストを含めた最適化というアプローチも「統合評価モデル」（CO₂ 抑制のコストだけでなく抑制による便益、つまり抑制によって回避される温暖化の損害コストも統合されているという意味）の開発としてモデル解析が試みられているので、これについても最近の研究状況を紹介する。

2. 炭素税・補助金のモデル解析

炭素税は CO₂ の排出に対して料金を徴収する制度である。一方、CO₂ 排出量を減少させたり、大気中から CO₂ を吸収することに対して補助金を出す制度は、理論的には負の炭素税と考えることができる。補助金は公的機関による低利の融資や加速償却、課税控除などの財政的援助の形態をとることもある。このような補助制度はわが国でも省エネルギーの推進方策等において経験がある。現実問題として補助金が炭素税と大きく異なる点は、税は収入であるのに対し補助金は支出であること、また、税は燃料中の炭素分に課税すれば CO₂ 排出のほとんどすべてを捕捉できるが、補助金の場合には一般に申告により支給されるためモレが多くなるということ、および、補助金では補助の対象の特定化において行政側の裁量が大きく作用することである。炭素税の収入を補助金の財源に充てるという一石

二鳥の組合せもある。

2.1 炭素税の効果とコスト

炭素税によってCO₂排出を安定化もしくは削減しようとするれば、どの程度の課税が必要で、それが経済全体にどのような影響を及ぼすだろうか。この設問に答えることが、炭素税のモデル解析の目的である。

炭素税の導入によってエネルギー価格が上昇し省エネが促進される。また、価格上昇は炭素分を多く含む燃料の方が大きいから、化石燃料のなかでも石炭・石油から天然ガスへ、さらには原子力、太陽エネルギーなどの非化石エネルギーへとエネルギー転換が加速される。これが炭素税の直接効果である（前回報告したNE21のシャドウプライスによる炭素税解析ではこの直接効果だけが扱われている）。一方、炭素税は経済システムを通して一般物価の上昇をまねく。一般物価の上昇はエネルギー価格上昇を相対的に緩和して直接的な省エネルギー効果を若干弱めるが、それ以上に、所得の実質購買力を低下させ、総需要の減少によって不況をもたらす、エネルギー需要を下げる。これが炭素税の間接効果である。これら直接・間接の効果によって生じるCO₂削減量が炭素税の効果であり、間接効果として惹起される不況が炭素税のコストである。

したがって、直接・間接の炭素税の効果とコストの評価のためには、少なくとも一国の経済全体が扱え、エネルギー間およびエネルギーとその他の生産要素との間の代替・補完関係が表現できる必要がある。このような要請に応えるには、技術の選択を積み上げるボトムアップ型のモデルでは限界があり、計量経済モデルあるいは一般均衡モデルというトップダウン型のアプローチが採用されることになる。

天野（1992）は、わが国の炭素税に関するモデル解析研究をレビューして、「炭素税比率」と「GNP減少比率」という2つの指標によって結果を比較している（表1参照）。これらの指標は、炭素税が導入されない標準ケースのCO₂排出水準から1%分だけ排出量を削減するために必要な、炭素税率（\$/トンC）およびGNP減少率（対標準ケース比%）を示す。つまり、さまざまなCO₂削減ケースを解析している各モデルの結果を、効果とコストの線形性を仮定して、削減率1%に規格化して比較している。表1によれば、結果は2つのグループに分類できる。後藤、伴のモデルは、その他の4つのモデルに比べて、炭素税比率もGNP減少比率も小さい、つまり小さい炭素税率で削減でき

表1 日本モデルによる炭素税シミュレーション

モデル	最終年	炭素税比率 ¹⁾	GNP減少比率 ²⁾
後藤	2030	2.7	0.02
伴	2000	5.6	0.05
森	2020	17.0	0.22
山地	2005	18.5	0.23
伊藤	2010	16.5	0.29
山崎	2010	19.2	0.41

¹⁾ 対標準ケース比炭素排出量1%削減につき、炭素トン当たりドル。

²⁾ 対標準ケース比炭素排出量1%削減につき、対標準ケース比%。

その国民経済のコストも小さいという結果がでている。天野は、同様な指標をGREENやGlobal-2100（前回の表1参照、Global-2100はETA-MACROの発展型）などによる炭素税解析にも適用して、これら欧米のモデル解析の結果は、後藤、伴モデルの結果に近いことを見いだしている。

モデルによってこのような違いがでる理由は、天野も指摘しているように、1) 時間的視野の長短、2) 市場の効率性に関する仮定の相違、3) 税収の扱い方によって説明できる。相対的に小さい炭素税率で効率的にCO₂抑制ができるという結果を得ているモデルでは、時間的視野が長いにより大きな調整が可能であり、また、ほとんどが一般均衡モデルであるために市場の調整が理想的に行なわれる場合の結果がでている。炭素税収入の取扱いについては、税収を何らかの形で市場に還流するという仮定を採用したモデルにおいて、国民経済コストが小さくなっている。

炭素税のモデル解析で特に注意すべき点は、今述べた税収の扱いと国際的影響である。

炭素税の導入によってCO₂の排出量を安定化しようとするれば、炭素税収入は極めて大きな額に達し（たとえばわが国の場合のモデル解析によると年間数兆から十数兆円になる）、その税収の使い方が政策の効果に大きく影響する。炭素税収入は、温暖化対策の財源にも、既存税制の歪みを正す財源としても使うことができる。温暖化防止と税の歪みを是正するという2つの利点を炭素税の二重の配当と呼ぶこともある。また、税制とその還流は所得配分問題にも大きく関係する。エネルギーが生活必需品であるので、炭素税の逆進性（貧困層が相対的に大きな影響を受けること）という問題が生じる。これらは税制問題一般の枠組みの中で慎重に検討すべき課題である。

また、炭素税の導入は商品の相対価格を変化させ、

国際貿易のパターンを変える。炭素税の導入が一部の国だけで行なわれる、あるいは、導入される炭素税率が国によって大幅に異なる場合には、鉄鋼やセメントなど炭素集約度の高い財の供給源が、炭素税率の高い国から低い国へと移動する可能性が強い。これにより、炭素税導入国で削減されたCO₂排出が他国へ流出する（炭素リーケージと呼ばれる）という現象が起きる。炭素リーケージの解析のためには、GREENやGlobal-2100のような、貿易を考慮できる地域区分された世界モデルが必要であるが、この分野のモデル解析はまだ不十分である。現実の政策課題としても、国際的な所得移転問題を考慮しつつ、世界全体として効率的なCO₂抑制を実現できる制度の検討に真剣に取り組むべきである。

2.2 CO₂削減補助金の効果とコスト

補助金政策の解析にはボトムアップアプローチが必要になる。ここでは、松橋ほか（1991）のモデル研究を紹介する。最近では国立環境研究所のAIMプロジェクトでより本格的なモデル解析研究が進められている。

松橋らの研究では、図1に示すフレームワークで、電力中央研究所のFORECAST21モデル（前回の表1参照）とボトムアップモデルを組み合わせている。（注1）

CO₂削減補助金の影響経路は図1のCとDで示されている。補助金によって経済性が成立する省エネや燃料転換のための設備投資が行なわれ、CO₂排出量を減少させる（経路D）が、一方で設備投資は直接的には機械工業の、そして産業連関を通じて間接的に素材産業やサービス業の生産水準を押し上げ、CO₂排出量を増加する（経路C）。

補助金の対象としては以下の省エネ技術および燃料
脚注：_____

（注1）なお、表1で「山地」と表示されている炭素税の解析結果は、FORECAST21によるものであり、より詳細な結果を表2に示す。FORECAST21によるモデル解析では、税収を還流しない場合（図1中の経路Aのみ）と課税収入を所得減税で相殺する場合（図中の経路A+B）の2ケースが計算されており、表1にはその内税収を還流しないケースの結果のみが示されている。税収を還流するケースでは、表2に示されているように、税収を還流しない場合と比べて、2005年の実質GNPが約8兆円回復する。また、減税で税収を相殺しても炭素税のCO₂抑制効果はほぼそのまま維持される。

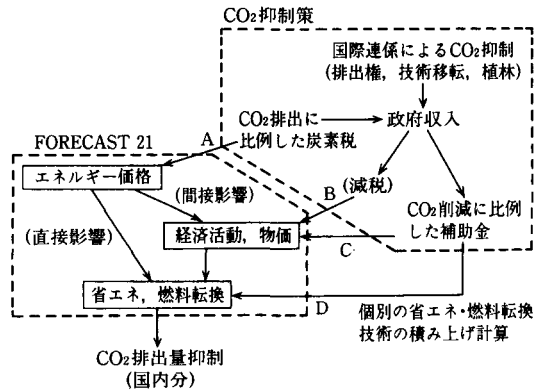


図1 FORECAST21とボトムアップモデル4組合せによる補助金の効果の解析フレーム

転換を考慮し、投資資金の回収年数が2～5年以下（産業部門に対して2年、家庭と発電部門に対しては5年）になれば新設・更新投資において選択されると仮定して算定した。

- ・産業部門：既存の省エネ技術（57種）、ボイラ燃料の転換（石油→天然ガス）
- ・家庭部門：家屋の断熱材の普及
- ・発電部門：火力発電燃料の転換（石炭→LNG）

補助金によるCO₂削減シミュレーションの主な結果を表3に示す。表2と比較して分かるように、特定の費用効果の高い技術の導入を促進する補助金は、一定限度内の削減については、炭素税よりはるかに優れた削減効率を示す。表3によれば、炭素1トンの削減当たり2万円の補助金で、2005年のCO₂発生量を37百万トン、累積では約2億7千万トンを削減できる。この補助金のために必要な財源総額は2005年において6200億円である。ただし、補助金の水準をさらに上げてもCO₂の削減量は頭打ちで補助金額だけが増えていくにとどまる。なお、補助金により経済が刺激され、炭素1トン当たり2万円の場合、2005年の実質GNPが0.05%増加する。これによるCO₂排出量の増大は0.06%、24万トンである。経済活動、物価を通した補助金の間接効果は極く小さいものと考えられる。

補助金によるCO₂削減が効率的でありうることは、モデル解析の結果を待つまでもなく原理的には明らかである。すべてのCO₂対策の技術経済特性について完全な情報を持つことができれば、最適な補助金配分を行なうことができる。しかし、現実には完全な情報はありえないし、補助金配分の裁量において種々の利害関係にもとづく非効率性が発生する。計画経済は原理的には市場経済より効率的でありうるにもかかわらず、

表2 炭素税の効果とコスト

	税収の還流なし	税収の還流あり
A. 実質 GNP (80年価格兆円) 変化		
2005年のみ	- 37.7 (-6.2%)*2	- 30.0 (-4.9%)
1990~2005年の累積	-310.6 (-4.0%) (年率0.4%減)	-230.6 (-3.0%) (年率0.3%減)
B. CO ₂ 削減量 (炭素百万トン)		
2005年のみ	104.1 (26.6%)	99.8 (25.5%)
1990~2005年の累積	985.1 (17.1%)	939.0 (16.3%)
C. 課税収入 (80年価格兆円)*1		
2005年のみ	11.9	12.0
1990~2005年の累積	118.2	119.0
D. CO ₂ 削減量当たりの課税収入 (万円/トンC)		
2005年のみ	11.4	12.0
1990~2005年の累積	12.0	12.7
E. CO ₂ 削減量当たりの実質 GNP 減少 (万/トンC)		
2005年のみ	36.2	30.1
1990年~2005の累積	31.5	24.6

*1 WPI で実質化

*2 () 内は炭素税がない場合に対する割合

表3 補助金の効果とコスト

補助金水準 (万円/トンC)	0.5	2	8
A. 実質 GNP (80年価格兆円) 変化			
2005年のみ	0.05 (0.01%)*2	0.33 (0.05%)	1.66 (0.27%)
1989~2005年の累積	0.05 (0.01%)	3.50 (0.04%)	22.65 (0.28%)
B. CO ₂ 削減量 (炭素百万トン)			
2005年のみ	20.2 (5.1%)	37.0 (9.4%)	46.3 (11.8%)
1989~2005年の累積	150.9 (2.5%)	267.3 (4.1%)	426.4 (7.0%)
C. 省エネ投資による CO ₂ 増加			
2005年のみ	0.03 (0.01%)	0.24 (0.06%)	1.20 (0.31%)
1989~2005年の累積	0.33 (0.01%)	2.32 (0.04%)	14.96 (0.27%)
D. 補助金額 (80年価格兆円)*1			
2005年のみ	0.09	0.62	3.11
1989~2005年の累積	0.71	5.02	32.42
E. CO ₂ 削減量当たりの補助金額 (万円/トンC)			
2005年のみ	0.42	1.69	6.89
1989~2005年の累積	0.47	1.89	7.88

*1 WPI で実質化

*2 () 内は補助金がない場合に対する割合

現実にその可能性を実現することは極めて難しいのである。補助金政策では具体的な運用方法について慎重に検討する必要がある。

3. 国際的 CO₂ 排出権市場のモデル解析

炭素税およびその変形としての補助金制度は、既存の市場に価格シグナルを導入するものであるのに対し、

排出権市場は CO₂ 抑制のために新たな市場を創設する。市場が成立するためには希少性を持つ商品が必要である。排出権市場においては、CO₂ の排出総量に枠を課すことで CO₂ 排出権という商品を人為的に導入する。

排出権市場制度のもとではあらかじめ決められた CO₂ 排出総量を適切な基準で各構成員に割り当て、割

当量を越える CO₂を排出しているものは自ら努力して CO₂を削減するかあるいは余裕のあるものから排出権を買わねばならない。この選択と取引によって全体として効率的な排出削減の実現が図れる。CO₂削減のための政策手段としての排出権市場は、特に国際的取引を通して世界的に効率的な CO₂削減が可能になる点で注目されている。気候変動枠組条約の中でも「共同実施」と呼ばれる国際連携による CO₂抑制手段について検討することになっているが、排出権市場は、この共同実施制度の利点を説明する理論的背景となっている。

3.1 排出権市場における効率性と公平性

すでに述べたように、与えられた水準に最小コストで CO₂を抑制するという問題において、炭素税と排出権市場は双対関係にある。取引費用がない場合の排出権の市場均衡価格（均衡点では世界的に同じ値になる地域毎の CO₂ 排出制約のシャドウプライス）は、同じ CO₂ 排出総量制約を実現する世界均一の炭素税率と一致する。これは世界各地域での限界的な CO₂ 削減コストが一致するように削減が行なわれるということであり、削減の効率性を保証している。

排出権市場では、排出権の初期配分と均衡点における配分との差に相当する取り引きが行なわれ、これに

より地域間で所得の移転が起こる。初期配分を適切に行なえば、CO₂抑制コストの負担における公平性が実現できる。これは、取引費用が存在しない場合には効率性と公平性の問題が分離できることを指摘した「コースの定理」の一例である（杉山ほか（1994）参照）。

山地ほか（1994）のモデル解析では、排出権市場に取引費用がある場合について、どの程度効率性や公平性が歪められるかを、排出権の初期配分方式をいくつか設定して評価している。

3.2 排出権市場のシミュレーション

Edmonds-Reilly モデル（前回の表 1 参照）を利用して、国際的な CO₂ 排出権市場と地域毎の炭素税を組み合わせ、さらに植林という CO₂ 吸収オプションを含めた CO₂ 抑制方策のモデル解析（山地ほか（1991）、岡田ほか（1993）参照）を紹介する。

このシミュレーションでは、CO₂ 排出総量制約を世界の 9 地域に 2000 年に予想される人口に比例して初期配分し、排出量が権利の配分を上回る地域では、炭素税を導入して排出量を抑制するとともに、税金を財源として市場から排出権の購入を図ると仮定する。一方、配分された排出権が排出実績より大きい地域では排出権を売ることができ、売却収入によって経済成長

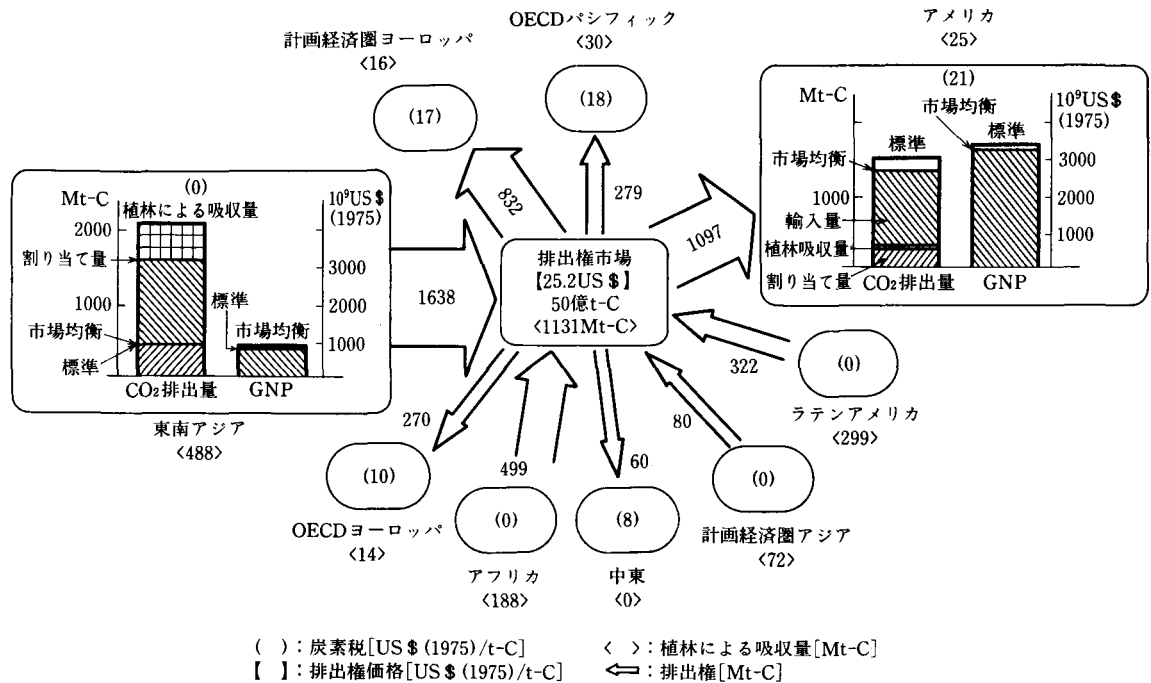


図2 2000年で総排出規制を50億トンとした時の排出権市場

しCO₂排出が増えることになる。また、さらに、地域毎の植林コストを想定して、炭素税収入あるいは排出権売却収入を財源として植林を行なうことができるケースも設定し、この場合には植林によって吸収されるCO₂を当該地域のCO₂排出から差し引く。なお、このモデル解析では、以上のような各種CO₂対策を最適化によって選ぶのではなく、ルールによって組み合わせているので、得られる結果は理論的な市場均衡点から外れていることに留意されたい。

2000年で世界のCO₂総排出規制量を50億トンCとし、植林オプションも考慮した場合の結果を図2に示す。図2より、東南アジア、アフリカ、ラテンアメリカと計画経済圏アジアの4地域が排出権を市場に供給し、その他の5地域がそれを輸入している様子が分かる。つまり、排出権市場を通して、北の先進国から南の発展途上国へ大量の所得移転が生じる。しかも、これにより、理論的に期待されるように、各地域とも単独で排出削減を行なう場合よりもCO₂削減効率が向上している。また、植林を導入した場合と植林を導入せず炭素税との組合せのみで排出権取引を行なった場合との地域毎の税率と排出権価格を比較してみると、植林の導入により排出権価格と炭素税率が低減されること、そしてこの現象は、世界の総排出規制を厳しくするほど顕著に現われること等もシミュレーション結果から明らかにされている。

3.3 モデル解析結果の解釈に関する留保

国際政治の現実的状況下では、CO₂排出権の初期割当、市場非参加国への制裁、CO₂排出量のモニタリング等の大きな障害があり、モデル解析で示されたような市場メカニズムの理想的な機能の実現は困難であろう。実際には、省エネ・環境技術に重点をおいた途上国援助や、途上国の累積債務の返却分を当該国の森林の保護育成などの環境対策に充てる環境・債務スワップなど、「共同実施」あるいはそれに類似の制度による対応で同様の効果を実現すべきだろう。いずれにしても、今後、世界規模で大幅なCO₂の抑制・削減を実現するためには、発展途上地域を含む国際的な協力が不可欠である。エネルギー需要の急速な伸びが予想される発展途上地域と先進工業地域間の利害対立を解消し、継続的に全世界が参加できる国際的なCO₂抑制方策のあり方について考察を深める必要がある。

4. 統合評価モデルへの展開

政策解析の基本は費用便益分析である。つまり、対象とする政策の実施コストの見積とそれにより期待される便益との比較解析である。地球温暖化問題のモデル解析においては、この方向での研究は統合評価モデルの開発として試みられている。なお、統合評価の焦点は、温暖化対策のコストだけでなく対策の便益、すなわち対策によって回避される温暖化の損害コストも含むということであるが、CO₂だけでなくその他の温室効果ガスやエアロゾルなど気候変動にかかわるすべての要因を考慮するという包括性、さらにはSO_x、NO_xによる地域環境問題など温暖化問題以外の副次的影響も考慮するという総合性などを含めて統合評価という場合もある。

統合評価の場合には、CO₂排出量制約や大気中のCO₂濃度の安定化水準は、モデル解析に対して外から与えられる目標ではなく、モデル解析の結果として得られる結論である。この分野でのパイオニアモデルは前回の表1で紹介したDICE (Dynamic Integrated model of Climate and the Economy) モデルである。

4.1 DICE モデル

DICEは米国エール大学のNordhausが開発したコンパクトな統合評価モデルである(Nordhaus (1994)参照)。図3に示すように、Ramseyの最適経済成長モデルに、CO₂排出抑制コストと地球温暖化の損害を付加したもので、約10本の式で構成される非線形最適化モデルとして定式化されている。DICEはモデルを構成するすべての式とパラメータの値が公開されているきわめて透明性の高いモデルである。目的関数は割引総効用(消費に対する限界効用の等弾力性を仮定)の最大化であり、労働と資本を生産要素とするコブ・ダグラス型の生産関数を中核とする経済成長モデルに、

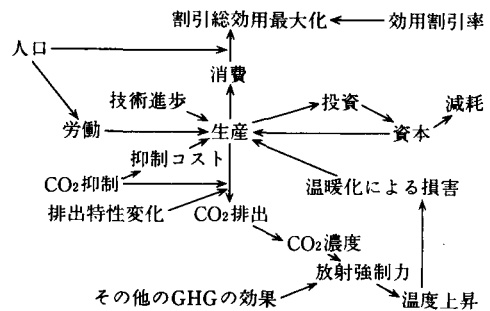


図3 DICEモデルの基本構造

「生産」・「CO₂排出制御とそのコスト」・「CO₂濃度」・「放射強制力」・「気温上昇」・「温暖化損害」・「生産の削減」という一連の関係を各々1つの式で表現して付加している。DICEには、簡単なながらも、経済成長と気候変化の双方のダイナミクスが表現されており、10年を1期として40期、つまり400年間を対象として、気候変化の対策コストと損害コストを考慮した最適成長経路を求めることができる。

標準的な入力条件の下でのDICEの最適解は、図4に示すように、CO₂排出抑制を全く行わない無政策ケースに近い。図5は、無政策ケースの場合の生産額との比較を示したもののだが、CO₂排出量を1990年水準で安定化させるケースあるいは、均衡的な温度上昇が一定限度内に留まるように大気中のCO₂濃度を安定化するケースでは、回避される損害コストよりも対策コストが大きくなり、全体としては大幅に生産を減少させるという結果になっている。これは気候変動枠組条約がめざすCO₂規制に真っ向から反する結果である。大胆に簡略化されたモデルによる結果であり、設定したパラメータに大きな不確実性が伴っているものの、前提条件がすべて明確にされたモデル解析によって、このような結果が示されたことは大変興味深い。

4.2 DICEによる不確実性の解析

Nordhausは設定したパラメータの不確実性が結果に及ぼす影響を解析するために、モンテカルロシミュレーションによる感度解析と、その結果にもとづいて設定した決定分析を行なっている。

モンテカルロ解析では、効用割引率や温暖化の損害関数の係数など8個の主要なパラメータの確率分布を考慮して多数回のモデル計算を行ない、最適解として得られる結果の分布を求めている。解析結果によれば、図6に示すように、最適なCO₂抑制率（無政策ケースからの削減率）は非常に歪んだ分布を持つ。たとえば、2045年の最適なCO₂抑制率は、標準設定の時には12.5%であるが、期待値では11%、中央値では2.6%となる。つまり、確率は低い、非常に大きなCO₂削減が最適になる場合がある。

決定分析では、モンテカルロ解析を踏まえて、不確実性を5個の状態に集約して、その発生確率の情報の価値を情報が得られる時点のパラメータとして解析している。主要な結論は、不確実性の存在のもとでは、より大きなCO₂削減が正当化されることであるが、紙面に余裕がないので詳細は参考文献（Nordhaus

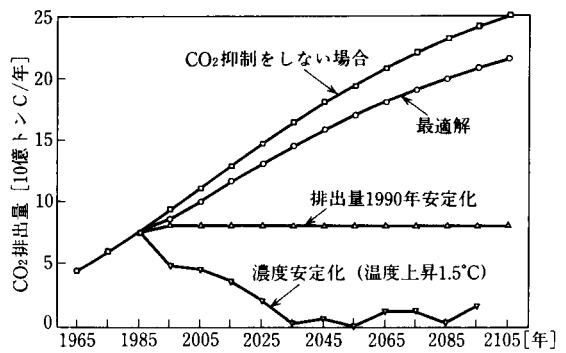


図4 DICEの最適解におけるCO₂排出量

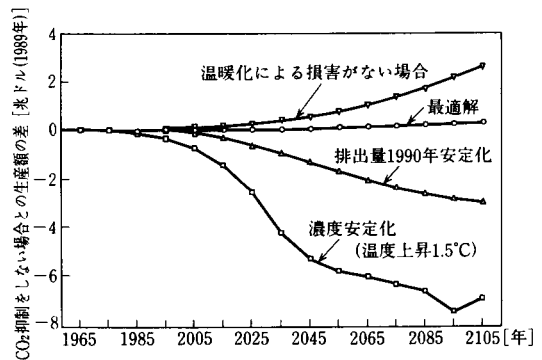


図5 世界の総生産への影響

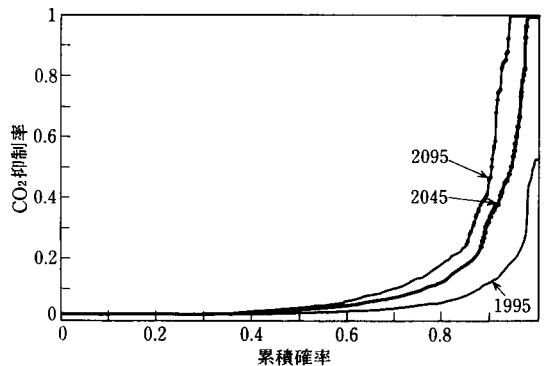


図6 モンテカルロシミュレーションによる最適なCO₂抑制率の分布

(1994)) にゆずる。

5. おわりに

地球温暖化問題は多くの学問分野が関係する複合問題である。精度の異なる異分野の知識をどのように統合するか、そもそも問題をどう設定するか、広範なデータ収集、いずれもモデル解析研究者の力量・センスが問われる課題である。開発すべきモデルのタイプは対象とする問題によって大きく異なる。いくら計算機の能力が向上しても、入力データが設定できないような

モデルは使いものにならない。特に、統合評価モデルには複合問題の難しさが凝縮して表われる。挑戦すべき課題はまだまだ沢山残っている。不確実性の解析をはじめ、貿易を本格的に考慮した多地域モデルの開発、森林破壊やバイオマスエネルギー・食糧生産などに関わる土地利用モデルの組み込みなど、今回の連載では十分に紹介することができなかった課題が多々ある。地球環境問題はモデル解析の題材の宝庫である。

参考文献

- [1] 天野 (Amano, Akihiro) (1992), "Economic costs of reducing CO₂ emissions: Modeling experiences in Japan," in Costs, impacts, and benefits of CO₂ mitigation, CP-93-2, ed. Y. Kaya et al. Laxenburg, Austria: IIASA
- [2] 松橋, 石谷, 茅, 永田, 山地 (1991), "CO₂放出量低減策の経済性評価," エネルギー・資源, 12, 5, pp. 478-485
- [3] Nordhaus, William D. (1994), "Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change," MIT Press
- [4] 岡田, 山地, 山本, 長田 (1993), "植林オプションを含む CO₂ 排出許可国際市場のシミュレーション," エネルギー・資源, 14, 1, pp. 48-55
- [5] 杉山, 山地, 岡田, 山本 (1994), "グローバル CO₂ 抑制方策の検討: 公平性と効率性の実現に向けて," 電力中央研究所研究報告 Y93015
- [6] 山地, 岡田, 長野, 山本 (1991), "市場機構を利用したグローバル CO₂ 制御方策のシミュレーション解析," 電力中央研究所研究報告 Y93031
- [7] 山地, 山本, 岡田, 杉山, 長田 (1994), "線形計画モデルによる国際 CO₂ 排出権市場の解析," エネルギー・資源, 15, 4, pp. 82-89
- [8] 最後に本連載全体に関連する参考文献として下記の2冊を挙げておく。山地, 藤井 (1995), "グローバルエネルギー戦略: 地球環境時代の21世紀シナリオ," 電力新報社
- [9] 慶應義塾大学経済学部環境プロジェクト編 (1995), "地球環境経済論 (下)," 慶應通信

新時代のコンピュータ総合誌 隔月刊
Computer Today

11月号・特集 偶数月18日発売/定価930円

HTMLの新展開

インタビュー: Netscape コミュニケーションズ / DTP から Internet Publishing / hot JAVA / Applescript, perl を使った CGI 構築法 / ホームページ作成奮闘記

連載 スーパーテクニック for Macintosh 他

隔月刊誌

数理科学

毎月20日発売/定価980円

12月号 特集 **現代数学の広がり**

現代数学における概念構成のダイナミズム	井上 淳
Super Analysis の発端から	
位相空間としての n 次元ユークリッド空間	片瀬 潔
現代複素解析の基礎	野口潤次郎
非可換解析, 作用素環	量子論からの贈り物
竹崎 正道	
実験数学から見た確率測度と確率過程	岡部 靖憲
共変微分とリーマン多様体	中島 啓
微分形式と Stokes の定理	古田 幹雄
テンソル積とホップ代数	竹内 光弘
楕円曲線の水系	志賀 弘典

別冊・数理科学

1995年11月10日刊

物理法則——そのたて糸とよこ糸

- ☒ I. 物理法則を考える
物理法則を考える / 天の法則・地の法則
- ☒ II. 様々な物理法則
かたちの法則・法則のかたち / 最小作用の原理 / 物理法則と非線形性 / 物理法則と漸近的法則 / 一般相対論の物理
- ☒ III. 量子力学における特異性
不確定性の役割 / 超低温・超流動 / 場 他
- ☒ IV. 保存則と対称性
自然における保存則と対称性 / 保存則について / 時間はおろかえす? / 超伝導, 超流動における対称性の破れ 他
- ☒ V. 可逆と非可逆
物理学における時間の矢 / 統計力学における不可逆性 他
- ☒ VI. 新しい物理法則を目指して
カオス / カオスと $1/f$ ゆらぎ / 液晶にみられる不思議な法則 / 物理法則における還元主義と反還元主義 他

サイエンス社

〒151 東京都渋谷区千駄ヶ谷1-3-25
☎ (03) 5474-8500 振替00170-7-2387