

Title	京都議定書達成のコスト分析
Sub Title	Economic costs of the Kyoto commitments
Author	甲斐沼, 美紀子 森田, 恒幸 松岡, 譲
Publisher	慶應義塾経済学会
Publication year	1999
Jtitle	三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.92, No.2 (1999. 7) ,p.281(41)- 295(55)
JaLC DOI	10.14991/001.19990701-0041
Abstract	
Notes	小特集：低環境負荷型社会の構築に向けて
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-19990701-0041

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

京都議定書達成のコスト分析

甲斐沼 美紀子
森 田 恒 幸
松 岡 譲

1. はじめに

地球温暖化問題は経済そのものの問題である。それは、経済活動の基盤である地球環境がどの程度までの経済活動の負荷に耐え、人類がどの程度まで経済活動を拡大していくことができるか、あるいは人類の経済発展のパターンをどのように変えざるをえないか、という問題に行き着くからである。

地球温暖化に対する人々の意識は年々高まってきており、1992年のリオ・デ・ジャネイロでおこなわれた地球サミットでは気候変動枠組条約が採択され、地球温暖化は人間の現在の活動のみならず将来の生存を直接脅かす深刻な問題であること、先進国は直ちに柔軟な行動を起こす必要があることが確認され、これに基づいて地球温暖化対策が進められて行くこととなった。しかしこの条約には、温室効果ガスの排出に関する目標は強制的なものではない、各国が講ずべき措置の内容が具体的に定められていない、などの不十分な点があった。そこで、1995年のベルリンでの第1回条約締約国会議（COP1）、1996年のジュネーブでの第2回会議（COP2）を経て、1997年の京都会議（COP3）では排出削減を義務づけた法的拘束力と期限を持つ実効性のある議定書が採択された。

この議定書では温室効果ガスの数値目標について交渉の結果、EU 8%、アメリカ7%、日本6%の削減という数値に落ちついた。ロシアやニュージーランドが0%、ノルウェー1%増、オーストラリア8%増、平均すれば、先進国全体としては5.2%削減という目標となった。基準年は原則1990年、目標年は2010年の前後2年の期間をとって、2008年から2012年の5年間とし、対象とする温室効果ガスは、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素の3種類のガスに加えて、代替フロンガスのハイドロフルオロカーボンなど3種類を含めた計6種類となった。また、排出量取引や共同実施、クリーン開発メカニズムといった柔軟的措置の導入が承認された。

本論文では、地球温暖化問題の特徴についてふれたあと、京都議定書の経済的影響を分析するためのモデルを紹介する。これらのモデルはトップダウン型のモデルとボトムアップ型のモデルに分類されるが、筆者らが開発している AIM モデルは両方の機能を備え、具体的な削減対策の効果算定にはボトムアップ型のモデルを、対策の経済影響を推定するためにはトップダウン型のモデルを主に使って、相互のパラメータ等を補完しながら分析している。また、コスト削減の方策として、京都議定書で認められた排出量取引の効果を算定するとともに、その経済影響を推計した結果を紹介する。

2. 環境経済研究の課題

地球温暖化問題を対象とした経済学的研究は、1970年代になって形成された環境経済学 (Nijkamp, 1977; Pearce, 1990) をベースにしていることは確かである。しかし、対象を地球環境としたことにより、既存の環境経済学にはみられなかった新しい展開の方向を模索している。これらの方向は次の4点にまとめられる。

第一は、超長期かつ地球全体の視点が不可欠なことである。今までの通常の経済学は特殊な経済成長理論を除いて数年から数十年、環境経済学でも30年を超える時間を扱う研究はほとんどみられなかった。しかし、地球温暖化問題では、気候変動の顕著な影響がでてくるのが30~100年後になる見通しであり、これらの問題の解決には30年から100年という長い時間が必要となる。そして、当然のことながら地球全体を見渡す視点が地球温暖化問題の研究に不可欠であり、適用する経済学の理論や方法論も常にグローバルな枠組みを備えていなければならない。

第二の特徴は、巨大な自然科学の系との相互関係を重視した経済研究が進められている点である。もとより、地球温暖化問題は大気大循環、海洋大循環、陸域生態系、といった巨大な系の中で生じる現象であり、経済研究もこれらの系の一部を自らの研究領域に取り込み、学際的でタフなアプローチが必要となってきている。

第三に、膨大な対策コストの削減策が大きな関心を集めていることがあげられる。地球温暖化の解決には、他の地球環境問題や国内の公害問題のときとは比べものにならないほど、対策に膨大な費用がかかる。例えば、オゾン層問題の対策コストに比べると、温暖化対策のコストは約3桁も大きくなるという試算もある。このため、この膨大なコストをどうやって削減していくかが、経済研究の大きな柱となってきた。

さらに第四に、国際的な利害調整問題の分析が不可欠なことである。地球温暖化問題は先進国のみでは解決できず、発展途上国や移行経済の国々の参加が不可欠である。しかし、これらの発展段階が異なる国々が協力して対応するには、多くの利害を調整しなければならない。しかも、先進国の間だけでも、エネルギー資源の有無や人口増加の程度など、温暖化対策の事情は大きく異なる。

これらの違いを経済的に明らかにし、利害調整の基本方向を探ることも、この分野の研究にみられる新しい展開方向である。

こういった特徴のある対象を分析するために、AIM モデルを開発している。AIM モデルは、温室効果ガス排出・気候変動・その影響といった一連のプロセスを統合して分析できる「統合評価モデル」である (Matsuoka et al., 1995; AIM Project Team, 1997)。この統合モデルは、地球全体の変化を超長期的にとらえ、大気大循環、海洋大循環、陸域生態系といった自然科学的要素を取り扱うことができるとともに、世界経済モデルを持つことにより、地球規模の気候変化が国や地域の社会経済にどのような影響を及ぼすかを検討するため、国際的な温暖化対策の分析を可能にしている (森田, 1998)。この種の統合評価モデル (Edmonds et al., 1994; Alcom et al., 1996) と比較した場合の AIM の特徴は、アジア太平洋地域に焦点を当てていること及び個別技術を重視している点にある。以下では特に AIM モデルのうち温室効果ガス排出削減に焦点を当てたサブ・モデルをとりあげ、最近の成果を紹介する。

3. 温室効果ガス排出削減対策モデル

京都議定書により具体的数値目標が課せられて、先進各国では温暖化対策のために個別具体的対策メニューの検討が行なわれている。例えば、省エネ機器などの対策技術データベースや炭素税などの政策手段のメニューがつくられ、それぞれの技術や手段による二酸化炭素などの削減可能性が検討されるようになってきた。個々の対策の実現可能性の検討には、精度の高いコストの推定が不可欠であり、またこれらのコストがかかったときのマクロ経済全体への影響の検討も必要とされている。

これまで温室効果ガスの排出量や排出削減費用を評価するモデルは、世界中で数多く開発されてきた。これらのモデルは大きく2つのタイプに分類される。第一は、マクロ経済社会指標の推定値をベースとし、市場均衡等を前提としたトップダウン型モデルと呼ばれるモデルである。第二は、個々のエンドユーザーの消費行動やエネルギー消費技術の変化を追求するモデルで、ボトムアップ型モデルと呼ばれる。

トップダウン型モデルは、部門分割、財の貿易や金融政策の取り扱い方などによって異なっており、集約型経済モデル、多部門一般均衡モデル、多部門マクロ経済モデルなどがある。集約型経済モデルには Nordhaus の DICE (1994)、Manne の MERGE 3 (1998)、CETA (Peck et al., 1995) などがある。これらのモデルでは GDP を資本、労働、炭素を入力変数とする集約型生産関数を用いて表し、炭素削減コストを見積もっている。DICE では部門間の相互作用は省略しているが、炭素排出量の貿易は考慮している。MERGE 3 や CETA はエネルギー部門に詳しく、化石燃料の需給、再生可能エネルギー資源、発電技術が詳述されているが、エネルギー以外の部門については簡

略化されている。多部門一般均衡モデルには AIM (Kainuma et al., 1999), MIT-EPPA (Jacoby et al., 1998), G-Cubed (McKibbin et al., 1998) などがある。これらのモデルでは、産業はいくつかの部門に細分され、部門間の関連も調べることができるが、多くのモデルでは、失業や金融市場の効果は表現されていない。多部門マクロ経済モデルには Oxford モデル (1998) がある。Oxford モデルは国際的資本フロー、失業や金融政策を取り扱っているが、一般均衡は保証していない。

トップダウン型モデルは、抽象度は高いが経済部門間の整合性を保証できるという利点があり、概括的な分析にはよく使われる。しかし、通常消費者の行動は集約的に表現されるため、消費者や生産者の行動を具体的かつ現実的に把握することは困難である。これに対してボトムアップ型モデルでは、消費行動や技術変化を詳細に記述できるため、計算結果を具体的に評価することができる。これはボトムアップ型モデルの大きな特徴であり、温室効果ガスの排出量削減に関する新たな政策を導入する際に、政策の具体的展開の方向性とその効果を説得性をもって説明できる。

ボトムアップ型モデルには、アカウンティング型モデル、技術最適化モデル及び逐次均衡モデルなどの種々のアプローチを持つモデルが存在する。第一のアカウンティング型モデルの代表的モデルには、ストックホルム環境研究所が開発した LEAP (SEI-B, 1993), STAIR (Sathaye et al., 1989), 松橋ら (1991) などがある。これらのモデルでは、エネルギー需要サイドの技術データベースを詳細に整理し、与えられた排出量抑制シナリオのもとで二酸化炭素排出量や削減費用を積み上げ方式で算出する。第二の技術最適化モデルとは、資源制約条件、エネルギー需要供給条件及びエンドユーザの需要条件などの制約条件下で、最適な技術の組み合わせを求めるモデルである。エネルギー消費システムに係わる総費用を最小にすることを最適化の評価基準とし、線形計画法に基づき求解計算を行なう。アカウンティング型モデルに比べ、種々の技術間のトレードオフを分析できる点が大きな特徴である。国際エネルギー機関が開発した MARCAL (Fishbone et al., 1981) は、技術最適化モデルの代表的なもので、アジア地域や南米など20カ国以上のエネルギー及び環境分析に適用されてきた。第三の逐次均衡モデルは、市場均衡状態の明示的な表現を通してエネルギーの市場経済プロセスをモデルに組み込む。市場均衡を左右するマクロ経済社会指標はモデル内にて内生的に決定する。このモデルの代表として ENPEP (Energy and Power Evaluation Program (Buehring et al., 1994)) が挙げられる。このモデルは、総合的なエネルギー分析やエネルギー転換部門における研究に適用されてきた。

従来の方策コストの推計は、抽象度の高いトップダウン・モデルによるものがほとんどであった。これは、方策が実施される場合と実施されない場合の国内総生産を推計し、その差によって方策により生じるマクロ経済的な損失をもとめるもので、これらの研究によって概括的なコストの把握に役立つ情報を提供してきた (Weyant et al., 1999)。しかし、方策の具体的デザインが進むにつれて、従来の抽象度の高いモデルでは、コスト削減に向けた戦略の検討ができないため、方策技術の進展やこれに伴うコストの減少を考慮したより精度の高いコストの推計がもとめられるようになっ

てきた。このため、ボトムアップ・モデルの開発と利用もさかんになってきている (USDOE, 1999)。

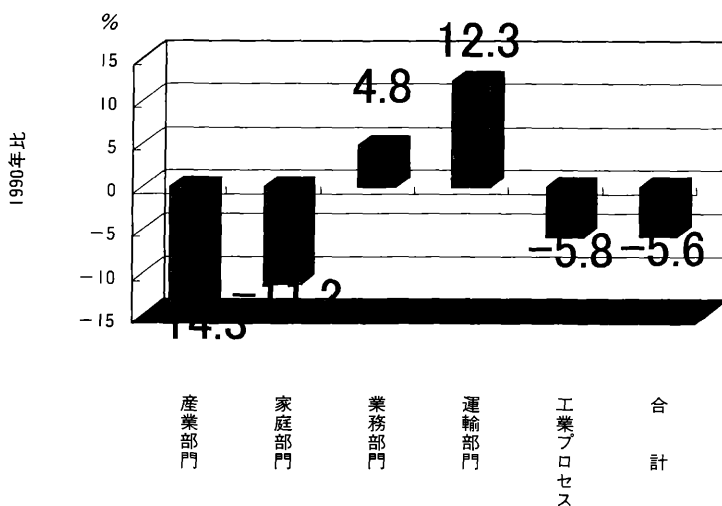
ボトムアップ型モデルは、エネルギー価格上昇の直接的な需要抑制効果や消費の抑制や貯蓄と通じた間接的な経済影響を考慮していないためマクロ経済的ロスを推定するには不向きである。最近では、これらの2つのタイプのモデルを統合して、両者の特徴を生かしたモデル開発も試みられている (Kypreos et al., 1999)。AIM モデルも統合モデルの1つであり、具体的なエネルギー削減対策をエンドユースモデルで推計し、経済的影響をトップダウンモデルで推計している。トップダウンとボトムアップはエネルギー効率や、生産関数を通じてリンクしている。

4. 対策技術の積み上げによる削減対策

AIM エンドユースモデルは、システム総費用を最適化基準とする技術最適化モデルと個々のエネルギー技術の詳細な情報に基づいたアカウンティング型モデルを結合した、エンドユースタイプの技術最適化モデルに分類される。このモデルは、他のモデルと比較し、以下のような特徴を持つ。第一は、AIM モデルでは技術の代替現象を中心に扱う。このため、その競合効果がもたらす省エネ技術の導入状況、二酸化炭素排出量の抑制効果および削減費用負担を具体的な機器選択行動に直結できる。第二は、この推計計算は、各エネルギー消費主体の費用最小化行動をモデル化し実行しているため、主体間の利害損得を明示的に表現している。第三は、さまざまな政策オプションを組み合わせたときの排出抑制効果や削減費用等を比較することができ、排出抑制対策のトレードオフを分析する政策支援ツールとして有利である。

図1は、2010年におけるわが国の二酸化炭素排出量の削減可能性を1990年の排出量を基準として

図1 2010年における日本の部門別二酸化炭素排出量の削減の可能性



示したものである。わが国の二酸化炭素排出量は、削減の政策を導入しないでそのまま行けば、1990年に比べて2010年に全体で約20%ほど増える見込みである。これを部門別に見ると、産業部門で8%、民生部門と運輸部門で35%程度の伸びが予想される。これに対して対策ケースでは、産業部門で14%強、民生部門のうち家庭で11%強の削減の可能性があり、民生の商業部門で1990年水準の5%の増加、運輸部門は12%程度までなら押え込むことができると推計された。合計すれば、2010年で1990年水準の5%強までなら削減のシナリオが描けるという結果であった。なお、対策ケースとは、1トン当たり3万円の炭素税の導入、あるいは、1トン当たり3000円の炭素税を導入し、それを財源として効率の高い技術が導入されるように補助金を活用するなどの政策を考慮したものである。

表1に二酸化炭素の削減に効果のある省エネ技術やリサイクル技術を示す。左端の技術はすでに市場に多く導入されているもので、左から2番目の技術がこの10年間に市場に導入されると予測される技術である。しかし、今後わが国で二酸化炭素を削減していくためには、これらの技術だけでは不十分であり、表1の右に列挙した技術が導入される必要がある。しかも、これらの技術の普及には政府の積極的な介入が不可欠となる。例えば、二酸化炭素の排出に炭素税を支払う義務が生じ

表1 日本における各種対策技術の普及の見通し

部門	現在多く導入されている技術	市場により導入が促進される技術	政府の介入によって普及が促進される技術	政府の介入によってはじめて導入される技術
産業部門	連続鋳造装置 湿式高炉炉頂圧発電 炉ガス回収装置 チューブミル NSP/SP 従来型工業炉 重油・石炭ボイラー	コークス乾式消化設備 熱片挿入 次世代コークス炉 堅型ミル 予備粉砕機 高効率ナフサ分解反応装置 高性能サイズプレス装置 高効率工業炉 燃焼管理式ボイラー	コークス調湿装置 乾式高炉炉頂圧発電 溶融還元炉 堅型ミル 高効率クリンクーラ フライアッシュセメント 高性能低密度ポリエチレン製造装置 予備浸透型蒸解装置 高性能パルプ洗浄工程	太陽光発電 流動床焼成炉 直接苛性化 高濃度抄紙 高効率モータ
家庭部門	ルームクーラ 石油ストーブ 冷暖房兼用エアコン ガス給湯機 石油給湯機 白熱灯 蛍光灯	冷暖房兼用エアコン 省エネ型冷暖房兼用エアコン 潜熱回収型給湯機 白熱灯型蛍光灯 省エネ型冷蔵庫 省待機電力家電製品	省エネ型冷暖房兼用エアコン 潜熱回収型給湯機 ソーラーシステム センサー付き照明 省エネ型冷蔵庫 ペアガラス 省待機電力家電製品	住宅高断熱化 太陽光発電 電力多機能ヒートポンプ パッシブソーラーハウス 液晶ディスプレイテレビ
業務部門	電気冷房空調 石油ボイラー給湯 蛍光灯 通常誘導灯	ガスヒートポンプ ガスコジェネレーション Hf インバータ照明 高輝度誘導灯	ガスヒートポンプ ガスコジェネレーション センサー付き照明 高効率自動販売機	潜熱回収型温水ボイラー 未利用エネルギー利用ヒートポンプ 太陽光発電
運輸部門	ガソリン車 ディーゼル車 LPG車	小型ガソリン直噴車	普通ガソリン直噴車 営業用ガソリン直噴車 CNG自動車 CNGバス	電気自動車 ハイブリッドバス ガソリンハイブリッド自動車 ディーゼルハイブリッド自動車

れば、これらの進んだ技術は一気に市場に入ってくる。このような分析ができるのがボトムアップ・モデルの大きな利点である。

政府がどのくらい本気で温暖化対策に取り組むかによって、導入される技術が大きく変わり、これが将来の二酸化炭素削減量を決めてしまうのである。前提とする技術と政策、これが予測結果を理解する重要なポイントのひとつである。

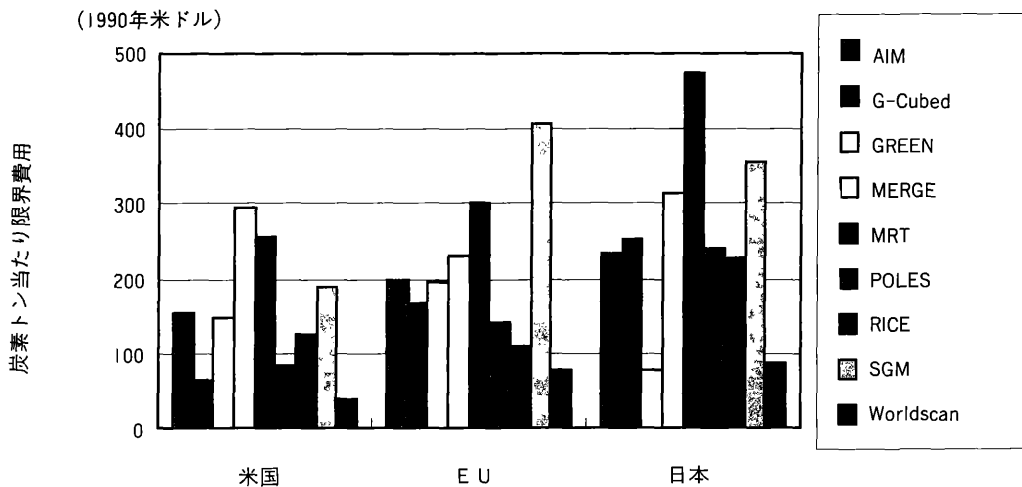
5. 二酸化炭素削減のためのコスト

京都議定書の数値目標を達成するためには、いろいろな省エネ技術やリサイクル技術を導入しなければならない。これらの技術を導入して二酸化炭素排出量を削減する場合、目標を達成するためには、少なくとも必要となるコスト（二酸化炭素1トン当たり）を、京都議定書達成のための「限界費用」と呼ぶ。「目標達成のための最後の1トンの二酸化炭素を減らすときにかかる費用」という意味である。

図2は、AIMモデルが算定した限界費用を世界の主な経済モデルの算定結果と比較したものである。G-Cubedはオーストラリア国立大学のMackibbin、GREENは経済協力開発機構（OECD）、MERGEはスタンフォード大学のManne、MRTはアメリカの民間コンサルタント、POLESはフランス、RICEはエール大学のNordhaus、SGMはアメリカ国立太平洋北西研究所、WorldScanはオランダ政府がそれぞれ開発もしくは利用している経済モデルである。なお、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、日本の二酸化炭素の限界費用が相対的に高く、アメリカの限界費用が最も

図2 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）



安い傾向が読み取れる。わが国の限界費用が相対的に高い理由として、過去に省エネを徹底して実施したために、省エネ対策の追加的なコストが高くつくこと、原子力発電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。なお、図2に上げた推定値のなかでGREENモデルのみが、わが国の限界費用を相対的に低く見積もっているが、これは、わが国において、安いコストで大量の原子力エネルギーが導入可能という前提を置いたためと思われる。

モデルによって限界費用の推定結果がかなり違ってくるのは、標準ケース（対策をとらないで成り行きにまかせる場合）において経済成長やエネルギー効率改善などの前提が違うため、2010年時点の削減目標は同じでも削減のベースとなる排出見通しが大きく異なり、このため二酸化炭素をどの程度減らすかが大きく違ってくることによる。また、新規に導入可能な省エネ技術のコストやクリーンエネルギーのコスト、さらにはこれらコストを基礎としたエネルギーと資本の代替弾力性やエネルギー間の代替弾力性など、他の要因によっても限界費用の推定が違ってくる。

6. コスト削減の方策

コスト削減の方策として、京都議定書では、排出量取引、共同プロジェクトの実施、クリーン開発メカニズム（通称CDM）などの柔軟性メカニズムと呼ばれる方策が認められた。ここでは、排出量取引を行なった場合、どの程度コストが削減されるかについて検討した。

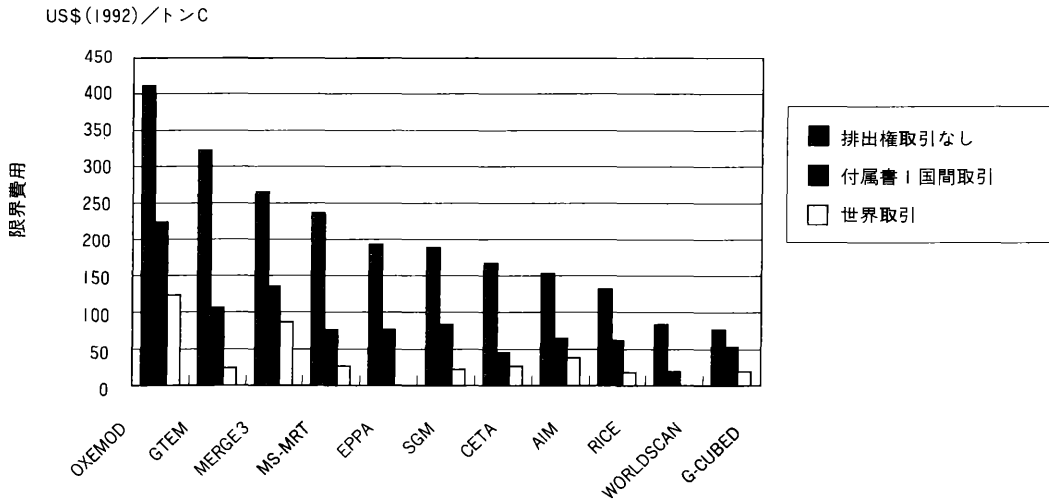
排出量取引とは、ある国が割り当て量を超えて排出削減を実施した場合、その超過分を他の国に有償で譲り渡し、譲り受けた国の削減量に繰り入れる制度である。現在のところ、この排出量取引は付属書I締約国の中だけに認められているが、比較のため、途上国も含めた排出量取引についても推計した。

スタンフォード大学のWeyant教授を中心とするエネルギー・モデリング・フォーラム（EMF）において京都議定書の経済的効果が分析されており、AIMモデルと他の10のモデルについて、2010年における米国の限界費用を比較したものを図3に示す（Weyant et al., 1999）。排出量取引なしの場合、付属書I間で排出量取引を行った場合、途上国も含めて排出量取引を行った場合の3つのケースが比較されている。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、排出量取引の範囲を広げて検討する意義は明らかである。排出量取引なしのケースから付属書I国間で排出量取引のケースに移行すると、多くのモデルで限界費用が半分以下になっている。これは限界対策費用を等しくしたためで、米国以外の地域についても同様である。

付属書I国間取引のケースと世界取引のケースを比較した場合もその効果は顕著である。これは、ほとんどのモデルで先進国の二酸化炭素排出量の増加以上に途上国での増加が見込まれており、途上国での対策費用の方が安いと推定されているためである。

モデルによって限界費用はかなり違い、排出量取引を行わない場合の米国の限界費用を比較する

図3 2010年における米国での限界費用の比較 (米国)



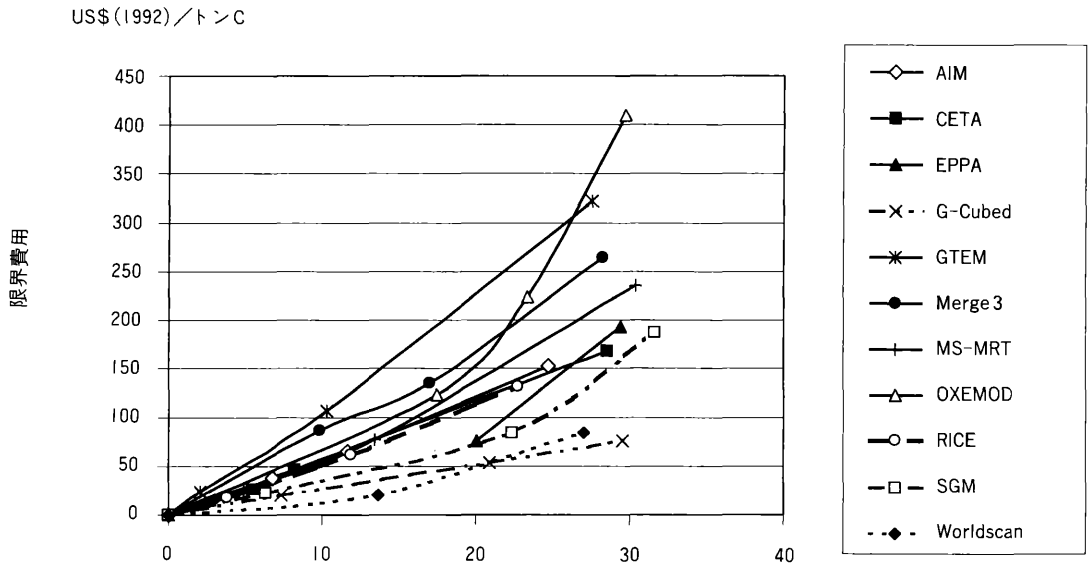
出典：Weyant, 1999

と、一番大きいOxfordモデルと一番小さいG-Cubedモデルでは5倍以上の開きがある。この2つのモデルは、ともに非エネルギー財の貿易、国際金融フロー、失業や金融対策等を考慮した経済モデルであるが、その構造はかなり違っている。AIM, GTEM, MS-MRT, EPPAモデルは一般均衡モデルであり、長期にわたって種々の部門でのマクロ経済関係に焦点を当て、需要と供給のバランスをとっている。GTEMモデルは排出量取引なしの場合の限界費用は高いが、世界取引に移行した場合の費用は、RICE, G-Cubed, SGMに次いで低い。数値が報告されていないものについては棒グラフが描かれていない。

図4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。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、今後モデルによる差異の原因をさらに検討する必要がある。

図5に付属書I国間取引のケースで取引される排出量と削減目標値を示す。米国, EU, 日本が排出量を買ひ、旧ソ連が売るという構図になっている。この図は排出量取引に制限を設けないケースである。旧ソ連は2010年の排出量が、1990年レベルより下回ると予想されており、排出量取引に制限がないと、この2010年基準排出量と1990年排出量の差、約1億8千万トンを経済的権利として売ることができる。これはホットエアと呼ばれ、排出量取引がない場合には先進国および移行経済国

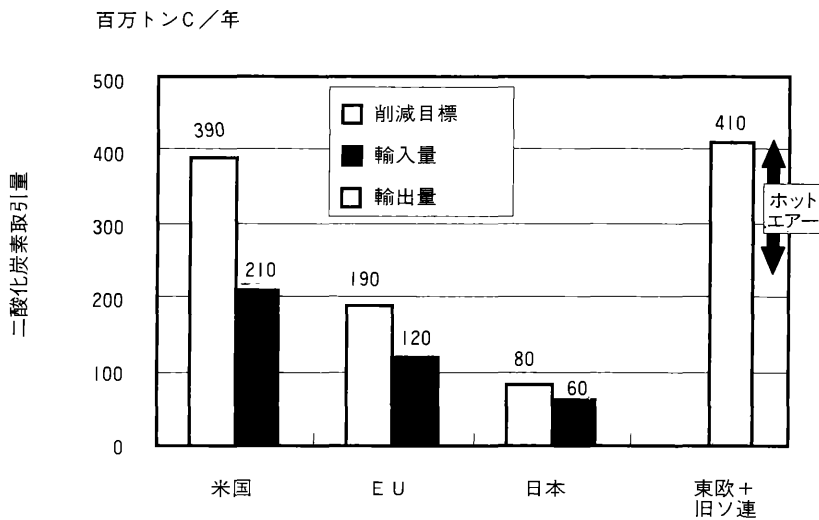
図4 2010年における米国での炭素排出削減の費用



二酸化炭素の基準排出量に対する削減率(%)

出典：Weyant, 1999

図5 付属書1 国間取引の場合の排出量取引量



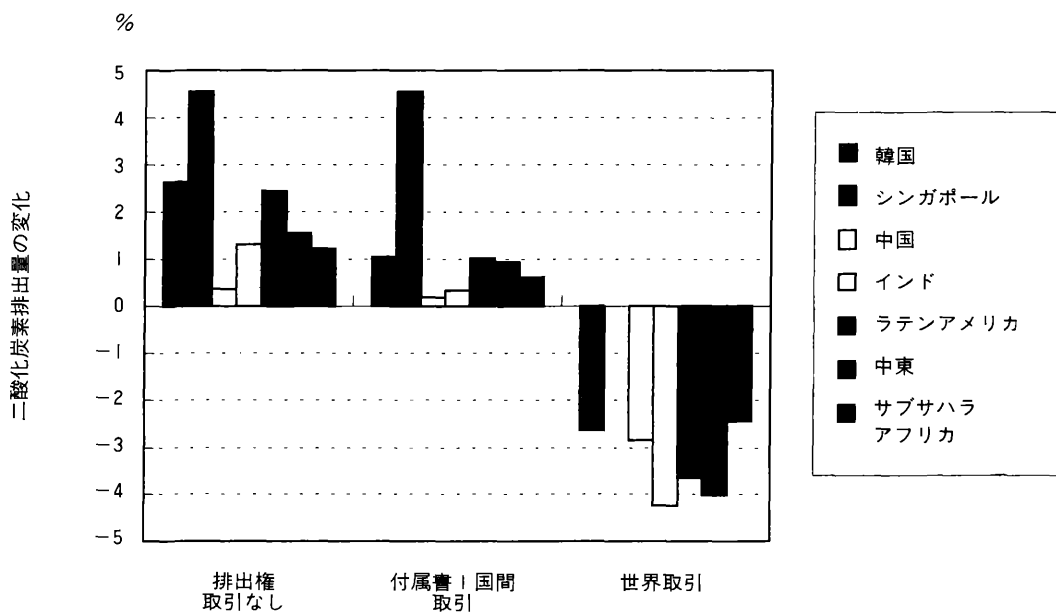
全体で2010年に1990年レベルの約10%が削減されることになることを、排出量取引の導入によってホットエアが売却され、5%強の削減にとどまってしまう。このことは排出量取引が排出量を実態的に増やす効果を持つことになる。今後、途上国を巻き込んで排出量取引を行う場合、途上国

の許容排出量をいくらにするかの議論の際にも重要な問題となる。

排出量取引のもう1つの問題としてあげられるものに、排出量取引が発展途上国の温暖化対策へのインセンティブをいちじるしく減退させてしまうおそれがあることである。京都議定書によって日欧米は6～8%削減の数値目標に合意した。しかし、排出量取引を導入すれば、いずれも10%以上も温室効果ガスの増加が認められることになる。このようないちじるしい緩和策を目の前にして、果たして発展途上国が自らの痛みを伴いながら温暖化対策に参加するだろうか。温暖化問題の解決のためには途上国の参加は不可欠であり、排出量取引のあり方については現在議論が盛んに行われている。

その他の問題として挙げられているものに、炭素漏洩の問題がある。即ち、対策を行っていない国の二酸化炭素排出量が、他国の排出削減対策の影響を受けて逆に増加するというものである。図6は途上国の2010年における排出量を対策を行わなかった場合と比べたものである。排出量取引なしのケースおよび付属書I国間の排出量取引のケースでは、途上国は対策に関与していないが、それぞれの国の排出量はエネルギー価格の変動、貿易の効果などを通じて増加している。韓国、シンガポール、ラテンアメリカ等の炭素漏洩率は高いが、中国の漏洩率は低い。途上国も含んだ場合の取引では、途上国は排出量の輸出国となり、自国での排出量を減らすことにより、排出量を買っている。

図6 2010年における二酸化炭素排出量の基準排出量に対する変化



7. 削減シナリオの経済的影響

二酸化炭素削減を行った場合の経済影響を検討した。図7は2010年における付属書I国の基準ケースに対するGDPロスを、図8は途上国のGDPロスを示している。排出量取引なしの場合のGDPロスは、米国、EU、日本の順に大きかった。米国は炭素削減のための限界費用は比較的小さ

図7 2010年における先進国でのGDPロスの比較

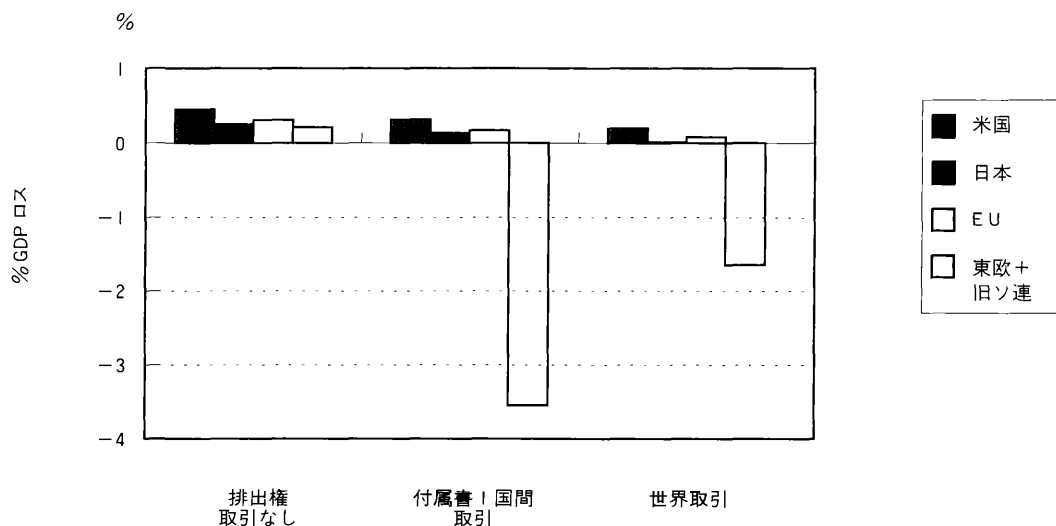
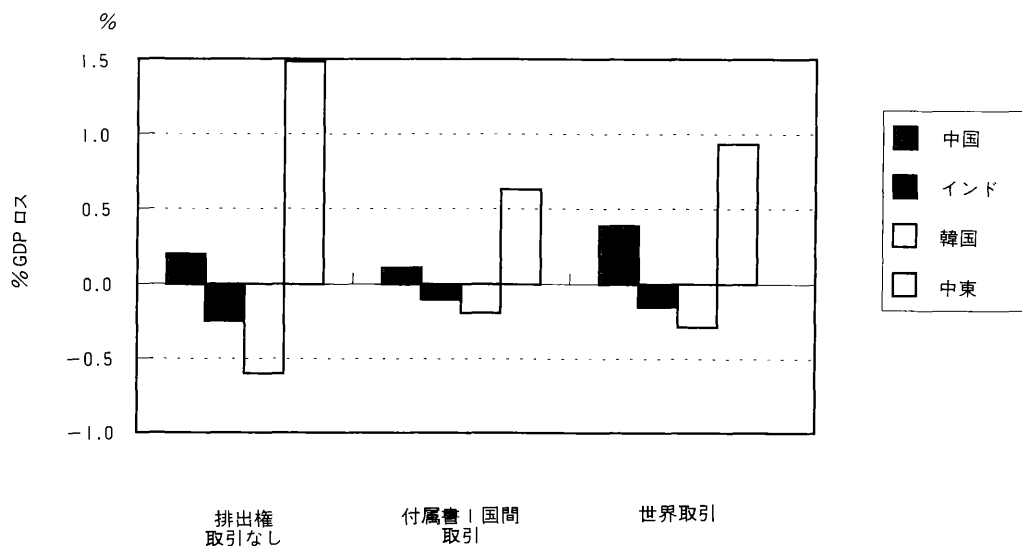


図8 2010年における途上国でのGDPロスの比較



いが、GDP への影響は他の付属書 I 国に比べて大きい。理由としては、米国では削減率が日本に比べて大きいこと、また EU は共同で削減を実施していることなどが上げられる。シナリオ間の比較では、排出量取引なしの場合の GDP への影響が一般には大きい。

途上国の GDP への影響は国によってかなり違う。中国や中東では GDP に対して負の影響が現れているが、インドや韓国ではむしろ GDP は増加する。中東は石油輸出国であるため、石油消費量の減少が GDP へ影響していると推定される。また、中国は今後とも石炭への依存が大きいと推定され、国際石油価格の影響よりも、その他の財の貿易による影響の方が大きいと推定される。インドおよび韓国については今後石油需要の増大が見込まれており、先進国の石油需要の減少の影響が GDP を上げる方向に作用している。

8. おわりに

京都会議で提案された温暖化防止対策の効果について分析した。1992年にリオで採択された気候変動枠組条約では1990年代の終わりまでに温室効果ガス濃度を1990レベルに戻すことが約束された。しかし、経済危機からエネルギー消費量が落ち込んだ旧ソ連を除くと、先進国の排出量は増加している。これを削減していくことは非常に難しい問題であり、国内での削減対策は当然として、京都議定書で提案された手段を効果的に用いていく必要がある。

京都会議で先進国が守るべき排出削減目標が定められたことは大きな意義がある。しかし、数値目標自体は、気候の安定化を考えると必ずしも満足のいくものではない。このまま対策をなにもしないと仮定すると、2100年には気温が約2℃、海面が約50cm上昇すると予想されている。京都議定書で定められた数値目標に従った場合、2100年の気温上昇は0.26℃、海面上昇は4.8cm抑えられるが、2010年の削減目標を守るのみでは、気温上昇、海面上昇は依然として危険なゾーンにある。

今後途上国の二酸化炭素が増加すると予想されることから、温暖化問題の解決の鍵は発展途上国、特にアジアがにぎっており、途上国の参加を促す方策について検討を重ねる必要がある。1つには現在途上国で問題となっている大気汚染などの地域の環境問題と地球規模の環境問題の解決を同時に行なえる方策を見出すことである。また、環境政策の技術革新に及ぼす効果、環境産業のマクロ経済効果、環境改善の経済へのフィードバックなどの対策によるプラスの効果についての検討も必要であろう。このためにも対策シナリオの効果を分析するモデルの開発は不可欠であり、データの整備とともに、温暖化影響も含めた総合的なモデルの改良、拡張がさらに重要となる。

(国立環境研究所地球環境研究グループ温暖化影響・対策研究チーム総合研究官)
(国立環境研究所社会経済システム部環境経済研究室室長)
(京都大学大学院工学研究科環境工学専攻教授)

参 考 文 献

- 1) AIM Project Team : *Asian-Pacific Integrated Model (AIM)*, National Institute for Environmental Studies, 1997, 83pp.
- 2) Alcamo, J. and E. Kreileman : Emission scenarios and global climate protection, *Global Environmental Change*, Paper 156, 1996.
- 3) Buehring, W. A., B. P. Hamilton, K. A. Guziel, R. R. Cirillo, G. Conzelmann, and V. Koritarov : *ENPEP An Integrated Approach for Modeling Energy Systems*, Argonne National Laboratory, Argonne, 1994.
- 4) Edmonds, J., M. Wise, and C. MacCracken : Advanced energy technologies and climate change : An analysis using the global change assessment model (GCAM), report prepared for *the IPCC Second Assessment Report*, Working Group II, Energy Supply Mitigation Options, 1994.
- 5) Fishbone, L. G. and H. Abilock : MARKAL, a linear-programming model for energy systems analysis, technical description of the BNL version, *Energy Research*, 5, 1981.
- 6) Jacoby, H. D, R. Schmalensee, L. S. Wing : Toward a useful architecture for climate change negotiations, *Economic Modelling of Climate Change : OECD Workshop Report*, Chapter 15, 1998 (<http://www.oecd.org/dev/news/Environment/Modelling.htm>).
- 7) Kainuma, M., Y. Matsuoka and T. Morita : Analysis of Post-Kyoto scenarios : The Asia-Pacific Integrated Model, *Energy Journal*, 207-220, May 1999.
- 8) Kypreos, S. and L. Barreto : Technology learning and the role of renewable energy in reducing carbon emissions, *International Workshop on Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions*, Washington DC, May 5-7, 1999.
- 9) Manne, A. and R. G. Richels : The Kyoto Protocol : a cost-effective strategy for meeting environmental objectives?, in *Economic Modelling of Climate Change, OECD Workshop Report*, 17-18 September, 1998.
- 10) McKibbin, W. J., R. Shackleton, and P. J. Wilcoxon : The potential effects of international carbon emissions permit trading under the Kyoto Protocol In *Economic Modelling of Climate Change : OECD Workshop Report*, Chapter 15, 1998 (<http://www.oecd.org/dev/news/Environment/Modelling.htm>).
- 11) 松橋隆治, 石谷久, 茅陽一, 永田豊, 山地憲治 : CO₂放出量低減策の経済性評価, *エネルギー・資源*, Vol. 12, No. 5, pp. 62-69, 1991.
- 12) Matsuoka, Y., M. Kainuma and T. Morita : Scenario analysis of global warming using the Asian Pacific Integrated Model (AIM), *Energy Policy*, Vol. 23, No. 4/5, pp. 357-371, 1995.
- 13) 森田恒幸 : 京都議定書の自然科学的含意とわが国の対応可能性, *ジュリスト*, No. 1130, pp. 59-62, 1998.
- 14) Nijkamp, P : *Theory and Application of Environmental Economics*, North-Holland Publishing Company, 1977. (藤岡明房ほか監訳 : 環境経済学の理論と応用, 勁草出版サービスセンター, 340pp., 1985)
- 15) Nordhaus, W. D. : *Managing the Global Commons*, Massachusetts Institute of Technology, 213pp., 1994.
- 16) Oxford Economic Forecasting, The economic implications of reducing carbon emissions—a cross-country quantitative investigation using the OEF global macroeconomic and energy model, *Workshop on Climate Change Impacts and Integrated Assessment*, Snowmass, Colorado, Aug. 3-11, 1998.
- 17) Pearce, D. : *Economics of Natural Resources and the Environment*, Johns Hopkins University

- Press, 378pp., 1990.
- 18) Peck, S. C. and T. J. Teisberg : Optimal CO₂ control policy with stochastic losses from temperature rise, *Climate Change* Vol. 31, 19-34, 1995.
 - 19) Sathaye, J., A. Ketoff, L. Schipper, and S. Lele : *An End-Use Approach to Development of Long-Term Energy Demand Scenarios for Developing Countries*, Lawrence Berkely Laboratory Report LBL-25611, Barkeley, 1989.
 - 20) SEI-B (Stockholm Environment Institute-Boston) : *The Long-Range Energy Alternatives Planning System, Overview for LEAP Version 94.0*, 1993.
 - 21) US Department of Energy : Scenarios of U. S. Carbon Reductions—Potential Impacts of Energy Technologies by 2010 and Beyond, 1999 ([http : //www. ornل. gov/ORNL/ Energy_Eff/labweb. htm](http://www.ornl.gov/ORNL/Energy_Eff/labweb.htm)).
 - 22) Weyant, J. and J. N. Hill : Introduction and overview, *Energy Journal*, May 1999.