

## 地球環境保全のための国際的枠組みのあり方

研究代表者 京都大学経済研究所 所長 佐和隆光

Towards an Optimal Framework for the Preservation of Global Environment

Takamitsu Sawa, *Research Director of CREST*

Dep. of Environment, University of Kyoto

### 1. 研究の概要

私たちの研究プロジェクト「地球環境保全のための国際的枠組みについて」は、1997年12月1日から11日にかけて開催された気候変動枠組み条約第三回締約国会議(京都会議)において採択された京都議定書に盛り込まれた国際制度の法制度的な設計、経済的な影響、政治的な軋轢、技術的な可能性等について検討することを研究のねらいとしている。ここでいう国際制度とは、排出権取引、共同実施、クリーン開発メカニズム(CDM)等を含んでいる。

排出権取引市場をいかにして設計するか、実現しうる取引価格の予測、買い手責任と売り手責任のあり方、共同実施とCDMのベースラインの特定化、クレジットの配分のあり方、非遵守措置のあり方、途上国参加のあり方等が主たる研究テーマとなる。研究成果は学術論文にまとめるばかりでなく、温暖化問題をめぐる公式・非公式の国際会議にて報告し、わが国の環境行政にも貢献する所存である。

私たちのプロジェクトの特色の一つは、経済学者、法学者、政治学者、工学者の共同研究を研究の支柱にすえるという点にある。学際的研究の必要性は唱われながら、また実際に行われてもいるのだが、成果において見るべきものが少ないのが実状である。プロジェクト終了の時点で、地球温暖化に関する学際的研究の範となることを願っている。

私たちの研究プロジェクトは3つの研究グループに分かたれている。第一グループは、国際制度の合理的設計をねらいとしており、経済学者、法学者を中心に校正される。第二グループは、発展途上諸国とわが国の国際協力のあり方についての検討をねらいとしており、国際制度のうち主としてCDMとの関わりが深い。第三グループは、温暖化対策技術の今後の可能性と途上国への技術移転の可能性の検討をねらいとしている。以下、これらの3グループ毎に経過報告等を行う。

### 2. 現在までの中間成果報告

#### 2.1 成果内容の要約

##### I 国際制度グループ

本グループの研究目的は、京都議定書(97年12)に定められた、排出量取引(柔軟性:京都メカニズム)の具体的な制度化に関わる諸オプションを検討し、それらの問題点を明らかにすることにある。COPでは2000年を期限として、これらの具体化に関わる取り決めを策定する予定であるが、それに向けた、政策提言を行うことが研究計画上の一つの主眼となる。

97年度までは、地球温暖化問題を念頭に置いた、温室化効果ガス排出量抑制に向けた制度的な枠組み構築に向けた基礎的な研究を、理論実証の両面から行ってきた。理論的には、動学的経済理論、公共財アプローチやゲーム理論をはじめとする、マイクロインセンティブに関わる経済分析手法の開発に取り組み、また、すでに提案されていたいくつかの枠組みを下にした、シミュレーション分析を行ってき

た。

98年度においては、公理論的なアプローチ、あるいは、戦略的アプローチを用いるなどした制度分析の基礎研究、ならびに、協力ゲームをはじめとする諸種の手法を組み合わせた実証分析が、継続して行われた(1.2の(1)(3)など参照)。これとともに、97年12月に策定された京都議定書に盛り込まれた三メカニズムの具体化と、それにもなう問題点の洗い出し作業を開始した。とくに、京都メカニズムが機能するための前提条件としての、監視検証メカニズムの重要性、割当量等の合意内容への違反があった場合に用意されるべき制裁措置の重要性、CDMがループホールとならないための、ベースライン策定の困難さ、などが、主要な検討課題として認識され、また、対策の検討が進んでいる。その成果の一端は、98年11月に開催されたブエノスアイレスでのCOP4において、IGES主催のワークショップの中で紹介された。(1.2の(4)など参照)また、制度の設計や、比較を行う際に、人間行動に関する理論的な仮説のみに依存する手法を補完する試みとして、近年、その信頼度を高めつつある、実験経済学の接近法を積極的に取り入れることを考えており、いくつかの予備的な実験を経て、若干の有益な観察結果を得ている(1.2の(3)などを参照)。

## II 国際協力グループ

国際協力グループは、地球環境保全のための国際的枠組みに対して、地球温暖化問題における南北協力の視点からアプローチする。開発途上国の中ではアジア太平洋地域に、その中では中国に特に焦点があてられる。先進工業国の中では主として日本が対象地域となる。基本的に、CO<sub>2</sub>その他温室効果ガスの削減を分析対象にして、純環境分野のみならず経済発展・経済成長・産業構造の変化など社会経済分野をも分析領域に含める。地球温暖化問題を南北協力の視点からみる場合、クリーン開発メカニズム(CDM)はその核となる問題である。従って、国際協力グループの研究目標は、南北協力および持続的な発展と成長の観点から、CDMの内容とそれにまつわる諸問題を解明することに置かれる。

現時点では、中国を対象地域とする研究がもっとも進んでいる。李志東は、中国のエネルギー需給モデルにより、2030年までのエネルギー需給見通しを提示し、電力産業について省エネとCO<sub>2</sub>削減に関する数量的評価を行った。現在、経済・産業分析を行うため、エネルギー需給とマクロモデルを統合した計量モデルを開発しつつある。また、CDMとの関連で、現在使用中の技術を中国あるいは世界で最善の技術で置き換えた場合の省エネ効果とコストについて、経済性評価を進めつつある。他方、江崎光男は、中国経済の環境CGEモデル(多部門一般均衡モデル)を作成し、第9次5ヵ年計画期(1996-2000年)のシミュレーション分析により、炭素税導入のコスト・ベネフィット分析を行った。現在、CDMとの関連で、シミュレーション期間を2010年まで延長し、日本に対して同じ分析を行い、炭素税によるCO<sub>2</sub>排出削減を日中で同時実施することによるコスト・ベネフィット分析を試みつつある。

炭素税導入のシナリオ分析は多国間世界レベルでも試みられている。伴金美は、GTAP応用一般均衡モデルに基づき、炭素税を日本が単独導入、工業先進諸国が協調導入、世界各国が協調導入の3つのシナリオについて、化石燃料消費に対する効果およびGDPや産業構造に与える影響を定量・評価した。また、国境を越える大気汚染の理論分析もなされている。西村和雄は、ゲーム理論に基づき、国境を越える大気汚染に直面する複数国がとる行動、すなわち、自己の経済活動と他国に与える汚染の量に関連し、他の国から自国への汚染を減らそうとする戦略的行動について、その存在条件と動学的分析を行った。最後に、アジアの持続的成長にかんする研究がある。高阪章は、金融市場の

グローバル化のもとで起こったアジア経済危機のメカニズムを明らかにした。これは、環境政策が成長経路に与える影響を考察する際、成長効果のマクロ経済伝播のダイナミクスを知る上で重要な視点となる。

### Ⅲ技術戦略グループ

本研究グループは、特にアジアを中心として、資源とエネルギー需給の将来を踏まえ、環境と経済を両立させるための技術戦略を通し、国際的枠組みのあり方に接近する。この研究課題は、少なくとも①需給の地域性、②地域間の相互依存性、③資源の有限性を念頭に置いた長期的持続可能性の条件の探索、の3軸の評価に対し、相互的な整合性が定量的に保ちつつ回答を与えねばならない。本グループは、そのためのツールとして種々のモデル開発を行ってきた。平成10年2月には、国連大学においてこの課題をテーマとした国際ワークショップを開催した。

分析法は、マクロ的評価のみでは具体性を欠く恐れのあること、ミクロ的視点の積み上げのみでは合成の誤謬を犯す危険がある。本研究グループでは、そこで(1)相互依存性と長期的視点を中心としてトップダウン的に持続可能性の条件を探るグローバル地球環境統合モデルの開発、(2)地域性と技術特性から技術戦略分析を行うボトムアップ型地域モデル開発の、対極的な2つの作業を同時並行的に進めてきた。

本研究グループの具体的な成果は、以下の通りである。

- (1) 多地域グローバルモデルの開発と応用として、まず気候変動、エネルギー、経済に加え、土地利用と食糧需給の相互関係の評価する地球環境統合モデルMARIAを7地域に拡大した。このモデルは、市場メカニズムは温暖化対策においては世界的な負担の軽減という効率性が現れるものの、食糧供給の不足に対しては損失を経済的に最も弱い地域に集中させるという不公平性を示し、国際的管理の枠組みの重要性を明らかにした。また、詳細な技術オプション評価を持つDNE-21モデルでは、さらにゲーム論を応用することで、京都会議で枠組みが承認されたCDMや共同実施、排出権取引による国際間協力において、限界費用という市場価格以外の資金移転のメカニズムの必要性を示した。このように、フレームの異なるモデルとも、市場メカニズムに依存することの限界と危険を示し、それをこれるレベルでの国際的管理システムの必要性を明らかにしている。また、両モデルとも長期的な石炭資源利用技術と省エネルギー技術の必要性を示した。
- (2) 地域モデルの開発として、規模、資源、人口、経済レベルとも異なる中国、韓国、インドを取り上げ、現地の研究者との共同作業を通しつつ、やや中短期的視点から具体的な必要技術を評価した。また、我が国がこれらの国と共同し具体的にCDMを実施する際、どのような分野にどのような影響が現れるかを明らかにした。インドでは、主要なエネルギー源となる石炭の生産・利用形態を分析し、地域および地球環境の点から、石炭火力発電を中心に、技術移転に対する指針を求める。中国における環境対策技術の優先度と技術協力の評価も同様に実施した。韓国においては、産業連関表の利用による部門別評価を行った。

## 2.2 発表論文等

### I 国際制度グループ

提出先: Social Choice and Welfare

論文名: The Dynamic Transformation of Political Systems through Social Contract: A Game Theoretic

Approach” (Akira Okada, Kenichi Sakakibara and Koichi Suga)

アブストラクト: 環境保全問題においては、経済主体のフリーライダー問題と規制機構の創設が重要な問題である。本論文では、規制機構としての国家がいかに関経済主体の自由意志によって形成可能か、さらにその政治システムが経済発展のプロセスにおいていかに変遷するかを、動学的公共財市場の非協力ゲームモデルを用いて考察する。主要結論として、公共財の資本ストックが一定の臨界点以下であるときにのみ、国家は成立可能であり、公共財の資本ストックは長期的には臨界点に収束することが示される。

提出先: *Environmental Modeling and Software*

論文名: Hizen, Y., and T. Saijo, “Designing GHG Emissions Trading Institutions in the Kyoto Protocol: An Experimental Approach,”

アブストラクト: 地球温暖化ガスの排出権取引において、主要6カ国の間で相対取引を用いる方法とダブル・オークションを用いる方法を経済実験により検証している。両取引方法ともに効率性は非常に高い。ダブル・オークションのほうは価格変動が小さいものの、市場支配力を持つ主体がより多くの利得を得た。）

提出先: 電気学会論文誌

論文名: 秋元圭吾, 松永敦, 藤井康正, 山地憲治, 「最適化型世界エネルギーモデルに基づく多地域間CO<sub>2</sub>排出許可証取引のゲーム論的分析」

アブストラクト: 世界エネルギーモデルDynamic New Earth 21を用いて、CO<sub>2</sub>排出許可証制度導入時における世界地域間の提携形態によって生じる利得を導出し、ゲーム論的に当該制度の可能性評価を試みた。本研究で行った協力型ゲームのコアの分析により、世界全体が提携した排出許可証制度を導入するためには、CO<sub>2</sub>削減の限界費用で価格付けられた排出許可証の取引による資金移転だけでなく、それ以外の資金の移転も提携維持の観点からは必要性が高いことを示した。

提出先: IGESワークショップ

論文名: Dynamic Emissions Trading and Compliance (by Jiro Akita, Haruo Imai, Hidenori Niizawa, Takamitsu Sawa)

アブストラクト: 京都議定書に沿った排出量取引が行われる場合の、取り決めに定められた割当排出量上限に対する違反の可能性を、動学的モデルの下で吟味した。結論としては、違反に対する処罰措置が、各国に対して同じである限り、取引加盟各国の違反インセンティブは、買い手国であろうと売り手国であろうと、似通ったものとなるという観察を挙げる事ができる。

II 国際協力グループ

提出先: 『第15回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集』

論文名: 「中国における2020年のエネルギー需給に関する計量経済分析」(1997/1、李志東・他)

提出先: (討論稿)

論文名:「鉄鋼産業における省エネルギーと二酸化炭素削減の潜在力 に関する数量評価」(戴彦徳・李志東)

提出先:佐野・中村(編)『国際産業連関表の作成と利用(IX)』、アジア経済研究所

論文名:「中国におけるCO<sub>2</sub>・SO<sub>2</sub>排出削減と環境税? CGEモデルによるシミュレーション分析」(1998年3月、江崎光男・他)

提出先:『経済分析(応用一般均衡モデルによる貿易・投資自由化と環境政策の評価)』、経済企画庁、第156号

論文名:「炭素税導入のシナリオ」(1998年3月、伴金美・他)

提出先:CREST Working Paper(The Japanese Economic Review に投稿中)

論文名:“Transboundary Pollution in a Dynamic Game Model”(1998、西村和雄・他)

提出先:大蔵省財政金融研究所『ASEAN4の金融と財政の歩み? 経済発展と通貨危機?』

論文名:「外国資本フローと東アジアのマクロ経済運営」(1998年6月、高阪章)

### III技術戦略グループ

提出先:International Journal of Global Energy Issues

論文名:“An Integrated Assessment Model for the Evaluation of New Energy Technologies and Food Productivity”, (Vol.11, Nos.1-4, PP1/18, 1999.,S.Mori and M.Takahashi)

アブストラクト: 気候変動、エネルギー、経済に加え、土地利用と食糧需給の相互関係を評価する地球環境統合モデルMARIAを開発した。炭素排出量の1990年レベル安定化、炭素濃度の550PPMV安定化、食糧生産の飽和等のシミュレーションにより、市場メカニズムは温暖化対策においては世界的な負担の軽減という効率性が現れるものの、食糧供給の不足に対しては損失が経済的に最も弱い地域に集中して現れるという不公平性を示し、国際的管理の枠組みの重要性を明らかにした。また、炭素排出制約では炭素隔離技術が導入されることも示した

提出先:電気学会論文誌C

論文名:「拡張地球環境統合モデルMARIAによる不確実な将来に対する意思決定遅延による地球温暖化対策オプションへの影響評価」(Vol118-C, No.11, PP1577/1583, 平成10年11月、森)

アブストラクト: 気候変動、エネルギー、経済に加え、土地利用と食糧需給の相互関係を評価する地球環境統合モデルMARIAを拡張し、将来の温暖化影響の不確実性を、Act then Learn基準及びLear Then Act基準で評価した。さらに、意思決定を2030年で行う場合と2050年に遅らせる場合で、それまでの最適戦略がどのように変化するかを評価した。この結果、意思決定を遅らせる場合、それまでの炭素排出はむしろ削減する邦画より望ましいことが示された。

提出先:電気学会論文誌C

論文名:「最適化型世界エネルギーモデルに基づく多地域間CO<sub>2</sub>排出許可証取引のゲーム論的分

析」(118巻, 10号, pp. 1424-1431(1998)、秋元, 松永, 藤井, 山地,)

アブストラクト:世界エネルギーモデルDynamic New Earth 21を用いて、CO<sub>2</sub>排出許可証制度導入時における世界地域間の提携形態によって生じる利得を導出し、ゲーム論的に当該制度の可能性評価を試みた。本研究で行った協力型ゲームのコアの分析により、世界全体が提携した排出許可証制度を導入するためには、CO<sub>2</sub>削減の限界費用で価格付けられた排出許可証の取引による資金移転だけではなく、それ以外の資金の移転も提携維持の観点からは必要性が高いことを示した。

提出先:エネルギー・資源学会第15回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集

論文名:「エネルギー効率の日韓比較」(pp.41-46(1999)、永田, T. Y. Jung)

アブストラクト:エネルギー利用機器効率には直接関係ない様々な非技術的要因の影響について定量的に評価し、それらの影響を取り除いたエネルギー原単位の推定方法について述べ、日本と韓国について分析した。その結果、これら非技術的要因の影響を取り除いた後のエネルギー原単位の比較により、日本が韓国よりエネルギー効率が優れており、言い換えれば省エネルギーの余地が少ないことを明らかにした。

提出先:Official Journal of the Society for Environmental Economics and Policy Studies

論文名:“Assessment of technological options in the global energy system for limiting the atmospheric CO<sub>2</sub> concentration”(Vol. 1, pp. 113-139(1998), Y. Fujii and K. Yamaji,)

アブストラクト:本研究では、世界エネルギーモデルDynamic New Earth 21に基づいて、エネルギーシステムにおける地球温暖化対策の技術戦略評価を試みた。さまざまな技術を包括的に組み合わせることにより、技術的には2100年時点の大気中炭素濃度を550ppmV程度に抑制できる。省エネルギー、燃料転換、そしてCO<sub>2</sub>分離・回収・処分などの個々の技術的対策には、いずれも限界があり、単独の技術オプションでは解決は望めないことなどが明らかとなった。

提出先:Working Paper no.12, CREST (Core Research for Evolutional Science & Technology) of Japan Science and Technology Corporation

論文名:“A Socio-economic Analysis of International Cooperation for Mitigating GHGs Emissions - A Case Study for Joint Implementation between Japan and China”(March 1998, Goto, N., and H. Yamashita)

アブストラクト:共同実施活動などの国際協力は、経済的効率性の反面、途上国からは温暖化の責任を先進国に求める理由から必ずしも歓迎されていない。本論文では、日本と中国を取り上げ、どのような枠組みの下でCDMを実施すれば日中両国に利益が現れるかを定量的に評価した。この結果、協力ケースでは日本は単独で削減する場合に比べ炭素排出削減限界費用を70—80%削減できることを明らかにした。

### 3. 今後の研究の方向

#### I 国際制度グループ

京都メカニズムと総称されている三メカニズムそれぞれの具体化に関する議論が進展しており、これらの動きに配慮しながら、制度デザインならびに制度比較の見地から、各種オプションの詳細な検討を

継続して行く。このプロセスから得られた知見を通じて、現実的な可能性の範囲内での妥当な取引メカニズムの姿を求めつつ、それらがもたらす気候変動問題に対する効果や我が国(ならびに、諸国)の経済的な利害とを評価した上で、政策提言に結びつけることが、一つの最終目標である。研究としての特色は、インセンティブの経済学に立脚した政策提言がいまだに少ないという判断にたつて、これらの手法を用いた分析を中心に据えるとともに、近年脚光を浴びている社会科学実験に基づく制度評価を採用している点にあると言える。

研究の具体的内容は、(1)3メカニズム個別の詳細な分析に関わるもの、(2)メカニズムの全体像を評価する試み、そして、(3)背景となる制度分析の枠組み構築を目的とした手法の研究、ならびに、メカニズムの効果を吟味する手だてとしての実証、シミュレーション分析に分かれる。

(1) 京都メカニズム: 排出量取引に関しては、取引主体の資格、取引の監視や捕捉、compliance-sanction問題、未定である次期のデザインに関するものなど周辺的な制度に関するもの、取引の場や方法に関わるより実際的な問題に関するもの、あるいは、市場支配力に対する懸念などの検討、さらには、補完性の観点からなされる取引制限への議論など、多数の論点の整理を継続して行く。

JI、CDMについては、排出枠創出の基礎となるベースライン設定問題、発生する排出枠の取引可能性と途上国参加へのインセンティブ設定、事後の監視態勢や排出枠創出時点の設定問題など、取引との関連が深い論点を中心に取りあげることとし、具体的な先行例であるAIJや、主要な政治的論点となっている資金並びに技術移転問題の研究については、他班の協力を仰ぐこととなる。

(2) 京都メカニズムの枠組: 排出権取引の前提としては、排出量割当の実効性がゆるぎないものであることが必要である。しかし、国家間協定に基づく割当の実現を担保するには、実効性ある制裁措置や債務履行を促す強制的措置が、主権国家を対象とする制度としては国際的に整備されていないという問題が現存する。このような、国際法制度の側面から、排出量取引制度をとらえて、その含意を検討するのが主内容である。また、環境問題を、より普遍的な観点からとらえたり、排出量削減を巡る途上国と先進国の対立という側面を長期的な視点からとらえる政治経済的分析をも試みる。

(3) 制度分析の基礎的研究: 排出権取引制度のデザインを巡っては、インセンティブ、監視、捕捉、検証、処罰、ルール改定、不参加オプション、リスクと責任の負担問題、など、制度分析のあらゆる要素が登場し、かつ、資産としての排出権という金融経済学の側面をも併せ持っている。さらに、国際的な国家間の取り決めに基づく取引制度に、民間主体が参加できる可能性があるという別の複雑性も備わっている。

このため、制度のパフォーマンスを比較する上で、既存のツールである、ゲーム分析や動学的分析、あるいはインセンティブと組織の経済学、金融市場分析や企業金融論といった諸トピックを、排出量取引の枠組みに適合させるための作業が必要であり、また、そのための新たな理論や手法の開発も必要となる。

## II 国際協力グループ

李志東は、中国について、マクロ経済モデル・エネルギー需給モデル・環境モデルで構成される統合モデルを完成し、2030年までのシミュレーション分析を行う。同時に、分野別の省エネとCO<sub>2</sub>削減の潜在力に関する数量評価を継続し、それをベースに、プロジェクト・レベルのCDMに関するパイロット分析を進める(現在、慶応大学と清華大学が共同で行っている「北京市の熱需給に関するCDM適用の可能性分析」に参加)。

江崎光男は、CDMおよび経済協力の観点から、CO2削減に関する炭素税の日中共同実施のコスト・ベネフィット分析(1996-2010年のCOP3に対応するのシミュレーション分析)を完成し、タイもしくはインドネシアへの適用可能性を探る。中国については、同様のCGE分析を四川省に対して適用しつつあり、続いて四川省とその他地域よりなる中国地域モデルに拡張・適用する。

伴金美は、GTAP世界モデルに基づき、開発途上国と先進工業国との間の相互依存関係を明示的に考慮しながら、炭素税導入のCO2削減効果やGDP・産業構造への影響を、CDMの視点から定量的に分析する。

西村和雄は、理論分析に引き続き、多数の国家間で生起する大気汚染問題のシミュレーション分析をこころみる。

高阪章は、日本・中国・アジアにおける環境規制が生産性に与える影響を部門別生産性成長率の決定要因を分析することによって明らかにし、それが今後の産業構造変化にどのような影響を与えるかを考察する。

国際協力グループの研究目標は、南北協力および持続的な発展と成長の観点から、CDMに関わる諸問題を解明し、地球環境保全のための国際的枠組みを考えることである。従って、上記の個々の研究を、いかにしてCDMをコアにするグループ共通の研究目標に収斂させていくかが、これからの重要課題になる。

### Ⅲ技術戦略グループ

以上のように、トップダウンとボトムアップの2アプローチから先の地域性、相互依存性、持続可能性の3因子の評価を進めてきたが、共通して①石炭利用技術と②電力需給の2点は、とりわけアジア地域において鍵となることが示されている。これを基準として天然ガス、バイオマス、原子力などのエネルギー技術の相対的評価を進める方向性が示唆されたと言える。

本年度以降の研究活動は、個別には上記のようにここまでの研究の拡張となる。地域的特性を表現した分析とグローバルモデルを整合させることにより、アジア各地域において資源分布、経済活動、環境対策を考慮した際、具体的にどのような方策が望ましいかを提言できる方向にまとめられる方向性が与えられよう。

具体的には、(1)グローバルモデルには、アジアの地域モデルの結果を反映できるよう、技術メニュー、資源分布を詳細化する、(2)地域モデルには、地域間の相互依存性をより整合的に導入できるよう、貿易や国際技術協力オプションの影響を明示的に導入できるよう拡張することや、あるいは国レベルだけでなく中国、インドではさらに国内を地域に分割し、輸送部門の重要性を明示的に扱うことが意義が高いと考えらるので、すでに現在、一部の作業を開始している。