

**ESRI Research Note No.8**

経済社会総合研究所における平成 19 年度及び平成 20 年度の  
「環境と経済」分野国際共同研究について  
温室効果ガス削減の長期的枠組みと技術の進歩・伝播・移転

坂下 信之・池本 賢悟・室伏 陽貴

July 2009



内閣府経済社会総合研究所  
Economic and Social Research Institute  
Cabinet Office  
Tokyo, Japan

ESRI リサーチ・ノート・シリーズは、内閣府経済社会総合研究所内の議論の一端を公開するために取りまとめられた資料であり、学界、研究機関等の関係する方々から幅広くコメントを頂き、今後の研究に役立てることを意図して発表しております。

資料は、すべて研究者個人の責任で執筆されており、内閣府経済社会総合研究所の見解を示すものではありません。

なお、今後の修正が予定されるものであり、当研究所及び著者からの事前の許可なく論文を引用・転載することを禁止いたします。

(連絡先) 総務部総務課 03-3581-0919 (直通)

経済社会総合研究所における平成 19 年度及び平成 20 年度の  
「環境と経済」分野国際共同研究について  
温室効果ガス削減の長期的枠組みと技術の進歩・伝播・移転

坂下 信之<sup>1</sup>、池本 賢悟<sup>2</sup>、室伏 陽貴<sup>3</sup>

2000（平成 12）年度に始まる経済社会総合研究所(ESRI)の環境分野で国際共同研究は、平成 19～20 年度において、京都議定書の後の 2013 年以降の長期的枠組みと技術の進歩・伝播に焦点を当て、海外 3 機関と国内の研究者への委託研究及び ESRI 内部でのモデル分析を行った。

本稿は、国際共同研究の全体を概観すると共に、ESRI での研究、現時点での含意をまとめ、今後の研究の参考とするものである。

## 目次

- 1．地球温暖化をめぐる最近の動向
- 2．国際共同研究の概略
- 3．成果
  - 3．1．委託研究（海外）
  - 3．2．委託研究（国内）
  - 3．3．ESRI の研究
    - 3．3．1．ターンパイク・モデルによる CO<sub>2</sub> 排出削減の分析
      - 3．3．1．1．背景と目的
      - 3．3．1．2．モデルの構造
      - 3．3．1．3．基本フレーム（データ、想定、シナリオ）と制約がない場合(Business as usual)のシミュレーション結果（基本ケース）
      - 3．3．1．4．太陽光発電のモデル化
      - 3．3．1．5．燃料電池自動車のモデル化
      - 3．3．1．6．ターンパイク・モデルの含意
    - 3．3．2．多地域動学的 CGE モデルを用いた長期の国際的枠組みに関するシミュレーション分析
      - 3．3．2．1．背景と目的

---

<sup>1</sup> 経済社会総合研究所 上席主任研究官

<sup>2</sup> 経済社会総合研究所 主任研究官

<sup>3</sup> 経済社会総合研究所 研究官

- 3.3.2.2. モデルの構造
- 3.3.2.3. 基本フレームとレファレンス・ケース
- 3.3.2.4. 先進国だけの排出上限
- 3.3.2.5. 先進技術の移転
- 3.3.2.6. 排出権の人口による配分
- 3.3.2.7. 多地域動学的 CGE モデルの含意

#### 4. 現時点での含意

- 参考1 国際共同研究の参加者及び研究報告会等のスケジュールについて
- 参考2 「ポスト京都議定書」の政策課題に関する国際共同研究提出論文の概要
- 参考3 多地域動学的 CGE モデルの構造

## 1．地球温暖化をめぐる最近の動向

2008年12月にポーランドのポズナンで開かれた気候変動枠組条約(UNFCCC)の第4回締約国会議(COP14)及び京都議定書の第4回締約国会合(COP/MOP4)では、「パリ・ロードマップ」によって気候変動枠組条約(UNFCCC)に設置された長期的協力のための特別作業部会(AWG-LCA)と、京都議定書の下に附属書I国の更なる約束に関する特別作業部会(AWG-KP)において、2009年末の合意に向けての議論が行われた。また、京都議定書第9条に基づく第2回目の見直しが行われたが、資金を巡って先進国と途上国間で意見がまとまらず、結論なしとして終了した。AWG-LCAの作業は次回2009年12月にデンマークのコペンハーゲンで行われるCOP15までに終了し、報告・採択される予定となっている。

先進国の間でも京都議定書の約束期間に入ってから、地球温暖化に関する動きは加速しており、2008年6月のG8北海道・洞爺湖サミットの議長総括では、それまでより一歩踏み込んだ形で、2050年までに温室効果ガスの世界全体の排出量を50%削減する目標が盛り込まれた<sup>4</sup>。

また、2007年の政権交代でオーストラリアが京都議定書に復帰したのに続き、米国でも市場ベースの温室効果ガス排出量取引と2050年に80パーセントの排出削減を公約に掲げたオバマ政権が誕生し、クリーンエネルギーに対する10年間に1500億ドルの投資と500万人の雇用創出を含む環境政策を発表している。

我が国では、G8やダボス会議の場で、ポスト京都の枠組み、国際協力やイノベーションの論点を含む「美しい星(Cool Earth)50」や「クールアース推進構想」を発表し、国内においては、排出量取引の国内統合市場の試行的実施<sup>5</sup>を開始すると共に、2008(平成20)年11月には、官邸の地球温暖化問題に関する懇談会の下に「中期目標検討委員会」を設け、今まで欠けていた中期の国内目標に関する議論を開始し、2009(平成21)年6月、2020年までに1990年比8%減(2005年比15%減)の中期目標を決定した。

## 2．国際共同研究の概略

経済社会総合研究所(ESRI)では2000(平成12)年度から内外の研究者や研究期間と国際共同研究を行っており、平成19～20年度には、海外のENIエンリコ・マッテイ財団(FEEM)、欧州政策研究センター(CEPS)、ダブリン大学(UCD)の3機関に以下のテーマでの研究を委託した。

- a) 技術移転の望ましい「枠組み」
- b) 内生的技術進歩と技術開発政策の可能性
- c) (国別、産業別、事業所別等)最適なキャップの初期配分の設定方法

また国内では武田史郎・関東学園大学経済学部准教授及び岡川梓・学術振興会特別研究員(当時)に先進国・途上国間の技術協力及びエネルギー効率の向上要因に関する研究を委託すると

<sup>4</sup> 「我々は、2050年までに世界全体の排出量の少なくとも50%の削減を達成する目標というビジョンを、国連気候変動枠組条約(UNFCCC)のすべての締約国と共有し、かつ、この目標をUNFCCCの下での交渉において、これら諸国と共に検討し、採択することを求める。」(議長総括仮訳)

<sup>5</sup> 「排出量取引の国内統合市場の試行的実施について」(平成20年10月21日地球温暖化対策推進本部決定)

ともに、ESRI 内部では、伴金美・客員主任研究員（大阪大学大学院経済学研究科教授）の指導の下に、世界規模の排出削減の長期的枠組みの研究を行った。

国際共同研究の参加者は、その研究成果を持ち寄り、平成 20(2008)年 3 月 7 日と平成 21(2009)年 2 月 23 日に研究報告会を行うとともに、これらと前後する形で平成 20 年 3 月 6 日と平成 21 年 2 月 24 日には一般の参加者を対象として国際フォーラムを開催した。

国際共同研究の参加者及び研究報告会等のスケジュールについては、参考 1 を参照されたい。

### 3 . 成果

#### 3 . 1 . 委託研究（海外）

研究を委託した海外の 3 機関からの成果としては、それぞれ以下の論文を最終的な報告として得ている。

Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM): “How Does Climate Policy Affect Technical Change? —An Analysis of the Direction and Pace of Technical Progress in a Climate-Economy Model”

Centre for European Policy Studies (CEPS): “Study on a method that can set the ‘cap’ on GHG emissions and optimally allocate allowances based on countries, industries, and installations”

University College Dublin (UCD): ”European Climate Change Policy assessed, with Particular Focus on the European Union Emissions Trading Scheme — Evolution and Key Features to 2020”

#### （FEEM）

このうち、FEEM の研究は、研究課題のうち「(a) 技術移転の望ましい『枠組み』」に対応して行われたものだが、内容的には内生的技術進歩のモデル分析を含んでいる。具体的には、内生的技術進歩に関する先行モデルのレビューから、知識を投入されるセクターと対象となる投入要素を分割して論じた研究が欠けていることを見出し、そのようなモデルを WITCH<sup>6</sup> 上に構築した。これにより、排出政策は投資を低排出部門やカーボンフリーな部門に向けて移動させるだけでなく、技術変化の方向を変えること、エネルギー研究開発とエネルギー部門への投資の強化は非エネルギー研究開発をクラウドアウトしないことを見出した。また、非エネルギー部門での内生的技術進歩の影響を無視すると気候政策の費用を過小評価することになることも見出している。

#### （CEPS）

また、CEPS の研究は「(c) (国別、産業別、事業所別等) 最適なキャップの初期配分の設定方法」に対応し、セクトラル・アプローチによって温室効果ガス排出の上限を適切に定め、排出権を配分することの可能性を探ったもので、セクトラル・アプローチの主要な形態（産業主

---

<sup>6</sup> World Induced Technical Change Hybrid model.

導型のイニシアティブ、各国のボトムアップ型のコミットメント、セクター別 CDM 又はセクター別クレジット)の現状を調査している。その結果、各種の「セクトラル・アプローチ」は配分手法の開発に寄与する可能性があるが、コストとベンチマーキングの能力について国による違いがあることを指摘し、京都議定書のような目標とタイムテーブルを伴ったアプローチよりも、UNFCCC の下での 2012 年より後の枠組の一部として発展するのが良いであろうとしている。

(UCD)

UCD の研究は(a)及び「(b) 内生的技術進歩と技術開発政策の可能性」に対応する研究となっているが、(b)の技術政策に関する調査が主体である。全体はさらに 4 つの独立した論文に分かれ、それぞれ欧州排出量取引制度(EU-ETS)のコスト評価に関する導入前と導入後の文献調査、炭素回収貯留(CCS)の開発、商業化と普及の問題点と見通しについての調査、EU-ETS の取引コストに関するケース・スタディ、EU-ETS に関する企業の反応についてのケース・スタディを行っている。第 1 の論文では、EU-ETS 導入前に行われたコスト推計を比較検討し、差異の原因を考察した上で、部分均衡及び一般均衡両者の分析が必要であること、地域と部門の分割の程度が高い方が信用できるコストの推計を提供すること、現実の政策の予測を取り入れるべきこと、多くのモデルは短期の環境政策の影響をシミュレートする機能を有していないため、政策決定というよりは政策ガイダンスの道具として用いられるべきであることが結論されている。第 2 の論文では、CCS の現状を調査し、コスト高で規制政策の不確実性があるため導入のインセンティブがないことがハードルだとして、それを超えるためには、技術が実証され、規制環境が明確になることが重要で、そのために EU は、EU-ETS を改定し、オークションを強化し、実証のための資金供給を行い、NGO 組織を設立したことを述べている。その上で、日本への提言として、日本の企業がパイロット期間のプロジェクトに参加するのは意義があり、また、地球規模のセクター別政策に CCS を統合する機会があることを指摘している。第 3 の論文は、排出量取引制度の取引コストを、実際に制度に参加した企業を対象に調査したものである。ここでは、売買にかかるコストの存在は企業が取引を行うかどうかの決定に影響せず、取引を行わなかった企業は、排出権価格が安かったためであること、小規模の企業では、排出量に比べて立ち上げやモニタリングのコストが高く、排出権取引の枠組みから除外して他の方法を考慮することの可能性が提言されている。第 4 の論文では、企業を対象に、CO<sub>2</sub> に価格が付いたことによって行動がどのように変わったかを調査したものであるが、EU-ETS のパイロット期間に排出権価格が暴落する一方で、エネルギーの価格が上昇したため、これらの要因を明確に分離できない結果となっている。これらの論文を総括して、UCD は、排出量取引を導入する場合には部門を限らず包括的にすることやオークションを導入することなどの日本の政策への提言と、前提を明確にすることや現実の政策になるべく近いものとするなど排出量取引を評価するモデルについての提言を行っている。

各研究の日本語による要約を、参考 2 に示す<sup>7</sup>。

### 3.2. 委託研究（国内）

国内の研究者からは、以下の論文を得ている。

Shiro Takeda: “A CGE Analysis of Japan-China Technology Transfer for the Coal-Fired Electricity Generation”

Azusa Okagawa: “Econometric analysis of key factors contributing to energy intensity improvement”

武田論文は、GTAP6inGAMS を元にエネルギー部門を細分化した日中二国間の Recursive Dynamic CGE モデルを用いて、中国で相対価格が高いために先端的な石炭発電の技術が使用されない時に、日本からの技術援助によってこれが使用できるようになり、日本はそのレンタル収入が得られるための条件を分析している。

岡川論文は、日本の全産業と日本、英国、イタリア 3 国の卑金属産業について実際のデータと計量経済モデルによってエネルギー効率改善の要因（工場などの質の向上、エネルギーと他の投入要素の代替、自律的エネルギー効率改善と価格に反応したイノベーションの二種類の技術革新）を探ったものである。

### 3.3. ESRI の研究

ESRI においては、平成 19 年度から平成 20 年度にかけて、ターンパイク・モデルによる CO<sub>2</sub> 排出削減の分析（一国モデル）と多地域動学的 CGE モデルを用いた長期の国際的枠組に関するシミュレーション分析を行った。これは、IPCC が指摘しているように<sup>8</sup>、世界的にトップダウンのモデルに技術の詳細が導入される一方で、ボトムアップの研究において価格の効果やマクロ経済のフィードバックを含んで行く動向があり、技術の詳細情報のトップダウン型モデルへの取り込みが進んでいるのに対し、我が国の政策分析においては技術開発志向の排出削減分析が主流で、これらの世界的な成果の取り込みが十分に行われているとは言い難いため、当研究において、トップダウン型のモデルに技術の要素を取り込んだ上で経済全体でのコスト評価を行うことを志したものである。具体的な研究内容は、平成 19 年度は、その前の年度に作成した排出削減のための代替技術を含むターンパイク・モデルにより、CO<sub>2</sub> 排出削減のための技術政策の分析を行い、平成 20 年度は多地域動学的 CGE モデルを用いて長期の国際的枠組に関するシミュレーション分析を行った。

#### 3.3.1. ターンパイク・モデルによる CO<sub>2</sub> 排出削減の分析

##### 3.3.1.1. 背景と目的

---

<sup>7</sup> 英語の原文については、国内研究者のものも含め、以下の URL を参照のこと。  
<http://www.esri.go.jp/jp/workshop/090223/syousai.html>

<sup>8</sup> IPCC (2007)



総合的な技術評価を行ったボトムアップの研究として知られるものに、Pacala and Socolow (2004)があり、燃料代替、炭素回収・貯留(CCS)、再生可能燃料など温室効果ガス削減に資する15カテゴリーの既存技術の組合せにより、西暦2050年頃までの大気中のCO<sub>2</sub>濃度の安定化は可能であるとしている。ただし、この研究にはコスト評価が含まれておらず、その後スウェーデンの電力公社 Vattenfall が2007年に公表した Climate Map<sup>9</sup>では、二酸化炭素削減のためのさまざまな技術を費用対効果の順に並べ、2030年頃までであれば経済的に無理の無い削減が可能としているが、基本的には技術ごと(ボトムアップ)の評価となっている。

このような限界を補うため、ここではボトムアップの技術導入の経済全体に与える影響(機会費用)をトップダウンのモデルで評価する方法を探ることとし、そのための方策として、排出削減のための代替技術を含むターンパイク・モデル(長期多部門モデル)<sup>10</sup>を用いたものである。ここでは日本のエネルギー政策を例にとり、その機会費用を評価する。

総合資源エネルギー調査会需給部会がまとめた「2030年のエネルギー需給展望」(平成17年3月)(以下、「需給展望」と記す。)は将来のエネルギー需要について、「エネルギー需要は2021年度には頭打ちとなり減少に転じる。」との見通しを掲げ、その内訳として、産業部門は横這い、貨物部門は漸減、家庭部門、業務部門、旅客部門は引き続き増加するが、長期的には減少に転じるとしている。

また、「需給展望」は、2030年のエネルギー需給見通しについて、「レファレンス・ケース」、「エネルギー技術進展ケース」、「原子力ケース」、「外的マクロ要因ケース」の4種類のケースを設け、そのうち「レファレンス・ケース」と「エネルギー技術進展ケース」のうち「新エネルギー進展ケース」<sup>11</sup>について再生可能・新エネルギーの見通しを表1のとおりとしている。

表1 一次エネルギー国内供給

	2000年度	2030年度	
		レファレンス	新エネ進展
実量(原油換算)	35百万kl	47百万kl	67百万kl
シェア	6.0%	7.7%	11.1%

出典： 「需給展望」参考資料1

この研究では、エネルギー効率とCO<sub>2</sub>の削減を目指す新エネルギー政策の機会費用を測定するために、ターンパイク・モデルを用いて、削減効果を有する特定の政策を導入することが経済に与える影響を、同様の削減効果を有する他の手段によって達成する場合と比較する。具体的には、「需給展望」が想定している太陽光発電及び燃料電池自動車(水素自動車)について、「展望」から抽出した太陽光電池及び燃料電池自動車に関する設定を制約式としてターン

<sup>9</sup> Vattenfall (2007)

<sup>10</sup> (財)日本総合研究所(2007)参照。

<sup>11</sup> 「エネルギー技術進展ケース」がさらに「新エネルギー進展ケース」と「省エネルギー進展ケース」の二種類に細分されている。

パイク・モデル（長期多部門モデル）の中に組み込み、CO<sub>2</sub>の排出量の変化を見る。さらにここから得られるCO<sub>2</sub>の変化を今度は新エネルギーの制約を置かないモデルの中に制約式として置く。両者は同じだけの削減をもたらすため、同程度の削減を達成するために、特定の技術を義務づけた場合と、排出上限のみを与えて具体的な方法は市場に任せた場合のそれぞれの基本ケースからの効用減を比較することにより両者の機会費用を測定することができる。

### 3.3.1.2. モデルの構造

この分析で用いるターンパイク・モデルは長期多部門モデルとも呼ばれ、動学的最適化問題を解くために開発されたもので、以下の特徴を有する<sup>12</sup>。

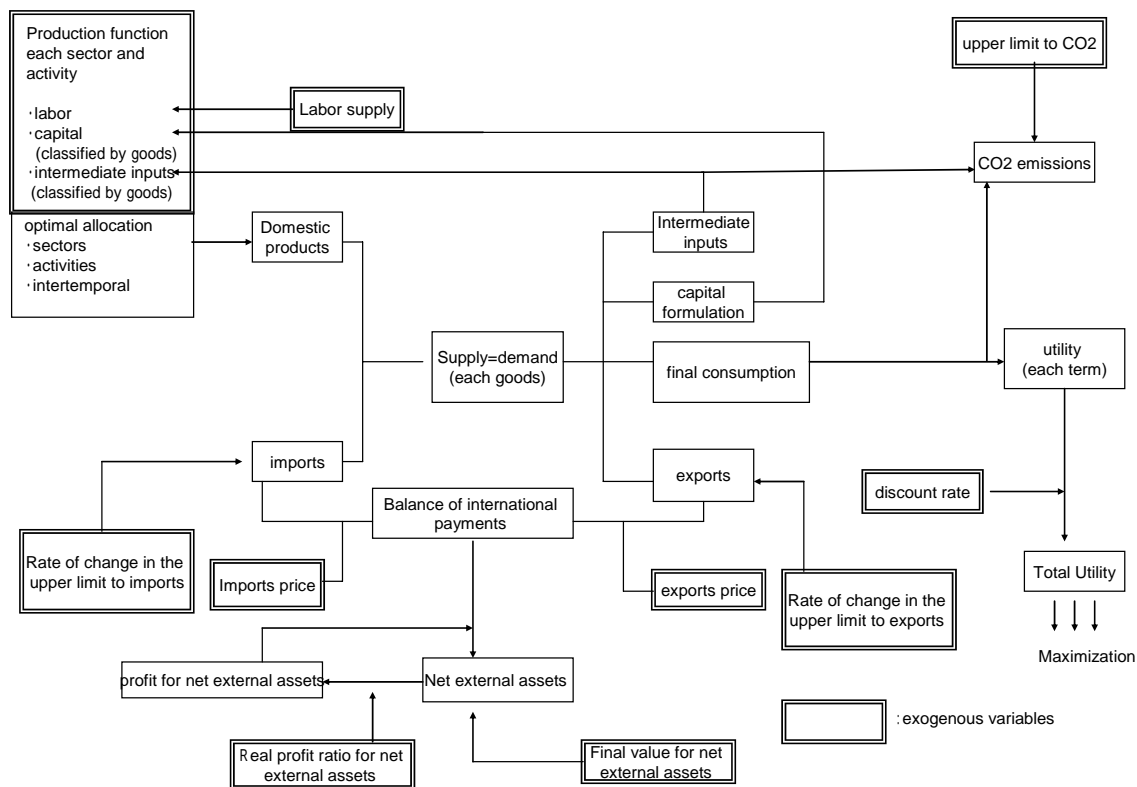
- 複数の制約の中で目的関数を最適化する動学的最適化モデルである。
- 消費関数（期間中の消費から得られる効用の割引後現在価値）を最大化する消費ターンパイク・モデルとなっている。
- 技術進歩は商品一単位当たりの資本、中間投入、労働投入の変化として表現される。
- 生産段階での省エネ効果は中間投入でのエネルギー材の投入比率の低下として表現される。
- 商品を生産する技術を表すために、それぞれに資本、中間投入、労働投入係数を有する複数のアクティビティを想定することができる。与えられた制約の下で最適な解を得るアクティビティ又はその組合せがモデルにより自動的に選択される。
- CO<sub>2</sub>の排出については、各産業（アクティビティ）の中間投入額及び最終消費額に対してCO<sub>2</sub>排出係数が設定され、活動状況に応じてCO<sub>2</sub>の排出が算出される。

これらのモデルを図式化すると図1のようになる。また、このモデルは、基本的にレオンチェフ型の生産関数を持つ一国モデルであり、生産要素や消費の代替関係を有せず、外国とも輸出入を通じて関係を持つのみである。

---

<sup>12</sup> 長期多部門モデルの詳細については、経済審議会計量委員会(1996)等を参照されたい。また、このモデルはFORTLANで記述されているが、今回のシミュレーションはGAMSに移植したものを用了。これについては、(財)日本総合研究所(2006)等を参照されたい。

図1 モデル構造



### 3.2.1.3. 基本フレーム(データ、想定、シナリオ)と制約がない場合(Business as usual)のシミュレーション結果(基本ケース)

モデルは毎年のもとし、基本フレームについては、以下のように想定する。

#### (人口と労働力)

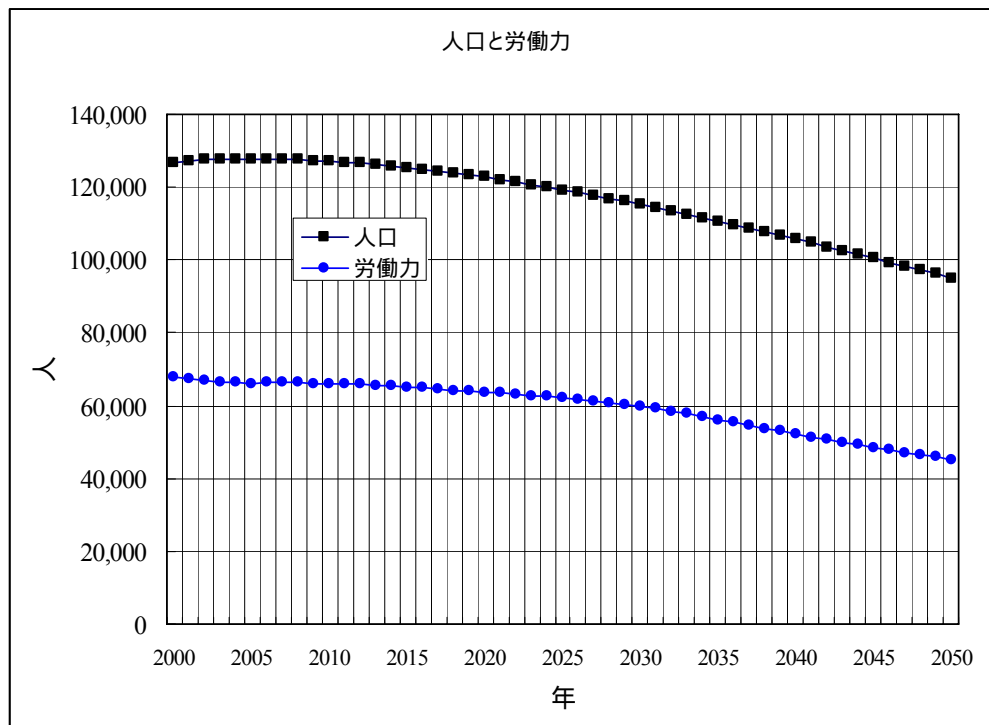
人口と労働力について以下のように想定する。

- 人口の将来推計は国立社会保障・人口問題研究所(2006)の出生中位(死亡中位)推計を採用する。
- 労働力人口の将来推計としては、国立社会保障・人口問題研究所(2006)の男女別・年齢階級別将来推計人口に雇用政策研究会(2005)「人口減少下における雇用・労働政策の課題(2005年7月・雇用政策研究会)」で示された「労働市場への参加が進むケース」における年齢階級別労働力率の見通しを乗じて推計する。同見通しは2030年までの5年ごとに行われているため中間年は直線補間し、2030年以降は一定とした。

この想定をグラフにすると図2のようになる。人口、労働力とも減少傾向となっており、労働力については、2030年までは人口の多い世代の退出を労働力市場への参加の進展で補ってい

るが、それ以降は参加の進展が無くなるため人口以上に急速な減少となっている<sup>13</sup>。

図2 基本フレーム（人口と労働力）



（AEEI の設定）

自律的エネルギー効率改善(AEEI)については、「電気事業便覧」のデータを用いて事業用火力発電の投入熱量と出力の比率の変化を見ると10年間で年平均0.71%、5年間では年平均1%の改善がある（表2）ため、将来のエネルギーの投入効率の改善を毎年1%と設定する。

また、CO2排出係数については、日本版NAMEAによる産業部門のCO2排出量と2000年基準接続産業連関表の中間投入の実質値の比により、産業部門の活動によるCO2排出の変化を見ると、10年間では年平均0.38%、5年間では年平均1%以上減少している（表3）。ここから、将来のCO2排出係数の改善を毎年1%と設定する。

<sup>13</sup> 当モデルの外部フレームである人口と労働力の元データが諸要因によって滑らかな動きではなく、また補間推計していることが、結果の動きに不連続性が見られることの一因となっている。

表2 事業用火力発電の投入熱量と出力の比率

年度	1985	1990	1995	2000
投入熱量 (1000GJ) a	2,939,541	3,788,118	3,905,513	3,989,900
電気事業用火力発電(GWh) b	362,488	465,958	490,597	526,902
a/b	8.1093	8.1297	7.9607	7.5724
5年前に対する変化		1.0025	0.9792	0.9512
年平均		1.0005	0.9958	0.9900
10年前に対する変化			0.9817	0.9314
年平均			0.9982	0.9929

出典：資源エネルギー庁電力・ガス事業部電力市場整備課「電気事業便覧」

表3 CO2 排出量（産業部門）と中間投入

実質表	1990	1995	2000
	内生部門計	内生部門計	内生部門計
内生部門計	389,405,195	404,744,307	428,669,159
産業部門 CO2	959,805	1,015,987	1,017,274
排出係数	2.4648	2.5102	2.3731
5年前に対する変化		1.0184	0.9454
年平均		1.0037	0.9888
10年前に対する変化			0.9628
年平均			0.9962

出典：総務省(2005)、内閣府経済社会総合研究所(2004)

(シミュレーション結果)

これらの想定の下に、他の制約を設けずにシミュレーションを行うと、人口と労働力の将来見通しの減少が大きいため、2030年頃からGDPの増加が頭打ちとなり、それに伴ってCO2排出も増加しなくなっている(図3、図4)。これは、当分析のBusiness as usualを与えるものなので、以後「基本ケース」と称する。

図3 GDPの推移—基本ケース

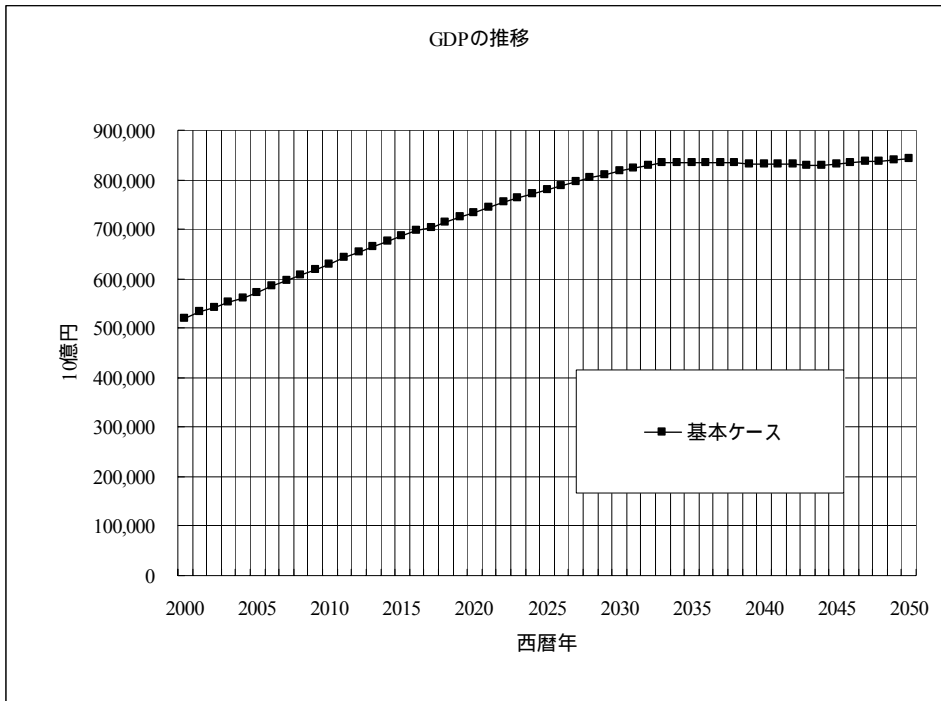
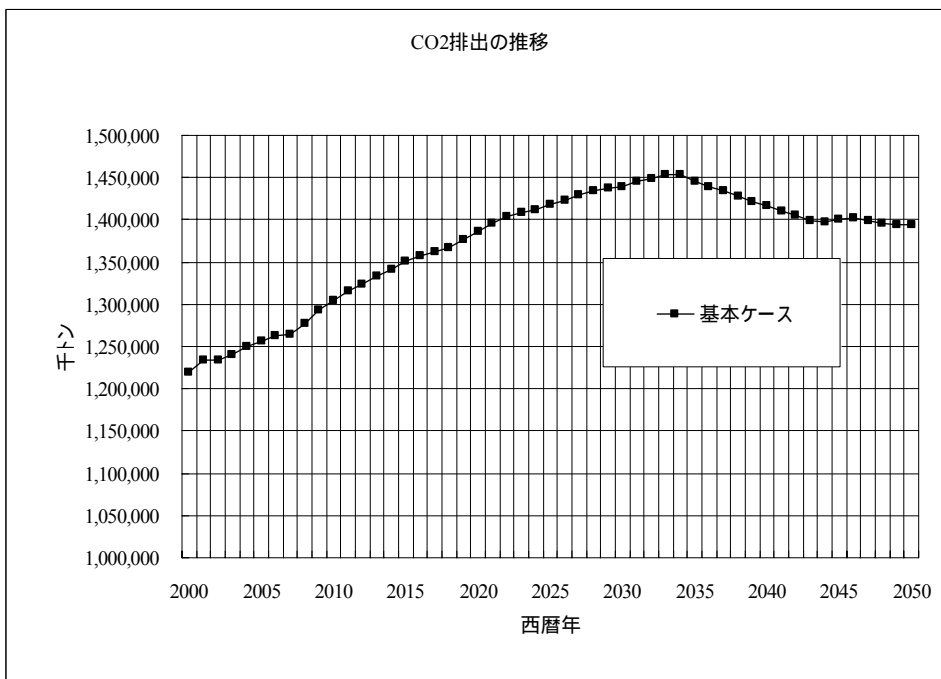


図4 CO2排出の推移—基本ケース



### 3.3.1.4. 太陽光発電のモデル化

「需給展望」のレファレンスケースでは、「2010 年度以降、RPS 法<sup>14</sup>が継続され、太陽光発電が増加することにより、新エネルギー全体では、2030 年度までに前回の 2010 年度新エネルギー導入目標量程度（1,902 万 kl）までは導入が進むと想定。」と記述されている(p.96)ため、増加分の 1003 万 kl が 2030 年において太陽光発電で賄われることを想定していると考え、太陽光発電の比率を以下のように算出した。

「需給展望」では、2030 年の発電量全体は事業用についてのみ 11,287 億 kWh と示されている(参考資料 1 の p.2)ため、これに 2000 年産業連関表<sup>15</sup>による事業用発電の比率  $15534781 / (15534781 + 1202301) = 0.928$  で除し、電力全体を 12,163 億 kWh と見る。一方、「展望」ではほぼ事業用と見られる原子力を 2030 年で石油換算 9000 万 kl、発電量では 4,317 億 kWh としている(参考資料 1 の p.1~p.2)ため、この比率を用いて太陽光発電の電力は  $4,317 \times 1003 / 9000 = 481$  億 kWh とする。これは、電力全体に対して、 $481 / 12163 = 3.9\%$ となる。

太陽光発電のコストの想定としては、エネルギー経済研究所(2007)を元に資本コストを想定した。同研究では、2005 年の太陽光電池のシステムコストが発電量 1kW あたり 65 万円(発電単価にして 46 円/kWh)としており<sup>16</sup>、1kW の発電量で年間 1000kWh 発電が可能とされているので、これらと 2000 年産業連関表上の電力の単価 16.0 円/kWh から、電力 1 円あたり  $650000 / (16.0 \times 1000) = 40.6$  円の資本が必要とする。

以上の考察をモデル化するために、電力のアクティビティとして「太陽光発電」を導入し、太陽光発電のシェアに関して以下の制約を入れる。

- 2010 年までの太陽光発電の発電全体に対する比率は 0%以上。
- 2030 年以降の比率は 3.9%以上。
- 2010 年から 2030 年までの間はシェアの下限が直線的に増加する。

まとめると表 4 のようになる。

表 4 太陽光発電のシェア

年	~ 2010	2010 ~ 2029	2030 ~
太陽光発電のシェア	0%以上	0% ~ 3.9%以上	3.9%以上

また、電力 1 円あたりの資本 40.6 円にエネルギー経済研究所(2007)で推計した太陽電池の投

<sup>14</sup> 「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(平成 14 年 6 月 7 日法律第 62 号)。RPS は Renewable Portfolio Standard の略で、電気事業者に対し一定割合以上の新エネルギーから発電される電気の利用を義務付けている。

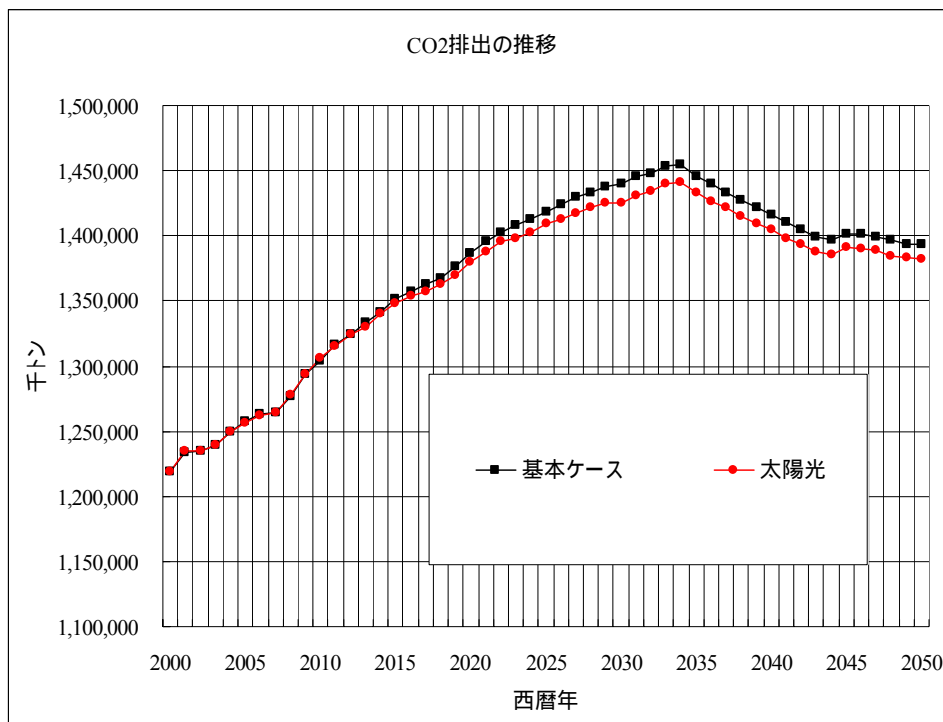
<sup>15</sup> 産出額で、事業用発電 / (事業用発電 + 自家発電)。

<sup>16</sup> エネルギー経済研究所(2007)では、システムコストを住宅用と産業用について算出しているが、産業用のデータが安定していないため、ここでは住宅用の数値を使用。産業用では、2005 年に約 88 万 5 千円となっている。

入係数を乗じて太陽光発電の資本係数とする。

この条件下における CO2 排出量を基本ケースとの比較で見ると、図 5 のようになり、削減効果が認められる。

図 5 CO2 排出の推移—基本ケースと太陽光発電の比率制約



次に、太陽光発電の比率を制約とする代わりに、それによりもたらされるものと同程度の削減となる CO2 排出量を排出上限として制約することにより、同等の目的を達成するコストを見る。

GDP は図 6 にみるようにほとんど差がないが、目的関数である割引後効用の合計値の基本ケースからの変化をみると表 6 のようになる。基本ケースからの効用がマイナスとなっていることは削減のためにコストがかかっていることを意味し、太陽光発電の比率を定めずに同等の排出上限のみを課した場合の方がマイナス幅が小さいことは、それだけ太陽光発電の機会費用が高いことを示している。



図6 GDPの推移—基本ケース、太陽光発電の比率制約、排出上限による制約

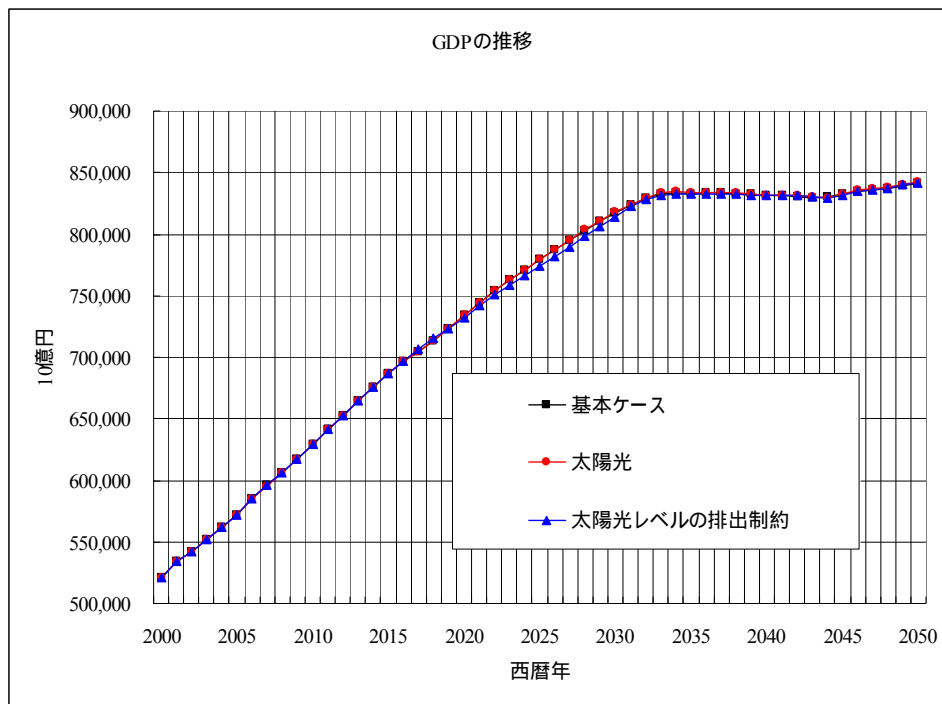


表6 割引後効用の変化（太陽光ケースと排出上限のみのケース）

基本ケースからの変化（基準時換算 10 億円）		
太陽光発電比率の制約(a)	排出上限による制約(b)	a/b
-18336.67	-3233.08	5.67

期間を通した平均削減費用<sup>17</sup>で見ると、表7のように、太陽光による場合は9万円弱、他の手段による場合は1万5千円程度となっている。

表7 平均削減費用（太陽光ケースと排出上限のみのケース）

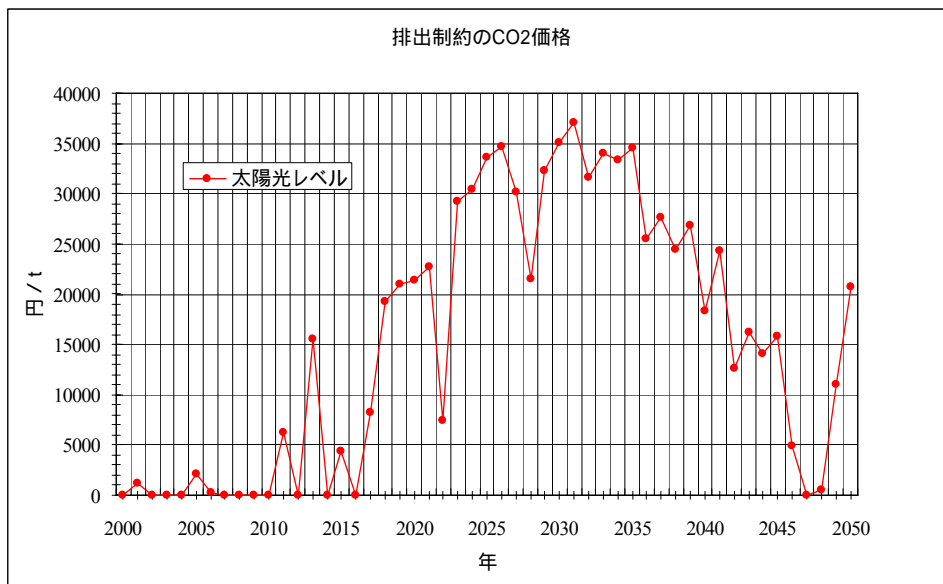
	太陽光発電比率の制約(a)	排出上限による制約(b)	a/b
単位削減コスト（円/t）	87147.25	14793.74	5.89

排出上限による制約により削減を行った場合の各年の限界削減費用を見ると、図7のとおりとなり、最も高い時でも4万円に満たない。これが太陽光発電による削減コストを下回っていることが上記の結果をもたらしていると考えられる<sup>18</sup>。

<sup>17</sup> 効用減/削減量でCO<sub>2</sub>削減の平均コストを算出した。削減量は効用が割引後であるのに合わせて調整した。また、他の手段による場合、年によっては削減量が制限を上回ってその分削減コスト/削減量が低くなるので、単位削減コストの比は総コストの比よりも高くなる。

<sup>18</sup> なお、この試算では太陽光発電のシステムコストを2005年のレベルに固定しているが、経済産業省の「Cool Earth エネルギー革新技术計画」(平成20年3月)では、発電コストを現状の46円/kWhから2020年に14円/kWh、2030年には7円/kWhとする「技術開発ロードマップ」が掲げ

図7 CO2 価格 排出上限による制約



ここまでの議論では、排出上限を設けず、技術の義務づけによる削減効果を見たが、京都議定書レベルの排出制約（1990年比-6%）をかけて長期多部門モデルの特長である技術のスイッチングを見ると、図8のように太陽光発電が高い割合で使われる。これは、京都議定書レベルまで排出制約を強めると、図9のようにCO2価格が高くなって、太陽光発電による削減コストを上回るようになるためと考えられる。

言い換えれば、京都議定書のレベルの排出制約では太陽光発電を利用することが合理的であり、新技術は、それを経済的に意味のあるものとする制約の導入によって促進されることを示している。

られている。

図8 電力の内訳：太陽光発電の存在 + 京都議定書レベルの排出上限

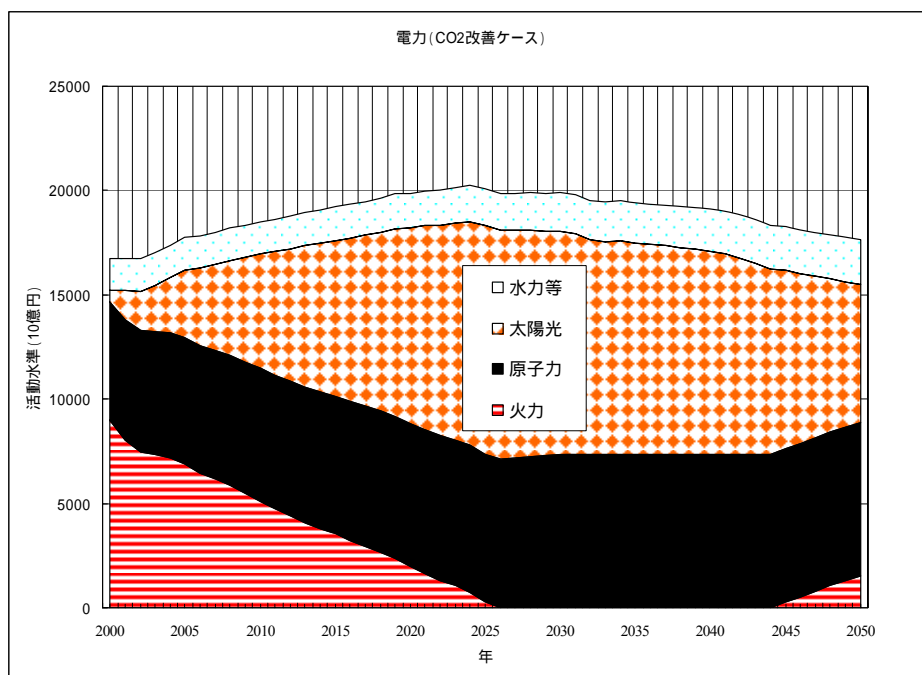
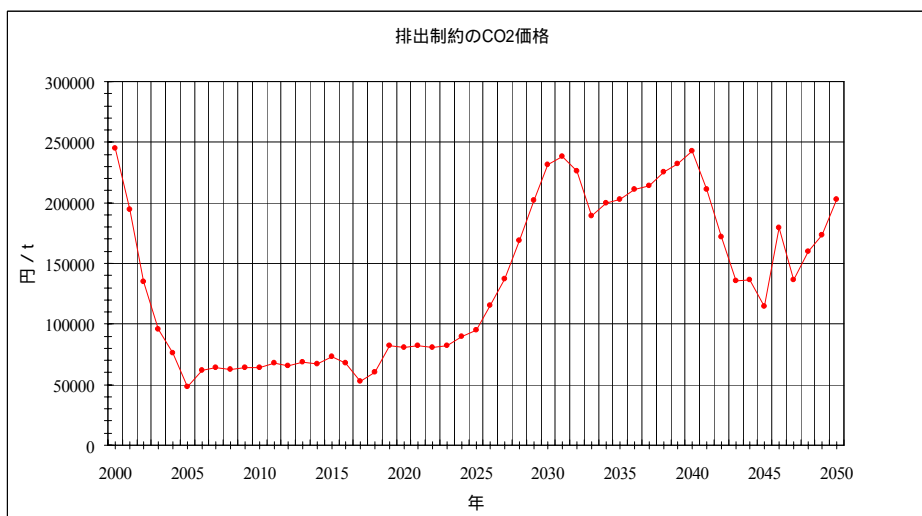


図9 CO2 価格 (京都議定書レベルの排出上限)



### 3.3.1.5. 燃料電池自動車のモデル化

燃料電池自動車(水素自動車)については、「展望」のエネルギー技術進展ケースにおいて、2030年で1500万台と見通している(p.107)。このため、「道路輸送」のアクティビティとして「燃料電池自動車による輸送」を置き、これに相当する量まで活動量を外生的に増加させる。

燃料電池自動車の基本想定としては、現在実用化されている技術として、燃料となる水素を水電解で得ると考える。この場合、電気を得る方法が問題となるが、(財)日本総合研究所(2007)で、石炭火力や石油火力による発電で電気を得る場合は発電時のCO2排出が多く、有効でな

いとの結果が出たこと、現時点での原子力や再生可能エネルギーの利用には制約があることに鑑み、天然ガスで電気を得ると想定し、必要な投入量を以下の考えにより具体的に算出した。

モデル上、水素に対する天然ガスの投入は 0.23 であり、これは 1000 円に対して天然ガスの投入は 230 円、2000 年 IO 表(物量表)<sup>19</sup>と省エネ法の基準<sup>20</sup>で換算すると含まれる熱量は 0.417GJ であることになる。

燃料電池自動車の熱効率には、Well to tank と Tank to wheel の 2 段階があるが、Well to tank の効率は、JHFC 総合効率検討特別委員会他(2006)による天然ガス発電の効率が 0.428、水電解の効率が PEM 水電解<sup>21</sup>で 0.810 であることから、水素 1000 円から得られる熱量は  $0.417 \times 0.428 \times 0.810 = 0.145\text{GJ}$  となる(ガソリン 1000 円に含まれる熱量は 0.39GJ)。

一方、Tank to wheel の効率は、日本自動車研究所他(2006)で燃料電池の実証平均が 1.38MJ/km、ガソリンが 2.23MJ/km となっていることから、燃料電池自動車への水素の投入は、ガソリンの  $(0.39/0.145) \times (1.38/2.23) = 1.66$  倍必要と見込む。なお、燃料電池自動車の資本コストは通常の 1.5 倍と見込む。

「展望」の見通しでは、2020 年で 500 万台、2030 年で 1500 万台と見通しているが、1500 万台は現在の自動車保有台数の約 20%に相当する。このため、「道路輸送」セクターの「燃料電池自動車による輸送」アクティビティが 2020 年に道路輸送に占める比率を 7%以上、2030 年以降は 20%以上とする制約を入れる。2010 年から 2020 年、2020 年から 2030 年の間の下限は直線的に補間する。

この条件下における CO2 排出量を基本ケースとの比較で見ると、図 10 のようになり、ほとんど差が認められないが、差分を取ると図 11 のようになり、排出が増加している。

また、GDP の推移を見ると、燃料電池自動車の比率を制約とすると減少することが分かる(図 12、図 13)。この結果は、現時点での電気分解の熱効率では、燃料電池自動車の導入にコストがかかるだけでなく、CO2 削減にも効果がないことを示している<sup>22</sup>。

<sup>19</sup> 総務省(2005)、「0721-012 天然ガス」の輸入額(輸入品商品税を含む)1513391 百万円及び輸入量 67112223 千 m<sup>3</sup>。

<sup>20</sup> 「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」によるエネルギー投入量の算定式。「その他可燃性天然ガス」40.9GJ/千 m<sup>3</sup>。

<sup>21</sup> 固体高分子膜(PEM)を用いた水電解。アルカリ水電解よりエネルギー変換効率が良い。

<sup>22</sup> なお、このケースでの効用減は 88162.5 億円だったが、CO2 排出が増加しているので平均削減費用を考える意味がない。また、このモデルは現時点での技術による水素取得をシミュレートしたもので、熱効率の上昇或いは電気分解以外の手法の実用化により将来的に水素自動車が CO2 削減に寄与する可能性を否定するものではない。

図 10 CO2 排出の推移—基本ケースと燃料電池自動車の比率制約

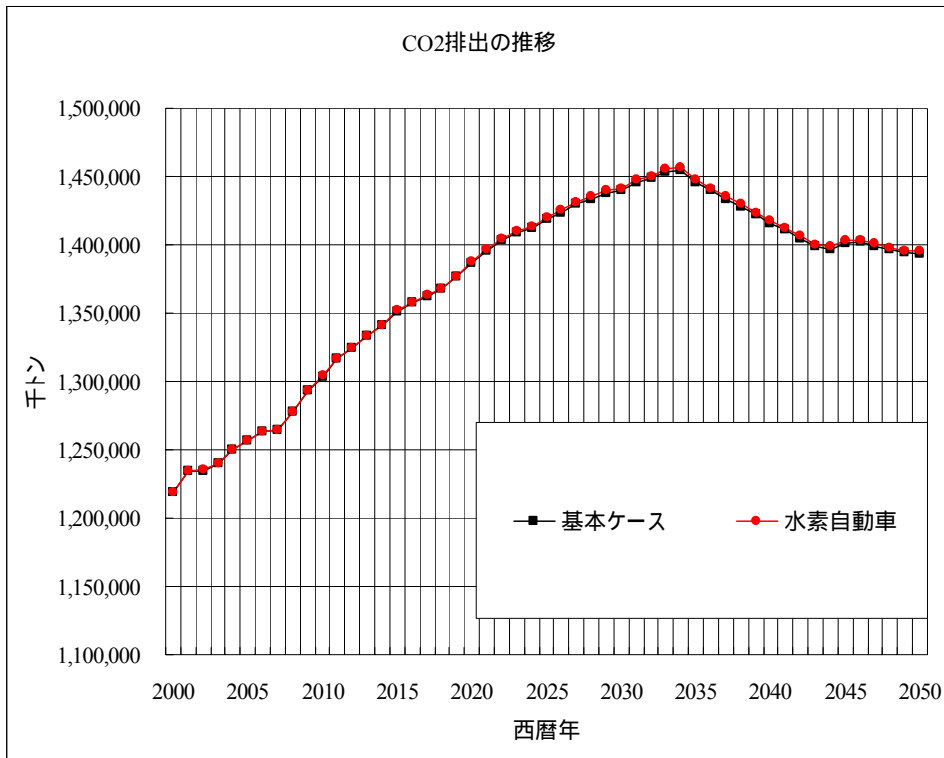


図 11 CO2 排出の推移 (差分)—基本ケースと燃料電池自動車の比率制約

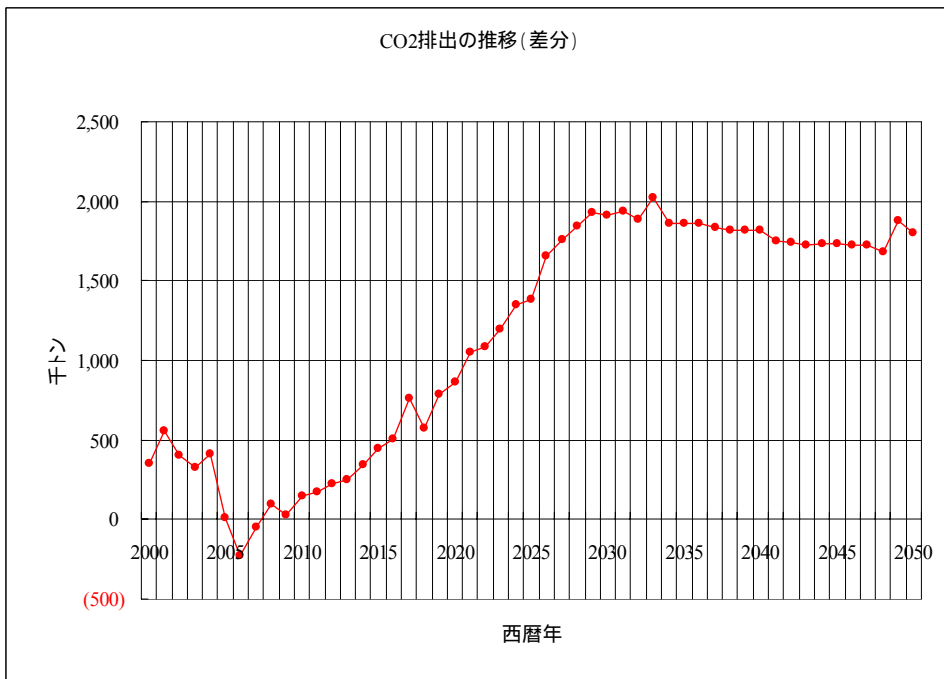


図 12 GDP の推移—基本ケースと燃料電池自動車の比率制約

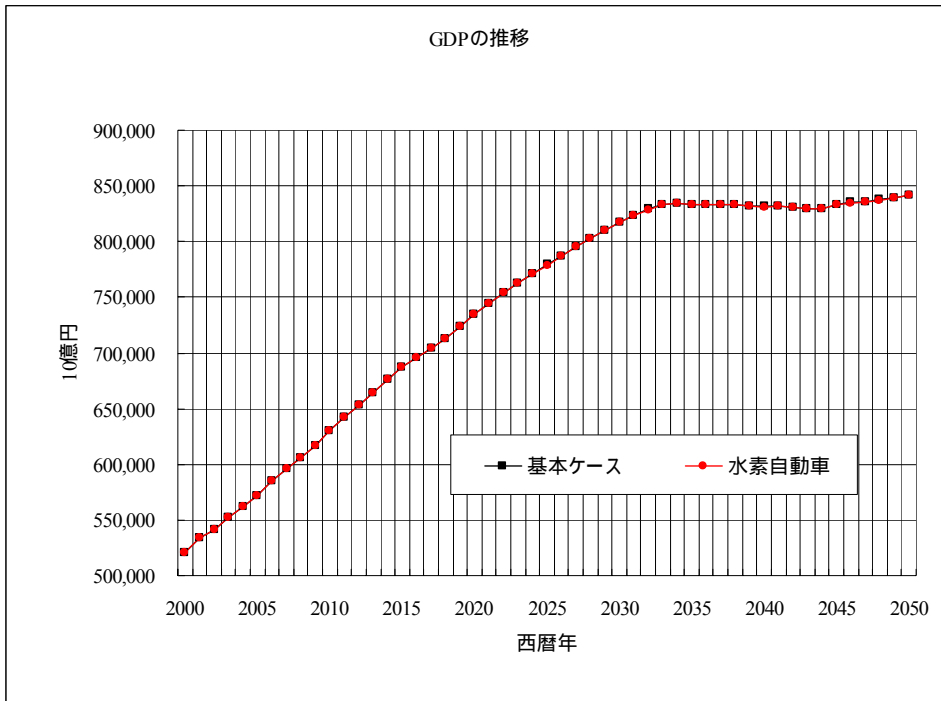
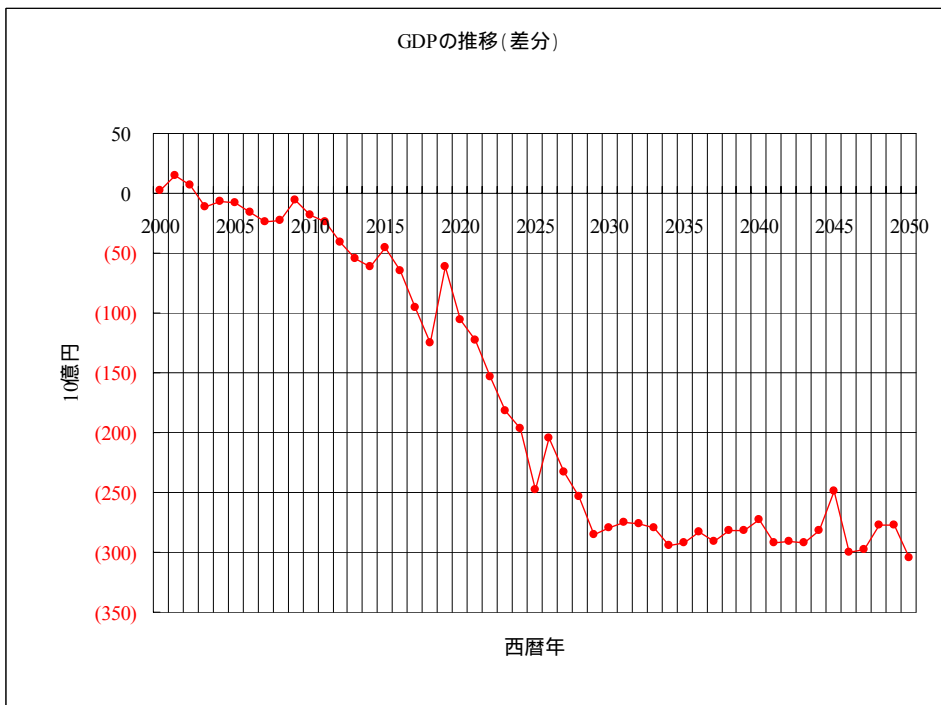


図 13 GDP の推移 (差分)—基本ケースと燃料電池自動車の比率制約



### 3.3.1.6. ターンパイク・モデルの含意

このモデルによるシミュレーションは太陽光発電による発電が排出削減に有効ではあるが、経済全体でのコストを考慮すると炭素価格が低い状態では同程度の有効性を有する割安な手

段が他に存在し、太陽光発電がコスト的にも有効となるためには排出権価格が高い必要があること、また、燃料電池自動車については、コストの問題だけでなく、現時点で可能な技術及びエネルギー効率での導入はかえって CO2 排出を増加させるおそれがあり、特に水素を得る過程での技術の吟味が必要であることを示唆している<sup>23</sup>。

### 3.3.2. 多地域動学的 CGE モデルを用いた長期の国際的枠組に関するシミュレーション分析

#### 3.3.2.1. 背景と目的

2007年6月のG8・ハイリゲンダムサミットでは、「2050年までに地球規模での排出を少なくとも半減させることを含む、EU、カナダ、及び日本による決定を真剣に検討する。」としていた<sup>24</sup>が、2008年6月の北海道・洞爺湖サミットでは、さらに踏み込んで、50%削減の目標をUNFCCCで採択することを求める内容が盛り込まれた。我が国は「美しい星(Cool Earth)50」<sup>25</sup>を引き継ぐ「クールアース推進構想」<sup>26</sup>においてポスト京都の枠組み、国際協力やイノベーションについて提案し、さらに、2050年まで現状から60~80%の削減の長期目標と中期目標の策定、革新技术の開発と既存先進技術の普及、排出量取引と税制改革を含む低炭素化へのしくみなどを発表している<sup>27</sup>。また、米国で地球環境問題への対応を公約に掲げた<sup>28</sup>オバマ政権が登場する一方で、EUではドイツのメルケル首相が各国の初期配分を人口一人当たりで同じにする排出量取引を提案している<sup>29</sup>など、ポスト京都の枠組みに関する提案が活発化している。

これらの提案には、排出削減に関する国際的な枠組みが含まれており、その効果を世界規模のトップダウンのモデルで検証することを研究の目的とした。

#### 3.3.2.2. モデルの構造

使用したモデルは、GTAP6のデータ及びGTAP6inGAMS<sup>30</sup>を大阪大学大学院の伴教授の指導のもとに発展させた10地域10部門の多地域動学的CGEモデル(フル・ダイナミック型)である。投入要素間などでCES型の代替性、輸入財と国産財の間にはアーミントン仮定を置き、

---

<sup>23</sup> JHFC 総合効率検討特別委員会他(2006)では、燃料電池車の Tank to wheel の効率は悪くなく、水素の生成方法に依存する Well to tank の効率が特に問題となる。また、同報告では比較のための水素以外のエネルギーも含め、138通りの Well to tank のパスを評価しており、その中にはガスや石油の改質、製鉄副生ガスの活用などにより水素を得る手法が含まれ、エネルギー消費量及びCO2排出量について、「副生水素利用の場合にディーゼルHV(ハイブリッド車)を下回る可能性がある」としている。

<sup>24</sup> 議長総括の外務省による仮訳。

<sup>25</sup> 2007年5月24日、安倍総理演説。

<sup>26</sup> 2008年1月26日、ダボス会議における福田総理特別講演。

<sup>27</sup> 『『低炭素社会・日本』をめざして』2008年6月9日、福田総理スピーチ。

<sup>28</sup> Barak Obama and Joe Biden: Promoting a Healthy Environment. (2008年米国大統領選挙公約)

<sup>29</sup> “The principle behind emissions trading is simple: relative to its size and population, each country receives emission permits allowing it to release a specific amount of carbon dioxide...” (Angela Merkel, 9 October 2007)

<sup>30</sup> Rutherford (2005)

資本と労働については産業間で移動可能となっている<sup>31</sup>。時点は1期間を10年とし、2000年から始まる第1期間から2050年から始まる第6期間までを分析の対象として、削減ポテンシャル及び配分方法の評価を目的としたシミュレーションを行った。

評価の対象としたのは、

- 京都議定書同様に先進国にだけ50%の削減上限を導入する。
- 排出上限を設けず、先進的な（日本の）発電技術を世界に普及させる。
- 2050年の半減を実現させるため、これを目標とした世界全体の排出上限を設け、ドイツのメルケル首相などが提案しているように人口一人当たりで各地域に配分する。

の3ケースであり、それぞれ温暖化対策を含まないレファレンス・ケースと比較した。

### 3.3.2.3. 基本フレームとレファレンス・ケース

基本的な想定は、

- 効率改善を含む労働力の伸び率は最終的には全世界が2.0%に収斂する<sup>32</sup>。
- 減耗率は毎年5%、利子率5%、自律的なエネルギー効率の改善(AEEI)は各地域で1.5%とした。

この結果、世界全体の排出量は2000年の235億トンから2050年には664億トンに増加し、うち、313億トンが先進国が、351億トンが発展途上国が占める（表8）。

表8 CO2の排出—レファレンス・ケース（百万トン/年）<sup>33</sup>

YEAR	CHN	JPN	IND	USA	RUS	EAS	BRZ
2000	3223.82	1268.86	996.66	5849.42	2331.47	1498.57	318.47
2010	5777.95	1418.22	1312.31	6606.08	2869.90	1847.28	413.73
2020	9221.31	1584.94	1733.58	7512.32	3571.18	2271.27	532.33
2030	12519.34	1792.86	2158.05	8704.29	4099.00	2624.67	632.52
2040	15511.10	2059.53	2727.94	10325.63	4699.89	3067.92	755.09
2050	17597.26	2396.46	3239.29	12477.89	5409.41	3640.25	908.57
YEAR	CANZ	EU	ROW	ADV	DEV	All World	% to Y2000

<sup>31</sup> モデル構造の詳細については、参考3を参照されたい。

<sup>32</sup> 具体的な数値は参考3参照。

<sup>33</sup> モデルの10地域にADV（先進国及び市場経済移行国）DEV（途上国）を再掲している。



2000	942.11	4117.90	2939.68	14513.41	8969.62	23483.03	100.0
2010	1117.83	4721.20	3753.10	16698.22	13156.61	29854.83	127.1
2020	1284.29	5422.11	4918.04	19318.78	18806.34	38125.12	162.4
2030	1446.63	6357.37	6163.73	22328.70	24284.03	46612.73	198.5
2040	1668.52	7633.81	7911.07	26246.03	30176.87	56422.90	240.3
2050	1968.68	9344.24	9541.25	31316.65	35093.51	66410.16	282.8

また、GDPは、世界全体で2000年に32兆ドルだったのが2050年には107兆ドルに達する。先進国全体では71兆ドル、途上国全体では36兆ドルである。

表9 GDP—レファレンス・ケース(10億ドル/年)

YEAR	CHN	JPN	IND	USA	RUS	EAS	BRZ
2000	1351.09	4218.68	484.53	10160.22	426.13	1405.38	508.37
2010	2670.19	5175.40	721.23	12433.83	596.01	1895.94	685.97
2020	4719.47	6348.39	1068.84	15221.76	837.24	2538.05	921.27
2030	7146.84	7804.97	1476.64	18649.69	1088.72	3180.36	1151.47
2040	9839.87	9620.80	2018.37	22894.88	1398.75	3961.40	1433.03
2050	12422.32	11886.13	2562.76	28156.81	1786.97	4934.49	1781.92
YEAR	CANZ	EU	ROW	ADV	DEV	All World	% to 2000
2000	1140.28	8963.96	3090.15	24912.61	6840.92	31753.53	100.0
2010	1517.04	11039.36	4406.14	30651.98	10390.22	41042.20	129.3
2020	1944.74	13591.63	6335.57	37738.57	15610.52	53349.09	168.0
2030	2403.82	16806.24	8602.96	46478.98	21592.75	68071.73	214.4
2040	2973.40	20874.75	11612.49	57366.54	28882.36	86248.90	271.6
2050	3686.77	26010.73	14653.61	70948.47	36334.71	107283.18	337.9

### 3.3.2.4. 先進国のみの排出上限

京都議定書同様に先進国にだけ削減上限を導入し、排出権取引を行わない場合、行う場合の双方についてシミュレーションを行った。具体的な想定は、

- 先進国にのみ1990年比50%の削減目標が存在(2010年代から直線的に減少させて2050年代に目標を達成する)
  - 途上国は排出上限を負わない。
  - 排出権取引は先進国のみでCDMは考慮しない。
- とした。

先進国の各期の排出上限は表10の通り。

表 10 先進国の排出上限（百万トン／年）

	JPN	USA	CANZ	EU	RUS
2010	1100	5010	735	4000	3620
2020	962.5	4383.75	643.125	3500	3167.5
2030	825	3757.5	551.25	3000	2715
2040	687.5	3131.25	459.375	2500	2262.5
2050	550	2505	367.5	2000	1810

この結果、先進国は目標を達成するが、途上国は全体に多少排出が増え、合計すると排出権取引のある場合、ない場合ともレファレンス・ケースから 30%ほどの削減となる。2000 年との比較では、レファレンス・ケースでは 3 倍近い増加となっていたのが、2 倍以内に収まっている（表 11）。

表 11 CO<sub>2</sub> の排出—先進国のみの排出上限（百万トン／年）

YEAR	All World			Advanced			Developing		
	Ref.	Notrade	Trade	Ref.	Notrade	Trade	Ref.	Notrade	Trade
2000	23483.03	23454.72	23530.38	14513.41	14499.50	14566.01	8969.62	8955.22	8964.36
2010	29854.83	27121.92	27773.65	16698.22	13710.49	14465.00	13156.61	13411.43	13308.65
2020	38125.12	32062.21	31899.44	19318.78	12656.87	12656.88	18806.34	19405.33	19242.57
2030	46612.73	36281.23	35987.82	22328.70	10848.75	10848.75	24284.03	25432.48	25139.07
2040	56422.90	41379.36	40812.41	26246.03	9040.62	9040.62	30176.87	32338.73	31771.79
2050	66410.16	46519.42	45416.78	31316.65	7232.50	7232.50	35093.51	39286.92	38184.28
	% Change from Reference Case			% Change from Reference Case			% Change from Reference Case		
2000		-0.1%	0.2%		-0.1%	0.4%		-0.2%	-0.1%
2010		-9.2%	-7.0%		-17.9%	-13.4%		1.9%	1.2%
2020		-15.9%	-16.3%		-34.5%	-34.5%		3.2%	2.3%
2030		-22.2%	-22.8%		-51.4%	-51.4%		4.7%	3.5%
2040		-26.7%	-27.7%		-65.6%	-65.6%		7.2%	5.3%
2050		-30.0%	-31.6%		-76.9%	-76.9%		11.9%	8.8%
	% to Year 2000			% to Year 2000			% to Year 2000		
2000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2010	127.13	115.64	118.03	115.05	94.56	99.31	146.68	149.76	148.46
2020	162.35	136.70	135.57	133.11	87.29	86.89	209.67	216.69	214.66
2030	198.50	154.69	152.94	153.85	74.82	74.48	270.74	284.00	280.43
2040	240.27	176.42	173.45	180.84	62.35	62.07	336.43	361.12	354.42
2050	282.80	198.34	193.01	215.78	49.88	49.65	391.25	438.70	425.96

GDP の変化を見ると表 12 のようになる。先進国で減少し、途上国では若干増加する。

表 12 GDP—先進国のみ排出上限（10 億ドル / 年）

YEAR	All World			Advanced			Developing		
	Ref.	Notrade	Trade	Ref.	Notrade	Trade	Ref.	Notrade	Trade
2000	31753.53	31746.49	31744.88	24912.61	24892.35	24895.42	6840.92	6854.14	6849.46
2010	41042.20	40738.54	40867.64	30651.98	30207.83	30389.72	10390.22	10530.71	10477.92
2020	53349.09	52394.83	52689.76	37738.57	36442.03	36840.12	15610.52	15952.80	15849.63
2030	68071.73	65859.77	66477.63	46478.98	43567.82	44395.67	21592.75	22291.95	22081.96
2040	86248.90	81745.50	82966.66	57366.54	51495.37	53142.58	28882.36	30250.13	29824.08
2050	107283.18	98637.72	100905.94	70948.47	59917.13	62932.38	36334.71	38720.59	37973.56
	% Change from Reference Case			% Change from Reference Case			% Change from Reference Case		
2000		0.0%	0.0%		-0.1%	-0.1%		0.2%	0.1%
2010		-0.7%	-0.4%		-1.4%	-0.9%		1.4%	0.8%
2020		-1.8%	-1.2%		-3.4%	-2.4%		2.2%	1.5%
2030		-3.2%	-2.3%		-6.3%	-4.5%		3.2%	2.3%
2040		-5.2%	-3.8%		-10.2%	-7.4%		4.7%	3.3%
2050		-8.1%	-5.9%		-15.5%	-11.3%		6.6%	4.5%

国別に見ると（表 13）ロシアで成長への影響が大きくなっており、排出権取引を行った場合の GDP の減少が激しい。これはロシアにとっては排出量取引を行った場合の CO2 価格が高く、その結果 GDP が低下するからである。日本、カナダ、EU でも GDP の減少が見られるが、排出権取引を行うことによってかなり回復している。

表 13 GDP—先進国のみでの排出上限（10 億ドル / 年）

No Trade

YEAR	CHN	JPN	IND	USA	RUS	EAS	BRZ
2000	1351.36	4214.44	485.83	10157.85	425.54	1406.16	510.01
2010	2694.36	5052.73	729.43	12327.96	593.49	1922.70	693.85
2020	4784.73	6024.31	1088.75	14939.13	812.38	2598.07	937.95
2030	7289.03	7097.90	1515.65	18027.44	983.28	3292.29	1180.84
2040	10133.46	8193.15	2089.33	21607.34	1137.38	4164.19	1482.61
2050	12946.60	9296.65	2675.38	25567.59	1255.99	5265.88	1857.66
YEAR	CANZ	EU	ROW	ADV	DEV	All World	% to 2000
2000	1137.38	8957.14	3100.79	24892.35	6854.14	31746.49	100.0
2010	1339.85	10893.81	4490.37	30207.83	10530.71	40738.54	128.3
2020	1592.80	13073.41	6543.30	36442.03	15952.80	52394.83	165.0
2030	1877.05	15582.15	9014.14	43567.82	22291.95	65859.77	207.5
2040	2178.94	18378.57	12380.54	51495.37	30250.13	81745.50	257.5
2050	2472.14	21324.77	15975.08	59917.13	38720.59	98637.72	310.7

Trade

YEAR	CHN	JPN	IND	USA	RUS	EAS	BRZ
2000	1351.07	4217.99	485.45	10157.19	424.61	1404.94	509.56
2010	2684.16	5157.60	726.88	12362.03	554.61	1954.79	691.45
2020	4764.49	6282.04	1083.22	14982.92	679.90	2693.73	933.55
2030	7243.72	7637.99	1504.57	18093.36	729.06	3572.24	1172.83
2040	10031.79	9257.90	2068.13	21750.86	698.22	4924.79	1468.23
2050	12761.78	11153.41	2640.54	25934.37	546.64	6825.16	1835.30
YEAR	CANZ	EU	ROW	ADV	DEV	All World	% to 2000
2000	1138.40	8957.23	3097.65	24895.42	6849.46	31744.88	100.0
2010	1374.97	10940.50	4463.98	30389.72	10477.92	40867.64	128.7
2020	1643.44	13251.82	6488.53	36840.12	15849.63	52689.76	166.0
2030	1958.24	15977.02	8901.77	44395.67	22081.96	66477.63	209.4
2040	2311.16	19124.44	12154.41	53142.58	29824.08	82966.66	261.4
2050	2685.84	22612.12	15570.10	62932.38	37973.56	100905.94	317.9

排出権取引を行わない場合、行う場合の双方の CO2 価格を見ると、排出権取引のないケースで日本の CO2 価格が 2050 年にトン当たり 300 ドル近くに達するが、排出権取引を導入することで 70 ドル程度に抑えられる。排出権取引を行わないと 2010 年のロシアでは slack が生じているが、これは実際の使用量が上限に達していないことを示す。他の国では 2050 年になっ

ても 100 ドル程度である（表 14）。

表 14 CO2 価格（ドル/トン CO2）

	No Trade					Trade
	JPN	USA	RUS	CANZ	EU	
2000						
2010	57.47	23.51	0.00	39.96	17.70	11.10
2020	97.23	35.58	3.75	53.39	40.45	26.06
2030	142.05	46.77	9.10	67.58	60.61	37.54
2040	207.24	62.26	13.40	85.53	82.80	49.68
2050	299.84	89.13	17.93	112.94	112.93	67.98

排出権取引を行う場合の取引状況を見ると（表 15）ロシアが排出権を売り、他が買う構造となる。日本の購入は 2050 年で 4 億トン近く、250 億ドルにのぼっている。

表 15 排出権取引（百万トン、十億ドル）（売却(+)、購入(-)）

YEAR	CO2 Price	JPN		USA		RUS		CANZ		EU	
		Qty	Bln\$	Qty	Bln\$	Qty	Bln\$	Qty	Bln\$	Qty	Bln\$
2000											
2010	11.10	-219.06	-2.43	-620.24	-6.89	1241.01	13.78	-189.68	-2.11	-212.04	-2.35
2020	26.06	-296.15	-7.72	-361.78	-9.43	1175.75	30.63	-131.82	-3.43	-386.00	-10.06
2030	37.54	-343.71	-12.90	-245.94	-9.23	1193.16	44.80	-113.55	-4.26	-489.97	-18.40
2040	49.68	-367.69	-18.27	-214.49	-10.66	1206.54	59.94	-101.87	-5.06	-522.48	-25.96
2050	67.98	-375.33	-25.52	-220.41	-14.98	1171.77	79.66	-88.77	-6.03	-487.27	-33.13

### 3.3.2.5. 先進技術の移転

先進技術の移転については、以下の想定を導入した。

- 世界各地の発電で、日本の発電と同じ生産構造を持つ新技術を追加コストなく使用できる。
- 当初から新技術が存在して、旧技術と完全代替である。
- 排出上限は設けない。

この結果、技術移転は排出削減にある程度の効果があり、当初はレファレンス・ケースから 20%台、2050 年時点でも 10%程度の削減となっている（表 16）。しかしながら、50%削減といった野心的な目標を達成するには不足であり、また、このモデルでは生産構造に係わるパラメータの変化だけを考えているが、実際には資本移転のためにコストがかかることにも留意する

必要がある<sup>34</sup>。

表 16 CO<sub>2</sub> の排出—先進技術の移転（百万トン／年）

YEAR	All World		Advanced		Developing	
	Reference	New Tech.	Reference	New Tech.	Reference	New Tech.
2000	23483.03	17721.01	14513.41	11162.87	8969.62	6558.14
2010	29854.83	23036.01	16698.22	13209.71	13156.61	9826.31
2020	38125.12	30161.46	19318.78	15713.97	18806.34	14447.49
2030	46612.73	37953.48	22328.70	18705.02	24284.03	19248.46
2040	56422.90	48741.90	26246.03	24036.25	30176.87	24705.65
2050	66410.16	58718.42	31316.65	29122.31	35093.51	29596.12
	% Change from Ref.		% Change from Ref.		% Change from Ref.	
2000		-24.5%		-23.1%		-26.9%
2010		-22.8%		-20.9%		-25.3%
2020		-20.9%		-18.7%		-23.2%
2030		-18.6%		-16.2%		-20.7%
2040		-13.6%		-8.4%		-18.1%
2050		-11.6%		-7.0%		-15.7%

### 3.3.2.6. 排出権の人口による配分

以下の想定を導入した。

- 1990 年水準から全世界で 50%の削減。
- 排出枠は、各地域に人口<sup>35</sup>に従って比例配分される。
- 排出権取引は世界全体で行われる。

各期の人口見通しは表 17 のとおり。

<sup>34</sup> このモデルは世界中の技術が収斂するという仮定による試算である。技術移転にコストを伴う現実的なモデルについては、武田論文を参照されたい。

<sup>35</sup> UNFPA(2008)の 2050 年の人口見通しにより等比補完。

表 17 人口見通し（百万人）

	JPN	RUS	CHN	EAS	USA	CANZ	EU	IND	BRZ	ROW
2000	133.4	149.4	1322.9	763.5	293.6	55.5	507.8	1112.9	184.5	1881.6
2010	126.6	140	1339.7	797.4	312.7	59.1	504.8	1205.3	196.7	2158.7
2020	120.1	131.1	1356.6	832.9	333.1	63	501.8	1305.4	209.7	2476.6
2030	113.9	122.8	1373.8	869.9	354.7	67	498.8	1413.8	223.6	2841.2
2040	108	115.1	1391.2	908.6	377.8	71.4	495.8	1531.2	238.3	3259.6
2050	102.5	107.8	1408.8	949	402.4	76	492.8	1658.3	254.1	3739.6

また、全世界の排出上限は、2020年代から直線的に減少して2050年代に目標を達成するものとし、表18のとおりとする。

表 18 全世界の排出上限（百万トン/年）

2010	2020	2030	2040	2050
23620	25982	21258	16534	11810

この結果、各地域は排出権取引も活用して排出目標を達成し、レファレンス・ケースから見ると80%減少することになる（表19）。

表 19 CO2の排出—半減目標の人口による配分（百万トン/年）

YEAR	All World		Advanced		Developing	
	Reference	50% red.	Reference	50% red.	Reference	50% red.
2000	23483.03	23316.64	14513.41	14317.24	8969.62	8999.39
2010	29854.83	23620.00	16698.22	13968.23	13156.61	9651.77
2020	38125.12	25982.00	19318.78	14281.13	18806.34	11700.87
2030	46612.73	21258.00	22328.70	11145.79	24284.03	10112.21
2040	56422.90	16534.00	26246.03	8633.02	30176.87	7900.98
2050	66410.16	11810.00	31316.65	6545.89	35093.51	5264.11
	% Change from Ref.		% Change from Ref.		% Change from Ref.	
2000		-0.7%		-1.4%		0.3%
2010		-20.9%		-16.3%		-26.6%
2020		-31.9%		-26.1%		-37.8%
2030		-54.4%		-50.1%		-58.4%
2040		-70.7%		-67.1%		-73.8%
2050		-82.2%		-79.1%		-85.0%

各地域の GDP を見ると（表 20）レファレンス・ケースと比べてある程度のロスはあるが、排出権取引を行うことにより、それほど大きくない地域が多い。中国の 2040 年以降とロシアの減少が特異となっている。

表 20 GDP一半減目標の人口による配分  
（10 億ドル/年）

YEAR	CHN	JPN	IND	USA	RUS	EAS	BRZ
2000	1346.81	4219.79	491.32	10158.63	420.27	1405.39	509.57
2010	2530.75	5168.51	743.86	12379.96	548.46	1864.29	680.90
2020	4302.12	6339.73	1102.47	15108.59	716.23	2444.67	903.44
2030	5787.49	7828.97	1465.99	18407.73	682.96	2932.39	1090.01
2040	6132.95	9722.75	1869.48	22402.37	564.51	3390.03	1273.53
2050	5209.86	11903.56	2102.30	26825.52	304.55	3604.10	1409.32
YEAR	CANZ	EU	ROW	ADV	DEV	All World	% to 2000
2000	1137.12	8960.13	3106.05	24895.94	6859.13	31755.07	100.0
2010	1373.64	10969.58	4391.92	30440.15	10211.72	40651.87	128.0
2020	1662.32	13445.62	6220.72	37272.49	14973.42	52245.91	164.5
2030	1986.64	16428.92	8063.57	45335.22	19339.45	64674.67	203.7
2040	2341.74	20002.86	9997.02	55034.23	22663.00	77697.23	244.7
2050	2649.10	23725.79	10814.81	65408.52	23140.39	88548.91	278.8

（レファレンス・ケースからの変化）

YEAR	CHN	JPN	IND	USA	RUS	EAS	BRZ
2000	-0.3%	0.0%	1.4%	0.0%	-1.4%	0.0%	0.2%
2010	-5.2%	-0.1%	3.1%	-0.4%	-8.0%	-1.7%	-0.7%
2020	-8.8%	-0.1%	3.1%	-0.7%	-14.5%	-3.7%	-1.9%
2030	-19.0%	0.3%	-0.7%	-1.3%	-37.3%	-7.8%	-5.3%
2040	-37.7%	1.1%	-7.4%	-2.2%	-59.6%	-14.4%	-11.1%
2050	-58.1%	0.1%	-18.0%	-4.7%	-83.0%	-27.0%	-20.9%
YEAR	CANZ	EU	ROW	ADV	DEV	All World	
2000	-0.4%	-0.1%	0.5%	-0.1%	0.3%	0.0%	
2010	-1.8%	-0.7%	-0.6%	-0.7%	-1.7%	-1.0%	
2020	-3.0%	-1.3%	-2.2%	-1.2%	-4.1%	-2.1%	
2030	-5.6%	-2.4%	-6.6%	-2.5%	-10.4%	-5.0%	
2040	-9.7%	-4.1%	-14.0%	-4.1%	-21.5%	-9.9%	
2050	-17.4%	-8.4%	-26.1%	-7.8%	-36.3%	-17.5%	



排出権価格は最終的に 150 ドル程度となり、日本、米国、ロシア、カナダ等、EU が買い手、インド、東アジア、ブラジル、その他が売り手で、中国は当初は売り手だが、最終的には買い手になる（表 21）。先ほどと異なり、ロシアが当初から買い手になっている。ロシアの人口が減少傾向であり、中国も人口抑制に成功していることがこの結果をもたらしている。逆にインドやその他の世界が排出権収入を得ることとなる。

表 21 CO2 価格と排出権取引—半減目標の人口による配分

(ドル/トン CO2、百万トン、十億ドル)(売却(+)、購入(-))

YEAR	CO2 Price	CHN		JPN		IND		USA		RUS	
		Qty	Bln\$	Qty	Bln\$	Qty	Bln\$	Qty	Bln\$	Qty	Bln\$
2000											
2010	12.99	1148.16	14.91	-870.63	-11.31	3155.34	40.99	-4431.90	-57.57	-1575.23	-20.46
2020	13.86	163.30	2.26	-937.22	-12.99	3409.68	47.24	-4282.75	-59.34	-1711.75	-23.72
2030	35.03	-580.06	-20.32	-901.36	-31.58	2832.65	99.24	-3202.73	-112.20	-1057.11	-37.03
2040	69.14	-453.72	-31.37	-832.60	-57.56	2207.36	152.61	-2517.65	-174.06	-535.90	-37.05
2050	146.63	-49.96	-7.33	-768.63	-112.70	1590.43	233.20	-1975.44	-289.65	-162.99	-23.90
YEAR	CO2 Price	EAS		BRZ		CANZ		EU		ROW	
		Qty	Bln\$	Qty	Bln\$	Qty	Bln\$	Qty	Bln\$	Qty	Bln\$
2000											
2010	12.99	1183.83	15.38	314.42	4.08	-701.96	-9.12	-2441.36	-31.71	4219.35	54.81
2020	13.86	1271.88	17.62	321.31	4.45	-660.60	-9.15	-2615.87	-36.24	5042.01	69.86
2030	35.03	1017.41	35.64	261.34	9.16	-514.77	-18.03	-2347.83	-82.25	4492.45	157.39
2040	69.14	722.98	49.98	200.35	13.85	-419.56	-29.01	-2054.36	-142.03	3683.09	254.63
2050	146.63	475.95	69.79	139.37	20.44	-318.13	-46.65	-1802.59	-264.30	2871.98	421.10

排出権購入額を GDP 比で見ると最大がロシア(及びその周辺国)で 8%に近くに達し、日本、米国、EU は 1%程度である(表 22)。この負担が可能かどうか排出目標の現実的可能性を左右することになると見られる。

表 22 排出権取引額の対 GDP 比（売却(+)、購入(-)）

YEAR	CHN	JPN	IND	USA	RUS
2000					
2010	0.6%	-0.2%	5.5%	-0.5%	-3.7%
2020	0.1%	-0.2%	4.3%	-0.4%	-3.3%
2030	-0.4%	-0.4%	6.8%	-0.6%	-5.4%
2040	-0.5%	-0.6%	8.2%	-0.8%	-6.6%
2050	-0.1%	-0.9%	11.1%	-1.1%	-7.8%
YEAR	EAS	BRZ	CANZ	EU	ROW
2000					
2010	0.8%	0.6%	-0.7%	-0.3%	1.2%
2020	0.7%	0.5%	-0.6%	-0.3%	1.1%
2030	1.2%	0.8%	-0.9%	-0.5%	2.0%
2040	1.5%	1.1%	-1.2%	-0.7%	2.5%
2050	1.9%	1.5%	-1.8%	-1.1%	3.9%

### 3.3.2.7. 多地域動的 CGE モデルの含意

以上のシミュレーションから、先進国のみに排出上限を課す京都議定書型のコミットメントや最先端技術の移転は長期にわたる排出削減にある程度有効であるが、50%削減といった野心的な目標を達成するには単一の方法では不十分であること、また、半減目標を人口比により分配する手法は、日本を含む世界の多くの地域にとって（予想に反して）受け入れ可能と思われるが、経済規模に比して多量の排出権を購入する必要がある国がいくつか発生することが分かった。枠組みのコストを軽減し、枠組を可能なものとするためには、複合した方策を検討する必要があると言えるであろう。

### 4. 現時点での含意

シミュレーション分析で見たように、京都議定書のような先進国のみのコミットメントや最先端技術の移転は、世界全体の排出削減にある程度有効であると考えられる。しかしながら、それら単独では50%削減のような野心的な目標を達成するには不十分であり、このような方策は途上国を枠組みに乗せるために用いられるものと考えべきであろう。その点で、CEPSの論文において、セクター・アプローチは京都議定書のような短期目標ではなく、UNFCCCのような長期構想の一部として用いられるべきとされていることが興味を引く。京都議定書型の短・中期の全体的な数値目標と遵守システムを伴った枠組みと並行して、特定セクターのno-loseターゲットや技術協力など長期かつ柔軟なアプローチを導入して途上国を枠組みに統合して行く方策を考えて良いであろう。その上で、武田論文が行っているように、先進国が途

上国に技術移転しつつ、双方が利益を得る win-win の解決策を探る必要がある。

地球規模での半減のような大規模な削減を目標とする場合は、全世界的なキャップが必要となって来る。キャップ半減目標の下で排出権を人口比により分配する手法は、人口の見通しを入れて実際にシミュレーションを行うと、多額の排出権取引が行われるものの、各地域の経済規模を考えれば日本を含む世界の多くの地域にとって受け入れ可能な結果となる。一方で、中国のように急成長中でありながら人口抑制に成功している国が排出権を購入する必要が出て来ることや、ロシアとその周辺国のように経済構造や人口が減少しているなどのために経済規模に比して多量の排出権を購入する必要のある国が発生するため、枠組を可能なものとするためには、これらの国々に対する配慮や技術移転などの対策を考慮する必要がある。

FEEM のシミュレーション分析や ESRI のターンパイク（長期多部門）モデルで見る太陽光発電の結果が示しているように、環境政策は環境に関する技術の開発や普及を促進する効果があると考えられるが、UCD のアンケート調査の結果では、その中でも重要なエネルギー関連技術がエネルギーそのものの価格に影響される度合いが大きいことが示されている。エネルギーの価格は不安定であり、このことは価格を通じた政策である経済的手段の効果を不安定にする効果を持つ。この点で、EU が EU-ETS の第 3 期で、環境とエネルギーの総合的な戦略を打ち出したことが注目される。

参考文献：

- IPCC, 2007: Fourth Assessment Report, Working Group III Report "Mitigation of Climate Change"
- Pacala, S and Socolow, R., 2004: Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies, Science, 13 August 2004, Vol. 305.
- Rutherford, Thomas F. 2005: GTAP6inGAMS: The Dataset and Static Model", Prepared for the Workshop: "Applied General Equilibrium Modeling for Trade Policy Analysis in Russia and the CIS"
- UNFPA, 2008: State of World Population 2008: Reaching Common Ground: Culture, Gender and Human Rights
- Vattenfall, 2007: Vattenfall's Global Climate Impact Abatement Map

JHFC 総合効率検討特別委員会、財団法人 日本自動車研究所(2006)「JHFC 総合効率検討結果」報告(平成 18 年 3 月)

財団法人 日本エネルギー経済研究所(2007)「総合的な経済・エネルギー・環境分析に資する技術情報の整備のための研究」(内閣府委託調査)

経済審議会計量委員会(1996)「中・長期経済分析のための多部門計量モデル」(大蔵省印刷局)

国立社会保障・人口問題研究所(2006)「日本の将来推計人口(平成 18 年 12 月推計)」

雇用政策研究会(2005)「人口減少下における雇用・労働政策の課題～すべての人が自律的に働くことができ、安心して生活できる社会を目指して～(2005 年 7 月・雇用政策研究会)」(厚生労働省)

財団法人 日本総合研究所(2006)「経済・環境の相互作用の総合的分析」(内閣府委託調査)

財団法人 日本総合研究所(2007)「ポスト京都議定書に向けた経済・環境統計情報の整備及びモデル分析のための総合的研究」(内閣府委託調査)

総務省(2005)「平成 12 年(2000 年)産業連関表」

内閣府経済社会総合研究所(2004)「新しい環境・経済統合勘定について(経済活動と環境負荷のハイブリッド型統合勘定の試算)(平成 16 年 10 月 12 日)

## 参考 1

### 国際共同研究の参加者及び研究報告会等のスケジュールについて

#### 国際共同研究の参加者

##### 委託研究（海外分）

Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM)

Professor Carlo Carraro, Project Leader

Dr. Emanuele Massetti

Dr. Lea Nicita

Centre for European Policy Studies (CEPS)

Dr. Noriko Fujiwara (with contribution of Anton Georgiev and Monica Alessi)

Christian Egenhofer, Project leader

University College Dublin (UCD)

Frank J. Convery, Heritage Trust Professor of Environmental Policy

Dr. Corrado Di Maria

Barry Anderson

##### 委託研究（国内分）

武田史郎 関東学園大学経済学部准教授

岡川梓 学術振興会特別研究員

#### 研究報告会等の開催スケジュール

平成 20 年 3 月 6 日（木）

国際フォーラム：「ポスト京都議定書」の政策課題 政策の枠組みと長期目標へのアプローチ

西村六善 内閣官房参与（地球環境問題担当）

植田和弘 京都大学大学院経済学研究科、地球環境学堂教授

ZOU JI 中国人民大学環境学院副院長

Seung Jick Yoo 韓国エネルギー経済研究院ディレクター

他

平成 20 年 3 月 7 日（金）

「『ポスト京都議定書』の政策課題に関する国際共同研究」報告会

澤昭弘 東京大学先端科学技術研究センター教授

Seung Jick Yoo

Zou Ji

他

平成 21 年 2 月 23 日（月）

「『ポスト京都議定書』の政策課題に関する国際共同研究」報告会

Dai Hancheng 国立環境研究所

Rahul Pandey インド経営大学院客員教授

他

平成 21 年 2 月 24 日（火）

国際フォーラム：「ポスト京都議定書」の政策課題

植田和弘

大江博 防衛参事官（前外務省審議官・地球規模課題担当）

Dai Hancheng

Rahul Pandey

他

参加者は国際共同研究メンバーを除く。議事次第、発表資料、提出論文、議事録等の詳細は以下の URL を参照のこと。

<http://www.esri.go.jp/jp/prj/prj.html>

<http://www.esri.go.jp/jp/prj-2007/menu.html>

## 参考 2

### 「ポスト京都議定書」の政策課題に関する国際共同研究 提出論文の概要

#### “How Does Climate Policy Affect Technical Change? —An Analysis of the Direction and Pace of Technical Progress in a Climate-Economy Model” (Fondazione Eni Enrico Mattei)

この論文は環境政策が技術の変化に与える影響を分析している。その問題意識は、低炭素社会では技術革新の率は高まるのか低くなるのか、研究開発投資は全体で増えるのか減るのか、厳しい安定化策の研究開発部門に与える影響はどのようなものか、エネルギーや気候への研究開発投資の強化は他の研究開発投資をクラウドアウトするのか、内生的技術進歩の詳細な導入により、気候政策のコストの評価は変わり得るのか(Carraro et al. 2006)といったものである。

内生的技術進歩のモデルでは、もっとも一般的に使われている(Goulder and Schneider, 1999、Nordhaus, 2002、Buonanno, Carraro and Galeotti, 2003、Sue Wing, 2003、Popp, 2004、Löschel, 2002 など)、研究開発投資の累積による知識のストックが技術進歩をもたらすアプローチを使用している。

また、異なった部門や異なった種類の研究開発をモデル化するため、偏向的技術進歩を論じた Acemoglu (2002)に準じ、知識ストックを 2 種類—エネルギーの生産性を高めるものとエネルギー以外の生産性を高めるもの—設けている。

在来型の研究開発が環境関連の研究開発投資にクラウドアウトされるという考えは、研究開発の供給が弾力的でないという仮定に由来するが、多くのモデルは研究開発ストックを一種類しか有せず、研究開発資金の流用にはアドホックな仮定を必要とする。Nordhaus (2002)と Popp (2004)は研究開発の機会費用を明示的に考察しているが、炭素削減に直接関係ない研究開発の出費は明確にはモデルに入っていない、全経済規模の投資の変数に含まれている。

Goulder and Schneider (1999)、Sue Wing (2003)、Gerlagh (2008)は研究開発投資全体に対する気候政策の影響を考察した。Gerlagh (2008)は研究開発投資が大幅に増加するとするが、Goulder and Schneider (1999)と Sue Wing (2003)は減少するとしていた。

Goulder and Schneider (1999)の一般均衡モデルは、知識が部門別には分かれているが、投入要素別には分かれていず、また、削減政策が企業の研究開発投資に影響し、知識の蓄積のインセンティブと異なった部門間の投入の変化をもたらすもので、これによって政策によって誘発された技術変化は一般に均衡点における削減努力を増加させ、GDP ロスで計られた総削減費用は技術変化の無いモデルのベースラインと比べて増加した。

Sue Wing (2003)は Goulder and Schneider (1999)の業績の上に、炭素税に応じて知識が最適に再配分される多部門一般均衡モデルを構築したが、総研究開発投資の貯蓄に対する比率が固定され、消費性向が Solow モデルに従っていたため選択の幅は狭かった。この枠組では、炭素税には部門内及び部門間の知識サービスの再配置をもたらし、知識蓄積の割合を低下させることに

より、産出の低下をもたらした。

Gerlagh (2008)は最終財の産出水準が混合中間財と炭素エネルギーの入れ子型関数である内生的成長モデルを開発した。ここでは、知識ストックが3種類—外側の入れ子の炭素エネルギーの生産性を高めるもの、中間財の生産のための資本・労働混合要素の生産性を高めるもの、炭素エネルギー投入の生産の資本・労働混合要素の生産性を高めるもの—ある。このモデルでは、誘発された技術進歩は炭素税に対する排出の弾力性は飛躍的に増大し、排出削減の費用は減少する。この結果は、エネルギーの入れ子の中での知識蓄積の再配置で説明される。

FEEM論文はこれらと異なり、ラムゼー型新古典派的最適成長モデル WITCH を使用している。そこでは、各種のエネルギー技術と非エネルギー技術の中での投資の決定は完全に内生的で12の地域が戦略的に影響し合う。また、気候政策によって引き起こされる研究開発投資の動態を照らし出すために、方向付けられた技術変化を生産化するための部品を WITCH に導入する。研究開発支出と知識の蓄積は要素に分かれていて、エネルギー効率の改善が資本・労働などの非エネルギー投入の生産性を増加させることに向けることができる。2つの研究開発ストックを明示的にモデル化することにより、クラウドディングアウトについての外生的な仮定を避け、削減政策が技術変化の方向と規模を変えることができるかを研究できる。

結果は、Goulder and Schneider (1999)や Sue Wing (2003)が炭素税は知識の蓄積を炭素集約的な部門から排出の少ない部門に移動させるとしたのと異なり、排出政策は投資を低排出部門やカーボンフリーな部門に向ける移動させるだけでなく、技術変化の方向を変えることを見出した。BaU では技術変化は資本・労働に向かっていたが気候政策によってエネルギー部門に移動し、さらにエネルギー研究開発とエネルギー部門への投資の強化は非エネルギー研究開発をクラウドアウトしないことも分かった<sup>36</sup>。また、Gerlagh (2008)が内生的技術変化の気候政策の費用への影響は、それがエネルギー部門に導入された場合に限られるとしたのと異なり、どの部門に導入されようとも安定化費用に大きな影響がある—より具体的には非エネルギー部門での内生的技術進歩の影響を無視すると気候政策の費用を過小評価することになることを見出された。

#### 参考文献：

- Daron Acemoglu (2002). "Directed Technical Change." *Review of Economic Studies* 69: 199-230.
- Gillingham, K., R.G. Newell and W.A. Pizer (2007). "Modeling Endogenous Technological Change for Climate Policy Analysis." *Resources for the Future, Discussion Paper 07-14*, May 2007.
- Buonanno, P., C. Carraro and M. Galeotti (2003). "Endogenous Induced Technical Change and the Costs of Kyoto." *Resource and Energy Economics*, 25: 11-34.

<sup>36</sup> ベースライン・シナリオと気候政策を入れた安定化シナリオを比較すると、エネルギー部門への投資は増加、エネルギー研究開発投資も増加するが、非エネルギー研究開発投資は減少し、研究開発投資全体でも減少する。しかしながら、BAUシナリオの中でエネルギー研究開発投資を安定化シナリオの水準に固定すると、非エネルギー研究開発投資は増加するため、クラウドディングアウト効果はなく、安定化政策での非エネルギー研究開発投資の減少は経済全体の収縮によって引き起こされていると判断される。



- Goulder, L.H. and S.H. Schneider, 1999: Induced technological change and the attractiveness of CO2 emissions abatement policies. *Resource and Energy Economics*, 21, pp. 211-253.
- Grubb, M. Carraro, C. and Schellnhuber, J. 2006: Technological Change for Atmospheric Stabilization: Introductory Overview to the Innovation Modeling Comparison Project. *The Energy Journal*, Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilisation
- Löschel, A., 2002: Technological change in economic models of environmental policy: A survey. *Ecological Economics*, 43, pp. 105-126.
- Nordhaus, W.D., 2002: Modeling induced innovation climate-change policy. In *Technological Change and the Environment*. Resources for the Future Press, Washington, pp. 182-209.
- Popp, D. (2004). "ENTICE: Endogenous Technological Change in the DICE Model of Global Warming." *Journal of Environmental Economics and Management*, 48: 742-768.
- Sue Wing, I. (2003). "Induced Technical Change and the Cost of Climate Policy." MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report No. 102, September 2003.

**“Study on a method that can set the ‘cap’ on GHG emissions and optimally allocate allowances based on countries, industries, and installations” (Centre for European Policy Studies)**

この論文は、「セクトラル・アプローチ」が技術の状態と効率に関する知識を改良する固有の機会を提供し、削減余地とそのコストのデータをセクターレベルで提供するとの前提のもとで、SA によって温室効果ガス排出の上限を適切に定め、排出権を配分することの可能性を調査したものである。

セクトラル・アプローチの語には用いる人によってさまざまな意味があるが、主要なモデルとして、

- 産業主導型のイニシアティブ
  - 各国のボトムアップ型のコミットメント (no-lose ターゲット)
  - セクター別 CDM 又はセクター別クレジット
- の三種がある。

産業部門がセクトラル・アプローチを指向するのは、カーボン・リーケージへの懸念を押さえることや温室効果ガス削減の範囲を（特に途上国で）セクター特有の手法によって拡張することなどの動機がある。CSI（セメント）、IAI（アルミ）、WSA（鉄鋼、旧 IISI）など数多くの産業主導型のアプローチが存在し、CSI は中国以外のセメント生産の 60%、IAI は全世界の一次アルミニウム生産の 60%以上、WSA は中国以外の鉄鋼の 75%をカバーしている。初期の CSI はデータ収集を中心としていたが、現在は政策提案や原単位目標の提案を行っている。IAI のメンバーはエネルギー効率の自主目標を掲げていたが、no-lose target に基づく世界的セクター別クレジットの可能性が議論されている所である。WSA は IISI の時代に旧式技術の段階的廃

止を支援するセクターごとの枠組によってキャップ&トレードを置き換えることを提案した。

セクターの境界設定はセメントのように製品で決められるものでは比較的容易。アルミや鉄鋼のように複合した製品だと複雑になり、正確な境界設定にはプロセスに着目する必要があるが、プロセスごとに排出が大きく異なるため、それによる境界設定は効率的な技術へのシフトを阻害する虞がある。ベンチマークとなる境界設定で全ての側面の把握が可能なわけではなく、交渉のために単純にしておきつつ、各国の状況によって変更可能にしておく意味はあるだろう。

産業主導型のアプローチでは、産業の状況報告やベストプラクティスの特定のために、そのセクターの現状についての情報収集を行っている。また、ベースラインとそのコストに対する排出の測定とモニターが産業主導型アプローチの重要な分野となっている。確認されたデータだけがそのセクターのコミットメントを保証できるからである。

セクターの no-lose ターゲット(SNLT)は途上国に拘束力のないターゲットを課すことにより、そのセクターの排出削減を支援するものである(Ward et al. 2008)。ターゲットを達成しなくても負担はないが、下回って達成するとその分のクレジットを得る。SNLT では、CDM と異なりクレジットは会社ではなく国に与えられる。競争力への懸念に後押しされている産業主導型アプローチと異なり、SNLT では世界的に温室効果ガス排出の最も多い発電と熱供給セクターが重視されている(Amatayakul et al. 2008)。Ward et al. (2008)では、削減の程度に応じて、資金をどこから受け取るかが図解されており、ターゲット達成まで国内資金及び海外からの支援による政策手段、それ以上の削減は新たな炭素金融によることとなっている。

各地域の動向として、EU では、「気候変動エネルギー政策パッケージ」では EU 排出量取引制度(EU-ETS)対象セクターと非対称セクターを区別し、2013 年以降、前者における排出量取引の強化・拡大と後者における努力の分担が記されている。EU-ETS 対象セクター（主に電気と製造業）では、セクターにより異なった割当て方法が使用され、炭素リーケージの虞のあるセクターも区別される。また、航空部門では独自の ETS を設定する。セクター別ベンチマークは、EU-ETS のフェーズ 2 ではキャップの設定に原単位の向上ポテンシャルに基づく明示的に使用されており、移行期における無償配分や EU-ETS と他の炭素市場のリンクにも用いることができる。国連での交渉に向けて、EU は途上国が BAU からの 15～30%の削減、他の先進国が 90 年水準からの 25～40%の削減が必要であると同時に途上国には多様性があるとしており、能力の異なった国々を結びつけるためにセクター別クレジットのメカニズムを用いることは、地球規模の炭素市場の開発の一手法である。また、環境の統合を進めるため、先進途上国と競争力の高いセクターではプロジェクトベースの CDM を段階的に解消し、セクター別炭素市場クレジットメカニズムに移行するべきであるとしている。

新興経済諸国の削減余地は未開発であり、構造変化によりエネルギー原単位は下がり始めたが、エネルギーの供給、転換、使用における技術的ポテンシャルの多くは手が付けられておらず、政策の枠組と手段がなければ新興国は炭素集約的な開発パスを歩む可能性が高い。能力開発と結合した技術協力が燃料代替に有効であり、そのためには十分な資金援助が必要である。

例としてメキシコと中国を挙げる。

UN の交渉においては、「パリ行動計画」で UNFCCC 第 4 条の 1(c)に基づき、すべての関連部門において温室効果ガス排出に関する技術、慣行及び方法の開発、利用及び普及を促進し、協力するための協調的セクトラル・アプローチとセクター特有の行動を記載している。

米国の気候安全保障法案(CSA) (リーバーマン＝ワーナー法案)では、発電所、大規模な石炭使用者、温室効果ガスの生産者や他の大規模排出者の下流、輸送燃料の生産者や流通業者の上流を対象とし、2012 年に全排出量の 75.5%を各セクターに無償配分するが 2031 年には半分以上をオークションとし、無償配分は先進技術や消費者のために取っておかれる。地域温室効果ガス・イニシアティブ(RGGI)には 10 州が参加、25 メガワット以上の出力を有する全ての化石燃料発電所を対象として、2014 年までは現状、それから 2018 年には 10%のキャップをかけ、最低 25%の排出量がオークションにかけられる。

国によって成果を測定する指標に対する嗜好は異なり、例えば中国では特定の技術の採用率が炭素原単位より好まれる。エネルギー効率の改善はコスト削減にもつながっており、コスト効率と環境効率のバランスを示唆している。排出削減はある程度まではエネルギーの削減に連動しているが、それ以上の削減、例えば CCS ではエネルギー効率は悪化する。このような複数の次元のトレードオフには、いくつかの指標を統合したコンポジット・インデックスで対処できるかもしれない。また、各セクターにおける少数の原単位を対象とした指標が現実的なベンチマークとしてセクトラル・アプローチの国際交渉の基礎となり、大まかな枠組を可能とするかもしれない。

UNFCCC では先進国と途上国で異なったガイドラインにより排出の報告を求めているが、CSI などでも測定と報告の手順が進んでいる。Ecofys は電力、セメントと運輸について、SNLT アプローチの下での各国のクレジット・ベースラインを開発するためのセクターごとの提案のテンプレートを作成した。これらの上に乗って、CSI はセメント部門での CDM の手法に取り組んでいるが、鉄鋼などのエネルギー集約的な他の部門では特有の複雑さのため共通のプロトコルの進展は遅い。将来の国際的な環境政策の枠組でセクトラル・アプローチを運用するためには、測定可能性が重要で、指標と範囲を含む共通の科学的な尺度が必要であろう。

セクトラル・アプローチを有効にするための一つの可能性は、遵守(コンプライアンス)システムを組み込むことであり、京都議定書や EU-ETS はそれぞれ遵守システムを有する。

2012 年より後の枠組はより分散化し、柔軟な構造となるであろう。その中で、セクトラル・アプローチは京都議定書のような目標とタイムテーブルを伴ったアプローチと連動する必要はなく、プレッジ&レビューや、行動に基礎を置いたアプローチ、あるいは SNLT を伴うボトムアップの国のコミットメント、セクター別クレジットなどとして、UNFCCC の下で 2012 年より後の枠組の一部として発展するのが良いであろう。合意とメカニズムのハイブリッド方式もあり得る。

結論としては以下のとおり。

- 「セクトラル・アプローチ」はベンチマーキングなど温室効果ガス排出の上限を定め、排出権を配分する手法の開発に寄与する可能性がある。

- その重要性は、産業主導のイニシアティブ、ボトムアップの各国の約束、セクター別 CDM 又はセクター別クレジットの各モデルで共通。
- コストとベンチマーキング能力への見方は国によって異なる。
- コペンハーゲンでは、技術的な詳細に基づいて基本原則と枠組みが議論される。

参考文献：

Amatayakul, W. et al. (2008), ‘Electricity sector no-lose targets in developing countries for post-2012: Assessment of emissions reduction and reduction credits’, Working paper, No.6, CD4CDM, December 2008.

Ward, M. et al. (2008), ‘The role of sector no-lose targets in scaling up finance for climate change mitigation activities in developing countries’, prepared for the International Climate Division, Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), UK, May.

**”European Climate Change Policy assessed, with Particular Focus on the European Union Emissions Trading Scheme — Evolution and Key Features to 2020”(UCD)**

この論文は、欧州の環境政策が与えた影響の調査と実証分析を行っている。全体は4つの論文に分かれており、それぞれ、欧州排出量取引制度(EU-ETS)のコスト評価に関する導入前と導入後の文献調査、炭素回収貯留(CCS)の開発、商業化と普及の問題点と見通しについての調査、EU-ETS の取引コストに関するアイルランドにおけるケース・スタディ、EU-ETS に関する企業の反応についてのアイルランドにおけるケース・スタディを行い、それらに基づいて、日本の政策への提言を行っている。各論文の内容は以下のとおり。

“Learning from the Ex-Ante Literature on the EU ETS”

EU ETS に関する事前の文献を入手可能な事後の結果と対比し、政策決定者とモデラーの双方に対して教訓を提供することを目的とする(事前のコスト予測と事後の結果の総合的な比較を行うものではない)。先行研究として、Dannenberget al.(2007)、Oberndorfer and Rennings (2007) など過去の EU ETS の事前のコスト評価のサーベイは選んだモデルとそのコスト推計の根本的違いを説明しようとしていない。一方、Repetto and Austin (1997)、Barker et al. (2002)、Fischer and Morgenstern (2005)、Barker et al. (2006)などのメタ分析は特に EU ETS を対象としてはいないが、幅広いモデル間でのコスト推計の違いを説明する主要な仮定を特定している。

レビューは主に2種類のモデル：部分均衡(PE)モデルと一般均衡(CGE)モデルを対象としている。先行するメタ分析では、量的評価により、コストを事前に評価するモデルは複雑ではあるが、主要な仮定がコスト推計の違いの多くを説明することを示している。特にベースラインの予測は経済成長、燃料価格、エネルギー効率、市場の不完全性やその他の CO2 関連の決定

要因により、これが異なることによってコスト推計が異なってくる。

環境政策モデルでの技術変化の扱いには主に2種類—自律的エネルギー効率改善とTFPの上昇—あり、これらでは技術の変化は外生的でありシナリオや価格水準によらない。市場のインセンティブを反映しないことは、削減コストを過大又は過小評価するかもしれないことを示唆している。多くのモデルでは温室効果ガスの排出削減に伴って避けられた被害を参入していないが、これを参入することにより総削減コストを減らすか、さらにはマイナスにするかもしれない。

モデルの構造だけではなく、気候変動政策の設計も重要である。炭素税（又は排出権のオークション）収入のリサイクルは気候政策のコストを大きく減じるが、経験的な文献によると収入を一括して移転するより、減税で税制の歪みを正す方が効果的である（「二重の配当」）。

気候変動政策事前コストは通常3種類の表現を取る。限界削減費用、マクロ経済のコストとしてシナリオ間でのGDPの変化、福祉水準の評価として生産者及び消費者の余剰の合計の減少である。通常、モデル研究ではマクロ経済のコストとしてGDPの変化が使用されるが、環境への影響を取り入れてないため福祉水準の指標としては使用できない問題がある。GDPの量的減少だけでなく、消費の組合わせを変えなければいけないことによる効用減も削減のコストと考えられるため、理論的にはヒックス的な均衡における福祉を測定するべきであるが、そのような基準を用いた研究は少ない。

実際のEU ETSの価格は、燃料価格、気象状況などのファンダメンタルとパイロット期間の政策それ自体を反映して不安定であった。枠組が参加者に与えた影響をミクロレベルで測定した研究は少なく、Sijm et al., (2006)はドイツとオランダで電力の機会費用の転嫁率が60~100%とした。Zachmann and von Hirschhausen (2008)はドイツで取引価格が電力の将来価格に非対称に転嫁された、つまり排出権の取引価格の上昇がその下落以上に反映されたことを示した。Anger and Oberndorfer (2008)は企業レベルのデータを用い、EU ETSはドイツにおける企業の収入と雇用に大きな影響が無かったことを見出した。Hoffmann (2007)はEU ETSのドイツの電力部門の企業の投資決定への影響を分析して、EU ETSの参加企業は、排出権価格の包摂を短期で小規模な投資の決定についてのみ行っており、長期かつ大規模な投資への影響は限られていると結論した。Oberndorfer (2008)は排出権価格の上昇（下落）はEU ETSの大手電力企業の株式の利益率に正（負）の影響を及ぼすとした。マクロレベルの研究では、Baron et al.(2008)がいくつかのセクターの競争力を分析し、セメントと鉄鋼について、2005年から2006年にかけてEU ETSの影響は見られないが、長期には投資や生産能力を引き下げる効果があるかもしれないとしている。

コストを事前に評価した初期の複数の研究では、EU ETSに焦点を当て、EU全体での排出権取引が国内で削減を行うより優れているとの結果を得ている。JIやCDMを視野に入れた研究では、これらの手段に制限を設けない方が費用がかからず、大きな利益をもたらすとのメッセージが出されている。後年の研究では、効率性と並行して衡平性も強調されている。

事前の限界削減費用の評価を、物価指数と為替レートによって2005年価格に直すと、0ユーロから159ユーロの間に分布する。代表的なサンプルでの平均値は47ユーロであり、パイロ

ット期間中の実際の EU ETS の価格の遙か上になる。ベースライン、期間、仮定などの異なったモデルを比較できるようにする簡単な修正法は存在しないため、予測された排出削減の総コストを直接比較することはできないが、Ellerman et al.,(2005)のように総コストと総削減量を二次元にプロットすることによって意味のある比較が可能である。その結果、総削減量は 3.33 ~ 11.82 億トン間にあり、コストは 77 から 554 億ユーロの間となった。平均コストはトン当たり最大 80 ユーロ、最小では 21 ユーロである。コストとして福祉水準の変化を用いた研究は少ないが、BAU の水準に比べて-0.1 パーセントから-3 パーセントの範囲となっている。

これらの違いが生ずる原因のうち、ベースラインの違いについては、政策のない場合に急速な排出増が見込まれるモデルほど必要な削減量が多くなる。また、モデルの性質については、平均コストで見ると部分均衡モデルは一般均衡モデルの 2.6 分の一であるが、限界削減費用ではそのような明確な関係は見られない。もっとも重要な仮定の一つは、技術変化のモデル化であり、技術変化は経済的状況に迫られてもたらされるという幅広い合意にもかかわらず、多くのモデルは技術変化を外生的に扱っている。その理由の一つはおそらく、ここで見るモデルが短期のものだからである。

しかしながら、モデルの性質にかかわらず、極めて低いコスト推計を行ったモデルがいくつかあり、コスト推計の違いの全てがモデルの構造によるものではないことを示している。これは、政策のモデル化が同様に重要であることを暗示している。実際、2005-2007 年の排出権価格は、ファンダメンタルズよりも政策決定プロセスによって動いている。

結論として、モデルの選択は、まずその研究の目的によるが、気候変動政策のコスト推計を完全に理解し、その結果を政策決定者に伝えるには、部分及び一般均衡両方の分析が必要である。地域と部門の分割の程度は重要な面であり、分割の程度が高い方が、包括的で信用できるコストの推計を提供する。現実に展開する政策の予測は信頼できるコストの予測をもたらす。経済や政策の環境が急激に変化する中では、長期よりも短期の環境政策の影響をシミュレートする方が建設的であるが、多くのモデルはこの機能を有していないため、政策決定というよりは政策ガイダンスの道具として用いられるべきである。

#### 参考文献：

Anger, N. & Oberndorfer, U. (2008) Firm performance and employment in the EU emissions trading scheme: An empirical assessment for Germany. *Energy Policy* 36, 12-22.

Barker, T., Kohler, J. & Villena, M. (2002) The Costs of Greenhouse Gas Abatement: A Meta-analysis of Post-SRES Mitigation Scenarios. *Environmental Economics and Policy Studies*, 5, 135-166.

Barker, T., Qureshi, M. S. & Kohler, J. (2006) The Costs of Greenhouse Gas Mitigation with Induced Technological Change: A Meta-Analysis of Estimates in the Literature. Tyndall Centre for Climate Change Research.

Baron, R., Lacombe, R., Quirion, P., Reinaud, J., Walker, N. & Trotignon, R. (2008) Competitiveness under the EU Emissions Trading Scheme: Working draft - subject to revision. DO NOT QUOTE

Dannenberg, A., Mennel, T. & Moslener, U. (2007) What Does Europe Pay for Clean Energy? A Review

of Macroeconomic Simulation Studies. ZEW - Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung / Center for European Economic Research.

Ellerman, A. D., Joskow, P. L., Schmalensee, R., Montero, J. P. & Bailey, E. M. (2005) Markets for Clean Air: the U.S. Acid Rain Program, New York, Cambridge University Press.

Fischer, C. & Morgenstern, R. D. (2005) Carbon Abatement Costs: Why the Wide Range of Estimates? Washington, D.C., Resources For the Future.

Oberndorfer, U. (May 2008) EU Emission Allowances and the Stock Market: Evidence from the Electricity Industry ZEW - Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung / Center for European Economic Research.

Oberndorfer, U. & Rennings, K. (2007) Costs and competitiveness effects of the European Union emissions trading scheme. European Environment, 17, 1-17.

Repetto, R. & Austin, D. (1997) The Costs of Climate Protection: A Guide for the Perplexed. Washington, D.C., World Resource Institute.

Sijm, J., Neuhoff, K. & Chen, Y. (2006) CO<sub>2</sub> cost pass-through and windfall profits in the power sector. Climate Policy, 6, 49-72.

Zachmann, G. & von Hirschhausen, C. (2008) First Evidence of Asymmetric Cost Pass-Through of EU Emissions Allowances: Examining Wholesale Electricity Prices in Germany. Economic Letters, 99, 465-469.

“CARBON CAPTURE AND STORAGE IN EUROPE - A PRIORITY FOR INNOVATION AND COMMERCIALISATION”

2005年に公表された IPCC の CCS についての特別レポートによると、発電に関する大規模（0.1Gt 以上）排出源は、排出源の半分以上、排出の 75%以上を占めており、これらの排出源は CCS の候補である。他の手法と比しても CCS による削減可能性は大きい。また、CO<sub>2</sub> の限界価格は 2020 年以降上昇することが見込まれるが、現在の EU ETS 価格は 20 ユーロを軽く下回っているため、削減のためには政策手段が必要となる。

2000 年以降、石炭の消費は他の燃料よりも伸びており、今後毎年 2%ずつ増加し、その需要の 97%が非 OECD 諸国から来ると考えられる。石炭火力発電所は今日、世界で 1000GW の発電を行っており 4Gt の CO<sub>2</sub> を排出している。2030 年には 1400GW になると見込まれる。3 分の 2 は 20 年以上経っており、平均効率は 29%である。これを効率 45%の近代的技術で置き換えると、排出は 1.4Gt 減少する。平均効率は 2006 年の 34%から 2015 年には 36%、2030 年には 38%に上昇すると見込まれている。原子力や再生可能エネルギーなどの代替手段もあり、水力や風力などの再生可能エネルギーによる発電量は、2006 年に全体の 18%だったのが 2030 年には 23%になると見込まれるが、それぞれ地政学的困難やコスト、さらなる研究開発の必要性などの問題を抱えている。累積した CO<sub>2</sub> の削減にもっとも貢献し得るのは化石燃料と電力のエンドユース効率の改善ではあるが CCS にも一定のポテンシャルが存在する。

CCS には、二酸化炭素の回収、輸送、貯留などの段階がある。回収には、燃焼前回収、燃焼後回収、酸素燃料回収などの方法があり、燃焼後回収はいくつかの条件の下では経済的に可能であり、天然ガス産業では成熟技術として運用されている。燃焼前回収に要求される技術は肥料や水素の生成に用いられている。燃焼後回収に比べて最初の燃料変換ステップが面倒でコストがかかるが、ガスの中の CO<sub>2</sub> 密度が高く、高圧のため分離が容易である。酸素燃料回収はデモンストレーションの段階で、純粋酸素を用いる。これは密度の高い CO<sub>2</sub> を得ることができ、分離も容易だが、空気から酸素を得るためのエネルギーを要する。CO<sub>2</sub> の輸送は成熟技術であり、米国には現在毎年 40 メガトンの CO<sub>2</sub> を運ぶ 2,500km のパイプラインが存在する。また、海上輸送も可能であり、1,000km 以上の距離やオフショアに運ぶには適切な手段である。貯留にはいくつかの方法がある。塩水帯水層への貯留は十分深い地層の岩石の下に封じ込めるものである。CO<sub>2</sub> 貯留を石油や炭層ガスの増進回収に用いることは現在行われていて、さらに開発中である。海中貯留、金属酸化物との反応や CO<sub>2</sub> の産業利用は潜在的な可能性にとどまっている。重要な問題は、異なった段階でのコストである。各局面でもっともコストがかかるのは回収段階であり、CCS が市場で普及するのはこのハードルを越えなければならない。カナダでは増進回収があれば CCS の技術は経済的に可能であると認められ、ノルウェーでは炭素税によってオフショア貯留が可能となっている。これらは今の所石炭火力発電とは組み合わせられていない。

CCS を発電と組み合わせた場合、回収に伴う余分なエネルギーが必要となる。その増加量は、粉炭で 24～40%、NGCC や IGCC でもそれぞれ 11～22%、14～24%に上る。ただし、貯留まで考えると、二酸化炭素をどのように扱うかが大きく影響してくる。CO<sub>2</sub> を増進回収に用いれば、経済的な可能性を強化し、この場合だけ、炭素に価格がつかなくても経済的利益を得ることができる。また、どの方法によっても削減費用の幅の下限は、EU ETS の価格から見て不当な金額ではない。CCS に関しては漏出の問題が不確定要素の一つだが、毎年数%までの漏出であれば、CCS は価値があると見られる。真のハードルは世間の感じ方と政治的な含意である。

CCS と環境政策との関係で言えば、市場の失敗がある場合に補助金によって社会的に望ましい結果を導くことは可能であるが、EU の財政上の制約によりこの選択肢は限られている。また、大規模排出源に CCS を義務づけることも可能であるが、政治的考慮と不確定でおそらく高いコストのため短期的な見込みは少なく、規制環境の不確定さが少なくなる将来の検討課題ではある。実際の所、CCS の開発の主な障碍は、現在の EU ETS にそのインセンティブがないことである。

欧州は、ロシアからの天然ガス供給が示した地政学的状況により、環境的、商業的に可能であれば石炭発電を増やしたいと考えている。北海の塩水帯水層には CCS の大きな可能性がある。EU の CCS 回収についての主な問題は、技術のコストと新しさである。貯留場所への輸送も、現在の所その特別な手段がないため問題となっている。しかし、現存の石油やガスのパイプラインが使用可能と思われるので、CO<sub>2</sub> を十分脱水できればこの問題は克服できる。もっとも不確実なのは貯留であり、今後の研究と分析が必要とされる。EU は最近ロンドン議定書と OSPAR の改定に際して法制上の曖昧さを解消し、国際水域の下への CO<sub>2</sub> の貯留を認めた。2009



年の1月23日にはEU ETSがCCSの採用を支援するように改定され、オークション収入をCCSのデモ・プロジェクトの補助に使用する制度が導入された。EU ETSは排出枠のオークション比率を2013年の50%から徐々に引き上げて行く方針であり、その最大50%がCCSを含む気候変動対策に使用されることになっており、CCSに使用され得る金額は推計で2020年において40億ユーロに上る。

CCSが現在のハードルを越えて確立された技術となるためには、その技術が実証され、規制環境が明確になることが重要である。EUはこのために、EU ETSを改定し、オークションを強化しCCSの実証のための資金供給を行い、また、ゼロ・エミッション化石燃料発電所の実現のために欧州技術プラットフォームのようなNGO組織を設立した。IEAはCCSをCDMとして認めることを提唱している。欧州は潜在的に世界で必要な技術分野での知識のリーダーたる位置にあり、これはポーター仮説(Porter and van der Linde, 1995)に乗っ取った大規模な実験である。この実験が成功すれば、欧州企業は先行者利益を得るであろう。そこで問題になるのは、BRICS諸国が技術を購入するか、先進国の責任を主張して無償供与を要求するかである。

日本の政策プロセスへの提言としてEU ETSでは、EUの市場はすべての技術に開かれていて、特定の技術を義務づけることは認められていないことがある。学習効果とネットワーク効果により欧州では多くの無形資産が得られるであろう。日本の企業がパイロット期間のプロジェクトに参加するのは意義がある。日本が国内の排出量取引制度を形作る際に、他の取引制度とリンクできるようにすることは重要である。また、中国やインドを含むより広い地球規模のセクター別政策にCCSを統合する機会があるだろうし、ここは日本がリードしている領域である。

#### TRANSACTION COSTS OF FIRMS IN THE EU ETS - IRISH CASE STUDY

排出権取引はもっとも削減費用の少ない所で削減が行われ、効率的な均衡は初期配分とは無関係であるとされる(Montgomery, 1972)一方で、取引コストの存在がその利点を減殺するとの議論も存在する(Stavins, 1995)。Tietenberg (2006)は排出量取引のコスト効率性を事後的に完全に評価するためには、コンプライアンスの総コスト、すなわち削減、取引、管理の総計を対象とする必要があるとする。米国の鉛取引プログラムの経験的分析(Kerr and Maré, 1998)では、取引コストに伴う効率の低下が10~20%存在することが見出されている。Gangadharan (2000)によれば、クリーンエア・インセンティブ地域市場(カリフォルニア州)に参加するかどうか選択する上で取引コストの存在は重要で、コストがなければ取引の可能性は12~32%増加したと見られる。

企業にとってのコストには一回限りのものもあるが、モニタリング、報告と確認(MRV)のコストは継続するコストである。取引に伴うコストは変化し、取引の数と量に依存する。今までの経験的な分析は米国の取引制度についての者で、EU ETSのMRVと取引に関する研究は存在しなかった。この調査はこの溝を埋めることを目的とし、EU ETSの試行期間(2005~2007)の枠組に参加した全てのアイルランドの会社を対象としている。

OECD(2001)では取引コストを「情報収集、決定と契約、コントロールと政策決定のコスト」

としており、ここではこれに従う。環境政策によって作られる取引コストを概念化した研究は少なく、McCann et al. (2005)は取引コストは取引そのものよりもエージェントと時間に依存するとしているが、Rao (2003)では他の政策と共通していない取引の要素を考慮すれば十分であるとしており、ここでは後者に従う。前述のように Stavins (1995)は取引コストの存在下では市場均衡は初期配分に依存するとするが、そうだとしたとしても特定の技術基準を強制するよりもコストが小さいとする。Betz (2005)や Woerdman (2001)は公害の取引と JI や CDM のコストを比較し、後者のコストが必ずしも高いとは限らないとしている。

取引制度に関する事後の研究ではコストを無視するか不完全にしか評価しないことが多いが、過去の取引制度のコストに関する研究として、Hahn and Hester (1989)はウィスコンシン州のフォックス川スキームに関して、取引が一つしか行われなかったことの考察を行っている。英国の排出量取引制度は世界で最初の全経済的な温室効果ガスの取引制度であったが、その参加者によれば MRV の手続きのコストがもっとも時間を食うもので、仲買人が最低料金を設定したため少量の取引が事実上できなくなったこともあった(ENVIROS, 2006)。

取引コストは3つのカテゴリーに分類される。(1)初期の実施コスト(2005年1月1日以前に被ったコスト)、(2)毎年のMRVコスト、(3)売買コストで、(1)と(2)は枠組に加わる全企業に関連し、(3)は取引に参加する企業にのみ係わる。(1)はほぼ固定費用であり、(2)は毎期のコストであるので、変数は(3)のみである。

この調査は2段階からなる。(1)郵送調査と(2)対面インタビューである。(1)はEU ETSの対象である72企業の106施設に送られ、27企業から返送された(回答率約40%、排出権の70%)。これは、排出権の規模によって3つのカテゴリーに分けられ、規模とセクターで層化して(2)に臨んだ。

初期の実施コストについては、総額については大規模企業が中規模企業の10倍、小規模企業の30倍と大きいですが、排出トン数当たりになると逆転して小規模企業について著しく大きく、大規模企業の17倍になっている。この結果は他の研究と整合的である。また、規模により費用構成が異なり、大規模企業では資本コストが大きいのに対し、小規模及び中規模企業では内部のマネージメントや訓練のコストが資本コストとコンサルタントのコストの合計より大きい。

MRVコストについては、複数の排出源を持つ大規模企業では、モニターに要するコストが比較的高い。また、初期の実施コストと同様に実額は大規模企業で大きいですが、排出トン当たりでは逆転し、中規模や小規模の企業で著しく大きい。

売買コストは売買された排出権の量により変化する。売買の方法を理解していなかったり、排出権が余っているにもかかわらず排出しない参加者の存在が欧州排出権市場の流動性を損ねているとされている。また、割当ての小さい参加者にとって、仲介手数料が高すぎたことが売買数量に敷居を設けた懸念がある。回答した27企業の内、11企業は第1ステージで何らかの排出権売買を行った。6企業が売り、5企業が買っているが買った5企業の内3企業は最終的に余っている。残りの16企業は売りも買いもせず、うち7企業は期末に相当の余剰を抱えていた。この16企業にはなぜ市場に参加しなかったのか質問され、余剰を抱えた7企業を含

む 14 企業が参加しないで目標が達成できたからと回答した。削減が排出権の購入より安かったとか売買が高すぎたと回答した者はなく、取引コストが売買を妨げるとした者もなかった。また、追加配分が不明だったとした 1 企業を除き、余剰が明らかになった時の排出権価格が安すぎたとコメントした。

売買を行った 11 企業はどこに行ったかを尋ねられた。4 企業は同じグループの 아일랜드 企業と行ったと回答し、1 企業は同じグループの国内及び海外の企業と行ったとした。超過達成した他の 1 企業は、グループ内企業と金融機関の双方と取引した。他の 5 企業（うち 2 企業が超過達成）は金融機関と売買を行った。

7 企業は直接取引を行い、他の 4 企業は仲介人を通して行った。

これらの企業に対する分析から、売買に関する取引コストは取引を行うかどうかの決定に寄与していないと結論した。排出枠を目標達成のみに用いるとの決定、或いは排出権価格が低いことが余剰を売却しなかった主な要因と思われる。

この研究は取引コストへの包括的なアプローチの重要性を示している。EU ETS は異質な参加者を含んでおり、小規模施設が大企業と同等の能力を持っているかどうか疑問がある。小規模企業にとっては取引コストが大きすぎるとの懸念は欧州委員会によっても表明されている。コストの分布を見ると、実額では大規模企業のコストが高いが、トン当たりでは小規模の参加者にとってははるかに高くなっており、内訳を見ると大規模企業にとっては初期のコストが高いが、中規模と小規模企業にとっては毎年の MRV が問題となっている。

排出 1 トン当たりの平均費用についての結果は、価格を見出して売買するコストは無視しうる。全企業にとっての立ち上げと MRV についてのコストは 1 トン当たり 0.08 ユーロであり、2009 年 1 月 23 日時点の排出権価格の 1% より小さい。排出量の半分以上を占める大規模企業にとっては、更に小さく 0.05 ユーロほどである。しかしながら排出シェアの極めて小さい小規模企業にとっては、2.02 ユーロとなり、排出権価格の 18% にも上る。結論としては、全体での取引費用は極めて小さく効率に影響を及ぼさないが、小規模企業については、そうは言えない。小規模企業の取引コストを下げる手っ取り早い方法は、枠組から外すことであるが、欧州委員会はこのことは「EU 全体の削減に貢献しなくて良いと言うことではなく、より効率的な他の方法で同じ目的を保障することを意味する。」としている。

税と排出量取引の議論については、炭素税もまた同じレベルの MRV コストと同様の初期コストを要するため、炭素税がよりよいとの仮説は支持されなかった。

#### 参考文献：

Betz, R. (2005) Emissions Trading to Combat Climate Change: The Impact of Scheme Design on Transaction costs Academic Conference in Association with UK Energy Research Centre, St John's College Oxford British Institute of Energy Economics (BIEE).

Enviros (2006) Appraisal of Years 1-4 of the UK Emissions Trading Scheme. Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA).

Gangadharan, L. (2000) Transaction Costs in Pollution Markets: An Empirical Study. Land Economics,

76, 601-614.

Hahn, R. W. & Hester, G. L. (1989) Marketable Permits: Lessons for Theory and Practice. *Ecology Law Quarterly*, 16, 361-406.

Mccann, L., Colby, B., Easter, W., Kasterine, A. & Kuperan, K. V. (2005) Transaction Cost Measurement for Evaluating Environmental Policies. *Ecological Economics*, 52, 527-542.

Montgomery, W. (1972) Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs. *Journal of Economic Theory*, 5, 395-418.

OECD (2001) Transaction Costs and Multifunctionality Main Issues, OECD Analytical Framework Guiding Policy Design. Working Paper.

Rao, P. K. (2003) *The Economics of Transaction Costs: Theory, Methods and Applications*, New York, Palgrave Macmillan.

Stavins, R. N. (1995) Transaction Costs and Tradeable Permits. *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, 133-148.

Tietenberg, T. H. (2006) *Emissions trading: principles and practice*, Washington, DC, USA, Resources for the Future.

Kerr, S. & Mare, D. C. (1998) *Transaction Costs and Tradable Permit Markets: The United States Lead Phasedown* Motu Economic and Public Policy Research draft manuscript. Wellington, Motu Economic and Public Policy Research

Woerdman, E. (2001) Emissions trading and transaction costs: analysing the flaws in the discussion. *Ecological Economics*, 38, 293-304.

#### “RESPONSE BY INDUSTRY TO THE EU ETS – IRELAND CASE STUDY”

アイルランドの企業に郵送で、CO<sub>2</sub> の価格が技術変化のさまざまな構成要素に係わる行動にどのように影響したか直接尋ね、対面調査で特に興味深い点をフォローアップした。総排出権の70%に当たる30企業が回答した。アイルランドはEU経済の代表的標本ではないが、排出取引を行う部門構成は大まかにEUに比例しており、不適切とは言えない。

注意すべき点は、EU ETSの期間にエネルギー価格の上昇が起こっており、回答者ははっきりとEU ETSではなくエネルギー価格に対して行動しているとしていることである。パイロット期間の石油価格は先行する15年間より明らかに高く、CO<sub>2</sub>の削減とエネルギー・コストの節約を見分けることは困難である。

機械と装置については、半分はEU ETSを理由として新たな機械や装置を導入していないとしているが、43%が直接のエネルギー消費や燃焼からの排出を減らす新たな装置を導入したとしている。しかしながら60%は排出権価格は投資の主な原動力ではないとしている。

製造（処理）過程と行動については、53%が直接のエネルギー使用や燃焼からの排出を減らしたとしているが、エネルギー価格が主な要因と思われる。

燃料の変更については、50%が行っていないとしており、67%は燃料の選択はCO<sub>2</sub>価格の上

下に影響されないとしているが、CO2 価格の動きが燃料の変更に影響したと回答した者も 20% いる。

排出の削減をこれらの分野のどれに割り当てるかを問うた所、14%は変えないと答えたが、総削減の 11%が機械と装置に、32%が製造（処理）過程と行動に、24%が燃料の変更に当てられた。

研究開発投資については 43%が特にしないとしたが、何らかの投資を行うとした者が半分以上に上り、内部の研究開発が 33%であった。投資を行わないとした企業の 20%は排出権価格の不確実性を理由に挙げた。

EU ETS と将来構想について尋ねたところ、37%は達成のためにもっともコスト効率的な選択肢を決定するための評価を行ったとしたが、57%は事前に何も行わなかったとした。かなりの割合が短期、長期それぞれの資本投資の変更はないとしたが（33%と 40%）、20%は若干の短期投資の変更を行い、長期の投資については若干あるいはかなりの変更を行った者がそれぞれ 23%、20%となった。

EU ETS の効果についての質問では、競争力についての懸念は当てはまらなかった。40%は最終利益に影響がないとし、財政的な効率に若干あるいはかなりの正の影響を及ぼしたとした者がそれぞれ 30%、13%に上った。これはポーター仮説の証拠ではなく、割当てが過剰だったことのためと思われる。

以上の調査をふまえて、本論文では日本の政策及び排出権取引を評価するモデルについての提言を行っている。

提言の内容は、排出量取引を導入する場合には、

- 排出量を不足気味にし、抵抗はあくまでも排除すること。
- なるべく包括的にすること（部門を限る欧州のやり方は効率が悪い）。
- 制度の構造は単純にして新規参入者のための留保は行わないこと。
- 取引期間は長期にすること（3 年では短い）。
- 少なくとも公共事業部門の排出量のいくらかはオークションにかけ、収入を公益に使うこと。
- 大企業にとっての取引コストは非常に小さいと考えられる一方、零細業者については相対的にコストが高くなるのでは除外することが適当である。
- 炭素価格に応じて行動を起こす企業があるかもしれず、それはエネルギー価格が上昇すると増大する。

ETS 導入を評価するモデルについては、

- 前提を明確にすること（前提が”finding”の大部分を説明してしまう）。
- 現実の政策になるべく近いものとする。
- キャップとその範囲が主要な決定変数である。

とされている。

### 参考 3

#### 多地域動学的 CGE モデルの構造

モデルのタイプ：フル・ダイナミック型多地域 CGE モデル

代替性：投入要素間等は CES 型、輸入財と国産財の間にはアーミントン仮定を置く。

資本、労働：産業間では移動が自由、地域間では移動不可。

部門数：10 産業

地域数：10 地域

使用言語、サブルーチン、ソルバー等：GAMS/MPSGE/MCP

産業部門：COL（石炭） OIL（石油） P\_C(石油石炭製品)、GAS（天然ガス） ELY（電力）  
AGR（農業） I\_S（鉄鋼） MFG（製造業） TRN（運輸） SRV（サービス業）

地域分割：、CHN（中国） JPN（日本） IND（インド） USA（米国） RUS（ロシア及び周  
辺国） EAS（東・東南アジア） BRZ（ブラジル） CANZ（カナダ、豪州、ニュージーラン  
ド） EU（欧州諸国） ROW（その他）

生産構造：CES 型の生産関数で示される以下の構造を GAMS から呼び出される MPSGE のサブ  
ルーチンに記述。()内の数値及び変数は代替の弾力性を表す。

供給（国産財）Y-(0)┐ YFA（エネルギー以外）  
└.....  
└(0.1)┐ YFA（エネルギー）  
└.....  
└S-(vae)┐ 土地、資源  
└F-(vae)┐ 資本、労働

アーミントン混合財 YFA（化石燃料以外）-(esubd)┐ 国産財 Y  
└輸入財 M

アーミントン混合財 YFA（化石燃料）-(esubd)┐ 国産燃料 DFE  
└輸入燃料 MFE

国産燃料 DFE-(0) 国産財 Y (化石燃料)  
 ↳CO2

輸入燃料 MFE-(0) 輸入財 M (化石燃料)  
 ↳CO2

政府需要 G-(0) GA  
 ↳.....

アーミントン混合財 GA-(esubd) 国産財 Y  
 ↳輸入財 M

輸入財 M-(esubm) 輸入元各国の Y  
 ↳運輸サービス T

各地域の労働力の伸び率（効率改善を含む）：毎年以下のとおりとし、GAMS に記述。

	JPN	CHN	EAS	IND	BRZ	USA	CANZ	EU	RUS	ROW
2000	2.0	8.0	3.0	4.0	3.0	2.0	2.0	2.0	3.0	4.0
2010	2.0	6.0	3.0	4.0	3.0	2.0	2.0	2.0	3.0	4.0
2020	2.0	4.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0
2030	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0
2040	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
2050	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0