

New ESRI Working Paper Series No.8

気候変動の経済的議論をめぐるサーベイ
気候変動に関する政府間パネル(IPCC)
第4次評価報告書(AR4)前後の動向

by

坂下信之

March 2009



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

新E S R Iワーキング・ペーパー・シリーズは、内閣府経済社会総合研究所の研究者および外部研究者によってとりまとめられた研究試論です。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。

論文は、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、研究試論という性格上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)

気候変動の経済的議論をめぐるサーベイ

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次評価報告書(AR4)前後の動向¹

2009年3月

内閣府経済社会総合研究所

上席主任研究官 坂下信之

はじめに

今日の気候変動に関する国際的な議論は、国際的枠組の効率性と衡平性への効果を巡る衝突に占められている²が、これは気候変動に関する地球環境問題が基本的に市場の失敗に起因する経済問題であることを示している。

1980年代後半から認識されるようになった地球温暖化問題は、「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)の設立(1988)、「気候変動に関する国際連合枠組条約」(UNFCCC,FCCC)の発効(1994)、第三回締約国会議(COP3)における「京都議定書」の採択(1997)、発効(2005)といった過程を経て、2008年から京都議定書の対象期間に入り、温室効果ガス排出の具体的な削減が求められることとなった。この間、欧州連合(EU)はEU域内排出権取引制度(EU-ETS)を導入して対象施設への排出枠と排出権取引の制度を設けて削減に取り込んでおり、我が国でも政府や経団連が削減目標を掲げる一方で、「美しい星(Cool Earth)50」や「クールアース推進構想」を発表している。しかしながら、我が国では、京都議定書の実現方法について国内に明確な合意が無く、京都議定書の対象期間である2013年以降の枠組についても世界的な議論を今後どのように進めていくのかが不透明なのが実情である。

我が国の温暖化対策に関する研究がIPCC等への貢献という面では高く評価されているものの、具体的な政策への反映としては、環境保護派と産業重視派それぞれの立ち位置を俯瞰した合意の形成に結びついていない現状がこの状況に密接に関連していると考えられ、その背景としては、世界的な研究の動向が十分取り入れられていない可能性が考えられる。

このため、本稿では、気候変動の経済的議論に関して、特に削減のポテンシャルについてのモデル分析、削減のための政策手段、国際的合意の枠組みに関するものについて「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」の第4次評価報告書(AR4)前後に発表された研究のサーベイを行い、国際的な研究の現状の見取り図を作成することを試みた。結果は、当研究所の研究のための地図として用いるとともに、他の研究の一助となれば幸いである。

1. 気候変動をめぐる現状と課題

1.1. 現状

¹ 本稿を作成するに当たって御指導、御協力頂いた内閣府経済社会総合研究所(ESRI)客員主任研究官の加藤裕己東京経済大学教授、伴金美大阪大学大学院教授、客員研究官の山本芳華摂南大学准教授、また同じくESRIの広瀬哲樹前次長、杉田伸樹総括政策研究官に感謝の意を表したい。また、本稿の中で意見にわたる部分はあくまでも筆者個人の見解である。

² Carraro and Egenhofer (2003) 序文。

2008年から「気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書」(京都議定書)の約束期間に入る中、近年気候変動を巡っていくつかの動きが見られる。

(「スターン・レビュー」の指摘とその背景)

英国の財務大臣の諮問に答えて2006年10月に発表されたいわゆる「スターン・レビュー」では、気候変動に対する強固かつ早期の対策を行うことによる便益は、そのコストを上回ると指摘した³。英国の政策担当者が気候変動の問題に対して本気を示している背景には、気候変動による地球温暖化を論ずるのに、科学的認識を問う時期は既に過ぎており、具体的な影響とその対応を考えるべき時に来ているとの認識があると見られている⁴。

(UNFCCC及び京都議定書)

気候変動枠組条約(UNFCCC)及び京都議定書関連についての動きとして、議定書の第9条に基づく見直し⁵の検討が2006年11月の第2回締約国会合(COP/MOP2)で開始され、2008年12月のCOP/MOP4で第2回目の見直しが行われる予定となっている。また、2007年12月の第13回締約国会議(COP13)で採択された「バリ・ロードマップ」によってUNFCCCに設置された長期的協力のための新たな作業部会の作業は2009年までに終了し、2009年のCOP15で報告・採択される予定となっている。

1.2. 課題

このような背景を考慮すると、気候変動を巡って大きく3つの課題があると考えられる。まず、京都議定書は最大の排出国である米国が批准していないほか、中国やインドなどの途上国に削減義務が課せられていず、部分的な目標に留まっており、これらの主要な排出国も参加する長期的な合意作りが急務とされていること。また、具体的な長期目標として、世界全体で2050年頃に半減するとの合意が形成されつつあるが、そのためには2020年頃に排出量のピークアウトが必要と考えられ、具体的な方策を検討すべき時期に来ていること。最後に、国内制度の問題として、経済合理性に基づく国内措置、具体的には、コストの転嫁方法、排出削減を行わない国からの輸入品に対する国境措置の是非、国全体のキャップ等などを検討する必要があることである。

ここではこのような課題に対する意識のもとに、気候変動に関する研究の現状を検討し、課題を抽出する。

2. 削減目標と削減のポテンシャル

2.1. IPCC第4次評価報告書(AR4)の特色

³ HM Treasury (2007)。

⁴ 国立環境研究所(2007)。

⁵ UNFCCC及び議定書のレビューにはいくつかのレベルがあり、議定書3条9項が先進国(UNFCCCの附属書I国)のポスト京都期間における約束のための協議に関するものであるのに対し、9条は議定書そのものの(途上国を含む)見直しを規定している。

(人間活動、温室効果ガスと温暖化)

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、2007年の2月から11月にかけて、第4次評価報告書(AR4)を公表し、その中で「20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性がかなり高い。」としている⁶。この表現は9割の確実性を表すものとされ⁷、第3次評価報告書(TAR)で同様の可能性が「高い」(66~90%の確実性)とされた⁸のと比べても上昇している。少なくともIPCCでは人間活動による温室効果ガスの増加によって温暖化がもたらされていることが科学的知見としてほぼ確実視されたと見ることができる。

(長期目標とピークアウト)

また、AR4では、温室効果ガスの排出削減を扱った多数のシナリオ分析をレビューし、産業革命期からの気温の上昇を長期的に最低で2度程度に抑える可能性を示している⁹。

このような背景もあって、最近の議論では、産業革命期からの気温上昇を2度程度に抑えるため、2050年頃の排出量の約半減を目指すものが中心となっているが、IPCCのレビューしたシナリオによると、このためには2015年頃までに世界の排出量の増加を反転させる必要がある。

2.2. 排出削減の究極目標に関する議論の現状

究極目標についての費用便益分析の観点からの古典的な議論については、その結論が割引率の設定によって大きく影響されるため、議論の主要な部分は割引率を巡るものとなっている。Weitzman(2001)、Dasgupta(2008)、Gollier(2007)などは将来世代に対し低い(場合によっては負の)割引率を適用することを主張している。具体的には、Weitzman(2001)は将来の利子率の不確実性に関する考察から、超短期(1~5年)の4%から超長期(300年以上)の0%まで時間と共に減少する割引率¹⁰を提唱しており、Dasgupta(2008)も将来の不確実性と、経済が縮小する可能性から割引率が負になることもあり得ることを指摘し、Gollier(2007)は割引率の時間的構造が将来の消費の不確実性の見通しに依存するとの考察から、短期では4%、400年を超える長期では1~2%の割引率を使用することを提案している。

Copenhagen Consensus(Cline(2004a、2004b)、Manne(2004)、Mendlesohn(2004)、Yohe et al.(2008))やStern Reviewを巡るTol(2006)、Nordhaus(2007)、Weitzman(2007)、Dasgupta(2007)などの議論も割引率及び衡平性を巡るものが中心である。これらの中で、Nordhaus(2007)は

⁶ 統合報告書「政策決定者向け要約」(平成19年11月30日付文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省仮訳)p.6。

⁷ IPCC第4次評価報告書第1作業部会(WG1)報告書「政策決定者向け要約」の気象庁による確定訳(平成19年3月20日、平成20年5月26日修正)p.3脚注6及び別紙3。

⁸ IPCC第3次評価報告書第1作業部会報告書「政策決定者向け要約」の気象庁訳pp.9-10。

⁹ 統合報告書「政策決定者向け要約」表SPM.6及び第3作業部会(WG3)報告「政策決定者向け要約」GISPRIによる暫定版仮訳より表SPM.5。

¹⁰ HM Treasury(2003)はこれを応用してプロジェクトの将来割引率を計算している。

Stern Review で用いられている割引率が通常の経済モデルで用いられているものと乖離しており、ほとんどゼロになっていることからその結論が導かれているとしており、Tol (2006)も Stern Review の割引率が HM Treasury (2003)で推奨されていたものと一致していないことを指摘している。また、Weitzman (2007)は Stern Review の極端な立場が主流の経済学に反する非伝統的な仮定によっていて説得力がないとしつつも、将来の不確実性を取り入れた分析では Stern Review の結果に近くなると指摘している。

このように、究極目標については、割引率、衡平性についての合意が得られないまま、現実の削減の必要性に関する議論が先行している状況であるが、これには前述のように具体的な対応を考えるべき時期に来ていること、価値観を含む究極目標は科学的に決められるものではないとの事情がある。

2.3. 削減のポテンシャルに関する研究

(トップダウンとボトムアップ—古典的な区別と最近の傾向)

削減のポテンシャルについての研究は、古典的にはトップダウンのものとボトムアップのものに分けられる。トップダウン、ボトムアップの用語は必ずしも厳密に定義されて用いられているものではないが、AR4 での第一義的な記述では、トップダウンの研究は、「経済全体における緩和オプションのポテンシャルを評価するもので、世界規模で一貫性を持たせた枠組を用い、緩和オプションおよびマクロ経済や市場からのフィードバックを集約する」もの、ボトムアップの研究は、「特定の技術および規制に重点をおく緩和オプションの評価を基礎とする、通常、マクロ経済に変化はないと想定する部門別の研究である」としている¹¹。

しかしながら、同報告では、最近の傾向としてトップダウンのモデルが技術の詳細を、ボトムアップの研究が価格の効果やマクロ経済のフィードバックを包接するようになってきており、伝統的な区別は不明確になっていると指摘している (WG3, 2.7.1.2)¹²。ここで参照されている Weyant (2004)は、Energy Modeling Forum (EMF)のプロジェクト EMF-19 “Alternative technology strategies for climate change policy”のレビューであり、EMF は 1974 年にエネルギー・環境問題に関する研究者間の意見交換のため、米 Stanford 大学に設置された会合で、気候変動に関するモデルのプロジェクトを進めている。

なお、AR4 以降の研究としては Böhringer and Rutherford (2008)、Sue Wing (2008)などが両者の統合を試みており、世界的にはトップダウンのモデルにおいても技術の詳細を含むことは、通例となりつつあると見られる。

(トップダウン及びボトムアップの研究例)

¹¹ WG3 「政策決定者向け要約」ボックス SPM2。両者の性格は、「トップダウンの研究は特にセクター横断的な経済全体の気候変動政策、例えば炭素税や安定化政策の評価に有用であり、ボトムアップの研究は、特にセクターレベルでの特定の政策オプション、例えばエネルギー効率を改善するためのオプションの評価に有用である。」とされている。

¹² 以下 AR4 の各報告本文についてはこのように節番号を示す。

トップダウンの研究については、AR4 では、EMF-21“Multigas mitigation and climate policy”¹³ に参加した 18 種類のモデルを始めとする研究を紹介している(WG3, 11.4.4.1, 11.4.4.2)。EMF や IMCP (後述) に参加したモデルに見る削減コストの推定は表 1 を参照。

その後、EMF にも参加している Richels et al. (2007)は CO₂ 換算濃度で 450ppm 及び 550ppm に相当する放射強制を上限とした場合をエネルギー供給部門のボトムアップ型記述を含む異時点間一般均衡モデル(MERGE)を用いて分析し、450ppm ではアメリカ合衆国の GDP ロスが 5%に上り、550ppm ではそれほどではないと算出している。また、米国エネルギー省 (DOE) の主導で作成された気候変動科学プログラム (Climate Change Science Program : CCSP) の第 2 回報告書¹⁴では、450ppm、550ppm、650ppm 及び 750ppm の 4 種類の温室効果ガス安定化シナリオを複数のモデルで評価し、全ての安定化レベルにおいて 21 世紀中に世界の排出量が頂点に達し、その後は減少し続けることが必要としている。

特定セクターについてのボトムアップの研究は無数にあるが、Pacala & Socolow (2004)¹⁵は、セクター横断的に排出削減の可能性を論じて注目されている。ここでは、温室効果ガス削減に資する既存技術を効率化、燃料代替、炭素回収・貯留(CCS)、再生可能燃料などの 15 カテゴリーに分けて示し、西暦 2050 年頃までの大気中の CO₂ 濃度の安定化はそれらの組合せで可能で、その間に研究開発を進めればそれ以降の削減も可能であるとしている。Pacala & Socolow(2004)はコストに関する分析は行わず、どのオプションを取るかは政策に任せているが、スウェーデンの電力会社 Vattenfall が 2007 年に公表した Climate Map¹⁶では、二酸化炭素削減のためのさまざまな技術の費用対効果をセクター別に詳細に分析し、2030 年頃までであれば経済的に無理の無い削減が可能と結論付けている。これらの研究から、コスト評価における不確実性は残るが、2050 年頃までに温室効果ガス削減に必要な技術は既に現存しており、その間に必要とされるのは画期的な新技術(backstop technology)の開発よりも、既存技術の適用・普及の方策やコストダウンのための研究であると考えられる。

米国エネルギー省パシフィックノースウェスト国立研究所(PNNL)の元で行われている官民プロジェクト Global Energy Technology Strategy Program (GTSP)では 2007 年までの 9 年間をかけて CCS やバイオマス等 6 種の有力な環境・エネルギー技術を調査し(Edmonds et al. (2007))、今後それらが開発・採用される時期と場所について研究を進めることとしている。

また、国際エネルギー機関(IEA)は、「エネルギー技術展望」の 2008 年版¹⁷において、ベースライン・シナリオの他 2 つのシナリオについて 17 の先進エネルギー技術普及のシナリオ分析

¹³ EMF-21 には、日本の AIM を含む 18 種類のモデルが参加し、二酸化炭素以外の温室効果ガスも含めた削減シナリオを報告しており、IPCC は、これらのモデルが異時点間最適化モデルと再帰的動学モデルに分けられると指摘している。なお、EMF はその後 IPCC の第五次評価報告に向けて EMF-22 “Climate Change Control Scenarios” で移行シナリオを議論し、EMF-24 “Climate Policy Scenarios for Stabilization and in Transition”も開始されている。

¹⁴ Clarke et al (2007)。

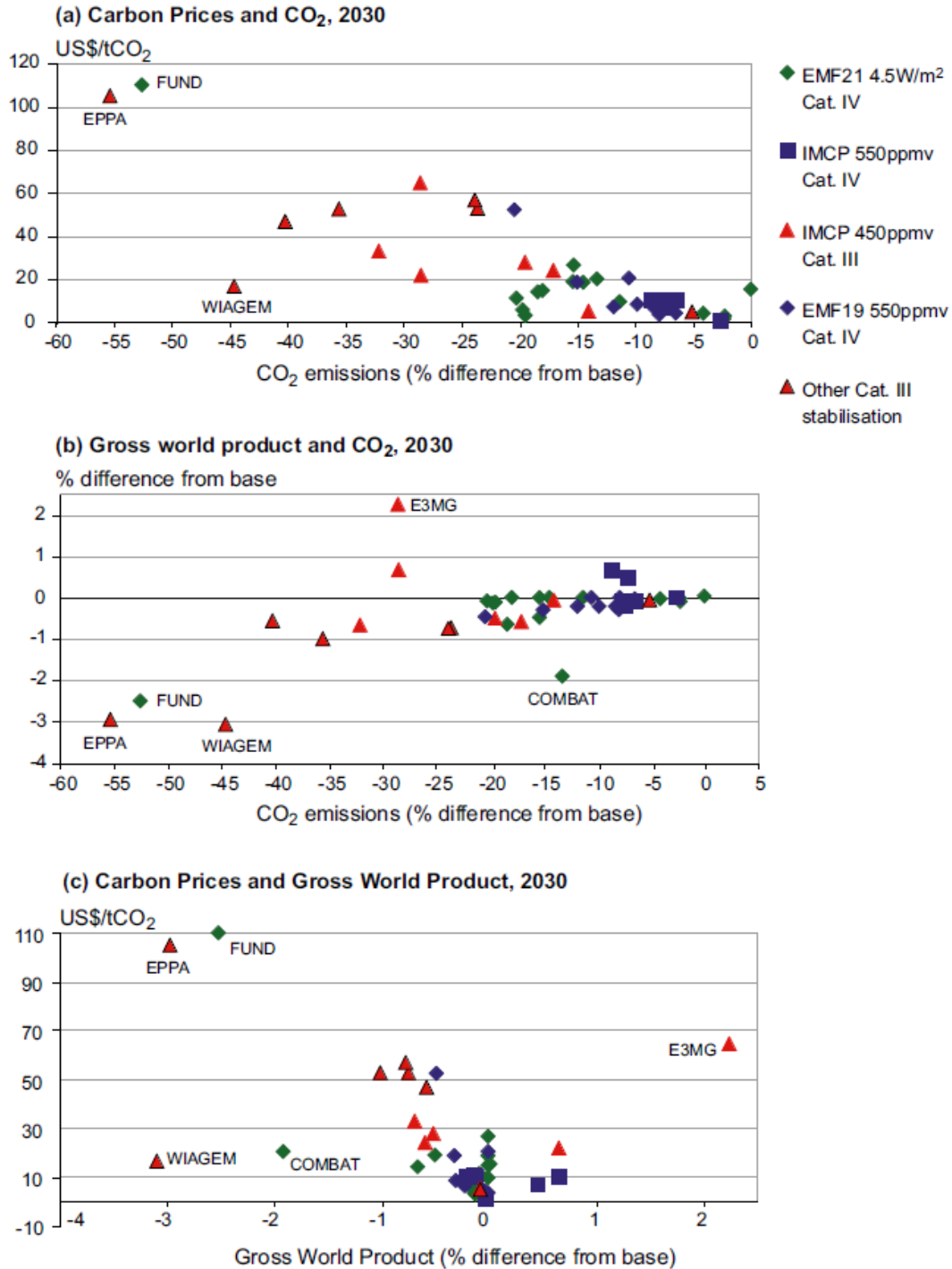
¹⁵ Pacala & Socolow (2004)は AR4 では、WG3 において技術(2.7)、政策の調整 / 調和(13.3.3.4.2)などに関連して言及されている。

¹⁶ Vattenfall (2007)。

¹⁷ IEA (2008)。

を行って必要な研究開発の投資額を推計し、セクター別に細かい指針を作成している。

図1 2030年の炭素価格と世界総生産(GWP)に見る削減コストの比較



出典：IPCC, AR4, WG3, 11.4.4.1

(トップダウンとボトムアップの比較)

AR4, WG3 の第 4 章から第 10 章まではセクターごとの削減ポテンシャルのレビューに当てられており、それを総合して第 11 章でボトムアップの研究とトップダウンの研究を比較している。そこでの知見としては、単位 CO₂ 削減量当たりのコストの上限を設けた場合の削減ポテンシャルは、no-regret オプション(コストが負になる、即ち削減効果が無くても得をする方策)がボトムアップ・モデルに存在することを除いては¹⁸、トップダウンとボトムアップのモデル間でかなり一致するものの、セクターごとに見ると、違いが生じているとしている(WG3, 11.3.2)。これは両モデルにおけるセクターの定義の違い、各セクターにおいてモデルに取り入れられる削減手段の違いから来るもので、モデルによる削減量をセクターレベルで評価する場合には、トップダウンとボトムアップの相互チェックが必要なことを示唆しているものと思われる。

2.4. 技術の取扱い(内生的技術進歩)

(内生的技術進歩のモデルへの取り込みとモデル間比較)

AR4 では、「技術」とは単に装置(device)を意味するものではなく、ハードウェア、ソフトウェアにインセンティブや普及をもたらす仕掛けまでを含むものとしている(WG3, 2.7)。また、複数のサーベイ論文やモデル間比較の研究を挙げ、TAR からの大きな進展は、多くのモデル、特にトップダウン・モデルへの内生的技術進歩の取り込みであるとしている(WG3, 11.5.1)。

異なったモデル間の比較として挙げられているのは、前出の EMF-19 のほか、Innovation modeling comparison project (IMCP)で行われた比較結果の報告(Edenhofer et al (2006))である。

IMCP は、英国ケンブリッジ大学のモデル間比較プロジェクトで、異なった安定レベル¹⁹に対する技術変化の寄与を評価している。比較の対象となったモデルは、ENTICE-BR、FEEM-RICE-SLOW、FEEM-RICE-FAST、AIM/Dynamic-Global、DEMETER-1CCS、MIND、DNE21+、GET-LFL、IMACLIM-R、E3MG の 10 種類で、その性格により表 1 のように分類され、エネルギー原単位、CO₂ 原単位、それ以外について、生産関数における代替効果、新技術(バックストップテクノロジー)の導入、学習効果(learning by doing)、知識ストックへの投資などの形で内生的技術進歩が記述されている。多くのモデルでは、削減コストを 2000-2100 の間の世界総生産の 1 パーセント以下としている一方で、炭素価格についてはモデルの間でかなり異なる結果となっており、結果に関する分析からは、内生的技術進歩のモデル化は、コストが妥当である時は結果に影響を与えないが、バックストップ・テクノロジーが存在する時は大きな効果があり、コストがもともと高い時はそれを克服するには不十分であるとされている。また、政府に先導された研究開発と排出上限や炭素価格を通じた市場主導のイノベーションの単純な二者択一はできないと論じられている(Grubb et al (2006))。

(内生的技術進歩の取り込みの効果)

¹⁸ トップダウンのモデルでは最適化又は均衡によって課題を解くため、削減効果以外にもプラスの効果を持つ方策は理論上、基本シナリオ(BAU)に含まれることになる。このため、削減方策としては現れて来ない。

¹⁹ 450ppm、500ppm 及び 550ppm、一部のモデルでは 400ppm も評価して結果を比較。

表1 IMCPでのモデルの分類

計算方法	技術的詳細	
	トップダウン	ボトムアップ
福祉の最大化	(最適成長モデル) ENTICE-BR FEEM-RICE DEMETER-1CCS AIM/Dynamic-Global MIND 1.1	
コスト最小化		(エネルギーシステムモデル) MESSAGE-MACRO GET-LFL DNE21+
初期値問題	(シミュレーションモデル) E3MG	
静学的均衡及び逐次動 学	(CGEモデル) IMACLIM-R	

出典：Edenhofer et al (2006)

また、AR4は、複数の研究により、学習曲線の効果により技術変化が規定されるモデルでは、GHG濃度を安定化するコストが極めて小さくなることを示している(WG3, 2.7.1.3)。

なお、Smulders and Di Maria (2008)は、内生的技術変化を導入した場合、クラウドニング・アウト効果のためコスト高になる可能性を示している。

(モデルによりコストの推定が大きく異なる要因)

AR4では、複数のレビューにより、技術進歩を取り込んだモデルの間でコストの推定が大きく異なる要因として、技術に関する想定の違いがあること、特に技術変化が基本シナリオに含まれるか否かの問題が削減コストの違いとなって現れていることを指摘している(WG3, 3.4, 同11.4.4.1)。トップダウン、ボトムアップの比較では、気候政策が内生的技術進歩に与えるスピルオーバー効果の評価を通じて、トップダウン・モデルは研究開発(R&D)の効果を多くは明示的に取り入れるのに対し、ボトムアップ・モデルは学習効果(Learning by doing)に焦点を当てることが多く、またトップダウン・モデルの中でもばらつきが大きい(比べてボトムアップ・モデルは結果の一致度が高い)ことを見出している(WG3, 11.5.3)。また、複数の研究から、スピルオーバー効果の発生により収益が十分回収できないことによる過小投資の問題²⁰に対して政

²⁰ これを温室効果ガス排出の外部効果(第一の市場の失敗)に対して「第二の市場の失敗」であるとしている。

策的介入の余地があるが、この問題に焦点を当てたモデルは少ないことを指摘し、それらの研究によると、技術政策だけでは効果を挙げにくく、技術開発だけでなく技術の利用への支援が必要であるとしている。また Forward Looking な CGE モデルを用いた研究では、研究開発への補助と排出規制の組合せにより費用効率的な気候政策がもたらされることを見出している (WG3, 11.5.4)。

(国内のレビュー)

内生的技術進歩に関する AR4 と同時期の日本国内のレビューとして、地球産業文化研究所 (GISPRI) (2007) があり、技術習熟内生モデルの分類や IMCP、内生的技術変化を組み込んだ分析が紹介されている。このレビューでは、内生的技術進歩を考慮したモデルでは排出量が政府の政策に左右されやすく、同じ累積削減量を達成するのに犠牲となる GDP 損失が低いこと、早期の削減が重要となる可能性があること、政府の技術支援の重要性を示唆していることを指摘しているが、まだ発展中の研究であり、強い証拠とはなっていないとしている。

3 . 政策手段：国内制度と国際的合意

3 . 1 . 国内政策手段

AR4 では、Hahn (2001) 及び Sterner (2003) により、国内の政策手段を、直接規制 (Regulations and Standards)、環境税 (Taxes and Charges)、取引可能な排出権 (Tradable Permits)、自主協定 (Voluntary Agreements)、補助金とインセンティブ (Subsidies and Incentives)、研究開発 (R&D) への補助 (Research and Development)、情報提供 (Information Instruments)、その他 (気候政策以外の手法) (Non-Climate Policies) に分類している (WG3, Box 13.1)。

3 . 1 . 1 . 直接規制

AR4 は直接規制を、排出を削減するための特定の削減技術又は排出量の制限を要求するものと定義し、環境規制においてもっとも普通に見られ、産業又は会社の特定の状況に合わせた調整が可能な長所を持つとしている。レビューされている複数の研究では、必ずしも適切なイノベーションや技術変化をもたらさない問題が指摘される一方で、国営企業や独占企業のように価格シグナルに反応する必要がない場合や排出のモニターが困難な場合などでは有効に機能することが認められている (WG3, 13.2.1.1)。温室効果ガスを直接の標的とした直接規制は少ないが、エネルギー効率など結果として排出削減につながる規制は多く、例としては、中国が 2006 年 1 月に導入した建物のエネルギー効率基準が挙げられている。

3 . 1 . 2 . 環境税

AR4 での環境税は、排出源の活動に対して課される負担金であり、各排出源が排出単位当たりで均等な課税がなされるものと定義され、限界費用が均等になるため、経済全体にわたって最も安価な削減が可能であるが、削減の量は保証されないとされる。OECD に導入されている温室効果ガスに関係のある税の多くは、CO₂ 排出そのものよりもエネルギー製品や自動車に課

せられており、他には廃棄物関係の税が廃棄物の負荷を引き起こす特定の財か、さまざまな形の最終廃棄物に課されている。レビューされている複数の文献で、環境税は、一定の排出目標を達成する目的で、またさまざまな外的条件のため税率を調整することになることが指摘され、効果については、肯定的な報告と除外措置や低い弾力性のため効果は中規模とするものが混在する(WG3, 13.2.1.2)。

3.1.3. 排出権

取引可能な排出権について、AR4 では詳細に記述されている。キャップ&トレードシステムとも呼ばれ、特定・複数の排出源の総排出に対し上限（排出権）を設け、各排出源に対し実際の排出量と同じ排出権の確保を要求し、かつ排出源同士での排出権の取引を認めるものと定義されている。

排出権制度には、セクターを限ったものと全経済分野にわたるものがあるが、それを比較した複数の研究で、全経済分野にわたるものの方が全体の限界費用を均等化するため優れているとされている。

また、排出権の獲得をエネルギーの生産者に課するか（上流型）、使用者に課するか（下流型）、それらの混合（ハイブリッド）型などの方式があり、その優劣が論じられている。

排出権の初期配分に関しては、これを無償で配分するかオークションにかけるかについて、効率性、衡平性、競争力の観点からの議論がレビューされ、衡平性の点からはオークションが好ましく、収入をある種の減税に向ければ経済全体の利益になる等の視点による複数の研究もあるが、AR4 時点の現状では、実際には無償配分が多い。また、市場支配による価格の歪みへの影響も指摘されるなど初期配分に関する多岐に渡る議論が存在する。

AR4 の時点で配分の方法に関する研究も増えてきており、複数の研究が生産額に基づく定期的な見直しは非効率としている。一方で、いくつかの条件のもとでは生産に基づく配分が漏出を防ぐとする研究も存在し、排出量ベースのグランドファザリングよりも生産額ベースの方が効率的で、その差は排出権価格の上昇とともに大きくなるとしている。

排出の目標の立て方として、（絶対）排出量（セクター又は経済全体の排出量）の他に原単位（GDP 一単位当たりの排出量など）を目標とすることが考えられる。AR4 のレビューでは、原単位目標は削減費用の不確実性を減少させ、排出量増の停止ではなく縮小が短期の目標であれば原単位目標のほうが望ましいと指摘されている一方で、厳密な原単位目標は（景気が後退した場合など）成長を止めるか逆行させる恐れがある、排出量目標の方がより明確な環境効果があり、技術を変化させるインセンティブを有するなどとされている。多くの場合、排出税と排出量目標は原単位目標より優れ、前二種における福祉水準のギャップは小さく、一定の水準の排出削減のためには排出量目標が優れているが、原単位目標は経済成長が不確実な場合のコストの問題に対しては効率的であるとしている。

排出権制度には価格が不確実である問題があり、これに対して価格に上限を設け、上限を超えた場合は排出権を追加発行するセーフティ・バルブ（又はプライスカップ制、ハイブリッド方式などと呼ばれているもの）制度が考えられている。AR4 のレビューでは、費用と便益に

において意見の不一致や不確実性がある場合に有効であるが、排出水準を保証するものではなく、行政的な複雑性は増すとされ、修正として、上限価格で発行される排出権を限定する「allowance reserve 制度」が修正案として提案されている(WG3, 13.2.1.3)。

3.1.4. 補助金とインセンティブ

AR4 での補助金の定義は、特定の行動のための政府から団体への直接の支払い、税の軽減、価格への補助がそれらに相当するものとされ、化石燃料の生産・消費への補助は排出を増大させる一方、再生可能エネルギーや原子力への補助金インセンティブは排出を削減し得る。途上国や移行経済では燃料への補助が多いが OECD では減少していることが指摘されている。また、省エネ装置や再生可能エネルギーへの補助もここに含まれ、OECD 諸国においては、固定価格買取制度(feed-in tariff)によって再生可能エネルギーが飛躍的に拡大したことが指摘されているが、その効率性には課題が残るともされている(WG3, 13.2.1.5)。

なお、新エネルギーを促進する制度として、固定価格買い取り制度と利用割合基準(Renewable Portfolio Standard, RPS)が良く比較されるが、AR4 では WG3 の第 4 章でこれに触れ、先行研究により、両者は目的を異にするものであるが、再生可能エネルギーの促進のためには、経験的研究では Feed-in Tariff の方が有効であると論じている(WG3, 4.5.1.1)。

3.1.5. 国内政策手段をめぐる議論の含意

以上のように概観しただけでも国内政策手段をめぐる議論は多岐にわたるが、このことは逆に、考え得る手段は既に提案されていることを示していると見ることができる。今後新たに画期的な政策手段が提案される見込みは無く、今後の議論は、既に考えられている手段から、適切なものを取捨選択していくプロセスとなるであろう。

3.2. 国際的合意の枠組

3.2.1. UNFCCC 及び京都議定書の評価 (基本的評価)

AR4, WG3 では政策決定者向け要約において、UNFCCC 及び京都議定書について「世界的な気候問題への対応を確立し、一連の国内政策を推進し、国際的な炭素市場を創設し、さらに将来的な緩和努力の基礎となる可能性がある新しい組織メカニズムを構築したことである。」²¹と評価する一方で、技術的要約では、参加国への経済的影響はまだ示されていないこと、排出権取引について完全な世界的システムはまだ導入されていないことを指摘している²²。

(現行合意の限界と議定書の評価)

また、AR4, WG3 本文のレビューで、現行の国際合意の限界として、長期目標を達成するために中期のコミットメントが必要だが、議定書は明確な長期目標を持たない(のでコミットメ

²¹ AR4, WG3 「政策決定者向け要約」25 節。

²² AR4, WG3 “Technical summary” p.89。

ントの合理性が説明できない) こと、温暖化を 2 度に抑える目標のためには 450ppmCO₂eq での安定化が必要で、そのためには 2015 年にピークアウトし、2020 年には先進国が 15%の削減を実現する必要があるが、京都議定書ではこの目標を達成できないこと、途上国の参加やそのための効率目標が必要であること、現在の排出量を基にしたアプローチから一人当たり排出量を基にしたアプローチへの収斂が必要であること、排出量を固定する手法はコスト高で環境税の方が優れていること、排出権取引の遵守とモニターが不十分であること、適切な技術開発・移転をたらさないこと、南北格差の問題に対応できておらず、途上国が遭遇する災害に適応できないことと等の指摘があることを認めている。

京都議定書の効果については、そのままでは効果は小さいことが指摘され、将来の大規模な削減へ向けての第一歩とする評価が一般的である。また、議定書の土台について、排出上限を課す枠組で先進国、途上国双方が合意するのは無理で他の枠組が必要とも指摘されており、ポスト京都の課題と選択肢についての論文も紹介されている (WG3,13.3.1)。

3.2.2. ポスト京都の枠組

ポスト京都の国際的合意の枠組についての提案は多岐にわたり、AR4 では、Bodansky (2004)、Kameyama (2004)などによる提案のサーベイや OECD/IEA による提案の比較と統合の試み (Philibert (2005)) を紹介している(WG3,13.3.3)。

(参加国のグループ化とインセンティブ)

京都議定書では、参加国を附属書 I 国とそれ以外に大別しているが、AR4 では、グループ分けの基準について、国家主権の立場から自ら選ばせる提案や、一人当たり排出量、一人当たり GDP と排出量を複合させた指標、さらに複合した指標 (マルチステージ・アプローチ)などを基準とする提案、さらには、欧州委員会の研究班の比較研究や、ドイツ連邦政府技術協力機関 (GTZ)による南北の衡平についての提案がレビューされている。また、参加へのインセンティブを与えるため、一時的な過剰割当てのような飴の措置、貿易制裁や国境措置のような鞭の措置の提案、EU と旧ソ連諸国の協力をシミュレーションした議論がある (WG3,13.3.3.2)。

(合意の内容と柔軟化、排出権取引)

AR4 では、もっとも評価の対象とされているコミットメントは京都議定書の附属書 I 国に対するような絶対量目標タイプのものであるとする一方、この目標が厳しすぎることに多く懸念が提出され、さまざまな柔軟化策が提案されていることを指摘している。これらの方策は、コストの不安定性を減ずる一方で、削減レベルの不確実にするものであり、削減レベルを達成するコストと不確実性にはトレード・オフの関係がある。

その中で、排出権取引は、削減レベルを一定にしつつ、削減の場所を柔軟にするもので、AR4 では、排出権市場の成長、国際市場による国内・地域市場の包接、市場間のリンクについての論文をレビューしている(WG3, 13.3.3.4.2)。

(セクトラル・アプローチ)

セクターごとの削減を重視する、いわゆる「セクトラル・アプローチ」について、AR4はセクター別 CDM 又はクレジット、セクター別約束、キャップ付き国際協力、カーボン・ストック・プロトコル、熱帯森林破壊の非拘束目標等の方式を挙げ(WG3, Table 13.2)ているが、本文での言及は少なく、ポスト京都の合意の適正な枠組となりうるとする多くの研究者がいるとしつつ、セクター別 CDM 又はクレジット中心にいくつかの論文に触れるにとどまっている(WG3, 13.3.3.4.2)。

「セクトラル・アプローチ」の語にはもともと多義性があり、IEA では以下のように分けている (Baron et al.(2007))。

- 国を特定した量的アプローチ(セクターを限り、UNFCCC などの国際コミュニティに承認された国のイニシアティブ。No-lose ターゲットなど)
- 持続可能な開発に向けての政策措置(SD-PAM)(持続可能な開発と GHG 削減の双方をもたらす政策を約束するもの)
- 国際的量的セクトラル・アプローチ(単一セクター内の企業又は業界が国を横断して削減の約束を達成することに合意するもの。)
- 技術開発志向のアプローチ(研究開発の共有又は調整から低炭素技術及びベスト・プラクティスの普及までの広い意味を持つ。)

このうち、最初に挙げた「国を特定した量的アプローチ」は、総量目標を受け入れがたい発展途上国について、特定セクターだけでも削減しようとするもので、この意味でのセクトラル・アプローチについては、Schmidt et al. (2007)に詳しい。一方、近年日本で提案されるセクトラル・アプローチは多く後二者の性格を持つ。明日香(2008)は、日本における「セクトラル・アプローチ」の用語の混乱を指摘し、日本の主張する技術志向のセクトラル・アプローチが国際的に受け入れられる可能性について疑義を呈している。

3.2.3. 国際的枠組をめぐる議論の含意

国内政策手段と同様に国際的枠組についても、考え得る提案は既に提出されていると見て良い。今後の議論は、既に考えられている手段から、可能かつ適切なものを取捨選択していくプロセスとなるであろう。合意の大きな障害となるのは、世界最大の排出国でありながら排出削減に困難の伴う米国、及び排出上限を課す枠組に抵抗感の強い途上国を取り込むことであるが、このうち米国については、京都議定書を離脱したブッシュ政権と異なり、2009年に発足するオバマ政権は、その選挙公約の中で「科学者たちが必要だとするレベルまで炭素の排出を引き下げるための市場ベースのキャップ&トレード導入を支持する」としており、今後は米国が主体的に関わり、なおかつ途上国に参加のインセンティブを与える制度設計を進めることが課題となると考えられる。

3.3. 国際的枠組に関するシミュレーション

「ポスト京都議定書」の政策課題に関する国際共同研究の一環として、GTAP6 のデータ及び

GTAP6inGAMS²³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モデルを用いて2050年までの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。

3.3.1. 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。
- 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。

表2 CO2の排出 レファレンス・ケース(百万トン/年)²⁴

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
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

²³ Rutherford (2005)

²⁴ 略称の意味は、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)、ADV(先進国及び市場経済移行国)、DEV(途上国)である。

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 億トン先進国が、351 億トンを発展途上国が占める（表 2）。

3.3.2. 先進国だけの排出上限

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。
 - 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。

表 3 CO2 の排出 先進国だけの排出上限（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

その結果、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、合計すると取引あり、なしともレファレンス・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 3）。

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 4）。

表 4 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、ロシアが排出権を売り、他が買う構造となり、日本の購入が 2050 年で 4 億トン近く、250 億ドルにのぼっている（表 5）。

表 5 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

3.3.3 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6)。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。

表6 CO2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%

3.3.4. 半減目標の人口による配分

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²⁵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。

²⁵ UNFPA(2008)により等比補完

表7 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%

表8 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

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7)。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8)。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。

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%近くに達し、日本、米国、EUは1%程度である(表9)。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9 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%

3.3.5. シミュレーションの含意

以上のシミュレーションから、先進国だけ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. まとめと含意

IPCC が指摘するように、世界的にはトップダウンのモデルが技術の詳細を、ボトムアップの研究が価格の効果やマクロ経済のフィードバックを包摂するようになってきており、その結果として、技術を記述しつつマクロ経済レベルでの評価を行うことが可能となってきたが、我が国の政策形成は依然としてボトムアップが中心であり、理論的なモデルに基づくマクロ経済レベルでのコスト評価が必ずしも行われていない。

国内の議論は目先の京都議定書の達成に忙殺されており、中長期の目標についての研究（長期目標の達成方策とそのために必要なピークアウト）が不十分である。また、世界的に内生的技術進歩のモデルへの取り込みが進んでいるが、これも我が国の政策形成に十分反映されているとは言い難い。

このため、我が国で行われている技術開発志向のセクトラル・アプローチに対し、内生的技術進歩の要素を取り込み、マクロ経済レベルでのコスト評価を行うとともに長期的な達成のパスを描くことが国の政策として重要となると考えられる。

総じて、世界全体が参加可能な排出削減の枠組という視点が今までの研究には見られない。この研究に当たっては、共同で取り組める政策指針の提案ができるかどうか課題となる。

参考文献

- Baron, R., Reinaud, J., Genasci, M. and Philibert, C., 2007: Sectoral Approaches to Greenhouse Gas Mitigation - Exploring Issues for Heavy Industry, OECD/IEA Information Paper, Paris.
- Böhringer, C. and Rutherford T. F., 2008: Combining bottom-up and top-down, *Energy Economics* Volume 30(2), March 2008.
- Bodansky, D., 2004: International climate efforts beyond 2012: A survey of approaches. Pew Climate Center, Washington D.C.
- Carraro, C. and Egenhofer C. (ed.), 2003: Firms, Governments and Climate Policy: Incentive-based Policies for Long-term Climate Change, Esri Studies Series on the Environment, Edward Elgar Pub (2003/04).
- Clarke, L. E., Edmonds, J. A., Jacoby, H. D., Pitcher, H. M., Reilly, J. M. and Richels, R. G., 2007: Synthesis and Assessment Product 2.1a Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research.
- Cline, W. R., 2004a: Meeting the Challenge of Global Warming.
- Cline, W. R., 2004b: Meeting the Challenge of Global Warming: Reply to Manne and Mendelsohn.
- Dasgupta, P., 2007: Commentary: The Stern Review's Economics of Climate Change *National Institute Economic Review*, vol. 199.
- Dasgupta, P., 2008: Discounting Climate Change, *Journal of Risk and Uncertainty*, 2008, Vol.37(2).
- Edenhofer, O., Lessmann, K., Kempfert, C., Grubb, M. and Koehler, J., 2006: Induced technological change: Exploring its implication for the economics of atmospheric stabilisation. Synthesis Report from the Innovation Modeling Comparison Project, *The Energy Journal* (Special Issue, in press).
- Edmonds, J. A., Wise, M. A., Dooley, J. J., Kim, S. H., Smith S. J., Runci, P. J., Clarke L. E., Malone E. L. and Stokes, G. M., 2007: Global Energy Technology Strategy addressing Climate Change: Phase 2 Findings from an International public private sponsored Research Program..
- Gollier, C., 2007: The consumption-based determinants of the term structure of discount rates, mimeo. University of Toulouse.
- 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.
- Hahn, R.W., 2001: A primer on environmental policy design, London, Routledge.
- IEA, 2008: Energy Technology Perspectives 2008 -- Scenarios and Strategies to 2050.
- HM Treasury, 2003: The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government.
- HM Treasury, 2007: Summary of Conclusions: Stern review on the economics of climate change.
- Kameyama, Y., 2004: The future climate regime: a regional comparison of proposals. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 4 .
- Manne, A. S., 2004: Global Climate Change: An Opponent's Notes.

- Mendelsohn, R., 2004: Opponent Paper on Climate Change: Copenhagen Consensus.
- Nordhaus, W., 2007: A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change, *Journal of Economic Literature*, Vol. 45(3).
- 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.
- Philibert, C., 2005a: Climate mitigation: Integrating approaches for future international co-operation. OECD/IEA Annex I Expert Group, Paris.
- Richels R., Rutherford T., Blanford J., Clarke L., 2007: Managing the Transition to Climate Stabilization, Working Paper, AEI-Brookings Joint Center.
- 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"
- Schmidt, J., Helme, N., Lee, J., Houdashelt, M., 2007: Sector-based Approach to the Post-2012 Climate Change Policy Architecture, Center for Clean Air Policy (CCAP).
- Smulders, C. and Di Maria, C., 2008: Endogenous Technological Change and the Cost of Environmental Policy.
- Stern, T., 2003: Policy instruments for environmental and natural resource management, Resources for the Future Press. Washington, D.C.
- Sue Wing, I., 2008, The synthesis of bottom-up and top-down approaches to climate policy modeling: Electric power technologies detail in a social accounting framework, *Energy Economics* Vol. 30(2).
- Tol, R. S. J., 2006: The Stern Review Of The Economics Of Climate Change: A Comment. *Energy and Environment*, Vol. 17(6).
- UNFPA, 2008: State of World Population 2008: Reaching Common Ground: Culture, Gender and Human Rights.
- Vattenfall, 2007: Vattenfall's Global Climate Impact Abatement Map.
- Weitzman, M. L., 2001: Gamma discounting, *American Economic Review*.
- Weitzman, M. L., 2007: A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change, *Journal of Economic Literature*, Vol. 45(3).
- Weyant, J. P., 2004: Introduction and overview (to EMF-19), *Energy Economics*, 26(4).
- Yohe, G. W., Tol, R. S. J, Richels, R. G., Blanford, G. J., 2008: Copenhagen Consensus 2008 Challenge Paper: Global Warming.

- 明日香壽川(2008)「セクター別アプローチをめぐる混乱および今後の国際交渉における重要課題(Discussion Paper)」2008年5月
- 財団法人 地球産業文化研究所(2007)「エネルギー技術開発普及促進に係る調査研究委員会報告書」平成19年3月
- 独立行政法人 国立環境研究所(2007)「スターン・レビューに対するコメント」(2007年2月)