

京都議定書の数値目標達成のための コストに関するシミュレーション分析

——新大綱路線とその代替案の比較分析——

李 態 妍

目 次

- | | |
|-------------------|----------------------|
| 1. はじめに | 3. 日本の目標達成のためのコストの推計 |
| 2. 京都議定書達成に関する諸研究 | 4. おわりに |

1. は じ め に

1997年採択された京都議定書が未だ発効されていないなか、日本は発効を想定して第1約束期間（2008年から2012年）までに温室効果ガスの排出量を1990年時点と比較して6%削減することを目標としている。2002年3月「新地球温暖化対策推進大綱（以下、新大綱と称する）」によって決定された温室効果ガス削減対策では、基準年（1990年）の排出量（1,229百万tCO₂）より7%増加（1,320百万tCO₂）していることから13%分¹⁾の追加的削減が必要であるとしている。その13%分の追加的削減は、国内排出源（技術）対策によって7.5%、国内森林吸収源対策によって3.9%、国内都市緑化によって0.02%削減し、残り不足分（1.6%）は一層の国内排出源対策を進めることによって、または京都メカニズム（国際排出量取引：IET、共同実施：JI、クリーン開発メカニズム：CDM²⁾）を活用して達成するとしている。これによると追加的削減13%のうち約88%を国内対策で達成することを意味する。

その国内排出対策の内容として第1に、エネルギー起源二酸化炭素（CO₂）を1990年度と同じ水準（0%）に抑制することを目標としている。具体的には、省エネルギーの追加対策によって22百万tCO₂を、新エネルギーの追加対策によって34百万tCO₂を、燃料転換などの追加対策によって18百万tCO₂をそれぞれ達成し、原子力の推進を盛り込んでいる。産業別に削減目標を見てみると、上記の4つの追加対策によって産業部門では、約462百万tCO₂（1990年度の産業部門の排出量からの削減割合：-7%）を削減し、民生部門では約260百万tCO₂（1990年度の民生部門の排出量からの削減割合：-2%）を削減するが、運輸部門では約250百万tCO₂として

1) 京都議定書の削減目標である基準年より6%削減と現行対策で推移した場合の2010年の排出量の見通し7%の合計。以下、百万tCO₂の代わりにMtCO₂を用いることもある。

2) IET: International Emissions Trading, JI: Joint Implementation, CDM: Clean Development Mechanism の略。

おり1990年度の運輸部門の排出量の17%増加を認めている。第2に、非エネルギー起源二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化窒素(N₂O)については、0.5%分の削減を目標としている。第3に、革新的技術開発及び国民各界各層の更なる地球温暖化防止活動の推進によって、2.0%分の削減を達成することを目標としている。第4に、代替フロンなど3ガス(HFCs PFCs SF₆)³⁾については、現状維持でプラス5%をプラス2%程度に止めることを目標としている。第5に、COP7で合意された3.9%の森林による吸収源の確保を目標としている。

新大綱にあげたこのような温暖化削減対策が、実際に実施可能か否か、また目標達成が可能か否か、目標達成が可能な場合、必要な費用はどの程度なのかなどを検討したうえで、政策評価を行う必要がある。新大綱の実施可能性や目標達成の可能性については既にいくつか研究⁴⁾が行われているので、本稿では対策に必要な費用の観点から分析を行うことにする。新大綱の追加的対策にはさらに費用が必要であるが、その費用に関する検討が行われておらず、費用効率性の観点が抜けている。すなわち、いくら高くても費用制限なく削減しようとすれば、削減目標を達成できるに決まっている。しかしながら資源には限りがあることから、最小費用で同様な目標を達成することができる政策の組み合わせがあるかどうかを検討し、よりよい政策の組み合わせがあれば、それを用いるべきである。それゆえ、本稿では京都議定書の目標を守ることを前提にして最小費用で達成可能な政策手段の組み合わせを検討する。

本稿の構成は次の通りである。次の2章では、これまでの京都議定書の数値目標を達成するための費用を推計している研究をサーベイし、推定に用いられたモデルの特徴やその結果をまとめる。3章では、第1約束期間の目標を達成することを前提として、日本政府の方針のまま目標達成を行う場合に必要な費用について簡単なシミュレーション分析を行い、より費用効率的な政策ミックスを提案する。最後の4章では、本稿で得られた分析結果を踏まえ、政策ミックスのあり方や本研究の残された課題について言及する。

2. 京都議定書達成に関する諸研究

まず、経済学の理論分析において経済効率性を論じる際には、図1のように横軸に排出削減量を、縦軸に排出削減の限界費用(MC)を示し、その関係を右上がりの曲線で表している限界削減費用曲線がもちいられている。1単位当たりの削減費用が安い削減手段が順に導入され、排出削減量が多ければ削減手段も少なく、より高いものが導入されるため、一般的に限界削減費用は、

3) HFCs: ハイドフルオロカーボン, PFCs: パーフルオロカーボン, SF₆: 六フッ化硫黄。

4) 新沢(2002)、天野(2000)などを参照。さらに植田・林(1997)らは、二酸化炭素排出量(CO₂)の削減可能性を分析している国内モデルを紹介している。それによると、通産省や日本エネルギー経済研究所の分析では省エネルギー政策を実施しても2010年のCO₂が9%から23%に増加するという結果が得られているが、一方CASAやWWFケースでは13.2%から16.4%まで減少させることが可能であるという結果が得られている。このようにモデル分析の結果の相違は、基準年の想定やモデル構造の違いなどさまざまな要素に影響される。CASAの分析については、水谷(2000)を参照。

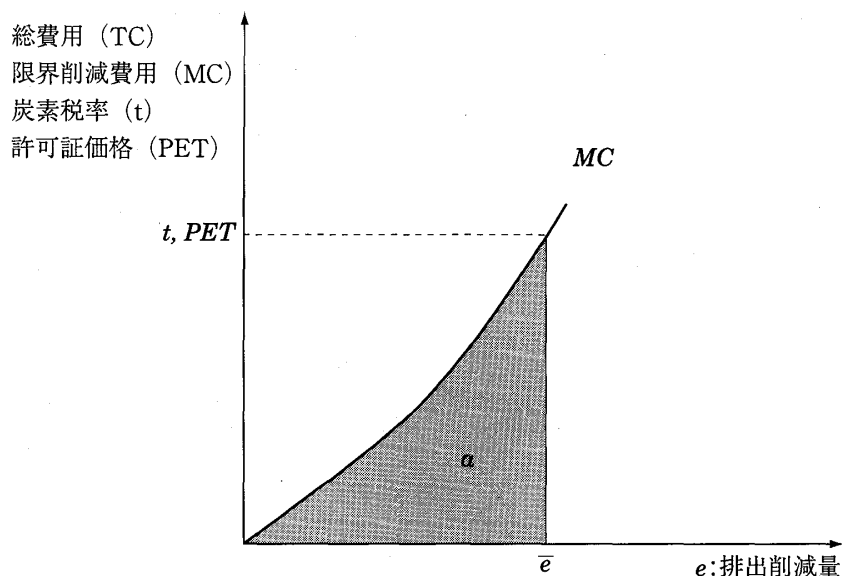


図1 限界削減費用

通増するとされている。

ここで、京都議定書によって決まった日本の削減目標を達成する場合の限界費用について見てみる。日本は、第1約束期間までに温室効果ガスの排出量を1990年時点と比較して6%削減という削減目標が既に決定されているので、ピグー税よりはボーモール・オーツ税の概念が適応できる。すなわち、排出削減目標量が与えられている場合、直接規制、炭素税（1単位当たり t 税率）あるいは排出許可証取引（1単位当たり P 価格：PET）などの中から最も安い順に政策手段を導入、あるいは2つ以上の手段を組み合わせることで目標を達成することになる。そのとき必要な総削減費用（TC）は、 a の面積となる⁵⁾。

これまでの議論は、限界削減費用に関する情報が完全であればという前提の下で行われている。しかしながら、現実には限界費用曲線に関する情報には不確実性が高く、図1のようなきれいな右上がりの通増曲線に描けるほどの情報を持っていないのが現状である。実際に政策を実施する場合、排出削減量に対する各国の限界削減費用曲線の形状に関する情報、すなわち削減目標が決定されている場合その限界費用が具体的にいくらになるかという情報を収集する必要がある。限界費用に関する情報がなければ、最小費用で目標を達成するための政策手段の組み合わせを考えることが出来ないからである。それゆえ、本章では、限界削減費用に関する情報を得るため、技術別に直接費用を計算する積み上げ法によるものと、いくつかのモデル分析から2010年時点に削減目標を達成するために必要な費用および経済への影響の程度をまとめる。本稿のモデル分析で用いている限界削減費用は、エネルギー需要モデルから得られる価格弾性値に相当するもの

5) 削減費用のみではなく実施費用をも考慮して政策手段を選択すべきであるが、実施費用に関する情報にも不確実性があり、削減費用のみの場合より不確実性が大きくなる可能性があることから本稿では削減費用のみで分析を行っている。Ellerman et. al. (1998) では、限界削減費用を $P = \alpha R^2 + \beta R$ 式で求めている。ここで、 R は削減量を、 α 、 β は係数を表し、日本の場合、 $\alpha = 1.55E-02$ 、 $\beta = 1.816$ としている。

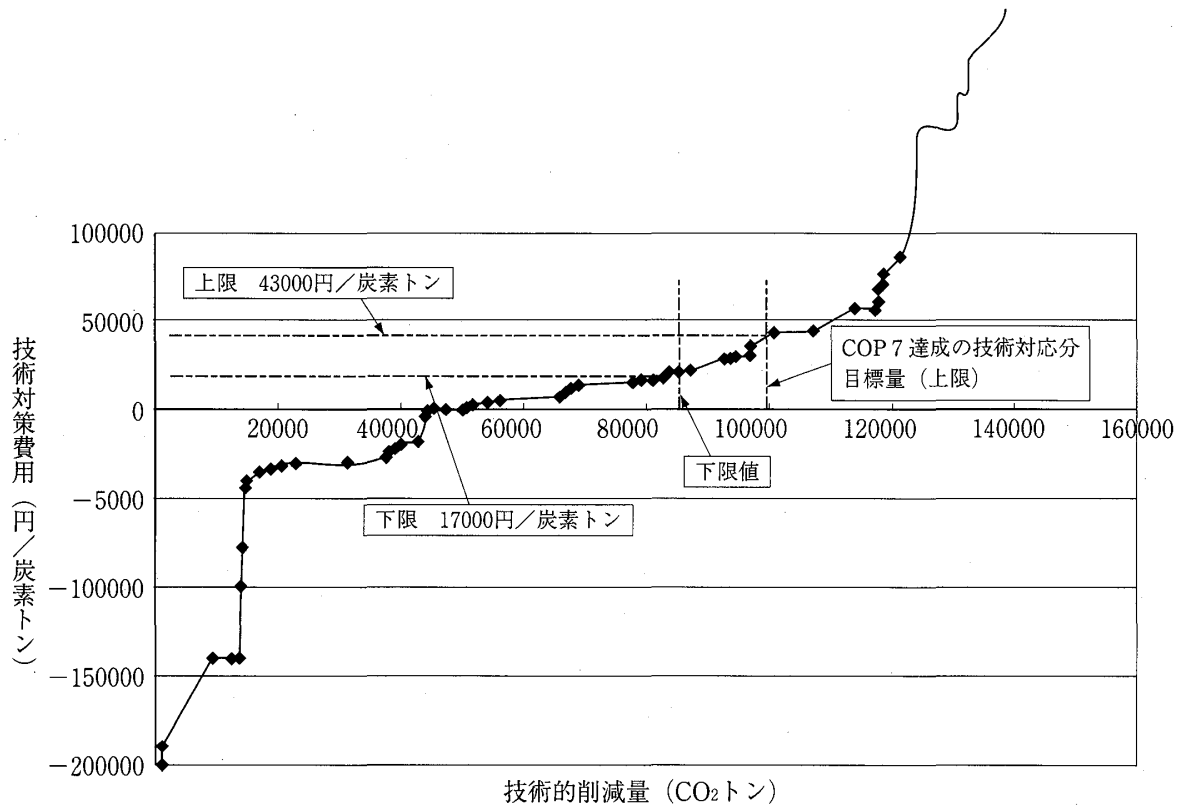


図2 CO₂の限界削減費用推計 (岡ら (2002), p. 18 より引用)

で⁶⁾、2010年に「削減目標の最後の1単位を達成するために必要な費用」として捉えることができる。

2.1 積み上げ法による限界削減費用

まず、積み上げ法によって日本のCO₂排出量の削減可能性に関する分析が行われているが、技術導入費用に関する情報が少ない。岡ら (2002) は、環境省 (2001) の資料を用いて積み上げ計算によって2010年における日本のCO₂排出量の限界削減費用について、1. 費用算定が不可能であった分をすべて目標達成に含めた場合試算、2. 費用算定が不可能であった分をすべて除外した場合の2ケースで最も高い削減費用を求めている。それによると、目標削減量26.7百万tC (98百万tCO₂)⁷⁾を達成するにあたって導入される最も高い技術対策費用は、ケース1で17,000円/tC (CO₂トンで4,600円)、ケース2で43,000円/tC (CO₂トンで11,700円) となることが示される。また、図2のように削減費用は、14 MtC (50百万トンCO₂) まではゼロであるが⁸⁾、それを超えると削減量が増えるほど、費用が高くなる。特に、32.7 MtC (1,200百万トンCO₂) からは急上昇することから、技術対策によって目標達成をする場合、費用が劇的に変動する恐れがあることがわかる。

6) CO₂排出量の需要関数推計については、環境省 (2001)、岡ら (2002) を参照。

7) CO₂百万トン (MtCO₂) に12/44をかけ炭素トンに換算している。

8) 図2では、限界削減費用に相当する炭素1トン当たりの技術対策費用が5,000万tCO₂まで、マイナス

2.2 モデル分析による限界削減費用

2.2.1 モデルの分類・構造

次に、マクロモデルなどのモデルを用いて、限界削減費用を求める場合を考える。本稿では、「地球環境対策の総合評価」⁹⁾に相当する経済モデルのうち、京都議定書の数値目標を達成するための政策オプションを分析している研究を主に取り上げる。このとき、モデル分析の数値結果を評価する前にその結果が得られたモデルの構造および諸仮定などを理解したうえで、分析テーマの特性などが適切に反映されているかどうかなどを検討する必要がある。それゆえ、ここでは本稿で取り扱うモデルの構造や特徴などを紹介し、次節ではそれぞれの結果とモデル構造との関係を考察する。

まず用いるモデルは、国内モデルと世界モデルがある。国内モデルは、中央環境審議会地球環境部会：目標達成シナリオ小委員会（2001、以下小委員会と称する）で取り上げている、AIM/endues, AIM/Material, GDMEEM, MARIA, SGMJ¹⁰⁾の5つのモデルを用いる。世界モデルは、Springer (2003)¹¹⁾, Weyant and Hill (1999)¹²⁾, OECD (1998)などで紹介されている体系的なモデルのうち、日本の費用分析を行っている16のモデル¹³⁾を分析対象にしている。国内モデルと世界モデルでは、京都議定書の削減目標を基準年比の2%削減と6%削減として分析しているため分析結果の評価において注意が必要である。国内モデルでは国内政策効果のみを分析対象とするため、京都議定書で認められている京都メカニズムを用いた場合の経済への影響などの情報が得られない。それに対して、世界モデルでは国内対策のみ（Aケース）ではなく、付属書B国間の取引があった場合（Bケース）やCDMによるクレジットも取引対象となるグローバル取引がある場合（Cケース）などを分析しているので、最小費用で目標達成可能な政策オプションを検討するうえで必要な多くの情報が得られると思われる。

次に、取り上げるモデルをタイプ別に分類すると（表1参照）、大きく計量経済モデルと応用一般均衡モデル（CGE）に分けることができる。また、ECN, POLES などのようなエネルギー市場のみを分析対象とした部分均衡モデルもある。表1で示されるように最も多く用いられているのはCGEモデルである。これは、完全競争市場を前提に均衡点から分析が始まり、その調整費用は捉えることが出来ないものの、市場の外生的ショックや政策の（特に、長期の）直接・間接費用を分析できるというモデルの特徴によるものであろう。たとえば、炭素税が導入さ

ゝナスになっている。これは、現在ある技術を利用し、CO₂排出量を削減することによって便益があることを意味する。本稿では、目標量達成に直接必要な費用についてのみ考察している。

- 9) 森田 (1997) では、温暖化研究において経済モデルのニーズとして「経済活動の地球環境負荷」、「地球環境変化の経済的損失」、「地球環境対策の総合評価」の3つをあげ、それぞれのニーズを満たすために開発された世界のモデルを簡単に紹介している。
- 10) 世界モデルにもあげているので、区別のため名称を変更している。
- 11) Springer (2003) は京都議定書の国際排出量取引費用やその取引量に焦点をおいてまとめている。
- 12) Weyant and Hill (1999) らは、京都議定書達成のモデル分析を限界削減費用や経済負担などの主な結果を用いて比較している。図を用いて比較していることから、数値情報が得られない。
- 13) 正式なモデル名などは付録1のモデルリストを参照。

表1 京都議定書の数値目標達成に関する経済モデルの分類¹⁴⁾

	多部門マクロ計量	多部門応用一般均衡 (CGE)	その他
部門別 燃料供給・需要	GDMEEM (国内) G-Cubed, Oxford	EPPA	
エネルギー技術詳細		AIM AIM/enduse (国内) AIM/Material (国内) MS-MRT GTEM SGM, SGMJ (国内)	ECN POLES
国際排出量取引		MACGEM ZHANG	CICERO ECN, ENEA R & S
その他		GEM-E3 GREEN, PACE	MARIA (国内)
主な仮定	時間を通じて市場調整	すべての市場で瞬時に完全調整：完全競争市場	
分析可能な内容	・短期・中期の調整費用 ・政策の経済への影響	・政策の経済への影響	
特徴	・体系が透明 ・比較的単純 ・特定化問題	・市場ショックが小さい場合特に有効 ・完全競争市場を仮定しているため、失業などの分析ができない ・調整費用が分析できない	

出所) Weyant (1999), Springer (2003) の分類を参考に作成。

れた場合、経済への影響を分析することができる。一方、計量モデルは、現実データに基づいて式を推定することから GDP やエネルギー水準の絶対値の推移などが求めやすい。しかしながら、短期・中期の過去の経済構造をうまく体现できたとしても、構造が変化する長期の予測などの分析には適しない。また一般均衡モデルも、マクロ計量モデルの特定化問題は発生しないが、関数の形や係数の想定、分離性の仮定などによってどのような結果もありうるという問題がある。

もう一つの分類の仕方としては、トップダウン型とボトムアップ型である。技術進歩などを前提に温暖化政策の経済への影響を分析できるマクロ計量モデルや CGE モデルはトップダウン型であり、費用を最小にするエネルギー技術を詳細に積み上げ計算しているエネルギー部門モデルはボトムアップ型である。前者は、炭素税の導入した場合、政策導入によって新たに利用可能になる技術やエネルギーの潜在的代替可能性などを考慮することができないため、ボトムアップモ

14) AIM: Kainuma et al. (1999), CICERO: Holtmark and Mastad (2002), ECN: Sijm et al. (2000), ENEA: Ciorba et al. (2001), EPPA: Ellerman et al. (1998), G-CUBED: McKibbin et al. (1999), GEM-E3: Capros (1999), GREEN: van der Mensbrugghe (1998), GTEM: B Tulpule et al. (1999), MACGEM: Eyckmans et al. (2001), MR-MRT: Bernstein et al. (1999), OXFORD: Cooper et al. (1999), PACE: Bohringer (2000), POLES: Criqui et al. (1999), R & S: Stevens and Rose (2002), SGM: MacCracken et al. (1999), ZHANG: Zhang (2000)

デルより削減費用が高く、経済への負担が大きく推定される傾向がある。後者は、政策が導入された場合の生産者、消費者などの経済主体の行動がモデルの中で考慮できず、外生的に仮定される。多くの場合、それぞれの欠点を補うため、モデルのリンクが行われているが、その代表的なモデルとしては、AIM, MS-MRT, GTEM, SGM などがある。

このようなモデル構造の違いは、後の結果に影響する。また、それ以外にもベースラインシナリオ (BaU) を求める際の経済成長率、人口、エネルギー価格、エネルギー需要量、CO₂ 排出量、為替レートなどの想定にも大きく依存する。

2.2.2 国内モデルの想定および分析結果

本節では基本的な想定と結果を簡単にまとめることにする。国内モデルについては、小委員会において、モデル間の比較分析を行うために BaU に用いる変数の想定を同じくしている。すなわち、体系的な 6 つの国内モデルの BaU の基準年 (2010 年) における経済状況を描くため、経済成長率は、1990 年から 1995 年では年平均 1.4%、1996 年から 2000 年では 1.0%、その後の 2010 年までは 2.0% と同じように想定している。その他の人口、エネルギー価格などについても表 2 のような同じ想定をしている。このような同一想定のもとで、エネルギー起源の CO₂ 排出量を 1990 年比の 2% 削減するために必要な炭素税を分析している。

表 2 国内モデルの基準年想定

	1990年	2000年	2010年
経済成長率 (年平均)	1.4%	2.0%	2.0%
人口 (億人)	12.4	12.6	12.8
原油価格 (\$/バレル)	23	27	30
為替レート (円/\$)	142	96	120

出所) 小委員会 (2001) より作成。

その分析内容をみると、6 つのモデル共にベースラインシナリオと対策ケースを分析している。AIM/enduse 1 では、炭素税を導入した場合を、AIM/enduse 2 では炭素税を導入し、その税収を CO₂ 削減技術や設備導入のための補助金として還流する場合を分析している。また、AIM/Material モデルを用いて、炭素税ケース以外でも炭素税と廃棄物対策を同時に考慮する場合も分析している。GDMEEM, MARIA も炭素税の税収を経済に中立的に還流するとしている。そのほかのSGMJ1-3 では、政府支出の増大、金融市場、家庭と特定分野への還流を想定している。

それぞれの分析結果 (表 3 参照) をみると、炭素 1 トン当たりの炭素税が、AIM/enduse 2 の 3 千円から GDMEEM の約 3 万 5 千円までと大きな幅がある。その平均は、約 2 万円となる。最も低い 3 千円は、炭素税収を CO₂ 削減技術や設備導入のための補助金として還流することによって、炭素税 3 万円と同様に削減目標を達成することが可能であることが示された。また、炭素税導入に伴う経済的影響については、GDP を BaU と比較した場合、2010 年の総額で、SGMJ 2 の 0.06% 減少から GDMEEM の 0.7% 減少という幅のある結果となっている。その平均は、-0.38% となる。このような結果の違いは、同じベースライン想定をしているにもかかわらず

表3 国内モデルの結果

モデル	1990年	2010年			炭素税 (2010)	
	CO ₂ 排出量 (MtCO ₂)	CO ₂ 排出量 (MtCO ₂)	CO ₂ 変化 (対 BaU)	GDP変化 (対 BaU)	円/tC	税収の用途
AIM/enduse 1	1,051	1,239	-17%		30,000	
AIM/enduse 2		1,239	-17%		3,000	補助金で還流
AIM/Material		1,365	-17%	-0.54%	15,587	
GDMEEM		1,243	-18%	-0.70%	34,560	経済中立的に還流
MARIA	1,135	1,381	-20%	-0.40%	13,148	経済中立的に還流
SGMJ 1		1,301	-30%	-0.30%	20,424	政府支出増大
SGMJ 2		1,301	-30%	-0.06%	21,100	金融市場への還流
SGMJ 3		1,301	-30%	-0.28%	21,080	家計への還流
平均		1,296	-22%	-0.38%	19,862	

出所) 小委員会 (2001) より作成。

ず、2010年時点での CO₂ 排出量に推計に違いが出ていることから、簡単に推測できる。このことから、BaU を求める祭の想定値以外、他の要素、たとえばモデル構造の違いなどが結果に影響を与えることがわかる。

2.2.3 世界モデルの想定および分析結果

世界モデルでは (付表2を参照)、国内モデルと違って2010年時点での CO₂ 排出量を1990年時点と比較して6%削減することを目標としている。各モデルのシナリオ別に分類すると、大きく3つにわけることが出来る。すなわち、京都メカニズムを用いず炭素税や国内排出量取引などの国内対策のみ (Aケース) で達成する場合、アメリカを含む付属書B国間の取引 (Bケース: IET, JI の取引) で達成する場合、CDM によって獲得したクレジットも取引可能なグローバル取引 (Cケース) の場合である。その他に、取引量の上限を設ける EU 提案、アメリカ不参加でのBケースやCケース、森林吸収源を認める場合など議定書の内容を考慮したさまざまなケースでの分析が行われている。このような多様な分析ケースのみではなく、ベースラインシナリオの想定も様々である。また、CO₂ 排出量のみではなく、議定書の6ガスすべてを考慮して分析しているモデルもある¹⁵⁾。

このように想定やモデル構造、分析内容が異なることから、得られた結果を直接比較することはあまり意味がないかも知れない。しかしながら、京都議定書の目標を達成するための費用や経

15) ECN, CICERO, SGM, ZHANG などでは、京都議定書に含まれている6ガスすべて、あるいは3ガス (CO₂, CH₄, N₂O) が分析に含まれている。CICERO では6ガスを、ECN, SGM では3ガスを分析対象に入れている。これらの結果をみると、Aケースでの炭素1トン当たりの限界削減費用がECNでもっとも低く11,167円となっている。一方、3ガスを対象としたECNとSGMの限界削減費用は11,167円と55,642円と幅がある。CO₂ のみを分析対象としたこれまでのAケースでの平均より約2万円安いことが示される。Bケース (約2千円)、Cケース (約1千円) でも、同様な結果が得られている。このような結果は、CO₂ 以外のガスの削減費用が比較的安いことによるものと思われる。

済への負担がどの程度なのかなどに関する情報を収集することが本稿の目的であるので、できる限り比較可能な状態に結果をまとめることにする。その内容としては、国内モデルと比較可能にするため、CO₂ 排出量は Mt CO₂ に、総費用は、2000年価格で円/tC に、炭素1トン当たりの限界削減費用は円/tCに単位を揃えている。まず、BaU に用いている1990年から2010年の間の GDP、人口、CO₂ 排出量の年平均伸び率の基本的な想定をみってみる。GDP 成長率は、AIM、SGM の1.9%からのEPPA、STEM の3.2%と想定している。人口成長率は、G-CUBED の0%からPOLES、R & S の0.3%と近い想定となっている。CO₂ 排出量の伸び率は、POLES、R & G の0.8%から1%高いEPPA の1.8%の幅がある。このような想定、特にCO₂ 排出量の伸び率は、BaU 基準年（2010年）における目標達成のための削減量に影響を与える。一番高い伸び率を想定しているEPPAの場合、BaU の34%を削減しなければならない。このような各モデルの基本的な想定の違いを踏まえて、それぞれの結果を分析内容別に評価することにする。

① Aケース：国内政策のみ、CO₂ 排出量のみ、米国参加

炭素税や国内排出量取引によって削減目標を達成する場合、日本の限界削減費用は、炭素1トン当たり ENEA の4,193円から OXFORD の119,737円までかなり幅がある。もっとも高いマクロ計量モデルの OXFORD では、CO₂ 排出量を BaU の24%削減するために炭素1トン当たり約12万円相当の炭素税をかける必要がある。国内モデルでは、税収をほぼすべてのケースにおいて還流しているのに対して、還流の想定については定かではない。Aケースの限界削減費用の平均は約4万5千円である。排出削減の国内対策による経済的負担は、POLES の-0.18%から OXFORD の-1.8%であることが示される。その平均は、-0.7%である。総費用分析は少なく、ENEA、EPPA、POLES、R & S のみである。その費用の差も大きく、6,340億円から4兆6,660億円までとなっている。1990年比6%を削減目標とする世界モデルのAケースと1990年比2%削減を目標とする国内モデルの分析結果と比較するためには、国内の森林吸収源対策によって残りの4%削減を確保した場合の費用をも考慮しなければならない。これについては次の章でとりあげる。

② Bケース：付属書B国間取引、CO₂ 排出量のみ、米国参加、IET、JI

京都メカニズムの IET や JI を用いて削減を行う場合、日本の限界削減費用は炭素1トン当たり R & S の1,177円から OXFORD の27,856円と幅があるものの、Aケースに比べてかなり低くなる。もっとも低い R & S では、他の分析と違って割引率4%で現在価値にしていることから低い結果になったと思われる。また、エネルギー技術を詳細に考慮している AIM、ECN、GTEM、MS-MRT などは1万円前後となっている。Bケースの限界削減費用（すなわち、国際排出量取引価格）の平均は、約1万円であり、Aケースの4分の1になることが示される。それに対して、ENEA の場合、他の分析と違って4,495円とAケースより高くなっているが、原因についての言及が行なわれていない。次に、日本の削減目標量に対する IET の購入量¹⁶⁾ の比をみると、一番高いケースで OXFORD の77%がある。OXFORD の場合、

16) Springer (2003) によると、国際排出許可証取引の市場規模は銅の貿易規模に匹敵するとされている。

国内対策による限界削減費用が高く、IET を利用することによって約 8 割程度安く目標達成することが可能である。もっとも低いのは、G-CUBED の 37% であり、OXFORD の場合と逆に、国内での削減費用が比較的安いものであると思われる。IET 利用の平均は、57% であり、残り 43% は国内対策で行うことが示される。B ケースの経済的負担をみると、GDP の減少率は GTEM の 0% から OXFORD の 0.5% となる。その平均は、-0.2% で A ケースより 0.5% 経済的負担が小さくなることが示される。

③ C ケース：グローバル取引、CO₂ 排出量のみ、米国参加、IET、JI、CDM

途上国との CDM によって得られたクレジットが自由に取引される場合、炭素 1 トン当たりの限界削減費用は、R & S の 392 から AIM の 4,708 円の間で、B ケースよりもさらに低下することが示される。その平均は、約 3 千円で、B ケースの 3 分の 1 の価格になる。このときの日本の IET 購入比率をみると、GREEN の 67% がもっとも低く、EPPA の 92% がもっとも高い。その平均は、77% で、B ケースに比べて 20% 増加している。経済的負担は、もっとも高い GREEN モデルにおいて 0.2% の GDP の減少がある。その平均は -0.08% で、京都メカニズムを利用すると経済的負担をあまりかけずに目標達成することが可能であることがわかる。

では、グローバル取引において、IET と JI、CDM の市場規模やそのシェアはどの程度になるだろうか？ このような疑問に対して、ECN、EPPA、G-CUBED、GREEN、POLES、SGM、ZHANG などが答えを提供している。それによると、すべてのモデルで、CDM が IET と JI に比べて高い市場規模を示している。その CDM の市場規模の範囲は、G-CUBED の 55% から EPPA の 77% となっている。これらのモデルでは、CDM に関する取引制限が全くないことを前提に分析している。それゆえ、得られた結果に対しては、CDM プロジェクトによって得られた排出削減クレジット (CER) の認定の問題や、特定事業への受け入れ拒否などさまざまな不確実性が存在していることを念頭に割り引いて評価する必要があるだろう。CDM が孕んでいる不確実性がそのまま IET 市場の規模や価格の不安定要因になりうるからである¹⁷⁾。

それゆえ、EU は、国内対策によって削減目標を達成するよう取引の上限を設けることを提案¹⁸⁾しており、EPPA、PACE、POLES、CICERO、ZHANG などではそのような取引制限を

17) このように IET 市場の動向は、多くの不確実性を孕んでいることから、Jacoby and Ellerman (2002) は、許可証価格が予め政府などが設定した一定水準を越える場合は、決められた価格で売買できるというセイフティバルブ (Safety Valve) の議論を展開している。また、McKibbin and Wilcoxon (2004) は、似たような議論であるが G-Cubed モデルを用いて京都議定書そのものの変わりとして McKibbin - Wilcoxon ブループリント提案を導入した場合、より安い費用や少ない経済的負担によって温暖化ガスを削減可能であることを検証している。提案の長所としては、京都議定書のような不確実性がなく、遵守費用が低いことから条約に参加しやすくなり、蓄積された排出量の削減が可能となることをあげている。さらに、Odd Godal et al. (2003) は、報告された排出量と実際実現する排出量の間に不確実性が存在する場合、目標達成のための限界削減費用や経済への負担の大きさを分析している。

18) EU 提案では、柔軟性メカニズムを合わせた排出枠獲得量について、「基準年の排出量に 5 を乗じたもののプラス排出割り当て量を 2 で乗じたもの 5%」または、「1994 年から 2002 年の間のいずれかの年の実績排出量に 5 を乗じたものと排出割当量との差の 50%」のうち、いずれか大きい方をもって上限としている。

もうけた場合、IETの市場価格は増加し、経済負担も増えるという分析結果が得られている。たとえば、ZHANGの場合、日本の限界削減費用がAケースでの約3万8千円、EU提案ケースでは1万8千円、Cケースでは1万4千円となる。そのときの日本の削減目標に対する許可証購入比率は、Cケースにおいて95%あったものが、EU制限がある場合は23%と半減することになる。それに伴って、国内対策での総費用の削減もそれぞれ93.1%、71.9%となり、EU提案の方がより経済的負担が重くなることを示している。

④ Dケース：Cケース、米国不参加、森林吸収源によるクレジット

これまでみてきたモデルでは、米国参加を前提に分析しているが、ENEA、MACGEM、PACEなどは、2001年京都議定書からの脱退を宣言したことをうけ、米国の不参加が京都議定書の目標達成のコストにどのような影響を与えるかを分析している。排出許可書の最も大きな買い手がなくなること、マラケシュ・ボンで合意¹⁹⁾（以下、ボン合意と称する）された森林吸収源（Sink, シンク）による目標達成が可能になったため日本とカナダの需要も減少したこと、さらにロシアなどの森林吸収源の増加に伴って排出許可証の供給量が増加したこと、などの国際排出許可証市場における需給関係の変化によって許可証価格が下がることが予想される。

このような国際市場の動きが、日本の削減目標達成にどのような影響を与えるかをみていく。まずMACGEMモデルでは、アメリカ不参加の場合、限界削減費用が4千円と、参加の場合の半額になる。このとき、海外から許可証を削減目標の38%を購入するが、総費用は1,700億円と参加ケースに比べ半減する。ボン合意での森林吸収源を考慮した場合は、限界削減費用が約2千円とさらに減少するものの、国内の森林吸収源が目標達成に利用可能なため、海外からの許可証購入割合が34%に減少し、総費用も800億円と大幅に減少する。また、PACEモデルでは、ボン合意での新たな目標のもと、米国不参加（参加）で付属書B国間取引が行われる場合、許可証価格が米参加では1万7千円になるが、不参加の場合はゼロになる。これによって経済的負担（消費の減少）は、それぞれ0.08%、ゼロとわずかな影響しか受けないことが示される。国内対策によるCO₂排出量の削減は、米参加のとき5%であったが、不参加のときは、ゼロとなる。

一方、ENEAによると、米国不参加の場合でも、各国の削減目標がそのままであるならば、排出許可証価格は変わらないため、日本の場合、削減量の212%を海外から購入することになり、総費用も250億円減少する。しかし、加盟国の削減量の55%削減を米国不参加のまま達成する場合、排出許可証価格は国内対策での限界削減費用の4倍（約1万4千円）になり、日本の総削減費用は、1,600億円まで高くなることが示される。

⑤ IET市場：独占、カルテル、バンキング

米不参加と森林吸収源のカウントは、許可証市場における不確実性を増すことになり、供給側のロシアなどの市場移行国が許可証価格を引き上げるためカルテルを組む可能性があるとし

19) ボン合意において認められた日本の吸収枠を考慮し、森林吸収分を差し引いた後の削減目標は、-2.3%となる。計算式：（京都議定書の目標：-6%）-（森林吸収分3.9%-森林減少0.2%=3.7%）=-2.3%。

て研究が行われている。EPPA モデルでは、CDM 独占と CDM+旧ソ連などの市場移行国が独占状態の場合と競争的な場合などを分析している。それによると、CDM+旧ソ連独占ケースでの許可証価格が1万5千円と、CDM 独占ケースでの9千円より高くなる。同様に、MACGEM でもロシアや市場移行国でのJIやホットエアーに対するマーケットパワーがある場合を分析しており、その場合、日本の限界削減費用は、1万4千円に上昇し、海外から30%を購入するという結果が得られている²⁰⁾。一方、ボン合意でのCDMの柔軟性が認められる場合、限界削減費用は約2千円となり、34%を海外から購入することになる。また、CPR²¹⁾が適用された場合も分析され、許可証価格が4千円に増加し、海外からの購入が32%に減少しても、総費用は1,200億円となる。

2.2.4 限界削減費用の比較：国内・世界モデル

2010年に達成しなければならないCO₂の削減目標量は、世界モデルの平均では2.46億トンCO₂ (6,700万トン炭素, 67 MtC) となるが、国内モデルでは2.5億トンCO₂ (6,800万トン炭素, 68 MtC) となる。すなわち、2010年時点でのCO₂排出量を1990年時点と比較して2%減を目標とした場合と6%減を目標とした場合のそれぞれの削減量が67 MtCと68 MtCになることがわかった。これは世界モデルが国内モデルより、2010年までのCO₂の増加率が小さく、その差がほぼ4%になることを意味する。このような結果は、異なる目標や想定で分析が行われているためであろう。

ここで、世界モデルの3つのケースと国内モデルの2010年時点の各モデルの限界削減費用の平均を比較してみると、国内モデルでは、2%削減を達成するため炭素税を導入する場合、炭素1トン当たりの炭素税の平均は、約2万円となる。一方、世界モデルにおいて、国内政策(Aケース)のみで6%削減を達成する場合、炭素1トン当たりの限界削減費用は、平均4万5千円となる。それに対して、付属書B国間取引(Bケース)の場合、限界削減費用の平均は1万円となる。さらに、グローバル取引(Bケース)では、CDMによるクレジットも取引の対象となり、限界削減費用の平均はわずか3千円となる。B、Cケースの限界削減費用は、排出許可証の市場均衡価格と等しい。すなわち、排出許可証市場(IET)の動きを図示すると、図3のようになる。Sorrell (2003) による試算によると、COP7で京都議定書の詳細が決まり、付属書I国の削減量がCOP3当初の1,050 MtCから445 MtCに減少し、必要な国内削減量も大幅に減ることになることが示される。また、IET市場の規模が $Q-Q^*$ 量減少し、それに伴って許可証価格がCケースの炭素1トン当たり3千円からさらに減少し、Dケースの場合(米国脱退、森林吸収源によるクレジット供給)は、炭素1トン当たり2千円からゼロ円という結果もある。

本章で得られた限界削減費用の情報をを用いて次章では、新大綱の対策を実施した場合どの程度

20) Eyckmans (2001), p. 34 を参照。完全競争状態ではなく、各国の交渉力によって限界削減費用が異なっている。EUは約38ドルと一番高く、日本はその次に高い。

21) CPR: CDM事業で得られたクレジット(CER)を一定期間保有するというEU提案。一時的CERの有効期限は、それを発行した約束期間の次の約束期間末までであり、事業開始時からの炭素蓄積の変化量に応じて、約束期間ごとにCERを発行することになる。

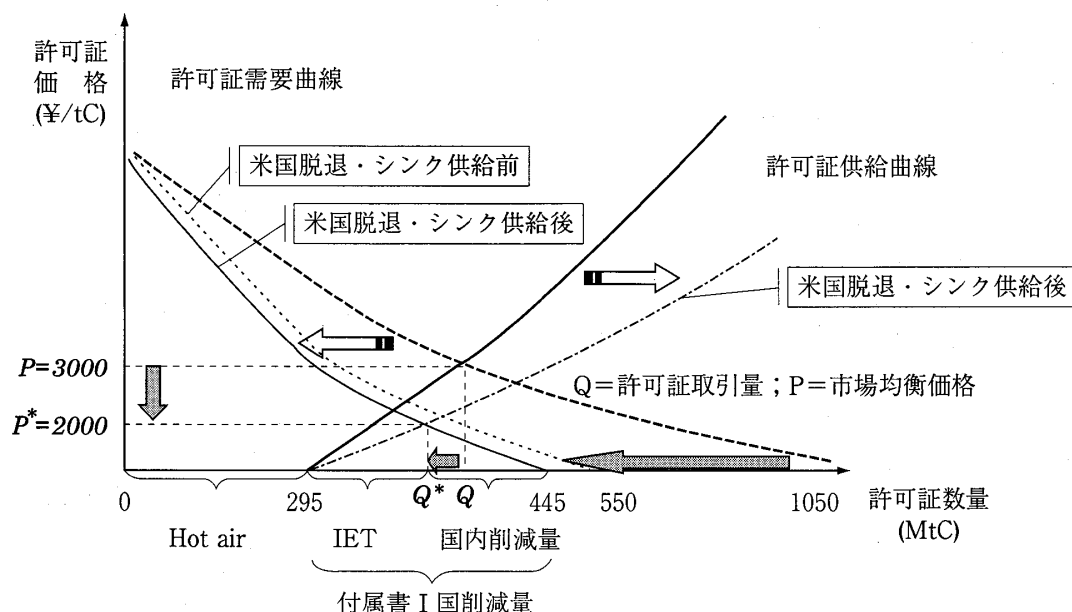


図3 排出許可証市場の動向 (Sorrell (2003) より作成)

の費用が必要なのかを分析する。

3. 日本の目標達成のためのコストの推計

3.1 政策手段ごとの限界（平均）削減費用

新大綱では、1章で述したように2010年に追加的削減13%（45 MtC： $\bar{e}$ ）のうち約88%を森林吸収源対策などを含む国内対策で達成することが示されている。それゆえ、本節ではこれまでのモデル分析の結果から得られた限界削減費用に関する情報を用いて、新大綱による削減対策の費用分析を行う。すなわち、次のような費用最小化問題を解くことになる。

$$\begin{aligned} \min C &= \sum c_i e_i, & i=1, 2, 3, \dots, 9 \\ \text{s. t. } \sum e_i &= \bar{e}, & \text{---(A0)} \end{aligned}$$

$$\frac{e_1 + e_2 + e_3}{\sum e_i} = 0.88 \text{ or } 0.65 \quad \text{---(A1) or (A2)}$$

$$\frac{e_3}{\sum e_i} = 0.3 \quad \text{---(A3)}$$

ここで、 c_i は各政策手段の限界（平均）費用を、 e_i は排出削減量を、 $\bar{e}$ は排出削減目標量を表す。また、政策手段は、国内対策、国際市場で許可書を購入、海外でCDMやJIを直接実施する場合の3つのケースに分類している。政策手段によって費用やクレジットの獲得における不確実性の違いを考慮するため、さらに9ケースに分類している。すなわち、国内対策の場合、技術対策（ $i=1$ ）、炭素税（ $i=2$ ）と森林吸収源（ $i=3$ ）の確保の3つのケースを考えている。また、国際市場で許可書を購入する場合は、IET、JIによって得られたクレジット（Bケース、 $i=4$ ）か、CDMによって得られたクレジット（Cケース、 $i=5$ ）か、森林吸収源によって得られたク

クレジット (D ケース, $i=6$) かの 3 つに分けている。さらに, 海外で CDM や JI を直接実施することによってクレジット獲得する場合は, エネルギー起源からの温暖化ガスの削減か ($i=7$), 再生可能なエネルギーによる発電か ($i=8$), 森林吸収源による確保か ($i=9$) の 3 つに分けている。

前述した 9 つの政策オプションごとの限界削減費用をみてみることにする。

まず, 技術対策の削減費用は (c_1), 岡ら (2002) によって推計されたものを用いる。表 4 のように, 導入技術の費用は, 削減量が 1,400 万トンまでは削減単価はゼロとなり, 300 万トン単位で削減量が大きくなるほど高くなる。また, 炭素税を導入する場合, 国内モデルで得られた炭素税 (c_2) の平均である 2 万円を用いる。それに対して, 森林吸収源の費用 (c_3) としては, 「第 2 回地球環境保全と森林に関する懇談会」²²⁾ 資料を参考に, 算定している。新大綱の 3.9% を達成するためには, 2010 年までの 10 年間で追加的に森林整備を行う必要があり, その費用として 1 兆 1,740 億円が必要であると試算している。その総費用を, 1% の追加的森林調整によって得られる純吸収量 (340 万 tC) で乗じて炭素 1 トン当たりの平均費用を求めると, 約 3 万 5 千円となる。2.9% はゼロの費用で達成できると仮定している。

次に, IET 許可証価格は, 2 章で得られた分析結果を用いている。すなわち, 付属書 B 国間取引のみが認められる B ケース (c_4) の結果から 1 万円を, グローバル取引を認めている C ケース (c_5) の 3 千円を, もっとも現在の議定書の内容に近い, 米不参加で, 森林吸収源がカウントされる場合の D ケース (c_6) の 2 千円を用いている。

最後に, CDM や JI でのプロジェクトを実施し, 削減した分のクレジットを受けとる場合の限界削減費用は, 事業の内容別に異なると想定している。すなわち, エネルギー起源からの温暖化ガスを減らす場合 (c_7) は, 気候変動枠組条約に基づいて共同実施活動 (AIJ) として認められたプロジェクトのうち日本が関与したプロジェクトの単純平均である 6,206 円を用いている²³⁾。また, 再生可能なエネルギーによる発電などを実施する場合の炭素 1 トン当たりの費用 (c_8) は, 7,490 円と高くなると想定している。さらに, 海外で JI または CDM によって森林吸収源を確保するための事業を行う場合の炭素 1 トン当たりの限界削減費用 (c_9) は, 117 円としている²⁴⁾。

このような限界削減費用のデータを用いて, 次節では新大綱による対策の費用分析を行う。

3.2 新大綱路線とその代替案のコスト比較²⁵⁾

i) 新大綱: ①削減目標達成, ②国内対策: 88% (③森林: 3.9%, ④技術対策: 7.5%)

前述したように新大綱による削減対策では, 削減的削減量 13% を, 技術対策 7.5%, 森林吸収

22) 日本林業調査会 (2002) 参照。

23) UNFCCC (2001) を参照。

24) Schwarze (1998) による 23 カ国における 97 の AIJ プロジェクトの費用分析の結果である。

25) 本節の分析では, 追加的な CO₂ 削減量 (45 MtC) を 1 年で達成するための必要な総費用となる。シミュレーション分析には, MS EXCEL ソルバー機を用いている。

表4 新大綱による温暖化対策の費用分析

政 策 手 段		削減量 (MtC)	限界(平均)費用 (円/tC)	削減量 (MtC)	構成比 (%)	総費用 (億円tC)
国内対策	1. 技術対策 (7.5%)	0~14	0	14	31	0
		15~17	7,000	3	7	2,100
		18~20	14,000	3	7	4,200
		21~23	17,000	3	7	5,100
		24~26	23,000	3	7	6,900
		27~29	44,000	0	0	0
		30~32	50,000	0	0	0
		33~35	60,000	0	0	0
		36~39	80,000	0	0	0
	2. 化石燃料：炭素税		20,000	0	0	0
IET	3. 吸収源 (3.9%)	10	0	10	22	0
		4	35,000	4	8	1,225
	4. IET, JI (B ケース)	1.6%	10,000	0	0	0
	5. CDM (C ケース)		3,000	0	0	0
JI, CDM	6. 吸収源 (D ケース)		2,000	0	0	0
	7. 化石燃料		6,206	0	0	0
	8. 再生可能エネルギー		7,490	0	0	0
	9. 吸収源		117	6	12	6
制約条件：①削減目標：45 MtC 達成，②国内対策：88% (③森林：3.9%，④技術対策：7.5%)				45	100	3,061

源3.9%，京都メカニズム1.6%によって達成するとしている。これは、国内対策で削減目標の88%を達成することを意味している。このような新大綱の削減対策を実施した場合、必要とされる費用を推計する（表4を参照）。まず、技術対策によって、7.5%に相当する2,600万トン（26 MtC）を削減するためには、1,830億円の費用が必要であり、また森林吸収源によって1,400万トンを削減する場合、1,225億円が必要である。残りの600万トンは京都メカニズム、特に JI, CDM 事業で森林吸収源として確保し、その費用は6億円となる。すなわち、新大綱による削減対策は、3,061億円の費用が必要であることが示される。

ii) 代替案1：①削減目標達成・費用最小化，②国内対策：88%（③森林：3.9%）

新大綱による削減対策のうち、技術対策は削減量が大きくなると削減費用が高くなることから、炭素税を導入し、削減を誘導する場合を考える。すなわち、技術対策のみではなく炭素税をも用いた国内対策で削減目標の88%を達成することになる。また国内の森林吸収源を3.9%確保することが制約条件となる。それゆえ、代替案1として、このような制約条件のもとで、最小費用で目標達成するための政策の組み合わせについて簡単な分析を行っている。すなわち、費用最小化問題は、上述した（A0），（A1），（A3）の3つの条件の下で、解くことになる。その結果（付表3を参照）、代替案1のような制約のもとで削減目標を達成する場合、約2,956億円の費用がかか

ることが示される。その内訳としては、政策手段ごとの削減を見てみると、技術対策51% (1,140億円)、森林吸収源30% (1,190億円)、JI、CDM 吸収源12% (6億円)、炭素税7% (620億円)となる。新大綱の技術対策による削減に比べて、僅かであるが、費用が安くなる。

iii) 代替案2：①削減目標達成・費用最小化，②国内対策：88%，③森林：制約条件なし

次に、代替案2として森林吸収源による削減条件を緩めた場合を考える。すなわち、国内対策で削減目標の88%を達成するが、技術対策、エネルギー起源（炭素税）、森林吸収源にかかわらず、費用が安い方をより多く用いることを認める。すなわち、上述した制約条件のうち、(A3)式の条件をはずし、(A0)、(A1)の2つの条件の下で費用最小化問題を解くことになる。その結果（付表4を参照）、総費用は約2,446億円と新大綱のケースより約500億円安くなる。その構成をみると、炭素税より高い技術対策が使われないものと技術対策が代替案1と同じように51%を占める。さらに、森林吸収源は追加的費用を必要としない22%（費用：ゼロ）が維持され、炭素税が14% (1,300億円)に増える。

iv) 代替案3：①削減目標達成・費用最小化，②国内対策：65%，③森林：制約条件なし

代替案3では、さらに制約を緩和し、削減目標の65%を国内で削減する場合を考える。すなわち、費用最小化問題は、上述した(A0)、(A2)の2つの条件の下で、解くことになる。それによると（付表5参照）、総費用は約530億円となり、そのうち技術対策の費用が511億円と大部分を占める。代替案2と違い、炭素税は全く導入されず、JI、CDM 吸収源による削減が35%に増える。しかしながら、JI、CDM 事業による吸収源は、炭素1トン当たりの削減費用が安いので、18億円で達成できる。すなわち、新大綱による対策費用が代替案3による費用より6倍高いことが示される。

v) 代替案4：①削減目標達成・費用最小化，②国内対策：条件なし，③森林：制約条件なし

さらに、代替案4では（付表6参照）、(A0)条件を除くすべての条件をはずした場合を分析する。それによると、国内政策における技術対策や森林吸収源のうち、追加的費用なしで削減可能な排出量2,400万トンを除いて、1単位当たり削減費用が最も安いJI、CDM プロジェクトによる森林吸収源で46%を達成する。このときの削減費用は、JI、CDM事業による吸収源の確保のために必要な24億円のみとなる。これは、新大綱路線による費用の125分の1の費用で削減目標が達成され、大幅な費用節約になることがわかる。

vi) その他：①削減目標達成・費用最小化，②国内対策：100%，③森林：制約条件なし

最後に、国内対策によって100%削減する場合は、4,363億円が必要であり、新大綱の場合に比べて約1.4倍高くなることがわかった。

本節では、モデル研究から得られた限界削減費用に関する情報を用いて、新大綱による削減対策とその代替案のコスト分析を行っている。その結果、新大綱でのように国内対策によって目標を達成する場合（新大綱）、その総費用は約3,000億円にのぼり、国内対策の制限を設けず京都メカニズムを利用する場合（代替案4）の総費用は24億円になることから新大綱に比べて大幅な費用節約が可能であることが示された。また、本稿で参考にしたモデルの平均削減量（68 MtC：）

を達成する場合の費用分析も行っているが、削減量が増えるため、総費用（新大綱：1兆3,265億円）は前述した分析より高くなるが、制約がないほど費用（代替案1：8,042億円，代替案2：6,498億円，代替案3：3,388億円，代替案4：51億円）が安くなるという同様な傾向が示される。

4. お わ り に

本稿では、新大綱にあげたこのような温暖化削減対策によって京都議定書の目標を達成する場合、対策に必要な費用の観点から分析を行っている。その対策コストや経済への負担について、国内および世界モデル分析を用いてみた。これまでの京都議定書の数値目標を達成するための費用を推計しているモデル研究を比較した結果、各モデル分析における想定やモデル構造、分析テーマの違いがあり、その相違が結果のちがいをもたらしめていることがわかった。しかしながら費用に関する情報が得られなければ、費用効率的な政策の組み合わせを考えることができない。それゆえ、荒い手法であるが、本稿ではそれぞれの単位を揃え、モデルから得られた限界削減費用の平均を用いて、新大綱による削減対策を行った場合、どの程度の費用が必要なのかを分析している。それによると、世界モデルでは炭素1トン当たり日本の限界削減費用は、4万5千円とかなり高くなるが、付属書B国間の取引を行った場合は、1万円となる。さらに CDM によるクレジットも取引されるグローバルケースでは3千円になる。一方、国内モデルでは、ベースラインの想定を統一させ比較可能にしているが、その結果にはやはり差がある。国内対策のみで2%削減を行った場合、2万円の炭素税が必要であることが示される。

また、このようなモデル研究から得られた限界削減費用に関する情報を用いて、新大綱による削減対策のコスト分析を行っている。その結果、新大綱のように国内対策で、特に森林吸収源を3.9%確保する場合、その総費用は約3,000億円にのぼることが示された。国内対策の枠をはずした場合、京都メカニズムが最も多く利用され、総費用は24億円と大幅な費用節約が可能であることが示された。

本稿で得られた分析結果の政策インプリケーションについて考察する。新大綱のように国内対策によって削減目標を達成する場合、対策に必要な費用が京都メカニズムより高く、費用効率的ではないという結果が得られている。このような分析結果を裏付けるように現在、限界削減費用が安い東南アジア地域で実施予定の CDM プロジェクトの多くが、廃棄物管理、バイオマスの利用、植林吸収源に関する事業である²⁶⁾。またエネルギー関連としては、太陽熱利用に関する事業が行われている。実際に削減活動を行うべき主体である企業は、政府の方針と異なり国内対策より京都メカニズムを、特にCDMシンクなどを用いて目標達成を目指している。また、その事業内容においても、当初の CDM の趣旨である、エネルギー起源の排出量を減少させ、持続可

26) (財)地球環境センターが作成した「地球温暖化対策クリーン開発メカニズム事業調査結果データベース」より。(URL:<http://www.unep.or.jp/gec/index-j.html>)

能な発展に結びつくような事業はほとんど計画されていないのが現状である。

また、新大綱での森林吸収源による3.9%確保が可能か否かについて、費用の観点だけではなく森林経営の観点からも考慮する必要がある。そこで、日本の森林経営の観点からの分析をみると、政府が吸収源によるクレジット1単位を2,500円程度で買い取る場合でも、利子率によっては森林経営が赤字になる場合があることが示される²⁷⁾。このように森林経営の観点からすると、国内の森林吸収源によって3.9%を達成することは困難であり、また高い費用を要することから、新大綱の提案は非現実的と言える。しかしながら、森林は、CO₂の吸収源の役割のみではなく、他の多様な機能を有しており、その機能をも評価し、森林保全活動の経済性を議論する必要がある、簡単に結論づけるのは適切ではない。

これまで述べたように、新大綱は他の代替案に比べて割高であり、また実現可能性も低い。しかしながら、第2約束期間以降の参加問題や費用負担の大きさなどのいくつかの別の視点で評価すると、有効な政策と言えるかもしれない。すなわち、国内対策による削減は第1約束期間における費用を高くするが、その費用を削減するための技術改善が進むことになり、第2期以降の費用を低減させる可能性がある²⁸⁾。上述した京都メカニズムの現状では、京都議定書の効果が弱まり、第2約束期間における途上国参加を議論する際に障害となる恐れがある。その点では、新大綱で打ち出した国内対策を実施し、実際に削減目標が達成できるのであれば、途上国の第2約束期間以降への参加を促すこともできる。そうなるためには、現在のような方針の提示だけではなく、実際に対策を実施していくために有効な政策手段の導入を早急に行う必要がある。さらに、森林吸収源によって目標達成をするという方針は、本来行うべきエネルギー起源によるCO₂排出の削減を小さくし、不確実性の高い森林吸収源を進めることになり、実際の温暖化ガスの削減につながらないとする意見もある。しかしながら、温暖化ガス削減を主目的で森林保全をしたとしても、保全によって他の副次的なプラスの影響がもたらされることがあるので、このような副次的な効果を考慮する場合、森林保全は意味がある。しかし、森林保全のためには、森林経営の赤字問題を解決する必要がある。そこで、この問題を解決するため、エネルギー起源によるCO₂の排出に対して税を導入し、その税収を森林保全活動に使用することも一つの政策ではないだろうか。そうすれば、森林経営の赤字問題が解決され、エネルギー起源のCO₂の削減と森林吸収源の確保が同時に可能になると思われる。

本稿のこのような結論には、いくつかの点で注意を払う必要がある。本稿では、削減目標を最小費用で達成するための国内対策、京都メカニズム、森林吸収源の確保など、政策の組み合わせを、いくつかのモデル分析の結果を用いて検討している。しかしながら、新大綱やその代替案の費用分析において、限界削減費用以外の費用が考慮されておらず、分析に用いているデータは対

27) 坂田など(2001)、坂田・木平(2003)を参照。

28) 技術対策の場合、省エネでコストダウンが見込まれ、それに伴って省エネ設備産業の投資も増加し、経済にマイナス影響を与えるとは必ずしもいえない。また、企業の省エネ設備などの初期投資の回収期間が約2年とかなり短く、その後はプラスに転じるとの議論もある。

策費用のほんの一部である。たとえば、炭素税を実施する場合の実施及びモニタリング費用、京都メカニズムの場合の取引費用およびクレジットの認定における不確実性によるリスク負担などがある。また、目標量達成のための総費用の計算の際には、削減に必要な費用及び削減による便益や他の経済への影響などを考慮して総合的に判断する必要があるが、本稿では、削減に必要な(直接)費用のみを分析している。さらに森林吸収源の確保の費用として、「最後の1単位」を削減するための平均費用を用いて分析しているが、2010年に森林吸収源を確保するためには、森林の成長に要する時間的な蓄積が必要であり、その間継続的に森林保全のため追加的な投資を行う必要がある。

このような追加的費用をも考慮し、最小費用で目標達成可能な政策手段の組み合わせを考えるのが適切であろう。しかしながら、このような費用については多くの情報が欠けているので、今回の分析では考慮することが出来なかった。それゆえ、本稿でのような短期の少ない情報のもとで政策の是非を判断するには限界があると思われるが、これまでの多くのモデル分析によって得られた情報を用いて、いかにまたどのような政策分析ができるかを模索する一つの試みとしては意義があると思われる。しかし、これまで述べた問題点についてはさらに研究を進め、厳密にしていきたい。さらに、第1約束期間のみではなく、第2約束期間以降をも視野に入れた長期的な政策オプションをも考える必要があるだろう。その点についてもこれからの研究において深めていきたい。

【参 考 文 献】

- 植田和弘・林宰司 (1997), 「地球温暖化防止をめぐる政治と経済」, 経済セミナ 515, pp. 10-15.
- 岡敏弘・藤井美文・石川雅紀・須佐美周・加藤悟・松野裕 (2002), 「環境影響物質の限界削減費用を用いた環境配慮商品の社会的効果の測定」, 環境経済・政策学会2002年大会.
- 甲斐沼美紀子・森田恒幸・松岡譲 (1997), 「京都議定書達成のコスト分析」, 三田学会雑誌92 (2), pp. 41-55.
- 加藤久和 (2000), 「京都議定書『クリーン開発メカニズム』の可能性と限界」, 法政論集 (名古屋大学) 184号, pp. 1-31.
- 行藤則行 (1990), 「動学的最適化シミュレーション・モデルによる CO₂ 放出量抑制の経済的影響分析」 金沢大学経済学部論集第11巻第1号.
- 坂田景祐・木平勇吉・田中純一・井上公基 (2001), 「CO₂ 排出権取引を想定した森林経営の環境経済学的分析」, 日本林学会83 (3), pp. 220-224.
- 坂田景祐・木平勇吉 (2003), 「森林の CO₂ 吸収機能に関する助成を想定した林業経営収支モデル」, 日林誌85 (1), pp. 7-11.
- 環境省 (2001), 「中央環境審議会地球環境部会「目標達成シナリオ小委員会」中間取りまとめ」 (URL: www.env.go.jp/council/06earth/y062-07/mat02.pdf)
- 日本林業調査会 (2002), 「第2回地球環境保全と森林に関する懇談会」資料3 (URL: www.env.go.jp/nature/biodic/shinrin/kondan/02/mat03-1.pdf)
- 水谷洋一編著 (2000), 『2010年地球温暖化防止シナリオ』, 実教出版.
- 森田恒幸 (1997), 「温暖化態対策モデルは何を明らかにしたか」, 経済セミナ515, pp. 16-21.

- Barrett, S. (1998), "The Political Economy of the Kyoto Protocol", *Oxford Review of Economic Policy* 14, pp. 20-39.
- Bernstein, P. M., Montgomery, W. D., Rutherford, T. F., Yang, G. F. (1999), "Effects of Restrictions on International Permit Trading: the MS-MRT Model. In: Weyant, J. (Ed.), The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation, *The Energy Journal*, Special Issue, pp. 221-256.
- Bohringer, C. (2000), "Cooling Down Hot Air: a Global CGE Analysis of Post-Kyoto Carbon Abatement strategies", *Energy Policy* 28, pp. 779-789.
- Capros, P. (1999), "European Emission Mitigation Policy and Technological Evolution: Economic Evaluation with the GEM-E3 Model: Final Report", National Technical University of Athens, Institute of Communication and Computer Systems, E3M-Lab.
- Ciorba, U., Lanza, A., Pauli, F. (2001), "Kyoto Protocol an Emission Trading: Does the US make a Difference?", FEEM working paper 90. 2001, Milano.
- Cooper, A., Livermore, S., Rossi, V., Wilson, A., Walker, J. (1999), "The Economic Implications of Reducing Carbon Emissions: a Cross-Country Quantitative Investigation Using the Oxford Global Macroeconomic and Energy Model", In: Weyant, J. (Ed.), The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation, *The Energy Journal*, Special Issue, pp. 367-390.
- Criqui, P., Mima, S., Viguier, L. (1999), "Marginal abatement costs of CO₂ Emission Reductions, Geographical Flexibility and Concrete Ceilings: an Assessment Using the POLES Model", *Energy Policy* 27, pp. 585-601.
- Ellerman, A. D., Jacoby, H. D. Decaux, A. (1998), "The Effects on Developing Countries of the Kyoto Protocol and CO₂ Emissions Trading", Policy Research Working Paper 2019, World Bank, Washington, 2DC.
- Energy Information Agency (EIA, 2000), *International Energy Outlook 2000*, US Department of Energy, Washington.
- Eyckmans, J., van Regemorter, D., van Steenberghe, V. (2001), "Is Kyoto Fatally Flawed? An Analysis with MacGEM", Katholieke Universiteit Leuven, Faculty of Economics and Applied Economic Sciences, Working paper No. 2001-18.
- Hahn, R. W., Stavins, R. N. (1999), "What has Kyoto Wrought? The Real Architecture of International Permit Markets", Resources for the Future, Discussion Paper 99-30.
- Holtmark, B., Maestad, O. (2002), "Emissions Trading under the Kyoto Protocol. Effects on Fossil Fuel Markets under Alternative Regimes", *Energy Policy* 30, pp. 207-218.
- Jacoby, H. D. (1998), "The Uses and Misuses of Technology Development as a Component of Climate Policy", MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report No. 43, Cambridge, MA.
- Jacoby, H. D., Ellerman A. D. (2002), "The safety Valve and Climate Policy", MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report No. 83, Cambridge, MA.
- Jakeman, G., Heyhoe, E., Pant, H., Woffenden, K., Fisher, B. S. (2001), "The Kyoto Protocol, Economic Impacts under the Terms of the Bonn Agreement", ABARE conference paper 2001. 28, Canberra.
- Kainuma, M., Matsuoka, Y., Morita, T. (1999), "Analysis of Post-Kyoto Scenarios: the Asian-Pacific Integrated Model", In: Weyant, J. (Ed.), The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation, *The Energy Journal*, Special Issue, pp. 207-220.
- Kiyono, Y., Hastanah, Miyakuni, K. (2003), "Height Growth Relationships in Secondary Plant Com-

- munities in Kalimantan for Forest Projects under the Clean Development Mechanism of COP7", *Bulletin of Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)* 2 (1), pp. 43-51.
- MacCracken, C. N., Edmonds, J. A., Kim, S. H., Sands, R. D. (1999), "The Economics of the Kyoto Protocol", In: Weyant, J. (Ed.), *The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation*, *The Energy Journal*, Special Issue, pp. 25-71.
- Manne, A. S., Richels, R. G. (1999), "The Kyoto Protocol: a Cost-Effective Strategy for Meeting Environmental Objectives?", In: Weyant, J. (Ed.), *The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation*, *The Energy Journal*, Special Issue, pp. 1-23.
- Manne, A. S., Richels, R. G. (2004), "US Rejection of the Kyoto Protocol: the Impact on Compliance Costs and CO₂ Emissions", *Energy Policy* 32, pp. 447-454.
- McKibbin, W. J., Ross, M. T., Shackleton, R., Wilcoxon, P. J. (1999), "Emissions Trading, Capital Flows and the Kyoto Protocol", In: Weyant, J. (Ed.), *The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation*, *The Energy Journal*, Special Issue, pp. 287-333.
- McKibbin, W. J., Wilcoxon, P. J. (2004), "Estimates of the Costs of Kyoto: Marrakesh versus the McKibbin-Wilcoxon Blueprint", *Energy Policy* 32, pp. 467-479.
- Godal, O., Ermoliev, Y., Klaassen, G., Obersteiner, M. (2003), "Carbon Trading with Imperfectly Observable Emissions", *Environmental and Resource Economics* 25, pp. 151-169.
- Schwarze, R. (1998), "Activities Implemented Jointly: Another look at the facts", Diskussionspapier 1998/20, University of Technology Berlin.
- Sedjo, R., Amano, M., Yamagata, Y. (2002), "The Operationalization of the Kyoto Protocol with a Focus on Sinks: A Perspective for Japan", *Bulletin of FFPRI* 1(2), pp. 151-161.
- Sijm, J. P. M., Ormel, F. T., Martens, J. W., et al. (2000), "Kyoto Mechanisms: The Role of Joint Implementation, the Clean Development Mechanism and Emissions Trading in Reducing Greenhouse Gas Emissions", ECN report C-00-026, Petten, The Netherlands.
- Sorrell, S. (2003), "Emissions Trading After Kyoto", Science and Technology Policy Research, mimeo.
- Springer, U. (2003), "The Market for Tradable GHG Permits under the Kyoto Protocol: A Survey of Model Studies", *Energy Economics* 25, pp. 527-551.
- Springer, U., Varilek, M. (2004), "Estimating the Price of Tradable Permits for Greenhouse Gas Emissions in 2008-12", *Energy Policy* 32, pp. 611-621.
- Stevens, B., Rose, A. (2002), "An Dynamic Analysis of the Marketable Permits Approach to Global Warming Policy: a Comparison of Spatial and Temporal Flexibility", *Journal of Environmental Economics and Management* 44, pp. 45-69.
- Tulpule, V., Brown, S., Lim, J., Polidano, C., Pant, H., Fisher, B. S. (1999), "The Kyoto Protocol: an Economic Analysis Using GTEM", In: Weyant, J. (Ed.), *The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation*, *The Energy Journal*, Special Issue, pp. 257-285.
- United Nations Framework Convention on Climate Change: List of AIJ Projects, UNFCCC-CC: INFO/AIJ, 18 July 2001. (URL: www.unfccc.int/program/coop/aij/aijproj.html)
- van der Mensbrugghe, D. (1998), "A (Preliminary) Analysis of the Kyoto Protocol: Using the OECD GREEN Model", In: OECD, 1998, *Economic Modelling of Climate Change*, OECD, Paris.
- Weyant, J., Hill, J. (1999), "Introduction and Overview", In: Weyant, J. (Ed.), *The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation*, *The Energy Journal*, Special Issue, pp. vii-xliv.
- Zhang, Z. X. (2000), "Estimating the Size of the Potential Market for the Kyoto Mechanisms", *Weltwirt-*

schaftliches Archiv-Review of World Economics 136, pp. 491-520.

Zhang, Z. X. (2001), "An Assessment of the EU Proposal for Ceilings on the Use of Kyoto Flexibility Mechanisms", *Ecological Economics* 37, pp. 53-69.

(受付 2004年4月13日)

【付 録】

付表1 モデル名・出所

	モ デ ル 名	文 献
AIM	Asian-Pacific Integrated Model	Kainuma et. al. (1999)
ENEA	By the Italian National Agency for New Technologies, Energy and the Environment	Ciorba et. al. (2001)
EPPA	Emissions Projection and Policy Analysis Model	Ellerman et. al. (1998)
G-CUBED	Global General Equilibrium Growth Model	McKibbin et. al. (1999)
GEM-E3	General Equilibrium Model for Energy	Capros (1999)
GREEN	General Equilibrium Environmental Model for assessing the economic impacts of limiting carbon emissions	Van der Mensbrugghe (1998)
GTEM	Global Trade and Environment Model	Tuple et. al. (1999)
MS-MRT	Multi-Sector-Multi-Region Trade Model	Bernstein et. al. (1999)
OXFORD	Oxford Economic Forecasting Model	Cooper et. al. (1999)
PACE	Policy Analysis based on Computable Equilibrium	Bohringer (2000)
POLES	Prospective Outlook on Long-term Energy Systems	Criqui et. al. (1999)
R & S	Rose and Stevens Model	Stevens and Rose (2002)
CICERO	Model developed by Center for International Climate and Environmental Research in Oslo	Holtmark and Maestad (2002)
ECN	Model developed by Energy research Centre of the Netherlands	Sijm et. al. (2000)
SGM	Second Generation Model	MacCracken et. al. (1999)
MACGEM	Global marginal abatement cost simulation model based on the GRM-E3-World general equilibrium	Eyckmans et. al. (2001)
ZHANG	Model using MAC curves from EPPA	Zhang (2001)
GDMEEM	Goto's Dynamic Macroeconomic-Energy Equilibrium Model	後藤 (1990), 環境省 (2001)
MARIA	Multiregional Approach for Resource and Industry Allocation	環境省 (2001)
SGMJ	Second Generation Model-Japan	MacCracken et. al. (1999)

付表2 京都議定書の数値目標達成のための日本の削減費用：世界モデルによる分析結果

モデル	ベースライン (基準年) 想定			削減目標		国内対策 (Aケース)			付属書B国間取引 (Bケース)			グローバル取引 (Cケース)		
	年平均伸び率 (1990年-2010年)			CO ₂ 排出量	CO ₂ (Mt CO ₂)	CO ₂ 変化 (対BaU)	限界削減費用 (億円/tC)	総費用 (円/tC)	GDP 変化 (対BaU)	許可証 価格 (円/tC)	総費用 (億円/tC)	購入比率	GDP 変化 (対BaU)	購入比率/削減目標
	GDP	人口	CO ₂ 排出量											
AIM	1.9%		1.5%	1,089	1,089	-22%	28,428		-0.25%	8,239			-0.10%	71%
ENEA			0.9%	1,063	1,063	-13%	4,193	29,129		4,495	3,325	57%		
EPPA	3.2%	0.1%	1.8%	1,093	1,093	-34%	79,287	46,663		17,263	20,202	66%		92%
G-CUBED		0.0%		1,001	1,001	-21%	12,974		-0.60%	7,062		37%	-0.40%	78%
GEM-E3				1,005	1,005	-19%	41,586		-0.62%	6,670			-0.16%	-0.08%
GREEN	2.2%	0.1%		1,272	1,272	-32%	8,010		-0.90%	7,062		52%	-0.40%	-0.20%
GTEM	3.2%	0.2%	0.9%			-22%	84,191		-0.70%	14,124			0.00%	
MS-MRT	2.2%		1.2%	1,047	1,047	-30%	54,212		-0.64%	11,378		55%	-0.23%	77%
OXFORD		12.5 ^b	1.1%	1,005	1,005	-24%	119,737		-1.80%	27,856		77%	-0.50%	
PACE				1,047	1,047	-26%	34,680		-0.30%	6,670	3,646	57%	-0.10%	-0.05%
POLES	1.7%	0.3%	0.8%	1,089	1,089	-20%	22,422	6,342	-0.18%	1,177	29,960			
R & S	2.4%	0.3%	0.8%	1,052	1,052	-13%		44,512						
平均	2.4%	0.2%	1.1%	1,069	1,069	-23%	44,520	31,661	-0.7%	10,181	14,283	57%	-0.2%	77%
CICERO ^a			0.9%	1,338	1,338	-21%	12,555			6,378		51%		
ECN ^a			0.9%	1,332	1,332	-21%	11,167	37,325		7,454	2,524	83%		86%
SGM ^a	1.9%		1.5%	1,085	1,085	-33%	55,642			9,024				88%
平均	1.9%		1.1%	1,252	1,252	-25%	26,454	37,325		7,619	2,524	67%		87%
平均	2.2%	0.2%	1.1%	1,161	1,161	-24%	35,487	34,493	-0.7%	8,900	8,404	62%	-0.2%	82%
ZHANG			1.1%	1,236	1,236	-18%	37,880			17,531 ^c		23%		95%

注) 2000年価格 (1\$=107円)。単位: a は CO₂-eq、b は億人、c は EU 提案 (取引の上限がある場合)。

出所) Bernstein et al. (1999), Böhringer (2000), Capros (1999), Ciorba et al. (2001), Cooper et al. (1999), Criqui et al. (1999), Ellerman et al. (1998), Holtsmark and Mæstad (2002), Kainuma et al. (1999), MacCracken et al. (1999), McKibbin et al. (1999), Stevens and Rose (2002), Sijm et al. (2000), Springer(2003), Tulpulé et al. (1999), van der Mensbrugghe (1998), Zhang (2000) より作成。

付表3：代替案 1

政 策 手 段		削減量 (MtC)	限界(平均)費用 (円/tC)	削減量 (MtC)	構成比 (%)	総費用 (億円tC)
国内対策	1. 技術対策 (7.5%)	0～14	0	14	31	0
		15～17	7,000	3	7	210
		18～20	14,000	3	7	420
		21～23	17,000	3	7	510
		24～26	23,000	0	0	0
		27～29	44,000	0	0	0
		30～32	50,000	0	0	0
		33～35	60,000	0	0	0
		36～39	80,000	0	0	0
	2. 化石燃料：炭素税		20,000	3.1	7	620
3. 吸収源 (3.9%)	10.1	0	10.1	22	0	
	4	35,000	3	8	1,190	
IET	4. IET, JI (B ケース)	1.6%	10,000	0	0	0
	5. CDM (C ケース)		3,000	0	0	0
	6. 吸収源 (D ケース)		2,000	0	0	0
JI, CDM	7. 化石燃料		6,206	0	0	0
	8. 再生可能エネルギー		7,490	0	0	0
	9. 吸収源		117	5	12	6
制約条件：①削減目標：45 MtC 達成，②国内対策：88% (③森林：3.9%)				45	100	2,956

付表4：代替案 2

政 策 手 段		削減量 (MtC)	限界(平均)費用 (円/tC)	削減量 (MtC)	構成比 (%)	総費用 (億円tC)
国内対策	1. 技術対策 (7.5%)	0～14	0	14	31	0
		15～17	7,000	3	7	210
		18～20	14,000	3	7	420
		21～23	17,000	3	7	510
		24～26	23,000	0	0	0
		27～29	44,000	0	0	0
		30～32	50,000	0	0	0
		33～35	60,000	0	0	0
		36～39	80,000	0	0	0
	2. 化石燃料：炭素税		20,000	6.5	14	1,300
3. 吸収源 (3.9%)	10.1	0	10.1	22	0	
	4	35,000	0	0	0	
IET	4. IET, JI(B ケース)	1.6%	10,000	0	0	0
	5. CDM (C ケース)		3,000	0	0	0
	6. 吸収源 (D ケース)		2,000	0	0	0
JI, CDM	7. 化石燃料		6,206	0	0	0
	8. 再生可能エネルギー		7,490	0	0	0
	9. 吸収源		117	5	12	6
制約条件：①削減目標：45 MtC 達成，②国内対策：88%				45	100	2,446

付表5：代替案 3

政 策 手 段		削減量 (MtC)	限界(平均)費用 (円/tC)	削減量 (MtC)	構成比 (%)	総費用 (億円tC)
国内対策	1. 技術対策 (7.5%)	0～14	0	14	31	0
		15～17	7,000	3	7	210
		18～20	14,000	2.15	5	301
		21～23	17,000	0	0	0
		24～26	23,000	0	0	0
		27～29	44,000	0	0	0
		30～32	50,000	0	0	0
		33～35	60,000	0	0	0
		36～39	80,000	0	0	0
	2. 化石燃料：炭素税		20,000	0	0	0
3. 吸収源 (3.9%)	10.1	0	10.1	22	0	
	4	35,000	0	0	0	
IET	4. IET, JI (B ケース)	1.6%	10,000	0	0	0
	5. CDM (C ケース)		3,000	0	0	0
	6. 吸収源 (D ケース)		2,000	0	0	0
JI, CDM	7. 化石燃料		6,206	0	0	0
	8. 再生可能エネルギー		7,490	0	0	0
	9. 吸収源		117	16	35	18
制約条件：①削減目標：45 MtC 達成，②国内対策：65%				45	100	529

付表6：代替案 4

政 策 手 段		削減量 (MtC)	限界(平均)費用 (円/tC)	削減量 (MtC)	構成比 (%)	総費用 (億円tC)
国内対策	1. 技術対策 (7.5%)	0～14	0	14	31	0
		15～17	7,000	0	0	0
		18～20	14,000	0	0	0
		21～23	17,000	0	0	0
		24～26	23,000	0	0	0
		27～29	44,000	0	0	0
		30～32	50,000	0	0	0
		33～35	60,000	0	0	0
		36～39	80,000	0	0	0
	2. 化石燃料：炭素税		20,000	0	0	0
3. 吸収源 (3.9%)	10.1	0	10.1	22	0	
	4	35,000	0	0	0	
IET	4. IET, JI (B ケース)	1.6%	10,000	0	0	0
	5. CDM (C ケース)		3,000	0	0	0
	6. 吸収源 (D ケース)		2,000	0	0	0
JI, CDM	7. 化石燃料		6,206	0	0	0
	8. 再生可能エネルギー		7,490	0	0	0
	9. 吸収源		117	21	46	24
制約条件：①削減目標：45 MtC 達成				45	100	24