

Title	多部門一般均衡モデルによる二酸化炭素排出量評価：第一約束期間の限界削減費用と2030年展望
Sub Title	
Author	野村, 浩二(Nomura, Koji)
Publisher	Keio Economic Observatory Sangyo Kenkyujo
Publication year	2007
Jtitle	KEO discussion paper No.108 (2007. 7)
JaLC DOI	10.14991/004.00000108-0001
Abstract	京都議定書の第一約束期間（2008-12年）を目前にして、わが国の二酸化炭素排出量の実績は過去の見通しを大きく上回っており、目標の達成における困難性が強く認識されはじめた。その一方では2013年以降の温暖化対策の枠組みを見据え、より長期的な視野を持つことの重要性が高まっている。本稿では多部門一般均衡モデルによって、第一約束期間の目標達成に向けての国内対策による限界削減費用の検討、および中長期的なシナリオとして2030年までのエネルギー需給の展望としての試算をおこなう。2012年における1990年比安定化のためには国内対策として4万円/t-Cほどの限界削減費用が必要であり、総削減量の半分は発電部門における石炭火力とLNG火力の相対的成本が逆転しLNG火力の利用の促進によってもたらされている。
Notes	
Genre	Technical Report
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA10715861-00000108-0001">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA10715861-00000108-0001</a>

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

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

多部門一般均衡モデルによる二酸化炭素排出量評価  
— 第一約束期間の限界削減費用と 2030 年展望 —

野村浩二

慶應義塾大学産業研究所

2007 年 7 月 7 日

概要

京都議定書の第一約束期間（2008-12 年）を目前にして、わが国の二酸化炭素排出量の実績は過去の見通しを大きく上回っており、目標の達成における困難性が強く認識されはじめた。その一方では 2013 年以降の温暖化対策の枠組みを見据え、より長期的な視野を持つことの重要性が高まっている。本稿では多部門一般均衡モデルによって、第一約束期間の目標達成に向けての国内対策による限界削減費用の検討、および中長期的なシナリオとして 2030 年までのエネルギー需給の展望としての試算をおこなう。2012 年における 1990 年比安定化のためには国内対策として 4 万円/t-C ほどの限界削減費用が必要であり、総削減量の半分は発電部門における石炭火力と LNG 火力の相対のコストが逆転し LNG 火力の利用の促進によってもたらされている。

## 図表目次

表 1：主要外生変数.....	6
表 2：CO <sub>2</sub> 排出量の GDP 弾性値：BaU ケース.....	8
図 1：BaU ケースにおけるエネルギー起源 CO <sub>2</sub> 排出量.....	7
図 2：BaU ケースにおける人口と就業者数の年平均成長率.....	8
図 3：BaU ケースにおける発電電力構成(電気事業者).....	9
図 4：2010 年の炭素税導入による CO <sub>2</sub> 排出量：短期および長期的削減効果.....	10
図 5：わが国の限界削減費用.....	11
図 6：2010-12 年の炭素税賦課による CO <sub>2</sub> 排出量.....	12
図 7：炭素税賦課による生産量変動率の産業別跛行性.....	13
図 8：炭素税賦課による産業および家計における CO <sub>2</sub> 排出量の変化率.....	14
図 9：炭素税賦課による発電電力構成の変化.....	15
図 10：原子力発電および新エネルギー進展ケースによる CO <sub>2</sub> 排出量.....	16
図 11：原子力発電および新エネルギー進展ケースによる発電電力構成の変化.....	17

## 多部門一般均衡モデルによる二酸化炭素排出量評価

### — 第一約束期間の限界削減費用と 2030 年展望 —

野村浩二

慶應義塾大学産業研究所

2007 年 7 月 7 日

#### 1. はじめに

昨年 10 月、The Economics of Climate Change と題する Stern Review の最終レポートが提出された<sup>1</sup>。低炭素グローバル経済 (low-carbon global economy) への移行を探る上で、Stern Review の発する基本的なメッセージは、気候変動に対する強固かつ早期の行動をとることによる便益はその費用を上回るというものである。Stern Review での経済評価は、低炭素経済への移行のための 2050 年などといった中長期的な視野と、気候変動によってもたらされる経済的影響という 200 年あるいはそれ以上という超長期的な視野を併せ持っている。

京都議定書の第一目標期間 (2008-12 年) を目前にして、わが国では目標達成のための困難性がいよいよ強く認識されるとともに、一方では 2013 年以降の温暖化対策の枠組みを見据えたより長期的な視野を持つことの重要性が高まっている。2005 年 3 月、総合資源エネルギー調査会は「2030 年のエネルギー需給展望」(以下、「需給展望」と呼ぶ) を提示した。これまでの「長期エネルギー需給見通し」と同様な 2010 年のシナリオの描写もおこなわれているが、「需給展望」での分析の重点はむしろ 2030 年までの中長期展望を得ることに置かれている。

本年 6 月に開催されたハイリゲンダムサミットでは、2050 年までに世界の温室効果ガスの排出量を少なくとも半減するとの長期目標で日・欧では一応の一致をみせている。起点時期などの相違 (欧州では 1990 年比、わが国では現状比を主張) があるものの、中長期における数値目標やその有無を議論することは重要な政治的検討課題となっている。国内対策としての中長期的視野における削減幅の見通し、努力目標の実現可能性、それを検討するための限界削減費用の試算など、さまざまな検討がいま必要となっている。

目標設定とシナリオ評価、必ずしも後者が前者に先行して議論を制約するものではない状況は、1997 年 12 月の温暖化防止京都会議以降、わが国でおこなわれてきた試算と類似しているといえるかもしれない。資源エネルギー庁 総合資源エネルギー調査会では、京都議定書による

---

本稿は慶應義塾大学産業研究所 (Keio Economic Observatory) で構築されてきた多部門一般均衡モデルである KEO モデルに基づいて 2030 年までのわが国のエネルギー需給構造のシミュレーションをおこなう。KEO モデルの開発は、産業研究所内で黒田昌裕氏 (内閣府経済社会総合研究所所長 / 慶應義塾大学名誉教授) とともにおこなってきたものであり、日本政策投資銀行地球温暖化研究センター (RCGW) での國則守生氏 (法政大学教授) および英公子氏 (RCGW) との共同研究にもよっている。エネルギー需給全般に関するシナリオについては、数々のご助言を資源エネルギー庁の方々、戒能一成氏 (経済産業研究所研究員 / IPCC NCGIP Energy Lead Author / 大阪大学 RISS 特任教授) および (財) 日本エネルギー経済研究所の森田裕二氏および小宮山涼一氏から頂いている。もちろん本稿に含まれるであろう誤りは著者の責任である。

<sup>1</sup> Stern (2007) および以下参照。

[http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/sternreview\\_index.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm)

わが国の CO2 排出量の削減目標を受けて、「長期エネルギー需給見通し」として 1998 年 6 月、2001 年 7 月および上記の 2005 年 3 月（「需給展望」）と改訂をおこなってきた。過去の見通しでの試算結果を思い起こせば、2001 年 7 月の需給見通し（基準ケース）では 2010 年のエネルギー起源 CO2 排出量として 3.07 億 t-C を見込んでいた。そして 2005 年の見通し（「需給展望」のレファレンスケース）では 3.22 億 t-C（11.81 億 t-CO<sub>2</sub>）として自然体としての試算値が上方に改訂されてきている<sup>2</sup>。

2005-06 年においては、わが国のエネルギー起源 CO2 排出量の実績値は 3.2 から 3.3 億 t-C ほどと見込まれている。さまざまな外生変数における想定の違い、たとえば原子力発電所敷設や設備利用率を高く見積もっていたことによる CO2 排出量の下方推計バイアス、あるいは逆に \$60/bbl を越えるような原油価格高騰のおよそ半分程度しか見込んでいなかったことによる排出量の上方推計バイアスなどがあるものの、全体としては COP3 以降の過去の見通しにおいて CO2 排出量を現状レベルに比して過小に推計してきたことはあきらかとなっている。そして現状の見通しにおいても、京都議定書の基準年である 1990 年における排出量を 2010 年では 12% ほど上回っており、国内対策によって目標を達成することの困難性もいよいよ強く認識されてきている。

本稿は、原油価格高騰あるいは原子力発電所設備利用率の低迷など現在の経済環境の変化を織り込んだ試算として、多部門一般均衡モデルによる第一約束期間の目標達成に向けての限界削減費用の検討、および中長期的なシナリオとして 2030 年までのエネルギー需給の展望をおこなう。

本稿での多部門一般均衡モデルは生産者としての経済主体と、世帯主年齢階層別に区分された世帯類型に基づく消費者としての経済主体が、財・サービス市場、資本・労働の生産要素市場において経済合理性をもって行動する結果として、すべての部門で均衡価格と均衡取引量とが市場需給均衡の条件から達成される姿を描写する<sup>3</sup>。このモデルは経済モデルとしての特性を持ちながら、エネルギー消費や二酸化炭素排出量の算定を可能にするような部門分類およびその集計概念への配慮がなされており、また工学的情報への接合も視野に入れて構築されている<sup>4</sup>。

<sup>2</sup> 需給見通しにおける基準ケースあるいは 2005 年の「需給展望」におけるレファレンスケースは、ともに基本的には自然体としての見通しではあるものの、導入が確実であるような政策効果などをすでに織り込んでいる。また外生変数の設定もシナリオ想定当時の実績値を反映して異なったものであることは留意されたい。なお、2001 年 7 月の需給見通し（総合資源エネルギー調査会(2001)）では、発電部門に関しては電力中央研究所の電源構成モデル、運輸旅客 / 貨物、民生家庭 / 業務部門に関しては資源エネルギー庁の省エネルギー要素積上モデル、そして経済体系全般の均衡に関しては慶應義塾大学産業研究所の多部門一般均衡モデル（KEO モデル）を体系的に結んで、相互のモデル特性を補完的に用いることのできるモデル群を構築した。また一般均衡モデルとは異なるアプローチを持つ、日本エネルギー経済研究所による詳細なボトムアップ型の積上型モデルによって、シナリオの総合的な検証も合わせておこなわれていた。なお当時の KEO モデルでのシミュレーション値は 2010 年で 3.32 億 t-C として見込まれていた（黒田・野村(2001)）。

<sup>3</sup> モデルの細部については（その後の改訂はあるものの）黒田・野村（1998, 2001）を参照されたい。モデルにおけるパラメタ、初期値、外生変数などは慶應義塾大学産業研究所における KEO データベースとの対応が基礎となっている。KEO データベースについては、黒田・新保・野村・小林（1997）および野村（2004）などを参照。

<sup>4</sup> 工学情報への接合は、サブモデルの構築と技術シナリオへの外生的接合という二つの方法による。モデルではすべての産業部門の生産活動が描写されるが、そのうち特に発電部門、運輸部門などにおいては、その工学的技術情報とリンクするために、内部にサブモデルが構築されている。発電部門では、電源種別電力設備容量を与件とし、モデル体系内で算定される各種経済主体の電力需要を集計して描かれる日負荷曲線に対応して、短期的な費用最小化のもとで各電源

本稿で試算されるシナリオは、

- 2030年展望：BaU（Business as Usual）シナリオ
- 第一約束期間の1990年比安定化に向けての炭素税導入シミュレーション
- 2030年展望における感応度：原子力発電・新エネルギー促進シナリオ

の三つである。以下では、上記三つのシミュレーション結果については、それぞれ第2節、第3節および第4節で報告する。第5節を結びとする。

## 2. 2030年展望：BaU ケース

### 2.1. 前提条件

本節は、わが国の経済成長と整合するエネルギー需給構造として、2030年までの展望を得ることが目的である。またそれは各種シミュレーションにおいて、比較の基準となる BaU（Business as Usual）ケースを与えている<sup>5</sup>。モデルは1985年を開始年次としており、統計上の捕捉が可能である2005年ほどまでには外生変数に実績値を与え、それ以降については BaU シナリオにおいて想定をおこなう。

基準とした主要な外生変数は表1に与えられている。人口の想定は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来人口推計」（2006年12月推計）の中位推計による。外生変数の設定として、総合資源エネルギー調査会（2005）による「需給展望」との大きな相違は、エネルギー輸入価格にある。2005年3月に出版された同報告書では、原油価格はレファレンスケースで2010年\$21/bbl および2030年\$29/bbl であり、感応度を検討した原油価格低迷ケースでは2010年以降2030年まで\$15/bbl、原油価格高止まりケースでも\$35/bbl が予想されるに過ぎない状況であった。現在となって実績値をみれば、2000年には\$28.4/bbl であった輸入価格は、2004年時には\$34.2/bbl と「需給展望」での高止まりケースに接近し、2005年には\$47.6/bbl、2006年には\$59.4/bbl と想定していた価格をはるかに上回っている。本モデルでは、近年の価格高騰を反映して大幅に高い原油価格を設定し、1バーレル\$53ほどの高値が外挿全期間において継続するものとした。

電源種別電力設備容量は、一国経済の電力需要と発電からのCO<sub>2</sub>排出量の乖離を見通すための要となる。本モデルでは電気事業者の電力設備敷設は外生であり、基本的には「需給展望」における2030年想定値を固定し、実績値および資源エネルギー庁「電力供給計画」（2007年3月）との対応によって時系列的なシナリオを与えている<sup>6</sup>。ただし、石炭火力発電については、「需給展望」のレファレンスケースでは2030年において3010万kWであり、「電力供給計画」における2016年想定値4030万kWを大きく下回っている。本稿でのBaUでは、2030年において「需給展望」よりも10%ほど大きな値として設定した<sup>7</sup>。

---

別設備利用率が決定される。  
デルによって導出されている。

<sup>5</sup> BaUシナリオは、「需給展望」におけるリファレンスケースに相応する。

<sup>6</sup> 「需給展望」では電源構成別設備容量は、エネルギー経済研究所による最適電源構成モデルによって導出されている。

<sup>7</sup> 逆に原子力発電については「電力供給計画」（2007年）の2016年度6149万kWは「需給展望」の2030年5798万

原子力発電の設備利用率は、「需給展望」(リファレンスケース)では2000年82%、2010年以降は2030年まで85%を想定している。ここでのBaUでは、近年における設備利用率の低迷を反映して<sup>8</sup>、2010年では過去数年間の平均値として71.1%を想定し、その後徐々に回復していく中で2020年には80%、2030年には85%を達成できるとした。

表1：主要外生変数

		1990	1995	2000	2005	2010	2020	2030
人口	百万人	123.6	125.6	126.9	127.8	127.2	122.7	115.2
世帯数	万	4084	4375	4678	4906	4975	4940	4698
単身世帯 為替レート	% 円/\$	21.7 144.8	23.7 94.1	27.6 110.0	29.5 112.4	30.1 119.4	32.3 117.4	33.3 117.4
輸入価格								
原油	\$/b	22.8	18.3	28.4	47.6	53.5	53.5	53.5
LNG	\$/t	202.4	179.0	243.5	305.4	320.0	310.2	300.3
石炭	\$/t	50.8	49.7	34.7	72.5	74.0	70.4	66.8
電力設備容量								
原子力	万kW	3206	4255	4492	4958	5014	5406	5798
稼働率	%	71.7	77.7	81.7	71.9	71.1	80.0	85.0
石炭火力	万kW	1570	2334	3012	3767	3853	3774	3318
LNG火力	万kW	3440	4113	5782	5874	6105	7025	8261
石油火力	万kW	5769	5754	5366	4662	4599	4356	4160
一般水力・地熱	万kW	1968	2027	2060	2091	2121	2142	2142
揚水	万kW	1701	2228	2672	2513	2607	2696	2696

## 2.2. BaU ケース試算結果

図1はBaUケースにおける、2030年までのエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量を示している。ここでは比較のため、1985-2005年までの実績値および「需給展望」におけるリファレンスケースの試算値(ピークとなる2018年値および2030年値)を与えている。

BaUシナリオのひとつの特徴は、2006年以降数年の間に1500万t-Cほどの二酸化炭素排出量の低下を示していることである。これは近年の原油輸入価格高騰によって、価格代替効果および新たな資本財が生産体系に組み込まれることによるエネルギー効率の上昇がモデル内で内生的に導かれるためである。1バレルあたり\$30ほどの原油価格の追加的な上昇が外生的に与えられているとすれば、原油にはすでに3万円程度の炭素税が賦課されているとみなすこともできる<sup>9</sup>。価格高騰を受けてエネルギー節約的な資本への代替が進行し、モデルではエネルギー効率の上昇は資本が稼働するまでのタイムラグを持って実現されている。はたして現実にも、今回の原油価格高騰が若干のラグをもってエネルギー効率の向上とCO<sub>2</sub>排出量の削減に寄与するものであるかどうかは、統計による捕捉がおこなわれるまでもう少し時間が必要である。しかし、

kWをも上回るものであり、BaUとしては「需給展望」にしたがった。なお「電力供給計画」におけるLNG火力および石油火力発電はそれぞれ6452万kWおよび4425万kWであり、表1の想定とほぼ整合している。

<sup>8</sup> 経済産業省原子力安全・保安院による原子力発電所の設備利用率の集計結果によれば、2000年度の81.7%より2003年度には59.7%まで低下し、その後2005年度71.9%、2006年度では69.9%となっている。

<sup>9</sup> \$30/bblの追加的価格上昇によっては、産油国へのおよそ6兆円の所得移転がおこなわれたとみなされる。

いわば自然の手による実験が、資本代替を促進しエネルギー効率を高めることになるのか、それは炭素税導入シミュレーションを評価する上でも重要なポイントとなる。

2009年ほどより、エネルギー輸入価格の高値安定化(表1)を想定しているものの、更なる価格高騰はないと想定していることから、CO<sub>2</sub>排出量は再び経済成長に伴い緩やかに上昇をみせている。「需給展望」では2010年代後半においてCO<sub>2</sub>総排出量におけるピークを迎えている。本モデルでのBaUシナリオでも、2010年代後半にはほぼ類似したCO<sub>2</sub>排出量となっているものの、その後も2030年までそのまま緩やかに上昇する姿となっている。BaUシナリオにおけるこの2020年代の逡増の推移は「需給展望」とは異なるトレンドである。

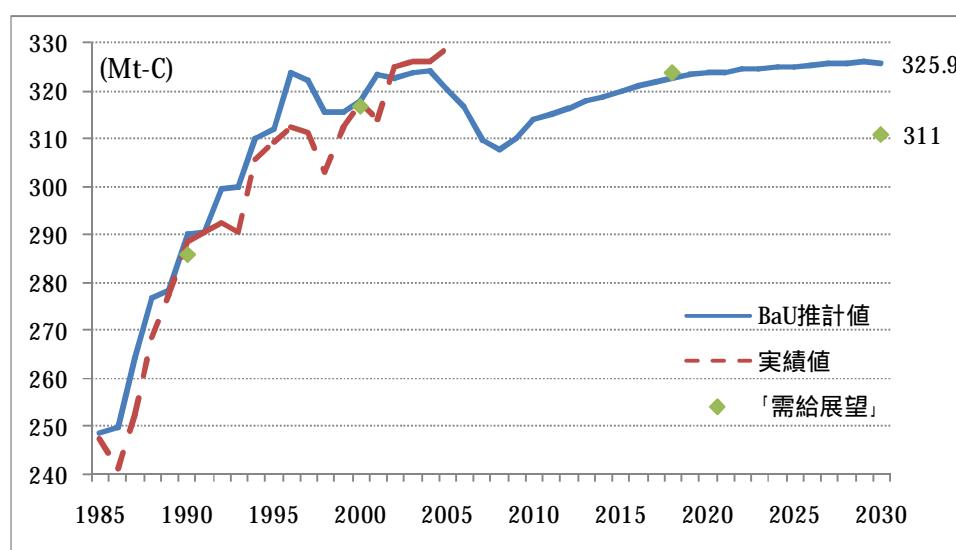


図1：BaU ケースにおけるエネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出量

表2はBaUシナリオとして、内生的に試算された実質GDP、就業者数(自営業種・家族従業者を含む)一人あたり労働生産性、およびCO<sub>2</sub>排出量の各期間における年平均成長率を示している。モデルにおいて就業者数は、年齢階層別人口を制約にした労働供給行動の描写と、産業別の年齢階層別労働需要行動の需給均衡を通じて内生的に決定される。図2に示されるように、2005年以降では、わが国の総人口の減少スピードに対し、就業者数はそれを上回るスピードで減少している。それはおもに高齢化の影響であり、高齢者の相対的に低い就業率を反映したものである。就業人口の減少が見出されるけれども、モデルでは年率2.0-2.1%の一人あたり労働生産性の上昇によって、一人あたり実質GDP成長率では1.7-1.9%ほどを達成している。それは総人口の減少率を上回るものであるから、一国経済も穏やかながら成長している。実質GDP成長率では、2005-10年における1.8%から、2025-30年には1.0%になるまで逡減している。



表 2：CO<sub>2</sub> 排出量の GDP 弾性値：BaU ケース

	2000-05	2005-10	2010-15	2015-20	2020-25	2025-30
実質GDP	1.2%	1.8%	1.4%	1.3%	1.2%	1.0%
一人当たりGDP	1.1%	1.9%	1.7%	1.7%	1.8%	1.7%
就業人口	-0.1%	-0.2%	-0.5%	-0.8%	-0.9%	-1.1%
労働生産性	1.3%	2.0%	2.0%	2.1%	2.1%	2.1%
CO <sub>2</sub> 排出量	0.1%	-0.4%	0.4%	0.3%	0.1%	0.1%
GDP弾性値	0.12	-0.21	0.25	0.20	0.05	0.06
電力需要	0.9%	1.3%	1.1%	0.8%	0.7%	0.4%
GDP弾性値	0.76	0.70	0.80	0.60	0.58	0.35

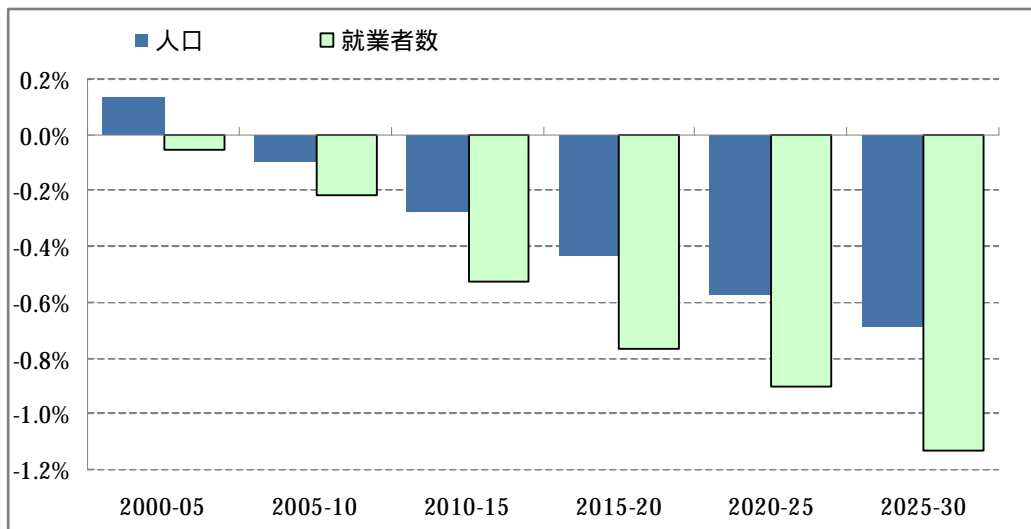


図 2：BaU ケースにおける人口と就業者数の年平均成長率

先述のとおり、「需給展望」の推移とは異なって BaU ケースにおける CO<sub>2</sub> 排出量は 2020 年代においても増加している。しかしその増加率は経済成長率との対応でみれば相対的に小さなものである。表 2 での CO<sub>2</sub> 排出量の GDP 弾性値でみれば 2020-30 年においてわずかに 0.05-0.06 にすぎない。これは一国経済の 10% 成長は、同期間において 3-6% ほどの電力需要増を伴うけれども、CO<sub>2</sub> 排出量では 0.5-0.6% の微増に留まることを意味している。逆に言えば、それほどのエネルギー効率の向上あるいは低炭素経済への移行は、BaU ケースを描写する想定においてすでに織り込まれている。

電力需要（自家発電を除く）の推移をみると、「需給展望」のリファレンスケースと本モデルの BaU ケースとの推計値は全外挿期間において同様であり、2030 年において電力需要（電気事業者）は 1.2 兆 kWh としてほぼ合致している。その意味では 2020 年代の CO<sub>2</sub> 排出量における、「需給展望」と本モデルでの BaU との大きなトレンドの違いは、2.1 節に示したように石炭火力発電の設備容量の想定に依存しているといえよう。「需給展望」では 2030 年において石

炭火力発電容量は2000年レベルにまで縮小することが見込まれている。

図3はBaUケースにおける発電電力構成（電気事業者）を示している。「需給展望」のリファレンスケースとの比較では、2030年において、「需給展望」が原子力38%、石炭16%、LNG30%、石油5%であるのに対し、本モデルにおけるBaUではそれぞれ36%、17%、28%、9%であり、わずかに原子力のシェアが低く、石炭と石油火力が上回る電源構成となっている。

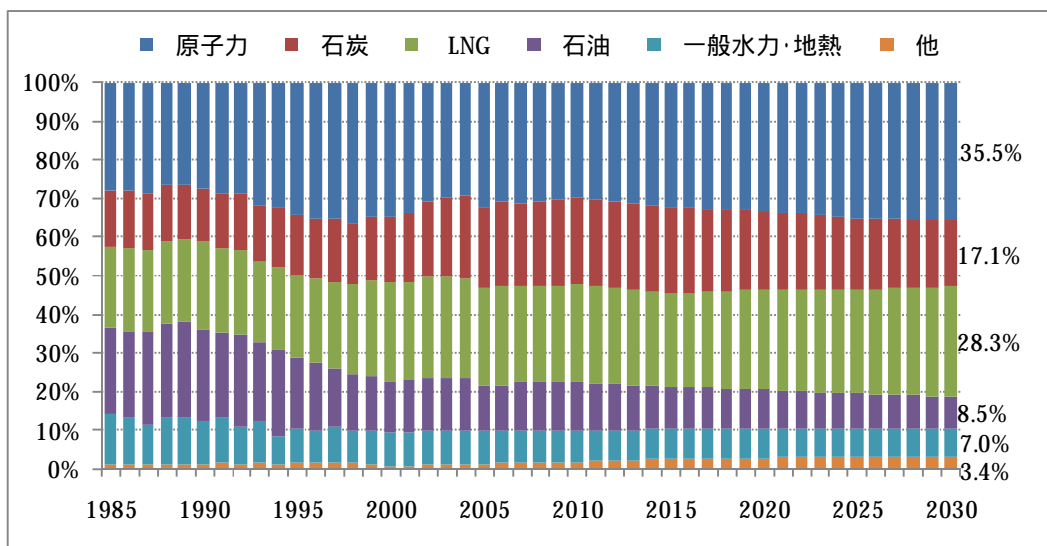


図3：BaUケースにおける発電電力構成(電気事業者)

### 3. 第一約束期間における安定化シナリオ：炭素税による限界削減費用

2007年現在、京都議定書の第一約束期間（first commitment period）である2008-2012年はもはや目前となった。BaUシナリオの推移を見る限り、直近の実績値において原子力発電の設備利用率低迷の影響はあるものの、エネルギー起源CO2排出量が3.2億t-Cを上回る現状では1990年レベル安定化のシナリオを達成することはかなり困難な状況にある。本モデルのBaUケースにおいても2012年で3.16億t-Cの排出量を見込んでいる。

ここでは、第一約束期間を通じての安定化ではなく、2012年時点において1990年レベル安定化をターゲットとして炭素税（carbon tax）導入によるシミュレーションをおこなう。炭素税は原料炭を除くすべてのエネルギー起源の炭素排出に対し課され、2010年を開始年次として2012年まで一定税額を賦課するものと想定する。炭素税の1t-Cあたり1万円の賦課によってはおおよそ2.7兆円もの税収が見込まれるが、徴収された炭素税はすべて所得税減税により家計部門へと還流されるものとする。

図4は異なる税額（横軸：万円/t-C、2010-12年で一定税額を想定）に対して、BaUケースからの削減量（縦軸：百万t-C）の推移として、炭素税導入年次の2010年、翌年2011年お

よび 2012 年における削減効果を示している。それは炭素の限界削減費用として、短期削減費用と長期削減費用を意味している。

はじめに 2010 年における短期的な削減効果に着目しよう。2010 年は税の導入年次であり、資本への要素代替によって実現されうるエネルギー効率の向上は短期的には達成されず、消費あるいは輸出入など需要段階における価格代替による効果が CO<sub>2</sub> 排出量削減の主要因である。また一方ではエネルギー効率的な資本財への投資需要そのものは当該期間において誘発されるから、それは CO<sub>2</sub> 排出量を増加させる方向へと導いている。よって炭素税 3 万円/t-C という大きな賦課によっても短期的な削減量は 210 万 t-C ほどに過ぎないという結果である。

しかし図 4 では炭素税導入年次においても 3.5 万円 t-C を超えるような炭素税を賦課する段階において、不連続に 1000 万 t-C 近い削減が実現されている。これは電気事業者の発電の選択において、安価であった石炭火力発電に対し、ここまでの大幅な炭素税賦課によっては相対的には LNG 火力が安価になるように逆転し、石炭火力発電よりも LNG 火力発電を優先的に稼働することによって達成される削減効果である<sup>10</sup>。

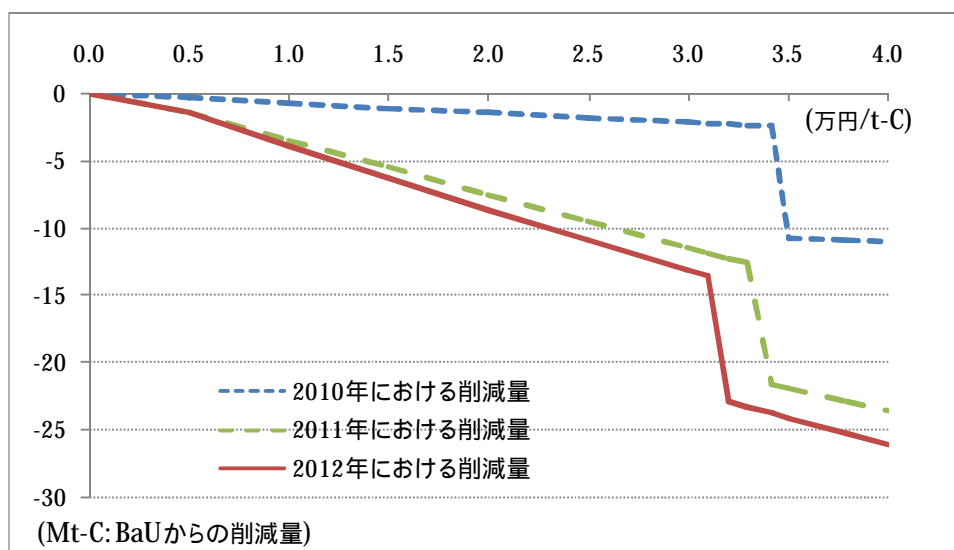


図 4：2010 年の炭素税導入による CO<sub>2</sub> 排出量：短期および長期的削減効果

炭素税の導入によるエネルギー価格の上昇は、長期的にはエネルギー節約的な技術導入を促進し、それは 2010 年において投資され、その翌年以降では生産活動において稼働が開始され生産過程においてエネルギー効率の上昇が実現される。よって図 4 にみるように、2011 年および 2012 年という長期限界削減費用では、短期限界削減費用よりも大幅に安価なものとなっている。長期限界費用においても、電源種別稼働において石炭火力から LNG 火力への転換がおこな

<sup>10</sup> モデルでは電源種別電力設備容量は一定であり、それぞれの稼働率のみコスト合理性に基づいて内生的に決定される。なお、不連続な削減効果のおこる臨界値はエネルギー種別価格想定に依存している。

われる段階において不連続な効果が期待できる。炭素税 1t-C あたり 1.2 万円、2.4 万円、3.6 万円の賦課によって、それぞれ 500 万 t-C、1000 万 t-C および 2500 万 t-C ほどの CO<sub>2</sub> 排出量の削減が実現される試算値となっている。

2012 年における炭素の限界削減費用として、横軸に BaU からの CO<sub>2</sub> 排出量削減率、縦軸には US ドル/t-C (為替は 120 円/ドルで換算) をとって描いていたものが図 5 である。Energy Modeling Forum のシミュレーション結果によれば、わが国が京都議定書を遵守するために必要とされる炭素税は 11 の試算モデルにおいて、もっとも安価となるモデルで \$97、もっとも高いモデルでは \$1074 であり、中央値および平均値はそれぞれ \$357 と \$408 と算定されている(2010 年における 1990 年価格評価)<sup>11</sup>。本モデルにおいては 316 億 t-C から 290 億 t-C への 8.2%削減ケース(4 万円/t-C)が 1990 年レベル安定化をもたらす。US ドル換算での \$333 は、ほぼその中央値に近いものである。

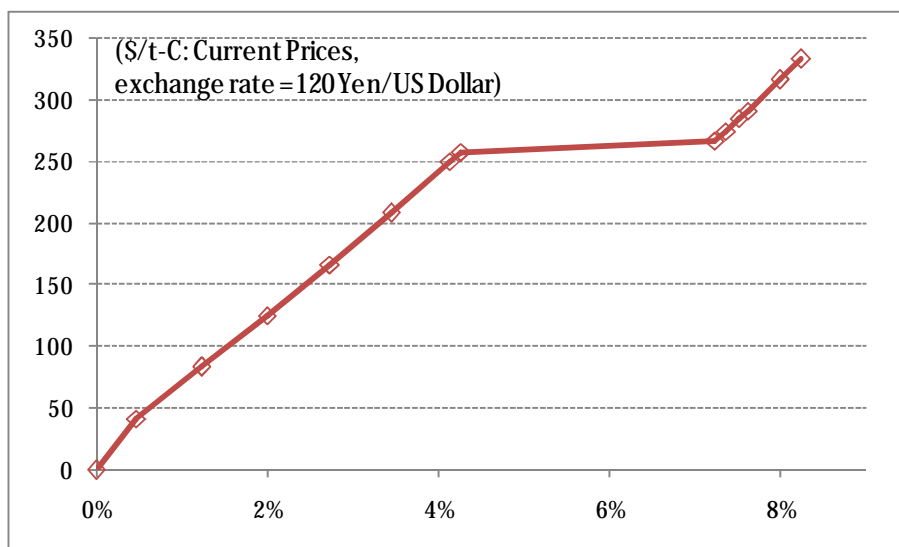


図 5：わが国の限界削減費用

図 6 は 2010 - 2012 年の 3 年間に於いて、1t-C あたり 1 万円、2 万円、3 万円および 4 万円の炭素税(原料炭を除く)を賦課したケースにおける CO<sub>2</sub> 排出量の時系列的な推移を示している。炭素税 1 万円/t-C の賦課によつては 2012 年において 3.1 億 t-C と BaU よりは 400 万 t-C ほどの削減効果しか期待できず、炭素税 3 万円/t-C でも LNG 火力発電への転換が進まずに 3.0 億 t-C にとどまっている。図 4 にみたように 3.2 万円/t-C ほどで転換がおこなわれるが、4 万円/t-C という大きな炭素税賦課によつてはじめて、1990 年比安定化を実現するというシミュレー

<sup>11</sup> IPCC (2001, Chapter.8) の Table 8.4 を参照。なお、米国および OECD-Europe 諸国において、同様に必要とされる炭素税は中央値および平均値で、それぞれ \$188 と \$202、\$218 と \$320 と試算されている。

シミュレーション結果となっている<sup>12</sup>。

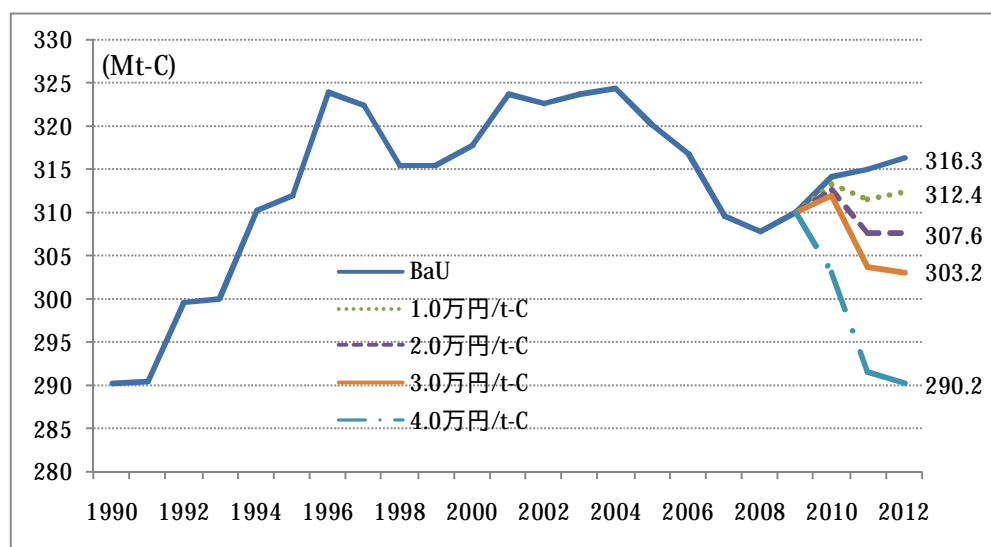


図6：2010-12年の炭素税賦課によるCO2排出量

炭素税賦課による税収増は大きい。図6におけるシミュレーションでは、1t-Cあたり1万円、2万円、3万円および4万円の炭素税賦課によって、2012年においてはそれぞれ2.7兆円、5.3兆円、7.8兆円および9.9兆円の税収増が見込まれている。先述のとおり、それはすべて所得税の還付として家計部門へ還流することで実質GDPへの影響はきわめて軽微なものにとどまっている。2012年のBaUにおける実質GDPに対して、それぞれの炭素税賦課ケースでは-0.01%、+0.02%、+0.03%および-0.02%と1万円と4万円ケースにおいてわずかに低下がみられる程度である。

一方、炭素税導入による産業別影響には跛行性がある。図7は2012年における1990年比安定化を実現するための4万円/t-Cの炭素税賦課による、産業別実質生産額のBaUとの乖離を示している。生産量の拡大する産業は4.建設業や21.一般機械製造業など、エネルギーから資本への代替による投資需要喚起を受けた資本財生産部門である。わが国の2.石炭鉱業はわずかなものであるからそれを無視すれば、生産量の減少は、14.石炭製品、13.石油精製製品、30.ガスなどエネルギー転換部門において5-7%ほどであり、10.紙・パルプ製品製造業、12.化学製品製造業などのエネルギー多消費産業において3-4%ほどの影響である。

<sup>12</sup> 戒能(2006)によるボトムアップアプローチによれば、わが国の鉄鋼業が環境自主行動計画による省エネルギー対策投資におけるCO2排出量削減の費用は3.4万円/t-Cであった(1998年価格)と算定されている。

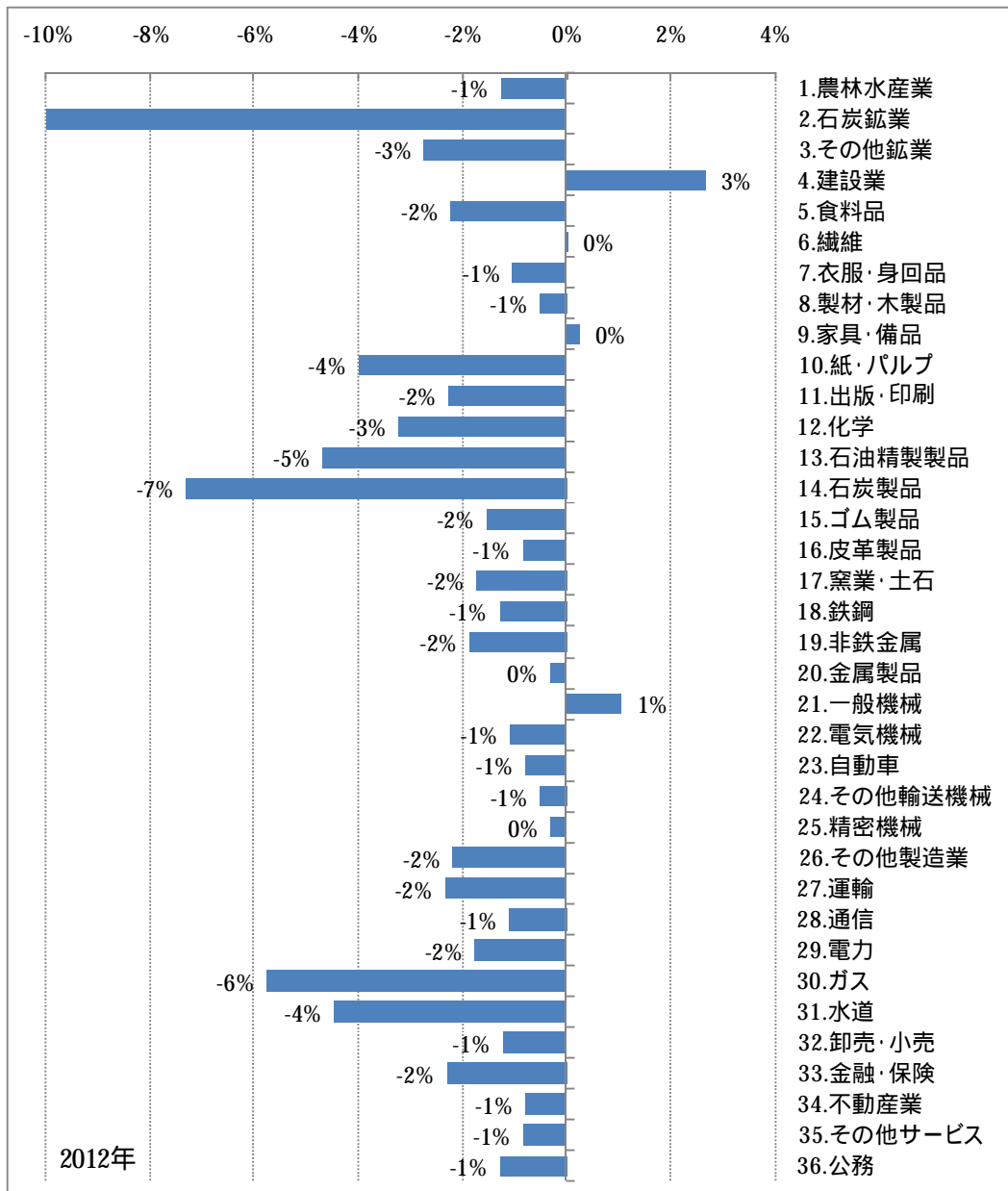


図7：炭素税賦課による生産量変動率の産業別跛行性

図6に示された4万円/t-Cの炭素税賦課によって実現される総量2600万t-Cもの排出量削減は、図8に示されるような各産業部門あるいは家計部門におけるCO2削減量の集計値である。総削減量のおよそ半分となる1250万t-Cは29.電力部門において削減され、次に35.その他サービス業での470万t-C、21.窯業土石製品製造業での210万t-C、10.紙・パルプ製品製造業および12.化学製品製造業でのそれぞれ100万t-Cの削減と続いている。

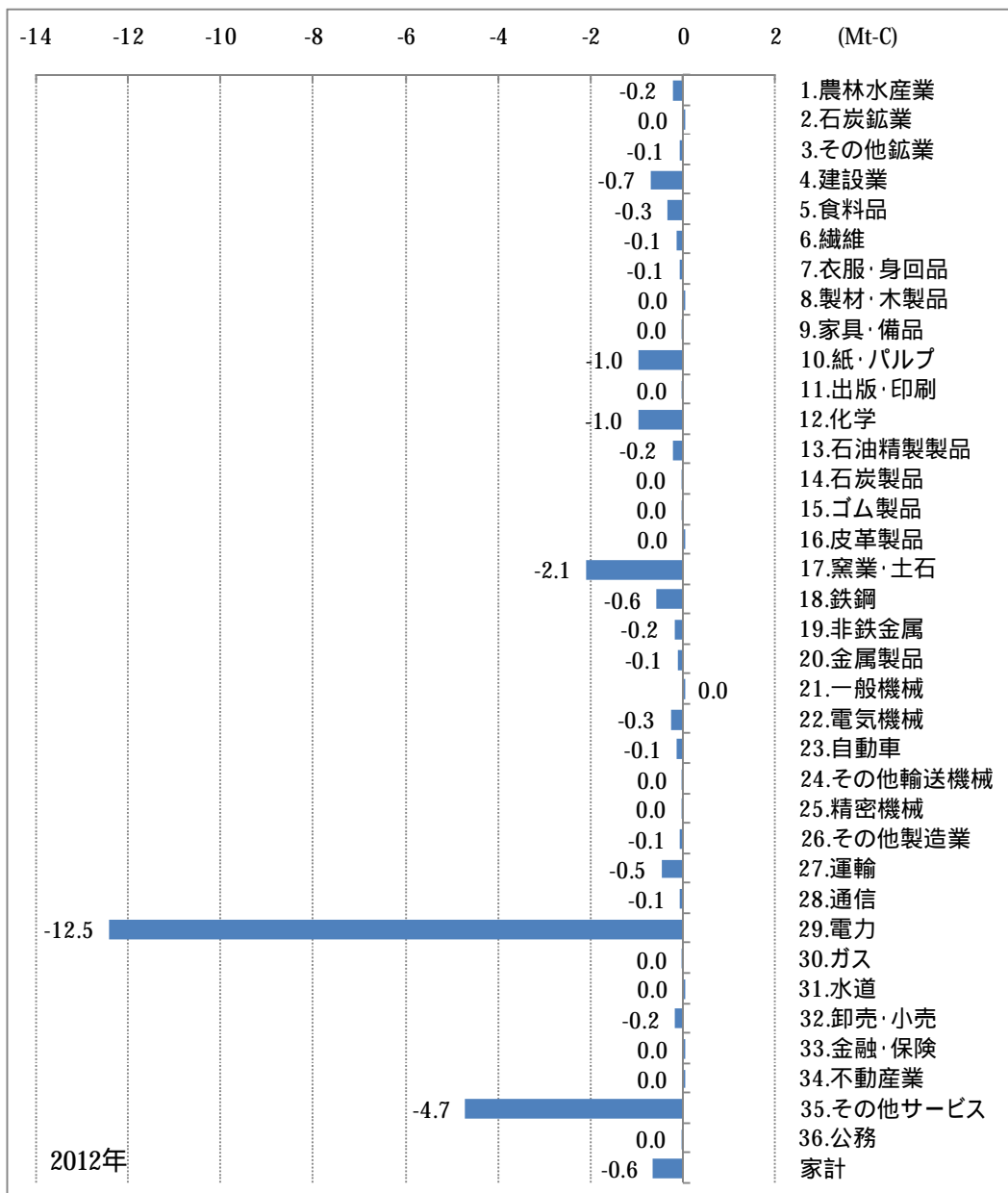


図 8：炭素税賦課による産業および家計における CO2 排出量の変化率

4 万円/t-C の炭素税賦課によって電力需要量は BaU ケースの 1.07 兆 kWh から 1.05 兆 kWh へと 2.0% ほど減少している。その需要減少に加え、発電部門における大幅な CO2 削減量の達成は、図 9 にみるように発電電力構成の変化によって実現されている。総需要減少によってはベースロードとしての原子力発電のシェアが 0.7%ポイント拡大しており<sup>13</sup>、また石炭火力発電

<sup>13</sup> 2012 年における原子力発電の設備利用率は BaU と炭素税シミュレーションケースで同様に 73.83%としている。も

の 7.4%ポイントの減少は LNG 火力発電の同%ポイントの拡大によって補われている。それによって図 4 にも見られるように、およそ 1000 万 t-C もの削減効果をもたらしている。

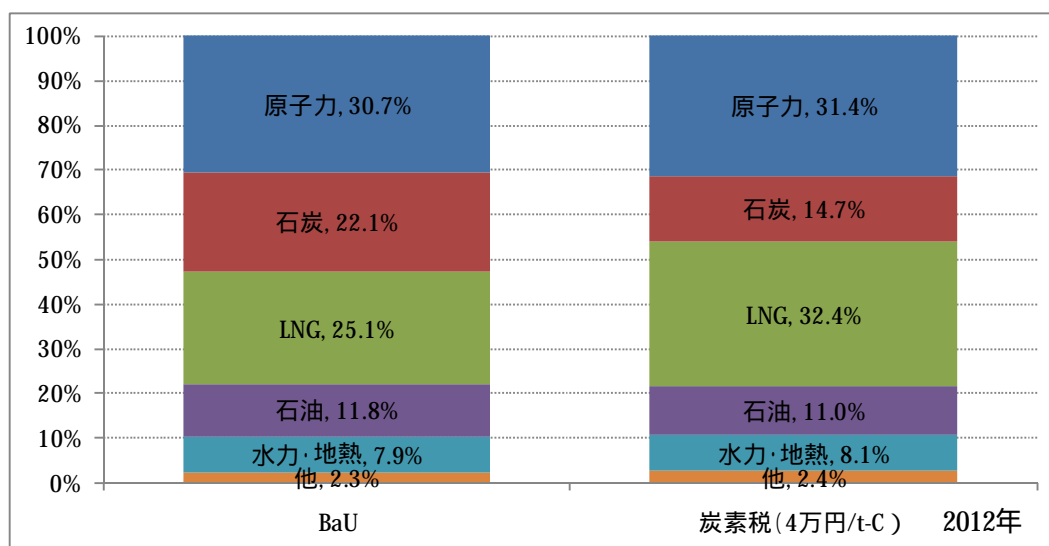


図 9：炭素税賦課による発電電力構成の変化

#### 4. 2030 年長期エネルギー需給シナリオ

「需給展望」では比較の基準を与えるリファレンスケースに対し、省エネルギー・新エネルギーの進展ケース、原子力発電施設増におけるシナリオ、高成長および低成長シナリオなどを検討している。ここでは、第 2 節で描写した BaU シナリオにおけるエネルギー供給構造の変化における感応度の分析として、「需給展望」にしたがい原子力発電および新エネルギーを進展させることができるとしたときの中長期の需給シナリオを試算する。

第一のシナリオは、2030 年における原子力発電所の設備容量を BaU における同年の設備容量は 5798 万 kW (+6 基程度) から 6795 万 kW (+13 基<sup>14</sup>) へ、あわせて BaU における 85% の設備利用率を 90% まで高めることが可能であると想定する。第二のシナリオは、それに加え新エネルギーの進展を見込む。「需給展望」レファレンスケースでは 2030 年において 1902 万 kl (原油換算) から 3946 万 kl へと増加を想定している<sup>15</sup>。本モデルでも同様なケースを想定した。

し「需給展望」のリファレンスケースのように 85% にまで設備利用率を高めることができれば、発電電力構成として原子力発電のシェアは 1%ポイントほど拡大し、CO2 排出量は 840 万 t-C ほど追加で削減される。

<sup>14</sup>「需給展望」は 2010 年度までに +3 基の運開を見込んでおり、+13 基はそれに追加される 2010 年度以降の運開である。

<sup>15</sup>新エネルギーの進展は、太陽光発電のコストダウンと急速な普及と、RPS 法 (Renewable Portfolio Standard: 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) の効果により太陽光発電では 2024 万 kl など大きく拡大し、一次供給に占める再生エネルギー・新エネルギーのシェアが 10%ほどになると想定したものである。



BaU ケースとこの二つのシナリオを比較したものが図 10 である。2030 年において、想定したように原子力発電設備容量および利用率を高めることによって 1430 万 t-C の削減効果であり、現在の CO2 排出量を 2030 年までほぼ横ばいにするを示している。「需給展望」における同じシミュレーションによる試算結果では 1100 万 t-C の削減効果であった。本モデルでの削減効果がそれよりも大きいのは、BaU ケースでは図 3 に示したように、レファレンスケースに比して石炭火力発電が大きいことから、ベースロードの原子力発電の拡張はより大きな影響を与えることによる。

それに追加して新エネルギーを促進したケースでは、さらに 690 万 t-C の削減効果が算定される。2030 年には 1994 年ほどの実績値に近い水準まで低下させるという穏やかな逡減をみせている。「需給展望」では 1000 万 t-C ほどの効果が見積もられているが、これはレファレンスケースからの乖離であること、および太陽光発電などを中心とした大幅な新エネルギーの進展は、本モデルではそれを実現するための資本財需要増も評価され、それによる CO2 排出量増加を相殺した結果であることによると解される。上記の二つのケースにおいても、2030 年時点における実質 GDP への影響はわずかにプラス (+0.02%) となっている。

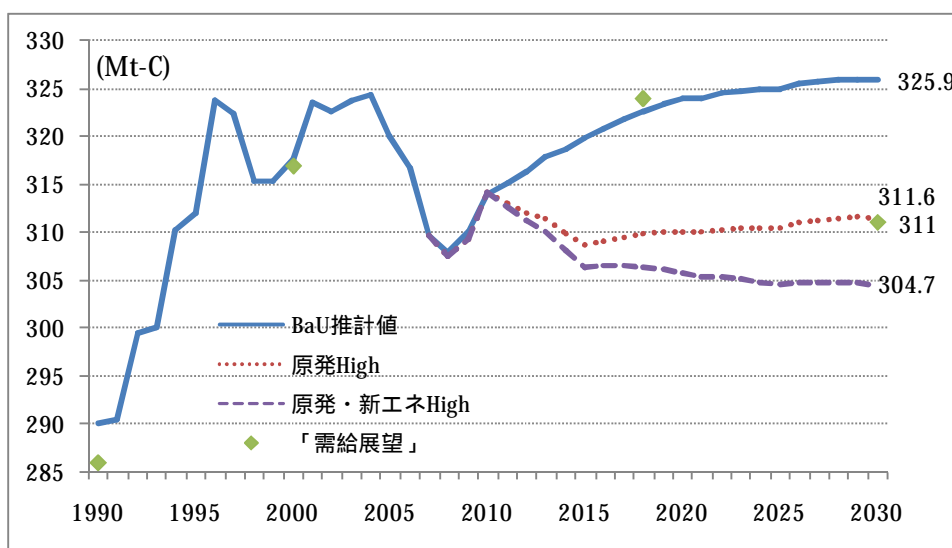


図 10：原子力発電および新エネルギー進展ケースによる CO2 排出量

両ケースにおける、2030 年時点における発電電力構成の BaU との比較は図 11 に与えられている<sup>16</sup>。原子力発電のシェアが 8%ポイントほど拡大し、LNG 火力・石炭火力におけるシェア低下がみられている。第 3 節での 2010-2012 年における炭素税導入シナリオと同様に、ここで

<sup>16</sup> ここでは自家発電は除いているものの、新エネルギーは事業者と非事業者を分離することが困難であったために含んでいる。

も現在価格にして 3.0-3.5 万程度の炭素税の賦課によって LNG 火力発電の利用を促進することで 1000 万 t-C ほどの追加削減が可能となる。

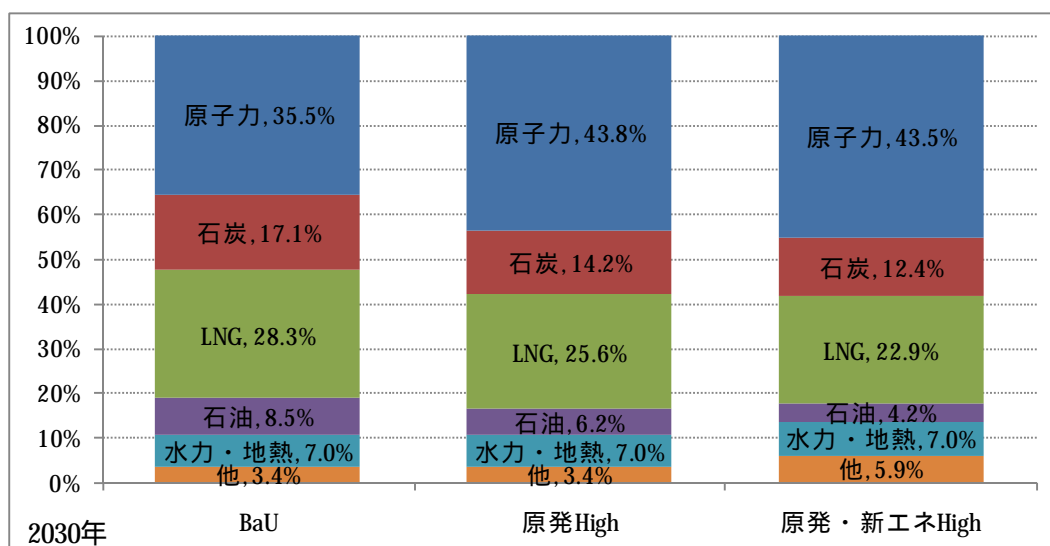


図 11：原子力発電および新エネルギー進展ケースによる発電電力構成の変化

## 5. 結びとして

本稿では京都議定書による第一約束期間におけるエネルギー起源 CO2 排出量の 1990 年比安定化を国内対策によって達成するための限界削減費用の検討と、総合資源エネルギー調査会「2030 年のエネルギー需給展望」(2005 年 3 月)を受けて 2030 年までのより長期のシナリオを展望してきた。本モデルで導かれている 4 万円/t-C といった炭素税賦課が、現実の生産体系においてエネルギー効率の上昇や低炭素経済への移行を本当に促進するのか、それには「需給展望」後におこった原油価格高騰が評価のポイントになるであろう。それは 2-3 万円/t-C といった炭素税導入効果をも持つと解することがきる、自然の手による実験である。本モデルではそれは若干のタイムラグを持って 1000-1500 万 t-C ほどの削減効果を有すると算定され、現在およびここ数年以内において CO2 排出量の遞減がみられるかどうかの検討が、炭素税シミュレーションの効果を検証するうえで有効であろう。

またもうひとつの重要な要素は、発電部門において石油火力から LNG 火力への転換を促すまで炭素含有量に応じて課税をおこない相対的なコストを逆転させることである。それは炭素税あるいは電源開発促進税のグリーン化などの政策的手段によるが、わが国では 4 万円/t-C の炭素税賦課による CO2 排出量の総削減量、その半分の効果があることが見出されている。

IPCC (2007) による第 4 次評価報告書でも、2030 年はもはや中短期であり、長期は 2030 年以降を展望している。本稿での 2030 年展望としては、安定化シナリオではなく、BaU

( Business as Usual ) としての展望のみを得ることを焦点においていたが、より長期のエネルギー供給構造の見通しを得るために、長期的な技術シナリオの検討とそのモデル評価が求められよう。多部門一般均衡モデルは、工学的情報をリンクさせてその有効性を高めうるが、将来シナリオの検討にはボトムアップ・トップダウンのアプローチから、構造を異にするさまざまなモデルによって同じシナリオが繰り返し検討されるべきであろう。実現可能性のある、長期的な目標設定を見通す必要がある。

#### 参考文献

- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001), *Climate change 2001: Mitigation*. Contribution of Working group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O. R. Davidson, R. Swart, J. Pan, eds.], Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), *Climate change 2007: Mitigation*. Contribution of Working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer, eds.], Cambridge University Press.
- Stern, Nicholas (2007) *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press.
- 戒能一成 (2006) 「日本の鉄鋼業の省エネルギー対策の費用対効果分析」RIETI Discussion Paper Series 06-J-059.
- 黒田昌裕・新保一成・野村浩二・小林信行 (1997) 『KEO データベース - 産出および資本・労働投入の測定 - 』, 慶應義塾大学産業研究所.
- 黒田昌裕・野村浩二 (1998) 「日本経済の多部門一般均衡モデルの構築と環境保全政策シミュレーション (I) 環境保全政策と多部門一般均衡モデルの構築」, KEO Discussion Paper (慶應義塾大学産業研究所未来開拓プロジェクト), No.15.
- 黒田昌裕・野村浩二 (2001) 「地球温暖化とエネルギー政策 - 日本経済の多部門一般均衡モデルによる我が国エネルギー需給見通し - 」, 『三田学会雑誌』, 第 94 巻, 第 1 号.
- 資源エネルギー庁 (2007) 「電力供給計画」.
- 総合資源エネルギー調査会 総合部会 / 需給部会 (2001) 「今後のエネルギー政策について」.
- 総合資源エネルギー調査会 需給部会 (2005) 「2030 年のエネルギー需給展望」.
- 野村浩二 (2004) 『資本の測定 - 日本経済の資本深化と生産性 - 』慶應義塾大学出版会.