

わが国の二酸化炭素排出量削減の可能性について

Projections of carbon dioxide emission and its reduction in Japan

松岡 譲¹・森田恒幸²

Yuzuru Matsuoka and Tsuneyuki Morita

ABSTRACT: In this paper, we report some projections of carbon dioxide emission and its reduction in Japan using an end-use type energy model. The projected emission in year 2010 becomes 402.1MtC/a, 443.6MtC/a in year 2020, and 489.2MtC/a in year 2030, compared with 320.0MtC/a in year 1990. While, with suitable countermeasure to reduce the emission, it becomes 300.6MtC/a in year 2010, 290.8MtC/a in year 2020, and 300.4MtC/a in year 2030. The additional net cost for this reduction is negligible compared with the gross energy cost and gross investment cost for energy devices.

Keywords: energy model, carbon dioxide emission, climate change, Japan

1. はじめに

1992年に採択された気候変動枠組条約では、締約国に温室効果ガス排出抑制のための国家政策・対応措置の実施とその効果見積りの通報を義務づけている。温室効果ガス排出活動は、人々の基本的な活動・生活に深く関与し、概括的ではなく詳細な観察によってのみ、それらの検討・把握が可能となる。したがって、その抑制政策の立案、効果判定には、関連する詳細な情報を系統的に積み上げ、それに基づいた上で議論を行う必要がある。この観点から、我々は、エネルギー消費機器の市場参入と使用、償却をコーホートモデルによって取り扱い、それらから排出される二酸化炭素排出量を算定するエンドユーズ型のモデルを開発してきた^{1) 2)}。本論文では、このモデルを用い、わが国近未来におけるエネルギー消費技術を網羅的に取り上げ、それらの技術・経済的参入可能性を考慮した上で、2030年までの二酸化炭素排出量を推計し、既往の推計との比較等を行うことによって、その環境政策上の含意を検討した。

本論文の推計によれば、1990年の排出量であった320MtC/a(100万炭素換算トン/年)は、新規技術の参入が見られないとする技術固定シナリオ下にて、2010年で402.1MtC/a、2020年にて443.6MtC/a、また、2030年にて489.2MtC/aとなったが、省エネルギー技術の啓蒙・普及及び排出炭素トンあたり3万円の炭素税賦課などの対策を講じることにより、2010年にて300.6MtC/a、2020年にて290.8MtC/a、また2030年にて300.4MtC/aとなった。これは、1990年排出量に比べ、それぞれ6.1%減、9.1%減、6.1%減の排出量である。削減に要したネットの費用は、今後10年間は年間3000億円程度であり、それ以降は低減した。

2. モデルの概要

本論文で使用したモデルは、ボトムアップ型に属するものである。このモデルでは、エネルギー需要サイドの技術を詳細に記述し、与えられた社会・経済的マクロフレームのもとでエネルギーサービス需要を外生的に与え、RES(Reference Energy System)などを考慮して、需要を満たすもっとも費用負担が少ない機器組み合わせを求めている。各機器の更新・代替はコーホート解析で行い、それらの使用から排出する二酸化炭素排出量を算定する。本論文で対象と

¹ 名古屋大学大学院工学研究科地圏環境工学専攻

² 国立環境研究所地球環境研究グループ

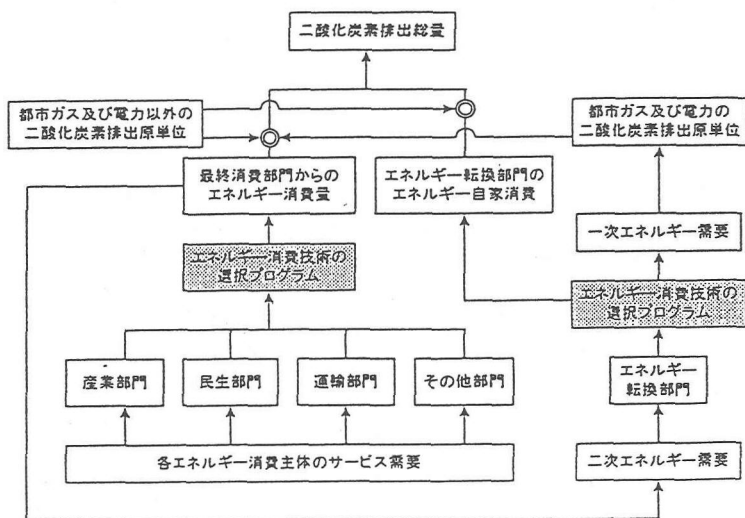


図1 二酸化炭素排出量の算定フロー

した部門は、産業、民生、運輸、エネルギー転換の4部門であり、産業部門は、鉄鋼業、紙・パルプ業、セメント工業、石油化学工業の主要4産業及びその他産業（農林水産業、鉱業、建設業、食料品、繊維、非鉄金属、金属機械、その他製造業）から構成した。また、民生部門は家庭部門と業務部門から、運輸部門は旅客輸送と貨物輸送各部門から、エネルギー転換部門は電力転換部門、石油精製部門及び都市ガス精製部門から構成している。各部門からの排出量を推計するフローを、図1に示す。政府などが炭素税賦課を行う場合、このモデルでは二つの効果により排出量削減を推計する。その第一は、エネルギー種間の価格差を変化させることによって、炭素分の多いエネルギーから炭素分の少ないエネルギーへの転換を誘導する効果である。第二は、固定費用・維持管理費用比を変化させることによってエネルギー効率の悪い機器からより効率の良い機器（省エネ機器）への代替を誘導する効果である。本モデルで想定したエネルギー消費機器選択行動、その定式化と長所・欠点の詳細については、松岡ら^{1) 2)}に詳述している。

3. 想定シナリオ及び前提条件

3. 3 想定シナリオ

計算は1990年を基準年とし、この年におけるエネルギー機器のコーホート及び二酸化炭素排出量、エネルギー消費量計算値を実測値と一致するような調整を行った。将来推計としては、社会・経済のマクロフレームについて、標準的变化を仮定する「従来型経済大国シナリオ」（以下、従来型と称す）および三次産業へのシフトに重点をおいた「知的立国型生活大国シナリオ」（以下、知立型と称す）の2種類のシナリオを準備した。さらに、各シナリオにおいて、新技術の導入程度に応じ、現行のエネルギー消費技術の使用シェアを将来にわたり変化しない「技術固定ケース」、経済的観点からエネルギーサービス需要を満たすもっとも安価な技術を組み合わせる「市場選択ケース」、二酸化炭素削減対策を行う「対策ケース」の3種類のケースを想定し、計6つのケースについて検討を行った。

市場選択ケースにおいては、産業、民生、運輸の各エネルギー消費主体が自己の費用負担を

最小化するような機器選択を行う。ただし、選択にあたって想定した投資回収期間は、ヒアリング等から3年（機器寿命が3年以下の場合は機器寿命とする）とした。このケースでは、エネルギー価格の変化、エネルギー消費技術の初期費用・効率の改善、機器の余命等の諸条件を勘案した技術代替が生ずる。さらに、対策ケースでは、これらの技術代替に加え、各種の施策等により高効率のエネルギー利用技術、低炭素エネルギー等の導入上限を拡大すると共に、後述するリサイクルシステム等の普及促進を考慮した。さらに、このケースでは、低炭素排出機器への代替を促進させるため、炭素1トン排出あたり3万円の炭素税（ガソリン価格にして1リットルあたり約20円の税負担）を賦課した。賦課開始年は1997年とし、以後2030年に至るまで税率は変化しないものとした。

3. 2 主要な社会・経済マクロフレーム

本推計にて使用した主要な前提条件を表1に示す。従来型シナリオと知立型シナリオとでは、経済成長率と第3次産業比率の想定が異なる。従来型シナリオの経済成長率については、総合エネルギー調査会³⁾の想定値を用いた。この想定値は、産業構造審議会基本問題小委員会（1996年11月）⁴⁾における「思い切った経済構造改革と財政・社会保障改革を実施した場合の粗い試算」に基づくものである。知立型シナリオでは、従来型シナリオと比較し2010年以降、第3次産業比率増加のほか、低い経済成長率を想定する。第3次産業比率（産出額ベース、就業者ベース）は、本研究にて設定したものである。人口、世帯人員等については、国立社会保障・人口問題研究所（1997）⁵⁾、厚生省人口問題研究所（1992）⁶⁾の推計値を用い、業務床面積は、就業者1人あたり床面積が第3次産業産出額に比例するものとして想定した。旅客輸送量及び貨物輸送量は、長期エネルギー需給見通し⁷⁾などを基に想定した。

表1 本推計に用いた主要な社会・経済フレーム

前提条件	単位	シナリオ	1990	1994	2000	2010	2020	2030
経済成長率	(%)	従来型	2.90('94~'00), 2.30('01~'10), 2.20('11-20), 2.10('21-30)					
	(%)	知立型	2.90('94~'00), 2.30('01~'10), 1.80('11-20), 1.50('21-30)					
一人あたり	(%)	従来型	2.65('94~'00), 2.24('01~'10), 2.48('11-20), 2.69('21-30)					
経済成長率	(%)	知立型	2.65('94~'00), 2.24('01~'10), 2.08('11-20), 2.09('21-30)					
人口	(千人)		123,611	125,034	126,892	127,623	124,133	117,149
世帯人員	(人/世帯)		3.04	2.89	2.75	2.54	2.38	2.27
世帯数	(千世帯)		40,670	43,335	46,145	50,181	52,230	51,534
世帯面積	(m ²)		46.5	47.0	47.5	48.5	45.9	44.3
第3次産業比	(%)	従来型	60.9	63.9	66.1	67.7	68.9	69.8
（産出額）	(%)	知立型	60.9	63.9	66.4	68.6	70.3	72.5
第3次産業比	(%)	従来型	57.4	58.9	62.2	63.5	63.6	62.2
（就業者数）	(%)	知立型	57.4	58.9	62.5	64.3	64.8	64.6
業務床面積	(百万m ²)	従来型	1,286	1,453	1,613	1,861	1,903	1,965
	(百万m ²)	知立型	1,286	1,453	1,624	1,901	1,924	1,982
旅客輸送量	(10億人・km)	従来型	1,298	1,360	1,500	1,755	2,046	2,394
	(10億人・km)	知立型	1,298	1,360	1,500	1,755	2,015	2,268
貨物輸送量	(10億ton・km)	従来型	547	545	583	654	724	812
	(10億ton・km)	知立型	547	545	583	654	691	688
原油価格	(円/Mcal)		2.18	1.11	1.15	1.41	1.57	1.76
為替レート	(円/ドル)		141.52	99.33	100	100	100	100

3. 3 産業部門

産業部門に関し、本研究では鉄鋼業、セメント工業、石油化学工業、紙・パルプ業の4業種について詳細な技術データを収集し、それ以外の産業部門については業種横断的な産業用燃焼ボイラー、工業炉、自家発電設備、高効率モーター等を考慮したモデル化を行った。それらに関する初期費用、耐用期間、エネルギー特性等の諸データについては、各業界へのヒアリン

グ、環境庁調査⁸⁾、⁹⁾などから推定した。また、この部門におけるリサイクルとしては、以下を明示的にモデルに組み込んだ。

- 1) 鉄鋼業にて生成される高炉スラグを、セメント工業の高炉セメント材料として利用。
- 2) 石炭火力発電所から発生する石炭灰を、セメント工業のフライアッシュセメント材料として利用。
- 3) 市中鉄屑を、鉄鋼業の電炉工程の他に転炉工程にも投入。
- 4) 使用済み廃プラスチックを高炉吹き込み時に使用。

産業部門における主要な最終サービス量の想定値及び標準、対策ケースにおける技術普及率、リサイクル率の上限値などは、エネルギー経済研究所推計¹⁰⁾、地球温暖化対策技術評価委員会の検討⁹⁾などから推計した。

3. 4 民生部門

家庭部門のエネルギーサービス種としては、暖房、冷房、給湯、照明、動力その他を挙げた。サービス需要量は、世帯数、世帯面積をベースとして、世帯数の増加、居住面積の変化、冷暖房および給湯・厨房需要の増加、高齢化の進展に伴う要求照度の増大、家電製品の普及台数の増加、機器の大型化等の要因を考慮に入れ推計した。業務部門では、冷房、暖房、給湯、照明、複写、コンピューター、昇降、その他のサービス種に分類した。各エネルギーサービスの需要は、床面積及びサービス強度の積に比例すると算定している。

3. 5 運輸部門

運輸部門でのサービス量は、長期エネルギー需給見通し⁷⁾の想定値を本研究で想定した経済成長率より調整し、移動体別の分担比は全国総合開発計画（1996年12月）で想定したものを使用した。電気自動車、ハイブリッド車、CNG車等の低公害車の市場占有シェア最大許容値については、既往の調査⁹⁾及び業界へのヒアリングに基づいて推定した。また、ディーゼル車は、地域公害防止の観点から1994年の占有シェアを上回らないこととし、さらに対策ケースでは、モーダルシフトの誘導（2010年にて普通営業貨物自動車から鉄道、海運へ200億t・km、小型乗用車からバス、鉄道へ240億人・km程度⁹⁾）などの対策を講ずると仮定した。

3. 6 エネルギー転換部門

エネルギー転換部門は、電力転換部門、石油製品精製部門及び都市ガス精製部門から構成した。火力発電では、既設プラントの継続使用、リパウリングによる出力増および高効率の新設プラントの導入を考慮し、対策ケースでは、原子力発電のパワーストレッチングによる出力増を考慮した。電力転換部門の発電量は、石炭火力を除いては電気事業審議会需給部会中間報告（1994年6月）などをもとに推定し、石炭火力発電は電力需給差を埋めるような運転を行うものとした。これらの結果、電力CO₂排出原単位は、1990年で0.105tC/MWh（本モデルでの計算値）であったが、2010年には0.092tC/MWh（従来型技術固定ケース）、0.059tC/MWh（従来型対策ケース）などとなっている。また、2010年以降の都市ガス精製原料は、すべて天然ガスに転換されると想定した。

4. 推計結果

図2に二酸化炭素排出量の変化を、表2には部門別の二酸化炭素排出量を示す。この表では、電力分間接排出は最終消費部門に転嫁している。また、産業、家庭、業務、運輸部門の和と全部門排出量の差は、石油精製、ガス供給、電力部門自家消費分などからの排出量である。本推計結果から、以下の点が明らかとなった。

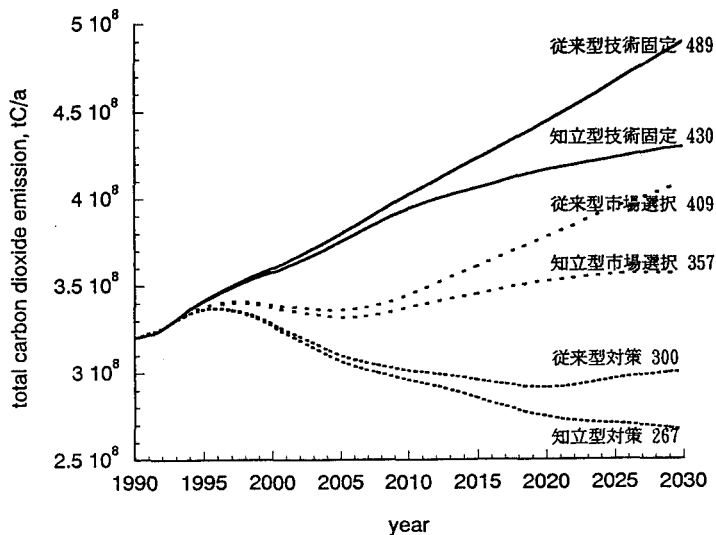


図2 本研究における二酸化炭素排出量推計値
図中の数値は2030年における排出量を示す(MtC/a)。

表2 本研究における需要部門別の二酸化炭素排出量推計値

単位: MtC/a

		従来型経済大国						知立型生活大国					
		技術固定ケース		市場選択ケース		対策ケース		技術固定ケース		市場選択ケース		対策ケース	
産業	1990	153.8		153.8		153.8		153.8		153.8		153.8	
	2000	154.3	0.3%	152.7	-0.7%	147.4	-4.2%	152.5	-0.9%	151.0	-1.8%	146.0	-5.1%
	2010	165.8	7.8%	153.2	-0.4%	131.6	-14.5%	159.8	3.9%	147.2	-4.3%	127.1	-17.3%
	2020	183.1	19.1%	168.8	9.8%	126.6	-17.7%	165.0	7.3%	151.8	-1.3%	115.5	-24.9%
	2030	204.3	32.8%	183.7	19.5%	127.3	-17.2%	168.0	9.2%	150.8	-2.0%	107.7	-30.0%
家庭	1990	38.0		38.0		38.0		38.0		38.0		38.0	
	2000	47.7	25.6%	41.5	9.2%	38.2	0.6%	47.7	25.4%	41.5	9.1%	38.2	0.5%
	2010	59.4	56.3%	43.6	14.8%	32.7	-14.1%	59.5	56.7%	43.6	14.7%	32.5	-14.4%
	2020	63.4	66.8%	46.6	22.5%	29.9	-21.2%	62.2	63.6%	45.2	18.9%	29.5	-22.3%
	2030	65.0	71.0%	46.5	22.5%	30.7	-19.3%	61.8	62.7%	43.5	14.5%	29.0	-23.6%
業務	1990	33.6		33.6		33.6		33.6		33.6		33.6	
	2000	40.7	21.1%	38.4	14.2%	38.7	15.1%	40.9	21.7%	38.6	14.9%	38.9	15.8%
	2010	46.3	37.9%	41.7	24.2%	37.5	11.7%	47.1	40.2%	42.4	26.2%	38.2	13.7%
	2020	49.0	45.9%	43.3	28.9%	33.2	-1.3%	48.6	44.5%	42.8	27.5%	33.2	-1.2%
	2030	53.0	57.7%	45.7	36.0%	33.6	0.0%	50.7	51.0%	43.7	30.2%	32.7	-2.6%
運輸	1990	58.5		58.5		58.5		58.5		58.5		58.5	
	2000	75.1	28.4%	68.0	16.2%	67.1	14.6%	75.1	28.4%	68.0	16.2%	67.1	14.6%
	2010	85.5	46.1%	66.3	13.4%	64.0	9.3%	85.5	46.1%	66.3	13.4%	64.0	9.3%
	2020	98.4	68.2%	75.0	28.2%	67.8	15.8%	95.6	63.5%	72.7	24.3%	65.7	12.3%
	2030	113.8	94.5%	86.5	47.9%	75.6	29.2%	103.3	76.6%	78.0	33.3%	67.5	15.3%
総量	1990	320.0		320.0		320.0		320.0		320.0		320.0	
	2000	358.5	12.0%	338.4	5.7%	328.4	2.6%	356.7	11.5%	336.8	5.2%	327.1	2.2%
	2010	402.1	25.7%	344.4	7.6%	300.6	-6.1%	395.2	23.5%	337.8	5.6%	295.5	-7.6%
	2020	443.6	38.6%	377.6	18.0%	290.8	-9.1%	416.9	30.3%	353.0	10.3%	274.8	-14.2%
	2030	489.2	52.9%	409.1	27.8%	300.4	-6.1%	430.5	34.5%	357.0	11.6%	266.8	-16.6%

注) パーセンテージは、対1990年比の排出量変化率を表す。産業、家庭、業務及び運輸部門には電力分転線量を含む

- 1) 二酸化炭素の排出量は、技術選択状況及び社会構造変化に大きく依存する。しかし、従来型あるいは知立型のシナリオのいずれも、排出量抑制の削減策を実施しなければ、排出量は増加の一途をたどる。
- 2) 従来型技術固定ケースでは、2000年排出総量は、1990年排出量の12.0%増である358.5MtC/a、

2010 年では 402.1MtC/a (25.7%増)、2030 年では 489.2MtC/a(52.9%増)となった。産業部門では 1994 年から 2000 年にかけてほとんど変化しないものの、他部門を中心に増加し続けた。一次エネルギーの石油比率は、若干減少し 2030 年に至り 49.8%となったが、石炭比率は 20.1%とやや増大した。知立型技術固定ケースでは、2000 年排出量は 1990 年排出量の 11.5%増である 356.7MtC/a となり、2030 年では 430.5MtC/a(34.5%増)であった。

- 3) 従来型市場選択ケースでは、2010 年に至るまで産業部門でほぼ横ばいの排出量推移を示しているのに対し、業務部門および運輸部門を中心に排出量が増加した。2000 年排出量は 338.4MtC/a (5.7%増)、2010 年では 344.7MtC/a (7.6%増)、2030 年には 409.1MtC/a (27.8%増)となった。知立型市場選択ケースでは、産業部門にて数%減少するほか他の 3 部門の伸びもやや低調になり、2000 年排出総量は 1990 年排出量の 5.2%増である 336.8MtC/a に、2010 年では 337.8MtC/a (5.6%増)、2030 年では 357.0MtC/a (5.8%) となった。
- 4) 従来型対策ケースでは、運輸などを除く各部門で排出量が減少した。2000 年排出総量は、1990 年排出総量の 2.6%増である 328.4MtC/a となり、2010 年に 300.6MtC/a (6.1%減)、2030 年では 300.4MtC/a (6.1%減)となった。産業および家庭部門では、炭素税賦課開始年(1997 年)から省エネ技術への代替が促進された。産業部門では、2010 年までに在来型機器から新規開発技術への代替がほぼ完了するため、2010 年以降の排出量は、横ばいとなった。家庭および業務部門では、炭素税の効果により潜熱回収型給湯器や太陽光発電が普及した。知立型経済大国・対策ケースでは、2030 年排出総量は 266.8MtC/a となり、1990 年排出量から 16.6%の削減が可能であった。このケースでは一次エネルギーの石炭比率が 9.5%(2030 年)と大きく減少した。

5. 考 察

本節では、本研究の推計結果を、1)既往推計との比較、2)削減費用の二つの観点から検討し、それらを踏まえ本推計結果の環境政策上の含意について考察してみる。

5. 1 既往推計との比較

表 3 一次エネルギー供給量の将来推計

シナリオ等	一次エネルギー量、 10^{14} kcal					
	1990	1994	2000	2010	2020	2030
本モデルによる推計(1997年2月)						
従来型経済大国・技術固定	46.6	52.0	56.4	64.4	69.8	75.3
従来型経済大国・市場選択	46.6	51.9	53.9	57.6	61.6	65.7
従来型経済大国・対策	46.6	51.9	52.9	54.4	54.7	56.7
知立型生活大国・技術固定	46.6	52.0	56.2	63.6	66.6	68.8
知立型生活大国・市場選択	46.6	51.9	53.6	56.8	58.8	59.8
知立型生活大国・対策	46.6	51.9	52.7	53.8	52.4	52.2
長期エネルギー需給見通し(1994年6月)						
現行施策織込ケース	-	-	54.7	61.2	-	-
新規施策追加ケース	-	-	53.8	58.7	-	-
超長期エネルギー需給の展望(通産省、1996年12月)						
現行施策推進・原子力横遣	-	53.7	57.4	64.8	71.2	75.9
現行施策推進・原子力実現	-	53.7	57.4	64.8	71.2	76.8
新エネ/省エネ強化・原子力横遣	-	53.7	54.6	61.1	65.7	69.4
新エネ/省エネ強化・原子力実現	-	53.7	54.6	61.1	65.7	69.4
我が国の超長期エネルギー需給に関するモデル分析(日本エネルギー経済研究所、1996年10月)						
基準ケース	-	50.9	54.5	61.6	67.6	72.2
高価格ケース	-	50.9	54.2	60.2	64.5	67.1
新エネケース	-	50.9	54.4	61.6	67.6	72.3
低成長ケース	-	50.9	53.3	58.0	61.5	63.6
省エネケース	-	50.9	53.9	59.8	64.6	67.9
低エネケース	-	50.9	52.7	56.4	58.9	60.3
中期経済社会・エネルギー展望'95(電力中央研究所、1995年12月)						
基準ケース	48.7	-	55.3	61.1	-	-

注)原油換算は9,250kcal/lとした。

わが国における二酸化炭素排出量の推計作業は、近年盛んに行われている。表3及び表4は、最近に公表された一次エネルギー供給量及び二酸化炭素排出量の推計値を一覧したもので

表4 二酸化炭素排出量の将来推計

シナリオ等	CO ₂ 排出量、MtC/a					
	1990	1994	2000	2010	2020	2030
本モデルによる推計(1997年2月)						
従来型経済大国・技術固定	320.0	339.4	358.5	402.1	443.6	489.2
従来型経済大国・市場選択	320.0	337.2	338.4	344.4	377.6	409.1
従来型経済大国・対策	320.0	336.8	328.4	300.6	290.8	300.4
知立型生活大国・技術固定	320.0	339.4	356.7	395.2	416.9	430.5
知立型生活大国・市場選択	320.0	337.2	336.8	337.8	353.0	357.0
知立型生活大国・対策	320.0	336.8	327.1	295.5	274.6	266.8
FCCC国別報告書(日本政府,1994年8月)	320.0	-	330.0	-	-	-
超長期エネルギー需給の展望(通産省,1996年12月)						
現行施策推進・原子力横遣	-	340.0	360.0	390.0	440.0	480.0
現行施策推進・原子力実現	-	340.0	360.0	390.0	420.0	440.0
新エネ/省エネ強化・原子力横遣	-	340.0	330.0	350.0	370.0	360.0
新エネ/省エネ強化・原子力実現	-	340.0	330.0	350.0	359.0	320.0
我が国の超長期エネルギー需給に関するモデル分析(日本エネルギー経済研究所,1996年10月)						
基準ケース	-	339.0	361.2	394.7	423.6	424.8
高価格ケース	-	339.0	359.5	383.8	399.1	382.9
新エネケース	-	339.0	361.1	392.5	414.3	400.6
低成長ケース	-	339.0	351.4	363.8	371.6	354.0
省エネケース	-	339.0	356.3	380.0	397.8	389.6
低エネケース	-	339.0	346.7	348.9	341.8	305.5
中期経済社会・エネルギー展望'95(電力中央研究所,1995年12月)						
基準ケース	-	-	341.2	353.9	-	-

ある。本推計の従来型技術固定ケースの排出量は、通産省による現行施策推進・原子力横遣ケース⁹⁾(以下「長期見通現状ケース」と呼ぶ)及び日本エネルギー経済研究所基準ケース¹⁰⁾(以下「EDMC 基準ケース」と呼ぶ)にほぼ匹敵した。従来型技術固定ケースでは、最終消費部門の単体技術の改良あるいは競合技術の参入は認めておらず、社会全体としてのバルクのエネルギー効率変化は、発電部門のリバウリングやエネルギーサービス構成の変化から生ずる。長期見通現状ケース及び EDMC 基準ケースでは、現行の省エネルギー努力が継続された場合を想定しておりその効果がどの程度想定されているか明確ではないが、本論文の従来型技術固定ケースと社会・経済マクロフレームがほぼ同一であること、一次エネルギー供給量についても、長期見通現状ケースはほぼ同一、EDMC 基準ケースの場合には5%程度の違いであることから、本論文の技術固定ケースを、この三推計群に関する標準ケースと考えてよからう。しかし、その他のケースについては二酸化炭素排出量及び一次エネルギー供給量は大きく異なった結果を示した。例えば、本論文の従来型対策ケース排出量(2010年に328MtC/a、2030年に300MtC/a)は、長期見通・新エネ/省エネ強化ケース(2010年に350MtC/a、2030年に360MtC/a)及び日本エネルギー経済研究所による低エネケース(2010年に349MtC/a、2030年に306MtC/a)以下に相当し、知立型を除き、表4中でもっとも低い数値となった。このような差異が生じた理由を概括的に把握するために、例えば2010年時点の各ケース二酸化炭素排出量について、以下の概念式に基づき検討を行ってみる。

$$\text{二酸化炭素排出量} = \sum_{\text{各部門}} \frac{C_i}{E_i} \cdot \frac{E_i}{F_i} \cdot F_i$$

ここに C_i は第 i 部門からの二酸化炭素排出量、 E_i はエネルギー消費量、 F_i はエネルギー消費のドライビングフォースである。部門には産業、家庭、業務、運輸を取り上げ、産業部門のドライビングフォースとしては、鉱工業生産指数の対1990年比を、家庭部門では世帯数の1990年比を、業務部門では業務床面積比を、運輸部門では旅客運送量比を取り上げた。また全部門についてはGDP比を取り上げた。表5にその結果を示す。表中のパーセンテージは、従来型

表5 二酸化炭素排出量変化要因の比較

2010年における排出量変化要因をエネルギー消費因子(F)、エネルギー強度(E/F)及び炭素強度(C/E)に分解したもの。

	CO ₂ 排出量		C/E		E/F		F	
	MtC/a		gC/Mcal		Ecal/a		-	
従来型技術固定ケース								
全部門	402.1	100%	62.4	100%	4.14	100%	1.56	100%
産業	165.8	100%	71.9	100%	1.72	100%	1.34	100%
家庭	59.4	100%	84.3	100%	0.57	100%	1.23	100%
業務	46.3	100%	88.3	100%	0.36	100%	1.45	100%
運輸	85.5	100%	78.4	100%	0.81	100%	1.35	100%
従来型市場選択ケース								
全部門	344.4	86%	59.8	96%	3.70	89%	1.56	100%
産業	153.2	92%	69.6	97%	1.64	95%	1.34	100%
家庭	43.6	73%	80.3	95%	0.44	77%	1.23	100%
業務	41.7	90%	82.6	94%	0.35	96%	1.45	100%
運輸	66.3	78%	78.4	100%	0.63	77%	1.35	100%
従来型対策ケース								
全部門	300.6	75%	55.2	88%	3.50	84%	1.56	100%
産業	131.6	79%	62.9	87%	1.56	91%	1.34	100%
家庭	32.7	55%	65.1	77%	0.41	71%	1.23	100%
業務	37.5	81%	69.3	78%	0.37	103%	1.45	100%
運輸	64.0	75%	77.9	99%	0.61	75%	1.35	100%
超長期エネルギー需給の展望、新エネ/省エネ強化・原子力横道								
全部門	350.0	87%	57.3	92%	3.92	95%	1.56	100%
日本エネルギー経済研究所、省エネケース								
全部門	380.0	95%	63.5	102%	3.86	93%	1.55	100%
産業	164.2	99%	94.9	132%	1.29	75%	1.34	100%
家庭	60.2	101%	99.0	117%	0.50	88%	1.21	98%
業務	59.6	129%	102.7	116%	0.38	106%	1.51	105%
運輸	79.0	92%	81.5	104%	0.71	88%	1.37	101%

注)本研究の各部門消費エネルギーにはその部門へ投入された自家発電、コークスエネルギーを含む。パーセンテージは技術固定ケースとの比率である。
産業部門には、産業プロセス起源のCO₂を含む。
最終需要部門からの排出量は電力転送排出量である。
日本エネルギー経済研究所算出値の電力原単位は0.133gC/kcalとした。

技術固定ケースとの比を示すものである。ドライビングフォースに関しては、表に掲げられた5ケースともほぼ同じである。エネルギー強度(E_i/F_i)の低下は、長期展望・新エネ/省エネケース及びEDMC・省エネケースは、技術固定ケースの5及び7%減に留まっている。一方、従来型市場選択ケースでは11%減、従来型対策ケースでは16%減となっており、家庭、運輸、産業、業務の順にエネルギー効率の改善が図られていることがわかる。この省エネ効率改善による二酸化炭素削減効果は、市場選択ケースにて約45MtC/a($=402.1\text{MtC/a} \times (1-0.89)$)、対策ケースで約65MtC/a、長期展望・新エネ/省エネケースで約20MtC/a、EDMC・省エネケースにて約30MtC/a程度である。EDMC・省エネケースの部門別エネルギー強度変化と本論文市場選択ケースのそれを比較してみると、産業部門が他部門と異なった傾向を示すが、これは本論文推計ではコークス製造、産業部門自家発電の一次エネルギー投入分を産業部門エネルギーに含めているのに対し、EDMCの産業部門エネルギーにはこれらを含めていないためと考えられる。これを考慮すれば、本研究の推計は、他推計に比べ各部門においてエネルギー消費技術の改善度合を大きく算定しているものと考えてよい。

次に炭素集約度(C_i/E_i)についてはどうか。従来型市場選択ケースでは全部門にて100%-96%である4%減、従来型対策ケースでは12%減、長期展望・新エネ/省エネケースでは8%減、EDMC・省エネケースでは2%増である。従来型対策ケースでは、炭素税賦課を行い脱炭

素を誘導しており、長期展望・新エネ／省エネケースでは炭素強度が低い新エネルギーを積極的に導入した効果が現れていると考えられるが、その他のケースについては大きい削減はみられない。

以上のことから、本論文推計値が他推計と比較し削減量が大きく算定された理由は、第一に、本推計で前提としたエネルギー消費技術の選択規範である「固定費用及びエネルギー費用等の維持費用を最小化する選択」は、他推計の想定する社会に比べ高効率エネルギー社会を作りだし、その効果は2010年にて45MtC/a程度の削減にもなったことが挙げられる。第二に、対策ケースで想定した炭素税賦課は、顕著な脱炭素効果をもたらしたことである。この効果は2010年にて35MtC/a程度であるが、税賦課と第3節で示した施策を行うことにより省エネ効果分として20MtC/a（ $\approx 402.1\text{MtC/a} \times (0.89 - 0.84)$ ）程度の削減が追加されたから、計100MtC/a程度の削減が行われた結果となっている。この第二の効果は、他推計にて勘案されていない。以上の効果が累積し、本論文の対策ケース推計値は他推計に比べはるかに低い値となったものと考えられる。

5. 2 削減費用について

それでは、この削減にどの程度の費用（固定費用＋維持費用）を要するのであろうか。紙面の都合上、以下に技術固定ケースを基準に取り従来型経済大国ケースについて推計した場合の要点のみを記す。

- 1)市場選択ケースについては、その導出過程からも明白のように、技術固定ケースより費用低減になり、その差は5.5兆円/a（2010年）、6.1兆円/a（2020年）及び7.5兆円/a（2030年）程度となった。すなわち、この削減により年5～7兆円程度の純益が見込まれる。もっとも、これは投資回収期間を最長3年とする行動を想定した場合であり、これを例えば機器寿命とした場合を計算してみると、11.3兆円/a(2010年)、13.3兆円/a（2020年）及び11.0兆円/a（2030年）の費用低減となった。
- 2)対策ケースについては、①炭素税収をどのように取り扱うか、②新技術の許容最大シェアの拡大、リサイクリングなどの対策費用をどう取り扱うかが問題となるが、今、炭素税賦課のみによる純費用増加分（市場選択ケースにて、炭素税賦課のみを追加し税負担分を控除した費用増加分）を算出し、税賦課開始年である1997年以降の追加費用の累積値を求めると、全部門費用は2009年に約3兆円に達し以後低減した。すなわち1997年以降10年程度は、年3000億円程度の費用増ですみ、以後の費用はさらに低減する。

以上の結果を総合すると、技術固定ケースを市場選択ケースに近づけることによって、二酸化炭素削減以外に費用低減効果も期待できる。また、炭素税賦課による純費用の増加はせいぜい年3000億円程度であり、より長期的にはさらに少なくなる。ただし、本研究で想定した対策ケースには、第3節で記したようなリサイクル等も含まれているが、それらの費用は計上しておらず、その点、注意が必要である。

5. 3 本推計結果の環境政策上の含意について

二酸化炭素排出量低減は地球環境の将来にとって極めて重要な課題である。2010年時点において、どの程度の削減目標を掲げることができるか、超長期的にはその目標をどうするかは大きな政治課題でもある。例えば、ドイツは2005年にて対1990年比で10%削減、2010年にて15～20%削減を主張し、イギリスは2010年にて5～10%削減を主張する。このような削減が現実課題として可能であるのか、その費用はどの程度であるのかを合理的に見積もることが大きな問題となっているのである。

一方、本論文推計によれば、適切な対策を講ずることによって2010年排出量は1990年排出量の6.1%減（従来型）あるいは7.6%減（知立型）となり、2020年には9.1%減及び14.2%減、2030年には6.1%減及び16.6%減とすることが可能である。対策の内訳は、省エネルギー

技術の費用・効果に関する情報普及とそれに基づく合理的な機器選択行動の啓発、市場への導入促進などに加え、炭素トンあたり3万円の炭素税賦課であり、そのための追加費用は決して高いものではないと推計された。さらに、炭素税賦課に伴う直接費用増加分は、補助金等と組み合わせることによって、1割程度に軽減できるから¹²⁾、わが国の二酸化炭素排出量を2010年に5%以上削減することは決して困難なことではない。

以上、本論文では、我が国の二酸化炭素排出量の技術的・経済的削減可能性として、大きい負担なしに2010年に1990年比で5~10%程度存在することを示した。しかし、一方では、有効な施策なしに放置すると35%（知立型）~53%（従来型）の増加も推計されており、適切な社会・経済システムへの誘導方策の策定とその実施が、極めて重要な課題となっているのである。

謝辞：本研究は、著者らと国立環境研究所地球環境研究グループ 甲斐沼美紀子主任研究員、名古屋大学大学院工学研究科 水野健太（現在 若築建設）及び富士総合研究所 日比野剛氏、吉田雅也氏による共同研究である。また、その遂行にあたっては、環境庁地球環境研究総合推進費の援助を受けた。これらを記して感謝の意を表す。

引用文献

- 1) 松岡 譲・森田恒幸・水野健太、1997a、エネルギー消費技術の改善が二酸化炭素排出量抑制に及ぼす効果のシミュレーション、土木学会論文集（投稿中）
- 2) 松岡 譲・森田恒幸・甲斐沼美紀子・水野健太、1997b、わが国における二酸化炭素排出量の見通しとその抑制対策の効果について、土木学会論文集（投稿中）
- 3) 総合エネルギー調査会基本政策小委員会、1996、総合エネルギー調査会基本政策小委員会中間報告、通商産業省、1996年12月。
- 4) 産業構造審議会基本問題小委員会、1996、産業構造審議会基本問題小委員会中間とりまとめ、通商産業省、1996年11月。
- 5) 国立社会保障・人口問題研究所、1997、日本の将来推計人口（平成9年1月推計）。
- 6) 厚生省人口問題研究所編、1992、日本の将来人口推計（平成4年9月推計）、厚生統計協会
- 7) 通商産業省資源エネルギー庁、1994、エネルギー[新世紀へのシナリオ]、通商産業調査会。
- 8) 地球温暖化対策技術評価委員会、1996、平成7年度地球温暖化対策技術評価調査報告書（全四分冊）、環境庁、1996年3月。
- 9) 地球温暖化対策技術評価委員会、1997、平成8年度地球温暖化対策技術評価調査各部門検討会検討結果、環境庁、1997年1月。
- 10) 日本エネルギー経済研究所エネルギー計量分析センター、我が国の超長期エネルギー需給に関するモデル分析、1996。
- 11) 服部恒明・大河原透・永田豊・加藤久和・星野優子・若林雅代・山野紀彦・稲田義久、1995、中期経済社会・エネルギー展望'95、電力経済研究、No.35、電力中央研究所経済社会研究所。
- 12) 地球温暖化経済システム検討会、1996、地球温暖化経済システム検討会報告書（第3回報告）、環境庁。