

近未来におけるわが国の二酸化炭素排出量の推計とその変化要因に関する研究

Projections of Japan's CO₂ Emission in Near Future and Factors of its Changes

島田 幸司* 日比野 剛** 藤岡 荘史* 松岡 譲*
Koji SHIMADA*, Go HIBINO**, Soshi FUJIOKA*, Yuzuru MATSUOKA*

ABSTRACT: In this paper, we report a projection of carbon dioxide emission of Japan using an end-use type energy model and an analysis on factors of CO₂ emission changes. The projected emission in year 2020 amounts to 378.4 MtC/a (non-Intervention case), compared with 302.2 MtC/a in year 1990 while, with an economic countermeasure to reduce the emission, it amounts to 257.5 MtC/a in year 2020 (Countermeasure case). In order to attain the countermeasure-case which requires 0.7%/a decrease of CO₂ emission, not only energy-efficiency improvement by 2.4%/a but also carbon-intensity decrease by 0.4%/a are necessary. The factor-analysis on the countermeasure-case shows the importance of both energy-efficiency improvements in residential/transport sectors and carbon-intensity decreases in residential/service sectors. With regard to a respective countermeasure, the analysis extracts some key technologies, which contribute to reduce CO₂ emission substantially and suggests that the dissemination of key technologies such as energy-efficient air-conditioners and automobiles should be promoted intensively.

KEYWORDS: Carbon Dioxide Emission, Factor-Analysis, Energy-Efficiency, Carbon-Intensity, Key Technologies

1. 研究の背景と目的

1997年12月の地球温暖化防止京都会議における京都議定書の採択により、地球温暖化対策は議論から実行の段階に入ってきた。事実、1998年には「地球温暖化対策の推進に関する法律」の制定および省エネルギー法改正等の制度強化をはじめとして、民間企業においても自主行動計画の策定・フォローアップが進みつつある。

しかしながら、2008～2012年に基準年比で-6%というわが国の排出削減目標をいかに全体として合理的かつ効率的に達成するかについては、京都会議に向けた政府部内での議論はあったものの、その後深まっていないのが現状であろう。京都議定書の採択の地であるわが国が、先進国の中で率先して効果的取組みを進め途上国に対しても範を示すためには、排出量増減の要因を的確に把握し、削減効果の高い対策技術等の抽出し、それらを重点的に実施促進することが不可欠である。

* 京都大学大学院工学研究科環境工学専攻

* Department of Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University

** 株式会社富士総合研究所環境・資源エネルギー研究部

** Environment, Energy and Resources, Fuji Research Institute Corp.

そこで本論文では、国内外におけるエネルギー消費やそれに起因する二酸化炭素排出の要因分析例をレビューしたうえで、筆者らが開発してきたエネルギー消費起因の二酸化炭素排出量を推計するモデル等を用いて、過去および将来の二酸化炭素排出推計量をマクロ指標、個別対策技術等により分析評価した結果を報告する。

2. エネルギー消費等の要因分析に関する既往の研究とその限界

エネルギー消費の動向に関する過去の研究は、エネルギー需要全体と経済活動全体との関係把握に終始してきたが、このレベルの分析では、たとえば消費抑制のための方向性や具体的な施策の検討には十分ではなかった¹⁾。

このため、エネルギー価格、技術の進展、エネルギー効率改善計画、原料構成の構造的変化、生産される材やサービス、人々の嗜好や移動性の変化等の要因に着目した分析が行われはじめた。このような要因分析により、

- 1) 分析対象のエネルギー効率のレベルを示すとともに、効率改善の余地を示唆すること
 - 2) エネルギー効率に関する研究間の国際比較を可能とすること
 - 3) エネルギー効率改善に向けた取組みの方向性を示唆すること
- などが期待されている²⁾。

Schipper ら^{3,4)}は、エネルギー消費量を活動量、その構造及びエネルギー強度の3要因に分解している。しかしながら、どの技術の効率化がエネルギー消費抑制に寄与したかは、この分析でも明確にならないとともに、このような要因分析に基づく政策立案は過去のトレンドの延長線上になりがちであることに留意する必要がある。

また、将来のエネルギー消費やそれに伴う二酸化炭素排出量を要因別に推計した研究には、過去の経済指標、機器の効率化等の推移を外挿したものが多く⁵⁾、対策立案に具体的な示唆を与えるには至っていないのが現状である。

このような状況を踏まえ、本論文では前提条件等の一部変更を施した AIM エンドユースモデルの将来推計結果を基礎に、二酸化炭素排出量の変化をマクロ指標および個別対策技術等により定量的に分析することを試みる。

3. 近未来におけるわが国の二酸化炭素排出量推計

3. 1 モデルの基本的構造と想定ケースおよび前提条件

本論文では近未来の二酸化炭素排出量推計を、AIMエンドユースモデルを用いて行った。本モデルは、エネルギー消費技術を詳細に記述し、エネルギー消費者の機器選択行動を市場メカニズムを通じて追跡するボトムアップ型の最適化モデルであり、その構成、算定フロー、想定したエネルギー消費機器選択行動およびその定式化と特徴の詳細については松岡ら^{5,6)}に詳述している。その特徴は、設備・機器の新規導入または更新に際し、購入費用と運転費用の合計が最小化するように消費者が選択する点にある。

本論文での計算は、1990年を基準年とし2020年まで行った。新技術等の導入程度に応じ、現行のエネルギー消費機器の使用シェアを将来にわたり固定したケース（以下、「基準ケース」とする。）、経済合理的な観点からエネルギーサービス需要を満たすような技術を組み合わせるとともに二酸化炭素排出削減のための施策（排出量1トン当たり3万円程度の税賦課）を講じる「対策ケース」の2種類のケースを想定し推計を行った。

本推計において使用した前提条件を表1に示す。既報⁷⁾と同様に政府の社会・経済に関する最新の見通しに準拠したが、主な変更点は将来の経済成長率の下方修正（2001～2010年で2.3%から1.9%に修正）および旅客輸送量見込みの上方修正（約4%の上方修正）である。具体的には次のとおり設定した。

経済成長率は、2000 年までについては現行の政府経済計画（1995 年 12 月閣議決定）に従い、2001 年以降は経済企画庁見通し⁸⁾に準拠した。産業部門における業種別活動量については、過去の実績から付加価値額の国内総生産弾性値を業種ごとに求め、上記経済成長の見込みから将来の業種別実質国内総生産を推計した。人口は、厚生省国立社会保障・人口問題研究所の中位推計⁹⁾を用い、世帯数は第 5 次全国総合開発計画策定時の推計値を用いた。業務用床面積は、実績より第 3 次産業就業者一人当たりの床面積と当該分野の実質国内総生産弾性値を求め、前述した業種別実質国内総生産等の見込みを基に推計した。輸送活動に関しては、第 5 次全国総合開発計画策定時の上記経済成長に応じた輸送量および機関分担率の推計値を用いた。原油価格は長期エネルギー需給見通しの名目原油 CIF 価格を基に算定した。ここに将来の為替レートは 1 ドル 110 円で一定とした。また、表 1 には 2010 年に二酸化炭素排出量を 1990 年レベルで安定化させるとする政府見通し¹⁰⁾（以下、「政府見通し」という。）に使用された前提条件も付している。

なお、モデルに内包する技術メニューについては、近年の技術開発・実用化の動向を勘案し、既報⁶⁾のものに加え、民生業務部門では吸収式やヒートポンプ方式の冷暖房技術を、また、運輸部門ではハイブリッド小型乗用車を追加したことが主な変更点である。

表 1 モデルの主要な前提条件

前提条件	単位	1990 年	2000 年	2010 年	2020 年
経済成長率	%/年	3.0%(1995-2000), 1.9%(2001-2010), 1.4%(2011-2020) [約 2%(2001-2010)]			
人口	千人	123,611	126,892	127,623 [128,000]	124,133
世帯数	千世帯	40,670	46,617	49,514 [48,300]	49,565
業務床面積	百万m ²	1,286	1,603	1,851 [-]	2,032
旅客輸送量	10 億人・km	1,298	1,561	1,821 [1,770]	2,035
貨物輸送量	10 億 t・km	547	582	637 [660]	680
原油価格	\$/バレル	22.76	20	30 [30]	45

(注) 2010 年の[]内の数値は、政府見通しの前提条件を示す。なお、この見通しでは業務用床面積の設定は示されていない。

3. 2 推計結果

表 2 は、本モデルによって推計したケース別・部門別のわが国の二酸化炭素排出量であり、結果を要約すると次のとおりである。

- 1) 基準ケースでは 2010 年に 1990 年比で約 24%、2020 年にて約 25%二酸化炭素排出量が増加する。特に運輸部門での増加が著しく、2020 年では 90 年比で約 62%増大する。
- 2) 対策ケースでは 2010 年に 1990 年比で約 5%、2020 年に約 15%二酸化炭素排出量が削減される。家庭部門、産業部門およびエネルギー転換部門では 2020 年時点で 90 年比 20%～30%の削減となっている。

表2 部門別・ケース別排出量推計結果

単位：MtC/年

部門	年度	基準ケース		対策ケース	
		排出量	90年比増減(%)	排出量	90年比増減(%)
産業	1990	137.8		137.8	
	1995	137.8	0.0	137.8	0.0
	2000	142.9	3.8	133.1	-3.3
	2010	147.0	6.7	118.7	-13.8
	2020	146.8	6.6	108.2	-21.4
家庭	1990	37.7		37.7	
	1995	43.5	14.9	43.5	14.9
	2000	49.2	29.9	41.8	10.5
	2010	55.8	47.5	32.9	-13.1
	2020	52.2	38.0	26.9	-29.0
業務	1990	34.0		34.0	
	1995	39.2	14.8	39.2	14.8
	2000	42.4	24.2	39.1	13.6
	2010	46.6	36.4	35.3	2.7
	2020	45.1	32.0	31.2	-9.1
運輸	1990	58.3		58.3	
	1995	67.8	16.6	67.8	16.6
	2000	75.3	29.5	73.5	26.4
	2010	85.7	47.3	69.5	19.5
	2020	94.4	62.2	62.1	6.8
エネルギー 転換	1990	16.2		16.2	
	1995	18.2	12.0	18.2	12.0
	2000	19.7	21.4	17.1	5.5
	2010	21.5	32.4	13.5	-17.0
	2020	21.4	31.7	11.4	-29.6
合計	1990	302.2		302.2	
	1995	327.2	7.9	327.2	7.9
	2000	350.4	15.5	325.0	7.2
	2010	376.6	24.2	289.0	-4.7
	2020	378.4	24.8	257.5	-15.1

(注) 需要部門の数値は、電力分配後の排出量である。合計には、工業プロセスにおける化学反応に伴う排出量等を含むが、廃棄物焼却に伴うものは含んでいない。

4. マクロ指標および個別対策技術等による排出量変化の分析

4. 1 経年変化の分析

二酸化炭素排出量の変化を、エネルギー消費量およびエネルギー消費のドライビングフォースにより分析する場合、その分解は次式により示される⁷⁾。

$$\text{二酸化炭素排出量 } C = \sum C_i / E_i \times E_i / F_i \times F_i$$

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。全部門のドライビングフォースとしては GDP を、産業部門では当該部門の GDP を、家庭部門では世帯数を、業務部門では業務用床面積を、運輸部門では旅客輸送量および貨物輸送量とした。

表3は、1970年から1995年までの実績^{11)・12)}および表2に示した2020年までの将来推計値をもとに、二酸化炭素排出量の変化を燃料の炭素集約度(C/E)、エネルギー消費の効率(E/F)およびドライビングフォース

(F)という3つのマクロ指標により分析した結果である。

1970年から1995年の25年間は、産業部門において年率2.2%のエネルギー効率向上が見られるものの、全体として年率3.7%のドライビングフォース増大ならびに家庭および旅客部門でのエネルギー効率の悪化(年率2.7%および2.1%)により全体として年率1.7%の二酸化炭素排出量増加となっている。

1995年から2020年の将来25年間は、基準ケース全体でみると過去25年間と同程度にエネルギー効率が向上するが、ドライビングフォースの年率2.1%の増大により年率0.8%の二酸化炭素排出量増大となっている。一方、対策ケースにおいては、同率のドライビングフォース増大の中で、年率2.4%のエネルギー効率向上および年率0.4%の炭素集約度低減により、年率0.7%での二酸化炭素排出量の減少となっている。対策ケースの変化要因を部門別にみると、産業および旅客部門でのエネルギー効率の向上ならびに家庭および業務部門での炭素集約度の低減(電力の二酸化炭素排出原単位の低下)の変化率が大きく、産業部門のエネルギー効率向上の年平均変化率は、過去25年間の実績と同程度である。

また、将来期間内の変化を詳細にみると、表2に示されているとおり、家庭部門およびエネルギー転換部門の対策ケースでは2000年から2010年で2割程度低減しており、前後の期間に比べこの期間に大幅な排出削減が図られている。

表3 二酸化炭素排出量の経年変化の要因 変化率(%/年)

部門	1970-1995 (実績)				1995-2020 (基準ケース)				1995-2020 (対策ケース)			
	C	C/E	E/F	F	C	C/E	E/F	F	C	C/E	E/F	F
産業	0.4	-0.5	-2.2	3.2	0.4	-0.1	-1.3	1.8	-0.8	-0.7	-2.0	1.8
家庭	3.5	-0.7	2.7	1.5	0.7	-0.3	0.5	0.5	-1.9	-1.8	-0.6	0.5
業務	3.7	-0.2	0.0	4.0	0.6	-0.3	-0.4	1.2	-0.9	-1.6	-0.6	1.2
旅客	4.8	-0.2	2.1	2.8	1.6	0.0	0.1	1.5	-0.7	-0.1	-2.1	1.5
貨物	2.2	-0.1	0.4	1.9	0.8	0.0	0.0	0.8	0.3	0.0	-0.5	0.8
全部門	1.7	-0.5	-1.4	3.7	0.8	0.3	-1.5	2.1	-0.7	-0.4	-2.4	2.1

4. 2 対策ケース分析

4. 1と同様の手法により、2010年における基準ケースと比較した対策ケースおよび政府見通しのマクロ指標による比較を表4に示す。表中のパーセンテージは、本論文の基準ケースとの比を示すものである。ここで、政府見通しに関しては利用可能データの制約から、エネルギー効率および全部門の炭素集約度による分析は行わなかった。

対策ケースについてみると、家庭部門および業務部門における炭素集約度(C/E)の改善(23~24%)ならびに家庭部門および旅客部門におけるエネルギー効率(E/F)の改善(23~24%)が、二酸化炭素排出量(C)の削減に大きく寄与している。また、産業部門でも

表4 2010年における二酸化炭素排出量のケース間比較
(本論文の基準ケースを100とした場合)

ケース	部門	C	C/E	E/F	F
対 策 ケ ー ス	全部門	77	89	86	100
	産業	81	90	90	100
	家庭	59	77	77	100
	業務	76	76	100	100
	旅客	75	99	76	100
	貨物	94	100	95	100
政 府 見 通 し	全部門	80	-	-	96
	産業	86	90	-	-
	民生	70	79	-	98
	運輸	79	99	-	104

(注) 需要部門の数値は、電力分配後の排出量である。政府見通しにおけるドライビングフォースとしては、民生部門が世帯数、運輸部門が貨物輸送量で代表させたが、産業部門の適当な指標は利用可能ではなかった。

炭素集約度、エネルギー効率のそれぞれで 10%の改善が図られている。政府見通しに比較して本推計の対策ケースにおいて二酸化炭素排出量がより大きく削減されているのは、家庭部門および業務部門における炭素集約度の改善ならびにエネルギー効率の改善が寄与しているものと推察される。

次に、削減量の個別対策技術等による寄与の算定結果を報告する。これは基準ケースに対して、個別対策技術等を順次実施していった場合のエネルギー消費量および二酸化炭素排出量を算定し、各計算結果の差をもって追加した対策の削減効果量とするものである。この手法の場合、ダブルカウント等の問題はないものの、個別対策技術等を導入する計算上の順番で当該対策の削減効果が異なることに留意する必要がある。今回の分析では、まず個々の高効率技術（例えば、低燃費自動車）を導入した効果を計算し、次にエネルギー需要に影響を及ぼすような構造変化（例えば、モーダルシフト）の効果を計算した。

ここで簡単な例を用いて、計算上の対策導入順次の影響を説明する。基準ケースのエネルギー消費量を 12 と想定し、対策として「エネルギー消費量が従来型の 2/3 になる高効率技術」と「エネルギーサービス量が対策前の 3/4 になる構造変化対策」を仮想した場合の各対策の削減効果をエネルギー消費量ベースで分解する。

まず、高効率技術の導入の効果量を先に算定した場合、その効果量は 4 ($12 \times (1 - 2/3)$) となり、構造変化対策による効果量は残りの 2 ($12 \times 2/3 \times (1 - 3/4)$) となる。一方、構造変化対策による効果量を先に算定した場合、その効果量は 3 ($12 \times (1 - 3/4)$) となり、高効率技術の導入による効果量は残りの 3 ($12 \times 3/4 \times (1 - 2/3)$) となる。このように計算上の対策導入順次により対策効果が若干異なるが、この差は政策決定に際して大きな影響を与えるものではないと考える。

2010 年時点で基準ケースとの比較において、各部門における削減寄与の大きな (1MtC/年以上) の個別対策技術等を表 5 に示す。産業部門においては製造プロセスの変更が、民生部門においては高効率電気機器の大量普及が、運輸部門においては低燃費自動車の大量普及（例えば、直噴ガソリンエンジンが小型乗用車の約 6 割に普及）が特に大きく削減に寄与していることが示されている。また、購入電力の二酸化炭素排出原単位の低減により全部門通じて約 26MtC/年の排出量が削減されている。これは、対策ケースでは基準ケースに比べて、電力消費を抑制させるとともに新エネルギー等を拡大することに伴い、炭素集約度の高い石炭火力等の電源のシェアを低下させることで表 6 に示すように 2010 年の電源構成が変化し、電力の二酸化炭素排出原単位が 97gC/kWh (基準ケース) から 63gC/kWh (対策ケース) に低減することにより達成されるものである。

表 5 対策ケースにおける削減寄与 (対基準ケース、2010 年)

部門	要因種別	個別対策技術等	削減量 MtC/年
産業	構造変化	電気炉のシェア拡大	2.4
		高炉への廃プラスチック投入	2.3
民生	高効率化	白熱灯型蛍光灯の普及	1.7
		省エネ冷蔵庫の普及	1.1
		省エネエアコンの普及	1.9
	構造変化	待機削減型機器の普及	2.0
		住宅断熱化の強化	1.5
		暖房機器のエアコンへの代替	4.9
運輸	高効率化	直噴ガソリンエンジン自動車普及	7.4
		ハイブリッド乗用車の普及	2.4
	構造変化	情報通信による移動抑制 自動車以外への転換促進	1.8 1.4

(注) 購入電力の二酸化炭素排出原単位の低減による削減効果は除いた。

表6 ケース間の電源構成の比較 (2010 年)

単位：％

	原子力	水力	天然ガス	石油	石炭	地熱	廃棄物	太陽光
基準ケース	33.8	12.2	23.9	11.3	16.8	1.4	0.7	0.0
対策ケース	42.6	14.3	24.3	5.3	8.6	2.2	2.7	0.1

4. 3 考察と政策的含意

4. 1の結果から、本論文における対策ケースに示される排出削減を達成するためには、1)産業部門においては過去 25 年と同様のエネルギー効率改善率の継続、2)家庭および運輸部門では過去のエネルギー効率の低下速度年率 2~3%を反転させること、3)民生部門における炭素集約度を年率 1.6~1.8%のスピードで低下させること、が必要となる。産業部門については、「日本のエネルギー効率は既に世界最高水準にあり、今までと同じようにその効率を高めていくことは困難」とする見方¹⁰⁾もあるが、循環型生産プロセスや燃料電池開発等の二酸化炭素排出の少ない新技術等の開発は着実に進展しつつあること、また、民生部門や運輸部門においては過去 25 年間で見ると特段の強力な対策は講じられてこなかったことなどから、これらの技術やシステムの導入を促進する仕組みを整備することで、対策ケースに示されるような排出削減は実現可能なものと判断できる。この場合、特に旅客部門においては年率 2%で悪化していたエネルギー効率を年率 2%程度の改善にシフトさせるような強力な措置が必要であり、税制等による低燃費車への誘導とともにこれらの低燃費車の性能が十分発揮できるような交通システムの整備が不可欠であると考ええる。

次に4. 2の結果から、炭素集約度対策とエネルギー効率対策の両者の重要性が示唆される。すなわち計算では、高効率機器の大量普及による電力消費量の抑制効果が発電部門での低炭素集約度エネルギー源の優先利用を可能とさせており、それらの相乗により大幅な二酸化炭素排出量削減が可能となっている。今後の施策運用にあたっては、この相乗効果を見のがしてはならない。

また、個別対策技術等の削減効果の推計結果からいくつかのキーテクノロジーが抽出できる。本論文における個別対策技術等の削減効果と政府見通しにおける対策の削減効果を比較したものが表7である。両者にばらつきがあるものの、数多くある対策技術等のメニュー（AIM エンドユースモデルの場合、約 220 項目）の中で削減寄与率の高い主要なものは両者で共通しており、このようなキーテクノロジーへ集中的に導入促進施策を講ずることが極めて重要である。

表7 主要な個別対策技術等の削減効果の比較

単位：MtC/年

主な個別対策技術等	本論文における削減効果	政府見通し
エアコンの効率向上等	6.8 (7.8%)	3.4 (6.0%)
住宅の断熱化	1.5 (1.7%)	2.8 (5.0%)
自動車燃費の改善	9.3 (10.6%)	3.2 (5.7%)
低公害車の普及	2.4 (2.7%)	0.9 (1.6%)

(注) () 内の％は、各ケースの全削減効果量に対する割合を示す。

本論文における「エアコンの効率向上等」には暖房へのエアコン導入による効果も含まれる。

5. わが国における合理的な排出削減目標の設定に向けて

将来の排出量推計とその削減寄与の分析手法についてみるといくつかの課題が残されている。地球温暖化防止京都会議に向けたわが国政府における削減余地に関する議論と手法について概観すると、次のとおりである。

- 1) 環境庁地球温暖化対策技術評価検討会¹⁷⁾は詳細な技術の積み上げにより2000年時点での二酸化炭素排出量の1990年レベルでの安定化を示唆したが、エネルギーの需要と供給の部門間の整合が十分考慮さ

れていなかった。

- 2) 政府関係審議会の合同会議¹⁰⁾はエネルギー起因の二酸化炭素排出量を2010年で1990年レベルに安定化させる見通しとその内訳を示したが、部門間や主体間での費用効果面などでの公平性の問題や活動抑制対策（例えば、エアコンの設定温度）と効率向上対策（例えば、エアコンのCOP向上）は独立ではないにもかかわらずそれらの効果を単純に加算している等の問題を残した。
- 3) 筆者らが開発してきた AIM エンドユースモデルを用いた二酸化炭素排出量の将来推計は上記2つの推計の諸課題を概ね解決するものであり、2010年で1990年レベルから5%以上の削減可能性を示唆^{7,18)}したが、このような複雑なプロセスを最適化するモデルでは対策毎の削減寄与への分解が困難であり、第三者への説得性が必ずしも十分ではなかった。

本論文は上記3)の課題解決に向け、将来の技術の進展・代替をシミュレートした推計結果を対象に、マクロ指標および個々の対策技術等の両面からそれらが二酸化炭素排出削減に果たした寄与を一定の条件で分析したものである。今回の分析は技術の費用効果を比較した既往の研究¹⁹⁾と比較して、現実の技術代替により近い動的メカニズムをもって将来を推計し、その結果を個別対策技術等の寄与の観点から分析している点に特徴がある。

しかしながら、今回用いた分解手法は、個別対策技術等の効果が計算過程における対策の導入順次に左右されるという手法上の限界を有していることから、今後数式による対策技術群の同時分解の手法を開発することとしている。

謝辞

本研究は、著者らと国立環境研究所社会環境研究部森田恒幸室長および地球環境研究グループ甲斐沼美紀子総合研究官ならびに富士総合研究所石井久哉氏および吉田雅哉氏による共同研究である。これを記して感謝する次第である。

引用文献

- 1) Schipper, L., and Haas R.: The political relevance of energy and CO₂ indicators – An Introduction, Energy Policy, Vol.25, p. 639-649, 1997
- 2) Phylipsen, G. J. M., Blok, K., and Worrell, E.: Handbook on International Comparisons of Energy Efficiency in the Manufacturing Industry, Utrecht University, 1998
- 3) Schipper, L., and Meyers, S.: Energy Efficiency and Human Activity- Past Trends, Future Prospects-, Cambridge University Press, 1992
- 4) Schipper, L., Ting, M., Khrushch, M., and Golove, W.: The evolution of carbon dioxide emissions from energy use in industrialized countries: an end-use analysis, Energy Policy, Vol. 25, p. 651-672, 1997
- 5) 松岡 譲・森田恒幸・水野 健太、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 No. 573/VII-4, p. 81- p. 92, 1997
- 6) 松岡 譲・森田 恒幸・日比野 剛・水野 健太、エネルギー消費起因の二酸化炭素排出量推計モデルの開発とわが国の二酸化炭素排出量の見通しについて、環境システム研究 Vol. 24, p. 149-p. 156, 1996
- 7) 松岡 譲・森田 恒幸、わが国の二酸化炭素排出量削減の可能性について、環境システム研究 Vol. 25, p. 133-p. 142, 1997
- 8) 経済企画庁「構造改革のための経済社会計画」の推進状況と今後の課題、1996年12月
- 9) 国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口」、1997年1月
- 10) 地球温暖化対策関係審議会合同会議第3回資料、1997年10月

- 11) 環境庁「二酸化炭素排出量調査報告書」、1992年5月
- 12) 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計 平成10年度版」
- 13) 経済企画庁「国民経済計算年報 平成10年版」
- 14) 総務庁「国勢調査報告 平成7年版」
- 15) EDMC 編「99 エネルギー・経済統計要覧」
- 16) 運輸省「運輸経済統計要覧 平成9年版」
- 17) 環境庁「地球温暖化対策技術評価検討会報告書」、1996年5月
- 18) 松岡 譲・森田恒幸・甲斐沼 美紀子・水野 健太、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 No. 580/VII-5, p. 27- p. 36, 1997
- 19) UNEP, UNEP Greenhouse Gas Abatement Costing Studies, Phase Two Report: UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, Riso National Laboratory, Denmark, 1994