



二酸化炭素の排出構造の分析と排出抑制対策の評価に関する研究

近藤, 美則

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1996-09-18

(Date of Publication)

2015-03-03

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙2078

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3129841>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2002078>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



神戸大学博士論文

二酸化炭素の排出構造の分析と
排出抑制対策の評価に関する研究

平成 8 年 8 月

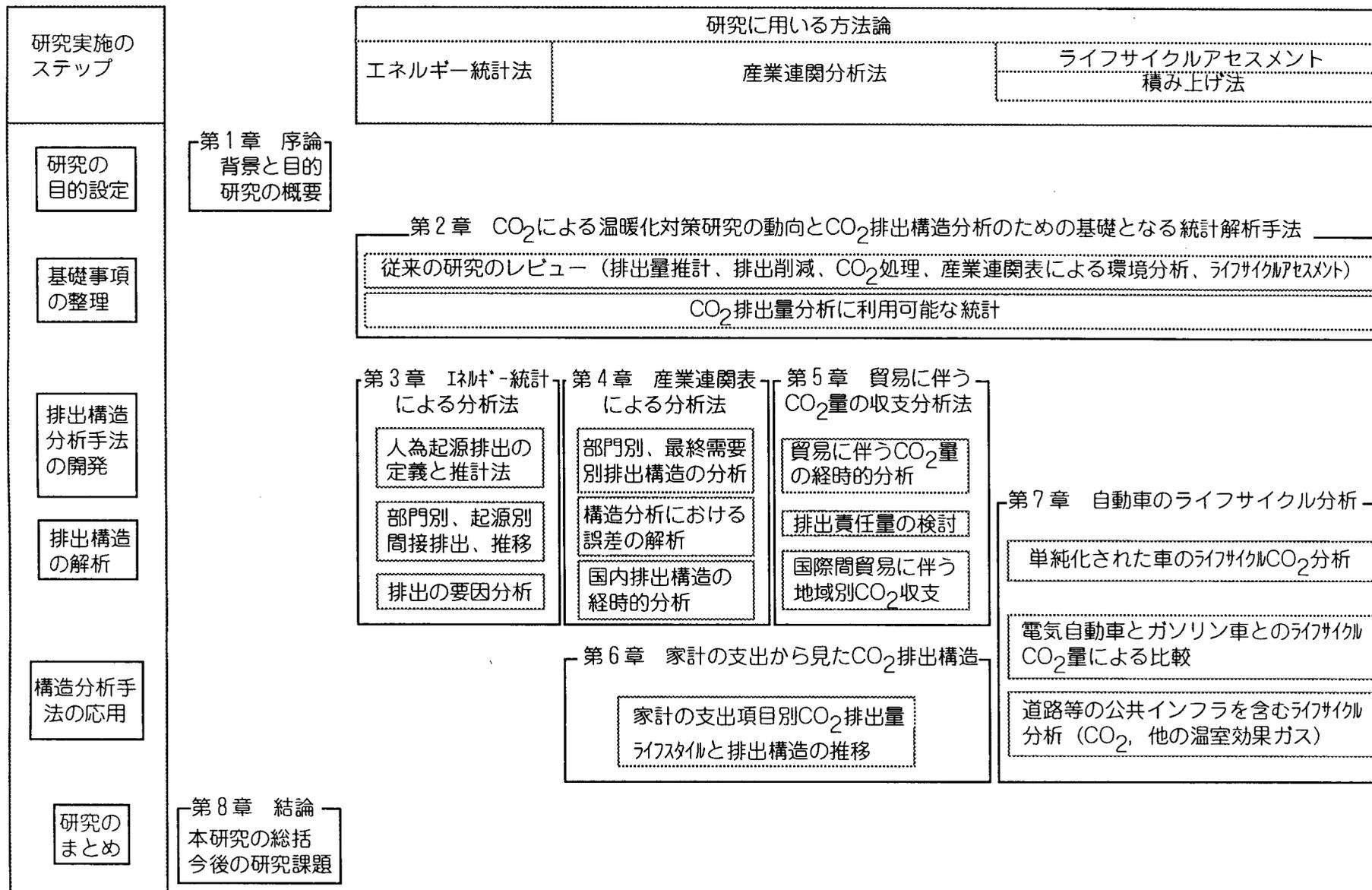
近 藤 美 則

目次

第1章	序論	1
1.1	本研究の背景と目的	1
1.2	本研究の概要	2
第2章	CO ₂ による温暖化対策研究の動向とCO ₂ 排出構造分析のための基本となる統計解析手法	4
2.1	緒言	4
2.2	CO ₂ による温暖化対策研究の動向	4
2.3	CO ₂ 排出量分析に利用可能な統計	9
2.4	エネルギーバランス表による分析の方法	11
2.5	産業連関表による分析の方法	12
第3章	エネルギーバランス表によるCO ₂ 排出構造の分析	25
3.1	緒言	25
3.2	CO ₂ 排出量の推計方法	25
3.3	部門別・起源別排出量とその推移	29
3.4	結言	35
第4章	産業連関表による国内のCO ₂ 排出構造の分析	37
4.1	緒言	37
4.2	CO ₂ 排出量の推計方法	37
4.3	1985年におけるCO ₂ 排出構造	39
4.4	CO ₂ 排出構造の4時点における比較	45
4.5	結言	46
第5章	日本の貿易に伴うCO ₂ 量の収支分析	49
5.1	緒言	49
5.2	CO ₂ 収支分析の方法	49
5.3	1990年におけるCO ₂ 収支	50
5.4	輸入品からのCO ₂ 排出量の経時的分析	54
5.5	貿易データによる国際間CO ₂ 収支分析	57
5.6	結言	62

第6章	家計の支出から見たCO ₂ 排出構造の分析	64
6.1	緒言	64
6.2	分析方法	65
6.3	家計の消費支出に伴うCO ₂ 排出構造の推移	66
6.4	部門別に見たCO ₂ 排出量の推移	70
6.5	結言	74
第7章	自動車のライフサイクル分析	76
7.1	緒言	76
7.2	自動車のライフサイクルCO ₂ 排出量の分析	77
7.3	インフラを含めた車のライフサイクル排出量の分析	82
7.4	現行ガソリン車と電気自動車のライフサイクルCO ₂ 排出量の比較	91
7.5	結言	100
第8章	結 論	103
8.1	本研究の総括	103
8.2	今後の研究課題	105
謝 辞	107
関連論文等発表一覧	108

「二酸化炭素の排出構造の分析と排出抑制対策の評価に関する研究」 論文全体の構成図



第1章 序 論

1. 1 本研究の背景と目的

1980年代後半より地球規模の環境問題が日本において重要な課題となって来た。地球環境問題とは影響が国境を越え、世界的な規模にまで影響が及ぶ環境問題のことを言う。現在、地球環境問題とされているのは地球温暖化、オゾン層の破壊、酸性雨、熱帯林の減少、砂漠化の進行、発展途上国の公害問題、野生生物種の絶滅、海洋汚染、有害廃棄物の越境移動の9種である。はじめの3種は、主として先進国の工業活動や生活の中で資源やエネルギーを過度に消費することによって生じる問題である。つぎの3種は、主に途上国において発生しており、先進国による大量の資源購入によるものと途上国の人口増加などが原因となっているものである。最後の3種は、先進国および途上国で問題となっている問題である¹⁾。その中でも、地球温暖化問題は原因が多岐にわたり、かつ人々の日常生活に深く関係している。

地球温暖化とは、二酸化炭素（以下、 CO_2 と呼ぶ）やメタン（ CH_4 ）、亜酸化窒素（ N_2O ）をはじめとする温室効果ガスが大気中へ集積することにより、地球の温度が上昇することである。地球が温暖化することによって、植生や農作物の収量の変化、海水面の上昇による陸地の減少等が危惧されている。温暖化による影響については、温度上昇や降水量の変化などについて世界を対象として多くのシミュレーションが行われ、アジア・太平洋地域を対象としたシミュレーション^{2) 3)}もある。また、人体の健康へのリスクについての疫学面からの研究⁴⁾もなされている。

この温暖化問題についての世界の動向は、まず1988年のカナダのトロントにおける「大気変化に関する国際会議」から政策的な課題となり、その会議において CO_2 排出量の削減に関する提言が行われた。さらに、1988年11月のUNEP（国連環境計画）とWMO（世界気象機関）によるIPCC（Inter-governmental Panel on Climate Change、気候変動に関する政府間パネル）の設置によって、温暖化問題に対する検討が本格的に始まった。ついで、1989年にオランダのノルドヴェイクで開かれた「大気汚染と気候変動に関する閣僚会議」において、温室効果ガス排出の安定化と気候変動枠組み条約の早期締結が合意された。また、1992年にブラジルのリオデジャネイロで開かれた「環境と開発に関する国際会議」において、「気候変動枠組み条約」が締結され、1994年3月に条約が発効した。各国・機関においても、それぞれ CO_2 排出抑制のための目標を決め対処しているところである。

IPCCでは、「科学的知見」、「影響評価」、「対応戦略」の3作業部会に分かれて活動を行い、1990年8月にIPCC第一次評価報告書を公刊した。さらに、1992年8月には気候変動に関する最新の情報を収録したIPCC補足報告書を発表した。その後も「科学的知見」、「気候変動の影響評価と対応戦略の作成」、「気候変動の社会経済、防止策および適応策の費用便益」の3作業部会に改組しつつ、第二次評価報告書の作成のために鋭意活動を続けている⁵⁾。

日本においても、1990年10月に政府が「地球温暖化防止行動計画」を閣議決定し、西暦2000年までに国民一人当たりの CO_2 排出量をおおむね1990年レベルに抑えることを決定した⁶⁾。

CO_2 は温室効果ガスの中で大気中への蓄積量が最も多いため、温暖化への寄与がもっとも大きく、そのほぼ半分を占める。 CO_2 は生活のあらゆる活動に伴って排出されており、これまでの公害問題において有効であった特定の発生源に対する対策によって解決できるようなものではない。その排出抑制は、社会のあらゆる場面・場所であらゆる対象に対して行われる必要がある。

ところで最近、ライフサイクルアセスメント（LCA）と呼ばれる手法が注目を集めるようになってきた。LCAとは、対象の環境への影響を捉える際に、その製造時の環境影響を少なくすれば事足

りといった従来の一断面における対象の評価から、その対象のライフサイクル全般にわたっての環境影響を評価しようという考えである。すなわち、対象の原料の採掘から輸送、素材の製造、生産、利用、維持・管理、廃棄までといった一連のライフステージにおける環境影響を求め、それによって製品やサービスの環境的側面を総合的に評価しようという手法である。この手法は、製品やサービスを比較したり、改善するための有効な手法として国際的にも期待されており、現在、国際標準化機構（ISO）で環境管理関連の国際規格（14000シリーズ）の一つとしてその標準化作業が進められているところである。

このような観点から、本研究では温室効果ガスとしてCO₂を取り上げ、温暖化抑制対策を取るべき部門の特定、対策の定量的評価を可能とするための基礎データに資することを目的として、CO₂の排出についての正確かつ総合的な排出量インヴェントリの作成を経時的に行うものである。さらに、インヴェントリの作成においては、国内の生産・消費活動のみを対象とするのではなく、一国の経済活動は国際間の貿易によって成り立っていることを念頭に置いて、輸入品の生産に伴う国外の排出についても分析には含めるものとする。また、エネルギーの消費に伴って排出されるCO₂は、最終的には消費者のさまざまな需要を満足させるためであることから、最終消費者である家計におけるCO₂排出の構造を特に詳細に解明することも目的とする。さらに、自動車を対象として、LCAの考えを取り入れたLCCO₂排出量の推計を行い、温暖化対策としてとり得るべき対策の提示とその対策によるCO₂排出削減効果の推定および対策の評価を行うことを目的とする。

1. 2 本研究の概要

この目的を達成するため、本研究においては、まず現実に消費されている化石燃料の分類とその燃料の供給あるいは消費量データを反映させた簡便な排出量の推計手法を開発し、推計においては化石燃料以外の燃料および石灰石もCO₂排出起源として含めるものとする。つぎに、産業や発電などにおいて消費する化石燃料や発電により生産された電力は、最終的には人々のさまざまな需要を満たすためであることから、経済活動における最終需要とCO₂排出の関係を分析するために、産業連関表の利用による排出構造の分析を行う。つぎに、複数時点の分析を行うことで排出構造の推移を明らかにし、CO₂排出と人々のライフスタイルとの関係についての分析を行う。さらに、これらCO₂の排出の削減が全世界的な希求であり、その排出の原因は主に化石燃料の燃焼によることが明らかであることから、その排出責任を明確にすることで、排出削減の努力を行うべき主体について検討する。一方、環境関連の国際規格に取り入れられつつあるLCAの考え方を利用することにより、CO₂排出削減対策について新たな視点からの分析を自動車を例として行い、このLCA手法の温暖化問題への適用可能性および有効性について検討する。

第2章では、これまでに行われてきた温暖化問題の原因である温室効果ガスの中で、とくにCO₂にかかわる研究の動向について述べる。つぎに、各種発行されている公式統計について、そのCO₂排出量分析への利用可能性について検討する。さらに、これらの統計のうち本研究で主に用いている二つの統計について述べる。

第3章では、国内におけるエネルギーの供給と消費が総合的にまとめられている総合エネルギー統計を用いて、CO₂排出量を部門別・起源別に推計する方法を示すとともに、1965年から1990年までの過去26年間について推計を行い、この間の排出量の推移およびエネルギー供給構造や経済指標との関係の分析を行う。さらに、CO₂の直接排出源を明らかにするのみならず、電力などエネルギー転換部門の排出を最終消費者に間接排出として転嫁する考え方を示し、この考え方に基づく部門別排出量への直接・間接排出の寄与について検討を行う。

第4章では、第3章で示した最終消費者にエネルギー転換部門のCO₂排出の責任を転嫁する間接排出の考えが、一国の一年の経済活動を金額を単位として表す産業連関表を使うことによってあらゆる財やサービスに対してまで拡張することができることに着目し、産業連関表を利用した排出量分析を行う。また、ここでの結果を前章における結果と比較することにより、両方法で得られた結果の関係について検討する。つぎに、産業連関表を用いてこのような分析を行う時に問題となる、用いる部門数によって生じる分析結果への誤差の影響について検討する。さらに、誤差解析によって得られた知見に基づいた部門数設定による複数時点の産業連関分析を行い、国内のCO₂排出構造の推移について検討する。

第5章では、第4章で行う国内のみを対象とした排出構造の分析を拡張し、日本への輸入品の生産に伴う国外のCO₂排出をも含めた排出構造の時系列解析を行い、この間の貿易に伴うCO₂排出と経済政策との関係を分析する。さらに、日本がそのCO₂排出に対して責任を負うべき量としての帰属排出量を提案し、その公平性と有効性について検討する。一方、同種の手法を多国間貿易に対して適用することにより、日本と他国との貿易に限らない、他国と他国の貿易をも考慮した世界の貿易におけるCO₂収支についても検討を行う。

第6章では、CO₂排出は最終的には人々のさまざまな要求を満たすためであることに着目し、温暖化対策をとるべき部門として家計を取り上げてそのCO₂排出削減を求める場合に、あらかじめ明確にしておくべき家計におけるCO₂排出構造を詳細に分析する。その際、人々の需要にかかわる全てのCO₂排出を考慮するために、第5章で指摘した輸入品の生産に伴う国外におけるCO₂排出を含めること、可能な限り詳細な部門分類を利用し実際に家計が支出する購入者価格での分析とすること、等を考慮する。さらに、複数時点の分析を行うことにより、家計の支出構成の変化による排出構造への影響についても検討を行う。

第7章では、まず自動車の車輛自体にかかわるCO₂排出量を積み上げ法と産業連関分析法の二つの方法を利用して求め、両手法の利用にかかわる問題点を指摘する。つぎに、自動車を対象としたライフサイクルCO₂排出量を産業連関分析法の利用により行い、排出削減対策が有望なライフステージの同定を行う。さらに、温暖化対策としてはCO₂を含めた温室効果ガスの排出削減が重要なことに着目し、CH₄、N₂O、フロン等の温室効果ガスを含むライフサイクル温室効果ガス排出量の分析を行い、その場合の有望な対策について検討を行う。一方、自動車自身の温暖化対策として現在のガソリンや軽油などを燃料とするエンジン自動車から、走行時にCO₂を排出しない電気自動車への代替対策をとる場合の、CO₂排出削減可能量をそれぞれの自動車のライフサイクルCO₂排出量の比較により推算する。

第8章では、本研究を総括し、本研究の結びとする。

参考文献

- 1) 清水浩：地球を救うエコビジネス 100のチャンス、にっかん書房、317pp、1991.
- 2) 森田恒幸・松岡譲・甲斐沼美紀子・甲斐啓子・原沢英夫・李東根：アジア太平洋地域における地球温暖化対策の総合分析モデルの開発、23pp、1994.
- 3) AIM/Japan 開発チーム：技術選択を考慮したわが国の二酸化炭素排出量の予測モデルの開発、国立環境研究所 F-64-94/NIES、90pp、1994.
- 4) 安藤満：地球温暖化に伴う健康リスク、環境科学会誌、第6巻、第4号、413/419、1993.
- 5) (財)地球・人間環境フォーラム：「地球温暖化の防止に向けて／セミナー：IPCC最新情報」、119pp、1994.
- 6) 環境庁：平成2年度環境白書、1990.

第2章 CO₂による温暖化対策研究の動向と CO₂排出構造分析のための基本と なる統計解析手法

2. 1 緒言

本研究の目的であるCO₂による温暖化に対して対策を取るべき部門の特定、対策の定量的評価を可能とするための基礎データに資するため、CO₂の排出についての正確かつ総合的な排出量インヴェントリの作成に当たって、本章ではまず、これまでに行われてきた温暖化問題の原因である温室効果ガスの中で、特にCO₂にかかわる研究の動向について述べる。つぎに第3節では、各種発行されている公式統計について、そのCO₂排出量の分析への利用可能性について検討する。第4節では、第3章の分析のもととなるエネルギーバランス表について、第5節では第4章以降の分析で用いた産業連関表による分析法について述べる。

2. 2 CO₂による温暖化対策研究の動向

CO₂による温暖化対策研究にはまず、その排出量を推計するための研究がある。これらの研究は対策の方向やその効果を評価するための基礎的情報になる。つぎに対策そのものの研究がある。対策には大きく分けて、その排出量を削減するもの（削減策）、排出したCO₂を回収処理するもの（処理策）がある。これらの対策を実効あるものにするためには、それらを客観的尺度で評価することが必要であるが、その手法として産業連関表を用いた分析が有効である。また、LCA（ライフサイクルアセスメント）の手法も重要である。ここでは、これらのそれぞれの研究について、これまでの動向を述べる。

2.2.1 CO₂排出量の推計手法および排出量

これまで国内外においてCO₂排出量を推計する手法はいくつか提案され、かつ実際にその手法に基づいた排出量の算出が行われてきた。以下、それらの代表的なものを紹介する。

Marlandら¹⁾は、化石燃料を固体、液体、気体に分類し、燃料の世界平均のCO₂含有率をその消費量に乗じることでCO₂排出量を1950年から81年まで推計している。

CDIAC（Carbon Dioxide Information Analysis Center：二酸化炭素情報解析センター）²⁾では、化石燃料の消費を固体、液体、気体の3区分とし、これにセメント生産用の石灰石起源分、油田等でのフレア（利用不可能なガスの焼却）分を加えた5区分としてCO₂排出量を求めている。ここでは、世界合計の排出量について1860年から、排出上位国20カ国のCO₂排出量について1950年からの経年データとして推計されている。CO₂排出源として国際空路・国際航路で消費されるバンカー油分は世界合計には計上しているが、各国別の計算には加えていない。

OECD（経済協力開発機構）^{3) 4)}では、固体、液体、気体の3種の化石燃料ごとに、排出原単位を設定し、OECD/IEA（国際エネルギー機関）のエネルギーバランス統計をもとに計算を行っている。ここでは、化学工業原料分を控除し、セメント製造の石灰石起源分も推計しているが、化石燃料以外の燃料起源分や廃棄物起源分は推計していない。また、バンカー油分は各国の排出量に含めている。

WR I (World Resources Institute : 世界資源研究所)⁵⁾ では、排出源のデータはCDIAC²⁾ のデータをそのまま用いているが、独自に土地利用変化によるCO₂排出量という項を加え、世界各国のCO₂排出量を求めている。これはおもに森林の増減による炭素固定量の変動に相当し、現在熱帯林破壊が進行している国の排出量が大きくなっていることが特徴である。

湯浅⁶⁾ は、エネルギーの統計として総合エネルギー統計(エネルギーバランス表)を用いてCO₂排出量を推計している。ただしこの推計では、高炉ガス起源の排出量算定に高炉ガスの組成から求めた排出係数をあてており、コークス起源の排出の一部を二重計算している可能性がある。また、ナフサ・LPG起源の化学工業原料分はCO₂排出量から控除しているが、コークスから副成する非燃焼用途の製品への炭素分は控除していない。

日本環境衛生センター⁷⁾ では、化石燃料を固体、液体、気体の3区分とし、Marlandら¹⁾ の排出原単位を適用している。ここでは、業種ごとの排出量として計算されているが、都市ガスの最終消費分をエネルギー転換部門の都市ガス製造業に計上していること、コークス製造による熱量ロス分相当のCO₂をそのままコークス製造業に計上していること、化学工業原料分を全く控除していないこと等の問題点がある。バンカー油分、石灰石起源分の排出量は計算されていない。一方、廃棄物焼却分については、ごみの組成分析とごみ焼却炉排ガス組成分析の結果から単位ごみ量あたりの排ガス量とCO₂濃度を推定し、単位焼却量あたりのCO₂排出原単位を導いている。

森口ら⁸⁾ は、総合エネルギー統計の値にMarlandら¹⁾ の原単位を適用し、化石燃料の燃焼分のみを対象に、業種別排出量を算定している。供給側と消費側の整合をとるため、都市ガス製造や石油精製といった一部のエネルギー転換業種の排出量が過大推計されているという問題がある。一方、コークス製造時の副成分や化学工業原料分の控除、コークス起源の排出の二重計上の排除などは考慮されているが、石灰石起源分や廃棄物起源分のCO₂排出の定量的な推計は行っていない。

環境庁⁹⁾ では、1988年における世界の主要国・地域別に排出量推計値を求めている。エネルギー統計として国連エネルギー統計が、排出原単位としてMarlandら¹⁾ の値が用いられている。低位発熱量基準の統計に高位発熱量基準の排出原単位を乗じた誤差のため、5~10%程度の過小推計となる。化学工業原料用途などの非燃焼分を控除していないことによる過大推計がこれを一部相殺するが、いずれにしても結果はやや過小推計と考えられる。

以上のように、本研究以前に行われてきた排出量推計は多くの場合、CO₂排出源としては、固体、液体、気体の3種の化石燃料が取り上げられ、それぞれの消費量に世界平均のCO₂含有率を乗じることにより、CO₂排出量が推計されている。また、分析を細かく行うために、化石燃料の種類を増やした分析も行われているが、排出の二重計算や積み上げに抜けがあることに注意を要する。

一方、化石燃料以外のCO₂排出源についての推計例はあるが数は少なく、精度はあまり高くない。排出量としてとらえる範囲がさまざまであり、推計結果を直接比較するのが非常に困難であった。

また、温暖化抑制対策をとる場合の対策の有効性や対策の有効な分野の特定等についての研究^{10) 1)} や排出の責任量の推定¹²⁾、排出量の将来予測^{13) - 16)}の研究が行われる一方で、過去のCO₂排出について要因分析を行うことにより、対策の手がかりを求めた研究^{17) 18)}もある。

そのほかに、CO₂に限らない温室効果ガスおよびNO_xやSO_x等の大気汚染物質の排出構造を詳細に求めている研究^{19) 20)}もある。

2.2.2 CO₂排出削減対策

CO₂排出削減対策に関する研究については、大きく分けて技術的手段の導入と経済的手段の導入、誘導的手段の導入の3つがある。また、技術的手段には分野別に、エネルギー転換部門、産業部門、運輸部門、民生部門でのそれぞれの対策に分けられる。誘導的手段としては、ライフスタイルの変更

の提案が主である。以下にそれぞれの研究の例を示す。

(1) 技術的手段の導入によるCO₂対策の研究

a) エネルギー転換部門

エネルギー転換部門を対象とした研究では、モデルを用いた発電技術の評価^{2 1)}や太陽光発電による燃料生産^{2 2)}や太陽光発電の評価^{2 3)-2 5)}、環境負荷の同定^{2 6)}、石炭ガス化発電やコージェネレーション等の研究が行われている。

b) 産業部門を対象とした排出抑制

産業を対象とした排出抑制の研究では、例えば、鉄鋼業について素材としての鉄とアルミや樹脂とを対象とし鉄の有効性を指摘している篠原^{2 7)}、現在でも省エネ設備がかなり導入されている鉄鋼業に対して、さらなるCO₂排出削減ポテンシャルがあることを推計した石川ら^{2 8)}、松橋ら^{2 9)}、鉄のリサイクルによるCO₂排出削減効果と炭素税の関係について世界規模でのシミュレーションをした山本ら^{3 0)}、古紙利用による環境への影響について推定した竹山ら^{3 1)}、電力事業について検討した鈴木^{3 2)}、また省エネルギーの視点からは、セメント産業を対象とした藤井^{3 3)}、産業全体を対象とした藤井ら^{3 4)}の研究がある。

c) 運輸部門における排出抑制対策

運輸部門における温暖化対策として、自動車の燃費向上やCO₂排出の少ない低公害車・代替自動車の導入、自家用車から公共交通機関へのモーダルシフトなどが考えられ、さまざまな研究がなされている。

代替自動車を対象とした研究では、電気自動車と内燃機関自動車との効率およびCO₂量の比較をした運池^{3 5)}、代替車を導入したときの自動車交通部門からのCO₂削減量を推計した運池^{3 6)}、内燃機関自動車の走行実態調査から電気自動車の導入可能性を検討した運池ら^{3 7)}、費用対効果の高い将来エネルギー車の導入可能性をトータルエネルギーシステムモデルにより解析した小林ら^{3 8)}、CO₂制約とNO_x制約を同時に満たす代替自動車の導入シナリオを検討している武石ら^{3 9)}に見られる。

低公害車の開発の現状と将来についての解説^{4 0)}が、電気自動車については清水^{4 1)}、北村^{4 2)}、森下^{4 3)}、ハイブリッド自動車は鈴木^{4 4)}、天然ガス自動車は井上^{4 5)}、メタノール自動車は金^{4 6)}、水素自動車は濱^{4 7)}に見られる。さらに、現行のガソリン車^{4 8)}およびディーゼル車の動向^{4 9)}もある。

モーダルシフトについては、自家用車の公共交通機関への代替によるマクロ経済への影響および環境負荷について検討した小山ら^{5 0)}、多田ら^{5 1)}、旅客輸送のモーダルシフトによるエネルギー削減量を東京圏を対象としたモデルにより定量的に推計した田頭ら^{5 2)}、日本全国の貨物輸送に対して行い省エネポテンシャルの大きな輸送区間を示した手塚ら^{5 3)}、中長距離のトラックと鉄道を比較した佐川ら^{5 4)}、日高^{5 5)}による研究がある。

また、対環境性や燃費の面で優れた自動車が開発されても市場に導入されなければ意味がないとの視点から、経済性を検討した吉田ら^{5 6)}、消費者の選好の検討をした塚田ら^{5 7)}の研究がある。

一方、自動車自身の他に燃料自身の温室効果の分析もなされている。重田^{5 8)}による化石燃料の採掘・輸送、精製でのエネルギー消費およびCO₂排出量の推計以降、富舘ら^{5 9)}による化石燃料相互の温室効果の比較、さらに佐波^{6 0)}によるガソリンと代替自動車の各種燃料についてのエネルギー利用効率および温室効果ガス排出量の分析が行われている。また、湊ら^{6 1)}は、ガソリン価格が車社会に与える経済的影響の面から自動車と環境問題の係わりについて検討し、ガソリン価格が自動車の購入動機、エネルギー消費に大きく関係することを明らかにしている。

d) 民生部門における排出抑制研究

ア. 住宅および住宅設備を対象とした研究

住宅を対象とした温暖化対策の研究は、主に現在の住宅を高断熱・高気密化することによって、空調

のためのエネルギーを抑える、すなわち冷房時や暖房時のエネルギー消費を減少させようとするものである。住宅の高断熱・高気密化によって削減できるエネルギーあるいはCO₂量について推計した例は若松⁶²⁾にある。一方、住宅を高断熱・高気密化する場合、住宅建設時に追加の資材投入が必要となり、それによってCO₂排出量が増加する。この問題に対して、LCAの視点から建築物を対象としてライフサイクルCO₂量を求めることで、建築物の評価を行った石福ら⁶³⁾、井上⁶⁴⁾による研究がある。

イ. 家庭電化製品を対象とした研究

家庭電化製品を対象とした研究は多岐にわたるが、エネルギーの需要分析、エネルギー消費の分析、エネルギー消費とライフスタイルとの関連分析、等に分類される。

エネルギーの需要分析では、エアコンの複数台保有化による冷房需要への影響を実態調査から分析した東田⁶⁵⁾、電化製品の利用状況から電力の需要構造を求め将来予測をして省エネ対策について検討した奥田ら⁶⁶⁾、アンケート調査によりエネルギー消費構造の分析を行い価格弾力性を求めた松川ら⁶⁷⁾、冬季の電力需要を分析した松川ら⁶⁸⁾がある。

家庭におけるエネルギー消費量の実測調査からの研究も行われている。快適な生活と省エネルギーのバランスについて解析した中田ら⁶⁹⁾、北海道の家庭を実態調査した井口ら⁷⁰⁾、首都圏近郊地域を対象とした青柳ら⁷¹⁾、実測調査の結果を要因分析した村越ら⁷²⁾、エアコンの利用実態を調査した松川ら⁷³⁾の研究がある。

また、既存統計を利用した分析では、民生用エネルギーの需要特性を見いだした室田⁷⁴⁾、家庭におけるエネルギー消費の推移を分析した中上⁷⁵⁾、家庭のエネルギー消費を用途別に国際比較した弘田⁷⁶⁾の研究がある。

ここまで述べたこれらの分析は、利用時にエネルギーを消費する機器に着目した場合がほとんどである。

(2) 経済的手段の導入によるCO₂対策の研究

経済的手段の導入の分野では、CO₂の排出権市場や炭素税・環境税等が検討されている。排出権については、排出権の公平性を検討した杉山ら⁷⁷⁾、初期割当の影響を検討した山地ら⁷⁸⁾、植林による炭素固定を検討した岡田ら⁷⁹⁾、排出権市場を線形計画モデルで解析した山地ら⁸⁰⁾、炭素税では後藤⁸¹⁾⁸²⁾の研究に見られる。また、国際市場の排出権と国内の炭素税を組み合わせた鈴木⁸⁴⁾は上記の手段の他に市場競争型環境基準の導入や製品製造エネルギーの表示などの必要性を指摘している。

(3) 誘導的手段の導入によるCO₂対策の研究

誘導的手段の導入による対策を取る前に、ライフスタイルとCO₂排出の関係をまず明らかにする必要がある。そのために、産業連関分析により、家庭にあるさまざまな機器や設備あるいは、住宅の建設にかかわる直接間接のCO₂排出を求めたものとして、家計の消費支出とCO₂排出の関係の経時的な分析をした近藤ら^{85)~89)}、坂田⁹⁰⁾、日本と英国とで比較した盛岡ら⁹¹⁾、吉岡ら⁹²⁾による環境家計簿のためのCO₂排出点数表の作成、また、産業連関分析の結果と家計調査を組み合わせ世帯類型ごとの排出構造を分析した青柳ら⁹³⁾、等がある。ライフスタイルとエネルギー消費の関係について、藤田⁹⁴⁾、工藤⁹⁵⁾、桜井ら⁹⁶⁾、青柳ら^{97~99)}の研究があり、ライフスタイルの変化を促す施策については槌屋¹⁰⁰⁾、木戸¹⁰¹⁾、ライフスタイルと環境負荷の関係は高月¹⁰²⁾に見られる。また、アンケートにより家庭でできる温暖化対策の実行可能性を調査し、対策ごとの削減原単位とからCO₂排出削減可能量を求めた青柳ら^{103)~105)}の研究もある。

2.2.3 CO₂回収・固定および適応技術

温暖化の技術的な対策の分野としてのCO₂固定技術としては、例えば発電所からのCO₂を回収し、3000 m以下の深海へ貯蔵する技術¹⁰⁶⁾¹⁰⁷⁾、CO₂をメタノールや水素、メタンなどの燃料へ転換

する技術^{108) 109)}等があり、固定および適用技術の開発ならびにそれら対策技術についての経済性等の研究^{21) 24) 110) -114)}が鋭意行われている。

2.2.4 産業連関表を用いた環境分析

産業連関表を利用した分析は多方面に利用可能であり、古くは発電所のエネルギー収支分析等のエネルギーアナリシス¹¹⁵⁾やある事業を行う際に得られるであろう経済波及効果等の分析に見られるが、環境関連分野での利用が増えている。そこで、最近の研究について温暖化問題を対象とした研究からその概略を述べる。

Commonら¹¹⁶⁾は、オーストラリアの化石燃料消費に起因するCO₂排出量を求める一方、その排出を最終消費者に転嫁する方法を示している。また、CO₂排出構造を最終需要の変化、燃料供給の変化、技術変化に分解して分析および感度解析を行っている。

Gayら¹¹⁷⁾は、化石燃料の消費からのCO₂排出を抑えるための経済的・技術的対策の有効性を明らかにするために、英国の産業連関表をもとに直接、間接等に排出を分解してその排出構造について解析している。また、産業連関分析の利用可能性についても言及している。

近藤らは、産業連関表を用いて日本のCO₂排出構造の分析を行う一方、このような分析を行う際に問題となる用いる部門数の違いによる結果への誤差について解析を行っている¹¹⁸⁾。さらに、複数時点の産業連関表に対して同様の分析を行って、排出構造の経時的な推移ならびにその間の貿易とCO₂排出量との関係から日本の負うべきCO₂排出責任量の提示を行っている¹¹⁹⁾。また、家計の消費行動とCO₂排出量との関係についても解析を行っている⁸⁵⁻⁸⁹⁾。

鈴木ら¹²⁰⁾は、日本の化石燃料消費量を8地域、10部門、3燃料種別に集計することにより、化石燃料消費に伴うCO₂排出量を地域別・産業部門別に求めている。このうえに石灰および廃棄物起源のCO₂排出量を加えて、地域別・産業部門別・燃料種別のCO₂排出原単位を導出し、この原単位と地域間産業連関分析とを組み合わせることで日本の総CO₂排出量を体系的に算出するモデルを構築している。

吉岡らは、産業連関表を用いた排出構造分析をCO₂、NO_x、SO_xを対象として行っている^{121) 122)}。さらに同様の手法を中国の排出構造の分析に適用して、日中間の排出構造の比較を行っている¹²³⁾。一方、排出構造分析の結果を利用していくつかの温暖化対策についての評価^{124) 125)}や家計消費とCO₂排出量との関係の分析⁹²⁾を行っている。

Pedersen¹²⁶⁾は、デンマークについてエネルギー統計より25燃料種、125部門別にエネルギー消費量、CO₂、SO₂、NO_x等の大気汚染物質の排出量を計算し、それらの値に産業連関分析を組み合わせることにより、直接・間接の大気汚染物質の排出量を求めている。また、国内生産に伴う排出の他に輸入品の生産のための排出についても検討を行っている。

岡¹²⁷⁾は、省エネルギービルと一般事務所ビルを対象に、その建設費と運転費を産業連関表を用いて分析し、建設費や運転費が各産業部門に及ぼす波及効果や究極的に消費される原料についての相互比較を行い、さらに産業連関表地域間表を用いて、投下された建設投資が当該地域に吸収される割合や全国の各地域の各産業部門に波及していく影響についても比較検討している。

竹林ら¹²⁸⁾は、6つの事務所建築を対象として建設に必要な主要資源量、CO₂、NO_x、SO_x、ばいじん等の大気汚染物質ならびに廃棄物の量等を産業連関表取引基本表をもとに求め、事務所建築によって引き起こされる環境影響について検討している。

酒井ら¹²⁹⁾は、建設行為に関係する資源やエネルギーの消費量とCO₂排出量、ならびに建設資材の生産時における資源、エネルギー等についても産業連関表を利用して推計を行い、産業連関表を用いると同様の手法でそれらを導出することが可能であることを示している。

齊藤¹³⁰⁾⁻¹³²⁾は、エネルギー収支分析の手法をエネルギーを含む資源一般にまで拡張し、ある製品やシステムを対象としてその資源必要量を産業連関表等をもとに求める資源連関分析を提案し、例として都市の建設や維持に必要な資源量の計算を行っている。

柳沢ら¹³³⁾は、産業連関表をもとにして人間のさまざまな活動から発生する大気汚染物質、廃棄物等を含む環境基礎負荷量の導出を行い、各国が地球環境保全のために果たすべき責務についての定量的な指針の提案を行っている。

野村ら²⁵⁾は、太陽光発電システムの製造時の投入エネルギーを推定し、集中系統連系型の太陽光発電システムのエネルギーペイバックタイムの試算に産業連関分析を利用している。

2.2.5 LCAに関する研究の動向

環境問題を特定の製品や部門に限ってみるのではなく、社会全体を把握した上で分析を試みるべきだとの考え方が重要視されつつあるが、その代表的な手法としてライフサイクルアセスメント(LCA)がある。LCAは人間社会の中で利用される製品やシステムを対象として、その原料の採掘、輸送、生産、販売、利用、廃棄、リサイクルという一連の流れの中での環境へ与える影響を定量化することを目的とした手法である。LCAの研究としては、アセスメント自体の手法についての永田ら¹³⁴⁾¹³⁵⁾、吉岡ら¹³⁶⁾の研究もあるが一般的には、一つの製品やシステムを対象とした分析が行われている。発電施設を対象として、それら施設の建設から始まって、維持・管理におけるエネルギー消費およびCO₂排出を推計した内山ら¹³⁷⁻¹⁴¹⁾、紙製飲料容器についての環境負荷を分析した石川ら¹⁴²⁾、飲料容器を対象としてライフサイクルエネルギーとリサイクル効果を推計した乙間ら¹⁴³⁾、ゴミ発電を対象としエネルギー消費およびCO₂排出を推計し既存の発電施設と比較した森ら¹⁴⁴⁾、太陽光発電システムの環境負荷の分析に適用した稲葉ら²⁶⁾、都市基盤施設の建設に伴う環境負荷の定量化に適用した銭谷ら¹⁴⁵⁾、自動車を対象とした近藤ら¹⁴⁶⁾¹⁴⁷⁾、森口ら¹⁴⁸⁾⁻¹⁵¹⁾、建築物を対象とした岡¹²⁷⁾、竹林¹²⁸⁾等がある。

ここで特に、本研究で事例として取り上げる自動車に限り、その研究の動向を見る。これまで自動車を対象としたLCAに相当する研究、すなわち二つ以上のライフステージを考慮した分析は、沼澤¹⁵²⁾に見られる。沼澤は、小型車および普通車を対象として生産段階と走行段階のエネルギー消費量を求め、走行段階のエネルギー消費量は製造段階の4倍程度であることを示した。蓮池¹⁵³⁾は、沼澤の結果をもとに走行段階について、内燃機関自動車と電気自動車とを対象としてCO₂やNO_xの排出量、エネルギー消費量等を比較している。さらに現行エンジン車と代替燃料車との比較を行う際の指標についても検討している。一方、温暖化問題と自動車とのかかわりについては、湊ら¹⁵⁴⁾¹⁵⁵⁾が指摘している。また、温暖化問題に関連して自動車のライフステージを考慮したCO₂排出量の分析を行う必要性は竹辺¹⁵⁶⁾も述べているが、本研究を行う以前にこのほかに自動車を対象としてLCAと呼べる研究はほとんどなく、多くの研究は走行段階を対象として現行エンジン車の燃費低減によるエネルギー消費やCO₂排出量の削減量を求めたもの、現行エンジン車と代替自動車との走行段階のCO₂排出量の比較¹⁵⁷⁾等であった。自動車を対象としてそのライフサイクルにおけるCO₂排出を実際に求めた近藤ら¹⁴⁶⁾の結果をもとに、小林¹⁵⁸⁾が車輻の素材代替や軽量化によるエネルギー消費やCO₂排出の低減あるいは、リサイクルによるCO₂排出削減効果等を推計している。

2.3 CO₂排出量分析に利用可能な統計

CO₂は化石燃料を消費することによって排出される。一方、化石燃料の種類ごとのCO₂含有率は実験的に調べられている。よって、化石燃料を利用する部門からのCO₂排出量データの基礎として、エネルギー供給および消費データが利用できる。

国内において発行されているエネルギー供給および消費に係わる公式統計は、資源エネルギー庁や通商産業省等から提供されており、エネルギー生産・需給統計年報、石油等消費動態統計年報、石油等消費構造統計表、総合エネルギー統計、産業連関表、鉄鋼統計年報や軽金属統計年報等の業種別統計、等がある。以下、それぞれを用いてCO₂排出量を推計する場合の利害得失について述べる。

2.3.1 エネルギー生産・需給統計年報

この統計は、石油、石炭およびコークスの生産・輸入元と輸入量・産業別販売量等をまとめたものである。石油の中には、天然ガスや原油の生産から、揮発油や灯油などの石油製品の製品別の生産・輸入・需要量が含まれる。石炭においては、原料炭の生産・輸入・需要をはじめ、一般炭や無煙炭までの石炭製品の供給・需要量が示されている。コークスについても、その生産に必要な原材料の量からその生産量、輸入量、需要量などが記載されている。しかしながら、この統計は産業部門数が18であることおよび、各産業に販売された化石燃料が在庫として残り、実際には消費されなかった場合の補正が難しいことから、CO₂排出構造のより詳しい分析をするには不都合である。ただし、コークスなどの二次製品の製造におけるCO₂排出量を求めることや、化石燃料の供給量および産業別の販売量からのCO₂排出量を求める上では十分利用可能な統計である。

2.3.2 石油等消費動態統計年報と石油等消費構造統計表

これらの統計は、通産省が商業、鉱業、製造工業の各産業における石油を中心としたエネルギー消費の動向を明らかにし、石油の生産・流通政策をはじめ省エネルギーの推進、石油代替エネルギーの導入促進等、総合的エネルギー政策の円滑な遂行のための基礎資料を得るために行っている石油等消費構造統計調査の結果をまとめたものである。石油等消費動態統計年報は、上記調査結果を業種・業態別、生產品目別、地域別に編集集計したもの、石油等消費構造統計表は、産業別、エネルギー種別、年次別に集計したものである。

これらの統計は、商業、鉱業、製造工業の各事業所におけるエネルギー消費量を求めたものであること、さらにその調査対象事業所の一部を従業員数や産業規模により対象外とすることから、これら産業のすべての事業所の実際のエネルギー消費より、統計表に記載された消費量はさらに少ないものとなっている。国内全体のエネルギー消費、ひいては燃料の消費によるCO₂排出を求めるにはその意味で不十分である。しかし、産業のエネルギー種別のCO₂排出量の推計には統計の細かさからある程度は有効である。

2.3.3 総合エネルギー統計

日本エネルギー経済研究所が毎年編集し、資源エネルギー庁が発行する総合エネルギー統計は、エネルギー起源別の消費量のみならず一次エネルギー供給からはじまって、エネルギー転換、輸送などにかかるデータが示されており、産業別起源別にCO₂排出量を推計するにはもっとも相応しいものである。この統計は、「エネルギー生産・需給統計」をはじめ、電気事業などのエネルギー転換業種や製造業の業種別統計などさまざまな統計を組み合わせて作成されるものであり、個別の統計に含まれる二重計上や不整合を可能な限り排除するよう工夫されている。また、OECD/IEA（経済協力開発機構／国際エネルギー機関）が作成しているエネルギーバランス統計の形式とも整合しており、国際比較を行いやすい利点がある。この統計は、その示す内容からエネルギーバランス表とも言われている。この統計については、第4節で改めて述べる。

2.3.4 産業連関表

産業連関表は、一国の経済において様々な産業が一年間に財貨・サービスを生産するために取引をして生産した財貨・サービスが、産業、家計、輸出等にどのように取引されたかをすべての産業につ

いて統一的に把握し、行列の形の一覧表にしたものである。この産業連関表は取引基本表（以下、基本表）と呼ばれ、5年おきに11省庁の共同作業で作成されている。この基本表の作成が5年ごとのため、その間の中間の年次を補完するものとして、基本表を元に最新の情報を利用して推計された「延長表」が通商産業省により作成されている。また、基本表と同じ共同作業により、各年次の産業連関表が連続するように部門、概念等を調整し、各年次の価格評価による「時価表」のほか、価格変動の影響を除いて評価替えをした「固定価格評価表」が含まれる「接続産業連関表」も作成されている。この産業連関表は、エネルギーアナリシスをはじめとして各種の経済分析にも良く利用されており、非常に便利な統計である。この産業連関表による分析の方法については、第5節で述べる。

2.3.5 鉄鋼統計年報をはじめとする業種別統計

業種別統計には、その名の通り、各業種別の中間製品をも含めた生産量およびそれらの製品の国内の製造工程で消費されたエネルギー量が、代表的なエネルギー起源別に記載されている。しかし、国内生産されていない素材、例えば現在ではほとんどを輸入しているアルミ新地金については、統計が作成できないためにその生産のためのエネルギー消費およびCO₂排出量を求めることができない。そのような不備な点はあるが、エネルギー起源別消費量および製品生産量の記載のあるものについては、製品生産時のCO₂排出量を求めることができる。本研究の第7章では、これらの業種別統計を用いて、工業製品を生産する上で主要な素材である鉄、ガラス等の素材の単位当たりのCO₂排出量を求め、その結果による分析を行う。

2. 4 エネルギーバランス表による分析の方法

2.4.1 エネルギーバランス表の歴史

日本のエネルギーバランス表¹⁵⁹⁾は、1987年以前は、総合エネルギー調査会「エネルギー需給バランス表」、資源エネルギー庁編「総合エネルギー統計」、日本エネルギー経済研究所「エネルギー・バランス表」の3種類があった。しかし、これらのエネルギーバランス表が発表されてからかなりの年月が経つこと、この間石油ショック等による日本のエネルギー需給構造の大きな変化およびエネルギー新技術の開発などにより、それまでのバランス表では対応しきれない部分が数多く指摘されるようになってきた。

また、従来の「総合エネルギー統計」は、表の形式、エネルギー源および需要部門の分類方法、最終エネルギー部門の定義、エネルギー転換、自家消費の取り扱い、各種の換算値等が、国際的に標準的な総合エネルギー需給表と見なされているOECD/IEAが作成しているOECD「エネルギーバランス表」と異なっていることから、これまでの表形式では、現状に即してエネルギー需給の分析、国際比較などが困難であった。

このため、1988年度版からそれまでのエネルギーバランス表の全面的な見直しを行い、新たな総合エネルギー需給バランス表が作成、公表されている。新しいエネルギーバランス表への変更点は、ア) 各種のエネルギー統計表を一本化しわが国の公式のエネルギー統計としたこと、イ) 表形式をOECD「エネルギーバランス表」に合わせ国際的にも通用するものとしたこと、ウ) 公表されている各種統計を基に実態を十分反映させたこと、エ) エネルギー源の種類や部門数を増やしたこと、オ) 将来の需給構造変化にも対応できるものとしたこと等である。

2.4.2 エネルギーバランス表の構成と利用法

エネルギーバランス表は、すべてのエネルギー源をある共通の単位（カロリー）で表示し、一国のエネルギーが生産・輸入され、そのままあるいは電力、都市ガス等の二次エネルギーの形に転換され

たあと、最終的に消費される過程を一つの表に表現したものである。国のエネルギーの流れあるいは、各部門・各エネルギー間のかかわりや競合関係の把握や分析に極めて有効な統計である。

1993年度のエネルギーバランス表を表2-4-1に示す。部門（縦方向）はエネルギーのフローに沿って、一次エネルギー供給→エネルギー転換・エネルギー部門自家消費→最終エネルギー消費の3つに大別される。横方向はエネルギー源を示し、ここでは6分類に集約してある。ここで、エネルギー転換部門ではマイナスは生産のためのエネルギー投入、プラスは生産を示している。また、自家消費はマイナスで表示される。統計誤差欄はデータ上、需要と供給がバランスしない場合の調整項である。

エネルギーバランス表の活用により、例えば石油依存度Cについては、Aを一次エネルギー総供給計、Bを一次エネルギー総供給（＝原油＋石油製品）とすることにより、表2-4-1と $C=B/A$ から、56.6%と読み取ることができる。その他、一次エネルギー総供給の構成比率、最終需要部門別構成比率などを読み取ることができる。

また、エネルギーバランス表には、燃料の固有単位で示した41燃料種と43部門の基本表と12燃料種と36部門の簡約表、およびカロリー換算した簡約表がある。基本表と簡約表のエネルギー種および部門名を、表2-4-2、表2-4-3に示す。

エネルギーバランス表に基づくCO₂排出量は、エネルギーバランス表に示された部門別起源別のエネルギー消費量に各起源別の単位エネルギー当たりの炭素含有量を乗じることにより求める。

2. 5 産業連関表による分析の方法

産業連関表の構造および利用法については文献^{160) 161)}に詳しく述べられているので、ここでは省略する。ここでは産業連関表を用いてCO₂の排出構造分析を行う方法のみを述べる。

産業連関表を使うと、財貨・サービスの生産に伴う直接・間接のCO₂排出を求めることができる。その理由を、エネルギーアナリシス¹¹⁵⁾におけるエネルギー密度の導出法を示しつつ述べる。

エネルギーアナリシスでは、各産業で生産される財貨の単位金額当たりに必要な一次エネルギー量（カロリー）をエネルギー密度（カロリー／円）と定義している。直接・間接のエネルギー消費を求めるということは、一つの財貨の生産に要したエネルギーが、そのままその財に保存され、その財を原料とするつぎの財に受け継がれると考えることに他ならない。このことを式で示せば、 X_j 、 μ_j 、 Γ_j をj番目の産業のそれぞれ国内生産額、エネルギー密度、自然から取り出したエネルギーとし、 x_{ij} はi番目の産業からj番目の産業への投入額とすると、

$$\mu_j X_j = \sum \mu_i x_{ij} + \Gamma_j \quad (2.5.1)$$

となる。ここで、式の右辺はj産業に他産業および自然から投入されたエネルギーであり、左辺がj産業に含まれるエネルギーを表すことになる。そこで、

$$a_{ij} = x_{ij} / X_j \quad (2.5.2)$$

とすると、

$$\mu_j = \sum \mu_i a_{ij} + \gamma_j \quad (2.5.3)$$

ただし、

$$\gamma_j = \Gamma_j / X_j \quad (2.5.4)$$

この式は、あらゆる産業に対して成り立つので、 γ_j の値さえ分かれば、この一次連立方程式を解くことによりエネルギー密度 μ_j が得られる。

ここで、M、 Γ を要素 μ_j 、 γ_j からなる列ベクトルとすれば、

$$M = A' M + \Gamma \quad (2.5.5)$$

となり、整理すると

表 2-4-1 1993年度エネルギーバランス表 (単位：石油換算100万トン)

		原油	石油製品	水力・ 原子力	電力	石炭・ ガス他	合計
一 次 エ ネ ル ギ ー	1 国内生産	1	0	78	-	13	92
	2 輸入	236	49	0	-	129	415
	3 一次エネルギー 総供給	237	49	78	-	142	507
	4 輸出、在庫変動	0	-19	0	-	-2	-22
	5 一次エネルギー 国内供給	237	30	78	-	140	485
エ ネ ル ギ ー ・ 転 換 ・ 自 家 消 費	6 電力生産	-15	-30	-78	77	-74	-121
	7 石油精製	-216	213	0	0	0	-3
	8 その他転換	-3	-2	0	0	-2	-6
	9 自家消費・ロス	0	-11	0	-8	-4	-23
	10 統計誤差	-3	4	0	0	3	4
最 終 エ ネ ル ギ ー	11 最終エネルギー計	0	204	0	68	63	335
	12 産業	0	88	0	32	47	168
	13 民生	0	37	0	34	15	87
	14 運輸	0	78	0	2	0	80

表 2-4-2 総合エネルギー統計におけるエネルギー名の対応

基本表 (41列)	簡約表 (12列)	基本表	簡約表
1 石炭	} 1 石炭	27 天然ガス	} 5 天然ガス ・LNG
2 原料炭		28 LNG	
3 一般炭		29 都市ガス	
4 無煙炭			
5 コークス	} 2 コークス等	30 新エネルギー等	} 10 新エネルギー等
6 コークス炉ガス		31 太陽熱	
7 高炉ガス転炉ガス		32 ごみ発電	
8 練豆炭		33 その他	
9 原油	} 3 原油	34 地熱	9 地熱
10 NGL			
11 石油製品	} 4 石油製品	35 水力発電	7 水力発電
12 燃料油		36 原子力発電	8 原子力発電
13 ガソリン		37 電力計	} 11 電力計
14 ナフサ		38 電気事業者	
15 ジェット燃料油		39 自家発	
16 灯油		40 熱	10 新エネルギー等
17 軽油		41 合計	12 合計
18 重油			
19 A重油			
20 B重油			
21 C重油			
22 潤滑油			
23 その他石油製品			
24 製油所ガス			
25 オイルコークス			
26 LPG			

表 2-4-3 総合エネルギー統計における部門名の対応 (行)

基本表 (43部門)			簡約表 (36部門)		
一次エネルギー	国内エネルギー生産	1	国内エネルギー生産	1	
	輸入	2	輸入	2	
	一次エネルギー総供給	3	一次エネルギー総供給	3	
	輸出	4	輸出	4	
	在庫変動	5	在庫変動	5	
	一次エネルギー国内供給計	6	一次エネルギー国内供給計	6	
エネルギー転換	電気事業者	7	} 電気事業者	7	
	揚水発電	8		8	
	自家発電	9		9	
	熱供給事業者	10		10	
	都市ガス	11	} コークス製造業	11	
	ガスコークス	12			
	鉄鋼コークス	13			
	専業コークス	14			
	鉄鋼系ガス	15			
	石油精製	16	石油精製	12	
	石油化学	17	石油化学	13	
	その他	18	その他	14	
	エネルギー転換部門計	19	-		
自家消費	エネルギー部門自家消費	20	} 自家消費・ロス	15	
	送配電ロス	21			
統計誤差		22	統計誤差 16		
最終エネルギー消費計		23	最終エネルギー消費計 17		
産業部門計	産業部門計	24	産業部門計	18	
	農林業	25	} 農林水産業	19	
	水産業	26			
	鉱業	27	鉱業	20	
	建設業	28	建設業	21	
	製造業計	29	製造業計	22	
	食料品	30	食料品	23	
	繊維	31	繊維	24	
	紙・パルプ	32	紙・パルプ	25	
	化学工業	33	化学工業	26	
	窯業土石	34	窯業土石	27	
	鉄鋼	35	鉄鋼	28	
	非鉄金属	36	非鉄金属	29	
	金属機械	37	金属機械	30	
	その他製造業	38	その他製造業	31	
	民生部門計	民生部門計	39	民生部門計	32
		家庭用	40	家庭用	33
		業務用	41	業務用	34
運輸部門		42	運輸部門 35		
非エネルギー (除化学工業用原料)		43	非エネルギー (除化学工業用原料) 36		

$$M = (I - A')^{-1} \Gamma \quad (2.5.6)$$

行列 $(I - A)^{-1}$ を B とおけば,

$$M = (I - A')^{-1} \Gamma = ((I - A)^{-1})' \Gamma = B' \Gamma \quad (2.5.7)$$

CO_2 の排出構造分析においては、エネルギー密度 μ_j を CO_2 排出強度 t_j 、自然から投入されたエネルギー Γ_j をその部門で排出した炭素量 C_j と置き換えるわけである。つまり、式で示すならば、

$$t_j = \sum t_{ij} a_{ij} + d_j \quad (2.5.8)$$

ただし、

$$d_j = C_j / X_j \quad (2.5.9)$$

エネルギーアナリシスでは、一次エネルギー生産部門への生産波及からエネルギー密度を求めているが、 CO_2 排出構造の分析では、非燃焼分の補正やエネルギー以外からの CO_2 排出の加算が必要なために、部門ごとの CO_2 排出量をまず求めた上で、 CO_2 を排出した部門への生産波及を求めている。生産波及による排出の計算において、波及を切断乗数ではなく究極の波及として求めるならば、得られるエネルギー密度や CO_2 排出強度は、エネルギー生産部門を除き、両方法において一致する（補足参照）。

エネルギー生産部門については、エネルギーアナリシスの方法ではその部門が生産した製品自身の持つエネルギーが含まれるのに対し、本研究では精製などのためのいわゆる自家消費相当分のみが計上されることとなる。

エネルギーアナリシスにおいては、石油製品のような同部門中の複数の連製品の生産のためのエネルギーの按分方法の問題点が論じられているが、本方法では製品自身の持つエネルギーは物量法を元にした熱量に応じて、転換のためのエネルギーなどそれ以外のエネルギーは産出金額に応じて按分されるので、一つの解決法を与えたことになる。

補足. エネルギー濃度と直接間接エネルギー密度の関係

エネルギーを例としてエネルギー濃度と直接間接エネルギー密度が、自然からのエネルギーの投入のない部門では一致することを示す。

j 産業がエネルギー産業 i から購入して消費したエネルギーを E_{ij} 、産業 j の直接エネルギー消費合計を E_j ($= \sum E_{ij}$) とおく。

E_{ij} は、エネルギー部門 i の製品の単位価格当たりエネルギー量 γ_i から、

$$E_{ij} = x_{ij} \gamma_i \quad (2.5.補1)$$

$$E_j = \sum x_{ij} \gamma_i \quad (2.5.補2)$$

と書ける。両辺を X_j で除し、 j 産業の単位生産額当たりの直接エネルギー消費量を

$$\varepsilon_j = E_j / X_j \quad (2.5.補3)$$

とおけば、

$$\varepsilon_j = \sum a_{ij} \gamma_i \quad (2.5.補4)$$

となり、 Θ を要素 ε_j からなる列ベクトルとすれば、

$$\Theta = A' \Gamma \quad (2.5.補5)$$

と書ける。ここでは A' は A の転置行列である。

ある産業 j の最終需要が一単位増加したとき、 i 産業への生産波及は b_{ij} であるから、 i 産業での直接エネルギー消費は $b_{ij} \varepsilon_i$ だけ増加する。したがって、 j 産業の生産が一単位増加したときの全産業への生産波及による直接エネルギー消費の増加を v_j とおくと、

$$v_j = \sum b_{ij} \varepsilon_i \quad (2.5.補6)$$

となり、 j 産業の製品の直接・間接のエネルギー消費を示す。

N を要素 v_j からなる列ベクトルとすると、

$$N = B' \Theta = ((I - A)^{-1})' \Theta = (I - A')^{-1} \Theta \quad (2.5.補7)$$

右辺第一項を展開し、第2項に式(2.5.補5)を代入すれば、

$$N = (I + A' + A'^2 + A'^3 + \dots) A' \Gamma \quad (2.5.補8)$$

$$= (A' + A'^2 + A'^3 + \dots) \Gamma \quad (2.5.補9)$$

$$= ((I - A')^{-1} - I) \Gamma = (I - A')^{-1} \Gamma - \Gamma \quad (2.5.補10)$$

式(2.5.7)を代入して、

$$N = M - \Gamma \quad (2.5.補11)$$

自然からのエネルギーの投入 γ_j のない(エネルギー産業以外の)産業については、エネルギー濃度 μ_j と、直接・間接エネルギー密度 v_j は一致する。エネルギー産業については、 v_j は μ_j から γ_j を引いた値となり、エネルギー製品が直接に利用可能なエネルギーとして持っている濃度(金額当たり発熱量)を除いた間接消費分(精製のための自家消費やその他の産業からの原材料の投入による間接消費)に対応した値を意味する。

この方法を用いるときに注意すべき点は、各産業の直接エネルギー消費密度 ε_j を求める際に、エネルギー転換業種に投入される転換原料(原油、原料炭など)を控除しなければならないことである。この点については、エネルギーで考えるよりも CO_2 排出で考えた方がわかりやすい。エネルギー転換業種で発生する CO_2 は、精製のための加熱等に伴うものであって、転換の対象となるエネルギーに含まれる炭素分は二次製品中に移行するためである。

参考文献

- 1) Marland, G and R. M. Rotty : Carbon Dioxide Emissions from Fossil Fuels, A Procedure for Estimation and Results for 1950-1981, USDOE TR003, NTIS, 1983.
- 2) CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center) : TRENDS'90 A Compendium of data on Global Change
- 3) OECD : Environmenta Indicators - A Preliminary Set -.
- 4) OECD : Estimation of greenhouse gas emissions and sinks, Final report from OECD Experts Meeting, 18-21 February 1991.
- 5) World Resources Institute : World Resources 1990-1991.
- 6) 湯浅俊昭 : 日本のエネルギー・電力需要のシナリオと環境(CO_2)の問題, 『エネルギー経済シンポジウム研究報告V, エネルギー経済, 第16巻, 第2号, 79/104, 1990.
- 7) 日本環境衛生センター : 昭和63年度環境庁委託「地球温暖化問題への対策に関するスクリーニング調査結果報告書」, 1989.
- 8) 森口祐一・西岡秀三 : わが国における二酸化炭素排出の構造・推移と先進諸国との比較, 季刊環境研究, 第77号, 155/166, 1990.
- 9) 環境庁 : 平成元年度環境白書, 1990.
- 10) Barry P. Jones, Zhao-Yang Peng and Barry Naughten : Reducing Australian energy sector greenhouse gas emissions, Energy Policy, 270/286, 1994.
- 11) Asbjorn Torvanger : Manufacturing sector carbon dioxide emissions in nine OECD countries, 1973-87, Energy Economics, Vol.13, No.3, 168/186, 1991.

- 1 2) Andrew W. Wyckoff and Joseph M. Roop : The embodiment of carbon in imports of manufacturing products , Implications for international agreements on greenhouse gas emissions, Energy Policy, 187/194, 1994.
- 1 3) 佐川直人 : 世界の長期エネルギー需給見通しにおける温室効果ガス排出量予測とその問題点, エネルギー経済, 第 15 巻, 第 9 号, 15/23, 1989.
- 1 4) 鈴木利治 : CO₂問題がエネルギー需給に及ぼす影響, エネルギー経済, 第 15 巻, 第 5 号, 44/54, 1989.
- 1 5) Makarov A. A. and Bashmakov I. : An energy development strategy for the USSR. Minimizing greenhouse gas emissions, Energy Policy, Vol.19, No.10, 987/994, 1991.
- 1 6) 清水定明・加藤和彦・村田晃伸・伊原征治郎 : 日本/世界エネルギー・CO₂長期モデルによる炭酸ガス排出量の予測, 第 8 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 351/356, 1992.
- 1 7) 小川芳樹・松尾直樹 : 部門別のCO₂排出要因分析の発展途上国への適用, 第 9 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 325/330, 1993.
- 1 8) 小川芳樹 : 日米欧先進国における部門別CO₂排出の要因分析, 第 8 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 231/236, 1992.
- 1 9) 外岡豊 : 温室効果ガスの排出実態と削減可能性, 産業公害, 第 28 巻, 第 4 号, 3/12, 1992.
- 2 0) 外岡豊 : 日本におけるCO₂排出量推計手法, 第 11 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 243/248, 1995.
- 2 1) 加藤和彦・村田晃伸・伊原征治郎 : MARKAL モデルを用いた発電技術の経済評価とCO₂排出低減効果の定量分析, 第 8 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 135/140, 1992.
- 2 2) 中村孝司・小林誠・谷辰夫 : 太陽電池モジュールによる水素製造に関する基礎研究, 第 9 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 35/40, 1993.
- 2 3) 竹下寿英 : 太陽光発電の将来市場展開のシナリオとモジュール・コスト, 第 9 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 41/46, 1993.
- 2 4) 稲葉敦・近藤康彦・小林光雄・喜多浩之・高橋伸英・野田優・松本真太郎・森田英基・小宮山宏 : 太陽光発電システムの導入によるCO₂排出削減効果, エネルギー・資源, 第 16 巻, 第 5 号, 72/77, 1995.
- 2 5) 野村昇・赤井誠・稲葉敦・山田興一・小宮山宏 : 産業連関表を用いた太陽光発電システムのエネルギーペイバックタイムの見積り, エネルギー・資源, 第 16 巻, 第 5 号, 57/64, 1995.
- 2 6) 稲葉敦・近藤康彦・小林光雄・喜多浩之・高橋伸英・野田優・松本真太郎・森田英基・小宮山宏 : 太陽光発電システムのライフサイクルアセスメント, エネルギー・資源, 第 16 巻, 第 5 号, 65/71, 1995.
- 2 7) 篠原虔章 : 鉄鋼業のCO₂による地球温暖化防止対策, コークスサーキュラー, 第 43 巻, 第 4 号, 184/191, 1994.
- 2 8) 石川雅紀・藤井美文・外岡豊 : 鉄鋼業のCO₂削減ポテンシャル, 第 8 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 297/302, 1992.
- 2 9) 松橋隆治・石谷久・古垣一成 : 鉄屑のリサイクルを考慮に入れた鉄鋼業の省エネルギー可能性評価, エネルギー・資源, 第 14 巻, 第 6 号, 68/73, 1993.
- 3 0) 山本博己・山地憲治 : SDモデルによるCO₂抑制方策の評価~鉄の生産・リサイクル・システ

- ムの解析～，第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，319/324，1992.
- 3 1) 竹山三郎・大塚弘明：日本における古紙利用とその環境に与える効果，紙パ技協誌，第48巻，第10号，1271/1276，1994.
 - 3 2) 鈴木俊治：地球温暖化対策と設備投資～電気事業におけるCO₂削減対策技術と設備投資～，第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，301/306，1992.
 - 3 3) 藤井美文：セメント産業における省エネルギーの可能性，セメント・コンクリート，第568号，24/34，1994.
 - 3 4) 藤井美文・石川雅紀・外岡豊：産業部門における省エネルギーの可能性評価～インバータによる省電力の費用効果～，第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，291/296，1992.
 - 3 5) 運池宏：電気自動車と内燃機関自動車の効率およびCO₂排出量の比較，第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，303/308，1992.
 - 3 6) 運池宏：代替エネルギー自動車の導入による自動車交通部門からのCO₂排出抑制，第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，417/420，1993.
 - 3 7) 運池宏・植村卓司：内燃機関自動車の走行実態と電気自動車導入の可能性，第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，111/116，1994.
 - 3 8) 小林紀・武石哲夫・石谷久・松橋隆治・吉田好邦：環境保全効果を考慮した将来エネルギー車導入のコスト・エフェクト研究，第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，123/128，1994.
 - 3 9) 武石哲夫・小林紀・石谷久・松橋隆治・吉田好邦：運輸部門におけるCO₂，NO_x低減策の動学的検討，第11回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，163/166，1995.
 - 4 0) 大聖泰弘：総説 クリーン自動車をめざして，エネルギー・資源，第15巻，第5号，26/30，1994.
 - 4 1) 清水浩：電気自動車のすべて，日刊工業新聞社，237pp，1992.
 - 4 2) 北村晏一：電気自動車の現状と将来，エネルギー・資源，第13巻，第3号，291/295，1992.
 - 4 3) 森下真夫：電気自動車の現状と将来，エネルギー・資源，第15巻，第5号，44/52，1994.
 - 4 4) 鈴木孝：ハイブリッド自動車の現状と将来，エネルギー・資源，第15巻，第5号，53/61，1994.
 - 4 5) 井上英郎：天然ガス自動車の現状と将来，エネルギー・資源，第15巻，第5号，62/67，1994.
 - 4 6) 金栄吉：メタノール自動車の現状と将来，エネルギー・資源，第15巻，第5号，68/76，1994.
 - 4 7) 濱純：水素自動車の現状と将来，エネルギー・資源，第15巻，第5号，77/84，1994.
 - 4 8) 小西正己：ガソリン車のエミッション低減技術の現状と将来，エネルギー・資源，第15巻，第5号，31/36，1994.
 - 4 9) 村山正：ディーゼルエンジン車はどこまでクリーンか，エネルギー・資源，第15巻，第5号，37/43，1994.
 - 5 0) 小山徹・桜井徹・藤井憲男・多田正：産業連関論による交通体系のエネルギー・経済評価，第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，43/48，1992.
 - 5 1) 多田正・小山徹・桜井徹・藤井憲男：自家用車から公共交通へのシフトによる社会的費用の評価，エネルギー・資源，第14巻，第2号，75/80，1993.
 - 5 2) 田頭直人・鈴木勉：旅客交通におけるモーダルシフトによるエネルギー削減効果の分析，第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，99/104，1994.
 - 5 3) 手塚哲央・原田邦治・西川よしー：貨物輸送におけるモーダルシフトによる省エネルギー効果の分析，エネルギー・資源，第14巻，第6号，82/88，1993.

- 5 4) 佐川直人・日高聡史：モーダルシフトとエネルギー効率～トラックと鉄道の比較を中心として～，第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，105/110，1994.
- 5 5) 日高聡史：モーダルシフトとエネルギー効率～トラックと鉄道の比較を中心として～，エネルギー経済，第19巻，第6号，17/34，1993.
- 5 6) 吉田好邦・石谷久・松橋隆治・小林紀・武石哲夫：運輸部門における環境問題対応策の動学的検討，第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，117/122，1994.
- 5 7) 塚田路治・松橋隆治・吉田好邦・石谷久・小林紀・武石哲夫：ロジッドモデルを用いた運輸部門のCO₂排出量低減策の評価，第11回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，16/172，1995.
- 5 8) 重田潤：化石燃料利用のためのCO₂排出量の定量的評価，季報エネルギー総合工学，第13巻，第3号，2/11，1990.
- 5 9) 富舘孝夫・小川芳樹：採掘から燃焼までのトータルな温室効果からみた化石燃料の比較，エネルギー経済，第17巻，第7号，1991.
- 6 0) 佐波義友：温室効果からみた自動車用燃料の比較，第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，405/410，1993.
- 6 1) 湊清之・岩田三枝子・鮎澤正：環境問題と自動車の係わり～ガソリン自動車と社会情勢～，第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，49/52，1992.
- 6 2) 若松伸司：家庭における二酸化炭素排出抑制，資源環境対策，第31巻，第3号，30/35，1995.
- 6 3) 石福昭・伊香賀俊治：ライフサイクルCO₂による建物の評価，建築整備士，(社)建築設備技術者協会，1993.3月号.
- 6 4) 井上隆：住宅の省エネルギーと地球温暖化，IBEC，第14巻，第2号，15/20，1993.
- 6 5) 東田隆一：家庭用エアコンの複数保有化が冷房需要に及ぼす影響～エアコンの使用実態調査から～，エネルギー経済，第20巻，第7号，2/15，1994.
- 6 6) 奥田章順・内海和夫・内山洋司：家庭部門の電力利用機器による電力需要分析，第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，353/358，1994.
- 6 7) 松川勇・真殿誠志・伊藤成康：アンケート調査に基づく家庭用エネルギー需要分析，第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，59/64，1992.
- 6 8) 松川勇・真殿誠志・伊藤成康：家庭部門の電力需要における価格効果～首都圏のアンケート調査にもとづく冬季の家庭用電力需要分析，エネルギー・資源，第14巻，第2号，81/86，1993.
- 6 9) 中田道子・橋口由岐子・長谷川百合・武藤恵美子・村上明子：エネルギー消費とライフスタイル～家庭での実測結果からみた快適生活と省エネルギーのバランスポイント～，第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，121/124，1993.
- 7 0) 井口貴司・中上英俊・村越千春・西田和宏・藤原智史：北海道における家庭用エネルギー調査(1)エネルギー消費と生活モードに関する実態調査結果，第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，131/136，1993.
- 7 1) 青柳みどり・森口祐一・近藤美則・清水浩：首都圏近郊地域における一般世帯のエネルギー消費調査の結果について，第11回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，91/96，1995.
- 7 2) 村越千春・中上英俊・井口貴司・西田和宏・室田泰弘：北海道における家庭用エネルギー調査(2)照明電力その他用エネルギー消費の解析，第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，137/142，1993.

- 7 3) 松川勇・外岡豊・栳田考一：家庭におけるエアコンの利用実態，第 10 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，347/352，1994.
- 7 4) 室田泰弘：民生用エネルギー需要の特性，エネルギー・資源，第 18 巻，第 4 号，19/28，1987.
- 7 5) 中上英俊：住宅におけるエネルギー消費，空気調和・衛生工学，第 65 巻，第 11 号，19/24，1991.
- 7 6) 弘田倫夫：家庭部門のエネルギー消費の国際比較～エネルギー消費の推移と省エネルギー政策～，エネルギー経済，第 20 巻，第 8 号，2/17，1994.
- 7 7) 杉山大志・山地憲治・山本博巳・岡田健司・長田紘一：CO₂ 排出権市場と炭素税～所有権移転による効率と公平の実現～，第 10 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，237/242，1994.
- 7 8) 山地憲治・山本博巳・岡田健司・杉山大志・長田紘一：CO₂ 排出権市場における初期割当の影響～最適化モデルによる検討～，第 10 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，243/248，1994.
- 7 9) 岡田健司・山地憲治・山本博巳・長野浩司・長田紘一：植林オプションを含む CO₂ 排出許可国際市場のシミュレーション，エネルギー・資源，第 14 巻，第 1 号，48/55，1993.
- 8 0) 山地憲治・山本博巳・岡田健司・杉山大志・長田紘一：線形計画モデルによる国際 CO₂ 排出権市場の解析，エネルギー・資源，第 15 巻，第 4 号，82/89，1994.
- 8 1) 後藤則行：課税による CO₂ 排出量抑制の有効性について，エネルギー・資源，第 14 巻，第 1 号，42/47，1993.
- 8 2) 後藤則行：動的市場均衡モデルによる CO₂ 排出量課税抑制の有効性について，第 8 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，219/224，1992.
- 8 3) 小坂弘行：エコライト制度による CO₂ 排出規制の検討～外国間計量経済モデルを用いて～，第 11 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，301/305，1995.
- 8 4) 鈴木利治：温暖化対策としての省エネルギー型社会／経済構造への政策的接近，第 9 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，295/300，1993.
- 8 5) 近藤美則・森口祐一・清水浩：家計消費支出に伴う CO₂ 排出量の産業連関表による一推計，環境科学会 1992 年会講演要旨集，183，1992.
- 8 6) 近藤美則・森口祐一・清水浩：家計消費支出に伴う CO₂ 排出量の経時分析，環境科学会 1994 年会講演要旨集，88，1994.
- 8 7) 近藤美則・森口祐一・清水浩：家計消費支出による CO₂ 排出構造の経時的分析，第 11 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，235/240，1995.
- 8 8) 近藤美則・森口祐一・清水浩：家計消費支出による CO₂ 排出構造の経時的分析，エネルギー経済，第 21 巻，第 4 号，27/35，1995.
- 8 9) 近藤美則・森口祐一・清水浩：家計の消費支出から見た CO₂ 排出構造の経時的分析，環境科学会誌，第 9 巻，第 2 号，231/240，1996.
- 9 0) 坂田直起：最終消費財に投入されるエネルギー総量とそれに伴う CO₂ 排出量の推計～産業連関表にもとづく計量的分析～，エネルギー経済，第 21 巻，第 5 号，2/15，1995.
- 9 1) 盛岡通・吉田登：家計消費支出に伴う CO₂ 排出量の日英比較，環境科学会 1994 年会講演要旨集，86，1994.
- 9 2) 吉岡完治・早見均・池田明由・菅幹雄：環境分析用産業連関表の応用（2）—環境家計簿作成のための CO₂ 排出点数表—，イノベーション & I-O テクニク，第 4 巻，第 1 号，37/57，1993.
- 9 3) 青柳みどり・近藤美則・森口祐一・清水浩：世帯類型による CO₂ 排出構造の差の分析，第 9 回

- エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 307/312, 1993.
- 9 4) 藤目和哉: ライフスタイルとエネルギー消費～省エネルギー考察のためのスタディ～, 第20巻, 第7号, 25/37, 1994.
- 9 5) 工藤拓毅: 生活行為から見た家庭でのエネルギー消費と省エネルギー, 第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 343/346, 1994.
- 9 6) 桜井隆博・石田博之: ライフスタイルによる将来のエネルギー消費変化の分析, エネルギー経済, 第20巻, 第9号, 11/28, 1994.
- 9 7) 青柳みどり・近藤美則・森口祐一・清水浩: 家計属性から見た直接エネルギー負荷について, 環境科学会 1993 年会講演要旨集, 20, 1993.
- 9 8) 青柳みどり・森口祐一・近藤美則・清水浩: 家計のエネルギー支出構造の特性について, 第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 255/260, 1994.
- 9 9) 青柳みどり・森口祐一・近藤美則・清水浩: 家計のエネルギー支出構造の特性について, エネルギー・資源, 第16巻, 第6号, 1995.
- 1 0 0) 槌屋治紀: エネルギーに関わるライフスタイルの変化を促す政策, 季刊環境研究, 第86号, 14/24, 1992.
- 1 0 1) 木戸由能: ライフスタイルの変更を支援する財のライフサイクルエネルギー算定システムの開発, 環境科学会 1994 年会講演要旨集, 95, 1994.
- 1 0 2) 高月紘: ライフスタイルと環境負荷との関連モデルの構築, 環境科学会 1994 年会講演要旨集, 89, 1994.
- 1 0 3) 青柳みどり・森口祐一・近藤美則・清水浩: 生活に関連したCO₂削減対策の可能性の評価, 第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 315/320, 1992.
- 1 0 4) 青柳みどり・森口祐一・近藤美則・清水浩: 生活に関連したCO₂削減対策の可能性の評価, エネルギー経済, 第18巻, 第4号, 33/40, 1992.
- 1 0 5) 青柳みどり・森口祐一・清水浩・近藤美則: 生活に関連した二酸化炭素削減対策の可能性の評価, 環境科学会誌, 第5巻, 291/303, 1992.
- 1 0 6) 石谷久・松橋隆治・大村昭士・島田莊平・須鍵孝彦: CO₂の海洋投入に関する技術的可能性評価, エネルギー・資源, 第12巻, 第3号, 65/74, 1991.
- 1 0 7) 石谷久・松橋隆二・大村昭士・竹田研一朗: CO₂回収-海洋投入システムの経済性評価, エネルギー・資源, 第14巻, 第1号, 85/90, 1993.
- 1 0 8) 赤野徹・平野正樹・今井哲也: CO₂リサイクルシステムに向けた研究開発 その1 CO₂からのメタノール合成に関する研究, 第11回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 255/258, 1995.
- 1 0 9) 辻正道・玉浦裕: 水素還元フェライトによるCO₂メタン化反応, 第11回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 255/258, 1995.
- 1 1 0) 佐野寛: CO₂の茅方程式への組み込み～各種CO₂対策技術の正確な位置付け～, 第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 337/342, 1994.
- 1 1 1) 佐野寛・久保幸雄・井上紀夫・丸山忠: CO₂リサイクル系エネルギーシステムの評価基準, 第11回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 249/254, 1995.
- 1 1 2) 藤井康正・茅陽一: CO₂問題対策技術の包括的可能性評価, 第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 327/332, 1992.
- 1 1 3) 松橋隆治・石谷久・茅陽一・古垣一成: CO₂放出低減策としての省エネルギーの経済性評

- 価, 第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 285/290, 1992.
- 1 1 4) 松橋隆治・石谷久・永田豊・山地憲治: CO₂放出低減策の経済性評価, エネルギー・資源, 第12巻, 第5号, 62/69, 1991.
- 1 1 5) 茅陽一: エネルギーアナリシス, 電力新報社, 294pp, 1980.
- 1 1 6) Common, M., S. and U. Salma: Accounting for changes in Australian carbon dioxide emissions, Energy Economics, Vol.14, No.3, 217/225, 1992.
- 1 1 7) Gay, P. W. and John L. R. Proops: Carbon-dioxide production by the UK economy - An input-output assessment, Applied Energy, Vol.44, No.2, 113/130, 1993.
- 1 1 8) 近藤美則・森口祐一・清水浩: 産業連関表によるCO₂排出構造の経時的分析と分析における部門数別誤差の解析, エネルギー・資源, 第15巻, 第2号, 77/85, 1994.
- 1 1 9) 近藤美則・森口祐一・清水浩: 日本の輸出入に伴うCO₂量の経時的分析, エネルギー・資源, 第16巻, 第3号, 68/75, 1995.
- 1 2 0) 鈴木基之・迫田章義・藤原健史・渡辺英雄・佐々木康之: 産業連関に基づく総CO₂排出量算出モデルの構築, 化学工学論文集, 第19巻, 第5号, 762/770, 1993.
- 1 2 1) 吉岡完治・早見均・池田明由: 環境分析のための産業連関表—その作成過程と意義—, イノベーション&I-Oテクニク, 第2巻, 第3号, 14/24, 1991.
- 1 2 2) 吉岡完治・早見均・池田明由・菅幹雄: 環境分析用産業連関表の応用—生産活動に伴うCO₂排出量とその要因—, イノベーション&I-Oテクニク, 第3巻, 第4号, 31/41, 1993.
- 1 2 3) 吉岡完治・早見均: 日中環境問題の産業連関分析(3)—なぜ中国のSO_x排出量が多いのか—, イノベーション&I-Oテクニク, 第5巻, 第4号, 19/28, 1995.
- 1 2 4) 吉岡完治・早見均・池田明由・菅幹雄: 環境分析用産業連関表の応用(3)—省エネ住宅のすすめ—, イノベーション&I-Oテクニク, 第4巻, 第2号, 26/38, 1993.
- 1 2 5) 吉岡完治・早見均・池田明由・藤原浩一・菅幹雄: 環境分析用産業連関表の応用(4)—高炉セメント利用のすすめ—, イノベーション&I-Oテクニク, 第4巻, 第3・4号, 21/28, 1993.
- 1 2 6) Ole Gravgard Pedersen: Input-Output Analysis and Emissions of CO₂, SO₂, and NO_x - the Linkage of Physical and Monetary Data, National Accounts and the Environment, Papers and Proceedings from a Conference, Londos, England, March 16-18, 1994.
- 1 2 7) 岡建雄: 産業連関表による建築物の評価 その1. 省エネルギービルと一般事務所ビルの比較, 日本建築学会計画系論文報告集, 第359号, 17/23, 1986.
- 1 2 8) 竹林芳久・岡建雄・紺矢哲夫: 産業連関表による建築物の評価 その2. 事務所建築の建設による環境への影響, 日本建築学会計画系論文報告集, 第431号, 31/38, 1992.
- 1 2 9) 酒井寛二・漆崎昇: 建設業の資源消費量分析と環境負荷の推定, 環境情報科学, 21-1, 130/135, 1992.
- 1 3 0) 斉藤雄志: 資源連関分析, 第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 301/306, 1994.
- 1 3 1) 斉藤雄志: 都市の資源連関分析, 第11回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 97/102, 1995.
- 1 3 2) 斉藤雄志: 資源連関分析～資源多消費社会の分析を目指して～, エネルギー・資源, 第16巻, 第2号, 17/22, 1995.
- 1 3 3) 柳沢幸雄・外岡豊・稲葉敦: GRCによる人間活動の環境基礎負荷量の評価, 第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 261/266, 1994.

- 1 3 4) 永田勝也：廃棄物処理・リサイクルを考慮した製品アセスメントについて，エネルギー・資源，第15巻，第1号，56/63，1994.
- 1 3 5) 永田勝也・藤井美文・服部君弥：技術のライフサイクルアセスメント手法の開発，環境科学会1994年会講演要旨集，94，1994.
- 1 3 6) 吉岡理文・石谷久・松橋隆治：線形計画法を用いた自動車のLCA検討，第11回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，153/158，1995.
- 1 3 7) 内山洋司：トータルシステムからみた各種発電プラントの温暖化影響，エネルギーフォーラム，1992.8月号.
- 1 3 8) 内山洋司：トータルシステムからみた発電プラントのCO₂/コスト分析，第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，313/318，1993.
- 1 3 9) 内山洋司：CO₂削減からみた発電プラントの将来展望，エネルギー・資源，第14巻，第2号，6/12，1993.
- 1 4 0) 内山洋司・西村一彦・本藤祐樹：太陽光発電システムのライフサイクル分析～技術進歩による改善効果について～，第11回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，415/420，1995.
- 1 4 1) 内山洋司：火力発電技術のライフサイクル評価～材料開発による環境負荷の低減効果～，配管技術，第37巻，第2号，65/67，1995.
- 1 4 2) 石川雅紀・猪瀬秀博・小松真弓：紙製飲料容器の環境プロフィール分析，第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，273/278，1994.
- 1 4 3) 乙間末広・森保文・中条寛・萩原一仁：飲料容器のライフサイクル消費エネルギーとリサイクル効果，エネルギー・資源，第15巻，第5号，98/105，1994.
- 1 4 4) 森保文・乙間末広・近藤美則・鮫島良二・森本林：ゴミ発電によるエネルギー回収およびCO₂排出量の削減効果の推定，エネルギー・資源，第15巻，第6号，73/80，1994.
- 1 4 5) 銭谷賢治・谷川寛樹・池田秀昭・二渡了・井村秀文：都市のライフサイクルアセスメントに関する研究～建設にともなう環境負荷の定量化，環境科学会1994年会講演要旨集，90，1994.
- 1 4 6) 近藤美則・森口祐一・清水浩・石谷久：素材生産に伴う二酸化炭素の排出原単位と自動車生産過程への適用，第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，231/236，1992.
- 1 4 7) Y.Kondo, Y.Moriguchi and H.Shimizu : Analysis of carbon dioxide emission by material production and its application to automotive production, Advanced Materials '93, V/A : Ecomaterials, ELSEVIER, 747/750, 1994.
- 1 4 8) 森口祐一・近藤美則・清水浩・石谷久：自動車によるCO₂排出のライフサイクル分析，第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，411/416，1993.
- 1 4 9) 森口祐一・近藤美則・清水浩・石谷久：自動車によるCO₂排出のライフサイクル分析，エネルギー経済，第19巻，第4号，36/45，1993.
- 1 5 0) 森口祐一・近藤美則・清水浩：自動車による温室効果ガス排出のライフサイクル分析，環境衛生工学研究，第9巻，第3号，11/16，1995.
- 1 5 1) Y.Moriguchi, Y.Kondo and H.Shimizu : Analysing the life cycle impacts of cars : the case of CO₂ , industry and environment, UNEP-IE/PAC, Vol.16, No.1-2, 42/45, 1993.
- 1 5 2) 沼澤明男：自動車の今後の技術動向，季報エネルギー総合工学，第11巻，第2号，68/79，1988.
- 1 5 3) 蓮池宏：電気自動車と内燃機関自動車のエネルギーおよび環境面からの比較，季報エネルギー総合工学，第15巻，第1号，26/36，1992.

- 1 5 7) 金栄吉：自動車から排出されるCO₂の低減，自動車技術，第44巻，第10号，45/50，1990.
- 1 5 6) 竹辺孝：CO₂問題から見た自動車の将来，日本機械学会誌，第94巻，第869号，36/39，1990.
- 1 5 4) 湊清之・岩田三枝子・鮎澤正：自動車のエネルギー消費と環境問題－欧米との比較－，自動車研究，第13号，第2号，29/32，1991.
- 1 5 5) 湊清之・岩田三枝子・鮎澤正：地球温暖化問題と自動車の係わり その2：エネルギーと道路環境，自動車研究，第13巻，第7号，12/17，1991.
- 1 5 8) 小林紀：自動車のライフサイクルアセスメントに関する一検討，第11回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，149/152，1995.
- 1 5 9) 資源エネルギー庁編：総合エネルギー統計（平成6年度版），1995.
- 1 6 0) 総務庁編：平成2（1990）年産業連関表総合解説編，1994.
- 1 6 1) 宮沢健一編：産業連関分析入門，日本経済新聞社，207pp，1992.

第3章 エネルギーバランス表による CO₂排出構造の分析

3. 1 緒言

地球温暖化問題への対応策として、わが国では1990年秋に地球温暖化防止行動計画（以下、行動計画と略記する）が策定され、1992年6月の地球サミットにおいて気候変動枠組条約が締結されるなど、CO₂排出量の現状凍結、削減といった目標が内外で掲げられつつある。また、排出削減の誘導策として炭素税や排出権取引といった経済的手段の検討が行われている。こうした施策を進める上ではCO₂排出量の正確な把握が不可欠であり、国際的にもIPCCやOECDを中心に、推計方法の信頼性、整合性を高めるための取り組みが進められている。

これまでに行われたCO₂排出量の分析には、ある一時点の排出構造を分析したもの^{1) 2)}、過去の排出傾向を分析した例^{3) - 10)}、エネルギー需給見通しからCO₂排出の将来予測をした例^{1) 12)}等がある。また、温暖化対策としてのCO₂削減を線形計画モデルにより解析し、排出起源の代替可能性および排出削減による影響の大きな部門を分析した例¹³⁾や、一国の排出量における貿易による影響を分析し従来の定義の再考を求めた分析¹⁴⁾もある。

これらの分析の多くは、化石燃料を固体（石炭）、液体（石油）、気体（天然ガス）の3分類に分け、それぞれの消費量に燃料単位当たりの炭素含有率を乗じて起源別のCO₂排出量を求めている。これらの研究結果を比較すると、対象とするCO₂排出源の範囲や燃料の炭素排出原単位の違いなどにより、CO₂排出量にかなりのばらつきがある。一方、石炭や石油については、その産地によって性状が大きく異なるため、世界の平均的な性状から求めた排出原単位を適用した場合、各国で実際に燃焼させている燃料から排出されるCO₂量とかなりの誤差を生む可能性が指摘されている。さらに、石炭からコークスを製造したり、原油を精製してさまざまな石油製品に転換する結果として、これら2次製品の性状が元の燃料とはかなり異なったものとなるという問題がある。

そこで、本章ではそのような状況を念頭において、わが国のCO₂排出量を排出部門別および排出起源別に正確にかつ総合的に推計する方法とその推計結果について述べる¹⁵⁾。第2節では、CO₂排出源として捉える範囲と起源、その推計方法について述べる。第3節では、起源別排出部門別CO₂排出量の分析結果を示し、さらに排出構造の推移と経済指標等との係わりについて検討を行う。

なお、CO₂排出量の表記法についてIPCCはCO₂重量を推奨しているが、本研究では従来の慣習を重視し、炭素換算重量による表記とした。

3. 2 CO₂排出量の推計方法

3.2.1 CO₂の排出起源と推計の対象

従来発表されてきたCO₂排出量の数値に差異がみられる一つの要因は、排出源の範囲のとり方の不統一である。CO₂排出量を正確に推計し、他の推計値と比較するためには、対象とする人為的排出源の範囲の明確な設定が必要である。人為起源の排出源としては、例えば図3-1に示すものが考えられる。本方法では、①石炭、石油、天然ガスなど化石燃料起源の排出、②パルプ黒液、木炭、薪など化石燃料以外の燃料の燃焼による排出、③セメント製造等のための石灰石起源の排出、および④一般

廃棄物、産業廃棄物の焼却による排出、を推計の対象とした。これらのほか、⑤農業廃棄物の焼却による排出、⑥不可逆的な森林伐採による放出および森林の成長・植林などによる炭素固定（マイナスの排出）などを排出量推計に含めている事例があるが、ここではこれらは除外した。なお、②および④の一部はバイオマス起源の炭素であり、CO₂の純排出として計上すべきか否かが議論の余地がある。

3.2.2 化石燃料起源のCO₂排出量 算定法

(1) 推計の基本的考え方

化石燃料起源のCO₂排出量を、全ての燃焼装置や反応装置について排ガス量とそのCO₂濃度を実測し、積み上げ計算によって求めることは、理論上は正しいが現実的ではない。従来からの推計法はほぼ例外なく、化石燃料の種類ごとの消費量に、炭素分の含有率から求めた単位消費量あたりのCO₂排出量（排出原単位、または単に原単位とも呼ぶ）を乗じる方法であり、本研究でもこれを採用した。この方法を具体的に適用する際には、①化石燃料消費量をどの統計のどの項目の値とするか、②燃料種をどう区分し、排出原単位をどう設定するか、③化学工業原料などの非燃焼用途分や副生ガスをどう扱うかを明確にすべきである。ここではまず、これらについてまとめる。

(2) 推計の基礎となるエネルギー消費量

本研究では、推計の元になるエネルギー統計として、総合エネルギー統計¹⁶⁾の「総合エネルギー需給バランス表」（以下、バランス表と呼ぶ）を採用し、可能な限りバランス表の簡約表をもとに算定できる方法を設定した。バランス表は、多くの統計資料をもとに、エネルギーの種類ごとに生産・輸出入から転換、部門別最終消費までを通して把握できるマトリクスとして編集されている。また、同表では個別の統計に含まれる二重計上や不整合が取り除かれていること、OECD/IEAのエネルギーバランス統計の形式とも整合して国際比較が行いやすいことなどの利点がある。

国内排出の範囲は図3-2に示すように、国内生産または輸入された一次エネルギー総供給量から、コークスなどの純輸出分および国際空路・航路用に給油される燃料（バンカー油）を差し引き、在庫変動分を加減した一次エネルギー国内供給計に相当する量とした。バンカー油起源のCO₂の帰属は、国際的な見解を待つべき問題と考え、国内排出には含めず外数として計上した。

従来、国全体の排出量の推計においては、化石燃料の一次供給量を基本とし、これから非エネルギー用途などCO₂に変化しない分を差し引く方法（以下、トップダウン法と呼ぶ）が広く用いられてきた。本研究では部門別の排出量を求めることを目的としたことから、部門ごとのエネルギー消費から推定した排出量を積算して日本の排出合計を求める方法（以下、ボトムアップ法と呼ぶ）も併用した。両者の結果は理論的には一致するはずであるが、実際には2つの理由により誤差を生じる。第1の要因は総合

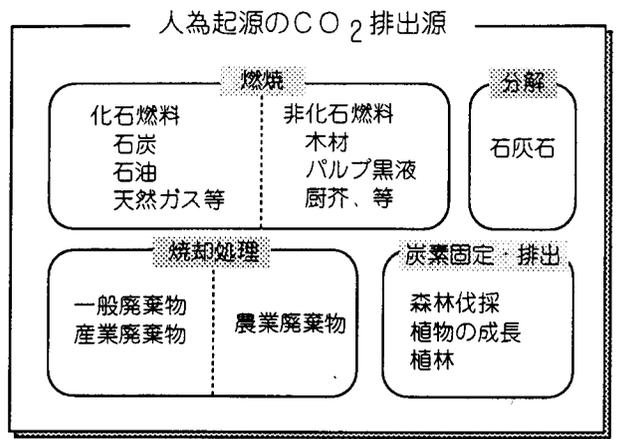


図3-1 考えられる人為起源のCO₂排出源

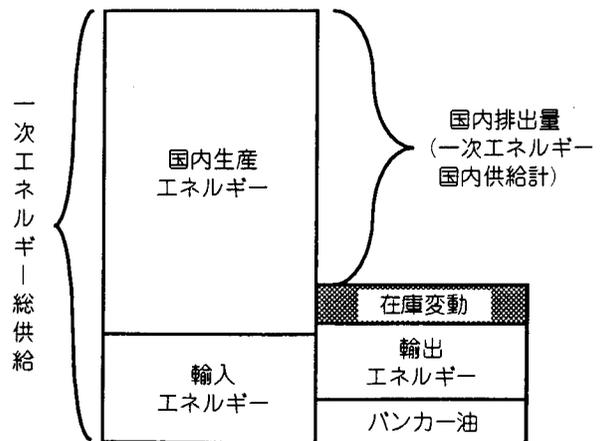


図3-2 国内排出量の定義

エネルギー統計にも明示されている供給量と消費量との間の統計誤差, 第2の要因は石油精製やコークス製造などのエネルギー転換前後での炭素分の収支に関する推計上の誤差である。本研究では, トップダウン法による推計値をトップダウン排出総量, ボトムアップ法による推計値をボトムアップ排出合計と名付けて両者を区別し, 両者の差異は統計誤差として取り扱った。

(3) 燃料種および排出原単位の設定

化石燃料は一般に, 固体燃料(石炭), 液体燃料(石油), 気体燃料(天然ガス)の3種に大別され, 従来行われてきた排出量推計では, この3種に対応したMarlandら³⁾の原単位が広く使われてきた。しかし, 石炭や石油は産地によって性状が大きく異なり, 全世界の平均的な性状から求めた原単位をわが国の排出量推計に用いることは必ずしも適当ではない。また, コークス製造, 石油精製, 都市ガス製造などによって, 元の燃料とはかなり性状の異なる2次製品が生産されるため, ボトムアップ法

による場合はもちろん, トップダウン法による場合にも精製済みの輸入製品の性状を反映させるには, 2次製品に着目した排出原単位が必要となる。

本研究では, 国内で実際に消費されている燃料種が反映されるよう, できるだけ細かな燃料種の成分分析に基づく排出原単位を基礎とした。燃料種ごとの排出原単位は表3-1に示すとおり資料によりかなりのばらつきがあるが, ここでは(財)日本エネルギー経済研究所の報告値を中心に, 表3-2に示した値を用いた。

表3-1 燃料種別の二酸化炭素排出係数の報告書

参考文献番号		Marland	OECD/IEA	エネ研	電総研	電中研	エネ総研	日環センター	IBS
		HHVA'-s TC/TOE	LHVA'-s (HHV換算) TC/TOE	HHVA'-s TC/TOE	LHVA'-s (HHV換算) TC/TOE	HHVA'-s TC/TOE	HHVA'-s TC/TOE	HHVA'-s TC/TOE	HHVA'-s TC/TOE
	1	2	3	4	5	6	7	8	
石炭	石炭	0.9965	1.0262	-	-	1.0160	-	-	-
	原料炭(国内)	-	-	0.9900	0.9992	-	-	-	1.0315
	原料炭(輸入)	-	-	0.9900	0.9992	-	-	-	1.0315
	一般炭(国内)	-	-	1.0422	1.0018	-	0.9677	-	0.9990
	一般炭(輸入)	-	-	1.0344	1.0018	-	0.9677	-	0.9990
	コークス	-	-	1.2300	1.1917	-	-	-	1.2355
その他個体	その他個体	-	1.0262	-	-	-	-	-	-
	木材	-	-	-	-	-	-	-	1.0751
	木炭	-	-	-	-	-	-	-	1.8663
	その他個体	-	-	-	-	-	-	-	1.1670
石油	石油	0.8039	0.7955	-	-	-	-	-	-
	原油	-	-	0.8023	0.824	0.7820	0.7765	-	0.7814
	NG L	-	-	0.7605	-	0.7670	-	-	0.8043
	ガソリン	-	0.7517	0.7658	0.7395	-	0.7539	0.7990	0.7688
	ナフサ	-	-	0.7605	-	0.7110	-	-	0.7732
	ジェット燃料油	-	-	0.7665	-	-	-	0.8141	0.7724
	灯油	-	0.7756	0.7748	0.8177	-	0.7589	-	0.7345
	軽油	-	0.8034	0.7839	0.7911	0.7380	0.7665	0.8137	0.8043
	重油	-	0.8392	-	0.8672	0.7980	0.8297	-	-
	A重油	-	-	0.7911	-	-	-	0.8049	0.7579
	B重油	-	-	0.8047	-	-	-	0.8116	0.7985
	C重油	-	-	0.8180	-	-	-	0.8331	0.8348
	オイルコークス	-	-	1.0612	-	-	-	-	0.8801
	LPG	-	0.6841	0.6833	0.6836	0.6810	0.6858	0.6888	0.6865
その他液体	メタノール	-	-	-	-	0.6955	-	-	-
	COM	-	-	-	-	-	-	-	-
	シェールオイル	-	-	-	-	-	-	-	-
ガス	ガス	0.5736	0.5765	-	-	-	-	-	-
	天然ガス	-	-	0.5639	0.5777	0.5310	0.5869	-	0.5689
	LNG	-	-	0.5639	0.5777	0.5770	-	-	0.5689
	都市ガス	-	-	0.5839	-	-	-	-	0.6406
その他ガス	コークス炉ガス(COG)	-	-	0.4600	0.4546	0.4760	-	-	0.5144
	高炉ガス(BFG)	-	-	2.9900	4.0091	3.1600	-	-	2.4840
	転炉ガス	-	-	-	-	-	-	-	2.0921
	オフガス	-	-	-	-	-	-	-	0.5924
	還元ガス	-	-	-	-	-	-	-	-
廃棄物等	バルブ黒液	-	-	-	-	-	-	-	1.0751
	一般廃棄物	-	-	-	-	-	-	-	0.9633
	産業廃棄物	-	-	-	-	-	-	-	0.8790

[参考文献]

1. Marland G. & R. M. Rotty(1983): Carbon Dioxide Emissions from Fossil Fuels A Procedure for Estimation and Results for 1950-1981. USDOE, TROO3, NTIS.
2. OECD (1991): Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks, Final Report from OECD Expert Meeting, 18-21 February 1991
3. 湯浅俊明(1990): 日本エネルギー・電力供給のシナリオと環境(CO2)の問題 エネルギー経済, 16(2), 79-104.
4. 小山茂夫・伊原征治郎(1990): CO2排出抑制とエネルギーシステム構成に関する分析研究 電総研研究速報, TR-90-24.
5. 新田義孝(1990): 温室効果からみた化石燃料の比較 電力中央研究所における演説会資料
6. 重田源(1990): 化石燃料利用のための二酸化炭素排出量の定量的評価 エネルギー総合工学, 13(3), 2-11
7. (財)日本環境センター(1989): 地球温暖化問題への対策に関するスクリーニング調査結果報告書(大気管理) 昭和63年度環境庁委託業務報告書
8. (財)計量計画研究所資料

しかし、この燃料種分類をそのまま適用した場合、部門・業種ごとの排出量を求めるにはかなりの計算量を要する。ここでは先述のとおり、総合エネルギー統計の簡約表をベースに考えることとし、燃料種区分もこの通りとした。すなわち、バランス表簡約表の11燃料分類のうち化石燃料またはその2次製品である、①石炭、②コークス等、③原油、④石油製品、⑤天然ガス・LNG、⑥都市ガス、の6分類ごとに原単位を設定した。6分類に対する原単位は、さらに細分化された燃料種（バランス表の基本表の燃料種）についての性状分析に基づく原単位を、各年度の燃料種ごとの消費量で加重平均して求め、その年度に実際に利用された燃料種が反映されるようにした。トップダウン法に用いる原単位については、燃料種ごとの供給量で加重平均して同様に求めた。排出原単位に関して検討対象とした8編の文献値^{3) 6) 8) 9) 17) 20)}にはかなりのばらつきがあるが、その中で多くの燃料種を包含し、かつ他の資料と比較して大きな特異値のない(財)日本エネルギー経済研究所の報告値⁸⁾をおもに適用した。

表3-3にボトムアップ法で用いた燃料種ごとの原単位の算定結果を示す。

(4) 副生ガスおよび非燃焼用途の化石燃料の取扱い

バランス表簡約表の「コークス等」の項には、原料炭から焼成されるコークスおよび副生するコークス炉ガスのほか、コークスの主用途である製鉄業で発生する高炉ガス・転炉ガス等が含まれる。この場合、コークスの熱量は高炉で大部分が利用されるが、燃焼したコークス中の炭素分の大半は高炉

表3-2 推計に適用した燃料種別排出係数 (t-C/10⁷Kcal)

燃料の分類	燃料の種類	備考	今回の計算への適用値	Marlandらの原単位
石炭 (固体)	原料炭		0.9900	0.9965
	一般炭 (国内)		1.0422	
	一般炭 (輸入)		1.0344	
	コークス	1)	1.2300	
石油 (液体)	原油	2)	0.7811	0.8039
	NGL		0.7605	
	ガソリン		0.7658	
	ナフサ		0.7605	
	ジェット燃料油		0.7665	
	灯油		0.7748	
	軽油		0.7839	
	A重油		0.7911	
	B重油		0.8047	
	C重油		0.8180	
	オイルコークス		1.0612	
LPG		0.6833		
ガス (気体)	天然ガス		0.5639	0.5736
	LNG		0.5639	
その他	精油所ガス	3)	0.5924	
	木材	3)	1.0751	
	パルプ黒液	3)	1.0751	
	木炭	4)	1.2572	

[備考]

- 下記3)、4)を除き、(財)日本エネルギー経済研究所資料による。
 1)コークス系燃料からの二酸化炭素排出量の二重計上を避けるため、コークスの原単位はボトムアップ法では直接には適用していない。
 2)比重0.85、炭素含分85%、発熱量9250kcal/リットルとして計算。
 3)(財)計量計画研究所資料による。
 4)炭素含分87.5%、発熱量6960kcal/kgとして計算。

表3-3 部門別排出量の算出に用いたCO₂排出係数 (1965年度~1990年度、t-C/10⁷Kcal)

年度	石炭	コークス等	石油製品	都市ガス
1965	1.0421	1.1553	0.7929	1.0516
1966	1.0410	1.1520	0.7922	1.0309
1967	1.0399	1.1487	0.7918	1.0106
1968	1.0388	1.1454	0.7916	0.9907
1969	1.0377	1.1422	0.7913	0.9712
1970	1.0366	1.1389	0.7912	0.9520
1971	1.0453	1.1442	0.7898	0.9264
1972	1.0361	1.1369	0.7892	0.8883
1973	1.0628	1.1320	0.7879	0.8377
1974	1.0273	1.1171	0.7863	0.8017
1975	1.0337	1.1247	0.7842	0.7730
1976	1.0420	1.1249	0.7832	0.7489
1977	1.0435	1.1298	0.7824	0.7219
1978	1.0458	1.1275	0.7812	0.7041
1979	1.0412	1.1341	0.7807	0.6915
1980	1.0334	1.1349	0.7800	0.6865
1981	1.0365	1.0924	0.7791	0.6633
1982	1.0373	1.0905	0.7780	0.6538
1983	1.0364	1.0914	0.7782	0.6408
1984	1.0355	1.0898	0.7770	0.6329
1985	1.0341	1.0959	0.7759	0.6249
1986	1.0335	1.1077	0.7753	0.6201
1987	1.0322	1.1027	0.7743	0.6154
1988	1.0339	1.0993	0.7744	0.6120
1989	1.0346	1.1086	0.7741	0.6011
1990	1.0317	1.1056	0.7737	0.5835

原油：0.7811 天然ガス：0.5639

ガスに移行し、これを燃料として二次利用した共同火力発電などの業種から大気中に CO_2 として放出される。本方法では、二段階利用による排出の二重計上を避け、かつ利用した熱量に応じて排出量が按分されるよう、コークス系燃料を簡約表の分類どおり一括して「コークス等」とし、投入される原料中の炭素分を消費熱量で割った平均原単位を適用した。したがって、計算された部門ごとの CO_2 排出量は、実際にその場所で CO_2 が出たかどうかではなく、炭素→一酸化炭素→二酸化炭素という酸化の過程でとりだされる総熱量に対してその部門が利用した熱量に按分して、 CO_2 排出量を計上した形となっている。この際、コークス製造で副生するガス軽油、タール分など非燃焼用途の原料に移行する炭素として、コークス製造に投入された原料に含まれる炭素の5%を差し引いた。

化学工業原料として消費されるナフサおよびLPGに含まれる炭素の大部分は、プラスチックなどの製品中に固定されるが、エチレンプラントにおけるオフガスなど、一部が燃焼用途に用いられ、 CO_2 として排出される。バランス表ではその量は明示されていないが、ここでは、関連業界へのヒアリング結果および化学工業の石油系炭化水素ガスの消費量に関する統計値²⁾¹⁾をもとに、投入されたナフサ、LPG中の炭素の20%が燃焼するものとみなした。一方、潤滑油およびその他石油製品（アスファルト等）の消費はバランス表上は非エネルギーとして明示されているが、他の統計資料²⁾²⁾によれば一部が燃焼用途として出荷されていること、潤滑油も一部が燃焼することを考慮し、これらについても消費量の20%が燃焼すると仮定した。

なお、 CO_2 の純排出量をさらに厳密に求めるには、未燃のまま放出される炭化水素、不完全燃焼によるCO、石炭燃焼で生じる煤じんなど、 CO_2 以外の形で大気中に排出されたり、汚染浄化装置で捕集される炭素分を排出から差し引く必要があるが、ここではその補正は行なわないこととした。

3.2.3 化石燃料起源以外の CO_2 排出量算定法

廃材、パルプ黒液、木炭などバイオマス起源の燃料は、バランス表では分類「新エネルギー」の燃料種「その他」に計上されている。この項に合算して計上されている炉頂圧発電などの非炭素エネルギー分を差し引いた後、化石燃料の場合と同様に原単位を乗じて排出量を推算した。なお、原単位は、紙・パルプ産業の黒液、廃材について1.08t-C/TOE (= 10^7 kcal)、薪・木炭などの家庭用燃料について1.13t-C/TOEとした。

石灰石起源の排出については、セメント生産および製鉄高炉での石灰石消費を推計対象とした。石灰石の全量が CaCO_3 であり、その炭素分の全量が CO_2 に変化するものとして、原単位を0.12t-C/石灰石消費トンとした。

一般廃棄物起源の排出については、単位焼却量あたりの排ガス量とその CO_2 濃度から CO_2 量を推定する方法や廃棄物の平均的な重組成から炭素含有率を推定する方法などの報告例があるが、いずれも結果はほぼ一致するとの報告²⁾³⁾に基づき、ここでは原単位を焼却1トンあたり炭素換算0.24トンとした。一方、産業廃棄物については正確な捕捉が困難であるが、廃油、廃プラスチック等、処理施設で焼却されたことが明らかなものについて、処理量と炭素含分の推定値から排出量を推計した。廃棄物起源の排出量、特に過去の排出量の推移については、他の起源のものに比べ推計誤差が大きいと考えられる。

3. 3 部門別・起源別排出量とその推移

3.3.1 部門別・起源別排出量の現状

(1) ボトムアップ法およびトップダウン表による排出量

1990年度の部門別・起源別排出量の推計結果を表3-4に示す。ここで、部門・業種分類は、バラ

表3-4 部門別・起源別の二酸化炭素排出量(1990年度)

[単位: MtC(炭素換算100万ト)] 一人あたり 人口 1.2361億人
排出量 2.57 炭素ト
排出合計

	燃料消費による排出														その他の排出		排出合計			
	燃料種別部門別							直接排出計				転換間接分転嫁ケース			L	W	直接排出計		転換分転嫁	
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	Fd=F1~F7計		E	C	Fr=Fd+E+C		Td=Fd+L+W			Tr=Fr+L+W			
	石炭	コーク等	原油	石油製品	天然ガス	都市ガス	その他	燃料計	シェア(%)	電力	転換	直接	シェア(%)	石灰石起源	廃棄物起源	排出量	シェア(%)	排出量	シェア(%)	
合計排出量	34.2	43.4	16.2	163.0	21.2	9.3	5.0	292.2	100.0	0.0	0.0	292.2	100.0	12.7	12.0	317.0	100.0	317.0	100.0	
転換部門計	20.1	12.1	16.2	34.1	20.8	0.4	1.9	105.6	36.1	-83.0	-22.7					105.6	33.3			
電気事業者	17.1	5.1	16.2	19.1	20.6	0.0	0.0	78.0	26.7	-78.0						78.0	24.6			
自家発電	3.0	2.9	0.0	7.5	0.0	0.0	1.9	15.4	5.3	-15.4						15.4	4.8			
自家消費・その他	0.1	4.0	0.0	7.6	0.2	0.4	0.0	12.3	4.2	10.4	-22.7					12.3	3.9			
最終消費計	14.1	331.3	0.0	128.9	0.4	8.9	3.1	186.6	63.9	83.0	22.7	292.2	100.0	12.7		199.3	62.8	304.9	96.1	
産業部門計	14.0	30.4	0.0	44.5	0.3	2.3	3.0	94.6	32.4	43.5	12.2	150.3	51.4	12.7		107.3	33.8	163.0	51.4	
農林水産業	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	9.0	3.1	0.4	0.5	9.8	3.4			9.0	2.8	9.8	3.1	
鉱業	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.3	0.1	0.7	0.2			0.3	0.1	0.7	0.2	
建設業	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	4.2	1.4	0.2	0.2	4.6	1.6			4.2	1.3	4.6	1.4	
製造業計	14.0	30.4	0.0	31.1	0.3	2.3	3.0	81.2	27.8	42.7	11.4	135.3	46.3	12.7		93.8	29.6	148.0	46.6	
食料品	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.3	0.0	2.3	0.8	2.4	0.4	5.1	1.7			2.3	0.7	5.1	1.6	
繊維	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.1	0.1	1.9	0.7	1.3	0.3	3.5	1.2			1.9	0.6	3.5	1.1	
紙・パルプ	1.1	0.0	0.0	2.4	0.0	0.1	2.9	6.5	2.2	3.8	0.6	10.9	3.7			6.5	2.1	10.9	3.4	
化学工業	1.1	0.3	0.0	7.5	0.3	0.3	0.0	9.5	3.3	6.6	2.1	18.2	6.2			9.5	3.0	18.2	5.7	
窯業土石	6.0	0.5	0.0	2.7	0.0	0.1	0.0	9.3	3.2	2.6	0.6	12.5	4.3	11.0		20.3	6.4	23.5	7.4	
鉄鋼	5.3	28.6	0.0	2.5	0.0	0.5	0.0	37.0	12.7	9.3	4.4	50.7	17.4	1.7		38.7	12.2	52.4	16.5	
非鉄金属	0.1	0.2	0.0	1.5	0.0	0.1	0.0	1.9	0.7	2.0	0.4	4.3	1.5			1.9	0.6	4.3	1.4	
金属機械	0.1	0.4	0.0	1.6	0.0	0.7	0.0	2.8	0.9	7.8	1.2	11.8	4.0			2.8	0.9	11.8	3.7	
その他製造業	0.3	0.4	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	9.9	3.4	6.9	1.4	18.2	6.2			9.9	3.1	18.2	5.7	
民生部門計	0.1	0.9	0.0	26.7	0.0	6.6	0.1	34.4	11.8	37.2	7.6	79.1	27.1			34.4	10.8	79.1	24.9	
家庭用	0.0	0.1	0.0	13.4	0.0	4.5	0.1	18.2	6.2	19.8	4.0	42.0	14.4			18.2	5.7	42.0	13.2	
業務用	0.0	0.8	0.0	13.3	0.0	2.1	0.0	16.2	5.6	17.3	3.6	37.2	12.7			16.2	5.1	37.2	11.7	
運輸部門計	0.0	0.0	0.0	56.2	0.0	0.0	0.0	56.2	19.2	2.3	2.9	61.4	21.0			56.2	17.7	61.4	19.4	
その他(非I1分)	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	1.4	0.5	0.0	0.0	1.4	0.5			1.4	0.4	1.4	0.4	
廃棄物部門															12	12	3.9	12	3.9	
一般廃棄物焼却															9	9	2.8	9	2.8	
産業廃棄物焼却															3	3	1.1	3	1.1	
起源別排出量合計とそのシェア																				
廃棄物起源															12	12	3.9			
石灰石起源													12.7			12.7	4.0	←対排出合計の起源別シェア		
石炭起源	34.2	42.5				0.5		77.3	26.4	←対燃料計の起源別シェア						77.3	24.4			
石油起源		0.8	16.2	163.0		2.3		182.3	62.4							182.3	57.5			
天然ガス起源					21.2	6.4		27.6	9.5							27.6	8.7			
その他燃料起源							5.0	5.0	1.7							5.0	1.6			
燃料種別排出シェア(%)	11.7	14.8	5.5	55.8	7.2	3.2	1.7													

(バンカー油) 8.4 8.4

ンス表簡約表の分類を基本とし、電気事業者および自家発電用の投入燃料以外のエネルギー転換部門からの排出（自家消費等）は一つの業種として扱った。非エネルギーの燃焼分は消費業種が特定できないため、その他として扱った。燃料起源分の排出量の部門・業種毎の集計法としては、①燃料種毎の直接排出量の合計（F d）のほか、②発電による排出を電力消費量に応じて間接排出（E）として転嫁し、③さらに石油精製やコークス製造のための転換部門自家消費や送配電ロス相当分（C）も間接排出として対応する燃料種の消費者に転嫁して、最終エネルギー消費部門のみを排出源とみなす計算も行った。こうして燃料起源分のみを集計を行った後、石灰石起源分は対応する製造業の業種に加算し、廃棄物焼却については一つの部門として独立に扱った。

ボトムアップ法による1990年度の排出合計は約317Mt-C（炭素換算百万トン）、トップダウン法による排出総量は約318Mt-Cと推計され、誤差は0.3%程度であった。これ以外にバンカー油起源の約8Mt-Cが排出されている。なお、1992年5月の地球環境保全に関する関係閣僚会議には、行動計画の基準年（1990年度）排出量として、このトップダウン法による値が報告され、その参考としてボトムアップ法による内訳が添付された。

（2）部門別排出量の内訳

部門別の排出内訳をみると、燃料起源分では転換、産業、民生、運輸の比率が各々36%、32%、12%、19%であり、全起源の合計では石灰石分が加わる産業部門のシェアが転換部門を上回る。電気事業者と自家発電の合計は燃料起源の32%を占め、全起源合計におけるシェアも製造業全体のシェアに匹敵する。製造業の中では鉄鋼業からの排出が最大で直接排出合計の約12%を占める。コークス焼成による転換部門の自家消費と電力消費分を転嫁すると、シェアは約17%に達する。ついで窯業・土石の排出量が多く、その排出の過半を石灰石起源が占める。これらに紙・パルプ、化学工業を加えたエネルギー多消費4業種からの直接排出合計は約75Mt-Cと製造業計の約80%（全部門計の約24%）を占める。間接排出を含めた計算では、エネルギー消費に占める電力の比率の高い民生部門のシェアが倍増し、燃料起源分での産業、民生、運輸のシェアは各々51%、27%、21%となった。

（3）起源別排出量の内訳

起源別では、化石燃料が全体の90%強の約287Mt-C、その他の燃料が約5Mt-C、石灰石が約13Mt-C、廃棄物が約12Mt-Cである。燃料の内訳では石油起源が燃料起源分の約62%を占める。石炭起源は約27%で過半がコークスとしての利用による。天然ガス起源は約10%で、LNG火力発電用がその4分の3を占める。都市ガスを通しての排出は、燃料起源分の約3%である。また、一般廃棄物のなかの厨芥、紙、天然繊維や産業廃棄物中の木屑、紙屑、汚泥などはバイオマス起源であり、廃棄物起源分の約12Mt-Cのうち、9Mt-C程度を占めると推定される。これに化石燃料以外の燃料起源の排出を加えた約14Mt-Cがバイオマス起源と推定され、これらには大気中のCO₂濃度上昇に寄与しない短期的な炭素サイクルの中での排出が一部含まれている。

3.3.2 部門別・起源別排出量の推移

（1）ボトムアップ法による排出合計の推移

表3-5は1965年度から1990年度までの過去26年間の部門別・起源別排出量の推計結果をまとめたものである。排出合計は1960年代後半には年率10%を超える高い伸びを示したが、第1次オイルショック（1973年）時の約280Mt-Cを頂点に、1980年代にかけて横ばいしないしやや減少傾向で推移してきた。しかし、1987年度以降4年連続で対前年比4~5%の増加を続けており、1988年度以降、排出量は過去最高を更新している。なお、ボトムアップ法排出合計とトップダウン法排出総量の誤差は、1970年代に大きく、最大9Mt-Cにも達するが、これはエネルギーバランス統計上の供給量と消費量の統計誤差によるところが大きい。

表3-5 排出部門別・排出起源別排出量の推移

[単位: Mt-C (炭素換算100万トン)]

年度	燃料起源の排出													燃料起源		その他の排出		ボトムアップ 排出合計	トップダウン 排出総量	ノンカーボ (外数)
	燃料分類別				直接排出部門別					転換分を最終消費に 転嫁した部門別排出										
	石炭	石油	ガス	その他	転換	産業	民生	運輸	その他	産業	民生	運輸	合計	石灰石	廃棄物					
1965	45.1	61.4	1.1	2.9	32.0	48.8	13.9	15.3	0.5	71.0	21.6	17.4	110.5	5.6	2	119	118	8.9		
1966	47.9	72.3	1.1	2.9	36.1	55.3	15.4	16.8	0.6	80.5	24.0	19.0	124.2	6.5	3	134	129	10.5		
1967	53.0	87.5	1.2	2.9	44.9	63.4	16.8	18.9	0.6	95.0	27.5	21.4	144.6	7.6	3	155	156	11.7		
1968	55.1	100.9	1.3	3.1	50.2	69.8	18.5	21.3	0.7	104.9	30.5	24.0	160.4	8.1	3	172	174	11.7		
1969	59.6	122.1	1.5	3.4	58.8	81.9	21.2	23.9	0.8	123.3	35.4	27.0	186.6	9.0	4	199	199	12.6		
1970	57.7	143.6	2.2	3.5	65.2	91.0	23.1	26.7	1.0	135.9	40.1	30.0	207.0	10.2	4	221	227	13.3		
1971	53.5	155.1	2.3	3.6	67.1	93.0	25.3	28.2	1.1	138.5	43.4	31.6	214.5	10.5	5	230	226	14.0		
1972	52.7	171.8	2.2	3.7	74.3	97.2	27.4	30.4	1.2	146.8	48.4	34.1	230.5	11.7	5	247	242	14.7		
1973	58.4	194.4	3.6	3.9	86.8	108.9	30.0	33.4	1.3	166.5	54.9	37.6	260.4	13.8	6	280	273	15.3		
1974	56.8	183.7	4.6	3.8	80.0	104.6	29.5	33.7	1.1	156.4	53.6	37.8	248.9	13.3	6	268	268	15.9		
1975	54.0	180.8	5.5	3.5	80.5	98.0	28.9	35.4	1.0	147.9	55.3	39.7	243.8	12.2	6	262	258	20.2		
1976	54.9	192.7	6.3	3.7	86.1	102.0	31.4	37.1	1.0	155.3	59.6	41.7	257.6	12.6	7	277	270	17.9		
1977	52.5	195.4	8.1	3.7	91.8	97.6	30.7	38.5	1.1	153.1	62.1	43.4	259.7	12.9	7	280	273	15.2		
1978	49.5	197.3	10.3	3.7	90.8	96.6	31.3	40.9	1.2	150.2	63.6	45.7	260.7	14.4	8	283	273	13.4		
1979	55.0	193.8	12.6	4.0	90.6	99.6	31.6	42.4	1.2	153.3	63.7	47.3	265.4	15.0	8	288	281	14.1		
1980	61.5	173.5	13.7	3.7	84.2	95.4	29.8	41.9	1.1	144.8	59.9	46.6	252.3	14.7	8	275	278	12.6		
1981	63.1	164.7	14.2	3.6	84.0	90.0	29.2	41.3	1.1	137.7	60.9	45.9	245.6	13.8	8	268	269	10.1		
1982	61.5	156.2	14.4	3.7	81.5	83.0	28.8	41.5	1.0	128.1	60.6	46.0	235.8	13.1	9	258	262	8.1		
1983	64.1	160.6	16.4	3.9	84.9	83.6	32.0	43.5	1.1	129.7	66.1	48.1	245.0	13.0	9	267	270	8.4		
1984	70.8	154.9	20.8	4.2	87.6	87.4	30.9	43.6	1.2	135.5	65.8	48.2	250.7	12.8	9	273	274	8.5		
1985	72.8	149.8	21.7	4.1	85.0	86.1	31.7	44.6	1.1	132.5	65.7	49.1	248.5	11.8	10	270	273	8.3		
1986	68.3	150.8	22.0	4.2	83.1	83.3	31.5	46.2	1.2	128.1	65.3	50.6	245.2	10.9	10	266	266	7.5		
1987	71.6	157.6	23.1	4.4	88.3	86.7	32.6	48.0	1.3	133.8	69.1	52.5	256.7	11.2	11	279	279	7.3		
1988	74.9	167.6	23.8	4.6	93.0	91.5	34.5	50.7	1.3	141.6	72.7	55.4	271.0	11.5	11	293	296	7.2		
1989	76.5	174.8	25.3	4.8	98.9	93.4	34.0	53.9	1.3	146.4	75.0	58.8	281.5	11.9	12	305	307	7.9		
1990	77.3	182.3	27.6	5.0	105.6	94.6	34.4	56.2	1.4	150.4	78.7	61.5	292.2	12.7	12	317	318	8.4		
	燃料起源別に占めるシェア												排出計に占めるシェア		対前年比					
1965	40.8%	55.6%	1.0%	2.6%	29.0%	44.2%	12.6%	13.8%	0.5%	64.3%	19.5%	15.7%	92.9%	4.7%	1.7%	-	-	-		
1966	38.6%	58.2%	0.9%	2.3%	29.1%	44.5%	12.4%	13.5%	0.5%	64.8%	19.3%	15.3%	92.7%	4.9%	2.2%	12.6%	9.3%	-		
1967	36.7%	60.5%	0.8%	2.0%	31.1%	43.8%	11.6%	13.1%	0.4%	65.7%	19.0%	14.8%	93.3%	4.9%	1.9%	15.7%	20.9%	-		
1968	34.4%	62.9%	0.8%	1.9%	31.3%	43.5%	11.5%	13.3%	0.4%	65.4%	19.0%	15.0%	93.3%	4.7%	1.7%	11.0%	11.5%	-		
1969	31.9%	65.4%	0.8%	1.8%	31.5%	43.9%	11.4%	12.8%	0.4%	66.1%	19.0%	14.5%	93.8%	4.5%	2.0%	15.7%	14.4%	-		
1970	27.9%	69.4%	1.1%	1.7%	31.5%	44.0%	11.2%	12.9%	0.5%	65.7%	19.4%	14.5%	93.7%	4.6%	1.8%	11.1%	14.1%	-		
1971	24.9%	72.3%	1.1%	1.7%	31.3%	43.4%	11.8%	13.1%	0.5%	64.6%	20.2%	14.7%	93.3%	4.6%	2.2%	4.1%	-0.4%	-		
1972	22.9%	74.5%	1.0%	1.6%	32.2%	42.2%	11.9%	13.2%	0.5%	63.7%	21.0%	14.8%	93.3%	4.7%	2.0%	7.4%	7.1%	-		
1973	22.4%	74.7%	1.4%	1.5%	33.3%	41.8%	11.5%	12.8%	0.5%	63.9%	21.1%	14.4%	93.0%	4.9%	2.1%	13.4%	12.8%	-		
1974	22.8%	73.8%	1.8%	1.5%	32.1%	42.0%	11.9%	13.5%	0.4%	62.8%	21.5%	15.2%	92.9%	5.0%	2.2%	-4.3%	-1.8%	-		
1975	22.1%	74.2%	2.3%	1.4%	33.0%	40.2%	11.9%	14.5%	0.4%	60.7%	22.7%	16.3%	93.1%	4.7%	2.3%	-2.2%	-3.7%	-		
1976	21.3%	74.8%	2.4%	1.4%	33.4%	39.6%	12.2%	14.4%	0.4%	60.3%	23.1%	16.2%	93.0%	4.5%	2.5%	5.7%	4.7%	-		
1977	20.2%	75.2%	3.1%	1.4%	35.3%	37.6%	11.8%	14.8%	0.4%	59.0%	23.9%	16.7%	92.8%	4.6%	2.5%	1.1%	1.1%	-		
1978	19.0%	75.7%	4.0%	1.4%	34.8%	37.1%	12.0%	15.7%	0.5%	57.6%	24.4%	17.5%	92.1%	5.1%	2.8%	1.1%	0.0%	-		
1979	20.7%	73.0%	4.7%	1.5%	34.1%	37.5%	11.9%	16.0%	0.5%	57.8%	24.0%	17.8%	92.2%	5.2%	2.8%	1.8%	2.9%	-		
1980	24.4%	68.8%	5.4%	1.5%	33.4%	37.8%	11.8%	16.6%	0.4%	57.4%	23.7%	18.5%	91.7%	5.3%	2.9%	-4.5%	-1.1%	-		
1981	25.7%	67.1%	5.8%	1.5%	34.2%	36.6%	11.9%	16.8%	0.4%	56.1%	24.8%	18.7%	91.6%	5.1%	3.0%	-2.5%	-3.2%	-		
1982	26.1%	66.2%	6.1%	1.6%	34.6%	35.2%	12.2%	17.6%	0.4%	54.3%	25.7%	19.5%	91.4%	5.1%	3.5%	-3.7%	-2.6%	-		
1983	26.2%	65.6%	6.7%	1.6%	34.7%	34.1%	13.1%	17.8%	0.4%	52.9%	27.0%	19.6%	91.8%	4.9%	3.4%	3.5%	3.1%	-		
1984	28.2%	61.8%	8.3%	1.7%	34.9%	34.9%	12.3%	17.4%	0.5%	54.0%	26.2%	19.2%	91.8%	4.7%	3.3%	2.2%	1.5%	-		
1985	29.3%	60.3%	8.7%	1.6%	34.2%	34.6%	12.8%	17.9%	0.4%	53.3%	26.4%	19.8%	92.0%	4.4%	3.7%	-1.1%	-0.4%	-		
1986	27.9%	61.5%	9.0%	1.7%	33.9%	34.0%	12.8%	18.8%	0.5%	52.2%	26.6%	20.6%	92.2%	4.1%	3.8%	-1.5%	-2.6%	-		
1987	27.9%	61.4%	9.0%	1.7%	34.4%	33.8%	12.7%	18.7%	0.5%	52.1%	26.9%	20.5%	92.0%	4.0%	3.9%	4.9%	4.9%	-		
1988	27.6%	61.8%	8.8%	1.7%	34.3%	33.8%	12.7%	18.7%	0.5%	52.3%	26.8%	20.4%	92.5%	3.9%	3.8%	5.0%	6.1%	-		
1989	27.2%	62.1%	9.0%	1.7%	35.1%	33.2%	12.1%	19.1%	0.5%	52.0%	26.6%	20.9%	92.3%	3.9%	3.9%	4.1%	3.7%	-		
1990	26.5%	62.4%	9.4%	1.7%	36.1%	32.4%	11.8%	19.2%	0.5%	51.5%	26.9%	21.0%	92.2%	4.0%	3.8%	3.9%	3.6%	-		

(2) 部門別排出量の推移

部門別の推移をみると、転換部門の排出量は合計排出量と似た挙動を示し、シェアは第1次オイルショック以降33~35%で安定している。産業部門は第1次オイルショック以降排出量、シェアともに減少してきたが、1987年以降、排出量は増加に転じている。エネルギー多消費型産業4業種の排出量は、第1次オイルショック時には全排出の約32%を占めていたが、先述のとおり現在のシェアは24%にまで低下しており、これらの業種での省エネルギーが進んだことを実証している。運輸部門は一貫して増加を続け、シェアも第1次オイルショック時に比べ大幅に拡大している。民生部門は直接排出量ではシェア、排出量とも横ばいないし微増であるが、電力などによる間接排出分を転嫁した計算では大きな伸びを示している。なお、バンカー油分はピーク時(1975年度)の約40%にまで減少している。

(3) 起源別排出量の推移

起源別では、ピーク時には燃料起源の約75%を占めていた石油のシェアが約60%にまで低下している。これは重油を大量消費していた産業部門での省エネの進展と発電部門での石油火力から石炭火力およびLNG火力への転換によるものである。石灰石起源の排出量の推移は燃料起源分と類似であるが、第2次オイルショック(1979年)以降の減少が燃料分より顕著であり、1990年度の排出量はピーク時の80%弱である。一般廃棄物起源の排出は増加が続いており、1990年度の排出量は1965年度の約6倍、第1次オイルショック時と比べても約2倍に増加している。

3.3.3 排出量とGDP、人口との関係

(1) 排出構造の解析

エネルギー使用によるCO₂の排出の構造がどのように推移してきたかを分析する際によく用いられるのは、排出量を次のように分解する方法である。

$$\begin{aligned} \text{エネルギー起源CO}_2 \text{ 排出量} &= \left[\frac{\text{エネルギー起源CO}_2 \text{ 排出量}}{\text{エネルギー需要量}} \right] \\ &\times \left[\frac{\text{エネルギー需要量}}{\text{GDP}} \right] \\ &\times \left[\frac{\text{GDP}}{\text{人口}} \right] \\ &\times \text{人口} \end{aligned}$$

ここで、右辺の第1項は炭素集約度とよばれ、利用しているエネルギーの平均的なCO₂排出原単位に相当する。第2項はエネルギー集約度であり、単位生産あたりどれだけのエネルギーを要するかを示し、一般に省エネ度と呼ばれる項である。第3項の人口あたりGDPはいわば経済発展の度合を示す指標といえよう。これらの各項を1973年を100とした指数として表したものが図3-3である。

これによれば、第1次オイルショックまでは、炭素集約度、エネルギー集約度ともほぼ一定でありGDPの増加にほぼ比例してCO₂排出量が増加している。オイルショック以降、GDPが成長を続けたのに対し、CO₂排出量がほぼ横ばいで推移したのは、エネルギー集約度の大幅な改善と、炭素集約度の低下による。とくに、エネルギー集約度は1973年度から1990年度までで34%程度低下して

おり、CO₂排出量の増加を防いできたことになる。1986年以降、再び排出が増加傾向に転じたのは、省エネがかなり普及して改善の余地が少なくなってきたこと、原子力発電所の発電実績が横ばいで推移していること等のため、エネルギー集約度、炭素集約度ともに「下げどまり」の状態になってしまい、オイルショック以前と同様に、GDPの伸びがそのままCO₂排出の増加につながっていることによる。

むしろ、人口の伸びも排出量増加の一因であるが、エネルギー集約度などの他の要素の変動の陰に隠れ、顕著な影響は現れていない。

(2) 人口あたり、GDPあたり排出量

諸外国とCO₂排出量を比較する際によく用いられる指標に、人口あたり排出量とGDPあたり排出量がある。わが国の人口一人あたりCO₂排出量は1973年度以降2.0～2.5トン/年でほぼ横ばいである。一方、GDPあたり排出量は1986年度までに約4割低下したが、それ以降はほぼ一定である。

(3) エネルギー源構成と炭素集約度との関係

単位エネルギーあたりのCO₂排出量(炭素集約度)を燃料種ごとに比較すると、石炭1に対して概ね石油は0.8、天然ガスは0.6である。また、水力発電や原子力発電は運転時にはCO₂を排出しないので、これらの排出原単位はゼロとみなせる。低炭素、あるいは非炭素エネルギーの比率が高まれば、炭素集約度が低下することになる。

オイルショック以降、わが国の炭素集約度が低下してきた要因は、一次エネルギーに占める天然ガスおよび原子力発電のシェア増大である。これらは石炭のシェアの増加による炭素集約度の微増を相殺して余りある。炭素集約度を一次エネルギー供給ベース、およびエネルギー最終消費ベースの両方について求めた結果を表3-6に付記した。なお、図3-3で用いた炭素集約度は一次エネルギー供給ベースの値である。

(4) 発電電力あたりのCO₂排出原単位の推移

いま述べた炭素集約度には、とくに発電部門の一次エネルギー選択が大きく関わっている。発電電力あたりのCO₂排出量を求めてみると、電気事業者分では1990年度には1.21トン/TOE、単位換

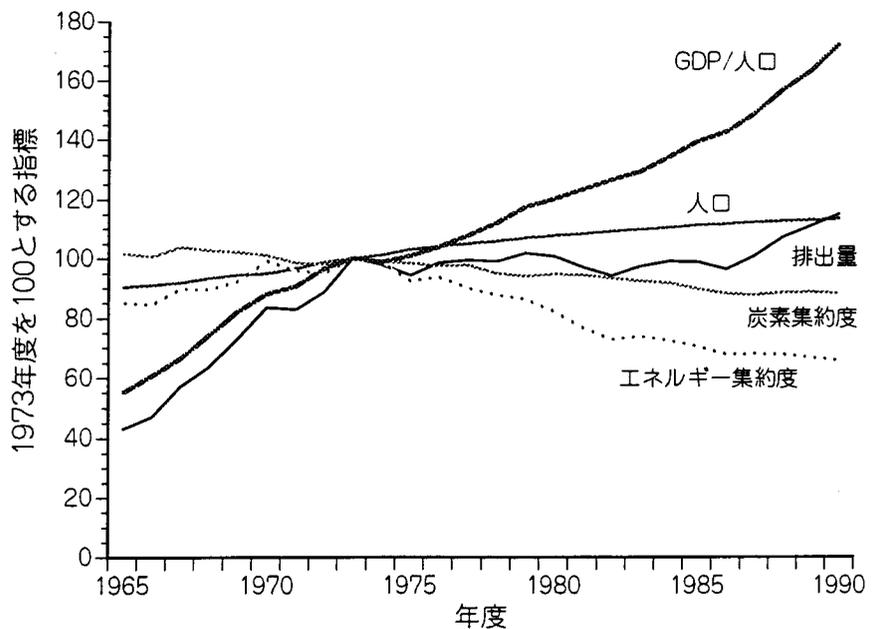


図3-3 エネルギー起源CO₂排出量の増減要因

表3-6 炭素集約度の経年変化 (1965～1990年度)

年度	炭素集約度(tC/TOE)		
	供給ベース	消費ベース	事業用電力
1965	0.7202	1.0171	1.5806
1966	0.7125	1.0012	1.5892
1967	0.7350	1.0204	1.7866
1968	0.7286	1.0083	1.7670
1969	0.7229	0.9996	1.8112
1970	0.7158	0.9794	1.7501
1971	0.6981	0.9593	1.6519
1972	0.6956	0.9589	1.6627
1973	0.7090	0.9820	1.7805
1974	0.7022	0.9657	1.6273
1975	0.6967	0.9710	1.5949
1976	0.6912	0.9673	1.5782
1977	0.6927	0.9791	1.6383
1978	0.6736	0.9545	1.5373
1979	0.6688	0.9505	1.4629
1980	0.6728	0.9559	1.3704
1981	0.6708	0.9554	1.3701
1982	0.6637	0.9476	1.3410
1983	0.6584	0.9410	1.3237
1984	0.6535	0.9371	1.3118
1985	0.6396	0.9180	1.2128
1986	0.6288	0.9028	1.1821
1987	0.6279	0.9019	1.1895
1988	0.6326	0.9019	1.2011
1989	0.6319	0.9048	1.2139
1990	0.6288	0.9052	1.2128

算すると0.104kg/kwhであった。これは石炭からのCO₂排出原単位である約1トン/石油等価トンよりやや大きい程度である。1973年度にはこの値が1.78トン/石油等価トンまたは0.153kg/kwhであり、この間に電力のCO₂排出原単位は約2/3に低下したことになる。これはこの間のLNG火力発電と原子力発電のシェアの大幅増による。

3. 4 結言

本章では、わが国のCO₂排出量を総合エネルギー統計を用いて部門別・起源別に推計する方法を示すとともに、1965年から1990年までの過去26年間について実際に推計を行い、排出量の推移と現状について考察を加えた。また、CO₂の直接排出源を明らかにしただけでなく、電力などエネルギー転換部門の排出を最終消費者に間接排出として転嫁する考え方を示した。以下に、この章で得られた結果を示す。

- (1) 細かな燃料種の分類をそのまま使うのではなく、6燃料種に統合した排出原単位の設定により、統合前の燃料種による分析に比べて半分以下の計算量でありながら、国内で実際に消費されている燃料種や燃料代替等による排出量への寄与が、正確に反映できるようになった。
- (2) 排出量の推計手法として、部門ごと燃料種別の消費量から積み上げるボトムアップ法と国内への一次エネルギー供給から非エネルギー用途分を引いて求めるトップダウン法を用いた結果、両者による排出量はほとんど一致することを確認した。
- (3) ボトムアップ法による1990年度の排出量は約317Mt-Cであり、起源別には化石燃料がその90%強を占め、化石燃料の中では62%を石油、27%を石炭起源が占める。部門別には、エネルギー転換、産業、民生および運輸が各1/3である。産業別では、鉄鋼業が第一位で、排出の過半が石灰石である窯業・土石業がそれに続く。さらに、紙・パルプ、化学工業を加えたエネルギー多消費4業種で、国内排出量の約1/4を占める。エネルギーの間接排出を含めると、エネルギー消費に占める電力の比率の高い民生部門の排出が倍増する。
- (4) 排出量の推移の分析からは、1965年以降オイルショックまで高い伸びを示し、その後1986年までは横ばいないし減少、1987年以降は増加傾向にある。部門別推移から、産業部門のシェアが低下する一方、民生、運輸部門のシェアが増加しつつあり、間接排出を含めると民生部門は大きく伸びている。起源別推移からは、石油のシェアが低下しているが、これは産業部門における省エネの進展および発電方式の転換による。また、石灰石起源の排出が減少している一方、廃棄物起源の排出は増加している。
- (5) 排出量と経済指標の分析からは、オイルショック以降GDPの伸びに対して排出量がほぼ一定であったのは、天然ガスおよび原子力発電のシェア拡大による炭素集約度の低下とエネルギー集約度の大幅な改善のためである。1986年以降排出量が増加しているのは、炭素およびエネルギーの二つの集約度が下げ止まりになっているため、GDPの伸びがそのまま反映したものである。ここで示した部門別、起源別、最終需要別のCO₂排出量分析結果は、さまざまな対策効果の推定やCO₂排出抑制のための経済的手段導入の基礎データとしての利用が考えられ、今後さらに細分化したデータの蓄積を図る必要がある。

参考文献

- 1) 環境庁編：平成元年度環境白書，1990。
- 2) 外岡豊：温室効果ガスの排出実態と削減可能性，産業公害，第28巻，第4号，3/12，1992。

- 3) Marland, G and R. M. Rotty : Carbon Dioxide Emissions from Fossil Fuels, A Procedure for Estimation and Results for 1950-1981, USDOE TR003, NTIS, 1983.
- 4) Carbon Dioxide Information Analysis Center : TRENDS'90 A Compendium of data on Global Change, 1990.
- 5) OECD : Environmental Indicators - A Preliminary Set -, 1991.
- 6) OECD : Estimation of greenhouse gas emissions and sinks, Final report from OECD Experts Meeting, 18-21 February 1991.
- 7) World Resources Institute : World Resources 1990-1991, 1992.
- 8) 湯浅俊昭 : 日本のエネルギー・電力需要のシナリオと環境 (CO₂) の問題, エネルギー経済, 第16巻, 第2号, 79/104, 1990.
- 9) 日本環境衛生センター : 昭和63年度環境庁委託「地球温暖化問題への対策に関するスクリーニング調査結果報告書」, 1989.
- 10) 森口祐一・西岡秀三 : わが国における二酸化炭素排出の構造・推移と先進諸国との比較, 季刊環境研究, 第77号, 155/166, 1990.
- 11) 佐川直人 : 世界の長期エネルギー需給見通しにおける温室効果ガス排出量予測とその問題点, エネルギー経済, 第15巻, 第9号, 15/23, 1989.
- 12) 鈴木利治 : CO₂問題がエネルギー需給に及ぼす影響, エネルギー経済, 第15巻, 第5号, 44/54, 1989.
- 13) Barry P. Jones, Zhao-Yang Peng and Barry Naughten : Reducing Australian energy sector greenhouse gas emissions, Energy Policy, 270/286, 1994.
- 14) Andrew W. Wyckoff and Joseph M. Roop : The embodiment of carbon in imports of manufacturing products, Implications for international agreements on greenhouse gas emissions, Energy Policy, 187/194, 1994.
- 15) 環境庁地球環境部 : 二酸化炭素排出量調査報告書, 1992.
- 16) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課編 : 総合エネルギー統計, 1990.
- 17) 小山茂夫・伊原征治郎 : CO₂排出抑制とエネルギーシステム構成に関する分析研究, 電総研研究速報, TR-90-24, 1990.
- 18) 新田義孝 : 温室効果からみた化石燃料の比較, 電力中央研究所における講演会資料, 1990.
- 19) 重田潤 : 化石燃料利用のための二酸化炭素排出量の定量的評価, 季報エネルギー総合工学, 第13巻, 第3号, 2/11, 1990.
- 20) (財) 計量計画研究所資料
- 21) 通商産業大臣官房調査統計部編 : 平成2年石油等消費構造統計表 (商鉱工業), 1992.
- 22) 通商産業大臣官房調査統計部編 : 平成2年エネルギー生産・需給統計年報, 1991.
- 23) 渡辺征夫, 宮崎正信, 田中勝, 大塚康治 : 国内のごみ焼却に伴い排出されるCO₂量の推計, 第32回大気汚染学会講演要旨集, 326, 1991.

第4章 産業連関表による国内のCO₂排出構造の分析

4. 1 緒言

前章において求めた部門別排出量はエネルギー統計上の分類によるものであり、経済分析等で用いる産業分類とは異なる。一方、CO₂の多くはエネルギー産業や素材産業で排出されているが、前章においてエネルギー転換による排出を最終消費者に間接排出として転嫁した考え方を拡張して、原材料や部品生産のために生じたCO₂排出を需要家へ間接排出として転嫁する考え方もとりうる。中間需要による排出の転嫁を繰り返せば、結果として経済活動の最終需要にすべて排出が転嫁される。そこで、エネルギーアナリシス¹⁾ および文献^{2) 3)} を参考に、森口ら⁴⁾ においては産業連関表を用いて各部門の製品について間接的なエネルギー使用を含めたCO₂排出量を計算し、最終需要からみた排出構造の分析を試みた。この分析においては、分析手法の開発に主眼を置いたため、産業連関表の中では最も粗い29統合分類を用いた。類似の研究として、吉岡ら^{5) 6)} があり、取引基本表に基づく406部門別の排出原単位を用いた分析が行われている。こうした分析手法において細かな分類を用いることは、分析の精度を向上させることができるという利点がある。しかし、部門数が増えることに従い、計算量の急増や産業連関表にない燃料種のデータの按分などデータの取り扱い等が著しく煩雑になるという欠点も併せ持つ。そこで、特に本章の第3節第4項においては、最終需要の観点からみたCO₂排出構造の分析結果が用いる部門数によりどの程度の誤差をもつかについて解析し、精度良く分析するにはどの程度の部門数を取り扱うことが必要であるかについて検討する。

第2節では、産業連関表を用いた排出量分析の方法について述べ、第3節では前章における分析結果との比較もあわせて、産業連関分析により得られた結果を示す。第4節は、この手法の応用の一つとして最終需要から見たCO₂排出構造の経時的変化の分析について述べる。

4. 2 CO₂排出量の推計方法

4.2.1 CO₂排出起源とその対象

CO₂の排出源の範囲は前章の燃料種からバイオマス起源、廃棄物焼却起源を除いたものとする。すなわち、①石炭、石油、天然ガスなど化石燃料の燃焼によるもの、②セメントの製造や製鉄高炉で消費される石灰石の分解によるものを推計の範囲とした。そのため化石燃料としては、石炭系として原料炭・一般炭のそれぞれ国産と輸入、コークスおよびその製造時の副産物のコークス炉ガス、鉄鋼業からの高炉ガス・転炉ガスの7種、石油系として原油、揮発油、ナフサ、ジェット燃料油、灯油、軽油、A重油、B・C重油、LPGの9種、天然ガス系はLNGと天然ガスの2種、および二次製品である都市ガスをとった。さらに、②の石灰石が加わる。なお、上記の各燃料種および石灰石のCO₂排出原単位は前章と同じ値を用いた。

推計に用いた基本的な統計は、昭和60年産業連関表取引基本表⁷⁾ (以下、取引基本表という) 及び物量表⁸⁾ (以下、物量表という) である。分析に先立ち、取引基本表を列部門数と行部門数が同数となるように部門の統合・追加を行った。まず、行部門については列部門の分類に従って統合した。列部門に対しては、行部門にあって列部門にはない「鉄屑」、「非鉄金属屑」部門を新たに追加し、さら

に、「事業用原子力発電」、「事業用火力発電」、「水力・その他の事業用発電」を「事業用電力」部門に一括した。その結果、内生部門数は408となり、この内生部門408および最終需要のうち「家計外消費支出」と「家計消費支出」について燃料消費量を求めた。さらに、CO₂排出構造の経時変化の分析においては、昭和50-55-60年接続産業連関表取引基本表⁹⁾、1990年産業連関表(延長表)¹⁰⁾(以下、それぞれ接続表基本表、延長表という)を用い、接続表基本表、延長表の金額と総合エネルギー統計¹¹⁾に示された物量とから燃料種ごとの単価を求め、金額ベースの消費量から物量に換算した。

4.2.2 特殊な取扱いをした燃料種

コークス製造時に出るコークス炉ガスは、取引基本表では「その他の石炭製品」部門に含まれているが、この部門にはそれ以外にも練炭・豆炭や、この部門への高炉ガス・転炉ガスの投入・発生等も含まれている。これらは炭素含有量も発熱量も異なるが、コークス炉ガス、高炉ガス・転炉ガス分別の分離が明示されていないため、この部門の取扱いには注意を要する。ここでは、取引基本表における副産物発生・投入の補助コードに従い、高炉ガス・転炉ガスの取り引きを取引基本表から読み取り、この高炉ガス・転炉ガスの消費が行われた部門についてのみ、「その他の石炭製品」の主産品がコークス炉ガスであるとして推計を行った。また、コークスの熱量は高炉でその大部分が利用されるが、燃烧したコークス中の炭素分の大半は高炉ガス中に移行し、これを燃料として二次利用した共同火力発電等の業種からCO₂として大気中に放出される。そこで、コークスと高炉ガスの2段階利用による排出の二重計上を避け、さらに利用した熱量に応じて排出量が按分されるよう、高炉ガスのCO₂排出原単位にはコークスと同じ値、つまり、コークス製造に投入される原料中の炭素分を消費熱量で割った平均原単位を与えた。

また、化学工業原料として消費されるナフサ、LPGについては、その内包する炭素のほとんどがプラスチックなどの製品中に固定され、製造時に大気中に排出されるわけではないが、エチレンプラントにおけるオフガスなど一部が燃焼用途に使われる。そこで、3.2.2項と同様、投入されたナフサ、LPG中の炭素の80%が製品中に固定され、残りの20%が燃焼するものとして推計を行った。なお、製品中に固定された炭素は、廃棄時に焼却処理されるとCO₂を排出することになるが、これは別途捕捉する必要がある。

4.2.3 直接排出強度及び総排出強度の計算

CO₂排出構造の推計の第一段階として、各部門ごとのCO₂排出原単位(以下、排出強度という)の導出を行う。各部門ごとの直接の排出源の消費によるCO₂排出量は、3.2.2項に示したように排出源別の消費量に炭素含有率を乗じ、非燃焼用途分は補正して部門*i*の直接排出量C_{*i*}を求めた。つぎに、その部門別の直接排出量C_{*i*}をその部門の国内生産額X_{*i*}で除し、その部門の直接排出強度(d_{*i*} = C_{*i*} / X_{*i*})を求めた。

ある製品にかかわる正味のCO₂排出量を求める場合、その生産部門での直接的な燃料消費によるCO₂排出だけでは不十分であり、他の部門からの製品投入による間接的なCO₂排出をも考慮する必要がある。直接分のみならず間接分をも考慮することの重要性は、Gayら¹²⁾によっても指摘されている。そこで、その間接分の大きさを調べるため、4.2.1項で作成した408部門に対して[$I - (I - M)A$]⁻¹型の逆行列(その*i*行*j*列要素をb_{*ij*}とする)を計算し、部門*j*が生産する財・サービスの最終需要1単位による部門*i*の国内生産への波及額b_{*ij*}を求めた。ここで、*I*は単位行列を意味し、*M*は輸入係数m_{*i*}(国内需要合計に占める輸入額の比率)からなる対角行列である。これにd_{*j*}を乗じ、波及先の全部門*i* = 1~*n*について合計することで、部門*j*の最終需要1単位あたりに国内で直接・間接に排出されるCO₂量(総排出強度、t_{*j*}という)を計算した。これを式で表せば、

$$t_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \cdot d_j \quad (4.2.1)$$

となる。

また、部門 i の最終需要 F_i により誘発される CO_2 量 T_i は、最終需要 F_i を国内最終需要 Y_i および輸出需要 E_i に分けることにより、

$$T_i = (1 - m_i) t_i \cdot Y_i + t_i \cdot E_i \quad (4.2.2)$$

ただし、

$$F_i = Y_i + E_i \quad (4.2.3)$$

で示される⁴⁾。これらを次節以降の構造分析に用いる。

4. 3 1985年における CO_2 排出構造

4.3.1 部門別直接排出強度および総排出強度

前節で述べた手法で求めた 408 部門別の CO_2 の直接排出強度、および総排出強度を図 4-1 に示す。なお、図 4-1 では、排出強度の大きな窯業土石業のうちセメント関係、鉄鋼業関係、輸送機械製造業、エネルギー転換の各業種について例示している。まず百万円当たりの直接排出強度では、「セメント」の製造が 408 部門中最大の約 18t-C (炭素換算トン) を持っており、その約 7 割は石灰石起源である。鉄鋼業では「銑鉄」の排出強度が大きい (約 13t-C/百万円)。さらにエネルギー関係では、「自家発電」が約 10t-C/百万円と銑鉄に次ぐ大きな値を持っているが、これは自家発電の単価が事業用電力等に比べて安価なこと、および低 CO_2 排出の原子力発電や水力発電等が少ないことと関連している。

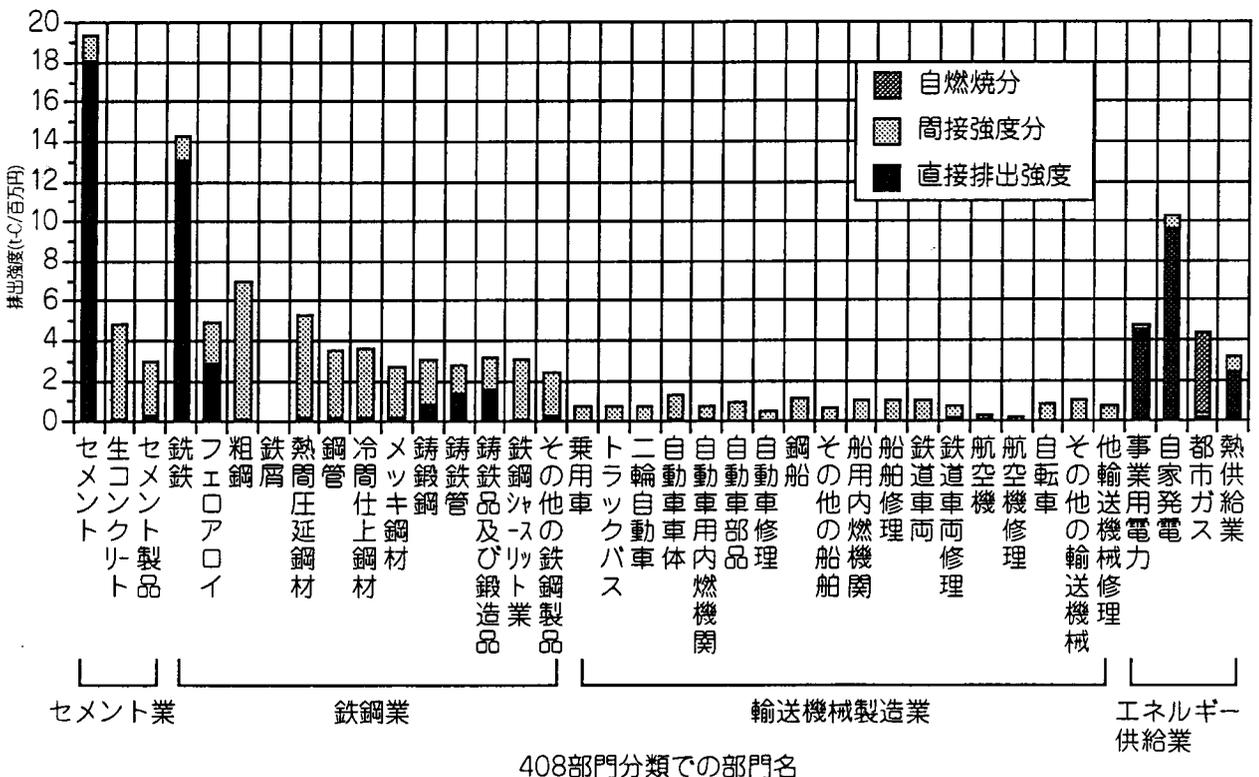


図 4-1 昭和 60 年産業連関表 408 部門分類による CO_2 排出強度

また、間接排出強度（ $t_i - d_i$ ）で見れば、直接排出強度の大きなセメントや鉄鉄などを原料として製品を造る部門での強度が、直接排出強度に比べて大きいことが分かる。鉄鋼業で粗鋼や鋼材の総排出強度が大きいのは、素材である鉄鉄生産からの寄与のためである。輸送機械製造業は直接排出強度は小さいが、輸送機械の生産で使う鉄などの素材からの排出寄与が大きい。百万円当たりの総排出強度は、自動車産業とその他の輸送機械で約0.8t-C、船舶及び鉄道車両で約1.0t-C、航空機で約0.3t-Cという値が得られた。「事業用電力」、「自家発電」、「熱供給業」などエネルギー転換関連の部門は大半が直接排出によるものである。

「都市ガス」は製造時のCO₂排出量は少ないが、消費時にもCO₂を発生するために、総排出強度では「事業用電力」と同程度の値となっている。

4.3.2 最終需要からみたCO₂排出構造

4.2.3項で示したように、各業種の総排出強度に各業種の財・サービスへの最終需要部門別の支出額を乗じることにより、最終需要の内訳別にCO₂排出量を求めたものが図4-2である。図において内環が最終需要の列部門を示し、中環は各最終需要列部門について、どの行部門への財・サービスの最終需要を通じてCO₂排出が生じたかを29分類で示している。外環は、その29分類の内訳を408分類で示したものである。家計外消費支出が52%、公的と民間の資本形成が27%、輸出が21%を占めている。

排出量の45%を占める民間消費支出の購入財別内訳を中環の29分類で見ると、一般家庭での化石燃料、「電力」の消費によるエネルギーの直接利用が1位、2位を占め、次いで「食料品」の購入、消費者に財・サービスが届くまでの卸・小売業などによる「商業」マージンに係わる部分、「教育・研

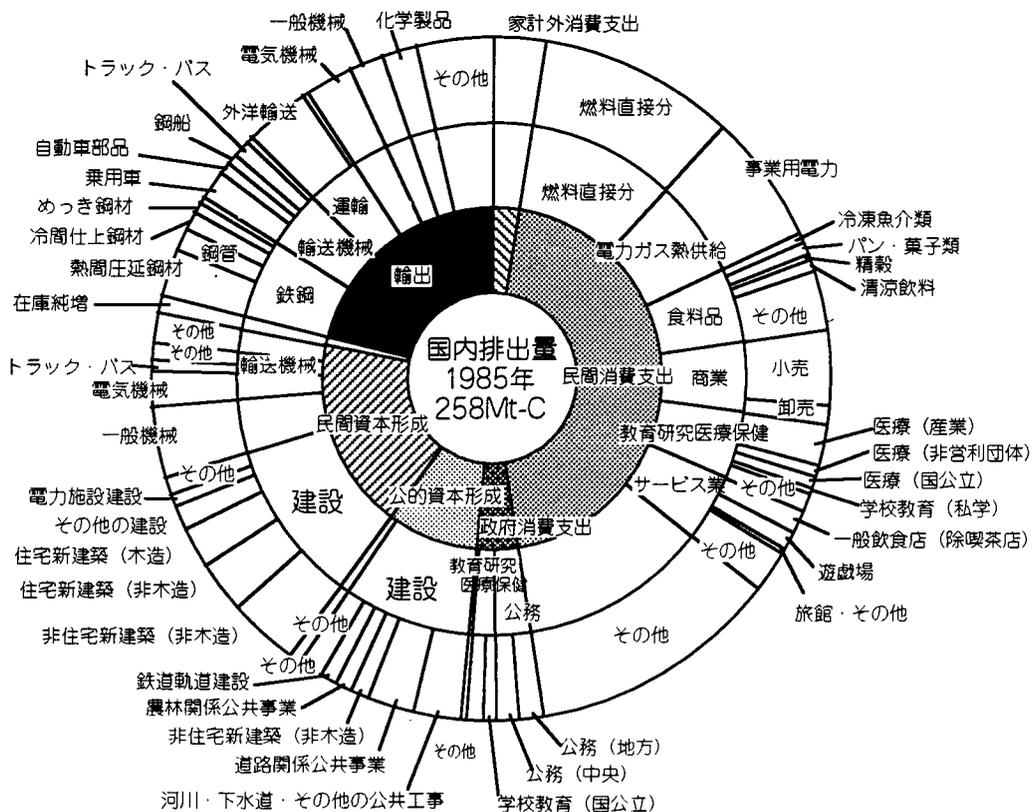


図4-2 408部門分類による最終需要部門別CO₂排出量

究・医療・保健」,「サービス業」等となっている。財・サービスの購入による間接排出分とエネルギー消費による直接分の比を求めると、直接分1に対して間接分は1.76となり、間接分がいくかに多いかが分かる。なお、「商業」でマージンに係わる部分は各財・サービスに配分する事が可能であり、「家計消費支出」に対して商業マージン、貨物運賃を各商品に配分した購入者価格ベースの分析については、第6章において述べる。

「食料品」からの排出の内訳は、図の外環から、「冷凍魚介類」,「パン・菓子類」,「精穀」,「清涼飲料」等の購入からと分かる。「サービス業」の内訳は、「一般飲食店（除喫茶店）」,「遊戯場」,「旅館・その他」等への需要による。「一般飲食店（除喫茶店）」,「遊戯場」等の利用に伴うCO₂排出は民間消費支出における排出のそれぞれ約1.5, 2.7%を占めるなど、サービスの購入を通してのCO₂排出も小さくない。

資本形成のうち公的なものと民間資本形成の比は1:2.1であり、民間資本形成に伴うCO₂排出が多いことが分かる。図4-2から公的資本形成は、建設業への需要に係わる排出が大部分であって、その内訳は「河川・下水道・その他の公共事業」が1位であり、つぎの「道路関係公共事業」と合わせると、公共事業の過半を占め、土木工事に係わっている。

民間の資本形成においても、建設業に係わる需要による排出が半分以上となっている。その内訳は「非木造非住宅新建築」,「非木造住宅新建築」,「木造住宅新建築」の順であり、建築業に係わっている。また、各産業で製品の製造のための資本となる一般機械に係わる排出も民間資本形成の約1/4を占める。

輸出は、鉄鋼業に係わる排出がその1/4弱を占める。内訳は「熱間圧延鋼材」,「鋼管」,「冷間仕上鋼材」等である。また、輸送機械もその約2割を占め、「乗用車」,「自動車部品」,「トラック・バス」など日本の主要輸出品目が並ぶ。

4.3.3 エネルギーバランス表による推計結果との比較

ここでは、産業連関表物量表をベースに行ったCO₂排出量の計算結果と、第3章に述べたエネルギーバランス表による推計結果との比較を行う。まず、排出合計について、図4-2に示した連関表による値257.8Mt-Cを表3-5のバランス表による値と比較する。4.2.1項に述べたとおり、連関表による推計対象は化石燃料分と石灰石分であり、表3-5よりバランス表による値は256.2Mt-Cである。一方、連関表による計算では、統計の制約からオイルコークスおよび非エネルギー石油製品の燃焼分を除外したため、これを補正すると、261.9Mt-Cとなる。さらに連関表では、国際航路用燃料の一部を内生部門の運輸（外洋輸送）に計上しているが、バランス表による計算ではバンカー油を排出計から除外しているため、これを補正する必要がある。連関表の最終需要（輸出）に計上された残りのバンカー油と、表3-5のバンカー油合計の値からこの値を求めて補正を行うと257.8Mt-Cとなる。推計対象を整合させた上でのバランス表による値（256.2Mt-C）との誤差は1.6Mt-Cとなった。

連関表物量表とバランス表とでは、個々の燃料種の消費量に関して誤差があり、C重油、コークス、一般炭については2~4Mt-Cもの差異がある。一方、バランス表自身の需給間の統計誤差も燃料種によっては2Mt-C程度に達しており、合計で1.6Mt-Cという誤差は十分許容できる範囲である。よって、二つの方法による結果はほとんど一致していると考えて良からう。

つぎに、連関表の部門iの直接排出量C_iをバランス表による部門・業種別排出量と比較してみる。連関表の部門分類とバランス表の部門分類はかなり相違点があり、単純な比較を行うことはできないが、製造業に関しては対応関係が比較的わかりやすい。業種単位で両表の結果を照合してみると、例えば連関表の「石油石炭」はバランス表では「転換部門自家消費」に相当し、排出量は両者とも12Mt-C台でほぼ一致する。このほか、窯業・土石をはじめ、多くの業種で両者の結果はほぼ一致するが、鉄

鋼業では、燃料消費量の数値が両表で異なるために10% (量にして約3Mt-C) 程度の誤差がみられる。

バランス表の部門分類の「転換」、「産業」、「民生」、「運輸」という部門分類を産業連関表の29統合分類と対応させてみると以下のようなになる。

「転換」は連関表では「石油・石炭」と「電力・ガス・熱供給」に相当するが、連関表では78.3Mt-C、バランス表では83.7Mt-Cと後者が過大となる。バランス表では自家発電について、発電量を熱効率で割り戻したみかけの1次エネルギー消費をすべて自家発電の欄に計上しているのに対し、産業連関表での自家発電部門への燃料投入はより小さな値を充てており、その代わり、自家発電を行った業種への燃料投入が多くなっているためである。連関表のこの配分は、熱と電力の併給を行うことの多い製造業での自家発電の形態をよりよく表現している。

「民生」のうち「家庭」は、連関表では最終需要部門の「家計消費支出」の欄に相当する。「業務」は29分類後半の「水道・廃棄物処理」以降サービス業まで（「運輸」を除く）に相当する。連関表の家計消費支出からマイカー相当分を除いた上で「業務」相当分を加算すると、「民生」相当分は、31.2Mt-Cとなり、バランス表の値31.7Mt-Cとよく一致する。

産業連関表の「運輸」に家計消費支出のマイカー分を加えると49.8Mt-Cと、バランス表の値44.6Mt-Cを上回るが、連関表の「運輸」には外洋輸送（バランス表ではバンカー油として外数扱い）が含まれているためであり、これを補正するとほぼ一致した値となる。連関表では自家輸送用燃料は各業種に配分しているが、バランス表でも自家輸送分の一部が運輸部門ではなく製造業や建設業に計上されており、結果的にほぼ同じ数値が得られたものと考えられる。

このように、連関表による推計とバランス表による推計との間には、細部で異なる点があるものの、推計範囲の統一と部門分類の対応に留意すれば、整合性のある結果を得ることができる。したがって、産業連関表はCO₂排出に関するさまざまな分析を行うに十分な精度を持っているといえる。問題点は、連関表に消費量の明示されていない燃料種が多くあることである。これは他のエネルギー統計を併用することで解決可能であるが、本研究で示したようにバランス表等をもとに遺漏がないことを確認することが重要である。

4.3.4 分析における部門数別誤差の解析

産業連関表を用いてこのような分析を行う際に、用いる産業連関表の部門を統合すると、結果に誤差を与える可能性がある。この誤差の大きさを検討するため、先の408部門によるCO₂排出量の分析と同じ手法を、部門数が183, 84, 29の産業連関表の3種の統合分類表に適用した。先の分析と同様に部門ごとの直接排出強度、総排出強度の導出を行ったのち、それらによる最終需要からみたCO₂排出量を求め、29部門にまとめた。それを408部門による結果と比較し、408部門の結果に対する誤差及び誤差の割合を計算した。最終需要部門別の結果について図4-3に示す。

図4-3より、183, 84の各部門数では、408部門の結果とそれほど差がないが、29部門においては、最大約9 Mt-Cの誤差を生じている。端的に言って、消費支出に係わる排出を多めに、それ以外は逆に少なめに見積もっている。これを誤差の割合で見ると、部門数が少なくなるに従い、誤差の割合が急増する傾向が見られる。

つぎに、各行部門の最終需要合計に対する誤差について検討する。図4-4より、183部門, 84部門を用いた結果では部門統合による各行部門ごとのCO₂排出量の誤差はどちらも最大約1 Mt-C程度である。だが、29部門数を用いた場合には、「鉄鋼」、「建設」、「商業」、「サービス業」等の部門では排出量が最大で約5 Mt-C少な目に、逆に「電力・ガス・熱供給」や「運輸」、「教育・研究・医療・保健」では最大で約3 Mt-C多めの値となっている。それ以外の行部門に対しては、許容できる誤差の範囲である。

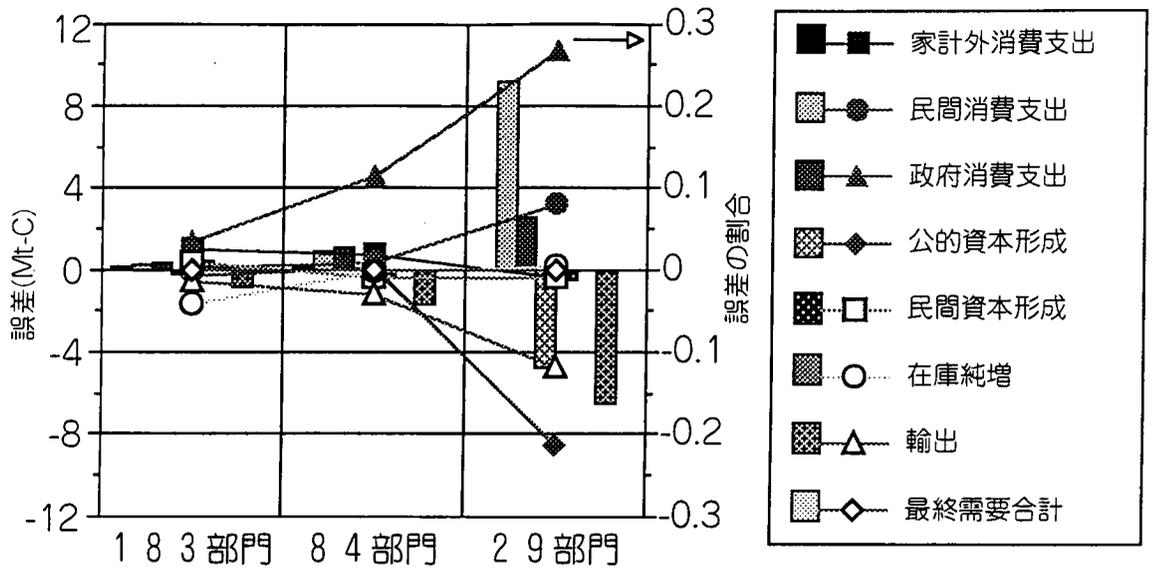


図4-3 最終需要部門別に見た部門数別誤差および誤差の割合
(408部門による分析の値を基準として)

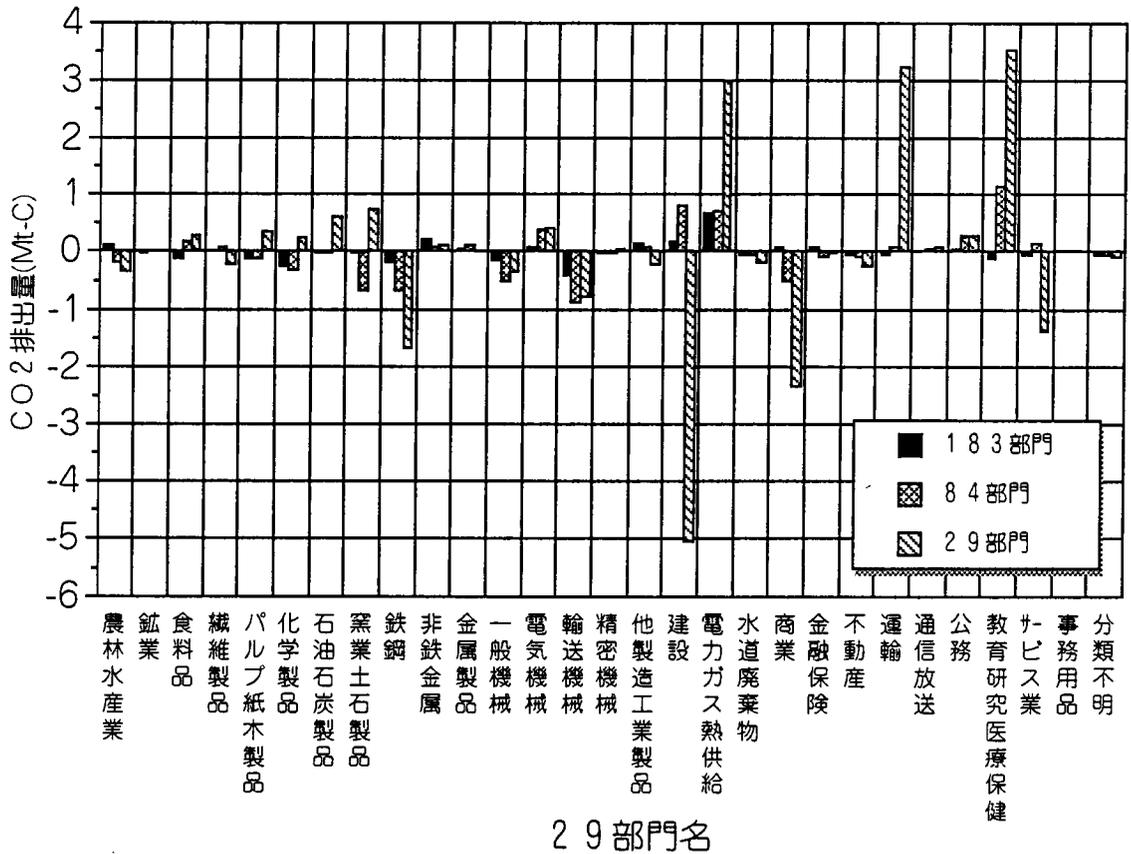


図4-4 最終需要部門計から見た各部門数における各業種での誤差

図4-5に示した408部門の結果に対する誤差の割合でみれば、「鉱業」や「窯業・土石」部門のように、84部門と29部門とで全く逆の符号を示すなど、排出構造分析の結果への部門統合による誤差が見られる。しかし、「金属製品」や「一般機械」など加工組立産業の排出構造分析においては、29

部門でも十分使用に耐えると推測される。

さらに、各行部門の最終需要の部門別にその排出量の内訳を見ると、「鉄鋼」では民間消費支出や資本形成の値を過小評価している。これは最終需要から出てくる「鉄屑」が、部門数が183および408の場合には独立した部門であるが、部門数が29および84の場合では他の部門に含まれることによる。そのため、取引基本表上マイナスで計上される屑の需要金額がその部門の需要を相殺する分だけ、排出量が少な目の値となったと解釈される。

29部門数での「建設」では、公的資本形成のためのCO₂排出量が他の部門数の約3/4の値となっている。また、「商業」や「サービス業」では、民間消費支出からの排出が他の部門数での値より約1割少ない。逆に、「電力・ガス・熱供給」では民間消費支出が2割多めに計算されることが、部門の全体量を押上げている。「運輸」は最も誤差が大きく、最終需要部門別にみると他の部門数の結果と同程度の値がほとんど無く、民間消費支出で約1.8倍、輸出では約2/3などの結果となっている。これは、道路輸送、鉄道輸送、水運など輸送のモードにより原単位が大きく異なるためである。また、「教育・研究・医療・保健」では、一般政府消費支出が約8割多く、さらに民間消費支出も約1割多い。

以上のことから、29部門数による分析では、CO₂排出構造の概要は把握できるが、最終需要計において最大で約25%もの誤差を含むことが明らかとなった。従って、より正確な値を得るには、今回の部門数の設定では少なくとも84部門以上の部門数により計算を行う必要がある。

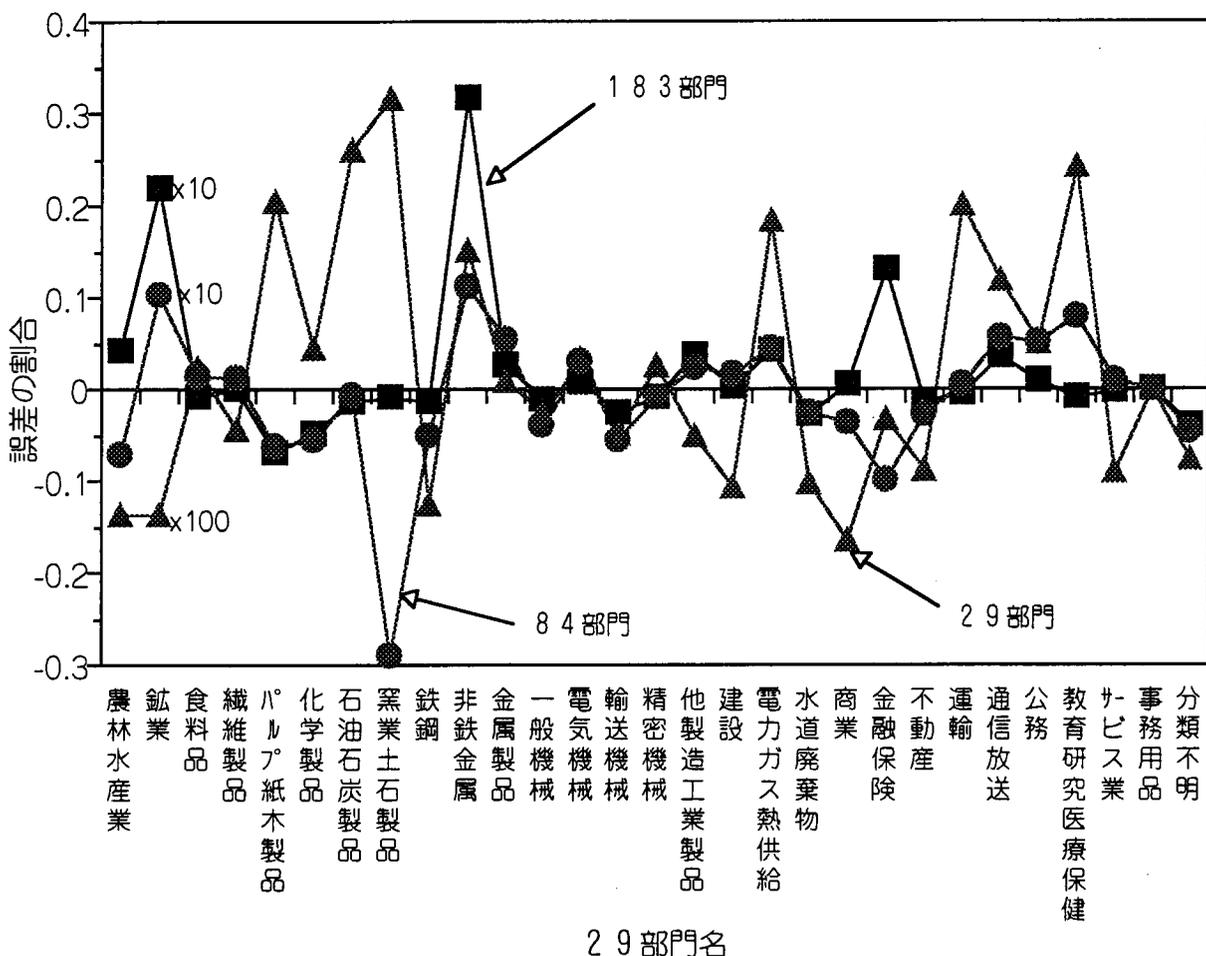


図4-5 最終需要部門計から見た各部門数における各業種での誤差の割合

4. 4 CO₂排出構造の4時点における比較

4.4.1 分析の概要

前節までは、CO₂排出構造をある年のみの一時点での断面により分析したが、接続表および延長表を用いることによりCO₂排出構造の経時的分析が可能となる。そこで、接続表基本表と延長表による経時的なCO₂排出構造の分析と比較を試みた。ただし、延長表には副産物の投入・発生状況が記載されていないため、取引基本表において副産物の投入・発生が記載されている部門については、1990年も同様の比率で副産物の投入・発生があるものとして推計を行った。なお、接続表および延長表における昭和50年、55年、1990年の分析は、昭和60年の価格基準による実質価格で行った。また、以下で年号は西暦で示すことにする。

先の部門統合による誤差解析の結果をもとに、接続表及び延長表において分析を行う際には、部門数を84とした。ただし、接続表及び延長表には取引基本表にあった「自家輸送部門」がなく、各部門に自家輸送分が割り振られる形となっているので、実際の部門数は83となる。この制限のため、推計の結果得られた直接排出強度は取引基本表からの結果とそのまま比較はできない。ところが、総排出強度は「自家輸送部門」からの投入も含めて、その年の産業間における財貨・サービスの流れの究極的な波及に基づいて導出されているので、直接比較が可能である。総排出強度にはこのような利点もある。

4.4.2 総排出強度の経年変化

求めた各部門別総排出強度のうち、「セメント」、「鉄鉄・粗鋼」、「鋼材」、「自動車・同修理」、「電力」の5部門について、4時点での推移とその前時点に対する変化率を図4-6に示す。「セメント」を除いて、1975年から85年まで総排出強度は減少傾向にある。すなわち、企業の省エネ・省資源努力あるいは製品の付加価値化等により、この10年間に単位生産額あたりのCO₂排出量が2～4割低下したことになる。しかし、

1990年になると強度は下げ止まり、あるいは「鉄鉄・粗鋼」のように一転して上昇する状況にあり、省エネ努力の限界、あるいは再びエネルギー多消費構造に戻りつつあることが推察される。図4-6に示さなかった他の部門も合わせた全部門での総排出強度の推移からは、83部門のうち過半数の部門で強度の減少傾向が見られ、それ以外のほとんどにおいては増減等の傾向は見られなかった。

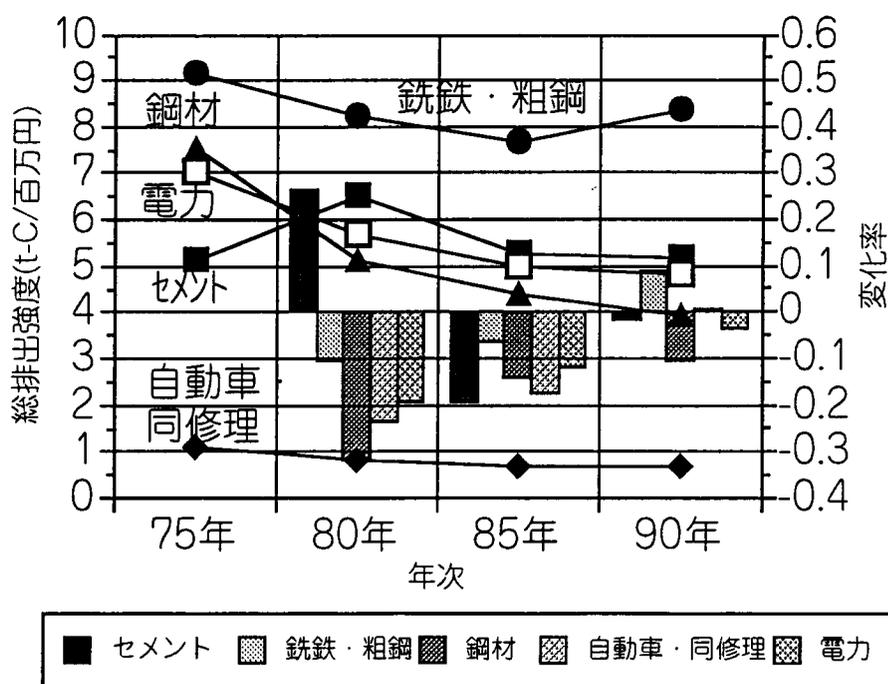


図4-6 主要業種の総排出強度の推移とその変化率

4.4.3 最終需要からみた4時点での排出構造の比較

総排出強度と各時点での最終需要部門別の消費金額からCO₂排出量を求め、最終需要7部門別のCO₂排出構造の分析を行った結果を図4-7に示す。また、同図には、その排出がどの行部門への需要によって生じたかについての詳細も合わせて示す。

図4-7は左から順に、1975年、80年、85年、90年の結果を示している。棒グラフの横幅がその年のCO₂排出量に比例する形で描かれている。1975年～85年の10年間のCO₂排出量は約260～270Mt-Cでほぼ横ばいであったが、1990年には約300Mt-Cと約15%増加している。1975年～85年までの排出内訳を見ると資本形成の占める割合が減少し、民間消費支出の占める割合が増加している。しかし、1990年になると、今まで減少していた資本形成が急増し、その中でも民間資本形成、特に建設業に係わる排出が非常に大きな伸びを示しており、この時期に企業の大規模な設備投資や住宅建築等が行われたことが分かる。逆に輸出の占める割合は年々減少し、1990年には1975年の約3/4となり、1985年～90年において国内消費が拡大した時期であることが分かる。また、1990年とその前3時点での排出構造の民間消費支出での内訳を比べると、前3時点で排出の上位を占めていた、「食料品」の購入の順位が下がり、「教育・研究・医療・保健」、「商業」の順位が上昇している。輸出では、「鉄鋼」、「運輸」が減少し、「輸送機械」、「電気機械」に係わる排出が増加傾向にある。

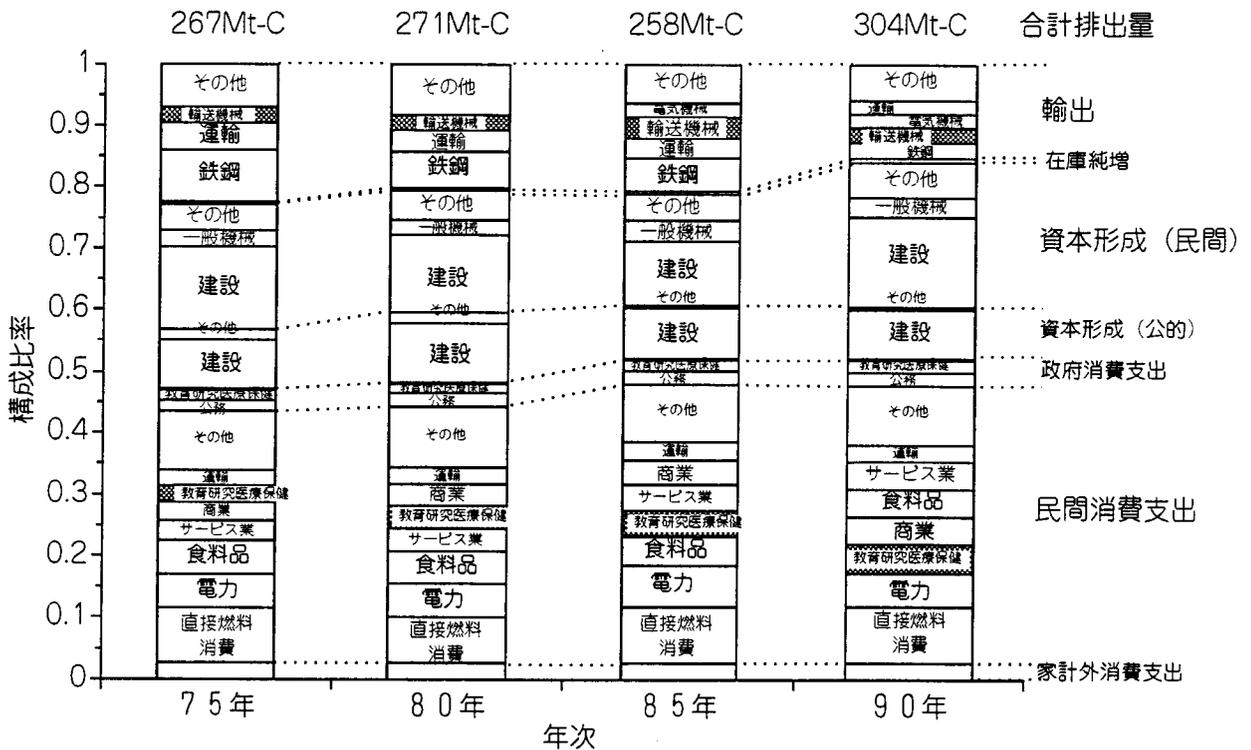


図4-7 1975～90年の4時点での最終需要におけるCO₂排出構造
(各年のCO₂排出量は棒グラフの横幅に比例する)

4.5 結言

本章では、産業連関表を利用して、財・サービスの単位金額当たりのCO₂排出強度を計算し、その強度に基づいて最終需要の観点からみた国内のCO₂排出構造を分析した。その結果、排出強度の分析から、

- (1) セメントや鉄鋼等の素材産業および発電部門は大きな直接排出強度を持っている,
 - (2) 直接排出強度の大きな素材を原料として製品を造る加工・組立産業での間接排出強度は直接排出強度よりかなり大きい,
 - (3) 都市ガスは製造時の炭素排出は少ないが、消費時にも炭素を排出するため総排出強度では事業用電力と同程度の強度となる,
- 等が明らかになった。さらに、最終需要からみた排出構造の分析から、
- (4) 国内排出量の52%は消費支出、27%は資本形成、21%は輸出需要を満たすために排出されている,
 - (5) 消費支出の中でも民間消費支出が約9割を占め、その内訳は化石燃料や電力などエネルギーの直接利用による排出が1位、2位である一方、食料品の購入やサービスの利用などによる間接的な排出が直接分の1.76倍ある,
 - (6) 資本形成では、民間資本形成が公的資本形成の2.1倍のCO₂を排出しており、民間資本形成は建設業、公的資本形成は土木工事の需要に係わっている,
- ことを示した。また、得られた結果を前章のエネルギーバランス表による結果と比較し、
- (7) エネルギーバランス表の結果と産業連関分析の結果は、細部で異なる点があるものの、推計範囲の統一と部門分類の対応に留意すれば、整合性のある結果を得ることができる,
 - (8) 産業連関分析における問題点は、連関表に消費量の明示されていない燃料種が多くあることであるが、これは他のエネルギー統計の併用により解決可能である,
- ことを明らかにした。

つぎに、産業連関表を用いてこのようなCO₂排出構造分析を行う際に細かな部門分類を用いることによって、より誤差の少ない分析が可能であるが、計算量の増大の問題が指摘される。そこで、分析に必要な部門数について検討するため、部門数として408、183、84、29の4種類を用いた排出構造分析による誤差の解析を行い、

- (9) 84分類以上の部門数を用いるならばほぼ正確な排出構造分析が可能であることを示した。さらに、排出構造分析手法の応用として、1975年から90年までの5年おき4時点の産業連関表に対して同様の分析を行い、排出強度の推移の検討から、

(10) 企業の省エネ努力あるいは製品の付加価値化により半数の部門で強度の低下が認められたが、一転上昇した部門も見られる、

ことを示し、さらにこの間のCO₂排出構造の推移より、

- (11) 1975年から85年の間は排出量がほぼ一定であったが1990年には15%急増した,
- (12) 1975年、80年、85年の3時点では民間消費支出からの排出が増え、資本形成からは減少した,
- (13) 1985年と90年の比較では輸出を除く全部門からの排出が増加したが、なかでも民間資本形成からの排出が急増した,

ことを明らかにした。

これらの結果から温暖化抑制のためには、民間消費支出と民間資本形成に係わるCO₂排出削減が重要なことが分かる。具体的には、民間消費支出では、エネルギーの直接消費や「対個人サービス」、 「商業」の抑制であり、民間資本形成では、「建築」に係わる排出を抑えることである。

なお、ここでの分析は国内のCO₂排出構造の分析のために、産業連関分析における $[I - (I - M)A]^{-1}$ 型の逆行列を用いて行われたものであり、そのため国外から持ち込まれた原油、天然ガスや鉄鉱石等の原燃料の採掘・輸送、および各種製品やサービス等の生産にかかるエネルギー消費、CO₂排出は考慮されていない。CO₂の排出削減は世界的な目標であるため、一国内の経済活動による

エネルギー消費等による排出構造の分析にとどまらず、現在進行中である原燃料や工業製品およびサービスの輸出入という貿易の状況を含めた排出構造の分析は、より正確なCO₂排出構造の分析さらに、国・地域・分野ごとのCO₂排出責任を明確にする上で非常に重要である。この分析については、つぎの第5章において行う。

参考文献

- 1) 茅陽一編：エネルギーアナリシス，電力新報社，294pp，1980.
- 2) 岡建雄：産業連関表による建築物の評価 その1.省エネルギービルと一般事務所ビルの比較，日本建築学会計画系論文報告集，第359号，17/23，1986.
- 3) 竹林芳久・岡建雄・紺矢哲夫：産業連関表による建築物の評価 その2.事務所建築の建設による環境への影響，日本建築学会計画系論文報告集，第431号，31/38，1992.
- 4) 森口祐一・近藤美則・清水浩：わが国における部門別・起源別CO₂排出量の推計，エネルギー・資源，第14巻，第1号，32/41，1993.
- 5) 吉岡完治・早見均・池田明由・菅幹雄：環境分析用産業連関表の応用—生産活動に伴うCO₂排出量とその要因—，イノベーション&I-Oテクニク，第3巻，第4号，31/41，1993.
- 6) 吉岡完治・早見均・池田明由・菅幹雄：環境分析用産業連関表の応用（2）—環境家計簿作成のためのCO₂排出点数表—，イノベーション&I-Oテクニク，第4巻，第1号，37/57，1993.
- 7) 総務庁編：昭和60年産業連関表取引基本表，1989.
- 8) 総務庁編：昭和60年産業連関表計数編（1），1989.
- 9) 総務庁編：昭和50-55-60年接統産業連関表計数編（1），1989.
- 10) 通商産業大臣官房調査統計部編：1990年産業連関表（延長表），1992.
- 11) 資源エネルギー庁編：総合エネルギー統計（平成3年版），1992.
- 12) Gay, P. W. and John L. R. Proops : Carbon dioxide production by the UK economy — An input-output assessment, Applied Energy, Vol.44, No.2, 113/130, 1993.

第5章 日本の貿易に伴うCO₂量の収支分析

5.1 緒言

地球温暖化の主因とされるCO₂については、1992年6月の地球サミットにおいて締結された気候変動枠組条約の中で、各国においてその排出量を安定化させるという国際的な合意ができ、さらに1994年3月には条約が発効した。しかしながら、一国のCO₂排出の責任をどの範囲までと捉えるかについて再考の余地がある。なぜならば、ある一国のCO₂排出量は一般には、1) 国内の生産活動および消費活動により国内で排出されたCO₂量を指すが、これ以外に、2) 国内需要を満たすために国内および国外において排出されたCO₂量をとる、3) それらの和集合をとる等が考えられ、範囲の取り方により各国の責任の大きさはかなり異なる。また、全地球レベルでのCO₂安定化を目指してCO₂の排出権取引等の経済的手段を考えた場合には、その範囲の取り方によりかなり大きな誤差が生じると予想される。

第4章において、最終需要の観点から見た日本のCO₂排出構造の経時的分析を行った¹⁾が、ここでは国内の排出構造の分析に主眼をおいていたため、日本へ輸入される製品の生産に伴う国外におけるCO₂排出は考慮しなかった。ところが、国内需要を満たすために国外から各種の製品やサービスが輸入されることを考えると、より詳しく排出構造を分析するにはこの輸入品の生産のために国外で排出されたCO₂を含めるべきである。また逆に、日本が国内排出しているCO₂の一部は国外需要を満たすための輸出品のためであることにも注目すべきである。同様の考察は、Commonら²⁾、Gayら³⁾、Pedersen⁴⁾等によってもなされている。

いわゆる国内排出量を減少させるために、国内産業がその製造基盤を国外に移転し、それによって結果的に国内排出量を減らすという行動を取ることも考えられる。地球規模で考えた場合に、それはCO₂排出削減の責務を果たしたとは言えない。すなわち、現在の日本のエネルギー効率・生産構造は世界でも最も優秀な部類にあるため、製造基盤が国外移転されることにより世界全体で見た場合のCO₂排出量がかえって増加する、いわゆるCarbon Leakageの問題が発生する可能性を否定できない。よって、日本が責任を負うべきCO₂排出量をより広い観点から求めるには、外国との貿易を考慮した分析が是非必要である。

本章では、このような観点から過去15年間の日本の輸出入に伴うCO₂排出量を求め、一国のCO₂排出責任として、いわゆる国内排出量を考えた場合と国内需要を満たすためのCO₂排出量とを考えた場合のCO₂排出量を比較することにより、日本における排出責任として一体どのような指標を取るべきであるのかについて検討した。以下、第2節では収支分析の方法について述べ、第3節において分析の最新年次の結果を示す。第4節は、日本の輸出入についての経時的分析の結果とその結果より導き出される帰属排出量について述べる。さらに第5節では世界全体の貿易データの利用により、第4節までに示したこの日本における輸出入の分析を国際間の輸出入分析にまで広げ、世界全体で見たCO₂収支分析について述べる。

5.2 CO₂収支分析の方法

5.2.1 分析において用いた統計

分析には、4.2.1項と同様、昭和60年産業連関表の取引基本表⁵⁾と物量表⁶⁾、昭和50-55-60年接続産業連関表取引基本表⁷⁾、さらに、1990年産業連関表(延長表)⁸⁾(以下、85年基本表、85年物

量表、接続表、90年延長表と呼ぶ)も用いた。なお、物量表のない接続表および延長表は金額表示の表であり、これらに記載された化石燃料消費量に関するデータを物量基準の表に変換する際に、総合エネルギー統計⁹⁾を用いた。分析の対象は、1975、80、85、90年の4時点である。

5.2.2 分析手順

分析手順は、4.2.3項と同様であり、概要はつぎのとおりである。

step1: 各時点 s ($s=1975, 80, 85, 90$ 年)における各連関表取引基本表の基本分類ごとに化石燃料および石灰石の消費量を求める。

step2: 産業連関表の基本分類を内生部門は83分類、最終需要部門は7分類にまとめる。

step3: 各時点における各内生部門別の化石燃料および石灰石の消費から、不燃分の控除などの補正を行った上で各産業において直接排出した CO_2 量 (C_{s_i}) を求める。

step4: C_{s_i} をその部門の国内生産額 (X_{s_i}) で除して直接排出強度 (d_{s_i}) を計算する。

step5: d_{s_i} に $[I - (I - M)A]^{-1}$ 型、 $(I - A)^{-1}$ 型の2種類の逆行列を乗じ、それぞれの総排出強度 (t_{s_i}, t'_{s_i}) を求める。ここで、 M は部門 i の財の輸入依存率 m_i を対角要素とする対角行列、 I は単位行列、 A は投入係数行列である。 $(I - A)^{-1}$ 型の総排出強度 t'_{s_i} を式で表せば、 $b'_{s_{ji}}$ を時点 s における $(I - A)^{-1}$ の j 行 i 列要素として、 $t'_{s_i} = \sum b'_{s_{ji}} \cdot d_{s_j}$ となる。これは、輸入品も国内と同じエネルギー効率、 CO_2 排出構造を持つ産業によって生産されると仮定したことに相当する。

step6: t_{s_i}, t'_{s_i} に最終需要部門別内生部門別需要額を乗じ、最終需要の観点から見た CO_2 排出量 ($L_{s_h}, L'_{s_h}, h=1, \dots, 7$) を求める。ここで、 $(I - A)^{-1}$ 型の逆行列を使って求めた排出量 L'_{s_h} は、財の輸入品も含めた日本における財・サービスの総供給に伴い排出された CO_2 量を意味する。

step7: 最終需要から見た日本の CO_2 排出量に占める輸入品による CO_2 量 (ΔK_{sh}) を、先に求めた2つの CO_2 量 (L_{s_h}, L'_{s_h}) の差 ($L'_{s_h} - L_{s_h}$) により求める。

ここで、step5における仮定の妥当性について少し考えてみる。この仮定は、まず石炭や石油等の採掘業やアルミ一次精錬業など国内活動の非常に小さな部門のエネルギー消費及び CO_2 排出の構造を相当する輸入品の生産に対して適用するため、それらの部門からの財・サービスの投入を必要とする部門の CO_2 排出を過大推計する恐れがある。逆に国内の方が国外に比べてエネルギー効率がよい財や CO_2 低排出型の財・サービスについては、輸入品に伴う CO_2 排出の影響を過小推計する恐れがある。すなわち、現状の国外における CO_2 排出構造を正確に表現していないという面はあるが、輸入品に伴う CO_2 排出量の大きさを知るための第一次近似としては十分意味がある。また、輸入される財の全量を国内でまかなうとしたときに排出されるべき潜在的な CO_2 排出量を示しているとも言える。なお、国内自給率の高い財から生産される財に対しては分析においてあまり大きな誤差を生じない。よってここでは、輸入品は国内と同じ生産構造で生産されたと仮定して以下の分析を行った。なお、分析は1985年基準の実質価格で行った。

5. 3 1990年における CO_2 収支

5.3.1 国産品による輸出需要の内訳

まず、1990年における分析の結果を示す。分析における最新年次の1990年において、国内の生産および消費活動に伴い国内で排出された CO_2 量は304Mt-Cと計算された。最終需要部門別の内訳を図5-1の左の円グラフに示す。そのうち、輸出品の生産のために国内で排出された CO_2 量(以下、

国産輸出CO₂量という)は46.4 Mt-Cで、国内排出量の15.2%に相当する。

国産輸出CO₂量を誘発した内生部門の輸出需要の内訳を、図5-1の棒グラフ内の左側に29部門分類によって示す。鉄鋼が7.5 Mt-Cで1位であり、以下、輸送機械、電気機械、運輸の順に約7 Mt-Cの排出量が続く。これら4部門を合わせると約29 Mt-Cで、国産輸出CO₂量の62.5%を占める。さらに、化学製品の4.8 Mt-C、一般機械の3.8 Mt-Cを合わせると国産輸出CO₂量の81%を占める。この結果を83部門分類で見ると、鉄鋼での排出の96%は鋼材の需要による。輸送機械では自動車・同修理がその84%を占める。電気機械ではコンピュータ・電話機等の電子・通信機器の需要に伴う排出が41%、ステレオ・テレビ等の民生用電気機械に伴うCO₂量がその23%である。また、運輸はその83%が水運の需要による。

つぎに、国産輸出CO₂量の実際の排出部門の内訳を図5-1の棒グラフの右側からみる。このCO₂量を誘発した産業部門の場合に同じく、鉄鋼業が12.9 Mt-Cで1位であった。2位は電力・ガス・熱供給業の10.4 Mt-Cで、さらに運輸の7.3 Mt-Cと続く。これら3部門を足すと30.6 Mt-Cで、国産輸出CO₂量の2/3を占める。素材生産部門やエネルギー部門での排出が多い。

一方、各産業でのCO₂直接排出を内需か輸出需要かの需要先別に見る。輸出需要のためのCO₂排出の比率が大きいのは、精密機械(38%)であった。さらに、輸送機械と電気機械(各35%)、運輸と化学製品(各33%)と続く。機械類など加工組立産業では自部門で排出するCO₂の約1/3が、国外の需要のためである。また逆に、公務、建設、食料品の各部門では、自部門でのCO₂排出はほとんど国内需要のためであり、これは、その産業活動の内容から自明である。なお、内生部門全体で見ると、最終需要全体に占める輸出需要の比率は、約17%であった。

5.3.2 総排出強度 t_{s_i} と t'_{s_i} との比較

1990年の分析結果を例として、国内のCO₂排出量への輸入品の寄与をゼロとした $[I - (I - M)A]^{-1}$ 型総排出強度 $t_{g_{0i}}$ と国産品と同程度の寄与があるとした $(I - A)^{-1}$ 型強度 $t'_{g_{0i}}$ とを比較する。図5-2に83分類で見た排出強度を示す。 $t_{g_{0i}}$ に比べて $t'_{g_{0i}}$ が5割以上大きな部門は、排

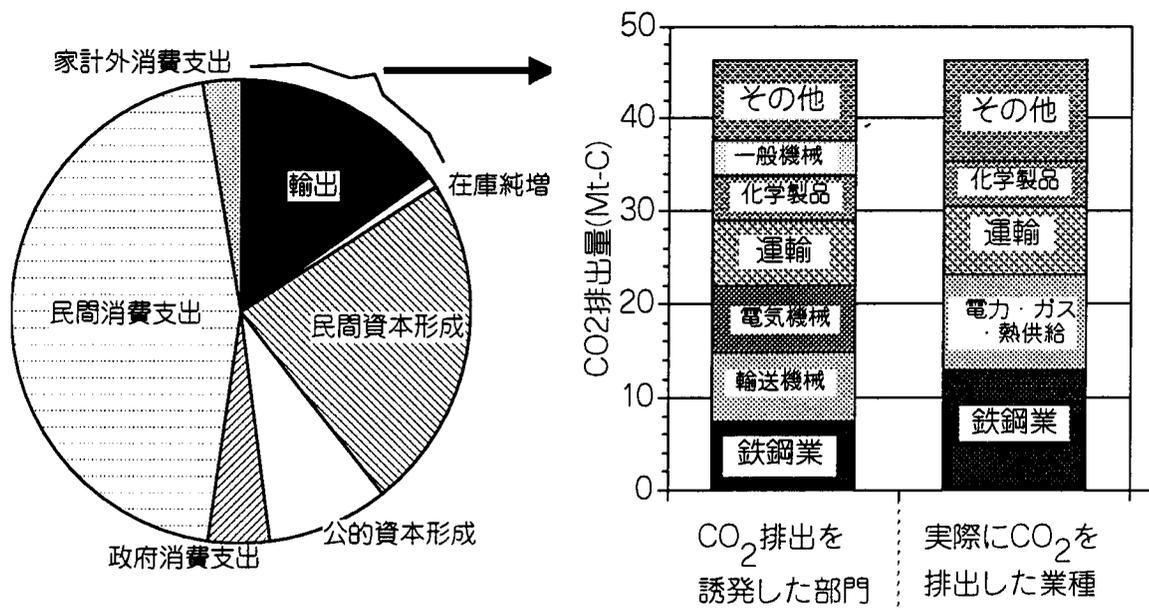


図5-1 1990年の最終需要部門別CO₂排出量と輸出需要に伴うCO₂排出部門の内訳

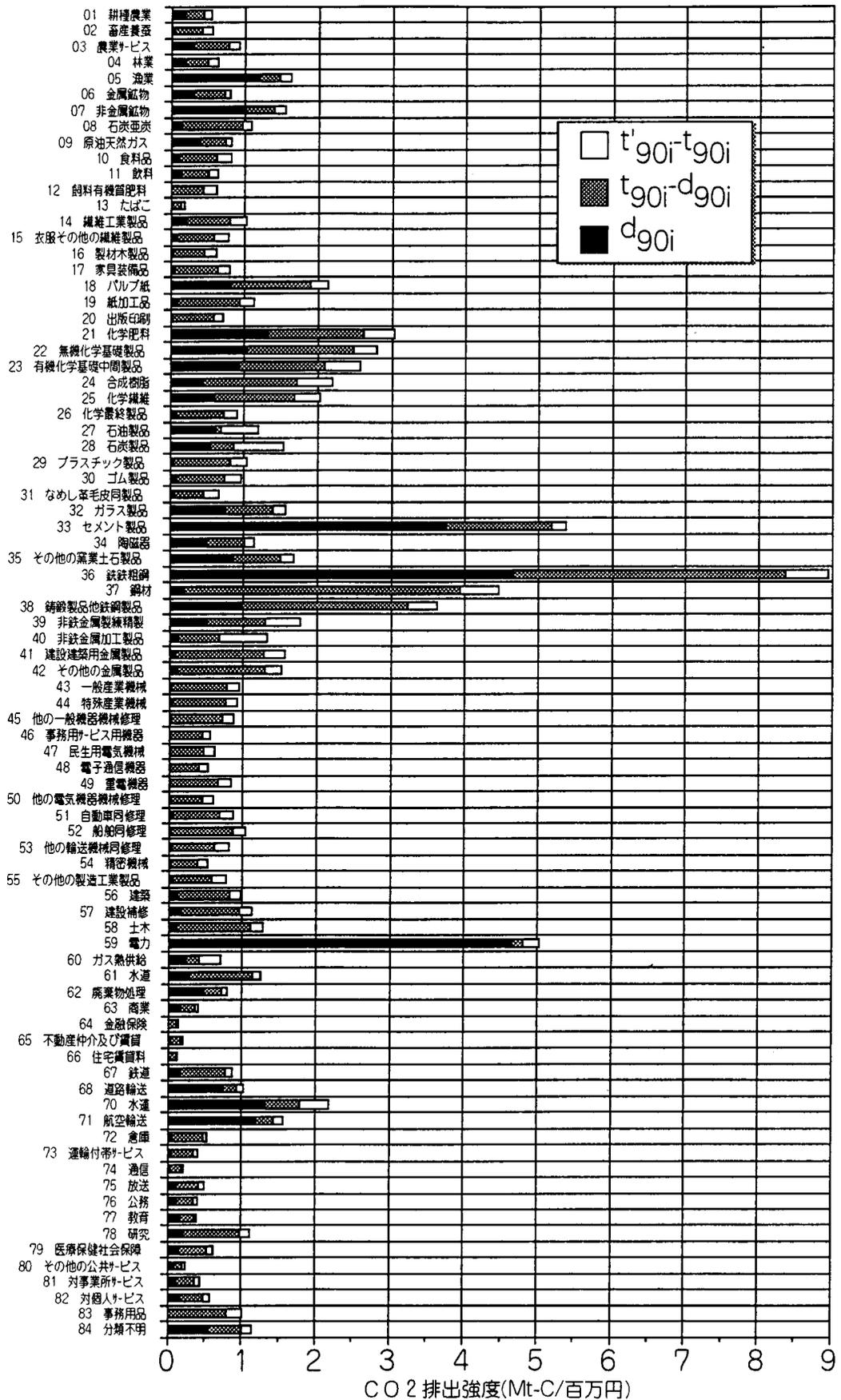


図 5-2 83分類でみた1990年の d_{90i} , t_{90i} , t'_{90i} の値

出強度の差の比率の大きさの順に非鉄金属加工製品、石炭製品、石油製品とガス・熱供給の4部門であった。これらの部門では、財・サービスの生産に必要な原材料に占める輸入品の比率が大きいためであるが、日本と同じ排出強度を適用したことの適否は検討の余地がある。一方、 t_{90i} と t'_{90i} の差が5%以内の部門は、セメント・セメント製品、電力の2部門であり、これらの部門のCO₂排出はほとんどが国内で生じている。これら以外のほとんどの部門では、 t'_{90i} の値は t_{90i} より1~3割程度大きい値であった。巨視的に見れば、輸入品は万遍なくさまざまな部門に取り込まれていることがわかる。これは、ほとんどの部門で石油などの輸入原材料を必要としているためである。

5.3.3 輸入品による排出の内訳

1990年に国産品と輸入品の国内最終需要により排出したCO₂量（以下、国内最終需要CO₂量という）のうち、輸入品の寄与分は57.1 Mt-Cで国内最終需要CO₂量の18.1%を占めた。このうち、家計外・民間および政府の3消費支出では、各々2.0, 30.7, 1.9 Mt-Cの寄与で合計34.6 Mt-C、公的および民間の資本形成では、各々4.4, 17.0 Mt-Cの計21.4 Mt-CのCO₂が輸入品の生産に伴って国外で排出されていた。

国内最終需要を消費支出と資本形成の二つの需要に分け、各需要に対する輸入品の比率を検討する。その結果、消費支出では17.9%、資本形成では18.1%を輸入品が占め、両需要ともほぼ同じであった。

消費支出の内訳をもう一段分解する。家計外消費支出の19.4%、民間消費支出の18.3%、政府消費支出の12.6%を輸入品が占めた。消費支出の中では、政府消費支出において輸入品の占める比率が一番小さく、他の2消費支出の比率の約2/3であった。資本形成では、公的な需要からの14.5%、民間からの需要の19.3%が輸入品に伴うCO₂であった。公的資本形成からの需要に比べて民間資本形成からの需要で輸入品の占める比率が大きいのは、公的な需要の大部分がセメントや鉄などの国産品を消費する建設土木にかかわる需要のためである。

つぎに、国内最終需要CO₂量に占める輸入品の比率を産業別に見たものを図5-3に示す。図5-3の

消費支出を見ると、食料品、サービス業、教育・研究・医療・保健、繊維製品の部門では、輸入品により2.8~6.2 Mt-CのCO₂排出がある。すなわち、食料品へ消費支出に伴うCO₂排出の3割、繊維製品ではその約4割は輸入品に伴う排出である。

資本形成について図5-3をみると、建設、一般機械、電気機械、輸送機械の各部門においてCO₂排出への輸入品の寄与が大きい。一般機械や電気機械、輸送機械などの加工組立産業の需要によるCO₂の約1/4は輸入品に伴う日本国外における排出である。

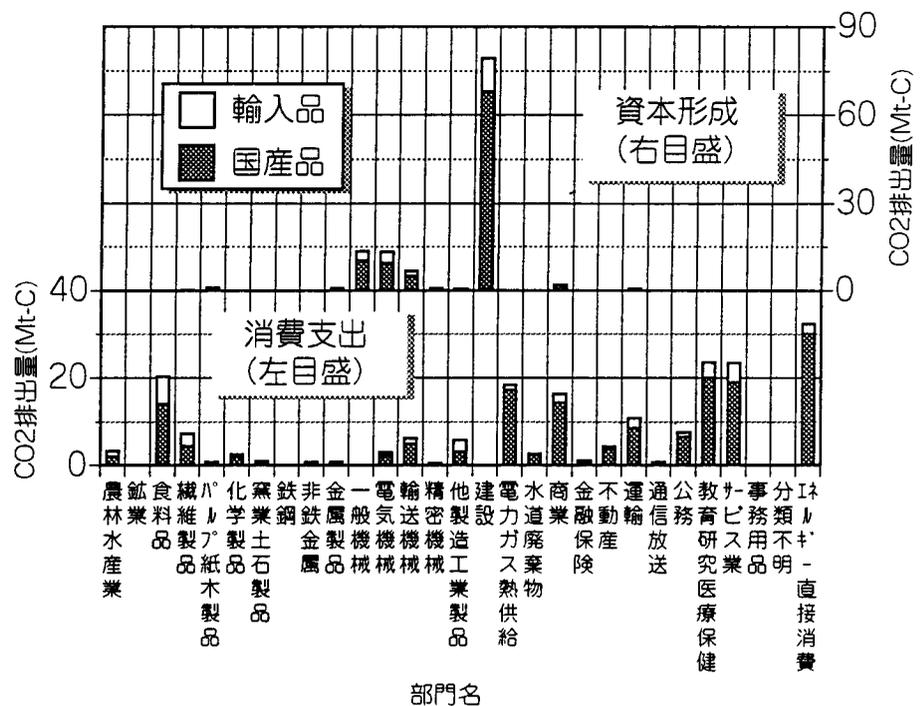


図5-3 各産業の消費支出と資本形成への需要に伴う誘発CO₂量とそれに占める輸入品の比率

5. 4 輸入品からのCO₂排出量の経時的分析

5.4.1 最終需要合計に対する輸入品による排出

まず、後の理解のために用語の整理をしておく。国産品による国内最終需要に伴うCO₂量、輸入品による国内最終需要に伴うCO₂量、輸入品による輸出需要に伴うCO₂量をそれぞれ国産内需CO₂量、輸入内需CO₂量、再輸出CO₂量とする。図5-4は、輸出入にかかわるCO₂量を需要先別、生産地別に示したものである。図5-4において左側の棒グラフで示される国産内需CO₂量と国産輸出CO₂量(5.3.1項で定義した)を足した量が、一般に国内排出量と言われているものである。右側の棒グラフは下から順に、国産内需CO₂量、および輸入内需CO₂量と再輸出CO₂量であり、下の2つを加えたものが国内最終需要CO₂量を示す。

図5-4より、輸入品のCO₂総排出強度として国内と同じ値を与えるという今回の仮定の下では、1975年から85年の間は国産輸出CO₂量が輸入内需CO₂量より多かったが、1985年から90年にかけて逆転したことが分かる。

つぎに、図5-5に1975、80、85、90年の4時点における最終需要の観点から見たCO₂排出量への輸入品の寄与を示す。図5-5において、折れ線グラフは凡例の各場合におけるCO₂排出量を、棒グラフが前時点に対する伸び率を表している。最終需要合計でみたときのCO₂排出量に対する輸入品の寄与分は、1975年から85年の間は輸入品によるCO₂排出量が約40~50 Mt-Cとほぼ一定であったが、1990年には68 Mt-Cと急増している。1985年から90年にかけては、いわゆる国内排出量(▲印)の伸びに比べ、国内最終需要CO₂量(●印)の伸びが大きい。1985年時点に対する伸び率で見れば国内排出量の18%に対して、

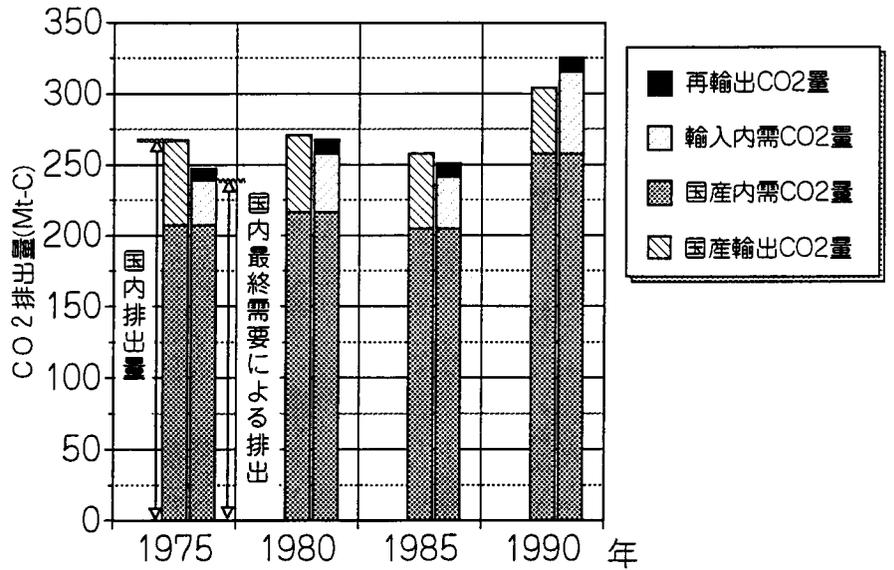


図5-4 輸出入にかかわるCO₂排出量の推移

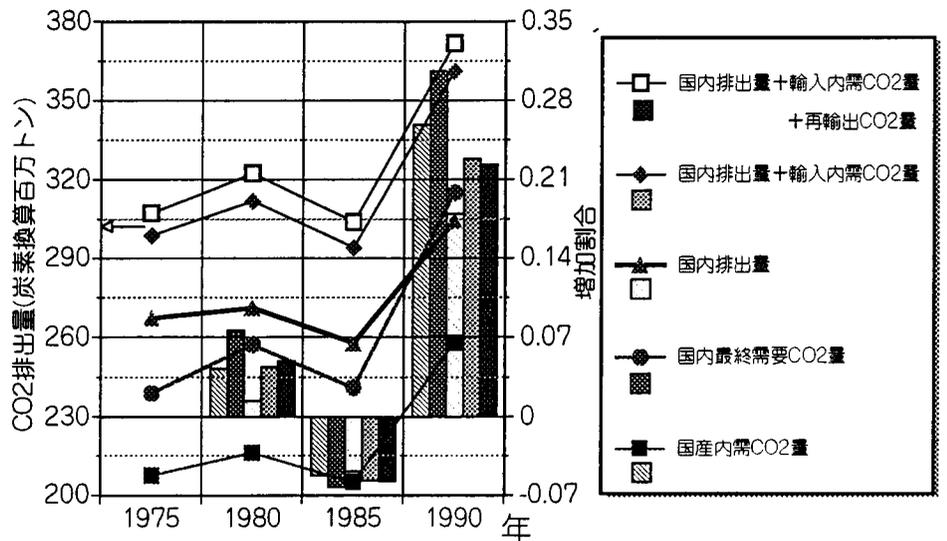


図5-5 最終需要の観点から見たCO₂排出量への国産品および輸入品による影響

31%と倍近い著しい伸び率を示す。この時期に輸入品により国内最終需要が拡大した、あるいは逆に国内最終需要により輸入が誘発されている。

また、国内排出量に輸入品に伴うCO₂量（輸入内需CO₂量と再輸出CO₂量）を加えた量は、国内の経済活動によって国内外で誘発されたCO₂の最大量を示し、CO₂排出の最大責任分と呼べるものであるが、その量は1988年における全世界の約6400Mt-C⁽¹⁾のCO₂排出量の約5.8%に相当し、国内排出量分のみを自国の排出責任と見なす場合に比べて、責任の比率が約1%増加することになる。

5.4.2 国内最終需要に伴う排出への輸入品による寄与

国内最終需要CO₂量のうち輸入内需CO₂量について、国内最終需要部門とその需要を産み出した産業の内訳を図5-6に示す。3重の円グラフの面積が、その年における輸入内需CO₂量を示す。内側の環は最終需要部門を、中間の環はその最終需要を誘発した産業部門を29分類で、外側の環は中間

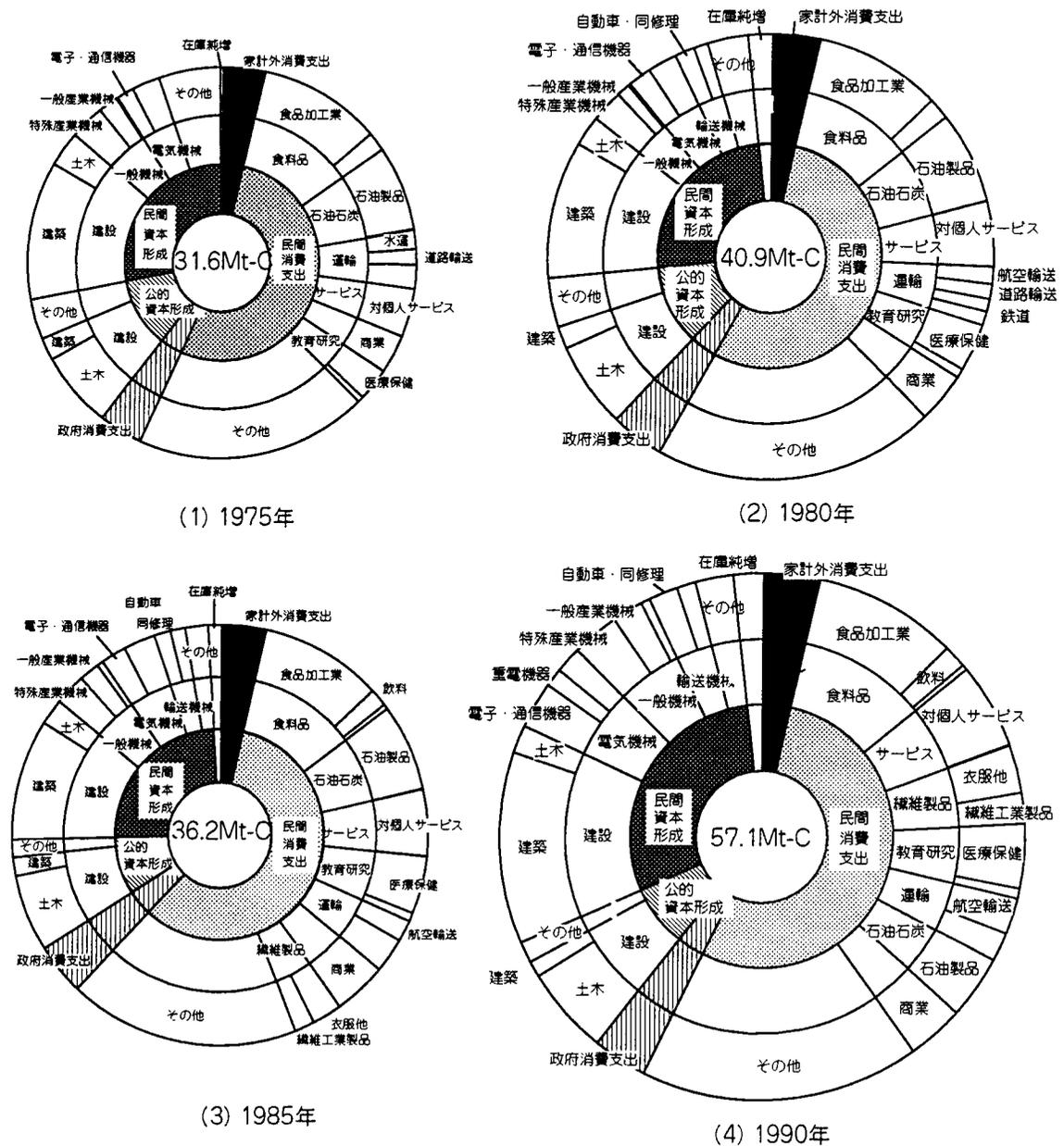


図5-6 輸入内需CO₂量の推移とその部門別内訳

の環の産業部門の内訳を83分類で示したものである。図5-6によると、全体量は31.6→40.9→36.2→57.1 Mt-Cの変化であり、1975年から85年は輸入内需CO₂量が約32~41 Mt-Cでほぼ安定していたが、1985年から90年にかけては政府の内需拡大政策により排出量が85年の約1.6倍(21 Mt-C増)となったことが確認できる。

輸入内需CO₂量の内訳を最終需要部門別かつ経時的に見る。家計外・政府の2消費支出と公的資本形成の3部門は、それぞれ1.1→1.4→1.3→2.0, 1.2→1.6→1.4→1.9, 3.7→4.7→3.2→4.4 Mt-Cという推移であり、輸入内需CO₂量に占める比率から見た場合、量的な変化はそれほど大きくない。それに対して、民間消費支出は16.8→22.3→21.2→30.7 Mt-Cと推移し、1975年から85年の間の約20Mt-Cから90年には約5割増となっている。さらに、民間資本形成においては8.8→10.2→8.8→17.0 Mt-Cのように排出量が推移しており、1975年から85年の間の9~10Mt-Cが90年には7割増、85年に比べるとほぼ倍増している。これら2つの最終需要による増加CO₂は計17.7 Mt-Cであり、この間の内需拡大によるCO₂排出増の84.7%を占め、その主因であることが分かる。

つぎに、この内訳を産業別に見る。民間消費支出では、需要を構成する部門は大きく変化しておらず、その構成比率が変化しているのみである。特に、1985年に7位であった繊維製品が3位と大きく順位を上げており、排出量ではほぼ倍増している。また、民間資本形成においても需要を構成する主要部門は変化していない。建設や電気機械、一般機械と輸送機械の各部門では、誘発するCO₂量がほぼ倍増している。1985年から90年にかけては全部門ほぼ一律に需要が増加した。

5.4.3 日本の負うべきCO₂排出の責任

ここまでの分析から、輸出入される財の生産のために排出されるCO₂量は、国内排出量の相当の割合を占めること、内需拡大等によって輸出入のバランスが変化していることが明らかになった。そこで、日本(一般的にはある一国)が責任を負うべきCO₂排出量として、受益者負担の見地から帰属排出量の概念を導入した。つまり、内需を満たすための国外におけるCO₂排出量と国外の需要を満たすために国内で排出されたCO₂量を受益者と直接排出者の双方が負担するという考え方である。なぜならば、需要と供給(生産)のバランスの上に経済社会は成り立っており、需要がなくなれば供給もなくなり、また逆も然りであって、一方にのみその責任を負わせるよりも双方にその生産時のCO₂排出の責任を負わせる方がより合理的と考えるからである。この考えを都市間の財の移出入に対して適用した金川ら^{11) 12)}の研究もある。

帰属排出量(E_A)の定義と国内排出量(E_N)、国内最終需要CO₂量(E_D)との関係を数式によって示す。まず、国産内需CO₂量、国産輸出CO₂量、輸入内需CO₂量を記号A, B, Cでそれぞれ示す。これから、

$$E_N = A + B \quad (5.4.1)$$

$$E_D = A + C \quad (5.4.2)$$

となる。ここで、生産者(製品を輸出する国)側の責任の割合を p ($0 \leq p \leq 1$)、消費者(製品を輸入する国)側の責任を q ($p+q=1$)とすると、帰属排出量 E_A は、

$$E_A = A + pB + qC \quad (5.4.3)$$

と定義される。国内排出量は帰属排出量の(5.4.3)式において $p=1$ (すなわち $q=0$)、国内最終需要CO₂量は $p=0$ ($q=1$)のときに相当する。責任の割合 p と q を適当に調整することで、排出の責任を生産者側に重くしたり、また軽くしたりできる。この p および q の値の決め方について、実際には国ごとに経済構造や輸出入される財が異なるため一律に同じ値を与えることは必ずしも正しくない。すなわち、財が原料として輸入されるのか、産業へ中間投入される製品なのか、あるいは最終製品なのかという財の種類ごと、また財の輸入国が先進国か否か等によっても変える必要がある。その場合、

財ごとに国ごとにpとqの値を設定する必要があり、計算が非常に煩雑になり現実的ではない。よってここでは、 $p = q = 1/2$ として帰属排出量の計算を行っている。

1975年から90年までの帰属排出量を求めたものを図5-7に、国内排出量と国内最終需要CO₂量とともに示す。日本においては、1975年から85年の間は帰属排出量に比べ国内排出量が多かったが1990年には逆転した。国内排出量の計算に含まれる輸出が減ったにもかかわらず国内最終需要CO₂量の計算に含まれる輸入が急増したために、輸出入にかかわるCO₂量をその計算に含む帰属排出量が国内排出量よりも多くなったわけである。

この帰属排出量の概念を導入すると、日本国内におけるCO₂排出を削減するために事業者が国外に生産基盤を移転した場合でも、国外で生産された財を輸入するとき、その輸入品の生産のために排出されたCO₂量が事業者のCO₂排出量として加えられることになる。よって、国内のCO₂排出を削減すれば事業者はCO₂排出削減の責任を果たしたことにはならず、事業者は製品輸出国におけるCO₂低排出型の生産基盤の開発導入といった、本当の意味でのCO₂排出の削減を行う必要がある。また逆に、事業者が国内で製品を生産しそれを輸出することにより利益を得る場合にも、その生産に伴うCO₂排出に責任を持つことになり、国内における生産基盤からのCO₂排出の削減や省エネルギー化等の対策をとるための契機にもなりうる。この帰属排出量は、このような意味で国内排出量や国内最終需要CO₂量と比較して、より公正な指標と言えよう。

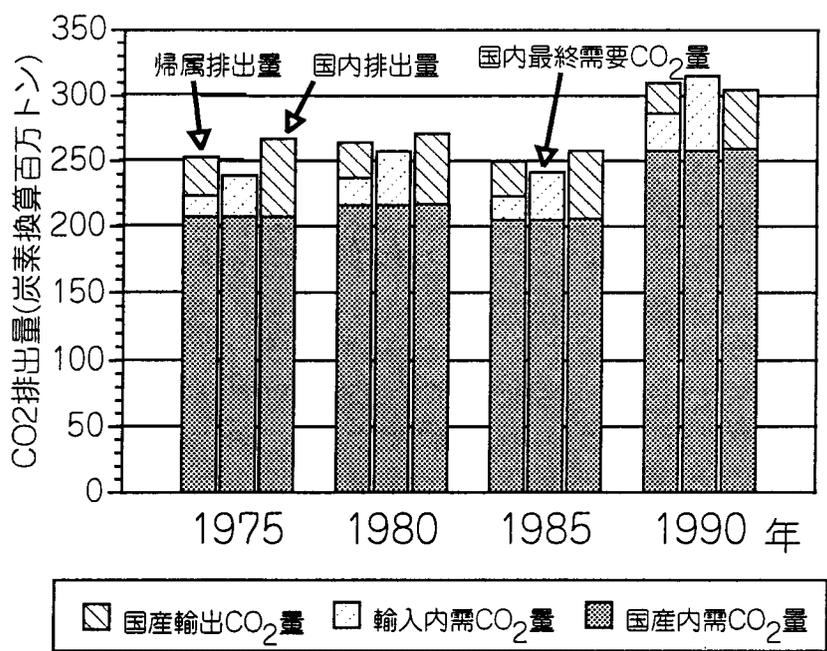


図5-7 国内排出量と国内最終需要CO₂量及び帰属排出量

5. 5 貿易データによる国際間CO₂収支分析

5.5.1 分析の目的

前節までに述べた日本の産業連関表を用いたCO₂排出構造分析により、輸出入される財の生産のために排出されるCO₂量は、国全体の排出量の数分の1を占めること、内需拡大等に伴って輸出入のバランスが変化していることが明らかとなった。CO₂の排出削減が全世界的な課題であることから、一国の排出削減を考える際にも、国内の直接のCO₂排出量だけでなく、輸入に伴う海外での間接CO₂排出をも視野に入れる必要がある。例えば、エネルギー効率に優れたわが国が、CO₂高排出型の財の供給を国内生産からエネルギー効率の劣る国からの輸入に切り替えると、国内の直接排出量の減少分以上の排出増が海外で生じ、結果的に世界全体の排出増を招くと考えられるからである。そこで、こうした問題を扱う際の基礎データとして、世界各国間において輸出入される財の生産に伴って排出されるCO₂量の把握を試みた。

5.5.2 分析に用いたデータ

これまで用いた産業連関分析を拡張して、ある国の国内最終需要のために、自国および他国でどれだけのCO₂排出を生じるかを正確に求めるには、世界全てを網羅した多国間産業連関表が必要となる。しかし、現在のところ一部の国々についての多国間表や二国間表が作成されているのみであり、ここでは簡便法として、世界各国間の貿易量に排出原単位を乗じる方法を用いた。

使用した貿易データの原データは、国連が作成した1988年の国際貿易統計品目分類(SITC) Rev.2の磁気テープで、85か国から報告された延べ約548万件の貿易OD (origin-destination) ペアから成る。これをもとに、抜粋したいSITCコードおよび国・地域コードを指定することにより、品目別・多国(地域)間貿易OD表を編集し、スプレッドシート形式に出力するプログラムを整備した。

5.5.3 分析手法

地域*i*が部門分類*k*の製品を1単位生産するまでに直接・間接に排出されるCO₂を ε_{ik} とすると、地域*j*が地域*i*から生産物*k*を x_{ijk} 単位輸入したとき、地域*j*は地域*i*から、 $E_{ijk} = \varepsilon_{ik} \cdot x_{ijk}$ のCO₂排出を輸入したとみることができる。これは、内包(embodied)エネルギーの概念を拡張し、「内包CO₂排出量」が、財の取引に伴って地域間を移動すると考えるものである。まず、日本の産業連関表から、部門*k'*ごとのCO₂直接排出量と(1-A)⁻¹型の逆行列を用いて、単位金額あたりの内包CO₂原単位 ε_{0k} (以下、添字0は日本)を求め、産業連関表の部門分類*k'*(84部門表)とSITCの部門分類*k*(CO₂排出原単位の差異を考慮して117分類に統合)を対照して、 ε_{0k} を求めた。 ε_{ik} は輸出国*i*ごとに異なるが、ここでは、(ケースA)世界のすべての地域に対して、日本と同じ値 ε_{0k} をあてはめる、(ケースB)各地域*i*のGNPあたりCO₂排出量 α_i によって $\varepsilon_{ik} = (\alpha_i / \alpha_0) \varepsilon_{0k}$ のように全部門一律に補正する、の2通りの方法を用いた。ケースAは、前節までに産業連関表を用いて日本の輸出入に関してあてはめたのと同じ方法である。

5.5.4 10国・地域間のCO₂収支

(1) 貿易に伴うCO₂の地域間移動量

これら2つのケースによって求めた貿易によるCO₂の地域間移動量をODマトリクスの形式で表5-1(a), (b)に示す。図5-8(a), (b)には、CO₂の移動量の収支を世界地図上で矢印の太さと向きによって示す。

ケースAでの世界全体でみたときの貿易に伴うCO₂量は、約394Mt-Cであり、その半分は輸出入ともに西欧に関係している。つぎは全体の2割にかかわる北米であり、日本においては1割にも満たない。CO₂収支がプラス、すなわちCO₂輸入国・地域は、北米、東南アジアであり、CO₂収支量が最大なのは北米の約23Mt-Cである。一方、CO₂輸出国・地域は、日本、アフリカ、中南米であり、数Mt-Cのオーダーである。

ケースBでは、ケースAでCO₂輸入国となっていた東南アジアが輸出国に、輸出国であった日本は大幅な輸入国となっている。さらに、CO₂収支がケースAとBともに同じ符号であった国・地域でも、CO₂収支自体の量がケースBではケースAの数倍の値に、世界全体でみたときのCO₂移動量も、ケースAの約2.5倍の1005Mt-Cにまで増加している。

日本におけるCO₂収支が逆転したのは、輸入相手国の ε_{ik} が日本の値 ε_{0k} より全般に大きいため、とくに輸入額の約30%を占める東南アジアからの寄与が大きい。

(2) 日本におけるCO₂の地域間移動量の品目別内訳

図5-9(a), (b)はケースAおよびBの方法で求めた日本と世界各地域との内包CO₂の輸出入差の品目別の内訳を、産業連関表の29統合分類によって示したものである。

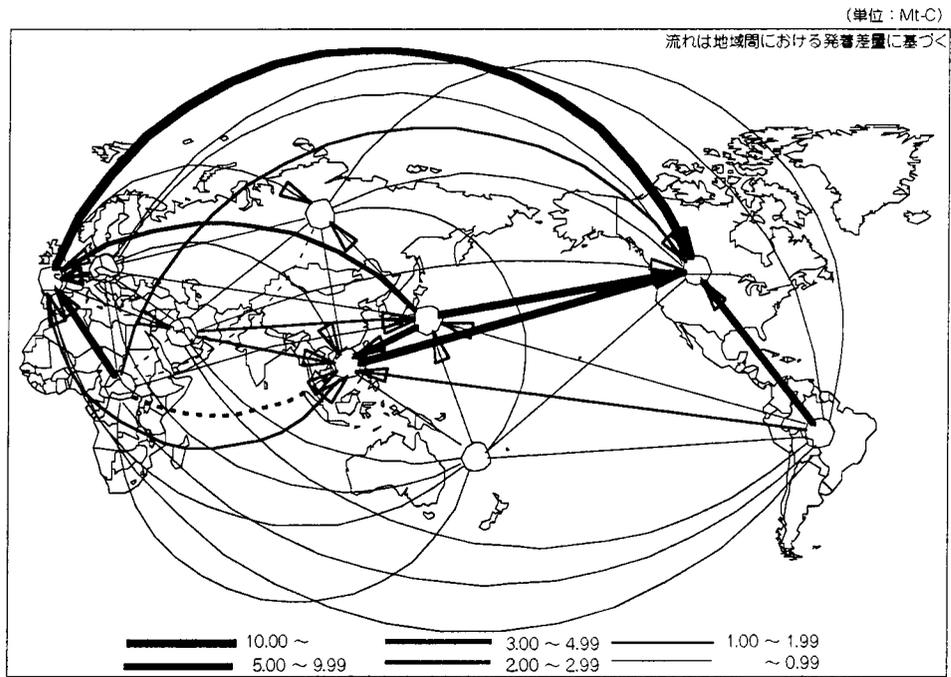
表5-1 貿易を介した内包CO2排出量の国際収支

(a) 日本と同じ排出原単位を全地域に適用した場合

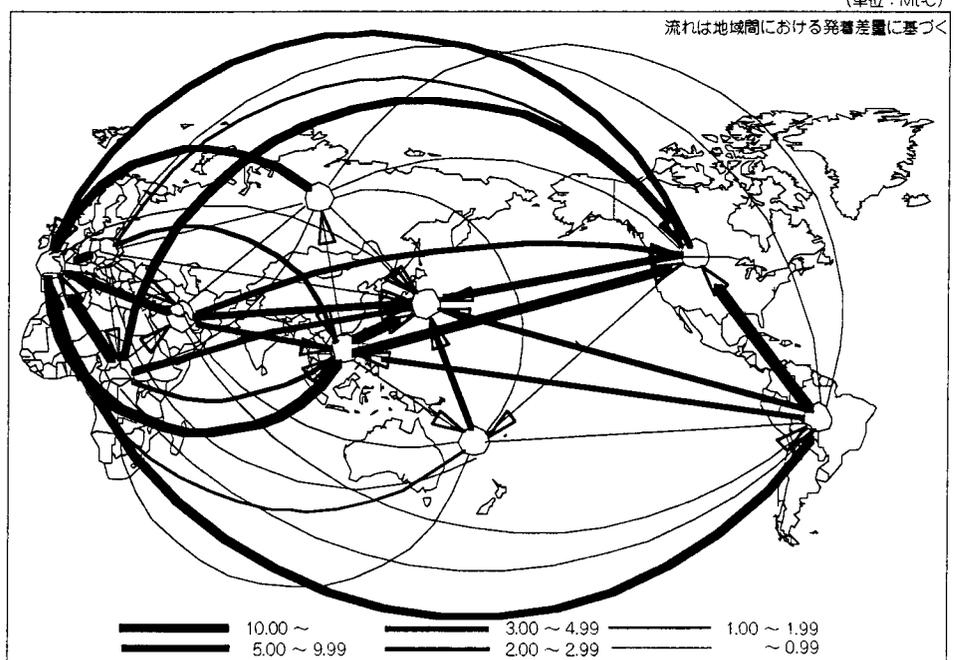
着国 発国	日本	アフリカ	北米	中南米	西アジア	東南 アジア	西欧	東欧	旧ソ連	オセアニア	輸出計	輸入計	収支
日本	0.0	0.2	12.7	0.8	0.8	12.3	6.9	0.1	1.0	1.2	36.0	27.3	-8.7
アフリカ	1.0	0.1	2.1	0.3	0.3	0.7	6.5	0.1	0.1	0.0	11.2	4.8	-6.4
北米	6.6	0.4	21.8	5.1	1.1	7.2	13.0	0.1	0.4	1.3	57.1	79.6	22.6
中南米	1.7	0.2	8.4	2.4	0.2	1.7	4.5	0.1	0.2	0.1	19.4	13.5	-5.9
西アジア	2.2	0.3	1.9	0.5	0.8	2.4	3.8	0.2	0.1	0.2	12.1	8.9	-3.2
東南アジア	8.7	0.2	12.2	0.3	0.7	13.2	7.3	0.1	0.4	1.0	44.2	50.0	5.8
西欧	4.5	3.0	18.9	3.7	4.3	8.9	139.4	2.3	3.6	1.8	190.3	192.0	1.7
東欧	0.3	0.4	0.6	0.2	0.3	1.0	4.7	1.0	1.0	0.0	9.4	5.1	-4.2
旧ソ連	0.5	0.1	0.2	0.1	0.1	0.7	3.1	1.1	0.0	0.0	5.9	6.8	1.0
オセアニア	1.8	0.0	0.9	0.1	0.1	1.3	1.3	0.0	0.1	0.6	6.2	6.2	0.0
不明	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.7	1.6	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	-2.6
輸入計	27.3	4.8	79.6	13.5	8.9	50.0	192.0	5.1	6.8	6.2	394.3	394.3	0.0

(b) 各地域のGNP当たりのCO2排出量によって補正した場合

着国 発国	日本	アフリカ	北米	中南米	西アジア	東南 アジア	西欧	東欧	旧ソ連	オセアニア	輸出計	輸入計	収支
日本	0.0	0.2	12.7	0.8	0.8	12.3	6.9	0.1	1.0	1.2	36.0	105.6	69.6
アフリカ	4.6	0.6	9.9	1.2	1.5	3.4	30.1	0.5	0.3	0.2	52.3	11.1	-41.2
北米	18.0	1.0	59.3	13.9	2.9	19.5	35.4	0.4	1.0	3.7	155.1	214.9	59.7
中南米	5.7	0.5	27.8	7.9	0.7	5.5	14.8	0.3	0.6	0.4	64.4	34.7	-29.7
西アジア	7.7	0.9	6.6	1.6	2.8	8.3	13.4	0.6	0.2	0.6	42.6	21.5	-21.1
東南アジア	53.7	1.2	62.4	1.7	3.6	90.5	41.6	1.4	3.4	5.0	264.5	166.0	-98.5
西欧	7.4	4.8	30.6	6.0	7.0	14.4	226.3	3.7	5.9	2.9	309.0	404.3	95.3
東欧	1.0	1.3	1.9	0.6	1.1	3.4	13.0	3.4	3.4	0.1	32.3	14.4	-17.9
旧ソ連	1.8	0.3	0.7	0.3	0.5	2.7	11.2	3.8	0.0	0.0	21.3	16.2	-5.1
オセアニア	5.8	0.1	2.8	0.2	0.3	4.2	4.3	0.1	0.3	1.9	20.0	15.9	-4.1
不明	0.0	0.1	0.1	0.4	0.3	1.8	4.3	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	-7.0
輸入計	105.6	11.1	214.9	34.7	21.5	166.0	404.3	14.4	16.2	15.9	1004.5	1004.5	0.0



(a) 日本と同じ排出原単位を適用した場合



(b) 地域別のGNP当たり排出量で補正した場合

図5-8 貿易によるCO₂の间接排出量の国際収支図

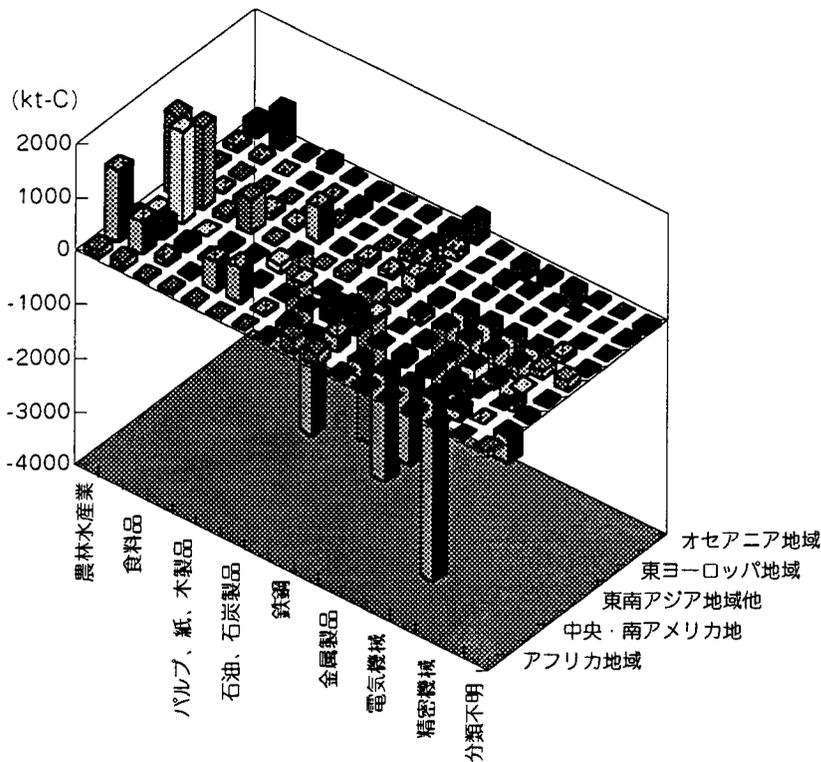
ケースAで輸入超過（グラフ上でプラス）となっているのは、東南アジアからの農産品、鉱業品、西アジアからの鉱業品（石油）、北アメリカからの農産品などであり、輸出超過となっているのは、北アメリカへの鉄鋼、輸送機械、電気機械、一般機械、東南アジアへの化学製品、窯業土石製品、機械類などである。

一方、日本の排出強度を修正したケースBで輸入超過となっているのは、ケースAでの東南アジアからの農産品と鉱業品の他に、東南アジアからの繊維製品、化学製品、鉄鋼である。輸出超過となっているのは、北アメリカへの鉄鋼、輸送機械、東南アジアへの機械類である。東南アジアの化学製品、鉄鋼では値が逆転している。

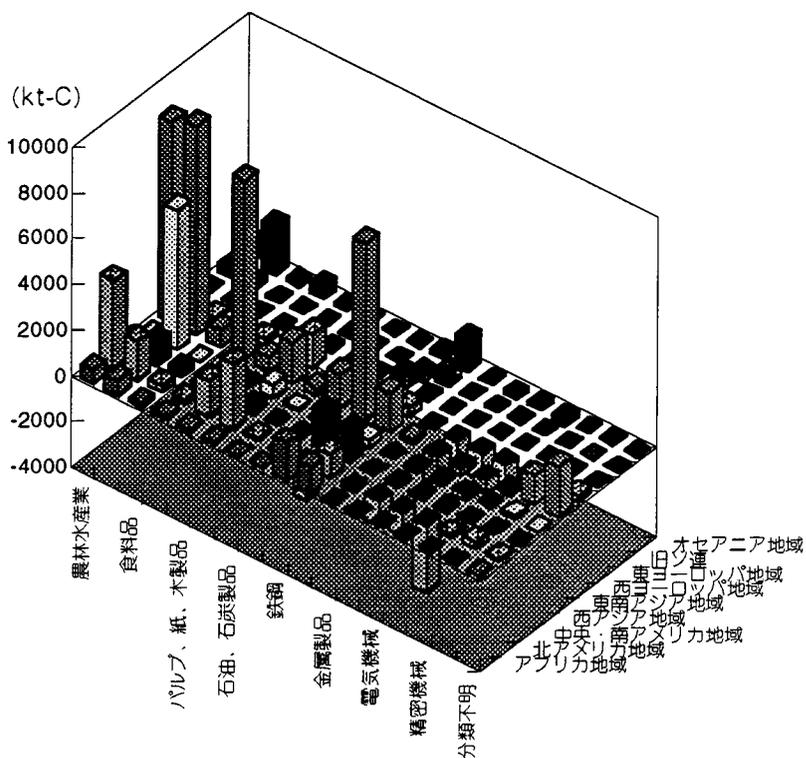
品目別のCO₂収支のグラフの目盛りをケースAとケースBとで比べると、ケースAではマイナス部分が大きくプラス部分は小さい。一方、ケースBでは反転し、マイナスの目盛りがケースAとほとんど同じなのに対してプラス側は5倍大きくなっている。日本のGNP当たりCO₂排出量が、他国・地域のそれに比べてかなり小さいことの反映である。

5.5.5 考察とまとめ

ケースAでは、日本よりエネルギー効率の低い国からの輸入品の内包CO₂を過小評価してしまうために、ケースBのような補正を行ったが、こ



(a) 日本と同じ排出原単位を全地域に適用した場合



(b) 各地域のGNPあたり排出量で補正した場合

図5-9

世界各地域と日本の貿易による内包CO₂排出量の収支の品目別内訳

の補正はやや過大とみられる。補正に用いているCO₂排出量には、各国の最終消費、すなわち家計における直接エネルギー消費に起因するCO₂排出も含まれているためである。また、中国など一部の国についてはGNP自身を他の国と直接比較することには問題がある。このため、GNPあたりCO₂排出量の日本に対する比という補正係数は一つの近似にすぎず、貿易の対象品目を生産する際のCO₂排出原単位としては、地域別、産業別のエネルギー消費実態に基づく、より精密な値の設定が必要である。また、貿易マトリクスに基づくこの計算では、輸出入される財が中間需要なのか最終需要なのかを区別しておらず、各国・地域間の排出量収支の値には、再輸出、再輸入される分が含まれていることに注意すべきである。

これらの点は、国際産業連関表、貿易マトリクス、さらには主要貿易相手国のエネルギー統計や産業連関表を併用することにより改善可能と考えられる。

OECD内の6ヶ国を対象とした類似の研究が、Andrewら¹³⁾によりなされ、輸入品に伴う排出は各国の平均で国内排出量の13%を占めるとしている。これを本研究での結果と比べると、Andrewら¹³⁾の分析は工業製品の輸入のみが対象となっており、原材料やサービスの輸入に関しては取り扱っていないという相違点はあるが、輸入品による排出が国内排出量の数分の1に相当することを指摘している点では一致している。

5. 6 結言

輸出入に伴い国内および国外で排出されるCO₂量を1975年から90年までの5年おきの4時点で分析した。輸入品のCO₂総排出強度が国産品と同じであるという仮定の下では、1975年から85年の間は、輸入品に伴い国外で排出されるCO₂量より、輸出品の生産に伴い国内で排出されるCO₂量の方が多かった。それに対して、1985年から90年においては逆となった。これは、1985年以降の政府の内需拡大策による結果と言えよう。しかし、実際には、海外で生産された財のCO₂総排出強度は一般に国産品のものより大きいため、輸入品に伴うCO₂量は今回の推計結果よりさらに大きくなると考えられる。

また、日本がそのCO₂排出に対して責任を負うべき量として、いわゆる国内排出量では考慮されない国内需要を満たすための国外におけるCO₂排出量に対しても、受益者負担の見地から責任を負わなければならない帰属排出量の概念を提案し、それが国内排出量やここでの国内最終需要CO₂量よりより公平な指標となりうることを示した。

一方、同種の手法を多国間貿易に対して適用することにより、国際間におけるCO₂排出収支についても検討を行った。日本と同じ排出強度を与えた場合には、世界全体の貿易に伴うCO₂移動量は約394Mt-C、各国のGNPあたりCO₂排出量で排出強度を補正した場合には、約1005Mt-Cとなる。世界全体の貿易に伴うCO₂排出量に一番関係しているのは、西欧であり、北アメリカがそれに続く。また、日本の貿易による排出量は世界全体の貿易による排出の1割にも満たない。さらに、日本と同じ排出強度を与えた場合の計算では日本はCO₂輸出国となるが、各国のGNPあたりCO₂排出量で排出強度を補正した場合にはCO₂輸入国となる。これは、日本に対して東南アジアを始め諸外国よりCO₂が集中し輸入が大幅に超過するためである。

この分析においては、日本よりエネルギー効率の低い国からの輸入品の内包CO₂を過小評価してしまうために、各国・地域のGNPあたりCO₂排出量で排出強度を補正したが、補正に用いているCO₂排出量には各国・地域の最終消費における直接エネルギー消費に起因するCO₂排出が含まれること、中国など一部の国についてはGNP自身を他国と比較することに問題があるという点に改善点がある。

また、貿易マトリクスに基づくこの計算では、輸出入される財が中間需要なのか最終需要なのかを区別しておらず、各国・地域間の排出量収支の値には、再輸出、再輸入される分が含まれていることに注意する必要がある。これらの点は、国際産業連関表、貿易マトリクス、さらには主要貿易相手国のエネルギー統計や産業連関表を併用することにより改善可能と考えられる。貿易相手国でのエネルギー消費実態をより正確に反映した分析が今後の課題である。

参考文献

- 1) 近藤美則・森口祐一・清水浩：産業連関表によるCO₂排出構造の経時的分析と分析における部門数別誤差の解析，エネルギー・資源，第15巻，第2号，77/85，1994.
- 2) Common, M., S. and U. Salma : Accounting for changes in Australian carbon dioxide emissions, Energy Economics, Vol.14, No.3, 217/225, 1992.
- 3) Gay, P. W. and John L. R. Proops : Carbon-dioxide production by the UK economy - An input-output assessment, Applied Energy, Vol.44, No.2, 113/130, 1993.
- 4) Ole Gravgard Pedersen : Input-Output Analysis and Emissions of CO₂, SO₂, and NO_x - the Linkage of Physical and Monetary Data, National Accounts and the Environment, Papers and Proceedings from a Conference, London, England, March 16-18, 1994.
- 5) 総務庁編：昭和60年産業連関表取引基本表，1989.
- 6) 総務庁編：昭和60年産業連関表計数編（1），1989.
- 7) 総務庁編：昭和50-55-60年接続産業連関表計数編（1），1990.
- 8) 通商産業大臣官房調査統計部編：1990年産業連関表（延長表），1992.
- 9) 資源エネルギー庁編：総合エネルギー統計，1992.
- 10) OECD : Environmental Indicators, 19, 1991.
- 11) 金川 琢・井村秀文：産業連関モデルによる都市のエネルギー消費勘定に関する研究，環境システム研究，第21巻，186/191，1993.
- 12) 金川 琢・加藤英輔・井村秀文：地域のエネルギー消費構造分析における産業産業連関モデルの適用，環境システム研究，第20巻，242/251，1992.
- 13) Andrew W. Wyckoff and Joseph M. Roop : The embodiment of carbon in imports of manufacturing products, Implications for international agreements on greenhouse gas emissions, Energy Policy, 187/194, 1994.

第6章 家計の支出から見たCO₂排出構造の分析

6. 1 緒言

第一次オイルショック以降、産業部門では工程の見直しや機器の効率向上等により省エネルギーが進んだ反面、民生や運輸部門ではGNPの伸びに比例する形で、電力や石油製品等のエネルギー消費量およびCO₂排出量が増加している¹⁾。また、日本国内におけるCO₂排出のおよそ半分は消費支出、なかでも家計における消費支出を満たすために排出され、その排出の内訳をみるとエネルギーの直接消費による排出以上に財やサービスの利用による間接的なCO₂排出が多い²⁾。よって、CO₂が主因とされる地球温暖化を防ぐための対策を考える上では、民生や運輸部門における直接のエネルギー消費のみならず、財やサービスの購入に伴う間接的なエネルギー消費、CO₂排出をも減らす必要がある。

本研究の第3章においては、エネルギー統計を基にした部門別起源別CO₂排出量の分析を行い、エネルギーの供給者側からみたCO₂排出量の経年変化を示した¹⁾。つぎに、第4章において産業連関表を利用することにより、財やサービスの消費者側から見た日本のCO₂排出構造の経時的な分析²⁾を行った。さらに、第5章において貿易に伴うCO₂量についての経時的な分析を行い、CO₂量の輸出入のバランスが政府の内需拡大策等に伴って輸出超過型から輸入超過型へ変化していること³⁾を示した。

また、家計部門に対するCO₂排出量の分析では、昭和60年産業連関表を用いて、食料品や衣服等の消費財の購入およびレジャーや医療等のサービスの利用から一年間一世帯当たり約3.3t-C(炭素換算3.3トン)、一人一日当たりでは約3kg-CのCO₂排出が誘発されていること⁴⁾を示した。吉岡ら⁵⁾による家計部門についての同様の分析も行われている。ところが、この家計部門からのCO₂排出構造分析においては対象とした時期が一時点であり、かつ文献3)では含めた輸入品に伴うCO₂排出は対象外であった。文献4)あるいは文献5)による結果を利用して、ある時期の家計部門における排出構造や排出の経年変化をみるとときには、先述の制約のためにつぎの点で問題がある。まず第一に、分析の対象時期あるいは対象期間の間の個々の財やサービスに対する技術革新やエネルギー効率の向上等の情報が反映されない。第二に、輸入品の生産に伴うCO₂排出を考慮していないため排出構造への輸入の影響が反映されない、つまり輸入品の占める比率の多い財やサービスのCO₂排出については過小評価する可能性がある。

そこで本章では、これらの問題点を解決するために文献3)と文献4)の方法を利用し、輸入品の生産に伴うCO₂排出量を含む家計部門における排出構造の複数時点の分析を行う。これにより、個々の財やサービスの省エネルギー、CO₂低排出化の状況が明らかになることはもちろん、ライフスタイルの変化によるCO₂排出構造の推移を分析することが可能となる。

以下、第2節では、分析の対象とした時点と分析の方法ならびに、前章までの分析と比べた改善点について述べる。第3節において得られた結果の全体的な傾向について示し、第4節では家計部門における温暖化対策について検討するために、その排出構造を個別に詳しく見る。

6. 2 分析方法

6.2.1 分析の方法と部門数の設定

分析は、1975年から90年までの5年おき4時点を対象とした。財やサービスのCO₂排出強度は文献³⁾と同様の方法で各時点ごとに導出した。すなわち、各年次の計算において用いる産業連関表は、昭和60年産業連関表取引基本表⁶⁾、昭和50-55-60年接続産業連関表取引基本表⁷⁾、平成2(1990)年産業連関表取引基本表⁸⁾(以下、それぞれ85年基本表、接続表、90年基本表とよぶ)である。分析に用いる逆行列は輸入品と国産品とを区別しない(1-A)⁻¹型とした。輸入品の扱いについては、労働生産性、労働集約率、製造設備の効率等の生産方法を考慮したCO₂排出強度を求めるべきところである。しかし、生産国毎にそのようなデータは整備されておらず、正確な把握は不可能である。よって、これらの生産は国内と同じ方法で行われたと仮定することで、輸入品の生産に伴う国外でのCO₂排出も計算に含めた。以下、年号は西暦で示し、分析は1985年価格基準で行った。

利用できる産業連関表の制限および可能な限り細かな部門による分析を目的としたため、各時点における分析の際の部門数は、1975年と80年が351部門、85年が408部門、90年は407部門となった。なお、1990年の分析は他の3時点とはやや異なり、排出量の推計については90年の名目価格基準で行い、排出強度の比較の際には1990年産業連関表(延長表)⁹⁾を用いて85年と90年の間のデフレータによる補正を行っている。

6.2.2 排出強度の購入者価格への変換

6.2.1項で各部門ごと各時点ごとに求めたCO₂排出強度は生産者価格基準の値である。通常、家計の支出は購入者価格で記述されるため、この排出強度をそのまま家計の支出額に乗じても、家計の支出構成から見たCO₂排出の構造を求めたことにはならない。そこで、各部門の財やサービスが最終的に消費者に届くまでの間の販売・運搬等にかかる商業マージンと貨物運賃(以下、流通マージンと呼ぶ)に基づき、つぎのような方法でこれらの値を購入者価格基準の値に直した。

まず、以下の説明を簡単にするために、流通マージンに関わる産業を流通マージン産業と呼び、インデックスとしてsで示す。さらに、記号をつぎのように定義する。

- F_i : 家計のi産業に対する生産者価格での消費支出
- F_s : 流通マージン産業に対する家計の生産者価格での最終消費需要
- F_{sm} : F_s のうち流通マージンに係わる部分
- F_{se} : F_s のうち流通マージンに係わらない部分
- R_s : 生産者価格での流通マージン産業のCO₂排出量
- R_{sm} : R_s のうち流通マージンに係わる部分
- R_{se} : R_s のうち流通マージンに係わらない部分
- T_s : 生産者価格での流通マージン産業のCO₂排出強度
- M_i : i産業に割り振られた流通マージン
- C_i : i産業の生産者価格でのCO₂排出量
- K_i : i産業の購入者価格でのCO₂排出量
- L_i : 購入者価格でのi産業のCO₂排出強度

なお、各記号の間には以下の関係がある。

$$F_s = F_{sm} + F_{se} \quad (6.2.1)$$

$$R_s = R_{s,m} + R_{s,e} \quad (6.2.2)$$

$$T_s = R_s / F_s \quad (6.2.3)$$

購入者価格での産業連関表においては、家計の流通マージン産業への生産者価格での支出額 F_s のうち流通マージンに係わる $F_{s,m}$ が、各産業に割り振られる。すなわち、

$$F_{s,m} = \sum_{k \neq s} M_k \quad (6.2.4)$$

ただし、 $M_s = -F_{s,m}$

である。よって、生産者価格での流通マージン産業の CO_2 排出量 R_s のうち流通マージンに係わる部分 $R_{s,m}$ を、各産業へのマージン割り振りの比率 ($M_i / F_{s,m}$) に基づき分配することにより、購入者価格での各産業における CO_2 排出量 (K_i) が求まる。これは、流通マージンは購入した財やサービスによらず一定であると仮定したことになる。式で示すと、

$$K_i = C_i + R_{s,m} * M_i / F_{s,m} \quad (6.2.5)$$

であり、式 (6.2.1) から式 (6.2.3) の関係を利用すると、

$$K_i = C_i + M_i * T_s \quad (6.2.6)$$

となり、購入者価格における i 産業の排出強度 (L_i) は、 K_i 、 M_i 、 F_i とから、

$$L_i = K_i / (F_i + M_i) \quad (6.2.7)$$

と求まる。一方、流通マージン産業では $C_s = R_s$ であるので $K_s = R_{s,e}$ 、また $L_s = T_s$ である。

なお、接続表には流通マージンについての記述がない。よってここでは、1975年、80年の流通マージンは1985年の流通マージンと全く同じであると仮定して、生産者価格での排出強度を購入者価格での排出強度に変換している。

6.2.3 分析における改善点

分析の精度を上げるため、1990年の分析において CO_2 排出源を追加した。まず一つ目として、85年までの分析で CO_2 排出源としてきたセメント業や鉄鋼業における石灰石の消費の他に、生石灰や消石灰（以下、石灰と呼ぶ）の消費に伴う CO_2 排出をも計算に含めた。石灰の産業別消費量についての記述が産業連関表物量表にはないため、文献¹⁰⁾を利用して石灰を消費する産業を抜き出し、90年基本表における石灰石の産出先を特定した。石灰製造のための石灰石の消費量は、90年基本表における石灰石部門の各産業への産出金額に応じて分配した。石灰石から石灰を製造する際に排出される CO_2 量は約 2 Mt-C であり、1990年の国内 CO_2 排出量の約 0.7% に相当する。

追加した CO_2 排出源の二つ目は鉄鉄である。この追加は、85年までの産業連関表と90年基本表との間の鉄鋼部門の分割の差に起因している。90年基本表では、近年のリサイクル意識の高まりを受けて鉄鋼部門における粗鋼部門が転炉鋼と電炉鋼の2部門（以下、二つを合わせて粗鋼部門と呼ぶこともある）に分割された。転炉鋼部門での原燃料による投入炭素量から発生副産物に含まれる炭素量を引いた CO_2 収支は、この部門分割によりマイナスとなり不都合である。よって、鉄鉄部門では転炉鋼部門に産出される鉄鉄に含まれる炭素量を差し引き、転炉鋼部門では鉄鉄に含まれる炭素分を加える処理を行っている。

6. 3 家計の消費支出に伴う CO_2 排出構造の推移

6.3.1 排出量の経時的推移

先述した3種類の産業連関表を用いて、1975年から90年までの家計の消費支出に伴う CO_2 排出量（以下、家計消費 CO_2 量と呼ぶ）を求め、90年基本表の統合大分類⁸⁾（32部門）に従って部門別

排出量を示したものが図6-1である。図6-1にはさらに、家計消費支出における直接のエネルギー消費をガソリン、都市ガス、その他のエネルギー消費（具体的には、灯油や軽油やLPG等）の3分類に分けて示してある。図6-1に示す35分類では食品加工業への支出による排出が最大であり、CO₂排出量はこの間約22Mt-Cでほぼ一定であった。しかし、家計消費CO₂量に占める食品加工業の比率は、1975年の17.3%から90年には14.4%まで減少している。

つぎに排出量が多いのは電力・ガス・熱供給部門であるが、そのほとんどは家庭での電力消費に起因するものである。この部門からの排出は増加傾向にあり、1975年には家計消費CO₂量の11%であったものが90年には14%と、排出第一位の食品加工業と肩を並べるまでになった。

さらに、家計におけるガソリンや都市ガス等、化石燃料の直接燃焼に伴うCO₂排出量は、1975年から一貫して増加している。ガソリンは、1975年に9.7Mt-CであったCO₂排出が90年には15.6Mt-Cまで増加し、年率4.1%の割合で伸びている。都市ガスは、1975年の2.6Mt-Cが90年には4.8Mt-Cにほぼ倍増し、年率に直すと5.8%の高い伸び率を示す。

また、対個人サービスおよび運輸、輸送機械、電気機械の各部門への支出に伴うCO₂排出が1985年から90年にかけて急増している。対個人サービス部門については、家計でのガソリン消費に匹敵する排出量であり、また近年排出量が急増しており、この部門のCO₂排出構造を詳細に検討することはCO₂抑制対策を考えるとき、非常に重要である。さらに、輸送機械部門は1985年に比べて90年の排出量が1.8倍、2.6Mt-Cの急増であった。この排出増のほとんどは、この間に車の大型化が進み、

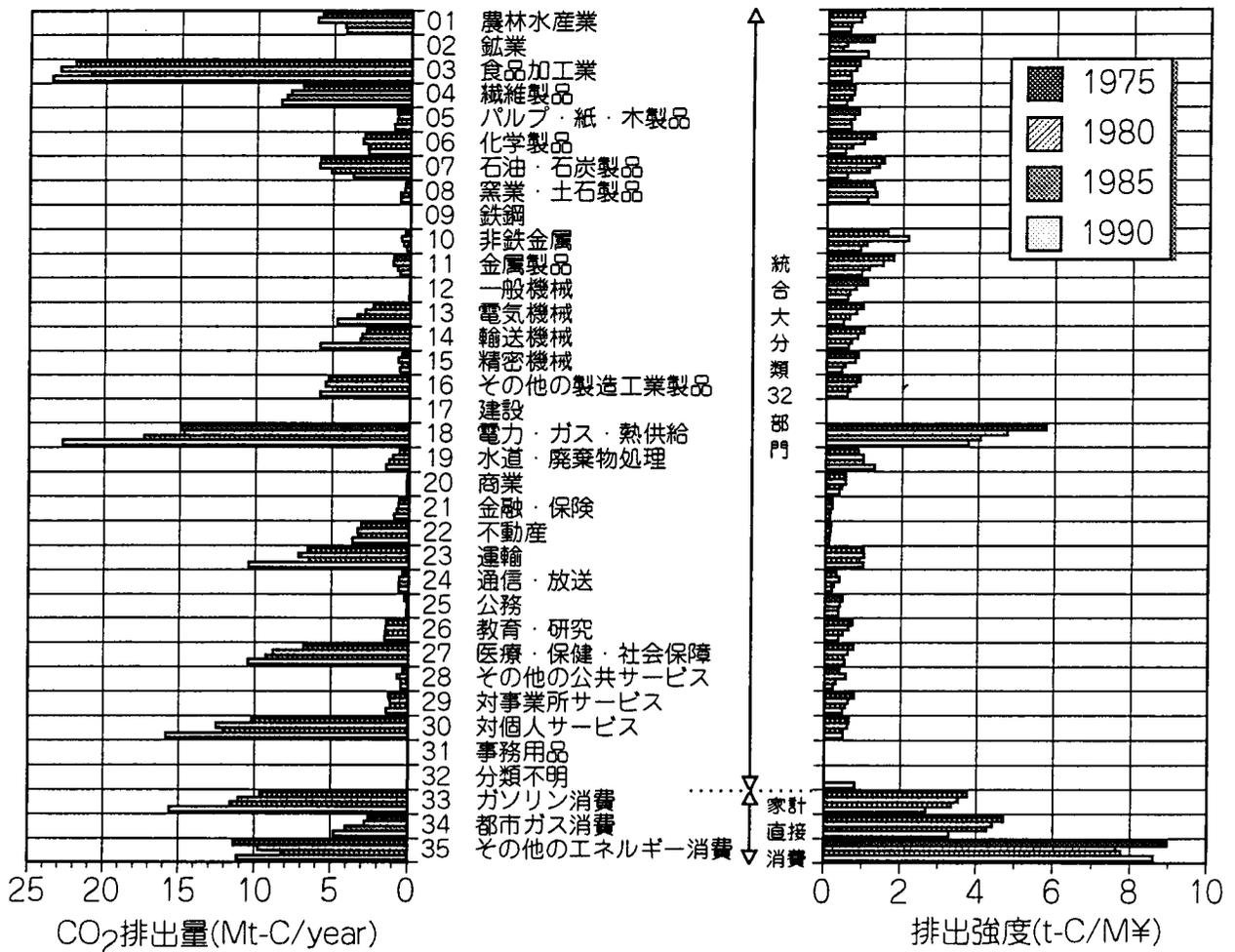


図6-1 家計の消費支出における部門別CO₂排出量と排出強度

燃費が悪化した乗用車部門への支出によるものであり、支出額も1.8倍に増加している。この乗用車部門は運輸における輸送手段の一つとして、また家計での自家用車としてガソリン等の消費に直接関係するため、CO₂抑制対策では重要な部門に位置づけられる。なお、1986年の乗用車の平均重量を100としたとき89年は107.8¹⁾であり、一台当たりの平均単価は85年を100とすると90年は110.2に上昇している。また、新車の平均燃費は1リットル当たり1985年の12.4kmが90年には11.5km¹²⁾へと悪化している。

図6-1の35分類をエネルギーに關係する部門、サービスに關係する部門、その他の部門の3分類に再集計したものを図6-2に示す。エネルギー關係の部門は1975年から90年にかけて家計消費CO₂量に占める構成比率は

35→32→34→35%でほとんど変化がないが、サービス關係の部門は1975年の25%が80年に28%に伸び、さらに90年には29%に微増した。一方、その他の部門の構成比率は1975年の40%から90年には36%にまで減少した。家計消費CO₂量は1975年から85年まで約130Mt-Cでほぼ一定、85年から90年にかけて約30Mt-C増加したことと考えあわせると、構成比率の伸び以上にサービス關係の部門の排出が増加したことが明らかである。

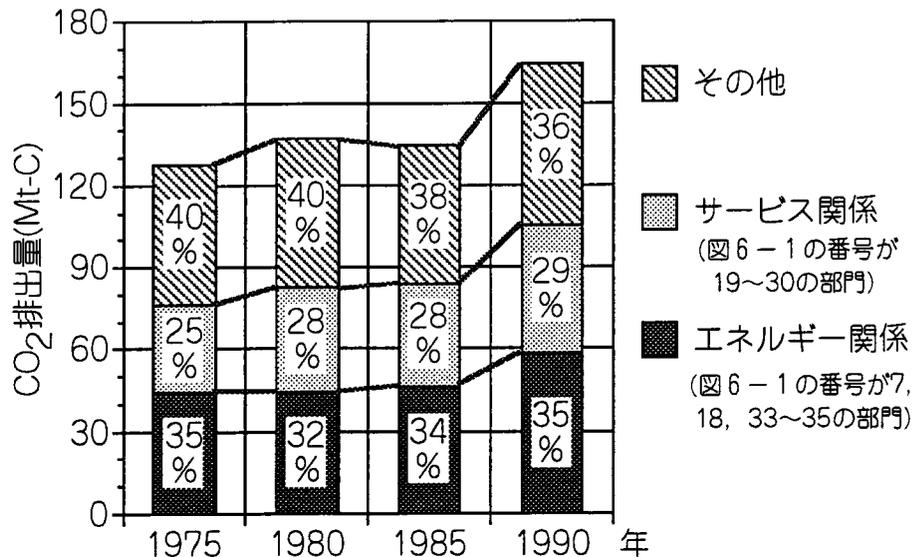


図6-2 エネルギー関係、サービス関係およびその他の3部門で見た構成比率の推移

6.3.2 1975年と90年におけるCO₂排出構造図の比較

1975年と90年における家計消費CO₂量の排出の構造を図6-3に、産業連関表の分類を17に統合した分類に従って示す。縦軸が1985年価格基準の各年における分類別の一世帯当たりの家計の支出額、横軸は1万円当たりのCO₂排出強度であり、掛け合わせた長方形の面積がCO₂排出量を表す。また、図6-3における分類名の位置は1975年と90年の2時点を比べたときに排出量の多い時点を示し、排出量の変動の大きな分類については、1975年に対する変動量およびその変動率をも示した。図6-3より、1975年に比べて90年の排出量が増えたのは、電力、ガソリン、車両、交通・輸送サービス、外食・遊戯場をはじめとする11部門であり、排出量が減少したのは食料品、衣服などの6部門であることが分かる。

1975年から90年の15年間に、一世帯当たりの平均人数は3.48から3.04¹²⁾へと減少し、かつほとんどの部門で排出強度は減少している。それにもかかわらず、一家計当たりの支出の総額が397万円から575万円へと約1.4倍に増えたため、結果としてCO₂排出量が増加した。

なお、家計の消費支出における平均の排出強度は、1985年の実質価格100万円当たり1975年の1.00t-Cが90年には0.68t-Cとなり、この15年間に32%減少している。一方、各時点における名目

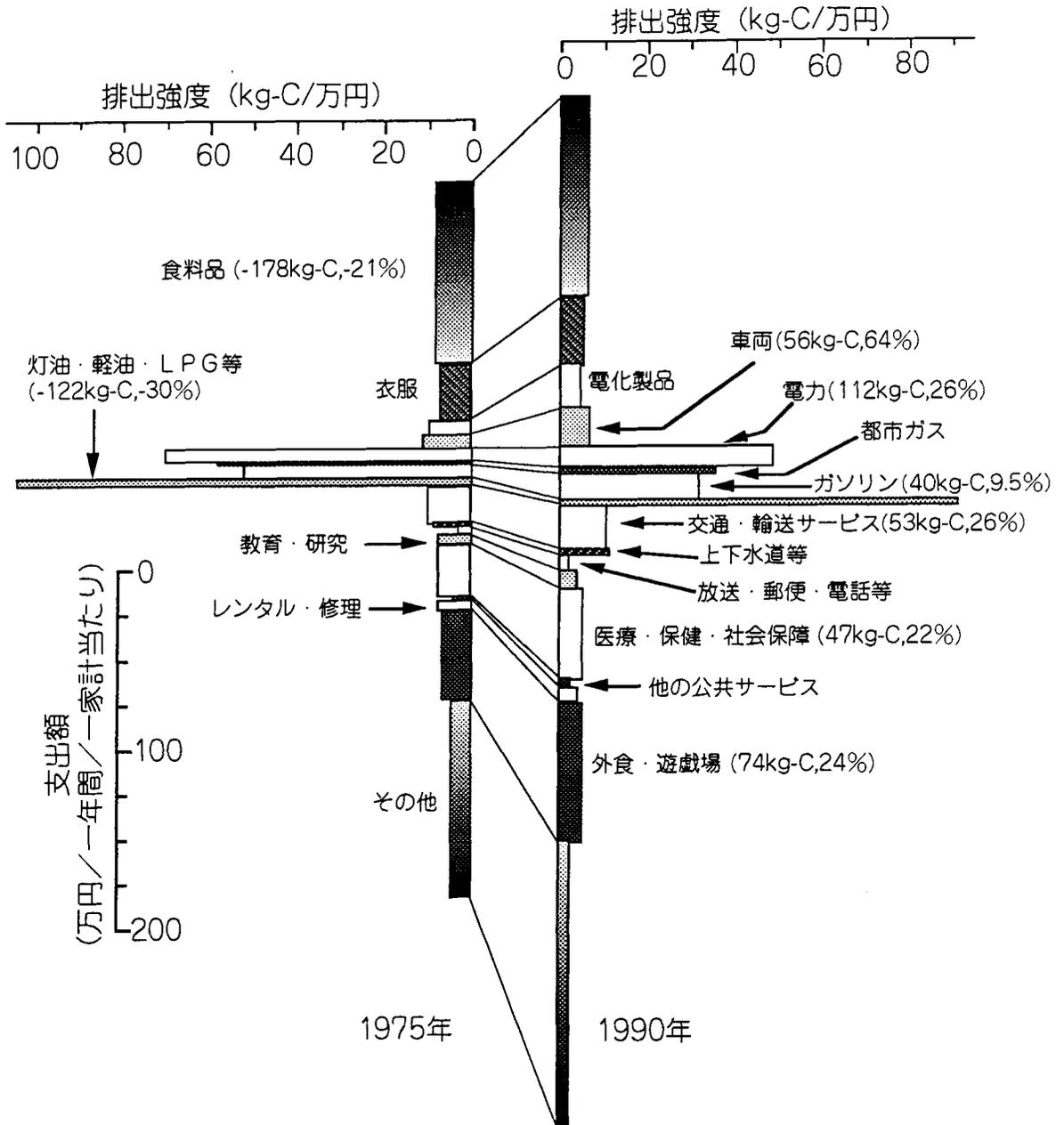


図 6-3 1975年と90年における一家計当たりの支出額とCO₂排出量
(分類名の位置は2時点を比べたときにCO₂排出量の多い時点を示す)

価格基準では、1975年の100万円当たり1.50t-Cが、90年には0.67t-Cまで約55%低下した。

6.3.3 4時点における単位当たりCO₂排出量の比較

家計消費CO₂量を一世帯一年間当たりの量および一人一日当たりのCO₂排出量として図6-4に示した。図6-4には世帯数と世帯員数の推移、さらにエネルギー起源CO₂量を一世帯一年間当たりに直して示した。

家計消費CO₂量は、一年間一世帯当たりでは1985年に3.5t-Cに減少したが、それ以外の時点では約4.0t-Cでほぼ一定であり、この15年間一世帯当たりのCO₂排出量は増えてはいない。しかしながら、これを一年間一人当たり直すと、世帯員数の減少によって1975年から85年の間の約1.1t-

Cが90年には1.3t-Cに増えた。さらに一日一人当たり直せば、3.1kg-Cから3.6kg-Cへと約17%の増加となる。すなわち、一人当たりではCO₂をより排出する構造となっている。

1985年と90年との間で一人一日当たりのCO₂排出量の増加の多い部門を17分類で見ると、量的には電力、交通・輸送サービス、外食・遊戯場、ガソリン、車両等の部門であり、排出の伸び率では、車両の約78%増を筆頭に、交通・輸送サービスの約58%増、電化製品の約35%増、電力の約32%増と続いている。

ここで、輸入品に伴うCO₂排出の影響を見るために、輸入品を考慮する場合の家計消費CO₂量に対する考慮しない場合のCO₂量の比を求める。1975年から90年にかけての推移は、0.85→0.83→0.86→0.87であり、輸入品に伴う排出を考慮しない場合、10数%ほど家計消費CO₂量を過小評価することになる。また、ここでの結果は、輸入品の生産に伴うCO₂排出量を国内で生産されたものと同等とするの仮定に基づいている。日本は世界でももっとも省エネの進んだ国の一つであることから、実際に国外で排出されているCO₂量はさらに多いことが予想され、それを求めた研究³⁾もある。近年の輸入量の増加の状況を考えるとき、国内でのCO₂排出量のみによる分析結果にもとづいてCO₂抑制対策の評価を行えば、誤った対策を導入する可能性もある。このように、貿易に伴うCO₂量の取り扱いには注意が必要である。

6. 4 部門別に見たCO₂排出量の推移

ここでは、6.3.1項においてCO₂排出量が多く、しかも排出の伸びの大きなことを示した、家計での直接エネルギー消費、食品加工業、運輸および対個人サービスの4部門について、その原因を把握するため内訳を求めた結果について述べる。なお、食品加工業については、6.3.1項での農林水産業のうち農業サービス(獣医業等)を除いたものを食品加工業に加えた食料品部門として内訳を求めている。また、6.3.2項および6.3.3項では排出量を一世帯当たりまたは一人当たりで計算していたが、これからは部門計で見ると。

6.4.1 直接エネルギー消費による排出量の推移

家計の消費支出における直接のエネルギー消費に伴うCO₂排出量の推移を図6-5に示す。なお、ここでのエネルギー種別CO₂排出量には、エネルギー種の燃焼による直接排出CO₂量と、そのエネルギー種の採掘・輸送や精製等における間接CO₂排出をも含めており、6.3.1項での部門別排出量とは

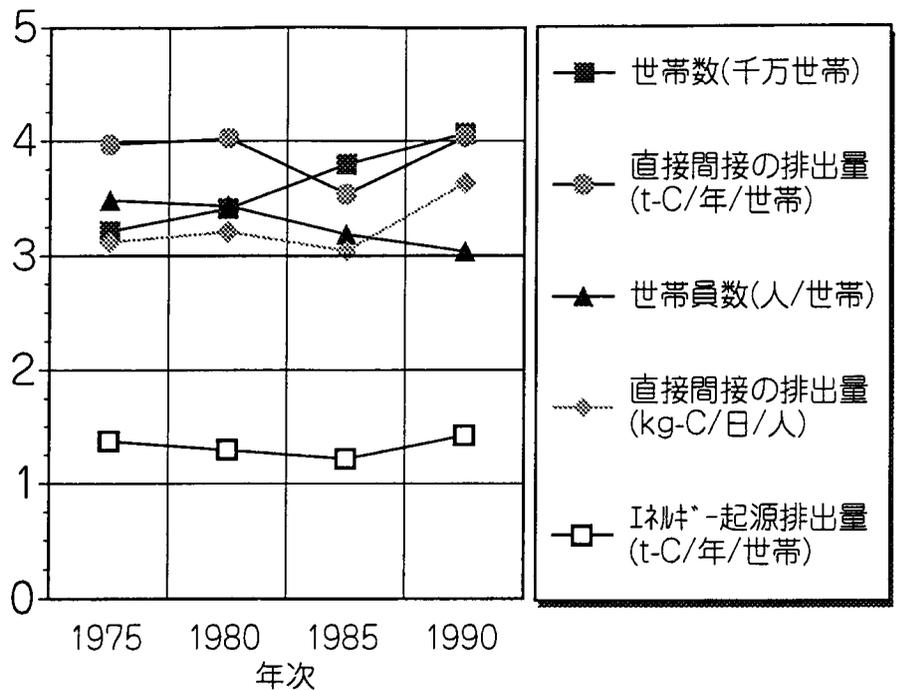


図6-4 世帯数と世帯員数および単位当たりCO₂排出量の推移

若干部門の意味が異なっていることに注意が必要である。すなわち、ガソリンの消費に伴うCO₂排出を例にとると、6.3.1項では燃焼時における直接CO₂排出量のみを指し、採掘・精製に伴う間接CO₂排出量は石油・石炭製品部門に計上されていたが、ここではその直接・間接の両方をも含んでいる。

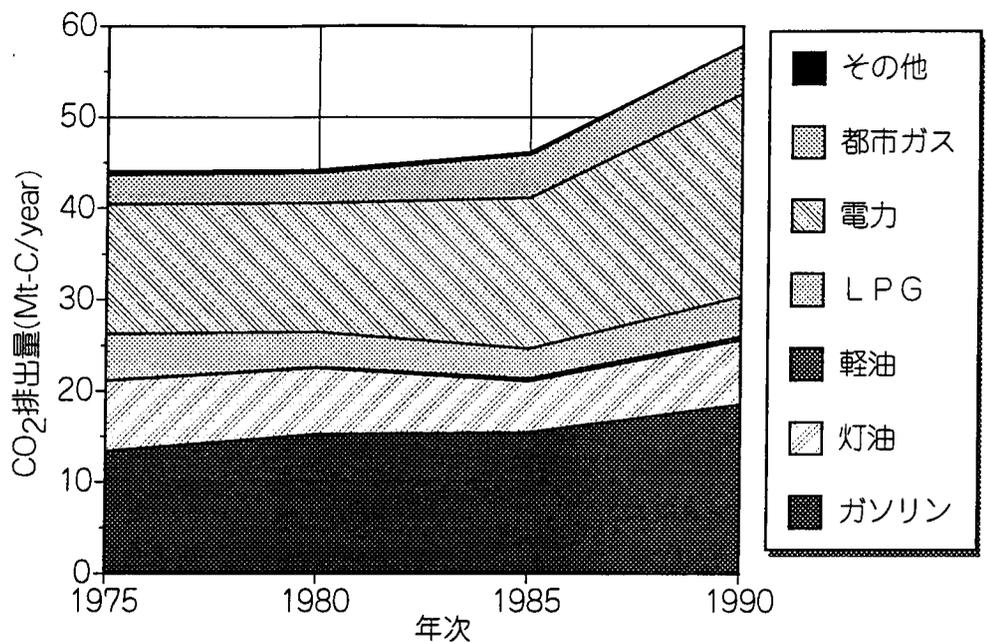


図6-5 家計の消費支出におけるエネルギー種別CO₂排出量の推移

図6-5より、直接

エネルギー消費に伴うCO₂排出量は、1975年から85年の約44Mt-Cから90年には57.9Mt-Cにまで増加したことがわかる。その内訳は、灯油やLPGの消費に伴うCO₂排出がほぼ一定であるのに対して、ガソリンや電力の消費によるCO₂排出が大きく増加している。

家計における電力の電力量ベースの実消費量は1975年から90年の間に2.1倍¹²⁾(支出額では2.3倍)に増加しているにもかかわらず、実消費量の伸びほどにはCO₂排出量が伸びなかったのは、原子力や天然ガス火力のシェアの増加によりCO₂排出強度が約31%低下したためである。

都市ガスについても同様で、都市ガス製造原料を石炭や石油を原料とする製造ガスから天然ガスへ転換することによりカロリーベース実消費量が1.7倍¹²⁾(支出額では2.7倍)増に対して、排出強度が約38%低下したため、排出の伸びが抑えられている。

今後、原子力発電所の新規建設や炭素含有量の低い化石燃料の利用による排出強度の大幅な低下は望みにくく、消費量自体の抑制が温暖化対策としては重要である。太陽光発電等の太陽エネルギーの積極的な利用という対策も考えられようが、いかにしてエネルギーの消費量を減らすかを真剣に検討すべき時期に来ていると思われる。

6.4.2 食料品部門における排出の内訳

食料品部門をより詳細に見たものが、図6-6である。食料品部門のうち、肉及び加工品、冷凍魚介類、清涼飲料の各製品は、近年CO₂排出が増加しつつあり、1990年には75年の排出量の約2倍に増えた。肉及び加工品では、4.1倍の支出額の伸びに対して、排出強度がほぼ半減したため、排出量の増加が1.7倍に抑えられた。冷凍魚介類では、1975年には野菜や米、酒類の製品と同程度の排出量であったが、90年に3.8Mt-Cの排出量となり食料品部門におけるCO₂排出の第一位となった。清涼飲料では、排出強度はやや減少したが家計の支出額が2.3倍に伸びたため、CO₂排出量も2.3倍に増加した。

日本人の主食とされている米は、CO₂排出量が1975年から一貫して減少している。これは、この間の支出額がほぼ一定であったのに対して、排出強度が30%低下したことによる。なお、米の生産量はこの15年間に約100万トン減少している。1975年に比べて90年の支出額が約1.5倍に増加して

いるパン・菓子類では、排出強度の約25%の低下により、CO₂排出量がこの15年間それほど変化していない。図6-6からは、日本人の食生活の変化によるCO₂排出量の推移を読みとることができる。

食料品部門の多くの製品では、個々の製品の排出強度の低下によるCO₂排出削減効果を、家計の支出額の増加が上回っているために、CO₂排出量がむしろ増加している。

6.4.3 運輸部門における部門別排出量の推移

運輸部門における輸送手段別のCO₂排出量の推移を図6-7に示す。さらに、家計における自家用車の利用によるガソリン消費からのCO₂排出量も併せて示した。運輸部門のすべての輸送手段によるCO₂排出量を足し合わせたとしても、家計でのガソリン消費に伴うCO₂排出の約半分にはしかない。自家用車のガソリン消費によるCO₂排出がいかに多いかということが自明であろう。このことから例えば、公共交通機関の利用等により自家用車の使用を抑制する方が他の輸送手段からのCO₂排出を抑えるより、対策が容易で効果が大きいと言える。

輸送手段別に排出量の推移を見ると、そのほとんどが沿海・内水面輸送である海上輸送は0.9Mt-Cから0.5Mt-Cへと半減した。

一方、航空輸送は1975年の1.1Mt-Cから90年には4.3Mt-Cまで急増し、鉄道輸送を抜いて運輸部門におけるCO₂排出の第一位となった。陸上での輸送について、鉄道輸送は1975年から80年にかけて0.5Mt-C増加したが80年以降は減少傾向にある。バスは1975年から90年の間約1.1Mt-Cの排出量でほぼ一定である。ハイヤー・タクシーについては、1975年から85年にかけては減少傾向が見られた

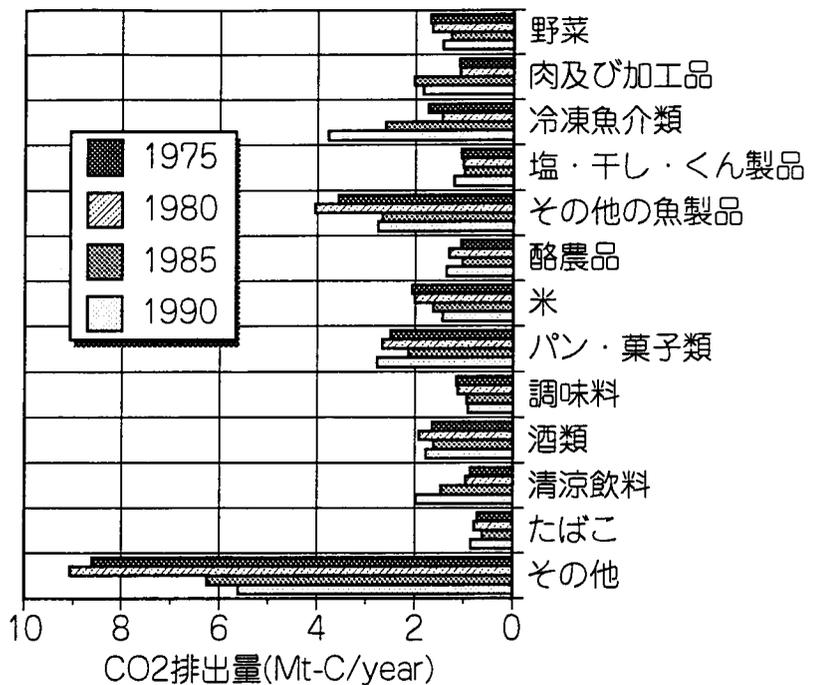


図6-6 食料品部門におけるCO₂排出量の部門別推移

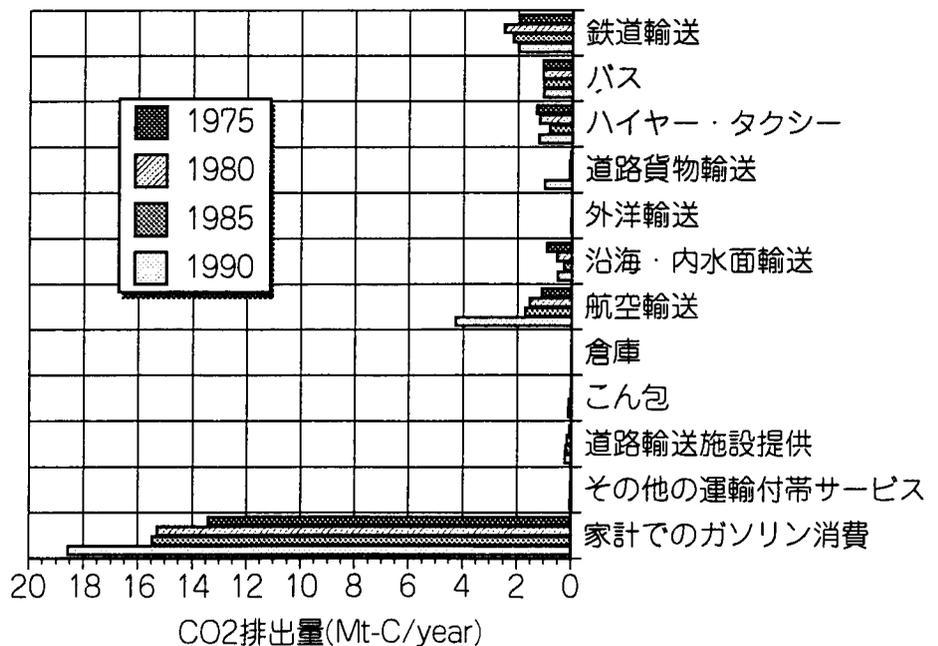


図6-7 運輸部門における部門別CO₂排出量の推移

が、85年から90年にかけて排出量が増加し、75年ないし80年の約1.2Mt-Cという排出レベルに戻った。

道路貨物輸送への支出に伴うCO₂排出量について、1975年から85年までの約0.1Mt-Cが90年には1.0Mt-Cの排出量に増加した。1985年から90年にかけての排出量の増加は、量的には約0.9Mt-Cであるが前時点に対する伸びでは10倍以上である。この理由について考察する。この輸送手段には、近年利用が急増している宅配便の利用に伴うCO₂排出が計上されている。1985年の宅配便取り扱い個数を文献¹³⁾で調べると、約5億個である。宅配便の利用によるCO₂排出を計算するために、単価を1000円と仮定して道路貨物輸送の排出強度を適用した結果、約0.55Mt-Cとなった。この量と図6-7の1985年の道路貨物輸送の量を比べると、この量が約6倍大きい。つまり、1985年までの産業連関表では道路貨物輸送への家計の支出額が、宅配便の取り扱い個数から推定される額よりもかなり小さく、正しく取り扱われていなかったと推定される。一方、このことは90年基本表では正しく取り扱われている。このように産業連関表のみを使って分析を行う場合には、上に示した宅配便のようなケースもありうるため、他の業種別統計などを併用し、注意深く分析を行う必要がある。

6.4.4 対個人サービス部門における排出の推移

部門別にCO₂排出量の推移を示した6.3.1項の図6-1より、1985年から90年にかけて対個人サービス部門への支出に伴うCO₂排出が急増したことが見いだされる。その詳細を85年基本表の408部門分類別に示したものが図6-8である。

対個人サービス部門では一般飲食店（除喫茶店）の利用に伴うCO₂排出が部門内で最大で、部門全体の約3割を占めている。つぎにCO₂排出が多いサービスは1980年までは旅館・その他の宿泊所であったが、遊戯場が旅館・その他の宿泊所を85年に抜き、さらに90年には一般飲食店（除喫茶店）にも迫ろうとしている。この遊戯場（具体的にはパチンコ産業が主である）への支出に伴い排出されるCO₂量は、1980年から85年の5年間に約1.1Mt-C増加し、80年に比べて倍増した。さらに、85年から90年にかけても倍増するなど、他のサービスに比べて著しくCO₂排出量が増加している。この遊戯場サービスの対個人サービス部門における構成比率は、1975年には約1割に過ぎなかったが90年には26%を越えた。この遊戯場サービスのCO₂排出は、電力消費によるものがその約44%を占めることが排出強度の構造から分かる。さらに、石油や石炭等の消費を加えたエネルギー消費に起

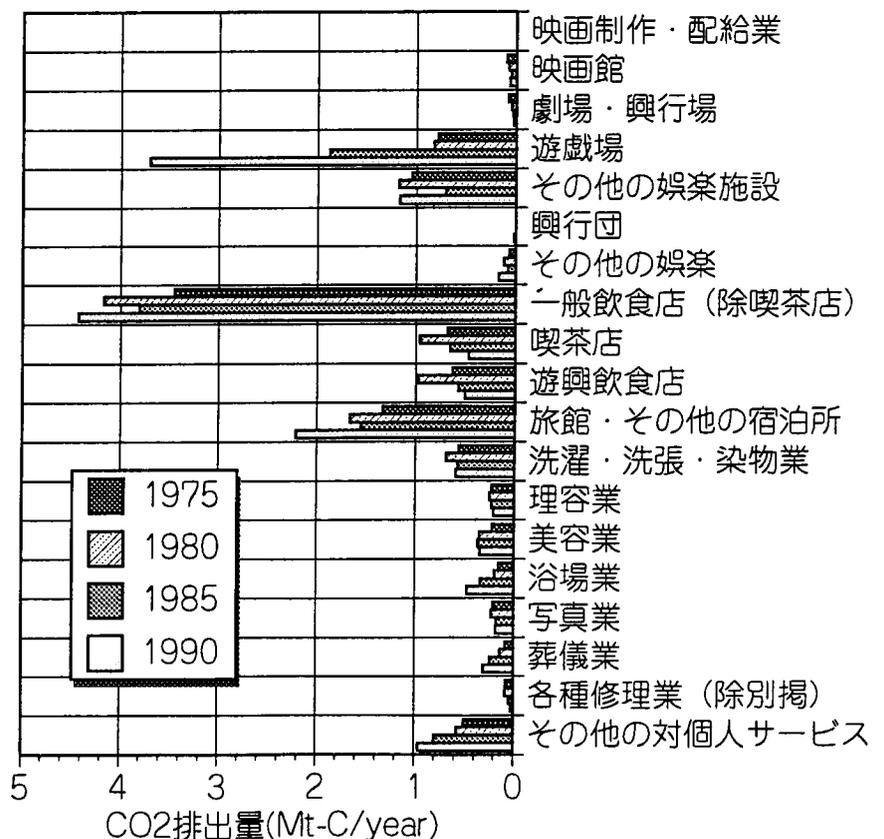


図6-8 対個人サービス部門における部門別CO₂排出量

因するCO₂排出は、遊戯場サービスに伴うCO₂排出のほぼ半分を占めている。

また、6.3節でも述べたが、外食、特に一般飲食店（除喫茶店）や旅館・その他の宿泊所の利用からのCO₂排出も増加の傾向が見られる。さらに、これらのサービスに分類されない対個人サービスへの支出に伴うCO₂排出が1990年に1 Mt-C程度あり、75年以来増加傾向にあることにも注意しておく必要がある。

6. 5 結言

本章では、家計部門におけるCO₂排出構造を詳細に分析するために、国産品の生産による排出のみならず、輸入品の生産に伴う国外における排出をも考慮したできるだけ細かな部門分類による購入者価格での産業連関分析を行った。さらに、ライフスタイルの変化による排出構造の推移について検討するため、複数時点の分析を行い、

- (1) 家計の消費支出に伴って排出されたCO₂量は全体量としてもまた一人当たりの量としても1975年から85年まではほぼ一定であったが、85年から90年にかけて急増したこと、
- (2) 1985年から90年にかけての排出量の急増を引き起こしたのは、電力やガソリンの消費、遊戯場の利用、航空機の利用、乗用車の購入等であること、
- (3) この家計の消費支出に伴うCO₂排出量のうち、輸入品に伴うCO₂量は10数%を占めるが、近年それによるCO₂排出が増加しており、これを無視するならば温暖化対策に関して誤った結論を導く可能性があること、

等を明らかにした。

つぎに、分析する過程において明らかとなった産業連関表の問題点として、道路貨物輸送に含められるべき宅配便の利用に伴うCO₂排出量が、1985年までの産業連関表では正しく取り扱われていなかったが、90年の産業連関表では正しく取り扱われるようになったことを示した。

また、1990年の分析においてはCO₂排出源として銑鉄および生石灰・消石灰の生産のために消費される石灰石を追加し、産業連関表を用いたCO₂排出構造分析の精度を高めた。この石灰石の消費による追加CO₂排出量は約2 Mt-Cで、90年の国内排出量の約0.7%に相当する。

家計での消費行動によって直接間接に誘発されるCO₂の排出を抑えるためには、上に述べたこれらへの支出を抑えることが必要になる。そのために個人が行うことができる具体的な方法としては、ライフスタイルの変更が挙げられる。そしてそれを実行するためには、個人の行動により直接間接にどれだけのCO₂排出を誘発しているかを認識することがまず第一である。今後、そのための情報の提示や環境に対する認識を高める教育が必要であろう。

今後の課題としては、家計の消費支出に伴うCO₂排出の増加の原因について、産業連関分析における構造分析手法の利用による要因分析、家電製品等の保有状況との関連による分析、また、単位物量当たりの排出強度の導出による各種製品の省エネルギーやCO₂低排出化の分析、さらに、家庭への効率的な電化製品や住宅の導入によるCO₂排出削減効果の分析等が挙げられる。また、今回の分析においては輸入品の生産に伴うCO₂排出を国内で生産されたものとして推計を行っているが、これを製品輸出国のエネルギー消費構造、CO₂排出構造を反映したものとすることで、より正確なCO₂排出実態を明らかにすることができよう。

参考文献

- 1) 森口祐一、近藤美則、清水 浩：わが国の部門別・起源別CO₂排出量の推計、エネルギー・資

- 源, 第14巻, 第1号, 32/41, 1993.
- 2) 近藤美則, 森口祐一, 清水 浩: 産業連関表によるCO₂排出構造の経時的分析と分析における部門数別誤差の解析エネルギー・資源, 第15巻, 第2号, 77/85, 1994.
 - 3) 近藤美則, 森口祐一, 清水 浩: わが国の輸出入に伴うCO₂排出量の経時分析とその国際間CO₂収支分析への応用, 第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 231/236, 1994.
 - 4) 近藤美則, 森口祐一, 清水 浩: 家計消費支出によるCO₂排出構造の一推計, 環境科学会1992年会講演概要集, 3D02, 183, 1992.
 - 5) 吉岡完治, 早見 均, 池田明由, 菅 幹雄: 環境分析用産業連関表の応用(2) - 環境家計簿作成のためのCO₂排出点数表 -, イノベーション&I-Oテクニク, 第4巻, 第1号, 37/57, 1993.
 - 6) 総務庁編: 昭和60年産業連関表計数編(1), 1989.
 - 7) 総務庁編: 昭和50-55-60年接続産業連関表計数編(1), 1990.
 - 8) 総務庁編: 平成2(1990)年産業連関表計数編(1), 1994.
 - 9) 通商産業大臣官房調査統計部編: 1990年産業連関表(延長表), 1993.
 - 10) 化学工業日報社: 11892の化学商品, 1992.
 - 11) 新聞記事: 1991.1.28(月)付け日経産業新聞, 1991.
 - 12) 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編: '93年版エネルギー・経済統計要覧, 1993.
 - 13) 運輸省貨物物流局監修: 数字で見る物流1991年版, 54/55, 1991.

第7章 自動車のライフサイクル分析

7.1 緒言

本章では、地球温暖化問題に対する対策を明らかにするために産業連関分析が有効であること、さらに、ライフサイクルアセスメント(LCA)の手法を利用することで、より総合的な対策の探索および評価が可能であること等を明らかにする。

LCAの対象としては自動車を考え、環境への負荷としては主としてCO₂をとった。なお、本章の7.3.5項においては、環境負荷としてCO₂以外にもCH₄、N₂O等の温室効果ガスを取り、自動車に対するより総合的なLCAを行っている。

自動車は大量に生産・売買されている単一の製品としては、最大の耐久消費財である。そのため、自動車に関連する環境負荷の発生量が社会全体において大きな割合を占めていることは疑問の余地がないであろう。車輻は鉄鋼、アルミニウムなどの非鉄金属、ガラス、プラスチック、ゴムなどさまざまな材料からなる膨大な数の部品から構成されており、その生産段階には多くの業種が関係している。また、使用段階では化石燃料を消費し、排出ガスとしてさまざまな環境負荷を排出する。さらに、廃棄段階ではリサイクルされるものや埋め立て処分されるものを含んでいる。このように、原材料生産から廃棄に至るまでの各段階でさまざまな種類の環境負荷の発生と関係しており、自動車はLCAの手法開発のための研究対象として興味深い内容を多く含んでいる。

自動車に関連するLCA研究の事例にはいくつかのタイプのものがあるが、車輻の構成材料に着目したものが多い。ボルボ社がEPS(Environment Priority Strategies for product design)とよばれる手法をバンパーの材料選択に適用した事例¹⁾は、日本でもよく紹介されている。EPSは、さまざまな環境負荷の相対的な重み付けにより最終的に環境負荷を一つの指標で表すところまで行っており、LCAとして一応完結したものといえる。このほか、車輻の主要構成材料である鉄鋼を樹脂等で代替し、軽量化を図った場合のライフサイクルエネルギー消費量の低減効果の推定事例²⁾などがある。

わが国では、主にエネルギー消費量やCO₂排出量に着目した分析がいくつか行われてきた。現在のガソリン車やディーゼル車と、電気自動車、メタノール車、CNG車等の代替自動車との間で³⁾、あるいは自動車と鉄道など他の輸送機関との間で⁴⁾、環境への負荷の大きさを比較することをねらいとした研究もみられる。

一方、ライフサイクルCO₂排出量ではないが、これまで自動車を対象として二つ以上のライフステージをも考慮した分析は、宮下⁵⁾、沼澤⁶⁾のライフサイクルエネルギーに見られる。沼澤⁶⁾の結果をもとにして、内燃機関自動車と電気自動車との走行時のCO₂排出を比較した蓮池⁷⁾、エネルギー問題と地球温暖化問題との係わりから、自動車単体の燃費向上技術や代替エネルギーおよび新動力源について検討した伊藤⁸⁾、金⁹⁾、竹辺¹⁰⁾や輸送部門としての自動車と環境問題とについて検討した湊¹¹⁾、¹²⁾もある。自動車のライフステージを考慮したCO₂排出量分析を行う必要性は竹辺¹⁰⁾も述べているが、自動車を対象としてそのライフサイクルにおけるCO₂排出はこれまで実際には求められていなかった。

一般に、自動車の走行時のCO₂排出はその燃料の消費量に燃料の炭素含有率を乗じることで簡単に求められる。しかし、自動車の製造に使われる各種の素材の製造時や、修理・維持、廃棄などの各ライフステージにおけるCO₂排出量を求めることはそれほど単純ではない。素材製造についてみれば、エネルギーの場合にも当てはまるが、一つの工程で2種以上の素材が生産される場合のCO₂排出量の配分法や素材生産時の燃料消費のCO₂排出の範囲等の問題のそれぞれに対して、妥当な仮定

をいくつか置きながら分析を行う必要がある。

このようなことから、本章の第2節では、以降の分析で考慮する自動車のライフサイクルを設定し、分析の第一段として素材製造および車輛生産そして走行時を対象としたライフサイクルCO₂排出量を求める方法と結果について述べる^{13) - 15)}。第3節では、自動車のライフサイクルとして自動車の維持・管理、修理、廃棄のライフステージ、走行に必要な道路等のインフラ¹⁶⁾、さらに、温暖化の観点からCO₂以外のCH₄、N₂Oやフロンなどの温室効果ガスの排出にまで分析の枠組みを広げ¹⁷⁾、将来的には他の輸送機関とのLCA比較が可能な、より総合的な分析手法と結果について示す。第4節では、温暖化問題を解決するための自動車部門における対策として、現在の主流であるエンジン自動車から電気自動車への代替を行った場合のCO₂排出削減量および、その対策の有効性について述べる。

7. 2 自動車のライフサイクルCO₂排出量の分析

7.2.1 自動車のライフサイクルとして考慮する範囲

本研究では自動車の使用に関連して、エネルギーや資源を直接、間接に消費することによるCO₂排出を幅広く取り上げる。自動車自身のライフサイクルは一般の製品と同様に、材料生産→部品生産→組立→流通販売→使用・維持管理→廃棄、のようにとらえることができる。自動車に関連するエネルギー消費のうち最大のものが使用時の走行用燃料であることは容易に推察できる。日本では自動車用のガソリン、軽油、LPGが石油製品の全消費量に占める割合は約30%にもものぼることから、その精製や輸送のためのエネルギー消費も考慮する必要がある。一方、自動車の使用には、自動車自身に加えて道路というインフラストラクチャが不可欠であり、道路に関してもライフサイクルの見方から、建設、維持管理等に要するエネルギー消費を視野に入れなければならない。そこで本研究では、自動車の生産・維持管理、走行用の燃料の供給と消費、道路の建設・維持管理の3つに大別して分析する。分析の視野に入れる主な項目は図7-2-1に示すとおりである。

本節では、その中でも素材の生産および部品の加工組立という新車生産段階および走行段階におけるCO₂排出量を求める。これを求めることによってさえも、簡単な温暖化対策の評価が可能である。すなわち、自動車に係わるCO₂排出を抑えるためには、車輛の生産からの排出を抑えるのか、それとも燃費向上により走行時の排出を抑えるのかという対策を取るべきライフステージの特定、また、新車生産時のCO₂排出は増えるが走行時のCO₂排出は少ない車輛と、新車生産時の排出は少ないが燃費が悪いため走行時の排出は多い車輛とをライフサイクルCO₂排出量を指標として比べ、どちらが温暖化対策としてふさわしいか等の評価を行うことができる。

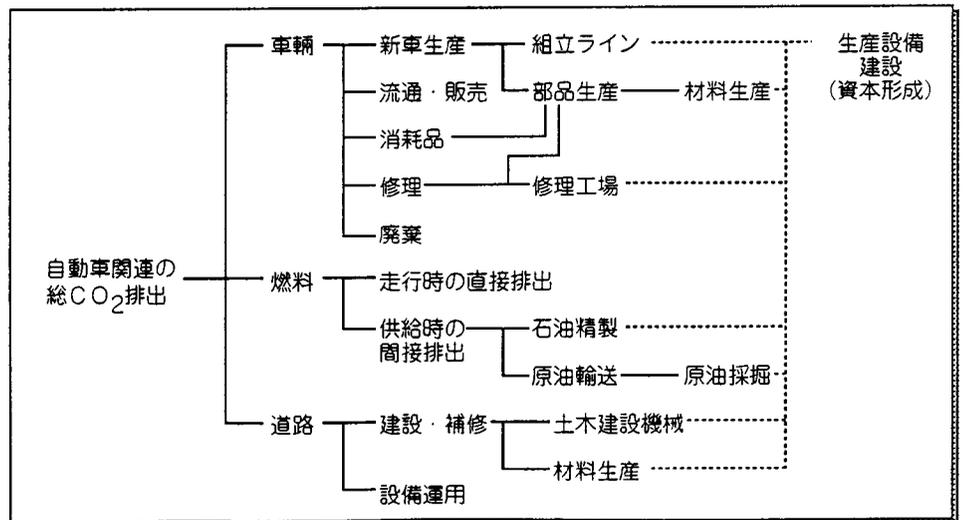


図7-2-1 自動車のライフサイクル分析でとらえる主な項目

7.2.2 素材のCO₂排出強度の推計方法

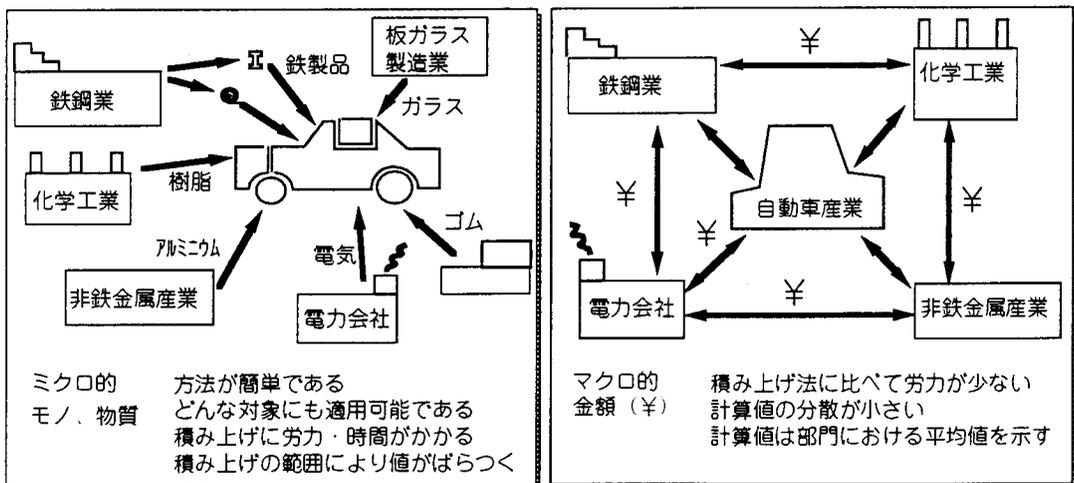
CO₂排出強度の推計を行うに当たり、図7-2-2に示す二つの方法を適用した。積み上げ法とは、ある製品をその構成要素に分解し、それぞれの製造プロセスごとにCO₂排出量を推計し、それを加算する方法である。一方、産業連関分析法とは、ある年の経済構造を表す産業連関表を用いて、ある製品の製造部門への他の部門からの財の投入額の流れからその原単位を推計する方法である。これらの二つの方法にはそれぞれ長所短所がある。積み上げ法ではデータさえあればどんな対象にも適用できる反面、その積み上げにかかる労力は相当な量になる。さらにどこまでそのプロセスを含めるかにより、積み上げた値が大きくばらつくという問題点がある。これに対して産業連関分析法では、積み上げ法に比べて労力は少なく、すべての部門について一度に解が得られ、得られた値の分散も小さい反面、その値はその部門における平均の値としての意味しか持たない¹⁸⁾。そこで本節においては基本的には積み上げ法により推計を行い、後に産業連関分析法を補助的に使用して整合性をとることとした。

7.2.3 素材生産に伴うCO₂排出強度の導出

自動車の素材として、主要な構成素材である鉄製品、最近軽量化のため消費量が増加傾向にあるアルミ製品、アルミ以外の非鉄金属、バンパーやダッシュボード等に使用される合成樹脂、タイヤ等のゴム製品、ガラス、その他非金属の7分類を考える。素材の単位重量当たりのCO₂排出量をCO₂排出強度と呼び、排出強度はアルミ以外の非鉄金属、その他非金属を除く5分類について推計した。以下、それらの推計手順を示す。なお、参考のため一部の素材についてはエネルギー密度についても示してあるが、その際電力は1次換算(2250kcal/kwh)とした。

(1) 鉄鋼製品のCO₂排出強度

昭和63年鉄鋼統計年報¹⁹⁾をもとに、銑鉄、粗鋼、鋳鋼品、鍛鋼品および圧延品等の鉄鋼製品についてCO₂排出強度の推計を行った。同年報には、製鉄業における原材料消費、燃料消費および製品生産量等が各工程毎、例えば高炉銑鉄、転炉製鋼等にまとめられている。これらの値にCO₂排出原単位を乗ずることにより各プロセスにおけるCO₂排出量を求め、更に生産量で除し排出強度の推計を行った。その結果を表7-2-1に示す。なお、自家発電分は燃料と電力の二重計算を防ぐために推計から除いた。また、排出強度の計算において、原料炭からコークスを製造する際のエネルギーの自家消費などコークス以前の燃料消費にまではさかのぼっていない。表7-2-1の原材料のうち、高炉以降の工程で原料として消費されるペレット、焼結鉱については輸入品が一部含まれるため、その排出強度



(a) 積み上げ法

(b) 産業連関分析法

図7-2-2 積み上げ法と産業連関分析法による分析の概念図

として国内産と同等とする、ゼロを与える、の二つの方法で求め、後の計算でもそれを考慮した。表7-2-1より、鉄製品に関しては輸入の影響は小さいと言える。

(2) アルミ製品のCO₂排出強度

アルミニウム製品のCO₂排出強度を推計するために、昭和61年資源統計年報²⁾および軽金属工業統計年報²⁾を用いた。最新(1990年)版では統計が簡略化され、原材料の消費が詳しくわからないため、古い年次のものを用いた。得られた結果は表7-2-2のとおりであり、ここでも自家発電量は二重計算を防ぐために除いている。表7-2-2において再生地金と圧延製品については輸入地金のCO₂排出強度を国内産と同等(左欄)及びゼロ(右欄)としたものを併せて示している。鉄の場合と違い、輸入地金への排出強度の与え方により、2~4倍の差がある。

(3) 石油化学工業製品のCO₂排出強度

a) 石油化学基礎製品の排出強度

石油化学製品はそれ自身が燃焼し、CO₂を排出するポテンシャルを持っているが、ここではそれを含まず、製造時に排出されるCO₂排出強度を求めた。

まず石油化学基礎製品であるエチレン、プロピレンの排出強度を求めた。エチレン、プロピレンは同じ工程で生産されるために消費エネルギーは分離されていない。そこで産業連関表物量表²⁾における石油化学基礎製品部門への燃料や電力の投入をエチレン、プロピレン、およびその他の製品の生産額の比に応じて配分し、各製品毎のエネルギー消費量とした。その量を製品(エチレン等)ごとの生産量で除し、エネルギー密度、CO₂排出強度を推計した。その結果、ナフサからエチレンを生産する為に消費したエネルギーは、エチレン1トン当たり3,000Mcalであり、CO₂排出強度で見ると230kg-Cとなった。また、石油化学基礎製品全体での排出強度は350kg-C/t(エネルギー密度では4,700Mcal/t)であった。よってこれ以降、この排出強度を石油化学基礎製品のCO₂排出強度(エネルギー密度)とすることにする。なお、この推計において原料ナフサの20%が副生ガスなどの形で燃料として消費されるものとし、精製されたナフサ以降のエネルギー消費のみが計算には含まれる。

b) 合成樹脂の排出強度

石油化学基礎製品から合成樹脂を生産するために排出されたCO₂の排出強度を、先の石油化学基礎製品における方法と同様にして求めると、90kg-C/t(1,300Mcal/t)となる。このうち汎用樹脂4種(低密度ポリエチレン、高密度ポリエチレン、ポリスチレン、ポリプロピレン)のCO₂排出強度は差があまりなく90kg-C/tであったが、塩化ビニル樹脂のみやや小さく60kg-C/tとなった。そこで合成樹脂の平均的なCO₂排出強度を先の石油化学基礎製品からの分も含めて、440kg-C/t(6,000Mcal/t)とした。

なお、この製品以降のプラスチック製品を製造する場合の強度も推計してみると、プラスチック製品統計年報²⁾より、この合成樹脂全てがプラスチック製品になるとして、その製造に220kg-C/t(4,200Mcal/t)の排出強度が必要となり、計660kg-C/t(10,200Mcal/t)という排出強度となった。

表7-2-1 鉄鋼各種部門製品のCO₂排出強度

	CO ₂ 排出強度 (kg-C/t)	
	輸入品=国産品	輸入品=0
ペレット	4 5	4 5
焼結鉱	8 5	8 5
高炉鉄	4 5 0	4 4 5
銑鉄平均	4 5 0	4 4 5
710701	9 1 5	9 1 5
転炉鋼	4 7 5	4 6 5
電炉鋼	7 0	7 0
粗鋼平均	3 5 5	3 5 0
鍛鋼品	3 8 5	3 8 5
鋳鋼品	3 0 5	3 0 5
圧延品	4 1 5	4 1 0

表7-2-2 再生アルミ地金と圧延製品におけるCO₂排出強度

	CO ₂ 排出強度 (kg-C/t)	
	輸入品=国産品	輸入品=0
再生地金	2 9 0	1 2 0
圧延製品	2, 4 1 0	5 7 0

c) ゴム製品の排出強度

ゴム製品の製造プロセスは、石油化学基礎製品より合成ゴムを製造し、その合成ゴムや天然ゴム、カーボンブラック等その他の材料を使ってゴム製品、例えば車のタイヤやチューブ等が生産されるというプロセスであるので、①石油化学基礎製品→合成ゴム、②合成ゴム→ゴム製品と2段階に分けて排出強度の推計を行った。①のプロセスでは合成ゴム1トン当たり390kg-C (5,400Mcal)、②のプロセスではゴム製品1トン当たり160kg-C (2,700Mcal) という排出強度が得られた。

ゴム製品統計年報²⁴⁾より、生産されたタイヤチューブ製品のうち、約1/4の成分が合成ゴムとすると、タイヤチューブ製品の排出強度 (kg-C/トン製品) およびエネルギー密度 (Mcal/トン製品) はつぎのように求まる。

$$\begin{aligned} & (350 (4,700) + 390 (5,400)) \times 1/4 + 160 (2,700) \\ & = 350 \text{ [kg-C/t]} \quad (5,300 \text{ [Mcal/t]}) \end{aligned}$$

(4) ガラスの排出強度

窯業・建材統計年報²⁵⁾をもとに、板ガラス1トン製造の為に必要な原材料及び燃料の消費を求め、CO₂排出強度を推計した結果を表7-2-3に示す。安全及び複層ガラスの排出強度およびエネルギー密度も併せて示す。

表7-2-3 ガラス製品のCO₂排出強度とエネルギー密度

	板ガラス	安全及び複層ガラス
CO ₂ 排出強度(kg-C/t)	290	480
エネルギー密度(Mcal/t)	3,900	7,600

7.2.4 車1台の生産に伴い排出されるCO₂量の推計と考察

自動車1台の生産に伴って排出されるCO₂量の推計を、自動車の組立により排出されるCO₂量と自動車の素材そのものの生産に伴って排出されるCO₂量の2つに分けて行う。

(1) 車1台の加工組立で排出されるCO₂量

1988年1年間に日本で生産された四輪車の総計は、自動車産業ハンドブック²⁶⁾より、特殊自動車、トレーラ、車体を除くと、12,699,807台であり、その内訳は乗用車が64.5%、トラックが35%、残りがバスであった。その生産の為に消費した化石燃料及び電力を石油等消費構造統計表²⁷⁾より求めると電力1次換算で5.83x10¹³ kcal、CO₂排出量では2.81Mt-Cであった。これより四輪車1台当りの平均的CO₂排出強度を求めると、221kg-C (4,590Mcal) となる。

(2) 車1台を構成する素材からのCO₂排出量

日本自動車工業会資料²⁸⁾による普通、小型乗用車における原材料構成比推移より、自動車1台当りの各構成材料の割合を表7-2-4の第2列のように設定した。自動車の平均車重を1トンと仮定し、平均的な自動車1台を構成する素材を生産する為に排出されたCO₂量を求めると、表7-2-4の第6列と

表7-2-4 自動車1台当りの原材料構成比およびエネルギー消費量とCO₂排出量

素材名	重量構成比 (%)	エネルギー密度 (Kcal/kg)	CO ₂ 排出強度 (g-c/kg)	エネルギー消費量 (Mcal/台)	CO ₂ 排出量 (kg-c/台)	構成比 (%)
鉄鉄	1.7	5,200	450	88	8	1.4
鋼	72.0	5,500	415	3,960	299	56.2
アルミニウム	4.9	38,000	2,405	1,877	118	22.2
その他非鉄金属	2.5	20,000	1,255	500	31	5.8
合成樹脂	7.5	6,000	440	450	33	6.2
ゴム	2.7	5,300	350	144	9	1.8
ガラス	3.0	3,900	290	117	9	1.7
その他非金属	5.7	6,000	440	342	25	4.7
総計	100.0	-	-	7,477	532	100.0

なる。鉄からもたらされるものが重量構成比の影響が大きく、車1台の約58%を占める。次がアルミからの約22%であり、重量構成比は少ないが、CO₂排出でみるとかなり大きな寄与を与えることがわかる。

(3) 車1台の生産に伴うCO₂排出量

ここまでの積み上げによる結果の単位をそろえ、自動車一台当たりの排出量を求める。(1)の自動車1台当たりの平均重量は約1.1トンと計算されたので、(2)で求めた車1台の車重を1.1倍して両者をまとめたものを、図7-2-3に示す。図7-2-3より、自動車1台当り810kg-CのCO₂を排出していることになる。

(4) 積み上げ法と産業連関分析法による結果の比較

前章までに行った産業連関分析法から乗用車部門の総排出強度を求めると、1985年においては百万円当たり716kg-Cである(図7-2-4)。その内訳は、鉄鋼業および発電部門からの排出が約30%ずつであり、輸送機械、運輸と続く。1985年の産業連関表における乗用車の平均価格は105万円であるので、1台当たりに直すと751kg-Cとなる。図7-2-3および図7-2-4を比べることにより、二つの方法で得られた値の間には1割程度の差はあるが、平均的な車1台当りの生産で排出されるCO₂量は約800kg-Cで、ほぼ一致している。

しかし、その内訳にはまだかなりの違いがある。例えば、アルミニウム製品の生産では新地金と再生地金が使われる。積み上げ法では、そこで排出されるCO₂量は新地金からの寄与分と再生地金からの寄与分、製品製造時の排出分とに分けられる。そのうち新地金分のCO₂排出量を求める際に、輸入地金のCO₂排出強度として国内で製造される場合の排出強度と同じ値を与えたが、現在日本ではアルミ新地金はほとんど製造されておらず、その99%弱はアメリカやオーストラリア等から輸入されている。このアルミニウムの排出強度の与え方により、結果は大きく異なることになる。そこで海外産のアルミニウム新地金の排出強度をゼロとした場合の排出量の推計を行った。結果を図7-2-5に示す。アルミニウムのシェアはかなり下がり、また車1台当り

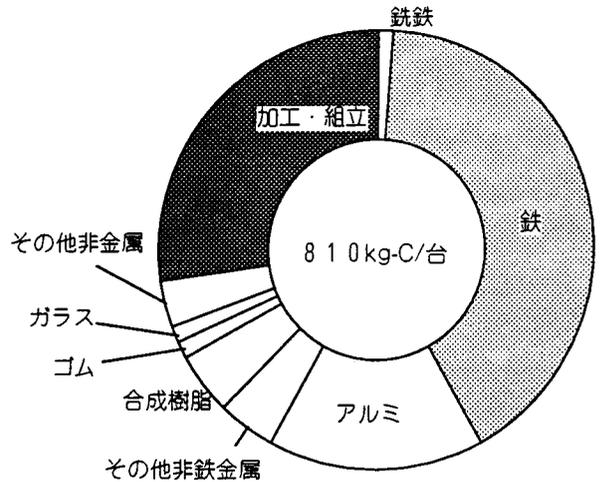


図7-2-3 輸入アルミの排出強度を国産アルミと同等とした場合の積み上げ法によるCO₂排出強度

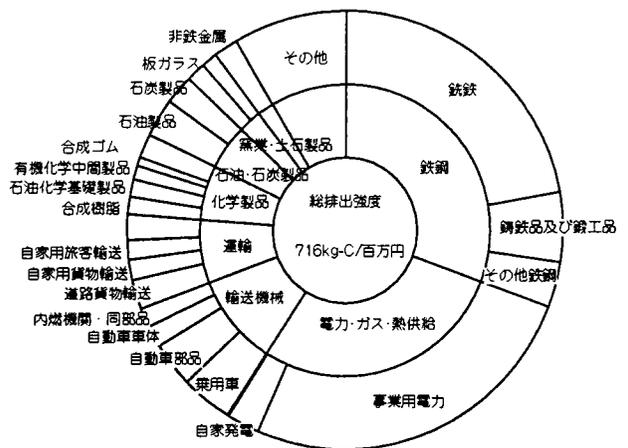


図7-2-4 乗用車生産のためのCO₂排出部門の内訳

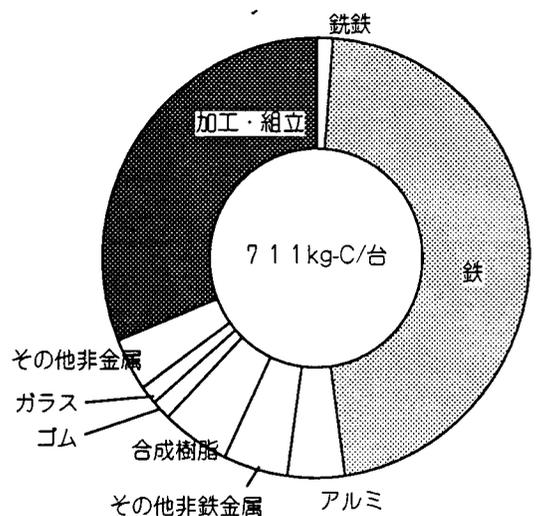


図7-2-5 輸入アルミの排出強度をゼロとした場合の積み上げ法によるCO₂排出強度

のCO₂排出強度も1割強小さくなり、産業連関分析法の結果にかなり近くなっている。ここで引用した産業連関分析法の値が、国内のCO₂排出構造分析のために行われた結果であり、輸入製品からの寄与をゼロとおいているために、アルミについてのこのような問題点を表現できていない。アルミ新地金のように国内生産量が少ない場合、国内の産業連関のみから強度を求めることはかなりの誤差を伴う。ここに産業連関表による分析の限界の一端が見られる。一方、積み上げ法の結果においてもコークス製造や石油精製、さらにそれ以前の燃料や鉱石の採取や運搬でのCO₂排出がここでは含まれていないため、この推計はやや小さめの値となっていることに注意しておくべきである。

(5) 車のライフサイクルに占める加工組立および素材生産にかかるCO₂排出

(3)までの自動車の生産に伴うCO₂排出量の計算をもとに、ここでは1台の車の生涯を10年、走行距離を10万kmと設定し、そのライフサイクルにおけるCO₂の総排出量を求めた。ここで想定した車は(3)で述べたように価格105万円であり、その車種としては1500ccクラスの乗用車とした。平均実燃費は12km/リットルと仮定し、この間の消耗品類の交換はないものとして計算を行った。その結果、10万km走行で排出されるCO₂の量は約5.4t-Cとなり、先の素材・組立でのCO₂排出量を加えると図7-2-6に示すとおり、6.17t-Cとなった。ライフサイクルにおける各ライフステージの比率は、車の加工・組立段階が全体の3.6%、素材製造が9.6%、走行段階が86.8%を占めることとなった。

このことから、車の製造に係わるCO₂排出量はライフサイクルの約13%を占め無視し得ない量であるが、車の走行時におけるCO₂排出量を削減することの方が地球温暖化対策としての効果が大きいと言える。

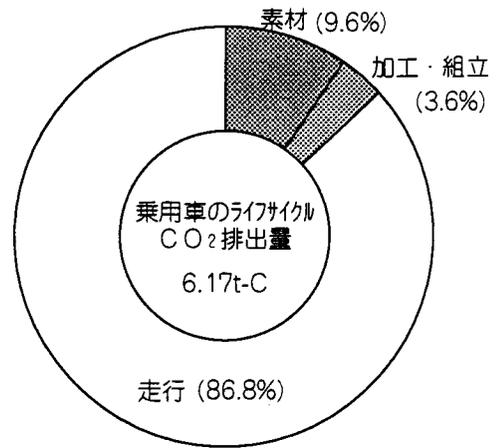


図7-2-6 乗用車のライフステージごとのCO₂排出の割合

7. 3 インフラを含めた車のライフサイクル排出量の分析

7.3.1 CO₂排出量の分析方法

前節においては、産業連関表を用いて各部門での財やサービスの生産のために直接・間接に排出される単位金額あたりのCO₂排出量（総排出強度と呼ぶ）を求める方法と、鉄、アルミ、プラスチック、ガラスなどの主要な素材ごとに業種別統計から重量あたりのCO₂排出量を求め、製品の重量組成に応じてこれを積み上げる方法の2種類を採用し、自動車1台の生産に伴うCO₂排出に関して両者の結果が概ね一致することを示した。本節では、自動車修理、道路建設、自動車の生産設備などもとりあげるが、自動車本体と違ってこれらはその物量組成が求めにくい。そこで本節では主として産業連関表による分析法を適用する。推計は産業連関表にあわせてすべて1985年現在とした。

さまざまな製品やサービスについて、その生産に要する直接・間接のエネルギー消費を求めるエネルギー・アナリシスの手法を応用すれば、ある部門の生産に伴って直接・間接に排出されるCO₂を求めることができる。こうした方法によって求める総排出強度には、燃料や原材料、すなわちフローの投入に関するCO₂のみが計上され、生産設備など、利用する資本（ストック）への初期投入に相当する分は含まれていない。初期投入エネルギーと生産される財との関係の分析は発電所に関して多くみられる^{18), 29)}が、一般に資本とそれから生産される財との関係を定量化することは容易ではない。ある時点で生産される財は、それまでに蓄積された資本を利用しているが、過去の資本蓄積に投入さ

れたエネルギーや資本の実耐用年数を計算することが困難なためである。比較的容易に行うことができるのは、分析対象としている1年の間に新たに蓄積された資本とその年の生産量とのクロスセクション分析であり、本研究でも産業連関表の固定資本マトリックスを用いておもにこの観点からの推計を行う。

7.3.2 項目別の分析法および分析結果

(1) 自動車の生産・維持管理に関する項目

a) 自動車の生産・販売

前節において示したように、最終需要単位金額あたりの総CO₂排出量(以下総排出強度と呼ぶ)は、「乗用車」については、716kg-C/百万円(生産者価格、以下同じ)、「トラック・バス・その他の自動車」については771kg-C/百万円となった。

こうして求めた値には、自動車産業での直接排出量のほか、部品、原材料の生産部門での間接排出量も含まれている。産業連関表上での乗用車の平均単価は105万円であり、1台あたりにCO₂量を換算すると751kg-Cとなる。自動車本体の最終需要のための国内CO₂排出総量は9.1Mt-Cで、輸出分がその過半を占める。これ以外に輸出用の自動車部品生産のための排出が2.1Mt-C加わる。

いま述べた排出量は工場出荷時までのものであり、流通、販売に関連するCO₂排出量は別途求める必要がある。ここでは商業マージンおよび貨物運賃から計算した。販売に関するCO₂排出は、何を販売したかにより異なると考えられるが、産業連関表では卸売、小売という区別のみしかないので、単位商業マージン金額あたりの排出量は販売した品目によらず一定であるとした。貨物運賃分は輸送手段ごとの運賃にその総排出強度を乗じて求めた。家計消費分の乗用車1台あたりの商業マージン分は258kg-C、貨物運賃分は22kg-C、最終需要全体での商業マージン分は0.95Mt-C、貨物運賃分は0.17Mt-Cとなった。

b) 自動車の修理・維持管理・廃棄

産業連関表の「自動車修理」部門についての総排出強度は、497kg-C/百万円であり、これには修理工場での直接エネルギー消費分のほか、交換部品等の生産などのための間接エネルギー消費分が含まれている。自動車修理部門の生産のうち、家計消費、すなわちマイカー相当分だけが最終消費として計上され、他は自動車を資本として利用する各産業部門への中間投入となる。最終需要額と総排出強度から、家計消費分の総排出量は0.81Mt-Cとなる。乗用車の最終需要先の内訳から、乗用車の登録台数(1985年に2780万台)のうち70%が家計部門のものと仮定すれば、乗用車1台1年あたりの修理のための支出は8万円、排出は41kg-Cとなる。これに平均使用年数を乗じることにより、1台のライフタイムでのCO₂排出量が求められる。内生部門が資本として保有する自動車の分を含めた自動車修理全体に起因する排出量は、総排出強度と総生産額の単純な積として求めると2.18Mt-Cとなる。但し、このうちの一部は、自動車に関連する産業への中間投入であり、他の項との二重計算分を補正する必要がある。

産業としての自動車修理以外に自動車の使用者自身が消耗品を購入し、交換する場合がある。「自動車部品」部門および「タイヤ・チューブ」部門の家計消費支出による最終需要がこれに相当すると仮定すれば、総排出量は前者が0.098Mt-C、後者が0.075Mt-C、合計で0.173Mt-Cとなる。これを修理と同様に乗用車1年1台あたりに換算すると、8.9kg-Cとなる。

自動車の廃棄に関連するエネルギー消費としては、シュレッダーの運転を考える。2000馬力のシュレッダーで1時間に100台処理できると仮定すると、電力消費量は1台あたり15kwhとなる。これに伴うCO₂排出量は約1.5kg-C/台である。

c) 自動車生産・修理部門の資本形成

固定資本マトリックスに示された各種の資本財の投入金額に、その資本財のCO₂総排出強度を乗じたものの合計は、自動車生産部門で1.58Mt-C、修理部門で0.14Mt-Cとなった。最も単純な考え方として、各年の資本の新規投入と生産とがバランスしているとして、国内生産額あたりの排出量を求めると、生産部門で54kg-C/百万円、修理部門で31kg-C/百万円となる。逆行列係数から最終需要あたりに換算して、乗用車1台あたりの排出を求めると、生産分が100kg-C、修理分が1年あたり3.2kg-Cとなる。

(2) 自動車用燃料に関する項目

a) 走行時の燃料消費

走行時に直接排出されるCO₂は燃費とCO₂排出原単位から求めることができる。自動車用燃料について今回適用した排出原単位を、単位の換算係数、以下に述べる精製、採掘・輸送による間接排出分を併せて表7-3-1に整理した。燃料消費量は統計によってかなり差異がある。運輸省統計は軽自動車などの一部の車種を含まず、また、産業連関表の値は他と比較して過小推計とみられるため、後に示す日本の自動車関連の総排出量の計算にはエネルギーバランス表の値を適用した。

表7-3-1 自動車用燃料のCO₂排出係数と消費量 (kTOE = 10⁷ Mcal)

		ガソリン		軽油		LPG	
発熱量		8.4 Mcal/リットル		9.2 Mcal/リットル		12 Mcal/kg	
排出係数		g-C/Mcal	kg-C/リットル	g-C/Mcal	kg-C/リットル	g-C/Mcal	kg-C/kg
	直接分	76.6	0.643	78.4	0.721	68.3	0.820
	精製	5.1	0.043	3.9	0.036	1.0	0.012
	採掘・輸送	1.9	0.016	1.8	0.017	1.8	0.022
合計	83.6	0.702	84.2	0.774	71.2	0.854	
消費量		kTOE	1000kl	kTOE	1000kl	kTOE	1000t
	産業連関表	29,670	35,321	16,451	17,882	1,590	1,325
	運輸省統計	28,812	34,300	18,776	20,409	1,930	1,608
	エネルギーバランス	30,768	36,629	16,840	18,304	2,022	1,685

b) 原油から石油製品への精製

石油精製部門におけるエネルギー消費によるCO₂排出量は、購入電力による分を含めて6.6Mt-Cと推定された。これを精製される石油製品に割り振る際に、物量や熱量による方法を用いると、精製の実際の主目的が軽質油を得ることであるにもかかわらず、精製の残渣である重質油に過大な負担を転嫁することになる。本研究では、産業連関表による分析法とも整合するよう、金額に応じて配分する方法を用いた。但し、価格は税を除いた値とした。

c) 原油の採掘および輸送

産業連関表による分析では国内からの排出のみを扱っており、石油に関しては、精製部門への投入以降のみが考慮されている。走行用燃料にのみ国外での採掘や輸送のためのCO₂排出を加えると不整合が残るが、特に寄与の大きなこの項について把握する。重田³⁰⁾によれば、精製用原油の採掘時のCO₂排出量は設備用エネルギー、フレアー焼却、随伴ガス中から分離放出される分の合計で7.93g-C/リットル、海上輸送による排出は6.84g-C/リットル、合計で17.77g-C/リットルとされている。これに1985年度の精製用原油処理量1.78億リットルを乗じると、CO₂排出量は3.16Mt-Cとなる。この分の石油製品への配分は熱量によって行った。なお、LPGの75%を占める製品輸入分については、精製のた

めのエネルギーは無視し、輸送分は原油と同じ値を充てた。

(3) 道路の建設、維持管理に関する項目

a) 道路の建設・補修

産業連関表から求めた「道路関係公共事業」部門についての総排出強度は1080kg-C/百万円であった。その排出の29部門別内訳は図7-3-1に示すとおりであり、窯業土石、鉄鋼、運輸の3部門で約70%を占める。窯業土石はいうまでもなくセメントの生産部門であり、原料の石灰石起源のCO₂が加わることがこの部門の寄与をより大きくしている。建設部門自身の寄与は2.4%に過ぎず、土木建設機械の運転による直接エネルギー消費による排出は材料起源の排出に比べて小さい。総排出強度と道路関係公共事業の最終需要額から求めたCO₂排出量は5.54Mt-Cと

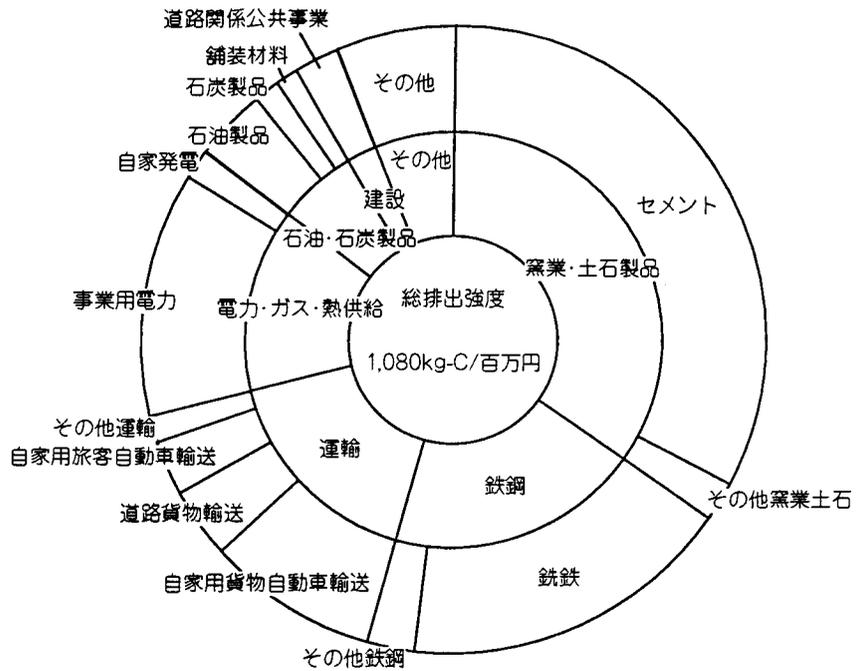


図7-3-1 道路関係公共事業のためのCO₂排出部門の内訳

なった。このCO₂を自動車1台のライフサイクルと関係づける第1の最も単純な方法は、ある年に建設・補修のために排出されたCO₂をその年の走行量で割り戻す方法である。全車種均一に1台kmあたりに按分した原単位は、12.9g-C/台kmとなった。自動車取得、保有、走行燃料にかかる諸税が道路財源となっている現状では、ある年の道路建設・補修によるCO₂排出をその時点で使用されている自動車に直接按分することも意味がある。しかし、建設された道路は将来の自動車交通にも使用され、逆にある年に走行した自動車は、その年以前に建設された道路も利用している。そこで第2の方法として、道路にある償却期間を設定し、建設時のCO₂排出をその期間中の総走行量に按分する方法を適用してみる。まず、過去の各年の道路建設によるCO₂排出を道路建設投資額の推移から推定する。第4章で行った産業連関分析の結果によれば、土木建設部門の実質価格あたりの総排出強度は1975年から1985年にかけて約20%低下している。1975年以前については分析を行っていないため1975年の値をそのまま適用し、1975年～1985年は年率1.9%低下したものと仮定した。この原単位に、道路建設投資額をGNPデフレーターによって実質価格換算した値に乗じて各年の排出量を推定した。将来の走行量の伸びを最近数年の伸び率から年率3.1%と仮定すると、償却期間を10, 20, 30年としたときの1台kmあたり排出量は各々11.9, 10.0, 6.8g-C/台kmとなる。償却期間を長くとした場合の数値は、今後の走行量の伸びに依存し、かりに走行量が現状で伸びないとすると30年償却の場合で7.8g-C/台kmとなる。

b) 道路関連施設の維持管理

産業連関表には「道路輸送施設提供」という部門があり、有料道路や駐車場に相当する。この部門の総排出強度は330kg-C/百万円であり、最終需要による排出は0.19Mt-C、中間需要分も含めた排出は0.48Mt-Cと計算された。自動車修理に適用したのと同じ方法を用いると、マイカー相当分は、1

台1年あたり8.9kg-Cとなる。一般道路の照明等に要する分は産業連関表上では「道路関係公共事業」部門に包含されており、分離して捕捉することはできない。

c) 道路建設のための資本形成

道路はそれ自身が資本であるが、ここでとらえるようにするのは道路建設に用いる土木建設機械等の資本形成分である。自動車生産・修理についての分析と同様に、固定資本マトリックスをもとに計算すると、土木全体について0.73Mt-Cとなる。道路関係公共工事の土木全体に占める割合から、道路関係相当分は0.19Mt-Cとなる。この量を道路の建設・補修と同様に償却期間内の総走行量に按分すると、0.23g-C/台kmという原単位を得る。これは、道路建設・補修自身に関する値に比べてかなり小さい。

7.3.3 ライフサイクルCO₂排出量の整理

ここまで項目別に求めたCO₂排出量を2つの観点からまとめる。第1は1台の車に着目してそのライフサイクルでの排出量である。第2はある年に自動車に関連して排出されたCO₂の総量である。ここでは便宜上国内で排出された分のみを求める。

1台の車に関する分析では小型乗用車を例として取り上げる。価格を産業連関表による乗用車の平均価格（生産者価格で105万円）、燃費を12km/リットル、1年間の走行距離を10,000km、使用年数を10年とする。この前提でのライフサイクル排出量は表7-3-2および図7-3-2に示すとおりである。道路については前項の(3) a) で述べた方法のうち、30年償却による計算値を用いた。ライフサイクル総排出量8.3Mt-Cのうち、ガソリンの燃焼による直接排出分は64.5%、精製や原油採掘・輸送分を含めた燃料分合計では70.4%となった。車輛関係の合計は全体の20.0%となり、修理など車輛の維持管理に関する排出も無視しえない。道路関係の排出は、ストックである道路とフローである走行量との関係づけの方法に大きく依存するが、償却期間を設定した計算でも新車1台の生産に匹敵する排出量となっている。これを単年度断面でとらえれば道路関係分の比率はさらに高まる。但し、道路構造設計で要求される強度や道路の損傷が多分に大型車に帰すべき問題であることを考えれば、全車

表7-3-2 乗用車のライフサイクルCO₂排出量

乗用車のライフサイクルにおけるCO ₂ 排出量		算定根拠、原単位等	排出量 (kg-C)	国内総排出量	
				(Mt-C)	%
自動車本体	生産	716 kg-C/M \times 1.05M \times /台	751	9.1	3.5%
	流通・販売	卸売289 kg-C/M \times , 小売398 kg-C/M \times 等から算出	280	1.1	0.4%
	修理	497 kg-C/M \times 0.08M \times /台 \times 10年	400	2.2	0.8%
	自動車部品	8.9 kg-C/台年 \times 10年	89	2.3	0.9%
	廃棄	1.5 kg-C/台	2	0.0	0.0%
	資本(生産)	100 kg-C/M \times 1.05M \times /台	105	1.6	0.6%
	資本(修理)	40 kg-C/M \times 0.08M \times /台 \times 10年	32	0.1	0.1%
	本体計		1659	14.7	5.7%
走行用燃料	直接燃焼	0.643 kg-C/L \times 10,000km/年 \div 12 km/L \times 10年	5358	38.1	14.8%
	精製	0.043 kg-C/L \times 10,000km/年 \div 12 km/L \times 10年	358	2.3	0.9%
	原油採掘輸送	0.016 kg-C/L \times 10,000km/年 \div 12 km/L \times 10年	133	-	-
	燃料計		5849	40.4	15.7%
道路	設備・補修	6.8 g-C/台km \times 10,000km/年 \times 10年	680	5.5	2.1%
	関連施設	330 kg-C/M \times 0.03M \times /台 \times 10年	97	0.5	0.2%
	資本(建設)	0.23 g-C/台km \times 10,000km/年 \times 10年	23	0.2	0.1%
	道路計		800	6.2	2.4%
二重計算分の控除				-2.9	-1.1%
合計			8308	58.4	22.7%

1985年度 総排出量 258 100.0%

種均等に1台kmあたりに按分することの妥当性は改めて論じる必要がある。

道路建設資材の輸送のための走行燃料など項目間の二重計算を補正すると、自動車に関連するCO₂排出総量は58.4Mt-Cと計算された。これは1985年の化石燃料および石灰石起源の総排出量258Mt-Cの22.7%に相当する。燃料の直接燃焼分が自動車関係の全排出に占める割合は65.2%である。新車生産分の比率が乗用車1台についての分析に比べて高いのは、輸出用生産分の寄与が大きいためである。自動車関連のCO₂総排出量は、自動車自身が直接消費する燃料から発生するCO₂の1.5倍強と言える。

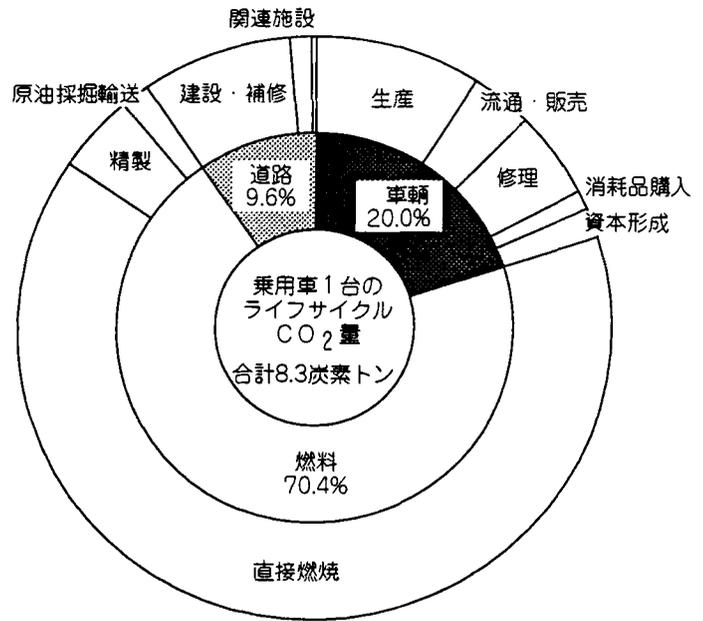


図7-3-2 乗用車のライフサイクルCO₂排出量の内訳

7.3.4 1985年と1990年との分析結果の比較

前項に述べた分析を1990年の産業連関表を用いて同様に行った。車輛に係わる排出を求めた結果を、1985年の結果と並べて表7-3-3に示す。

車輛の生産について、1990年の407部門の産業連関表を用いて求めた百万円当たりの排出強度は749kg-Cであり、国内波及分のみでは642kg-Cとなった。1985年における716kg-Cという乗用車の排出強度は国内波及分のみでの結果であるので、ここでも国内波及分のみとの値と比較すると、約1割低下している。しかし、1990年の乗用車の平均単価(生産者価格)が1985年の105万円より2割強高い130万円であるため、1台当たりでは逆に1割大きな値となっている。これは主に車両の大型化によるものと推察される。また、CO₂の実際の排出部門は1985年に比べて大差ない。流通・販売および修理に関する排出はやや大きな値となったが、維持に関しては半減した。

一方、自動車を生産するための資本については、1985年の計算結果よりもかなり大きく、1990年には設備投資がより大規模に行われたと推察される。設備投資にこうした変動がみられることから、資本形成のための排出をその資本の償却による生産に配分する方法については、なお検討の余地がある。

さらに、道路の建設・補修については約4割、道路関連施設の維持管理については約1割強の排出増となった。道路建設の資本についてはやや排出減となっている。

表7-3-3 1985年と90年のLCCO₂量の比較

		1985年	1990年
車 輛	新車生産 (I-A)型		974
	[I-(I-M)A] 型	751	853
	販売 卸売・小売	258	293
	貨物運賃	22	36
	修理	41	50
	維持・管理	9	3
資 本	廃棄	2	2
	生産設備	100	145
道 路	修理施設	3	5
	建設・補修	68	96
	維持・管理	9	10
	資本	2	2
合計(kg-C/台)		1265	1477

つぎに、走行時における排出を求め際の各種の仮定は前項と全く同じであるとして燃料に係わる排出をも含めたライフサイクルCO₂量を図7-3-3に示す。これら2時点間のライフサイクルCO₂量の比較によって、自動車の各ライフステージごとのCO₂排出量の変化が明らかになり、温暖化対策の探索や評価が可能となる。

1990年のライフサイクルCO₂排出量は8.9Mt-Cと、1985年の値よりやや大きな数値となったが、これは主として、車輛生産や道路建設のための原材料生産に伴う国外への生産波及分を新たに含めたことによる。ライフサイクルCO₂排出量に占める車輛、燃料、道路の寄与はおよそ2：6：1である。

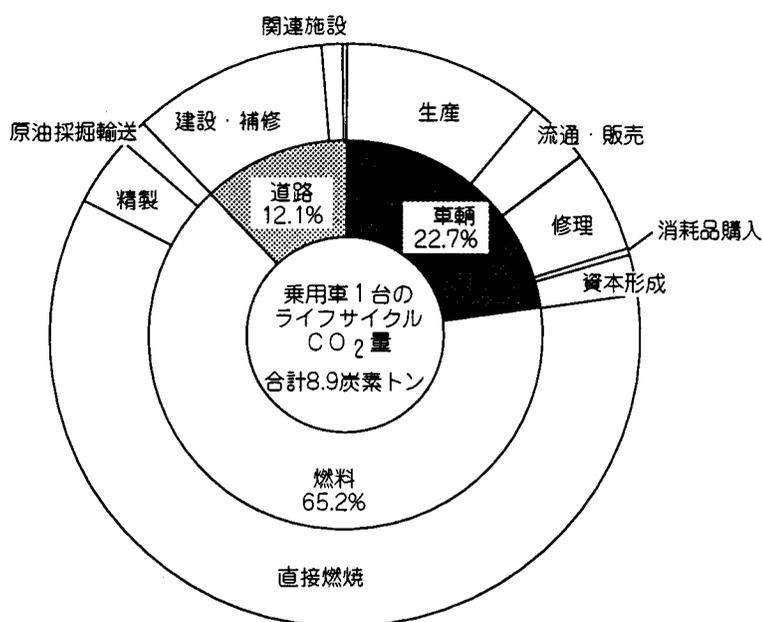


図7-3-3 乗用車のライフサイクルCO₂排出量の内訳

7.3.5 ライフサイクル温室効果ガス排出量の分析

地球温暖化問題に対する対策という観点からは、CO₂以外の温室効果ガスを含めた自動車についてのライフサイクル温室効果ガス排出量分析を行う必要がある。ここでは、それについて触れる。

CO₂以外の温室効果ガスとしては、CH₄、N₂Oおよびカーエアコン用フロン(CFC12、HFC134a)を考える。そして、CH₄およびN₂Oの排出係数には、地球温暖化防止行動計画の目標値算定や気候変動枠組条約に対する日本国報告書³¹⁾(日本国報告書と略記)による値を、CO₂以外の温室効果ガスが温暖化に与える影響をCO₂に換算するための地球温暖化指数(GWP: Global Warming Potential)は、IPCCの最新の報告値³²⁾を用いた。GWPは、評価対象とする期間によって値が異なるが、ここでは評価期間100年の値を適用した。GWPを用いてCO₂量に換算した結果はCO₂ eq (CO₂重量換算)またはC eq (CO₂のうち炭素重量換算)と表記した。

(1) 自動車に関連するCO₂以外の温室効果ガス排出量

a) 走行時のCH₄、N₂O排出量

ガソリン乗用車の走行時のCH₄排出係数は、日本国報告書では10.3mg-CH₄/kmとされている。これは燃費14.4km/リットルに対して得られた値であるため、燃料消費量あたりの排出量を一定と仮定して、本研究で設定した燃費12km/リットルに換算すると、排出係数は12.4mg-CH₄/kmとなる。これに評価期間100年のGWPを乗じてCO₂に換算すると、0.304g-CO₂ eq/km (0.083g-C eq/km)となる。この値は先に示した走行時のCO₂排出量より2桁以上小さい。

一方、N₂Oの排出係数は、同じく燃費14.4km/リットルに対して16.8mg-N₂O/kmとされている。CH₄と同様に燃費12km/リットルに換算し、評価期間100年のGWPを乗じると、6.45g-CO₂ eq/km (1.76g-C eq/km)となる。これは、走行時のCO₂排出量の約3%に相当する。

b) 自動車用燃料の採掘時のCH₄排出

つぎに、ガソリンの元となる原油採掘時のCH₄排出を試算する。原油採掘時のCH₄排出量は、温室効果ガス排出目録作成のためのIPCCガイドライン³³⁾の値の範囲290~4670kg-CH₄/PJの算術

平均をとって単位換算した値として、 $0.1\text{g-C H}_4/\text{リットル}$ とする。原油1リットルに対して燃料油が約0.93リットル得られるので、採掘時の C H_4 排出を精製後に得られる燃料油の体積に比例配分するとすれば、ガソリン1リットルに対する採掘時の C H_4 排出量は 0.11g である。本研究での燃費および評価期間100年のGWPで換算すると、 $0.227\text{g-C O}_2\text{ eq/km}$ (0.062g-C eq/km)で、走行時の C H_4 排出よりもさらに寄与は小さい。

c) 自動車用エアコンに使用されるフロン、代替フロン

自動車用エアコンには従来、CFC12が冷媒として用いられてきた。CFC12はGWP値8500という強い温室効果を持つ。オゾン層を破壊する特定フロンとして既に生産中止が決定されているものの、現在わが国で保有されている乗用車のエアコンのほとんどには、このCFC12が使われている。また、CFC12の代替物質として、今後利用される予定のHFC134aもGWP値1300の温室効果ガスである。

これらの冷媒用ガスについては、廃車段階での回収が進みつつあること、使用過程での漏れの防止等の対策が講じられていることから、実際にどれだけの量が大気中に放出されるかは、条件次第で大きく異なる。ここでは、回収等の対策がとられず、全量が放出された場合について、旧来のCFC12および代替物質であるHFC134aの各々について試算する。

1990年のカーエアコン用CFC12の使用量は、新車用が6140トン、補充用が4860トンである。同年のカーエアコンの販売台数は970万台であることから、初期充填量を1台あたり630gと仮定する。補充用の使用対象となるカーエアコンのストック台数を、軽自動車を含む自動車の全登録台数と同じと仮定すれば、エアコン1台1年あたりの補充量は81gとなる。HFC134aについても、初期充填量、補充量ともこれと同じと仮定する。

各々のGWPを乗じると、CFC12については、初期充填分が $5355\text{kg-C O}_2\text{ eq}$ (1460kg-C eq)、補充分が1年あたり $689\text{kg-C O}_2\text{ eq}$ (188kg-C eq)、また、HFC134aについては初期充填分が $819\text{kg-C O}_2\text{ eq}$ (223kg-C eq)、補充分が1年あたり $105\text{kg-C O}_2\text{ eq}$ (29kg-C eq)となる。

(2) ライフサイクル温室効果ガス排出量の整理

項目別に求めた温室効果ガス排出量を整理する。ここでは7.3.4項と同様に、ライフサイクル分析の対象とする平均的な乗用車として、価格を産業連関表による乗用車の平均価格(生産者価格で130万円)、燃費を 12km/リットル 、1年間の走行距離を $10,000\text{km}$ 、使用年数を10年と設定する。この前提での C O_2 以外の温室効果ガスを評価に加えた場合について示す(表7-3-4)。走行用燃料の燃焼、採掘による C H_4 、 N_2O の排出の寄与は 160kg-C eq で、ライフサイクル C O_2 排出量の2%程度にすぎない。一方、エアコン用フロン(CFC12、HFC134a)は使用される量は少なくとも大きな温室効果を持っているため、ライフサイクルGHG排出量への寄与が大きい。CFC12が放出された場合の温室効果は、ガソリン燃焼による C O_2 排出量に換算すると約 $60,000\text{km}$ の走行分に相当する。代替物質であるHFC134aの場合の寄与はこれよりも小さいが、ライフサイクルでのGHG排出量を数%増加させる。図7-3-4に、エアコン用CFC12が放出された場合のライフサイクルGHG排出量の内訳を示す。

7.3.6 まとめと今後の課題

本節では、産業連関表等の統計値を用いて、自動車に関連する C O_2 およびその他の温室効果ガス排出量をそのライフサイクル全般にわたって推計した。

その結果、 C O_2 については7.2節で示した新車生産、走行用燃料からの排出に加え、自動車の維持管理、自動車生産設備の建設、自動車燃料の供給、道路の建設・維持管理といった間接的な排出も無視しえないことがわかった。

走行用燃料の燃焼や採掘に伴う C H_4 排出量の寄与は小さく、 N_2O の寄与もライフサイクル C O_2

排出量との相対比較で2%程度であった。

これに対して、カーエアコンに用いられる冷媒ガスによる温室効果は大きく、特にCFC12が放出された場合には、ライフサイクルGHG排出量を大きく増加させることが明らかとなった。CFC12については、オゾン層保護の観点から将来の生産が禁止されており回収も進みつつあるが、温暖化防止の観点からも現在使用中のCFC12の回収の徹底が重要である。

今後の課題として、道路や生産設備など固定資本形成のためのCO₂排出をフローである自動車走行量と関係づける方法についてさらに検討が必要と考えられる。

7.3.5項では、新たにCO₂以外のGHG排出を分析に加えたが、自動車のライフサイクルに関わるGHG排出を全て網羅したとはいえない。カーエアコン用フロン製造時のGHG排出を始め、シート等の材料の発泡に用いられるCFC類、アルミニウム生産時に生成されるPFC類などは、GWPが大きく、今後検討対象とすべきと考えられる。

一方、分析手法の一貫性という観点からは、車輦生産や道路建設に関わるCO₂以外のGHG排出量や、素材生産部門、石油精製部門の生産設備の償却等の高次の間接項について、無視しうるものであるかどうか、さらに確認が必要である。

表7-3-4 (a) 乗用車のライフサイクルにおけるCO₂排出量

乗用車のライフサイクルにおけるCO ₂ 排出量		算定根拠、原単位等		排出量 (kg-C)
車輦	生産	749kg-C/M \times 1.30M \times /台		974
	流通・販売	卸売247kg-C/M \times , 小売371kg-C/M \times 等から算出		327
	修理	514kg-C/M \times 0.098M \times /台 \times 10年		504
	自動車部品	3.1kg-C/台年 \times 10年		31
	廃棄	1.5kg-C/台		2
	資本(生産)	111kg-C/M \times 1.30M \times /台		145
	資本(修理)	50kg-C/M \times 0.098M \times /台 \times 10年		49
本体計				2031
走行用燃料	直接燃焼	0.643kg-C/L \times 10,000km/年 \div 12km/L \times 10年		5358
	精製	0.041kg-C/L \times 10,000km/年 \div 12km/L \times 10年		342
	原油採掘輸送	0.016kg-C/L \times 10,000km/年 \div 12km/L \times 10年		133
	燃料計			5833
道路	設備・補修	9.6g-C/台km \times 10,000km/年 \times 10年		960
	関連施設	289kg-C/M \times 0.035M \times /台 \times 10年		101
	資本(建設)	0.21g-C/台km \times 10,000km/年 \times 10年		21
	道路計			1082
合計				8946

表7-3-4 (b) 乗用車のライフサイクルにおけるGHG排出量

乗用車のライフサイクルにおけるCO ₂ 以外のGHG排出量		算定根拠、原単位等		排出量 (kg-C)
車輦	IPON用CFC12	630g	+81g/年 \times 10年 \times 8500	3338
	≧HFC134a	630g	+81g/年 \times 10年 \times 1300	511
走行用燃料	燃焼時のCH ₄	12.4mg-CH ₄ /km \times 10,000km/年 \times 10年 \times 24.5		8
	燃焼時のN ₂ O	16.8mg-N ₂ O/km \times 10,000km/年 \times 10年 \times 320		147
	採掘時のCH ₄	0.1g-CH ₄ /L \times 10,000km/年 \div 12km/L \times 10年 \times 24.5		6
	燃料計			160
CO ₂ 以外のGHG計		(CFC12の場合)		3499
		(HFC134aの場合)		671
CO ₂ を含む全GHG計		(CFC12の場合)		12445
		(HFC134aの場合)		9617

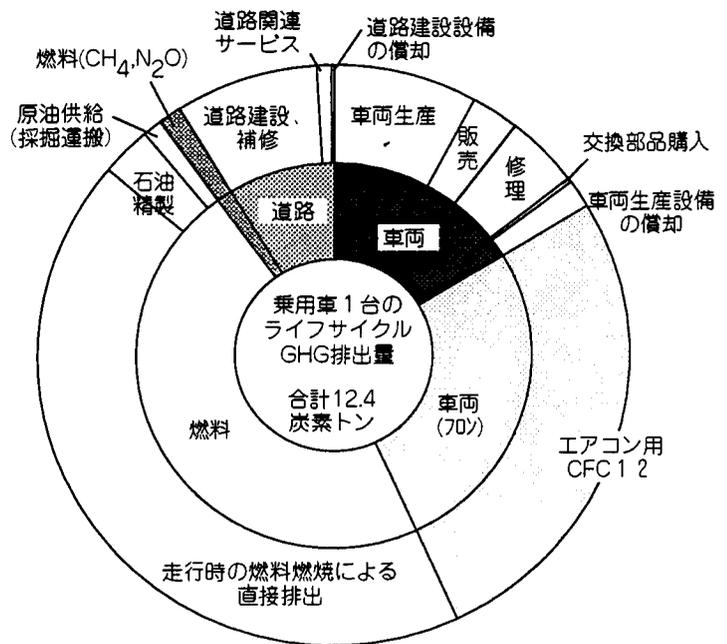


図7-3-4 乗用車のライフサイクルGHG排出量 (エアコン用CFC12が全量放出された場合)

7. 4 現行ガソリン車と電気自動車のライフサイクルCO₂排出量の比較

7.4.1 研究の目的

地球温暖化を引き起こす温室効果ガスの排出抑制対策で、交通分野における対策の一つとして、現行のガソリン車あるいはディーゼル車（以下、現行車）の使用の抑制あるいは、より温室効果ガス排出の少ないCNG車、電気自動車（同、EV）などの代替燃料車への切り替えがある。

現行車と代替燃料車とを対象として製造時と運用時のCO₂排出量を求め、CNG車とEVは現行車よりCO₂排出が少ないとの報告³⁴⁾がある。地球環境の保全という面からは、それら代替燃料車が導入されるべきであるが、依然としてそのような代替燃料車を積極的に導入する状況にはない。それは、それら代替燃料車の性能が現行車に比べてかなり劣ること、高コストであること、さらに関連するインフラの未整備等である。本研究で取り上げる電気自動車IZA（以下、IZA）は、エンジン自動車のエンジンやマフラー等を取り外しバッテリーやモーターに交換した従来の改造型電気自動車ではなく、電気自動車に相応しい車体系、駆動系等を備えた、その設計製作段階から電気自動車として製造されたものである。その仕様を表7-4-1に示す³⁵⁾。

従来、改造型電気自動車の欠点として指摘されてきた加速性能および最高速度の低さは、IZAにおいては現行車とほとんど遜色のないレベルにまで向上し、一充電走行距離においてもかなり改善されている。また、原油を一次エネルギー源とするエネルギー消費率では、同クラスの現行ガソリン車に比べて2倍以上良い³⁶⁾とされている。よって、現行車によって満たされている性能面の利便性をそれほど失わず、代替燃料車への切り替えができる可能性を持っている。また、EVは走行時に排気ガスを全く出さず、さらに騒音が現行車より小さいことから、一向に改善されない道路交通公害の主要課題である騒音および排気ガスによる大気汚染の問題をもかなり改善する可能性がある。

一方、IZAはその手足とも言えるモーターを強力なものとするため、稀少資源と言われる稀土類金属を使っている。さらに、心臓である電池には高性能だが、有害化学物質のカドミウム(Cd)を含むニッケルカドミウム(NiCd)電池を使う。よって、車輛の製造段階において現行車よりも、はるかに多くのエネルギーを消費、CO₂を排出している可能性がある。つまり、走行時の環境への負荷は小さいが製造時の負荷が大きく、全体としてみた場合には現行車より環境への負荷が大きくなる可能性がある。そこで本研究では、電気自動車IZAに対して、ライフサイクルアセスメント(LCA)の視点からCO₂排出量(LCCO₂量)を求め、それを現行ガソリン車(以下、GV)と比較することでIZAのCO₂についての環境負荷性を検討した。さらに、IZA型電気自動車の量産化の可能性についても触れた。

表7-4-1 IZAの性能と仕様

定員	4名
寸法	4.87(全長) x 1.77(全幅) x 1.26(全高)
空車重量	1553kg
電池種類	ニッケルカドミウム電池
電池電圧	100Ah, 12.5V, 24個
電池重量	531kg
電動機	DCブラシレスモータ(4個)
最大出力	25kw/個
タイヤ	205/50R17
最大トルク	42.5kg-m
最高速度	176km/h
加速性能	18.05秒(0-400km)
一充電走行距離	548km(40km/h定速走行)
装備	エアコン、パワステ、パワーウインドウ他

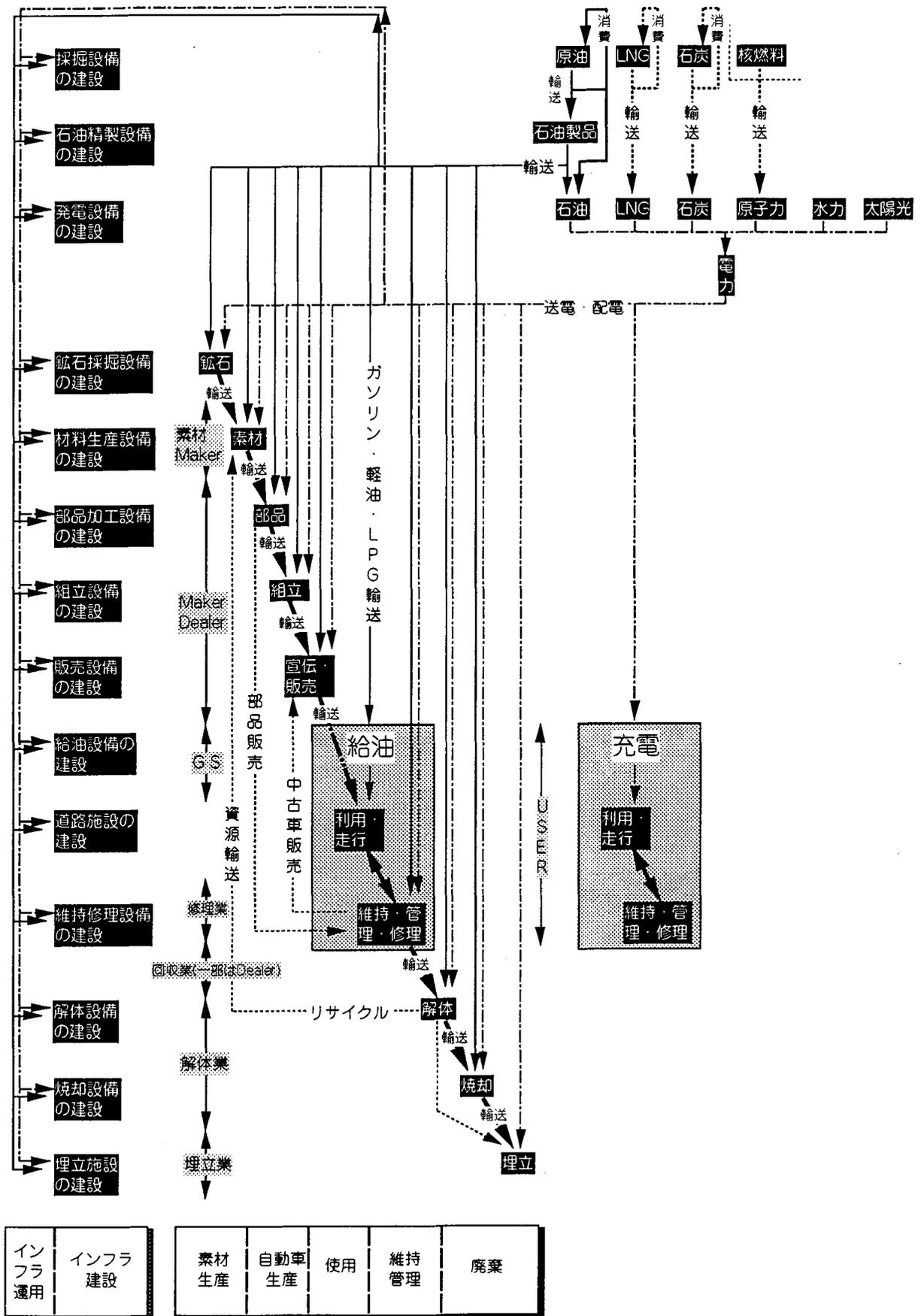


図 7-4-1 自動車のライフサイクルとして考えられる範囲

7.4.2 ライフサイクル分析の方法

(1) 分析の範囲の設定

ＩＺＡおよびＧＶのＬＣＡを行うに当たり、分析の範囲を設定する必要がある。ライフサイクルを車自体に限るとすれば、その車に使われる原料鉱石の採掘・輸送、素材の生産、車への加工・組立、販売、走行・利用、維持・管理・修理、廃棄、リサイクルとなる。もう少し広く範囲を見るとすれば、図7-4-1に示すように車を利用するときに必要な道路や道路関連施設等および車自体のライフサイクルに付随する生産設備等の建設、さらにそれらの維持・管理まで含めたものが考えられる。後者は、鉄道や飛行機など他の輸送手段との比較を行うことを想定した場合である。

本項で検討するＩＺＡとＧＶのＬＣＡの場合、道路および道路関連施設は共通に使用する。そこで、これらのインフラ建設および維持にかかわるCO₂排出は分析対象外とした。また、原材料の採掘・輸送および販売についても、ＩＺＡが量産化された場合には現在のＧＶと同様な状況になると考え対象外とした。廃棄およびリサイクルに関しては、実際にはＥＶの廃棄時に出るモーターや使用済み電池の取り扱いの問題がＧＶとはかなり異なると思われるが、分析対象とするにはデータが不足しているため、ここでの分析の対象からは除いた。

よって、ここで取り扱う自動車のライフステージは、素材の製造、部品の加工・車への組立、走行・利用、維持・管理である。各ライフステージにおけるCO₂排出量は、積み上げ法により求めたが、具体的な導出の方法については、7.4.3項で述べる。

(2) ⅠＺＡおよびＧＶの重量構成比

ⅠＺＡおよびＧＶの構造別重量構成比を図7-4-2に、素材別重量構成比³⁾⁵⁾を図7-4-3に示す。ここで素材は、鉄、アルミニウム、銅、マグネシウム、ニッケル、カドミウム、その他非鉄金属、樹脂、ゴム、ガラス、その他非金属の11種類にまとめてある。

構造別に重量構成比を見ると、ⅠＺＡではＥＶの特徴である電池が1/3を占め、モーターとフレームおよびサスペンション、その他が各1/3である。一方、ＧＶでは、エンジンとトランスミッション、フレームとサスペンション、その他が各1/3の比率となっている。

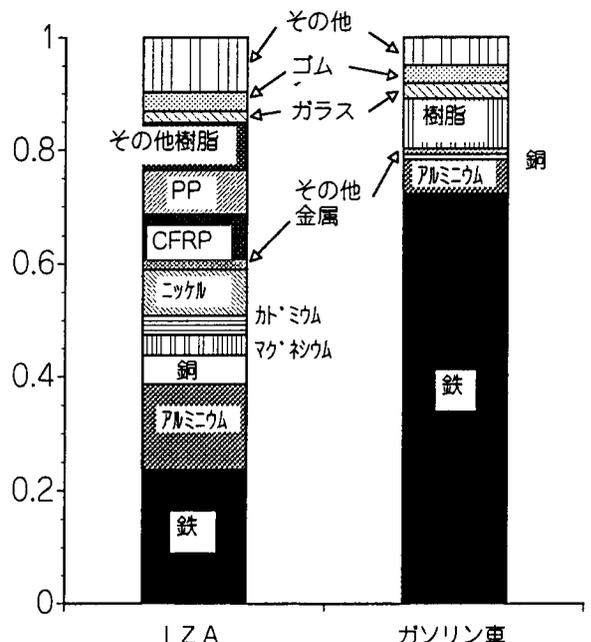
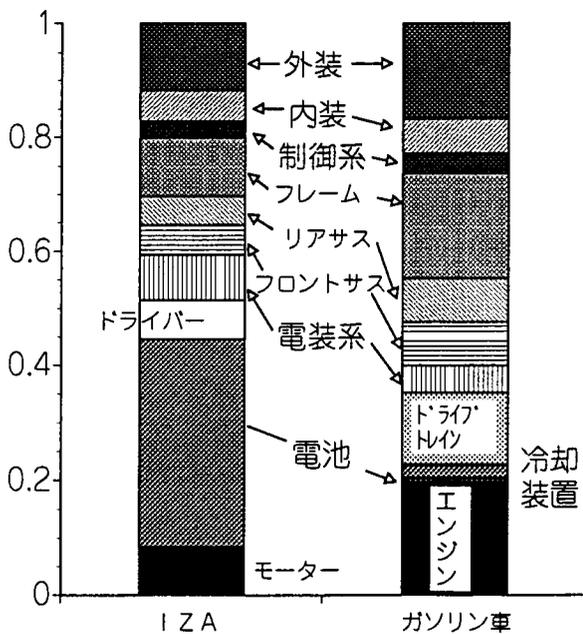


図7-4-2 ⅠＺＡおよびガソリン車の構造別の重量構成 図7-4-3 ⅠＺＡおよびガソリン車の素材別の重量構成

素材別に見ると、GVでは重量の約3/4が鉄に対して、IZAでは鉄は1/4である。一方、アルミの使用量がIZAではGVの2倍以上の15%である。さらにIZAでは、電池に用いられるニッケルやカドミウム、ホイールに使われるマグネシウム等の非鉄金属およびボディカウルに使われたCFRP等の樹脂の使用量も多い。

なお、IZAに使われた各構造別素材と素材重量については、実際にIZAの製作にかかわった東京R&D、明電舎、日本電池の各社へのヒアリングより推計した。

(3) 燃料のCO₂排出原単位の設定

自動車の各素材の製造において消費される各種燃料のCO₂排出原単位は、表7-4-2のように設定した。表において、第2列は燃料の燃焼時におけるCO₂排出原単位であり、第3列は化石燃料を採掘・輸送・製造する際のエネルギー消費に付随するCO₂の燃料燃焼時に対する比率である。第4列が本推計で用いた燃料単位当たりのCO₂排出量である。つまり、本推計では、石油製品を例に取れば、海外における原油採掘、日本への輸送時のCO₂排出および、国内精製設備でのCO₂排出をも考慮したCO₂排出原単位を使用している。なお、第3列の計算において、内山^{2,9)}および7.3.2(2)を参照して設定した。

(4) 電力のCO₂排出原単位の設定

電気自動車は、走行時のエネルギー源として電力を必要とする。よって、発電機の違いにより、走行時のCO₂排出量が大きく変動する。そこで、発電施設として、石炭火力、石油火力、LNG火力、原子力、太陽光の5種を考えた。各発電施設の1kwh当たりのCO₂排出量(CO₂排出原単位)は、内山^{3,7)}を参照し、さらに、日本の1990年の電源構成(以後、現状と呼ぶ)からの1kwh当たりのCO₂排出量を現状レベルとして設定した。以下の各ライフステージにおける推計で、電力消費量をCO₂排出量に換算する際には、上記6種の場合の計算を行っている。

本推計で用いる電源別のCO₂排出原単位を表7-4-2に併せて示す。それらの値は文献^{3,7)}において設備の耐用年数を20年として求められた送電端ベースの値を総合損失率等により需要端ベースの値に修正した値である。

表7-4-2 燃料および電力のCO₂排出原単位

燃料種	燃焼時の炭素排出係数 (t-C/TOE)	採掘輸送精製時のロス分 (%)	CO ₂ 排出原単位	
			(t-C/TOE)	(g-C/l, m3,kg, kwh)
原油	0.7811	1.6%	0.7936	734.08
揮発油	0.7658	9.2%	0.8363	702.45
ナフサ	0.7605	9.2%	0.8305	664.37
灯油	0.7748	7.4%	0.8321	740.60
軽油	0.7839	7.4%	0.8419	774.56
A重油	0.7911	7.4%	0.8496	790.17
B重油	0.8047	7.4%	0.8642	829.68
C重油	0.8180	7.4%	0.8785	860.96
LPG	0.6833	4.2%	0.7120	854.40
石油コークス	1.0612	7.4%	1.1397	968.77
原料炭輸入	0.9900	3.0%	1.0197	774.97
原料炭国産	0.9900	3.0%	1.0197	774.97
一般炭輸入	1.0344	3.0%	1.0654	660.57
一般炭国産	1.0422	3.0%	1.0735	622.61
石炭コークス	1.2300	13.0%	1.3899	1000.73
コークス炉ガス	0.4600	13.0%	0.5198	249.50
高炉ガス	1.2300	13.0%	1.3899	111.19
転炉ガス	1.2300	13.0%	1.3899	277.98
電炉ガス	1.2300	13.0%	1.3899	277.98
天然ガス	0.5639	3.0%	0.5808	569.20
都市ガス	0.5728	4.3%	0.5972	597.18
石炭火力				262.90
石油火力				203.82
LNG火力				172.93
太陽光				76.37
原子力				7.57
電力(現状)				118.38

7.4.3 車輻自体に係わるCO₂排出量の推計方法と結果

ここでは、素材の製造、加工・組立、維持・管理における推計方法と結果を示し、走行・利用時についてはつぎの7.4.4項において述べる。

(1) 素材の製造にかかわるCO₂排出量

IZAに使われた素材は図7-4-3に示すように11種にまとめてある。非鉄金属素材として示したアルミ、銅、マグネシウム、ニッケル、カドミウム以外は、重量構成比が3%以下のため、その他非鉄金属として一括している。素材のうち、鉄、アルミ、樹脂、ゴム、ガラスの製造に伴うCO₂排出

については7.2.2項、銅、マグネシウム、ニッケルについては資料³⁸⁾を参照した。7.2.2項および資料³⁸⁾においては各素材の製造時の単位重量当たりのCO₂排出量(CO₂排出強度)を、燃料自身の燃焼に伴うCO₂排出のみから求めているため、表7-4-2による補正を行い、燃料の採掘・輸送および精製等にかかるCO₂排出を含めたものとした。

カドミウムおよびその他非鉄金属、その他非金属に含まれる素材のうち、CO₂排出原単位の分からないものに対しては

それぞれアルミ、樹脂の値を適用した。表7-4-3に、ここで用いた11種の素材別のCO₂排出排出強度を発電源別に示す。

車の素材に係わるCO₂排出排出量は、上記の素材別のCO₂排出排出強度にIZAおよびGVの素材別重量を乗じることで求めた。

表7-4-3 電源別素材別CO₂排出強度(kg-C/トン素材)

素材名	石炭火力	石油火力	LNG火力	原子力	太陽光	現状
鉄	541	521	511	457	480	493
アルミニウム	4,131	3,443	3,083	1,156	1,958	2,684
銅	780	674	618	319	443	519
マグネシウム	5,576	4,453	3,866	724	2,031	2,684
カドミウム	4,131	3,443	3,083	1,156	1,958	2,684
ニッケル	1,439	1,178	1,041	308	613	799
その他金属	3,876	3,239	2,905	1,121	1,864	2,535
樹脂計	742	706	688	588	630	650
ガラス	380	359	348	291	315	329
ゴム	549	485	452	272	347	392
その他	534	508	495	423	453	471

(2) 加工・組立におけるCO₂排出量

素材の部品への加工そして車輛の組立におけるCO₂排出量について、IZAは1台のみ試作されたため、そのエネルギー消費量を求めることが非常に困難である。また、たとえそのエネルギー消費量が得られたとしても、試作によるエネルギー消費に基づいたCO₂排出量をIZAの加工・組立における排出量と見なすことは不適当と考えられる。そこで、加工・組立におけるCO₂排出量が、車輛に使われた素材の製造に伴って排出されたCO₂量に比例するとして加工・組立時のCO₂排出量を見積もった。その比例係数としては、つぎに述べるGVにおいて電源別に求められた加工・組立時のCO₂排出量の素材製造時のCO₂排出量に対する比をとった。

GVの加工・組立時のCO₂排出量は、7.2.2項での計算方法を基にして、自動車産業の燃料種別および電力の消費量から表7-4-2によって求め、対象としたGVの車重による補正を行った。

(3) 維持・管理におけるIZAとGVの差とCO₂排出量

IZAおよびGVのライフサイクルを10年、10万kmと設定する。そのライフサイクルにおいて、維持・管理の段階に含まれる消耗品類の交換では、タイヤ交換等の両車輛に共通するものは検討の対象から外した。また、GVにおいてはエンジン関係の消耗品等で適当な時期に交換を要するものがあるが、これらについても今回の比較の対象からは外した。ここで、維持・管理時のCO₂排出源として検討したのは、IZAにおける電池の交換である。GVにおいても電池の交換が2年ないし3年に1度必要であるが、車輛重量に占める電池の比率がEVに比べて格段に小さく、結果に大きな影響を与えないと考え、対象からは外した。

EVの電池は車重の約1/3を占め、かつIZAはNiCd電池を使用している。NiCd電池が理論上の回数利用可能であれば、10モード走行での一充電走行距離から、IZAではそのライフサイクル内における電池の交換は必要ないと言える。しかしながら、実際の使用状況における電池の寿命が不明であることから、ライフサイクル内に電池を1度交換する場合を想定し、交換用電池の製造から追加的に排出されるCO₂量を求めた。

一方、I Z Aの電池が理論上の回数使用できる場合は、10モード走行での一充電走行距離から求めた場合でも、電池の寿命の方が車の寿命よりも長い。その場合、廃棄EVから電池を取り外し、それを新車用電池として利用することも考えられる。この場合には、I Z Aの電池に係わるCO₂排出を1/2ないし1/3とすることもできよう。そこで、I Z Aの電池に係わるCO₂排出を1/2、1/3とした場合の車輛に係わるCO₂量も求め、先の電池交換の場合と併せて、I Z Aの車輛に係わるCO₂量への電池寿命の影響について検討した。

(4) 車輛自体にかかわるCO₂排出量

I Z AおよびGVの素材および加工・組立、さらに維持・管理からのCO₂排出量をまとめたものを図7-4-4に示す。図7-4-4にはさらに、I Z Aの車輛にかかわるCO₂排出量への電池寿命による影響についても示した。

発電源の違いによる車輛にかかわるCO₂排出量がGVでは2倍程度の変化に対して、I Z Aのでは3倍以上である。GVとI Z Aの車輛にかかわるCO₂排出量は、原子力発電の場合に排出量差では約0.4t-C、排出量比では1:1.5であったものが、石炭火力においては差が2.3t-Cに拡大し、その比は1:2.5と大きくなっている。この結果は、I Z Aに使われた素材がその製造段階において電力を大量に消費するものであることに関係している。

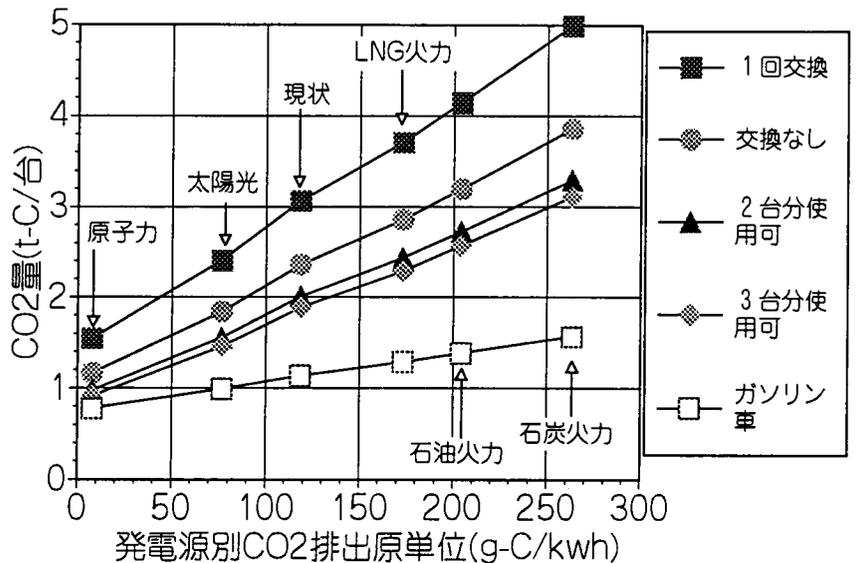


図7-4-4 NiCd電池の寿命の違いによるI Z Aの車輛に係わるCO₂量の変化

また一方、I Z AのNiCd電池

が理論上の回数程度の寿命を持つとし、その電池を2台目もしくは、3台目のEVに使用可能とすれば、車輛自体にかかわるCO₂排出量は15%ないし20%低減できる。逆に、10年10万kmのライフサイクル内に1度は交換しなければならないとすると、約30%の排出増となる。このように、I Z Aでは電池の性能によってもその車輛にかかわるCO₂排出量が大きく変化することとなる。

7.4.4 走行時のCO₂排出量

ここでは、I Z AとGVの10万km走行時のCO₂排出量をいくつかの場合に基づいて求める。

(1) 走行用エネルギーの供給に伴うCO₂排出量

走行用エネルギーの供給に伴って排出されるCO₂量について、GVのエネルギー補給は、海外での原油採掘→国内への輸送→精製→タンクローリー配送→ユーザー給油によるものとし、精製以降にも燃料自身の2%に相当する量が排出される³⁶⁾とした。

I Z Aの場合は走行用エネルギーとして電力が必要であり、発電源としては7.2.4(4)に示す6種をとる。I Z Aの電力補給については家庭あるいは各サービス拠点で行うものとした。

(2) I Z Aの走行時の電力消費量およびCO₂排出量

I Z Aは12.5V、100Ahの電池を24個搭載し、充放電効率が87%³⁵⁾なので、一回の充電に必要な電力量は34.5kwhとなる。

1 Z Aの一充電当たりの走行距離として、10モード走行および60km/h定速走行での値を使う。10モード走行での一充電走行距離は161.5 km³⁵⁾ であるので、10万km走行に必要な充電回数は620回、電力消費量は21390 kWhとなる。

一方、1 Z Aの40km/h定速走行での一充電走行距離は548kmであり、60km/h定速走行とすると21%の効率低下により走行可能距離が432km³⁵⁾ となる。このとき、10万kmの走行には232回の充電が必要で、電力消費量は8004 kWhとなる。

さらに、1 Z Aのモータを現在の技術により得られる最高のモータ(スーパードライブ)に交換(この1 Z Aを以下、super 1 Z Aと呼ぶ)したとすれば、10モード走行での一充電走行距離は306km³⁹⁾ となる。この場合の必要電力量は、11282 kWhとなり、今の1 Z Aのほぼ半分の電力量で済む。

これらの電力消費量から、1 Z Aおよびsuper1ZAの走行時のCO₂排出量を発電源別に求めたものを図7-4-5に示す。

CO₂排出量は10モード走行時に、最少の原子力の約0.2t-Cから最大の石炭火力の5.6t-Cまで、約5.4t-Cの差が生じる。60km/h定速走行においては、差がやや小さくなっているが、それでも約2t-Cの違いがある。低CO₂排出の電源による電力を利用することが1 Z Aの走行時のCO₂排出を減らすためには必要である。

なお、1 Z Aの開発においては計算機シミュレーションによりその性能の評価を行っており、そのシミュレーション結果と実車による走行実験結果は非常に良く一致していた。このことから、上述したsuper 1 Z Aの性能シミュレーション結果は、おそらく実車においてもかなりの確度で実現されるものと考えられる。

(3) GVの走行時のCO₂排出量

GVの10万km走行時のCO₂排出量を求める。GVの燃費としても、10モード走行および60km/h定速走行を考える。比較対象としたGVの燃費は10モード走行で11.4km/リットル、60km/h定速走行では22.5km/リットルである。よって、10万km走行に必要な燃料が、それぞれ8772リットル、4445リットルと求まる。これを炭素換算すると、10モード走行では6.3t-C、60km/h定速走行では3.2t-CのCO₂排出となる。この結果についても、図7-4-5に併せて示す。

(4) 1 Z AとGVの走行時のCO₂排出量の比較

発電源別走行モード別にGVと1 Z AとのCO₂排出量を比較する。図7-4-5に示すように、1 Z Aの走行時のCO₂排出量は発電源によって非常に大きく影響を受ける。GVの場合発電源による差がないが、それは石油精製時の電力消費は走行時の燃料消費による排出に比べて圧倒的に小さいため、計算には含めていないためである。

1 Z Aの10モード走行を考えると、現状レベルではGVの約4割のCO₂排出であるが、LNG火力

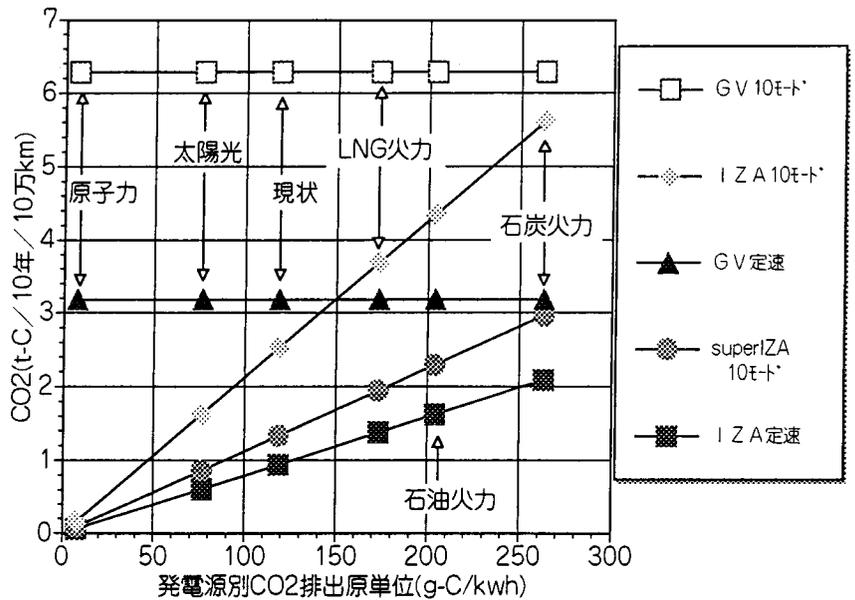


図7-4-5 1 Z Aとガソリン車の発電源別走行モード別走行時のCO₂量

で6割弱、石油火力で約2/3、石炭火力の場合は9割程度にまでCO₂排出量が増加する。一方、super IZAの場合、IZAの半分程度のCO₂排出になり、石油火力では1/3のCO₂排出で済んでいる。

つぎに、IZAの60km/h定速走行の場合を考えてみる。この場合はGVの定速走行でのCO₂排出量に比べ、CO₂排出原単位が一番大きな石炭火力でも、約2/3におさまっている。石油火力では約1/2であり、IZAとGVとの燃費を原油1リットルからのエネルギー効率から計算した清水³⁶⁾の結果にほぼ近い値となっている。清水³⁶⁾との差は、ここで考えたGVの燃費(22.5km/リットル)と清水³⁶⁾(20.0km/リットル)との差および石油火力発電のCO₂排出原単位の差によるものである。

どちらの走行モードにおいてもGVとIZAでは、発電源によらずIZAの方が走行時の排出は少ないことが示されている。

7.4.5 LCCO₂排出量での比較

ここでは、前項までに得られた車輛に係わる排出および走行時のエネルギー消費からの排出をあわせたもので検討を行う。

(1) IZAとGVとのライフサイクルCO₂量の評価

各発電源別、走行モード別にIZAおよびGVのLCCO₂量を示したものが、図7-4-6である。さらに、前項で述べたsuper IZAの10モード走行の場合のLCCO₂量も併せて示してある。発電源の違いによるLCCO₂量への影響について、GVでは10モード走行および60km/h定速走行ともに1t-C以内であるが、IZAにおいては10モード走行で最少の原子力の1.3t-Cから最大の石炭火力の9.5t-Cまで約7倍、60km/h定速走行においても1.2t-C(原子力)から6.0t-C(石炭火力)まで5倍の排出差となっている。super IZAも含めてEVにおいては、発電源によってLCCO₂量が大きく変動する。

表7-4-4にGVの各場合のCO₂量を1としたときのIZAのCO₂量の比率を発電源別に示す。どちらの走行においてもIZAの方がLCCO₂量が多いのは、石炭火力の場合のみであり、LNG火力より低炭素排出の電源では、GVの方がLCCO₂量は多くなっている。現状レベルの発電源の場合を詳しく見ると、車輛に係わる排出ではIZAはGVの約2倍であるが、走行時の排出が10モード走行ではGVの約40%、60km/h定速走行では約30%となるため、LCCO₂量では、そ

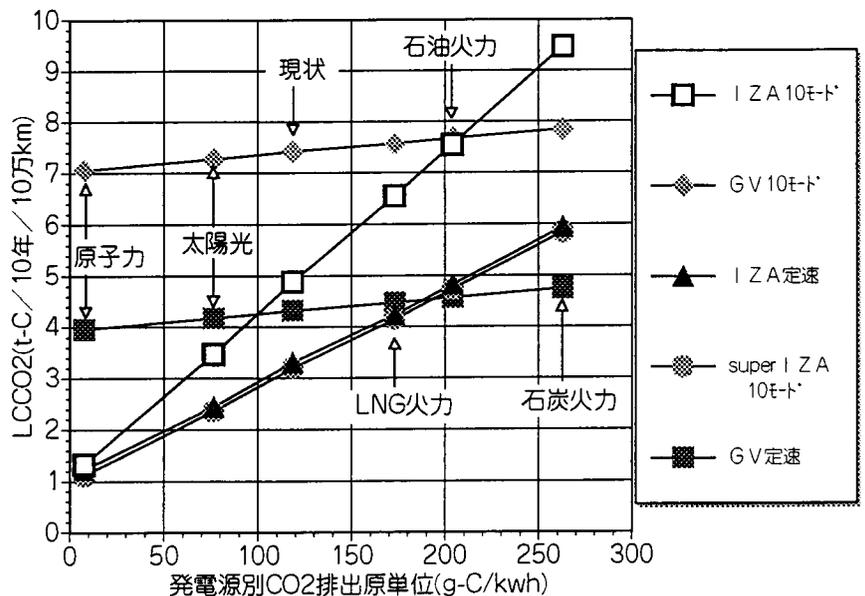


図7-4-6 IZAとガソリン車の発電源別走行モード別LCCO₂量

表7-4-4 発電源別に見たIZAのCO₂量のGVに対する比率 (GVを1とした場合)

	車輛	10モード走行		60km/h定速走行	
		走行時	LCCO ₂	走行時	LCCO ₂
石炭火力	2.463	0.893	1.206	0.657	1.253
石油火力	2.309	0.692	0.984	0.510	1.055
LNG火力	2.217	0.587	0.864	0.432	0.946
現状	2.071	0.402	0.658	0.296	0.764
太陽光	1.856	0.259	0.477	0.191	0.586
原子力	1.501	0.026	0.188	0.019	0.310

れぞれGVの約66%と約76%となっている。

GVにおけるLCCO₂量の削減には、走行時の排出を抑える燃費向上対策が有効であるが、IZA(EV)の場合には、発電源におけるCO₂排出の抑制が重要である。

(2) IZA型電気自動車の量産化とGVのLCCO₂量削減の可能性

IZAの量産化を考えると、アルミ製のフレーム、CFRP等で作られたカウルの部分は鉄製、マグネシウム製のホイールはアルミ製になるとして、その場合の重量増を見積もる。冷間圧延鋼板の比弾性率を1とすると、高張力アルミ板、CFRPはそれぞれ1.05と1.29³⁹⁾である。その比弾性率分だけ重量増になるとすれば、フレームが7.5kg、カウルが35.6kgで合計43.1kgの増加となる。さらに、マグネシウム製のホイールは、比重の比倍だけ重量が増加するとすれば30.4kg増となる。よって、IZAの量産化においては73.5kgの重量の増加となり、IZAの動力性能は低下する。しかし、7.4.4(2)で述べたようにIZAのモータをスーパードライブへ交換することで、モーターの1個当たりの重量は半減可能である。すると、4輪合計では70.2kgの軽量化が達成され、構成素材の変更による重量増はほとんど相殺される。よって、鉄が主な構成素材となっている現行車並みにした上で、スーパードライブを採用することにより、IZA並みの性能を維持することは可能と思われる。この場合の車輻にかかわるCO₂排出量は、現状レベルの電源構成でGVの約1.6倍、走行時のCO₂排出量はGVの21%となり、量産型IZAのLCCO₂量はGVの約43%となる。量産型IZAは自動車からのCO₂排出削減対策として十分効果があると言えよう。

一方、現行車のLCCO₂量を減らすことも可能である。それは、IZAに取り入れられた低転がり摩擦のタイヤの採用、空気抵抗の少ない車体設計等の工夫あるいは、リーンバーン燃焼や現行車の過剰な走行性能を抑制することによる燃費向上等の対策である。仮にIZA並みの空力特性(C_d値)や低転がり摩擦のタイヤを持ったガソリン自動車(NCGV, New Concept Gasoline Vehicle)が作れたとすれば、60km/h定速走行の場合には原油1リットルで約38km走行できる。このNCGVのLCCO₂量は約3t-Cとなり、GVに比べて約3割減少できる。

この結果からは、IZAに取り入れられた各種の工夫をGVが取り込むならば、GVの代わりにEVを導入しなくとも、温暖化対策としては十分な効果が得られるとも言える。しかしながら、電気自動車には現行車に比べて、7.4.1項で述べたように走行時に排気ガスがない、騒音が小さいという優位性がある。この点で、地球規模の環境問題の解決のみならず地域規模の環境問題の解決をも同時に満たすものとして、電気自動車は非常に有効であると言える。

(3) 量産型IZAの普及によるCO₂排出削減効果の試算

ここでは、(2)で述べた量産型IZAが市場に投入された場合のCO₂排出削減量について検討する。電力のCO₂排出原単位については現状レベルの原単位を使う。

量産型IZAの車輻に係わるCO₂排出は、GVに比べて素材の製造・車輻の組立などにより一台当たり0.73t-C増加する。しかし、走行時にはGVに比べて、4.95t-C削減可能である。よって、車輻に係わる排出を一年当たりで計算し直すと、トータルで一年一台当たり、 $(4.95 - 0.73) / 10 = 0.42$ t-Cの削減となる。ここ数年の乗用車の平均使用年数は約10年であり、1993年12月末現在で小型乗用車の保有台数が約3149万台であることから、毎年その10%が量産型IZAに変わるとすれば、1.33Mt-CのCO₂排出削減が可能である。これは1990年の国内CO₂排出量約318Mt-Cの0.42%に相当する。

7.4.6 考察とまとめ

電気自動車IZAと現行ガソリン車とについて、LCAの視点からライフサイクルCO₂排出量を求め比較した。その結果、電気自動車IZAのLCCO₂排出量は発電源により大きく異なり、現状の

発電構成では I Z A の車輛に係わる CO₂ 排出量は GV の約 2 倍に、走行時の CO₂ 排出量は GV の半分以上となり、GV に比べて I Z A の L C C O₂ 量は 3 割少なくなることを示した。

また、I Z A に限らず EV においては、電池の性能によりその L C C O₂ 量が大きく変わる。高性能電池の開発ならびに駆動系の改良による走行距離の増加さらに、低炭素排出の発電源が、EV の L C C O₂ 量を減らすためには必要である。

I Z A の量産化を考えると、モータにスーパードライブを用いると、車輛の構成素材の変更による重量増からの動力性能の低下を、モータの軽量化によってほぼ相殺できる。この場合、GV に比べて車輛では約 1.6 倍、走行では 0.21 倍の CO₂ 排出量となり、GV の約 43% の L C C O₂ 量となる。スーパードライブを用いた量産型 I Z A の導入は、自動車からの CO₂ 排出削減対策として十分の効果を持っていると言える。

一方、現行車でも各種の対策を施すことにより、L C C O₂ 量を 3 割程度減少可能である。その場合、地球温暖化対策としての EV 導入の効果が薄れるが、GV に比べて EV は走行時に排気ガスが出ない、騒音が小さい等の優位性がある。将来的には化石燃料の資源枯渇の問題もあるが、近い将来までにおいては量産型 I Z A の導入および GV の N C G V への変更により、エンジン自動車と電気自動車の双方が、地球環境および地域環境問題の解決のために協力することが必要であろう。

7. 5 結言

本章では、L C A の概念に基づき自動車を対象として、その素材製造から加工組立、販売、走行、維持・管理、修理、廃棄までの CO₂ 排出量を求めた。ライフサイクル排出量の推計には、積み上げ法と産業産業連関分析法の二つの方法を利用した。

まず、現行ガソリンエンジン車を対象として新車の製造時と走行時の CO₂ 排出量の分析を行い、走行時の CO₂ 排出は製造時の CO₂ 排出の約 6 倍であり、走行段階における CO₂ 排出を抑制することが自動車からの CO₂ 排出を抑制するためには有効であることを示した。また、積み上げ法と産業連関分析法の結果を比較し、両手法の結果は良く一致し、補完的に用いることで推計の精度が上がることも示した。

つぎに、自動車自体にかかわるライフステージを増やし、かつ自動車を利用する際に必要である道路や道路関連施設などのインフラストラクチャをも含めたライフサイクル CO₂ 排出量の分析を行い、車両自体に係わる排出、燃料に係わる排出、道路等インフラに係わる排出の比がおおよそ 2 対 6 対 1 であることを、産業連関分析を用いて明らかにした。

さらに、地球温暖化対策としては CO₂ を含めた温室効果ガスの排出削減が重要であることから、C H₄、N₂O、フロン等の温室効果ガスを含めたライフサイクル温室効果ガス排出量の分析を行った。C H₄、N₂O の排出による温室効果はかなり小さいのに対して、カーエアコン用フロンの漏れからの温室効果は非常に大きく、自動車からのライフサイクル温室効果ガス排出量を約 1.5 倍に増加させることを示した。そして、カーエアコン用フロンの漏れを少なくすることは自動車の燃費向上と同程度の大きな効果を持つ対策であることを明らかにした。

また、温暖化対策として現在のガソリン自動車から走行時に CO₂ を排出せず、かつエネルギー効率がエンジン自動車よりも高い電気自動車への代替という対策をとった場合の CO₂ 排出削減量を、それぞれの自動車のライフサイクル CO₂ 排出量を比較することで求めた。その結果、電気自動車のライフサイクル CO₂ 量は電池の性能と電源構成に大きく依存すること、ガソリン自動車に対する CO₂ 排出削減量は、現状の発電構成では約 2 / 3、さらに駆動系に最新技術を採用することにより 4 割程度まで削減可能なことを示した。

参考文献

- 1) Jansson-Lijenroth, U. : A tool for ecological design, the EPS-system, Advanced Materials '93, V/A : Ecomaterials, ELSEVIER, 741/746, 1994.
- 2) Krummenacher, B. : Environmental impact of design and materials selection in cars, Industry and Environment, 16 (1-2), 46/50, 1993.
- 3) 環境庁企画調整局地球環境部編：地球温暖化防止ハンドブック第4分冊 交通編, 第一法規, 201pp, 1992.
- 4) 日高聡史：モーダルシフトとエネルギー効率—トラックと鉄道の比較を中心として—, エネルギー経済, 第19巻, 第6号, 17/34, 1993.
- 5) 宮下英雄：運輸部門のエネルギーアナリシス, 茅陽一編：エネルギーアナリシス, 電力新報社, 159/189, 1980.
- 6) 沼澤明男：自動車の今後の技術動向, 季報エネルギー総合工学, 第11巻, 第2号, 68/79, 1988.
- 7) 蓮池宏：電気自動車と内燃機関自動車のエネルギーおよび環境面からの比較, 季報エネルギー総合工学, 第15巻, 第1号, 26/36, 1992.
- 8) 伊藤亮三：自動車とエネルギー技術, エネルギー・資源, 第12巻, 第2号, 34/39, 1991.
- 9) 金栄吉：自動車から排出されるCO₂の低減, 自動車技術, 第44巻, 第10号, 45/50, 1990.
- 10) 竹辺孝：CO₂問題から見た自動車の将来, 日本機械学会誌, 第94巻, 第869号, 36/39, 1990.
- 11) 湊清之・岩田三枝子・鮎澤正：自動車のエネルギー消費と環境問題—欧米との比較—, 自動車研究, 第13巻, 第2号, 29/32, 1991.
- 12) 湊清之・岩田三枝子・鮎澤正：地球温暖化問題と自動車の係わり その2：エネルギーと道路環境, 自動車研究, 第13巻, 第7号, 12/17, 1991.
- 13) 近藤美則・森口祐一・清水浩・石谷久：素材生産に伴う二酸化炭素の排出原単位と自動車生産過程への適用, 第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 231/236, 1992.
- 14) Y.Kondo, Y.Moriguchi and H.Shimizu : Analysis of carbon dioxide emission by material production and its application to automotive production, Advanced Materials '93, V/A : Ecomaterials, ELSEVIER, 747/750, 1994.
- 15) Y.Moriguchi, Y.Kondo and H.Shimizu : Analysing the life cycle impacts of cars : the case of CO₂, industry and environment, UNEP-IE/PAC, Vol.16, No.1-2, 42/45, 1993.
- 16) 森口祐一・近藤美則・清水浩・石谷久：自動車によるCO₂排出のライフサイクル分析, 第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 411/416, 1993.
- 17) 森口祐一・近藤美則・清水浩：自動車による温室効果ガス排出のライフサイクル分析, 環境衛生工学研究, 第9巻, 第3号, 11/16, 1995.
- 18) 茅陽一：エネルギーアナリシス, 電力新報社, 294pp, 1980.
- 19) 通商産業大臣官房調査統計部編：昭和63年鉄鋼統計年報, 1989.
- 20) 通商産業大臣官房調査統計部編：昭和61年資源統計年報, 1987.
- 21) (社)日本アルミニウム連盟：軽金属工業統計年報, 1989.
- 22) 総務庁編：昭和60年産業連関表計数編(1), 1989.
- 23) 通商産業大臣官房調査統計部編：平成元年プラスチック製品統計年報, 1990.
- 24) 通商産業大臣官房調査統計部編：平成元年ゴム製品統計年報, 1990.
- 25) 通商産業大臣官房調査統計部編：平成元年窯業・建材統計年報, 1990.

- 2 6) 日産自動車株式会社編：自動車産業ハンドブック 1990 年版，1990.
- 2 7) 通商産業大臣官房調査統計部編：昭和 63 年石油等消費構造統計表（商鉱工業），1990.
- 2 8) 新聞記事：1991.1.28（月）付け日経産業新聞，1991.
- 2 9) 内山洋司・山本博巳：発電プラントのエネルギー収支分析，電力中央研究所報告，Y90015，75pp，1991.
- 3 0) 重田潤：化石燃料利用のためのCO₂排出量の定量的評価，季報エネルギー総合工学，第 13 巻，第 3 号，2/11，1990.
- 3 1) 日本国政府：「気候変動に関する国際連合枠組条約」に基づく日本国報告書，141pp，1994.
- 3 2) 地球人間環境フォーラム・地球産業文化研究所：「地球温暖化の防止に向けて／セミナー：IPCC 最新情報」予稿集，119pp，1995.
- 3 3) IPCC/OECD：Greenhouse Gas Inventory Reference Manual, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 3,1995.
- 3 4) (財)日本システム開発研究所：平成 2 年度環境庁委託調査 低公害車代替手法検討調査報告書，1991.
- 3 5) 東京電力EV研究会：電気自動車の高性能化に関する研究報告書，285pp，1994.
- 3 6) 清水浩：電気自動車のすべて，日刊工業新聞社，237pp，1992.
- 3 7) 内山洋司・山本博巳：発電プラントの温暖化影響分析，電力中央研究所報告，Y91005，49pp，1992.
- 3 8) (社)未踏科学技術協会：資料環境負荷性評価システム構築のための基礎調査研究（別冊），109pp，1995.
- 3 9) 清水浩：近未来交通プラン，三一書房，194，1995.

第8章 結 論

8. 1 本研究の総括

地球の温暖化を防ぐための対策を取るためには、まず温暖化の原因物質である温室効果ガスの排出構造が明らかにされる必要がある。それが明らかになることによって、温暖化防止対策を取るべき分野の特定および、対策の有効性の評価を行うことができる。そのため、本研究では温室効果への寄与が現在もっとも大きく、かつ人々のあらゆる活動に伴って排出される二酸化炭素（ CO_2 ）をとりあげ、総合エネルギー統計と産業連関表の二つの統計を利用して、マクロな視点から CO_2 の排出構造の解明を試みた。つぎに、地球温暖化問題の解決が世界的に求められていること、現在の大气中の CO_2 濃度の上昇は産業革命以後の先進諸国の化石燃料の大量消費をもととした経済発展によるものであることから、その CO_2 排出の責任として負うべき CO_2 排出量として帰属排出量の概念を提案し、その定義と公平性、有効性について検討を行った。また、 CO_2 は人々のあらゆる活動に付随して排出されることから、家庭部門を対象とした詳細な CO_2 排出構造の分析を経時的に行い、人々のライフスタイルと CO_2 排出の関係についても検討を行った。さらに、製品やシステムの環境負荷の総合的評価手法として現在注目を集めているライフサイクルアセスメントの手法の利用により、日本のGNPや関連する従業員数および輸出品目への寄与が大きく、かつ家庭における最大の耐久消費財である自動車を対象としてそのライフサイクル CO_2 排出量を求め、地球温暖化問題に対する有効な対策とその評価について示し、この手法の温暖化問題への適用可能性と有効性の検討を行った。以下に、本研究により明らかになったことを示す。

第2章では、研究に先立ち、これまでに行われてきた地球温暖化問題の原因である温室効果ガスの中の特に出る CO_2 にかかわる研究の動向を、排出量分析、排出削減対策、排出処理対策ごとに整理した。また、本研究で用いる産業連関表を用いた環境分野に関する研究ならびに、ライフサイクルアセスメント手法を用いた研究についても簡単に整理した。さらに、各種発行されている公式統計について、その CO_2 排出量分析への利用可能性および、本研究で主に用いている産業連関表を用いた CO_2 排出構造の分析方法について述べた。

第3章では、現実に消費されている化石燃料の分類とその燃料の供給あるいは消費量データを反映させた日本の CO_2 排出量を総合エネルギー統計を用いて部門別・起源別に簡便に推計する方法を示すとともに、1965年から1990年までの過去26年間について実際に推計を行った。また、 CO_2 の直接排出源を明らかにしただけでなく、電力などエネルギー転換部門の排出を最終消費者に間接排出として転嫁する考え方を示した。その結果、国内で実際に消費されている燃料種や燃料代替等による排出量への寄与が、この排出量推計手法によると正確に反映できることを示し、手法の有効性を明らかにした。さらに、この間の CO_2 排出量の推移について要因分析を行い、 CO_2 排出とエネルギー供給構造や CO_2 排出と経済指標との関係についての検討を行った。

第4章では、第3章で示した最終消費者にエネルギー転換部門の CO_2 排出の責任を転嫁する間接排出の考えが、一国の一年の経済活動を金額を単位として表す産業連関表を使うことによってあらゆる財やサービスに対してまで拡張することができることに着目し、産業連関表を利用した CO_2 排出量の分析を行い、食料品の購入やサービスの利用などによる間接的な排出が化石燃料や電力などエネルギーの直接利用による排出より多いことを明らかにした。また、本章で得られた結果を前章の結果と比較し、両方法による結果は細部で異なる点があるものの、推計範囲の統一と部門分類の対応に留

意すれば、整合性のある結果が得られることを示した。つぎに、産業連関表を用いてこのようなCO₂排出構造分析を行う際、許容誤差内の結果を得るために必要な部門数の情報を得るため、部門統合による誤差の解析を行い、84分類以上の部門数を用いればほぼ正確な排出構造分析が可能であることを示した。また、誤差解析結果に基づいた部門数設定による国内のCO₂排出構造の分析を1975年から90年までの5年おき4時点に対して行い、温暖化抑制のためには、民間消費支出でのエネルギーの直接消費や対個人サービス、商業の利用の抑制、民間資本形成における建築に係わる排出を抑える必要があることを指摘した。

第5章では、第4章で明らかにした国内のみの生産活動に伴うCO₂排出構造の分析を拡張し、日本の輸入にかかわる国外のCO₂量をも含めた排出構造の経時的分析を行った。そして、1975年から85年の間は、輸入品に伴い国外で排出されるCO₂量より輸出品の生産に伴い国内で排出されるCO₂量の方が多く、85年から90年にかけては逆転したことを示した。また、日本がそのCO₂排出に対して責任を負うべき量として、いわゆる国内排出量では考慮されない国内需要を満たすための国外におけるCO₂排出量に対しても、受益者負担の見地から責任を負うべき排出量として帰属排出量の概念を提案し、それが国内排出量や国内最終需要を満たすためのCO₂量よりも、より公平な指標となりうることを示した。一方、同種の手法を多国間貿易に対して適用することにより、国際貿易におけるCO₂収支についても検討を行い、世界全体の貿易に伴うCO₂排出量に大きく関係しているのは西欧、北アメリカ等であることを明らかにした。

第6章では、温暖化対策をとる部門として家計を取り上げ、輸入品の生産に伴う国外におけるCO₂排出をも考慮し、かつ具体的な対策が提示できるよう可能な限り詳細な部門分類による購入者価格での分析、さらに、ライフスタイルの変化による排出構造の推移について検討するために経時的分析を行った。そして、家計の消費支出に伴って排出されたCO₂量は全体量としてもまた一人当たりの量としても1975年から85年まではほぼ一定であったが、85年から90年にかけて急増し、それが電力やガソリンの消費量の増加、遊戯場や航空機の利用、乗用車の購入等によることを示した。さらに、この家計の消費支出に伴うCO₂排出量のうち、輸入品に伴うCO₂量は10数%を占め、近年それによるCO₂排出が増加していること、そのためこれを無視するならば温暖化対策に関して誤った結論を導く可能性があること等を明らかにした。つぎに、産業連関表の作成における不備事項を分析の過程で指摘する一方、1990年の分析においてはCO₂排出源の追加を行い、産業連関表を用いたCO₂排出構造分析の精度を高めた。そしてこの章の分析から、家計での消費行動によって直接間接に誘発されるCO₂の排出を抑えるためには、ライフスタイルの変更が必要であること、そのためには個人の行動により直接間接にどれだけのCO₂排出を誘発しているかを認識することがまず第一であり、今後、そのための情報の提示や環境に対する認識を高める教育が必要であること等を指摘した。

第7章では、ライフサイクルアセスメントの考えを利用して、自動車を対象としたライフサイクルCO₂排出量を積み上げ法と産業連関分析法の二つの方法を利用して求めた。そして、ガソリンエンジン車の走行時のCO₂排出は製造時のCO₂排出の約6倍であり、走行段階におけるCO₂排出を抑制することが自動車からのCO₂排出を抑制するためには有効であることを示した。また、積み上げ法と産業連関分析法の結果を比較し、両手法の結果は良く一致し、補完的に用いることで推計の精度が上がることも示した。つぎに、自動車自体にかかわるライフステージを増やし、かつ自動車を利用する際に必要である道路や道路関連施設などのインフラをも含めたライフサイクルCO₂排出量の分析を行い、車両自体の製造と維持・廃棄、燃料の生産と消費、インフラ建設と維持でのCO₂排出量の比がおおよそ2対6対1であることを、産業連関分析を用いて明らかにした。さらに、地球温暖化対策としてはCO₂を含めた温室効果ガスの排出削減が重要であることから、CH₄、N₂O、フロン等の温室

効果ガスを含めたライフサイクル温室効果ガス排出量の分析を行った。そして、 CH_4 、 N_2O の温室効果への寄与はかなり少ないのに対して、カーエアコン用フロンからの温室効果への寄与は非常に大きく、自動車からのライフサイクル温室効果ガス排出量を約 1.5 倍に増加させることを示し、カーエアコン用フロンの漏れを少なくすることは自動車の燃費向上と同じくらい大きな効果を持つ対策であることを明らかにした。また、温暖化対策として現在のガソリンや軽油などを燃料とするエンジン自動車から、走行時に CO_2 を排出せず、かつエネルギー効率がエンジン自動車よりも高い電気自動車への代替という対策をとった場合の CO_2 排出削減量を、それぞれの自動車のライフサイクル CO_2 排出量を比較することで推算した。その結果、電気自動車のエンジン自動車に対する CO_2 排出削減量は、車体製造時および走行時の消費電力を供給する発電施設により大きく変化すること、現状レベルの発電構成では約 2 / 3、さらに駆動系に最新技術を採用することにより約 4 割にまで削減可能なこと等を示した。

8. 2 今後の研究課題

本研究の成果は、地球温暖化対策を取る上で必須である温室効果ガス、特に CO_2 の排出構造を詳細に解析しているため、取りうる対策の分野とそれによる排出削減量を推定することに大きく資するものである。しかし、なお改善の余地が残されていることも事実である。

第一に、本研究の前半で示した部門別、起源別の CO_2 排出量分析の結果は、さまざまな対策の効果の推定や CO_2 排出抑制のための経済的手段の導入時の基礎データとしての利用が考えられるが、なお、推計に用いた燃料種の分類がやや粗い。総合エネルギー統計の詳細版に基づいた、より現状を反映した分析を行う必要がある。

第二に、産業連関分析において用いた輸入品は国産品と同等の生産構造により生産されたとする仮定によって得られた結果は、輸入品に伴う CO_2 排出量の一次近似としては十分意味を持つが、第 5 章後半の国際間 CO_2 収支分析での排出強度の修正によって示されたように、実際に海外で生産された財の CO_2 総排出強度は一般に国産品のものより大きい。よって、本研究の第 5 章および第 6 章で行った CO_2 排出の責任量である帰属排出量、貿易に伴う排出構造、家計の支出による排出構造等の分析をより正確に求めようとするならば、輸出入される財が中間需要なのか最終需要なのかを区別すること、および貿易データに含まれる再輸出分、再輸入分の取り扱い等に注意し、貿易相手国でのエネルギー消費実態をより正確に反映した分析を行う必要がある。

第三に、家計の消費支出に伴う CO_2 排出の増加について、家電製品等の保有状況とエネルギー消費、 CO_2 排出との関連の分析により、その増加原因の解明を行う必要がある。また、単位物量当たりの排出強度の導出による各種製品の省エネルギーや CO_2 低排出化の分析を行うことが必要である。これらにより家計での CO_2 排出とライフスタイルとの関係がより明確になると思われる。

第四に、自動車のライフサイクル CO_2 排出量について、分析に含めなかったライフステージあるいは、仮定に基づく推計部分の CO_2 排出がライフサイクル CO_2 排出量において無視できる量であるかの検討が必要である。さらに、高性能電気自動車と現行ガソリン車のライフサイクル CO_2 排出量の比較について、取り上げたガソリン車は現在の一般的な乗用車を取り上げているが、ガソリン車にも燃費向上のための最新技術が採用されたとした場合のライフサイクル CO_2 量を電気自動車と比較することが、両自動車の中立的な視点からの公平な評価としては必要であろう。

第五に、本研究では地球温暖化問題を考え、温室効果ガスとしては主に CO_2 を取り上げた分析を行っているが、温室効果ガスとしてはさらに CH_4 、 N_2O 、フロン等があり、これらの排出構造の分

析も行う必要がある。さらに、ライフサイクルアセスメントの対象として自動車を取り上げていることから、CO₂以外の大気汚染物質すなわち、窒素化合物(NO_x)、硫黄化合物(SO_x)等や騒音等の環境負荷を含めたより総合的な分析を行う必要がある。

本研究で用いた方法は、このような物質の排出構造の分析にも適用可能なものである。

謝 辞

本論文をとりまとめる機会を与えて下さり、終始暖かいご指導と励ましを賜った工学部情報知能工学科(大学院自然科学研究科知能科学専攻)の北村新三教授に深甚なる感謝の意を表します。また、論文原稿に目を通していただき、貴重なご意見を賜った大学院自然科学研究科知能科学専攻田中克巳教授、工学部応用化学科(大学院自然科学研究科生産科学専攻)片岡邦夫教授に深く感謝いたします。

本研究は、環境庁国立環境研究所における約5年にわたる研究の成果をまとめたもので、本研究の契機となった研究プロジェクトの立案以来、同研究所地域環境研究グループ交通公害防止研究チーム清水浩総合研究官には、研究の進め方について終始ご指導ご助言をいただきました。同グループ水改善手法研究チーム森口祐一総合研究官(当時、同グループ交通公害防止研究チーム主任研究員)には、研究当初より微に入り細部にわたり研究についてご助言をいただき、本当にありがとうございました。

関連論文等発表一覧

第3章

- 1) Y.Kondo, H.Shimizu and Y.Moriguchi : Analysis of sectoral GHG emission in Japan and technology assessment of mitigating GHG, Korea Workshop "Global Climate Change : The Cost-Effectiveness and Energy Technology for Reducing Greenhouse Gas Emission", Seoul, Korea, 1991.11.
- 2) 森口祐一, 近藤美則, 清水浩 : 「わが国における部門別・起源別CO₂排出量の推計」, 第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 225/230, 1992.2.
- 3) 森口祐一, 近藤美則, 清水浩 : 「わが国の部門別, 起源別, 地域別CO₂排出量の推計」, 京都大学環境衛生工学研究会第14回シンポジウム講演論文集, 92/97, 1992.7.
- 4) 森口祐一, 近藤美則, 清水浩 : 「わが国における部門別・起源別CO₂排出量の推計」, エネルギー・資源, 第14巻, 第1号, 32/41, 1993.

第4章

上記4)

- 5) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩 : 「産業連関表によるCO₂排出構造の分析」, 第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 233/238, 1993.1.
- 6) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩 : 「産業連関表によるCO₂排出構造の経時的分析と分析における部門数別誤差の解析」, エネルギー・資源, 第15巻, 第2号, 77/85, 1994.

第5章

- 7) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩 : 「輸出入を考慮した日本のCO₂排出構造の分析」, 環境科学会 1993 年会講演要旨集, 16, 1993.11
- 8) 森口祐一, 近藤美則, 清水浩 : 「品目別貿易OD表を用いた国際環境負荷収支勘定—CO₂排出を例として—」, 環境科学会 1993 年会講演要旨集, 15, 1993.11
- 9) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩 : 「わが国の輸出入に伴うCO₂排出量の経時分析とその国際間CO₂収支分析への応用」, 第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 231/236, 1994.1
- 10) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩 : 「わが国の輸出入に伴うCO₂排出量の経時分析とその国際間CO₂収支分析への応用」, エネルギー・経済, 第20巻, 第4号, 39/48, 1994.
- 11) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩 : 「日本の輸出入に伴うCO₂量の経時的分析」, エネルギー・資源, 第16巻, 第2号, 68/75, 1995.

第6章

- 12) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩 : 「家計消費支出に伴うCO₂排出量の産業連関表による一推計」, 環境科学会 1992 年会講演要旨集, 183, 1992.12.
- 13) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩 : 「家計消費支出に伴う二酸化炭素排出量の経時分析」, 環境科学会 1994 年会講演要旨集, 88, 1994.11

- 1 4) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩:「家計消費支出によるCO₂排出構造の経時的分析」, 第11回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 235/240, 1995.1
- 1 5) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩:「家計消費支出によるCO₂排出構造の経時的分析」, エネルギー経済, 第21巻, 第4号, 27/35, 1995.
- 1 6) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩:「家計の消費支出から見たCO₂排出構造の経時的分析」, 環境科学会誌, 第9巻, 第2号, 231/240, 1996.
- 1 7) 青柳みどり, 森口祐一, 清水浩, 近藤美則:「生活に関連した二酸化炭素削減対策の可能性の評価」, 環境科学会誌, 第5巻, 291/303, 1992.
- 1 8) 青柳みどり, 森口祐一, 近藤美則, 清水浩:「生活に関連したCO₂削減対策の可能性の評価」, エネルギー経済, 第18巻, 第4号, 33/40, 1992.
- 1 9) 青柳みどり, 森口祐一, 近藤美則, 清水浩:「生活に関連したCO₂削減対策の可能性の評価」, 第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 315/320, 1992.2.
- 2 0) 青柳みどり, 近藤美則, 森口祐一, 清水浩:「世帯類型によるCO₂排出構造の差の分析」, 第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 307/312, 1993.1.
- 2 1) 青柳みどり, 近藤美則, 森口祐一, 清水浩:「家計属性から見た直接エネルギー負荷について」, 環境科学会 1993 年会講演要旨集, 20, 1993.11
- 2 2) 青柳みどり, 森口祐一, 近藤美則, 清水浩:「家計のエネルギー支出構造の特性について」, 第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 255/260, 1994.1
- 2 3) 青柳みどり, 森口祐一, 近藤美則, 清水浩:「首都圏近郊地域における一般世帯のエネルギー消費調査の結果について」, 第11回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 91/96, 1995.1
- 2 4) 青柳みどり, 森口祐一, 近藤美則, 清水浩:「家計のエネルギー支出の特性について」, エネルギー・資源, 第16巻, 第6号, 59/67, 1995.

第7章

- 2 5) Y.Moriguchi, H.Shimizu and Y.Kondo: Analysis and management of life cycle environmental impacts of automobiles - CO₂ emission analysis and new policy on recycling and other recent topics -, Invitational Expert Seminar: Cleaner Production Strategy in Automotive Sector, Trolleholm, Sweden, 1991.12.
- 2 6) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩, 石谷久:「素材生産に伴う二酸化炭素の排出原単位と自動車生産過程への適用」, 第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 309/314, 1992.2.
- 2 7) 石谷久, 清水浩, 近藤美則:「交通分野における対策技術」, 計測と制御, 第31巻, 第5号, 571/576, 1992.
- 2 8) 清水浩, 森口祐一, 近藤美則, 田村正行:「地球温暖化と電気自動車の可能性」, 太陽エネルギー, 第18巻, 第6号, 28/34, 1992.
- 2 9) 清水浩, 森口祐一, 近藤美則:「ライフサイクルエネルギー―自動車を例として―」, 第4回エネルギー重点領域研究講演会, 1992.10.
- 3 0) 森口祐一, 近藤美則, 清水浩, 石谷久:「自動車によるCO₂排出のライフサイクル分析」, 第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 411/416, 1993.1.

- 3 1) 森口祐一, 近藤美則, 清水浩, 石谷久:「自動車によるCO₂排出のライフサイクル分析」, エネルギー経済, 第19巻, 第4号, 36/45, 1993.
- 3 2) 森口祐一, 近藤美則:「自動車の地球環境負荷を考える」, 金属, 1993年6月号, 48/54, 1993.
- 3 3) Y.Moriguchi, Y.Kondo and H.Shimizu: Analysing the life cycle impacts of cars: the case of CO₂, industry and environment, UNEP-IE/PAC, Vol.16, No.1-2, 42/45, 1993.
- 3 4) Y.Kondo, Y.Moriguchi and H.Shimizu: "Analysis of carbon dioxide emission by material production and its application to automotive production", IUMRS/ICAM-93, Tokyo, 1993.8.
- 3 5) H.Shimizu, Y.Moriguchi, Y.Kondo and M.Tamura: Global warming and the feasibility of electric cars, International Journal of Solar Energy, Vol.14, 169/179, 1994.
- 3 6) Y.Kondo, Y.Moriguchi and H.Shimizu: Analysis of carbon dioxide emission by material production and its application to automotive production, Advanced Materials '93, V/A: Ecomaterials, ELSEVIER, 747/750, 1994.
- 3 7) 森口祐一, 近藤美則, 清水浩:「自動車による温室効果ガス排出のライフサイクル分析」, 京都大学環境衛生工学研究会第17回シンポジウム講演論文集, 11/16, 1995.7.
- 3 8) 近藤美則:「自動車のLCA~LCHG分析と今後の展開」, 高分子学会第4回プラスチックリサイクル研究会講演要旨集, 9/14, 1995.11.
- 3 9) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩:「電気自動車I ZAとガソリン車のライフサイクルCO₂量の分析」, 第12回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 529/534, 1996.2.
- 4 0) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩:「電気自動車I ZAとガソリン車のライフサイクルCO₂量の分析」, エネルギー経済, 第22巻, 第4号, 20/29, 1996.
- 4 1) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩:「電気自動車I ZAとガソリン車とのライフサイクルCO₂量の比較」, エネルギー・資源, 第17巻, 第5号, 1996.

第3章から第7章まで

- 4 2) Y. Kondo, Y. Moriguchi and H. Shimizu: Creating an Inventory of Carbon Dioxide Emissions for Japan: Comparison of Two Methods, AMBIO, Vol.25, 304/308, 1996.