

■ 研究論文 ■

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

Analysis of the Structure and the Trend of Carbon Dioxide Emission Using the Input-Output Table and Evaluation of Errors Originating from Sectoral Aggregation

近藤 美則*・森口 祐一**・清水 浩***
Yoshinori Kondo Yuichi Moriguchi Hiroshi Shimizu

(1993年5月6日原稿受理)

Abstract

Errors originating from sectoral aggregation when analysing the structure of carbon dioxide (CO₂) emission using the Input-Output Table were evaluated, where the number of sector is 29, 84, 183 and 408. And the trend of the structure of CO₂ emission from 1975 to 1990 in every five year was also analysed.

From the evaluation of errors, it was clarified that the appropriate result is obtained if a table with 84 or more sectors is adopted for its analysis.

The analysis of the trend of CO₂ emission structure showed ;

1) The amount of CO₂ emission from 1975 to 1985 was almost constant, while there was a sudden increase of emission in 1990.

2) From 1975 to 1985, CO₂ emission from private consumption expenditures increased, while the emission from gross domestic fixed capital formation decreased.

3) From 1985 to 1990, the emission from all sectors except exports increased. Especially that from private gross domestic fixed capital formation showed an increase of 50% over this period.

1. はじめに

地球温暖化の問題に対する対応策として、わが国では1990年秋に地球温暖化防止行動計画が策定された。また、国際的には1992年6月にブラジルで地球サミットが開催され、気候変動防止枠組条約が締結された。行動計画では2000年にCO₂の一人当たりないし総排出量を1990年レベルで安定化するなど、国内外を問わず、CO₂排出量の現状維持、削減の目標が掲げられている。これらの目標の実現のために、対策技術の開発が進められる一方、その普及策・誘導策としてCO₂の排出権取引や炭素税、環境税などの経済的手段も検討されている。

CO₂の排出量を削減ないし現状維持するという目

標の達成のためには、まず現在どこからどれだけのCO₂が排出されているかを明らかにしなければならない。また、国内においてCO₂の排出構造が過去から現在までどのように変化してきたかについて明らかにすることは、今後のCO₂の排出削減の可能性を探る上でも、低CO₂排出型の生産や生活のスタイルを考える上でも重要である。

筆者らは既報¹⁾において、各業種の製品が直接・間接に排出するCO₂量を産業連関表を用いて算出し、最終需要部門別にCO₂排出量を求め、その排出構造を明らかにした。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^{2,3)}による一連の報告があり、取引基本表に基づく406部

* 国立環境研究所 社会環境システム部環境計画研究室研究員
** " 地域環境研究グループ
交通公害防止研究チーム主任研究員

*** 国立環境研究所 地域環境研究グループ
交通公害防止研究チーム総合研究官
〒305 茨城県つくば市小野川116-2

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、本研究で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した。更に、この手法の応用の一つとして最終需要から見たCO₂排出構造の経時的变化を分析した。本文ではこれらの結果について報告する。

2. 分析の方法

2.1 CO₂ 排出源の範囲

分析の前提としてCO₂の排出源の範囲を規定する。地球上のCO₂の排出源には人為起源と自然現象に基づくものがあるが、ここでは温暖化に影響するという観点から、前者のみを考える。人為起源の排出源を大きく分けると、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、③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もの、④一般及び産業廃棄物の焼却によるもの、⑤農業廃棄物の焼却によるもの、等があるが、③、④、⑤の大部分はバイオマス起源であり、CO₂の純粋な排出に含めるべきか否か議論の余地があるため、ここでは、①と②を推計の範囲とした。

2.2 考慮した燃料種

CO₂排出源として推計の対象とした燃料種は次の通りである。石炭系は、原料炭・一般炭で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種である。石油系は、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。更に、前項の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排出原単位は既報¹⁾と同じ値を用いた。

2.3 推計に用いた統計

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⁴⁾(以下、取引基本表という)及び物量表⁵⁾(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、更に、「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。更に、CO₂排出構造の経時变化の分析においては、昭和50-55-60年接統産業連関表取引基本表⁶⁾、1990年産業連関表(延長表)⁷⁾(以下、それぞれ接統表基本表、延長表という)を用い、接統表基本表、延長表の金額と総合エネルギー統計⁸⁾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。

2.4 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、燃焼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¹⁾。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、更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、既

報¹⁾と同様、投入されたナフサ、LPG中の炭素の20%が燃焼するものと仮定し推計を行った。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。

2.5 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燃料消費によるCO₂排出量は、燃料種別の消費量に炭素含有率を乗じ、それを足し合わせることで求めた。次に、その部門別のCO₂排出量をその部門の国内生産額で除したものを、その部門の直接排出強度(d_i)とした。

ある製品のCO₂排出負荷量を求める場合、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。そこで、その間接分の大きさを調べるため、2.3で作成した408内生部門に対して $[I - (I - \hat{M})A]^{-1}$ 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、 \hat{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_iを乗じ、波及先の全部門i = 1 ~ 408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、

$$t_j = \sum_{i=1}^{408} b_{ij} \cdot d_i \quad (1)$$

となる。

また、部門iの最終需要F_iにより誘発されるCO₂量T_iは、最終需要F_iを(2)式のように国内最終需要Y_iおよび輸出需要E_iに分けることにより、

$$F_i = Y_i + E_i \quad (2)$$

部門iの輸入係数m_iから、

$$T_i = (1 - m_i) t_i \cdot Y_i + t_i \cdot E_i \quad (3)$$

で示される¹⁾。これらを次節以降の構造分析に用いる。

3. 408部門分類によるCO₂排出構造分析の結果

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CO₂の直接排出強度、および総排出強度を図-1に示す。なお、図-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。まず直接排出強度では、「セメント」の製造が408部門中最大の約18Mt-C(炭素換算百万トン)/百万円を持っており、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13Mt-C/百万円)。更にエネルギー関係では、「自家発電」が約10Mt-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

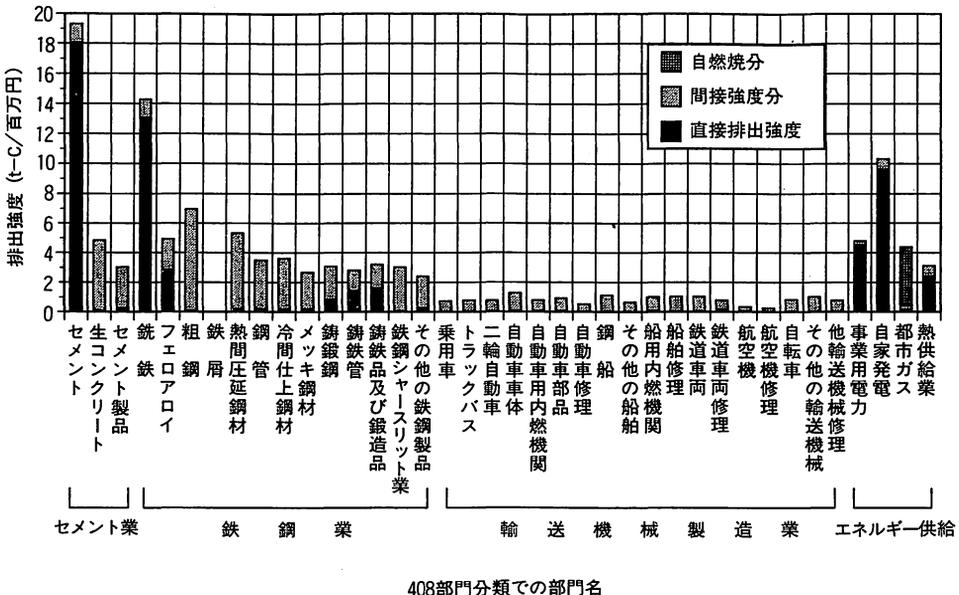


図-1 昭和60年産業連関表408部門分類によるCO₂排出強度

価格ベースの分析⁹⁾も行っている。

「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」等の需要からである。「一般飲食店（除喫茶店）」、「遊戯場」等の利用によるCO₂排出も民間消費支出からの排出の各々約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は、建設業の需要に係わる排出が大部分である。その内訳は「河川・下水道・その他の公共事業」が1位であり、次の「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。

既報¹⁾においては用いた部門数の制約から、資本形成と深く結びついている建設業の内訳が不明であった。だが、今回用いた408部門による詳細な分析により、公的資本形成は建設業の中でも「土木」と、民間資本形成は「建築」と深く結びついていることが明らかにされた。

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。

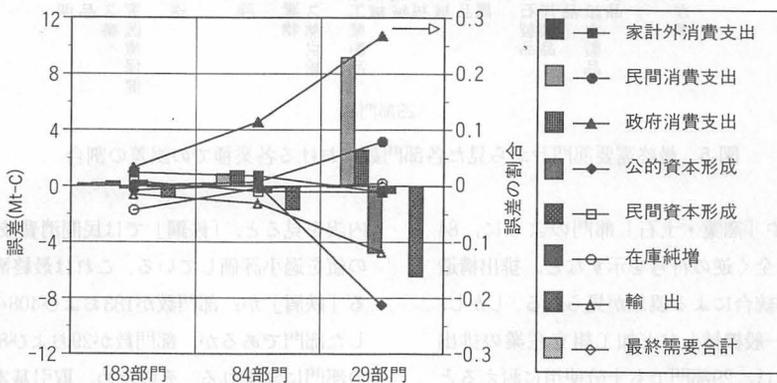
4. 部門統合による排出構造の誤差

こうした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。更に、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-3に示す。

図-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える。

次に、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、無視できる誤差の範囲である。

図-5に示した408部門の結果に対する誤差の割合で



(408部門による分析の値を基準として)

図-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

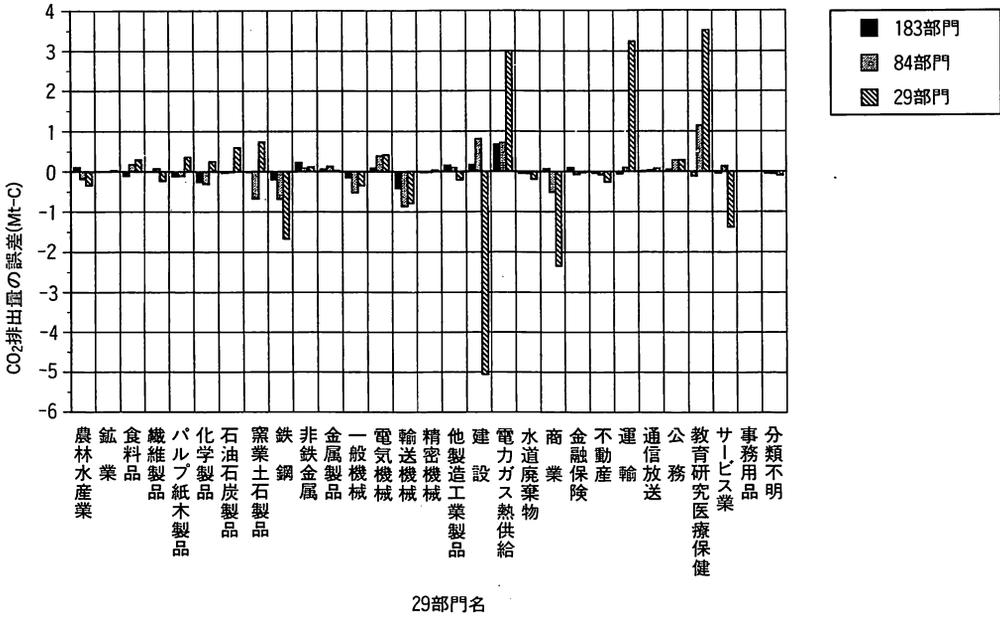


図-4 最終需要部門計から見た各部門数における各業種での誤差

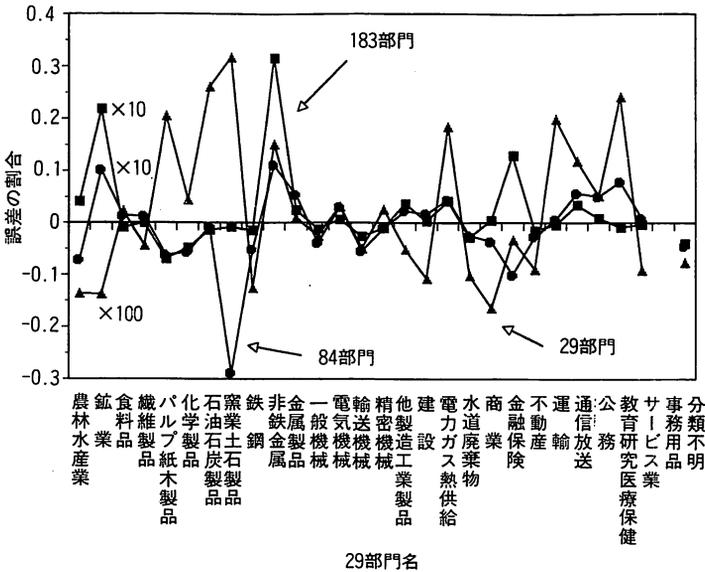


図-5 最終需要部門計から見た各部門数における各業種での誤差の割合

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たと推測される。

更に、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。そのため、取引基本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、部門の全体量を押し上げている。「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、更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。

5. 接続表・延長表によるCO₂排出構造の経時変化の分析

5.1 経時的分析の概要

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

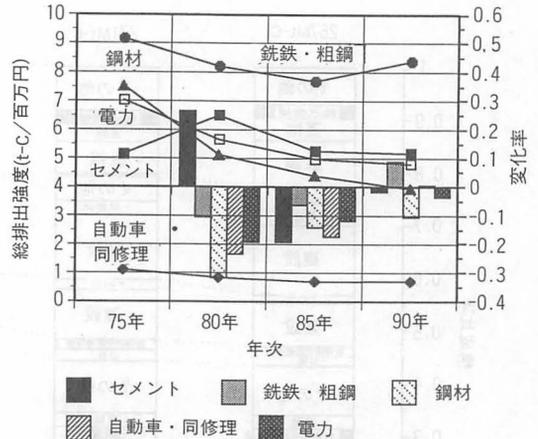


図-6 主要業種の総排出強度の推移とその変化率

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。

5.2 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-6に示す。「セメント」を除いて、1975年から1985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高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-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。

5.3 最終需要からみた4時点での排出構造の比較

求めた総排出強度と各時点での最終需要部門別の需要金額から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-7に示す。また、同図には、その排出がどの行部門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-7は左から順に、1975年、1980年、1985年、1990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～

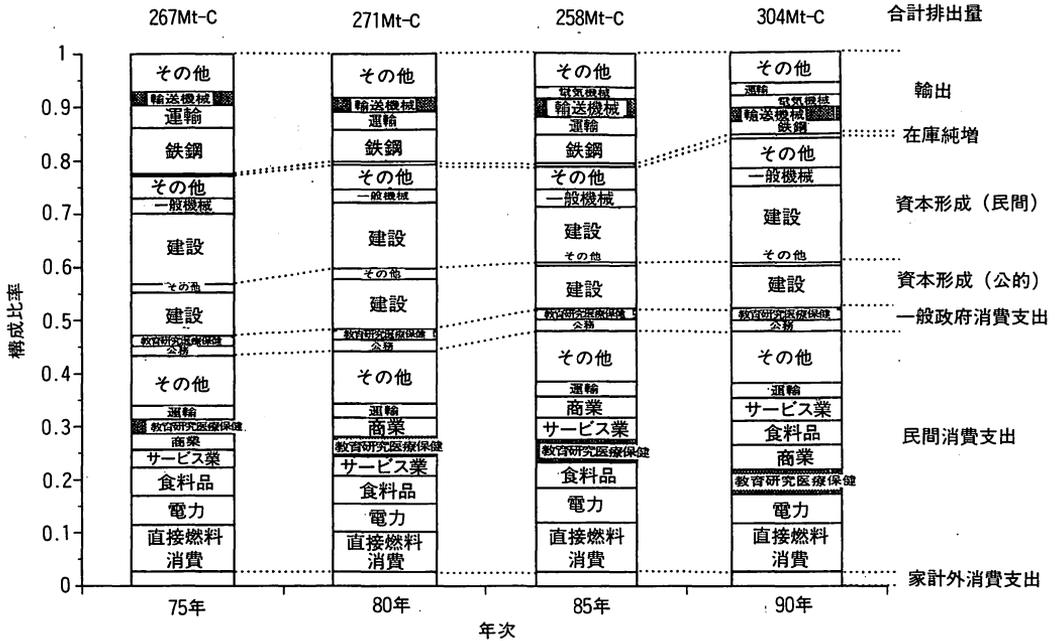


図-7 1975～90年の4時点での最終需要におけるCO₂排出構造（各年のCO₂排出量は棒グラフの横幅に比例する）

1985年の10年間のCO₂排出量は約260～270Mt-Cでは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～1985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、1985～1990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。

6. まとめ

産業連関表の部門分類を細かくすることにより、より誤差の少ないCO₂排出構造の分析が可能となるが、計算処理量が多くなる。部門統合による誤差の解析の結果、84分類を用いればほぼ正確な分析が可能となること

が示された。また、接続表・延長表に同様の手法を適用することにより、5年おき4時点でのCO₂排出構造の比較を行い、1975年、1980年、1985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ことが明らかになった。さらに、1985年と1990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が示された。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、今回の分析は国内のCO₂排出構造の分析のために、 $[I - (I - \hat{M})A]^{-1}$ 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材料の採掘・輸送、各種製品や食料品等の輸入にかかるエネルギー消費、CO₂排出は考慮されていない。国際間の貿易を含めた、より実際の排出構造を分析するためには輸出、輸入を含めた更に詳細な分析を行う必要があるが、今後の課題である。

なお、本論文はエネルギー・資源学会第9回エネルギーシステム・経済コンファレンスCO₂特別セッションへの発表¹⁰⁾をもとに、修正、加筆したものである。

参 考 文 献

- 1) 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，14巻，1号 (1993)，32～41.
- 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 の排出量とその要因—，イノベーション & I-O テクニーク，3巻，4号 (1992)，31～47.
- 3) 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—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 テクニーク，4巻，1号 (1993)，37～57.
- 4) 総務庁：昭和60年産業連関表取引基本表 (1989).
- 5) 総務庁：昭和60年産業連関表物量表 (1989).
- 6) 総務庁：昭和50-55-60年接統産業連関表計数編(1) (1990).
- 7) 通商産業大臣官房調査統計部：1990年産業連関表 (延長表) (1992).
- 8) 資源エネルギー庁：総合エネルギー統計 (平成3年版) (1992).
- 9) 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，1992年会環境科学シンポジウム講演要旨集 (1992)，183.
- 10) 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 (1993). 特1-3,233～238.

