

わが国における部門別・起原別CO₂排出量の推計Estimation of CO₂ Emission in Japan by Sector and by Origin

森口 祐一*・近藤 美則**・清水 浩***

Yuichi Moriguchi Yoshinori Kondo Hiroshi Shimizu

(1992年7月20日 原稿受理)

1. はじめに

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。CO₂排出量については、著者らの既報^{1),2)}を含め多くの推計例があるが、対象とする範囲や用いる排出原単位の違いにより、かなり数値にばらつきがみられるのが現状である。

本論文ではこうした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原別に推計する方法とその推計結果について述べる。また、産業連関表を用いて、経済活動における最終需要とCO₂排出との関連について分析・考察を行った結果についても述べる。

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、本論文では従来慣例を重視し、炭素換算重量による表記とした。

2. CO₂の排出起原と本報告における推計の対象

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。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議論の余地がある。

3. 化石燃料起源のCO₂排出量算定法

3.1 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濃度を測定し、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。

3.2 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³⁾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）およびその基礎データである「エネルギーバランス表」⁴⁾を採用し、可

* 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研究員

** 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

*** 国立環境研究所 地域環境研究グループ
交通公害防止チーム総合研究官

〒305 茨城県つくば市小野川16-2

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、OEC D/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。一方、本論文の後半に述べる最終需要別のCO₂排出の分析では、主として産業連関表の物量表を用い、バランス表の値と比較して補正・補完を行った。

国内排出の範囲は、国内生産または輸入された一次エネルギー供給量から、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。本論文では、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。

3.3 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⁵⁾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。

以上述べたことから本研究では、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⁶⁾を主に適用した。

表1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した。

3.4 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

表1 6燃料分類別平均排出原単位 (tC/10³kcal)

年度	石炭	コークス等	石油製品	都市ガス
1965	1.042	1.155	0.793	1.052
1966	1.041	1.152	0.793	1.032
1967	1.040	1.149	0.792	1.012
1968	1.039	1.145	0.792	0.992
1969	1.038	1.142	0.792	0.972
1970	1.037	1.139	0.791	0.952
1971	1.042	1.144	0.790	0.926
1972	1.036	1.137	0.789	0.888
1973	1.041	1.132	0.788	0.838
1974	1.027	1.117	0.786	0.802
1975	1.034	1.125	0.784	0.773
1976	1.042	1.125	0.783	0.749
1977	1.044	1.130	0.782	0.722
1978	1.046	1.128	0.781	0.704
1979	1.041	1.134	0.781	0.692
1980	1.033	1.135	0.780	0.687
1981	1.037	1.092	0.779	0.663
1982	1.037	1.091	0.778	0.654
1983	1.036	1.091	0.778	0.641
1984	1.036	1.090	0.777	0.633
1985	1.034	1.096	0.776	0.625
1986	1.034	1.108	0.775	0.621
1987	1.032	1.103	0.774	0.615
1988	1.034	1.099	0.775	0.612
1989	1.035	1.109	0.774	0.601
1990	1.032	1.106	0.774	0.584

原油: 0.781
天然ガス、LNG: 0.564

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CO₂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。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、CO₂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⁷⁾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⁸⁾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、CO₂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、CO₂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。

4. 化石燃料起源以外のCO₂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1.08tC/TOE、薪・木炭などの家庭用燃料について1.13tC/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CaCO₃であり、その炭素分の全量がCO₂に変化するものとして、原単位を0.12tC/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CO₂濃度からCO₂量を推定する方法や廃棄物の平均的な重量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⁹⁾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。既報²⁾においては廃棄物の質の経年的な変化を考慮した原単位を適用したが、過去の原単位の根拠となる十分な資料がないため、今回の推計では全年度について同じ値を適用した。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。

5. 排出量の計算結果

5.1 部門別・起源別排出量の現状

1990年度の部門別・起源別排出量の推計結果を表2に示す。ここで、部門・業種分類は、バラ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（Fd）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らず計算も行った。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317MtC（炭素換算百万トン）、トップダウン法による排出総量は約318MtC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8MtC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

表2 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100万トン)] 一人あたり排出量 人口 1.2361 億人
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						
	燃料種別部門別排出量										転換間接分転嫁ケース		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	L	W	Td=Fd+L+W	Tr=Fr+L+W				
石炭	コークス等	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	317	100.0%	317	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	31.3	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(非エネ分)	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 ョ ア																			
廃棄物起源														12		12	3.9%		
石灰石起源												12.7				12.7	4.0%		
石炭起源	34.2	42.5				0.5		77.3	26.4%							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%												

←対排出合計の起源別シェア

(バンカー油) 8.4

8.4

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。

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75MtC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。

起源別では、化石燃料が全体の90%強の約287MtC、その他の燃料が約5MtC、石灰石が約13MtC、廃棄物が約12MtC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12MtCのうち、9MtC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14MtC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。

5.2 部門別・起源別排出量の推移

表3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280MtC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9MtC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。

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、最近4～5年、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、排出量とも横ばいし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。

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、現在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、現在の排出量は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。

表3の最右欄には、単位エネルギーあたりのCO₂排出量（炭素集約度）を、排出総量をもとにした一次エネルギー供給ベース、排出合計をもとにしたエネルギー最終消費ベース、および事業用電力についてまとめた。第1次オイルショック以降、一次供給に占める天然ガスおよび原子力発電のシェア増大等により炭素集約度は低下を続けてきたが、数年前から下げどまりの状態にある。発電電力あたりのCO₂排出量についても同じ状況であり、最近の原単位は第1次オイルショック時の約3分の2に低下しているが、1986年度を底として微増に転じている。

6. 産業連関表による部門別・最終需要別排出量の推定

6.1 部門別・最終需要別排出量の解析方法の概要

これまで述べてき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、前節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¹⁰⁾および最近のいくつかの研究^{11), 12), 13)}を参考に、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。

計算には1985年度産業連関表の29部門統合分類表¹⁴⁾を用いた。まず、物量表¹⁵⁾に含まれる燃料種はその値を用い、同表にはない燃料種の消費量を総合エネルギー統計等を参考に部門別に配分し、先述の方法に準じて原単位を乗じ、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。なお、石灰石分は加算したが、バイオマス燃料分と廃棄物起源分は計算対象から除外した。ついで、各部門の直接排出量C_iをその部門の国内生産額X_iで除し、生産額あたりの直接排出強度d_i = C_i/X_iを求めた。

部門jが生産する財の最終需要1単位による部門iの国内生産への波及額は、 $[(I - (I - M)A)]^{-1}$ 型の逆行列係数表¹⁶⁾の要素b_{ij}で示される。よって、部門jから部門iへの生産波及により排出されるCO₂量を波及先の全部門i = 1 ~ nについて合計することにより、部門jの1単位の最終需要により直接・間接に排出されるCO₂総量t_jが、

$$t_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} d_i$$

により求められる。これを総排出強度と名付けた。部門iの国内最終需要Y_iおよび輸出需要E_iにより誘発されるCO₂量T_iは、部門iの輸入係数をm_iとすると、

$$T_i = (1 - m_i) t_i Y_i + t_i E_i$$

となる。

なお、エネルギーアナリシスでは一次エネルギー部門への生産波及からエネルギー密度を求めているが、

CO₂排出の分析では非燃分の補正やエネルギー以外からの排出の加算が必要となるため、本研究では部門ごとのCO₂直接排出量をまず求め、CO₂を排出した部門への生産波及をもとに計算を行った。

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CO₂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。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もつエネルギーが含まれるのに対し、本方法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になる。

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産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もつエネルギーは物量表をもと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。

6.2 最終需要からみたCO₂排出構造

図-1はこの方法により求めた部門別の直接排出強度d_iおよび総排出強度t_iである。いずれもエネルギー産業、素材産業の強度が大きい。加工・組立産業やサービス産業では、直接排出強度は小さいが、総排出強度では素材産業との差は縮まっている。図-2は各部門の財・サービスへの最終需要金額と総排出強度から、最終需要の内訳別の排出量を求めたものである。図-2の三重の円環のうち、中間の塗り分けが最終需要の列部門の分類、内周はどの行部門からの財・サービスの最終需要を通してCO₂排出が生じたかの内訳、外周は各々の列部門の最終需要のためにCO₂が実際にどの行部門から直接に排出されたかの内訳を示したものである。

これによれば、民間消費支出に伴う排出が47%を占め、家計外消費支出、政府消費支出をあわせた約55%が消費による排出である。民間消費支出の購入財別内訳では、一般家庭での燃料使用、電力消費による間接排出というエネルギーの直接利用が1位、2位を占め、ついで公共交通機関の利用や宅配便などに相当する運輸、食料品がこれに続いている。なお、これに伴う実際のCO₂排出は電力部門が最大であり、運輸からの排出も多い。電力や運輸はあらゆる産業で利用されていることの現れである。公的資本形成（公共事業）のほとんどが建設部門からの購入を通しての排出寄与

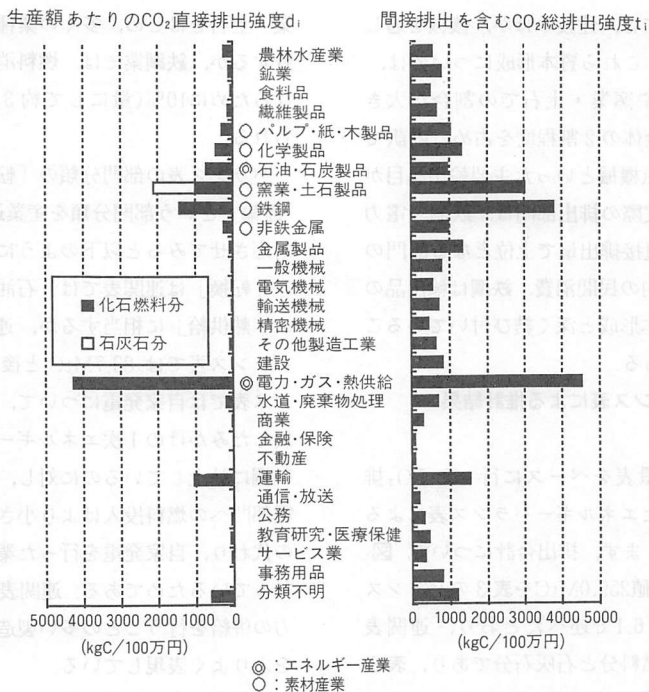


図-1 産業連関表の部門別のCO₂排出強度

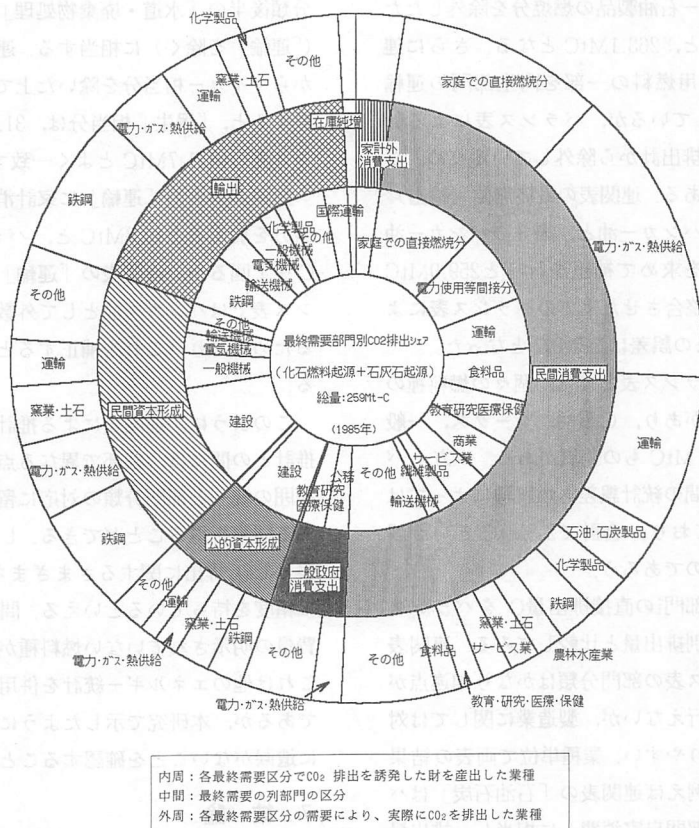


図-2 最終需要からみたCO₂排出シェア

であり、民間資本形成では、建設のほか、機械を通しての排出寄与が大きい。これら資本形成については、実際のCO₂排出は鉄鋼や窯業・土石での割合が大きい。輸出に伴う排出は全体の2割程度を占め、内訳では鉄鋼、輸送機械、電気機械といった主要輸出品目が並ぶ。これに対応した実際の排出部門は、鉄鋼、電力などが上位を占める。直接排出量で上位となる部門のうち、電力はおもに国内の民間消費、鉄鋼は輸出品の生産、窯業・土石は資本形成と深く結び付いていることが図-2より明らかである。

6.3 エネルギーバランス表による推計結果との比較

ここで産業連関表物量表をベースに行ったCO₂排出量計算と、先に述べたエネルギーバランス表による推計との比較を試みる。まず、排出合計について、図-2に示した連関表による値259.0MtCを表3のバランス表による値と比較する。6.1で述べたとおり、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よりバランス表による値は256.2MtC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、263.1MtC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259.0MtC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(256.2MtC)との誤差は2.8MtCとなった。

連関表物量表とバランス表とは、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2~4MtC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2MtC程度に達しており、合計で2.8MtCという誤差は止むを得ないものであろう。

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、単純な比較は行えないが、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12MtC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3MtC)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ようになる。

「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78.3MtC、バランス表では83.7MtC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、その代わりに、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、31.2MtCとなり、バランス表の値31.7MtC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相当分を加えると49.8MtCと、バランス表の値44.6MtC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。

このように、連関表による推計とバランス表による推計の間には、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。

7. 結論

本研究では、わが国の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、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、さらに産業連関表の応用により経済活動の最終需要からみた排出構造の分析結果を示した。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。

本研究は環境庁の地球環境研究総合推進費による研究の一環として実施したものであり、東京大学茅陽一教授、石谷久教授をはじめとする研究グループの関係各位には多くのご示唆をいただいた。(財)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の伊藤浩吉氏、住環境計画研究所の中上英俊氏には推計の基礎となる統計について多くのご教示を得た。また、本研究と並行して行われた地球温暖化防止行動計画のための排出量推計実務を通して、環境庁地球環境部(当時)の大村卓氏、(財)計量計画研究所の外岡豊氏には多大なご協力をいただいた。さらに関連産業界からはエネルギー消費の実態等について情報を提供していただいた。ここに記して謝意を表する。

なお、本論文はエネルギー・資源学会第8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²⁾をもとに、修正、加筆したものである。

参考文献

- 1) 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, 77号(1990), 155~166.
- 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(1992), 特1-3, 225~230.
- 3) 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.
- 4) 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; エネルギーバランス表.
- 5) Marland, G & R. M. Rotty; Carbon Dioxide Emissions from Fossil Fuels, A Procedure for Estimation and Results for 1950-1981, USDOE TR003(1983), NTIS.
- 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(CO₂)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, 16巻, 2号(1990), 79~104.
- 7) 通商産業大臣官房調査統計部編; 石油等消費構造統計表(商鉱工業).
- 8) 通商産業大臣官房調査統計部編; エネルギー生産・需給統計年報.
- 9) 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二酸化炭素量の推計, 第32回大気汚染学会講演要旨集(1991), 326.
- 10) 茅陽一編; エネルギーアナリシス(1980), 電力新報社.
- 11) 中野勝; 地球温暖化問題の分析-わが国の二酸化炭素排出構造(1991), 慶応大学修士論文.
- 12) 岡建雄; 産業連関表による建築物の評価その1, 日本建築学会計画系論文報告集第359号(1986), 17~23.
- 13) 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, 日本建築学会計画系論文報告集第431号(1992), 31~38.
- 14) 総務庁編; 昭和60年産業連関表総合解説編(1989).
- 15) 総務庁編; 昭和60年産業連関表計数編(1)(1989).