

# ドイツ CO<sub>2</sub> 排出削減の産業連関分析

——ガス化するドイツ——

良 永 康 平

## 要 約

本稿は、環境先進国と評されることが多いドイツの二酸化炭素排出事情を、エネルギー消費の観点から考察したものである<sup>1)</sup>。まずエネルギー・バランスシートからエネルギー消費構造を検討し、全体としてガス化、すなわち石炭・褐炭からガスへの代替が生じていることを指摘する。また、二酸化炭素の排出構造を日本と比較・考察しつつ、最終需要から直接排出されている二酸化炭素はドイツの方が多量のものの、そのエネルギー消費もガス化傾向によって、最終需要からの二酸化炭素排出量は減少傾向を示していることを明らかにする。これらの検討の上に最後に、新たに導出した完全要因分解式によって、ドイツで生じている石炭・褐炭からガスへというエネルギーシフトが、二酸化炭素の削減に大きく寄与していることを解明している。

キーワード：ドイツ；EU；エネルギー・バランスシート；IEA（国際エネルギー機関）；エネルギー源；地球温暖化；二酸化炭素；産業連関表；要因分解  
経済学文献記法分類番号：05-41；07-30；07-32；08-33；16-32

## はじめに

京都議定書は1997年に締結されて以来7年が経過し、遅れていたロシア政府も2004年9月30日に閣議で議定書を批准する方針を決めたために、ようやく2005年には発効する見通しとなったが、この間にその再評価や見直しの動きも活発化してきている<sup>2)</sup>。その背景には、ブッシュ政権成立後にアメリカが議定書を離脱してしまい、また二酸化炭素排出が急増している中国をはじめとする一部発展途上国も除外したままでは、地球温暖化への実効性にも疑問があること、唯一順調に削減を実行しているかにみえるEU諸国も、実はエネルギーシフトによるところが大きく、それを予定に入れて京都議定書は合意されていることが改めて認識されてきたこと、などが挙げられる。さらに、EUに比べれば日本はすでに、石炭から石油を経て天然ガスへという、より環境に優しいエネルギーへの転換に関しては最先端であり、二酸化炭素のこれ以上の限界削減費用はEUやアメリカに比べて極めて高く、不利なポジションにあるのではないかとといった疑問等もあるだろう<sup>3)</sup>。

そこで本稿の課題は、EUの中でも際だった削減をしているドイツの二酸化炭素排出事情を、新しい要因分解式を用いた産業連関分析の観点から検討することである。特に二酸化炭素排出の原因となっているエネルギーの消費構造が、どのように変化しているかを実証分析する。これによって、ドイツはエネルギーシフトを基本に京都議定書の約束を実現しようとしており、運輸・民生部門等では必ずしもその成果を挙げていない、といった評価の妥当性も考察することができる。まず第1節では、IEA(国際エネルギー機関)のエネルギー・バランスシートによって、日本やアメリカと比較しながら、ドイツのエネルギー消費構造の変化を明らかにする。次に第2節では、ドイツの二酸化炭素排出事情を紹介し、その特徴と日本との相違を把握する。特に日本との大きな相違点は、最終需要から直接排出されている二酸化炭素にあることを指摘し、その背景と動向を検討する。これらの検討の上に最後の第3節で、産業連関表による完全要因分解分析によって、エネルギー消費の観点からドイツで二酸化炭素が減少している要因を析出する。

## 1. エネルギー・バランスシートの分析

エネルギー・バランスシートとは、国内で生産されたり輸入されたりした1次エネルギーが、そのままの形か、あるいはエネルギー転換等を経て2次エネルギーに変換され、最終的には産業や家計で消費するまでのエネルギー・フローを捉えた統計である。日本でも資源エネルギー庁が推計しているが、国際比較が可能なようにここではIEA(国際エネルギー機関)の統計を用いて考察してみよう。

まず、図1がドイツや日本の1次国内供給エネルギーを図にしたものである。図1-1~図1-4を比較するとまず気づくのが、ドイツの1次国内供給エネルギーのみが全体として減少していることである。日本やアメリカは全体として90年代に大幅に上昇しており、EUも全体としては同様の基調にある中で、ドイツのみがユニークな傾向を示している。その内訳は、80年代後半以降は石炭・褐炭が減少する中で、原油・石油製品が最も大きな割合をしめるようになり、さらにまた天然ガスが徐々にその割合を上昇させ、1970年には4%に過ぎなかったが2000年には21%をしめるまでになっている。核燃料もその割合が上昇しているが、2000年には天然ガスよりも低い13%に過ぎない。このようなガス化、核化の傾向は、多かれ少なかれEU全体や日米でも看取できるが、日本では天然ガスより核燃料の割合の方が高く、またアメリカでは当初より天然ガスの割合が高かった点が異なっている。また石炭・褐炭についても、ドイツやEU全体では、1次エネルギーにしめる割合だけではなく、そもそも絶対額自体が減少しているが、日本やアメリカでは絶対額も増加している点で異なっている。一般に、どのようなエネルギー源を使用するかは、環境への配慮からだけではなく、

図1-2: EUの1次エネルギー国内供給

石油換算千トン

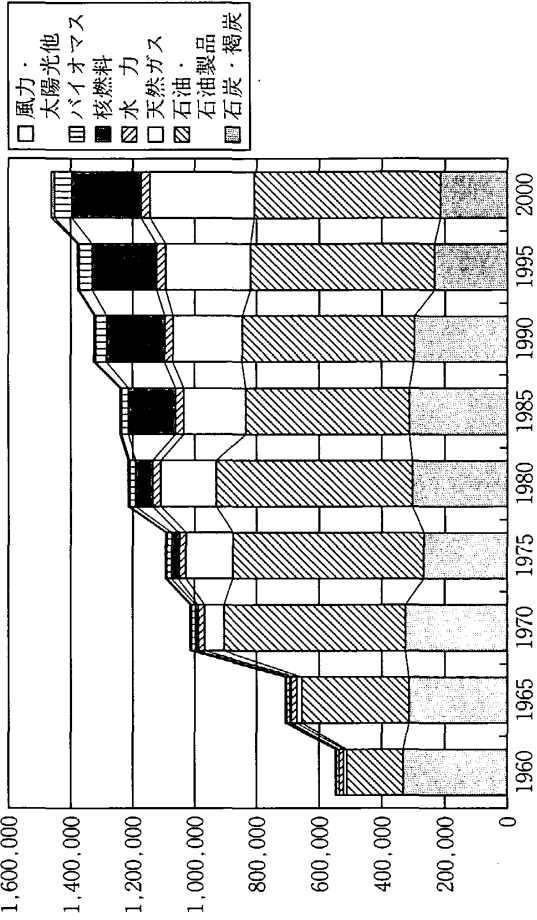


図1-4: アメリカの1次エネルギー国内供給

石油換算千トン

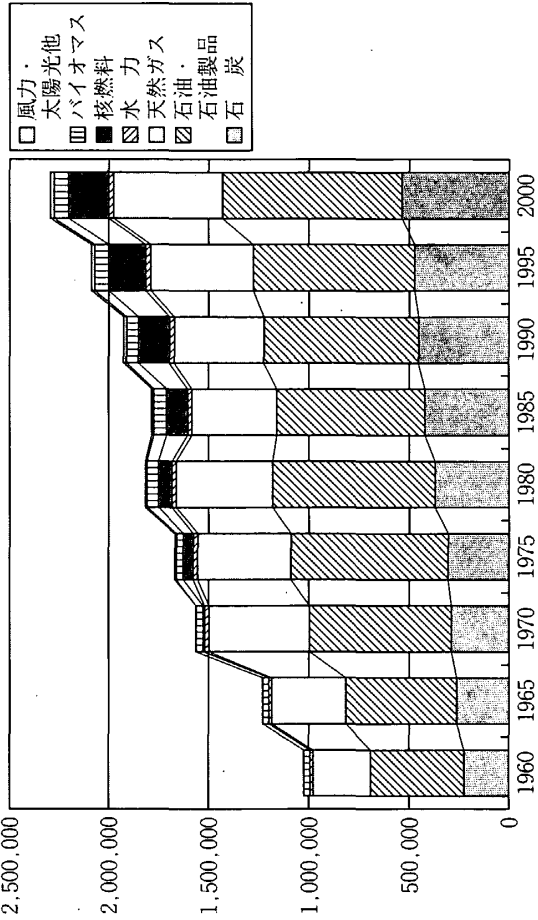


図1-1: ドイツの1次エネルギー国内供給

石油換算千トン

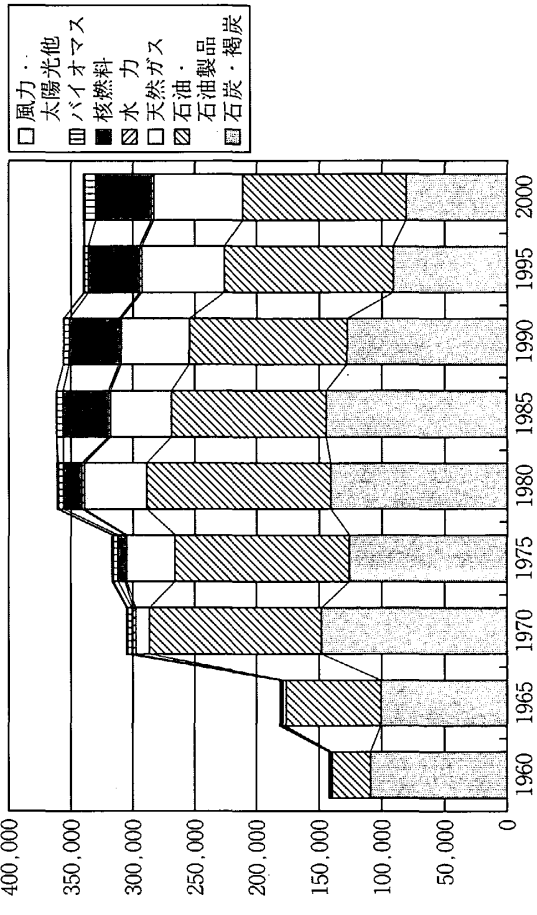
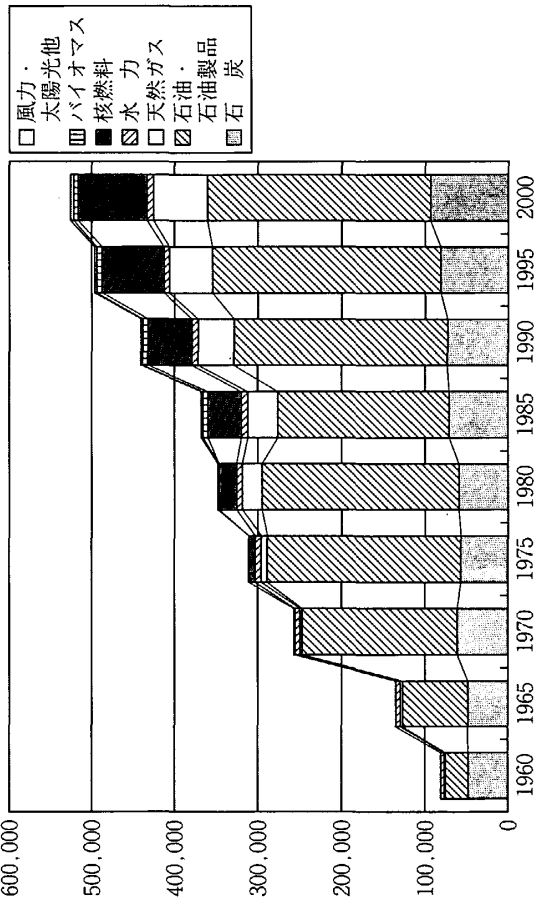


図1-3: 日本の1次エネルギー国内供給

石油換算千トン



各国の資源埋蔵量やエネルギー安全保障政策、エネルギーの相対価格などの様々な要因によって影響されるが、1次エネルギーだけを見る限りでは、ドイツは結果として環境により優しいエネルギーにシフトしていると言えるだろう。

さてこのような1次エネルギー供給は、あるものはそのまま最終エネルギーとして産業や家計で需要されるが、あるものはエネルギー転換を経て最終エネルギーとなっている。たとえば原油から各種の石油製品に転換されたり、石油・石炭・天然ガス・核燃料から電力に転換されたりする。ここでは、転換エネルギーのうちで電力が、どのようなエネルギー源から発電されているかをみてみよう。

図2-1～図2-4は、ドイツ及びEUを中心に発電のエネルギー源を図にしたものである。1次エネルギーと同様に、ドイツのみが90年代以降の全体の発電量に停滞が見られ、日本やアメリカの伸びとの相違は顕著である。1960年当初の87%という異常に高い石炭・褐炭割合が徐々に低下し、それに替わって原子力発電（核燃料）の割合が上昇している。第1次石油ショック後は一時期天然ガスの割合も増えたが、80年代には低下し、90年代以降は未だ顕著ではないが再び上昇しようとしている。このドイツの状況を反映するかのようになり、EU全体としてもほぼ似た動きをしている。すなわち水力や石炭・褐炭、さらには石油へも依存度を減少させつつ、核燃料や天然ガスの割合を増やしている。ただし、フランスのように60%以上を原子力に依存した国もある中で、EU全体としては原子力への依存度の上昇は90年代後半には止まっており、ガス化傾向が顕著である。因みに再生可能エネルギーは急激に増えているものの、全体に占める割合は未だ低い。

このようなドイツ、EUに対して、日本やアメリカは傾向が多少異なっている。まず日本は、60年当初の水力や石炭が石油製品に代替され、石油ショック以降はエネルギー安全保障政策やエネルギー価格にも影響され、核燃料、ガス、そして再び石炭へ代替されつつある。EUと同様に30%前後を核燃料に依存しているが、石炭が再び割合を上昇させている点、さらに天然ガスへの代替がいち早く80年代から始まっている点で異なっている。他方アメリカは、石炭への依存が依然高いという点ではドイツと似通っている点もあるが、低下傾向は示しておらず、日本と同様に石油ショック以降はむしろ上昇している。原子力への依存度は上昇傾向であるが、その割合はEUや日本よりも低く、また天然ガスはむしろ70年までの依存度の方が高く、少なくとも発電に関してはガス化傾向をうかがうことはできない。

最後に、このようなエネルギー転換等を経て得られた最終エネルギー供給（需要）をみておこう<sup>4)</sup>。図3-1～図3-4がそれを図にしたものである。1次エネルギーの動向を反映して、ドイツの最終エネルギー供給は全体として停滞がみられる中、特に石炭・褐炭が90年代に顕著に減少しており、90年代の10年間で10%以上下落して、2000年にはわずか4.2%になって

図2-2: EUの発電用エネルギー源

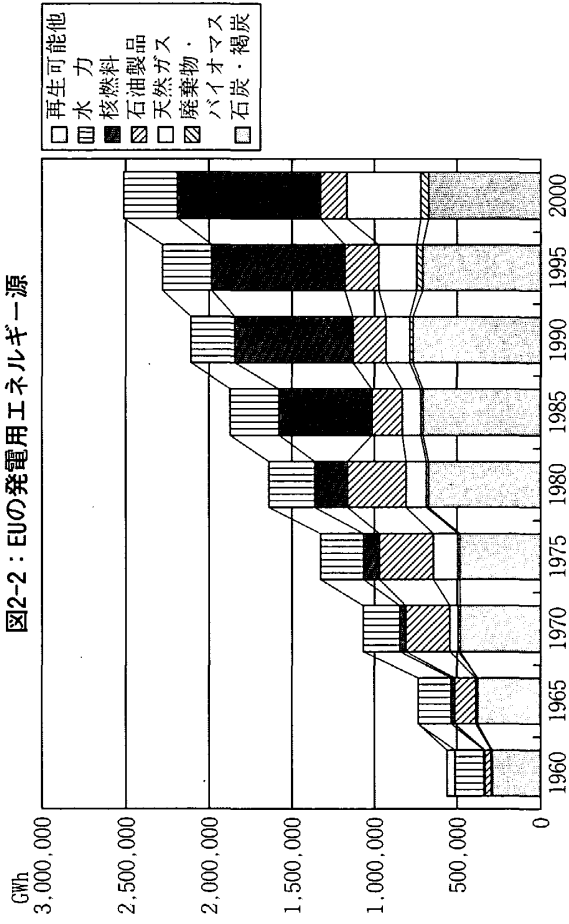


図2-4: アメリカの発電用エネルギー源

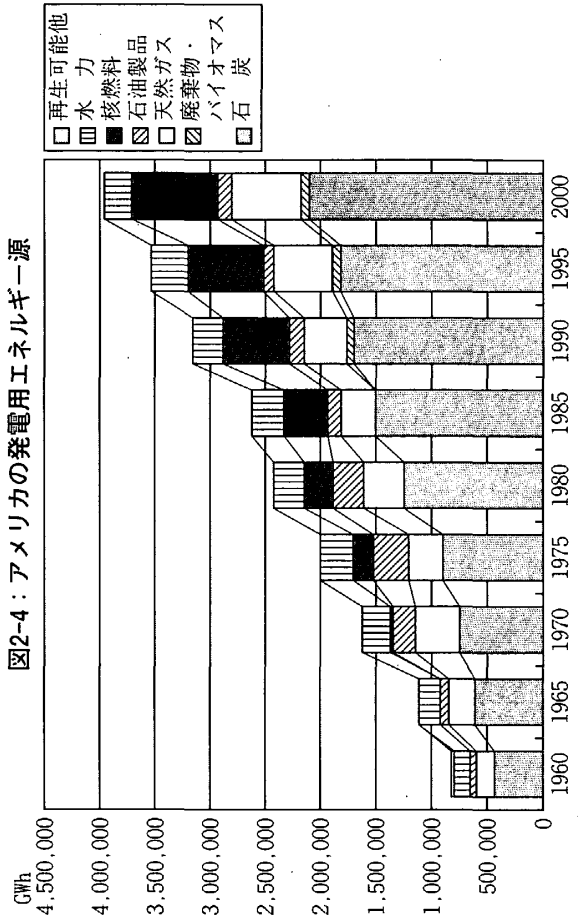


図2-1: ドイツの発電用エネルギー源

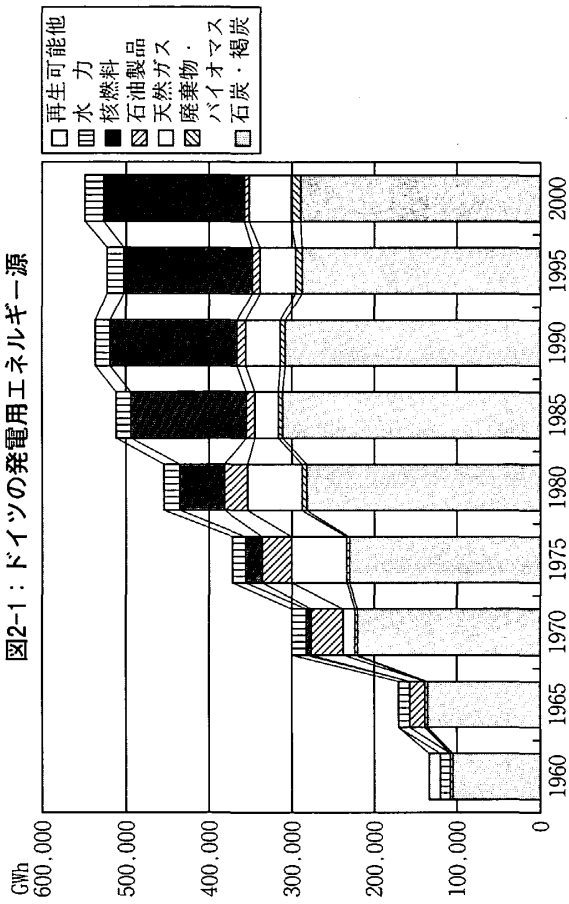


図2-3: 日本の発電用エネルギー源

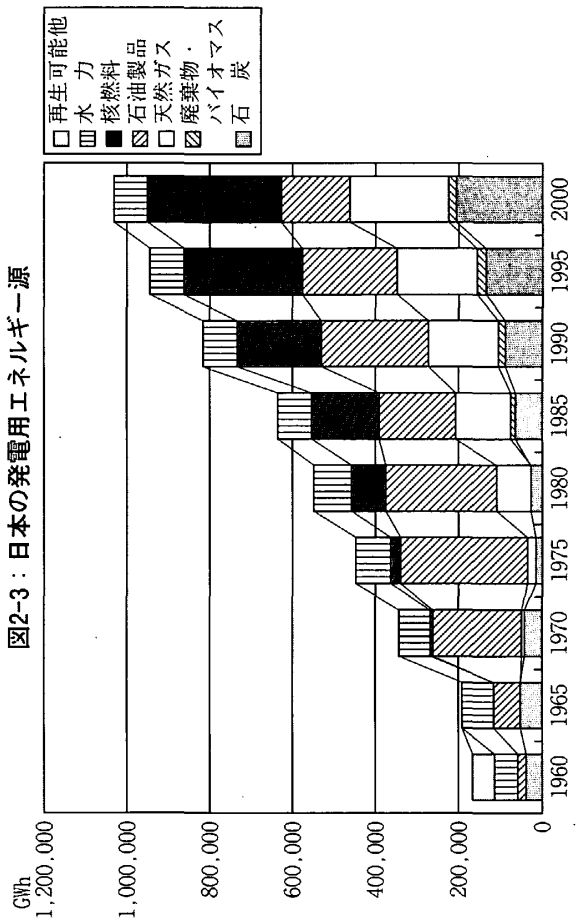


図3-2: EUの最終エネルギー消費

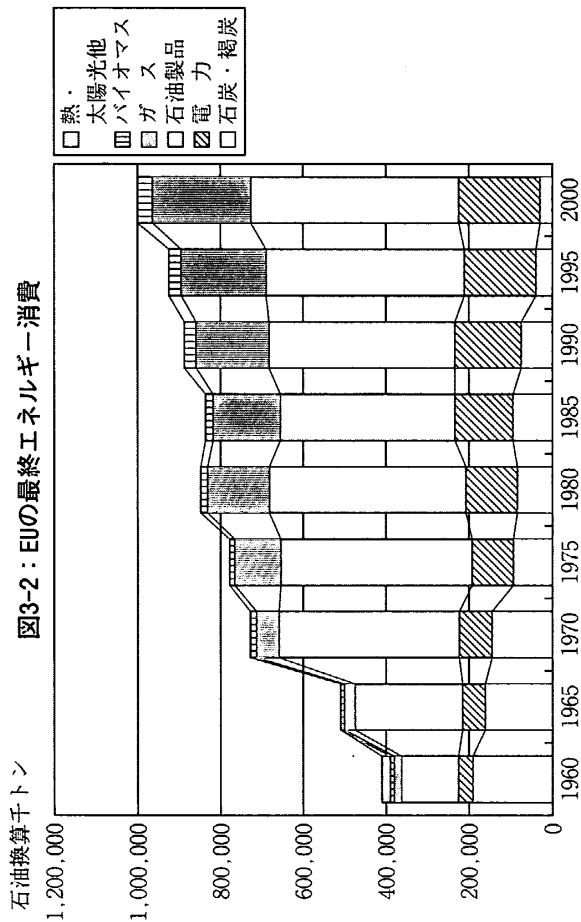


図3-4: アメリカの最終エネルギー消費

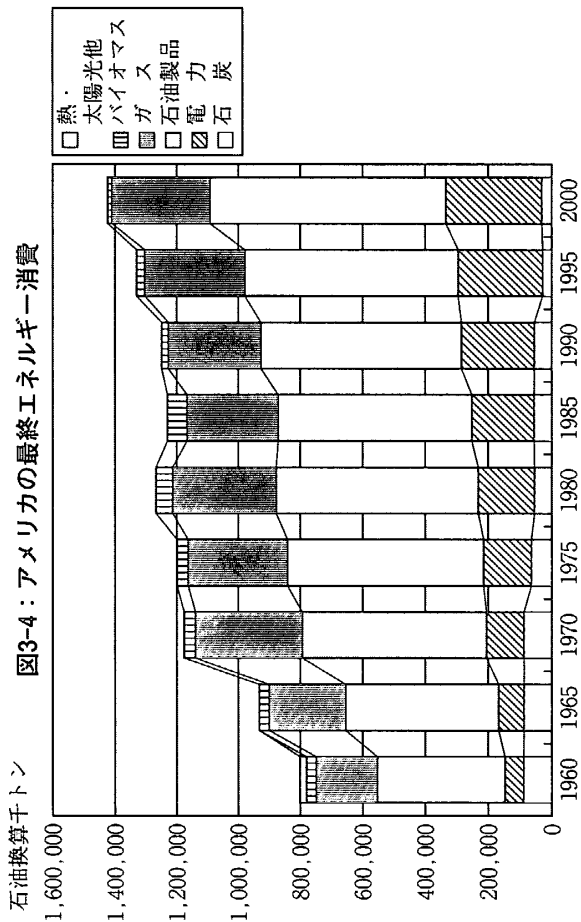


図3-1: ドイツの最終エネルギー消費

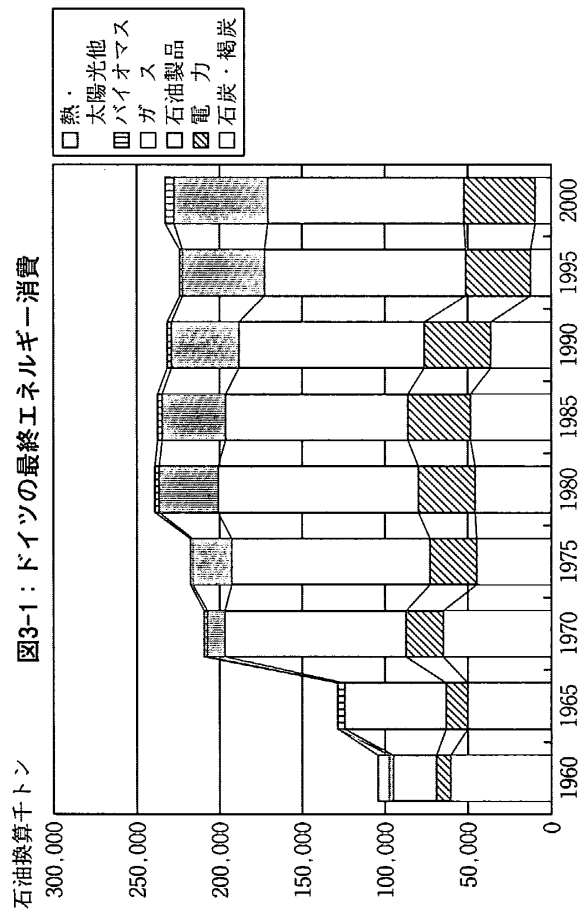
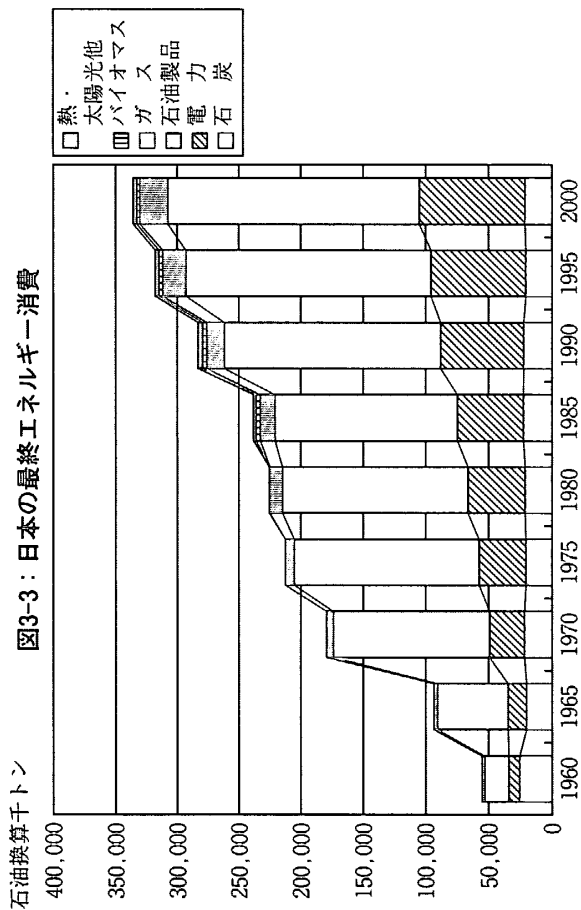


図3-3: 日本の最終エネルギー消費



いる。他方でガスが増加を続け、2000年には全体の24%をしめるまでになっている。このドイツとは異なり、EUは全体としてのエネルギー供給(需要)は増加し続けているが、非石炭化、ガス化等の傾向はやはり同様にみられ、2000年の各種エネルギー源の割合もほぼドイツと等しくなっている。

一方、日米はともに90年代に最終エネルギー需要が大幅に増加しているが、これを石油製品や電力によって賄っている。石油製品は日本で全体の60%程度、アメリカで全体の50%程度の割合を維持しつつ増加しているが、電力は割合としてはそれよりも低いものの、日本で全体の25%、アメリカで全体の20%にまで上昇している。ガスはアメリカでは当初より25%程度をしめており、その割合を維持しつつ増加しているが、日本ではほんのわずかにその割合を上昇させている。

以上、予備的研究としてIEAのエネルギー・バランスシートを検討した。1次エネルギー国内供給から、エネルギー転換を経て、最終エネルギー供給(需要)へというバランスシートの流れの中で、全体としてドイツのエネルギー消費は、90年代を通して増加傾向は示していない点で日米等とは異なっていること、また石炭からガスへというエネルギーシフトが明瞭に看取できた。これは二酸化炭素の排出削減にとってかなり有利な状況である。単位発熱量当たりの二酸化炭素排出係数は、褐炭を1とすると、石炭で0.85、灯油で0.67、天然ガスで0.51、都市ガスで0.4だからである<sup>5)</sup>。ではこのようなエネルギー消費の変化がどのような要因によって生じ、それが二酸化炭素の排出にどのように影響しているか。それをみる前に、次節ではドイツの二酸化炭素排出構造の特徴をみておこう。

## 2. ドイツの二酸化炭素排出構造

ドイツでは再統一が行われた1991年以降、産業別のエネルギー使用と二酸化炭素排出量に関しては毎年推計・公表されている<sup>6)</sup>。これを利用して、ドイツの二酸化炭素の排出状況を確認しよう。表1が産業部門別の二酸化炭素排出量と、全体の排出に占めるその割合を示したものである。これをみると鉱業・エネルギー部門、そしてその中でも大きな割合をしめるエネルギー転換部門の排出量が最大であり、ドイツ全体の排出量の約4割をしめていることがわかる。二酸化炭素の排出量自体は90年代を通して大幅に減少してきているが、全体の排出量にしめる割合はほとんど変化がない。他方、ドイツでは2番目に多い民間最終消費による直接排出は、量自体は減少しているものの、その全体にしめる割合は上昇している点に特徴がある。またドイツでは3番目に排出の多い石油・化学・土石製品は、排出量、全体にしめる割合ともに低下している。製造業や建設業、農林水産業などでこのような傾向が多々見られる。このように排出割合はともかく、排出量自体は減少している産業が多い中で、これ

とは全く異なっているのが商業・運輸・通信業である。排出量の大幅な増加とともに、全体にしめる割合も10%近くまで上昇している。運輸部門の排出削減が焦眉の急であることをうかがうことができる。

表1：ドイツの二酸化炭素排出構造

	統一ドイツ								(参考：日本)	
	1990		1991		1995		2001		1995	
農 林 水 産 業	13725	1.4%	12194	1.2%	10165	1.1%	8019	0.9%	20302	1.6%
鉱 業・エ ネ ル ギ ー	407885	40.2%	401299	41.1%	360632	40.1%	352966	40.5%	367840	29.2%
石 油・化 学・土 石	135812	13.4%	109315	11.2%	91664	10.2%	82630	9.5%	178715	14.2%
金 属 製 品	68238	6.7%	63905	6.5%	62024	6.9%	57237	6.6%	146339	11.6%
機 械 製 品	20017	2.0%	18166	1.9%	14822	1.6%	13303	1.5%	12787	1.0%
繊 維・木 材・製 紙	17710	1.7%	15843	1.6%	13417	1.5%	11706	1.3%	28078	2.2%
食 料 品	13982	1.4%	13567	1.4%	13040	1.4%	11788	1.4%	15144	1.2%
建 設	14495	1.4%	13096	1.3%	11012	1.2%	9743	1.1%	16655	1.3%
商 業・運 輸・通 信	63849	6.3%	66803	6.8%	73941	8.2%	80689	9.3%	240309	19.1%
金融・ビジネスサービス	7824	0.8%	8325	0.9%	8424	0.9%	7848	0.9%	13335	1.1%
教 育・医 療	10693	1.1%	11668	1.2%	12109	1.3%	11423	1.3%	47096	3.7%
公務・その他のサービス	19617	1.9%	17773	1.8%	13185	1.5%	11415	1.3%	20566	1.6%
中 間 投 入 部 門	793848	78.2%	751954	77.1%	684434	76.1%	658766	75.6%	1107168	88.0%
民 間 最 終 消 費	221130	21.8%	223779	22.9%	215201	23.9%	212135	24.4%	151686	12.0%
全 体	1014978	100.0%	975733	100.0%	899635	100.0%	870901	100.0%	1258854	100.0%

出所) Statistisches Bundesamt(2003b), 南齋・森口等(2002)。

このようなドイツの各産業の二酸化炭素排出削減率は、表2によって確認することができる。表では2001年にかけての削減率を、1990年の場合と1991年の場合について計算している。ドイツ再統一後の1991年ではなく、再統一の年である1990年を削減の対象年としたことが、京都議定書をドイツやEUにとって有利にしているという批判があるため、それも検討するためである<sup>7)</sup>。表からは確かに、1990年を基準とするか1991年を基準とするかで削減率が大きく異なっており、1990年を基準としたために全体としても3.5%、そして農林水産業や石油・化学・土石製品等の多くの産業でも有利に働いていることがわかる。しかし民間最終消費や商業・運輸・通信部門、教育・医療部門等では、再統一後に排出量が逆に大幅に増えたために、2001年にかけては不利に働いていることも確かである。エネルギー効率の悪い旧東ドイツのインフラの撤廃・改善・整備は確かに大きな意味を持っていたが、その影響が及ばなかったり、需要が急増して生産・提供が増加したりした分野もある点に注意すべきだろう。また90年代を前半と後半に分けるならば、多くの産業で前半の削減率の方が高く、民間最終消費や全体としてもその傾向がうかがえる。他方で、金融や教育・医療部門では前半はむしろ増加し、後半に減少に転じている。さらに商業・運輸・通信では、後半は前半よりも低下しているものの、減少することなく増加を続けていることがわかる。



またこのようなドイツの二酸化炭素排出事情の特徴は、表1の日本との比較によっても確認することができる<sup>8)</sup>。石油・化学・土石製品や金属製品、そして商業・運輸・通信部門では、全体の排出に占める割合が日本よりも低いものの、エネルギー転換部門の割合は日本よりも10%以上高い。さらに民間最終消費から直接排出されている割合が異常に高く、排出量自体も少

表2：ドイツの二酸化炭素削減率 (2001年にかけて)

	対1991年	対1990年	1990-2001	
			1990-1995	1995-2001
農 林 水 産 業	-34.2%	-41.6%	-25.9%	-15.6%
鉱 業・ エ ネ ル ギ ー	-12.0%	-13.5%	-11.6%	-1.9%
石 油・ 化 学・ 土 石	-24.4%	-39.2%	-32.5%	-6.7%
金 属 製 品	-10.4%	-16.1%	-9.1%	-7.0%
機 械 製 品	-26.8%	-33.5%	-26.0%	-7.6%
織 維・ 木 材・ 製 紙	-26.1%	-33.9%	-24.2%	-9.7%
食 料 品	-13.1%	-15.7%	-6.7%	-9.0%
建 設	-25.6%	-32.8%	-24.0%	-8.8%
商 業・ 運 輸・ 通 信	20.8%	26.4%	15.8%	10.6%
金 融・ ビ ジ ネ ス サ ー ビ ス	-5.7%	0.3%	7.7%	-7.4%
教 育 ・ 医 療	-2.1%	6.8%	13.2%	-6.4%
公 務・ そ の 他 の サ ー ビ ス	-35.8%	-41.8%	-32.8%	-9.0%
中 間 投 入 部 門	-12.4%	-17.0%	-13.8%	-3.2%
民 間 最 終 消 費	-5.2%	-4.1%	-2.7%	-1.4%
全 体	-10.7%	-14.2%	-11.4%	-2.8%

注) 表1より計算。

なくとも1995年までは日本を上回っている。このような部門は機械製品を除いて僅かであり、ドイツの二酸化炭素排出事情の大きな特徴の1つとなっている。そこで次に、その原因となっている民間最終消費における直接のエネルギー消費をみてみよう<sup>9)</sup>。

表3はドイツ産業連関表の付帯表であるエネルギー使用表、及び日本産業連関表の付帯表である物量表から、民間最終消費としてのエネルギー消費を要約したものである<sup>10)</sup>。ただし電力や熱供給(地域暖房熱)は民間最終消費としては二酸化炭素を排出しないクリーンなエネルギーであるが、ここでは他のエネルギーとの比較や代替関係等を検討するために掲載している。これをみるとまず、ドイツでは電力、ガス、ガソリン、灯油等が90年代を通して増加している一方で、熱供給や石炭・褐炭は明らかに消費が減少している。また物量的にはガソリンよりはガスの消費の方が多いが、熱量換算するとガソリンの使用が最も多くなっていることもわかる。消費熱量の多い順ではガソリン、ガス、暖房用灯油、電力、ディーゼルと続き、必ずしも電力が多いというわけでもない。そしてここに掲載したエネルギーの熱量全体としては、90年代は増加の一途を辿っているが、その増加率はわずかであることもわかる。

構成比をみると、大きく低下している石炭・褐炭に替わって、ガスの使用割合が上昇していることがわかる。民間最終消費として二酸化炭素を排出しない電力・熱供給を除くと、石炭・褐炭からガスへのシフトはさらに顕著であり、これこそが最終需要としての二酸化炭素の排出減少に繋がっていることは明らかであり、日本とはまさに逆の傾向である。日本との比較では、まず全体の熱量は1995年まではドイツの方が多かったが、5年間で日本が異常に

表3：民間最終消費におけるエネルギー使用

	単位	ド イ ツ			日 本		
		1991	1995	2000	1990	1995	2000
エネルギー使用 (各物量単位)							
電力	100万kWh	125,112	130,393	132,057	139,941	179,063	281,828
熱供給	Terajoule	166,246	166,687	140,500	1,288	2,596	3,267
ガス	100万m <sup>3</sup>	21,057	27,713	29,000	8,496	9,288	10,170
石炭・褐炭	1000 t	12,766	4,687	2,184	30	9	5
ガソリン	1000 t	25,189	25,119	25,628	24,263	28,866	36,916
ディーゼル	1000 t	3,625	4,364	4,719	530	2,578	2,743
暖房用灯油	1000 t	20,141	21,046	22,000	9,554	14,189	15,570
液体ガス	1000 t	614	913	850	5,057	6,371	7,117
エネルギー使用 (熱量換算；テラジュール)							
電力	Terajoule	450,403	469,415	475,405	503,787	644,627	1,014,581
熱供給	Terajoule	166,246	166,687	140,500	1,288	2,596	3,267
ガス	Terajoule	714,377	882,737	949,345	269,630	294,749	322,739
石炭・褐炭	Terajoule	265,600	105,487	43,552	721	188	104
ガソリン	Terajoule	1,042,563	1,039,666	1,060,733	1,056,492	1,256,919	1,607,442
ディーゼル	Terajoule	155,740	187,476	194,091	22,645	110,099	117,146
暖房用灯油	Terajoule	692,965	724,102	756,925	408,019	605,923	664,897
液体ガス	Terajoule	28,175	42,015	33,191	232,069	292,332	326,562
合計	Terajoule	3,516,069	3,617,585	3,653,742	2,494,651	3,207,433	4,056,738
構 成 比							
電力	Terajoule	12.8%	13.0%	13.0%	20.2%	20.1%	25.0%
熱供給	Terajoule	4.7%	4.6%	3.8%	0.1%	0.1%	0.1%
ガス	Terajoule	20.3%	24.4%	26.0%	10.8%	9.2%	8.0%
石炭・褐炭	Terajoule	7.6%	2.9%	1.2%	0.0%	0.0%	0.0%
ガソリン	Terajoule	29.7%	28.7%	29.0%	42.4%	39.2%	39.6%
ディーゼル	Terajoule	4.4%	5.2%	5.3%	0.9%	3.4%	2.9%
暖房用灯油	Terajoule	19.7%	20.0%	20.7%	16.4%	18.9%	16.4%
液体ガス	Terajoule	0.8%	1.2%	0.9%	9.3%	9.1%	8.0%
合計	Terajoule	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
国民1人当たりエネルギー使用 (メガジュール)							
電力	Megajoule	5,611	5,737	5,779	4,076	5,134	7,993
熱供給	Megajoule	2,071	2,037	1,708	10	21	26
ガス	Megajoule	8,899	10,789	11,541	2,181	2,347	2,543
石炭・褐炭	Megajoule	3,309	1,289	529	6	1	1
ガソリン	Megajoule	12,987	12,707	12,895	8,547	10,010	12,664
ディーゼル	Megajoule	1,940	2,291	2,359	183	877	923
暖房用灯油	Megajoule	8,632	8,850	9,202	3,301	4,825	5,238
液体ガス	Megajoule	351	514	403	1,877	2,328	2,573
合計	Megajoule	43,801	44,215	44,417	20,181	25,609	31,961

出所) 日本は産業連関表付帯表 (物量表)、ドイツは産業連関表付帯表 (エネルギー使用表) より計算。

増加したために、2000年には日本の方が多くなっている<sup>11)</sup>。その大きな原因となっているのが電力及びガソリンの大幅な増加である。構成比でも、電力、ガソリンともに日本はドイツよりもそれぞれ10%以上高く、逆にガスや石炭・褐炭、熱供給等の割合は著しく低い。

1人当たりのエネルギー消費量もみてみよう。日本よりも緯度が高く、平均気温も低いという気候風土も反映して、特に熱供給やガス、暖房用灯油、そして全体としてもドイツの方が多くなっている。またディーゼル車が日本よりもはるかに普及しているため、ディーゼル燃料の使用が多い点でも異なっている。また石炭・褐炭の減少やガス化の傾向は1人当たりでも看取できる。他方、日本がドイツに比べて多いのが電力、液体ガスである。日本では90年代に家計の電化がいつそう進展したことを裏付けている。しかし電力は末端ではクリーンなエネルギーであり、その生産（エネルギー転換）に必要なエネルギー源から排出される二酸化炭素は、民間最終消費ではなくエネルギー転換部門に計上されており、それも含めた総合的な産業連関表分析が必要である<sup>12)</sup>。

### 3. 要因分解による二酸化炭素削減要因

最後に産業連関分析の要因分解法によって、ドイツで二酸化炭素が減少している要因を検討してみよう。ただしここでは民間最終消費による直接の排出は考慮しておらず、各産業から直接・間接に排出される二酸化炭素が対象である<sup>13)</sup>。

まずエネルギー源別 CO<sub>2</sub> 排出量ベクトルを  $C = (c_1 c_2 \dots c_n)$ 、エネルギー源別二酸化炭素排出係数（エネルギー源別単位 CO<sub>2</sub> 排出量）、すなわち発熱量（Terajoule）あたりのエネルギー源別の CO<sub>2</sub> 排出量ベクトルを  $H = (h_1 h_2 \dots h_k)$  とする。

またエネルギー投入係数（産業別単位エネルギー投入量）を以下のような行列で定義する<sup>14)</sup>。

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{k1} & e_{k2} & \dots & e_{kn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_{11}}{X_1} & \frac{E_{12}}{X_2} & \dots & \frac{E_{1n}}{X_n} \\ \frac{E_{21}}{X_1} & \frac{E_{22}}{X_2} & \dots & \frac{E_{2n}}{X_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{E_{k1}}{X_1} & \frac{E_{k2}}{X_2} & \dots & \frac{E_{kn}}{X_n} \end{bmatrix}$$

（ここで  $X_j$  は  $j$  産業生産額、 $E_{ij}$  は  $j$  産業の  $i$  エネルギー源投入量とする）

産業別生産額ベクトルを  $X$ 、レオンチェフ逆行列  $(I - A^d)^{-1}$  を  $B$ （ただし  $I$ ：単位行列、 $A^d$ ：輸入を含まない非競争輸入表の投入係数行列）、最終需要ベクトルを  $F^d$ （国内生産からの最終需要ベクトル）とすると、ベクトル  $C$  は

$$C = HEX = HEBF^d$$

と書き表すことができる。ここで最終需要列ベクトル  $F^d$  を、最終需要額（輸入含）を表す行列  $Y$  と、最終需要構成（構造）を表す  $S$  とに暫定的に分解しておく。

すなわち、

$$C = HEBF = HEBSY \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots (1)$$

ただし、

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1m+1} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2m+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n1} & s_{n2} & \cdots & s_{nm+1} \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} F_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & F_2 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & F_m & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & E \end{bmatrix}$$

(*m*種類の国内最終需要 *F*<sub>1</sub> ~ *F*<sub>*m*</sub>だけではなく、輸出 *E*も考慮している)

各エネルギー源の燃焼時の単位当たり CO<sub>2</sub>発生量は一定であるとみなして良いので、*H*は生産からは独立に一定であるため、*C*の増加量は、

$$\Delta C = H(E_{t+1}B_{t+1}S_{t+1}Y_{t+1} - E_tB_tS_tY_t) \cdot \dots \cdot \dots (2)$$

ところで、

$$\begin{aligned} \Delta X = X_{t+1} - X_t &= B_{t+1}F_{t+1} - B_tF_t \quad \dots \cdot \dots \cdot \dots (3) \\ &= B_{t+1}F_{t+1} - B_tF_t + B_tF_{t+1} - B_tF_{t+1} \\ &= (B_{t+1} - B_t)F_{t+1} + B_t(F_{t+1} - F_t) \\ &= \Delta BF_{t+1} + B_t\Delta F \end{aligned}$$

であるから、 $\Delta(EB SY)$ についても次の分解式が成立する。

$$\Delta(EB SY) = \Delta E \cdot B_{t+1}S_{t+1}Y_{t+1} + E_t \cdot \Delta(B SY) \cdot \dots \cdot \dots (4)$$

同様に、

$$\Delta B SY = \Delta B \cdot S_{t+1}Y_{t+1} + B_t \cdot \Delta(S Y) \cdot \dots \cdot \dots (5)$$

$$\Delta S Y = \Delta S \cdot Y_{t+1} + S_t \cdot \Delta Y \cdot \dots \cdot \dots (6)$$

いま(6)式を(5)式の代入し、それをさらに(4)に代入すれば、 $\dots \cdot \dots (7)$

$$\begin{aligned} \Delta(EB SY) &= \Delta E \cdot B_{t+1}S_{t+1}Y_{t+1} + E_t \{ \Delta B \cdot S_{t+1}Y_{t+1} + B_t(\Delta S \cdot Y_{t+1} + S_t\Delta Y) \} \\ &= \Delta E \cdot B_{t+1}S_{t+1}Y_{t+1} + E_t\Delta B \cdot S_{t+1}Y_{t+1} + E_tB_t\Delta S \cdot Y_{t+1} + E_tB_tS_t\Delta Y \end{aligned}$$

ところで(3)式は、以下のように分解することもできる。

$$\begin{aligned} \Delta X = X_{t+1} - X_t &= B_{t+1}F_{t+1} - B_tF_t \quad \dots \cdot \dots \cdot \dots (8) \\ &= B_{t+1}F_{t+1} - B_tF_t + B_{t+1}F_t - B_{t+1}F_t \\ &= B_{t+1}(F_{t+1} - F_t) + (B_{t+1} - B_t)F_t \\ &= B_{t+1}\Delta F + \Delta BF_t \end{aligned}$$

これを(4)~(7)に適用するならば、(7)は以下のようにも展開できる。

$$\Delta(EB SY) = \Delta E \cdot B_tS_tY_t + E_{t+1}\Delta B \cdot S_tY_t + E_{t+1}B_{t+1}\Delta S \cdot Y_t + E_{t+1}B_{t+1}S_{t+1}\Delta Y \cdot (9)$$

したがって(7)及び(9)式より

$$\begin{aligned} \Delta(EBSY) &= \frac{1}{2} \Delta E(B_t S_t Y_t + B_{t+1} S_{t+1} Y_{t+1}) \\ &+ \frac{1}{2} (E_{t+1} \Delta B \cdot S_t Y_t + E_t \Delta B \cdot S_{t+1} Y_{t+1}) \\ &+ \frac{1}{2} (E_{t+1} B_{t+1} \Delta S \cdot Y_t + E_t B_t \Delta S \cdot Y_{t+1}) \\ &+ \frac{1}{2} (E_{t+1} B_{t+1} S_{t+1} + E_t B_t S_t) \Delta Y \quad \dots \dots \dots (10) \end{aligned}$$

この (10) 式の右辺第 1 項は産業別エネルギー投入係数の変化による影響を、また右辺第 4 項は最終需要規模の変化による影響を表している。右辺第 2・3 項は、さらに展開する必要がある。まず第 2 項から展開していこう。

いま、最終需要の構成を表す行列 S を、国産化率を表す行列 D と最終需要構成を表す T を用いて改めて書き直すと、次のように表現できる。

$$S = D \otimes T \quad \dots \dots \dots (11)$$

$$D = \begin{bmatrix} \frac{F_{11}^d}{F_{11}} & \frac{F_{12}^d}{F_{12}} & \dots & \frac{F_{1m}^d}{F_{1m}} & 1 \\ \frac{F_{21}^d}{F_{21}} & \frac{F_{22}^d}{F_{22}} & \dots & \frac{F_{2m}^d}{F_{2m}} & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \frac{F_{n1}^d}{F_{n1}} & \frac{F_{n2}^d}{F_{n2}} & \dots & \frac{F_{nm}^d}{F_{nm}} & 1 \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} \frac{F_{11}}{F_1} & \frac{F_{12}}{F_2} & \dots & \frac{F_{1m}}{F_m} & \frac{E_1}{E} \\ \frac{F_{21}}{F_1} & \frac{F_{22}}{F_2} & \dots & \frac{F_{2m}}{F_m} & \frac{E_2}{E} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \frac{F_{n1}}{F_1} & \frac{F_{n2}}{F_2} & \dots & \frac{F_{nm}}{F_m} & \frac{E_n}{E} \end{bmatrix}$$

ただしここで、演算子の  $\otimes$  はアダマール積 (Hadamard product; 行列の要素ごとの積) を表すものとする。たとえば、

$$P \otimes Q = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11}q_{11} & p_{12}q_{12} \\ p_{21}q_{21} & p_{22}q_{22} \end{bmatrix}$$

(11) 式についても (3) (8) の 2 種類の分解法を考慮すると、

$$\Delta S = \Delta D \otimes T_{t+1} + D_t \otimes \Delta T$$

$$\Delta S = \Delta D \otimes T_t + D_{t+1} \otimes \Delta T$$

の 2 種類の分解が可能であり、この 2 式から

$$\Delta S = \Delta D \otimes \frac{1}{2}(T_{t+1} + T_t) + \frac{1}{2}(D_{t+1} + D_t) \otimes \Delta T \quad \dots \dots \dots (12)$$

が成り立つ。

また、レオンチェフ逆行列についても、中間投入係数行列の国産化率を表す O 行列を用いて、

$$B = (I - O \otimes A)^{-1} \quad \dots \dots \dots (13)$$

と表すことができるので、

$$B_{t+1} = B_{t+1}B_t^{-1}B_t = B_{t+1}(I - O_t \otimes A_t)B_t \dots \dots \dots (14)$$

$$B_t = B_{t+1}B_{t+1}^{-1}B_t = B_{t+1}(I - O_{t+1} \otimes A_{t+1})B_t \dots \dots \dots (15)$$

の2式が成立する。(14)式から(15)式を引くことにより、

$$\begin{aligned} \Delta B &= B_{t+1} - B_t \\ &= B_{t+1}(I - O_t \otimes A_t)B_t - B_{t+1}(I - O_{t+1} \otimes A_{t+1})B_t \\ &= B_{t+1}(O_{t+1} \otimes A_{t+1} - O_t \otimes A_t)B_t \\ &= B_{t+1}\Delta(O \otimes A)B_t \dots \dots \dots (16) \end{aligned}$$

また(14)(15)の代わりに以下のように展開することもできる。

$$B_{t+1} = B_tB_t^{-1}B_{t+1} = B_t(I - O_t \otimes A_t)B_{t+1} \dots \dots \dots (17)$$

$$B_t = B_tB_{t+1}^{-1}B_{t+1} = B_t(I - O_{t+1} \otimes A_{t+1})B_{t+1} \dots \dots \dots (18)$$

(17)式から(18)式を引けば、やはり次式を得る。

$$\begin{aligned} \Delta B &= B_{t+1} - B_t \\ &= B_t(I - O_t \otimes A_t)B_{t+1} - B_t(I - O_{t+1} \otimes A_{t+1})B_{t+1} \\ &= B_t(O_{t+1} \otimes A_{t+1} - O_t \otimes A_t)B_{t+1} \\ &= B_t\Delta(O \otimes A)B_{t+1} \dots \dots \dots (19) \end{aligned}$$

ところで、 $\Delta(O \otimes A)$ については、(12)式を参考にして

$$\Delta(O \otimes A) = \frac{1}{2}\Delta O \otimes (A_{t+1} + A_t) + \frac{1}{2}(O_{t+1} + O_t) \otimes \Delta A \dots \dots \dots (20)$$

したがって(16)式より、

$$\Delta B = \frac{1}{2}[B_{t+1}\{\Delta O \otimes (A_{t+1} + A_t)\}B_t + B_{t+1}\{(O_{t+1} + O_t) \otimes \Delta A\}B_t] \dots \dots \dots (21)$$

また(19)式より、

$$\Delta B = \frac{1}{2}[B_t\{\Delta O \otimes (A_{t+1} + A_t)\}B_{t+1} + B_t\{(O_{t+1} + O_t) \otimes \Delta A\}B_{t+1}] \dots \dots \dots (22)$$

よって(10)式の右辺第2項は、

$$\begin{aligned} &\frac{1}{2}(E_{t+1}\Delta B \cdot S_t Y_t + E_t \Delta B \cdot S_{t+1} Y_{t+1}) \\ &= \frac{1}{4}[E_{t+1}B_{t+1}\{\Delta O \otimes (A_{t+1} + A_t)\}B_t S_t Y_t + E_{t+1}B_{t+1}\{(O_{t+1} + O_t) \otimes \Delta A\}B_t S_t Y_t] \\ &+ \frac{1}{4}[E_t B_t \{\Delta O \otimes (A_{t+1} + A_t)\}B_{t+1} S_{t+1} Y_{t+1} + E_t B_t \{(O_{t+1} + O_t) \otimes \Delta A\}B_{t+1} S_{t+1} Y_{t+1}] \\ &= \frac{1}{4}[E_t B_t \{(O_{t+1} + O_t) \otimes \Delta A\}B_{t+1} S_{t+1} Y_{t+1} + E_{t+1}B_{t+1}\{(O_{t+1} + O_t) \otimes \Delta A\}B_t S_t Y_t] \\ &+ \frac{1}{4}[E_t B_t \{\Delta O \otimes (A_{t+1} + A_t)\}B_{t+1} S_{t+1} Y_{t+1} + E_{t+1}B_{t+1}\{\Delta O \otimes (A_{t+1} + A_t)\}B_t S_t Y_t] \cdot (23) \end{aligned}$$

(23) 式の最右辺第 1 項は中間投入係数行列の変化による効果を表し、最右辺第 2 項は中間投入係数行列の国産化率 (逆に言えば中間財輸入率) の変化による効果を表している。

最後に、(10) 式の右辺第 3 項も (12) 式を代入し、

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}(E_{t+1}B_{t+1}\Delta S \cdot Y_t + E_tB_t\Delta S \cdot Y_{t+1}) \\ &= \frac{1}{4}[E_{t+1}B_{t+1}\{\Delta D \otimes (T_{t+1} + T_t)\}Y_t + E_{t+1}B_{t+1}\{(D_{t+1} + D_t) \otimes \Delta T\}Y_t] \\ &+ \frac{1}{4}[E_tB_t\{\Delta D \otimes (T_{t+1} + T_t)\}Y_{t+1} + E_tB_t\{(D_{t+1} + D_t) \otimes \Delta T\}Y_{t+1}] \\ &= \frac{1}{4}[E_tB_t\{\Delta D \otimes (T_{t+1} + T_t)\}Y_{t+1} + E_{t+1}B_{t+1}\{\Delta D \otimes (T_{t+1} + T_t)\}Y_t] \\ &+ \frac{1}{4}[E_tB_t\{(D_{t+1} + D_t) \otimes \Delta T\}Y_{t+1} + E_{t+1}B_{t+1}\{(D_{t+1} + D_t) \otimes \Delta T\}Y_t] \dots \dots (24) \end{aligned}$$

(24) 式の最右辺第 1 項は、最終需要の国産化率 (逆に言えば最終財輸入率) を表す行列 D の変化による効果を表し、最右辺第 2 項は最終需要自体の構成を表す行列 T の変化による効果を表している。

以上をまとめよう。産業別のエネルギー利用変化は以下のように分解される。

$$\begin{aligned} \Delta(EBSY) &= \frac{1}{2}\Delta E(B_tS_tY_t + B_{t+1}S_{t+1}Y_{t+1}) \dots \text{エネルギー投入係数の変化による効果} \\ &+ \frac{1}{4}[E_tB_t\{(O_{t+1} + O_t) \otimes \Delta A\}B_{t+1}S_{t+1}Y_{t+1} \\ &\quad + E_{t+1}B_{t+1}\{(O_{t+1} + O_t) \otimes \Delta A\}B_tS_tY_t] \dots \text{中間投入係数行列の変化による効果} \\ &+ \frac{1}{4}[E_tB_t\{\Delta O \otimes (A_{t+1} + A_t)\}B_{t+1}S_{t+1}Y_{t+1} \\ &\quad + E_{t+1}B_{t+1}\{\Delta O \otimes (A_{t+1} + A_t)\}B_tS_tY_t] \dots \dots \text{中間投入の国産化 (輸入) 率} \\ &+ \frac{1}{4}[E_tB_t\{\Delta D \otimes (T_{t+1} + T_t)\}Y_{t+1} \quad \text{の変化による効果} \\ &\quad + E_{t+1}B_{t+1}\{\Delta D \otimes (T_{t+1} + T_t)\}Y_t] \quad \dots \dots \text{最終需要の国産化 (輸入) 率の} \\ &\quad \text{変化による効果} \\ &+ \frac{1}{4}[E_tB_t\{(D_{t+1} + D_t) \otimes \Delta T\}Y_{t+1} \\ &\quad + E_{t+1}B_{t+1}\{(D_{t+1} + D_t) \otimes \Delta T\}Y_t] \dots \dots \text{最終需要構成の変化による効果} \\ &+ \frac{1}{2}(E_{t+1}B_{t+1}S_{t+1} + E_tB_tS_t)\Delta Y \dots \dots \text{最終需要規模の変化による効果} \end{aligned}$$

このように 6 つの要因に分解している点がポイントである<sup>15)</sup>。

- (1) エネルギー投入係数      (2) 中間投入係数      (3) 中間投入国産化 (輸入) 率  
(4) 最終需要国産化 (輸入) 率      (5) 最終需要構成      (6) 最終需要規模

この種の分析では通常、産業別二酸化炭素排出係数という要因 (ベクトル) を用いること

が多いが<sup>16)</sup>、ここではさらに踏み込んで、エネルギー投入係数(行列)とエネルギー源別二酸化炭素排出係数とに分けている点に特徴がある。とりわけ後者、すなわち発熱量(Terajoule)あたりの各エネルギー源別のCO<sub>2</sub>排出量は物理学的に安定しているため、定数と仮定できるメリットがある<sup>17)</sup>。また前者のエネルギー投入係数は、生産額あたりの各エネルギー源の投入(消費)を求めた行列であり、この変化に因る二酸化炭素排出の増減への寄与率によって、エネルギー効率化やエネルギーシフトによる影響がわかる。また(3)の中間投入国産化(輸入)率は、ドイツのようにEU依存度が高い国は、特に市場統合後は、輸入による国内生産の代替によって、エネルギー消費とそれに伴う二酸化炭素の排出が減少した可能性もあり、検討に値する項目である<sup>18)</sup>。最終需要も、その規模(6)と構成(5)だけではなく、国産化(輸入)率(4)の影響を検討できるように分解している。このそれぞれの要因の変化によるエネルギー需要変動効果に、エネルギー源別の二酸化炭素排出係数ベクトルを掛けたものが、エネルギー源別の二酸化炭素排出量の変化である。

実際の計算では、産業連関表はドイツ連邦統計局が公表している1991—2000年接続産業連関表(内生69部門、1995年実質基本価格)、エネルギー使用表(各物量単位及びジュール熱換算)は産業連関表の部門定義に合わせて作成・公表されたものを用いている。したがってエネルギー価格をはじめとする価格変動の影響は受けない実質的分析となっている。

90年代を2つに区分し、ドイツ再統一・リストラの影響が色濃く残る前半と、EUが15カ国となって経済統合に拍車のかかる後半とに分けて、産業連関表を用いた要因分解分析を行った結果を要約したものが以下の表4～表5である。ともにエネルギー源別・要因別の二酸化炭素増減量(表4-1・表5-1)だけではなく、全エネルギーから排出される二酸化炭素全体の増減に対する各要因の効果も寄与率の形でも示している(表4-2・表5-2)。

まず90年代前半は、全体としてエネルギー投入係数の変化、すなわちエネルギー効率の向上やエネルギー転換による二酸化炭素排出の減少効果が目立っており、量にして約-91,000トン、寄与率では-135.2%と全体の減少を説明する以上のものとなっている。この時期、東西ドイツの統一効果で民間消費需要(約13,000トン、19.4%)や建設需要(9,000トン、13.5%)、輸出(13,000トン、19.9%)などの二酸化炭素排出量が大幅に増加し、最終需要全体として34,479トン(51.1%)の排出量増加がみられるが、それを中間投入係数の変化や輸入増大による効果、そして何よりもエネルギー投入係数の変化による巨大なマイナス効果によって相殺した上で、大きく減少させていることがわかる。

エネルギー源別に見ると、たとえばガソリンは最終需要の増加によって二酸化炭素の排出を大幅に増やす方向に作用しているが、燃費の改善等によるエネルギー投入係数の変化がそれ以上に大きくマイナスに働いて減少していることがわかる。また石炭も、最終需要増加の



表4-1: 二酸化炭素削減の要因分解 (ドイツ; 1991~1995年) (単位: CO<sub>2</sub>・1000t)

	エネルギー係	中間投入係数	中間投入国産化率(輸入率)	最終需要国産化率(輸入率)	最終需要構成	最終需要規模	民間最終消費支出					建設投資	在庫変動	輸出	合計
							民間最終消費支出	非営利団体消費	民間消費	政府最終消費支出	設備投資				
1 石炭	-9694	-907	-1606	-803	821	7273	3337	135	978	-1026	1612	-198	2436	-4915	
2 石炭	-348	7	3	-2	-8	16	2	0	2	-1	9	1	3	-332	
3 石炭	-2979	276	-2775	-449	-367	2792	190	6	52	-617	754	429	1980	-3502	
4 石炭	-1512	26	-61	-51	39	161	26	1	9	-13	26	-29	140	-1397	
5 褐炭	-45717	-2113	-1628	-948	875	8392	4277	178	1361	-1261	1524	-360	2671	-41139	
6 褐炭	-13583	-49	-21	-39	-174	820	159	10	80	-36	509	-65	163	-13046	
7 その他の褐炭製品	-2678	116	-44	-81	-118	570	113	4	68	-58	289	-15	168	-2234	
8 硬質褐炭	-1200	-23	-19	-15	14	132	67	3	20	-19	26	-4	40	-1110	
9 原油	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10 ガソリン	-1716	335	-44	-60	-249	895	235	20	315	-129	306	-18	166	-840	
11 軽油	86	-11	-2	3	4	-1	3	0	1	-1	1	-8	3	80	
12 ジェット燃料	-2406	1373	620	566	1356	807	318	7	103	-51	44	-14	400	2315	
13 デイゼル燃料	5282	280	19	-497	185	3374	1225	41	367	-564	1356	-71	1021	8642	
14 重油	-9812	521	-248	-231	-267	2544	747	157	815	-346	719	-125	576	-7492	
15 軽油	-6213	-360	-556	-126	190	1162	409	15	109	-187	355	-223	684	-5903	
16 石炭ガス	249	-45	-9	24	15	72	30	1	7	-7	72	-64	33	306	
17 液体ガス	-465	-15	-62	-27	-17	181	59	2	23	-44	81	-55	115	-405	
18 精製ガス	786	-603	-134	151	232	44	173	5	37	-37	86	-391	171	476	
19 その他の石油製品	836	-224	-49	54	78	58	75	2	17	-17	56	-144	69	753	
20 コークスガス・都市ガス	-4324	-147	-189	-12	-38	282	77	2	59	-55	84	-54	171	-4429	
21 炉頂ガス・転炉ガス	184	-87	-347	-34	0	441	118	4	31	-92	108	-7	278	158	
22 天然ガス・鉱油ガス	4004	-208	-1280	-508	195	4348	1406	113	766	-780	1040	-321	2123	6550	
23 坑内ガス	11	-96	-17	2	5	34	25	1	7	-7	10	-21	18	-61	
24 水力	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25 太陽光	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26 廃棄物・バイオマス	61	-5	-17	-8	16	77	35	1	10	-11	18	-4	27	123	
27 その他の再生可能エネルギー	-122	1	-2	-2	1	6	1	0	1	-0	1	-0	4	-117	
28 電力	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29 核エネルギー	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30 遠隔暖房熱	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31 合計	-91270	-1956	-8467	-3094	2788	34479	13107	709	5237	-5357	9086	-1761	13458	-67520	

表4-2: 二酸化炭素削減の各要因寄与率(ドイツ: 1991~1995年)

計	出	輸	在庫変動	建設投資	設備投資	政府最終消費支出	民間消費		民間最終消費支出	最終需要規模	最終需要構成	最終需要国産化率(輸入率)	中間投入国産化率(輸入率)	中間投入係数	エネルギー投入係数	中間投入係数	エネルギー投入係数	合計
							民間消費	官公庁消費										
1	石炭								4.9%	10.8%	1.2%	-1.2%	-2.4%	-1.3%	-14.4%	-1.3%		-7.3%
2	石炭								0.0%	0.0%	-0.0%	-0.0%	0.0%	0.0%	-0.5%	0.0%		-0.5%
3	石炭								0.3%	4.1%	-0.5%	-0.7%	-4.1%	0.4%	-4.4%	-0.4%		-5.2%
4	石炭								0.0%	0.2%	0.1%	-0.1%	-0.1%	0.0%	-2.2%	0.0%		-2.1%
5	褐炭								6.3%	12.4%	1.3%	-1.4%	-2.4%	-3.1%	-67.7%	-3.1%		-60.9%
6	褐炭								0.2%	1.2%	-0.3%	-0.1%	-0.0%	-0.1%	-20.1%	-0.1%		-19.3%
7	その他の褐炭製品								0.2%	0.8%	-0.2%	-0.1%	-0.1%	0.2%	-4.0%	0.2%		-3.3%
8	硬質褐炭								0.1%	0.2%	0.0%	-0.0%	-0.0%	-0.0%	-1.8%	-0.0%		-1.6%
9	原油								...	...	...	...	...	...	...	...		...
10	ガソリン								0.3%	1.3%	-0.4%	-0.1%	-0.1%	0.5%	-2.5%	0.5%		-1.2%
11	未精製ガソリン								0.0%	-0.0%	0.0%	0.0%	-0.0%	-0.0%	0.1%	-0.0%		0.1%
12	ジェット燃料								0.5%	1.2%	2.0%	0.8%	0.9%	2.0%	-3.6%	2.0%		3.4%
13	ディーゼル燃料								1.8%	5.0%	0.3%	-0.7%	0.0%	0.4%	7.8%	0.4%		12.8%
14	暖房用重油								1.1%	3.8%	-0.4%	-0.3%	-0.4%	0.8%	-14.5%	0.8%		-11.1%
15	暖房用軽油								0.6%	1.7%	0.3%	-0.2%	-0.8%	-0.5%	-9.2%	-0.5%		-8.7%
16	石油コークス								0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	-0.0%	-0.1%	0.4%	-0.1%		0.5%
17	液体コークス								0.1%	0.3%	-0.0%	-0.0%	-0.1%	-0.0%	-0.7%	-0.0%		-0.6%
18	精製ガソリン								0.3%	0.1%	0.3%	0.2%	-0.2%	-0.9%	1.2%	-0.9%		0.7%
19	その他の石油製品								0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	-0.1%	1.2%	1.2%	1.2%		1.1%
20	コークスガス・都市ガス								0.1%	0.4%	-0.1%	-0.0%	-0.3%	-0.2%	-6.4%	-0.2%		-6.6%
21	炉頂ガス・転炉ガス								0.2%	0.7%	0.0%	-0.1%	-0.5%	-0.1%	0.3%	-0.1%		0.2%
22	天然ガス・鉱油ガス								2.1%	6.4%	0.3%	-0.8%	-1.9%	-0.3%	5.9%	-0.3%		9.7%
23	坑内ガス								0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	-0.0%	-0.1%	0.0%	-0.1%		-0.1%
24	水力								...	...	...	...	...	...	...	...		...
25	風力								...	...	...	...	...	...	...	...		...
26	廃棄物・バイオマス								0.1%	0.1%	0.0%	-0.0%	-0.0%	-0.0%	0.1%	-0.0%		0.2%
27	他の再生可能エネルギー								0.0%	0.0%	0.0%	-0.0%	-0.0%	0.0%	-0.2%	0.0%		-0.2%
28	電力								...	...	...	...	...	...	...	...		...
29	核エネルギー								...	...	...	...	...	...	...	...		...
30	遠隔暖房								...	...	...	...	...	...	...	...		...
31	合計								19.4%	51.1%	4.1%	-4.6%	-12.5%	-2.9%	-135.2%	-2.9%		-100.0%

効果を中間投入係数やエネルギー投入係数の変化が相殺した上で減少する方向に作用している。

全体としての二酸化炭素削減では、褐炭が-41,139トンと最も大きく貢献しており、寄与率も-60.9%に上っている。特にエネルギー投入係数の変化、すなわちエネルギーシフトの効果が大きかったことがわかる。褐炭ブリケット等も同様である。褐炭発電所の廃棄をはじめとするインフラの整備の影響が顕著に出ている。またこの時期は、他に石炭や暖房用灯油等も大幅に減少している。他方で逆に排出が増加しているのは、ディーゼル燃料、天然ガス、ジェット燃料等であるが、その要因は微妙に異なっている。ディーゼル燃料や天然ガスは、最終需要の増加による影響に加えて、エネルギー代替・転換によるプラスの効果が大きく作用して二酸化炭素の排出量が増加しているのに対して、ジェット燃料はエネルギー投入係数がマイナス効果を示し、二酸化炭素排出の増加はむしろ中間投入係数の変化や、とりわけ最終需要構成の変化に因るものとなっている。再統一後に、運輸・通信のサービス需要が増加し、最終需要構成も0.4%上昇した影響であろう。

しかし90年代後半になると、二酸化炭素は前半同様に全体として減少はしているものの、減少量は半減以下となり様相が異なってくる。ドイツ再統一の影響が一段落するとともに、EU統合の影響が全面に出てくる時期である。まず建設投資が増加から減少に転じ、誘発する二酸化炭素排出も減少し始め、それに代わって前半マイナスだった設備投資による排出が増加している。また民間最終消費支出の増加による影響が増大しているが、輸出はさらにそれを3倍も上回っている。このように最終需要の規模が増大したことによるプラスの影響が最も大きくなっており、それをエネルギー投入係数の変化によるマイナス効果だけでは相殺できなくなっていることが、90年代後半の特徴の1つである。しかし実際には、それを国産化率（輸入率）や中間投入係数の変化によるマイナス効果が相殺し、全体として25,135トン削減しているが、これは90年代前半と比べるならば約37%の削減量に過ぎない。最も大きなマイナス効果は、90年代前半と同様にエネルギー投入係数の変化であるが、最終需要の構成の変化によるマイナス効果もそれに次ぐ大きさである。これも90年代前半とは著しく異なる特徴である。エネルギー消費が多い建設投資が一段落した事によって、建設投資が最終需要全体に占める割合が9.6%から7.6%へと2%も低下したことなどがその背景である。

エネルギー源別に全体への寄与率をみても、数値自体は異なるものの90年代前半の傾向をほぼ維持している。石炭、褐炭、灯油等がそれぞれ30%以上のマイナスの寄与率であるのに対して、ディーゼル燃料は29.7%、天然ガスが24.8%、ジェット燃料も18.9%のプラスの寄与率であり、これらが最も増加に寄与した3つのエネルギー源である<sup>19)</sup>。すなわち、最終需要の増加はあらゆるエネルギー源の使用を増加させ、二酸化炭素の排出も増加する方向に作

表5-1: 二酸化炭素削減の要因分解 (ドイツ; 1995~2000年) (単位: CO<sub>2</sub>・1000t)

	エネ投入係	中間投入係	中間投入国産化率(輸入率)	最終需要国産化率(輸入率)	最終需要構成	最終需要規模	民間消費				建設投資	在庫変動	輸出	合計
							民間最終消費支出	非営利団体消費	間接消費支出	政府最終消費支出				
1 石炭	-12977	-2341	-3121	-2040	-13045	25761	7041	187	769	1911	-703	89	16467	-7763
2 石炭	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 石炭	-3093	-4811	-3018	-575	-4223	14241	320	6	32	955	-265	-63	13255	-1479
4 石炭	-640	85	-279	-83	-105	789	32	1	4	15	-8	1	744	-232
5 褐炭	-16323	-2183	-2776	-2218	-14668	26414	8201	218	889	2049	-573	123	15508	-11753
6 褐炭	-2941	-66	-58	-22	-112	383	81	3	15	20	-46	3	306	-2816
7 その他の褐炭製品	-400	-347	-232	-102	-446	876	196	5	22	57	-182	2	777	-651
8 硬質褐炭	405	-25	-39	-33	-228	407	128	3	15	32	-9	2	236	487
9 原油	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 ガソリン	-2416	343	-207	-135	-535	2010	493	27	239	252	-128	3	1124	-939
11 未精製ガソリン	-172	-22	-5	-18	-7	22	4	0	0	1	-0	2	15	-201
12 ジェット燃料	338	2472	-126	-155	-1730	3938	922	15	105	185	-31	4	2737	4739
13 ディーゼル燃料	17	908	-1486	-948	-3324	12307	3012	64	316	1360	-714	-18	8287	7474
14 暖房用重油	-14096	-242	-647	-625	-1146	5592	1313	174	525	543	-275	55	3257	-11164
15 暖房用軽油	-7309	-2003	-969	-1147	-1395	4627	585	13	55	256	-130	155	3693	-8195
16 石油コークス	1296	-482	-114	-293	-162	403	77	1	7	16	-38	51	289	647
17 液体ガス	-42	-313	-222	-258	-262	985	113	3	15	58	-36	37	794	-112
18 精製ガス	2413	-2140	-486	-1480	-638	1922	345	6	28	68	-37	256	1256	-409
19 その他の石油製品	1060	-746	-184	-504	-329	823	175	4	16	39	-31	85	536	119
20 コークスガス・都市ガス	-170	-431	-221	-190	-314	1002	88	2	9	63	-20	23	837	-324
21 炉頂ガス・転炉ガス	-20	-811	-450	-257	-878	2378	259	6	27	159	-42	19	1950	-38
22 天然ガス・鉱油ガス	-2247	-927	-4117	-2744	-4588	20861	3274	181	693	1585	-523	176	15475	6236
23 坑内ガス	396	-213	-62	-65	-125	215	56	1	6	13	-5	9	135	144
24 水力	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25 風力・太陽光	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26 廃棄物・バイオマス	945	-6	-60	-33	-166	408	97	3	11	29	-11	1	279	1088
27 その他の再生可能エネルギー	4	1	-1	-0	-1	6	1	1	1	0	-0	0	2	8
28 電力	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29 核エネルギー	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30 遠隔暖房熱	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31 合計	-55974	-14298	-18881	-13926	-48427	126371	26814	926	3799	9666	-3809	1015	87960	-25135

表5-2：二酸化炭素削減の各要因寄与率 (ドイツ：1995～2000年)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	石炭 石油 天然ガス 電力 太陽光 廃棄物 その他の再生可能エネルギー 核エネルギー 遠隔暖房 計	エネルギー投入係数	中間投入係数	中間投入国産化率(輸入率)	最終需要国産化率(輸入率)	最終需要構成	最終需要規模	民間最終消費支出				建設投資	在庫変動	輸出	合計
								民間最終消費支出	民間非営利団体消費	政府最終消費支出	設備投資				
1	炭	-51.6%	-9.3%	-12.4%	-8.1%	-51.9%	102.5%	28.0%	0.7%	3.1%	7.6%	-2.8%	0.4%	65.5%	-30.9%
2	炭	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3	炭	-12.3%	-19.1%	-12.0%	-2.3%	-16.8%	56.7%	1.3%	0.0%	0.1%	3.8%	-1.1%	-0.3%	52.7%	-5.9%
4	炭	-2.5%	0.3%	-1.1%	-0.3%	-0.4%	3.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	-0.0%	0.0%	3.0%	-0.9%
5	炭	-64.9%	-8.7%	-11.0%	-8.8%	-58.4%	105.1%	32.6%	0.9%	3.5%	8.2%	-2.3%	0.5%	61.7%	-46.8%
6	炭	-11.7%	-0.3%	-0.2%	-0.1%	-0.4%	1.5%	0.3%	0.0%	0.1%	0.1%	-0.2%	0.0%	1.2%	-11.2%
7	炭	-1.6%	-1.4%	-0.9%	-0.4%	-1.8%	3.5%	0.8%	0.0%	0.1%	0.2%	-0.7%	0.0%	3.1%	-2.6%
8	炭	1.6%	-0.1%	-0.2%	-0.1%	-0.9%	1.6%	0.5%	0.0%	0.1%	0.1%	-0.0%	0.0%	0.9%	1.9%
9	炭	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
10	炭	-9.6%	1.4%	-0.8%	-0.5%	-2.1%	8.0%	2.0%	0.1%	1.0%	1.0%	-0.5%	0.0%	4.5%	-3.7%
11	炭	-0.7%	-0.1%	-0.0%	-0.1%	-0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-0.0%	0.0%	0.1%	-0.8%
12	炭	1.3%	9.8%	-0.5%	-0.6%	-6.9%	15.7%	3.7%	0.1%	0.4%	0.7%	-0.1%	0.0%	10.9%	18.9%
13	炭	0.1%	3.6%	-5.9%	-3.8%	-13.2%	49.0%	12.0%	0.3%	1.3%	5.4%	-2.8%	-0.1%	33.0%	29.7%
14	炭	-56.1%	-1.0%	-2.6%	-2.5%	-4.6%	22.2%	5.2%	0.7%	2.1%	2.2%	-1.1%	0.2%	13.0%	-44.4%
15	炭	-29.1%	-8.0%	-3.9%	-4.6%	-5.5%	18.4%	2.3%	0.1%	0.2%	1.0%	-0.5%	0.6%	14.7%	-32.6%
16	炭	5.2%	-1.9%	-0.5%	-1.2%	-0.6%	1.6%	0.3%	0.0%	0.0%	0.1%	-0.2%	0.2%	1.1%	2.6%
17	炭	-0.2%	-1.2%	-0.9%	-1.0%	-1.0%	3.9%	0.4%	0.0%	0.1%	0.2%	-0.1%	0.1%	3.2%	-0.4%
18	炭	9.6%	-8.5%	-1.9%	-5.9%	-2.5%	7.6%	0.4%	0.0%	0.1%	0.3%	-0.1%	1.0%	5.0%	-1.6%
19	炭	4.2%	-3.0%	-0.7%	-2.0%	-1.3%	3.3%	0.7%	0.0%	0.1%	0.2%	-0.1%	0.3%	2.1%	0.5%
20	炭	-0.7%	-1.7%	-0.9%	-0.8%	-1.2%	4.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.3%	-0.1%	0.1%	3.3%	-1.3%
21	炭	-0.1%	-3.2%	-1.8%	-1.0%	-3.5%	9.5%	1.0%	0.0%	0.1%	0.6%	-0.2%	0.1%	7.8%	-0.2%
22	炭	-8.9%	-3.7%	-16.4%	-10.9%	-18.3%	83.0%	13.0%	0.7%	2.8%	6.3%	-2.1%	0.7%	61.6%	24.8%
23	炭	1.6%	-0.8%	-0.2%	-0.3%	-0.5%	0.9%	0.2%	0.0%	0.0%	0.1%	-0.0%	0.0%	0.5%	0.6%
24	炭	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
25	炭	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
26	炭	3.8%	-0.0%	-0.2%	-0.1%	-0.7%	1.6%	0.4%	0.0%	0.0%	0.1%	-0.0%	0.0%	1.1%	4.3%
27	炭	0.0%	0.0%	-0.0%	-0.0%	-0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
28	炭	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
29	炭	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
30	炭	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
31	計	-222.7%	-56.9%	-75.1%	-55.4%	-192.7%	502.8%	106.7%	3.7%	15.1%	38.5%	-15.2%	4.0%	349.9%	-100.0%

用したが、エネルギーシフトや国産化率低下（輸入率の上昇）等がそれを相殺・削減する方向に作用し、最終的に相殺しきれなかったディーゼル燃料、天然ガス、ジェット燃料等で二酸化炭素の排出が増加している。とりわけジェット燃料やディーゼル燃料で中間投入係数の変化による効果がプラスである点、また天然ガスは90年代前半と比べ、エネルギー投入係数の変化による効果もマイナスに転じたが、それでも最終需要の増加によるプラスの効果を相殺できず、二酸化炭素の排出は増加している点等が注目すべき点である。

#### 4. 結びにかえて

本稿では、ドイツのエネルギー消費構造の考察から二酸化炭素の排出構造を実証分析してきた。まず第1節では、二酸化炭素排出の直接的原因であるエネルギー消費の構造を、エネルギー・バランスシートをもとに考察した。発電というエネルギー転換では未だ僅かに過ぎないが、1次国内エネルギー供給をみても、また最終エネルギー供給をみても、褐炭・石炭から天然ガスへのエネルギーシフトは明確であり、このガス化こそが二酸化炭素の削減に大きく影響しているであろうことは、この段階でも大いに予想できる。産業連関分析を通してそれをみる前に、第2節ではドイツの部門別二酸化炭素排出状況を確認し、日本と比べても最終需要として直接排出される二酸化炭素の割合が大きいこと、そしてこの背景には、民間最終需要における二酸化炭素を直接排出するようなエネルギー使用が日本より多いという事情があることを確認した。最後に第3節では、産業連関表を用いた完全要因分解分析によって、ドイツで二酸化炭素の排出が減少している背景には、民間最終消費や輸出などの最終需要が生産を通して誘発する石炭、褐炭、灯油といったエネルギー源の使用で、単位当たりの二酸化炭素排出量がより少ないガスにシフトしていることが最も寄与しているが、その他にも、特に90年代後半には最終需要構造が変化し、また国内生産が輸入によって代替される割合が高まったことも関与していることがわかった。

ドイツは結果として、石炭・褐炭からガスへというエネルギーシフトを基本に、京都議定書の約束を実現しようとしていることは産業連関分析からも確認できる。このような傾向は、ドイツが原発を将来的に撤廃する方針であること、その代りに再生可能エネルギーの開発を進めているとしても、現状ではデンマーク等に比べエネルギー使用全体にしめる割合は依然低いこと等を考慮すれば<sup>20)</sup>、ガス化は今後しばらくは継続せざるを得ない傾向と言えるかもしれない。しかし発電における依然高い石炭の割合をみても、またディーゼル燃料・ガソリン等が増加を続けていることをみても、さらに二酸化炭素を削減する余地は残されているといえるだろう。それこそがガス化というエネルギーシフトの先に残る課題であり、1999年に導入された炭素税もそのために必要な政策とみることもできる<sup>21)</sup>。

本稿で採り上げたエネルギー消費や二酸化炭素の排出構造といった環境の産業連関分析に関しては、日独比較といった興味深いテーマも残されているが、現状では価格評価方法が異なっている等によって産業連関表の精度の高い比較ができない上に<sup>22)</sup>、エネルギー源の分類が日独で異なっている等の問題もあり、将来的な課題である。

#### 注

- 1) 本稿は文部科学省2003~2005年度科学研究補助金(基盤研究(C)(2)、課題番号15530147)による研究成果の一部である。
- 2) たとえば、さがら(2002)、澤・関(2004)、石井(2004)等を参照。
- 3) 川崎研一「京都議定書がわが国経済に与える影響」澤・関(2004)所収等を参照。
- 4) 正確には1次エネルギーから最終エネルギーに至るまでには、エネルギー転換だけではなく、自家発電が含まれるが、ここでは取り上げていない。
- 5) この単位発熱量(Terajoule)当たりの二酸化炭素排出量の数値は、ドイツ連邦統計局が換算に用いている数値を参照したものである。
- 6) Statistisches Bundesamt(2003)を参照。ただし毎年刊行されている。
- 7) 澤・関(2004)、石井(2004)等を参照。
- 8) 日本の産業別二酸化炭素排出量は、南齋等(2002)で基本表から推計されているデータを、ドイツの新しい産業分類に則して組み換えたものである。
- 9) 日本に関しては菅(1997)も参照。ただし間接的なエネルギー消費とCO<sub>2</sub>の考察が中心である。
- 10) ドイツのエネルギー使用表は、Emissionsrelevanter Energieverbrauch(汚染と関連のあるエネルギー消費)と定義されているものを用いている。単純な物量表では、エネルギーとして燃焼に用いられるものだけではなく、汚染とは関係のないたとえば化学物質等の原材料となるものまで含まれるからである。日本に関しては同様のものは入手できなかったが、民間最終消費需要としてはほとんどのものが二酸化炭素の排出を伴う燃焼に用いられると考えられるため、産業連関表の付帯表として公表されている物量表をそのまま用いた。
- 11) ただし電力は家計で使用する時はクリーンなエネルギーであり、これを抜くと2000年においても全体としての消費熱量はドイツの方が多い。民間最終消費からの二酸化炭素排出量が、少なくとも1995年まではドイツの方が多かったのは主にこのためである。
- 12) 民間最終需要における電力使用が間接的に誘発しているCO<sub>2</sub>を含めて日独比較を試みたものにYoshinaga(2000)がある。
- 13) Schoer(2002)、Seibel(2003)はさらに最終需要から直接排出される二酸化炭素の増減を検討している。すなわち家計の活動を居住(生活)と移動(交通)に分け、それぞれをさらにいくつかの要因に分解して分析している。
- 14) ここでの実際の計算では、内生69部門の産業連関表を用い、エネルギーは30種類に分類されているので、 $n=69$ 、 $k=30$ である。
- 15) 日本エネルギー経済研究所(2001)に完全要因分析法と簡易法の説明がされている。本稿では地域間連関の分析のために考案されたHoen(2002)の分解式も参照しつつ、二酸化炭素排出分析用に完全要因分解式を導出している。
- 16) たとえば吉岡完治(2003)を参照。
- 17) ただし一定と仮定するためには、様々なエネルギーが存在するため、ある程度詳細な分類が必要である。

- 18) Schoer (2002) も特にこの点に留意して要因分解している。
- 19) 因みに二酸化炭素ではなく、エネルギー使用量全体の増減に対する寄与率ではガスは64.9%であり、ガス化の傾向はいつそう明白である。
- 20) 2000年にたとえば風力発電は、ドイツで9,352KWh、デンマークで4,441 KWh とドイツの方が発電量自体は多いが、全体の発電総量にしめる割合では、ドイツが1.6%であるのに対して、デンマークは12.3%に達している (IEA のエネルギー統計より)。
- 21) とはいえ、石炭とジェット燃料が非課税であるなど未だ不十分な点も多い。
- 22) Yoshinaga (2000) では1990年表を用いて日独比較を試みているが、1990年表までは両国とも生産者価格評価による産業連関表を作成していたために、このような比較が可能であった。その後EU諸国はこぞって基本価格に変更し、日本は生産者価格に拘っているために、精度の高い比較は期待できなくなっている。

#### 参考文献

- 石井孝明 (2004) : 『京都議定書は実現できるのか—CO<sub>2</sub>規制社会のゆくえ』、平凡社新書。
- さがら邦夫 (2002) : 『地球温暖化とアメリカの責任』、藤原書店。
- 澤昭裕・関総一郎 (2004) : 『地球温暖化問題の再検証—ポスト京都議定書の交渉にどう臨むか』、岩波書店。
- 菅幹雄 (1997) : 「家計消費によるエネルギー消費・CO<sub>2</sub>排出の分析」、『イノベーション&IOテクニク・産業連関』、第7巻2号。
- 日本エネルギー経済研究所計量分析部編 (2001) : 『図解エネルギー・経済データの読み方入門』、(財)省エネルギーセンター。
- 南齋規介・森口祐一・東野達 (2002) : 『産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) —LCA のインベントリデータとして—』、独立行政法人・国立環境研究所・地球環境研究センター。
- 吉岡完治他 (2003) : 『環境の産業連関分析』日本評論社。
- Hoen, A. R. (2002): *An Input-Output Analysis of European Integration*, North Holland.
- Statistisches Bundesamt (2002): *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Input-Output-Tabellen- in Preisen von 1995–1991 bis 2000 –*, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2003a): *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Aufkommen und Verwendung von Energie Ergebnisse der Input-Output-Rechnung nach 30 Energieträgern / 71 Produktionsbereichen 1991 bis 1998*, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2003b): *Umweltökonomische Gesamtrechnungen-Material und Energieflussrechnungen-, Teil 3: Kohlendioxid*, Wiesbaden.
- Schoer, K. & R ath, N. (2002) : Bericht zu den Umwelt konomischen Gesamtrechnungen 2002, *Wirtschaft und Statistik*, 11/2002.
- Seibel, S. (2003): *Decomposition Analysis of Carbon Dioxide Emission Changes in Germany-Conceptual Framework and Empirical Results*, European Communities.
- Yoshinaga, K. (2000) : A Comparison of CO<sub>2</sub> Emission Structure between Japan and Germany, *Kansai University Review of Economics*, No.2.