

(10) 環境資源の国際的相互依存に関する研究

STUDY ON THE GLOBAL INTERDEPENDENCE CONCERNING
THE USE OF ENVIRONMENTAL RESOURCES

井村秀文* 森口祐一** 白土廣信* 坂井 徹*
Hidefumi IMURA* Yuichi MORIGUCHI** Hironobu SHIRATSUCHI* Tohru SAKAI*

ABSTRACT; Countries use energy and other environmental resources for the production of goods and services within their geographical boundaries. In addition, however, we must not forget the indirect use of resources that are put into through the import of goods and services from other countries. Environmental implication of trade is especially important when we consider national responsibilities for taking actions. In this paper, a calculation has been done to estimate the flow of energy embodied in the traded goods and services by using international trade statistics and energy data. It is shown that the indirect energy flow from the developing countries to the developed ones is greater than its flow to the opposite direction. Furthermore, a method of analyzing such resource interdependence among nations is presented based on the input-output model. By using 1985 bilateral and multilateral input-output tables encompassing some Asian countries and the United States, estimation is made for the total (both direct and indirect) energy needed for the final production of various industry sectors in different countries. Then environmental resource consumption structures are compared among the countries.

KEY WORDS; global environment, environmental resources, environmental impacts, trade and environment

1. はじめに

現在の世界経済は貿易を通じて密接不可分の関係に結ばれている。ある国のある地域における経済活動や消費行動は、資源の移動と消費を通じて世界のさまざまな地域と関連し、地球のどこかに負荷を及ぼしている。地球環境に及ぼすインパクトや保全対策の責務は、こうした国際的相互依存の視点から評価する必要がある。

世界各国のGDP100万ドル当たりの一次エネルギー消費量(1989年)¹⁾を比較すると、日本の153TOEに対して米国は399TOEと、同じ先進国でも2.6倍の差がある。また、中国の値は、1,884TOEと日本の実に12倍である。全体的に見て、発展途上国や旧社会主義国の単位GDP当たりエネルギー消費量(エネルギー原単位)は西側先進国よりかなり大きいのが実情である。もちろん、GDP一つをとっても、社会体制の異なる国同士の実体を反映するような比較は難しいのであるが、財や通貨についての国際市場を前提とする限り、こうした格差が厳然として存在する。したがって、ある国の財を輸入することは、間接的にその国のエネルギー消費を増大させ、地球環境に負荷を及ぼしていることになる。中国のような原単位の大な国からの輸入は、金銭的には比較

* 九州大学工学部環境システム工学研究センター

Institute of Environmental System, Faculty of Engineering, Kyushu University

** 国立環境研究所

National Institute for Environmental Studies

的小さくともエネルギー的には重大な意味を持つ可能性がある。

一般的に見て、先進国と発展途上国との間の貿易は、産業構造や資源賦存条件の面での両者の大きな違いのため、環境負荷の収支において何らかの不均衡を発生させている可能性がある。日本の場合には、特にアジア諸国との関係において、その実態に興味が持たれる。

本論文においては、まず、世界各国の輸出入金額と国別のエネルギー消費データによって、国際貿易にともなう環境負荷の相互依存関係（相互の収支バランス）を評価する。これは、生産及び輸出入される財の種類や内容の区別を考えない単純化した議論である。そこで次に、二国間及び多国間の産業連関表を用いて、日本と米国及びアジア諸国との関係に着目し、産業別により詳しく生産と環境負荷の国際的相互依存関係を分析する。

なお、エネルギー消費構造分析については、現在入手できた多国間表²⁾の産業分類では、石炭部門が独立していないなど分析上の問題がある。このため、二国間表³⁾によって、二ヶ国ごとの相互関係に焦点を当てた分析を中心に行う。なお、本分析を通して、石油や石炭についてエネルギー用と原料用とを区別して取り扱っていないため、化学系の産業のエネルギー消費が見かけ上大きくなっており、この点については今後、改善が必要である。

2. 世界貿易表による分析

2. 1 分析手法

国 i から国 j への輸出金額を X_{ij} 、国 j に外生的に投入される環境資源を E_j 、その単位生産金額当りに必要な資源量を ε_j とすると、この国に流出入する環境資源の収支式は、

$$E_j + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i X_{ij} = \varepsilon_j X_j \quad (1)$$

となる。これを行列形式で表せば、

$$E + \varepsilon X = \varepsilon \hat{X} \quad (2)$$

ただし、 $X = [X_{ij}]$ は貿易マトリクス、

$$\hat{X} = [X_i \delta_{ij}]$$

は各国の国内需要にその国の総輸入量を加えたものを成分とする対角行列である。また、 ε 及び E はベクトルである：

$$\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n) \quad E = (E_1, E_2, \dots, E_n)$$

式(2)を解けば、

$$\varepsilon = E(\hat{X} - X)^{-1} \quad (3)$$

となり、国 j が生産する財・サービスの単位生産額当りに投入される資源量が求められる。また、これに生産額を乗じることによって、各国の生産によって誘発される資源の消費量を求めることができる。

2. 2 国際的相互依存関係の評価

貿易マトリクスとして世界を12地域に分類したもの⁴⁾を、また資源投入ベクトルに各国（地域）のエネルギー消費量⁵⁾をそれぞれ用い、式(3)により計算を行なった。

表2.1に1988年の財取引を通じてのエネルギー収支の計算結果を示す。まず、世界各地域間の全取引でみると、西欧の自地域内での取引量が最大となっている。また、西欧は他の地域との取引も全般的に大きくなっており、これはその地域の大きさや、ここが先進国を多く含むことによると考えられる。しかし、西欧地域が関係する取引全体に占める自地域内での取引の割合は大きく、これは一つの経済圏として強く独立している西欧の特性をよく表している。

一方、日本と発展途上アジア諸国に着目すると、その輸出入構造がかなり類似していることがわかる。すなわち、一次産品を労働力の安い発展途上国（発展途上アジア諸国、社会主義アジア諸国）から入手し、自国の製

表2.1 財の取引を通じてのエネルギー収支 (1988年)

From	To	貿易を通じての間の投入量 e X (百万TOE)												合計
		西欧	カナダ	米国	日本	豪、NZ	アフリカ	ラテン	中東	発展アジア	社会アジア	東欧	ソ連	
西欧		232.3	3.8	26.1	6.5	2.8	9.9	4.4	9.7	12.3	2.1	4.4	4.5	318.7
カナダ		4.9	0.0	38.9	3.4	0.4	0.4	0.8	0.3	1.9	1.0	0.1	0.4	52.6
米国		31.2	26.4	0.0	14.1	3.0	2.1	13.3	3.5	17.0	2.0	0.3	1.1	113.8
日本		9.6	1.1	15.5	0.0	1.3	0.6	0.8	1.4	11.5	1.7	0.1	0.5	44.3
豪、NZ		2.6	0.3	1.8	4.0	1.2	0.2	0.2	0.5	3.3	0.5	0.1	0.3	15.0
アフリカ		19.9	0.2	5.2	1.1	0.1	2.4	0.4	1.3	1.3	0.2	1.0	0.8	33.8
ラテン		11.4	0.9	16.2	2.9	0.2	0.7	4.9	0.9	1.9	0.8	0.7	0.6	42.0
中東		7.3	0.1	2.9	6.0	0.2	1.2	1.3	4.3	5.2	0.1	0.6	0.4	29.7
発展アジア		27.5	2.9	43.9	23.6	3.4	2.7	1.0	4.8	32.9	10.3	0.5	1.2	154.8
社会アジア		8.5	0.8	5.6	12.7	0.7	2.7	0.6	4.7	32.2	0.9	3.8	5.7	78.9
東欧		24.2	0.3	2.0	0.8	0.2	2.9	1.0	4.4	1.3	2.3	30.1	51.4	120.9
ソ連		11.3	0.0	0.3	1.0	0.0	0.8	0.1	0.9	1.7	4.0	28.3	0.0	48.5
合計		390.6	36.8	158.4	76.0	13.4	26.6	28.8	36.8	122.5	25.9	70.0	67.1	1,052.9

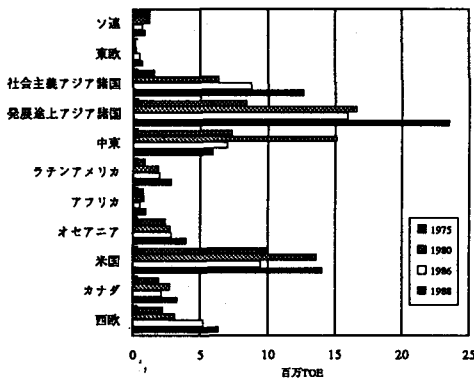


図2.1 エネルギーの流入量；日本

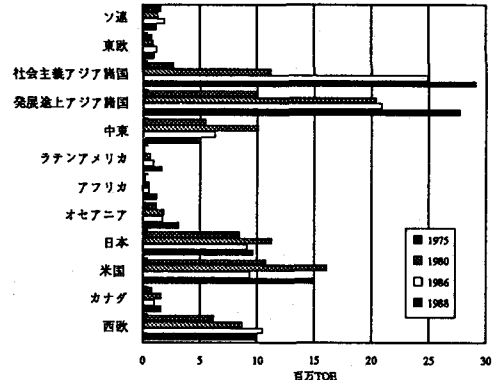


図2.2 エネルギーの流入量；発展途上アジア

品は先進国（米国）に輸出するという形態である。なお発展途上アジア諸国においては、日本も大きな輸出マーケットの1つとなっている。

次に、地域間の相互依存関係の時間的変化について考察を行なう。図2.1は、財の取引を通じての日本へのエネルギー流入量を時系列で示したものである。アジア諸国からのエネルギー流入量は年々増加の傾向を示しており、これから日本のアジア諸国との関係が、近年急速に深まりつつあることがわかる。

また、同様に図2.2、2.3はそれぞれ、発展途上アジア諸国のエネルギーの流入量、及び流出量を時系列で表したものである。流出・流入ともに、その全体量がかなり増加しており、これはこの地域の高い経済成長に伴うものと考えられる。また、自地域及び社会主義アジア諸国からの流入と米国への流出が増加していることは、アジア諸国の経済成長の牽引力である自地域内での相互依存性の大きさや、アジア諸国にとって巨大な輸出マーケットである米国との関係を如実に示している。

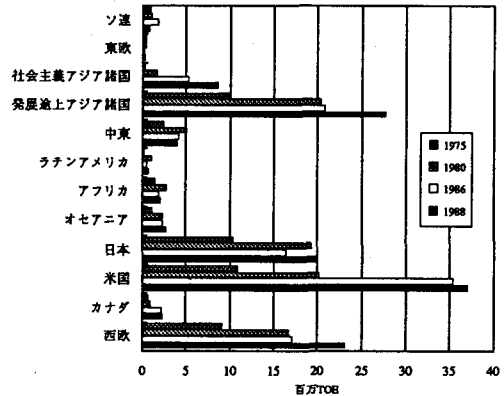


図2.3 エネルギーの流出量；発展途上アジア

3. 国際産業連関表による分析

3. 1 産業連関モデル

産業連関モデルによれば、図3.1に示すように、ある国の産業に投入された環境資源の一部は、関係諸国の

From	To	中間需要						最終需要			その他の 世界への 輸出	需要合計
		国A		国B		国C		国A	国B	国C		
		産業.1	産業.2 ● ●	産業.1	産業.2 ● ●	産業.1	産業.2 ● ●					
環境資源 中間投入	国A →	産業.1 産業.2 ●		↑ X _{ij}								
	国B	産業.1 産業.2 ●							→			
	国C	産業.1 産業.2 ●										
	その他の 世界	産業.1 産業.2 ●										
	付加価値 総投入											

図 3.1 国際産業連関表の概念図

様々な産業への中間投入となり、また、これはさらに各国の様々な産業への投入となる。これが繰り返された後、最終的に各国各産業の最終需要が形成されことになる。

国際産業連関表を利用すれば、第2章では困難であった各国各産業の最終需要に対して関係各国の環境資源が直接的、間接的にどのように投入されたかの構造分析が可能になる。ところで、現在のところ、様々な統計的問題のため、各国ごとに作成されている産業連関表は、国ごとに産業分類が異なるなどの問題がある。したがって、国際産業連関表を利用することのもう一つの恩恵として、同じ産業分類によって各国の資源消費構造の比較が可能となる点があげられる。つまり、同一産業分類による二ヶ国ごとの比較分析に有用である。

環境資源としては、石炭と石油、天然ガス、電力などのエネルギー^[647]、土地資源（耕地、牧地、林地）^[6]を取り上げる。ここで電力とは水力、原子力などの非化石燃料分を一次エネルギー換算したものである。計算実行においては、エネルギー資源はエネルギー産業に投入する。また、耕地は農業、牧地は畜産業に投入し、林地は林業に投入する。

分析手法は前述の2. 1と同様であり、国→各国各産業、 X_{ij} →国際産業連関表における中間投入行列、 $\hat{X}$ →需要合計を対角成分とする行列という置き換えによって計算を行なった。

また使用する国際産業連関表は、日米（46部門）^[6]、日中（89部門）^[6]の二国間表、環太平洋10か国を対象とした多国間表（24部門）^[6]である。

3. 2 二国間のエネルギー消費構造比較及び相互依存関係評価

(1) 日本と米国

米国の一次エネルギー消費は、世界の約1/4を占める。これに対し、日本は先進国の中でも生産当たりのエネルギー効率の高いことを自負している。この両国それぞれについて、産業別最終需要1000US\$あたりのエネルギー需要量を計算した結果を図3.2に示す。また、最終需要からみたエネルギー総需要量を計算し、各産業を一次産業、製造業、電力、サービス等にまとめた結果を表3.1に示す。なお、図3.2は自国からのエネルギー投入のみを考慮したものである。

日本と米国を比較してみると、多くの産業について米国の単位最終需要金額あたりエネルギー需要量は日本の1.5倍から2倍前後となっている。特に農業においては、3.8倍となっており、同じエネルギー投入によって日本の方がより多くの付加価値を生みだしている。また、各産業の中では、鉄鋼業のエネルギー消費が大きい。日本の鉄鋼業の効率は米国よりかなり良くなっている。

エネルギー総需要量からみた依存関係を見ると、日本はその4.3%を米国に依存し、逆に米国はその0.5%を日本に依存している（ただし、二国だけの需要合計についてであり、他の国々はいっていない）。産業別に見た結果、日本の対米依存では食料品、飼料、鉄鋼といった産業が、米国の対日依存では自動車産業が比較的大きな依存関係を示している。

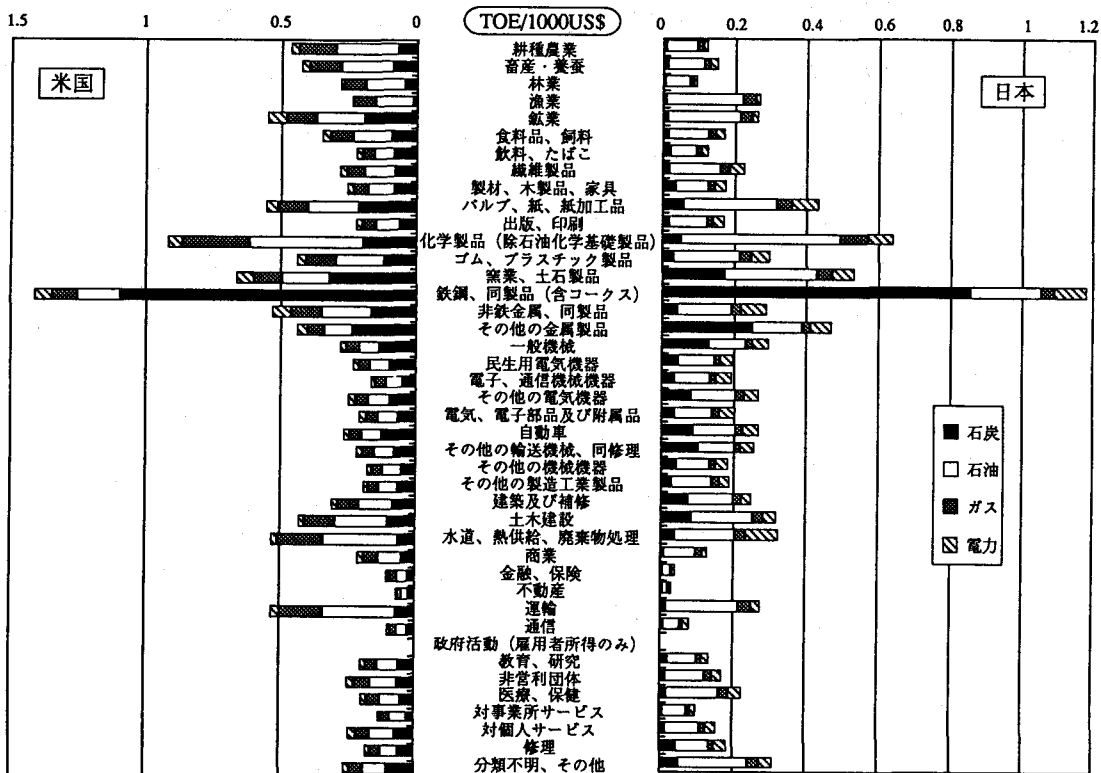


図3.2 産業別にみる最終需要1000US\$あたりのエネルギー需要量（日米／各自国からの投入分のみ）

表3.1 日本、米国の最終需要形成に必要なエネルギー（相互依存考慮）

日米表より	日本→日本				合計	米国→日本				合計	総計
	石炭	石油	天然ガス	電力		石炭	石油	天然ガス	電力		
一次産業	360	3,533	612	245	4,750	30	67	40	6	143	4,893
製造業	54,022	126,112	21,847	26,602	228,583	5,673	3,677	2,180	417	11,947	240,530
電力	6,521	18,697	3,239	19,590	48,047	205	357	212	3	777	48,824
サービス業	8,251	54,405	9,425	13,534	85,615	749	1,640	972	103	3,464	89,079
合計	69,154	202,747	35,123	59,971	366,995	6,657	5,741	3,404	529	16,331	383,326

日米表より	米国→米国				合計	日本→米国				合計	総計
	石炭	石油	天然ガス	電力		石炭	石油	天然ガス	電力		
一次産業	82,723	13,236	7,848	1,440	105,247	23	26	4	7	60	105,307
製造業	159,629	421,943	250,167	39,110	870,849	3,320	2,471	428	861	7,080	877,929
電力	140,660	99,886	59,222	72,553	372,321	30	18	3	6	57	372,378
サービス業	102,160	172,594	102,330	43,168	420,252	553	587	102	174	1,416	421,668
合計	485,172	707,659	419,567	156,271	1,768,669	3,926	3,102	537	1,048	8,613	1,777,282

（単位；1000TOE）

（2）日本と中国

人口、エネルギー消費量のいずれをとっても、地球環境保全において中国の占める役割は極めて大きい。日中産業連関表によって、両国の産業別最終需要1000US\$あたりのエネルギー需要量及び最終需要から見たエネルギー総需要量を計算した結果を図3.3及び表3.2に示す。なお、図3.3は自国からのエネルギー投入のみを考慮したものである。日本と中国を比較してみると、各産業を通して、単位生産あたりのエネルギー需要量は中国の方が5倍前後と大きい。

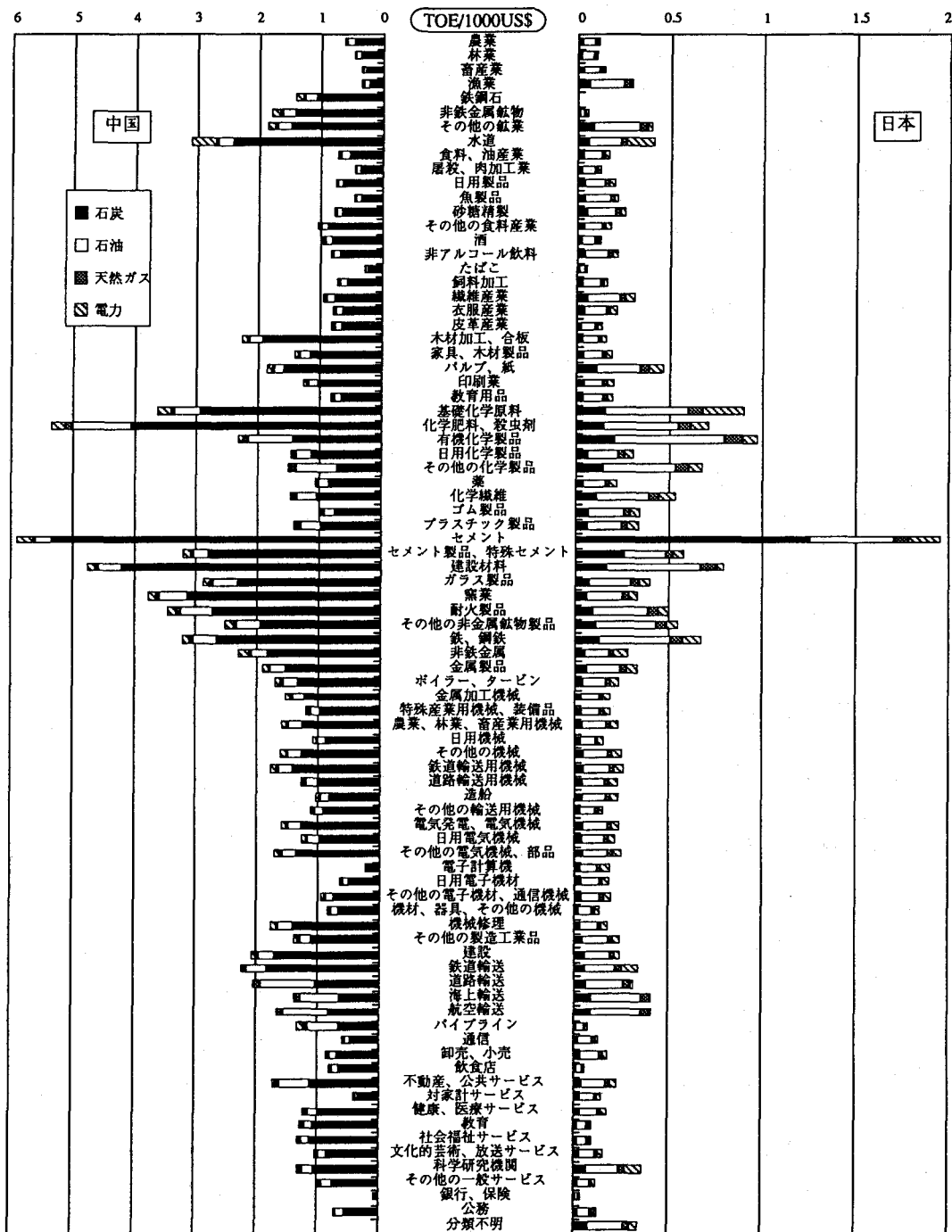


図 3.3 産業別にみる最終需要1000US\$あたりのエネルギー需要量（日中／各自国からの投入分のみ）

二国間の依存関係としては、中国の各産業の最終需要のために日本で直接投入されるエネルギー量（日本→中国）と、その逆の流れ（中国→日本）が問題となる。計算結果によれば、日本→中国は全体の0.6%である。逆に中国→日本は、全体の7%程度と大きい。全体的に、環境負荷のバランスでは、日本の方が中国により多く

表3.2 日本、中国の最終需要形成に必要なエネルギー（相互依存考慮）

日中表より	日本→日本					中国→日本					合計	総計
	石炭	石油	天然ガス	電力	合計	石炭	石油	天然ガス	電力	合計		
一次産業	579	3,194	553	247	4,573	117	154	18	4	293	4,866	
製造業	46,067	126,796	21,965	28,343	223,171	7,705	10,084	1,164	214	19,167	242,338	
電力	4,496	13,289	2,302	14,970	35,057	539	489	56	6	1,090	36,147	
サービス業	21,283	60,709	10,517	16,966	109,475	3,047	4,527	523	71	8,168	117,643	
合計	72,425	203,988	35,337	60,526	372,276	11,408	15,254	1,761	295	28,718	400,994	

日中表より	中国→中国					日本→中国					合計	総計
	石炭	石油	天然ガス	電力	合計	石炭	石油	天然ガス	電力	合計		
一次産業	106,414	16,837	1,944	2,051	127,246	26	71	12	17	126	127,372	
製造業	230,613	46,894	5,414	12,967	295,888	574	1,636	283	439	2,932	298,820	
電力	11,269	938	108	2,327	14,642	1	2	0	1	4	14,646	
サービス業	54,706	13,987	1,615	2,994	73,302	55	153	26	37	271	73,573	
合計	403,002	78,656	9,081	20,339	511,078	656	1,862	321	494	3,333	514,411	

(単位；1000TOE)

依存していると言える。両国間の以上のような関係の原因としては、貿易における取引金額は少なくとも、中国における生産効率が低いため、中国→日本のエネルギーの流れが大きくなったと考えられる。また、両国通貨の国際為替レートも計算結果を大きく左右する要因である。

以上の場合、二国間の相互依存関係は全体の数%と小さかったが、多数の国を加えた多国間での分析では全体として大きな相互依存関係が見られることになる。

なお、産業部門数の違いや、各部門の定義の違いなどによって計算誤差が生じている可能性があり、この点については今後の問題点である。また、セメント産業のエネルギー原単位が大きくなっているのは、1.で述べたようにエネルギーを原料用と燃料用とを区別して取り扱っていないことに起因している。

3. 3 多国間の依存関係：土地（耕地、牧地、林地）

(1) 分析方法

二国間表で行なったのと同様の手法によって、土地（耕地、牧地、林地）の多国間消費構造を分析した。

(2) 土地資源

図3.4は、対象地域内における日本の最終生産に要する耕地、牧地、林地の対外依存度である。これは、日

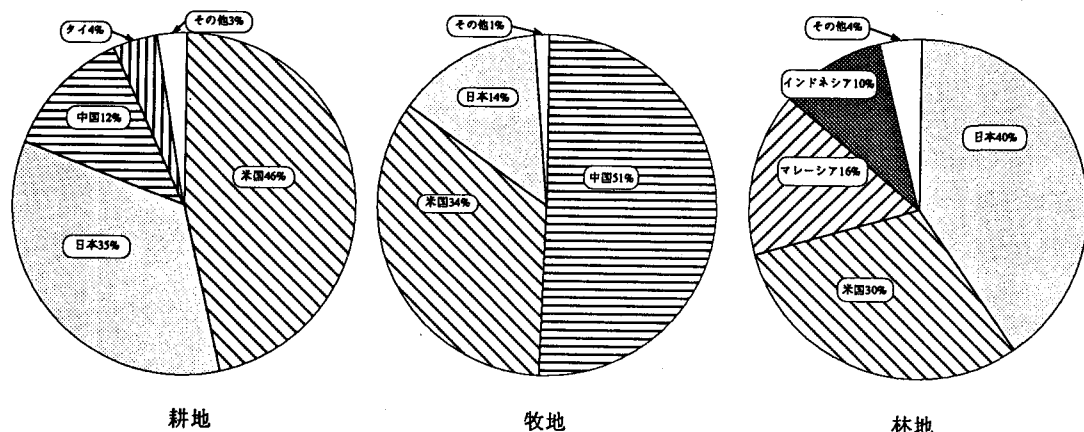


図3.4 日本の最終需要形成に必要な環境資源の対外依存度

本が財・サービスの取引を通して間接的に、かなりの割合で環太平洋諸国の環境資源（土地）を使用していることを示しており、日本と環太平洋諸国との密接な相互依存関係を表している。

4. まとめ

本論文においては、環太平洋地域における日本と他の諸国との関係を中心に、エネルギー等の資源消費とそれに伴う環境負荷の国際的相互依存関係を分析した。

世界人口の約6割を占めるアジア地域の発展途上国は、最近20年以上にわたって、世界のどの地域よりも高い経済発展を示してきた。特に、アジア新興工業国（アジアNICs）はアメリカ、日本を含む先進工業国向けへの輸出を通して急速な工業化を推進してきた。また、ASEAN諸国は日本、米国の貿易関係を軸に発展を続ける一方、地理的にも互いに深く結びついており、近年ますますその相互連帯を強めている。

これらアジア諸国における産業構造の高度化、貿易構造の高度化とともに、日本とこれら諸国との環境面での相互関係についても今後大きな変化が生じるものと予想される。経済成長、とりわけ工業化には、石炭、石油等の多量のエネルギーが必要であり、これがCO₂の大量排出による地球温暖化や酸性雨などの環境問題の発生を招いている。経済的に緊密になるにつれ、地球温暖化対策等の分野においても、日本自身を含めたアジア地域が連帯して取り組むことが必要になっている。この際に、本論文で議論したような、国際貿易を通じての環境負荷の共同責任を認識することは、互いの協調のためにも重要と思われる。

また、以上の議論は、産業の国外移転や技術開発援助の環境的意味、環境負荷の責任についての考え方などを検討する際の討議材料にもなろう。たとえば、日本国内のエネルギー多消費型産業を発展途上国に移すべしとの議論がある。しかし、同じエネルギー多消費型産業同士を国際的に比較すれば、日本の産業のエネルギー効率は極めて高い。これは、特定の産業の技術レベルのみならず、経済全体の効率のおかげであると言える。技術移転に関しても、単に一つの優れた技術を移転すれば済むものではない。産業連関を含めた経済システム全体の効率を考慮に入れる必要がある。

なお、本論以上のさらに詳しい分析を行なうには、産業分類の細分化等、国際産業連関表そのものの改善が求められる。また、時系列的な分析を可能とするようなデータ整備も望まれる。

本研究にあたり、国際産業連関表等のデータを提供頂いたアジア経済研究所の方々、特に藤崎成昭氏に深く謝意を表します。

参考文献

- [1] 日本エネルギー経済研究所：エネルギー・経済統計要覧、省エネルギーセンター、1993.
- [2] アジア国際産業連関表、アジア経済研究所、1985.
- [3] 日米国際産業連関表、通商産業調査会、1985.
- [4] 日中国際産業連関表、アジア経済研究所、1985.
- [5] 国際連合：貿易統計年鑑、Vol.36, 38、原書房、1987, 1989.
- [6] IEA：World Energy Statistics and Balances 1985-1988、OECD Publications、1990.
- [7] IEA：Energy Balances of OECD Countries 1980-1989、OECD Publications、1991.
- [8] 地理統計要覧、Vol.28、二宮書店、1988.