

日米アジアの産業連関構造と環境負荷の相互依存[§]渡邊 隆俊^{*}), 下田 充^{**}), 叶 作義[†]), 藤川 清史[‡])

1. はじめに

地球温暖化防止に関する「京都議定書」の第一約束期間が本年 2008 年に始まり、地球温暖化防止への日本国民の関心も高まってきている。しかしながら、京都議定書での日本の削減義務を、国内対策だけでは実現できないことはすでに明白であり、柔軟措置の利用(例えば、CDM などの日本と途上国との環境協力)が喫緊の重要課題になってきている。また、地球温暖化はまさに全地球的に解決すべき問題であり、先進工業国のみならず発展途上国での温室効果ガス(GHG)の排出抑制も、同時に重要な課題である。

先進国と途上国が環境協力するにも、途上国が GHG の排出抑制をするにも、各国国内の産業構造に加えて、各国同士の産業連関構造(I-O structure)を理解しておくのはきわめて重要である。あらゆる財の生産には、エネルギーを含む天然資源や原材料(中間投入財)の投入が必要である。それらの投入財の大部分が国内財であれば、その生産にかかわる環境負荷も国内で発生していたが、経済がグローバル化した今日では、輸入中間投入の動きが活発になり、財の生産過程が複数国にまたがるのが普通になったからである。つまり、ある国の財の生産は、複数国での財生産を誘発し、複数国で発生した環境負荷が内包されていることになる。これが、内包環境負荷(embodied environmental load)の概念である。経済のグローバル化との進展とともに、貿易と環境の関係が地球環境問題の重要論点となったのである。

*) 〒470-0195 愛知県日進市岩崎町阿良池12 愛知学院大学商学部,
E-mail: twata@dpc.agu.ac.jp

**) 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町2-2 日本アプライドリサーチ研究所,
E-mail: shimoda@ari.co.jp

†) 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町2-2 日本アプライドリサーチ研究所,
E-mail: yzuoyi@ari.co.jp

‡) 〒464-8601 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院国際開発研究科,
E-mail: fujikawa@gsid.nagoya-u.ac.jp

§ 本原稿の内容は、計算結果を含め変更される可能性があります。暫定原稿ですので、引用はご遠慮願います。

エネルギー消費に焦点を絞れば、環境負荷の大きな(エネルギー集約的な)工業製品を輸出して高度成長を達成する国もある一方で、環境負荷の大きな生産活動は国外移転して自国内での環境負荷を小さく見せかける国(言い換えれば、自国での CO2 排出を少なく見せかける国)もある。一般的に言えば、財の輸入国(消費国)はその生産過程の環境負荷を生産国に移転させているので、輸入国の環境負荷は過小評価され、輸出国(生産国)の環境負荷は過大評価されている。財の生産過程で直接的・間接的に発生した「内包環境負荷」を生産国と消費国のいずれに帰属させるかによって、環境保全の責任について異なる見解が生まれる。地球温暖化対策をめぐっては、先進国と発展途上国の間で厳しい対立があるが、貿易から生じる環境負荷の相互依存関係を考慮することは、この対立の解決への手がかりにつながる。

実は、水資源や土地資源の利用についても、エネルギー消費と類似の概念を導入することができる。たとえば、日本は食料自給率が低い、農作物を海外から輸入することは、日本国民が間接的に海外の土地を利用し、間接的に海外の水資源を消費していることになり、それだけ海外へ環境負荷を移転しているとみることできる。

環太平洋地域を対象にして、本研究と同じ問題意識をもった研究に、井村他(2005)、羅(2006)がある。本研究は、これらの研究の延長線上にあるが、最新のデータ(2000年データ)を分析対象に加えるとともに、環境負荷の要因として土地利用や水資源消費にも拡張している。

分析手法は、標準的な産業連関分析モデルである。産業連関分析とは、ある産業への最終需要を供給するために、究極的に必要な財の生産量を求める手法である。最終需要の生産量が与えられれば、その生産の各工程で直接・間接に投入されるエネルギー消費や天然資源使用量を積算することができる。

われわれの計測では、次のことがわかった。エネルギー消費と CO2 排出の総量で見ると、アメリカ、中国、日本が上位の3国であるが、15年間の伸びは中国が圧倒的に大きいことがわかった。日本とアメリカをみると、1980年代は財の生産地(輸出国)であり同時に消費地(輸入国)であった。言い換えれば、日米両国は他国に代わって CO2 排出負荷を担っているのと同時に、日米両国が他国に CO2 排出負荷を負わせている状況であった。だが 2000年では、日米は財の消費地(他国の資源使用国)としての性格が顕著になっていることがわかった。他方、中国は、財の輸入国から財の輸出国へと転じ、他国に代わって CO2 排出負荷を担うという性格が強くなっている。

また、農業用に限り、土地と水の直接間接使用量を試算してみた。興味深いことに日本は、既に 1985年の時点で、自国で使用する土地面積以上の土地を他

国で使用していた。もっとも絶対量でみる、その時点では、アメリカ・中国の土地使用量より小さい。ただ、それ以降、日本の中国での「土地使用」が増加し、2000年では、日本の中国での間接土地使用量は、日本のアメリカでの間接土地使用量とほぼ匹敵する大きさまで拡大した。

2. データとモデル

2-1 データ

用いたデータの一覧は巻末の統計資料の項に掲げる。ここではその内容について説明を加える。

(1)国際産業連関表

アジア国際産業連関表は、日本のアジア経済研究所が旗振り役になって、アジア太平洋諸国の統計当局と協力して作成されてもので、これまで、1985年、1990年、1995年、2000年の表が公表されている。その対象地域(内生国)は、インドネシア、マレーシア、フィリピン、シンガポール、タイ、中国、台湾、韓国、日本、アメリカの10か国/地域である。

図1にアジア国際産業連関表の表彰形式を示す。この表を行方向に読むと、生産された財が、どの国/地域にどれだけ販売されたかがわかる。中間需要部門は、左から上記と同じ、インドネシア、マレーシアの順に国別に並び、さらにその右に最終需要が並ぶ。右端の列がこれらの合計、つまり国内生産額合計である。通常の一国表では、用途としては中間財であれ最終財であれ、一旦当該財が国境を越えれば「輸出」として最終需要扱いになる。しかし、国際産業連関表では、内生国向けの中間財の輸出は内生部門の一部に扱われ、「内国国向け最終財としての輸出」と「外生国向け輸出」のみが、輸出として計上される。一方、表を列方向に見れば、財を生産するのにどの国/地域からどれだけ投入があったかがわかる。上から、上記と同じ、インドネシア、マレーシアの順に国別に並び、その下に付加価値が計上される。最下行がこれらの合計である生産額合計である。ただ、国際運賃と輸出保険は、どの国のサービスなのかが判別しづらいということで、別枠で計上されている。

アジア国際産業連関表は、24産業分類であるが、次の項でのべるエネルギー統計での産業分類とは一致していない。産業連関表とエネルギー統計との整合性を図るために、井村他(2005)の分類にならって、次の13部門に統合した。

図1 アジア経済研究所「アジア国際産業連関表」の表彰形式

	Intermediate Demand (A)										Final Demand (F)										Export (L)			Statistical Discrepancy	Total Outputs			
	Indonesia	Malaysia	Philippines	Singapore	Thailand	China	Taiwan	Korea	Japan	U.S.A.	Indonesia	Malaysia	Philippines	Singapore	Thailand	China	Taiwan	Korea	Japan	U.S.A.	Export to Hong Kong	Export to EU	Export to R.O.W.					
code	(AI)	(AM)	(AP)	(AS)	(AT)	(AC)	(AN)	(AK)	(AJ)	(AU)	(FI)	(FM)	(FP)	(FS)	(FT)	(FC)	(FN)	(FK)	(FJ)	(FU)	(LH)	(LO)	(LW)	(QX)	(XX)			
Indonesia	(AI)	A ^{II}	A ^{IM}	A ^{IP}	A ^{IS}	A ^{IT}	A ^{IC}	A ^{IN}	A ^{IK}	A ^{IJ}	A ^{IU}	F ^{II}	F ^{IM}	F ^{IP}	F ^{IS}	F ^{IT}	F ^{IC}	F ^{IN}	F ^{IK}	F ^{IJ}	F ^{IU}	L ^{IH}	L ^{IO}	L ^{IW}	Q ^I	X ^I		
Malaysia	(AM)	A ^{MI}	A ^{MM}	A ^{MP}	A ^{MS}	A ^{MT}	A ^{MC}	A ^{MN}	A ^{MK}	A ^{MJ}	A ^{MU}	F ^{MI}	F ^{MM}	F ^{MP}	F ^{MS}	F ^{MT}	F ^{MC}	F ^{MN}	F ^{MK}	F ^{MJ}	F ^{MU}	L ^{MH}	L ^{MO}	L ^{MW}	Q ^M	X ^M		
Philippines	(AP)	A ^{PI}	A ^{PM}	A ^{PP}	A ^{PS}	A ^{PT}	A ^{PC}	A ^{PN}	A ^{PK}	A ^{PJ}	A ^{PU}	F ^{PI}	F ^{PM}	F ^{PP}	F ^{PS}	F ^{PT}	F ^{PC}	F ^{PN}	F ^{PK}	F ^{PJ}	F ^{PU}	L ^{PH}	L ^{PO}	L ^{PW}	Q ^P	X ^P		
Singapore	(AS)	A ^{SI}	A SM	A ^{SP}	A ^{SS}	A ST	A ^{SC}	A ^{SN}	A ^{SK}	A ^{SJ}	A ^{SU}	F ^{SI}	F SM	F ^{SP}	F ^{SS}	F ST	F ^{SC}	F ^{SN}	F ^{SK}	F ^{SJ}	F ^{SU}	L ^{SH}	L ^{SO}	L ^{SW}	Q ^S	X ^S		
Thailand	(AT)	A ^{TI}	A TM	A ^{TP}	A ^{TS}	A ^{TT}	A ^{TC}	A ^{TN}	A ^{TK}	A ^{TJ}	A ^{TU}	F ^{TI}	F TM	F ^{TP}	F ^{TS}	F ^{TT}	F ^{TC}	F ^{TN}	F ^{TK}	F ^{TJ}	F ^{TU}	L TH	L ^{TO}	L ^{TW}	Q ^T	X ^T		
China	(AC)	A ^{CI}	A ^{CM}	A ^{CP}	A ^{CS}	A ^{CT}	A ^{CC}	A ^{CN}	A ^{CK}	A ^{CJ}	A ^{CU}	F ^{CI}	F ^{CM}	F ^{CP}	F ^{CS}	F ^{CT}	F ^{CC}	F ^{CN}	F ^{CK}	F ^{CJ}	F ^{CU}	L ^{CH}	L ^{CO}	L ^{CW}	Q ^C	X ^C		
Taiwan	(AN)	A ^{NI}	A ^{NM}	A ^{NP}	A ^{NS}	A ^{NT}	A ^{NC}	A ^{NN}	A ^{NK}	A ^{NJ}	A ^{NU}	F ^{NI}	F ^{NM}	F ^{NP}	F ^{NS}	F ^{NT}	F ^{NC}	F ^{NN}	F ^{NK}	F ^{NJ}	F ^{NU}	L ^{NH}	L ^{NO}	L ^{NW}	Q ^N	X ^N		
Korea	(AK)	A ^{KI}	A ^{KM}	A ^{KP}	A ^{KS}	A ^{KT}	A ^{KC}	A ^{KN}	A ^{KK}	A ^{KJ}	A ^{KU}	F ^{KI}	F ^{KM}	F ^{KP}	F ^{KS}	F ^{KT}	F ^{KC}	F ^{KN}	F ^{KK}	F ^{KJ}	F ^{KU}	L ^{KH}	L ^{KO}	L ^{KW}	Q ^K	X ^K		
Japan	(AJ)	A ^{JI}	A ^{JM}	A ^{JP}	A ^{JS}	A ^{JT}	A ^{JC}	A ^{JN}	A ^{JK}	A ^{JJ}	A ^{JU}	F ^{JI}	F ^{JM}	F ^{JP}	F ^{JS}	F ^{JT}	F ^{JC}	F ^{JN}	F ^{JK}	F ^{JJ}	F ^{JU}	L ^{JH}	L ^{JO}	L ^{JW}	Q ^J	X ^J		
U.S.A.	(AU)	A ^{UI}	A ^{UM}	A ^{UP}	A ^{US}	A ^{UT}	A ^{UC}	A ^{UN}	A ^{UK}	A ^{UJ}	A ^{UU}	F ^{UI}	F ^{UM}	F ^{UP}	F ^{US}	F ^{UT}	F ^{UC}	F ^{UN}	F ^{UK}	F ^{UJ}	F ^{UU}	L ^{UH}	L ^{UO}	L ^{UW}	Q ^U	X ^U		
Freight and Insurance	(BF)	BA ^I	BA ^M	BA ^P	BA ^S	BA ^T	BA ^C	BA ^N	BA ^K	BA ^J	BA ^U																	
Import from Hong Kor	(CH)	A ^{HI}	A ^{HM}	A ^{HP}	A ^{HS}	A ^{HT}	A ^{HC}	A ^{HN}	A ^{HK}	A ^{HJ}	A ^{HU}																	
Import from EU	(CO)	A ^{OI}	A ^{OM}	A ^{OP}	A ^{OS}	A ^{OT}	A ^{OC}	A ^{ON}	A ^{OK}	A ^{OJ}	A ^{OU}																	
Import from the R.O.W.	(CW)	A ^{WI}	A ^{WM}	A ^{WP}	A ^{WS}	A ^{WT}	A ^{WC}	A ^{WN}	A ^{WK}	A ^{WJ}	A ^{WU}																	
Duties and Import Commodity Taxes	(DT)	DA ^I	DA ^M	DA ^P	DA ^S	DA ^T	DA ^C	DA ^N	DA ^K	DA ^J	DA ^U																	
Value Added	(VV)	V ^I	V ^M	V ^P	V ^S	V ^T	V ^C	V ^N	V ^K	V ^J	V ^U																	
Total Inputs	(XX)	X ^I	X ^M	X ^P	X ^S	X ^T	X ^C	X ^N	X ^K	X ^J	X ^U																	

Source: [http://www.ide.go.jp/Japanese/Publish/Books/Tokei/xls/AIO\(85-00\).xls](http://www.ide.go.jp/Japanese/Publish/Books/Tokei/xls/AIO(85-00).xls)

Table 1 Industry aggregation in this study

	Original industry classification in IDE Asian I-O table		Industry classification in this study
001	Paddy	01	Primary industry
002	Other agricultural products*		
003	Livestock		
004	Forestry		
005	Fishery		
006	Crude petroleum and natural gas	02	Mining
007	Other mining		
008	Food, beverage and tobacco	03	Food, beverage and tobacco
009	Textile, leather and the products thereof	04	Textile and leather products
010	Timber and wooden products	05	Timber and wooden products
011	Pulp, paper and printing	06	Pulp & Paper products
012	Chemical products	07	Chemical & Non-metallic mineral products
013	Petroleum and petro products		
014	Rubber products		
015	Non-metallic mineral products		
016	Metal products	08	Metal products
017	Machinery	09	Machinery
018	Transport equipment		
019	Other manufacturing products		
020	Electricity, gas, and water supply	10	Electricity, gas, and water supply
021	Construction	11	Construction
022	Trade and transport	12	Transportation
023	Services	13	Other Services
024	Public administration		

(2)環境負荷要素

本稿では、環境負荷要素として、次の3種類を考える。(i)エネルギー消費およびCO₂排出量、(ii)農業用の土利利用、(iii)農業用の水資源消費。

まず、エネルギー消費量については、IEA(世界エネルギー機関)が公表するエネルギーバランス表(World energy statistics and Balances)での統計を用いた。この統計では、インドネシア、マレーシア、フィリピン、シンガポール、タイ、中国、台湾、韓国、日本、アメリカの10か国/地域のエネルギーバランスデータが熱量(TOE)ベースで得られる。

対象としたエネルギーは、石炭、石油、天然ガスであるが、簡単化のために、Crude oil と Petroleum Products は統合して「石油」として扱った。エネルギーバランス表での産業との割り振りは次の表に示すよう対応させた。

Table 2 Energy using industry aggregation in this study

IEA Classification	IEA 分類	Classification in this study
Energy Transfer Sector	エネルギー転換部門	Energy Transfer Sector
Transfer	品種振替	neglected
Statistical Discrepancy	統計誤差	neglected
Electricity Plants	発電	10 Electricity, gas, and water supply
HCP Plants	コージェネ	
Heat plants	熱発生	
Gas works	ガス製造	
Petroleum refineries	石油精製	07 Chemical & Non-metallic mineral products
Coal transformation	石炭製品	
Liquefaction Plants	液化製品	
Other transformation	他転換	
Own use	自家消費	
Distribution Losses	配送損失	
Energy consumption Sector	エネルギー消費部門	Energy consumption Sector
Iron and Steel	鉄鋼業	08 Metal products
Non-ferrous metal	非鉄金属	
Chemical and Petrochemical	化学・石油化学	07 Chemical & Non-metallic mineral product
Non-metallic minerals	非金属鉱物	09 Machinery
Transport equipment	輸送機械	
Machinery	機械	
Mining and quarrying	鉱業	02 Mining
Food and tobacco	食品・たばこ	03 Food, beverage and tobacco
Paper Pulp and Printing	紙パ・印刷	06 Pulp & Paper products
Wood and Wood products	木製品	05 Timber and wooden products
Non-specified	その他製造業	09 Machinery
Construction	建設	11 Construction
Textile and leather	繊維・皮革	04 Textile and leather products
Transport sector	運輸	12 Transportation
Agriculture	農業	01 Primary industry
Comm. and Publ. services	通信・公共サービス	13 Other Services
Residential	家計	neglected

Table 3 CO2content of each energy

	CO2 換算(トン/Toe)	炭素換算(トン/Toe)
石炭	4.018	1.096
石油	3.313	0.903
天然ガス	2.317	0.632

資料：日本エネルギー経済研究所編『エネルギー・経済統計要覧』

CO₂ の排出の排出については、化石燃料の消費熱量と二酸化炭素の排出量には安定的な関係がある。その係数を表 3 に示した。化石燃料のうち、消費熱量あたりの CO₂ 発生量が最も多いのは石炭であり、反対に CO₂ 発生量が最も少ないのは天然ガスである。

土利用と水資源利用については、世界食糧農業機構(FAO)のデータベース FAOSTAT を利用した。ただ、FAOSTAT のデータベースは、その性質上、農業・畜産業の土地利用と水資源利用のデータに限られている。したがって、本研究は農業・畜産業の土利用と水資源利用のみを扱っており、得られた結果も農業・畜産業にかかわる土資源と水資源の「輸出入」であること注意されたい。

2-2 モデル

地球温暖化の主要要因は、化石エネルギーという資源の消費に伴う CO₂ 排出である。ただし、CO₂ 排出の勘定基準は、そんなに簡単ではなく、理論的には大きく分けて次の 3 種類が考えられる：(0)資源の生産基準、(1)資源の消費基準、(2)最終財の消費基準。もっとも、(0)資源の生産基準は、産炭国と産油国にのみ地球温暖化の責任を負わせることになり、現実的な基準ではない。「京都議定書」が採用しているのは、(1)資源の消費基準である。しかし、本稿の「はじめに」でも述べたように、エネルギーが財の生産のために使われる場合には、そのエネルギー消費の実際の消費者は、最終財の消費者であるともいえる。これが(2)最終財の消費基準である。

こうした考え方は、土地使用や水資源使用にも応用することができる。農産物の生産国は、自国の農地を使う(耕す)のであるが、生産した農産物を輸出しておれば、その製品の輸入国は原産国の土地を間接的に使用している(耕している)ともいえる。ここでは、(2)資源消費基準、(3)最終財の消費基準での計算方法をまとめる。

一国のみを対象にした産業連関モデルでは、国内財向け最終需要(f^d)と国内供給量(x)には次の関係がある。

$$x = A^d x + f^d \quad (1)$$

行列(A^d)は国内財投入係数行列であり、生産物 1 単位の生産に必要な国内財中間投入の量をあらわす。国内財向け最終需要とは、国内の生産のうち最終財(消費、投資、輸出)として需要された量(言い換えれば中間需要された以外の国内生産財)をあらわし、いわゆる「内需」というタームとは意味が異なるので注意されたい。輸入量(m)は、中間財の輸入と最終財の輸入の和として、次のように表される。

$$\mathbf{m} = \mathbf{A}^m \mathbf{x} + \mathbf{f}^m \quad (1)$$

行列(\mathbf{A}^m)は輸入財投入係数行列であり、生産物1単位の生産に必要な輸入財中間投入の量をあらわす。輸入は中間財の輸入と最終財の輸入(\mathbf{f}^m)の合計となる。

(1)式の国内財の需給一致式を国内生産量 \mathbf{x} について解けば、次の均衡生産量決定式が得られる。

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^d)^{-1} \mathbf{f}^d = \mathbf{B} \mathbf{f}^d \quad (2)$$

ここで、投入係数(エネルギー、水、土地)の投入係数ベクトルを \mathbf{a} とすると²、次の式で、資源消費基準での産業別資源投入量が得られる。財の生産時に直接発生する環境負荷を計算するために、生産量に投入係数をかける方式である。

$$\mathbf{l}_d = \mathbf{a} \hat{\mathbf{x}} = \mathbf{a} \begin{bmatrix} x_1 & & \\ & \ddots & \\ & & x_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

次の式は、生産物消費基準の資源投入量である。最終需要を生産するために直接間接に必要な生産物(投入物)を計算し、それらに投入係数をかけることによって、生産物の消費が直接間接に与える「内包環境負荷」を積算する方式である。

$$\mathbf{l}_{did} = \mathbf{a} \mathbf{B} \begin{bmatrix} f_1^d & & \\ & \ddots & \\ & & f_n^d \end{bmatrix} \quad (4)$$

エネルギーを消費するとその副産物としてCO₂が発生する。(3)式および(4)式で計算された産業別のエネルギー消費量に表3に掲げた「CO₂排出係数」を乗じることにより、産業別の直接排出量、および直接間接の排出量が得られる。

さて、これまでのモデルは、一国を対象にしていたが、国際産業連関表を用いて、複数の国を同時に対象にすることができる。ここでは簡単化のために、二国から構成される国際産業連関表を例として用いる。次の式で添え字1は第1国、添え字2は第2国を表す。両国の需給一致式は次のようにあらわされる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} \\ \mathbf{A}_{21} & \mathbf{A}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{f}_{11} + \mathbf{f}_{12} + \mathbf{f}_{13} \\ \mathbf{f}_{21} + \mathbf{f}_{22} + \mathbf{f}_{23} \end{bmatrix} \quad (1'')$$

² 化石燃料は3種類あるので、エネルギーの場合は3行のベクトルになり、左辺も3行n列になる。最終的にその3行を集計することになる。

ここで、 \mathbf{A}_{ij} は中間財部分の投入係数行列であり、 $i=j$ のときは同一地域内の中間財取引、 $i \neq j$ ならば i 地域から j 地域への移入中間財の投入係数行列である。最終需要 \mathbf{f}_{ij} についても、同様の意味合いである。ただし、 \mathbf{f}_{i3} は第 1 国と第 2 国以外の地域 (第三国) への輸出を表す。この式を生産量について解けば次の式が得られる。図 1 との対応でいえば、太線で囲んだ部分が生産量 \mathbf{x} にあたり、二重線で囲んだ部分が最終需要 \mathbf{f} にあたる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{x}_2 \end{bmatrix} = \left[\mathbf{I} - \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} \\ \mathbf{A}_{21} & \mathbf{A}_{22} \end{bmatrix} \right]^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{f}_{11} + \mathbf{f}_{12} + \mathbf{f}_{13} \\ \mathbf{f}_{21} + \mathbf{f}_{22} + \mathbf{f}_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_{11} & \mathbf{B}_{12} \\ \mathbf{B}_{21} & \mathbf{B}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{f}_1 \\ \mathbf{f}_2 \end{bmatrix} \quad (2')$$

国際産業連関表バージョンでは、資源消費基準と生産物費基準での国別・産業別資源投入量が次のように書き換えられる。

$$\mathbf{l}_d = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_1 & \mathbf{a}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_1 & | & \mathbf{0} \\ \hline \mathbf{0} & | & \hat{\mathbf{x}}_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{l}_{did} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_1 & \mathbf{a}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{B}_{11} & \mathbf{B}_{12} \\ \mathbf{B}_{21} & \mathbf{B}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{f}_{11} & \mathbf{f}_{12} & \mathbf{f}_{13} \\ \mathbf{f}_{21} & \mathbf{f}_{22} & \mathbf{f}_{23} \end{bmatrix} \quad (4')$$

3. 推計結果

この節では、上記の(4')式にしたがい、日米アジア諸国間の貿易関係の結果として「内包された環境負荷」がどのように分布しているかを、1985 年と 2000 年時点で推計した結果を報告する。

3-1 内包エネルギー貿易

表 4 は、1985 年のエネルギー消費の収支バランスを示したものである。表頭は最終需要の発生地域、表側は、表頭地域の最終需要によりエネルギー消費を誘発された地域をあらわす。例えば、マレーシアの列とインドネシアの行の交点である 0.1 は、マレーシアの最終需要によりインドネシアで 10 万 Toe のエネルギーが消費されたことを示している。これは言い換えれば、マレーシアはインドネシアから 10 万 Toe のエネルギーを間接的に輸入し、インドネシアはマレーシアに 10 万 Toe のエネルギーを間接的に輸出したと捉えることが出来る。また、表の最右列は、表側の地域が消費したエネルギーの総消費量をあらわしている。対角成分と対角成分を除く流出入の値について上位 10 番目まで、及びエネルギー総消費については上位 3 番目までに網を掛けている。表 5 は、同じも

のを 2000 年について示したものである。

まず、1985 年(表 4)の各地域のエネルギー消費の合計量を見ると、米国(14 億 6610 万 Toe)、中国(4 億 1120 万 Toe)、日本(2 億 9120 万 Toe)がエネルギー消費のトップ 3 を占めており、4 位の韓国(3460 万 Toe)以下を大きく引き離している。2000 年(表 5)についても、この順位に変化はないが、上位 3 国の中で中国の伸びが著しい。(15 年間で米国は約 1.3 倍、日本は約 1.1 倍であるのに対して中国のそれは約 2.1 倍である。)

日本と米国の動向に注目すると、両国は共通した特性を持つことがみてとれる。すなわち、両国は、1985 年時点では、他国のエネルギー消費を大きく誘発する地域である一方、他国によりエネルギーの消費を大きく誘発された地域でもあった。(網掛けのセルが日米の列および行に集中していることがこれを物語っている。)一方、2000 年になると、日米両国は、他国のエネルギー消費を誘発する側にまわるようになる。

中国については、2000 年時点で、他国による誘発されるエネルギー消費が非常に大きくなっている点が特徴的である。1985 年と 2000 年における中国のエネルギー消費は、それぞれ約 4 億 1120 万 Toe と 8 億 4970 万 Toe であった。このうち、海外からの需要により誘発された消費の割合は、1985 年では約 10.6% であったのに対して、2000 年では 23.4% に達している。2000 年の米国と日本の海外からの需要によるエネルギー消費(約 10.3% と約 12.2%) と比べても、中国の大きさは際立っている。

表 4 1985 年の内包エネルギー貿易 (単位: 100 万 Toe)

	In	Ma	Ph	Si	Th	Ch	Ta	Ko	JPN	USA	ROW	Total
Indonesia	21.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1	1.2	0.8	1.3	25.0
Malaysia	0.0	6.3	0.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.4	1.3	2.7	11.5
Philippines	0.0	0.1	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	8.9
Singapore	0.2	0.3	0.0	2.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.5	3.8	7.6
Thailand	0.0	0.1	0.0	0.0	11.2	0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	2.6	14.7
China	0.4	0.5	0.4	1.1	0.5	367.6	0.1	0.1	7.1	6.2	27.3	411.2
Taiwan	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	12.1	0.1	0.9	4.9	4.0	22.8
Korea	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	22.3	1.3	3.6	7.0	34.6
Japan	0.8	0.5	0.1	0.5	0.6	4.0	0.8	1.4	241.4	16.1	25.0	291.2
USA	0.8	0.7	0.3	0.7	0.4	2.3	1.29	2.1	9.4	1,343.9	104.1	1,466.1
Total	23.4	8.7	7.7	5.3	13.0	374.6	14.4	26.2	262.7	1,378.5	178.9	2,293.5

表 5 2000 年の内包エネルギー貿易 (単位: 100 万 Toe)

	In	Ma	Ph	Si	Th	Ch	Ta	Ko	Japan	USA	ROW	Total
Indonesia	61.5	0.8	0.4	0.7	0.7	1.7	0.9	1.4	5.3	6.5	17.8	97.7
Malaysia	0.4	17.4	0.4	1.6	0.6	1.6	0.8	0.7	3.9	7.7	16.7	51.8
Philippines	0.0	0.1	14.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	1.0	2.3	3.7	21.9
Singapore	0.2	0.5	0.3	6.1	0.3	0.8	0.4	0.3	0.7	1.6	10.7	21.8
Thailand	0.2	0.4	0.2	0.4	33.5	0.8	0.4	0.3	2.5	4.0	13.5	56.1
China	1.2	1.3	0.5	1.4	1.6	650.9	2.6	5.2	27.6	52.4	105.1	849.7
Taiwan	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	4.0	40.5	0.4	2.3	5.7	16.0	70.3
Korea	0.6	0.4	0.4	0.3	0.4	5.6	1.1	103.0	5.3	8.3	30.0	155.3
Japan	0.4	0.6	0.2	0.6	0.7	2.4	1.5	1.4	274.7	10.0	20.6	313.1
USA	0.6	0.9	0.5	0.9	0.9	4.1	3.2	3.8	13.4	1,658.6	161.7	1,848.6
Total	65.3	22.6	17.1	12.2	39.2	672.2	51.6	116.6	336.8	1,757.0	395.8	3,486.4

3-2 内包CO2 貿易

表 6 と表 7 は、1985 年と 2000 年に関する CO2 の収支バランスを示したものである。CO2 排出量は、エネルギー消費（石油、石炭、天然ガスの消費）に排出係数を乗じて算出したものであるから、ここでの結果は、エネルギー収支バランスの結果に近いものとなっている。すなわち、CO2 排出量の合計は、米国、中国、日本の順に大きい。1985 年から 2000 年にかけて、中国の伸びが特に著しい。また、1985 年時点では、日米両国は他国に CO2 の排出負荷を負わせると同時に、他国に替わって CO2 の排出負荷を担っていたが、2000 年時点では、他国に CO2 排出負荷を負わせる財の輸入国としての性格が顕著となっている。中国については、2000 年時点の CO2 排出量の約 23.4% が海外からの需要によるものであり、日本の 12.5%、米国の 10.1% と比べると、他国に肩代わりする CO2 排出負荷が著しく大きくなっている。

表 6 1985 年の内包 CO2 貿易 (単位: 100 万トン)

	In	Ma	Ph	Si	Th	Ch	Ta	Ko	JPN	USA	ROW	Total
Indonesia	64.9	0.2	0.2	0.6	0.1	0.4	0.1	0.2	3.5	2.4	3.9	76.4
Malaysia	0.1	20.0	0.3	1.0	0.2	0.2	0.1	0.3	1.4	4.1	8.2	35.9
Philippines	0.0	0.3	22.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.0	2.4	3.5	30.6
Singapore	0.6	1.0	0.0	7.3	0.5	0.1	0.1	0.1	1.3	1.8	12.5	25.3
Thailand	0.0	0.2	0.0	0.1	35.7	0.2	0.1	0.1	0.8	1.3	8.6	47.2
China	1.7	2.0	1.5	4.1	1.8	1,403.0	0.2	0.3	27.0	23.6	104.0	1,569.2
Taiwan	0.4	0.3	0.1	0.4	0.3	1.2	42.3	0.4	3.1	17.2	14.0	79.6
Korea	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2	78.2	4.5	13.0	24.8	122.1
Japan	2.7	1.6	0.3	1.7	2.0	14.1	2.7	4.9	810.9	55.6	85.9	982.5
USA	2.5	2.2	0.9	2.3	1.2	7.5	4.2	6.7	30.6	4,427.6	332.3	4,818.0
Total	73.3	28.2	26.4	17.9	42.1	1,426.9	50.0	91.3	884.0	4,548.9	597.7	7,786.8

表 7 2000 年の内包 CO2 貿易 (単位: 100 万トン)

	In	Ma	Ph	Si	Th	Ch	Ta	Ko	JPN	USA	ROW	Total
Indonesia	184.1	2.3	1.2	2.1	2.0	5.0	2.8	3.9	15.9	19.4	52.9	291.6
Malaysia	1.1	46.8	1.1	4.6	1.8	4.5	2.3	2.1	11.4	22.5	48.0	146.2
Philippines	0.1	0.3	49.1	0.2	0.3	0.8	0.5	0.5	3.4	8.0	12.9	76.0
Singapore	0.5	1.8	1.1	19.7	1.0	2.5	1.2	0.9	2.4	5.1	35.0	71.2
Thailand	0.7	1.2	0.5	1.2	103.7	2.5	1.2	0.9	7.8	12.6	42.0	174.3
China	4.6	4.8	1.9	5.3	6.2	2,466.4	9.9	19.5	104.3	198.5	399.4	3,220.8
Taiwan	0.8	1.1	0.6	0.6	1.3	14.2	143.0	1.5	8.3	20.1	56.2	247.7
Korea	1.9	1.2	1.3	1.0	1.3	19.5	4.0	356.2	18.3	28.7	103.3	536.8
Japan	1.3	2.1	0.8	1.9	2.4	8.4	5.1	4.9	919.1	34.1	70.4	1,050.6
USA	1.9	2.8	1.6	2.9	3.0	13.1	10.4	12.0	43.0	5,448.3	518.5	6,057.5
Total	197.1	64.5	59.2	39.5	122.9	2,537.0	180.3	402.6	1,133.8	5,797.2	1,338.7	11,872.8

3-3 内包土地貿易

表 8 と表 9 は、1985 年と 2000 年における土地の収支バランスを示したものである。2-1 で述べたように、データの制約により、ここで扱う土地は、農業・畜産業の土地に限定されている。

まず土地の利用面積の合計（最右列）を見ると、中国(1985 年で 4 億 9589 万 ha)、米国(4 億 3139 万 ha)が圧倒的に大きい。両国の土地を間接的に使用している地域を挙げると、米国の土地は主として日本、韓国、タイ、中国により使用され、中国の土地は主として日本、米国、(2000 年に限れば)韓国により使用されている。日本については、直接間接に使用した土地は 1985 年時点で 3268 万 ha であり、そのうち自国内の使用面積は 569 万 ha である。このことから、

1985年において日本は土地利用の約82.6%を海外に依存していたことが分かる。この傾向は、2000年においてもほぼ同様である。ただし、日本による土地利用面積の内訳をみると、中国での利用が2000年時点では大きく拡大し、米国に並ぶまでに至っている。

表8 1985年の内包土地貿易 (単位: 1000 ha)

	In	Ma	Ph	Si	Th	Ch	Ta	Ko	JPN	USA	ROW	Total
Indonesia	35,876	44	20	43	15	134	35	71	631	995	1,814	39,679
Malaysia	24	3,758	18	112	23	75	46	209	859	322	518	5,963
Philippines	2	7	9,610	9	4	24	13	22	440	415	363	10,910
Singapore	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	1	5
Thailand	36	558	11	133	14,675	221	98	213	856	937	2,840	20,577
China	765	487	165	484	238	456,375	22	36	9,077	3,522	24,726	495,897
Taiwan	8	33	9	36	5	77,127	41	900	368	343	8,877	
Korea	0	1	2	1	0	0	1	2,030	76	34	73	2,220
Japan	2	2	3	2	2	9	5	6	5,694	78	76	5,879
USA	434	182	134	152	191	1,815	1,929	2,270	14,154	365,846	44,289	431,399
Total	37,147	5,072	9,973	974	15,154	458,661	9,277	4,899	32,687	372,519	75,042	1,021,405

表9 2000年の内包土地貿易 (単位: 1000 ha)

	In	Ma	Ph	Si	Th	Ch	Ta	Ko	JPN	USA	ROW	Total
Indonesia	37,209	198	55	107	105	389	167	212	1,348	1,684	3,302	44,777
Malaysia	62	3,426	48	342	66	285	132	124	756	571	2,078	7,890
Philippines	10	11	10,695	7	8	58	15	71	510	335	431	12,150
Singapore	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Thailand	160	215	51	89	12,390	202	197	137	1,312	1,345	3,947	20,045
China	692	643	245	369	459	495,997	437	2,900	13,525	9,054	24,337	548,658
Taiwan	5	12	5	9	14	49	7,712	20	291	127	272	8,515
Korea	1	1	1	1	1	9	3	1,812	64	17	63	1,973
Japan	1	2	1	2	2	7	6	8	5,137	29	64	5,258
USA	621	236	397	170	532	2,278	2,964	2,243	15,811	345,063	44,084	414,398
Total	38,761	4,743	11,498	1,095	13,576	499,275	11,632	7,527	38,753	358,226	78,578	1,063,665

3-4 内包水貿易

表10は、水の収支バランスである。データの制約により、2000年の農業、畜産業の水資源利用のみを扱っている。

水の総使用量に注目すると、中国(4268億トン)、米国(1977億トン)、タイ(827

億トン)がトップ3であるが、中国の利用が圧倒的に大きい。地域間の移動に注目すると、中国から日本への移動(105億トン)が最大となっている。日本については、直接間接に消費する水(819億トン)のうち、自国で賄うのは66%にすぎず、これはシンガポール(約0%)、マレーシア(約56%)に次ぐ低さである。日本による主たる水の輸入元は中国、米国、タイ、インドネシアであるが、先述したように中国からの輸入が最も大きい。

表10 2000年の内包水貿易 (単位:億トン)

	In	Ma	Ph	Si	Th	Ch	Ta	Ko	JPN	USA	ROW	Total
Indonesia	628	3	1	2	2	7	3	4	23	28	56	756
Malaysia	0	24	0	2	0	2	1	1	5	4	15	56
Philippines	0	0	186	0	0	1	0	1	9	6	7	211
Singapore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Thailand	7	9	2	4	511	8	8	6	54	56	163	827
China	5	5	2	3	4	3,859	3	23	105	70	189	4,268
Taiwan	0	0	0	0	0	1	118	0	4	2	4	130
Korea	0	0	0	0	0	0	0	82	3	1	3	89
Japan	0	0	0	0	0	1	1	1	540	3	7	552
USA	3	1	2	1	3	11	14	11	75	1,647	210	1,977
Total	644	43	193	12	520	3,890	148	128	819	1,817	654	8,868

4. まとめと今後の課題

以上のように、本研究では、アジア国際産業連関表を用いて、アジア太平洋地域における「内包環境負荷」について推計をおこなった。本研究で明らかにされた点は、以下のようにまとめることができる。

まず、1985年と2000年の両時点において、アジア太平洋地域でのエネルギー消費の合計量およびCO₂排出量の合計を見ると、そのトップ3は、米国、中国および日本であった。特に、この15年間で、これらの環境負荷の上昇が最も著しいのは、中国であった。これら上位3国に注目すると、1985年において、日米両国は、財の生産国(財の輸出国)であると同時に消費国(輸入国)でもあった。いかえれば、日米両国は、他のアジア太平洋地域の国々にCO₂排出負荷を負わせていたと同時に、他国に替ってCO₂排出負荷を担っていた。ところが、2000年になると、日米両国は、財の輸入国としての性格が強くなり、他国にエネルギー消費を負わせる傾向となってきた。一方、中国は、日米両国とは対照的に異なり、この15年間で財の輸入国から輸出国へと変容したことで、他国のCO₂排出負荷を肩代わりする性格が強くなってきたのである。

さらに、本研究では、農業用に限定し、土地と水資源の直接間接使用量を推計した。日本についてみていくと、日本は土地利用面積のうち、海外の土地を利用する比率が著しく高く、とくに直近では、中国の土地を利用する比率が高まってきていることが明らかとなった。日本の水資源の利用についても、土地についての傾向とほぼ同様であった。日本は、他国からの水資源を利用し、間接的に中国からの輸入が最も多い結果となった。

以上が、本研究で主に明らかとなった点であるが、これらの結果を一言で表せば、「アジア太平洋地域においては、1985年から2000年の15年間で、日米先進国が他の発展途上国にCO₂排出負担(エネルギー消費)を肩代わりさせる傾向が一層明確になった」と表現できる。2008年7月に日本(北海道洞爺湖)で開催されるサミットの主要テーマでもある「環境・気候変動」は、まさに国境を越えて喫緊に解決すべき重要課題である。とりわけ、先進国と発展途上国の地球温暖化防止策に対する摩擦をどのように解消するのかという点でも、先進国の対応に関心が高まっている。

これまで、CO₂をはじめとする温室効果ガスの削減を巡っては、「過去において、先進国が多く排出したから先進国の責任」という、言わば後ろ向きの「差異のある責任」分担の議論が展開されてきた。繰り返しになるが、本研究で明らかになったように、「先進国の排出の一部分を発展途上国が支えている」という観点から「差異のある責任」分担へと見方を変え、先進国と発展途上国との摩擦が軽減される建設的な議論が展開されるべきであろう。

統計資料

【国際産業連関表】

アジア経済研究所編(1993)『アジア国際産業連関表1985年』統計資料シリーズ、No. 65

アジア経済研究所編(1998)『アジア国際産業連関表1990年』統計資料シリーズ、No. 81

アジア経済研究所編(2001)『アジア国際産業連関表1995年』統計資料シリーズ、No. 82

アジア経済研究所編(2006)『アジア国際産業連関表2000年』統計資料シリーズ、No. 90.

IDE/JETRO(1993), *Asian International Input-Output Table, 1985*, Statistical Data Series, No. 65.

IDE/JETRO(1998), *Asian International Input-Output Table, 1990*, Statistical Data

Series, No. 81.

IDE/JETRO(2001), *Asian International Input-Output Table 1995*, Statistical Data Series, No. 82.

IDE/JETRO(2006), *Asian International Input-Output Table 2000*, Statistical Data Series, No. 90.

【エネルギー消費量】

1985年 : IEA, *World energy statistics and Balances, 1985-1988*

2000年 : IEA, *Energy balances of OECD countries, 1999-2000*

: IEA, *Energy balances of Non-OECD countries, 1999-2000*

【CO2 排出係数】

日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編『2007年版 エネルギー・経済統計要覧』省エネルギーセンター

【土地と水資源の消費量】

世界食料農業機構(Food and Agriculture Organization of the United Nations: FAO)

FAOSTAT : <http://faostat.fao.org/>

土地面積 : <http://faostat.fao.org/site/377/default.aspx> “Agricultural Area”

水消費 : <http://faostat.fao.org/site/544/default.aspx> “Agricultural water withdrawal”

参考文献

井村秀文・中村英佑・森杉雅史(2005)「日・米・アジアの産業・貿易構造変化と環境負荷の相互依存に関する研究」『土木学会論文集』, No.790, pp.11-23.

http://www.jstage.jst.go.jp/article/jscej/2005/790/790_11/_pdf/-char/ja/

沖大幹(2003)「地球をめぐる水と水をめぐる人々」, 嘉田由紀子編著『水をめぐる人と自然—日本と世界の現場から—』第6章所収, pp.199-230, 有斐閣選書.

蔡明華・長堀金蔵・天谷孝夫(農地整備学研究室)(1989)「台湾における農業用水利用の実態分析と今後の展開」『岡山大農学報』, 73号, pp45-57.

<http://rms1.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/JASI/pdf/academy/42-0014.pdf>

福田篤史・森杉雅史・井村秀文(2001)「日本のエコロジカル・フットプリント—土地資源に着目した環境指標に関する研究—」『環境システム研究論文集』(土木学会), 第29回, pp. 197-206.

<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00013/2001/29-0197.pdf>

羅星仁(2006)「東アジア地域の経済成長と二酸化炭素の帰属排出量」, 羅星仁『地球温暖化防止と国際協調—効率性・衡平性・持続可能性』第6章, 有斐閣.

Chambers N., C., Simmons, and M., Wackernagel(2001), *Sharing Nature's Interest:*

- Ecological Footprints: As an Indicator of Sustainability*, Earthscan (ニッキー・チェンバース, クレイグ・シモンズ, マティース・ワケナゲル著, 五頭美知訳, 『エコロジカル・フットプリントの活用—地球1コ分の暮らしへ』, 合同出版).
- Oki, T., M. Sato, A. Kawamura, M. Miyake, S. Kanae, and K. Musiake, (2003) “Virtual water trade to Japan and in the world”, Hoekstra A.Y. ed., *Virtual Water Trade*, Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, The Netherlands, 12-13 December 2002, Value of Water Research Report Series No.12, pp. 221-235.
- http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Info/Press200207/Doc/VW2003-03_report12-Oki.pdf
- Wackernagel, M., and Rees W., E.(1995), *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, New Society. (マティース・ワケナゲル, ウィリアム・リース著, 和田喜彦監訳・池田真理訳(2004) 『エコロジカル・フットプリント—地球環境持続のための実践プランニング・ツール』, 合同出版).