

# 日・米・アジアの貿易構造と環境負荷の相互依存の経年変化に関する研究

中村 英佑<sup>1</sup>・田畑 智博<sup>2</sup>・白川 博章<sup>3</sup>・井村 秀文<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 修士(工学) (独)土木研究所 (〒305-8516 つくば市南原1-6)

E-mail:ei-nakam@pwri.go.jp

<sup>2</sup>正会員 博士(工学) 名古屋大学大学院 工学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

E-mail:tabata@urban.env.nagoya-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 博士(学術) 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

E-mail:sirakawa@urban.env.nagoya-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 工学博士 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

E-mail:imura@genv.nagoya-u.ac.jp

経済のグローバル化の結果、各国は国際地域間の経済的な結び付きだけでなく、環境負荷の面においても相互依存性を強めた。このため、地球規模での環境保護の責任の分担や公平性を議論する際には、環境負荷の国際的相互依存関係を明らかにしておくことが前提となる。本論文では、過去に筆者らが1985年から1995年のアジア国際産業連関表に適用した分析手法を2000年の同表にも適用し、日本、米国、中国、アジア諸国のCO<sub>2</sub>排出と土地利用の相互依存関係を定量化し、その経年変化の特徴を考察した。この結果、1995年から2000年にかけて、中国は米国と欧州との依存関係を急激に強めた一方で、日本との関係を相対的に低下させたことを明らかにした。また、産業部門レベルでは、繊維製品や機械製品において、上記の傾向が強まったことを確認した。

**Key Words :** Embodied Environmental Load, International Interdependence, I-O Analysis, CO<sub>2</sub> Emission, Ecological Footprint

## 1. はじめに

貿易を通じて取引されるあらゆる財・サービスの生産には、天然資源を含めた各種の生産要素の投入とその結果発生する様々な環境負荷が内包されている<sup>1)</sup>。経済のグローバル化に伴う貿易取引の増加は、各国が単に経済的な結び付きを強めただけでなく、環境負荷の面においても相互依存性を強めたことを意味している。このため、地球規模での環境保全の責任の分担や公平性について議論を行う際には、環境負荷の国際的な相互依存関係を明らかにしておくことが前提となる。

過去に筆者らは、1985年から1995年までのアジア国際産業連関表を用い、CO<sub>2</sub>排出量やエネルギー消費量、土地利用面積を指標として、日本、米国、中国、アジア7ヶ国における環境負荷の相互依存関係を定量化し、この経年変化の要因分析を行った<sup>2)</sup>。その結果、1985年から1995年にかけて、同地域のCO<sub>2</sub>排出構造は、日本と米国の取引を中心とした状態から各国が中国への依存度を急激に強めた状態へと劇的に変化したことを示した。また、

こうした環境負荷の地域的偏りは、各産業の技術水準の向上により改善できたはずであったが、中国産業に対して生じた最終需要の増加があまりにも急激であったために発生したことを明らかにした。ところが、ここでは使用可能な産業連関表の制約により、1995年以降の分析を実施することができなかった。その後、アジア経済研究所により2000年のアジア国際産業連関表<sup>3)</sup>が公表され、経済のグローバル化がさらに進展した1995年以降を分析対象とすることが可能となった。

本論文では、これまでと同様の手法を2000年のアジア国際産業連関表にも適用し、1995年代以降の日本、米国、中国、アジア7ヶ国における環境負荷の国際的相互依存関係の経年変化を明らかにすることを目的とした。具体的には、産業連関モデルを応用して、日本、米国、中国、アジア7ヶ国(インドネシア、マレーシア、フィリピン、シンガポール、タイ、台湾、韓国)の環境負荷の国際的相互依存関係を産業部門単位で定量化し、経年変化の特徴を考察した。環境負荷の評価指標としては、CO<sub>2</sub>排出量と土地利用面積を採用した。

## 2. 分析の枠組み

本論文では、過去の筆者らの分析結果<sup>2)</sup>と一定の整合性を持たせることで1995年以降の環境負荷の国際的相互依存関係の変化を明らかにするため、これまでと同様の産業連関モデルを応用した分析手法を2000年のアジア国際産業連関表<sup>3)</sup>に適用する。産業部門は、環境負荷評価指標のCO<sub>2</sub>排出量<sup>4)</sup>、耕地、牧地、林地を加えた土地使用面積<sup>5)</sup>のデータと整合性がとれるよう13部門に統合する。ただし、土地使用面積のデータは、2000年のものが整備されていないため、1999年のもので代用する。対象地域は、日本・米国、中国、インドネシア、マレーシア、フィリピン、シンガポール、タイ、台湾、韓国、の10ヶ国であり、その他の地域で生じる環境負荷は分析結果に含まれていない。

一般的な産業連関モデルでは、ある産業の財・サービスに最終需要が生じると、これを満たすために自産業の生産が誘発され、その生産活動に必要となる中間投入財を生産する他産業にも需要が波及する。この際、各産業の生産活動には様々な環境負荷の発生が伴い、生産段階各ステージで環境負荷が誘発される。産業連関モデルを応用すると、各産業がこの一連の生産過程を通じて直接・間接的に誘発する環境負荷、いわゆる内包環境負荷(Embodied Environmental Load: EEL)を積算することが可能となる。本論文では、各国の最終需要を満たすために他国で誘発された環境負荷を算定し、これを環境負荷の国際的相互依存関係として評価する。

産業連関モデルの標準的な方法に従えば、各産業の財・サービスに内包される環境負荷は式(1)で得られる。

$$EEL_i = \varepsilon_j (I - A)^{-1} F_i \quad (1)$$

$EEL_i$ : i産業の生産活動に内包される環境負荷

$\varepsilon_j$ : 各産業の単位生産額当たりの環境負荷発生量を成分とする行ベクトル

$I$ : 単位行列,  $A$ : 投入係数行列

$F_i$ : 第i要素をi産業の最終需要額、他を0とする列ベクトル

また、本論文で用いたアジア国際産業連関表は、10ヶ国を対象とした地域間産業連関表形式で公表されており、国と国との取引を産業部門単位で詳しく記載している。このため、各国の最終需要を満たすために誘発される環境負荷を算出することができる。簡単化のため $\alpha$ 国と $\beta$ 国の2国モデルで示すと、式(2)、(3)のようになる。

$$EEL_i^{(\alpha)} = \varepsilon_j (I - A)^{-1} F_i^{\alpha} \quad (2)$$

$$F_i = F_i^{\alpha} + F_i^{\beta} + F_i^{ROW} \quad (3)$$

$EEL_i^{(\alpha)}$ :  $\alpha$ 国の最終需要を満たすために、i産業の生産活動により誘発される環境負荷

$F_i^{\alpha}$ : 第i要素をi産業に生じた $\alpha$ 国の最終需要額、他を0とする列ベクトル、 $\beta$ 国、ROW(Rest of the World)も同様

さらに、式(2)の逆行列係数を部分行列に分解して計算を行うことで、各国の最終需要を満たすために他国で誘発される環境負荷を相手国別に定量化することができる。本論文では、これを環境負荷の国際的相互依存関係を表す指標として用いる。 $\alpha$ 国と $\beta$ 国の2国モデルでは、式(4)で示される。

表-1 CO<sub>2</sub>の収支バランス(2000年)

| FROM \ TO | 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      | 米国      | 香港    | EU    | ROW   | 合計       |
|-----------|--------|-------|-------|--------|-------|---------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|-------|----------|
| インドネシア    | 151.4  | 1.6   | 0.7   | 1.6    | 1.2   | 3.3     | 1.8   | 2.3   | 11.0    | 12.9    | 2.7   | 11.7  | 21.7  | 223.9    |
| マレーシア     | 0.6    | 34.0  | 0.6   | 3.3    | 1.1   | 2.9     | 1.5   | 1.5   | 8.0     | 16.9    | 4.2   | 11.9  | 16.4  | 102.9    |
| フィリピン     | 0.1    | 0.2   | 42.0  | 0.1    | 0.2   | 0.7     | 0.4   | 0.4   | 2.8     | 7.0     | 1.2   | 3.9   | 4.9   | 64.0     |
| シンガポール    | 0.2    | 0.7   | 0.3   | 18.6   | 0.4   | 0.8     | 0.4   | 0.4   | 1.1     | 3.0     | 1.5   | 2.6   | 12.3  | 42.1     |
| タイ        | 0.6    | 1.0   | 0.4   | 1.0    | 85.6  | 2.0     | 1.0   | 0.8   | 6.5     | 10.4    | 4.0   | 6.6   | 22.6  | 142.4    |
| 中国        | 3.9    | 3.9   | 1.6   | 4.3    | 5.2   | 2,066.4 | 8.3   | 16.7  | 88.7    | 163.0   | 107.0 | 96.7  | 174.1 | 2,759.8  |
| 台湾        | 0.7    | 0.9   | 0.6   | 0.5    | 1.0   | 11.0    | 126.9 | 1.3   | 6.8     | 16.3    | 9.4   | 10.7  | 24.9  | 210.9    |
| 韓国        | 1.1    | 0.8   | 0.7   | 0.7    | 0.8   | 10.7    | 2.3   | 282.2 | 10.5    | 19.5    | 7.7   | 14.1  | 50.2  | 401.3    |
| 日本        | 1.4    | 2.2   | 0.9   | 1.9    | 2.5   | 9.3     | 5.6   | 5.5   | 933.2   | 35.3    | 8.6   | 23.2  | 41.5  | 1,071.0  |
| 米国        | 1.5    | 2.3   | 1.3   | 2.4    | 2.3   | 9.9     | 7.9   | 9.2   | 34.2    | 4,775.1 | 8.8   | 89.8  | 306.2 | 5,250.9  |
| 合計        | 161.4  | 47.6  | 49.3  | 34.4   | 100.2 | 2,137.1 | 156.2 | 320.2 | 1,102.8 | 5,059.3 | 155.1 | 271.1 | 674.7 | 10,269.3 |

単位: MtCO<sub>2</sub> ※ROW(Rest of the World)は、上記以外の地域全体の合計値を示す。

表-2 土地の収支バランス(2000年)

| FROM \ TO | 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     | 米国      | 香港     | EU     | ROW     | 合計        |
|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-----------|
| インドネシア    | 119,310 | 833    | 284    | 361    | 412    | 1,983   | 857   | 1,020  | 5,378  | 8,626   | 1,421  | 6,985  | 11,070  | 158,540   |
| マレーシア     | 219     | 13,703 | 157    | 1,302  | 252    | 968     | 486   | 378    | 2,433  | 2,266   | 1,089  | 2,133  | 4,210   | 29,597    |
| フィリピン     | 21      | 25     | 20,431 | 17     | 23     | 128     | 50    | 129    | 1,141  | 1,668   | 187    | 549    | 658     | 25,028    |
| シンガポール    | 0       | 0      | 0      | 2      | 0      | 0       | 0     | 0      | 0      | 0       | 0      | 0      | 1       | 4         |
| タイ        | 191     | 295    | 105    | 138    | 19,965 | 386     | 312   | 206    | 1,790  | 2,791   | 1,130  | 2,033  | 4,060   | 33,402    |
| 中国        | 877     | 783    | 380    | 492    | 711    | 579,397 | 732   | 3,662  | 20,273 | 16,810  | 14,349 | 9,890  | 24,728  | 673,082   |
| 台湾        | 9       | 10     | 10     | 4      | 10     | 88      | 2,069 | 13     | 92     | 136     | 81     | 55     | 276     | 2,853     |
| 韓国        | 20      | 8      | 13     | 7      | 12     | 195     | 32    | 6,637  | 317    | 294     | 155    | 162    | 644     | 8,496     |
| 日本        | 14      | 19     | 15     | 17     | 23     | 125     | 61    | 65     | 28,567 | 300     | 128    | 190    | 363     | 29,887    |
| 米国        | 1,194   | 448    | 809    | 320    | 982    | 4,247   | 4,234 | 3,641  | 25,593 | 584,123 | 3,051  | 18,510 | 70,408  | 717,560   |
| 合計        | 121,865 | 16,123 | 22,205 | 2,660  | 22,391 | 587,516 | 8,832 | 15,751 | 85,584 | 617,013 | 21,592 | 40,508 | 116,418 | 1,678,447 |

単位: 1,000ha ※ROW(Rest of the World)は、上記以外の地域全体の合計値を示す。

$$\begin{aligned}
EEL^{(\alpha)} &= \sum_i \varepsilon_j (I - A)^{-1} F_i^\alpha \\
&= \sum_i \varepsilon_j \begin{bmatrix} B^{\alpha\alpha} & B^{\alpha\beta} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} F_i^\alpha + \sum_i \varepsilon_j \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ B^{\beta\alpha} & B^{\beta\beta} \end{bmatrix} F_i^\alpha \quad (4) \\
&= EEL_{Dom}^{(\alpha)} + EEL_{From\beta}^{(\alpha)}
\end{aligned}$$

$B^{\beta\alpha}$ :  $\beta$  国の産業が一単位の生産を行う際に必要となる  $\alpha$  国の産業の財・サービスを成分とする部分行列

$EEL_{Dom}^{(\alpha)}$ :  $\alpha$  国の最終需要を満たすために  $\alpha$  国(自国)で誘発される環境負荷

$EEL_{From\beta}^{(\alpha)}$ :  $\alpha$  国の最終需要を満たすために  $\beta$  国(他国)で誘発される環境負荷

上記の算定方法により、 $\alpha$  国の最終需要を満たすために対象地域全域で誘発される環境負荷は、 $\alpha$  国と  $\beta$  国それぞれでの誘発分に分解することができる。同様に、 $\beta$  国の最終需要が誘発する環境負荷も相手国別に算出することができる。本論文では、これらを環境負荷からみた  $\alpha$  国と  $\beta$  国の相互依存関係として評価する。

### 3. 分析結果および考察

#### (1) 2000 年の環境負荷の国際的相互依存関係

表-1, 2 に、2000 年の  $CO_2$  排出量と土地使用面積の相互依存関係をマトリックス形式で示す。各表とも、横方向の行に並ぶ国・地域(TO の欄)の最終需要を満たすために、縦方向の列に並ぶ国・地域(FROM の欄)で誘発された  $CO_2$  排出量、土地使用面積を示している。マトリックス上で、対角成分と ROW(Rest of the World)を除いた流出入の値については上位 10 ケ所、合計値については上位 3 ケ所を網掛けで示す。また、EU には、イギリス、フランス、ドイツが含まれている。

$CO_2$  では、日本、米国、中国、EU の間の取引が大きく、アジア太平洋地域の  $CO_2$  排出の多くがこれら 4 つの国・地域の最終需要によって誘発されていることが特徴的である。また、米国は韓国やマレーシアとの取引も大きく、合計値も突出している。米国の最終需要は、国内のみならず国外でも膨大な  $CO_2$  排出を誘発していることが読み取れる。一方、土地では、国内土地資源の豊富な

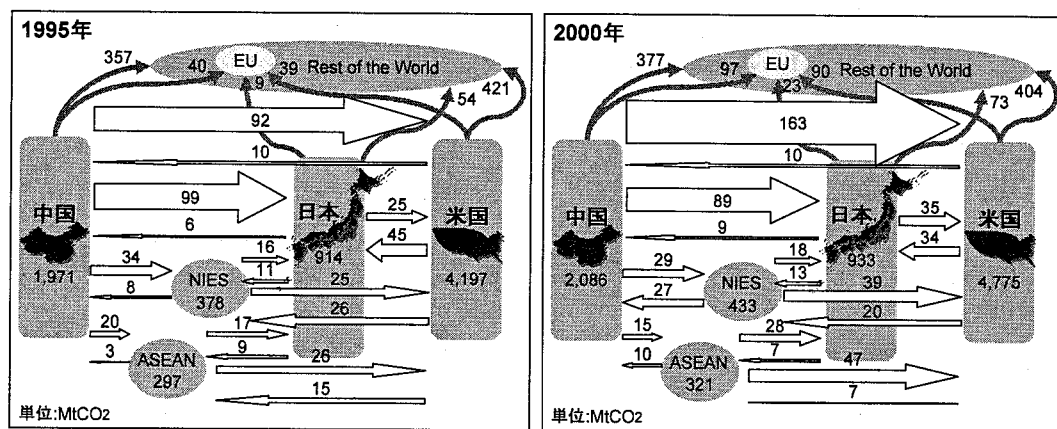


図-1  $CO_2$  の収支フロー

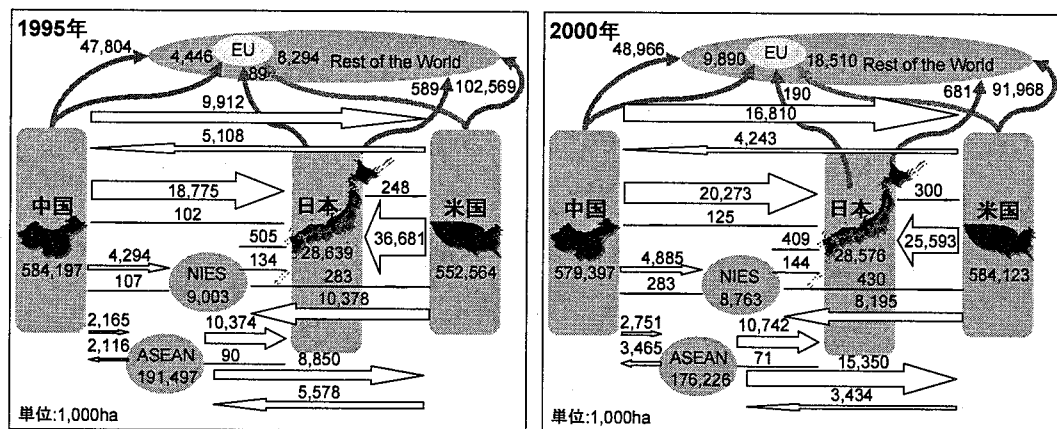


図-2 土地の収支フロー

米国、中国、インドネシアと、逆に国内土地資源の乏しい日本と EU との間の取引が大きい。また、米国は国内に土地資源を豊富に有するにも関わらず、中国やインドネシアの土地に依存する傾向を示している。以上のことから、2000 年のアジア太平洋地域の環境負荷の相互依存関係は、主に日本、米国、中国、EU の 4 つの国・地域を中心として形成されており、とりわけ米国の占める存在が大きいことが窺える。

## (2) 1995 年～2000 年の環境負荷収支フローの経年変化

次に、環境負荷の相互依存関係の経年変化を把握するため、1995 年と 2000 年の環境負荷の収支バランスを図-1、2 の収支フロー図の形式で整理する。ここで、NIES にはシンガポール、台湾、韓国、ASEAN にはインドネシア、マレーシア、フィリピン、タイが含まれており、国・地域間を結ぶ矢印の太さはフローの大きさを反映したのとなっている。また、用いたアジア国際産業連関表の制約から、EU と ROW との関係は流出するフローのみしか分析することができていない。

CO<sub>2</sub> では、1995 年の時点で中国から日本と米国への流出がともに目立っていたが、2000 年には米国への流出が約 1.8 倍に増加する一方で、日本への流出は約 0.9 倍へと減少に転じている。また、中国から EU への流出も

約 2.4 倍に急増しており、相対的に中国にとって日本の存在感が低下したことを示している。土地でも、1995 年から 2000 年にかけて、中国から米国、EU への流出はそれぞれ約 1.7 倍、約 2.2 倍へと急増しているものの、日本への流出は約 1.1 倍に留まっている。一方、米国から日本への流出に着目すると、CO<sub>2</sub> は約 0.8 倍、土地は約 0.7 倍とどちらも減少傾向にある。これらは、1995 年から 2000 年にかけて、中国から米国と EU への貿易輸出の増加が日本のそれを上回ったこと、日本の長引く景気低迷により最終需要が伸び悩んだことを反映したためと考えられる。

## (3) 産業部門単位の環境負荷収支フローの経年変化

図-3、4 に、日米間の CO<sub>2</sub> の収支フローを産業部門ごとに示す。1995 年から 2000 年にかけて米国から日本へのフローは減少傾向にあったが、これは食品や機械・輸送機械など、運輸を除くほぼ全ての産業において日本へのフローが減少したことが原因であることがわかる。逆に、日本から米国へのフローは増加していたが、これは唯一大きなフローである機械・輸送機械が増加に転じたためであることがわかる。

同様に、図-5、6 に、中国から日本と米国への CO<sub>2</sub> の収支フローを産業部門ごとに示す。中国から日本へは、

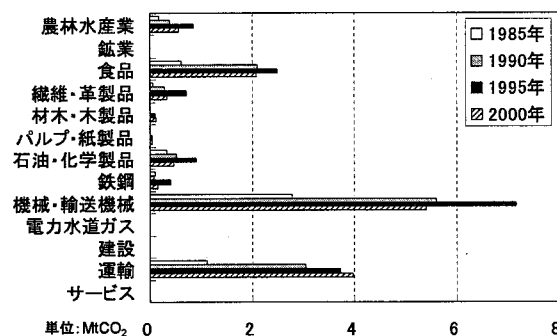


図-3 産業部門別の CO<sub>2</sub> 収支フロー(米国から日本)

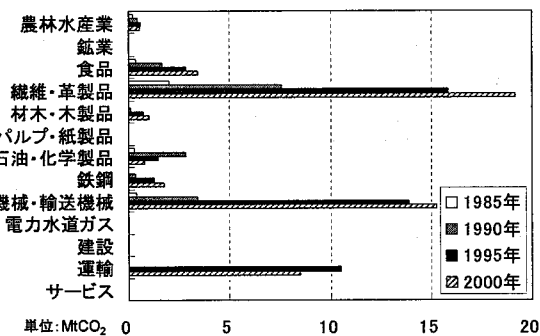


図-5 産業部門別の CO<sub>2</sub> 収支フロー(中国から日本)

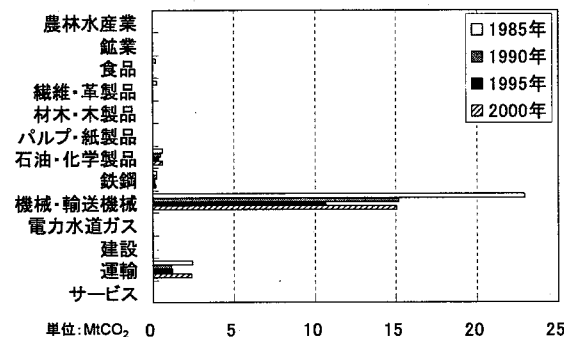


図-4 産業部門別の CO<sub>2</sub> 収支フロー(日本から米国)

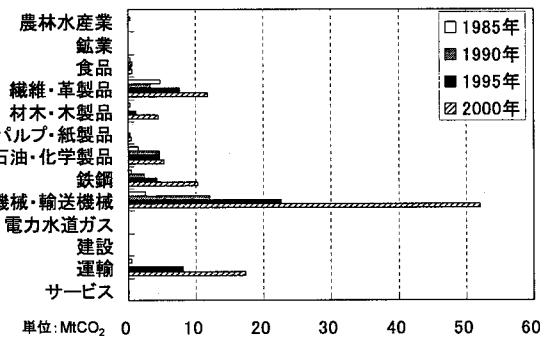


図-6 産業部門別の CO<sub>2</sub> 収支フロー(中国から米国)

食品や繊維・革製品、機械・輸送機械の占める割合が大きく、経年的にも増加傾向にある。これは、一般的に認識されているように、1990年代後半以降に中国から安価な食品や衣類、機械製品などが日本へ大量に輸出されたことを反映した結果と思われる。一方、中国から米国へは、機械・輸送機械の増加が突出していることが特徴的である。1995年から2000年にかけて中国から米国へのCO<sub>2</sub>のフローは急増しアジア太平洋地域で最大となっていたが、この原因は中国から米国へ機械・輸送機械が大量に輸出され、そこに内包されたCO<sub>2</sub>排出量が膨大であったためとみられる。

また、図-7, 8, 9に、米国、中国、ASEANから日本への土地の収支フローを産業部門別に示す。1995年から2000年にかけて、日本にとって米国からのフローは減少に転じ、中国からのフローは微増していた。これは、米国からのフローは、その大部分を占める農林水産業と食品で減少したこと、一方で中国からのフローは食品で増加し、農林水産業や繊維・革製品では同水準に留まったことが原因と考えられる。また、ASEANからは、米国と中国と同様に、土地集約的な産業である農林水産業や食品の占める割合が大きく、1995年から2000年にかけて増加傾向にあることがわかる。

#### (4) 中国から流出する環境負荷収支フローの地域特性

これまでの考察において、1995年から2000年にかけて、アジア太平洋地域の環境負荷の相互依存関係は、各国・地域が中国への依存度を高める傾向にあることが示された。ここでは、中国から流出する環境負荷の収支フローに着目し、その地域特性を産業部門単位で考察する。

図-10, 11に、1995年と2000年の中国からのCO<sub>2</sub>の収支フローを産業部門ごとに国・地域別に示す。各国・地域とも、2時点においてフローの主要となるのは、繊維・革製品、石油・化学製品、鉄鋼、機械・輸送機械、運輸の5産業である。しかし、2000年には、特に米国とEUへの機械・輸送機械のフローが急増しており、結果として米国とEUへのCO<sub>2</sub>収支フローが増加したものと考えられる。

同様に、図-12, 13に、1995年と2000年の中国からの土地の収支フローを産業部門ごとに国・地域別に示す。各国・地域とも、2時点においてフローの主要となるのは、農林水産業、食品、繊維・革製品、機械・輸送機械の4産業である。1995年から2000年にかけて、上記4産業のフローで大きな値を示しているのは日本であるが、米国とEUの増加は著しく、結果として中国から流出する土地のフローが増加したものと考えられる。また、米国とEUへのフローでは、土地集約的な産業ではない機械・輸送機械のフローが大きいことも特徴的である。

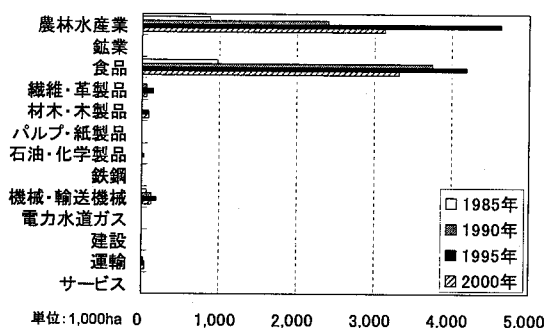


図-7 産業部門別の土地収支フロー(米国から日本)

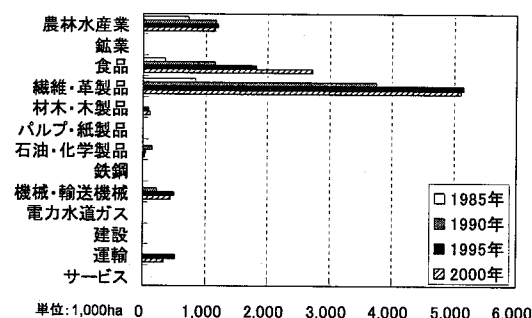


図-8 産業部門別の土地収支フロー(中国から日本)

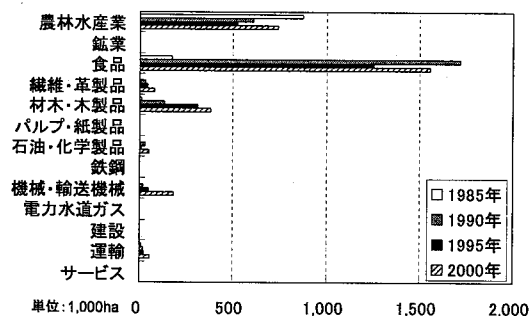


図-9 産業部門別の土地収支フロー(ASEANから日本)

## 5. 結論

本論文では、過去に筆者らが1985年から1995年のアジア国際産業連関表に適用した分析手法を2000年の同表にも用い、1995年以降の日本、米国、中国、アジア7ヶ国の環境負荷の相互依存関係を定量化し、その経年変化について考察した。得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 2000年の時点において、アジア太平洋地域で誘発される環境負荷の多くは、日本、米国、中国、EUの4つの国・地域の最終需要により生じていた。中でも米国は、国内のみならず国外でも膨大な環境負荷を誘発しており、最大の環境負荷誘発国であった。
- 2) アジア太平洋地域における環境負荷の収支フローは、中国から流出するフローが最も大きいものとなって

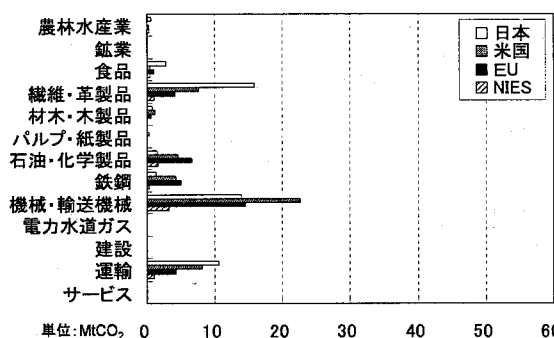


図-10 中国からの国・地域別 CO<sub>2</sub> 収支フロー(1995年)

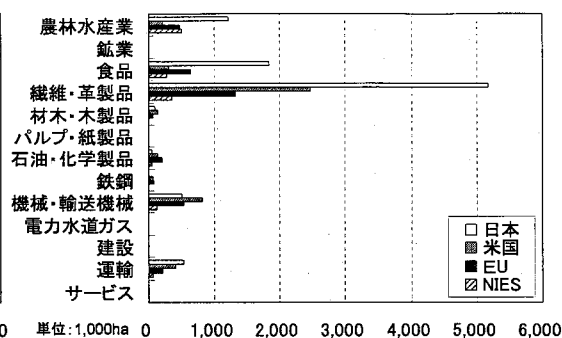


図-12 中国からの国・地域別土地収支フロー(1995年)

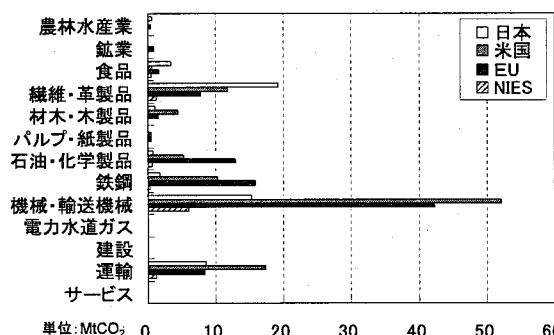


図-11 中国からの国・地域別 CO<sub>2</sub> 収支フロー(2000年)

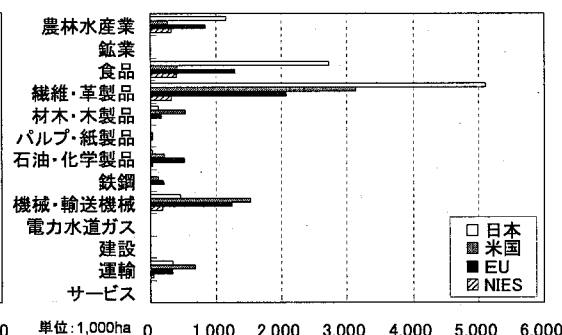


図-13 中国からの国・地域別土地収支フロー(2000年)

いた。また、1995 年から 2000 年にかけて中国から米国と欧州へのフローは急増していたが、日本へのフローはほぼ同水準に留まっており、中国にとって日本の存在感は相対的に低下していた。

- 3) 産業部門別の環境負荷の収支フローでは、繊維・革製品と機械・輸送機械において中国から流出するフローが急増していた。これは、中国がこれらの製品を生産・輸出することで他国の環境負荷を担う傾向をより一層強めたことを示していると推察された。

#### 参考文献

- 1) Costanza, R.: Embodied Energy and Economic Valuation, *Science*, Vol.210, No.4475, pp.1219-1224, 1980
- 2) 井村秀文, 中村英佑, 森杉雅史: 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, 2005
- 3) Institute of Developing Economies, JETRO: *ASIAN INTERNATIONAL INPUT-OUTPUT TABLE 2000*, 2006
- 4) IEA, OECD: *CO<sub>2</sub> Emissions From Fuel Combustion 1971-2000*, 2002
- 5) FAO: *FAOSTAT*, <http://apps.fao.org/default.html>

## INTERNATIONAL INTERDEPENDENCE OF ENVIRONMENTAL LOADS AMONG JAPAN, U.S., CHINA AND ASIAN COUNTRIES IN 2000

Eisuke NAKAMURA, Tomohiro TABATA, Hiroaki SHIRAKAWA  
and Hidefumi IMURA

With economic globalization, countries have enhanced their interdependence of not only trade but also environmental loads. Analysis of international interdependence of environmental loads is indispensable for discussing equitable responsibilities to protect the environment. This paper qualified the transaction of CO<sub>2</sub> and land embodied in goods and services traded in Asia-Pacific region in 2000. The result reveals U.S. and Europe have increased dependence on China while Japan has relatively decreased it. Also, textile and machinery constitute the large part of transaction of CO<sub>2</sub> and land among those countries.