

H-9 物質フローモデルに基づく持続可能な生産・消費の達成度評価手法に関する研究

(3) 物質フローの国際連関と国際比較分析に関する研究

名古屋大学大学院環境学研究科 井村秀文・奥田隆明・白川博章・田畑智博
 広島大学大学院国際協力研究科 金子慎治・市橋 勝
 同志社大学経済学部 和田喜彦・岸基史

平成 16～18 年度予算額 22,742 千円
 (うち、平成 18 年度予算額 6,941 千円)

[要旨]

経済のグローバル化に伴い、貿易取引を通じた環境負荷の国際的相互依存関係が強まっている。環境負荷の大きな生産活動を国外に移転することにより自国内での見かけ上の環境負荷を小さく抑える国がある一方、環境負荷の大きな工業製品を生産し、これを輸出することにより高い経済成長を遂げる国もある。このことは、財・サービスの生産・流通・消費の過程で直接的・間接的に発生した環境負荷を、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ことを意味し、持続可能な生産・消費達成度を評価する上での重要な視点となる。そこで国間、地域間、都市間といった様々なスケールでの経済と環境負荷の相互依存関係を明らかにするとともに、その結果をどのように政策に利用するかを検討する必要がある。

本研究では、まず、アジア経済研究所から刊行されている国際アジア産業連関表を用いて日本、米国、中国、東南アジア諸国における経済と環境負荷の相互依存関係について分析した。その結果、1985年から2000年の15年の間に、日米関係を中心に形成されていた貿易と環境負荷の相互依存関係が大きく変化し、中国の存在が目覚しく増大したことが示された。さらに、経済活動の中心は都市であるため北京と東京を対象として、経済と環境負荷の相互依存関係を詳しく検討した。

次に、急速な経済成長を遂げている中国を対象とし、エコロジカル・フットプリント (EF) 指標を用いて、地域間の経済と環境負荷の相互依存関係、および農業における土地生産性の向上と環境負荷の関係を検討した。分析の結果、沿岸部ほど他地域の資源への依存度が大きいこと、CO₂の排出量はどの地域でも森林の吸収力を大幅に上回っていること、土地の間接的使用も含めると1985年から2003にかけて農業の土地生産性はむしろ低下していることなどが明らかになった。

最後に、EF指標に焦点を当て、欧州・豪州等の国家、地方自治体、環境NGO、民間企業等におけるEF指標の活用に向けての経緯と成否の要因についての分析・検討を行った。

[キーワード]

貿易と環境、産業連関分析、二酸化炭素、土地資源、エコロジカル・フットプリント

1. はじめに

NIES、ASEAN 諸国に加え、近年では、BRICs (ブラジル・ロシア・インド・中国) と呼ばれる国々の経済成長が本格化し、国際的な生産拠点の再配置が進み、世界の貿易額は年々増加する傾向にある。貿易によって取り引きされる財・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が必

要であり、その結果様々な環境負荷が発生する。そこで、環境負荷を効果的に引き下げするためには、国間、地域間、都市間といったさまざまな空間的なスケールでの需要と供給の関係を正確に理解した上で、それによってもたらされる環境影響を評価することが重要である。

2. 研究目的

本研究は、経済と環境負荷の国際的相互依存関係について分析するとともに、評価結果の政策利用の可能性を検討することを目的とした。具体的には、まず、アジア太平洋地域の貿易構造の変化が各国内及び各国間の環境負荷にどのような効果をもたらしたかを検討した。次に、アジア太平洋地域の貿易で重要な位置にある日中関係を詳しく検討するために、経済活動の中心である都市に焦点を当て、経済と環境の相互依存関係を分析した。

また、アジア太平洋地域の経済と環境に大きな影響を与えているのは中国であるが、中国は国土が广大で地域格差も大きい。そこで、中国国内に焦点をあて、エコロジカル・フットプリント(Ecological Footprint : EF)を用いて、地域の経済と環境の相互依存関係を分析した。

さらに、EF の政策利用の可能性を検討するために、欧州内の国家および地方自治体における EF 指標の活用に向けての経緯と成否の要因等についての分析・検討、および EF の推計方法に関する議論を整理した。

3. 研究方法

アジア太平洋地域全体を対象としたマクロ分析では、アジア経済研究所から刊行されているアジア国際産業連関表を用いて、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を計算した。対象期間は1985年、1990年、1995年、2000年とし、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、米国の10ヶ国を対象地域とした。環境負荷評価指標としては、CO₂排出量、および土地資源とした。

日中間の環境負荷の相互依存に関する分析では、内包エネルギーや内包CO₂排出量の考え方を国際貿易に適用した分析であるImura & Moriguchi¹⁾の方法と2国2地域間の国際的経済相互依存の分析を行った市橋²⁾の方法を参考にした。具体的には、具体的は、1990年、1995年の東京－日本－中国－北京の統合表を作成し、エネルギー、CO₂排出量の相互依存関係を分析した。

中国における地域別 EF の推計については、アジア経済研究所から刊行されている中国地域間産業連関表(2000)を用いた。

EF の政策利用については、欧州および豪州の国家および地方自治体を対象に、EF 指標の活用事例について、文献調査、現地での聞き取り調査を実施した。さらに、欧州における EF の環境教育・環境マーケティングへの応用事例を文献調査、現地での聞き取り調査を実施し分析を加えた。

また、EF の推計方法に関する議論では、原子力(核)のエネルギー利用の評価を取り上げた。その際、従来の評価手法の妥当性を検討するため、オーストラリアのウラン鉱山やイギリスの再処理工場などでの現地調査を実施し、関係者へのインタビューと情報収集を行い、環境管理の実態を把握した。それら現場から得られた知見を利用しつつ、過去の原子力発電のエネルギーコスト計算の研究成果について再検討した。

4. 結果・考察

(1) 環境負荷の国際的相互依存関係

本研究は、名古屋大学が担当した。

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。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することが必要である。そこで、ここでは、CO₂排出量と土地使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た。以下に分析結果を記す。

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CO₂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CO₂排出量、土地使用面積を示している。例えば、日本の最終需要を満たすため、中国で約88.7Mt-CO₂のCO₂が排出されている。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ヶ所、合計値については上位3ヶ所を網掛けで示す。また、EUには、イギリス、フランス、ドイツが含まれている。

CO₂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CO₂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CO₂排出を誘発していることが読み取れる。

表-1 CO₂の収支バランス(2000年)

TO FROM	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	2,086.4	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：MtCO₂ ※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)

TO FROM	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	121,855	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。

一方、土地では、国内土地資源の豊富な米国、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感が大きいことが窺える。

2) 1985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、1985年、1995年、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ものとなっている。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できない。

CO₂では、1985年時点では、日本と米国とのフローが最大であったものが、1995年には中国から他地域へ流出するフローが大部分を占めるようになった。さらに、1995年から2000年にかけて、中国から米国への流出が約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、欧米の経済活動が中国の環境に与える影響が増大している。

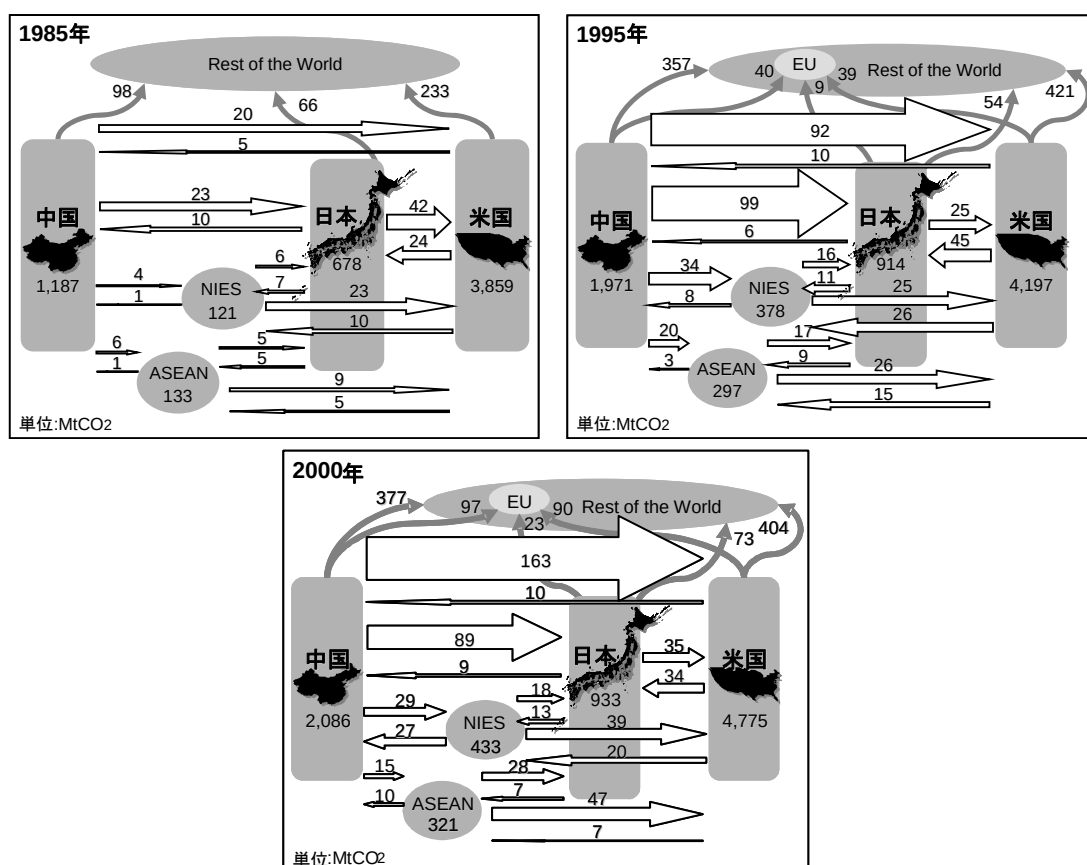


図-1 CO₂ 収支フロー

これは、中国におけるCO₂排出原単位が1985年から2000年にかけて減少する一方、中国から日本への輸出額に比べ、中国から米国、或いは中国からEUへの貿易額が大きく増加したためである。

土地でもほぼ同様のことがいえる。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、CO₂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。

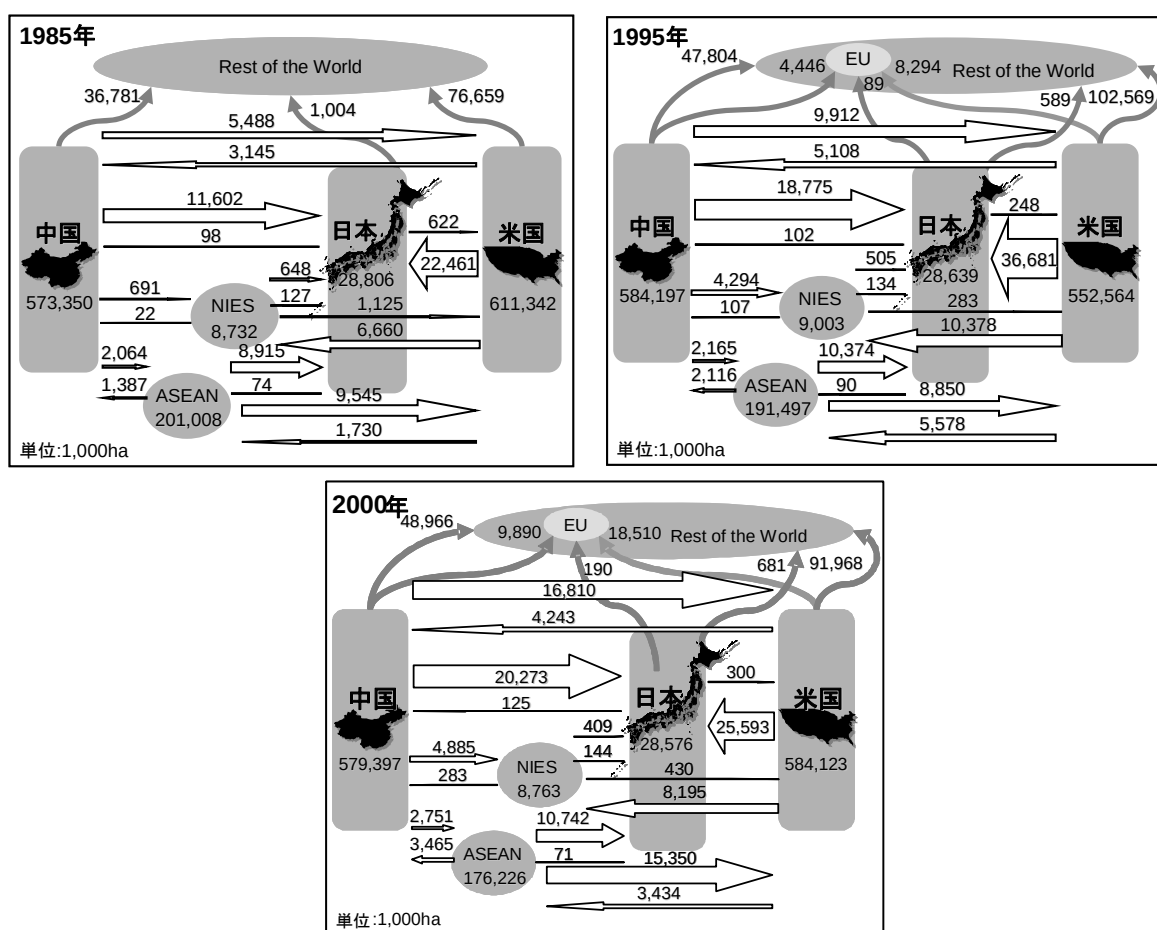


図-2 土地収支フロー

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CO₂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CO₂の収支フローを産業部門ごとに示す。中国から日本へは、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CO₂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CO₂排出量が膨大であったためとみられる。

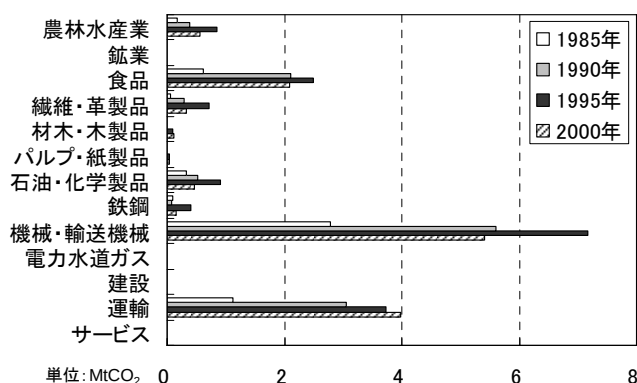


図-3 産業部門別のCO₂収支フロー(米国から日本)

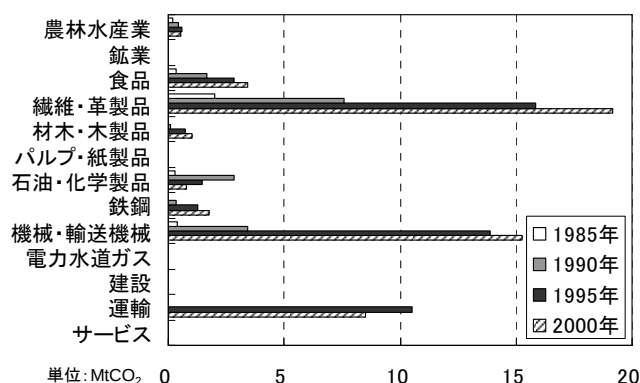


図-5 産業部門別のCO₂収支フロー(中国から日本)

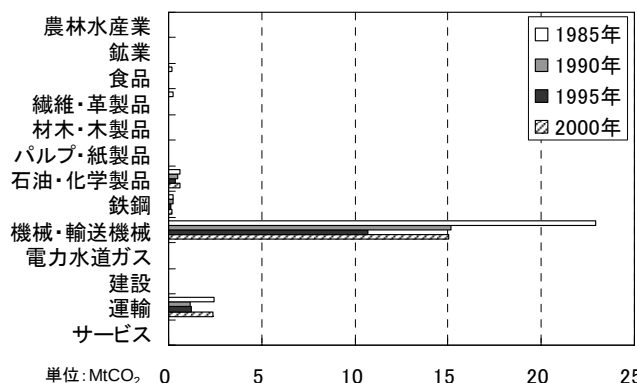


図-4 産業部門別のCO₂収支フロー(日本から米国)

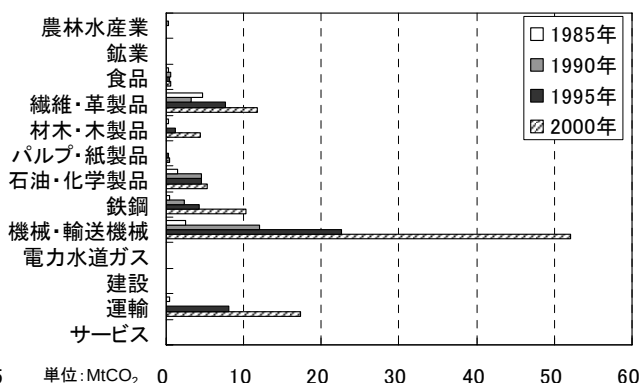


図-6 産業部門別のCO₂収支フロー(中国から米国)

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。

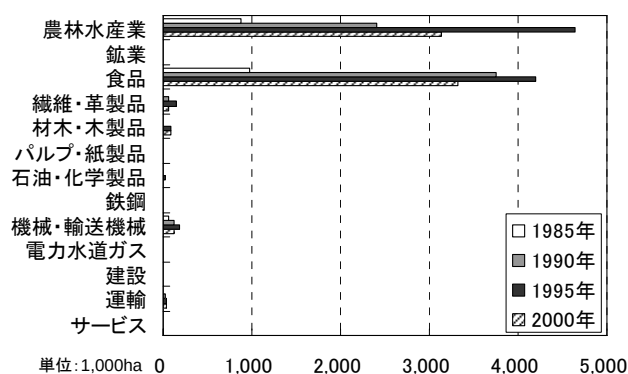


図-7 産業部門別の土地収支フロー(米国から日本)

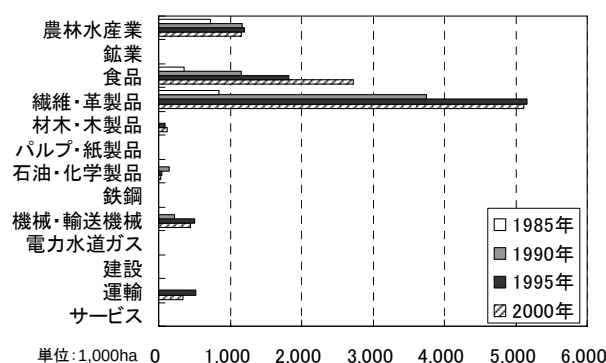


図-8 産業部門別の土地収支フロー(中国から日本)

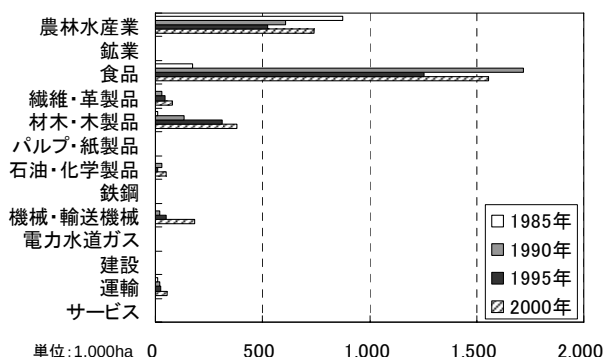


図-9 産業部門別の土地収支フロー(ASEAN から日本)

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CO₂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CO₂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。

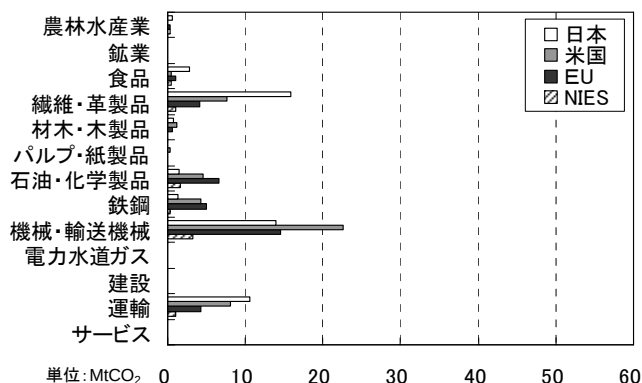


図-10 中国からの国・地域別 CO₂ 収支フロー(1995 年)

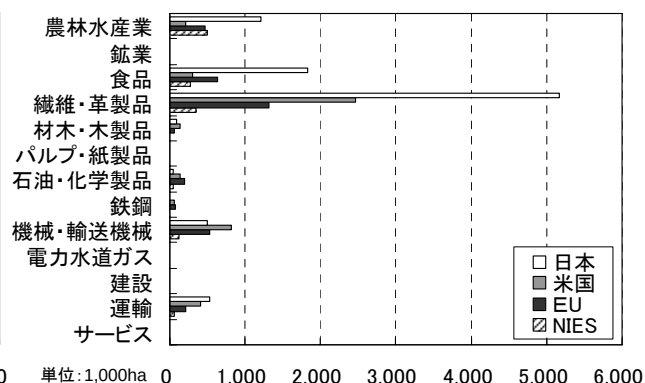


図-12 中国からの国・地域別土地収支フロー(1995 年)

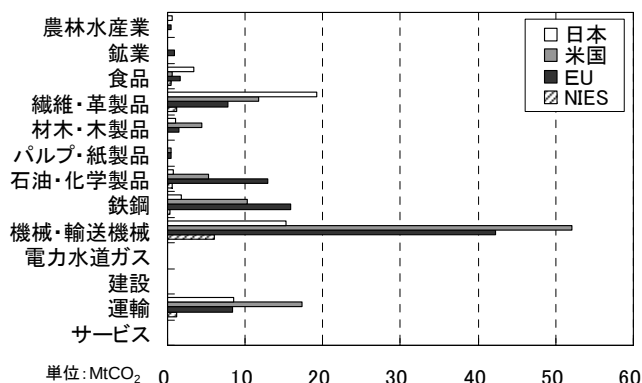


図-11 中国からの国・地域別 CO₂ 収支フロー(2000 年)

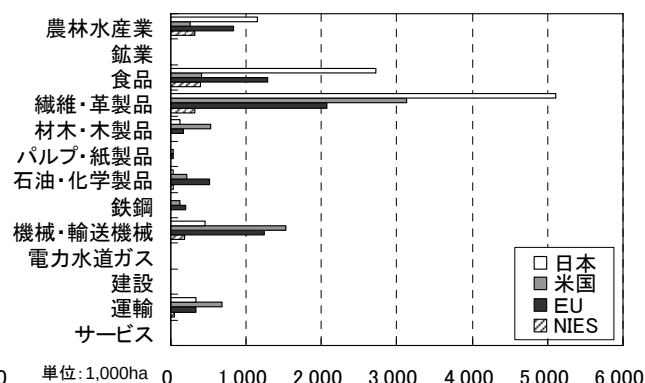


図-13 中国からの国・地域別土地収支フロー(2000 年)

5) まとめ

本研究で得た知見を以下に記す。

- 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、欧米の経済活動にともなう中国での環境負荷が増大していることが分かった。
- 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。

(2) 東京・北京間における経済と環境の相互依存関係

本研究は、広島大学が担当した。

1) はじめに

本研究の目的は、1990 年、1995 年の東京－日本－中国－北京の統合表を作成し、エネルギー、CO₂ 排出量の相互依存関係を分析することである。

本研究では、東京連関表³⁴⁾の 90 年と 95 年版(以下、東京表 90、95)、北京連関表 92 年と 97 年版⁵⁶⁾(以下、北京表 92、97)に加えて、日中間の貿易額を特定するために、日中国際連関表 90 年版⁷⁾(以下、日中表)、アジア国際連関表 95 年版⁸⁾(以下、アジア表)、更に補足的に中国産業連関表 92 年⁹⁾、97 年版¹⁰⁾を利用した。ここで、日中間で産業連関表の作成時期が異なるために時間差が発生しており、それぞれ 90 年と 92 年、95 年と 97 年のデータを組み合わせて分析せざるを得ないため、分析対象時期は、前期を 90/92 年、後期を 95/97 と表記することとする。

表-3 統一した業種分類

1	Agriculture and livestock	21	Non-ferrous metal products
2	Forestry	22	Metal products
3	Fishery	23	Machinery
4	Crude petroleum and natural gas	24	Electric machinery
5	Metallic ore	25	Motor vehicles
6	Non-metallic ore and quarrying	26	Other transport equipments
7	Food product	27	Precision machines
8	Beverage, animal feeding, tobacco	28	Plastic products
9	Fiber and spinning	29	Other manufacturing products
10	Wearing apparel and other textile products	30	Electricity, gas and water supply
11	Leather and furs and its products	31	Construction
12	Timber and wooden products	32	Wholesale and retail trade
13	Pulp and paper	33	Transportation
14	Printing and publishing	34	Telephone and telecommunication
15	Chemical products	35	Finance and insurance
16	Drugs and medicine	36	Education and researches
17	Refined petroleum and its products	37	Other services
18	Rubber products	38	Public administration
19	Cement and construction materials	39	Unclassified
20	Iron and steel products		

分析する地域は、東京、北京の2都市の他に日本における東京以外のその他地域(以下、その他日本)を加えた3地域である。本稿で採用した部門数は39部門である。これは各表について入手しうる最も細かな分類から共通部門を最大公約数的に選び、独自に統合した結果である。表-3に部門名を示す。価格は、時点間比較を行なう為に実質化した。日本の90年時点の価格は、経済産業研究所が公表している長期接続産業連関表における部門別の各種インフレタを用いて95年価格に変換した。また、付加価値に関してはダブル・デフレーション法によって実質化した。北京の92年時点の価格は、中国統計年鑑の製造業価格指数、サービス業価格指数によって部門別インフレタを作成し97年価格に実質化した。最終的な取引額は97年の平均為替レート¹⁾を用いて100万円単位に統一した^{注1}。

総産出額を表-4にまとめて示す。同表からは、北京が5年間に高成長を遂げているのに対して、東京は若干規模が縮小、その他日本は若干規模拡大していることが分かる。

2) エネルギーデータの加工について
環境負荷指標として用いたエネルギーについて、データの出典と加工手続きを簡単にまとめる。まず日本については「総合エネルギー統計」¹²⁾、東京については「都におけるエネルギー需給構造調査報告書」¹³⁾を用いた。北京については「中国能源統計年鑑」¹⁴⁾のエネルギーバランス表を利用した。通常、産業連関表とエネルギーデータの業種分類は一致しない。エネルギーデータの業種分類が細かい場合には足し合わせて統合することで容易に対処できるが、エネルギーデータが粗く産業連関表の39分類に対して複数の業種の合計しか得られない場合には、エネルギー種別ごとに、(4)

表-4 総産出額の比較

Unit: million Yen			
	Beijing	Tokyo	Other Japan
90/92 (A)	6,180,558	160,535,261	789,474,497
95/97 (B)	8,803,041	157,908,875	835,469,190
(B)/(A)	1.42	0.98	1.06

Note1: Data in Beijing is in 1992 and 1997 at 1997 real price of Japanese Yen.

Note2: Data for Tokyo and Other Japan are in 1990 and 1995 at 1995 real price of Japanese Yen.

表-5 部門別産出額当たり CO₂ 排出量

Sector	90/92			95/97		
	Beijing	Tokyo	Other Japan	Beijing	Tokyo	Other Japan
1	6,309.6	111.8	1,065.7	9,252.3	63.7	1,133.4
2	7,378.0	48.9	2,037.7	10,603.8	45.3	2,928.5
3	10,960.4	756.9	5,339.4	9,182.2	1,835.0	7,184.8
4	4,183.2	0.0	0.0	17,977.5	0.0	0.0
5	13,134.0	299.5	260.4	17,133.9	523.1	1,169.3
6	10,861.6	266.9	1,049.5	3,036.2	682.4	2,347.5
7	2,587.3	394.9	339.8	3,387.6	477.6	363.4
8	2,309.1	238.7	226.8	6,290.8	290.8	256.0
9	6,402.8	977.4	762.2	28,827.5	812.3	1,327.7
10	779.3	47.9	439.0	1,495.4	61.1	396.3
11	2,176.0	126.9	480.3	1,988.8	110.0	795.1
12	547.2	99.9	480.1	2,787.5	123.6	713.8
13	9,255.5	1,594.7	1,539.0	11,913.2	2,074.9	1,563.1
14	3,135.8	70.2	381.1	2,693.0	76.9	579.9
15	19,019.8	221.0	4,963.7	35,874.8	256.1	5,763.5
16	536.9	123.8	717.4	14,464.9	101.8	740.7
17	9,823.5	71.9	4,340.6	18,101.0	43.0	3,808.3
18	5,772.1	461.2	1,301.7	19,154.6	553.8	1,625.5
19	12,840.9	1,474.8	3,315.2	19,739.1	1,459.9	3,755.1
20	35,593.5	1,157.1	5,290.5	40,643.7	1,074.8	5,829.7
21	1,877.8	239.1	1,670.0	4,941.6	135.6	1,491.5
22	1,299.7	226.8	203.2	2,062.9	266.3	222.8
23	2,049.8	79.1	115.1	2,799.8	85.8	128.6
24	1,322.7	56.5	187.1	1,177.2	49.0	166.5
25	622.7	219.3	113.8	2,134.4	227.5	125.4
26	1,831.2	6.7	121.0	5,184.6	9.5	155.0
27	1,139.3	49.8	159.5	1,816.5	72.6	187.1
28	1,918.1	468.9	553.2	1,780.0	245.1	714.7
29	23,439.4	36.0	5,918.5	8,321.3	44.6	7,132.8
30	31,127.8	1,955.8	15,597.8	83,767.5	1,902.3	15,438.9
31	1,097.0	3.0	182.2	992.7	2.4	197.2
32	170.3	72.2	396.0	126.9	66.5	346.2
33	13,172.4	2,257.9	1,595.4	7,790.7	2,423.6	1,604.0
34	161.5	63.7	148.1	75.6	66.3	136.0
35	126.2	34.6	54.0	159.6	38.4	83.7
36	42.6	234.7	183.2	75.1	209.7	262.5
37	694.3	115.3	207.0	210.8	145.0	224.1
38	22,261.2	273.3	222.0	31,928.7	334.1	27.3
39	5,795.2	348.5	1,366.1	7,614.6	646.6	1,973.2

注1 ここでは PPP(Purchasing Power Parity)による調整は行っていない。そのため中国での原単位が高めに評価されている可能性があることに注意が必要である。

原油・天然ガス、(17)石油・石炭製品、(30)電気・ガス・熱供給・廃棄物処理で最も近い業種の中間財取引額を用いて按分した。39 業種別エネルギー種別消費量データが作成できると、次に、得られたエネルギーデータに CO₂ 排出原単位を用いて CO₂ 排出量を推計する。日本、東京については環境省¹⁵⁾公表値、北京については IPCC¹⁶⁾から推奨されている CO₂ 排出原単位を用いた。以上の手続きにより推計した業種別 CO₂ 排出原単位の結果を表-5 に示す。

3) 都市間貿易(直接生産効果)の推計

各地域の移輸出入取引額のうちから、対象都市間の輸出入取引額を抽出する作業が第一の課題である。これは北京・東京間の部門別貿易額はもちろんのこと、貿易総額についても統計データからは入手できないためである。この輸出入額は、輸出側での直接生産効果とみなすことができ、生産誘発を計測するための基本的な外生ベクトルである。これは以下の手続きで推定する。

まず、北京から東京への部門別輸出額を EX_B^T 、東京から北京への部門別輸出額を EX_T^B と表記すると、両者は、

$$EX_B^T = \hat{M}\hat{S}_J^T X\hat{S}_C^J EX_B^W \quad (1)$$

$$EX_T^B = X\hat{S}_J^T \hat{M}\hat{S}_C^J IM_B^W \quad (2)$$

として求めることできる。ただし、各部門 i 、時間 t に対し、

$$X\hat{S}_C^J = \left\{ EX_C^J(i,t) / EX_C^W(i,t) \right\} \quad (3)$$

$$\hat{M}\hat{S}_J^T = \left\{ IM_T^W(i,t) / IM_J^W(i,t) \right\} \quad (4)$$

$$\hat{M}\hat{S}_C^J = \left\{ IM_C^J(i,t) / IM_C^W(i,t) \right\} \quad (5)$$

$$X\hat{S}_J^T = \left\{ EX_T^W(i,t) / EX_J^W(i,t) \right\} \quad (6)$$

の関係が成り立つ。ここで EX_B^W は北京の世界全体に対する部門別輸出額ベクトル、 $X\hat{S}_C^J$ は中国の部門別輸出額に占める日本への部門別輸出比率を対角成分に持つ対角行列、 $\hat{M}\hat{S}_J^T$ は日本の部門別輸入額に占める東京の部門別輸入比率を対角成分に持つ対角行列を示す。また IM_B^W は北京の部門別輸入額ベクトル、 $\hat{M}\hat{S}_C^J$ は中国の部門別輸入額に占める日本からの部門別輸入比率を対角成分に持つ対角行列、 $X\hat{S}_J^T$ は日本の部門別輸出額に占める東京の部門別輸出比率を対角成分に持つ対角行列を示す。

同様の方法で北京とその他日本との部門別輸出 EX_B^O 及び EX_O^B を求めることができる。

$$EX_B^O = \hat{M}\hat{S}_J^O X\hat{S}_C^J EX_B^W \quad (7)$$

$$EX_O^B = X\hat{S}_J^O \hat{M}\hat{S}_C^J IM_B^W \quad (8)$$

$\hat{M}\hat{S}_{OJ}$ は日本の部門別輸入額に占めるその他日本の部門別輸入比率を対角成分に持つ対角行列、

$X\hat{S}_{OJ}$ は日本の部門別輸出額に占めるその他日本の部門別輸出比率を対角成分に持つ対角行列である。

以上より推定した輸出額(総額)が表-6 である。表によれば、90/92 年から 95/97 年の 5 年間に双方向の貿易規模が拡大している。日本側から北京への輸出の増加が相対的に大きく、 EX_B^T 、 EX_B^O が 2 倍弱程度増加したのに対し、 EX_T^B は 4 倍程度、 EX_O^B は 2.6 倍増加した。また、北京からの日本への輸入に対する東京のシェアは約 17%程度であるのに対し、日本から北京への輸出に占める東京のシェアは約 5%程度である。

表-6 都市間貿易額の推計結果

Unit: million Yen			
From Beijing	EX_B^T	EX_B^O	$EX_B^T / (EX_B^T + EX_B^O)$
90/92 (A)	6,151	31,220	16.5%
95/97 (B)	11,370	53,108	17.6%
(B)/(A)	1.85	1.70	
To Beijing	EX_T^B	EX_O^B	$EX_T^B / (EX_T^B + EX_O^B)$
90/92 (C)	1,655	36,116	4.4%
95/97 (D)	6,532	93,847	6.5%
(C)/(D)	3.95	2.60	
From/To Beijing	EX_B^T / EX_T^B	EX_B^O / EX_O^B	
(A)/(C)	3.72	0.86	
(B)/(D)	1.74	0.57	

4) 誘発効果の推計

上記で推定した双方向の貿易需要は、それ自体が生産側における直接生産効果であると同時に、それら直接生産のために、産業連関を通じて上流側へ次々と波及する間接生産効果を誘発する。この波及効果はそれぞれの生産地の域内産業への波及するものもあるが、中間投入財の移輸入を通じて域外の産業へも波及する。ここでは、それぞれの生産地の域内への波及効果とそれに伴って発生する CO₂ 排出を評価する。

各都市及び地域の直接生産効果として求めた前節の(1)、(2)式及び(7)、(8)式を各地域の Leontief 逆行列に掛けることで誘発生産効果を次のように求めることができる。

$$X_T^B = [I - (I - \hat{M}_T)A_T]^{-1} EX_B^T \quad (9)$$

$$= [I - (I - \hat{M}_T)A_T]^{-1} MS_J^T X\hat{S}_C^J EX_B^W$$

$$X_O^B = [I - (I - \hat{M}_O)A_O]^{-1} EX_O^B \quad (10)$$

$$= [I - (I - \hat{M}_O)A_O]^{-1} X\hat{S}_J^O MS_C^J IM_B^W$$

$$X_B^T = [I - (I - \hat{M}_B)A_B]^{-1} EX_T^B \quad (11)$$

$$= [I - (I - \hat{M}_B)A_B]^{-1} X \hat{S}_J^T M \hat{S}_C^J I M_B^W$$

$$X_B^O = [I - (I - \hat{M}_B)A_B]^{-1} EX_B^O \quad (12)$$

$$= [I - (I - \hat{M}_B)A_B]^{-1} M \hat{S}_J^O X \hat{S}_C^J EX_B^W$$

ここで X_T^B は北京への輸出による東京での誘発生産額、 X_O^B は北京の輸出によるその他日本での誘発生産額、 X_B^T は東京への輸出による北京での誘発生産額、 X_B^O はその他日本への輸出による北京での誘発生産額である。また、 $\hat{M}$ は右下のサフィックスが示す各地域における移輸出率を対角成分として持つ対角行列であり、Leontief 逆行列において域内の生産誘発額を求めるために移輸入財の寄与を控除するために用いる。 A は右下のサフィックスが示す各地域における技術係数行列である。

これらの式による誘発総額とその時点間推移に関してまとめたものが表-7 である。また、推定輸出額の誘発係数(直接生産効果に対する誘発生産効果の比率)の一覧は表-8 のとおりである。表-7 によれば、第一に、誘発額の規模に関しては、95 年のその他日本における誘発額が 1780 億 8800 万円で最大であり、逆に 90 年の東京における誘発額が 22 億 7700 万円で最小であった。第二に、各地の誘発額はこの 5 年間に於いて全て増大しているが、その倍率は直接推定輸出のそれと同様である。その他日本での誘発係数が 2.3 から 1.9 に下がったため、直接生産効果の時間変化が 2.6 倍であるのに対し、北京向け輸出によるその他日本での誘発額の時間変化は 2.2 倍であった。第三に、北京と日本側との誘発額の規模を比較すると、北京での誘発額は東京のそれに対し約 5.3 倍(90 年/92 年)から 2.3 倍(95/97 年)に規模が大きく縮小している。北京とその他日本との同様の関係も 0.75 倍(90/92 年)から 0.58 倍(95/97 年)へと若干縮小している。なお、北京と東京の間の直接輸出額について同様の比較を表-6 に基づいて行えば、3.7 倍(90/92 年)から 1.7 倍(95/97 年)となっているので、東京向け輸出による北京での誘発効

表-7 誘発生産効果

Unit: million Yen			
From Beijing	X_B^T	X_B^O	$X_B^T / (X_B^T + X_B^O)$
90/92 (A)	12,042	62,140	16.2%
95/97 (B)	20,686	103,630	16.6%
(B)/(A)	1.72	1.67	
To Beijing	X_T^B	X_O^B	$X_T^B / (X_T^B + X_O^B)$
90/92 (C)	2,277	82,379	2.7%
95/97 (D)	8,988	178,088	4.8%
(C)/(D)	3.95	2.16	
From/To Beijing	X_B^T / X_T^B	X_B^O / X_O^B	
(A)/(C)	5.29	0.75	
(B)/(D)	2.30	0.58	

表-8 生産誘発係数

From Beijing	X_B^T / EX_B^T	X_B^O / EX_B^O
90/92 (A)	1.96	1.99
95/97 (B)	1.82	1.95
To Beijing	X_T^B / EX_T^B	X_O^B / EX_O^B
90/92 (C)	1.38	2.28
95/97 (D)	1.38	1.90
From/To Beijing	$(X_B^T / X_T^B) / (EX_B^T / EX_T^B)$	$(X_B^O / X_O^B) / (EX_B^O / EX_O^B)$
(A)/(C)	1.42	0.87
(B)/(D)	1.32	1.03

果が相対的に大きいことになる。また、各地における直接輸出額 100 万円当りに換算した誘発額の比較は 1 倍前後となっていて、それほど大きな格差はない。第四に、各地への輸出による生産誘発係数計算した結果が表-6 である。これによれば乗数効果は 1.3 倍から 2.3 倍の範囲内にある。但し、東京での乗数が他と比べて低い。一般に、乗数効果はサービス関連部門が発展するほどに低くなる傾向にあるが、東京での低さはその反映である可能性がある。

5) 東京・北京間の経済と環境負荷の相互依存関係

ここでは、上記の直接、誘発生産効果に伴って、どの程度の環境負荷が誘発されているかを推計する。先に求めた部門別エネルギー消費原単位、CO₂ 排出量原単位をそれぞれの経済効果に乗じることによって、直接効果、間接効果、誘発効果を算定することが出来る。表-9 は(1)に直接エネルギー効果、(2)直接環境効果、(3)誘発エネルギー効果、(4)誘発環境効果の推計結果をまとめたものである。

まず、直接効果について考察する。直接エネルギー効果は 5 年間に、北京において対東京への輸出にともなう効果が若干減少しているのに対して、対その他日本への輸出にともなうそれは、約 2 倍程度増加している。同期間に対東京、対その他日本共に約 2 倍弱程度の直接生産効果の増加があったことを考えると、対東京への輸出品目構成が大きく変化し、エネルギー原単位の小さい品目にシフトしたことが推察される。この傾向は直接環境効果についても同様である。これに対して、東京における対北京への輸出にともなう直接エネルギー効果が 1.4 倍、同様にその他日本における直接エネルギー効果が 1.3 倍であった。対応する直接生産効果がそれぞれ 4.0 倍、2.6 倍と大きく拡大したことを考えると、日本における生産のエネルギー効率が大幅に改善されたか、あるいは輸出品目構成がエネルギー原単位の小さい品目にシフトしたことが考えられる。この傾向は直接環境効果においてさらに強められている。すなわち、東京やその他日本における単位エネルギー当たりの二酸化炭素排出係数は改善されていることが伺える。

これらの結果、東京から北京への輸出額が相対的に大きく増加しているにもかかわらず、北京における直接エネルギー効果は東京におけるそれより 58 倍大きかったものが、39 倍へと相互関係の格差は縮小している。これに対してその他日本においては 3.8 倍から 6.0 倍へと格差が拡大する結果となった。また、直接環境効果も同様に北京－東京間では 69 倍から 55 倍へと縮小し、北京－その他日本間では 4.7 倍から 8.7 倍へと増加する結果となった。

第二に、誘発エネルギー効果、誘発環境効果で同様の比較を行うと、北京における対東京の関係では、直接効果はエネルギーも環境もそれほど変化していないのに対して、誘発効果ではエネルギー、環境それぞれについて 1.7 倍、1.9 倍と大幅に増加している。これは北京から東京への取引品目の構成が生産誘発効果の大きな品目へシフトしたことが考えられる。また、北京からその他日本への取引についても誘発効果は直接効果より大きな増加であった。他方、東京から北京へ、その他日本から北京への取引についても誘発効果の増加はエネルギー、環境ともにいずれの場合にも直接効果の増加に比べて大きかった。これはより誘発効果の大きな製品の割合が高まったことが考えられる。北京－東京の相互関係の格差はエネルギーについては 75 倍から 61 倍に、環境については 94 倍から 86 倍へと減少した。逆に、北京－その他日本の相互関係の格差は、エネルギーについては 2.2 倍から 3.5 倍へ、環境については 2.8 倍から 5.0 倍へと増加した。ただし、この格差の広がり方は直接効果(3.8 倍から 6.0 倍、4.7 倍から 8.7 倍)に比べれば小さい。

表-9 エネルギー・CO₂排出効果のまとめ

(1) Direct energy effects

Unit: TJ(=10¹² J)

From Beijing	X_B^T	X_B^O	$X_B^T / (X_B^T + X_B^O)$
90/92 (A)	478.6	2,562.2	15.7%
95/97 (B)	447.5	5,103.9	8.1%
(B)/(A)	0.93	1.99	

To Beijing	X_T^B	X_O^B	$X_T^B / (X_T^B + X_O^B)$
90/92 (C)	8.3	674.0	1.2%
95/97 (D)	11.6	853.6	1.3%
(C)/(D)	1.40	1.27	

From/To Beijing	X_B^T / X_T^B	X_B^O / X_O^B
(A)/(C)	57.65	3.80
(B)/(D)	38.61	5.98

(3) Induced energy effects

Unit: TJ(=10¹² J)

From Beijing	X_B^T	X_B^O	$X_B^T / (X_B^T + X_B^O)$
90/92 (A)	832.9	4,694.2	15.1%
95/97 (B)	1,446.6	11,695.1	11.0%
(B)/(A)	1.74	2.49	

To Beijing	X_T^B	X_O^B	$X_T^B / (X_T^B + X_O^B)$
90/92 (C)	11.1	2,146.3	0.5%
95/97 (D)	23.8	3,336.5	0.7%
(C)/(D)	2.14	1.55	

From/To Beijing	X_B^T / X_T^B	X_B^O / X_O^B
(A)/(C)	74.77	2.19
(B)/(D)	60.77	3.51

(2) Direct environmental effects

Unit: Gt-C (=10⁹ t-C)

From Beijing	X_B^T	X_B^O	$X_B^T / (X_B^T + X_B^O)$
90/92 (A)	37.8	211.8	15.1%
95/97 (B)	39.3	466.0	7.8%
(B)/(A)	1.04	2.20	

To Beijing	X_T^B	X_O^B	$X_T^B / (X_T^B + X_O^B)$
90/92 (C)	0.5	45.6	1.2%
95/97 (D)	0.7	53.7	1.3%
(C)/(D)	1.31	1.18	

From/To Beijing	X_B^T / X_T^B	X_B^O / X_O^B
(A)/(C)	69.29	4.65
(B)/(D)	54.84	8.68

(4) Induced environmental effects

Unit: Gt-C (=10⁹ t-C)

From Beijing	X_B^T	X_B^O	$X_B^T / (X_B^T + X_B^O)$
90/92 (A)	68.1	395.3	14.7%
95/97 (B)	129.1	1,061.9	10.8%
(B)/(A)	1.89	2.69	

To Beijing	X_T^B	X_O^B	$X_T^B / (X_T^B + X_O^B)$
90/92 (C)	0.7	141.8	0.5%
95/97 (D)	1.5	214.4	0.7%
(C)/(D)	2.06	1.51	

From/To Beijing	X_B^T / X_T^B	X_B^O / X_O^B
(A)/(C)	93.70	2.79
(B)/(D)	86.03	4.95

本研究では 39 部門分類に統一した複数の連関表を用いて、北京と東京、北京とその他日本の相互の経済取引とそれによなう誘発環境効果の比較を行った。それによって 90/92 年では 94 倍、95/97 年では 86 倍という大きな誘発環境負荷の格差が計測された。つまり北京と東京間の相互貿易に起因して北京では東京に比べて約 100 倍近い CO₂ が排出されていることになる。他方で直接取引される貿易額は 90/92 年では 3.7 倍、95/97 年では 1.7 倍だけ北京から東京への輸出量が逆方向の東京から北京への輸出量より大きいに過ぎない。この間の格差の広がりは何によってもたらされたのであろうか。ここでは表-7 の結果をもとに要因分解を試みた。誘発環境効果の双方向格差は、(1)誘発生産効果要因(Induced production coefficient factor), (2) エネルギー原単位要因(Energy intensity factor), (3) 二酸化炭素排出強度要因(Carbon content factor)と、直接の取引額である(4)直接生産効果要因(direct production effects factor)を加えた 4 つの要因に分解できる。この結果を表-10 にまとめた^{注2}。まず、北京－東京では誘発環境効果の相互格差が大きく、しかし若干の縮小傾向にあるのに対して、北京－その他日本で

注2 完全要因分解による結果であるが、四捨五入して表示してあるため 4 つの要因ごとの格差の積は誘発効果の格差と一致していない。

は相互格差が相対的に小さいもののその格差は急速に広がっている。北京－東京では取引量の格差と誘発生産係数の格差は誘発環境効果の格差縮小に寄与し、逆にエネルギー強度や炭素強度は格差拡大に寄与している。特にエネルギー強度の格差が大きいことが特徴であり、さらにこの格差が 90/92 年から 95/97 年の間に大きく悪化していることが分かった。この原因として 39 部門のそれぞれの部門におけるエネルギー生産性が悪化した可能性と、品目構成がよりエネルギー効率の悪い品目へシフトした可能性の両方が考えられるが、どちらの要因がどの程度影響したかはここでは不明である。

次に、北京－その他日本の格差についてはその他日本から北京への輸出量が多いにもかかわらず、誘発環境効果は北京でのほうが大きいことをまず指摘しておかなければならない。この逆転も北京－東京での関係と同様にエネルギー強度、炭素強度の格差が大きいことが原因である。しかし、エネルギー強度の格差は北京－東京での格差に比べてば相当に小さく、中国と日本の間の技術格差によるエネルギー効率の差よりも取引される品目の構成による影響が大きいことが考えられる。これは東京がよりサービス化しており、サービス産業の経済取引が相対的に大きいことの結果であろう。すなわち、発展段階や産業構造の異なる都市が国境を越えて経済取引を行う場合、きわめて大きな環境的不均衡が発生することが示されたといえる。

表-10 環境誘発効果の相互依存格差の要因分解

Gaps	Induced environmental effects	Carbon content	Energy intensity	Induced production coefficient	Direct production effects
Beijing/Tokyo (90/92)	93.70	1.25	14.14	1.42	3.72
Beijing/Tokyo (95/97)	86.03	1.42	26.41	1.32	1.74
Beijing/Other Japan (90/92)	2.79	1.27	2.90	0.87	0.86
Beijing/Other Japan (95/97)	4.95	1.41	6.02	1.03	0.57

6) まとめ

本研究で得た知見を以下にまとめる。

北京における東京への輸出にともなう誘発CO₂排出量は、逆引き、すなわち東京における北京への輸出にともなう誘発CO₂排出量に対して、1990年/1992年で93.7倍、1995年/1997年で86倍大きい。環境負荷増大の要因は、(1) 北京側での単位エネルギー消費量当たりのCO₂排出原単位が1.3倍～1.4倍大きいこと、(2) 北京側での単位生産額当たりのエネルギー強度が14倍～26倍大きいこと、(3) 北京側での誘発(生産)係数が1.4倍～1.3倍大きいこと、(4) 北京からの輸出額が3.7倍～1.7倍大きいことの複合要因が積みあがった結果である。

(3) 中国におけるエコロジカル・フットプリントの推計

1) 地域別 EF の推計と地域相互依存関係

本研究は、名古屋大学が担当した。

a.はじめに

中国は 1970 年代後半から、輸出志向工業化政策を採用し、急速に工業化を推進してきた。その結果、1980 年から 2003 年までの年平均経済成長率が約 8.3%という驚異的ペースで経済成長を続け、国外の需要に加え、国内のインフラ整備や個人消費に関する需要も増大し、膨大な資源需要が発生している。例えば、粗鋼生産量は、2000 年の年間 1.3 億トンから 2006 年の 4.2 億トンとわずか 6 年間で 3 倍以上増加し、世界第 1 位となった。これは日米欧全体の生産量よりも多い。また、セメント生産量も 1997 年の 5.1 億トンから 2004 年の 9.7 億トンへと増大した。非鉄金属、石油化学製品、紙・パルプ等の資材の需要もやはり急増している。他方、沿岸部と内陸部での経済格差の拡大しており、大気汚染、水質汚濁、土壌流出などの環境対策に関する費用をどのように負担するかが大きな問題となっている。そこで、今後、環境対策に関する費用負担のあり方を検討するためには、経済と環境負荷の地域相互依存関係を明らかにする必要がある。



図-14 地域分類

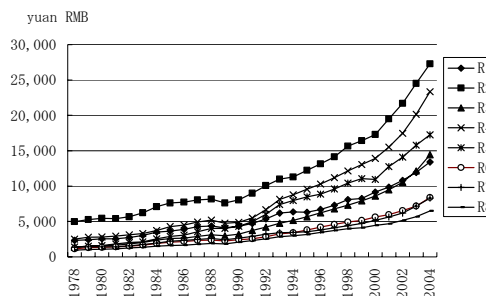


図-15 1人当たり GDP の推移 (1978-2004)
(2000 年価格)

本研究では、地域ごとの EF を推計し、中国における経済と環境負荷の地域間相互依存関係を明らかにすることを目的とする。ところで、従来、EF の推計では分析単位は国レベルであり、財・サービスの消費量からそれらを生産するのに必要な面積を算定する際、世界平均の生産性が用いられてきた¹⁷⁾。したがって、従来の EF の推計方法では、経済と環境負荷の地域相互依存関係は十分明らかにすることができない。そこで、本研究では、この問題を解決すべく、土地生産性や環境負荷の地域差を考慮するとともに、地域間産業連関表を用いて EF を推計し、経済と環境負荷の地域相互依存関係を分析した。分析には、アジア経済研究所から刊行されている中国地域間産業連関表（2000 年版）を用いた。この産業連関表は、経済圏を考慮して、中国を 8 地域に分類しており（図-14 参照）、産業分類数は 30 業種である。

なお、各地域別に EF を推計するにあたり、土地利用タイプを以下の 3 つのカテゴリーに分類した。すなわち、農用地（農林水産物の供給に必要な土地面積）、市街地用地（住居、工場、道路、鉄道などに使用される土地面積）、エネルギー用地（排出された CO₂ の吸収に必要な森林面積）である。以下に主な結果を記す。

各地域の特徴は以下のとおりである。中国で比較的所得が高く経済活動の中心になっているのは、北京市、天津市などを含む北部直轄市地区（R2）、上海市、浙江省、江蘇省を含む東部沿海地区（R4）、広東省、福建省、海南省を含む南部沿海地区（R5）である。逆に、所得が低いのは、西南地区（R8）、西北地区（R7）、中部地区（R6）である（図-15 参照）。

所得水準の違いは就業構造にも強く反映している。就業人口に占める農業従事者の割合は、2004 年には、10%を下回っている。他方、これらの地域では、第二次産業の割合が、他地域と比較して高い傾向がある（図-16 参照）。

b. 中国における地域別 EF の推計結果

図-17 に中国における地域別 EF の推計結果を示す。EF の全国平均値は、0.78ha/人であるが、地域間格差は大きい。最も少ないのは、R6（中部地区）で 0.42ha/人であり、最も大きな値を示したのは、R7（西北地区）で 2.39ha/人である。両者の間には 5 倍以上の差がある。

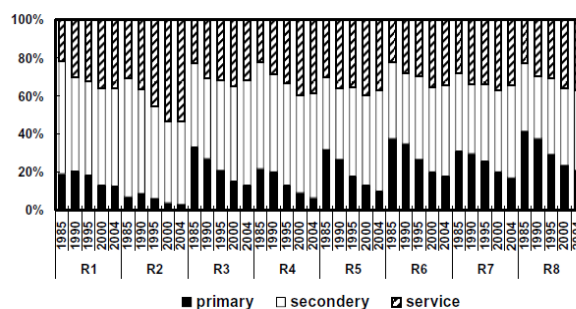


図-16 地域別就業構造（1985-2004）

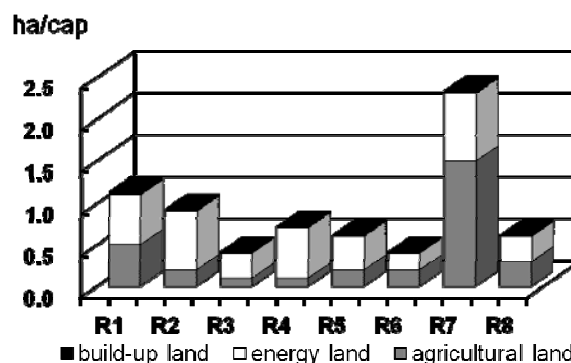


図-17 地域別 EF の推計結果

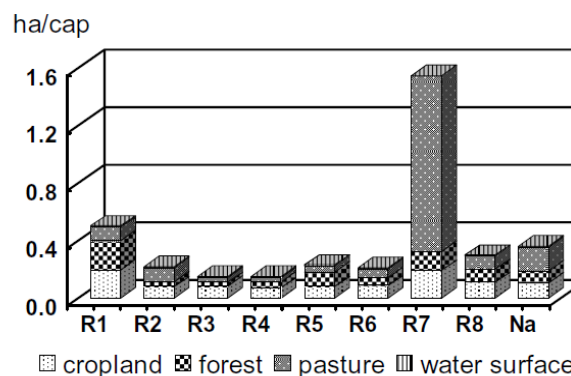


図-18 農業 EF の推計結果

R7でEFが大きな値を示したのは、農用地の利用量が多いことに起因しているが、これは牧草地を多く利用するためだと考えられる。図-18に農用地のEFを耕地、林地、草地、内水面の4種類に分けて推計した結果を示す。

また、R7を除いた地域は、エネルギー用地の占める割合が最も多く、EF全体の60%から75%を占めている。R7だけは、例外的に農用地の割合が最も多く、EF全体の65%を占めている。

資源供給能力と消費量の関係については、農地の場合、中国全体では両者の関係はほぼバランスしているが、地域別に見ると、比較的経済発展している地域において、農業のEFは自地域の農地面積を上回っている（図-19参照）。また、エネルギー用地の場合には、中国全体でも、地域別に見ても、CO2吸収に必要な森林面積が実際に賦存している森林面積を大きく上回っている（図-20参照）。

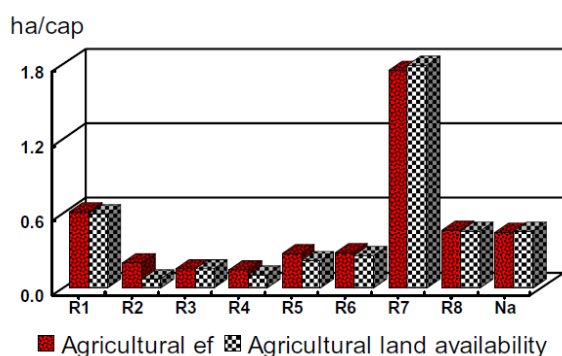


図-19 農用地と農地面積の比較

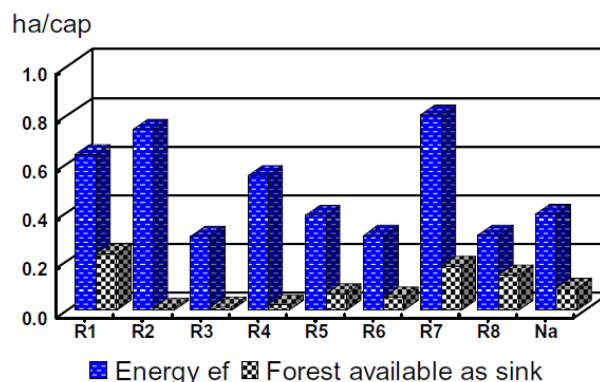


図-20 エネルギー用地と森林面積の比較

c.環境負荷の地域相互依存関係

表-10に環境負荷の地域間相互依存関係を示す。これは、各地域の消費活動に対して、どの地域で環境負荷が発生したかを示している。その際、消費地はR1～R8で示し、生産地はS1～S8で示している。例えば、R1（東北地区）を例にすると、当該地域の農林水産物需要をまかなうために利用された土地の合計を100%とすると、自地域の土地が使用された割合は89.5%であり、S2（北部直轄市地域）の土地は0.1%であることを示している。

この表より、経済水準が比較的高く工業化が進んでいる沿海部のR2（北部直轄市地域）、R4（東部沿海地域）、R5（南部沿海地域）は、自地域の消費で発生した環境負荷を他地域に肩代わりさせて

表-10 環境負荷の地域間相互依存関係（%）

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	Import	Total
R1	agricultural land	89.5	0.1	1.2	0.3	0.3	1.4	3.5	0.3	3.2	100
	build-up land	92.8	0.1	0.8	0.4	0.2	0.7	0.3	0.1	4.6	100
	energy land	87.4	0.2	1.1	0.7	0.3	0.9	0.8	0.2	8.4	100
R2	agricultural land	3.2	44.2	5.9	0.8	0.8	4.8	23.8	0.9	15.6	100
	build-up land	0.8	69.7	3.2	0.5	0.3	2.0	1.0	0.2	22.2	100
	energy land	0.7	68.7	4.7	0.7	0.3	3.4	1.3	0.2	20.1	100
R3	agricultural land	1.4	0.4	79.1	1.2	0.7	3.8	6.1	0.7	6.7	100
	build-up land	0.3	0.2	92.3	0.8	0.2	1.1	0.2	0.1	4.7	100
	energy land	0.6	0.4	83.6	2.4	0.4	2.1	0.7	0.3	9.6	100
R4	agricultural land	1.2	0.2	3.2	71.2	2.0	7.1	6.1	1.4	7.5	100
	build-up land	0.3	0.1	1.6	84.4	0.7	2.7	0.3	0.3	9.5	100
	energy land	0.3	0.1	1.2	80.3	0.8	2.6	0.4	0.3	13.9	100
R5	agricultural land	0.6	0.1	1.5	1.3	70.9	7.0	6.5	3.0	9.2	100
	build-up land	0.2	0.1	1.0	1.3	77.0	3.1	0.3	1.1	15.8	100
	energy land	0.2	0.1	0.8	2.0	70.5	3.0	0.5	1.1	21.8	100
R6	agricultural land	0.3	0.1	1.2	0.5	0.5	92.0	3.5	0.7	1.2	100
	build-up land	0.2	0.1	1.2	0.9	0.4	83.3	0.5	0.4	13.1	100
	energy land	0.4	0.2	2.0	2.9	1.0	84.7	1.5	1.0	6.3	100
R7	agricultural land	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1	0.4	96.0	0.2	3.0	100
	build-up land	0.3	0.1	0.7	0.3	0.2	1.1	94.4	0.4	2.4	100
	energy land	0.3	0.1	0.6	0.6	0.3	1.3	91.4	0.5	4.9	100
R8	agricultural land	0.2	0.0	0.4	0.2	0.5	1.5	3.9	92.4	1.0	100
	build-up land	0.1	0.0	0.6	0.4	0.6	1.5	0.5	94.4	1.8	100
	energy land	0.2	0.1	0.6	0.9	0.9	2.1	1.0	91.1	3.2	100

いる割合が高い。R2 を例にすると、自地域の消費にともない自地域で発生している環境負荷の割合は、農用地 44.2%、市街地 69.7%、エネルギー用地 68.7%である。逆に、沿海部の経済活動にともなう環境負荷を肩代わりしている主な地域は、R7（北西地域）、R8（南西地域）、そして海外である。

d. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- ① 中国における EF は、地域により大きく異なる。その大きな原因の 1 つは、畜産において放牧を行うかどうかが多く影響していると考えられる。
- ② 農産物に関しては、全国レベルで見ると EF と農地面積は、近い値を示した。しかし、CO₂ に関しては、全国レベルで見ると、それを吸収するのに必要な森林面積に対して、実際の森林面積は約 30% しかないことが分かった。
- ③ 経済水準の高い沿岸部は、自地域の消費で発生した環境負荷について、内陸部など他地域に肩代わりさせる割合が比較的高い。

2) 中国における農業生産性の変化とエコロジカル・フットプリント

本研究は、広島大学と名古屋大学が担当した。

a. はじめに

中国の一人当たり耕地面積は世界平均の半分以下とされるが¹⁸⁾、昨今の工業化や都市化の進展に伴いこの値はますます減少することが予想される。一方で、中国の人口は今後も増加を続けることが予想されており¹⁹⁾、急速に豊かになりつつ増加する人口の食糧需要を満たすためには、土地生産性の向上が不可欠である。一般に農業生産性の向上は、農地の近代化に伴う生産要素代替によって達成される。生産要素代替とは、伝統的投入要素である土地と労働力が、工業化に伴い大量かつ安価に提供される化学肥料(以下、肥料)、農業機械(以下、機械)に代表される農業資本に代替されることを指す^{20)、21)}。この過程で、単位面積当たりの収穫量、すなわち土地生産性は増加する。

図-21 は中国における 1978 年から 2004 年の穀物の反収と農業全体の肥料、機械、有効灌漑面積の変化について示した。肥料と機械の相対価格は 90 年代から低下しており²²⁾、それに伴い農業資本の投入量は年々増加している。これに伴って、穀物の反収も年平均 2.3% ずつ増加している。

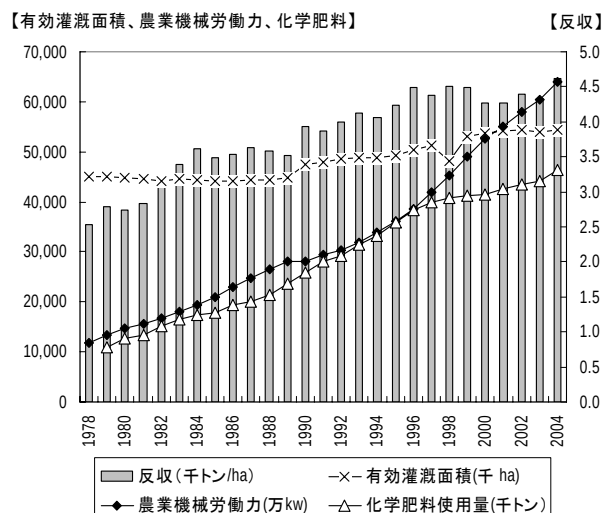


図-21 穀物の反収と農業資本投入量の推移

(出所：中国統計年鑑各年版²²⁾，新中国五十年農業統計資料²³⁾より作成)

こうして投入される大量の農業資本は土地と代替し、反収を増加させ、土地生産性の向上に寄与しているように見える。反収は作付面積あたりに収穫される作物の量、あるいは一定量の収穫を得るために必要な農地面積を表している。しかし、肥料や機械、灌漑面積などの農業資本製造過程や使用過程に付随して生じる環境負荷に対して必要となる土地面積(資本製造・使用過程から排出される汚染物質を固定・浄化するための土地面積や資本使用過程に排出される汚染物質を浄化させるために必要となる土地面積など)は考慮されていない。このような実際に投入された土地と、資本投入の背後にある環境的意味で必要となる土地面積を同時に集計する方法としてエコロジカル・フットプリント(EF)が知られている。EF は次元の異なるさまざまな環境影響を統合するために、資源の採掘に必要な土地、環境負荷を吸収、除去するために必要となる土地、道路や建築等に必要となる土地を含め、人間生活に必要とされる生態的な土地はどれほどなのか明らかにしようとする指標である^{17)、24)}。EF は、対象によっていくつか分類される。農業に関わる EF として、農業生産に投入される土地、すなわち農地(以下、直接土地面積)に加え、資本使用・製造過程から排出される汚染物質を吸収、除去するために必要となる「エネルギー用地」と「浄化用地」、灌漑に必要となる「灌漑用地」のような土地(以下、間接土地面積)が挙げられる。

本研究ではEFを表-11のように4つのタイプに分類し、これらを推計することを試みる。まず直接土地面積として、農業生産のために直接投入される土地面積をタイプ1とした。これは作付面積を表している。次に、間接土地面積として、燃料の消費によって排出された二酸化炭素を吸収するために必要なエネルギー用地(タイプ2)と、圃場に投入された肥料から、河川や地下水へ流出した窒素を浄化するために必要となる干潟を浄化用地(タイプ3)とした。また、灌漑を行うために必要となる集水域を灌漑用地としてタイプ4とした。

本研究では農業の生産性変化によってもたらされる環境的意味に着目するため、EFの年変化を分析する。ここでの論点は、農業の近代化にともなう土地生産性(反収)の向上によって節約される直接土地面積と、農業資本投入量の変化によって増加するタイプ2から4までの間接土地面積の合計のどちらが大きいかがである。もしある期間において、反収増加によって節約したタイプ1の直接土地面積以上に間接土地面積の投入増加分が大きければ、EFは増加(悪化)していることを示している。反対にタイプ1で節約された直接土地面積が間接土地面積増加分より大きければ、EFは減少(改善)しているということが出来る。

本研究では、中国農業部門を対象に、1985年と2003年の期間に変化したEFを評価することを目的

表-11 エコロジカル・フットプリントの分類

直接土地面積	
タイプ1	農業生産のために直接投入される土地 (直接土地面積)
間接土地面積	
タイプ2	燃料の消費によって排出される二酸化炭素排出を固定するために必要な土地 (エネルギー用地)
タイプ3	土壌から流出した化学肥料投入による窒素浄化に必要な干潟 (浄化用地)
タイプ4	灌漑のために必要な農業用水を得るために必要な集水域 (灌漑用地)

表-12 作物全体、作物別の土地収支

穀物	(1,000 ha)		その他作物	(1,000 ha)	
米	-6,386.3	41.4%	綿花	-3,278.2	21%
小麦	-95.2	0.6%	落花生	-275.3	2%
とうもろこし	-2,716.4	17.6%	菜種	-374.0	2%
大豆	-357.2	2.3%	たばこ	-1,247.7	8%
			サトウキビ	-785.1	5%
			ビート	79.8	-1%
穀物計)	-9,555.2	61.9%	その他作物計)	-5,880.4	38%
農作物全体計					-15,435.7

ノート) 土地収支：反収増加による土地節約分-2003年の間接土地-1985年の間接土地)

土地収支>0：EF surplus

土地収支<0：EF deficit

とした。また、中国のように大きな国土を持つ国では、農業気候帯が多様であり、反収や要素投入構造は省や作付け品目によって異なることから、省別・作付け品目別の推計を試みた。対象とした作付け品目は米、小麦、とうもろこし、大豆、綿花、落花生、菜種、タバコ、さとうきび、ビートの計 10 品目である。これらの地域別・品目別の EF の収支バランスを推計することが目的である。以下に分析結果を記す。

b. 中国全体の土地収支

1985年から2003年の2時点において、反収の増加によって節約された直接土地面積のEF減少分と、タイプ2からタイプ4までの間接土地面積のEF増加分の全国土地収支を品目別に表-12にまとめた。土地収支のプラスは、分析期間に反収の増加によって節約された直接土地より、農業資本製造や使用に付随して必要となる間接土地面積が大きいことを示しており、EFは悪化したといえる。一方、土地収支のマイナスは、間接土地面積の増加分と比較して、反収向上によって節約された直接土地面積が大きいことを示しており、この場合はEFが改善したといえる。ほとんどの作物でEFが悪化する結果となっている。特に米、とうもろこし、綿花は全体のEF 悪化に対する寄与が大きく、これら作物は反収の増加の伸びが小さかった反面で、農業資本の投入が大きく増加した結果、EFが大きく悪化したことを表している。中国全体の土地収支の合計は22.5百万ヘクタール強のEF 増加である。この土地収支の内訳は図-22に示した。反収の改善は直接土地面積27.1百万haの節約をもたらす一方で、そのために投入された農業投資に相当する間接土地として、農地の節約分を大きく凌ぐ49.7百万haのEFが必要となると評価された。とりわけ、肥料の製造と使用による間接土地面積と、灌漑用水集水域としての間接土地面積のEFが大きな割合を占めている。中国は現在世界第一位の肥料消費国であり²²⁾、大量の肥料の製造と投入によるEFの影響が大きい。

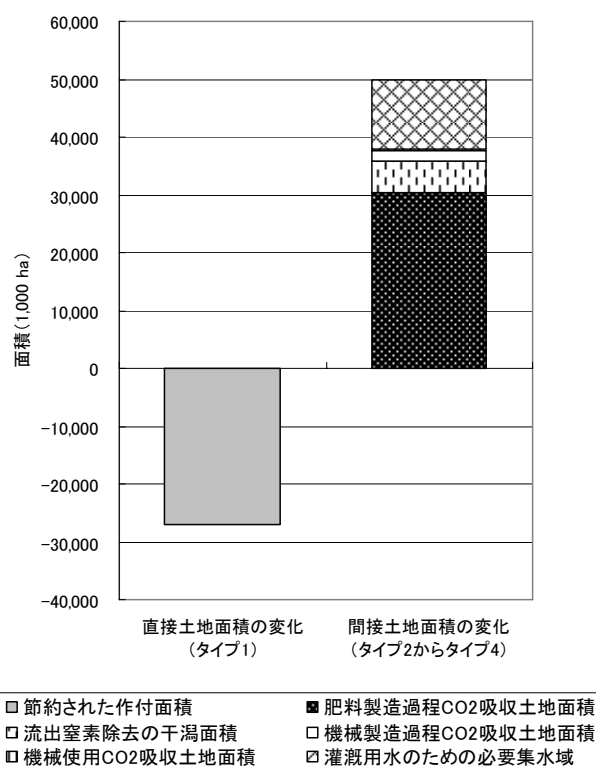


図-22 作物全体の土地収支の内訳

表-13 CO₂ 吸収と窒素除去能力の違いが
推計結果にもたらす影響

	CO ₂ 吸収能力 (ton-C/ha/year)	間接土地面積 (1,000 ha)	土地収支 (1,000 ha)
世界平均値 (グローバルヘクタール)	0.96	49,670	22,538
森林平均値	2.88	27,960	829
日本の森林(高山)	1.30	41,083	13,951
	窒素除去能力 (ton/ha/year)	間接土地面積 (1,000 ha)	土地収支 (1,000 ha)
日本の干潟平均値	0.56	49,670	22,538
最大除去能力 (園ノ州干潟:香川県)	2.30	45,607	18,475
最小除去能力 (剣見河人工海浜:千葉県)	0.06	98,279	71,148

本研究において、間接土地を推計する際に用いる原単位の選定が結果に大きく影響を与える可能性がある。そのため、ここでは本研究結果の解釈のために、特に影響が大きいCO₂吸収能力と干潟の窒素除去能力に関する原単位の違いが結果にどれほど影響を及ぼすかを評価しておく。表-5にCO₂吸収と窒素除去能力の評価基準を変えて推計を行った間接地面積と土地収支面積を示した。CO₂吸収については、表-13で示した森林平均値と同じアジア圏である日本の森林(高山)のCO₂吸収能力で評価した間接土地と土地収支を示した。CO₂吸収能力が大きい土地である森林の平均値を用いた場合では、土地収支は約0.83百万haのEF 増加に留まり、高山では14.0百万のEF 増加となった。また、表-3に示した日本の干潟・海浜において窒素除去能力が最も大きい園ノ州干潟の値を用いた場合においても、土地収支は18.5百万haのEF増加となった。いずれも単一の原単位を変化させた場合にはEFは増加(悪化)するものの、これらを複数組み合わせで評価した場合、EF収支の符号が変わる可能性もあることが分かる。これら原単位の精度向上は今後の課題である。

c.省別の土地収支

図-23に省別の農作物10品目の合計の土地収支と、中国の主な穀物である米、小麦、とうもろこしの土地収支を地図上に示す。農作物合計は、ほぼ全国でEFは増加しており、特に北部で大きくEF増加を示している。穀物別でみると、米は南部や沿海側でEF増加を示している反面、小麦の北部ではEF減少を示している。これは小麦は北部地域では土地生産性の向上が大きいことを意味している。とうもろこしでは全国的にほとんどEF増加を示しており、特に中部で大きくマイナスとなっている。このように地域や品目によって特徴があることが伺える。

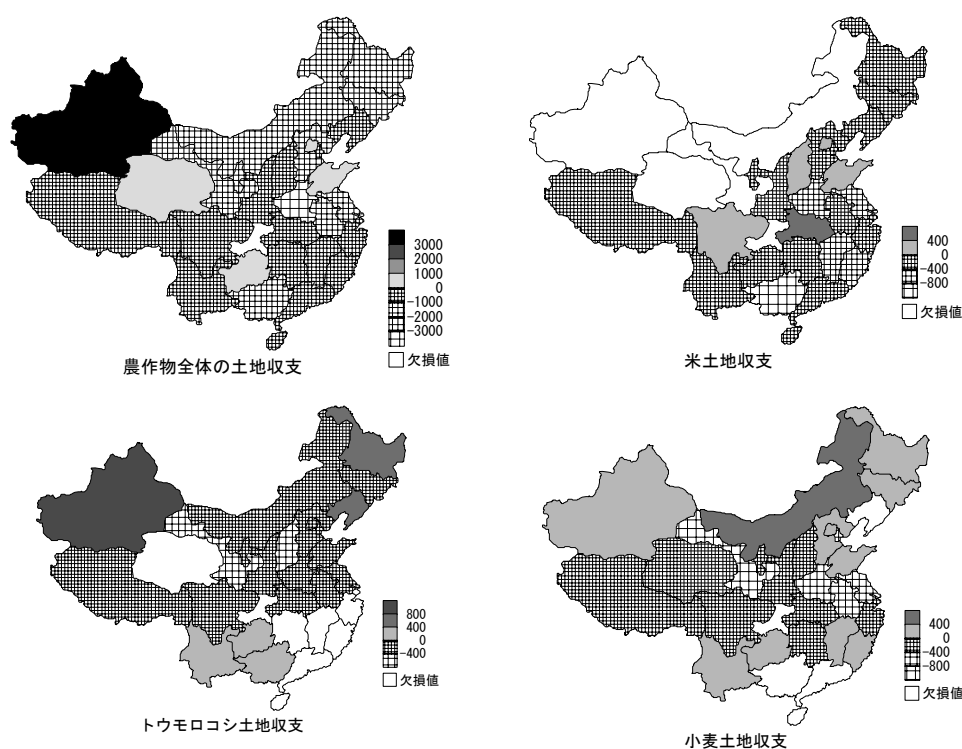


図-23 省別の農作物合計と作物別の土地収支(1,000ha)

d. まとめ

本研究では中国の 1985 年と 2003 年の 2 時点を対象に、米、小麦、とうもろこし、大豆、綿花、落花生、菜種、タバコ、さとうきび、ビートの 10 品目について、反収の増加による土地節約分と農業資本製造、投入過程に付随して必要とされる EF の変化分を土地収支として比較し、品目や地域によってどのように土地投入構造が変化したのか分析を行った。

本研究では、以下の点が明らかになった。

- ①1985 年と比較して 2003 年における中国農業の反収は増加したが、土地生産性を向上させるために投入された肥料、機械、灌漑面積に付随して必要となる間接土地投入の増加分は、データの制約上、多くを日本の原単位を用いているため過小評価になっている可能性があるにもかかわらず、反収の節約に比べて 22.5 百万ヘクタール強ほど大きくなっている。
- ②特に、米、とうもろこし、綿花では、反収の向上による直接土地の節約分以上に間接土地の投入が大きくなっている。
- ③省別の土地収支では、農作物全体として、北部の土地収支は大きくプラスになっており、大きく EF が悪化している。
- ④中国の主な穀物である米、小麦、とうもろこしの土地収支を比較すると、米は南部と沿海部が EF が悪化しており、とうもろこしと小麦の生産によって内陸部で EF が悪化する結果となっており、地域や品目によって EF の値は異なることが確認できた。

(4) EF 分析：欧州・英国・豪州におけるエコロジカル・フットプリントの活用事例の分析

本研究は、同志社大学が担当した。

人間経済活動の内包的環境負荷を表す指標の一つであるエコロジカル・フットプリント (Ecological Footprint: EF) 指標は、1990 年代にカナダのブリティッシュ・コロンビア大学で開発された²⁵⁾。近年、EF は、持続可能性 (サステナビリティ) 評価指標として、欧米諸国を中心に世界的に注目されつつあり、一般市民の啓発のための指標として広く応用されているばかりでなく、政策立案を支援するツールとしても実際に応用されて始めている。

我が国でも、第三次環境基本計画の進捗状況を判定するためのモニタリングツールのひとつとして EF 指標を採用する主旨が閣議決定されており (2006 年 4 月)、さらに応用のための検討を行う検討会が設置されている。また、このツールを応用したいと考えている地方自治体や企業も増えつつある。しかし、全体的に鳥瞰すれば、我が国での EF 指標の普及は進んでいるとは言い難い。この指標が持続可能な社会構築のために大いに貢献できると考えられている欧米諸国と、そうした認識が薄い我が国の間には大きなギャップが存在する。

以上のような背景を踏まえ、海外各国の応用事例を精査することを通し、成否の要因を分析することによって、我が国でのこの指標の普及に向けての教訓を導く必要性が認められる。また、この指標は発展途上にある指標である。EF が有用なツールとして世界各地でますます活用されるためにはさらなる工夫や改善が必要であると考えられる。

1) 欧州共通指標プロジェクト

ヨーロッパにおける自治体の持続可能性の達成度を地域横断的に 10 の共通指標で計測することを目的とする欧州共通指標プロジェクトが 2000 年から 2003 年にかけて実施された。その内、「気候変動への寄与度」という指標の代替的・補完的指標として、EF が特別枠で重点研究の対象となった。このプロジェクトへの加盟自治体数は 144 となり、実際に指標を使ってデータを収集し事務局に回答を送付した自治体は、全体の 29%に相当する 42 自治体となった。これらには、スペインのバルセロナ、英国のバーミンガムなどの大都市も含まれ、42 自治体の住民総数は、1 千 500 万人を超える。

2) 英国政府のエコロジカル・フットプリントの活用

英国での EF の調査研究は 100 以上に上る。その中でも最も規模の大きいものは、英国政府による「エコ・バジェット・プロジェクト」であろう。このプロジェクトの第一の目的は、マテリアル・フロー分析、マテリアル・バランス分析をもとに、英国の広域地域区分（12 区分）の「物量産業連関表」（Physical Input-Output Table, PIOT）を構築することである。さらに、政策シナリオ毎のエコロジカル・フットプリントを容易に計算できるパソコン・ソフトを開発することが二つ目の目的である。このソフトは、「資源エネルギー分析プログラム」（Resource and Energy Analysis Program, REAP）と呼ばれるが、2005 年秋に完成。

3) 英国内の各政府・自治体の EF の応用

英国での地方、自治体レベルのエコロジカル・フットプリント計算は 30 以上に上る。ここでは、ウェールズと、カーディフ市の例を取り上げた。

a. ウェールズ議会政府

ウェールズ議会政府は 2002 年、世界で初めて国家として公式に EF を持続可能性指標の一つとして採用し、資源消費をモニターしてゆくことを宣言した。この背景となっているのが、ウェールズ政府法である。この法律には、ウェールズ政府の法的義務として持続可能な開発を進めるスキームを作成することと明記されている（1998 年「ウェールズ政府法」・法的義務 121 節）。この義務規定に基づき 2000 年に「持続可能な開発スキーム」（第 1 版）が策定され、持続可能性をモニターする指標の必要性が指摘された。2001 年には、12 の持続可能性指標が選定され、その中に、EF が含まれた。EF が選ばれた理由は、ウェールズ内の資源消費が、地球環境に及ぼす負荷をよく表現できるというものであった。こうして、2003 年から、6,000 万円規模の予算でウェールズ・EF・プロジェクトが開始された。首都のカーディフと小都市のボンゴー市でのパイロットプロジェクトが実施されている。ただし、ウェールズ政府は、EF の数値を継続的に測定してゆくことを政府として決定しているものの、EF 数値をもとに政策変更を加えるか否かについては未定である。

b. カーディフ市

カーディフ市はウェールズの首都（人口 30 万人）。2000 年に発行された『カーディフ市持続可能性戦略』（Local Sustainability Strategy for Cardiff）の中に、「ウェールズの中で、カーディフ市は地域内のみならず国際的な『持続可能性』を促進する特別の役割を担っている」と記された(para.7.3、p.27)。

以上の理念に基づき、カーディフでは、「持続可能性」を評価する指標を選定する作業を実施した。EF や生物多様性などの指標が採用された。

このプロジェクトの中心となったのが、「持続可能な開発ユニット (Sustainable Development Unit, SDU)」。各部局の政策担当者からデータの提供を受けつつ、EF 計算に必要なデータ集積を進めた。結論の一部として、“ビッグヒッター” (EF を大きくしている要因) として食料消費が明らかになった (30%)。特に、季節はずれの食材を使用した加工食品は EF を拡大する。これを有機栽培、且つ旬の食材を中心とする食事に変更することで下げることができる。既に、EF による政策評価結果が実際の政策変更に結びついた例もある。例：市内の小中高等学校 (総数 140 校) の給食用の牛乳がすべて有機牛乳へ変更された。

(考察) 以上のようにカーディフでのプロジェクトは着実に進展していると言えよう。プロジェクトが進展してきた要因としては、文献調査と聞き取り調査から、以下の点が浮かび上がった。

- i) 一般市民、政治家、官僚の間にエコロジカル・フットプリント指標の有用性に対する認識が共有されていたこと。
- ii) ウェールズ議会政府の後ろ盾があったこと。特に、ウェールズ首席大臣ロードリィ・モーガンがエコロジカル・フットプリントの導入に積極的であったこと。議会政府もこれを了承した。
- iii) 持続可能な開発ユニット(SDU)の精力的で地道な活動。とりわけ、アレン・ネザーウッド氏の役割は重要である。氏の博士論文テーマは、「持続可能性概念を如何に政策に組み入れるか」というものであった。理論を実践に結びつけようとしている顕著な例である。
- iv) 各政策担当者が自らデータを提供したことにより、エコロジカル・フットプリント計算に使用されたデータに対する信頼感が政策担当者間で共有されたこと。
- v) 各方面の協力が得られたこと。すなわち、カーディフ大学 (データ収集)、企業 (データ提供)、研究機関 (SEIY によるエコロジカル・フットプリント計算)、NGO (WWF ウェールズなど、広報、啓蒙)。また、運営グループ (steering group) を形成したことも大きかった。
- vi) 産業界からの寄付 (廃棄物処理企業) を得ることが出来たこと。

c. カーディフでの FA カップ EF 計測事例

カーディフのミレニアムスタジアムにおいて、FA カップという、国内のチームのみが参加できるサッカーイベントとしては、世界で最大規模の大会が毎年開催される。このイベントには、毎回全英から多数の観客が駆けつける。このようなイベントによる環境負荷の発生は無視できない。観客や選手、大会役員、警備員らの往来に伴う二酸化炭素排出量、廃棄物発生量が増え、ビールや食品など様々な資源消費量が急激に増えることが予想された。そこで、FA カップ開催に伴うこれらの環境負荷の実態を把握する必要性が認識された。

ウェールズ大学の Alan Flynn 氏、Dr. Andrea Collins 氏および、ストックホルム環境研究所ヨーク支部 (SEIY) の Dr. John Barrett 氏たちの研究グループが大会の決勝戦 (マンチェスター・ユナイティッド対ミルウォール) 1 試合に伴うエコロジカル・フットプリントを計測した。この試合には、7 万 3 千人の観客が集結。

2012 年のオリンピック獲得を目指すロンドン市のオリンピック誘致の担当官は、この FA カップの計算結果を参考にし、ロンドンオリンピックは環境への負荷が少ないオリンピックにすると宣言した。誘致の戦略として、「地球一つのオリンピックを目指して！」をキャッチフレーズとして採用。つまり、

エコロジカル・フットプリントを下げ、地球一個の環境収容力の範囲内でオリンピックを行なえるようにしたいと述べている（BBC Radio 4（インターネット放送）、2005年5月21日付）。

4) 欧州における EF の環境教育・環境マーケティングへの応用

英国のウェールズ、イングランドでのエコロジカル・フットプリント指標の環境教育や環境ビジネスへの活用事例について、文献調査、現地での聞き取り調査を実施した。その結果、以下の点が明らかになった。

a. 英国ウェールズの代替技術センター（CAT）による環境教育への応用

ウェールズのマッキンレスには、代替技術センター（CAT）という環境NGOが存在する。CATでは『スモール・イズ・ビューティフル』の著者シューマッハーが提唱した「適正技術」にあたる「代替技術」を開発し、それを展示・実用化している。また、小中高校、大学、さらには大学院などの教育機関からの委託業務として環境・エネルギー教育の授業を実施し、その中には小学生用のエコロジカル・フットプリントの授業が用意されている。小学校初級レベル用の「エコロジカル・フットプリント・カード・ゲーム」は、消費財（たとえば、缶ジュース）の製造から廃棄までのライフサイクルの各段階を生徒に述べさせ、土地カテゴリーが描かれたカードと対応させてゆく教材である。また、「世界地図とエコロジカル・フットプリント」は、1人が10億人を代表し、6人で60億人の世界人口をカバーする小学校中級レベルのゲームである。このゲームでは、まず床の上に拡げられた世界地図の陸地部分に6人が立つ（陸地は6人がぎりぎり収容できる広さに設定してある）。次にその中の1人が3倍の大きさの靴に履き替える。その結果、他の誰かが陸地部分から追い出されるなどの影響が出る。エコロジカル・フットプリントの拡大による影響や反応を観察し、資源アクセスの公平性について考え、議論させるというゲームである。

CATでのエコロジカル・フットプリントの環境教育への応用は、小学生向けであり、具体的な数値を計算させるものではないが、我々の資源消費がいかにひろい土地面積を必要としているのかについて認識させ、また、有限な資源を公平に分ち合ってゆくための倫理観を涵養する貴重な教材と言えよう。

b. 環境教育と環境マーケティングの融合：「地球一個分の暮らし」プロジェクト

英国では、NGOのバイオリージョナル・デベロプメント・グループ（BioRegional Development Group）とWWFが共同で「地球一個分の暮らし」（“One Planet Living”）という環境教育と環境マーケティングが一体となったプロジェクトを展開している。人々の一人当たりエコロジカル・フットプリントを公平割当面積に抑えてゆく、すなわち、宇宙船地球号の乗組員がそれぞれの公平シェアの範囲内で暮らし、人類全体として「地球一個で暮らせる」持続可能な地域社会を世界各地につくろうというプロジェクトである。具体的には、以下の3つの目標を掲げている。

(i)「地球一個で暮らせるコミュニティ」の世界的ネットワークを構築する。(ii)「地球一個で暮らせるコミュニティ」内に「地球一個の暮らしセンター」を設置する（環境教育用）。(iii)「地球一個の暮らし」を実現するために、政府、企業、個人レベルでの変革を促進する。

当面5つの大陸にそれぞれ最低5つの「地球一個で暮らせるコミュニティ」を建設することを目指している。最初に建設されたのが、ロンドン郊外のベディングトン市につくられた「ベドゼッド」

エコビレッジである（2002 年 7 月完成）。これについては以下に述べるが、ベドゼッドでの教訓を生かしつつ、現在、ロンドン東部のテムズ河沿いの工場跡地に二千世帯・五千人分のエコビレッジ建設計画が進みつつある。また、ポルトガルのマタ・デ・セシンプラでは、エコ建築、エコツーリズム、自然保護、森林再生の 4 種類のプロジェクトを結びつけた 5,200 ヘクタールの広大なエコビレッジ計画が進行中である。上海でもバイオリージョナルの支所が開設され、アジアでのプロジェクトの展開を目指している。

c. 「ベドゼッド」エコビレッジ

「ベドゼッド」は、Beddington Zero Fossil Energy Development（＝ベディングトン化石エネルギーゼロ開発）の略である。ここでは、化石エネルギー使用を極力ゼロとするため、廃材チップを利用するエネルギーシステムを採用している。廃材チップを敷地内に設置されているプラントにおいて電力と熱に変換する。電力不足時は電力会社から購入し、余剰分は逆に売却している。また、建築材の多くは廃屋材を再利用し森林資源への依存度低減を目指した。キッチンからの水を濾過し水洗トイレ用水として再利用している。さらに屋上緑化を施し夏の暑さを緩和している。マーケティング用パンフレットの中に、エコロジカル・フットプリント概念を使いつつ、「地球一個分の暮らし」を目指そうと呼びかけ、資源消費過剰なライフスタイルからの脱却をベドゼッドに暮らすことで実現しようと訴えている。実際には、エネルギーや水の消費量は家庭の意識によって大きく左右されとの追加説明もあった。分譲価格は近隣の住宅地とほぼ同じであるが、住民の生活満足度は高い。因みに、最寄りの鉄道駅まで徒歩で 5 分、ロンドン中心部への通勤時間は約 30 分である。筆者が見学に訪れた時は、偶然フランスから 40 名の建築家集団が視察に訪れており、英国内だけでなく国際的に注目されていることを物語っていた。ここでの取り組みは、前述の『生きている地球レポート』2004 年度版の中で紹介されている。

その他、バイオリージョナルは木質繊維に代わる製紙用繊維を選定するための選定プロジェクトを実施し、その結果に基づき、亜麻や麻の繊維利用による製紙工場を英国内に建設した。このようにバイオリージョナルは収益を確保しつつ環境ビジネスを展開しようとしている。財政的な持続性も大切だと考えているのだ。スタッフの給与は決して高くはないが、地球環境の持続性に対する志は高い。オックスフォード大学卒のスタッフも数名抱え学歴も高い。

5) 豪州・西オーストラリア州における EF の政策利用の現状と課題

西オーストラリア州政府は『州持続可能性戦略』（2003 年）において「2020 年までに西オーストラリア州の環境資源効率を 4 倍に増大させ、州経済のエコロジカル・フットプリントを半分に削減する」という期限付 EF 削減数値目標を設定した（世界初）。この戦略はあらゆる分野を網羅している。持続可能性評価、環境情報の公表、政府機関等の組織改革、開発援助、生物多様性、エネルギー、農林水産業、鉱工業、観光業、水資源・海洋・草地管理、まちの活性化、居住環境、建築、都市デザイン、交通輸送計画、大気、廃棄物管理、文化遺産保護、教育、文化多様性、企業の社会的責任、資本投資、資源効率と産業エコロジーなど多岐に渡る。この戦略は、サステナビリティという根源的理念を具現化するための州政府全体を巻き込む行政改革であるばかりか、州内の様々な組織(コミュニティ・産業界・行政)の意識改革・構造改革という性格を帯びている。

戦略に掲げられた 336 の行動計画のうち、多くの計画が既に実施され始めている。持続可能性戦略

の担当官（首相内閣府）は3人のみであるが、各行動計画について担当政府機関が定められており、6ヶ月毎に進捗状況を首相内閣府に報告しなければならない。また、市民・産業界・行政の専門家から構成される「持続可能性円卓会議」が設置されたが、この円卓会議の使命は、行動計画を実施してゆくため、市民＝行政、産業界＝行政のパートナーシップを形成し、行動計画および持続可能性の進捗状態の監視を行なうことである。これら重層のチェックシステムが機能すれば、戦略が成功する可能性は高い。ただし、EFの算定方法には未確定部分が残されているため、正式な計算はまだ実施されていない。

6) スイス連邦政府の事例

1999年の憲法改正において、持続可能な発展の概念が盛り込まれた。この条項を基盤に、2002年『持続可能な発展のための戦略』が制定され、持続可能性への進捗状況を長期的にモニターすることが定められた。そのための手法として120の指標が定められ、この多数の指標の幾つかを束ねる17の主要指標が選定された（これらの指標群は「MONET」と呼ばれる）²⁶⁾。ところが、これらの多数の指標群が、総体として何を意味するかについては、一般市民には理解しづらいと考えられた。そこで、市民にも理解しやすい総合指標が模索され、エコロジカル・フットプリントが検討された。

2006年、スイス連邦政府は、米国カリフォルニア州に本部を置く民間シンクタンク、グローバル・フットプリント・ネットワーク（GFN）の各国別エコロジカル・フットプリント計測方法について精査した²⁷⁾。その結果、マイナーな問題点の発見があった以外は、大きな問題もなく、信頼に足るという判断をした。今後、GFNが発表するスイスのエコロジカル・フットプリント計測値を毎年、スイス連邦政府が発行する統計年鑑に発表してゆくことを決定した。国家として自国のEF値を政府刊行物に公式発表するというのは、ウェールズに次いで世界で2番目である。スイス国際開発協力庁も関与しているため途上国の開発問題と関連させてEF指標を使用している点も特徴的である²⁸⁾。

7) 以上のケース・スタディーからの総合的考察

・エコロジカル・フットプリント(EF)の応用に関して、欧州では応用事例は着実に進展している。ウェールズのカーディフ市では、限定的ではあるが、EFの結果に基づき政策変更が行われた。英国内でエコロジカル・フットプリントを実際に応用しようとする政治家、官僚、市民が増加している要因としては、教育者、ジャーナリストなどによる啓蒙活動の活発化、関連出版物やウェブサイト数の増加、欧州全体におけるエコロジカル・フットプリントへの関心の高まりが指摘できる。

・欧州ではEFの計算を専門とするコンサルタントや研究者、専門家集団が育っている。コンサルとしては、ベスト・フット・フォーワード（BFF）。研究機関としては、ストックホルム環境研究所ヨーク支所（Stockholm Environment Institute-York: SEIY）、カーディフ大学・ビジネス関係・説明責任・持続可能性・社会研究センター（Cardiff University, Centre for Business Relationships, Accountability, Sustainability and Society）、マンチェスター大学・都市地域エコロジーセンター（The University of Manchester, The Centre for Urban and Regional Ecology:）、Cambridge Econometrics（ケンブリッジ・エコノメトリックス）など。

・持続可能性指標であるEFの削減目標を期限付きで『州持続可能性戦略』に取り入れた西オースト

ラリア州の取り組みは、世界初の試みとして評価できる。実現に向けて策定された具体的な 336 の行動計画の多くが実行に移されていることも高く評価される。課題として残されている点は、EF の計測手法の細部の詰めが完了していないことである。

- ・ スイスの事例は、日本の第三次環境基本計画のモニタリングの参考になると考えられる。

(5) 原子力発電の「隠れたフロー」と廃棄物管理のエネルギー・エコロジカル・フットプリント分析

本研究は、同志社大学が担当した。

原子力エネルギーのエコロジカル・フットプリントの計算方法については、研究者の間で議論が分かれている。国別エコロジカル・フットプリント計算を 2 年毎に公表している GFN が採用している手法は、原子力によって発電されたエネルギーを化石燃料を燃焼させる火力発電で代替して発電した場合に発生する二酸化炭素を吸収する森林面積を計算するという方法である。GFN としてはあくまでこの方法は暫定的な手法として考えている。国際的にもより優れた手法を考える必要性が認識されている。現行の暫定手法では、特に、「隠れたフロー」や使用済み核燃料などの環境影響や管理コスト、を十分捕捉できているとは言えない。国際的に繰り広げられている方法論の議論に資するため、原子力エネルギーに伴う環境負荷の基礎的情報の整理と共有化が第一に必要と考えられた。そこで、まずは、核燃料サイクルの入口としてのウラン鉱山開発に伴う環境負荷について、現地調査をもとにウラン残土などの「隠れたフロー」、放射性物質、化学物質などの有害物質排出の実態を解明し、ウラン鉱山開発が地域社会や生態系にもたらす環境影響について論点整理した²⁹⁾。使用済み核燃料等の放射性廃棄物の長期的管理については、既存の研究をもとにエコロジカル・フットプリントへの反映方法について考察を加えた。

1) 事例研究：(豪州・北部準州のカカドゥ国立公園内のレンジャー鉱山とジャビルカ鉱山)

ケース概要：現在カカドゥ国立公園は世界自然遺産と世界文化遺産に指定されている。1960 年代末にウラン鉱脈が発見され以後開発が進められてきた。レンジャー鉱山は露天掘りであるが、隣接して坑道掘りのジャビルカ鉱山がある。先住民たちは、ウラン開発には反対し続けてきた。生態系の汚染、健康への影響、歴史的遺産の岩壁画が、掘削時の爆発の振動、砂埃で劣化することへの懸念。「変化」そのものへの拒絶などが理由である。

a. レンジャー鉱山の環境影響

レンジャー鉱山の開発は、1980 年開始。開発主体は民間企業の ERA (Energy Resources Australia)。製品は、原発用濃縮ウランの原料である八酸化三ウラン (U_3O_8)。2008 年掘削停止予定。2011 年精錬作業停止予定。現在、「Closing Criteria (閉山管理基準)」が ERA 社、先住民、連邦政府の間で議論されている (閉鎖前後の有害鉱滓やウラン残土を管理し、環境をリハビリテーションしていく基準・枠組み)。

国立公園内でもあり、また、世界遺産 (自然と文化の両方の混合遺産) 内にあることから、連邦政

府の厳しい監視の目が行き届いている。しかし、多くの問題点が明らかになっている。

表-14：レンジャー鉱山の過去 25 年間の累積製品出荷量と「隠れたフロー」総計

(製品／収益／物質)	質量／額	備考
八酸化三ウラン出荷量	79,214 トン	通称「イエローケーキ」 (出荷された製品の約 40%が日本で利用)
収益総計	16 億 6350 万豪ドル	税引き前の額
ウラン鉱石とウラン残土の質量	1 億 1950 万 2 千トン	製品の 1,509 倍
尾鉱池に蓄積されている物質総量	233 万トン	製品の 30 倍
尾鉱池に蓄積されている八酸化三ウラン	7,598 トン	出荷された量の 10%

b. レンジャー鉱山が抱える問題点

i) 連邦政府が定めている周辺河川の水中ウラン濃度許容基準は、5.8 マイクロ g/liter。周囲の観測点で 439、174、20、26 マイクロ g/liter などの許容基準を大幅に超える数値を記録する事態が過去に起こっている。

ii) 雨季に豪雨が何年かに一回発生する。この時、フィルター池が長期間にわたり吸収固定したはずのウランやその他の有害物質が放出される。「管理放流」という言い方をしているが、長期的に見れば「垂れ流し」に他ならず、放射性物質を含む有害物質は食物連鎖を経て生物濃縮してゆく。重金属としては、カドミウム・鉛・亜鉛・銅・ウランなどが含まれ、放射性核種としてウラン・錫・トリウム・ポロニウム・ラジウムなどの有害物質が放出されている。

iii) 重大事故が多発している。

(例 1) 2004 年 3 月 23-24 日 飲用水用のパイプと製造過程で使われた水が入ったパイプが誤って連結された。飲用水から 8000 マイクロ g/L のウランが検出された。飲用水を飲んだ作業員が被曝。ただし、ERA 社は、健康障害を否定。根拠は示されず。

(例 2) 2002 年 2 月 26 日 低品質のウラン鉱石が指定区域以外に投棄され、コリダー・クリークで 2000 マイクロ g/L のウランが検出された。(ERA は、8.8 マイクロ g/L を管理基準としている)

(例 3) 2000 年 9 月 2 万リットルの尾鉱(残滓)を含む液体が尾鉱池(残滓池)から流出。

(例 4) 2000 年 4 月 200 万リットルの尾鉱(残滓)を含む液体がパイプから流出。

(例 5) 2000 年 2 月 フィルター池(RP1)からクーンジンバククリーク、マジェラクリークへの流出(41 マイクロ g/L のウランが検出された。)

(例 6) 1999 年 1 月 27 日フィルター池(RP1)からクーンジンバククリーク、マジェラクリークへの流出(70 マイクロ g/L のウランが検出。)

iv) ERA の環境保護担当者は当然環境保全を意識しているが、製造担当者の意識は利益優先であり、環境汚染を軽視する傾向がある。社内でのちぐはぐな対応が指摘されている。

v) ERA によるデータ改竄の疑惑も指摘されている。

c. ジャビルカ鉱山(地下掘削)が抱える問題点

ジャビルカでのウラン鉱脈は 1970 年代前半に発見された。しかし、住民の反対運動のため、開発は

1998年に持ち越された。稼動した期間：1998年6月～1999年9月の1年4ヶ月間。

i) その間に、10万4千トンの鉱石が掘削され、鉱石備蓄場には鉱石が山積みされ、尾鉱池には有害残滓が蓄積されている。鉱石備蓄場や尾鉱池からの放射性物質等の汚染物質の流出（特に雨季における大量流出）が危惧されている。

ii) 地下水脈の構造が未知であり、地下水脈への汚染物質流入の実態が明らかにされないまま放置されている。

d. レンジャー鉱山・ジャビルカ鉱山の調査からの結論

i) 連邦政府による厳密かつ公正な監視体制は一見機能しているように見えるが、問題は多発している。

ii) 平常時でも地下水のウラン濃度が異常に高い地点がある。ジャビルカ鉱区では、地下水脈の構造が不明。ラドンの気体は常に発生しているが、モニタリングが不十分である。

iii) 豪雨時にフィルター池で蓄えた有害物質（ウラン、カドミウム、鉛、硫黄分など）が放流されている。汚染の程度が判別できない事態が発生することもある。

iv) 連邦政府やERAは、内部被曝について考慮せず、生物濃縮は問題ないと考えている。

v) 鉱山会社、ERAも認めているが、過去に重大事故が多数発生している。

vi) ウラン鉱山閉鎖後も超長期的に（最低でも1万年間）尾鉱池（テーリングダム）を含む汚染区域の管理を厳重に行なっていく必要がある。原子力発電のエネルギーに関するエコロジカル・フットプリント計算には、超長期的に発生し続けるウラン鉱山開発に伴う放射性廃棄物管理コストと、管理をすりぬけて発生した環境汚染のコストの2つを組み込む必要があることが示唆された。

e. 総合的結論

i) 事後継続的影響管理（Prolonged Impact Management, PIM）コストの算入の必要性

事後継続的影響管理（PIM）コストとは、ウラン鉱山の尾鉱のラドンガス管理や水質管理と、使用済み核燃料（高レベル放射性廃棄物）などの管理コストのことである。ウラン鉱山の尾鉱や水質管理は、最低でも1万年必要とする議会証言がある^{30)・31)}。また、使用済み核燃料の天然ウランに対する相対毒性は、800年ころまではいったん小さくなるが、核崩壊を繰り返すうちに増加し始め、70万年後に最大値をとると考えられてい³²⁾。高レベル放射性廃棄物に関しては、最低でも100万年管理する必要があるとする専門家の主張は妥当性を持つと考えられる³³⁾。

ii) その他考慮すべき課題

日常的な放射能漏れ管理、原発労働者の放射能被爆、そして核関連施設・テロ攻撃の可能性、地震やその他の原因による事故、プルトニウムや劣化ウランの兵器利用による影響も考慮されねばならないであろう。

2) 原子力エネルギーの事後継続的影響管理（PIM）コスト試算とエコロジカル・フットプリントへの換算

以上の知見を元に、原子力エネルギーの（ウラン鉱山の鉱滓・尾鉱+使用済み核燃料等の放射性廃棄物管理などの）事後継続的影響管理（PIM）について考察を加えた³⁴⁾。

a. 計算過程

原子力エネルギーの利用により必要となるウラン資源量と、発生する放射性廃棄物の量を算定する。これに対応するウラン鉱山の管理 1 万年分の管理エネルギーコスト、ならびに高レベル放射性廃棄物を数十万年間単位で管理するためにどれだけの化石エネルギーが必要になるかの累積値を推計する。⇒その化石エネルギーコストを二酸化炭素吸収地面積に換算する。

b. 日本の原子力発電の PIM コスト試算

i) 根拠・仮定条件 (ERDA 1976³⁵⁾、室田 1981 年³²⁾に準拠 なお、ERDA は、アメリカ合衆国政府の Energy Research and Development Administration エネルギー研究開発局のことである。)

・原発 1 基・加圧水型軽水炉 (PWR) 100 万キロワット・耐用年数：30 年間運転する場合を想定³⁵⁾。
 ・ウラン鉱品位：標準品位 (0.2%)³⁵⁾。平均設備利用率：61%³⁵⁾。○ウラン燃料製造：29.83 兆キロカロリー³⁵⁾。

・原発建設・維持補修エネルギー：11.80 兆キロカロリー³²⁾。○揚水発電所建設維持エネルギー：2.19 兆キロカロリー³²⁾。

・原発廃炉処分エネルギー：2.95 兆キロカロリー³²⁾。

・ウラン鉱山・鉱滓・水質等環境モニタリングのエネルギー：酸化ウラン消費 1 トン・1 年間当り：0.93GJ ⇒ 1 万年間で 3 千 7 百万 GJ^(36), 29)等から計算)

・高レベル放射性廃棄物保管エネルギー (EDRA の数値より 1 年間 20 億キロカロリー)

シナリオ 1 (2.4 万年間)： 48 兆キロカロリー

シナリオ 2 (24 万年間)： 480 兆キロカロリー

シナリオ 3 (100 万年間)： 2,000 兆キロカロリー

ii) 試算結果 (暫定)

試算結果 (暫定) を以下の表に示す。

表-15 日本の原子力発電所 1 基(100 万 kW)を耐用年数(30 年間)運転した場合の試算結果(暫定)

シナリオ	1. 高レベル放射性 廃棄物 保管エネルギー (2.4 万年間)	2. 高レベル放射性 廃棄物 保管エネルギー (24 万年間)	3. 高レベル放射性 廃棄物 保管エネルギー (100 万年間)
投入エネルギー (a)	4 億 33,65 万 GJ	22 億 4344 万 GJ	86 億 1100 万 GJ
発電正味量 (b)	5 億 4100 万 GJ	5 億 4100 万 GJ	5 億 4100 万 GJ
(a)/(b)	0.8	4.1	15.9

⇒ 示唆されること：超長期的な視点に立てば、原子力発電は発電される電力の 0.8～16 倍もの投入エネルギーが必要となる。原子力発電の高レベル放射性廃棄物などの超長期的な影響管理 (PIM) コストは、仮定次第ではかなり大きくなり、エネルギー収支は、超長期的にはネットで大幅なマイナスとなりかねないことが判明した。

iii) 以上に含まれないコスト

日常的な原発労働者の放射能被爆による健康への影響、日常的に大気中に排出される放射性物質の生態系への影響、核関連の事故のコスト、テロ攻撃防止コスト、プルトニウムや劣化ウランが兵器に転用されることによる政治的リスクと生態系や人体への影響、再処理に伴う種々のコストなど。

iv) エコロジカル・フットプリントへの換算

以上のネットエネルギーコストをエコロジカル・フットプリントに換算すると以下ようになる。
(エネルギー量のエコロジカル・フットプリント面積への換算係数：75.78GJ/gha/year)

表-16 日本で稼働中の原子炉 55 基全て(4,770 万 kW)を耐用年限まで運転した場合の EF-試算結果

シナリオ	1. 高レベル放射性廃棄物 保管エネルギー (2.4 万年間)	2. 高レベル放射性廃棄物 保管エネルギー (24 万年間)	3. 高レベル放射性廃棄物 保管エネルギー (100 万年間)
日本の全原子炉の EF	$\frac{-6.7 \text{ 千万 gha/年}}{\text{日本の生物生産力 (バイオキャパシティ) の } -0.7 \text{ 倍}}$	$\frac{10 \text{ 億 } 7 \text{ 千万 gha/年}}{\text{日本の生物生産力 (バイオキャパシティ) の } 11 \text{ 倍}}$	$\frac{50 \text{ 億 } 8 \text{ 千万 gha/年}}{\text{日本の生物生産力 (バイオキャパシティ) の } 53 \text{ 倍}}$
日本の全原子炉の EF (一人当たり)	$\frac{-0.53 \text{ gha/人/年}}{(\text{東京ドーム } -0.1 \text{ 個分})}$	$\frac{8.4 \text{ gha/人/年}}{(\text{東京ドーム } 2 \text{ 個分})}$	$\frac{39.8 \text{ gha/人/年}}{(\text{東京ドーム } 9 \text{ 個分})}$
人の働ける期間 50 年間で「EF の分割払い」	$-0.01 \text{ gha/人/年} \times 50 \text{ 年}$	$0.17 \text{ gha/人/年} \times 50 \text{ 年}$	$0.80 \text{ gha/人/年} \times 50 \text{ 年}$

日本で稼働している 55 基の原発の総発電能力は、4,770 万 kW³⁷⁾。今後の原発増設はゼロと仮定。

日本で稼働中の原子炉 55 基全てを耐用年限まで運転した場合のエコロジカル・フットプリントは、高レベル放射性廃棄物を 2.4 万年管理する場合は、かろうじてネットでマイナスとなる（すなわち、ネットでの産出エネルギーは若干プラスとなり、その意味で、追加的な環境負荷はマイナスである）。しかし、管理期間を 24 万年と仮定すると、10 億 7 千万 gha となり、これを人口で割ると、8.4 gha/人（東京ドーム約 2 個分）となる。高レベル放射性廃棄物を 100 万年管理すると仮定すると、50 億 8 千万 gha/年となる。これを人口で割ると、40gha/人（東京ドーム約 9 個分）となる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- 1) 従来、EF の研究では財・サービスの消費量からそれらを生産するのに必要な面積を算定する際、世界平均の生産性が用いられてきた。このため、ある地域の消費がどの地域の環境にどの程度影響を与えているのかについては十分な分析はできなかった。本研究では、地域別の土地生産性と地域間産業連関表を用いて、従来の推計方法が抱えていた問題点を克服する分析方法を提案した。
- 2) 1990 年、1995 年、2000 年の 3 時点について東京ー日本ー中国ー北京、東京ー日本ー中国ー上海の統合連関表（水平連結）を構築し、さらにその時点間の接続（垂直連結）によりデータベースの構築を行った。こうして整備されたデータをもとに、経済的・環境的依存関係の分析を実施し、これまでに取り組みがなされてこなかった異なる国の都市間の環境負荷相互依存関係を分析する

ためのひとつの方法論としての完結性を高めた。

(2) 地球環境政策への貢献

- 1) 例示的ではあるが、既存の資料から地域の視点から地球環境問題にアプローチするための情報基盤や科学的分析方法を確立したことにより、同様の分析に基づく政策立案に資する情報整備の重要性を示すことができたと考える。したがって、将来的には各国の重要な地域とそれを結ぶ地域間の経済取引に関する情報整備に向けて、成果の広報・普及に努める。
- 2) 『環境白書』における記述に、エコロジカル・フットプリント指標の解説が平成 11 年以降毎年のように紹介されているが、当該研究担当者から欧米・豪州におけるエコロジカル・フットプリント指標の応用動向についての情報提供を行った。
- 3) 環境省「貿易自由化の環境影響評価に関する検討会」における国際貿易と環境保全の両立に関する検討において、本研究成果であるエコロジカル・フットプリント指標の概念および応用動向についての分析を提示し、検討会の議論に貢献した。
- 4) 国土交通省の「資源消費水準あり方検討委員会」における持続可能性指標の国土計画や政策への応用に関する検討において、本研究成果であるエコロジカル・フットプリント指標の欧米での技術的手法開発状況および応用動向についての分析を提示し、「検討委員会」の報告書作成に貢献した。
- 5) 第三次環境基本計画の進捗状況を判定するためのモニタリングツールのひとつとして EF 指標を活用することとなったが、その応用のための検討会にて、海外の研究機関との橋渡しと、海外の応用事例についての情報を提供した（スイス連邦政府など）。
- 6) 原子力発電によって産み出される「隠れたフロー」の管理、使用済み核燃料の保管は、超長期的に必要となる。これらの管理エネルギーコストを「事後継続的影響管理（PIM）コスト」と呼ぶ。管理期間を 2.4 万年と仮定した場合、原子力発電の PIM コストは、産み出す電力より若干小さい程度となる。管理期間を 24 万年とすると、発電量の 4.1 倍、100 万年とすると 16 倍程度のエネルギー投入が必要となることが推計された（いずれも原子力発電所の耐用年限 30 年間使用すると仮定して試算した）。原子力発電の PIM コストは、仮定次第でかなり大きくなる可能性があり、原子力発電の有効性について再吟味する必要性を確認した。管理コストでは人々が原子力に対して感じる不安感を表現できない結果を得た。

6. 引用文献

- 1) Imura, H. and Moriguchi, Y.: Toward Global Planning of the Sustainable Use of the Earth Development of Global Eco-Engineering, S. Murai (ed.), 289-208, Elsevier Science B. V. (1995)
 “Economic interdependence and eco-balance: accounting for the flow of environmental loads associated with trade”
- 2) 市橋勝: 第三回日中社会経済統計学国際研究会論文集、195-203（2000）
 「地域間多部門経済依存構造の再計測 ～日中産業連関表を用いて～（中国語）」
- 3) 東京都総務局統計部：東京都産業連関表 1990、東京都総務局統計部統計調査課（1995）
- 4) 東京都総務局統計部：東京都産業連関表 1995、東京都総務局統計部統計調査課（2000）

- 5) 北京市統計局：北京市投入産出表 1992、北京市統計局（1992）
- 6) 北京市統計局：北京市投入産出表 1997、北京市統計局（1997）
- 7) IDE: International Input-Output Table China-Japan 1990, Institute of Developing Economies（1997）
- 8) IDE: Asian International Input-Output Table 1995, Institute of Developing Economies（2001）
- 9) 中国国家統計局:中国投入産出表 1992、中国統計出版社（1992）.
- 10) 中国国家統計局:中国投入産出表 1997、中国統計出版社（1997）
- 11) 日本銀行: 日本銀行時系列データ 外国為替市場、http://www.boj.or.jp/stat/dlong_f.html,（2004）
- 12) 資源エネルギー庁長官官房総合政策課編: 総合エネルギー統計（平成 13 年度版）、通商産業研究社（2001）
- 13) 東京都：東京都環境局、都におけるエネルギー需給構造調査報告書（2001）
- 14) 中国国家統計局工業交通統計司編: 中国能源統計年鑑（1991－1996）、中国統計出版社（1998）
- 15) 環境省：環境省地球局、地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン（2003）
- 16) IPCC: Guidelines for national greenhouse gas inventories, IUNEP, OECD, IEA, Bracknell（1996）
- 17) WWF : Living Planet Report 2004, WWF (2005)
- 18) 国家環境保護総局 : (http://www.zhb.gov.cn/japan/env_info/3_7_2003_08.htm)（2004）
「環境状況公報 2003 年版」
- 19) United Nations : World population prospect: the 2004 revision, Population database , UN (2006)
- 20) 速水裕次郎： 新版開発経済学, 創文社, pp92-121（2000）
- 21) 渡辺利夫： 開発経済学第二版, 日本評論社, 86-104 (1997)
- 22) 中国国家統計局編： 国統計年鑑各年版、中国統計出版社.
- 23) 中国国家統計局農村社会経済調査総員： 新中国五十年農業統計資料、中国統計出版社（2000）
- 24) Helmut Haberl, Karl-Heinz Erb, Fridolin Krausmann: Ecological Economics, 38,25-45(2001)
“How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: the case of Austria 1926-1995”
- 25) M. Wackernagel, and W. Rees. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. Gabriola Island, B. C., Canada: New Society Publishers. (1996).
- 26) Swiss Confederation (Swiss Federal Statistical Office SFSO, Swiss Federal Office for the Environment, Forests and Landscape SAEFL, Swiss Federal Office for Spatial Development ARE). Sustainable Development in Switzerland: Indicators and Comments. Neuchatel: Swiss Federal Statistical Office SFSO. (2004).
- 27) Swiss Confederation (Federal Statistical Office FSO, Federal Office for Spatial Development ARE, Agency for Development and Cooperation SDC, Federal Office for the Environment FOEN). Switzerland's Ecological Footprint: A Contribution to the Sustainability Debate. Neuchatel: Federal Statistical Office FSO. (2006).
- 28) GFN and the Swiss Agency for Development and Cooperation. Africa's Ecological Footprint: Human Well-Being and Ecological Capital: Fact Book. Swiss Confederation. (2006).
- 29) Y. Wada, and M. Kishi. Environmental and Social Impacts of Uranium Mining: A Case Study of Ranger and Jabiluka Minesites in Kakadu National Park, Australia. Doshisha University Research Center of Social Common Capital Discussion Paper No. 14. (2006).

- 30) R. Wassen, J. I. White, B. Mackey and M. Fleming. The Jabiluka Project: Issues that Threaten Kakadu National Park. Submission to the UNESCO delegation World Heritage Committee Delegation to Australia, October 1998. 22p. (1998).
- 31) Authority of the Senate.: Official Committee Hansard. Senate Environment, Communications, Information Technology and the Arts References Committee held on Tuesday, October 1, 2002. Canberra: Senate, Commonwealth of Australia. (2002)
- 32) 室田武：原子力の経済学、日本評論社（1981）
- 33) 小出裕章：京都保健医新聞、2444・2445 合併号、付録 2、7-15、27-53（2004）
『『再処理』からの撤退を求める！』
- 34) 和田喜彦：日本 LCA 学会誌、3, 1, 3-10（2007）
「エコロジカル・フットプリント指標の応用動向と今後の課題：事後継続的影響管理（PIM）コストの参入について」
- 35) Energy Research and Development Administration (ERDA), United States. A National Plan for Energy Research, Development & Demonstration: Creating Energy Choices for the Future. Vol.1: The Plan. ERDA-76-1. 111 pp. Appendix B: Net Energy Analysis of Nuclear Power Production. (1976).
- 36) 南齋規介、森口祐一、東野達編著：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－（地球環境研究センターシリーズ、CGER-D021-2002）（2002）
- 37) World Nuclear Association Website. <http://www.world-nuclear.org/info/inf01.htm> viewed on October 11, (2006).

7. 国際共同研究等の状況

- 1) 中国における地域経済発展と資源問題に関する意見交換：任勇（主任研究員）・裴曉菲（研究員）（中国国家環境保護総局環境経済政策研究センター）、史培軍（教授）・陳晋（副教授）（北京師範大学）、常杪（助教授）（精華大学）・中国。水資源問題や鉱物資源の需給バランスとそれが与える産業セクターに与える影響について、意見交換を行った。
- 2) 貿易と環境に関する中国の研究動向について：胡涛（上席研究員）・馮当方（研究員）（中国国家環境保護総局環境・経済政策研究センター環境経済研究室）、呉力波（助教授）（復旦大学）・中国。貿易と環境に関する中国における研究動向についてインタビューするとともに、今後の展開について意見交換を行った。
- 3) Global Footprint Network（アメリカ、スイス）、Stockholm Environment Institute-York (SEIY)（イギリス）、Cardiff University（イギリス）等の研究機関とのインフォーマルな情報交換と研究交流を進めている。

8. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 市橋勝、金子慎治、吉延広枝：環境システム研究論文集、33, 305-315（2005）
「国際地域間取引の経済誘発効果と環境負荷：東京－北京の事例」
- 2) 吉延広枝、金子慎治、市橋勝：環境システム研究論文集、33, 389-397（2005）

「産業関連分析による都市の二酸化炭素排出構造の分析と地方温暖化対策への含意：サービス都市と工業都市の比較」

- 3) Zhou, X., Shirakawa, H. and Imura, H.: 環境システム研究論文集、34, 497-506 (2006)
“Study on China’s regional ecological footprint and identification of brown sectors and brown paths ”
- 4) Zhou, X., Shirakawa, H. and Imura, H.: 3rd World Congress of Environmental and resource economists proceedings, CD-ROM (24 pages) (2006)
“Who is responsible for what: Regional ecological footprint calculation for China with special emphasis on interregional dependency”.
- 5) 金子慎治、市橋勝、吉延広枝：環境システム研究論文集、34, 293-304 (2006)
「国際地域連関分析による 2 時点間の環境誘発効果の計測—東京 - 北京の事例—」
- 6) 豊田知世、金子慎治、周新、井村秀文：環境システム研究論文集、34, 487-496 (2006)
「中国農業の土地生産性変化とエコロジカルフットプリント」
- 7) 吉川拓未、田畑智博、白川博章、井村秀文：環境科学誌、印刷中(2007)
「日中間の国際資源循環構造の把握と合理化に関する研究～E-waste を対象として～」

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) Y. Wada, and M. Kishi, Doshisha University Research Center of Social Common Capital Discussion Paper No. 14. June (2006)
“Environmental and Social Impacts of Uranium Mining: A Case Study of Ranger and Jabiluka Minesites in Kakadu National Park, Australia”
- 2) 和田喜彦、日本 LCA 学会誌、3, 1, 3 - 10 (2007)
「エコロジカル・フットプリント指標の応用動向と今後の課題：事後継続的影響管理（PIM）コストの算入について」
- 3) 中野桂、和田喜彦、滋賀大学環境総合研究センター研究年報、4, 1, 11-22 (2007)
「エコロジカル・フットプリント指標分析の方法論的進歩と最近の論点」

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 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・解題、池田真里訳、合同出版 (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」
- 2) 水谷広・廣海十朗他編、生物環境科学入門：持続可能な社会をめざして、森北出版、45-59 (2004)
「第 4 章 環境影響評価（執筆担当：和田喜彦）」
- 3) 和田喜彦、えんとりびい：エントロピー学会誌、55, 57-62 (2005)
「エコロジカル・フットプリント指標の原理と応用」
- 4) 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。五頭美和訳。：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、発行：インターシフト、発売：合同出版、224-235 (2005)
「解説：世界のエコロジカル・フットプリントの活用事例—欧州・英国・ウェールズの事例を中心に—（執筆担当：和田喜彦、岸基史）」

- 5) 北川正恭・山本良一他編著：サステナビリティの科学的基礎に関する調査報告書、(株) イースクエア内・サステナビリティの科学的基礎に関する調査プロジェクト事務局。248-263, 267-271 (2005)
「第5部第3章 エコロジカル・フットプリントでみる『環境収容力』(執筆担当：和田喜彦)」
- 6) 環境経済・政策学会編、佐和隆光監修：環境経済・政策学の基礎知識、有斐閣、146-147 (2006)
「エコロジカル・フットプリント (執筆担当：和田喜彦)」
- 7) 和田喜彦、環境会議、2007 年春号、104-109 (2007)
「持続可能な未来づくりへの指標:エコロジカル・フットプリント～地球一個分の負荷で暮らそう」

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) 和田喜彦：エントロピー学会東京セミナー (2004)
「エントロピー理論・環境収容力・エコロジカル・フットプリント指標」
- 2) 和田喜彦：エントロピー学会第22回全国大会 (2004)
「エコロジカル・フットプリント指標の原理と応用」
- 3) 吉延広枝、金子慎治：第57回土木学会中国支部研究発表会 (2005)
「産業連関分析による都市のエネルギーフロー分析と環境効率」
- 4) 市橋勝、金子慎治、吉延広枝：第33回土木学会環境システム論文発表会 (2005)
「国際地域間取引の経済誘発効果と環境負荷」
- 5) 吉延広枝、金子慎治、市橋勝：第33回土木学会環境システム論文発表会 (2005)
「産業連関分析による都市の二酸化炭素排出構造の分析と地方温暖化対策への含意：サービス都市と工業都市の比較」
- 6) 吉延広枝、金子慎治、市橋勝：第16回国際開発学会全国大会 (2005)
「中国と北京市における産業構造変化と誘発環境負荷の時系列変化」
- 7) 市橋勝、金子慎治、吉延広枝：環太平洋産業連関分析学会第16回(大会)(2005)
「国際地域間取引の経済誘発効果と環境負荷：東京－北京の事例」
- 8) Zhou Xin and Hidefumi Imura:環境科学会2005年会 (2005)
“Study on the provincial ecological footprint in China”
- 9) 金子慎治、市橋勝、吉延広枝：第34回土木学会環境システム論文発表会 (2006)
「国際地域連関分析による2時点間の環境誘発効果の計測－東京－北京の事例－」
- 10) 吉延広枝、金子慎治、市橋勝：第34回土木学会環境システム論文発表会 (2006)
「産業連関要因分析モデルによる地域二酸化炭素排出構造の比較研究」
- 11) 豊田知世、金子慎治、周新、井村秀文：第34回土木学会環境システム論文発表会 (2006)
「中国農業の土地生産性変化とエコロジカルフットプリント」
- 12) S.Kaneko and M.Ichihashi : Workshop on Material Flows and Environmental Impacts associated with Massive Consumption of Natural Resources and Products (2006)
“Analysis of international interdependence between China and Japan from the perspective on interregional economic and environmental interactions”
- 13) 豊田知世、金子慎治、井村秀文：第17回国際開発学会全国大会 (2006)
「農業近代化に伴う土地生産性とエコロジカル・フットプリント」

- 14) 和田喜彦：日本 LCA 学会・LCA 日本フォーラム共催・第 2 回 LCA 講演会（2006）
「地球生態系とのバランス指標としての エコロジカル・フットプリント」
- 15) 和田喜彦、岸基史：環境経済・政策学会 2006 年大会（2006）
「オーストラリア・カカドゥ国立公園内のウラン鉱山開発の環境影響」
- 16) Wada, Yoshihiko：テクノオーシャン 2006/第 19 回海洋工学シンポジウム 2006（2006）
"The Concept of Ecological Footprint and its Applications to Sustainability Assessment of Technologies".
- 17) 野田真一郎・白川博章・井村秀文：平成17年度土木学会中部支部研究発表会（2006）
「中国における経済発展とマテリアルフローに関する研究－建設資材を中心として－」
- 18) 白川博章・周新・野田真一郎・井村秀文：環境科学会2006年会（2006）
「中国における環境負荷の地域相互依存に関する研究」
- 19) Y. Wada, K. Izumi, and T. Mashiba: International Ecological Footprint Conference, Cardiff, UK, 8th-10th, May 2007.
“Development of a Web-Based Personal Ecological Footprint Calculator for the Japanese.”
- 20) S.Kaneko and M.Ichihashi：the 30th IAEE Annual International Conference, Wellington, New Zealand, 2007
“Analysis of international interdependence between China and Japan from the perspective on interregional economic and environmental interactions”

（３） 出願特許

なし。

（４） シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 「持続可能な経済に向けての環境指標に関する国際ワークショップ」（2006 年 3 月 14 日（火）同志社大学・ワールドワイドビジネス研究センター、観客 40 名）
- 2) 「持続可能な資源利用に関する国際ワークショップ：北と南から」（2007 年 3 月 16 日（金）同志社大学・ワールドワイドビジネス研究センター、観客 20 名）

（５） マスコミ等への公表・報道等

- 1) 東京新聞（2006 年 1 月 11 日（水）夕刊、p. 9）。
- 2) 京都新聞（2006 年 3 月 16 日（木）京都版）
- 3) 中日新聞（2006 年 4 月 2 日（日））

（６） その他

なし。