

環境負荷の地域間相互誘発構造に着目した環境 効率改善施策導入の効果に関する研究 — 中国長江流域・珠江流域を対象として —

岡寺 智大¹, 吉田 登², 盛岡 通³

¹学生会員 大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻博士後期課程 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

²正会員 和歌山大学システム工学部助教授 (〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷 930)

³正会員 大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻教授 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

本研究は東アジアにおける急激な工業化に伴う資源・エネルギー消費による社会経済的影響を環境面に拡張された産業連関分析により評価し、持続可能な産業構造転換への提言を行うことを主目的としている。まず中国の地域傾斜的な経済施策と地域環境問題について述べ、次いで経済開放区を下流に抱える長江流域及び珠江流域を対象地域として、地域間産業連関分析の手法を用いて地域産業間の財・サービスの移動に伴う環境負荷 (NO_x) の誘発構造を明確にする。最後に環境効率改善型施策導入による効果を線形計画モデルにより評価する。その結果、長江流域では流域内での産業連携を推し進める必要性が示唆されたのに対し、珠江流域では外部依存型の産業構造からの脱却の必要性が示された。

Key Words: China, sustainable industrial transformation, regional inter-repercussion, interregional input-output analysis

1. はじめに

本研究は工業化を中心とした中国の社会経済の発展に伴い、産業部門間や地域間を越えた資源・エネルギーの利用が環境に与える影響と、それに対応する環境配慮型施策が相互の産業や社会経済、環境に及ぼす効果を評価することを目的とするものである。

中国の急激な経済成長の背景には改革開放政策がある。この政策は中国を東部、中部、西部の3地域に区分けし、海外市場へのアクセスが容易な東部地区に優遇措置を行い外貨の獲得を図り、先行発展させることにより国民経済のバイを拡大し、東から西への成長を波及させるという地域傾斜的戦略である。長期的には沿海地域が市場経済化と開放体制のショーウィンドとなり、内陸資源を吸収することにより産業構造の高度化を実現し、これと平行して伝統産業を内地に移転し、沿海-内陸間の合理的分業を成立させ、全国的な産業構造転換を行うというシナリオが描かれている¹。

改革開放政策は国家レベルにおいては十分な経済的効果をもたらしたが、地域レベルでは必ずしも十分な効果をもたらしたとはいえない。経済面では沿海地域と内陸地域での地域格差を拡大し、環境面では四川省における酸性雨、江蘇省における水質汚濁、山西省における石炭発掘による環境破壊²など様々な地域環境問題を顕在化させたと考えられる。これは沿海の高度産業を内陸産業が支えるという産業構造転換施策に伴う沿海地域での活発な経済活動が地域産業間の連鎖を通じ、内陸地域に環境負荷が波及するためと考えられ、環境問題の被害を当該地域における川下側の対応ではなく、地域間の産業連携を視野に入れた、より川上側での対策が必要といえる。しかし、各地域主体が便益を相互に依存する構造が複雑化しており、責任関係を明確にできない事が問題として考えられる。

以上の背景及び研究目的をふまえて研究フローを図-1に示す。本研究においてはまず環境面に拡張された産業連関分析を適用して地域別産業別の環境負荷誘発量を算

出し、地域産業連携による環境負荷の波及構造を定量的に把握する(分析①)。ついで、線形計画モデルを用いて環境効率改善施策の導入による地域産業及び環境への効果を評価し、地域産業連携及び産業構造転換施策のあり方について検討を行う(分析②)。また対象とする環境負荷としては地域経済及び産業間での交流が活発化する中国の現状を考慮し、移動発生源から排出される大気汚染物質である NO_x を対象とする。尚、分析①においては工場等の固定発生源から排出される大気汚染物質である SO_x 及び水質汚濁指標であるCODを対象として環境負荷誘発構造の把握も行っているが、この分析は別報¹⁾において論じているので参照されたい。

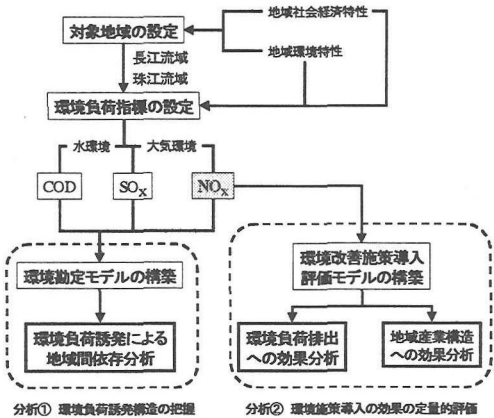


図-1. 研究フロー

2. 分析方法

(1)対象地域の選定

対象地域として経済政策の主要地域である長江デルタおよび珠江デルタを下流に擁する長江流域と珠江流域を設定する。中国東南沿岸部では香港が貿易・金融・情報センターの役割を果たし、珠江デルタが香港経由の輸出商品生産基地となっている。この香港と珠江デルタの図式を上海と長江流域に当てはめる方針を中国政府は採用しており、長江及び珠江流域は経済発展の重点地域と捉えられる。また長江流域においては地理的形状特性から各省の経済中心地が河川両岸に配置するであろうことが指摘されており⁶⁾、流域単位で取り扱うことが妥当であると判断した。また対象流域の地域分類を表-1に示す。本研究では技術的問題から本来は長江上流域にあたる四川省、貴州省の分離が困難であったため、珠江上流域に組み込まれていることに注意されたい。

表-1. 地域分類表

長江流域	
下流	上海市
中流(華東)	江蘇省、浙江省
上流(華中)	山西省、河南省、安徽省、湖南省、湖北省、江西省
流域外地域	その他中国
対外地域	中国以外地域
珠江流域	
下流	広東省
中流(華南)	福建省、海南省
上流(西南)	四川省、貴州省、雲南省、広西区、西藏区
流域外地域	その他中国
対外地域	中国以外地域

(2)環境負荷誘発量の算定

環境負荷誘発量の算定フローを図-2に示す。まず本分析のベースとなる地域間産業連関表の作成を行う。現段階では公式の地域間表は発表されていないが、研究レベルにおいては作成、公表されており⁷⁾本研究においてはそれを基に作成を試みた。具体的には上海市産業連関表⁸⁾及び広東省産業連関表⁹⁾と中国地域間産業連関表¹⁰⁾をベースに、その他の統計資料^{11), 12)}を組み合わせ分析の基礎となる対象流域の地域間表を作成した。流域地域間産業連関表の地域分類は下流域、中流域、上流域、流域外地域の4地域であり、産業部門は農業、一次エネルギー産業、素材型工業、二次エネルギー産業、組立型工業、建設業、運輸通信業、商業、サービス業の9部門である。

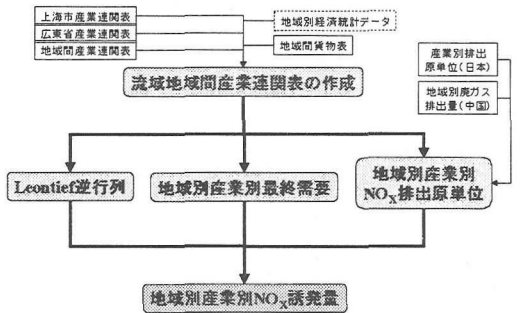


図-2. NO_x 誘発量算定フロー

次いで地域別産業別の排出原単位の推計を行う。その前に中国のデータ面での問題点を整理すると、中国の環境負荷排出量に関するデータに関しては公式統計資料¹³⁾をはじめ、研究レベルでの様々な報告がある¹⁴⁾。しかし廃ガスに関しては SO_2 、煤塵あるいは CO_2 によるデータがほとんどで、 NO_x に関しての報告は少ない。また中国の NO_x 地域別データとしては統計資料に城市(都市)レベルでの排出量は記載してある¹⁵⁾が、省レベルでのデータはなく、また産業別のデータも公開されてない。そこで本研究においては日本における産業別排出原単位¹⁶⁾を基に

中国の産業別 NO_x 排出量を推計後、各地域の廃ガス排出量を地域別に配分し、地域別産業別排出原単位の推計を行う。

その後流域地域間産業連関表から Leontief の $\{I - (A \cdot \bar{M} \cdot A')\}^{-1}$ 型逆行列を求め、右から地域部門別最終需要の対角行列を、左から地域・部門別排出原単位の対角行列を乗じることにより図-3 のマトリックスが得られる。これはエネルギーアナリシスに始まる集約度分析であり、経済循環を示す勘定表としての産業連関表の特性を生かし、資源消費に関する地域間での相互依存や経済メカニズムの中での消費行動の環境影響分析などへしばしば用いられ²⁷⁾、地域産業間で経済活動に伴う環境への依存構造を明確するのに適する手法である。図3の説明を行うと、 i 行 j 列の値 $d_{ij}b_{ij}f_j$ は産業 j の最終需要 f_j に起因して産業 i で誘発される環境負荷量を示す。すなわちこの行列を行方向に見ると産業 i で最終的に誘発される環境負荷量の総和と内訳が、列方向に見ると産業 j が最終的に誘発する環境負荷量の総和と内訳を考察することができる。なお、本分析においては地域間産業連関表を用いているため、地域別産業別の誘発構造を把握することが可能となる。

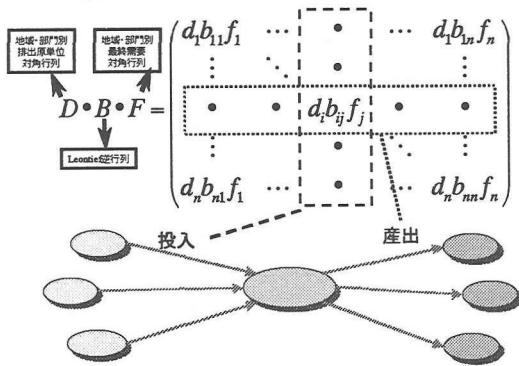


図-3. 環境負荷誘発量の算出

(3) 環境効率改善施策導入モデルの構築

中国の長江・珠江流域を対象として持続可能な産業構造転換施策が環境負荷低減へ及ぼす効果についての線形計画モデルを用いて分析を行う。モデル上では持続可能な産業構造転換施策を「現在の中国全体の経済水準を保ちつつ中国における環境負荷排出量を最小にすることを目的とする施策」と定義する。つまり中国全国のサービスを一定とし、環境負荷排出量を低減させることにより相対的に環境効率を上げる施策である。また同時に中国各地域の経済水準（総産出額）は変化しないという制約を設けた。

図-4 にモデル式を示す。添え字の r は地域を、 i, j は産業部門をあらわす。第一式は目的関数であり変数 e ($=\text{const}$) は金額あたりの排出原単位を示し、 X_j は部門別総産出額を示している。よって全国的环境負荷排出量の総和を最小化することを定義している。第二、三式は産業連関分析における産出バランス式を基にしており、 X_0 は定数で産業連関表における総産出額を示す。本モデルにおいては産業連関分析におけるバランス式に幅を与えて、総産出額 X_0 の上下 5% 以内で変数 X が変動するという仮定を設けた。第四式は変数 X の総和と産業連関表から求まる中国の総産出額が等しくなることを示しており、第五式は各地域における産業間のバランスを示している。この 2 つの制約は全国及び各地域の経済水準が変わらないという前提を表しており、本モデルは各地域の産業構造の変化と中国における産業部門の地域配置変化により環境負荷排出が抑えられる構造を表すモデルとなっている。投入係数、域内最終需要、輸出、輸入は簡単化のため定数とし、産業連関表の値を用いる。

$$\begin{aligned} \min Z &= \sum_r \sum_j e'_{rj} X'_j \\ \text{s.t.} \quad & \sum_j a'_{ij} X'_j + Fd'_j + E'_j - M'_j < 1.05 X'_{0j} \\ & 0.95 X'_{0j} < \sum_j a'_{ij} X'_j + Fd'_j + E'_j - M'_j \\ & \sum_r \sum_j X'_j = \sum_r \sum_j X'_{0j} \\ & \sum_j X'_j = \sum_j X'_{0j} \\ & X'_j > 0, X'_{0j} = \text{const} \end{aligned}$$

図-4. 線形計画モデル式

3. 長江及び珠江流域における NO_x 誘発による地域間相互依存分析

対象流域の地域別 NO_x 誘発量の合計と域内外への誘発割合を図-5、図-6 に示す。

各地域の全誘発量の内、域内に誘発される割合を正で、域外に誘発される割合を負で表す。長江流域では上海から域外への NO_x の誘発割合が高く、全誘発量の 48.2% を域外で誘発しており、上中流域や流域外地域への依存が高い。こうした域外への NO_x の誘発割合は下流から上流及び流域外にかけて小さくなっており、下流から上流及び流域外地域にかけて NO_x が波及すると考えられる。一

方、珠江流域においては広東省、華南から域外への誘発割合が高く、それぞれ全誘発量の45.1%, 52.4%を域外で誘発しており、上流域及び流域外地域への依存が高い。

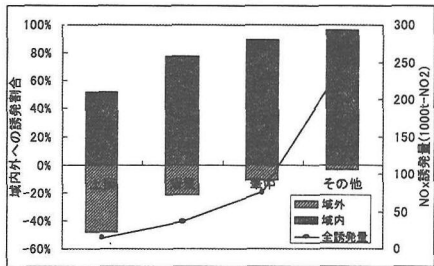


図-5. 長江流域におけるNO_x誘発量

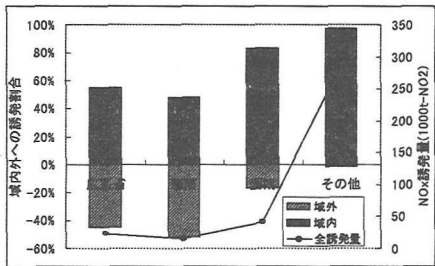


図-6. 珠江流域におけるNO_x誘発量

対象流域のNO_x誘発構造を表-2、表-3に示す。各地域及び地域間のNO_x誘発量と、各地域内及び地域間における産業連関によりNO_xが誘発される上位3産業部門名と全誘発量に占めるそれらの割合を併せて表記している。

長江流域では各地域内で運輸通信業、農業、組立型工業を通じてNO_xを誘発しており、地域外へは域外の運輸通信業を始めとして、2次エネルギー業、組立型工業を介してNO_xを誘発している。地域間でのNO_x誘発については全般的に下流から上流及び流域外へとNO_xが誘発される構造にあり、上海—華東、華東—流域外間では特にその傾向が強い。しかし、上海—流域外間では流域外地域から上海に誘発される構造にあり、長江流域では運輸通信業を介して下流から上流、上流から下流へとNO_xが誘発される一方で、流域外から下流域へとNO_xが誘発される構造にある。

他方、珠江流域においては各地域内で運輸通信業、農業、組立型工業を介してNO_xを誘発し、地域外へは主に域外の組立型工業、運輸通信業を通じてNO_xを誘発している。地域間でのNO_xの誘発はすべての地域間で下流か

ら上流及び流域外へと誘発する構造にあり、特に広東省、華南、西南からその他地域へのNO_xの誘発が顕著である。珠江流域においては流域内地域間でのNO_x誘発における相互依存は少なく、流域外へNO_xを誘発する構造にある。

表-2 長江流域の環境負荷誘発構造

	誘発する地域			
	上海	華東	華中	流域外
上海	7423	942	1418	3398
	農業(32%)	運輸通信業(45%)	運輸通信業(53%)	運輸通信業(47%)
	運輸通信業(24%)	組立型工業(23%)	組立型工業(22%)	組立型工業(22%)
	組立型工業(22%)	2次エネルギー業(16%)	2次エネルギー業(15%)	2次エネルギー業(15%)
華東	1320	705	2880	
	運輸通信業(43%)	運輸通信業(33%)	運輸通信業(60%)	運輸通信業(49%)
	2次エネルギー業(32%)	農業(24%)	2次エネルギー業(23%)	2次エネルギー業(32%)
	組立型工業(15%)	2次エネルギー業(23%)	組立型工業(10%)	組立型工業(10%)
華中	2031	1179	3527	
	運輸通信業(44%)	運輸通信業(32%)	運輸通信業(35%)	運輸通信業(32%)
	組立型工業(21%)	組立型工業(32%)	農業(23%)	組立型工業(28%)
	2次エネルギー業(20%)	2次エネルギー業(18%)	組立型工業(20%)	2次エネルギー業(19%)
流域外	2852	5817	6188	46870
	運輸通信業(41%)	2次エネルギー業(36%)	運輸通信業(36%)	運輸通信業(36%)
	組立型工業(23%)	運輸通信業(26%)	2次エネルギー業(32%)	農業(22%)
	2次エネルギー業(21%)	組立型工業(24%)	組立型工業(23%)	組立型工業(21%)

表-3 珠江流域の環境負荷誘発構造

	誘発する地域			
	広東省	華南	西南	流域外
広東省	3252	67	540	1708
	運輸通信業(36%)	組立型工業(49%)	組立型工業(53%)	組立型工業(50%)
	農業(25%)	運輸通信業(25%)	運輸通信業(24%)	運輸通信業(24%)
	組立型工業(16%)	2次エネルギー業(15%)	2次エネルギー業(14%)	2次エネルギー業(14%)
華南	127	222	187	633
	運輸通信業(35%)	運輸通信業(35%)	組立型工業(39%)	組立型工業(40%)
	組立型工業(28%)	農業(22%)	運輸通信業(32%)	運輸通信業(32%)
	2次エネルギー業(20%)	組立型工業(19%)	農業(23%)	2次エネルギー業(15%)
西南	955	1958	624	440
	組立型工業(34%)	組立型工業(44%)	運輸通信業(37%)	組立型工業(44%)
	運輸通信業(31%)	運輸通信業(29%)	農業(24%)	運輸通信業(29%)
	2次エネルギー業(22%)	2次エネルギー業(19%)	組立型工業(17%)	2次エネルギー業(19%)
流域外	955	5932	624	440
	運輸通信業(32%)	運輸通信業(54%)	運輸通信業(35%)	運輸通信業(35%)
	組立型工業(31%)	2次エネルギー業(24%)	運輸通信業(27%)	農業(22%)
	2次エネルギー業(21%)	組立型工業(9%)	組立型工業(10%)	組立型工業(21%)

4. 環境効率改善施策導入による産業構造および環境インパクトへの効果分析

(1) NO_x排出量の変化

環境効率改善施策導入によるNO_x排出量と地域別の内訳を図-7に示す。長江流域で施策を行った場合、NO_x排出量は約6.8万t/年(16.0%)減少する。一方、珠江流域で施策を行った場合、NO_x排出量は約6.3万t/年(14.8%)減少しており、長江流域における環境効率改善施策が効果的である事が示された。本施策においては下流域の環境負荷排出量は増加し、その他の地域においては環境負荷排出量が減少している。

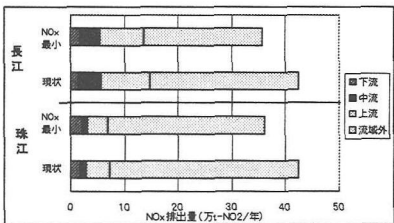


図-7. NO_x排出量の変化

(2)産業構造の変化

環境効率改善施策導入による産業構造の変化を図-8、図-9に示す。図中の番号①は現状の産業構造を、番号②は環境効率改善施策導入後の産業構造を示している。まず長江流域について各地域毎に産業構造の変化を考察する。上海では運輸通信業の割合の増加が目立つ。今回推計した排出原単位は他の地域に比べ上海のそれが小さく、NO_x誘発の主要産業である運輸通信業が技術水準の高い上海へとシフトしたためと考えられる。華東では素材型工業、組立型工業が増加に示されるように工業化が進んでおり、華中では農業、商業、サービス業が増加し、産業のサービス化とともに流域における食料生産の中心地的な構造へとシフトしている。流域外地域では1次エネルギー業、素材型工業、建設業、商業の割合が増加しており、石炭などのエネルギー・資源供給の中心地的な構造への転換がなされている。以上のことから施策導入により長江流域においてはさらに流域内地域間および流域と流域外地域間での分業体制が進むと考えられる。

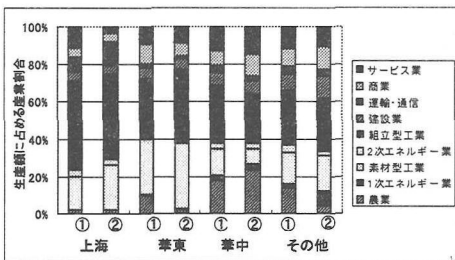


図-8. 長江流域における産業構造の変化

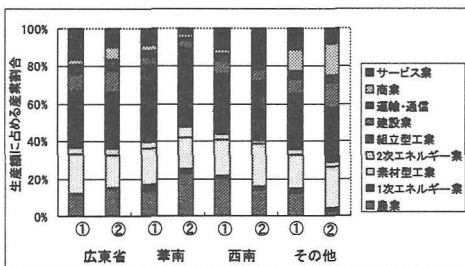


図-9. 珠江流域における産業構造の変化

一方珠江流域においては広東省で農業、商業が増加しているが、サービス業が減少しており食料などを外部経済に依存するサービス型産業構造からの転換がなされている。華南では農業、2次エネルギー業が増加し、資源・エネルギーを外部に依存する工業中心の産業構造から自前の資源・エネルギーによる工業化が促進され、西南では1次エネルギー業、素材型工業、サービス業が増加しており、産業のサービス化が進むと考えられる。その他

地域では素材型工業、建設業、商業の割合が増加し、農業、1次エネルギー業、サービス業の割合が減少している。以上のことから珠江流域においては現在の外部依存型の産業構造から食料及びエネルギー資源を自給する形の産業転換がなされると予想される。

5. まとめ

本研究は中国の改革開放政策に伴い重要性が増す地域産業連鎖に着目し、長江及び珠江流域における地域間での産業活動により誘発される環境負荷(NO_x)をエコロジカルリユクサックとして最終需要地域に帰属させ、産業連鎖分析を適用することにより地域間相互誘発構造の定量的な分析を行うとともに、環境効率改善型施策導入に伴う環境負荷排出及び社会経済的な効果を評価し、持続可能な産業構造転換について検討を行った。

その結果、長江流域においては上海の高度産業を支える中上流域の運輸通信業を介して上流域及び流域外地域の環境負荷を誘発しており、流域内での地域産業連鎖が流域内のNO_x排出に大きく寄与していることが認識された。他方、珠江流域において環境負荷誘発構造は流域外地域への誘発量が多く、広東省をはじめとして流域と流域外地域の地域間取引を反映した外部依存型のNO_xの誘発構造が特徴的である。

さらに環境効率改善型の施策の導入による産業構造転換を図ることで、中国におけるNO_x排出量を減少させることの可能性が示され、特に長江流域において有効であるという結論が得られた。そして、中国におけるNO_x排出量の削減に当たり長江流域においては流域内地域間や流域と流域外地域との産業連携を進めることが必要であるといえるのに対し、珠江流域においては外部依存型の産業構造から資源・エネルギーなどを自前で調達する形の産業構造転換の必要性が示唆された。

最後に今後の課題としては

- 今回の施策導入による評価は線形計画モデルを用いて行ったため、制約条件となる排出原単位が大きい産業の生産額が減少する傾向が考察された。今後は非線形モデルへの拡張などによる分析が必要である。
- 本分析においては排出原単位を日本のデータを用いて推計を行ったが、日本と中国の技術水準の差を考えると今回得られた分析結果は実情を十分に反映しない可能性をはらんでいる。今後はこうしたデータ上の制約を取り除くアプローチを研究フレームに組み込む必要がある。
- 今回対象とした珠江流域には香港が含まれていないため、分析の枠組みに組み込むアプローチを構築する

必要がある。

d)中国の地域経済においては郷鎮企業の果たす役割が大きいが、産業連関表には十分にデータが反映されていないため、郷鎮企業の取り扱いも今後考慮していく必要がある。

ことなどがあげられる。

【参考文献】

- ¹ 丸山伸郎編：90年代中国地域開発の視覚－内陸・沿海関係の力学，pp18－19，アジア経済研究所，1994
- ² 日本環境会議／「アジア環境白書」編集委員会編：アジア環境白書 1997/98，pp214-242，東洋経済新報社，1997
- ³ 読売新聞中国環境取材班：中国環境報告－苦悩する大地は蘇るか，朝日中出版，1999
- ⁴ 岡寺智大，吉田登，盛岡通：中国の二つの流域における持続可能な産業転換の効果の評価，第8回地球環境シンポジウム，pp259-264，2000
- ⁵ (社)中国研究所：中国年鑑 1998年版，p335，1998
- ⁶ 丸山伸郎編：長江流域の経済発展 中国の市場経済化と地域開発，p61，アジア経済研究所，1993
- ⁷ 陳自力：中国経済におけるエネルギー需給問題に関する研究，豊橋技術科学大学学位論文，1999
- ⁸ 上海市統計局：1992年上海市価値型投入産出表，1995
- ⁹ 広東省統計局：1992年広東省投入産出表，1995
- ¹⁰ 前述 7
- ¹¹ 中国交通年鑑社：中国交通年鑑 1993，pp486-489，1993
- ¹² 中嶋誠一：中国の統計 データを読む，pp16-17，日本貿易振興会，1994
- ¹³ 中国環境年鑑編集委員会編：中国環境年鑑 1996，中国環境年鑑社，1996
- ¹⁴ 黒田昌裕，木地孝之，吉岡完治，早見均，和田義和：中国のエネルギー消費と環境問題，(財)通商産業調査会，1996
- ¹⁵ 井村秀文，勝原健：中国の環境問題，p119，東洋経済新報社，1995
- ¹⁶ 轟巻峰夫，野沢達也：LCAにおける多項目環境負荷量の定量化に関する研究，環境システム研究 Vol.25，pp217-227，1997
- ¹⁷ 盛岡通，中村信夫他：地域連関に着目した環境経済勘定構築に関する研究－琵琶湖・淀川流域を事例として－，環境システム研究 Vol.24，pp125－131，1996

EVALUATION OF REGIONAL INTER-REPERCUSSIONS OF ENVIRONMENTAL POLICIES TO REDUCE-NITROGEN OXIDE INDUCED BY INTER-REGIONAL ECONOMIES IN CHINA

Tomohiro OKADERA, Noboru YOSHIDA, Tohru MORIOKA

This study attempts to evaluate socio-economical impacts due to consumption of resources and energy with rapid industrialization in East Asia by means of Environmental Accounting System and to discuss about sustainable industrial transformation. Firstly, this paper reviews the in -balanced growth between regions in China and regional environmental problems. Secondly, it highlights the basin of Chang Jiang and Pearl River with Open Economic Zones in Coastal Delta and Backward Basins in China. In addition, it calculate environmental load (i.e. Nitrogen oxide) induced by inter-transaction of goods and services in these basins by using the Inter-regional input-output analysis. Finally, it investigates the effect of the policy for the sustainable industrial transformation. As a result, environmental load in the areas of upper stream is induced by the Inter-regional activities between the areas of down stream. And the environmental policy is effective to decrease the environmental load, especially in the basin of Chang Jiang.