

Title	国際貿易と環境保護：浮遊粒子状物質を対象として
Sub Title	International trade and environment : application of particulate matter
Author	鶴見, 哲也(Tsurumi, Tetsuya) 馬奈木, 俊介(Managi, Shunsuke) 日引, 聡(Hibiki, Akira)
Publisher	慶應義塾経済学会
Publication year	2007
Jtitle	三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.100, No.3 (2007. 10) ,p.691(109)- 709(127)
JaLC DOI	10.14991/001.20071001-0109
Abstract	<p>国際貿易がもたらす恩恵が豊かであることについては多くの経済学者のコンセンサスが得られている。しかし、貿易の自由化への動きが活発化するなかで、その動きが環境にどのような影響を与え得るのかという問いに対しては、必ずしも一致した結論が得られていない。過去十年間、この問いは貿易政策における最も重要な議論の一つとなっている。本研究では、浮遊粒子状物質を対象に貿易の自由化が環境負荷にどのような影響を及ぼすかを検証する。特に、その影響が、高所得国と低所得国の間でどのように異なるかについても検証した。</p> <p>There is a consensus among many economists on the wealth of benefits generated by international trade.</p> <p>However, although the push to liberalize trade is active, answers to the question of how this will impact the environment are not necessarily uniform.</p> <p>In the past decade, this question has become one of the most important discussions in trade policy.</p> <p>In this study, with airborne particles as the subject, we verify how liberalization of trade affects the environmental load.</p> <p>In particular, we verify how this impact differs between high-income and low-income countries.</p>
Notes	小特集：環境経済学の新展開(上)
Genre	Journal Article
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-20071001-0109">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-20071001-0109</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

国際貿易と環境保護—浮遊粒子状物質を対象として—

International Trade and Environment —Application of Particulate Matter—

鶴見 哲也(Tetsuya Tsurumi)

馬奈木 俊介(Shunsuke Managi)

日引 聡(Akira Hibiki)

国際貿易がもたらす恩恵が豊かであることについては多くの経済学者のコンセンサスが得られている。しかし、貿易の自由化への動きが活発化するなかで、その動きが環境にどのような影響を与え得るのかという問いに対しては、必ずしも一致した結論が得られていない。過去十年間、この問いは貿易政策における最も重要な議論の一つとなっている。本研究では、浮遊粒子状物質を対象に貿易の自由化が環境負荷にどのような影響を及ぼすかを検証する。特に、その影響が、高所得国と低所得国の間でどのように異なるかについても検証した。

#### Abstract

There is a consensus among many economists on the wealth of benefits generated by international trade. However, although the push to liberalize trade is active, answers to the question of how this will impact the environment are not necessarily uniform. In the past decade, this question has become one of the most important discussions in trade policy. In this study, with airborne particles as the subject, we verify how liberalization of trade affects the environmental load. In particular, we verify how this impact differs between high-income and low-income countries.

## 国際貿易と環境保護

——浮遊粒子状物質を対象として——

鶴 見 哲 也  
馬奈木 俊 介  
日 引 聡

### 要 旨

国際貿易がもたらす恩恵が豊かであることについては多くの経済学者のコンセンサスが得られている。しかし、貿易の自由化への動きが活発化するなかで、その動きが環境にどのような影響を与え得るのかという問いに対しては、必ずしも一致した結論が得られていない。過去十年間、この問いは貿易政策における最も重要な議論の一つとなっている。本研究では、浮遊粒子状物質を対象に貿易の自由化が環境負荷にどのような影響を及ぼすかを検証する。特に、その影響が、高所得国と低所得国の間でどのように異なるかについても検証した。

### キーワード

貿易の自由化、環境汚染、浮遊粒子状物質、ノンパラメトリック分析、ダイナミックパネルモデル

### 1. はじめに

国際貿易がもたらす恩恵が豊かであることについては多くの経済学者のコンセンサスが得られている。たとえば、貿易そのものが経済成長を促進するかは必ずしも明らかではないが、貿易に伴って知識伝播が起きる場合に貿易が成長を促進することを主張する Feenstra (1996) の研究は注目に値する。ただ、貿易の自由化への動きが活発化するなかで、その動きが環境にどのような影響を与え得るかという問題は、過去十年間、貿易政策における最も重要な議論の一つとなっている (Copeland and Taylor (2004), Taylor (2004))。そして、その流れから、貿易が世界平均でどれだけ環境に影響を与えているかについての統計的証拠の蓄積が最近になってなされてきている (たとえば Antweiler *et al.* (2001), Harbaugh *et al.* (2002), Cole and Elliott (2003), Frankel and Rose (2005))。しかし、貿易の自由化は、環境を悪化させる方向に働くこともあれば、環境を改善させる方向に働くこともあり、必ずしも一致した結論は提示されていない (Copeland and Taylor (2003))。SO<sub>2</sub> のようないくつかの環境指標については、貿易が有益な効果をもたらしているという実証研究がある。しか

し、だからといって、貿易が全ての環境指標に対して常に有益である、あるいは常に有害であるとはいえない (Chichilnisky (1994), Copeland (2000), Copeland and Taylor (2004) を参照のこと)。

本研究の目的は、貿易の自由化が環境負荷にどのような影響を及ぼすかを検証することにある。特に、その影響が、高所得国と低所得国の間でどのように異なるかについても検証する。高所得国と低所得国とでは、貿易の自由化が環境に及ぼす影響が異なるかもしれない。なぜなら、貿易の自由化によって、環境に悪い製品の生産が、高所得国から低所得国に移転するかもしれないからである。先行研究では、主に先進国を中心としたデータを用いて分析しているために、このような点を考慮した分析がなされていない。したがって、本研究では、より多くの発展途上国のデータを含め、自由化によって、低所得国の環境悪化が促進されるかどうか (Pollution Heaven 仮説が生じているかどうか) を明らかにする。

なお、本研究では、環境指標として PM10 濃度を対象に分析する。PM10 とは浮遊粒子状物質 (Suspended Particulate Matter, SPM) のうち粒径  $10\mu\text{m}$  ( $1\mu\text{m}$  は百万分の 1 メートル) 以下のものである。PM10 は工場の煤煙、自動車排出ガスなどの人為的発生源由来のもののほか、火山活動など自然界に由来するものがある。呼吸器系の各部位へ沈着し喘息等の健康影響を及ぼし、中でもディーゼル機関からの排気微粒子 (Diesel Exhaust Particle: DEP) については、従来から発がん性が疑われていることに加え、最近、動物実験において喘息様の病態が認められるなどアレルギー疾患との関連が指摘されている。年平均  $100\text{mg}/\text{m}^3$  になると呼吸器への影響、全死亡率の上昇が起きることから、例えば日本の環境基準は、1 時間値の 1 日平均値が  $0.10\text{mg}/\text{m}^3$  以下、1 時間値が  $0.20\text{mg}/\text{m}^3$  以下と定められている。世界全体の PM10 濃度はおおむね減少傾向にあるがそれでも途上国を中心に値の大きい国が散在している。発展途上国の農村人口が都市に流入する傾向が高まる現在、今後、都市部の汚染の拡大が危惧される。しかし、先行研究は積極的にこの物質を研究対象として取り上げていない。<sup>(1)</sup> 本研究によって、貿易の自由化が PM10 濃度に及ぼす影響を明らかにすることの意義は大きいものと思われる。

以下では、第 2 節で先行研究に触れ、3 節で理論について述べる。4 節でノンパラメトリック手法を用いた関数形の事前検討を行い、その結果を基に、5 節で実証モデルを構築し、推計結果について考察する。最後に、6 節で結論をまとめる。

---

(1) 我々の知る限りでは、PM10 を貿易が環境に与える影響に関する研究で扱っているのは Frankel and Rose (2005) のみである。彼らの研究の結論は SO<sub>2</sub> に関しては貿易が環境負荷低減の影響を持つこと、そして NO<sub>2</sub> についても同様に環境負荷低減の影響を持つというものであった。その一方で、本研究で扱っている PM10 については、有意な結果が得られていない (この原因の一つとしては彼らの研究がクロスセクションの分析であり、データ数が大幅に少ないことが考えられる)。なお、Frankel and Rose (2005) は 41 カ国のデータを扱っているが主に先進国に偏ったデータを用いており、彼らの結論をそのまま発展途上国に適用することには注意が必要といえる。

## 2. 先行研究

貿易が環境に及ぼす効果を考えるときには、貿易の持つ直接効果だけでなく、いくつかの間接効果も考慮する必要がある（Grossman and Krueger (1993)）。すなわち、貿易が環境に及ぼす全効果には規模効果、技術効果そして構造効果の三つがあり、それらを全て含めて議論を行う必要がある。

一つ目の規模効果は、貿易の自由化によって生じる生産量の増加が汚染量を増加させる効果である。この効果は経済規模（すなわち生産量）の拡大が環境に悪影響を与える要因として理解される。二つ目の技術効果は、生産方法の変化が汚染に及ぼす影響、すなわち、生産方法（技術）の向上によって単位生産量あたりの汚染物質排出量が減少することによる効果を意味している。この効果には、通常、経済発展とともに起こる技術革新のほか、所得向上によって国民の環境改善への関心（環境財への需要）が高まることも原動力になっていると理解される（たとえば、環境財への需要の増加が環境規制の強化を通して環境負荷を低減させることなど）。この技術効果は所得の増大が環境に好影響を与える要因として捉えられる。三つ目の構造効果は、生産する製品（汚染財・非汚染財）の国内構成比が変わることを表している。経済発展の過程で農業や繊維産業等の労働集約的な非汚染財に特化する段階からエネルギー集約的で資本集約的な汚染財を扱う段階へ産業構造が変化することは環境負荷を高めると理解される。また、仮にサービス産業やIT産業が台頭すれば逆に負荷は低減されると考えられる。もし、仮にこの1次産業から2次、3次産業へと移り変わる通常のパターンから外れたとしても、生産する財の国内構成比（汚染財と非汚染財の構成比）が変わることは環境負荷にプラスにもマイナスにも影響を与えることは理解しやすいことであろう。したがって、この構造効果は環境に良い影響を持つ場合と悪影響を与える場合がある要因として捉えることができる。

Antweiler *et al.* (2001) は、実証に応用可能な理論モデルを構築し、貿易が環境に与える影響を、上記の規模、技術そして構造効果の三つに分解した上で、誘導型で導出し、貿易の自由化が環境（SO<sub>2</sub>）に及ぼす影響を検証し、①技術効果による環境負荷低減効果が規模効果による環境負荷増加効果を上回っていること、②構造効果は環境負荷を低減させる影響を持つこと、③①、②の結果から、貿易はSO<sub>2</sub>による環境汚染を改善する効果をもつこと、を明らかにしている<sup>(2)</sup>。

なお、Antweiler *et al.* (2001) では、「貿易が生産量（所得）に与える影響」<sup>(3)</sup>（詳しくは以下で説明する）を測定しなかったため、貿易の自由化が生産量への影響を通して、環境負荷に及ぼす影響を

---

(2) 環境クズネッツ曲線に関するフレームワークを用い、Harbaugh *et al.* (2002) も同様に GEMS の SO<sub>2</sub> データを用いて研究を行い、貿易が SO<sub>2</sub> に対してよい影響を与えていることを示している。

(3) 貿易が所得に与える影響を考察する研究分野は、さまざまな結論が得られている分野であり、コンセンサスは得られていない。そこで、Antweiler らは三つの効果を足し合わせる方法の提案にとどめ、実際の全効果の値は算出しなかった。

考慮した分析を行っていない。このため、3つの効果の総合的な効果を推計できていないことに注意が必要である。

われわれの知る限りでは、貿易が環境に与える影響を規模、技術そして構造効果に分割した上で分析を行っている研究は、この他 Cole and Elliott (2003) および鶴見、馬奈木、日引 (2007) 位である。Cole and Elliott (2003) も Antweiler らと同様の理由で各効果の議論を符号で行うにとどめている。CO<sub>2</sub> については正味の規模・技術効果が環境を悪化させる符号を示し、構造効果も同様の符号を示したため、貿易は CO<sub>2</sub> の環境負荷を高めると結論付けている。一方で SO<sub>2</sub> については、正味の規模・技術効果の符号が環境を改善させる符号であるのに対し、構造効果が環境を悪化させる符号を示したため（どちらの符号の絶対値が大きいかは、間接効果を考慮していないので不明なため）全効果が環境改善に働くのか、あるいは環境負荷増大に働くのかについては明らかにしていない。

本稿では、鶴見、馬奈木、日引 (2007) に従い、以下で詳しく説明するように、Antweiler *et al.* (2001) や Cole and Elliott (2003) で考慮していない、「貿易が生産量（所得）に与える影響」も測定した上で、貿易の自由化が環境に及ぼす総合的な影響を明らかにする。このために、貿易の自由化が生産量へ及ぼす影響を表す、追加の方程式を加えた同時方程式を推計する。これが、本稿の学術的貢献の一つである。

本研究では、Antweiler *et al.* (2001) の環境負荷モデルを修正して使用する。また、貿易と成長の分野で指摘される問題のひとつである貿易変数と所得変数の内生性をコントロールするために Frankel and Rose (2005) によって提案された操作変数をモデルに導入する。さらに、本研究で扱う従属変数である PM10 と一人当たり GDP は経年で単調変化の傾向を持つ指標であり、系列相関の考慮が重要となる。しかしながら、先行研究はこの点を考慮せずに分析を行っている。そこでわれわれは、従属変数の  $t - 2$  期以前の水準を操作変数に用いた一階の階差モデルである、Arellano and Bond (1991) が提案したダイナミックパネル分析の手法を用いてこの問題に対処する。

### 3. モデル

#### 3.1 環境負荷方程式の導出

本研究の前提とする理論は2節で触れたように Antweiler *et al.* (2001) の提示したモデルを拡張している。以下では、Antweiler *et al.* (2001) を参考に、基本となるモデルの概要について説明しよう。

資本 (K) と労働 (L) の生産2要素から製品 X と製品 Y という2財を生産する小国で構成される開放経済を想定する。ここで、製品 X を生産する産業は資本集約的な汚染財産業で副生成物として汚染を排出し、製品 Y を生産する産業は労働集約的な非汚染財産業で汚染を排出しないとする。

すると製品 X の国内価格  $p$  は以下ようになる。

$$p = \lambda p^w \quad (1)$$

ここで、 $\lambda$  は貿易障壁、 $p^w$  は製品 X の国際価格であり、製品 X の輸入国であれば  $\lambda > 1$ 、輸出国であれば  $\lambda < 1$  と想定できる。貿易自由化が進めば  $\lambda$  は 1 に近づくことになる。例えば製品 Y に比較優位を持つ国（すなわち製品 X の輸入国）では貿易自由化による  $\lambda$  の減少によって国内価格  $p$  が下がり、製品 X の国内生産が減少するため国内の汚染量が減少する。逆に製品 X に比較優位を持つ製品 X の輸出国では貿易自由化による  $\lambda$  の増大によって国内価格  $p$  が上がり、製品 X の国内生産が増加するため国内の汚染量が増加する。したがって、他の要因を一定としたときに貿易自由化による  $\lambda$  の変化が汚染量に与える影響はその国が製品 X の輸出国であるのか輸入国であるのかに依存することになる。

さて、 $e$  を製品 X の単位生産量あたりの汚染量と定義すると、製品 X による汚染量  $z$  は以下の (2) 式で表される。

$$z = ex \quad (2)$$

ここで  $x$  は製品 X の生産量である。

次に、国内の総生産  $s$  を考えると、 $x$  は以下の (3) 式のように書くことができる。

$$x = \sigma s \quad (3)$$

ここで、 $\sigma$  は国内総生産に占める製品 X の割合である。

以上より、汚染量  $z$  を以下の (4) 式の形で表すことができる。

$$z = ex = e\sigma s \quad (4)$$

(4) 式を微分形式で表現すると以下の (5) 式になる。

$$\hat{z} = \hat{e} + \hat{\sigma} + \hat{s} \quad (5)$$

ここで、 $\wedge$  は変化率を表し、 $e$  は技術効果、 $\sigma$  は構造効果、 $s$  は規模効果を示す。

以下、各効果についてより細かく見ていく。まず、 $\theta$  を製品 X の生産費に占める汚染削減費用の割合と定義すると、技術効果  $e$  は、 $e = e(\theta)$  と書くことができる。さて、 $e$  に対して課せられる環境税を  $\tau$  とすると、製品 X の正味の国内価格  $p^X$  は以下の (6) 式で表される。

$$p^X = p(1 - \theta) - \tau e(\theta) \quad (6)$$

$p^X$  の一階の最大化条件を考えると以下の (7) 式を得る。

$$e'(\theta) = -\frac{p}{\tau} \quad (7)$$

(1) 式と (7) 式から、技術効果は以下の (8) 式の形で表される。

$$\hat{e} = \varepsilon_e (\hat{\lambda} + \hat{p}^w - \hat{\tau}) \quad (8)$$

ここで、弾力性  $\varepsilon_e$  は正である。

次に、構造効果  $\sigma$  について考えると、 $\sigma$  は資本労働比率  $\kappa$  と  $p^X$  の関数であるので、 $\sigma = \sigma(\kappa, p^X)$  と書くことができる。したがって、構造効果は以下の (9) 式の形で表される。

$$\hat{\sigma} = \varepsilon_{\sigma\kappa} \hat{\kappa} + \varepsilon_{\sigma p} \hat{p}^X \quad (9)$$

ここで、 $\varepsilon_{\sigma\kappa}$  と  $\varepsilon_{\sigma p}$  はともに正である。

(1), (6), (7) 式より、以下の (10) 式が導出される。

$$\hat{p}^X = (\hat{\lambda} + \hat{p}^w)(1+a) - a\hat{\tau} \quad (10)$$

ここで  $a$  は  $\frac{\tau e(\theta)}{p^X}$  であり、 $p^X$  に占める汚染削減費用の割合である。

(8), (9), (10) 式を (5) 式に代入すると、生産者側の汚染需要関数を以下の (11) 式のように得る。

$$\hat{z} = \hat{s} + \varepsilon_{\sigma\kappa} \hat{\kappa} + [(1+a)\varepsilon_{\sigma p} + \varepsilon_e] \hat{\lambda} + [(1+a)\varepsilon_{\sigma p} + \varepsilon_e] p^X - [a\varepsilon_{\sigma p} + \varepsilon_e] \hat{\tau} \quad (11)$$

一方、消費者の効用関数は以下の (12) 式のように表される。

$$V^i(p, G/N, z) = u\left(\frac{G/N}{\rho(p)}\right) - [\omega\delta^g + (1-\omega)\delta^b] z = u(I) - [\omega\delta^g + (1-\omega)\delta^b] z \quad (12)$$

ここで、 $G/N$  は一人当たり所得、 $\rho(p)$  は物価指数とし、 $I = \frac{G/N}{\rho(p)}$  は実質所得である。 $i = \{g, b\}$  かつ  $\delta^g > \delta^b \geq 0$  であり、 $g$  は国民の中での環境意識の高いグループ、 $b$  はその他である。また、 $\omega$  は政府の環境意識の高さであり、1 から 0 の間の値をとり、値が大きいくほど意識が高いとする。

$V^i$  の一階の最大化条件を考えると、以下の式を得る。

$$u'(I) \frac{dI}{d\tau} - [\omega\delta^g + (1-\omega)\delta^b] \frac{dz}{d\tau} = 0 \quad (13)$$

ここで政府の歳入  $G$  は  $G = R(p^X, K, L) + \tau z$  と書けるので、 $p^w$  を一定とすると、 $\frac{dI}{d\tau}$  は以下のよう表すことができる。

$$\frac{dI}{d\tau} = \frac{d}{d\tau} \left( \frac{G/N}{\rho(p)} \right) = \frac{1}{N\rho(p)} \left[ R_{p^X} \frac{dp^X}{d\tau} + z + \tau \frac{dz}{d\tau} \right] = \frac{1}{N\rho(p)} \tau \frac{dz}{d\tau} \quad (14)$$

この (14) 式を (13) 式に代入して整理すると以下の (15) 式を得る。

$$\tau = N [\omega MD^g(p, I) + (1-\omega) MD^b(p, I)] \quad (15)$$



ここで、 $MD^i(p, I) = \delta^i \rho(p)/u'$  であり、 $MD^i > 0$  となっている。(15) 式を簡潔に表現すると、

$$\tau = \xi \phi(p, I) \quad (16)$$

となる。ここで、 $\xi = \omega N \delta^g + (1 - \omega) N \delta^b$  であり、これは“国のタイプ”を表している。

(1) 式と (16) 式より、政府側の汚染供給関数は以下のようになる。

$$\hat{\tau} = \hat{\xi} + \varepsilon_{MD} \hat{\lambda} + \varepsilon_{MD} \hat{p}^w + \varepsilon_{MD} \hat{I} \quad (17)$$

ここで、 $\varepsilon_{MD}$  は正である。

以上導出した汚染需要関数 (11) 式と汚染供給関数 (17) 式から、均衡条件を用いて誘導型を得ると、

$$\hat{z} = \gamma_1 \hat{s} + \gamma_2 \hat{\kappa} - \gamma_3 \hat{I} + \gamma_4 \hat{\lambda} + \gamma_5 \hat{p}^w - \gamma_6 \hat{\xi} \quad (18)$$

ここで、パラメータ  $\gamma_i$  は全て正である。

### 3.2 貿易の自由化と環境への影響

$\kappa$ ,  $p^w$  および  $\xi$  を一定とすると、(18) 式より、貿易の自由化が規模効果、技術効果、構造効果を通して汚染量に及ぼす全効果は、次式の通りになる。

$$\hat{z} = \gamma_1 \hat{s} - \gamma_3 \hat{I} + \gamma_4 \hat{\lambda} \quad (19)$$

なお、構造効果には直接構造効果 ( $\kappa$ ) と、貿易に起因する構造効果 ( $\lambda$ ) の2種類があり、(19) 式は貿易に起因する構造効果のみを考えている。

この開放経済で、規模による収穫一定を仮定すると、生産量と所得は同じ割合で上昇するため、 $\hat{s} = \hat{I}$  となる。したがって、(19) 式は以下の (20) 式のように書き直すことができる。

$$\hat{z} = (\gamma_1 - \gamma_3) \hat{I} + \gamma_4 \hat{\lambda} \quad (20)$$

## 4. 実証モデルの構築

### 4.1 ノンパラメトリックモデル

以下では、パラメトリック手法でのモデルの定式化を検討する目的で、ノンパラメトリック手法による事前検討を行う。ノンパラメトリック手法はパラメトリック手法に比べ、事前に関数形に強い仮定をおく必要がないため柔軟にモデルを構築できる。

なお、通常多くのノンパラメトリック回帰ではモデルに複数の説明変数を含めた場合、以下の二つの問題が生じる。一つは、いわゆる「次元の呪い (curse of dimensionality)」であり、次元が低い

場合と同じ精度の結果を次元が高い場合にも得るためには累進的に大量のデータが必要になる問題である。局所的に回帰を行うことで、よりデータに即した結果を得られることがノンパラメトリック手法の強みではあるものの、高次元の場合には、局所的な範囲にデータが存在しにくい<sup>(4)</sup>ため、推計の分散が大きくなってしま<sup>(4)</sup>うのである。たとえ参照する範囲を大きくすることで参照データを増やすことができたとしても、通常は局所的とは呼べない程度にまで参照範囲を広げざるを得ない場合が多い。二つ目は、高次元であればあるほど結果の解釈が難しくなる問題である。説明変数が複数のノンパラメトリック回帰において、ある一つの説明変数の分析結果は、通常のパラメトリックな手法のような他の変数を一定としたときの平均的傾向ではなく、他の変数の局所的な範囲ごとに見出された傾向であるため、解釈が非常に複雑になる。例えば説明変数が2つであれば回帰曲面を描くことは可能であるが、それでも曲面に現れる複雑な構造を解釈することは難しいし、説明変数が3つ以上の場合にはグラフ化することすら難しい<sup>(4)</sup>。

この問題に対処するために、Stone(1985)は加法モデル(Additive models)を、Hastie and Tibshirani(1990)は一般化加法モデル(Generalized additive models)を新たなノンパラメトリック手法として提案した。これらの手法によって、説明変数ごとに他の要因を一定とした平均的傾向のグラフを作成することが可能になる。したがって、これらのモデルの強みは、関数関係を直感的に要約できることにあるといえる。本研究ではHastie and Tibshirani(1990)の一般化加法モデルを用いて関数関係を検討した。

以下、一般化加法モデルを説明する。

$Y$  を被説明変数、 $X_1, \dots, X_p$  を説明変数とする。標準的な線形重回帰モデルは以下の(21)式で表される。

$$E(Y) = f(X_1, \dots, X_p) = \gamma_0 + \gamma_1 X_1 + \dots + \gamma_p X_p \quad (21)$$

加法モデルは、 $Y$  の期待値を以下の(22)式のように扱うことで(21)式の線形重回帰モデルを拡張させたものである。

$$E(Y) = f(X_1, \dots, X_p) = s_0 + s_1(X_1) + \dots + s_p(X_p) \quad (22)$$

ここで、 $s_j(X), j = 1, \dots, p$  はそれぞれ滑らかなノンパラメトリック関数である。

さて、一般化加法モデルは $E(Y)$  と  $f(X_1, \dots, X_p)$  の関係性に注目することで加法モデルとは別の方法で(21)式の線形モデルを拡張させたものである。通常用いられるガウス分布に基づく推計が適切でない場合が存在することから、この手法が提案された。すなわち、 $E(Y)$  は正規分布ではなく、指数族に属する以下の密度に従うと仮定する。

$$f_Y(y; \theta; \phi) = \exp \left\{ \frac{y\theta - b(\theta)}{a(\phi)} + c(y, \phi) \right\} \quad (23)$$

---

(4) われわれのデータにおいても、複雑な構造が見出された。

ここで、 $\theta$  は自然パラメータと呼ばれ、 $\phi$  は尺度パラメータ（広がり具合を表す）と呼ばれる。

$\eta$  を以下のように定義する。

$$\eta = s_0 + \sum_{j=1}^p s_j(X_j) \quad (24)$$

ここで、 $y$  の平均値を  $\mu$  とすると、 $\mu$  と  $\eta$  の間には  $g(\mu) = \eta$  という関係があると定義される。ここで  $g(\cdot)$  は連結関数と呼ばれるものである。そして、最もよく使われる連結関数が  $\eta = \theta$  である。

さて、我々の一般化加法モデルは以下の (25) 式で表される。

$$\ln E_j = \alpha + f_1(\ln I_{j1}) + f_2[\ln(K/L)_{j2}] + f_3(\ln T_{j3}) + \varepsilon_j \quad (25)$$

ここで、 $j$  は各観測値を示し、 $\alpha$  は定数項、 $E$  は PM10 濃度（country level [micrograms per cubic meter]）、 $I$  は規模効果と技術効果の正味の効果を測定する説明変数である一人当たり GDP [1996 \$]、 $K/L$  は構造効果を測定する労働資本比率 [\$/worker]、 $T$  は貿易障壁（貿易の自由化度）の代替変数として先行研究で使用されてきている貿易率 [%]（輸出額と輸入額の和を GDP で除した値）、そして  $\varepsilon$  は誤差項である。

#### 4.2 一般化加法モデルによる推計結果

図 1 は資本労働比率 ( $K/L$ ) と貿易率 ( $T$ ) を固定した場合の一人当たり GDP ( $I$ )（規模効果と技術効果の正味の効果の変数）と PM10 濃度の関係である。PM10 は World Development Indicators（以下 WDI）から入手した。ただし、PM10 濃度のデータは人口 10 万人以上の都市の PM10 濃度レベルを集計し、その集計データを国内の平均的な都市人口と居住面積で重み付けしたもの（これを国の推計値としている）である。また、一人当たり GDP [1996 \$]、貿易率 [%] も WDI から入手しており、資本労働比率は Extended Penn World Table<sup>(5)</sup>より入手した。なお、中央のラインが推定値、上下の 2 本のラインには含まれた範囲が 95% の信頼区間である。理論では規模効果は正の相関、技術効果は負の相関を示すと予期されるが、その正味の効果を表すこの図 1 では明らかに負の相関の傾向が強い。したがって、図からは規模効果に比べ技術効果の影響が大きいことが観察できる。

図 2 は一人当たり GDP ( $I$ ) と貿易率 ( $T$ ) を固定した場合の資本労働比率 ( $K/L$ )（構造効果の変数）と PM10 濃度の関係である。理論では構造効果は正の相関が予期されるが、この図 2 においても同様の傾向を見出すことができる。

図 3 は一人当たり GDP ( $I$ ) と資本労働比率 ( $K/L$ ) を固定した場合の貿易率 ( $T$ ) と PM10 濃度の関係である（この図は貿易の直接効果、すなわち貿易に起因する構造効果を意味している）。図を見る限りでは、負の相関を見出すことができる。なお、この図から貿易率 ( $T$ ) の増加が環境によい影響があるという最終的な結論を出すことはできない。なぜならば、貿易率 ( $T$ ) の増減は一人当

(5) <http://homepage.newschool.edu/~foleyd/epwt/>

図1 正味の規模効果と技術効果

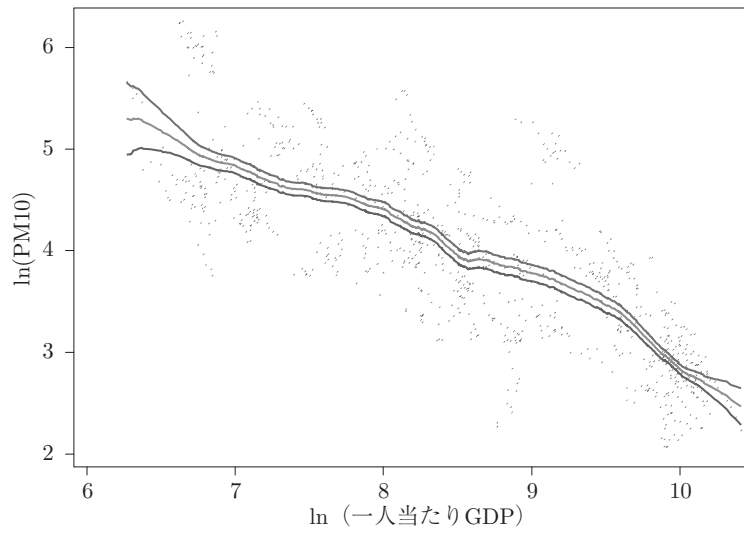
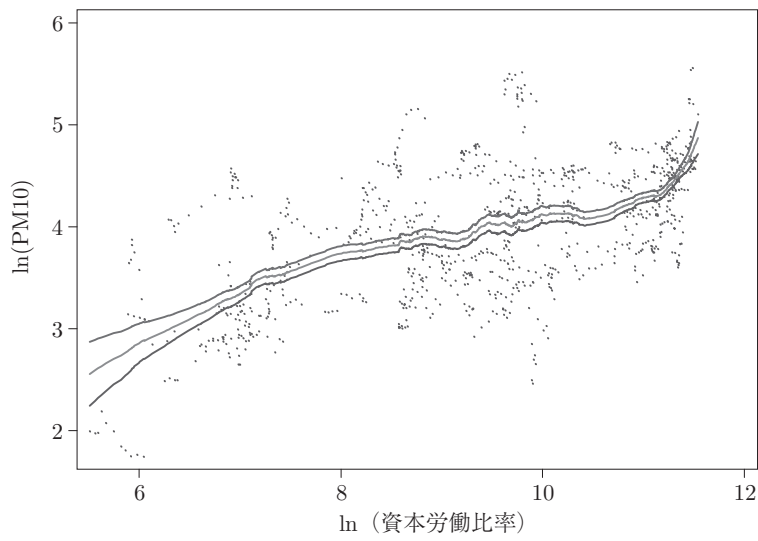
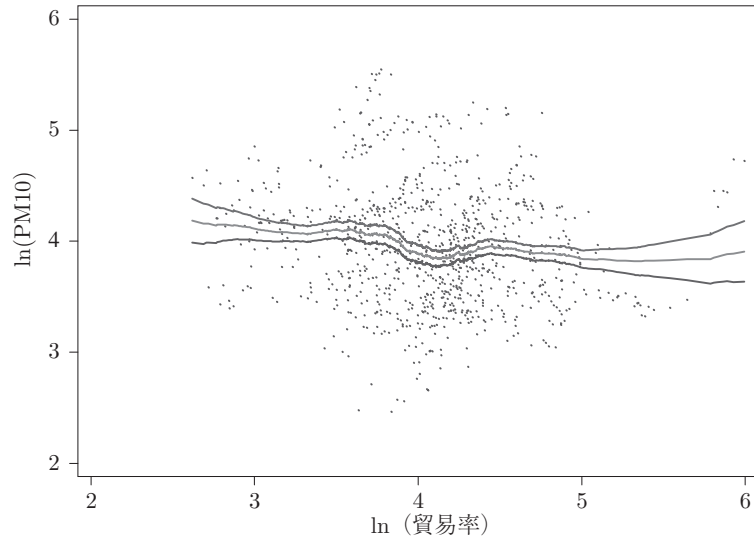


図2 直接構造効果



たり GDP ( $I$ ) の増減にも結びつくからである（これによって生じる環境への影響が貿易による間接効果である）。貿易率 ( $T$ ) の増減が環境に及ぼす全効果を考えるためには、貿易率 ( $T$ ) が一人当たり GDP ( $I$ ) に及ぼす影響も考慮する必要がある。この影響は図3には含まれていないため、全効果の解釈は後述のパラメトリック手法に委ねることとなる。

図3 貿易に起因する構造効果



以上のように、 $I$  (図1)、 $K/L$  (図2)、そして  $T$  (図3) の関数形については、全ての図においてほぼ対数線形の関係があると読み取れるため、パラメトリック回帰のモデルには各変数の1乗までを含めることとした。

## 5. パラメトリックモデルによる推計

### 5.1 パラメトリックモデル

Antweiler *et al.* (2001) より導出された (18) 式を基にして、本研究では、次式で表されるモデルを推計する。ただし、ノンパラメトリックモデルによる定式化の検討により、対数線形モデルを採用している。また、いくつかの交差項を追加している。たとえば、所得と貿易率の交差項あるいは労働資本比率と貿易率の交差項を入れることにより、貿易の自由化が環境負荷に及ぼす影響が、高所得か低所得かによってどのように異なるか、また、資本集約的な産業構造かどうかによってどのように異なるかを検証することができる。

$$\begin{aligned}
 \ln E_{it} &= c_1 + \alpha_1 \ln E_{it-1} + \alpha_2 \ln(K/L)_{it} + \alpha_3 \ln I_{it} + \alpha_4 [\ln(K/L)_{it} \cdot \ln I_{it}] \\
 &+ \alpha_5 \ln T_{it} + \alpha_6 [\ln(K/L)_{it} \cdot \ln T_{it}] + \alpha_7 (\ln I_{it} \cdot \ln T_{it}) \\
 &+ \alpha_8 [\ln(K/L)_{it} \cdot \ln I_{it} \cdot \ln T_{it}] + \varepsilon_{1it} \\
 \varepsilon_{1it} &= \eta_{1i} + \nu_{1it}
 \end{aligned} \tag{26}$$

ここで、 $i$ は国、 $t$ は年を示す。 $c$ は定数項である。また、誤差項 $\varepsilon_{1it}$ は個別効果 $\eta_{1i}$ とその他の要因 $\nu_{1it}$ からなる。なお、(18)式における $p^w$ と $\xi$ は $\eta_{1i}$ によってコントロールを行っている。

貿易の自由化が汚染物質排出量に及ぼす影響は、規模効果、技術効果、構造効果であるが、(20)式に示すように、構造効果が直接的な効果((20)式第3項)であるのに対して、規模効果および技術効果は貿易の自由化が生産および所得を通して及ぼす間接的な効果((20)式第1, 第2項)となっている。Antweiler *et al.* (2001)では、 $s$ および $I$ は外生変数として扱われており、貿易の自由化が環境負荷に及ぼす影響としては、直接効果、すなわち、構造効果のみを計測している。しかし、実際には、貿易の自由化は、生産量への影響( $s$ ; 規模効果)や経済成長を通じた所得上昇( $i$ ; 技術効果)を通じて環境負荷に及ぼす間接的な効果も考慮する必要がある。そこで、本稿はこれらの間接効果を内生化する。これによって、貿易の自由化が環境に及ぼす影響を直接的な影響と間接的な影響に分離して分析することができ、また、その全体的な効果を考慮することができる。このため、(27)式に示すように、所得関数を内生化する。

この(27)式は新古典派の経済成長論(Barro (1998))を基にしており、 $P$ は人口成長率、 $Sch$ は就学年数である。他の変数はすでに定義したとおりである。

$$\ln I_{it} = c_2 + \beta_1 \ln I_{it-1} + \beta_2 \ln T_{it} + \beta_3 \ln(K/L)_{it} + \beta_4 \ln P_{it} + \beta_5 \ln Sch_{it} + \varepsilon_{2it} \quad (27)$$

$$\varepsilon_{2it} = \eta_{2i} + \nu_{2it}$$

なお、(27)式からわかるように、前期の所得は今期の所得にも影響を及ぼす。したがって、(27)式の定式化によって、貿易の自由化が所得に及ぼす短期的効果と長期的効果を推計することができる。(27)式より、短期的効果および長期的効果は、それぞれ次式の通りである。

$$d \ln I_{it} = \beta_2 d \ln T_{it} \quad (28)$$

$$d \ln I = \frac{\beta_2}{1 - \beta_1} d \ln T \quad (29)$$

一方、(26)式より、規模効果、技術効果、構造効果が汚染物質排出量に及ぼす効果についても短期的効果と長期的効果がそれぞれ次式のように推計される。

$$d \ln E_{it} = \{\alpha_3 + \alpha_4 \ln(K/L)_{it} + \alpha_7 \ln T_{it} + \alpha_8 \ln(K/L)_{it} \ln T_{it}\} d \ln I_{it} \\ + \{\alpha_5 + \alpha_6 \ln(K/L)_{it} + \alpha_7 \ln I_{it} + \alpha_8 \ln(K/L)_{it} \ln I_{it}\} d \ln T_{it} \quad (30)$$

$$d \ln E_{it} = \frac{\alpha_3 + \alpha_4 \ln(K/L)_{it} + \alpha_7 \ln T_{it} + \alpha_8 \ln(K/L)_{it} \ln T_{it}}{1 - \alpha_1} d \ln I_{it} \\ + \frac{\alpha_5 + \alpha_6 \ln(K/L)_{it} + \alpha_7 \ln I_{it} + \alpha_8 \ln(K/L)_{it} \ln I_{it}}{1 - \alpha_1} d \ln T_{it} \quad (31)$$

(28) 式および (30) 式より、直接効果と間接効果を含んだ、貿易の自由化による汚染物質排出量への短期的影響は次式の通りになる。

$$d \ln E_{it} = [\{\alpha_3 + \alpha_4 \ln(K/L)_{it} + \alpha_7 \ln T_{it} + \alpha_8 \ln(K/L)_{it} \ln T_{it}\} \beta_2 + \alpha_5 + \alpha_6 \ln(K/L)_{it} + \alpha_7 \ln I_{it} + \alpha_8 \ln(K/L)_{it} \ln I_{it}] d \ln T_{it} \quad (32)$$

同様にして (29) 式および (31) 式より、直接効果と間接効果を含んだ、貿易の自由化による汚染物質排出量への長期的影響は次式の通りになる。

$$d \ln E_{it} = \left[ \left( \frac{\alpha_3 + \alpha_4 \ln(K/L)_{it} + \alpha_7 \ln T_{it} + \alpha_8 \ln(K/L)_{it} \ln T_{it}}{1 - \alpha_1} \right) \frac{\beta_2}{1 - \beta_1} + \frac{\alpha_5 + \alpha_6 \ln(K/L)_{it} + \alpha_7 \ln I_{it} + \alpha_8 \ln(K/L)_{it} \ln I_{it}}{1 - \alpha_1} \right] d \ln T_{it} \quad (33)$$

さて、(26) 式、(27) 式のモデルでは、被説明変数の一期のラグが説明変数に含まれており、誤差項  $\epsilon_{it} = \eta_i + \nu_{it}$  との相関が問題となる。そこで、個別効果  $\eta$  を取り除くために両辺について 1 階の階差モデルを考える。このモデルにおいては 2 期ラグ以前の被説明変数の値は誤差項の階差と無相関（すなわち直交条件が成立）であることが知られている（Holtz-Eakin (1988), Holtz-Eakin, Newey and Rosen (1988)）。Arellano and Bond (1991) はこの被説明変数の  $t - 2$  期以前の水準を操作変数として用いる一般化積率法 (GMM) を提案した。この操作変数を行列で表現すると以下のようにになる。

$$Z_i = \begin{pmatrix} [E_{i1}] & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & [E_{i1}, E_{i2}] & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & [E_{i1}, \dots, E_{i,T-2}] \end{pmatrix} \quad (34)$$

そして、次の (35) 式を解くことで推計値が得られる。

$$\min_{\hat{\theta}} \left( \frac{1}{N} [Z' \Delta \hat{\nu}]' A_N \frac{1}{N} [Z' \Delta \hat{\nu}] \right) \quad (35)$$

ここで  $A_N = \left[ \frac{1}{N} (Z' \Delta \hat{\nu} \Delta \hat{\nu}' Z) \right]^{-1}$ ,  $Z = (Z'_1, Z'_2, \dots, Z'_n)'$ 。

$\hat{\theta}$  はパラメータ・ベクトル、そして  $N$  はサンプルサイズである。また、 $\Delta \hat{\nu}$  は初期の一致推定量から計算された残差の一致推定値である。

さらに、本稿では、貿易変数の内生性の問題についても考慮する。この問題は、貿易と所得の関係性についての実証研究でよく知られている（例えば Noguera and Siscart (2005)）。二国間貿易に関する重力モデルにおいて用いられる変数は外生的でかつ貿易変数と高い相関を持つため、貿易変数の

操作変数として適している (Frankel and Rose (2002, 2005))。このため、本研究でもこの操作変数を (26) 式と (27) 式の推計に追加の操作変数として導入することとした。具体的には WDI から国のサイズ (GDP, 人口, 国土面積), そして *Center for International Prospective Studies* (CEPII) から二国間の距離的変数 (地理的距離, 国境を接するかに関するダミー, 共通言語ダミー, 島国ダミー) を用いた。

また, 所得変数の内生性も同様に指摘がなされる問題である。そこで, 所得 (本研究では一人当たり GDP) に関しても Frankel and Rose (2002, 2005) で用いられた操作変数を (26) 式の推計に追加の操作変数として導入することとした。具体的には, GDP, 20 年前の一人当たり GDP, 人口, 面積, 投資率と人的資本である (ソースは全て WDI)。

## 5.2 階差 GMM の推計結果

本研究は, 1980 年から 2000 年までの 86 カ国における PM10 濃度を対象とし, この分野の先行研究と比べ大幅な対象国数とサンプル数の補強を行った。

推計に用いた変数について表 1 に基本統計量をまとめ, 本稿で対象とした 86 カ国を付録に示した。なお, 人口成長率 [%] は WDI, 就学年数は Barro and Lee education data set (2000) から入手した。

表 2 は (26) 式の推計結果である。なお, Arellano and Bond (1991) の GMM 推定で満たされる必要のある仮定は誤差項に系列相関がないというものである。この仮定が満たされなければ操作変数として使えないものが出てくるとともに, GMM 推定は一致推定ではなくなりバイアスを持つことになる。本研究では Arellano and Bond (1991) で提案された系列相関検定のテストを行ったが問題がないことが分かった。ただし, 操作変数に関する Sargan の過剰識別制約テストはパスできていない。

さて, パラメータの推計値は全ての変数について 1 % の有意水準で有意な結果が得られた。

資本労働比率と所得の交差項の符号が正であった。これは, 資本集約度の水準が高いほど (汚染財生産の比率が高い産業構造であるほど) 所得 (生産量) の増加が環境負荷を増加させること, すなわち, 規模効果が大きくなることを意味している。また, 資本労働比率と貿易率の交差項の符号も正

表 1 基本統計量

変数	単位	データ数	平均	標準偏差	最小値	最大値
PM10	$\mu g/m^3$	738	65.36	48.61	12.13	263.65
一人当たり GDP	\$1996	738	7725	7049	443.05	33292
資本労働比率	\$/worker	738	26993	27775	101	104514
貿易率	%	738	65.90	45.93	6.32	439.03
人口成長率	%	738	1.94	1.00	-0.33	4.75
就学年数	年	738	5.14	2.81	0.37	12.25



表 2 貿易開放が及ぼす環境汚染への影響

PM10	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	P 値
$\ln E_{it-1}$	0.56***	0.03	18.89	0.000
$\ln(K/L)_{it}$	-0.88***	0.21	-4.32	0.000
$\ln I_{it}$	-1.34***	0.30	-4.44	0.000
$\ln(K/L)_{it} \cdot \ln I_{it}$	0.11***	0.03	3.86	0.000
$\ln T_{it}$	-2.24***	0.50	-4.49	0.000
$\ln(K/L)_{it} \cdot \ln T_{it}$	0.22***	0.05	4.22	0.000
$\ln I_{it} \cdot \ln T_{it}$	0.30***	0.08	3.93	0.000
$\ln(K/L)_{it} \cdot \ln I_{it} \cdot \ln T_{it}$	-0.03***	0.007	-3.83	0.000
Constant	-0.01***	0.001	-10.56	0.000
サンプル数	738			
国数	86			
Sargan test	61.59*			
AR(1)	-4.30***			
AR(2)	-0.23			

注) \*\*\* は 1 %, \* は 10 % の水準で有意であることを示す。

であった。これは、資本集約度の水準の高い国ほど、貿易の自由化によって、構造効果が環境負荷を引き上げる方向に大きくなることを意味している。最後に、所得と貿易率の交差項の符号も正であった。これは貿易の自由化の水準が高いほど、規模効果が大きくなることを意味している。ここで、貿易の自由化が環境負荷に及ぼす影響に関して直接効果を見るためには、 $\ln T_{it}$  および  $\ln I_{it}$  との交差項を合計した効果を見る必要がある。

一方、(27) 式を推計したところ、 $\beta_1$  は 0.78、そして  $\beta_2$  は 0.12<sup>(6)</sup> という値が有意に得られた(系列相関検定と Sargan テストはパスしている)。このことは、貿易の自由化は所得を引き上げる効果を有することを意味している。

### 5.3 貿易が環境に与える全効果

表 3 は (32) 式と (33) 式を用いて、貿易が環境へ及ぼす短期的影響および長期的影響について (a) 貿易に起因する規模+技術効果、(b) 貿易に起因する構造効果、そして全てを総合した (c) 貿易に起因する全効果の 3 種類について、サンプルの平均値を用いて計算したものである。ここで (a)

(6) Frankel and Romer (1999), Dollar and Kraay (2003), Noguera and Siscart (2005) などの先行研究でも、同様の推計結果を得ている。なお、1980 年代以降、貿易を自由化することは、所得レベルや成長を押し上げるという考え方が、経済学者や政策担当者のコンセンサスになったかの感もある。しかし、1 節でも少し触れたように、最新の研究では、貿易自由化の経済発展への効果はおおむね支持されているものの、貿易と成長の正の因果関係が成り立つには、それなりの条件が必要であることも明らかとなっている (Rodriguez *et al.* (2002) など参照のこと)。そのため、我々は様々なスペシフィケーションを試し、その結果得られた  $\beta_1$  および  $\beta_2$  の値を (32), (33) 式に代入したとしても貿易の全効果についての弾力性の符号は変わらないことを確認した。

表3 貿易が環境に及ぼす弾力性

弾力性	データ	短期効果 (短期弾力性)	長期効果 (長期弾力性)
(a) 貿易に起因する 規模効果&技術効果	全データ	-0.029	-0.302
	High income: OECD	-0.030	-0.315
	High income: non OECD	-0.034	-0.352
	Upper middle income	-0.029	-0.298
	Lower middle income	-0.028	-0.285
	Low income	-0.027	-0.283
(b) 貿易に起因する 構造効果	全データ	-0.051	-0.116
	High income: OECD	-0.117	-0.266
	High income: non OECD	-0.105	-0.238
	Upper middle income	-0.040	-0.091
	Lower middle income	-0.023	-0.051
	Low income	-0.058	-0.131
(c) 貿易に起因する 全効果	全データ	-0.080	-0.418
	High income: OECD	-0.147	-0.581
	High income: non OECD	-0.139	-0.590
	Upper middle income	-0.069	-0.389
	Lower middle income	-0.050	-0.337
	Low income	-0.085	-0.414

は貿易による間接効果であり、これは具体的には貿易率1%の増大が一人当たりGDPを0.12%押し上げることから派生して、その一人当たりGDPの増大が規模+技術効果を経て最終的に環境に及ぼす影響である。(b)は貿易による直接効果((18)式でいうところの $\lambda$ の影響)を意味している。なお、全世界平均のほか、世界銀行の定義によって、所得水準によって各国を5種類のグループに分けた場合の弾力性値も表3に示している。

まず、(a)貿易に起因する規模+技術効果の弾力性値は全データそして全てのグループにおいて負となった。このことから、貿易の自由化は一人当たりGDPを引き上げるが、負の技術効果が正の規模効果を上回るため、貿易の自由化の間接効果は、環境負荷を低減する効果をもつことわかる。

また、所得レベルの違いによる弾力性値の違いを比較すると、所得が高いほど、負の間接効果が大きいことがわかる。これは、所得が高いほど、環境の重要性に対する認識が高くなることから、このような傾向を生む要因になっていることを示しているものと思われる。なお、図1を見ても高所得の範囲の傾きが急になっていることが観察できる。

(b)貿易に起因する構造効果の弾力性値も(a)と同様に負の値であり(図3と一致した結果である)、これは非汚染財の汚染財に対する国内構成比は貿易の自由化とともに上昇することを意味している。しかし、所得の高いグループほどその負の効果は大きくなる傾向にあることから、貿易の自由化による直接効果(構造効果)は、相対的に所得の高い先進国に有利に働く傾向があることを示している。

最後に、(a) と (b) を総合した (c) 貿易の全効果（短期効果）についてみると、全データでは  $-0.08$  であり、我々の研究からは全世界の平均では 1% の貿易率の増大が 0.08% の PM10 濃度の低下につながることを、さらに、この効果は、所得の高いグループほど大きい傾向にあるが、自由貿易による環境改善の短期的効果は非常に小さいことがわかった。一方、長期的効果についてみると、全世界の平均では 1% の貿易率の増大が 0.42% の PM10 濃度の低下につながるということが分かった。

## 6. 終わりに

本稿では、PM10 を対象に、貿易の自由化が環境に及ぼす影響を、貿易による直接効果だけでなく間接効果をも含めて検討した。その結果、以下の点について明らかになった。

第一に、貿易の自由化は所得を増加させる効果があるが、自由化による間接効果は、PM10 濃度を低下させる効果をもつことがわかった。このことは、負の技術効果が正の規模効果を上回る効果をもつことを意味している。

第二に、貿易の自由化の構造効果も負であり、自由化は PM10 濃度を低下させる効果をもつことが明らかとなった。

第三に、間接効果と直接効果の両方を合わせた効果は負であり、貿易の自由化は PM10 濃度を低下させる効果をもつことが明らかとなった。このことから、PM10 については、貿易の自由化は環境改善にも貢献することが明らかとなった。ただし、長期的な効果は大きいですが、短期的な効果は非常に限定的であることがわかった。また、相対的に、所得の高いグループほど環境改善効果が大きいことも明らかとなった。

(横浜国立大学大学院博士課程後期)

(横浜国立大学経営学部准教授)

(国立環境研究所環境経済政策研究室室長)

## 参 考 文 献

- Antweiler, W., Copeland, B. and Taylor, S. (2001). "Is Free Trade Good for the Environment?" *American Economic Review*, 91 (4), pp.877-908.
- Arellano, M., Bond, S. (1991). "Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations," *Review of Economic Studies*, 58, pp.277-297.
- Barro, E.J. (1998). *Determinants of Economic Growth*, Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Barro, E.J. and J.W. Lee. (2000). "International Data on Educational Attainment: Updates and Implications," *CID Working Paper No. 42*. Center for International Development, Harvard University, MA.
- Chichilnisky, G. (1994). "North-South Trade and the Global Environment," *American Economic*

- Review*, 84 (4), pp.851–874.
- Cole, M.A. and Elliott, R.J.R. (2003). “Determining the Trade-Environment Composition Effect: The Role of Capital, Labor and Environmental Regulations,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 46 (3), pp.363–383.
- Copeland, B. (2000). “Trade and Environment: Policy Linkages,” *Environment and Development Economics*, 5 (4), pp.405–432.
- Copeland, B., and M.S.Taylor (1994). “North-South Trade and the Environment,” *Quarterly Journal of Economics*, 109, pp.755–787.
- Copeland, B. and Taylor, S. (2003). *Trade and the Environment: Theory and Evidence*, Princeton Series in International Economics. Princeton and Oxford: Princeton University Press.
- Copeland, B. and Taylor, S. (2004). “Trade, Growth and the Environment,” *Journal of Economic Literature*, XLII, pp.7–71.
- Dollar, D. and A. Kraay (2003). “Institutions, Trade, and Growth,” *Journal of Monetary Economics*, 50 (1), pp.133–162.
- Feenstra, Robert C. (1996) “Trade and Uneven Growth,” *Journal of Development Economics*, Vol. 49, pp.229–256.
- Frankel, J., and D. Romer (1999). “Does Trade Cause Growth?” *American Economic Review*, 89(3), pp.379–399.
- Frankel, J. and Rose, A. (2002). “Is Trade Good or Bad for the Environment? Sorting out the Causality,” *NBER Working Paper No. 9021*, NBER Research Associates.
- Frankel, J. and Rose, A. (2005). “Is Trade Good or Bad for the Environment? Sorting out the Causality,” *Review of Economics and Statistics*, 87 (1), pp.85–91.
- Grossman, G.M, and Krueger, A.B. (1993). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement, in *The U.S.-Mexico Free Trade Agreement*, P. Garber, ed. Cambridge, MA: MIT Press.
- Grossman, G.M, and Krueger, A.B. (1995). “Economic Growth and the Environment,” *Quarterly Journal of Economics*, 110, pp.353–377.
- Harbaugh, W., Levinson, A. and Wilson, D. (2002). “Reexamining Empirical Evidence for an Environmental Kuznets Curve,” *Review of Economics and Statistics*, 84 (3), pp.541–551.
- Hastie, T.J. and Tibshirani, R.J. (1990). *Generalized Additive Models*, New York: Chapman and Hall.
- Holtz-Eakin, D. (1988). “Testing for Individual Effects in Autoregressive Models,” *Journal of Econometrics*, 39(3), pp.297–307
- Holtz-Eakin, D., W. Newey and H. S. Rosen (1988). “Estimating Vector Autoregressions with Panel data,” *Econometrica*, 56(6), pp.1371–1395
- Noguer, M. and Siscart, M. (2005). “Trade Raises Income: A Precise and Robust Result,” *Journal of International Economics*, 65 (2), pp.447–460.
- Stone, C.J. (1985). “Additive Regression and Other Nonparametric Models,” *Annals of Statistics*, 13, pp.689–705.
- Taylor, M. (2004). “Unbundling the Pollution Haven Hypothesis,” *Advances in Economic Analysis & Policy*, 4 (2), Article 8.
- 鶴見哲也, 馬奈木俊介, 日引聡 (2007) “国際貿易とエネルギー利用,” Working Paper, 横浜国立大学。

付録 国リスト (86 カ国)

北米	トリニダード・トバゴ	ベルギー	ガーナ
カナダ	ウルグアイ	イギリス	ケニア
アメリカ	ベネズエラ	キプロス	マラウイ
中南米	アジア	デンマーク	マリ
アルゼンチン	バングラデシュ	フィンランド	モーリタニア
バルバドス	中国	フランス	モーリシャス
ボリビア	インド	ギリシャ	モザンビーク
ブラジル	インドネシア	ハンガリー	ニジェール
チリ	日本	アイスランド	ルワンダ
コロンビア	韓国	アイルランド	セネガル
コスタリカ	マレーシア	イタリア	シエラレオネ
ドミニカ	ネパール	オランダ	南アフリカ
エクアドル	パキスタン	ポルトガル	トーゴ
エルサルバドル	フィリピン	ルーマニア	チュニジア
グアテマラ	シンガポール	スペイン	ウガンダ
ギアナ	スリランカ	スウェーデン	ザンビア
ハイチ	タイ	スイス	ジンバブエ
ホンジュラス	中東	アフリカ	大洋州
ジャマイカ	イラン	ベニン	オーストラリア
メキシコ	イスラエル	ブルンジ	フィジー
ニカラグア	ヨルダン	カメルーン	ニュージーランド
パナマ	シリア	中央アフリカ	
パラグアイ	欧州 (NIS 諸国を含む)	エジプト	
ペルー	オーストリア	エチオピア	