

環境技術革新の誘発と経済成長

— 時系列ならびにパネルデータによる考察 —

馬 場 正 弘

1. はじめに

近年、所得分配と経済成長に関する Kuznets[1955] のモデルを環境汚染物質の排出量の変動の説明に適用した環境クズネッツ曲線に関する研究が活発に行われている。それらは、1人あたり所得水準と排出量の間の関係について、例えば国別や米国の州別のパネルデータなどを用いて計量分析を行うもので、硫黄酸化物、窒素酸化物、各種の地球温暖化原因物質、およびその他の化学物質の排出量という各種の工学的な指標を被説明変数とした検討がなされている。例えば Grossman and Krueger [1995]、Andreoni and Levinson [2001]、Harbaugh, Levinson, and Wilson [2002]、Millimet, List, and Stengos [2003] などにおいては、所得水準の変動と排出量の変化の間の非線形的な関係を示す曲線の形状の解明を通じて、環境問題の深刻化と各国経済の発展段階の関係が分析され、途上国の経済発展に伴う新たな問題の発生や、環境保全と調和する持続的経済成長の可能性などについて考察が行われている。

一方、このような関係を分析する際には、その背後にある環境保全のための技術革新の役割についても同時に考慮する必要がある。産業における環境保全のための活動に対してどのような要因が有意な影響を及ぼしているかという問題について、パネルデータによる実証分析によって検討を行っている例としては、Jaffe and Palmer [1997] や Brunnermeier and Cohen [2003] などがある。

この技術革新という要因に注目しながら、環境への影響について上記のものとは異なる指標によって表し、環境クズネツツ曲線に相当する概念を検討しようというのが本稿の主な試みである。そこでは、環境クズネツツ曲線の検討に際して一般に用いられる前述のマクロ的な環境指標ではなく、産業の活動に伴って発生する公害をめぐる企業と周辺との間のトラブルの件数を産業毎に集計したデータを用いる。これによって、マクロの環境指標による場合とは違った視点から、個々の産業における環境汚染の発生について、産業の規模の変化および技術革新活動との関係を検討することが期待できる。¹⁾

2. 本稿の注目点と方法

(1) 主要な注目点：環境技術革新の誘発とその成果

本稿では環境技術革新と経済成長の関係について、以下の2点を主要な注目点として考察を行う。

① 環境保全技術革新の誘発

まず、本稿では企業の環境保全を目的とした技術革新活動を引き起こす要因に注目する。技術革新活動の発生メカニズムを説明する方法のひとつに、技術革新を生産要素の相対価格の変化によって生じる費用条件の変化に対応した行動と考えるというものがあり、これは誘発的技術革新と呼ばれる。この概念は、ヒックスの誘発的投資の理論における、要素価格の変化が技術革新を導くという考え方に遡るもので、それによれば、相対価格の変化は相対的に高価になった生産要素を節約するようなタイプの技術革新を加速すると考えられる。革新可能性曲線という概念を用いると、技術革新の誘発は次のような過程を経るものとして説明される。まず、ある時

点において、基礎的な知識の状態によって定まった一連の実現可能な潜在的生産プロセスが存在し、それらは代替可能性が限られた等量曲線で表されるとする。革新可能性曲線とはこの等量曲線の包絡線である。各プロセスは生産に先立って資源がR&D活動に投入されることを必要とし、ある相対価格のもとで企業はこのうちのいずれかを選択し、R&D支出を行ってこれを実現する。要素の相対価格が変化すると、革新可能性曲線上での最適な生産要素の組み合わせが変化し、以前と異なる等量曲線を持つプロセスが最適となる。すると企業は、これに対応するべく新たなR&Dを行い、新たな生産プロセスを実現しようとする。この意味でR&Dは一種の調整費用として位置付けられる。²⁾

このタイプの技術革新を誘発する要因としてはこれまでも、労働と資本の相対価格の変化や、エネルギー価格変動による費用条件の変化という外部からのショックなど、様々な現象が検討されてきた。これに加えて近年、この説明を環境保全費用とその他の費用項目との間の関係に適用し、環境汚染という問題の発生が企業に対してその解消を求めるような圧力となり、この対応のために生じる費用の変化が環境技術革新を誘発するというメカニズムを分析する試みが行われている。前述の Jaffe and Palmer [1997] や Brunnermeier and Cohen [2003] はその例である。³⁾

一方、技術革新の誘発には、需要面からの作用すなわちダイヤモンド・プルという要因も関わっている。この視点からは、投資が大きいほど資本財の発明も増え、また産出量の大きい活動に対して技術革新が用いられた場合の方がそれがもたらす便益は大きくなるという点が強調され、その結果技術革新が利用される市場や部門の規模が技術革新の程度に影響を及ぼすと考えられる。かくして、産業の規模あるいは付加価値の大きさが、その産業における長期的なR&D活動水準の決定要因のひとつとなりうる。⁴⁾ このとき、環境技術革新のための投入もまた、この経済の活動水準という要因の影響を受ける。すなわち、産業の規模が大きいほど環境対策を要する

程度も大きく、またその成果を利用する機会も大きい。したがって環境保全のためのR&D活動がもたらす便益は大きいと考えられる。

② 環境技術革新と経済成長がもたらす効果

次に、もうひとつの注目点として、こうした誘発的環境技術革新とその成果としての環境汚染の程度の低下との関係を検討する。環境問題の解決を目標として行われるのが環境保全技術の革新であるから、両者の間に正の相関が存在すること自体は自明であるともいえるが、本稿では、前述の環境クズネッツ曲線における環境技術革新という要因の位置づけを検討するという観点から、技術革新そのものと並んで経済の活動水準が環境問題に及ぼす影響を考察する。

産業部門における生産・流通活動ないしそれらに対するエネルギーの供給は環境に大きく影響を及ぼす。すなわちこれらの活動の活発化はいつその環境汚染物質を排出し、周辺住民に対して外部不経済をもたらす。かくして短期的には景気拡大が、長期的には産業構造のこれらの産業へのシフトをもたらす経済発展が、それぞれ環境問題の深刻化をもたらす。だが一方で、景気の拡大は技術革新に利用しうる企業の資金的余裕を拡大し、また経済成長もこうした問題に対応するためのインセンティブを提供する。これは経済成長が環境保全に貢献しうる側面を有することを意味し、この両面の効果が作用する結果として環境クズネッツ曲線においては直線的ではない関係が想定される。

この環境クズネッツ曲線が成立する経済においては、経済成長の進展が生産・流通活動の拡大による環境への影響を増大させる一方で、所得水準の上昇がより環境への負荷の小さい経済活動を可能にするような技術革新を発生させてこの問題の解決を促すという作用の結果、ある程度以上の経済水準を達成した経済においては前者が後者によって相殺され、環境への影響が全体として軽減されるというプロセスが働いているとみられる。従来から行われている各種の実証分析においては、所得水準の上昇が環境問

題に対して好ましい作用をもたらしていることを明らかにするために、所得水準とこうした物質の排出量の間に逆U字型の関係が有意に観察されるか否かが検討されているが、⁵⁾これに対して、環境保全のための規制など企業に対して問題への対処を余儀なくさせるような費用要因が環境汚染の低減をもたらす技術革新を誘発するというメカニズムを考慮した説明を付け加えることも考えられる。

本稿では、以下の点に注目して、上記のような環境クズネッツ曲線とその背後にある環境保全のための技術革新について考察する。まず、環境保全技術について、誘発的技術革新という観点から、Jaffe and Palmer [1997]などが検討しているような、政府による環境規制に対する適応の必要性が企業にとって費用面における一種のショックとして作用し、技術革新を誘発するという側面に注目する。そこでは、環境への悪影響に関するこのような企業の認識がそれに対処するための技術革新活動と有意な相関をしているかを検討する。同時に、新たな環境保全技術の開発に対する資金源としての経済成長がもたらす技術革新の誘発という作用について考察する。環境クズネッツ曲線概念については、このような技術革新を誘発するショックと経済成長の作用を念頭に置いて解釈することを試みる。

(2) 考察の方法：環境問題の指標としての公害件数

本稿ではこれらを、マクロの長期時系列データおよび産業別集計値のパネルデータを中心に考察する。そこでは、産業部門の活動が環境に対して及ぼす影響の指標として、前述の各種研究が用いたような工学的に精密な排出量データという直接の指標ではないものの、その一方で社会が直面する環境問題の程度を総合的に表した指標として、産業部門の活動に伴う公害全般の発生に対する周辺からの苦情件数や、行政に対して申し立てられた公害紛争件数の推移を用いる。その理由は次のようなものである。まず、

公害苦情や紛争は大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音、振動、地盤沈下、悪臭などのカテゴリーについて、周辺住民などが実際に被害を受けたと主張して、あるいは企業側が紛争の解決を求めて申し立てられるものであるから、こうした事例が増えるということは企業の行動が周辺に対して補償されない外部不経済を発生させている程度の増大に対応する。かくしてこれらは環境汚染の程度の指標に用いることができる。政府もまた、これらへの対策が政策上の必要性を持つことを認識しているため、一連の法制度を整備し、企業に対してこれに対応することを求め、そのための何らかの費用を企業に課す。このため本稿では、公的機関に対して持ち込まれる苦情や紛争処理の件数の増減という現象について、公害発生という企業活動の結果としてだけでなく、企業がそれに反応して環境保全投資や研究開発などを行うことを誘発するショックとして注目してみる。なお、この公害件数というデータを用いた場合には、環境クズネッツ曲線の分析において一般に用いられている各種の汚染物質排出量のデータに比べて、より長期間にわたる時系列データが、間接的な推計という方法によらずに直接利用可能となる。

(3) 考察の意図：環境技術革新の誘発と環境汚染の低減への効果

このように、本稿の方法と先行研究との間には大きな相違があるため、両者を並列させて比較することは難しい。むしろ本稿では、特定の環境汚染物質の排出量の変化で見た関係ではなく、産業部門の活動がもたらす公害問題全般という広範囲な現象を考察対象とする。そして、経済成長による所得水準の上昇という配当を受けた代償としての公害というコストの発生について、産業部門がこれをどのように解決し、そこにおいて技術革新がどのような役割を果たしたのかを明らかにすることを目標とする。すなわち、企業にとっての環境保全費用とその他の生産要素費用の相対的關係

が変化することによる最適技術の変化がこれによって発生するという点に注目して、公害紛争など企業に対して目に見える圧力となる要因が、それを解消するための技術革新を志向させるような誘発要因となって企業の技術革新活動に有意に作用しているかを検討する。また、経済成長や景気の改善という所得水準の拡大が実際に環境汚染解消のための研究開発活動を促進してきたかを検証し、そこから環境クズネッツ曲線が持つ所得の拡大と環境汚染の低下の並存という現象を明らかにすることも試みる。一方、環境クズネッツ曲線が成立するような世界においては、こうした圧力による技術革新の結果として公害問題は長期的に解消されると予想される現象である。したがってここには、原因と結果に関する双方向的関係が存在することになり、その関係の解明もまた本稿の目標となりうる。

以降の分析においては、変数間の関係に関するマクロデータによる予備的考察を行うとともに、その結果を参考にしつつパネルデータを用いた計測を行うという方法をとる。はじめに、単純な時系列データを用いて、①公害紛争の件数は企業に対するコスト上昇あるいは収益圧迫と相関する要素であるか、②もしそうであれば、これらは産業部門に対してどの程度技術革新あるいはその体化のための投資という対応を取らせたか、③これらの公害紛争や公害苦情とそれに対応するための産業の行動との間の相互の関係はどのようなものであるか、について検討する。続いて、データ系列をパネルデータとして、これらの技術的活動が公害苦情の解消にどの程度寄与しているかを見る。⁶⁾

3. データとモデル

(1) データ

本稿では、企業の活動が環境に与えた影響の大きさを表し、同時に企業

に対して費用の支払いを求める圧力も表す指標として、公害苦情件数および公害紛争件数というデータ系列を用いる。前者は地方公共団体の自治事務として行われた公害苦情処理の件数を発生源別に集計したもので、公害紛争の前段階あるいは初期段階の性質を持つものである。これは苦情を申し立てられた産業ごとに集計された数値が公表されているため、産業別のパネルデータとしての利用が可能である。ただし、1994年から調査方法が変更されたため前後でデータの時系列的継続性は失われている。⁷⁾ 一方後者は、総務省外局の行政委員会である公害等調整委員会および都道府県公害審査会等と都道府県連合公害審査会に係属した事件の件数（総数ならびに新規）である。⁸⁾ 1970年に公害紛争処理法が制定され、これらの統計が取られ始めて以降の両統計の推移は図1の通りである。また公害紛争件数と所得水準の関係は図2のようになっている。期間中の実質GDPが70年代初めと90年代後半を除いて増加したなかで、これとともに増加を続けた紛争件数は1978年をピークとしてその後所得の増大に反して低下したものの、90年代に入って所得成長が停滞した一方で件数自体は増減を繰り返した結果、所得との関係は再び正の関係の傾向を示している。

一方、技術革新活動に注目して検討する場合には、企業の環境保全活動の指標として、近年のような環境に対する意識が高まる以前からデータが続いている長期的な指標として、投入要素として環境保護研究開発費、成果指標として環境保全特許件数を利用することができる。前者は総務省統計「科学技術研究調査報告」における会社等特定目的別研究費支出のうち「公害防除」「環境の保護」への研究費支出額が利用できる。⁹⁾ また、後者については、本稿では特許庁による「特許電子図書館」のデータベースから、「環境保全技術広域ファセット（コードZAB）」に該当する特許公開件数を検索した結果の時系列を用いる。¹⁰⁾ 後者の特許件数は1990年代以降急速に増加した一方、それ以前には該当する技術は少ないが、研究費支出自体は活発で、その推移は図3に、公害関連指標との関係は図4に示した通りであ

図1 公害紛争件数および苦情件数の推移

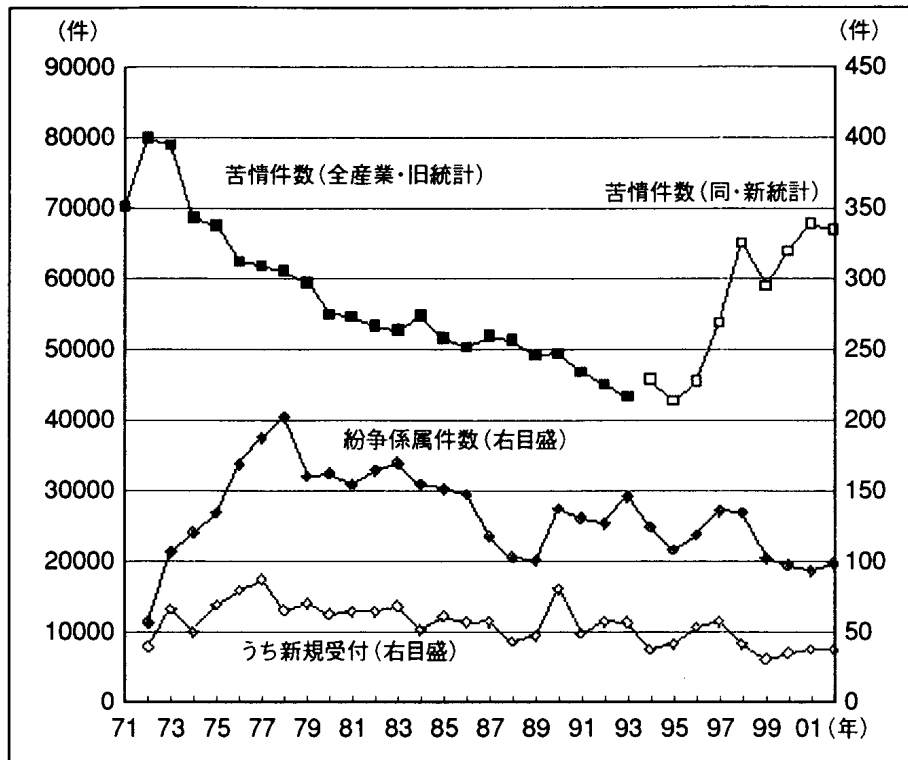


図2 公害紛争件数と所得水準

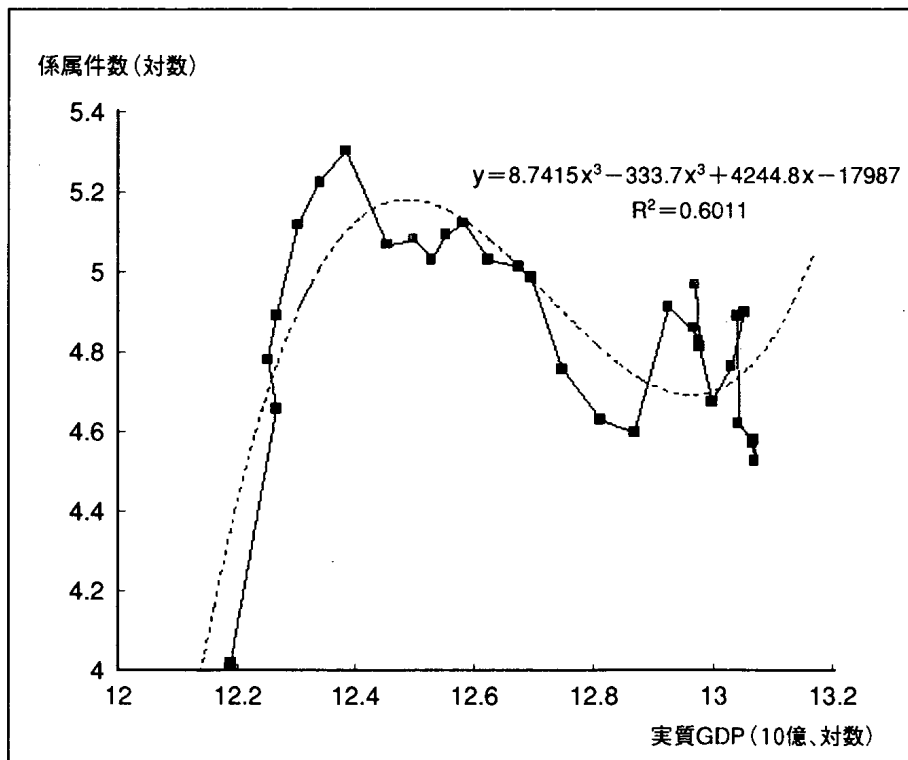


図3 環境保護研究費と環境保全技術特許の推移

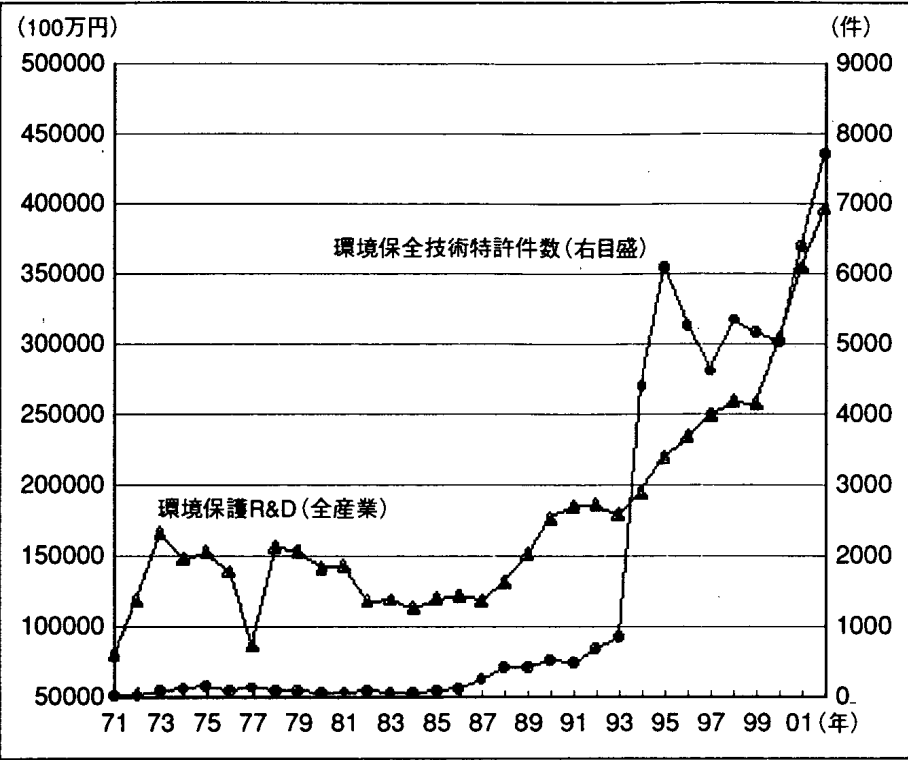
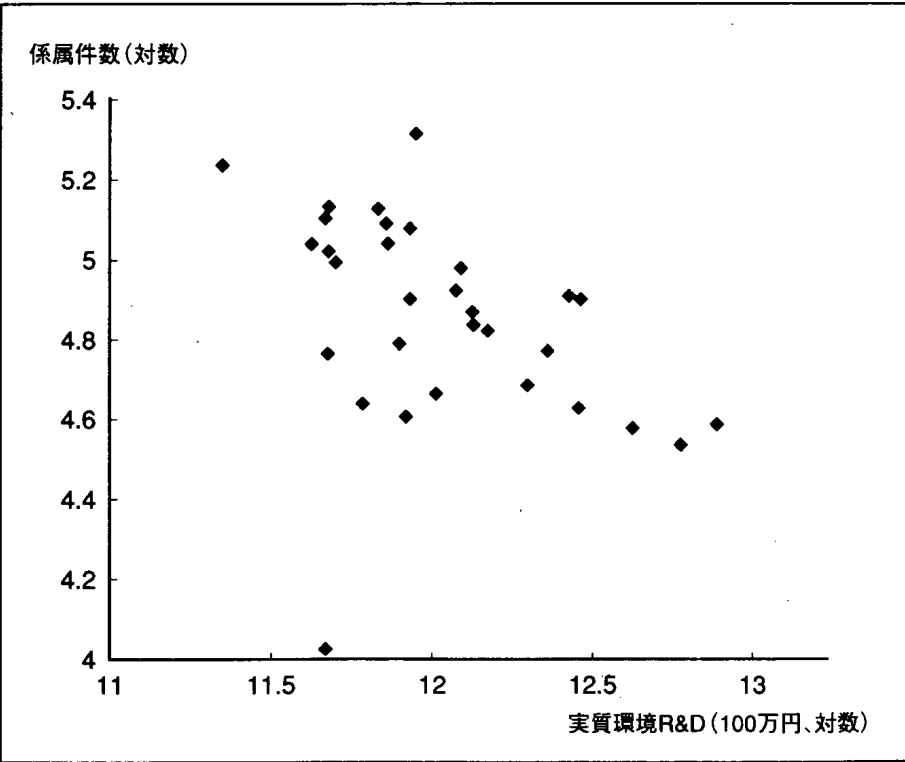


図4 公害紛争件数と環境保護研究費



る。なお、これらは研究費デフレーターで実質化した値である。¹¹⁾ここからは、環境R&D支出と公害件数の間に負の関係が存在し、産業の環境保全のための研究開発活動の活発化につれて係属件数で見た公害紛争が沈静化しているという可能性があることがうかがえる。なお、技術革新成果の産業への導入に関する指標としては、環境保全のための設備の購入額も考えられ、本稿ではこれについて、日本における「環境装置の生産実績」をもって、¹²⁾購入水準を表す指標として用いる。

これらの他、技術革新活動と公害件数の関係を検討する場合にコントロールすべき要因として、環境クズネッツ曲線の変数であるという観点と、操業水準が公害の程度に影響を及ぼすという短期的な観点から、生産など産業部門の活動水準を考慮する。本稿では、前者の面から見た変数として実質GDPを変数に用いる。一方、後者については、非製造業も検討対象としているため、設備稼働率ではなく生産水準およびそれに対応する非製造業の活動水準を指標に用いる。すなわち、全産業のマクロデータおよび製造事業所については鉱工業ないし製造業生産指数（経済産業省「経済産業統計」による）を、建築土木については建築着工床面積（国土交通省「建築着工統計調査」によるもので、床面積10平方メートル超以上の建築物（増改築を含む）が対象）の指数、交通機関については輸送指数（国土交通省「輸送指数」による）を用いる。

(2) モデル

計測に際して想定したモデルは、環境保全技術革新の指標を企業のコスト要因で説明することとパネルデータを利用することの2点において、基本的な部分を前述の Jaffe and Palmer [1997] ならびに Brunnermeier and Cohen [2003] の誘発的技術革新モデルに依拠する。¹³⁾これに加えて、環境クズネッツ曲線との関連性を持たせるために前述の文献などにみられる形で

所得水準を新たに考慮するという形をとることで、環境保全に関する技術的活動の決定要因と環境クズネツツ曲線の有無について検討を行う。すなわち、被説明変数として環境保全技術革新への研究費投入とその成果としての特許あるいは直接的な環境改善の指標を用い、これらを環境汚染が企業に対して及ぼすショックの指標および技術的活動の原資としての経済水準という指標によって説明する。これらは日本において環境問題の深刻化が認識され、その対策が活発化した1970～90年代のデータによって、以下の2点を中心に検討される。

まず第1は、マクロの長期時系列データによる計測である。これによって、経済成長と環境汚染の深刻化が並存していた時期から今日に至るまでの長期的な推移が、環境クズネツツ曲線が示すような経緯を実際にたどったか否かを調べる。環境保全投資および技術革新との相互関係については、因果関係の方向およびラグ関係を調べるために、ベクトル自己回帰(VAR)の方法による一括推定を行い、3者間の相互の関係を検討する。これらは、

$$\begin{pmatrix} LEINV_t \\ LERD_t \\ LDIS_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 \\ b_0 \\ c_0 \end{pmatrix} + \sum_{j=1}^4 \begin{pmatrix} a_{1j} & a_{2j} & a_{3j} \\ b_{1j} & b_{2j} & b_{3j} \\ c_{1j} & c_{2j} & c_{3j} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} LEINV_{t-j} \\ LERD_{t-j} \\ LDIS_{t-j} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_4 \\ b_4 \\ c_4 \end{pmatrix} t \\ + \sum_{i=1}^2 \begin{pmatrix} a_{5i} \\ b_{5i} \\ c_{5i} \end{pmatrix} LGDP_t^i + \begin{pmatrix} u_{at} \\ u_{bt} \\ u_{ct} \end{pmatrix} \quad (1)$$

で表される (t はタイムトレンド、 u_a 、 u_b 、 u_c はそれぞれ誤差項)。ここで各変数は前述のデータを用いて以下のように定義する。 $LDIS_t$ は当該年に国および地方で受け付けた新規の公害紛争 (environmental disputes) 件数、 $LGDP_t$ は実質GDP、 $LEINV_t$ は実質環境保全設備生産実績、 $LERD_t$ は実質環境保護研究費支出で、いずれも対数値である。また $LERD_t$ に代えてその全研究費に占める比率 $LERR_t$ 、環境保全特許件数 $LEPA_t$ を用いる計測も行う (いずれも対数値)。なおここでは標本数が限られるためGDPの

最大次数は2次までとした。

第2は、1970年代前半～90年代前半という、公害苦情件数に関する集計方法が変更となる以前の、発生源が大きな産業区分で公表された時期のパネルデータによる分析である。これは、公害件数に関して上とは異なる指標を利用し、また前述の関係を標本数を増やすことでさらに検討するもので、製造事業所、建築土木、交通機関について70～90年代のデータを用いて、パネルデータとして分析する。すなわち

$$LCOM_{i,t} = d_1 LERD_{i,t-2} + d_2 LGDP_{i,t} + d_3 LGDP_{i,t}^2 + d_4 LGDP_{i,t}^3 + \alpha_i + \mu_t + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

を基本にパネル分析のための産業ごとの定数項とこれに見合った誤差項を想定する。各変数はやはり前述のデータを用いて、 t 時点の i 産業について、 $LCOM_{i,t}$ は典型7公害の発生源別公害苦情（environmental pollution complaints）件数、 $LERD_{i,t}$ はこれに対応する産業の環境保護研究費支出、 $LGDP_{i,t}$ は同じく産業別実質GDPである。必要に応じて操業水準の高低が公害被害の程度に及ぼす影響を除くための変数として産業ごとに前述のデータを用いた活動水準の指標 $LIIP_{i,t}$ を用いる。やはりいずれも対数値である。

4. 計測

(1) 長期時系列データによる検討

まず、短期的視点からの予備的な検討として、公害紛争の申立が企業に対して何らかの対応を迫る圧力であるならば、企業の利益状況などにも影響を発生させているだろうとの推測から、公害紛争件数と収益性の関係を調べてみる。紛争係属件数と売上高経常利益率をそれぞれの指標としつつ、

収益性の悪化が操業度の低下を通じて公害紛争を軽減するという方向の影響を除くために公害件数を1期リードさせたうえで両者を直接結びつけ、所得水準ないし鉱工業生産の変動を考慮しつつ行った回帰分析の結果を表1に示す ($LRCP_t$ は t 期における経常利益の対売上高比率(対数)、 $GRCP_t$ はその変化率、 $GDIS_t$ は公害紛争件数の変化率、 $GGDP_t$ は実質GDP変化率、 $LIIP_t$ は鉱工業生産指数(対数)、 $GIIP_t$ はその変化率)。モデル自体の理論的根拠には欠けるものの、ここからは両者の間に1年というラグを伴いながら有意な負の関係があることが示唆され、公害問題の深刻化とその後の企業の収益性の低下が対応している様子がうかがえる。

続いて、このように企業にとって収益に影響するとも受け取れるショック要因である、この公害問題という圧力が、企業の環境保全目的の設備投資、R&D活動にどのような影響を与えているかについて、(1)式のようなベクトル自己回帰で相互間の因果関係を検討するという方法を用いて分析

表1 公害紛争件数と産業の収益性

	(1.1) 1973-2002年	(1.2) 1974-2002年
推定方法	最尤法 ($n=30$)	OLS ($n=29$)
被説明変数	$LRCP_t$	$GRCP_t$
定数項	44.371** (4.579)	0.00228 (0.0558)
t (1971年=1)	0.0630** (3.129)	...
$LDIS_{t-1}$	-0.261* (-2.513)	...
$LGDP_t$	-5.441** (-5.509)	...
$LIIP_t$	4.810** (7.190)	...
$GDIS_{t-1}$	...	-0.178† (-1.799)
$GGDP_t$	...	-2.843† (-1.995)
$GIIP_t$	...	4.067** (6.263)
s	0.115	0.128
決定係数	0.701	0.643
DW	1.732	1.502

()内は推定値の t 値。**は1%水準、*は5%水準、†は10%水準で推定値が有意であることを示す。 s は回帰の標準誤差。決定係数は自由度修正済み決定係数。 DW はダービン・ワトソン統計量。

した。表2は、環境保全設備生産実績、産業部門の環境R&D支出または全R&Dに占める比率あるいは環境保全技術の特許件数、および公害審査件数を、それらのラグつき変数および環境クズネッツ曲線の変数である実質GDPに関する変数へ回帰させた結果である。

まず、表2における(2.1)～(2.3)式の各推定結果においては、標本数に限りがあり、また(2.3)式で誤差項に系列相関が見られ推定値の有意性

表2 環境保全投資、環境保護R&D、環境保全特許と公害紛争件数の相互関係
(1) 環境保護R&D支出との関係

期間：1976-2001年

標本数：26

推定方法：VAR

	(2.1)		
被説明変数	$LEINV_t$	$LERD_t$	$LDIS_t$
$LEINV_{t-1}$	0.381 (1.432)	0.195 (0.314)	0.184 (0.201)
$LEINV_{t-2}$	0.615* (2.259)	-0.0374 (-0.0590)	-0.0974 (-0.104)
$LEINV_{t-3}$	-0.637* (-2.842)	-0.953† (-1.826)	-0.314 (-0.407)
$LEINV_{t-4}$	0.118 (0.537)	1.331* (2.609)	0.715 (0.949)
$LERD_{t-1}$	0.0757 (0.626)	-0.0857 (-0.304)	0.0541 (0.130)
$LERD_{t-2}$	-0.176 (-1.559)	-0.263 (-0.998)	0.176 (0.452)
$LERD_{t-3}$	0.255† (2.152)	0.472 (1.710)	0.341 (0.836)
$LERD_{t-4}$	-0.0917 (-0.967)	-0.428† (-1.940)	0.265 (0.813)
$LDIS_{t-1}$	0.212* (2.526)	0.0365 (0.187)	-0.242 (-0.837)
$LDIS_{t-2}$	0.0851 (1.106)	-0.0554 (-0.310)	-0.453 (-1.713)
$LDIS_{t-3}$	0.357** (4.647)	0.390† (2.178)	-0.238 (-0.901)
$LDIS_{t-4}$	0.152† (1.865)	0.142 (0.747)	-0.145 (-0.518)
定数項	377.954* (3.027)	494.685 (1.702)	-234.666 (-0.546)
t (1973年=1)	0.0330 (1.149)	-0.00863 (-0.129)	-0.227* (-2.292)
$LGDP_t$	-59.302* (-3.118)	-78.241 (-1.767)	31.909 (0.488)
$(LGDP_t)^2$	2.342** (3.184)	3.132† (1.828)	-1.087 (-0.430)
決定係数	0.987	0.876	0.548
DW	2.310	2.557	2.523
s	0.053	0.124	0.182
block exogeneity	$F=3.589^* (p=0.031)$	$F=2.015 (p=0.148)$	$F=0.392 (p=0.901)$

(表2 つづき)

(2) 環境保護R&D比率との関係

期間：1976-2001年

標本数：26

推定方法：VAR

	(2.2)		
被説明変数	$LEINV_t$	$LERR_t$	$LDIS_t$
$LEINV_{t-1}$	0.416 (1.597)	0.196 (0.278)	0.433 (0.480)
$LEINV_{t-2}$	0.581* (2.263)	0.0158 (0.0227)	-0.103 (-0.116)
$LEINV_{t-3}$	-0.640* (-2.918)	-0.914 (-1.540)	-0.564 (-0.743)
$LEINV_{t-4}$	0.0948 (0.447)	1.313* (2.290)	0.638 (0.870)
$LERR_{t-1}$	0.0557 (0.487)	0.0574 (0.186)	-0.127 (-0.320)
$LERR_{t-2}$	-0.171 (-1.655)	-0.155 (-0.554)	0.0321 (0.0896)
$LERR_{t-3}$	0.260* (2.428)	0.552† (1.906)	0.345 (0.931)
$LERR_{t-4}$	-0.0825 (-0.872)	-0.381 (-1.489)	0.252 (0.770)
$LDIS_{t-1}$	0.209* (2.545)	0.0820 (0.370)	-0.245 (-0.863)
$LDIS_{t-2}$	0.0781 (1.081)	0.00954 (0.0489)	-0.439 (-1.756)
$LDIS_{t-3}$	0.361** (4.745)	0.534* (2.598)	-0.210 (-0.797)
$LDIS_{t-4}$	0.142 (1.773)	0.220 (1.017)	-0.135 (-0.488)
定数項	388.790** (3.448)	532.217 (1.745)	-7.698 (-0.0197)
t	0.0365 (1.503)	-0.0399 (-0.607)	-0.188* (-2.235)
$LGDP_t$	-60.821** (-3.501)	-86.619† (-1.844)	-1.991 (-0.0331)
$(LGDP_t)^2$	2.402** (3.551)	3.429† (1.874)	0.249 (0.106)
決定係数	0.987	0.802	0.553
DW	2.397	2.497	2.639
s	0.0524	0.142	0.181
block exogeneity	$F=3.709^* (p=0.028)$	$F=1.739 (p=0.203)$	$F=0.412 (p=0.889)$

に疑問が残るものの、紛争件数の増加からおよそ3年のラグを伴って、また(2.1)(2.2)式においては環境研究費支出ないしその全研究費に占める比率の上昇からやはり3年のラグを伴って、環境保全設備生産額が増大するという関係が有意ないし有意に近く認められ、公害紛争への対応を求められた企業がその資源を環境保全のための設備の購入にまわしていることがわかる。一方、環境研究費支出への各要因の影響については、(2.1)

(表2 つづき)

(3) 環境保全特許件数との関係

期間：1976-2001年

標本数：26

推定方法：VAR

	(2.3)		
被説明変数	$LEINV_t$	$LEPA_t$	$LDIS_t$
$LEINV_{t-1}$	0.428 (1.521)	1.487 (0.989)	0.191 (0.358)
$LEINV_{t-2}$	0.525 (1.521)	-1.367 (-0.740)	1.334 [†] (2.036)
$LEINV_{t-3}$	-0.252 (-0.667)	0.281 (0.139)	-0.999 (-1.395)
$LEINV_{t-4}$	0.0253 (0.0689)	-1.999 (-1.021)	1.207 (1.736)
$LEPA_{t-1}$	-0.0593 (-0.944)	1.095 ^{**} (3.262)	-0.352 [*] (-2.957)
$LEPA_{t-2}$	-0.0270 (-0.285)	-0.116 (-0.228)	0.182 (1.012)
$LEPA_{t-3}$	-0.0227 (-0.232)	0.269 (0.514)	-0.364 [†] (-1.956)
$LEPA_{t-4}$	0.0112 (0.208)	-0.218 (-0.757)	0.230 [*] (2.254)
$LDIS_{t-1}$	0.140 (1.090)	0.00957 (0.0139)	-0.264 (-1.085)
$LDIS_{t-2}$	0.0748 (0.515)	0.956 (1.233)	-0.802 [*] (-2.915)
$LDIS_{t-3}$	0.330 [*] (2.709)	-0.535 (-0.823)	-0.320 (-1.384)
$LDIS_{t-4}$	0.0639 (0.459)	1.037 (1.394)	-0.619 [*] (-2.344)
定数項	529.953 [†] (2.076)	-189.909 (-0.139)	220.122 (0.454)
t	0.0196 (0.451)	0.292 (1.258)	-0.289 ^{**} (-3.498)
$LGDP_t$	-84.063 [†] (-2.042)	38.260 (0.174)	-42.161 (-0.539)
$(LGDP_t)^2$	3.341 [†] (2.031)	-1.764 (-0.200)	1.920 (0.615)
決定係数	0.979	0.966	0.775
DW	2.989	2.243	2.535
s	0.0678	0.362	0.129
block exogeneity	$F=1.714 (p=0.209)$	$F=1.607 (p=0.237)$	$F=2.053 (p=0.142)$

block exogeneity の項には各式のブロック外生性の検定に関する F 値と p 値を示した。

その他の記号の意味は表1を参照。

(2.2) の両式において3年のラグを伴ってやはり公害紛争が環境研究費を増加ないしその比率を増大させることがわかる。

また、これらについて所得水準との関係を見ると、(2.1) 式では1次の項の係数が負だが2次の項は有意な正值であり、環境保全投資と環境保護R&Dにおいて経済的機会の効果が逡増的であることを示している。他の

事情を一定として、変数 $LGDP$ に注目して計測結果を見ると、 $LEINV$ は $LGDP=12.66$ の付近で、 $LERD$ は $LGDP=12.49$ の付近でそれぞれ最小値となるが、前者は1985年頃の、後者は1980年頃のそれぞれ実質GDP水準に相当する。図1を見ると、これらは公害紛争の係属件数が1970年代終わりにピークを迎えた後の横ばいの時期にあたる。この後公害件数は90年代初めに向けて低下傾向に入るが、この傾向とGDP成長による環境保全活動の不比例的な促進との対応から、この時期以降の経済成長が、環境に対する影響の軽減を促すことで両者の調和を図ったものであることがうかがえる。

一方、公害紛争の審査申立件数は産業がもたらした環境汚染の水準の指標とみることもでき、したがって表2の結果を環境クズネッツ曲線として解釈する場合、公害紛争審査申立件数が被説明変数として左辺におかれた式に注目することができる。しかし、GDP変数について表2の各式では公害紛争件数との間に有意な関係は認められない。また環境保全技術や特許、環境保全設備購入との関係も符号がまちまちであった。

以上からは、公害紛争という現象および経済の拡大から技術および投資面での環境保全行動へと向かう方向性を持つ関係が存在することがある程度認められるが、これらが直接紛争件数を減らすような効果があることまではいえなかった。そこで次に、変数を変えて計測してみた(表3)。その結果、1993年までのデータではあるが、紛争件数に代えて典型7公害の苦情件数(対数) $LCOM_t$ を被説明変数とした場合、環境研究費との間に3年のラグを伴って有意な負の相関があることと、GDPに関する変数が有意になっていることがわかる。これは所得の増大が環境改善のための研究開発を通じてその成果を挙げているとも解釈でき、次項では、この関係を¹⁴⁾ パネルデータを用いてさらに検討してみる。

表3 公害苦情件数と環境保護 R&D

期間：1973-1993年

標本数：21

被説明変数： $LCOM_t$

推定方法：最尤法

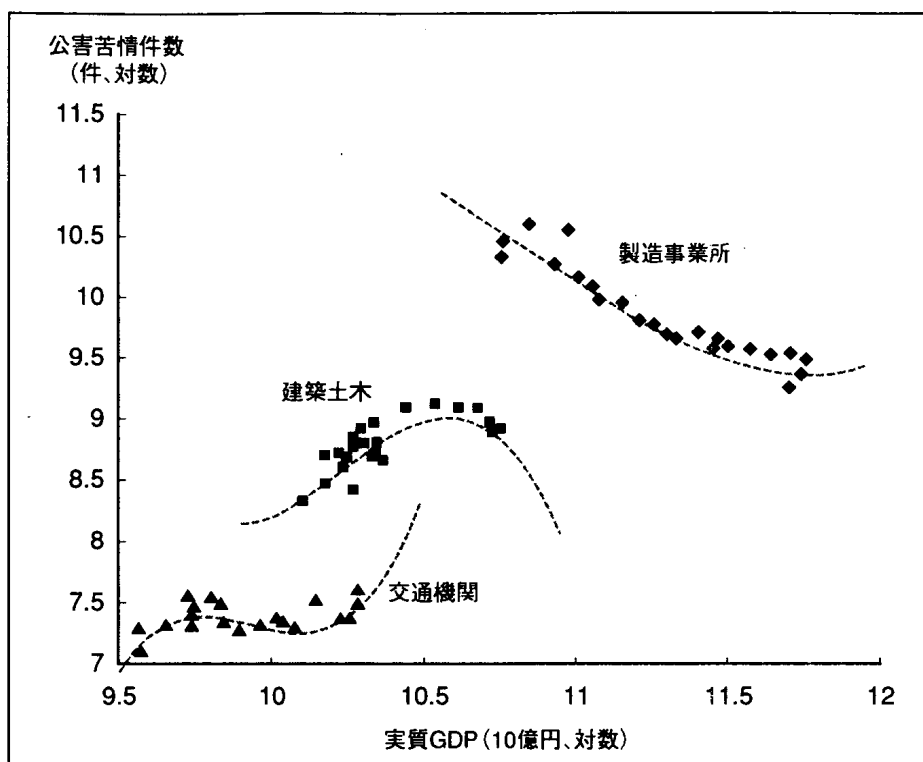
	(3.1)	(3.2)
定数項	129.392** (4.175)	234.406** (6.781)
t (1971年=1)	0.0123 (0.663)	0.0202 (1.324)
$LERD_{t-3}$	-0.0683* (-2.171)	...
$LEINV_{t-1}$	...	-0.308** (-3.143)
$LGDP_t$	-17.796** (-3.885)	-33.802** (-6.600)
$(LGDP_t)^2$	0.650** (4.033)	1.287** (6.579)
$LIIP_t$	0.723** (2.590)	0.429 (1.442)
s	0.0315	0.0282
決定係数	0.9997	0.9999
DW	1.801	1.565

記号の意味は表1を参照。

(2) パネルデータによる検討

次に、こうした関係のうち、前項では明確にならなかった技術革新から環境への効果に至る部分に焦点を絞った考察を試みた。そこでは、紛争件数とは別の包括的な公害問題の量的指標のひとつであり、またパネル分析を行うために産業区分と対応した発生源別のデータが継続して利用可能なものであるという点を考慮して、公害苦情件数を被説明変数として用い、(2)式を中心に環境クズネッツ曲線に相当する関係を検討した。前項での議論に基づいて、環境R&D支出との間には2年ないし3年のタイムラグをおいた。期間は統計が取られ始めてから公害苦情件数の調査方法が変化するまでの1973~93年とし、産業（発生源）は製造業（製造事業所）、建設業（土木建築）、運輸通信業（交通機関）という対応付けを行った¹⁵⁾。各産業におけるGDPと公害苦情件数の関係は図5のようになっており、両者の間の非線形の関係が予想される。

図5 産業別GDPと発生源別公害苦情件数（典型7公害）



環境保護研究費と公害苦情件数の間に2年のラグを置いた場合の計測結果を表4に示す。その際、変量効果モデルと固定効果モデルのいずれを選択するかに関するハウスマン検定に基づいて一方の結果を付し、 χ^2 統計量を付記したが、これはいずれの計測においても固定効果モデルが選択されることを意味する。計測結果からは、環境R&D支出と公害苦情件数の間に有意な負の関係が認められた。また、実質GDPとの関係については、例えば(4.1)式や(4.3)式で見ると、それぞれ $LGDP=9.42$ 、 $LGDP=9.86$ の付近で最大となっており、図5と照らし合わせると産業間の相違はあるもののおおむね計測期間中においてGDP増大が苦情件数の低下と対応することがわかる。これは、当該期間における産業の成長が、すでに環境への影響拡大ではなくむしろ経済活動全般の環境への影響を減らす段階に入った中で実現されていたものであることを示し、前項の計測と一致する。すなわち、製造や輸送など企業活動の活発化をもたらして短期的に

表4 公害苦情、環境保護R&D、および所得水準

期間：1973-1993年

被説明変数： $LCOM_{i,t}$

モデル：within regression (fixed effects)

発生源(産業)：製造事業所(製造業)、建築土木(建設業)、交通機関(運輸通信業)

標本数：63

	(4.1)	(4.2)	(4.3)	(4.4)
t (1973年=1)	0.0202 [†] (2.028)	...	0.0172 (1.645)	...
$LERD_{t-2}$	-0.179** (-3.486)	-0.192** (-3.676)	-0.167** (-3.170)	-0.171** (-3.208)
$LGDP_t$	6.686** (3.949)	8.169** (5.209)	7.598** (3.916)	9.211** (5.422)
$(LGDP_t)^2$	-0.355** (-4.783)	-0.400** (-5.514)	-0.385** (-4.777)	-0.436** (-5.766)
$LHIP_t$	...	...	-0.224 (-0.964)	-0.338 (-1.504)
s	0.149	0.153	0.149	0.151
決定係数	0.570	0.547	0.570	0.557
Hausman test	$\chi^2(4)=64.964$	$\chi^2(3)=37.708$	$\chi^2(5)=36.742$	$\chi^2(4)=24.554$

	(4.5)	(4.6)	(4.7)	(4.8)
t (1973年=1)	0.0198* (2.046)	...	0.0201 (1.933)	...
$LERD_{t-2}$	-0.137* (-2.257)	-0.149** (-2.725)	-0.137* (-2.534)	-0.147* (-2.662)
$LGDP_t$	-90.750 [†] (-1.921)	-91.163 [†] (-1.877)	-92.615 (-1.657)	-74.224 (-1.315)
$(LGDP_t)^2$	8.790 [†] (1.983)	8.921 [†] (1.958)	8.961 [†] (1.720)	7.360 (1.396)
$(LGDP_t)^3$	-0.285* (-2.063)	-0.291* (-2.046)	-0.290 [†] (-1.794)	-0.242 (-1.479)
$LHIP_t$	...	...	0.0169 (0.0639)	-0.153 (-0.600)
s	0.145	0.149	0.146	0.150
決定係数	0.594	0.571	0.586	0.566
Hausman test	$\chi^2(5)=50.225$	$\chi^2(4)=30.251$	$\chi^2(6)=37.868$	$\chi^2(5)=24.198$

Hausman test の項にはモデルの特定化の誤りに対する検定のカイ2乗値を示した。

その他の記号の意味は表1を参照。

は環境への影響を強める効果がある景気回復が、むしろ各種の環境保全活動の活性化を促してこれを長期的に食い止める、あるいは反対に一時的に企業活動の停滞による環境の改善をもたらす景気後退が、一方で環境保全面での活動にブレーキをかける結果長期的には環境影響的な作用を持つ、という効果がうかがえる。

5. 結果の解釈と残された問題

本稿においては、産業活動が環境に対して及ぼす影響の指標として、環境クズネッツ曲線やその他の研究において用いられる技術的な指標ではなく社会が産業に対して申し立てる苦情や紛争の多寡を用い、これを産業の活動がもたらした結果であると同時に先行研究における各種の規制措置などと同様の一種の費用を生じさせる圧力として捉えた。そして、これを誘発的技術革新の観点からの要素代替をもたらすものとして考え、モデルを適用することで、環境汚染から企業自身が被ると認識した費用の大小によって環境保全を目的とした技術革新活動が影響を受けるか否かを検討するという方法をとった。そのための実証分析として、上記に示したように、環境保全技術革新は現実の環境への影響の改善を技術的にもたらすかどうか、およびそのとき技術革新の経済的機会を提供する経済成長は環境クズネッツ曲線の一要因としていかなる作用をもたらすか、について検討を行った。その結果、前者については、長期時系列データによって、環境保全設備投資および環境保護R&Dの両面において企業活動の環境保全へのシフトを生じさせることが因果関係の方向として明らかになり、後者については、パネルデータによって、公害苦情という指標が上記の活動の結果を表す指標として利用可能であることがわかった。そして長期時系列データからは、1980年代以降における所得水準の上昇は環境保護への各種投資に対して比例的以上にこれを拡大する効果を有しており、パネルデータからも、1970年代半ばにおいてすでに環境への影響の軽減と調和する成長という段階にあるということが認められた。

なお、本稿は環境保全のための産業の行動に関する現実のデータにどのような傾向が認められ、それが上述の観点からはどのように解釈できるか、という点に的を絞った試みの考察である。その意味でこれらはあくまでフ

ファクトファインディングとして解釈すべきものである。また、特にVAR分析においては、用いた変数が持つ標本数の少なさという制約が明確な結論を導き出すことを難しくしている。いっそうの実証的な意味および政策上の含意をもたせるためには、先行研究の十分なサーベイ、定式化の理論的根拠の明確化、そして推定におけるより適切な変数選択と処理によって、より説得力のあるものとする試みが必須であることは言うまでもない。

- 注 1) 産業別の環境汚染物質の排出量の推移については、例えば産業別の化石燃料消費量から各産業の二酸化炭素排出量を推定するなどの方法もあるが、本稿ではより広い概念としての公害問題一般との関係を検討するために上記の方法を用いる。
- 2) 誘発的技術革新に関する本稿での説明の一部は、Binswanger [1978], pp.22-23 および Ruttan [2001], pp.101-104 に基づいた拙稿 [2003a] における要約によるものである。
- 3) 前者は環境R&Dおよび特許件数を指標とした技術革新について、産業別パネルデータによって環境規制適合費用が持つ技術革新誘発効果を計測し、R&D支出についてその効果を認めた。後者は同様な効果の存在に加えて、これがとりわけ国際的な競争にさらされている産業において顕著であることを見出した。
- 4) Ruttan [2001], pp.101-104。
- 5) 例えば Grossman and Krueger [1995] のクロスカントリーのパネルデータの分析では、各種環境汚染物質の排出のピークはおおむね1人あたり所得8000米ドル付近で、10000ドルを超える国では経済成長が環境の悪化をもたらす傾向は見られなくなるなどと計算されている。Grossman and Krueger [1995], pp.370-371。
- 6) これらの方針および手法は、拙稿 [2003a] [2003b] における、戦後日本の経済成長と構造変化が産業別のエネルギー消費量の変化に及ぼした効果に関する計量分析と同様のもので、そこにおいて検討された環境クズネッツ曲線に類した関係をモデル本来の意図である環境問題に対して適用したものである。特に拙稿 [2003a] では、Popp [2002] のエネルギー技術革新モデルを用いて、Ahmad [1966] などの外生的ショックによる誘発的技術革新という立場から企業の対応を検討し、いわゆる「ポーター仮説」を念頭にその成果の経済成長へのフィードバックを論じた。
- 7) データは公害等調整委員会の集計による。出所は各年度における「公害苦

情調査結果」であり、1970年代以降の数値が同委員会の年次報告書である『公害紛争処理白書』ならびに同委員会のサイト<http://www.soumu.go.jp/kouchoi/>より入手できる。そこでは典型7公害およびその他を含む公害件数の双方についての数値が公表されているが、本稿では前者を用いる。

- 8) このうち、調整委員会は「重大事件」「広域処理事件」「県際事件」を扱い、審査会等は調整委員会が管轄する紛争以外にかかる業務を扱う。本稿での数値は前者については当該年次の係属件数、後者については当該年次の受付件数と前年末の係属件数とし、したがって両者の合計が当該年次に係属する紛争の総数となる。また、中央と地方の双方について当該年次の新規受付件数のみを集計した数値も用いる。同委員会年次報告書ならびにサイト（注7参照）における公表データによる。
- 9) 「日本標準産業分類」の改訂にあわせて同報告では2002年より産業の集計単位が変更となっている。すなわち新統計では化学工業から医薬品工業が独立し、情報通信機械や電子部品・デバイスに関する産業が電気機械産業から独立し、情報通信関連産業や非製造業の部分にも変更が見られる。その他国公立研究機関の独立行政法人化による項目の移動も生じている。本稿の計測では、これらについて以前の産業分類にあわせて組み替えを行い、連続性を維持した数値を使用している。
- 10) 特許電子図書館（<http://www.ipdl.jpo.go.jp/homepg.ipdl>）データベースによる。広域ファセット分類とは、IPC（国際特許分類）とは異なる観点で展開された、分野をまたがって特定の目的の特許を検索、把握することを可能にする分類である。本稿では、同データベースの「FI・Fターム検索」において、ファセットコードZABが付されていることを条件として各年において公知となった特許を検索し、ヒットした件数の時系列を作成した。したがってこれは「フロー」の時系列である。なお本稿では以降の計測において2001年までのデータを用いているが、このデータベース自体は、直近の数年間については検索でヒットする件数が時間とともに若干変化する。本稿の時系列は2004年2月29日現在のものである。
- 11) 「科学技術白書」各年版による。
- 12) これは（社）日本産業機械工業会環境装置部会の調査による「環境装置生産実績」の数値で、出所は環境省サイトの「環境統計集CD-ROM（<http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/index.html>）」平成15年版である。
- 13) 彼らが注目した要因にはこの他、政府研究費、集中度、国際市場とのかかわりの程度などがある。Jaffe and Palmer [1997], pp.612-613, Brunnermeier and Cohen [2003], pp.285-286。
- 14) 操業状況などを表す変数および実質GDPの3次の項は、多重共線性によって他の係数の推定に影響があったことなどの理由から、表に示した計測の変数には含めなかった。

- 15) 厳密な対応は運輸通信産業では行えない。以前の科学技術研究調査報告では運輸業のみの数値が公表されていないため、したがってR&DやGDPの数字は運輸、通信、電気ガス水道の各事業の合計である。

主な参考文献

- Ahmad, Syed [1966], "On the Theory of Induced Invention," *Economic Journal*, Vol.76, pp. 344-57.
- Andreoni, James and Arik Levinson [2001], "The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve," *Journal of Public Economics*, Vol.80, No.2, pp.269-86.
- Binswanger, Hans P. [1978], "Induced Technical Change: Evolution of Thought," in H. P. Binswanger and V. W. Ruttan (eds.), *Induced Innovation: Technology, Institutions, and Development*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, pp. 13-43.
- Brunnermeier, Smita B. and Mark A. Cohen [2003], "Determinants of Environmental Innovation in US Manufacturing Industries," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.45, No.2, pp.278-93.
- Grossman, Gene M. and Alan B. Krueger [1995], "Economic Growth and the Environment," *Quarterly Journal of Economics*, Vol.110, Iss.2, pp.353-77.
- Harbaugh, William T., Arik Levinson, and David M. Wilson [2002], "Reexamining the Empirical Evidence for an Environmental Kuznets Curve," *Review of Economics and Statistics*, Vol.84, No.3, pp.541-51.
- 伊藤康[2003]、「環境政策と技術革新－エコ・イノベーションの促進に向けて」、寺西俊一（編著）『新しい環境経済政策』東洋経済新報社、pp.251-82。
- Jaffe, Adam B. and Karen Palmer [1997], "Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study," *Review of Economics and Statistics*, Vol.79, No.4, pp.610-9.
- Kuznets, Simon [1955], "Economic Growth and Income Inequality," *American Economic Review*, Vol.45, No.1, pp.1-28.
- Millimet, Daniel L., John A. List, and Thanasis Stengos [2003], "The Environmental Kuznets Curve: Real Progress or Misspecified Models?" *Review of Economics and Statistics*, Vol.85, No.4, pp.1038-47.
- 大坂仁 [2002]、「環境クズネッツ曲線の検証：国際データによるクロスカントリー分析」、細江守紀、藤田敏之（編著）『環境経済学のフロンティア』、勁草書房、pp.241-73。
- Popp, David [2002], "Induced Innovation and Energy Prices," *American Economic Review*, Vol.92, No.1, pp.160-80.

Ruttan, Vernon W. [2001], *Technology, Growth, and Development: An Induced Innovation Perspective*, New York: Oxford University Press.

和合肇・伴金美[1995]、『TSPによる経済データの分析（第2版）』、東京大学出版会。

馬場正弘[2003a]、「エネルギー価格変動と産業における技術革新」、日本経済政策学会第60回全国大会（東洋大学、5月25日）自由論題報告。

馬場正弘 [2003b]、「経済成長とエネルギー消費の関係における技術革新の役割」、『敬愛大学経済論集』第65号、pp.1-30。