

エネルギー価格変化と誘発的技術革新

－産業別R&Dおよび特許データによる分析－

馬 場 正 弘

1. はじめに

誘発的技術革新（induced innovation）の理論と実証分析は、要素価格の変化が要素偏向的な技術進歩を誘発するメカニズムを明らかにしようとする試みである。その中には、技術革新を引き起こす要因として、企業にとっての外的環境に起因するショック要因に特に注目し、これがもたらす技術革新の誘発を検討する研究もある。例えば、企業活動の結果生じる公害への社会的批判や、環境重視の経済政策への転換は、民間企業に対して批判や規制への適応のための対応を迫る。その結果従来の相対的な要素価格に変化が生じ、企業がこれに適応しようとするとき、規制によって誘発された技術革新が発生する。あるいは、石油ショック時に見られたような外的要因としてのエネルギー価格の上昇も、企業に同様の対応を迫る。エネルギー価格の上昇がそれを利用する産業に対してエネルギー節約的な生産方法への転換を促したり、エネルギー節約的な新製品の開発によって市場の拡大を図る場合などのように、企業が技術革新によってこれを打開しようとするならば、同様の技術革新の誘発が生じる。これらの状況下では、特定分野での技術革新のためのR&D活動の活発化、これに伴う特許出願の増大、技術を生産に体化するための新たな設備投資などが発生すると考えられる。

このような企業の対応に注目して、様々なコントロール変数を考慮することによって景気変動や需要側の要因などの影響を取り除きつつ、外生的

ショックとR&D支出および特許産出との間の関係を明らかにすることが本稿の目的である。

2. 誘発的技術革新の概念

(1) 技術革新の誘発要因

誘発的技術革新の概念は、古くは J.R.Hicks 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さかのぼる。Binswanger [1978] によれば、初めて “induced innovation” という用語を偏向的技術変化の誘発という文脈で用いたのは J.R.Hicks であり、そこでは、要素価格の変化がこれによって相対的に高価になった生産要素を節約するような偏りを持った技術革新を誘発するとされた。¹⁾ この概念には何種類の解釈があるが、それらはいずれも、生産要素の相対価格変化を直接的な技術革新のきっかけと見て、内生的なメカニズムとして技術革新の大きさと方向を分析するものである。すなわち、技術進歩率は研究活動へ投入される資源の関数であり、そこへの投入の内訳が労働節約的な研究と資本節約的な研究のいずれを多く含むかによって、このとき生じる技術変化の偏向は異なる。これに対し、目指す生産費用の節減は全ての生産要素の必要性の低下の合計であり、各生産要素はその価格によって加重されている。かくして、費用の節減に対して生産要素の価格がウェイトとして用いられる結果として、各種の研究計画への資源配分的意思決定に対してはこれらの価格が影響することになる。これとは別に、技術革新がもたらす便益は、その革新が産出数量が大きい活動に対して用いられた方が大きい。かくして、技術革新が利用される市場や部門の規模もまた技術変化率に影響を及ぼす。²⁾

偏向的な技術進歩を検証する場合、資本労働比率や資本および労働生産性に注目することができるが、一方、Schmookler [1966] のように、技術

革新の大きさをその産出に関する指標を用いて直接検討する方法もある。これに連なる近年の実証分析の中には、技術革新を誘発する環境を作り出す要因としての外生的なショックの効果に注目する見方がある。これは、生産要素および財の相対価格の変化を引き起こすものとしてその経済の外部から与えられたショックを想定し、その結果生じる誘発的技術革新に対してこれを直接結びつける定式化に基づいて実証分析を行うという方法によるものである。例えば、1970年代におけるエネルギー価格の変動と供給の制約に注目し、エネルギー価格変動がもたらした新たな費用構造に適応するためのエネルギー節約的な技術革新との間の関係について、ラグ構造の解明を試みた研究に Popp [2002] がある。これは、1970年代以降の米国における技術分野別特許データを用いて、新エネルギーの開発や生産方法の変更など、エネルギー価格の変化がエネルギー供給技術の革新および需要面での効率的利用のための技術革新に及ぼした影響について分析を行ったものである。この例は、ショックの種類に応じて、特定のタイプの生産要素や原材料を節約するような偏向的な技術進歩が発生するとき、具体的にどのような技術革新が発生するかについて、特許件数など革新産出指標の技術分野別の内訳と結びつけることによって検証したものといえる。

また、近年の企業を取り巻く規制の1つとして、環境規制政策への企業の対応という行動に注目した研究に、Jaffe and Palmer [1997] による、環境規制への適合の費用とR&D支出および技術革新の生産活動との間の関係に関する分析がある。これは、各種の環境規制が政府によって外生的に与えられたとき、従来の費用構造に基づいて選択された技術が最適なものではなく、規制による新たな費用に基づいて最適とされるような生産方法を求める技術革新が発生するという予想に基づく。彼らの研究は、米国の各産業について、米国センサス局の調査による環境汚染抑制のための支出額と当該産業のR&D活動ないし特許出願活動との間の関係に注目したもので、産業の付加価値産出や産業固有の要因を用いて環境規制と無関係

な原因によるR&D支出や特許出願の変動を取り除いたうえでの実証分析がなされている。

本稿では、日本におけるエネルギー価格の変動による技術革新の誘発という現象について、これらのモデルの手法に注目しつつ、次項で述べる仮説と結びつけることによって実証分析のモデルを構成する。

(2) 技術的機會と需要要因

技術革新を誘発する以上のようなメカニズムが機能するにあたっては、シュンペーター仮説として知られる、市場における企業の独占度および企業規模が技術革新に及ぼす影響が注目される。これは、大規模な独占的企业は小規模な競争的企业と比較して生産性の上昇率が高く、独占が持つこの利点は競争的状态が持つ比較静学的な利点に比較して大きいであろうという仮説である。³⁾そして、この仮説を検証しようという試みから刺激を受けて、次のような2つの新たな仮説が提示されている。その1つは革新における基礎となる科学的知識の役割を主に強調するもので、“technology-push”仮説と呼ばれる。もう1つは革新における経済的機會の役割を強調する、“demand-pull”仮説である。⁴⁾これらは技術革新と産業構造の関係についてその供給側および需要側の要因に着目した仮説である。

2つの仮説のうち、“technology-push”仮説は企業が持つ技術機會の提供という供給側から技術革新活動に影響を及ぼす要因を検討するものである。すなわち、Kamien and Schwartz [1982]によれば、技術革新を決定づける仮説の1つとしてのこの仮説の含意として、大規模な研究体制を擁する企業は傘下の研究者がより広い科学的ベースを調査して商業的応用に用いることを可能にするため、他社に比べて有利であることと、技術革新のペースがこの科学的ベースの進歩に依存するという点を挙げている。このような企業は既存の技術をよりうまく利用し、他社に先んじて新たな技術を付け加えることが可能となる。⁵⁾

これは、大企業のようにより多くの技術的機會が提供される場合には結果として技術革新活動が活発化する、という経路の存在を示している。企業間の技術的機會の相違が技術革新活動にもたらす効果を定量的に調べる場合、例えば従業員総数に占める研究者数の割合など、様々な研究資源投入が指標として用いられる。この他、ライセンスングや技術導入などを通じて、企業外部における技術革新の機會の拡大もここに影響を及ぼす可能性がある。さらに、このような技術革新における技術的機會の重要性に着目する見方は、過去の知識ストックからのスピルオーバーによってR&D活動の活発さと生産性が左右されるとする、内生的技術進歩の立場の1つと関連するものでもある。

技術的機會という要因に関する実証分析の例として、R&D財の需要価格を民間需要と政府需要で説明する需要関数と、供給価格を政府助成などの技術的機會で説明する供給関数を連立させることによって、企業のR&D活動をR&D市場の需給均衡によって説明する均衡R&D数量に関するモデルを導出、計測した Lichtenberg [1987] がある。そこでは、供給関数の側でR&D活動を決定する変数として、政府、大学および研究機関という企業外部のR&D活動の成果のスピルオーバーや、政府から産業への助成や委託研究の形をとる資金の流入という要因が検討されている。

一方、技術革新における経済的機會を重視する“demand-pull”仮説は、企業が直面する需要側の要因に注目して技術革新活動の決定要因を探るもので、そこでは、企業の生産および販売スタッフと研究スタッフの相互作用は“technology-push”仮説と反対のものとなっている。すなわち、技術革新は市場の販売者と生産者に対する研究者側の反応で始まる。かくしてこの仮説は、発明は企業の利潤獲得機會への反応であるというものである。2つの仮説では主導権を握るものが反対であるが、この場合もやはり研究体制が大きい大企業の利点が導かれる⁶⁾。またこの仮説は、誘発的技術革新における、革新が利用される機會が大きいタイプの技術ほど誘発されやす

いという見方と一致するものである。

この“demand-pull”仮説の概念は Schmookler [1966] に始まるものであり、利潤機会としての市場の総需要の大小が製品への需要の大きさを通じて技術革新の動機となるという点が強調される。そこにおいては、技術の発明という活動を刺激する要因として、知識の状態よりも、発明から期待される収益率の方が重要であると結論づけられた。この場合、前述の技術的機会が存在しても、それが利用されるか否かは市場での収益性の予想に左右される。これを支持する実証分析としては Schmookler [1966] 自身のほか、1970年代に観察された世界的な生産性の停滞を、経済的条件の悪化と期待の状態の悪化が技術革新のインセンティブを引き下げたという点から説明する Griliches [1989] の研究などがある。

実証分析において、市場の拡大が製品の技術革新への需要を喚起するという関係を表す変数として用いられるものには、GDP水準や貨幣数量などがある。例えば、Geroski and Walters [1995] は戦後の英国のデータを用いて両仮説を比較検討し、総需要の変化から各種技術革新指標の変化へと向かう方向を持つ因果関係の存在を見出している。また、Ben-Zion and Ruttan [1978] は実質政府支出および実質貨幣残高の水準と変化率を需要側の指標として技術革新の誘発効果を検討し、投入節約的な技術変化は需要が安定ないし減少した時期よりも需要が成長する時期において大きい⁷⁾ということを明らかにしようと試みている。さらに、前述の Lichtenberg [1987] においては、R&D需要関数の側からR&D活動を決定する変数として、当該産業の売上高およびその産業に対する政府調達という公的需要要因が検討されている。

これらの2つの仮説は、内生的な要因や外部のショック要因の発生がそれに対応することを目的とした技術革新を誘発するためには、十分な技術水準など技術革新のための技術的機会を産業が豊富に有しているか否かという点と、このとき市場がその技術革新を十分収益的なものとするような

需要状況にあるか否かという点の双方が重要であるということを意味している。

3. 2つの先行研究モデルと実証分析の計画

本稿では、外生的ショックによる技術革新の誘発について、特に以下に述べる2つのモデルに注目し、それらの応用による実証分析を試みる。

(1) Jaffe and Palmer [1997] のモデル

Jaffe and Palmer [1997] のモデルにおいては、技術革新の誘発における要素投入の変化を表す指標としてR&D支出が用いられ、これに対して環境規制という要因がもたらす作用が検討されている。彼らのモデルは、各産業におけるR&D支出を変数“*R&D*”、当該産業における公的R&Dを“*government R&D*”、当該産業の付加価値を“*value added*”、産業ダミーを i 、時間ダミーを t 、各産業に対する環境規制を遵守するための汚染抑制支出を“*PACE*”として、

$$\begin{aligned} \log(R\&D)_{i,t} = & \beta_1 \log(value\ added)_{i,t} + \beta_2 \log(government\ R\&D)_{i,t} \\ & + \beta_3 \log(PACE)_{i,t-1} + \alpha^R_i + \mu^R_t + \epsilon^R_{i,t} \end{aligned} \quad (1)$$

という式で表される。これは、R&D活動の変動のうち、総需要要因としての付加価値額、技術機会要因としての公的R&D、および各産業固有の要因というコントロール変数によって説明できない部分について、環境規制費用という外生的要因で説明するという定式化に相当する。この定式化では、説明変数について適切なタイムラグを考慮した β_3 の推定結果を検討することによって、支出面で見えた環境規制政策への対応が、当該産業における技術革新への支出をどの程度誘発するかを判断することができる。

一方、誘発された技術革新をアウトプットで測るモデルとして Jaffe and Palmer [1997] は、特許出願件数に対する環境規制費用の影響を検討する

モデルも検討している。これは、当該産業による特許出願件数 “*patents*” を前述の変数の他、特許制度や行政上の変更に伴う特許性向の変化をコントロールするための変数である外国人特許出願件数 “*foreign patents*” で説明する、

$$\begin{aligned} \log(\textit{patents})_{i,t} = & \gamma_1 \log(\textit{value added})_{i,t} + \gamma_2 \log(\textit{foreign patents})_i \\ & + \gamma_3 \log(\textit{PACE})_{i,t-1} + \alpha^P_i + \mu^P_i + \varepsilon^P_{i,t} \end{aligned} \quad (2)$$

という形の定式化による分析である。⁸⁾ これもやはり、特許出願件数で表される技術革新行動の変化のうち他の要因で説明できない部分について、環境規制への適合行動によって説明しようという試みである。

これらの定式化に基づいた実証分析によって彼らは、環境規制への適合のための費用の存在がタイムラグを伴ってR&D活動に正の影響を及ぼすものの、特許件数で測った発明活動の産出は必ずしもこの環境規制がもたらす費用と結びつく証拠を持たないとしている。

(2) Popp [2002] のモデル

一方、同様に特許出願件数を誘発的技術革新の指標とする分析の近年の例として Popp [2002] は、技術革新を誘発する外生的なショック要因としてエネルギー価格の変化に注目し、特許出願件数との間に存在する関係について、特にラグ構造の分析を中心に検討している。

いま、エネルギー節約技術に関連した分野の米国民間特許出願件数を *EPAT*、特許出願総件数を *TOTPAT*、エネルギー価格を P_E 、研究者が利用可能な知識ストックを K 、その他の独立変数のベクトルを \mathbf{Z} としたとき、彼のモデルは、

$$\begin{aligned} \log(\textit{EPAT}_{i,t}/\textit{TOTPAT}_i) = & \phi_i + \gamma(1-\lambda) \log P_{E^*i} + \theta \log K_{i,t-1} \\ & + \eta(1-\lambda) \log \mathbf{Z}^*_{i,t} + \lambda' \mu^0 + \varepsilon_{i,t} \end{aligned} \quad (3)$$

と表され、ここでは、

$$P_E^* = P_{Et} + \lambda P_{Et-1} + \lambda^2 P_{Et-2} + \cdots + \lambda^{t-1} P_{E1} \quad (4)$$

$$Z^*_{i,t} = Z_{i,t} + \lambda Z_{i,t-1} + \lambda^2 Z_{i,t-2} + \cdots + \lambda^{t-1} Z_{i,1} \quad (5)$$

という分布ラグ構造が仮定される。これはエネルギーの価格が過去の価格の加重平均に依存するという仮定であり、 λ は調整係数である。 $\gamma(1-\lambda)$ はエネルギーイノベーションの短期価格弾力性、 γ は長期弾力性を表す。そしてこのモデルは、エネルギー価格が高いほど、総特許出願のうちでエネルギー節約技術が占める比率が大きくなることを意味する。⁹⁾

これに基づいて彼は、エネルギー節約的な技術革新はエネルギー価格の上昇によって誘発されるが、同時にその効果の検出に際しては既存の技術知識ストックにその限界生産力の低下傾向を正しく反映させた要因を考慮することが重要であると結論づけている。

(3) 外的ショック要因の選択と実証分析の計画

この2つの先行研究においては、それぞれ環境規制とエネルギー価格の上昇に対応した費用の発生という要因が、従来の生産費用の構造の変化を通じて産業の技術革新活動を引き起こす外部からの要因として考察されている。本稿では、この Jaffe and Palmer [1997] の枠組みを用いつつ、Popp [2002] が検討したようなエネルギー価格の高騰が産業の技術革新にもたらした作用を検討する。具体的には、2度にわたる石油ショックや変動為替相場制のもとでの日本における原油の輸入価格の高騰が、鉄鋼や化学といったエネルギーへの依存度が高い産業や、自動車や運輸産業など石油エネルギーと密接に結びついて利用される財やサービスを生産する産業における、エネルギー節約的な技術革新にどのような影響を及ぼしたかについて観察する。

技術革新の指標としては次の2つを用いる。まず、産業別R&D支出と

いう変数を用いることによって、エネルギー価格の変動が特にどのようなタイプの産業のR&D活動に関連するかを調べる。一方で、技術分野別特許出願件数という変数を用いる計測において、エネルギー価格変動がどのような技術分野における技術革新成果の産出に結びつくのかを明らかにすることを試みる。これについては、より詳細な技術分野の区分を行うことによって特定のエネルギー技術分野に注目し、そこにおけるエネルギー価格の変動の効果も検討する。

実証分析にあたっては、産業ないし技術分野毎に集計した時系列データを利用する。研究費支出については、それが行われた産業毎での集計データを用いるが、特許出願については、特許庁による統計では産業分類毎の集計が行われていない一方で技術分野毎の集計は存在するため、こちらに¹⁰⁾基づいた集計を利用する。

現実には、R&D活動や特許出願などの技術の生産活動には様々な要因が影響し、単純にエネルギー価格変数と結びつけるだけでは不十分である。パネルデータで実証分析を行う Jaffe and Palmer [1997] では、各産業に特有の影響要因が産業毎のダミー変数を用いて処理されていたが、本稿では、技術革新に関する供給側と需要側からの影響を考慮するという方法で、ダミーではなく直接これらを表す変数を利用し、それらの係数を直接推定する。すなわち、Lichtenberg [1987] におけるR&D資源の需給均衡モデルを利用して、技術革新活動に対して技術的機会の提供という側面から働きかける要因と、技術革新活動に対する需要に影響する要因の双方をコントロール変数として考慮する。そして、これに基づくR&D支出決定モデルに対して、エネルギー価格変動という要因を新たに含めた定式化を行い、実証分析を試みる。

4. 産業R&D支出の誘発効果・定式化と計測

本稿では、エネルギー価格変動という外生的なショックがどのような産業分野において技術革新を誘発したか、およびどのような技術分野の技術革新を誘発したかの2点について、それぞれ本節および次節で述べるモデルを用いて検討する。はじめに、各産業におけるR&D支出の動きに注目し、R&D支出がエネルギー価格の変動という外生的ショックにどのような対応するかを産業毎に推計、比較することによって、この要因がどのような産業部門における技術革新活動全体への投入をどの程度誘発するのかを調べる。

(1) R&D支出モデルの定式化と変数

本稿では、R&D支出の変動のうち、総需要および技術的機會の変動によって説明されない部分を外部からのショックという要因によって説明するために、Jaffe and Palmer [1997]の方法と同様に被説明変数として i 産業 t 年における研究費支出(対数)を用いつつ、説明変数として t 年の大学・研究機関研究費、 i 産業 t 年の実質GDPおよび技術輸入額(いずれも対数)を用いた回帰分析を行う。これは、産業部門におけるR&D活動が、公的部門がR&D活動を行うことで民間への技術の移転がなされることによって生じる技術的機會、外国から技術を導入することに伴う応用・改良という技術的機會、ならびに産業の規模の拡大がそこにおけるR&D活動をより利用価値のあるものとするという経済的機會によって左右されるということを想定している。この変数の選択は、Lichtenberg [1987]において検討されたR&D需給均衡モデルを拡張したものに相当する¹¹⁾。そして、これに対して t 年の石油輸入価格指数(対数)を新たな説明変数として加え、さらに産業別の方程式とすることによって、どのような産業においてこの要因が有意な作用を持つのかを調べる。

計測に用いる変数は以下の通りである。

$RD_{i,t}$ i 産業 t 年における社内使用研究費支出

FRD_t t 年における研究機関および大学等内部使用研究費支出

$TIM_{i,t}$ i 産業 t 年における技術輸入額

(以上は科学技術研究調査報告による)

$GDP_{i,t}$ i 産業 t 年における実質GDP

(1990年基準、国民経済計算年報による)

PE_t t 年における輸入物価指数・石油石炭等／総合卸売物価指数・総平均

(1995年基準、物価指数年報による)

なお、研究費と技術輸入額については科学技術庁推計による研究費デフレーター (1990年基準) で実質化した値である。

これらの変数について、次式のような対数線形モデルによる定式化を用いて、実際の計測を行う。

$$\begin{aligned} \log RD_{i,t} = & a_0 + a_1 t + a_2 \log RD_{i,t-1} + a_3 \log FRD_t + a_4 \log GDP_{i,t} \\ & + a_5 \log TIM_{i,t} + a_6 \log PE_{t-1} + u_{i,t} \end{aligned} \quad (6)$$

モデルの計測期間は、日銀統計とは別に総務省による産業別技術輸入額の統計が利用可能となった1971年から1997年とした。産業の区分は、製造業に関する国民経済計算年報¹²⁾における分類によった。

産業別時系列データによるここでの計測の注目点は、どのような産業において、石油・石炭輸入価格の変動がR&D支出に対して高い弾力性を有しているかということである。産業別の計測によって、例えば石油・石炭エネルギーへの依存度が高い産業である化学、石油・石炭製品、一次金属産業や、石油エネルギーを多く使用する財を生産する自動車産業などでこの弾力性が大きいという結果が得られたならば、それらの産業におけるR&D支出には石油・石炭の価格変化という外部からのショックによって

誘発された部分が含まれていると推測することができる。

一方、公的R&D支出および各産業のGDP水準を各産業のR&D支出と直接関連づける場合、もしもこれらの間に相互作用が存在するならば、通常の最小2乗法による計測は偏りを持ちうる。すなわち、ある産業のR&D支出の増加が共同研究などを通じて公的R&D活動全体を活発化させ、その結果生じる新たな基礎研究のベースの拡大と技術機会の拡大が他産業のR&D支出に影響することや、ある産業のR&D支出の増加が経済成長によるGDP水準全体の増大を通じて波及的に他の産業の総需要およびR&Dを拡大させることなどが考えられるため、各産業における上記の関係は産業間で互いに関連しあう可能性を持つ。産業毎の計測を行う場合、共通の説明変数が用いられていても、各産業の活動が独立であるならば計測結果どうしは相関しないが、このモデルのように、各変数の間に相互に決定しあう同時的な関係がある場合、ある産業の計測における被説明変数が他の産業の計測における説明変数に影響を及ぼす結果、各方程式の誤差項は互いに独立にならない。これは推定結果の信頼度に影響する。

ここで検討しているタイプのモデルについてこのような関係を考慮する場合、各産業の計測式の誤差項の相関を考慮し、産業別時系列データによる見かけ上無相関の回帰（SUR）¹³⁾による推定を行うことによって、会社等R&Dに対する公的R&Dや産業GDPの効果を検討するという方法を用いることができる。本稿では、公的なR&Dと産業毎のGDP水準を産業毎のR&D支出の推移を説明するうえでのコントロール変数として用いるため、この計測方法を用いて問題を処理する。

（2）計測結果

表1は、(6)式の定式化に従いつつ、変数間の作用の双方向性の存在が各産業毎の方程式の誤差項どうしの相関をもたらすという問題を解決するために、産業毎の方程式をSURによって一括して推定し、各産業に関する

表1 エネルギー価格と産業R&D支出

推定期間：1971～97年，推定方法：SUR

被説明変数： $\log RD_{i,t}$

産 業	食 品	織 維	紙・パルプ	化 学	石油石炭	窯業・土石
定数項	-1.716 (-0.469)	-8.698 (-1.192)	-20.651* (-2.475)	-0.704 (-0.501)	11.057 (1.266)	-6.110 (-1.579)
$t(1971=1)$	-0.00770 (-0.445)	-0.0349 (-0.932)	0.0797 [†] (-1.871)	-0.00707 (-0.919)	0.0601 (1.400)	0.000325 (0.0164)
$\log RD_{i,t-1}$	0.510** (5.167)	0.517** (4.654)	0.367* (2.461)	0.822** (11.972)	0.564** (4.178)	0.615** (8.715)
$\log FRD_t$	0.987* (2.154)	1.346 (1.349)	1.868 [†] (1.669)	0.0259 (0.125)	-1.010 (-0.844)	0.156 (0.296)
$\log GDP_{i,t}$	-0.371* (-2.456)	0.0457 (0.180)	1.223** (2.851)	0.212** (3.060)	-0.312 [†] (-1.646)	0.819** (5.138)
$\log TIM_{i,t}$	0.00147 (0.0320)	0.186** (4.300)	0.0430 (0.661)	0.00262 (0.0902)	0.180** (3.142)	0.00695 (0.344)
$\log PE_{t-1}$	0.0754 [†] (1.806)	0.0714 (0.934)	0.216** (-2.327)	0.0227 (1.254)	0.218** (2.738)	0.196** (4.839)
決定係数	0.971	0.847	0.820	0.995	0.845	0.975
DW	1.712	1.771	2.565	1.731	2.179	2.167
s	0.0711	0.148	0.165	0.0310	0.162	0.0793

産 業	一次金属	金属製品	一般機械	電気機械	輸送用機械	精密機械
定数項	-2.955 (-1.058)	4.729 (1.122)	6.617* (2.377)	-4.480** (-2.589)	2.698 (0.926)	-1.506 (-0.356)
$t(1971=1)$	-0.00519 (-0.371)	0.0744** (3.026)	0.0444** (2.882)	-0.0481** (-4.545)	0.0483** (3.161)	0.00906 (0.434)
$\log RD_{i,t-1}$	0.888** (13.094)	-0.328* (-2.345)	0.240** (2.653)	0.615** (11.428)	0.309** (3.182)	0.648** (5.006)
$\log FRD_t$	-0.0380 (-0.102)	-1.151 [†] (-1.790)	-0.867* (-2.227)	0.521* (2.132)	-0.00615 (-0.0162)	0.300 (0.510)
$\log GDP_{i,t}$	0.427** (4.934)	1.030** (5.018)	0.506** (6.494)	0.388** (6.486)	-0.0445 (-0.353)	0.121 (1.340)
$\log TIM_{i,t}$	0.0474** (2.595)	0.111 (1.218)	-0.134 [†] (-1.819)	0.108** (3.131)	0.446** (8.252)	0.00683 (0.178)
$\log PE_{t-1}$	0.0781** (3.324)	0.309** (5.713)	-0.204** (-5.601)	0.0572** (2.724)	-0.0147 (-0.539)	0.0405 (0.813)
決定係数	0.976	0.956	0.985	0.997	0.986	0.984
DW	1.933	1.832	2.001	2.001	1.766	1.917
s	0.0546	0.0869	0.0581	0.0368	0.0569	0.0825

()内は係数の 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。
DWはダービン・ワトソン統計量、sは推定の標準誤差。

石油石炭輸入価格の係数を計測した結果である。ここからは、石油・石炭の輸入価格の変動が、食品、石油・石炭、窯業・土石、一次金属、金属製品、電気機械の各工業において、それぞれの研究費支出に対して有意な正の関係を持つことが読み取れる。これらの産業に関する限り、エネルギー価格に関するR&D支出の弾力性の値は0.0572(電気機械)~0.309(金属製品)という値に散らばっているが、石油・石炭、窯業・土石、金属製品の各産業で特に大きい。また、これらの値は実質GDPという需要要因による誘発効果よりは小さいが、技術輸入という技術的機会の効果に匹敵する。さらに、後述のGDP当たりの原油換算エネルギー消費量上位5産業のうちの3産業(石油・石炭、窯業・土石、一次金属)において、この関係が認められている。反対に一般機械や輸送用機械、繊維工業などではこうした関係は認められなかった。ここから、エネルギー価格の変動にはある種の産業におけるR&D支出に正の影響を及ぼすという側面があることと、そのような関係が存在する産業とエネルギー多消費型産業とでは重なる部分があるということがうかがえる。一方、紙・パルプ工業もエネルギー消費量が大きな産業の1つだが、対照的に負の関係にあった。この他の各変数については、公的R&D、GDP、技術輸入の効果は概ね認められるものの、有意ではない産業もあり、結果は産業毎に異なっていた。

なお、R&D支出のデータとして本稿で利用した総務省「科学技術研究調査報告」は、日本の産業部門のR&D支出に関する唯一の詳細かつ継続的なデータソースであるが、それでもなお、この統計ではエネルギー節約や代替エネルギー開発のための支出に限定した産業別の統計が、限られた年次についてしか集められておらず、連続した時系列が存在しないという制約がある。上記の実証分析の結果はこれらの技術に限定した効果の推定ではなく、むしろ、エネルギー価格が上昇したことに対応してR&D支出全体がどの程度増加したかという誘発効果を計測したものといえる。

5. 特許出願活動の誘発効果・定式化と計測

次に、エネルギー価格変動によってどのような分野の技術革新が誘発されるかを検討するために、表1と同一のエネルギー価格変化のデータを用いて、産出物としての特許出願件数の変動をこれによって説明することを試みる。特許件数を被説明変数として用いる分析の場合、技術革新活動がそこへの投入ではなくその成果によって測定されているため、例えば Popp [2002] における過去の利用可能な知識ストック変数のように、何らかの形で当該分野の技術革新活動に投入される技術知識の水準を説明変数として加える必要がある。また、産業毎の説明変数を利用するためには、出願された特許の技術分類と産業を対応付ける必要が生じる。本節ではこれらの問題について、以下のような方法で検討する。

(1) 特許出願件数を説明するモデル

最初に、(2) 式で表される Jaffe and Palmer [1997] の定式化に従い、被説明変数としてエネルギーとの関連が強い産業に対応する技術分野における特許出願件数（対数）を用い、説明変数として当該分野と対応する産業の技術水準の指標、同じく実質GDP、エネルギー価格指数、および外国人特許出願件数（いずれも対数）を用いた定式化を検討する。当該技術分野における技術水準については、投入と産出の間のタイムラグを考慮した当該分野に対応する産業の実質研究費支出（対数）を用いる¹⁴⁾。また、特許制度の変更などによる出願性向変化などの制度上の変化の要因をコントロールすることを目的として、外国人による出願件数を説明変数に用いる。これは、Griliches [1989] の指摘にあるような、特許出願およびその登録の件数は出願の審査および裁決に従事する人員や制度によって変化するものであり、これらが実際の出願件数に対して技術革新への投入とは独立の攪乱要因となりうるという問題に対して、国内の技術革新活動と独立な外国人に

よる出願の変化によってこうした攪乱要因を代表させることを意図したものである。¹⁵⁾例えば日本の場合、1980年代に行われた、特許出願行動を適正化するための制度変更などによって発明・革新件数と特許出願件数の関係が変化した可能性があるが、外国人による出願が同様の影響を受けているならば、この変数をこうした制度変更の代理変数として用いることができる。ただし、1985年の特許出願の適正化政策による出願抑制によってその年の出願件数の対前年増加率が低下していることと、1988年には多発明1出願という制度が導入されたことについては、別途ダミー変数を用いた処理も考慮する。

計測に用いる変数は、前節のR&D支出に関する計測に用いた変数に加えて、

- $PA_{i,t}$ i 技術分野の t 年における特許出願件数
- PAF_t t 年における外国人による特許出願件数
(特許庁年報、特許行政年次報告による)
- $GDP_{i,t}$ i 技術分野に対応する産業の t 年における実質GDP
(国民経済計算年報による)
- $RD_{i,t}$ i 技術分野に対応する産業の t 年における実質研究費
(科学技術研究調査報告による)
- PE_t t 年における輸入物価指数・石油石炭等／総合卸売物価指数・総平均
(物価指数年報による)
- $D85$ 1985年以降について1、それ以外の年について0とした定数項ダミー変数
- $D88$ 1988年以降について1、それ以外の年について0とした定数項ダミー変数

とした。これらについて、(2)式を基本として、R&D支出とGDPについて2年のタイムラグを想定し、

$$\log PA_{i,t} = b_0 + b_1 t + b_2 \log RD_{i,t-2} + b_3 \log GDP_{i,t-2} + b_4 \log PAF_i \\ + b_5 \log PE_{t-k} + b_6 D85 + b_7 D88 + v_{i,t} \quad (7)$$

を計測する。なお、エネルギー価格については、新技術の必要の発生およびその開発の着手から一応の成果の出願に至る、技術分野毎に選んだ k 年のタイムラグを想定した計測を行い、最も有意性が高かった結果について検討する。

計測期間は、特許庁年報および特許行政年次報告として刊行された公報による特許出願件数の分類が現行の区分となった1974年以降のデータが利用できる、1974年から1998年とした。表1に示した計測結果のように、R&D支出とエネルギー価格の関係はエネルギー消費量が大きな産業において有意であるという傾向が見られたため、ここで検討する技術分野 i は、製造業分野のうちで1998年におけるGDP当たりの原油換算エネルギー消費量の上位5産業であるパルプ・紙・紙加工品、化学工業、石油・石炭製品、窯業・土石製品、一次金属（鉄鋼および非鉄金属）とした。また、これに加えて、稼動に際してエネルギーを使用する製品を製造する一般機械、電気機械製造、輸送用機械製造業に関連する技術分野も検討する。¹⁶⁾ 計測に際して想定した各技術分野と国民経済計算年報の産業分類との対応は、計測結果とともに表2に示した。その際、対象産業について、石油・石炭を原材料ないしエネルギーとして利用する産業と製品がエネルギー消費をする産業という、2つのタイプに分けた。これは、石油・石炭資源への依存が大きい、あるいはそれらの価格の変動の影響が大きいとされる産業の中でも、こうした相違の結果としてショックの影響が異なることが予想されるためである。

ただし、実際には省エネルギーや非石油資源への代替のための技術革新はこれら以外の技術分野にも分類されるものがあることや、反対にこれらの分野の技術革新がすべてエネルギー消費抑制のために行われたわけでは

なく、したがってこれらの特許件数の変動はエネルギー価格変動の技術革新への影響をすべて含んではおらず、反対にそれ以外の技術の変動を排除したものではない。さらに、集計の単位としての技術分野の分類と国民経済計算年報の産業分類との対応があいまいなケースがあることとあわせて、有意な関係が存在しながらも計測からそれが明確には見出されない可能性もある。また反対に、一見観察される有意な関係が、エネルギー価格上昇がエネルギー技術革新以外の技術を誘発しているという関係を反映しているという可能性もある。¹⁷⁾

表2は左辺を特許出願件数対数値としてこれとエネルギー価格の関係を検討した(7)式に関する計測結果である。エネルギー価格に関するタイムラグ k については、0～2年を仮定して計測を行い、そのうち最も有意性が高かったものを採用した。推定方法はOLSであり、各方程式について個別に計測を行った。表2(1)にまとめた結果を見ると、エネルギー消費水準が高いこれらの産業において、石油・石炭の輸入価格と特許出願件数の間には有意な正の関係が認められた。特許出願の弾力性の値は0.2前後であり、表1における該当産業のR&D支出の弾力性と同水準ないしこれを上回っている。また表2(2)においては、製品がエネルギーを消費する品目を生産する産業の技術についても同程度の大きさの弾力性が得られ、やはり同様な関係を持つことが分かるが、ダービン・ワトソン統計量が正の系列相関の存在の可能性を示しているため、この有意性の高さについてはいっそうの検討の必要がある。一方、R&D支出に関する計測の場合と同様、紙・パルプ工業についてはこのような関係は認められなかった。

(2) エネルギー消費水準との同時的関係

ところで、エネルギー価格の上昇に直面した産業がエネルギー節約的な技術革新を行おうとする程度は、その産業がそれまで既存のタイプのエネルギー資源にどれほど依存していたかによって異なると考えられる。その

表2 エネルギー価格と特許出願件数・産業との対応

推定期間：1974～98年，推定方法：OLS

被説明変数： $\log PA_{i,t}$

(1) エネルギー利用型産業および原材料として使用する産業

	(2.1)	(2.2)	(2.3)	(2.4)	(2.5)
技術分類	B31	C03, C04	C21, C22	C05～C09	C10
対応産業	紙・パルプ	窯業・土石	一次金属	化 学	石油石炭
定数項	3.976 (0.660)	1.851 (0.440)	2.083 (0.498)	3.904 (1.572)	9.142 (1.205)
t (1974 = 1)	0.0282 [†] (1.700)	-0.0220* (-2.120)	-0.0114 (-1.103)	-0.0212* (-2.424)	0.0341* (2.524)
$\log RD_{i,t-2}$	0.334* (2.447)	0.637** (3.110)	0.380 [†] (1.790)	0.0842 (0.385)	0.237 (1.348)
$\log GDP_{i,t-2}$	-0.227 (-0.589)	-0.281 (-0.889)	0.301 (1.467)	0.208** (2.866)	0.232 (0.832)
$\log PAF_t$	0.189 (0.372)	0.531 (1.340)	0.118 (0.305)	0.343 (1.488)	-0.545 (-0.985)
$\log PE_{t-k}$	-0.150 (-1.495)	0.212* (2.029)	0.254** (3.032)	0.194** (4.764)	0.262* (2.407)
$D85$	-0.457** (-4.029)	0.210* (2.001)	0.129 (1.399)	0.131* (2.312)	-0.210* (-2.034)
$D88$	-0.242 [†] (-1.837)	-0.0782 (-0.567)	-0.0743 (-0.571)	0.153* (2.147)	-0.0594 (-0.448)
修正決定係数	0.417	0.911	0.814	0.927	0.573
DW	2.129	1.818	1.631	2.201	2.280
s	0.118	0.0872	0.0824	0.0519	0.116
仮定した k	1	2	2	2	1

k は計測毎に異なるタイムラグ。修正決定係数は自由度修正済み決定係数。その他記号は表1を参照。

技術分類の説明は以下の通り（特許行政年次報告による）。

B31：紙製品の製造；紙の加工

C03：ガラス；鉱物またはスラグウール

C04：セメント；コンクリート；人造石；セラミック；耐火物

C21：鉄冶金

C22：冶金；鉄または非鉄合金；合金の処理または非鉄金属の処理

C05：肥料；肥料の製造

C06：火薬；マッチ

C07：有機化学

C08：有機高分子化合物；その製造または化学的加工；それに基づく組成物

C09：染料；ペイント；つや出し剤；天然樹脂；接着剤；種々の組成物；材料の種々の応用

C10：石油、ガスまたはコークス工業；一酸化炭素を含有する工業ガス；燃料；潤滑剤；で
い炭

(2) 製品がエネルギーを消費する産業

	(2.6)	(2.7)	(2.8)
技術分類	F01~F03	F22~F28	F21, H02
対応産業	機械, 輸送機械	機械, 電気機械	電気機械
定数項	0.732 (0.157)	9.700** (2.952)	6.144** (2.804)
t (1974 = 1)	0.00614 (0.463)	0.0236 (1.436)	0.0224* (2.081)
$\log RD_{i,t-2}$	-0.164 (-0.431)	-0.190 (-0.395)	-0.135 (-0.984)
$\log GDP_{i,t-2}$	0.646 [†] (1.959)	0.427 (1.084)	0.0939 (1.066)
$\log PAF_i$	0.266 (0.699)	-0.358 (-1.129)	0.254 (1.124)
$\log PE_{i-k}$	0.189* (2.321)	0.128 (1.636)	0.0919* (2.135)
$D85$	-0.0489 (-0.584)	-0.0927 (-0.859)	0.0383 (0.676)
$D88$	-0.109 (-1.119)	-0.0960 (-1.099)	-0.113 [†] (-1.926)
修正決定係数	0.850	0.916	0.949
DW	1.074	1.341	1.385
s	0.0851	0.0747	0.0471
仮定した k	1	1	2

k は計測毎に異なるタイムラグ。修正決定係数は自由度修正済み決定係数。その他記号は表1を参照。
 なお、機械・輸送は一般機械工業および輸送用機械工業、機械・電気機械は一般機械工業および電気機械工業の意。

技術分類の説明は以下の通り（特許行政年次報告による）。

F01：機械または機関一般；機関設備一般；蒸気機関

F02：燃焼機関；熱ガスまたは燃焼生成物を利用する機関設備

F03：液体用機械または機関；風力原動機、ばね原動機、動力原動機またはその他原動機；他類に属さない機械的動力または反動推進力を発生するもの

F21：照明

F22：蒸気発生

F23：燃焼装置；燃焼方法

F24：加熱；レンジ；換気

F25：冷凍または冷却；加熱と冷凍との組み合わせシステム；ヒートポンプシステム；氷の製造または貯蔵；気体の液化または固体化

F26：乾燥、F27：炉；キルン；窯；レトルト、F28：熱交換一般

H02：電力の発電、変換、配電

ようなエネルギーが原材料費用に占める割合が高い産業ほど、あるいは生産量あたりのエネルギー資源消費が大きな産業ほど、エネルギー価格の上昇によって受けるショックは大きいからである。一方、既存エネルギー節約的な技術革新が発生することによって、その産業自身およびその生産物を利用する産業における既存のエネルギーの消費量は相対的に低下すると考えられる。そしてこの既存のエネルギーへの依存度の低下は、それをさらに節約するための新たな革新の誘因を低下させうる。すなわち、エネルギー節約的な技術革新とそれを誘発する要因は、単純に一方が他方の決定要因であるとはいえないという非線型の関係にある。したがって、想定されるべきモデルは単純な線形モデルではなく、何らかの同時的なモデルである必要がある。

Jaffe and Palmer [1997] に基づく本稿のモデルにこれを適用すると、この関係は次のように記述される。まず、エネルギー節約的な技術革新に対する需要は既存エネルギー多消費型の産業ほど強いが、同じ産業でも既存エネルギーからの脱却がまだ進んでいない時期であるほどこの需要は強い。ところが、この技術革新によってもたらされる既存のエネルギーの消費量の減少は、その技術を作り出した産業だけでなく、節約技術が体化された製品を購入し使用した他の産業に対しても広く発生すると考えられ、経済全体に波及すると見ることができる。例えば、石油代替エネルギーの実用化による石油エネルギー消費の減少は、その開発を行った産業よりもむしろ、それを用いた各種の中間財、機械、装置類を購入し、使用する産業において発生する。

かくして、石油および石炭という従来型のエネルギー消費水準を

EC_{it} i 産業の t 時点におけるGDPあたり従来型エネルギー消費量
(内訳は石油製品、石炭、コークス等、原油の4項目。資源
エネルギー庁の総合エネルギー統計による)

によって測り、

$$\log PA_{i,t} = b'_0 + b'_1 t + b'_2 \log RD_{i,t-2} + b'_3 \log GDP_{i,t-2} + b'_4 \log PAF_i + b'_5 \log PE_{i-k} + b'_6 \log EC_{i,t} + b'_7 D85 + b'_8 D88 + v'_{i,t} \quad (8)$$

という形の定式化によって、既存エネルギー消費水準およびその価格と、このエネルギーを節約するための技術革新を内包するその産業分野の特許出願件数の間の関係を想定した場合、 i 産業以外の被説明変数 $\log PA_{j,t}$ ($j \neq i$) が i 産業の説明変数 $\log EC_{i,t}$ の水準を変化させ、産業毎の計測は互いに相関する。この結果、ある産業のR&Dが経済成長を通じて他産業のR&Dにも影響を及ぼすとした前節と同様、係数の推定に際して通常の最小2乗法による推定は適切ではなくなるという問題が発生する。そこでこの場合にも、本稿ではSURによる推定を用いてこれを検討する。

計測においては、表2に示した(7)式の推定において誤差項の系列相関に起因する推定値の偏りの可能性が認められた機械、電気機械、および輸送用機械に関連する技術は対象から除いた。さらに、エネルギー多消費型の5産業のうち、石油精製の原材料としてこれを使用する部分が多くを占め、性格が異なる石油石炭製品工業を除いた4産業について、(8)式という新たな定式化によって計測を行った結果を表3に示す。タイムラグ k は表2の計測の場合と同一とした。ここからは、窯業・土石、一次金属、化学工業に関連した技術はエネルギー価格との間に有意な正の関係を保ち、その弾力性の大きさもOLSの場合と同水準である一方で、同時に特許件数とエネルギー消費水準の間に有意ないし有意に近い負の相関関係が認められる。これは特許件数で表した技術革新がエネルギー消費を抑制するという可能性に一致するもので、エネルギー消費的な産業分野内における、エネルギー価格の高騰がエネルギー節約的技術革新を誘発し、その結果同時にエネルギー消費を抑制するという関係を反映している。また、他の説明変数についても、R&D支出がタイムラグを伴って特許出願と正の相関をすることが有意に認められた。一方、これまでの計測と同様、紙・パル

プ工業ではエネルギー価格、特許出願、エネルギー消費相互間のこのような関係は認められなかった。

表3 エネルギー利用産業におけるエネルギー消費と特許出願の相互関係

推定期間：1974～98年，推定方法：SUR

被説明変数： $\log PA_{i,t}$

技術分類	B31	C03, C04	C21, C22	C05～C09
対応産業	紙・パルプ	窯業・土石	一次金属	化 学
定数項	4.869 (0.935)	4.846 (1.429)	-1.060 (-0.345)	4.339* (2.146)
t (1974=1)	0.0284* (2.128)	-0.0172* (-2.203)	-0.0291** (-3.163)	-0.0223** (-3.326)
$\log RD_{i,t-2}$	0.365** (2.914)	0.456** (3.567)	0.346* (2.499)	0.257 [†] (1.754)
$\log GDP_{i,t-2}$	-0.281 (-0.748)	-0.296 (-1.327)	0.303* (2.393)	0.0920 [†] (1.752)
$\log PAF_i$	0.106 (0.249)	0.270 (0.834)	0.398 (1.425)	0.278 (1.495)
$\log PE_{i-k}$	-0.221 [†] (-1.874)	0.220** (2.976)	0.224** (3.874)	0.131** (2.712)
$\log EC_{i,t}$	-0.127 (-0.492)	-0.280 [†] (-1.704)	-0.405** (-3.114)	-0.0856 (-1.615)
$D85$	-0.481** (-4.910)	0.206* (2.553)	0.133* (2.185)	0.118** (2.700)
$D88$	-0.281* (-2.514)	0.000765 (0.00799)	-0.0722 (-0.833)	0.0933 [†] (1.659)
決定係数	0.590	0.944	0.909	0.948
DW	2.147	1.927	2.301	1.876
s	0.0968	0.0677	0.0564	0.0429
仮定した k	1	2	2	2

k は分類毎に異なるタイムラグ。その他記号は表1を参照。

6. エネルギー技術革新とエネルギー価格

前節ではエネルギー供給および利用技術に的を絞らずに、エネルギー価格とその部門の技術革新全体を関連付けたのに対し、本節においては、その中から特定のエネルギー技術に絞った場合について同様の検討を行う。また前節の注目点が、自身がエネルギーを利用する産業と製品が利用する産業という区分であったのに対し、ここではエネルギーを供給する技術とエネルギーを利用する技術の革新という区分に注目する。

ここでは、Popp [2002] において選ばれた技術分野を検討対象とする。Popp [2002] のエネルギー技術の分類は、エネルギー供給に関する技術 6 分類とエネルギー需要に関する技術 5 分類からなる。前者には石炭液化（液体燃料の製造）、石炭ガス化（ガス燃料の製造）、太陽エネルギー利用、太陽エネルギー貯蔵電池、燃料電池、燃料としての廃棄物の利用が該当する。後者には廃熱のエネルギーとしての利用、熱交換器一般、ヒートポンプ、スターリングエンジン、金属の連続鋳造加工工程が含まれる。¹⁸⁾

以降の計測で用いる技術別特許件数の時系列データについては、特許庁の「特許電子図書館」サービスを検索することで得た。その手順は以下の通りである。ある技術について、まず特許の分類に関して特許庁が提供する資料（FIハンドブック）を当該技術をキーワードとして検索し、その技術が特許分類（FI）においてどこに分類されているかを調べた。この検索は説明文章中に検索語が含まれるいくつかの技術分類のコード番号を返してくるので、その中から「〇〇を除く」「〇〇は～を参照」などの文章がヒットしたケースを除外し、続いてこのコード番号を用いてその分類に該当する特許を検索すると、指定した年次においてその分類で公知となった特許の公開件数が表示される。検索対象期間を 1 年単位と指定してこれを繰り返すと、あるキーワードで表される技術についてその年次に公知となった特許件数の年次時系列データが得られる。¹⁹⁾ 計測するモデルとして、ま

ず、前項と同様 Jaffe and Palmer [1997] の方法を念頭において、上記の特許件数 PA を被説明変数とした、

$$\begin{aligned} \log PA_{i,t} = & c_0 + c_1 t + c_2 \log \sum_{h=1}^{10} PA_{i,t-h} + c_3 \log GDP_{i,t-2} + c_4 \log PAF_t \\ & + c_5 \log PE_{t-k} + c_6 \log EC_t + c_7 D85 + c_8 D88 + w_{i,t} \end{aligned} \quad (9)$$

を考える。前項と異なるのは、フローの R&D 支出に代えて過去 10 年間に公知となった特許件数の総和を技術知識ストックの代理変数に用いたことである。これが正の係数を持つならば、現在の革新に対して既存の知識というベースが有用であるということが示唆される。また、エネルギー消費への影響としては、産業全体で消費の節約が進めばいっそうのエネルギー技術革新に消極的になる、あるいは技術革新の結果産業部門全体でエネルギー消費が減る、という可能性がある。これについては、上式の定式化においては技術分野の選択が個別の具体的なエネルギー技術について行われているため、前節での検討とは異なり、以下では当該産業ではなく全産業でのエネルギー消費水準対 GDP 比率 EC_t を変数とする。

並行して、左辺を特許件数全体に対する当該技術の特許件数の比率（対数）とした、Popp [2002] と同様の変数選択による方法も試みる。これは、既存のエネルギー価格の高騰というショックが当該エネルギー節約的な技術革新をもたらすならば、同時期には相対的に当該分野の特許が増加すると考えられる点に注目したものである。この場合、被説明変数として

$$RPA_{i,t} \quad t \text{ 年において公知となった } i \text{ 技術分野の特許 } / t \text{ 年の特許出願件数総数}$$

を用い、

$$\begin{aligned} \log RPA_{i,t} = & d_0 + d_1 t + d_2 \log \sum_{h=1}^{10} PA_{i,t-h} + d_3 \log GDP_{i,t-2} \\ & + d_4 \log PE_{t-k} + d_5 \log EC_t + e_{i,t} \end{aligned} \quad (10)$$

を計測するという定式化を行う。Jaffe and Palmer [1997] の場合と異なり、すべての特許分類に影響するような特許性向や制度などの変化は総特許件

数とエネルギー関係特許件数の双方に同様の変化をもたらすので、これをコントロールするための外国人特許件数などの変数は用いない。

なお、Popp [2002] のように各技術についてその技術特有の特許件数決定要因を考慮することができるが、2つの定式化の双方について、本稿の計測では技術の需要側の要因として各技術が関係する産業のGDP水準を以ってこれを代表させた。

計測期間については、1960年代からのデータも利用可能であるものの、対数線形モデルであることから、石炭液化技術に関する特許の公知件数が0件という年次を含まないように1973年以降とした。また、エネルギー消費水準を介した方程式間の相関関係はエネルギー供給技術と利用技術とで別個のものと考え、それぞれについて別個にSURによる計測を行った。(9)式の定式化による計測結果を表4に示す。

表4においてエネルギー価格の係数が有意な正值であるのは、燃料電池以外のエネルギー供給技術と廃熱利用、熱交換装置であり、石炭ガス化技術の0.312から太陽エネルギー技術の2.44と弾力性に差はあるものの、エネルギー価格の上昇が既存エネルギーの節約と新エネルギーの開発に大きく作用したことが分かる。一方これらの技術については、石炭ガス化と廃熱利用技術以外では既存のエネルギー消費水準と有意な負の関係があり、各技術革新がエネルギー消費全体を引き下げることが反映している。ただし、他のコントロール変数の係数を見ると、特許産出にはプラスの効果があるはずのGDP水準や、過去の蓄積による技術機会を提供するはずの特許累積件数などの符号がマイナスになっており、適切なコントロール変数の選択についてさらに検討する必要がある。

一方、同じデータを用いて(10)式の定式化による計測を行ったところ、誤差項の系列相関の可能性が(9)式の場合よりも深刻で、推定値に疑問が残ったため、表には示さなかった。しかしそこでは、燃料電池技術以外のケースについてエネルギー価格の作用が有意に観察されること、エネルギー

表4 エネルギー価格と個別技術分類別特許公知件数

推定期間：1973～98年，推定方法：SUR

被説明変数： $\log PA_{it}$

(1) エネルギー供給技術

技術の種類	石炭液化	石炭ガス化	太陽エネルギー利用	太陽電池	燃料電池	燃料として廃棄物利用
対応産業	石油石炭	石油石炭	一般機械， 電気機械	一般機械， 電気機械	一般機械， 電気機械， 輸送用機械， 電力，ガス， 水道・熱供給	一般機械
定数項	46.633** (3.793)	39.142** (4.720)	86.094** (5.636)	0.653 (0.140)	-28.630* (-2.446)	-6.205 (-0.680)
t (1973 = 1)	0.152** (3.844)	0.186** (7.726)	0.198** (3.280)	0.0484* (2.506)	-0.138* (-2.465)	-0.0460 (-1.065)
$\log(\sum PA_i)$	-0.419** (-2.834)	0.283 (1.478)	-0.927** (-3.905)	0.139 (0.822)	-1.340* (-2.561)	-1.261** (-3.643)
$\log GDP_{i,t-2}$	1.648** (5.775)	-1.045** (-4.164)	-2.775** (-4.054)	-0.244 (-0.992)	3.928** (4.356)	-0.863† (-1.743)
$\log PAF_t$	-7.324** (-6.549)	-1.648* (-2.422)	-8.059** (-5.244)	0.0820 (0.172)	0.838 (0.906)	0.631 (0.682)
$\log PE_{t-k}$	1.674** (4.960)	0.312* (2.189)	2.440** (4.321)	0.557** (4.356)	-0.320 (-1.375)	1.273** (4.201)
$\log EC_t$	-4.188** (-3.426)	3.135** (4.064)	-7.653** (-4.042)	-1.163* (-2.021)	0.474 (0.510)	-4.737* (-3.276)
D85	-0.840** (-3.677)	-0.433** (-3.081)	-0.503 (-1.435)	0.176 (1.447)	0.867** (4.203)	-0.408 (-1.630)
D88	0.405 (1.170)	-0.554** (-3.475)	0.789 (1.399)	-0.279† (-1.816)	0.120 (0.380)	-0.0347 (-0.104)
決定係数	0.934	0.888	0.877	0.975	0.906	0.796
DW	2.115	2.102	1.467	2.120	1.205	2.203
s	0.268	0.152	0.375	0.116	0.228	0.231
仮定した k	2	1	2	2	2	2

k は分類毎に異なるタイムラグ。その他記号は表1を参照。

(2) エネルギー需要技術

技術の種類	廃熱のエネルギー利用	熱交換装置	スターリングエンジン	金属の連続 casting
対応産業	一般機械	一般機械, 電気機械, 輸送用機械, 電力, ガス, 水道・熱供給	一般機械	一次金属
定数項	35.529** (4.298)	21.063** (4.111)	5.185 (0.494)	15.191* (2.442)
t (1973=1)	0.179** (6.167)	0.0420* (2.322)	-0.0529† (-1.679)	-0.00475 (-0.247)
$\log(\sum PA_i)$	-1.056** (-3.988)	-0.821** (-4.254)	0.0419 (0.0958)	-0.407† (-1.959)
$\log GDP_{i,t-2}$	-1.440** (-2.961)	-0.188 (-0.625)	0.569 (1.361)	0.216 (1.092)
$\log PAF_i$	-2.079** (-2.619)	-1.601** (-3.901)	-1.203 (-1.139)	-1.448** (-2.639)
$\log PE_{i-k}$	0.894** (3.375)	0.438** (4.001)	0.280 (1.129)	0.132 (1.052)
$\log EC_i$	-1.943 (-1.515)	-2.352** (-4.461)	-1.463 (-1.346)	-1.892** (-4.545)
$D85$	-0.582** (-3.186)	0.105 (1.373)	0.383 (1.595)	0.154† (1.728)
$D88$	-0.864** (-3.339)	-0.166 (-1.427)	-0.191 (-0.578)	0.164 (1.280)
決定係数	0.874	0.915	0.814	0.875
DW	2.357	2.099	2.112	1.405
s	0.193	0.0760	0.218	0.0995
仮定した k	2	2	2	2

k は分類毎に異なるタイムラグ。その他記号は表1を参照。

一消費と特許件数の有意な負の関係が認められることのほか、GDPなどコントロール変数の係数の符号条件の問題も含め、この(9)式の場合とほぼ同様の結果が得られたということを付記しておく。

7. 結論

本稿では、産業のR&D活動およびその結果生じる技術革新には、経済活動における内生的な要因によって決定される部分があると同時に、技術革新のシステムの外部から加えられる外生的なショックによって誘発される部分が存在するという見方にに基づき、戦後の日本の経済成長の過程において重要な現象であった、2度にわたる石油ショックと為替レートの変動がもたらしたエネルギー価格の変動が産業の技術革新に及ぼした影響の分析を試みた。そのために、これらの時期を含む時系列データを用いて、需要側と供給側という相互の要因の影響で決まる技術革新活動の指標の変動の中から、新たにこのエネルギー価格の変動が寄与した部分を取り出した。その結果は、石油や石炭など既存のエネルギー資源に依存する程度が高い産業を中心に、R&D活動全般とエネルギー価格との間に有意な関係が認められるというもので、そのような産業においてはR&D支出の一部が高い弾力性を以ってこのショックに対応して推移していることが示唆された。また、エネルギー技術に関連した技術分野における特許出願行動とエネルギー価格の間には、エネルギー消費型の産業において、技術革新のための投入と産出の時間差を反映した数年のラグを伴った、R&Dへの作用とほぼ同水準の大きさの弾力性を伴う有意な関係が存在することが明らかとなり、そのような産業においてはR&D活動の活発化の背景にエネルギー技術の革新を意図した部分が存在することが示唆された。

一方、エネルギー技術革新とその消費との間には技術革新の進行によってその消費が抑制されるという同時的關係があるが、これを考慮しても、

上述のようなエネルギー価格上昇が技術革新を誘発するという関係自体は有意であり、結論を覆すものではなかった。

ただし、特許出願件数の変動をエネルギー価格の変化で説明した計測に関しては、石油エネルギー節約や代替エネルギー開発に関するものに限ったデータではないという問題と、技術分野と産業の分類が正確に1対1に対応しない部分があるという問題が残った。本稿は試みの検討であり、特許関係を中心としたデータ系列の改善、ショックがもたらすタイムラグ構造やその波及の様子の考慮などといったモデルのいっそうの洗練など、残された問題は多く、今後の検討課題としたいと考えている。

- 注 1) Binswanger [1978], p.22。外生的な技術進歩率という仮定が広く採用されていた時代には、この誘発的技術革新モデルとその実証的検討は、要素価格や財価格などの経済変数が技術進歩を決定する要因であると考えてることによって、技術進歩の過程を経済システムに内生的なものとして説明する努力の1つであった。
- 2) Binswanger [1978], pp. 22-23。
- 3) Binswanger [1978], p.15。
- 4) Kamien and Schwartz [1982], pp.22-23。
- 5) Kamien and Schwartz [1982], pp.33-34。
- 6) Kamien and Schwartz [1982], pp.35-36。
- 7) ここからは、より高い収益性がより高い技術進歩率をもたらし、技術進歩率と総需要の変化の間に正の関係が存在するという結論が導かれる。Ben-Zion and Ruttan [1978], p.262。
- 8) この2つのモデルについては、Jaffe and Palmer [1997], p.612による。
- 9) Popp[2002],p.165。
- 10) 出願された特許はその後適切な技術分野への分類が付され、「特許庁年報」や「技術分野別特許出願動向」として分類別の集計値が広報されるが、その区分は出願産業ごとの集計ではないため、「科学技術研究調査」やGDP統計における産業区分とは一致しない。本稿では、後述のように検討対象の技術分野を選択した後にそれと最も密接に関係すると考えられる産業分類を割り当てるとする方法をとる。
- 11) Lichtenberg [1987]では単純な線形モデルでの定式化であったが、本稿では

これを対数線形で検討する。また本稿において技術輸入額という変数を用いるのは、日本の技術革新の特徴である技術輸入によるいっそうの応用・開発 R&Dのための機会の拡大に注目するためである。

- 12) 計測対象の産業名は表 1 の計測結果を参照。なお「鉄鋼業」と「非鉄金属」については、国民経済計算年報の産業区分に従って「一次金属」として一括した。
- 13) 本稿での検討に先立って、同様のデータ系列に基づいてエネルギー価格を考慮しない場合の計測を行った Baba [2001] では、公的 R&D 活動、技術輸入、GDP 水準、および設備投資水準と産業の R&D 支出との間に有意な関係が認められる産業が存在することが分かり、そのような産業における研究機関の活動ないし技術輸入の有意な役割が明らかとなった。本稿での計測は、そこにおいて説明されずに残った変動の一部を説明する試みである。
- 14) これは Popp [2002] において特許のストックで測られている概念に相当する。これについては、過去の技術の蓄積がもたらす技術的機會という点ではストック変数を用いるのは合理的であるが、フロー変数である R&D 支出額を説明変数として用いて特許その他の指標で測った技術革新を回帰させる方法もまた、Griliches [1989] や Jaffe [1989] など広く用いられている。
- 15) Jaffe and Palmer [1997], pp.612-613。
- 16) エネルギー消費量は商工業石油等消費統計調査による。出所は総務省「日本統計年鑑」である。
- 17) ただしその場合、エネルギー価格変動がもたらした革新であることには変わりない。
- 18) 彼の方法自体は、エネルギー関連特許として、米国の特許小分類のうちエネルギー省の分類と明確な対照が可能な分類のみを選び出し、それに基づいて以上の技術分類を考察対象とする、というものである。Popp [2002], p.161。その意味では本稿の計測において彼の技術の選択にこだわる必要はないが、一応本稿でも日本でこれに対応するものを選んだ。
- 19) Popp [2002] の技術分野、日本語訳、分類記号の対応は以下の通り（複数の分類記号は空欄で区分）；
 - ① coal liquefaction
石炭液化
C10G1/00@D C10G1/04 C10G1/06
 - ② coal gasification
石炭（粉状・粒状燃料）ガス化
C10J3/46 C10J3/54 E21C43/00 F02C3/28 F22B1/18@H
 - ③ solar energy
太陽エネルギー
C02F1/14 E04D1/24 F24J2/00 E04D1/24@C

④ solar batteries

太陽電池

H02J3/38@G H01L31/04@W H01L31/04@B H01L31/04@K
H01L31/04@M H01L31/04@N H01L31/04@P H01L31/04@Q
H01L31/04@R H01L31/04@S H01L31/04

⑤ fuel cells

燃料電池

H01M12/00 H01M12/04 H01M12/08 H02J15/00@G H01M8/00@Z
H01M8/00@A H01M8/02@M H01M8/02@E H01M8/04 H01M8/04@N
H01M8/04@M H01M8/04@L H01M8/04@J H01M8/04@H
H01M8/04@G H01M8/04@A H01M8/12 H01M8/14 H01M8/16
H01M8/18 H01M8/20 H01M8/22 H01M8/24 H01M8/24@L
H01M8/24@E H01M8/04@Z H01M8/04@T H01M8/04@P H01M8/06
H01M8/06@R H01M8/06@G H01M8/06@B H01M8/08 H01M8/10
H01M8/00 H01M8/02@L H01M8/02@Z H01M6/50 H01M4/88@T
H01M4/86@T H01M4/86 H01M2/22@Z H01G9/02

⑥ using waste as fuel

燃料としての廃棄物利用

C10L5/00

⑦ recovery of waste heat for energy

廃熱のエネルギーとしての利用

F27D17/00 F23D14/66@C F24H1/00,631@J C25F7/00@T

⑧ heat exchange - general

熱交換装置

F28C3/00 F28D1/00 F28D3/00 F28D5/00 F28D7/00 F28D9/00
F28D11/00 F28D13/00 F28D15/00 F28D17/00 F28D19/00 F28D20/00
F28D21/00 F28F9/02,301 F28F21/00

⑨ stirling engines

スターリングエンジン

F02G1/00 F02P21/02

⑩ continuous casting processing of metal

連続鋳造

B21B1/46 B21B13/22 B22D11/00 B22D11/00@R B22D11/04,111
B22D11/04,111@A B22D11/04,114 B22D11/04,115 B22D11/04,301
B22D11/10@A B22D11/12@A

なお Popp [2002] ではこの他 heat pumps (ヒートポンプ) も用いられているが、件数検索を行うと1990年代以降しかヒットしないためここでは検討しなかった。また、製造技術に注目したため、太陽エネルギーおよび廃熱以外について

てはその技術を利用するための技術は対象外とした。

参考文献

- Baba, Masahiro, "Public R&D, Government Support, and R&D Expenditure in Industrial Sector: An Analysis Focusing on Correlation Among Industries," *Keiai University Staff Papers* (『敬愛大学研究論集』), No.61, December 2001, pp.11-38.
- Ben-Zion, Uri and Vernon W. Ruttan, "Aggregate Demand and the Rate of Technical Change," in Hans P. Binswanger and Vernon W. Ruttan (eds.), *Induced Innovation: Technology, Institutions, and Development*, Johns Hopkins University Press, 1978, pp. 261-275.
- Binswanger, Hans P., "Induced Technical Change: Evolution of Thought," in H. P. Binswanger and V. W. Ruttan (eds.), *Induced Innovation: Technology, Institutions, and Development*, Johns Hopkins University Press, 1978, pp. 13-43.
- Geroski, Paul A. and C. F. Walters, "Innovative Activity Over the Business Cycle," *Economic Journal*, Vol. 105, July 1995, pp. 916-928.
- Griliches, Zvi, "Patents: Recent Trends and Puzzles," *Brookings Papers on Economic Activity: Microeconomics*, 1989, pp. 291-319.
- Jaffe, Adam B., "Real Effects of Academic Research," *American Economic Review*, Vol. 79, No. 5, December 1989, pp. 957-970.
- Jaffe, Adam B. and Karen Palmer, "Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 79, No. 4, November 1997, pp. 610-619.
- Kamien, Morton I. and Nancy L. Schwartz, *Market Structure and Innovation*, Cambridge University Press, 1982.
- Lichtenberg, Frank R., "The Effect of Government Funding on Private Industrial Research and Development: A Re-Assessment," *Journal of Industrial Economics*, Vol.36, No.1, September 1987, pp. 97-104.
- Popp, David, "Induced Innovation and Energy Prices," *American Economic Review*, Vol. 92, No. 1, March 2002, pp. 160-180.
- Schmookler, Jacob, *Invention and Economic Growth*, Harvard University Press, 1966.