

○田村 誠, 藤垣裕子 (東大総合)

1. はじめに

環境規制などの環境政策は、経済活動や技術変化に複合的な影響を及ぼすと考えられる。環境規制による生産性や技術への影響は短期と長期の視点によって評価が異なる。短期的にはコスト要因としてマイナスの効果が強いが、長期的には環境改善を通じた生産性の向上、研究開発や人的資本の蓄積などによってプラスの作用を及ぼすことも考えられる。

それゆえ持続可能な社会を構築するためには、環境規制によって引き起こされる技術および経済・社会への正負双方の効果を考慮し、環境保全へのインセンティブ作りを目指していくことが重要である。はたして環境規制の実施によって生産性の向上や技術革新が促進されるのか、そして仮に促進されるとすれば持続可能な社会の構築にはどのような条件が必要であるのだろうか。これらの問題設定に答えるべく、本稿は環境規制と技術変化の相互関係について議論する。

2. 先行研究

環境規制の実施に伴う技術変化や生産性向上に関する先行研究は、環境保護のための技術的側面に焦点を当てた分析や、個別の産業を対象とする分析と産業部門全体を包括的に扱う分析などが行なわれてきている。Jorgenson and Wilcoxon(1990)は環境規制による汚染コントロールの費用とアメリカの経済成長との関係を検証し、環境規制が生産性にマイナスの影響を及ぼすと試算している。また Bellas(1998)は、1970年と1977年の Clean Air Act の新環境基準によるアメリカの石炭火力発電の脱硫コストを試算したが、規制枠組みによって技術変化が起こったという有力な証拠は見られなかったと述べている。これらの先行研究から分かるように、一般に環境規制は生産性や経済成長に対してコスト要因になるなどのマイナス影響を及ぼすと考えられている。

その一方で、環境規制が企業の技術開発を刺激し生産性を高めるとするポーター仮説(Porter(1991), Porter and

van der Linde(1995))も提唱されている。彼らは、環境規制に対するイノベーションオフセット(innovation offset)の可能性を主張している。Palmer et al.(1995)らをはじめとして、ポーター仮説は経済学の観点からは否定的な見解が多いものの、Goulder and Schneider(1999)らによって誘発的技術変化(Induced Technological Change)を認める動きも出ている。このように、仮説の可否はきわめて実証的な問題である。

ポーター仮説の検証には、研究開発投資や全要素生産性を主に利用した実証研究が行なわれている。Jaffe and Palmer(1997)や浜本(1997)は、汚染削減費用(Pollution Abatement Costs and Expenditure: PACE)あるいは公害防止投資額を環境規制の強度を示す代理変数とした計量分析によって、環境規制が研究開発支出全体を押し上げる可能性を示唆した。また浜本(1998)は全要素生産性の成長率と環境規制との関係を分析し、日本の製造業は環境規制によって生産性上昇率が低下したが、この規制による影響は研究開発活動を通じた生産性上昇率の増加によって回復したと結論付けている。ただし、これらの先行研究では推計されたパラメータの符号条件などの統計的有意性に依存した議論になってしまい、環境規制がないケースとの比較や「環境規制→研究開発→技術革新による生産性の向上」といった因果関係への理論的な説明が乏しいといえる。また、規制強度の指標として用いられている汚染削減費用が現実の環境・規制コストを反映しているかどうかについても議論が分かれる(Gray and Shadbegian(1998)など)。以上のように、環境規制と技術変化、生産性に関する議論は確定的な見解を示されるほどの研究蓄積がないのが現状である。

3. 分析の枠組み

3.1. 概要

一般に、技術変化の計測には計量経済学的手法が用いられる。このとき、技術変化(あるいは生産性)の指標として新古典派成長論における成長会計から派生した全要素生産性が用いられることが多い。しかしながら、全要

素生産性で測定される技術変化は様々な要因が含まれる広範な概念であり、環境規制との相互関係が曖昧になるという問題が存在する。多くの場合この種の推計は、ミクロ経済学的基础が脆弱であるという難点がある。

そこで、本稿ではまずミクロ経済学理論に基づいた技術変化の効果について議論する。そして、実際に日本の1970年代を対象事例として、環境規制と技術変化、生産性に関する実証的分析を行なう。当時の日本は石油危機や公害問題などを背景に、先進諸国の中でも相対的に厳しい環境規制下にあったにもかかわらず、比較的高い生産性を維持したと言われている。さらに、現在導入が検討されている炭素税のような環境対策の経済的手法の有効性を検討するという観点からも、エネルギー資源をはじめとする物価の高騰を経験した当時の技術変化を把握することは有用と思われる。こうした分析によって、環境規制に伴う各要素の技術変化や生産性との関係を観察することが可能になると考えられる。

通常、経済学において環境規制の強化(緩和)は価格上昇(低下)として扱われることが多い。本稿においても基本的にはこのような観点を踏襲している、ただし、環境規制が直接技術変化に関係している可能性を否定するものではない。

3.2 経済モデルにおける技術変化

本稿で検討する技術変化の分析枠組およびその手法を理論的に整理する。経済モデルにおける技術変化は、一般に投入係数の変化に反映される。その投入係数の変化は1)価格代替効果、2)技術変化の形式、3)関数型の選択(代替弾力性の値)、等によって表現される。

産業連関表による分析

はじめに簡単化のため、表1のような産業連関表の形式を用いて議論する。産業連関分析については、宮沢(2002)等を参照されたい。

表1 産業連関表(物量表)

	1	2	F	X
1	$x_{11}(a_{11})$	$x_{12}(a_{12})$	F_1	X_1
2	$x_{21}(a_{21})$	$x_{22}(a_{22})$	F_2	X_2
K	$x_{K1}(a_{K1})$	$x_{K2}(a_{K2})$		K
L	$x_{L1}(a_{L1})$	$x_{L2}(a_{L2})$		L
X	X_1	X_2		

表1で1、2は産業(財)、Fは最終需要、Kは資本、Lは労働を示している。産業連関分析での投入係数は(1)式

で表される。

$$\frac{x_{ij}}{X_j} = a_{ij} \quad (i=1,2,K,L;j=1,2) \quad (1)$$

(1)式から分かるように、いわゆる産業連関分析では投入係数は固定的である。つまり、相対価格とは独立に生産要素の投入比率が決定されることになる。

コブ・ダグラス、CES型経済

一方、新古典派的な生産関数では生産要素間に代替関係を仮定している。まず、コブ・ダグラス型経済を仮定した場合を考察する。すなわち、産業1、2および最終需要主体が全てコブ・ダグラス型生産関数、効用関数で記述されるとする。すると、各主体の最適化条件から(2)式の需要関数が導かれる。

$$\frac{p_i x_{ij}}{p_j X_j} = a_{ij} \quad (2)$$

産業連関分析においては(1)式のように相対価格と独立に投入係数が決定されるが、(2)式で表されるようにコブ・ダグラス型経済では相対価格の変化が新たな投入係数(要素需要)の値に影響を及ぼす。

本稿では産業連関表や現実の価格データなどを用いて複数時点の投入係数および相対価格の変化から潜在的な技術変化を求める。均衡状態にある二時点データを利用して、投入係数の形式で表される見かけ上の技術変化を、価格代替効果と潜在的な技術変化(正味の技術変化)の効果に分けて計測する。

基準年の均衡状態から、次期の新しい均衡状態においてλで表される技術変化が起こると仮定するとき(3)式が成立する。

$$a_{ij}' = \frac{x_{ij}'}{X_j'} = \lambda_{ij} a_{ij} \frac{p_j}{p_i} \quad (3)$$

(3)式は、新しい均衡状態における投入係数とみなすことができる。複数時点の均衡データが存在する場合、各々の投入係数は計算可能である。さらに、価格データを利用することによってλを求めることができる。

技術係数λは、価格代替効果とともに投入比率の変化を捉えることになる。(4)式から、投入係数の変化は技術係数λの変化と価格代替効果の二つの要因に分けて考えることができる。

$$\frac{\Delta a_{ij}'}{a_{ij}'} = \frac{\Delta \lambda_{ij}}{\lambda_{ij}} + \frac{\Delta(p_j/p_i)}{(p_j/p_i)} \quad (4)$$

(4)式から λ の変化率は投入係数の変化率から価格代替効果を差し引いたものだと分かる。 λ は要素偏向型技術変化を表すパラメータと考えられる。(4')式の左辺が1以上のとき(λ が1より大きいとき)、価格代替効果で説明される以上に投入要素比率が増大しているといえる。 λ が1未満のときは価格代替効果で予想される以上に投入要素比率が減少していることになる。したがって、 $\lambda > 1$ のときは要素促進型技術変化、 $(0 < \lambda < 1)$ のときには要素節約型技術変化と定義する。

本稿の分析概念は図1にまとめられる。基準の均衡状態(π_0)から新しい均衡状態(π_1)へ推移した時に観察される投入係数の変化を、価格代替効果と技術係数 λ で説明している。

次に、関数型を変更した場合を検討する。コブ・ダグラス型関数では要素間の代替弾力性 σ が1である。CES(Constant Elasticity of Substitution)型関数は、このコブ・ダグラス型関数での代替弾力性 σ が1という制約条件を緩めたより柔軟な関数型である。特に $\sigma=0$ のときはレオンチェフ型、 $\sigma=1$ のときはコブ・ダグラス型関数と一致する。CES型関数においてもコブ・ダグラス型関数と同様に各主体の競争条件下における最適化を仮定すると(5)式が成り立つ。

$$\frac{x_{ij}}{X_j} = \left(a_{ij} \frac{p_j}{p_i} \right)^{\sigma_j} \quad (5)$$

コブ・ダグラス型経済のときと同様に、(5)式で示される基準年の均衡状態から次期の均衡時点において λ で表される技術変化が起こると仮定するとき(6)式が成り立つ。

$$a_{ij}' = \frac{x_{ij}'}{X_j'} = \lambda_{ij} \left(a_{ij} \frac{p_j}{p_i} \right)^{\sigma_j} \quad (6)$$

コブ・ダグラス型経済において $\lambda > 1$ であるときでも、CES型経済で代替弾力性 σ の値が変化した場合には、価格代替効果が及ぼす影響の程度も変化するため λ と1との大小関係が変化する。ただしCES型経済では、コブ・ダグラス型経済の(3)式と比べ代替弾力性 σ の自由度が増す代わりに、(6)式から λ を求める場合には別の制約条件を追加する必要がある。

4. 環境規制と技術変化の計測

前節の議論に基づき、実際に日本の1970年代における価格代替効果と技術変化の効果を計測する。このデータ

には1973年と1979年の二度にわたる石油危機の影響が反映されていると考えられる。ここでは、1970年を第1期(基準年)の均衡状態、1980年を第2期(次期)の均衡状態とみなしている。

データの作成方法は以下の通りである(奥島・後藤(2001))。産業連関表は、総務庁編「昭和45-50-55年接続産業連関表」を利用した。当時のエネルギー部門への影響を把握するため、石炭、石油、電力、ガスに分類して扱っている。価格データの作成は、エネルギー財価格については日本銀行「卸売物価指数」を、各産業の財価格については経済企画庁「国民経済計算」のデフレータを用いて算出した。資本価格と労働価格は、伊藤・室田(1984)に基づいて算出している。経済モデルでは、政策等の外的ショックによる相対価格の変化が重要であるため、基準年の均衡価格を全て1と置くことが多い。ここでは、基準年である1970年価格を1として、次期の均衡状態である1980年データの価格を捉えている。

以上のデータを利用して、コブ・ダグラス型経済における技術係数 λ を計測したのが図2である。各列は各産業部門が生産する財を示している。

図2によると、例えば石油・石油製品の行方向の λ は軒並み1を超えていることが観察される。これはどのような解釈が可能だろうか。石油危機によって1970年から1980年まで石油・石油製品の価格は約5.7倍になっており、他の財に比べ2倍前後の値上がり率を記録している。そのため価格代替効果により要素投入は減少すると予想される。しかし、 $\lambda > 1$ であるということは価格代替効果で説明されるほどには要素投入比率が減少していないということの意味する。これは二つの解釈が可能である。一つは、 λ の値で表されるような要素促進型技術変化が起こっている。そしてもう一つには、価格代替がコブ・ダグラス型関数で仮定しているほどには起こらなかったと考えられる。

関数型を変化させて、これらの計測結果を再検討しておこう。CES型経済は、代替弾力性 σ を変化させることが可能である。そこで(6)式を用いて代替弾力性が変化した場合を考える。前述したように、コブ・ダグラス型経済を仮定したとき石油・石油製品の λ は1を超えていた。CES型経済において σ が概ね0.8より小さいと仮定したときには、石油・石油製品に関する λ の値も各部門で1を下回ることが計算された。

以上のように室田(1984)や得津(1994)などの計量経済学的手法を補完するように、本モデルは経済構造の変化の要因についてより厳密な分析が可能になる。例えば、

1)代替弾力性 σ を外生的に与えた場合の λ を求める、2)列方向の λ を全て同一とした時(プロセス革新)の σ を求める、3)行方向の λ を全て同一とした時(プロダクト革新)の σ を求める、といった発展が考えられる。

5. 結語

本稿は、環境政策と技術変化に関する経済学的考察を行なった。そして、実際に日本の1970年代を対象として価格代替効果と要素偏向型技術変化の効果に分けて技術変化を計測した。この計測により、要素促進型技術変化

と要素節約型技術変化といった技術変化のタイプを観察することができた。また、関数型を変化させることによって代替弾力性と技術変化との関係についても考察した。

現在、炭素税などの環境政策を検討しているわが国にとって過去のデータを用いた実証分析を行なうことが必要不可欠であるという問題意識から、本稿は以上のような新しいアプローチを石油危機期に適用した。将来的に適切な環境政策を構築するために理論的側面と実証的側面の双方から、今後もこうした研究を継続して環境政策と技術変化に関する複雑な相互作用を考察していくことが求められる。

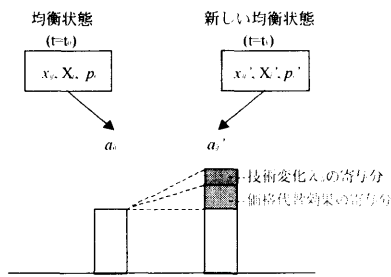


図1 分析の概念図

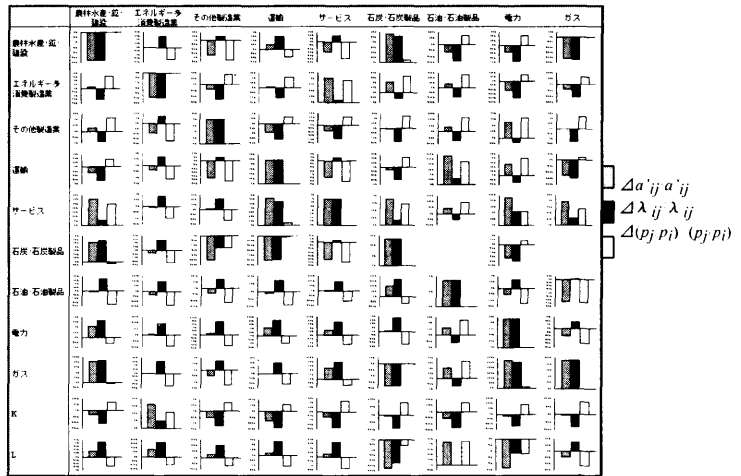


図2 1970-1980年における技術係数(コブ・ダグラス型経済)

参考文献

- [1] Bellas,A.S., "Empirical Evidence of Advances in Scrubber Technology," *Resource and Energy Economics*, Vol.66, pp.327-343, 1998.
- [2] 宮沢健一『産業連関分析入門 第7版』日本経済新聞社, 2002年.
- [3] Goulder,L.H. and Schneider S.H., "Induced Technological Change and the Attractiveness of CO₂ Abatement Policies," *Resource and Energy Economics*, Vol.21, No.3-4, pp.211-253, 1999.
- [4] Gray,W.B. and R.J. Shadbegian, "Environmental Regulation, Investment Timing, and Technology Choice," *Journal of Industrial Economics*, Vol.46, pp.235-256, 1998.
- [5] 浜本光紹「ポーター仮説をめぐる論争に関する考察と実証分析」『経済論叢』第160巻第5・6号, pp.506-524, 1997年.
- [6] 浜本光紹「環境規制と産業の生産性」『経済論叢』第162巻第3号, pp.235-246, 1998年.
- [7] 伊藤浩吉・室田泰弘「トランス・ログ型費用関数を含んだマクロ・モデルの設計」『日本経済研究』No.13, pp.31-41, 1984年.
- [8] Jaffe,A.B. and Palmer,K. "Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study," *The Review of Economics and Statistics*, Vol.79, pp.610-619, 1997.
- [9] Jaffe,A.B., Newell, R.G. and Stavins, R.N., "Technological Change and the Environment," *Environmental Resource and Economics*, Vol.22, pp.41-69, 2002.
- [10] Jorgenson,D.W. and P.J.Wilcoxon, "Environmental Regulation and U.S. Economic Growth," *Rand Journal of Economics*, Vol.21, pp.314-340, 1990.
- [11] 室田泰弘『エネルギーの経済学』日本経済新聞社, 1984年.
- [12] 奥島真一郎・後藤則行「日本経済の生産・代替構造分析—温暖化対策導入による経済的影響を評価するために—」『日本経済研究』No.42, pp.228-242, 2001年.
- [13] Palmer,K., Oates,W.E. and Portney, P.R., "Tightening Environmental Standards: The Benefit-Cost or the No-Cost Paradigm," *Journal of Economic Perspectives*, Vol.9, No.4, pp.119-32, 1995.
- [14] Porter,M.E., "America's Green Strategy," *Scientific American*, p.168, Apr.1991.
- [15] Porter,M.E. and van der Linde, C., "Toward a New conception of the Environment Competitiveness Relationship," *Journal of Economic Perspectives*, Vol.9, pp. 97-118, 1995.
- [16] 得津一郎『生産構造の計量分析』創文社, 1994年.