

ITの経済分析

中西 泰夫

1. IT資本と雇用

1.1 はじめに

近年、IT¹⁾は、急激に増加している。しかもIT資本は、経済環境に強い影響を与えている、特にビジネスにおいて強い影響をあたえている。新しい資本と雇用との関係は、重要な話題である。問題は、IT資本は、雇用機会を増加させるのか、または減少させるのかということである。

いくつかの研究は、雇用とIT資本について分析している (Berndt and Morrison (1995), Reenen (1997) and Morrison (1997)). Reenen (1997) は、IT資本と技術進歩の代理変数としてのイノベーションとの研究をサーヴェイしている²⁾。

Morrison (1997) の研究以外のすべての先行研究は、単一方程式のモデルである。したがって生産関数の関数形は、これらの研究ほとんどで、Cobb-Douglas である。したがって投入要素間の代替の弾力性の値は先験的に決められている。

Morrison (1997) は、そうした批判に答え、Generalized Leontief cost function を採用し費用最小化行動のもとでのモデルを構築した。したがって Morrison (1997) のモデルにはミクロ的基礎付けがある。Morrison の研究では、この関係について、分析され論じられてはいるものの中心の分析目的は、雇用とIT資本の関係についてではない。雇用とIT資本の関係は、労働投入とIT資本の投入の間の弾力性に依存している。その関係は、20産業中14産業で負の関係であった。

したがってその関係が正であるか負であるかあまり明白ではない。

この研究では、われわれは、トランスログ費用関数を採用している。トランスログ関数は、先験的な制約がない。したがって代替の弾力性は、先験的に制約されない。その上価格弾力性などのいくつかの指標が、サンプルから得られる。特に代替の弾力性と自己価格弾力性が計測される。IT資本のインパクトが分析される。さらに労働需要が分解され他の投入要素の価格の影響と自己価格の影響が計算される。したがってIT資本のインパクトが他の投入要素と比較される。

1.2 モデル

この分析では、われわれは双対アプローチにより費用関数を採用する。

以下の費用関数が定義できる。

$$\begin{aligned} \ln C = & \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln w_i \\ & + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln w_i \ln w_j \\ & + \sum_i \beta_i \ln w_i t + \alpha_i t + \beta_{tt} t^2 \quad (1.1) \end{aligned}$$

ここで、 C は、単位あたり費用、 w_i は投入要素の価格で、 k は、資本、 n 労働、IT資本である。

このトランスログ費用関数は近年の費用関数による分析の中で一般化されている。このモデルに

は、先験的な制約がない。特に代替の弾力性は制限されていない。この費用関数は、最大化行動から導かれている。したがって、このコスト関数は、投入要素価格に関して一次同次の制約が付いている。そこで以下の条件が必要である。

$$\sum_i \alpha_i = 1, \sum_i \beta_{ij} = 0, \sum_j \beta_{ij} = 0$$

$$\sum_i \alpha_i = 0, \beta_{ij} = \beta_{ji}$$

われわれは、以下のシェア関数が Sheferd's lemma から得られる。

$$S_i = \frac{P_i X_i}{C} = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} \quad (1.2)$$

ここで S_i は、第 i 投入要素のコストシェアである。この分析では 3 種類の投入要素が存在している、そこで 3 本のシェア関数が得られるが、1 本は独立ではないため実際には 2 本のシェア関数である。おのおののシェア関数は各々の投入要素価格とタイムトレンドで決定されている。したがってわれわれは、次の投入要素需要関数が得られる。

$$X_i = X_i(P_K, P_N, P_{IT}, t). \quad (1.3)$$

われわれは、以下の投入要素の分解をおこなう (Kuroda (1987))。

$$G(X_i) = \sum_j \eta_{ij} G(P_j) + \frac{\partial X_i}{\partial t} \quad (1.4)$$

ここで $G(A)$ は、 A の成長率、 η_{ij} は価格弾力性である。したがって労働需要は、価格とタイムトレンドで決定されている³⁾。この価格効果は、1.4 式の第 1 項に対応している、さらにタイム効果は、1.4 式の第 2 項である。われわれは、雇用

の値に興味があるため、時間効果は単純化のために無視する。おのおのの労働に対する価格のインパクトへのおのおののシェアは、以下のようになる。

$$SP_m = \frac{\eta_{Nm} G(P_m)}{\sum_j \eta_{Nj} G(P_j)} \times 100 \quad (1.5)$$

ここで SP_m は、第 m 要素の価格の労働に対するインパクトのシェアである。費用関数と、2 本のシェア関数が、GMM で推定される。われわれのモデルは、同時方程式であるため、システム推定法が適用される。

データは、篠崎 (1988) から得られている。IT に関しては、コンピューターおよび付属品、通信機器、その他である。この集計化は、Berndt and Morrison (1995) と同様である⁴⁾。

1.3 分析結果

パラメータの推定結果が表 1.1 におさめられている。15 のパラメータのうち 14 が有意であった。したがってトランスログ費用関数 IT 資本を含めて適用することができる。

この節では、われわれはアレンの偏弾力性の値を論じる。アレンの偏弾力性の値では、資本と労働に関するものが最大であった。1985 年以前は、資本と労働と IT 資本と労働に値はほとんど同じであった。1985 年に以降は、IT 資本と労働の値は資本と労働の場合より明確に大きかった。

IT 資本と資本ストックと IT 資本と労働の間の値は、すべての期間の後半に上昇している。特に IT 資本と労働については、計測期間の後半に劇的に上昇している。資本ストックと労働の間の値はほとんど一定である。したがって労働と資本の労働に対する代替は、確実に上昇している。したがって、IT 資本のインパクトは近年重要である。特に、日本の賃金水準は他の国と比較して高い。したがって労働は他の投入要素以上に、高価である。代替の値の上昇はこうした状況を反映してい

表 1.1 推定結果

パラメータ	推定値	t-値	パラメータ	推定値	t-値
α_0	2.97111	54.489	α_h	0.02343	3.189
α_n	0.94765	39.957	α_k	0.02893	1.137
β_{hn}	-0.00904	-7.345	β_{hk}	0.03387	3.972
β_{kn}	-0.15337	-22.298	β_{hh}	-0.02483	-2.961
β_{nn}	0.16240	25.159	β_{kk}	0.11949	10.276
β_{ht}	-0.00055	-1.540	β_{nt}	0.00329	19.509
β_{kt}	-0.00274	-6.500	β_t	0.02679	4.052
β_{tt}	-0.00186	-3.318			
J-Statistics	22.1777				
Degrees of freedom	20				
P-value	0.3309				

表 1.2 代替の弾力性

年	σ_{hk}	σ_{nk}	σ_{hn}
1977	2.576	0.323	0.451
1978	2.856	0.338	0.463
1979	2.465	0.313	0.451
1980	2.231	0.264	0.395
1981	2.348	0.294	0.429
1982	2.438	0.309	0.442
1983	2.542	0.321	0.454
1984	2.590	0.326	0.468
1985	2.617	0.329	0.478
1986	2.925	0.335	0.531
1987	3.106	0.327	0.562
1988	3.143	0.324	0.567
1989	2.847	0.333	0.552
1990	2.455	0.323	0.553
1991	2.581	0.328	0.575
1992	2.927	0.322	0.599
1993	3.399	0.295	0.609
1994	3.701	0.270	0.616

表 1.3 自己価格弾力性

年	η_h	η_k	η_n
1977	-1.589	-0.236	-0.194
1978	-1.646	-0.260	-0.186
1979	-1.560	-0.227	-0.194
1980	-1.515	-0.188	-0.181
1981	-1.537	-0.209	-0.191
1982	-1.558	-0.222	-0.194
1983	-1.579	-0.234	-0.194
1984	-1.583	-0.242	-0.193
1985	-1.583	-0.247	-0.192
1986	-1.610	-0.281	-0.174
1987	-1.613	-0.295	-0.159
1988	-1.613	-0.297	-0.156
1989	-1.579	-0.282	-0.174
1990	-1.499	-0.255	-0.190
1991	-1.511	-0.271	-0.183
1992	-1.552	-0.295	-0.160
1993	-1.602	-0.308	-0.131
1994	-1.626	-0.308	-0.114

表 1.4 労働の変化に対しての要因分解

年	SP_h	SP_k	SP_n
1978	5.371	56.336	38.293
1979	7.440	87.727	4.832
1980	7.629	71.294	21.077
1981	8.057	65.149	26.794
1982	8.224	73.437	18.338
1983	5.739	48.102	46.159
1984	8.511	33.293	58.195
1985	8.098	-10.187	102.089
1986	9.456	53.868	36.675
1987	13.555	56.023	30.423
1988	14.063	-9.134	95.071
1989	14.115	94.982	-9.097
1990	10.711	96.386	-7.097
1991	12.017	51.894	36.089
1992	13.854	67.567	18.579
1993	15.071	64.622	20.308
1994	17.507	55.450	27.043

る。

自己価格弾力性の推定結果が表 1.3 にある。IT 資本の自己価格弾力性すべての投入要素の中で最も大きかった。本質的に IT 資本の購入は時間と労働の費用を下げる。したがって価格は最も重要

な要素である。労働の値は最も小さかった。労働は、終身雇用のもとで内部労働市場の発達した日本では、労働は感応的ではない。すべての計測期間で値の変化は、資本と労働の時に弱かった。資本ストックの場合の値は比率的増加している。

労働需要の分解が表 1.4 にある。労働需要に対して資本ストックの値が最も大きかった。労働需要に対して IT 資本の値が最も小さかった。資本ストックと他の要素の違いが大きかった、しかしながら労働と IT 資本間の値が最も大きかった。資本と労働は近年減少している。IT 資本の値、値は大きくなってきている。そこで IT 資本のインパクトの重要性は上昇している。

2. IT 資本のマクロ経済へのインパクト

2.1 はじめに

ここでは、前章のモデルと同様に、新たなストックをモデルに組み込みたい。この章で組み込むストックは IT に関するストックである。IT は近年最も脚光を浴びているものの一つである。しかしながら資本ストックの一種としては、統計上の扱いがまだ不十分なため十分な分析がなされていない。ましてトランスログモデルとしては、まだ扱われていないものである。

本論文では、日本において IT (Information technology) 資本がマクロ経済にはたした役割を実証的に検証することが目的である。IT 資本のシャドウプライスを計測し、生産性と経済成長への IT 資本の貢献を実証的に計測する。そして一般資本と労働へ与えた影響にも言及していく。

IT 資本への投資は、大変活発である (USDC (1997))。特に米国では近年の好景気がニューエコノミーと呼ばれ、その源泉がコンピューターに代表される IT 資本によっているとしばしばいわれている。つまり IT 資本の出現によっていろいろなコストを企業は軽減することができるようになったり、新たな需要を創造する事が可能となり、結果として、経済全体、つまりマクロ経済の生産性を上昇させ、価格を安定させることを通じて生産量を上昇させることになったからといわれている (USDC (1997))。

IT 資本の価格の低下がマクロの価格水準へ貢献していることはほぼ信じられている (USDC (1997))。しかしながら IT 資本の価格の研究は

非常に少ない。Jorgenson and Stiroh (1995) によれば 70 年代から極端に下がっている。一方 IT 資本の生産性と経済成長への寄与は厳密な定量的な証拠はまだ存在していないとされている (USDC (1997))。IT 資本の先進的な国である米国でさえも、IT 資本の生産性と経済成長への寄与はまだ定量的には確定していない。Siegel and Griliches (1992) 以外のやや以前の研究 (Berndt and Morrison (1992)) and Oliner and Siegel (1994) では、IT 資本が生産性および生産量の増加に貢献している証拠は得られていなかった。本来大変利用価値が高いと想像できる IT 資本と生産性および生産量の間に関係がないことはむしろ意外なことであり生産性のパラドックスといわれていた。

彼らの分析は、主にコブ・ダグラス関数のモデルで成長会計をおこなっているものである。したがってまずモデルの関数形に関する問題点が指摘できる。計測値が全期間について一つしか得られない。したがって IT 資本の影響は近年に強いはずであるがそうした点は考慮されていない。次にデータに関してアグリゲートされたものについては、IT 資本のデータだけでなく生産量や資本についても IT 資本の影響を正しく反映できていない可能性がある。さらに IT 資本は近年より伸びている資本であるが、まだ出現して時間がたっていないためデータが十分に存在していない。

近年の Siegel (1997) の分析では、IT 資本は経済成長または生産性に貢献しているという結果を得ており、Siegel and Griliches (1992) の生産性と IT 資本には正の関係があるという結果を補強している。彼らの分析は IT 資本の質について着目したものである。質を新たに調整し直したデータを用いたことが原因である。また Morrison (1997) では、duality アプローチにより一般化 Leontief 費用関数を用いて IT 資本の Q の値を計測している。そこでは IT 資本の投資が適切におこなわれ、一般資本よりも高い収益を生んでいたことが示されている。このように最近の

研究ではむしろIT資本と生産性及び成長との関係を肯定する結果が米国では現れている。

日本においては米国よりもIT資本の普及が遅れていたために(篠崎(1998)),IT資本の分析そのものがまだそれほどおこなわれていない。篠崎(1998)が先駆的な研究であり、新庄・張(1997)、Nakanishi(2000)がある。ここでは、経済成長及び生産性に対してIT資本が貢献していることを示している。

篠崎では日本におけるIT資本のデータについて詳細な解説がなされ、IT資本のデータが作成されて、さらにIT資本の生産性への貢献を定量的に計測している。さらに情報資本の収益率についても計測している。篠崎はコブダグラス関数を用いていた。そのため関数に関する問題が生じる。篠崎ではデータは、総務庁の産業連関表を用いて作られており、総務庁の産業連関表は5年ごとにしか刊行されないため、途中の期間に関しては他の情報を利用して補間されている。通産省の産業連関表の延長表を使用すると毎年刊行されるためより正確なデータを作成できる可能性がある。

新庄・張(1997)では、データは通産省の産業連関表の延長表を使用している。分析としては日米比較をおこなっている。生産性および経済成長についてはコブダグラス関数のモデルを用いており、以前の米国の研究および篠崎の研究と同様の方法である。ここでは生産性に貢献していることを証明している。さらにMorrison(1997)と同様に、dualityアプローチにより一般化Leontief費用関数を用いてIT投資のQについて計測している。やはりMorrison(1997)の値と近い値である。しかしながらQの値は全産業レベルではかなり低く、一般資本の方が大きい場合も多い。

このようにIT資本が経済成長及び生産性の上昇に対して貢献しているかどうかは、近年の研究においては肯定されているが、モデルとしては、コブ・ダグラス関数のモデルが中心であるためさ

らなる、一般化が必要となろう。そこで本論文ではモデルをTranslog Modelに一般化して、IT資本が生産性及び経済成長に対して貢献しているかどうかを確認する⁵⁾。

ところでIT資本が経済成長及び生産性の上表に貢献しているかどうかは、一つにはIT資本への投資が適切におこなわれていたかどうかが問題になる。こうした点に対してMorrison(1997)はIT資本を固定要素としたモデルを構築してTobinのQの値を計測している。ここでは情報投資への投資がほぼ適切におこなわれていたことを主張している。しかしながらその値自体は小さいさらに一般資本の値と比較してもそれほど差がないという結果になっている。新庄・張(1997)も同様のモデルを構築してわが国のデータに適用している。ここではやはり情報投資が適切におこなわれていたことが示されている。しかしながら特に全産業の分析においては一般の資本の投資基準と比べてあまりさがない結果になっている。

IT資本の投資については、その収益率から考えることもできる。Lichtenberg(1993)ではIT資本の収益率が一般資本と比較して極めて高いことが述べられている。Brynjolfsson and Hitt(1994)でも同様の結果が得られている。また日本に関しても篠崎では同様に大きな差があることが述べられている。

そこで本分析では投資の適切さを定量的に示す。われわれの使用するモデルは、Translog ModelでありMorrison(1994)新庄・張(1997)らは一般化Leontief modelを使用していた。われわれはIT資本のみが準固定要素としている。したがってMorrison(1994)新庄・張(1997)らよりは制限的である。しかしながらわれわれの分析は投資基準の計測だけでなく経済成長と生産性に関する分析とを同時におこなう。つまり整合的なmodelの中でIT資本の効果について包括的に分析ができることになる。

以下本稿は2章においてモデルの構造、3章において実証方法について、4章ではデータについ

て、5 章では分析結果が述べられ最後に結論が提示される。

2.2 モデルの構造

本論文では、われわれはいわゆる *duality* による費用関数によるアプローチを用いる。まず代表的企業の生産関数は以下のように書ける。

$$y = f(x_k, x_n, x_h, t) \quad (2.1)$$

ここで y は産出量、 x_i は、第 i 投入要素であり、 i は資本 k 、労働 n 、IT 資本 h であり、 t はタイムトレンドである。

以上の生産関数は、IT 資本が生産要素として含まれている点が、一般的な生産関数と異なっている。IT 資本を含んだ生産関数はまだほとんど用いられていない。Morrison (1997) は、IT 資本を用いて *duality* を利用して分析をおこなった唯一の例である。代表的企業の費用は次のように定義できる。

$$C = w_k x_k + w_n x_n \quad (2.2)$$

ここで w_i は第 i 投入要素の価格である。費用は、資本費用、労働費用の合計となっている。この費用は可変費用である。IT 資本は準固定要素とされている。各々の生産要素は、以下のようにして選択される。

$$\begin{aligned} & \text{Min}_{x_k, x_n} w_k x_k + w_n x_n \\ & \text{s.t. } y = f(x_k, x_n, x_h, t) \end{aligned} \quad (2.3)$$

われわれは、次の可変費用関数を得る。

$$C = C(w_k, w_n, x_h, y, t) \quad (2.4)$$

C は費用である。費用はそれぞれの価格、生産量、IT 資本の関数である。総費用 TC と可変費用の関係は以下のように書ける。

$$TC = VC(w_k, w_n, x_h, y, t) + w_h x_h \quad (2.5)$$

シャドウプライス $SPIT$ は、以下のように書ける。

$$SPIT = -\frac{\partial VC(w_k, w_n, x_h, y, t)}{\partial x_h} \quad (2.6)$$

総要素生産性の成長は次のように定義できる (Denny, Fuss and Waverman (1981))。

$$T\dot{F}P = -\frac{\partial \ln VC}{\partial t} - \left(\frac{\partial \ln VC}{\partial \ln y} - 1\right)\dot{y} \quad (2.7)$$

TFP 成長はまた次のようにも定義できる。

$$T\dot{F}P = \dot{y} - S_{x_n} \dot{x}_n - S_{x_k} \dot{x}_k + VC_{x_h} \dot{x}_h \quad (2.8)$$

ここで S_{x_i} は可変費用関数の投入要素のシェアである。

そこで生産量の成長は上式を操作した後以下のように得られる。

$$\dot{y} = S_{x_n} \dot{x}_n + S_{x_k} \dot{x}_k - VC_{x_h} \dot{x}_h + T\dot{F}P \quad (2.9)$$

労働生産性の成長率 LP は定義される。

$$\begin{aligned} LP = \frac{\partial \ln \frac{VC}{x_n}}{\partial t} &= (S_{x_n} - 1)\dot{x}_n \\ &+ S_{x_k} \dot{x}_k - VC_{x_h} \dot{x}_h + T\dot{F}P \end{aligned} \quad (2.10)$$

2.3 実証分析の方法

われわれは費用関数を理論的に導出することができた。しかしながらその費用関数は直接推定することはできない。そこで費用関数の関数形を決める必要がある。われわれはトランスログ関数を以下のように費用関数に適用する。

$$\begin{aligned}
\ln C &= \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln w_i \\
&+ \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln w_i \ln w_j \\
&+ \sum_i \beta_{iy} \ln w_i \ln y + \alpha_y \ln y + \frac{1}{2} \beta_{yy} (\ln y)^2 \\
&+ \sum_i \beta_{ix_h} \ln w_i \ln x_h + \beta_{x_h} \ln x_h \\
&+ \frac{1}{2} \beta_{x_h x_h} (\ln x_h)^2 \\
&+ \sum_i \beta_{it} \ln w_i \ln t + \beta_{yt} \ln y \ln t \\
&+ \beta_{x_h t} \ln x_h \ln t + \alpha_t \ln t
\end{aligned}$$

上述のトランスログ費用関数は費用関数の中で近年最も一般化されている。先験的な制約が存在しない、特に代替の弾力性は制約を受けない。さらにそれぞれの統計量が観測値ごとに得られるため相互に比較できる。この費用関数は最大化行動のもとで得られている。われわれの費用関数は価格に関して一時同次である。したがって以下の条件が必要である。

$$\begin{aligned}
\sum_i \alpha_i &= 1, \sum_i \beta_{ij} = 0, \sum_j \beta_{ij} = 0, \\
\sum_i \beta_{ix_h} &= 0, \sum_i \beta_{iy} = 0, \\
\sum_i \beta_{it} &= 0, \beta_{ij} = \beta_{ji}
\end{aligned} \quad (2.11)$$

われわれは Shepherd's lemma によりおのおの投入要素ごとに以下のシェア関数を得る。

$$S_i = \frac{w_i X_i}{C} = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln w_i} \quad (2.12)$$

この論文では、4つの投入要素が採用されている。そこで3つのコストシェア関数がおのおのの価格とタイムトレンドによって決定される。

2.4 データ

費用関数((11)式)と任意の二本のシェア関数さらに逆需要関数を3SLS⁶⁾によって推定する。われわれのモデルは連立方程式であるため、体型推定が適用される。

データは以下に説明される。生産量は、実質GDPであり、労働投入量は、雇用者数であり、賃金は雇用者所得であり、いずれも国民経済計算年俵(経済企画庁)から収集されている。実質資本ストックは、民間企業資本ストック(経済企画庁)から収集された。また卸売り物価指数は、経済統計年報(日銀)から収集された。

資本コストは、経済統計年報(日銀)から収集された投資財価格デフレータに同書から収集された平均約定金利と国民経済計算年俵(経済企画庁)から収集された資本減耗率を足したものをかけることにより得られている。

最後にIT資本のデータについて述べたい。まずわが国のデータとしては、IT資本という品目のデータは存在しない。そこでなんらかの項目から作り上げることになる。そこでわれわれは米国における先行研究を参考にした。われわれは、通産省が作成している、産業連関表の延長表を利用する。この産業連関表を利用すれば項目ごとの集計が可能になる。そこで複写機、ワードプロセッサ、その他の事務用機器、電子計算機本体、電子計算機付属品、有線・無線電気通信機器、その他の電気通信機器、電子応用装置、電気施設からなっている。この品目の合計値から名目のIT資本投資額を定義する。これをストック化するために、篠塚の使用した米国の減耗率を利用する⁷⁾。さらに実質値に変換するためにはなんらかのデフレータが必要になるが、これは同じ産業連関表の民間最終需要デフレータを利用する。

2.5 結果

パラメータの推定結果が表2.1に収められている。18のパラメータのうち12個が有意であった。

表 2.1 推定結果

パラメータ	推定値	t- 値	パラメータ	推定値	t- 値
α_0	-71.822	-0.265	α_n	4.617	6.752
α_k	-3.617	-5.290	β_{kn}	-0.160	-24.424
β_{kk}	0.160	24.424	β_{nn}	0.160	24.424
β_{ny}	-0.339	-4.121	β_{ky}	0.339	4.121
β_{hy}	0.688	0.358	α_y	23.712	0.369
β_{yy}	-2.776	-0.363	β_{nh}	0.038	1.788
β_{kh}	-0.038	-1.788	α_h	-6.715	-0.419
β_{hh}	-0.120	-0.244	β_{ht}	0.000	-1.673
α_t	0.013	7.363	Dummy	-0.016	-3.485

完全な結果ではないが、推定結果は特に問題はない。IT 資本に関連するパラメータについてはそのすべてが有意ではなかったものの、特に問題はない。

IT 資本のシャドウプライスの計測結果が表 2.2 にある。この IT 資本のシャドウプライスは、IT 資本の限界生産性である。IT 資本のシャドウプライスは初期時点から 1991 年まで減少して、1991 年の値が最小である。IT 資本のシャドウプライスは 1993, 1994 年にわずかに上昇している。1989 年以降の変動はそれ以前に比べてより小さい。

第一に、IT 資本のシャドウプライスは、この分析の計測期間の前半と近年では大きな違いがある。実際に IT 資本の現実の価格はかなり高かった。個人的な使用は困難であった。パソコンは 1980 年前半に生まれており、まだ企業ではメインフレームコンピューターが中心であった。対照的に今日では 1990 年以降の windows の出現とともに、パソコンは企業だけでなく家庭でも使われている。また携帯電話も多くの人々によって使用されている。そのような変革の理由の一つとして、IT 資本の価格の低下があげられる。われわれの IT 資本のシャドウプライスの計測結果はそうした状況を映し出している。

第二に、近年の IT 資本のシャドウプライスは、以前よりも安定している。IT 資本の価格の低下

表 2.2 シャドウプライス

	推定値		推定値
1978	39.931	1987	5.605
1979	30.714	1988	3.584
1980	24.779	1989	2.411
1981	20.196	1990	1.874
1982	17.518	1991	0.936
1983	15.243	1992	0.794
1984	12.198	1993	1.243
1985	8.988	1994	1.227
1986	7.739		

はほぼ継続している。しかしながら価格の引き下げ競争も限界に近づいている。価格の低下は、価格は確かに下がっているが、下がり方は遅くなっているという段階である。

IT 資本がきわめて貢献しているという現在の米国のいわゆるニューエコノミーと呼ばれる好況のもとでも強いインフレは起こっていない。日本においても現在インフレは深刻な経済問題ではない。その理由の一つは IT 資本の進展による。IT 資本の増加はめざましいが、その価格は質の増加を考慮しても減少している。しかしながら政府の公式な価格指数の統計では比較的安定している。そこで公式の価格指数の統計は、IT 資本の価格はかなり下がっているというわれわれの実感を反映していない可能性がある。一つの IT 資本の価

格の制作方法として、IT資本の質を考慮するヘドニック方の必要がある。またもう一つの方法としてわれわれのこの論文の方法のようにIT資本のシャドウプライスを計測する方法もある。われわれの結果はIT資本の価格の大幅な低下を示している。したがってそうした大幅なIT資本の価格は近年の安定したインフレをもたらしている可能性がある。

長期の均衡においては、IT資本の限界生産力と現実のIT資本の価格は等しい。短期では一般に等しいとはいえない。そこで現実のIT資本の価格に対するシャドウ価格の比率はIT資本の投資の効率性を意味する。この比率は、IT資本の場合のモデルという違いはあるが、一般にはトービンのQの値である。一般資本のトービンのQの値の計測は多くの選考研究がある。その値は通常0.5から2の値である。米国においてはMorriosn(1997)がIT資本のトービンのQの値を計測しており、値は産業間でかなり狭い範囲に分布している。日本ではshinjyo and ChoがMorriosnの方法を採用しているが、結果もMorriosnに近い傾向である。

われわれの結果は彼らの結果とはかなり異なっている。われわれの結果は計測の前半はMorriosn(1997)、Shinjo and Cho(1998)と比べてかなり大きい。この違いはモデルの違いによっていると考えられる。彼らのモデルでは限界生産力は、調整コストを含んでいるが、われわれのモデルでは含んでいない。

一方、IT資本の収益率の計測は、またトービンのQに近い。IT資本の収益率は米国(Brynjofson and Hitt(1993)、Lichtengerg(1993))と日本(Shinosaki(1999))のすべての分析で一般資本よりも10から20倍大きい。したがってIT資本はきわめて高く評価されている。われわれの結果もそうした研究に近い。

われわれは生産とシャドウプライスの値の関係も簡単に調べた。日本では1986から1990年までいわゆるバブル経済と呼ばれる好景気だった。

シャドウプライスの値はそれほど高くなかった。シャドウプライスの値は1985年より以前が高かった。この期間には不況も含んでいる。したがってシャドウプライスの値は景気循環の影響を受けているのではなく、利用価値や質によっている。

われわれはTFPの値も調べた。TFPの成長率はいろいろな定義の仕方がある。一般に投入要素の増加は生産の増加を招く。TFPは生産量の増加から投入要素の増加を除いた残差の部分である。一方でTFPは技術進歩と規模の経済の合計とも解釈できる。

結果は表2.3にある。正の符号はTFP成長率への正の効果を表し、その逆の場合は逆である。生産量の増加は正に貢献している。残りの要素はTFP成長に対して負に貢献している。IT資本はTFP成長に対して負に貢献している。さらに負の貢献は1988年以前すべての投入要素の中でもっとも強い。IT資本はすべての投入要素の中

表 2.3 要因分解(TFP)

年	y	x_n	x_k	x_h
1978	4.623	-0.673	-1.817	-4.896
1979	7.263	-0.758	-2.817	-4.148
1980	4.570	-0.373	-1.803	-3.648
1981	3.200	-0.483	-0.446	-3.102
1982	2.456	-0.597	-0.774	-1.882
1983	2.883	-1.202	-1.710	-1.802
1984	4.458	-0.244	-2.695	-1.451
1985	5.251	-0.548	-1.404	-1.223
1986	2.244	-0.328	-0.238	-2.531
1987	5.232	-0.318	-0.959	-2.186
1988	6.624	-0.971	-2.108	-1.648
1989	6.141	-1.246	-1.707	-0.998
1990	5.794	-1.253	-2.111	-0.792
1991	4.289	-1.523	-1.262	-0.388
1992	1.082	-0.757	0.362	-0.197
1993	-0.724	-0.273	-0.115	-0.300
1994	0.845	0.009	-0.829	-0.297

でかなり投資されてシェアも大きくなっている。1988 から 1991 の期間はいわゆるバブルの時期である。一般資本と労働投入は IT 資本よりもより投資された。

TFP の成長は、技術進歩と規模の経済の合計とも解釈できる。IT 資本は TFP 成長に対してほとんど負に貢献しているが、徐々に小さくなってきている。その理由は IT 資本の技術進歩への貢献が徐々に大きくなっているからである。

IT 資本の増加はこの分析では、規模の経済の減少をもたらす。IT 資本の規模の経済への影響は現在確定していない。IT 資本の増加はたとえば銀行の合併が金融の IT システムによる規模の利益を利用するように、規模の経済を増加する。また IT 資本の増加はいわゆる soho の増加を促す。これは規模の経済が減少する証拠である。われわれの結果は、後者を支持している。IT 資本の増加は規模の不経済をもたらす。

生産性と IT 資本のパラドックスがしばしば論じられる。われわれの結果は生産性と IT 資本のパラドックスを支持している。しかしながら生産性と IT 資本のパラドックスは、生産性の定義に依存している。近年の生産性の分析では、総要素生産性がしばしば用いられている。われわれは既に TFP の定義を述べた。たとえば IT 資本のように投入要素の増加は、単純には TFP の増加を生まない。そこでわれわれは次に労働生産性を用いる。

われわれは労働生産性の増加を分解する。表 2.4 はおのおのの投入要素の労働生産性の増加への貢献を示している。労働生産性の増加はおのおのの投入要素、技術進歩、TFP の貢献に分解できる。IT 資本の貢献は 1987 年以前すべての投入要素の中で最も大きい。一般資本と TFP の貢献は 1988 から 1991 までの間すべての要素の中で最も大きかった。近年はそれぞれの要素の順位がはっきりしない。労働の貢献は常に負であった。したがって労働投入の増加は労働生産性を悪化させる。

表 2.4 要因分解 (労働生産性)

年	x_n	x_k	x_h	\dot{TFP}
1978	-0.144	1.817	4.896	0.312
1979	-0.223	2.817	4.148	0.888
1980	-0.139	1.803	3.648	-0.382
1981	-0.162	0.446	3.102	-0.630
1982	-0.193	0.774	1.882	-0.768
1983	-0.368	1.710	1.802	-0.585
1984	-0.075	2.695	1.451	0.128
1985	-0.167	1.404	1.223	1.505
1986	-0.073	0.238	2.531	0.274
1987	-0.066	0.959	2.186	1.681
1988	-0.219	2.108	1.648	2.482
1989	-0.348	1.707	0.998	2.227
1990	-0.474	2.111	0.792	1.743
1991	-0.545	1.262	0.388	1.355
1992	-0.243	-0.362	0.197	-0.114
1993	-0.079	0.115	0.300	-0.944
1994	0.002	0.829	0.297	-0.262

1988 から 1991 の期間はいわゆるバブル経済の時期である。バブル経済の特徴の一つは、過剰な土地と設備への投資である。したがってこの期の経済成長は、一般資本によっている。さらに生産量はきわめて上昇した。したがって規模の経済の存在がバブル期にはみられる。TFP 成長率の貢献は規模の経済性の結果である。IT 資本の貢献はそれらの要素の貢献より強くない。しかしながら IT 資本の貢献の水準は、バブルの期でもやはり高い。

われわれは IT 資本と生産性のパラドックスについて再び論じる。IT 資本の TFP 成長への貢献は発見できなかった。しかしながら IT 資本の労働生産への貢献は発見できた。IT 資本の TFP への貢献は IT 資本が主に規模の経済性へ貢献しているかどうかで決まる。IT 資本が労働生産性に貢献しているかどうかは、IT 資本が直接生産量の増加へ貢献しているかまた労働の代替とのインパクトによる。IT 資本への投資の増加は続いており、シェアは上昇している。さらに IT 資本は

表 2.5 代替の弾力性

年	x_n	x_h	年	x_n	x_h
1978	-0.178	-0.879	1987	-0.086	-0.407
1979	-0.176	-0.623	1988	-0.067	-0.287
1980	-0.193	-0.513	1989	-0.052	-0.185
1981	-0.179	-0.550	1990	-0.046	-0.119
1982	-0.171	-0.551	1991	-0.025	-0.071
1983	-0.156	-0.526	1992	-0.022	-0.074
1984	-0.133	-0.435	1993	-0.037	-0.131
1985	-0.107	-0.347	1994	-0.037	-0.139
1986	-0.101	-0.444			

労働との代替を進めている。そこでIT資本の貢献はTFPでなく労働生産性へ向かう。

われわれは生産量の増加への投入要素の貢献も論じたい。生産量の増加への貢献を計測する方法は労働に関する取り扱いが異なる以外は、労働生産性への貢献を計測する方法と同じである。労働の生産量の増加への貢献は正であるが、バブルの一時期を除いて投入要素の中で最も弱い。残りの要素の貢献は労働生産性の増加への貢献と同じである。IT資本は生産量の増加に対して貢献しているかともいわれるが、われわれの結果は生産量の増加に貢献していることを証明している。しかしながら他の要素の貢献もまた重要である。資本は生産量の増加に強いインパクトを与える。

最後に短期のIT資本と資本・労働の代替関係を調べてみよう。まず資本とIT資本の関係にしてはほぼ単調に減少していき1982年の頃よりも倍以上の値になっている。IT資本と労働の関係は代替的である。労働と資本とを比べるとIT資本は資本との代替の方がかなり強い。したがって労働に対してIT資本が職場を奪うということが言われてきているが、それほど大きな影響および変化ではない。

2.6 結び

われわれはIT資本を含んだトランスログ費用関数のモデルを構築した。トランスログ費用関数

の推定結果は、問題がない。したがってIT資本を含んだトランスログ費用関数の適用が可能である。

第一に、IT資本のシャドウプライスは初期時点から1991年まで減少していて、1991年の値が最小である。IT資本のシャドウプライスは1993、1994年にわずかに上昇している。1989年以降の変動はそれ以前に比べてより小さい。

IT資本のシャドウプライスは、この分析の計測期間の前半と近年では大きな違いがある。われわれの結果はIT資本の価格の大幅な低下を示している。したがってそうした大幅なIT資本の価格は近年の安定したインフレをもたらしている可能性がある。

第二に、IT資本はTFP成長に対して負に貢献している。さらに負の貢献は1988年以前すべての投入要素の中でもっとも強い。IT資本はTFP成長に対してほとんど負に貢献しているが、徐々に小さくなってきている。その理由はIT資本の技術進歩への貢献が徐々に大きくなっているからである。われわれの結果は生産性とIT資本のパラドックスを支持している。しかしながら生産性とIT資本のパラドックスは、生産性の定義に依存している。IT資本のTFP成長への貢献は発見できなかった。しかしながらIT資本の労働生産への貢献は発見できた。IT資本は生産量の増加に対して貢献しているかともいわれるが、われわれの結果は生産量の増加に貢献していることを証明している。資本は生産量の増加に強いインパクトを与える。

第三に、資本とIT資本の関係にしてはほぼ単調に減少していき1982年の頃よりも倍以上の値になっている。IT資本と労働の関係は代替的である。労働と資本とを比べるとIT資本は資本との代替の方がかなり強い。

今後の課題としてはIT資本も通常の資本の一つである、したがってダイナミックな関係を持っている。そこでモデルの動学化が必要であろう。さらにデータはマクロデータであった。産業別の

より詳しいデータが必要であろう。

3. IT 資本の外部性

3.1 はじめに

この論文の目的は、IT 資本の外部性を実証的に検証することにある。ある産業の IT 資本がその産業の生産に寄与するだけでなく、外部性が生じて他の産業の生産にも貢献するかどうかについて実際のデータを用いて定量的に分析する⁸⁾。

以前は、IT 資本の生産への寄与は確認されなかった。しかしながら、近年 IT 資本の生産への貢献を実証的に支持する研究が見られている。一般の資本もアウトプットや生産性の上昇に貢献している。したがって IT は、他の一般的な資本と比べて、インパクトの違いはあるものの、アウトプットや生産性への貢献という点では、一般資本も IT 資本も同じである。しかしながら IT 資本の他の一般資本との本質的な違いの一つは、IT 資本は外部性を発生するという点である。外部性を発生させる資本としては、他にも R & D 資本や、一般資本でも見られおり、実証的にも研究がなされている。しかしながら IT 資本の外部性を実証的に検証した研究は、Morrison and Seigel (1997) 以外まだ発見できない。

そうした外部性の実証分析がおこなわれていない理由の一つは、データの使用可能性の問題である。外部性を実証的に分析して行くには、集計されたデータではなく、なんらかの非集計データが必要になる。IT のデータはまだ歴史が浅く整備が十分ではなく、非集計データの場合はさらにデータ利用の困難さが増加する。

Morrison and Seigel (1997) は、ただ一つの、IT 資本の外部性を実証的に計測した研究である。IT 資本だけでなく、R & D と人的資本も考慮されて分析している。IT 資本のコストに対する弾力性は、-0.1 の周辺である。彼らの研究は、IT 資本外部性を計測する先駆的な研究である。しかしながら自産業の IT 資本と IT 資本の外部性との区別がなされていない。したがって自産業の IT

資本と IT 資本の外部性との関係を論じることができない。われわれの研究は、自産業の IT 資本と IT 資本の外部性とが明確に区別されている。したがってインパクトの違いが考慮されている。さらに製造業の 10 産業が分析の対象になっている。

われわれは、この論文でまず産業別の IT 資本のデータをつくり、それを用いてトランスログモデルを用いて、実証分析をおこなった。そこで理論的な整合性が保たれる。また計測期間のすべての期間で検証がおこなわれる。こうした Morrison and Seigel (1997) 以外の外部性の実証分析では、R&D に関する先行研究がある。そこでそうした先行研究と比較も行える。

この分析は以下のように構成されている。2 節でモデルとデータと推定方法が述べられている。3 節で実証結果が述べられ、議論されている。4 節で結論が述べられている。

3.2 モデル

本論文では、われわれはいわゆる *duality* による費用関数によるアプローチを用いる。

われわれは、次の可変費用関数を採用する。

$$C = C(w_k, w_n, w_h, x_{he}, y, t) \quad (3.1)$$

ここで y は産出量、 x_i は、第 i 投入要素であり、 i は資本 (k)、労働 (n)、IT 資本 (h) であり、IT 外部性 (he)、 t はタイムトレンドである。 w_i は第 i 投入要素の価格である。 C は費用である。費用は資本費・労働費用・IT 資本費用の合計であり、それぞれの価格、生産量、IT 資本の関数である。しかしながらその費用関数は直接推定することはできない。そこで費用関数の関数形を決める必要がある。われわれはトランスログ関数を以下のように費用関数に適用する。

$$\ln C = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln w_i$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln w_i \ln w_j \\
& + \sum_i \beta_{iy} \ln w_i \ln y \\
& + \alpha_y \ln y + \frac{1}{2} \beta_{yy} (\ln y)^2 \\
& + \sum_i \beta_{ihe} \ln w_i \ln x_{he} \\
& + \beta_{he} \ln x_{he} + \frac{1}{2} \beta_{hehe} (\ln x_{he})^2 \\
& + \sum_i \beta_{it} \ln w_{it} + \beta_{yt} \ln y t \\
& + \beta_{het} \ln x_{het} + \beta_{tt}
\end{aligned} \tag{3.2}$$

上述のトランスログ費用関数は費用関数の中で近年最も一般化されている。先験的な制約が存在しない、特に代替の弾力性は制約を受けない、さらにそれぞれの統計量が観測値ごとに得られるため相互に比較できる。この費用関数は最大化行動のもとで得られている。われわれの費用関数は価格に関して一時同次である。したがって以下の条件が必要である。

$$\begin{aligned}
\sum_i \alpha_i &= 1, \sum_i \alpha_{ij} = 0, \sum_j \alpha_{ij} = 0, \\
\sum_i \beta_i x_{he} &= 0, \sum_i \alpha_i y = 0, \\
\sum_i \beta_{it} &= 0, \alpha_{ij} = \alpha_{ji}
\end{aligned} \tag{3.3}$$

われわれは Shepherd's lemma によりおのこの投入要素ごとに以下のシェア関数を得る。

$$S_i = \frac{w_i x_i}{C} = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln w_i} \tag{3.4}$$

ここで S_i は第 i 要素のコストシェアである。この論文では、4つの投入要素が採用されている。

そこで3つのコストシェア関数がおのこの価格とタイムトレンドによって決定される。

われわれのデータは、集計データである。われわれは、"Order Received for Machinery" (Cabinet Office) を用いて、産業ごとに非集計化した。費用関数((2)式)と任意の二本のシェア関数をSURによって推定する。われわれのモデルは連立方程式であるため、体型推定が適用される。推定のためのデータは、1974年から1993年の製造業の産業別のパネルデータである⁹⁾。

3.3 推定結果

産業別のIT資本比率を比べてみよう。すべての産業の中で機械産業とその他製造業が、最もIT資本比率が高かった。機械産業は、電気機械産業を含んでおりIT資本を中心に製造する産業である。さらにその他製造業も高かった。この産業は、IT資本を多く使用する産業である。この2産業は、IT資本比率が、14%を越えている産業であり、IT資本の集約度が極めて高い産業と見なせる。化学産業と輸送機械産業は、比較的IT資本を利用する産業であり、IT資本比率が4%をほぼ越えている。鉄鋼産業と紙・パルプ産業はIT資本比率がきわめて低い産業であった。その値は、1.2と1.4であった。石油産業と金属産業は、IT資本比率が、比較的低い産業であった。それらの値は、1.6であった。残りの産業は(2産業は)、IT資本比率が2%の後半であった。IT資本比率は、時系列的には、初期から現在まで上昇している。IT資本比率は、多くの産業で1990年以降、伸びが弱くなっている。IT資本の集約度の高い産業では、高い伸びが続いている。産業別のデータを使用すると、産業ごとのIT資本の利用の異質性が発見できる。

パラメーターの推定結果は、表3.2にある。10%の有意水準で、28のパラメータのうち22が有意であった。過去のこの種の分析と比較しても、トランスログモデルがこの分析に十分適している。いくつかの計算を行うが、すべてこの推定

表 3.1 IT 比率

<i>year</i>	食 品	織 維	製 紙	化 学	石 油
1980	0.877	0.680	0.356	1.218	0.604
1985	1.300	1.513	0.616	1.978	0.779
1990	2.395	2.550	1.157	3.815	1.283
1995	2.839	2.642	1.285	4.244	1.536
<i>year</i>	鉄 鋼	金 属	機 械	輸 送	その他製造
1980	0.405	0.670	4.031	1.733	2.453
1985	0.584	1.093	8.318	3.140	4.776
1990	1.008	1.607	13.603	5.319	10.546
1995	1.219	1.643	14.194	5.361	13.757

表 3.2 推定結果

パラメータ	推定値	t- 値	パラメータ	推定値	t- 値
α_0	-186.272	-2.533	β_{he}	-28.1304	-2.08296
α_n	-.450582	-.900568	β_{hehe}	-2.43390	-1.91075
α_k	1.39434	2.86234	β_{nhe}	-.135591	-2.78372
α_h	.056245	1.60093	β_{khe}	.121833	2.56976
α_{kn}	-.875586E-02	-.964124	β_{hhe}	.013758	4.37457
α_{hn}	.692797E-03	.767806	β_t	6.04111	2.44918
α_{hk}	-.306892E-02	-1.82333	β_{het}	.460808	2.00914
α_{nn}	.806307E-02	.863854	β_{nt}	.020372	2.38215
α_{kk}	.011825	1.30962	β_{kt}	-.018788	-2.25708
α_{hh}	.237612E-02	1.62013	β_{ht}	-.158407E-02	-2.12717
β_{yt}	.075653	2.34586	α_{yy}	.116379	.696430
β_{tt}	-.096566	-2.31934	α_{ny}	.026833	1.83774
α_{ky}	-.032538	-2.28823	β_{hey}	-.349390	-1.83654
α_{hy}	.570493E-02	5.75282			

されたパラメータにもとづくものであり、結果の信頼性に疑いはない。IT の外部性に関する項の 7 個のすべてのパラメータは、いずれも有意であった。したがってわが国製造における、IT の外部性の存在が確認された。

コストに対する IT 資本の外部性の弾力性を調べてみよう。この弾力性の値は、モデルの理論的な要求から負の値でなければならない。また直感的にも、もし IT 資本の外部性がコストの増加をもたらすとしたら、IT 資本を導入しない方が合

理的である。結果はすべての値に関して負の値であり斉合的な値であった。

食品・化学・石油・金属・輸送の 6 産業は、ほとんど同じ値であった。これらの産業を弾力性の高いグループと呼ぼう。

繊維・製紙・鉄鋼・機械の 4 産業は、また近い値であった。これらの産業を低い弾力性のグループと呼ぼう。高い弾力性のグループと低い弾力性のグループの値の違いは大きくはなかった。すべての産業で弾力性は大きくなっていき、1990 年

表 3.3 IT 外部性のコスト弾力性

year	食 品	織 維	製 紙	化 学	石 油
1980	-2.570	-2.133	-2.109	-2.321	-2.409
1985	-2.602	-2.051	-2.098	-2.439	-2.458
1990	-2.621	-2.066	-2.196	-2.556	-2.485
1995	-1.325	-0.767	-0.874	-1.295	-1.156
year	鉄 鋼	金 属	機 械	輸 送	その他製造
1980	-2.205	-2.495	-2.064	-2.460	-2.475
1985	-2.235	-2.486	-2.048	-2.471	-2.463
1990	-2.326	-2.594	-2.235	-2.565	-2.526
1995	-1.032	-1.293	-0.987	-1.288	-1.168

にピークとなる。1990年からは弾力性の伸びは小さくなる。IT資本の外部性の伸びが小さくなったのは、マクロ経済の不況が理由である。

われわれは、われわれの結果と先行研究の結果を比較したい。われわれの結果は、Morrison and Seigel (1997) よりも明確に高い。IT資本だけでなくR&Dの外部性の結果も含めて、Morrison and Seigel (1997) のすべての結果は、低い。したがってMorrison and Seigel (1997) の結果は、過小推定である可能性がある。R&Dの外部性の費用に関する弾力性の計測結果がいくつかある。その結果は、強い影響を与えると思われるある特定の1産業からのインパクトである。その値は、0.5か0.6である(Odagiri and Kinukawa (1997))。われわれの結果は、ある1産業からのインパクトでなく、自産業を除いた、すべての産業からの影響の結果である。われわれの結果は、R&Dの外部性のコストへの弾力性の結果よりも低い値であった。

IT資本の外部性の労働に対する弾力性が表3.4にある。すべての値は負の値であった。したがってIT資本の外部性の増加は、労働の減少を意味している。IT資本と労働の代替の進展は明らかに進んでいる。機械産業の弾力性が、最も大きかった。食品産業と繊維産業の弾力性もまた高かった。石油産業と化学産業の弾力性はかなり低

かった。時系列的な傾向は、3グループに分けられる。一つ目のグループは、増加しているタイプで、食品やアパレル産業である。二つ目は、一定のタイプである。いくつかの変動はあるにしても比較的一定であるグループである。最後は、減少しているグループで、化学、石油、金属、機械、その他製造業である。弾力性が減少してきている。

IT資本の外部性の自産業のIT資本に対する弾力性が表3.5にある。すべての値は正の値である。これは、IT資本の外部性の増加が、自産業のIT資本の増加をもたらしていることである。金属産業の弾力性は高かった。パルプと鉄鋼はまた高かった。その他製造業の値は最も低かった。化学産業と石油産業の値もまた低かった。時系列的な傾向は、ほぼすべての産業で同じである。弾力性は減少してきている。しかしながらわずかに1990年から1995年について増加している。

3.4 結語

われわれは、産業間のIT資本の外部性の効果を日本の製造業に関して分析した。われわれの主要な方法は、dualityによるトランスログ費用関数のモデルによる。主要な結果は以下の通りである。

IT資本の外部性に関するパラメータはすべて有意であり、その効果を示している。IT資本の

表 3.4 IT 外部性の労働弾力性

year	食 品	織 維	製 紙	化 学	石 油
1980	-1.228	-1.722	-1.153	-1.171	-0.791
1985	-1.811	-1.887	-1.123	-1.117	-0.787
1990	-1.680	-1.893	-1.052	-0.939	-0.839
1995	-1.803	-2.011	-1.137	-0.926	-0.898
year	鉄 鋼	金 属	機 械	輸 送	その他製造
1980	-1.287	-1.629	-5.790	-1.626	-1.682
1985	-1.366	-2.014	-3.322	-1.855	-1.620
1990	-1.381	-1.924	-2.564	-1.431	-1.465
1995	-1.507	-1.715	-2.640	-1.572	-1.721

表 3.5 IT 外部性の自己の IT 資本弾力性

year	食 品	織 維	製 紙	化 学	石 油
1980	1.617	2.069	3.141	1.114	0.641
1985	1.222	0.932	1.855	0.587	0.500
1990	0.842	0.547	1.147	0.345	0.330
1995	1.423	0.734	1.955	0.515	0.650
year	鉄 鋼	金 属	機 械	輸 送	その他製造
1980	3.366	2.770	3.013	1.395	1.136
1985	1.920	1.601	1.328	0.754	0.620
1990	1.272	1.252	0.717	0.403	0.334
1995	1.869	1.922	1.005	0.638	0.468

外部性のコストに関する弾力性の値は、すべて理論通り負の値を示している。IT 資本の外部性が、すべての産業ですべての期間、コストを削減させていることを示している。すべての弾力性は増加してきて、ピークは 1988 年と 1989 年である。われわれの結果は、Morrison and Seigel (1997) よりも明らかに大きい値である。すべての IT 資本の外部性の労働に対する弾力性の値はすべて負の値であった。したがって IT 資本の外部性の増加は、労働の減少を意味している。IT 資本と労働の代替の進展は明らかに進んでいる。

われわれのモデルは、静学的なモデルである。IT 資本の投資という観点は大事であり、動学的なモデルへの拡張が自然であり望まれる。政府の政策もまた重要である。これらの拡張点は、今後

の研究の課題である。

(専修大学経済学部教授)

注

- 1) IT 資本に関するこの研究での定義は、Berndt and Morrison(1995) と同様のものである。
- 2) IT 資本は技術進歩または、そうした点からは、多くの方向性、技術進歩または、イノベーションの代理変数である。したがって IT 資本は労働に対しては、削減効果がある。
- 3) なぜなら、われわれは、アウトプットに対して一次同次であるからだ。アウトプットの値は除外している。
- 4) IT 資本の定義は、(1) コンピュータおよびその付属品、(2) 電信・電話、(3) テレビ・ラジオ、(4)

計算機, (5) 事務機械, データに関するさらなる詳細は, Nakanishi (1999) 参照.

- 5) 中西は長期均衡の Translog 関数のモデルを用い, 篠崎のデータを使用して分析をおこない, IT 投資が経済成長に強く貢献していること, また労働との代替関係が年々強くなっていることを主張している.
- 6) 操作変数は書く変数の 2 期ラグのついたおのおの変数である.
- 7) 新荘・張では電気機械産業の減耗率を使用していた. われわれはその減耗率についても試みたが大きな差はなかった.
- 8) 本稿での IT 資本の定義は, コンピューターおよびその周辺機器, 有線・無線通信機器およびその周辺機器である, Berndt and Morrison (1992) のハイテク資本の定義と同じである. Berndt and Morrison (1992) は IT 資本をハイテク資本と呼んでいる. なお詳細は後述する.
- 9) Nakanishi (2002) を参照, 産業分類は以下のようになっている. food (D), apparel (E), pulp and paper (F), chemical products (G), petroleum refinery and related industries (H), iron and steel (I), metals, fabricated metals and products (J), general and electric machinery (K), transport equipment (L) and miscellaneous manufacturing (M).

参考文献

- 阿波田禾積, 伊藤成康, 中西泰夫(1987)「火力発電技術のコスト分析」『第四回エネルギーシステム・経済コンファレンス 論文集』.
- 井沢裕司(1985)「自然独占の理論と電気事業—火力発電の規模の経済性」『電力経済研究』第 17 号, pp. 127-144.
- 伊藤成康, 中西泰夫(1988)「電気事業における限界費用と料金形成」『電力経済研究』第 24 号, pp. 13-23.
- 太田誠(1980)『品質と価格』創文社.
- 河村真(1993)「大都市公営バス事業の密度の経済とサイズの経済の計測」『季刊理論経済学』第 44 巻, pp. 269-274.
- 北坂真一(1992)「動学的生産要素システムの推定—わが国鉄鋼業の場合—」『季刊理論経済学』第 43 巻, pp. 165-176.
- 熊倉修, 大山達雄(1981)「Translog 型生産関数理論の電気事業への適用」『電力中央研究所研究報告』Y580004.
- 黒田昌裕(1984)『実証経済学入門』日本評論社.
- 新庄浩二(1990)「電気事業における規模の経済性」林敏彦編『公益事業と規制緩和』東洋経済新報社.
- 鈴木和志, 竹中平蔵(1982)「設備投資, 調整費用, 合理的期待形成を含む投資関数による推定」『経済経営研究』第 3 巻.
- 竹中平蔵, 小川一夫(1987)『対外不均衡のマクロ分析: 財蓄・投資バランスと政策協調』東洋経済新報社.
- 中西泰夫, 伊藤成康(1988)「電気事業における規模の経済性」『電力中央研究所研究報告』Y87017.
- 中西泰夫, 瀬尾英生(1988)「電気事業に特有な属性を考慮した費用分析—ヘドニックコストモデルによるアプローチ」『電力中央研究所研究報告』Y88015.
- 中西泰夫, 真殿誠志(1989)「可変費用関数による電力産業の分析」『第 6 回エネルギー・経済システムコンファレンス集』
- 服部常晃, 桜井紀久(1987)「電力投資の国民経済効果」『第四回エネルギーシステム・経済コンファレンス 論文集』
- 松川勇, 真殿誠志, 中島孝子(1991)「電気事業におけるラムゼイ料金の適用—自家発・コジェネとの競合下における効率的な料金の実証分析」『電力中央研究所研究報告』Y90013.
- 真殿誠志, 中西泰夫(1991)「本邦電気事業における設備投資行動の分析」『電力中央研究所研究報告』Y90013.
- 真殿誠志, 中西泰夫, 根本二郎(1992)「我が国電気事業における設備投資行動のシミュレーション分析」『日本経済研究』第 23 巻, pp. 116-127.
- 室田泰弘(1984)『エネルギーの経済学』日本経済新聞社.
- Abel, A. B. (1980) "Empirical Investment Equations :

- An Integrative Framework,” *Carnegie Rochester Series on Public Policy, a Supplementary Series to the Journal of Monetary Economics*, Vol. 12, pp. 39-91.
- Arrow, K. J., Chenery, H. B., Minhas, B. and R. M. Solow (1961) “Capital-Labor Substitution and Economic Efficiency,” *Review of Economics and Statistics*, Vol. 43, pp. 225-254.
- Atkinson, S. E. and R. F. Halvorsen (1976) “Inter fuel Substitution in Conventional Steam-Electric Power Generation,” *Journal of Political Economy*, Vol. 84, pp. 959-978.
- Averch, I. and L. Johnson (1962) “Behavior of the Firm under Regulator Constraint,” *American Economic Review*, Vol. 52, pp. 1052-1069.
- Baumol, E. Panzar, J. C. and R. D. Willig (1988) *Contestable Market and the Theory of Industry Structure*, Harcourt Brace Jovanovi.
- Berndt, E. R. and B. C. Field (eds.) (1981) *Modeling and Measuring Natural Resource substitution*, Mass: The MIT Press.
- Berndt, E. R. and B. Hansson (1994) “Measuring The Contribution of Public Infrastructure Capital in Sweden,” *Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 94, pp.151-168.
- Berndt, E. R. and D.Hesse (1986) “Measuring and Assessing Capacity Utilization in the Manufacturing Sectors of Nine OECD Countries,” *European Economic Review*, Vol. 30, pp. 961-989.
- Berndt, E. R. and L. R. Christensen (1973) “The Translog Function and the Substitution of Equipment, structures and labor in U.S. Manufacturing 1929-68,” *Journal of Econometrics*, Vol. 1, pp. 81-113.
- Berndt, E. R. and C. J. Morrison (1995) “High-tech Capital Formation and Economic Performance in U.S. Manufacturing Industries An Exploratory Analysis,” *Journal of Econometrics*, Vol. 65, pp. 9-43.
- Berndt, E. R. and D. O. Wood (1979) “Engineering and Econometric Interpretations of Energy-Capital Complementation,” *American Economic Review*, Vol. 69, pp. 342-354.
- Bernstein, J. I. (1989) “The Structure of Canadian Inter-Industry R&D Spillovers and the Rate of Return,” *Journal of Industrial Economics*, Vol. 37, pp. 315-328.
- Bernstein, J. I. and I. M. Nadiri (1988) “Interindustry R&D Spillovers, Rate of Return, and Production in High-Tech Industries,” *American Economic Review*, Vol. 78, pp. 429-434.
- (1989) “Research and Development and Intra-industry Spillovers: An Empirical Application of Dynamic Duality,” *Review of Economic Studies*, Vol. 56, pp. 249-269.
- Bhattacharyya, A. (1995) “Specification and Estimation of Effect of Ownership on Economic Efficiency of the Water Utilities,” *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 25, pp. 759-84.
- Bhattacharyya, A., A. Bhattacharyya and K. Mitra (1997) “Decomposition of Technological Change and Factor Bias in Indian Power Sector: An Unbalanced Panel Data Approach,” *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 8, pp. 35-52.
- Brown, R. and L. Christensen (1981) “Estimating Elasticities of Substitution in a Model of Partial Static Equilibrium: An Application to U.S. Agriculture, 1947 to 1974,” in E. Berndt and C. Field (eds.) *Modeling and Measuring Natural Resource Substitution*, Mass: The MIT Press.
- Burney, A. and F. T. Al-Matrouk (1996) “Energy Conservation in Electricity Generation: A Case Study of the Electricity and Water Industry in Kuwait,” *Energy Economics*, Vol. 18, pp.69-79.
- Christensen, L. A. and H. H. Greene (1976) “Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation,” *Journal of Political Economy*, Vol. 84, pp. 655-676.
- Christensen, L. A., D. W. Jorgenson and L. J. Lau (1971) “Conjugate Duality and Transcendental Logarithmic Production Function,” *Econometrica*, Vol. 39, pp.

- 255-256.
- (1976) “Transcendental Logarithmic Production Function Frontiers,” *Review of Economics and Statistics*, Vol. 55, pp. 28-45.
- Cowing, T. G. and A. E. Stevenson (eds.) (1981) *Productivity Measurement in Regulated Industry*, New York: Academic Press.
- Cowing, T. G. Small J. and M. Roberts (1981) “Comparative Measures of Total Factor Productivity in the Regulated Sector: The Electric Utility Industry,” in T. G. Cowing and R.E. Stevenson (eds.), *Productivity Measurement in Regulated Industries*, New York: Academic Press.
- Cowing, T. G. Small J. and M. Roberts (1981) “Comparative Measures of Total Factor Productivity in the Regulated Sector: The Electric Utility Industry,” in T. G. Cowing and R.E. Stevenson (eds.), *Productivity Measurement in Regulated Industries*, New York: Academic Press.
- Diewert, E. W. (1974) “Applications of Duality Theory,” in Michel D. Intriligator and David A. Kendrick (eds.), *Frontiers of Quantitative Economics*, Vol. 2, Amsterdam: North-Holland.
- (1982) “Duality Approaches to Microeconomic Theory,” in K. J. Arrow and Michel D. Intriligator (eds.), *Handbook of Mathematical Economics*, Vol. 1.2, Amsterdam: North-Holland.
- Duffy-Deno, K. T. and R. W. Eberts (1991) “Public Infrastructure and Regional Economic Development: A Simultaneous Equations Approach,” *Journal of Urban Economics*, Vol. 30, pp. 329-343.
- Duncombe, W. and J. Yinger (1993) “An Analysis of Return to Scale in Public Production, with Application to Fire Protection,” *Journal of Public Economics*, Vol. 52, pp. 49-72.
- Epstein, L. and M. Denny (1983) “The Multivariate Flexibility Accelerator Model: Its Empirical Restrictions and Application to U.S. Manufacturing,” *Econometrica*, Vol. 51, pp. 647-674.
- Epstein, L. and A. Yatchew (1985) “The Empirical Determination of Technology and Expectation: A Simple Procedure,” *Journal of Econometrics*, Vol. 27, pp. 235-258.
- Fuss, M., MacFadden, D. and T. Cowing (eds.) (1978) *Dual Approach to Theory and Applications*, Amsterdam: North-Holland.
- Friedlaender, A., C. Winston and E. Wang (1983) “Cost, Technology, and Productivity in the U. S. Automobile Industry,” *Bell Journal of Economics* Vol. 14, pp. 1-20.
- Green, W. H. (1983) “Simultaneous Estimation of Factor Substitution, Economies of Scale, Productivity, and Non-Neutral Technical Change,” in A. Dogramaci (ed.), *Developments in Econometric Analysis of Productivity*, Kluwer-Nijhoff.
- Gollop, F. M. and M. Roberts (1981) “The Source of Economic Growth,” in T. G. Cowing and R.E. Stevenson (eds.), *Productivity Measurement in Regulated Industries*, New York: Academic Press.
- Goto, A. and K. Suzuki (1989) “R&D Capital, Rate of Return on R&D Investment and Spillover of R&D in Japanese Manufacturing Industries,” *Review of Economic and Statistics*, Vol. 71, pp. 555-564.
- Ide, T. and A. Takayama (1987) “On the Concept of Returns to Scale,” *Economics Letters*, Vol. 23, pp. 329-334.
- Imamura, H. (1990) “Compositional Change of Heterogeneous Labor Input and Economic Growth in Japan,” in Charles R. Hulten (ed.), *Productivity Growth in Japan and United States and Japan*, Chicago: University of Chicago Press.
- Institute of Fiscal and Monetary Policy Institute of Fiscal and Monetary Policy (1986) “New Development of Energy, System,” *Research Series on Soft-nomics*, in Japanese, Vol. 12, Tokyo: Ministry of Finance.
- Jorgenson, D. (1963) “Capital Theory and Investment Behavior,” *American Economic Review*, Vol. 53, pp. 247-259.

- Joskow Joskow, P. L. and A. Schmalensee (1983) *Market for Power-An Analysis of Electric Utility Deregulation*, Mass: The MIT Press.
- Hall, A. A. and D. W. Jorgenson (1967) "Tax Policy and Investment Behavior," *American Economic Review*, Vol. 57, pp. 391-414.
- Halvorsen, R. and T. R. Smith (1986) "Substitution Possibilities for Unpriced Natural Resources: Restricted Cost Function for Canadian Metal Industry," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 68, pp. 398-405.
- Hayashi, F. (1982) "Tobin's Marginal and Average q: A Neoclassical Interpretation," *Econometrica*, Vol. 50, pp. 213-224.
- Holly, S. and P. Smith (1989) "Interrelated Factor Demands for Manufacturing: A Dynamic Translog Cost Function Approach," *European Economic Review*, Vol. 33, pp. 111-126.
- Kiss, F. (1983) "Productivity Gains in Bell Canada," in L. Courville, A. De Fontenay and R. Dobell (eds.) *Economic Analysis of Telecommunications: Theory and Applications*, Amsterdam: North-Holland.
- Kokkelenberg, E. C. (1984) "The Specification and Estimation of Interrelated Factor Demands under Uncertainty," *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 7, pp. 181-207.
- Krautmann, A. and J. L. Solow (1989) "Economies of Scale in Nuclear Power Generation," *Southern Economic Journal*, Vol. 55, pp. 70-85.
- Kulatilaka, N. (1985) "Testing on the validity of Static Equilibrium Models," *Journal of Econometrics*, Vol. 28, pp. 253-268.
- Kumbhakar, S. C. and A. Bhattacharyya (1996) "Productivity Growth in Passenger bus Transportation: A Heteroskedastic Error Component Model with Unbalanced Panel Data," *Empirical Economics*, Vol. 21, pp. 557-73.
- Kuroda, Y. (1987) "The Production Structure and Demand for Labor in Postwar Japanese Agriculture," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 69, pp. 328-337.
- (1988a) "Biased Technological Change and Factor Demand in Postwar Japanese Agriculture, 1958-84," *Agricultural Economics*, Vol. 2, pp. 101-122.
- (1988b) "The Output Bias of Technological Change in Postwar Japanese Agriculture," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 70, pp. 663-673.
- Lau, L. I. (1978) "Application of Profit Function," *A Dual Approach to Theory and Application*, Amsterdam: North-Holland.
- Lam, A. C., Norsworthy, J. R. and C. A. Zabala (1990) "Labor Disputes and Production in Japan and United States," in Charles R. Hulten (ed.) , *Productivity Growth in Japan and United States and Japan*, Chicago: University of Chicago Press.
- Lang, G. and P. Welzel (1998) "Technological and Cost Efficiency in Universal Banking a "Thick Frontier" - Analysis of the German Banking Industry," *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 10, pp. 63-84.
- Madono, M., Y. Nakanishi and J. Nemoto (1990) "Temporally Equilibrium Model and Optimal Capital Stock: in Application to Japanese Electric Utilities," in Y. Nishikawa, Y. Kaya and K. Yamaji (eds.), *Energy System, Management and Economics*, Oxford: Pergamon Press.
- Madono, M., J. Nemoto and Y. Nakanishi (1994) "Modeling Investment Behavior of Japanese Electric Utilities," *Tezukayama University Discussion Paper Series*, No. F-089.
- McFadden, D. (1978a) "Cost, Revenue and Profit Functions," in M. Fuss and D. McFadden (eds), *Production Economics: A Dual Approach To Theory and Applications*, Vol.1, Amsterdam: North-Holland.
- (1978b) "The General Liner Profit Function," in M. Fuss and D. McFadden (eds.), *Production Economics: A Dual Approach To Theory and*

- Applications*, Vol. 1, Amsterdam: North-Holland.
- Morrison, C. J. (1997) "Assessing the Productivity of Information Technology Equipment in U.S. Manufacturing Industries," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 79, pp. 471-481.
- (1985) "Primal and Dual Capacity Utilization: An Application to Productivity Measurement in the U.S. Automobile Industry," *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol. 3, pp. 312-324.
- (1988) "Quasi-Fixed Inputs U.S. and Japanese Manufacturing: A Generalized Leontief Restricted Cost Function Approach," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 70, pp. 275-287.
- Morrison, C. J. and E. Berndt (1981) "Short-run Labor Productivity in a Dynamic Model," *Journal of Econometrics*, Vol. 15, pp. 339-365.
- Nadiri, I. M. and T. P. Mamuneas (1994) "The Effect of Public Infrastructure and R&D Capital on the Cost Structure and Performance of U.S. Manufacturing Industries," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 76, pp. 22-37.
- Nadiri, I. M. and I. R. Prucha (1989) "Dynamic Factor Demand Models, Productivity Measurement, and Rate of Return: Theory and an Empirical Application to the U.S. Bell System," *NBER Working paper*, No. 3041.
- (1990) "Comparison and Analysis of Productivity Growth and R&D Investment in Electrical Machinery Industries of the United State and Japan," in Charles R. Hulten (ed.), *Productivity Growth in Japan and United States and Japan*, Chicago: University of Chicago Press.
- Nadiri, I. M. and M. A. Schankerman (1981) "The Structure of Production, Technological Change, and Rate of Growth of Total Factor Productivity in The U.S. Bell System," in T. G. Cowing and R.E. Stevenson (eds.), *Productivity Measurement in Regulated Industries*, New York: Academic Press.
- Nakanishi, Y. (2001) "Dynamic Labour Demand Using Error Correction Model," *Applied Economics*, Vol. 33, pp. 783-790.
- (2002a) "Empirical Evidence of Inter-Industry R&D Spillover In Japan," *Journal of Economic Research*, Vol. 7, pp. 91-104.
- (2002b) "Employment and IT Capital in Japan," *Applied Economic Letters*, forthcoming.
- Nelson, R. A. (1989) "On the Measurement of Capacity Utilization," *Journal of Industrial Economics*, Vol. 37, pp. 273-286.
- Nelson, R. A. and M. E. Wohar (1985) "Regulation, Scale Economies, and Productivity in Steam-electric Generation," *International Economic Review*, Vol. 24, pp. 57-79.
- Nemoto, J., K. Kamata and M. Kawamura (1999) "Estimates of Optimal Public Capital Stocks in Japan Using A Public Investment Discount Rate Framework," *Empirical Economics*, Vol. 24, pp. 693-710.
- Nemoto, J., Y. Nakanishi and S. Madono (1993) "Scale Economies and Over-Capitalization in Japanese Electric Utilities," *International Economic Review*, Vol. 34, pp. 431-440.
- Odagiri, H. and N. Murakami (1992) "Private and Quasi-social Rates of Return on Pharmaceutical R&D in Japan," *Research Policy*, Vol. 21, pp. 335-345.
- Odagiri, H. and S. Kinukawa (1997) "Contribution and Channels of Interindustry R&D Spillovers: An Estimation for Japanese High-Tech Industries," *Economic System Research*, Vol. 9, pp. 127-142.
- Okunde, A. A. (1993) "Production Cost Structure of U.S. Hospital Pharmacies: Time-Series, Cross-Section Bedsize Evidence," *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 8, pp. 277-94.
- Pindyck, R. S. and I. J. Rotemberg (1983a) "Dynamic Factor Demands and the Effect of Energy Price Shock," *American Economic Review*, Vol. 73, pp. 1066-1079.
- (1983b) "Dynamic Factor Demands Under

- Rational Expectations," *Scandinavian Economic Review*, Vol. 85, pp. 223-238.
- Reenen, J. V. (1997) "Employment and Technological Innovation: Evidence from U.K. Manufacturing Firm," *Journal of Labor Economics*, Vol. 15, pp. 255-284.
- Schankerman, M. and I. Nadiri (1986) "A Test of Static Equilibrium Models and Rate of Return to Quasi-Fixed Factors, With Application to Bell System," *Journal of Econometrics*, Vol. 33, pp. 97-118.
- Sharkey, W. H. (1982) *The Theory of Natural Monopoly*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Shinozaki, A. (1998) "The Empirical Analysis of Information Investment in Japan," *National Economy*, Vol. 161, pp. 1-25. (in Japanese)
- Spady, R and A. Friedlaender (1978) "Hedonic Cost Function for the Regulated Trucking Industry," *Bell Journal of Economics*, Vol. 9, pp. 159-179.
- Suzuki, K. (1992) "R&D, Technology Transfers and Parent-Subcontract Firms Relationship: Evidence from Panel Data on the Japanese Electrical Machinery Industry," *Discussion Paper Series*, No. 340, Kyoto Institute of Economic Research.
- Tawada, M. and S. Katayama (1990) "On the Technical Efficiency under Regulation: A Case for the Japanese Electric Power Industry," *The Economic Studies Quarterly*, Vol. 44, pp. 34-47.
- Tobin, J. (1969) "A General Equilibrium Model Approach to Monetary Theory," *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 1, pp. 15-29.
- Uzawa, H. (1982) "Production Function with Constant Elasticity of Substitution," *Review of Economic Studies*, Vol. 29, pp. 291-299.
- Varian, H. R. (1984) *Microeconomic Analysis: Second Edition*, New York: W.W. Norton.
- Wilson, W. W. (1997) "Cost Saving and Productivity in the Railroad Industry," *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 11, pp. 21-40.
- Wolfson, P. (1993) "Compositional Change, Aggregation, and Dynamic Factor Demand," *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 8, pp. 129-148.
- Wills, H. R. (1978) "Estimation of Vintage Capital Models for Electric Generation," *Review of Economic Studies*, Vol. 45, pp. 495-518.