慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	近年の生産性変動要因分析
Sub Title	Productivity Analysis : A Survey
Author	中島, 隆信(Nakajima, Takanobu)
Publisher	
Publication year	1991
Jtitle	三田商学研究 (Mita business review). Vol.34, No.5 (1991. 12) ,p.1- 36
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234698-19911225-04056098

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

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

三田商学研究
34 巻 5 号
1991 年 12 月

近年の生産性変動要因分析*)

中 島 隆 信

1. はじめに

本論の目的は，第1次石油危機以降ないしそれを含む期間を対象としてなされた各種の生産性分析を概観し，その方法論，実証結果ならびにインプリケーションを筆者なりの視点から整理することである。

生産性の分析においては， Solow[64] にはじまる成長会計の理論がもっとも多く用いられてきたといっていいだろう。成長会計の理論は，経済成長をもたらした諸要因を探し出し，どの要因がどの程度の貢献をしたかを明らかにする成長のバランスシートを作成するものである。その際，生産性は，さまざまな系統的要因を拾いだした後の説明不可能な残余部分として導かれる。この点からいえば， Solow[64] において示された合衆国非農業部門の成長に対する生産性の寄与率87.5%という数字は，経済成長のほとんどの部分が説明不可能要因によるものであることを意味している。

この結果を踏まえ，以後の成長会計分析は，主としてこの意味不明な生産性の貢献部分をいかにして減らしていくかに努力が払われたといってよい。たとえば，Jorgenson 教授らの研究グループは，生産のための基本的要素である労働，資本，原材料，エネルギーについて可能な限り理論とデータの厳密な整合性を追究した。その結果，Solow とは観測期間が異なるとはいえ，生産性の貢献度を2.8%にまで縮小させることに成功した。また Denison 教授は，通常考えられる生産要素に加

*) 本論文は，筆者が通商産業研究所の特別研究官として手掛けている研究プロジェクトにおける討議用論文「生産性の上昇要因分析—最近の研究のサーベイ—」を一部書き直したものである。論文作成にあたって，小宮隆太郎所長ならびに木地三千子氏をはじめとする研究官の方々から有益なコメントを頂戴した。また，慶應義塾大学商学部の大学院セミナーにおいては，黒田昌裕教授より内容にかんする数々の御指摘を戴いた。記して感謝したい。

え，資源配分の変化の効果などを含めた形で生産性寄与率22.4%という推計結果を導いた。[1]

確かに，説明不可能要因をできる限りなくしていくことが科学の正道であることには異論のないところである。しかし，実際には技術工学的要素が大きく関わってくるような製品製造プロセスを経済変数のみで説明していこうとすればそこに無理が生じるのもまた当然といえる。[2] そのうえ説明力を高めることに執着しすぎると，かえって「見せかけの法則」をつかまされてしまう可能性も否定できない。そのようなときには，ある程度のデータの不備があったとしてもその影響が微小であることが予測されるならば，高度な厳密性の追究をせず，むしろ残余部分としての生産性に注目し，その変化率の分析や国際間および時点間の比較研究をおこなうことがより生産的であるとも考えられよう。また，経済学的な意味においても，生産性は必ずしも単なる成長会計の残余部分であるとは限らない。たとえば，一国全体の労働生産性は国民ひとりあたりの豊かさの指標たり得るし，また全要素生産性の上昇率はその国ないし産業の生産効率が改善しているか否かを判断するための指標とも見なせる。以上のような点において，生産性分析は，一国全体のマクロレベルにとどまらず，さまざまな個別産業を対象としてなされるに至ったわけである。

ここで我々が近年のこの分野での業績を概観することの問題意識は，第1次石油危機以降，従来の生産性分析の方法および解釈において若干の変化がもたらされたことに起因している。石油危機以前においては，先進諸国の経済成長は順調に推移しており，とりわけ日本の戦後の高度成長は経済学者の注目の的としてその要因分析がさかんに行なわれた。そのときには，生産性の継続的な上昇も同時に計測されたので，結果に対し疑問を差し挟む余地はほとんどなかった。しかし，石油危機以後の低成長期のデータに基づいて生産性の計測を行なってみると，ほとんどの先進諸国で生産性の上昇がマイナスないしは伸び率の大幅な鈍化が見いだされたのである。経済成長が何らかのファクターによって鈍化することはあり得るとしても，生産技術の反映でもあるところの生産性上昇率が急激に下落するというのはあまりにも非現実的な話である。この不可解な計測結果を解釈するために，従来の成長会計の理論では考慮されていなかった要因や石油危機を契機として顕在化した要因をとり入れる工夫がなされるようになった。それがどのような工夫であり，またそれによって計測結果がどの程度変化したかについて整理することが本論文のねらいである。それは，経済成長の一要因としての生産性の計測方法を正しく理解することによって今後の成長予測を幾分でも容易にするという意味からも重要なことと思われる。

---

1) Jorgenson and Griliches [37] は1945年から65年までの20年間についてアメリカ合衆国民間部門の技術進歩率を計算し，Solow の方法によると45.8%となる技術変化寄与率をデータ等の修正によって最終的には2.8%に縮小させた。一方，Denison 教授は日本の1953年から71年までの国民所得統計に基づき，通常の残差としての技術変化の貢献度55.2%からさらに資源配分の変化と規模の経済性の貢献を控除し，22.4%という数値を導いた。Patrick and Rosovsky [55] 収録の Denison 論文参照。また，これらの点に関する詳細は，香西・土志田 [3]，または吉岡 [7] 等参照されたい。

2) 生産関数を工学的にとらえようとした試みとしては，たとえば Chenery [16] があげられよう。

このような視点に立ち，以下では改定版成長会計理論とその実証分析を紹介し，最後にそれを総括し，今後の研究の発展方向についての展望をすることにしたい。

2. 成長会計の理論

ある社会において単一の財・サービスの生産のみが行なわれているとしたとき，そこでの社会会計のバランス式は，次のように表わされる。

$$qy=\sum_i p_i x_i+\Pi \tag{1}$$

ここで，yは生産量，qは生産物価格，xは生産要素投入量，pは生産要素価格，そしてΠは超過利潤である。

ここで，次のような利潤率πを定義する。

$$\Pi=\pi\sum_i p_i x_i \tag{2}$$

すると，(1) 式は，

$$qy=(1+\pi)\sum_i p_i x_i \tag{3}$$

となる。さらに，

$$qy=(1+\pi)\sum_i p_i x_i=(1+\pi)C=(1+\pi)PX \tag{4}$$

とし，コスト部分 $\sum_i p_i x_i$ を数量指数Xと価格指数Pに分解する。$\sum_i p_i x_i=PX$ を時間で微分すると，

$$\sum_i \frac{dp_i}{dt}x_i+\sum_i \frac{dx_i}{dt}p_i=\frac{dP}{dt}dX=\frac{dX}{dt}dP$$

となり，さらに両辺を $\sum_i p_i x_i=PX$ で除して整理すれば，

$$\sum_i w_i\frac{dlnx_i}{dt}+\sum_i w_i\frac{dlnp_i}{dt}=\frac{dlnX}{dt}+\frac{dlnP}{dt} \tag{5}$$

となる。ただし，$w_i=\frac{p_i x_i}{\sum_j p_j x_j}$である。指数の要素転逆テストを考慮すれば，ディヴィジア指数PおよびXは，

$$\frac{dlnX}{dt}=\sum_i w_i\frac{dlnx_i}{dt},\quad \frac{dlnP}{dt}=\sum_i w_i\frac{dlnp_i}{dt} \tag{6}$$

によって定義される。(4) 式の対数をとり，時間で微分すれば，

$$\frac{dlnp}{dt}+\frac{dlny}{dt}=\frac{dln(1+\pi)}{dt}+\frac{dlnP}{dt}+\frac{dlnX}{dt}$$

$$=\frac{dln(1+\pi)}{dt}+\sum_i w_i\frac{plnp_i}{dt}+\sum_i w_i\frac{dlnx_i}{dt} \qquad (7)$$

となる。ここで，生産性（全要素生産性：TFP）の上昇率を，生産量の上昇率のうち生産要素投入量Xの上昇による貢献を差し引いたものと定義し，

$$\frac{dlnTFP}{dt}=\frac{dlny}{dt}-\frac{dlnX}{dt}=\frac{dlny}{dt}-\sum_i w_i\frac{dlnx_i}{dt} \qquad (8)$$

とあらわそう。（8）を書き換えれば，

$$\frac{dlny}{dt}=\sum_i w_i\frac{dlnx_i}{dt}+\frac{dlnTFP}{dt} \qquad (9)$$

となり，生産量の上昇率は生産要素投入量の上昇部分と生産性上昇部分とに分解されることがわかる。また，（8）に（7）を代入すれば，

$$\frac{dlnTFP}{dt}=-\frac{dlnq}{dt}+\frac{dln(1+\pi)}{dt}+\frac{dlnP}{dt}$$

$$=-\frac{dlnq}{dt}+\frac{dln(1+\pi)}{dt}+\sum_i w_i\frac{dlnp_i}{dt} \qquad (10)$$

となる。この式は，社会会計のバランス式を用いることによって，生産性上昇率を価格面のデータからもとらえることが可能であることを意味する。すなわち，生産性上昇率は，生産物価格の下落率から利潤率と生産要素価格の下落率を差し引いたものとしても求められる。

（1）式は，社会会計のバランスを示す恒等式である。以下では，このバランス式の背後にインプットとアウトプットの関係式としての生産関数が存在しているものと見なし，それを次のように定義しよう。

$$y=f(x_i,\cdots,x_n,T) \qquad (11)$$

ここで，Tは技術状態（state of technology）を表わす変数である。(11) の対数をとり，時間で微分すれば，

$$\frac{dlny}{dt}=\sum_i\frac{\partial lnf}{\partial lnx_i}\frac{dlnx_i}{dt}+\frac{\partial lnf}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt} \qquad (12)$$

となる。ここで生産者の費用最小化の必要条件より (12) は，次のように書き換えられる。

$$\frac{dlny}{dt}=\eta\sum_i w_i\frac{dlnx_i}{dt}+\frac{\partial lnf}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt}$$

$$=\sum_i w_i\frac{dlnx_i}{dt}+(\eta-1)\sum_i w_i\frac{dlnx_i}{dt}+\frac{\partial lnf}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt} \qquad (13)$$

ただし，$\eta=\sum_i \frac{\partial lnf}{\partial lnx_i}$ である[3]。この式は，生産量の上昇率が生産要素投入量の貢献，規模の経済性の貢献，そして技術変化の貢献に分解されることを示す。ここでηは生産要素規模に関する生産量の弾力性（規模弾性：scale elasticity）であり，収穫一定の生産関数の場合は1の値をとる。このように，成長会計の背後にある生産関数と設定すれば，成長会計をさらに詳細に作成することができる。

これと同様の TFP 上昇率の分解は，費用関数を用いることによっても可能である。たとえば，次のような費用関数を想定しよう。

$$C=C(p_1,\cdots,p_n,y,T) \tag{14}$$

これの対数をとり，時間で微分すると，

$$\begin{aligned}\frac{dlnC}{dt}&=\sum\frac{\partial lnC}{\partial lnp_i}\frac{dlnp_i}{dt}+\frac{\partial lnC}{\partial lny}\frac{dlny}{dt}+\frac{\partial lnC}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt}\\&=\sum_i w_i\frac{dlny}{dt}+\frac{1}{\eta}\frac{dlny}{dt}+\frac{\partial lnC}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt}\end{aligned} \tag{15}$$

他方，（5）式より，

$$\frac{dlnC}{dt}=\sum_i w_i\frac{dlnx_i}{dt}+\sum_i w_i\frac{dlnp_i}{dt} \tag{16}$$

が成り立つから，(15) 式は次のように書き換えられる。

---

3) ここでの費用最小化の必要条件は$\frac{\partial f}{\partial x_i}=\frac{1}{\lambda}p_i$（ただし，$\lambda$はラグランジュ乗数）である。生産関数 (11) を時間を一定のまま全微分すると，

$$dy=\sum_i\frac{\partial f}{\partial x_i}dx_i=\frac{1}{\lambda}\sum_i p_i dx_i$$

となる。他方，費用の定義式 $C=\sum_i p_i x_i$ を数量の変化のみ考慮して全微分すると，

$$dC=\sum_i p_i dx_i$$

を得る。したがって，上の2式より$\frac{dC}{dy}=\lambda$ となる。また，規模弾性 η は，その定義にしたがって，

$$\eta=\sum_i\frac{\partial lnf}{\partial lnx_i}=\sum_i\frac{\partial f}{\partial x_i}\frac{x_i}{y}=\frac{1}{\lambda y}\sum_i p_i x_i=\frac{1}{\lambda}\frac{C}{y}=\frac{dy}{dC}\frac{C}{y}$$

の関係がある。以上の展開に基づき，(12) 式右辺は，

$$\begin{aligned}\text{右辺}&=\sum_i\frac{\partial f}{\partial x_i}\frac{1}{y}\frac{dx_i}{dt}+\frac{\partial lnf}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt}\\&=\sum_i\frac{1}{\lambda}\frac{p_i x_i}{y}\frac{dlnx_i}{dt}+\frac{\partial lnf}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt}\\&=\eta\sum_i\frac{p_i x_i}{C}\frac{dlnx_i}{dt}+\frac{\partial lnf}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt}\end{aligned}$$

となり，(13) 式が得られる。

$$\sum_i w_i \frac{dlnx_i}{dt} = \frac{1}{\eta}\frac{dlnC}{dt} + \frac{\partial lnC}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt} \tag{17}$$

よって，TFP 上昇率の定義から，

$$\frac{dlnTFP}{dt} = \left(1-\frac{1}{\eta}\right)\frac{dlny}{dt} - \frac{\partial lnC}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt} \tag{18}$$

となる。これをもとに成長会計を作成すれば，

$$\frac{dlny}{dt} = \sum_i w_i \frac{dlnx_i}{dt} + \left(1-\frac{1}{\eta}\right)\frac{dlny}{dt} - \frac{\partial lnC}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt} \tag{19}$$

が得られる。ここでηは規模弾性であり，規模の経済性があるときには1より大きい値をとる。よって，生産量の上昇率は，右辺第1項の生産要素の上昇率による貢献，右辺第2項は規模の経済性による貢献，第3項の技術状態変数による貢献に分解される。このように費用関数によっても，成長会計の作成を行なうことができる。しかし，ここで注意を要するのは，(18)式による分解と(13)式による分解とでは，規模の経済性と技術変化の貢献に理論的に違いが生じるという点である。これは Ohta [54] では規模の経済性による TFP 上昇率分解のバイアスと呼ばれている。この点を (19) 式から明らかにしてみよう。(19) 式に (13) 式第1段を代入すると，

$$\begin{aligned}\frac{dlny}{dt} &= \sum_i w_i \frac{dlnx_i}{dt} + \left(1-\frac{1}{\eta}\right)\left(\eta\sum_i w_i \frac{dlnx_i}{dt} + \frac{\partial lnf}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt}\right) - \frac{\partial lnC}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt} \\ &= \sum_i w_i \frac{dlnx}{dt} + (\eta-1)\sum_i w_i \frac{dlnx_i}{dt} + \frac{\partial lnf}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt} \\ &\quad - \left(\frac{1}{\eta}\frac{\partial lnf}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt} + \frac{\partial lnC}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt}\right)\end{aligned} \tag{20}$$

を得る。ここで，(13) 式との整合性から，(20) 式の最後の括弧内はゼロでなければならない。よって，

$$-\frac{\partial lnC}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt} = \frac{1}{\eta}\frac{\partial lnf}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt} \tag{21}$$

となり，(18) 式での技術変化の効果は (13) 式での技術変化の効果に規模弾性の逆数を乗じたものに等しくなっている。従って，規模の経済性が存在するとき，生産関数に基づく成長会計と費用関数に基づく成長会計との間には規模の経済性の貢献と技術変化の貢献に規模弾性の分だけバイアスが生じるのである。この場合，どちらの分解が正しいかについては定説はないが，技術変化を生産関数のシフトと定義するならば，費用関数からの接近を行なうときには注意を必要とするであろう。

3. データの細分化によるマクロ成長会計モデル

3.1 産業構造の変化とマクロ生産性

黒田[1]および黒田・吉岡・清水[2]は，一国全体のマクロ生産性を計算するに当たって，まず個別産業の生産性を求め，そこから産業構造の変化を考慮した集計を行なうという方法をとっている。特に，後者は産業連関モデルを成長会計に応用している点に特徴がある。

黒田[1]では，個別産業で計測された費用関数の推定結果を前提とし，一国集計の経済成長率(GNP 成長率)がさまざまな要因に分解されている。この諸要因の中で特に注目すべき点は，産業構造の変化がマクロ生産性の変動に与える効果が生産要素別に算出されていることである。すなわち，黒田教授は個別産業の生産性を一国レベルに集計する過程で，生産性の変動要因が単なる生産要素の集計投入量だけではなく産業間配分の変化の影響をも受けることを示し，この生産要素の産業構造上の変化を構造バイアスと呼んだ。途中経過を省略して結果のみ示せば，以下のようになる。

$$v_T=\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{q_jZ_j}{P_VV}\right)v_T^j+\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{P_V-P_V^j}{P_VV}\right)\dot{V}^j$$
$$+\sum_{j=1}^{n}\sum_{l=1}^{m1}\left(\frac{P_{Ll}^j-P_{Ll}}{P_VV}\right)\dot{L}_l^j+\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m2}\left(\frac{P_{Kk}^j-P_{Kk}}{P_VV}\right)\dot{K}_k^j$$

ここで，v_Tは一国集計の技術変化率であり，それが右辺の4つの部分に分解されている。第1項は各産業の技術変化率の加重集計であり，第2項から4項まではそれぞれ付加価値，労働そして資本の産業間配分の変化による効果である。たとえば，生産性の上昇している産業に資源がより多く配分されることによって産業構造内でのウェイトが高まれば，マクロの生産性はその結果として上昇することになるであろう。そしてそれを労働・資本別に計測することにより，労働・資本財市場や資金調達のための資本市場の動き，さらには機械設備の陳腐化率や技術変化の速度に対応した資本の malleability の程度などがマクロ生産性に及ぼす影響も明らかにされる。

黒田・吉岡・清水[2]においても同じく産業構造の変化が一国集計の生産性に与える影響が計測されている。しかし，この分析が前者と大きく異なるのは産業連関モデルを使用している点である。ここでは，ある産業で生産性が上昇して生産物価格が下落した場合，その効果が産業内にとどまらず，産業間の中間財取り引きを通じて他産業へと波及していくプロセスが産業連関分析の価格モデルによって叙述されている。これも最終結果のみ示せば，

$$\frac{dlnPF}{dt}$$

$$=(Z_0'-i'Z'W_c)(W_v-W'W_c)^{-1}\left(\frac{dln\varphi}{dt}+W_b\frac{dlnP_b}{dt}+W_L\frac{dlns}{dt}+W_k\frac{dlnr}{dt}-\frac{dln\,TFP}{dt}\right)$$

$$+[(Z_{0'}-i'Z'W_c)(W_v-W'W_c)^{-1}W'W_m-iZ'W_m]\frac{dlnP_m}{dt}$$

$$+[(Z_0'-i'Z'W_c)(W_v-W'W_c)^{-1}W_d-iZ_d]\frac{dlnP_d}{dt}$$

となり，一国集計の物価の上昇率が，第1項の国内要因と第2，3項の輸入財要因によって説明されることがわかる。第1項が示すように，各産業の TFP の上昇率は産業連関モデルの逆行列を経由して産業全体に波及する。従って，多くの産業で中間財として使用されているような財を生産している産業で生産性が大幅に向上したとすると，間接直接の効果を通じ一国全体の価格を大きく下落させることになろう。あるいは，生産性の向上した産業の財を他の産業が以前より多く使用することで，全体としての生産性の上昇に寄与するケースもあり得る。そして最終的には，各産業の生産性の変化が一国全体の価格下落率に対してどの程度貢献したかを知ることができるのである。

表 1 日本経済の成長要因分解

年	集計技術進歩率	付加価値構造 bias	労働投入構造 bias	資本投入構造 bias
1960～1965	1.475	−1.053	0.522	0.990
1965～1970	5.100	0.032	0.852	1.580
1970～1973	1.533	1.241	−0.683	0.163
1973～1979	0.127	1.414	−0.533	0.460
1960～1979	2.013	0.373	0.085	0.846

数値は%表示　　黒田 [1] より引用

では，両分析の実証結果を簡単に示しておこう。表1は黒田[1] で計算されている日本の集計技術進歩率の分解結果を一部引用したものである。集計技術進歩率は戦後の高度経済成長がピークを迎えた1960年代後半に年率5.1% という非常に高い数値を示すが，その後スローダウンし，第1次

表 2 日本経済における物価上昇の要因

年	総合物価上昇率	賃金上昇率	資本価格上昇率	TFP 寄与率
1960～1965	3.95	6.35	1.94	−4.63
1965～1970	3.82	6.65	2.77	−6.05
1970～1973	6.06	8.93	0.37	−3.63
1973～1979	8.37	5.79	0.86	0.20
1960～1979	5.64	6.66	1.51	−3.32

国内主要因のみ掲載　　黒田・吉岡・清水 [2] より引用
数値は%表示

石油危機以後の7年間では0.127%にまで落ち込んでいる。ここでの要因分解によれば，労働市場の構造バイアスの数値が最も大きくなっている点が目立つ。このことは，第1次石油危機という石油供給のボトルネックによって生産調整を迫られた企業が過剰労働力を抱え込んでいたことを意味するものであり，一般に知られているその時期の労働市場の状況と整合的である。

他方，表2は黒田・吉岡・清水［2］における推定結果の一部を引用したものである。この結果は，各産業の生産性上昇が産業間の中間財取り引きを通じ，日本のインフレを抑制する役割を果たしてきたことを示している。さらに，この生産性上昇の波及経路を細かく見ていった結果として，鉄鋼業が他産業に対してもっとも強い影響力を持っていたことが明らかにされている。

3.2 事業所レベルの生産関数と産業レベルの生産性

これまでの成長会計モデルは産業単位もしくは国単位での生産関数を想定し，そこに2章で述べたような理論を当てはめる形で分析がなされていた。それに対して，ここで紹介する吉岡［7］および中島・吉岡［6］による研究では，さらにデータを細分化し，生産関数の基本単位として事業所レベルにまで降りた形での成長会計モデルの展開が試みられている。

上記の2つの研究は，モデルが2段構えになっている。はじめに，事業所単位で生産関数の推定を行なう。その際，規模の経済性と技術変化の識別を可能にするため，クロスセクションと時系列をプールしたデータを用いる。次に，推定された生産関数のパラメタをもとに集計された産業レベルの生産性を計算する。そしてそれを規模の経済性の貢献と技術変化の貢献とに分解するのである。吉岡［7］，吉岡・中島［6］のモデルでは生産関数のη次同次性と中立的技術変化が仮定されており，事業所分布の変化まで考慮した集計生産性は次のような式によって分解される。

$$ln\frac{TFP_{T+1}}{TFP_T}=ln\frac{N_{T+1}\int_0^\infty a_{T+1}Q_{T+1}^{\eta}dG_{T+1}(Q)|J_{T+1}|}{N_T\int_0^\infty a_{T+1}Q_T^{\eta}dG_T(Q)|J_T|}-ln\frac{N_{T+1}\int_0^\infty Q_{T+1}dG_{T+1}(Q)}{N_T\int_0^\infty Q_TdG_T(Q)}$$

$$+ln\frac{N_T\int_0^\infty a_{T+1}Q_T^{\eta}dG_T(Q)|J_T|}{N_T\int_0^\infty a_TQ_T^{\eta}dG_T(Q)|J_T|}-ln\frac{N_T\int_0^\infty Q_TdG_T(Q)}{N_T\int_0^\infty Q_TdG_T(Q)}$$

ただし，ここで，生産関数は，$y_{it}=a_tQ_{it}^{\eta}$であり，Qは生産要素のトランスログ数量指数，iとtはそれぞれ事業所規模と時点を区別する添え字である。この式の右辺上段は事業所分布の変化による規模の経済性の効果を示し，下段は中立的技術変化の効果を示している。$|J_T|$は生産要素数量指数Qの分布と生産量の分布をつなぐヤコビアンである。この点の修正は，単にデータをあらかじめ集計してから生産性を計測するか，あるいは個別にパラメタを計測してから集計して生産性を求めるかの違いを意味するだけではなく，その後の計測結果の解釈に重要な影響を及ぼす。たとえば，

産業レベルで生産性の上昇と生産規模の拡大が観察されたとしよう。そのとき，潜在的な規模の経済性があるとするならば，この生産性の上昇は規模の経済性の効果によるものと推測されるし，事実，集計データで計算すればそのような結果となる。しかしここで，事業所レベルのデータにおりてみたとき，おのおのの事業所規模は一定で，ただしその数だけが増加していたならばどうだろうか。産業レベルでは規模が拡大しているように見えているが，事業所の規模は拡大していないから生産関数上での規模の経済性の効果は観測されない。従って，このようなケースで集計されたデータをもとに生産性分析を行なうと，その変動要因を見誤ってしまうおそれが生じるのである。

表 3 全要素生産性の要因分解

	1964～1972			1973～1982		
	TFP	規模経済	技術変化	TFP	規模経済	技術変化
一般機械	3.011	0.067	2.944	2.442	0.083	2.359
電気機械	4.233	0.143	4.090	3.969	0.228	3.741
輸送用機械	5.105	0.052	5.053	2.673	0.078	2.595
精密機械	3.709	0.121	3.588	4.827	0.045	4.783
4業種平均	4.015	0.096	3.919	3.478	0.109	3.370

数値は%表示　　中島・吉岡［6］より加工

しかし，以上のような修正を行なうためには，細分化された良質のデータが推定に足るだけ十分得られることが条件となる。吉岡［7］，中島・吉岡［6］では通産省調査による工業統計表の事業所規模別データを用いて計測が行なわれている。表3はその計測結果の一部を加工計算して掲載したものである。対象産業は製造業全体であるが，ここでは機械産業だけを取り出してある。石油危機の前後の比較では，輸送用機械以外はそれほどの生産性のスローダウンは見られない。輸送用機械の場合は技術変化率が5％から2.5％へと半減したことが生産性ダウンの原因となっている。全体を通してみても生産性上昇に対する規模の経済性の効果は小さく，事業所分布の拡大がきわめて緩やかなペースで進んでいることを物語っている。この実証結果は事業所分布を考慮したこの分析のひとつの特徴といえるが，技術変化の効果がなぜこのように大きいかについてはさらに進んだ分析を必要とするであろう。

4. 固定投入要素の稼働率による修正

4.1 稼働率外生型モデル（I）

短期的に景気が良くなると設備の稼働率は上昇し，悪くなると操業時間の短縮を行なう，ということが生産現場ではしばしばきかれる。経済学ではこの現象を生産要素である資本ストックの稼働率の変化によってとらえることが可能である。資本の稼働率が変化するということは，そこから生

み出される資本サービス量が変化することを意味する[4]。よって，生産要素として資本ストックのみを考慮したのでは，景気の変動によって生じる資本サービス量の増減の効果が無視されてしまうことになろう。とりわけ第1次石油危機後，企業が生産調整を行なう過程において機械設備の稼働率に大きな変化があったことが予想された。もし，稼働率が大幅に下がったとするならば，従来の成長会計モデルでは資本ストックの貢献度が過大評価され，そのため生産性の効果が過少評価されている可能性がある。従って，稼働率を考慮した資本投入量の測定が急に重要視されるようになったのである。稼働率外生型モデルは，資本の稼働率を直接観測し，その数値を資本ストックに乗ずるかあるいは生産関数や費用関数に含めることによって上述の問題を解決しようとするものである。ここでは，Nadiri[52] と Fuss and Waverman[27] を例にとって説明しよう。

Nadiri は，Cobb=Douglas 型生産関数を前提とし，次のような成長会計モデルを作成した。

$$lnP=\alpha_0+\alpha_1 lnk+\alpha_2 lnU_t+\alpha_3 \Delta lnU_t+\alpha_4 lnR+\alpha_5 t \tag{22}$$

上式においてPは労働生産性，kは資本労働比率，Uは資本稼働率，RはR＆Dストック，そしてtは時間変数を表わしている。ここで，Uは生産能力規模と実際の生産量との比として求められているが，これは生産関数の1次同次性と生産者の合理的行動を前提とすれば，資本の稼働率として適当な代理変数といえる[5]。よって，(22) 式は次のように書くことができる。

$$lnP=\alpha_0+\alpha_1 lnk+\alpha_2 ln\frac{k^*}{k}+\alpha_3 \Delta ln\frac{k^*}{k}+\alpha_4 lnR+\alpha_5 t \tag{23}$$

ここで，k^* は資本の稼働率を考慮した資本労働投入比を表わす。この式を最小自乗法で推定し，パラメタ推定値に各項の時間変化率を乗ずることにより労働生産性の変化率に対する各項の貢献度が推定できる。Nadiri は (23) 式にアプリオリなパラメタ制約 $\alpha_1=\alpha_2$ を課した式も推定している。この制約が課せられれば，

$$lnP=\alpha_0+\alpha_1 lnk^*+\alpha_3 \Delta ln\frac{k^*}{k}+\alpha_4 lnR+\alpha_5 t \tag{24}$$

となり，稼働率で修正した資本ストックによる成長会計分析と見なすことができる。表4は，Nadiri[52] における (23) 式の推定結果を一部引用したものである。これによると，労働生産性に対する資本稼働率の効果を示す α_2 の推定値は，通信業，金融業以外ですべてマイナスである。これは，石油危機以後の稼働率の下落が労働生産性をスローダウンさせた一因であることを示している。しかし，Nadiri も触れているように，労働生産性に対する各種要因の効果を (23) 式1本のみで推定しようとすること自体に実験計画上の無理があるように思えてならない。たとえば，通信

4) 日本の場合，固定投入要素に労働を含めることにより労働時間を稼働率とする考え方も妥当するであろう。この点の必要性は Morrison [47] でも指摘されている。

5) 稼働率の変化分 ΔlnU を説明変数として追加する理由は Nadiri [52] に明記されていないが，稼働率変化のための調整コストのようなものを考えているのではないかと思われる。

業，金融業で稼働率係数がプラスとなっているのは明らかに理論との整合性を欠いており，変数間のマルティコリニアリティがもたらした結果であるように思われる。これらの問題を解決するためには，構造方程式をさらに増やして同時方程式体系に持っていくか，さもなければ指数論を利用するなりしてパラメタの数を減らしていくかの工夫をする必要があろう。

表 4 (23) 式推定結果

産　業	労働生産性変化率	資本労働比率	資本稼働率	タイムトレンド
全産業	−0.93	−0.40	−0.44	0.01
建設業	−1.06	−2.06	−0.00	−0.02
運輸業	−2.45	−0.40	−1.99	0.03
通信業	2.52	0.25	0.21	0.07
金融業	1.59	−0.64	0.57	0.14
製造業	−1.02	−0.23	−0.66	0.02

合衆国1974〜78年データによる推計　　Nadiri [52] より引用
数値は%表示

Fuss and Waverman [27] は，稼働率の観測値を外生変数として扱っている点で Nadiri と共通であるが，稼働率が包含する理論的意味から費用関数に制約を課しているという特徴がある。ここでは稼働率 100% の状態を資本ストックが固定インプットであると見なす短期費用曲線と可変であると見なす長期費用曲線の接点によって定義している。Fuss and Waverman は費用関数を次のように設定する。

$$C=G(w, Q, T_1, T_2, T_3) \tag{25}$$

ここで，wはインプット価格ベクトル，Qは生産能力規模，T_1 は稼働率，T_2 はR＆Dストック，T_3 は生産物構成指数を表わしている。ここでは Q の増加は生産能力そのものの拡大を意味するからその費用に与える効果を長期限界費用，T の増加の場合は稼働率の上昇による短期限界費用と解釈される。稼働率が 100% すなわち $T_1=1$ のときには，その定義から，

$$\frac{\partial lnC}{\partial lnQ}=\frac{\partial lnC}{\partial lnT_1} \tag{26}$$

が成り立っていなければならない。従って，費用関数 (25) 式を推定する際には，(26) 式がパラメタ制約として付け加えられることになる。Fuss and Waverman は費用関数のパラメタ推定の後，推定値に基づいて第1次石油危機の前と後で日米加における生産性上昇率の比較を行なっている。その一部を表5に引用した。生産性の上昇率に対する資本稼働率の貢献はカナダ，合衆国ではマイナスとなっている。これは，両国における石油危機後の稼働率の下落が生産性をおし下げたことを意味する。しかし，3国共通していえることは，生産性の上昇に対する技術変化の貢献が非常に高いということである。この点は，前掲の中島・吉岡[6] の結果と類似しており，同様に，そ

の原因に関する検討が今後望まれるだろう。

表 5 全要素生産性上昇率（1978－1980 対 1970－1972）

	TFP growth	Product Mix	Scale Economy	Capacity Utilization	Technical Change
カナダ	7.7	0.3	2.3	−3.4	9.3
合衆国	8.3	0.2	2.4	−4.2	11.1
日本	43.1	0.2	7.2	0.2	30.2

数値は期間成長率　　Puss and Waverman [27] より引用

以上のように，Fuss and Waverman のモデルでは稼働率を単に関数のアーギュメントとして付加するだけではなく，稼働率が持つ理論的な要素をも考慮し，さらにそれを費用関数推定の過程で反映させている点で評価できる。しかし，稼働率を外生変数として与える以上，そのデータとしての精度はきわめて重要な要素である。ここでは，(26) 式に見られるように観測された稼働率とモデルの整合性を保つようにパラメタ推定値が制約を受ける。よって，稼働率の観測値がデータ収集システムの不備や観測主体の主観に左右されるような場合には，パラメタ推定値にバイアスが生じる可能性は高くなってしまうのである。

4.2 稼働率外生型モデル（II）

前節で紹介したモデルでは，資本の稼働率は生産現場における機械設備の操業度など観測された値によって与えられるものとしてきた。それに対して以下に紹介するモデルは，稼働率を考慮した資本ストックの価値が金融市場で評価されているものと仮定し，市場価値の変動によって資本サービス量を推計しようとするものである。ここでは，Baily [9] および Kaufman and Jacoby [38] を例にとり，そのエッセンスだけを簡単に述べることにしよう。トービンの q 理論に基づけば，資本ストック C とそれに対する市場価値 V の間には次のような関係がある（簡単化のため投資財価格は1と規準化する）。

$$q=\frac{V}{C}$$

Baily はこの式を利用し，トービンの q の計算値から間接的に V を導いた。そして，資本サービス量を資本ストック V との幾何加重平均によって求め，それを用いて成長会計分析を行なった[6]。一方，Kaufman and Jacoby は資本ストックの金融市場での評価が株価に表わされているとみなし，株価指数と資本ストックの平均から資本サービス量を求めた。このような変更によって，TFP 上昇率がどの程度変化するかを Kaufman and Jacoby [38] の計算結果に基づいてみてみよう。表

6) ここで特に V と C の「幾何平均」がとられているのは，生産関数を対数線形のコブ・ダグラス型とおいているため，それとの整合性からであると思われる。

6は計算結果の一部を引用掲載したものである。結果を見ると，石油危機後の株価の下落が考慮され，1973年以降の生産性のスローダウンはここで取り上げたすべての国で上方修正されている。特に，日本では危機以前に株価が上昇していたことから1973年以前の生産性は下方修正されているので，危機の前後のスローダウンがかなり緩和されている。

表 6 全要素生産性上昇率

	再設置価格	市場評価		再設置価格	市場評価
U.S.			U.K.		
1968-78	2.60	3.36	1968-73	2.76	3.83
1973-78	0.52	2.00	1973-78	0.00	1.54
Canada			France		
1968-73	3.49	3.85	1968-73	4.22	4.62
1973-78	0.19	2.93	1973-78	2.48	4.95
Japan			West Germany		
1968-73	6.52	6.28	1968-73	2.97	4.60
1973-78	2.91	4.48	1973-78	2.20	3.07

数値は（%）表示　　Kaufman and Jacoby [38] より引用

このモデルは，次節で述べる資本稼働率内生型モデルと一部理論的に通じるところがあり，単なる直観に基づくモデルであると断じることはできない。しかし，この場合もトービンの q の計算方法や資本サービス量の代理変数である株価指数の妥当性に依然として問題が残るであろう。特に，株価は企業の将来収益についての予想によって変動するので，現在の資本サービス量と密接な関係があるとはいいがたい面がある。また，その値も中央銀行の金融政策や投資家の投機的心理の変化によって激しく変動し，必ずしも資本サービス量を正しく反映しているとは限らない。この点に関しては，たとえば株価の継続的上昇局面においてこのモデルが現実を正しく説明できるかどうか等モデルの妥当性チェックをする必要があろう。

4.3 稼働率内生型モデル（I）

稼働率外生型モデルでは，稼働率をいかにして精度よく計測するかが一つの大きな課題であった。また，稼働率100%といったとき，その基準のおき方に確たる定義がない場合が多く，またあったとしても資料の作成主体の主観に基づいているといった点に難があった。これに対する解決方法の一つが以下に紹介する稼働率内生型モデルである。理論の要点は，長期費用曲線と短期費用曲線の接点を固定インプットの最適投入点としてその稼働率が100%であると定義する。そして接点以外のレベルで固定インプットの投入が行なわれているときには，それが最適投入量とみなせるように固定インプット価格を修正してから成長会計に組み入れることを主張するものである[7]。

7) 以下で紹介する理論モデルの詳細については，たとえば，Hulten [33] を参照されたい。また，Jo↗

はじめに，社会会計バランス式の背後にある生産関数を次のように設定する。

$$y=F(\boldsymbol{x}, k, t) \tag{27}$$

ただし，$\boldsymbol{x}$は可変インプットベクトル，kは固定インプットである。ここでは単純化のために固定インプットのための調整コストは考慮せず，固定インプットの決定については触れないでおこう。また，生産関数は$\boldsymbol{x}$とkについてη次同次と仮定する。この生産関数に基づき，yとkを所与として可変費用最小化を行なった結果，導かれる費用関数は，

$$C=\sum_i p_i x_i^*+p_k k=G(\boldsymbol{p}, k, t)+p_k k \tag{28}$$

となる。ここで，p_iは可変生産要素の価格で$\boldsymbol{p}$はそのベクトル，p_kは固定インプット価格である。また，費用関数の成立条件よりG関数は$\boldsymbol{p}$に関して concave，kに関して convex でなければならない。ここで（28）に（27）を代入すると，

$$C=G[\boldsymbol{p}, k, F(\boldsymbol{x}, k, t), t]+p_k k \tag{29}$$

を得る。(29) 式を x_i, k, t で微分すると，

$$\frac{\partial C}{\partial x_i}=\frac{\partial G}{\partial y}\frac{\partial F}{\partial x_i}=G_y F_{xi}=p_i \tag{30}$$

$$\frac{\partial C}{\partial k}=\frac{\partial G}{\partial k}+\frac{\partial G}{\partial y}\frac{\partial F}{\partial k}+p_k=G_k+G_y F_k+p_k=p_k \tag{31}$$

$$\frac{\partial C}{\partial t}=\frac{\partial G}{\partial y}\frac{\partial F}{\partial t}+\frac{\partial G}{\partial t}=G_y F_t+G_t=0 \tag{32}$$

となる。これを整理すると，

$$F_{x_i}=\frac{p_i}{G_y},\quad F_k=\frac{G_k}{G_y},\quad F_t=\frac{G_t}{G_y} \tag{33}$$

となる。これは生産要素の限界生産力と技術変化による生産関数のシフトを費用関数によって表わしたものである。(29) 式の対数をとり，lny で微分すると，

$$\frac{dlnC}{dlny}=\frac{\partial lnC}{\partial lny}+\frac{\partial lnC}{\partial lnk}\frac{dlnk}{dlny}=\frac{G_y y}{C}+(G_k+p_k)\frac{k}{C}\frac{1}{\eta}=\frac{1}{\eta} \tag{34}$$

を得る。これより，

$$G_y=\frac{1}{\eta y}[C-(G_k+p_k)k]=\frac{1}{\eta y}[G(\boldsymbol{p}, k, y, t)-G_k k]=\frac{C^*}{\eta y} \tag{35}$$

ここで，C^*は固定インプット価格をそのシャドウプライスで評価したコストである。

↘ *urnal of Econometrics* 33 (1986) では，この稼働率内生型の生産性分析が集中的に収録されている。そこでの各種論文（Shankerman and Nadiri, Morrison, Hazilla and Kopp, Slade 等）も参照されたい。

短期平均費用と長期平均費用が接する点を固定インプットの最適稼働点とすれば，その点からの乖離度が固定インプットの稼働率と見なせる。この点は，長期限界費用と短期限界費用が一致している点でもあるから，費用弾性も両者は等しい。よって，

$$\frac{dlnC}{dlny}=\frac{\partial lnC}{\partial lny}$$

より，

$$\frac{\partial lnC}{\partial lnk}\frac{dlnk}{dlny}=(G_k+p_k)\frac{k}{C}\frac{1}{\eta}=0$$

が成り立っていなければならない。これは，

$$-G_k=p_k$$

を意味する。最適点を超えて短期的生産拡大を行なうと，固定インプットの稼働率が上昇し，短期費用弾力性も上昇する。長期費用弾性は生産関数の同次性により一定だから，$(G_k+p_k)\frac{k}{C}\frac{1}{\eta}$ が最適点のゼロ値から上昇分だけ下落しなければならない。このことは，同時に，

$$-G_k>p_k$$

であることを意味する。一方，生産量が最適点以下の場合は，短期費用弾性が長期よりも小さくなっているケースに相当するから，

$$-G_k<p_k$$

が成り立っている。このように，C^* は短期費用を稼働率最適点のコストに等しくなるように k の価格を調整したものと見なすこともできる。

次に，生産関数（27）に基づき，成長会計を作成しよう。(27) 式の対数をとり時間で微分すれば，

$$\frac{dlny}{dt}=\sum_i\frac{F_{x_i}x_i}{y}\frac{dlnx_i}{dt}+\frac{F_kk}{y}\frac{dlnk}{dt}+\frac{\partial lnF}{\partial t} \tag{36}$$

これに（33）を代入すると，

$$\frac{dlny}{dt}=\sum_i\frac{p_ix_i}{G_yy}\frac{dlnx_i}{dt}+\frac{G_kk}{G_yy}\frac{dlnk}{dt}+\frac{\partial lnF}{\partial t} \tag{37}$$

さらに（35）を代入して整理すれば，

$$\frac{dlny}{dt}=\eta\left(\sum_i\frac{p_ix_i}{C^*}\frac{dlnx_i}{dt}-\frac{G_kk}{C^*}\frac{dlnk}{dt}\right)+\frac{\partial lnF}{\partial t}$$

$$=\sum_i\frac{p_ix_i}{C^*}\frac{dlnx_i}{dt}-\frac{G_kk}{C^*}\frac{dlnk}{dt}$$

$$+(\eta-1)\left(\sum_i \frac{p_i x_i}{C^*}\frac{dlnx_i}{dt}-\frac{G_k k}{C^*}\frac{dlnk}{dt}\right)$$

$$+\frac{\partial lnF}{\partial t} \tag{38}$$

を得る。(38) 式より，生産量の上昇率は，稼働率で修正された生産要素投入の効果（第1段），規模の経済性の効果（第2段），技術変化の効果（第3段）とに分解されることがわかる。よって，従来の方法によって計算された TFP の上昇率は，次のように分解されることになる。

$$\frac{dlnTFP}{dt}=\frac{dlny}{dt}-\sum_i \frac{p_i x_i}{C}\frac{dlnx_i}{dt}-\frac{p_k k}{C}\frac{dlnk}{dt}$$

$$=(\eta-1)\left(\frac{p_i x_i}{C^*}\frac{dlnx_i}{dt}-\frac{G_k k}{C^*}\frac{dlnk}{dt}\right)$$

$$+\frac{\partial lnF}{\partial t}$$

$$+\sum_i\left(\frac{p_i x_i}{C^*}-\frac{p_i x_i}{C}\right)\frac{dlnx_i}{dt}-\left(\frac{G_k k}{C^*}-\frac{p_k k}{C}\right)\frac{dlnk}{dt} \tag{39}$$

この TFP 上昇率の分解式で注意すべきは，規模の経済性の効果が固定インプットのシャドウプライスによって修正されている点と，その修正された部分が最適規模からの乖離として第3項で独立して取り上げられている点である。

上記の成長会計を作成するためには，k のシャドウプライス $-G_k$ を知る必要があるが，そのための方法は主として2つある。ひとつは上で示された G 関数を特定化し，それを推定する方法であり，ほとんどの稼働率内生型モデルはこの方法によっている。もう一つは，もし固定インプットが資本ストックであるならば，トービンの投資理論とミクロ経済理論との接合によってトービンの q から k のシャドウプライスを逆算する方法であり，これは Berndt and Fuss[12] によって採用されている。

G関数の特定化による方法について簡単な例を示そう。ここでは，生産関数 (27) が η 次同次関数なので可変費用関数Gは関数形がいくぶん制約をうける。すなわち，(34) 式を変形して，

$$\frac{G_k y}{G}+\frac{G_k k}{G}\frac{1}{\eta}=\frac{1}{\eta}\frac{C}{G}-\frac{1}{\eta}\frac{p_k k}{G}=\frac{1}{\eta}$$

を得る。これより，G関数は y と k^η に関して$\frac{1}{\eta}$次同次であることがわかる。よって，G関数は，

$$G(p, k, y, t)=G\left[p, \left(\frac{k^\eta}{y}\right)^{\frac{1}{\eta}}, 11t\right] y^{\frac{1}{\eta}}$$

$$=g\left(p, \frac{k}{y^{\frac{1}{\eta}}}, t\right) y^{\frac{1}{\eta}} \tag{40}$$

と変形できる。ここでg関数を2次形式，トランスログ型あるいは一般化レオンチェフ型などなるべく関数の特定化バイアスを排除できる一般的な関数形に特定化する。そしてパラメタの推定は，通常，(40) 式に要素需要関数を連立させて行なわれる。kインプット投入のための調整コストを考慮している場合は，G関数は，

$$G(p, k, \Delta k, y, t)=g\left(p, \frac{k}{y^{\frac{1}{\eta}}}, \Delta k, t\right) y^{\frac{1}{\eta}} \tag{41}$$

となる。このときは，kは準固定インプットと見なされ，

$$\mathrm{Min}_{k,k} \quad \int_0^\infty \left[g\left(p, \frac{k}{y^{\frac{1}{\eta}}}, \Delta k, t\right) y^{\frac{1}{\eta}}+p_k k\right] e^{-rt} dt \tag{42}$$

を解くことによってその水準が決定される。この最適化問題から，オイラーの微分方程式，

$$G_k+rG_{\Delta k}+p_k-G_{\Delta k \Delta k}\Delta^2 k-G_{k\Delta k}\Delta k=0 \tag{43}$$

が導かれ，これを連立方程式に付け加えることも可能である。この方法は，固定インプットの需要決定をあわせて分析する場合や，固定インプットの数が複数で費用関数と要素需要関数のみでは自由度が不足したりマルティコリニアリティが発生し易かったりする場合に多く適用されている。こうして推定されたG関数をkで微分することにより，kのシャドウプライスを求めることができる。

一方，トービンのqから資本のシャドウプライスを逆算する方法は，次のような理論的根拠に基づいている。まず，生産関数Fがx，kに関して1次同次であると仮定する。このとき固定インプットが最適規模の長期均衡では完全分配が成立している。資本のシャドウプライスに基づいて求められた総費用C^*は長期均衡を実現している仮想状態である。よって，生産物価格を1と規準化すれば$C^*=y$が成り立つことになる。すると，(33) 式における資本の限界生産力は，

$$F_k=-\frac{G_k}{G_y}=-G_k\frac{y}{C^*}=-G_k$$

となり，資本のシャドウプライスに一致する。資本の限界生産力は資本ストックの収益率であり，資本価格p_kは投資家の資本に対する要求利回りとしての資本コストである。するとその比である$-\frac{G_k}{p_k}$はまさにトービンのqとみなすことができるのである。実際，$-G_k>p_k$のケースは，資本の限界生産力が資本コストより大きく，資本の稼働率が100%を超えている状態を表わしている。このときは最適資本規模を実現するために投資が必要であり，$q>1$と整合的である。従って，トービンのqが精度よく計測されていれば，そこからG_kを求め，稼働率によって修正された成長会計を作成することは正当な方法といえよう。

以上述べた稼働率内生型モデルの適用例は数多く存在している[8]。よって，ここではその代表例

として，Morrison [47] を取り上げ，その計測結果を見ることにしよう。彼女の分析は，本稿第2章で述べた成長会計理論から計算される技術変化率が，(1)Ohta[54] に基づく規模弾性による修正，(2)固定インプットの存在を考慮したことによる修正，(3)固定インプット投入の調整コストを加味したことからの修正，そして，(4)固定インプットの稼働率による修正，という4種類の修正過程を経ることによってどう変化していくかを調べたものである。その結果の一部は表7に示されている。このなかできわめて重要な結果として注目されるのは，合衆国において修正以前には石油危機の前と後で2倍近くまで離れていた技術変化率が修正した後ではほとんど同値となっている点である。これは，Morrison による修正方法の有効性を示すものといえる。日本についても修正によって生産性上昇のスローダウンの割合はかなり緩和されており，とくに稼働率修正の効果は大きい。一方，カナダの場合は下方修正の程度が非常に大きく，石油危機後の生産性上昇率はマイナスとなっている。この点についてはなんらかの追加的な説明が必要とされるであろう。

表 7　製造業の技術変化率

	通常の成長会計	規模弾性修正	固定的資本による修正	調整コストによる修正	資本稼働率による修正
U.S.					
1960-73	0.976	0.476	0.874	0.870	0.359
1974-81	0.512	0.393	0.492	0.466	0.358
Japan					
1960-73	1.659	0.872	2.131	2.120	1.315
1974-81	0.459	0.102	0.694	0.719	0.414
Canada					
1960-73	1.025	0.395	1.021	1.034	0.371
1974-81	0.103	−0.249	−0.038	−0.053	−0.429

数値（%表示）は左から上記修正を重ねていった結果を示す
Morrison [47] より引用

4.4 稼働率内生型モデル（II）

Epstein and Denny [25] は，前節とは別の視点から，同じく資本の稼働率を内生的に決定するモデルを考えた。この理論の基本的な発想は，資本ストックの稼働率を高めると減価償却が増え，それだけ来期の稼働可能な資本ストックを減少させるという点である。彼らはこれを生産関数上で次のように表現した。

8) 以下で取り上げる Morrison [47] の他にも，Morrison [45] [46]，Nadiri and Prucha [49] [50] などがある。また，サプライショックモデルとして知られる Bruno and Sachs [15] は，エネルギー価格の急激な上昇に対する生産者の反応によって経済成長のスローダウンが発生することを説明している。そのモデルでは資本インプットの調整はトービンの q 理論に基づいており，成長スローダウンの過程で $q<1$ となるケースが現れる。この状態は，資本の稼働率が100%を下回っていることを意味するから，Bruno and Sachs モデルでも第1次石油危機以後の生産性スローダウン現象を説明することが可能である。

$$y_t = F(z_t, k_t, k_t^*) \tag{44}$$

ここで，y_t は t 期の生産量，z_t は t 期の生産に使用される資本以外のインプット投入量ベクトル，k_t は t 期首の資本ストック，k_t^* は t 期末の資本ストックを表わす。ここでは，期間中の新規投資については，次期に資本ストックに組み込まれて稼働するものと仮定している。よって，理論との整合性から，F は z と k に関して増加関数，k^* に関して減少関数である。k 一定のまま稼働率を上昇させると，資本の磨耗度が高まり k^* は減少する。その代わり，k^* を余り下げないようにしようとすれば，それだけ稼働率を下げなければならず，生産量は減少することになる。以上の定義から，k, k^* そして投資 I の間には次のような恒等関係が存在する。

$$k_t = k_{t-1}^* + I_t \tag{45}$$

Epstein と Denny は，生産者が (45) を制約として将来にわたる利益流列の現在価値を最大化すると仮定しているが，実際には離散型の最適化問題を解いているため，これは (45) 式によってつながれた2期間の利潤最大化問題に帰着する。期首の資本ストックと当期の新規投資を外生変数としてこれを解いた結果，次のような t 期の利潤関数が導かれる。

$$\pi_t = \pi(p_t, w_t, q_t ; k_t) \tag{46}$$

ここで，p は生産物価格，w は z の価格ベクトル，q は投資財価格を表わす。周知のホテリングの補題より，

$$\begin{aligned} y_t &= \pi_p(p_t, w_t, q_t ; k_t) \\ k_t^* &= \pi_q(p_t, w_t, q_t ; k_t) \\ z_t &= -\pi_w(p_t, w_t, q_t ; k_t) \end{aligned} \tag{47}$$

が導出される。ここでのモデル式の推定は次のように行なわれる。はじめにパラメタと第0期の k_0 を所与として k_t^* を計算し，(45) から k_1 を求め，再度 (47) 式から k_t^* を計算するというプロセスを繰り返し，k の理論値の時系列を作成する。その k の時系列に基づいて方程式体系の尤度を求め，尤度が最大になるように初期のパラメタを動かすのである。こうしてモデルともっとも整合的な期首資本ストック k の値と期末までの減価償却率が内生的に決定することになる。

以上のように，Epstein and Denny のモデルは，資本の稼働率を資本の磨耗度でとらえ，それを減価償却率と結び付けて期首資本ストックに反映させた点で注目すべきものである。しかし，現在のように技術革新が急ピッチで進む経済においては，減価償却が必ずしも磨耗によってのみなされるとは限らない。数年前に購入した設備が，たとえ磨耗度は少なくても，技術進歩が速いために陳腐化し，新しい設備に置き換えられることは頻繁に見られる。このモデルでは，稼働率が下がる

と期末資本ストックがそれだけ多く残るという仮説が前提となっているが，陳腐化した資本の稼働率が下がっているような場合には，適切な仮説とはいえないであろう。特に，第1次石油危機の後，エネルギー多消費型の機械は急激に陳腐化し，新たに開発された省エネ型の機械にとって代わられていった。彼らの論文では石油危機以降の計測がなされていないが，モデルの頑健性のチェックの意味でも，危機以降の生産性の変化率がこのモデルではどう説明されるかを調べてみる必要があるといえるだろう。

5. 研究開発（R&D）投資と生産性

5.1 R&D 投資を含む生産性の基本モデル

本論第2章でも述べたように，通常の成長会計モデルでは生産性の上昇率は生産量の上昇率から各種生産要素投入による貢献を差し引いたあとの残差として求められる。また，生産関数ないし費用関数の推定によるパラメトリックな接近方法によれば，生産性の上昇率を規模の経済性の効果と技術変化の効果とに分解することが可能である。いずれの方法にせよ技術変化を天から降ってきたものと見なしていることには変わりない。しかし，生産技術のなかには学習効果のように時間の経過とともに自然発生的に起きるものもあれば，企業が自ら行動をおこして獲得したものもある。もし，後者の技術獲得プロセスを何らかの形で数量的に把握することが可能ならば，それを積極的に生産分析に取り入れることが望ましいであろう。以下に紹介する企業の研究開発投資モデルは，技術をエクスプリシットに取り扱うための基本的ツールとして登場したわけである。

R＆D投資が生産性に与える影響についてはこれまで数多くの研究がなされてきた。その基本モデルは，Griliches [29] において示され，以後のR＆Dの生産性分析はこれを出発点として発展してきたといっても過言ではない。Griliches によって示されたモデルはR＆D支出を一生要素として含む次のような Cobb-Douglas 型の生産関数を基本とする。

$$lnQ=lnA+\sum_{i=1}^{3}a_i lnx_i+blnR+\lambda_t \tag{48}$$

ここで，$\sum_{i=1}^{3}a_i=1$ であり，Qは産出量，k_1 は物的資本ストック，x_2 は労働，x_3 は原材料（エネルギーを含む），Rは技術知識ストック，そしてλはR以外の Hicks Neutral な技術進歩率を表している。(48) 式により表現される生産関数を前提とした TFP 上昇率は，次のように定義される。

$$\frac{dlnTFP}{dt}=\frac{dlnQ}{dt}-\sum_{i=1}^{3}s_i\frac{dlnx_i}{dt} \tag{49}$$

ただし，$s_i=\frac{p_i x_i}{\sum_j p_j x_j}$ である。1次同次生産関数に基づく限界生産力命題により，各投入要素の生

産弾力性は総費用に占めるシェアに等しいから，(49) 式は，

$$\frac{dlnTFP}{dt}=\lambda+\rho\frac{dR}{dt}\frac{1}{Q}+\mu \tag{50}$$

である。ここで，ρ はR＆Dストックの限界生産物すなわちR＆D投資の収益率，μ は誤差項を表わす。ここで，R＆Dストックの減価償却がゼロであり，また当期のR＆D投資がそのまま来期のR＆Dストックに蓄積されるという2つの仮定をおけば，$\frac{dR}{dt}$をR＆D投資に置き換えることができる。さらに，TFPの上昇率をコブ・ダグラス型生産関数に各生産要素のコストシェアーをあてはめて計算することにより，(50) 式からR＆D投資の収益率 ρ が推定される。

しかし，現在のように技術変化のスピードが速い時代にあっては，R＆Dストックの減価償却がゼロというのはきわめて非現実的な仮定といわざるを得ない。またR＆D投資が即座に来期の技術知識の蓄積として生産に貢献するという前提にも疑問が残るところである。こうした点を突き詰めていくと，問題はR＆Dストックをどのように推計するかに帰着することになろう。R＆D資本ストックは「ある時点において企業または産業が保有する技術知識のストック」と定義される。しかし，実際，企業において技術知識がどのようなプロセスを経て獲得され，それが生産に対しどう貢献をしたかを厳密に数量化していくことは多くの困難を伴う。したがって，R＆D投資による知識の蓄積を計測し，R＆D投資の生産性に対する貢献を分析するためには，R＆D投資に関する何らかの仮定を前提として議論を進める必要が生じる。この問題に関し，Griliches はある時点のR＆D資本ストックは過去におけるR＆D投資の遅れを伴った成果の蓄積であるとして次のようなR＆Dストックモデルを提示した。

$$K_t=f\,[W(B)R_t, v] \tag{51}$$

ここで，K_t は t 期のR＆D資本ストック，R_t は民間企業による実質R＆D投資，B はラグオペレーター，Wはラグ関数，v は確率的攪乱要因である。よって，$W(B)R_t$ はR＆D投資のラグ多項式となり，

$$W(B)R_t=(w_0+w_1B+w_2B^2\cdots)R_t=\sum_{i=0}^{n}w_iR_{t-i} \tag{52}$$

と表わされる。この式は，過去の研究開発支出をその成功割合 w_i によってウェイト付けして累積したものと解釈できる。さらに，(51) 式を適当な関数に特定化してやれば，R＆D資本ストックが求められる。

近年のR＆Dストックを考慮した生産性分析のほとんどは，以上の理論モデルに基づいたものである。[9] それらの実証結果をみてみると，たとえば，Griliches[29] では生産性の成長率に対する

9) この基本モデルのバリエーションとして，生産技術の外部効果（技術の漏れ効果：spillovers effect,↗

R＆Dストックの貢献度が計測され，1960年代以降の合衆国の労働生産性のスローダウンがR＆Dストック上昇率の鈍化によるものという結果が導かれている。[10]

5.2 ダブルカウンティングによる基本モデルの修正

Griliches の基本モデルでは，詳細な企業データの入手が困難なことからR＆D支出の総額がそのままデータとしてR＆Dストックの推計に用いられ，支出の性格や内容についての検討はなされていない。しかし，R＆D支出は労働，資本，原材料等の生産要素購入から構成されている。したがって，生産のために投入された生産要素とR＆Dのために投入された生産要素を区別せずにR＆D収益率を計測すると，その推計値にダブルカウンティングによるバイアスが生じてしまう可能性がある。Schankerman [57] は，このダブルカウンティングの問題をとりあげ，それによってR＆D収益率にどの程度のバイアスが生じているかを推計した。

Schankerman は Griliches の方法によると2種類のバイアスが生じると指摘している。その第1はインプットバイアスである。TFP上昇率を計算するさい，インプット投入はディビジア指数の離散近似型によって集計される。そのときのインプット投入にR＆Dストック形成のための投入が含まれていると，その部分が生産要素として二重に入り込み投入指数を過大に計算してしまうことになる。Shankerman はこの二重に算入されている部分を差し引くことにより，インプットバイアスの修正を行なった。第2のバイアスはアウトプットバイアスである。このバイアスは，Griliches モデルで生産物として付加価値をとった場合に生じる。通常，付加価値はグロスアウトプットから中間投入を差し引いて計算される。ところが，差し引かれる中間投入の中にR＆Dストック形成のための部分が含まれていると，付加価値は逆に過少に計算されてしまう。なぜならR＆D支出に含まれる中間財は技術知識の形態をとって蓄積されていくのでグロスアウトプットから差し引くのは適当ではないからである。Shankerman の算出結果によると，インプットバイアスとアウトプットバイアスが相殺しあい，総合的なTFP計測値におけるバイアスの程度は－6～－9％と幾分軽減されている。しかし，その点を割り引いても，ダブルカウンティングの問題はR＆D分析結果において考慮に値する影響を与えるものと認識すべきであろう。

これについては6.3節を参照）を説明変数として追加したモデルもある。たとえば，Goto and Suzuki [28] など。

10) Griliches [30] は，79年論文における R&D ストックが過少推計になっていたとして再推計を行ない，R&D ストックそのものの減少よりむしろ R&D ストックの収益率にダウンがみられるという計測結果を導いた。また，Englander and Mittlestadt [23] および Englander, Evanson, and Hanazaki [24] でも，OECD 諸国においては R&D ストックの上昇率は増加しており，それが TFP 上昇に反映されていないとの指摘がなされている。

5.3 産業間技術フローモデル

Griliches のR＆Dモデルは，技術の源泉として過去のR＆D投資の累積であるR＆Dストックをエクスプリシットに扱っている。しかし，生産性を向上させる技術の源泉が必ずしも企業自身による新規の技術開発だけであるとは限らない。企業が自ら新しい技術開発に着手する場合，そこには「研究開発の成功」とともに常に「失敗のリスク」が併存する。もし，「失敗のリスク」が大きいと予想されるならば，企業は自社開発をするよりむしろ他企業がその時点ですでに開発に成功している技術あるいはその技術によって生産された中間材を購入するという行動をとるであろう。したがって，企業は新技術の開発に関するリスクの程度に照らし，自らR＆D投資を行なうか，それとも他社が開発した技術を導入するかの選択を行なうことになる。

このような「R＆Dを実行する産業」と「その産業が生産した中間財を購入する産業」を区別する必要性を最初に指摘したのは Schmookler[62] である。これを受け，Scherer[60] は，400社以上に及ぶ合衆国大企業のR＆D支出データをもとに産業間で取引きされる中間財に体化されている技術量を技術フローマトリックスの形で明示した上で，「他産業から中間財を経由して入ってきた技術」と生産性上昇の関係を調べた。そこでのTFP回帰式の推定の結果，オリジナルなR＆Dよりも中間財に体化されたR＆Dのほうが生産性に対する貢献度が大きいことが明らかにされた。

一方，Griliches and Lichtenberg[31] は，中間財に技術が体化されているならば，その技術の利用価値，質，限界生産性などはその取引価格に表わされているはずであり，Scherer のように他産業のR＆D支出をエクスプリシットに「移入技術効果」としてとりあげることは独占的技術開発者の市場支配力等による中間財市場の不完全性を前提としていると指摘した。そして，通常観測される中間財価格が本来成立するはずのノーマルな価格から乖離している部分を「エラー」と名付け，そのエラー調整を行なってから通常のTFP回帰分析を行なうべきであると主張した。さらに，彼らはモデル特定化の段階で，エラーが中間財を生産している産業におけるR＆D集約度（R＆D支出が生産量にしめる割合）に比例して発生するものと仮定している。Griliches and Lichtenberg[31] では，以上の仮説に基づき，TFP回帰式の推定によってエラー効果とオリジナルR＆D効果の比較がなされている。推定の結果，Sherer[60] のケースとは異なり，オリジナルR＆D効果もエラー効果と同様に有意に測定され，しかもエラー効果は第1次石油危機以降弱まってきていることが示された。

市場が競争的ならば，中間財に体化される技術がその市場価格に反映されるというのは経済理論上きわめて自然な考え方であり，本論3章で紹介した黒田・吉岡・清水によるTFPの産業間波及モデルはこれを応用したものといえる。その点からいえば，G-L のモデルは，黒田・吉岡・清水モデルで成長会計の残差として計算されていた生産性指標をR＆D集約度の形で陽表化したものとの解釈も成り立つであろう。

5.4 同時方程式モデル

これまで紹介してきたR＆Dモデルは生産関数に基づく単一方程式体系が基本となっていたが，Odagiri[53] は生産性に関する「学習効果」と生産物需要に関する「価格効果」を新たに取り入れ，同時方程式体系によってR＆Dと生産性の関係を分析しようと試みた。彼のいう「学習効果」とは，生産量の拡大が生産活動に関する経験の蓄積を通じて生産性に向上させることを指している。他方，「価格効果」は，生産性の向上によってもたらされた生産物価格の下落が需要を喚起し，ひいては生産量の増加につながるという連鎖のことをいう。この2種類の効果を取り入れた生産性モデルは次のような3本の方程式によって表わすことができる。

$$Z=\alpha_0+\alpha_1 Y+\alpha_2 RD+\alpha_3 XRD+\alpha_4 UNI$$

$$Y=\beta_0+\beta_1 GWPI+\beta_2 ADV$$

$$GWPI=\gamma_0+\gamma_1 Z+\gamma_2 XRD+\gamma_3 BIG$$

ここで，Zは生産性上昇率，Yは生産量上昇率，$GWPI$ は卸売物価上昇率，RD はR＆D集約率，XRD は購入する中間財に体化されているR＆D集約率，UNI は組合に所属する労働者の比率，ADV は売上額にしめる広告宣伝費の割合，そして BIG は千人以上従業員規模の企業の出荷額シェアーを表わす。いうまでもなく，Z，Y，$GWPI$ はここでの内生変数である。このモデルのそもそもの発想は，合衆国で1960年代半ば以降観測される生産性上昇率のスローダウンに対し，これまでの分析ではR＆D投資の減退をその原因とするものがほとんどであったことに起因している。これと同じ時期に生産性のスローダウンを経験していない日本が合衆国に比べて極端にR＆D投資が大きかったわけではない。このような観測事実とモデルの不整合に対し，Odagiri は，本来同時方程式体系でなされるべき生産性分析を単一方程式で行なったために同時方程式バイアスが発生し，それがこのような矛盾をもたらしたと考えたのである。このバイアスを回避するために，Odagiri はこの方程式体系のパラメタを2段階最小自乗法で推定した。その結果，従来の単一方程式モデルによる推定ではR＆D集約度の生産性に対する貢献度が過大に評価されていることが示されたのである。

生産量の上昇率と生産性上昇率がきわめて高い相関を持つということは，先進各国の過去の観測事実からも明らかである（吉岡［7］第4章 pp. 109 以下参照)。Odagiri はこれを「学習効果」とみなしているが，供給のボトルネックが比較的小さい状況においては，有効需要の拡大が供給を刺激し，それが潜在的な規模の経済性の効果を顕在化させて生産性を上昇させるというルートも十分に考えられる。Odagiri のいう「学習効果」がこの分析においてどの程度識別できているかについては，今後検討の余地を残しているといえるだろう。

6. その他の生産性分析

6.1 規制と生産性

規制と生産性の関係について扱った研究は，主として次の2ケースに分類することができる。そのひとつは，生産性に対して規制がプラスマイナスいずれの影響を与えているのかを生産性回帰式の推定によって直接的に知ろうとするものである。もうひとつは，ある特定の規制をそれが課せられた企業の最適化行動における制約として取り扱い，制約付きの最適化問題を解くことによって通常の制約無しの場合の生産性指標にどのような変更がなされるべきかを分析したものである。ここでは，前者の分析例として，Christainsen and Haveman[17] と Crandall[21]，後者については，Cowing, Small and Stevenson [20] をとりあげることにしよう。

前者のうちの Christainsen and Haveman による分析では，政府による規制全般がマクロTFPに与える影響についての計測がなされている。彼らの推定式は以下のとおりである。

$$lnTFP=lnA+\alpha \boldsymbol{R}+\beta T+\gamma ln\left(\frac{Q}{Q^*}\right)+\delta ln\left(\frac{Q}{Q^*}\right)_{-1}+v \qquad (53)$$

ここで，$\boldsymbol{R}$は規制変数ベクトル，Tは時間変数，Qは生産量，Q^*は生産能力規模（自然失業率に対応した生産量）を表わしている。ここで重要なのは，変数 $\boldsymbol{R}$ をどのようにして選ぶかである。ここでは，データ観測時に有効な規制法の数（R_1），データ観測時の規制当局の支出額（R_2），そして規制当局に雇われているフルタイム労働者数（R_3）の3変数が取り上げられている。α パラメタの値から，規制の増加によって生産性がどのくらい押し下げられるかを知ることができる。その計算結果を Christainsen and Haveman [17] から引用し，表8に示した。これによると，規制の存在は生産性を押し下げ，しかも石油危機以後その効果が大きくなっている。従って，ここでの計算による限り，規制の存在は石油危機後の生産性スローダウンの一要因と見なすことができる。

表 8 規制変数の TFP への貢献度

	TFP	R_1	R_2	R_3
1958-65	1.4	−0.073	−0.030	−0.030
1965-73	0.6	−0.148	−0.330	−0.202
1973-77	0.3	−0.224	−0.301	−0.299

数値は%表示
Christensen and Haveman [17] より引用

他方，Crandall は，公害規制が合衆国の製造業における労働生産性にどのようなインパクトを与えたかを調べている。彼の基本的発想は，分析当時の合衆国の公害防除規制は製造業にとってあまりに厳しすぎるものであり，その基準をクリアするために新規設備投資や新技術開発のための投資

が妨げられ，結果的にはそれが生産性のスローダウンをもたらしたというものである。その分析のための回帰式は以下のように示される。

$$\left(\frac{Q}{L}\right)_{1976}-\left(\frac{Q}{L}\right)_{1960}e^{16g}=F\left[\left(\frac{Q}{Q^*}\right)_{1976},\ \left(\frac{POLL}{WA}\right)\right] \tag{54}$$

ここで，$\left(\frac{Q}{L}\right)_{1960}$ および $\left(\frac{Q}{L}\right)_{1976}$ はそれぞれ1960年と76年の労働生産性，g は1960年から73年までの年平均労働生産性上昇率，Q^* は1960年から73年までの Q の年平均成長率が76年まで維持された場合に実現したであろう Q の水準，そして，$\left(\frac{POLL}{VA}\right)$ は付加価値1単位あたりの公害防除費用を表わしている。彼は，この式によって，トレンドとして本来ならば実現されるべき労働生産性水準が公害防除に費やさねばならない努力によってどのくらい影響を受けたかを，$\left(\frac{Q}{Q^*}\right)$ を入れることによって景気変動要因をコントロールしつつ計測しようとした。計測の段階では，F 関数は線形に特定化されており，計測の結果，$\left(\frac{POLL}{VA}\right)$ にかかるパラメタの推定値は有意にマイナスとなっている。

このように，この2つの分析は規制の存在が生産性に与える効果をきわめてテンタティブな回帰式によって直接推定しようとしたものといえる。確かに，現在，我々の周囲を見回しても，旧態依然とした規制が既得権益を有する集団と迎合して自由競争を阻み，その結果として生産性の向上を妨げているケースを幾つか見いだすことができる。そして，事実，規制の撤廃が市場の拡大をもたらし，社会全体の厚生を高めている点も認められる。しかし，規制というのは，経済にとって悪い面だけを持っているわけではない。極端な話として，世の中にある規制をすべてなくしてしまった場合，はたして一国全体の生産性は上がるだろうか[11]。この点はきわめて疑問の多いところであろう。

Cowing, Small and Stevenson の研究は，公共性の強い産業に属する企業にしばしば課せられる「公正報酬率規制 (rate of return constraint)」が生産性指標にどのような影響を与えるかについてなされたものである。ここでいう公正報酬規制とは，企業の収益が資本ストックのある一定割合におさまることを要請する規制である[12]。彼らは，この規制が課せられた場合の企業の費用最小化問題を解くことにより，報酬率規制下での成長会計を作成した。途中を省略して結果のみ示せば，次のようになる。

$$\frac{dlny}{dt}=\sum_i w_i\frac{dlnx_i}{dt}+w_k\frac{dlnk}{dt}+(\text{技術変化率}) \tag{55}$$

11) 独占禁止法，公害防止法，消費者保護立法，失業保険制度…といった法律，制度を廃止すれば生産性は高まるだろうか？ 公害防止法によって特定の産業は確かに公害対策のための追加的費用を余儀なくされたが，長期的またはマクロ的視野でみた場合にこれが生産性の低下といえるのか？

12) 公正報酬率規制が課せられたとき，企業の最適化行動にどのような変化がもたらされるかについては，Averch and Johnson [8] がその古典的研究として知られ，その変化ないし効果のことを Averch-Johnson effect と呼んでいる。報酬率規制と生産性の関係については，Fuss and Waverman [26] および Denny, Fuss, and Waverman [22] にも理論面に限った検討がなされている。

ただし，

$$w_i=\frac{p_i x_i}{\left[\gamma\left(\sum_i p_i x_i+\frac{p_k-\mu S}{1-\mu}k\right)\right]}$$

$$w_k=\frac{\frac{p_k-\mu S}{1-\mu}}{\left[\gamma\left(\sum_i p_i x_i+\frac{p_k-\mu S}{1-\mu}k\right)\right]}$$

である。ここで，kは資本ストック，x_iは資本ストック以外の生産要素，p_kとp_iはそれぞれの価格である。また，γは規模弾性の逆数，μは企業の費用最小化問題を解く報酬率規制の制約式にかかるグランジュ乗数（経済学的解釈によれば報酬率規制の強さ），Sは企業に規制として課せられる収益率である。彼らは，合衆国の電力産業を対象とし，(55) 式のμとSをさまざまに動かしたときに全要素生産性上昇率がどのように変化するかについて模擬実験を行なった。その結果，μとSともに数値が大きくなるにつれて若干ながらＴＦＰ上昇率のダウンがみられた。しかし，彼らの分析はあくまでシミュレーションであるため，実際に報酬率規制によってどの程度生産性上昇のスローダウンがもたらされたかを知るには，μの推定値を求める必要があろう[13]。

6.2 環境問題と生産性

近年，オゾン層破壊や二酸化炭素の増加による地球温暖化現象など環境問題が国際的テーマとして取り上げられてきている。ここでは，生産者を取り巻く環境状態が生産性指標に与える影響について，坂本[4] およびそこで参照されている Barnett and Morse[10] に基づいて考察してみることにしよう。

労働だけで生産が行なわれている経済を考え，次のような生産関数を想定しよう。

$$y=F(L,T) \tag{56}$$

ここで，Lは労働投入量，Tは技術状態変数である。この生産関数がLに関して１次同次であると仮定すれば，

$$\frac{y}{L}=F(1,T)$$

が成り立つ。よって，

$$\frac{dln\frac{y}{L}}{dt}=\frac{\partial lnF}{\partial lnT}\frac{dlnT}{dt} \tag{57}$$

13) Cowing [19] では合衆国電力産業を対象にμの推定が試みられている。

となり，労働生産性の上昇率は技術変化の効果のみによって説明される。ここで，これまで生産要素として考慮していなかった空気や水などの環境状態をエクスプリシットに生産要素として取り上げ，生産関数を次のように設定しよう。

$$y=f(L_1, E, T)$$

ここで，L_1 は生産のために投入される労働投入量，E は環境状態を表わす変数である。よりよい環境のもとで生産を行なえば生産量は増加すると見なし，f は E に関する増加関数であるものとする。かつてのように企業による生産が環境に与える影響をほとんど無視できるならば，ここで改めて E という変数を持ち込む必要はない。しかし近年のように，自然による浄化作用では環境の回復が困難となっているケースでは，生産を行なう際に環境状態を一定に保つためのコストが必要となるであろう。従って，E に関して次のようなコストを想定する。

$$L_2=g(E) \tag{59}$$

この式の含意は，環境状態 E を生産要素として享受するためには，L_2 だけの労働投入を必要とするということである。モデルを完結するために L についての要素賦存，

$$L^*=L_1+L_2 \tag{60}$$

を加える。(59) と (60) を制約として生産量の最大化問題を解けば，その必要条件から，

$$\frac{\frac{\partial f}{\partial E}}{\frac{\partial g}{\partial E}}=\frac{\partial f}{\partial L_1} \tag{61}$$

が得られる。次に (58) の対数をとって時間で微分し，(61) を考慮して整理すると，

$$\frac{dlny}{dt}=\frac{\frac{\partial lnf}{\partial lnE}}{\frac{\partial lng}{\partial lnE}}\frac{L^*}{L_2}\frac{dlnL^*}{dl}+\frac{\partial lnf}{dlnT}\frac{dlnT}{dt} \tag{62}$$

となる。よって，労働生産性の上昇率は，

$$\frac{dln\frac{y}{L^*}}{dt}=\left[\frac{\frac{\partial lnf}{\partial lnE}}{\frac{\partial lng}{\partial lnE}}\frac{L^*}{L_2}-1\right]\frac{dlnL^*}{dt}+\frac{\partial lnf}{\partial nT}\frac{dlnT}{dt} \tag{63}$$

と表わされる。(57) では，労働生産性の上昇はすべて技術変化の効果によるものであったが，ここでは環境状態 E 保持のためのコストを考慮したため，右辺第1項として E の効果が加えられている。たとえばここで，生産のための環境状態が悪化し，環境保持のためのコストが前よりかかるようになったというケースを考えよう。これは $\frac{\partial lng}{\partial lnE}$ の増加によって表現することができる。$\frac{\partial lng}{\partial lnE}$ が増加すると右辺第1項は減少し，その分労働生産性を押し下げることになる。従って，もし環境状態をこのように陽表的に扱っていないとすれば，生産性の下落はすべて技術変化の効果に押し込められることになってしまうであろう。これが経済モデルとして実証化された例は少ないが，資料を

含めた実験計画の工夫によって今後，試されるべき課題の一つといえる。[14]

6.3 需要要因と生産性

本論第2章でみたように，生産性の分析の基本形は生産関数と生産者の費用最小化原理から成り立っている。その意味では，供給者サイドの部分均衡のみに基づいた理論であるともいえる。しかし，周知のように現実の経済は一般均衡的であるから，少なくとも一国全体のマクロ生産性分析をおこなう際には需要サイドの影響も加味した方が好ましいであろう。ここでは，生産性分析に需要要因を導入した数少ない分析の例として，Nadiri and Schankerman[51] と Jaffe[36] をとりあげよう。

Nadiri and Schankerman は，需要サイドが生産性に与える効果をきわめて単純な同時方程式モデルによって推定しようとした。彼らが採用した方法は以下のとおりである。すなわち，はじめに通常の成長会計の式とマークアップ方式のプライシングルールから供給関数を導く。次にマクロ需要関数を設定する。そして，両式から生産性を被説明変数とする誘導型方程式を求めるというものである。途中を省略して，誘導形のみを記そう。

$$\begin{aligned}\frac{dlnTFP}{dt}=&A\left[\lambda+a\frac{dln(1+\theta)}{dt}\right]+Aa(1+\theta)\sum s_i\frac{dlnP_i}{dt}\\&+A\beta\frac{dlnY}{dl}+A(1-\beta)\frac{dlnN}{dl}\\&+s_r[1-A\alpha(1+\theta)]\frac{dlnr}{dt}\\&+A\eta(1-\alpha\theta)(1+\theta-\eta)^{-1}\frac{dlnT}{dt}\end{aligned}\tag{64}$$

ここで，P_iは生産要素価格，Yは国民所得，Nは人口，RはR＆Dストック，Tは技術状態変数（データとしては時間），θはマークアップ率（同じく利潤率）を表わす。ここで，需要関数をシフトさせる外生変数はYとNである。よって，需要要因が生産性の変化率にどのくらい影響を与えたかについては，これらの変数にかかる係数の大きさによって知ることができる。表9はその推定結果の一部を引用掲載したものである。これによれば，石油危機以後の生産性スローダウン局面では，需要要因の貢献度が7割近くともっとも高くなっており，人口や国民所得のダウンがおもに生産性を引き下げたことになる。この結果を逆に解釈すれば，マクロの需要刺激政策が生産性の下落を救い得たとも受け取れる。この点は政策の有効性の意味からもきわめて重要な要素を含んでいるので，

14) Kopp and Smith [39] は環境状態変数Eとして大気汚染状態と水質汚染状態をとりあげ，これらの環境状態変数が TFP の変化に与える影響に関するテストを行なった。そこでは環境状態変数の生産性の変化に及ぼす効果は有意に大きいという結果が得られている。

需要を刺激した際，他の内生変数，特に価格の上昇率がどのように変化するかについての比較静学分析がさらに必要であると思われる。

表 9 合衆国製造業の生産性スローダウンの要因分解

	TFP	要素価格	需要要因	R&D	技術変化率
1958-65 to 1965-73	−1.57	9.4	13.7	4.3	72.6
1965-73 to 1973-78	−0.72	33.4	68.3	17.4	−19.1

TFP は上昇率（%），その他は貢献率（%）
Nadiri and Schankerman [51] より引用

Jaffe による分析は，Cobb=Douglas 型生産関数に基づく成長会計モデルに，spillovers, market positions, そして technological positions の3要素を加えた点で特徴がある。はじめの spillovers 効果とは，ある企業が同業種他企業からの生産技術のもれによって生産性にプラスの影響を受けることを意味する。Jaffe は，R＆D投資の内訳が企業間で類似していればいるほど spillovers が大きいと仮定し，両者の相関係数を spillovers の代理変数としている。この効果は，意図せずに外部から受ける性質のものであるため，R＆D投資を通じての技術情報に関する経済の外部効果とも解釈することが可能である。また，market positions と technological positions は彼が想定する技術革新の demand pull 的要素と supply push 的要素を示す項目である。market positions は市場がどのような商品を需要しているかを表わす指標であり，生産性に対する需要側からの刺激要因とみなされる。他方，technological positions は企業が行なうR＆D投資の内訳であり，企業に技術革新をもたらす原動力である。Jaffe は，これら3変数を加えた回帰式を推定することによって生産性の上昇率に対するこれらの効果を計測している。ここでの計算によると，demand pull 要因と supply push 要因の識別は困難であったものの，R＆Dによる技術の漏れ効果は生産性を約0.1% 上昇せしめるという結果が得られている。

Jaffe の分析については，企業間の技術の「漏れ」効果や，需要サイドからの技術革新に対する刺激効果を取り上げようと試みた点において評価できる。しかし，筆者は，需要サイド生産性に及ぼす効果は，規制のケースと同様，統合的な経済モデルによって分析するのが科学的であると考える。一本の回帰式に考え得るあらゆる変数を持ち込んで推定するのは，実証科学の正当な筋道とはいえない。そのような回帰分析はあくまで分析の今後すすむべき方向を示すのみであり，それによって経済法則が発見されたわけではないのである。

7. むすびにかえて——今後の展望——

本稿で我々は，従来の成長会計型の生産性分析に近年どのような改善がなされてきたかについて

概観してきた。そこでの改善とは，第1次石油危機後の生産性スローダウンがいかなる要因によってもたらされたか識別可能なモデルを作成することであった。第2章から6章にわたって言及した各種研究成果をふり返ってその要因を整理してみるならば，以下のようにまとめることができよう。すなわち，(1)産業構造の変化，(2)事業所分布の変化，(3)資本の稼働率，④R＆D投資，(5)規制，(6)需要要因，(7)環境状態，の7項目である。本論で述べたように，このなかにはモデルとして完成度の高いものもあれば，tentative な分析も含まれている。そこでこの最終章では，今後の展望として，以上7項目に基づく研究がこの先どのように発展していく余地をもっているかその可能性を探ってみることにしたい。

(1)の産業構造の変化と(2)の事業所分布の変化に関しては，前者は時系列産業連関表，後者は事業所規模別工業統計表というように，良質かつ大規模なデータが分析の基礎となっている。さらに，黒田・吉岡・清水［2］で用いられている産業連関モデル，および黒田［1］と中島・吉岡［6］における生産関数モデルはともにきわめてオートノマスな経済関係式に基づいており，モデルとしての完成度も高い。従って，これらの分析においては，さらに良質のデータが得られるのであればモデルとしての発展の余地はあろう。しかし，データの面での制約が厳しいとすれば，実証結果を踏まえたより詳細な生産性スローダウンの原因究明は別のモデルビルディングによる分析を必要とするであろう。

(3)の稼働率モデルのうち Morrison 流の稼働率内生型は，長期費用・短期費用という基本的な経済理論の枠組みの中で組み立てられており，調整コストを含めた動学的最適化問題を解くことによって固定要素の投入量も決定可能であることから，他の経済モデルとの接合も含めてさらなる発展の可能性をもったモデルといえる。また，過去においては固定投入要素といえば専ら資本ストックが取り上げられてきたが，ここ数年の傾向として労働やR＆Dストックも固定要素として扱う例が増えてきている。特に日本の場合，労働市場における日本独特の労働慣行が高度成長の重要な役割を担ってきたという指摘がある一方，最近では労働時間短縮へ向けての掛け声も大きくなってきている。日本の生産性変化の分析において労働を準固定要素とする生産性分析を試みることの意義は大きいものといえよう[15]。これ以外の稼働率モデルについては，適用例も少ないことから，まずモデルの頑健性のチェックを行なう必要があろう。

(4)のR＆D投資についてまずいえることは，モデル自体の完成度がまだ低いということである。その原因はおもにR＆D投資の持つ不確実性と多様性に依拠している。本論でも触れたように，企業がR＆D投資を行なうとき常に投資の見返りが保証されるわけではない。多額のR＆D支出にも

15) 生産性上昇率がめざましかった日本の高度成長期において，労働の稼働率は100％を超えていたのかどうか，また，現在の労働時間短縮問題を労働インプット稼働率の低下としてとらえるならば，他のインプット（資本あるいは R&D ストック）の変化によって労働の稼働率は下がるのか，それとも現在より上昇するのか，そしてその結果，生産性はどう変化するのか。

かかわらず，一向に報われない研究プロジェクトもあり得る。このような不確実なR＆D投資による技術知識の蓄積をどのように数量化すればよいのか。現在のところラグ多項式による推計が一般的であるが，それで問題はないのだろうか。また，R＆D投資の目的は多岐にわたっている。ある企業は，新製品開発あるいは新規事業着手の準備のためにR＆D投資を行なうであろうし，また他の企業は人件費の削減や省エネ実現を目指してR＆D投資をするであろう。これらをどのようにモデル上で区別すればよいのだろうか。このように考えると未開拓の部分がきわめて多いR＆D分析であるが，従来の成長会計による生産性分析で「天から降ってきたもの」としてしか扱うことのできなかった「技術」を陽表的に取り上げることを可能にする唯一ともいえるファクターはR＆D投資である。この意味では，資料の整備も含め，今後の発展の余地が大きい分野であるといえるだろう。

(5)，(6)，(7)については，Averch-Johnson モデル（注12参照）のように目的が限定された研究を除けば，モデルとしての完成度も低く，実証分析もいまだ試みられていないかもしくは手探りの状態といえる。しかし，どの要因も以後ますます無視することができない重要な意味を含んでいる。(5)の規制要因は，dergulation の時流にあって今後改善・廃止を含んだ再検討を迫られている問題である。(6)の需要要因は，石油危機以後しばらくタブー視すらされていた「財政政策」の有効性との関連で円高ショック時の景気対策としての緊急財政出動とも絡み，再度その意味が問われている。(7)の環境要因はいうまでもなく成長の根幹に関わる世界的問題である。このように，この3要因は生産性のみならず広く経済全般の運行にも大きな影響を与えるため，生産分析への ad-hoc な取り入れ方や部分均衡的な取り扱い方よりもむしろ一般的均衡分析やマクロモデルさらにはオープンマクロモデルに導入され，生産性への影響はそこから reduced されるような形をとることがより望ましいように思われる。

この7項目の他にも生産性の変動要因として企業買収，企業の業務多角化，そして経済の外部性などを取り上げる研究がなされている[16]。しかし，いずれの分析も全要素生産性を従属変数，これら諸要因の代理変数ないしはダミー変数を説明変数とする ad-hoc な回帰分析の域を出ておらず，以後の分析の方向付けをするにとどまっている状態である。これらの要因も含め，今後の展望を踏まえたより具体的方法については，再度，稿を改めて論じてみることにしたい。

参考文献

[1] 黒田昌裕「日米経済成長と技術変化—産業部門別生産性の国際比較—」『三田商学研究』1986.

[2] 黒田昌裕，吉岡完治，清水雅彦「経済成長：要因分析と多部門間波及」浜田宏一他編『日本経済のマクロ分析』東京大学出版会1987.

16) たとえば，Benhabib and Jovanovic [11]，Lichtenberg and Siegel [42]，Lichtenberg [43] など。

[3] 香西泰，土志田征一『経済成長』日本経済新聞社1981.

[4] 坂本市郎「資源制約と経済成長」『経済成長と環境問題』東洋大学経済研究所1977.

[5] 中島隆信「生産性上昇要因の分析一最近の研究のサーベイ」DISCUSSION PAPER SERIES #90-DOJ-19, 通商産業研究所, 1990.

[6] 中島隆信，吉岡完治「TFP の上昇要因分解」『三田商学研究』1989.

[7] 吉岡完治『日本の製造業・金融業の生産性分析』東洋経済新報社1989.

[8] Averch, H. and Johnson, L., "Behavior of a Firm under Regulatory Constraint," *The American Economic Review*, 1962.

[9] Baily, M.N., "The Productivity Growth Slowdown and Capital Accumulation," *The American Economic Review*, 1981.

[10] Barnett, H.J. and Morse, C., *Scarcity and Growth: The Economics of Natural Resource Availability*. Johns Hopkins Press, Baltimore, 1963.

[11] Benhabib, J. and Jovanovic, B., "Externalities and Growth Accounting," NBER Working Paper No. 3190, 1989.

[12] Berndt, E.R. and Fuss, M.A., "Productivity Measurement with Adjustments for Variations in Capacity Utilization and Other Forms of Temporary Equilibrium," *Journal of Econometrics*, 1986.

[13] Berndt, E.R. and Fuss, M.A., "Economic Capacity Utilization and Productivity Measurement for Multiproduct Firms with Multiple Quasi-Fixed Inputs," NBER Working Paper No. 2932, 1989.

[14] Berndt, E.R. and Hesse, D.M., "Measuring and Assessing Capacity Utilization in the Manufacturing Sectors of Nine OECD Countries," *European Economic Review*, 1986.

[15] Bruno, M. and Sachs, J., "Input Price Shocks and the Slowdown in Economic Growth: The Case of U.K. Manufacturing," *The Review of Economic Studies*, 1982.

[16] Chenery, H.B., "Engineering Production Functions," *Quarterly Journal of Economics*, 1949.

[17] Christainsen, G.B. and Haveman, R.H., "Public Regulations and the Slowdown in Productivity Growth," *The American Economic Review*, 1981.

[18] Christainsen, G.B. and Haveman, R.H., "The Contribution of Environmental Regulations to the Slowdown in Productivity Growth," *Journal of Environmental Economics and Management*, 1981.

[19] Cowing, T.G., "The Effectiveness of Rate-of- Return Regulation: An Empirical Test Using Profit Functions," in *Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications* (Fuss, M. and McFadden, D., eds.), North-Holland, 1978.

[20] Cowing, T.G., Small, J., and Stevenson, R.E., "Comparative measures of Total Factor Productivity in the Regulatated Sector: The Electric Utility Industry," in *Productivity Measurement in Regulated Industries* (Cowing, T.G. and Stevenson, R.E., eds.), Academic Press, 1981.

[21] Crandall, R.W., "Pllution Controls and Productivity Growth in Basic Industries," in *Productivity Measurement in Regulated Industries* (Cowing, T.G. and Stevenson, R.E., eds.), Academic Press, 1981.

[22] Denny, M., Fuss, M., and Waverman, L., "The Measurement and Interpretation of Total Factor Productivity in Regulated Industries, with an Application to Canadian Telecommunications," in *Productivity Measurement in Regulated Industries* (Cowing, T.G. and Stevenson, R.E., eds.), Academic Press, 1981.

[23] Englander, A and Mittlestadt, A., "Total Facter Productivity: Macroeconomic and Structual Aspects of the Slowdown," *OECD Economic Studies,* 1988.

[24] Englander, A.; R Evanson and Hanazaki, M., "R & D, Innovation and Total Facter Productivity Slowdown," *OECD Economic Studies,* 1988.

[25] Epstein, L. and Denny, M., "Endogenous Capital Utilizaton in a Short-Run Production Model," *Journal of Econometrics,* 1980.

[26] Fuss, M. and Waverman, L., "Regulation and the Multiproduct Firm: The Case of Telecommunications in Canada," in *Studies in Public Regulation* (Fromm, G., ed.), MIT Press, 1975.

[27] Fuss, M. and Waverman, L., "Productivity Growth in the Automobile Industry, 1970–1980: A Comparison of Canada, Japan and the United States", Paper in NBER Conference, 1985.

[28] Goto A. and Suzuki, K., "R & D Capital, Rate of Return on R & D Investment and Spillover of R & D in Japanese Manufacturing Industries," *The Review of Economics and Statistics,* 1989.

[29] Griliches Z., "Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth," *Bell Journal of Economics,* 1979.

[30] Griliches Z., "R&D and Productivity Slowdown", *The American Economic Review,* 1980.

[31] Griliches, Z. and Lichtenberg, F., "Interindustry Technology Flows and Productivity Growth: A Reexamination," *The Review of Economics and Statistics,* 1983.

[32] Hazilla, M. and Kopp, R.J., "Testing for Separable Functional Structure Using Temporary Equilibrium Models," *Journal of Econometrics,* 1986.

[33] Hulten, C.R., "Productivity Change, Capacity Utilization, and the Sources of Efficiency Growth," *Journal of Econometrics,* 1986.

[34] Hulten, C.R., Robertson, J.W. and Wykoff, F.C. (1987)," Enegy, Obsolescence, and the Productivity Slowdown," NBER Working Paper No. 2404, 1987.

[35] Jaffe, A.B., "Demand and Supply Influences in R&D Intensity and Productivity Growth," *The Review of Economics and Statistics,* 1988.

[36] Jaffe A.B., "Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firms' Patents, Profits, and Market Value," *The American Economic Review,* 1986.

[37] Jorgenson, D.W. and Griliches, Z., "The Explanation of Productivity Change," *The Review of Economic Studies,* 1967.

[38] Kaufman, R.T. and Jacoby, R.A., "The Stock Market and the Productivity Slowdown: International Evidence," *The Review of Economics and Statistics,* 1984.

[39] Kopp, R.J. and Smith, V.K., "Productivity Measurement and Environmental Regulation: An Engineering Econometric Analysis," in *Productivity Measurement in Regulated Industries* (Cowing, T.G. and Stevenson, R.E., eds.), Academic Press, 1981.

[40] Levy, D.M. and Terleckyj, N.E., "Trends in Industrial R&D Activities in the United States, Europe and Japan, 1963–83," Paper in NBER Conference, 1985.

[41] Lichtenberg, F.R. and Siegel, D., "The Impact of R&D Investment on Productivity-New Evidence Using Linked R&D–LRD Data," NBER Working Paper No. 2901, 1989.

[42] Lichtenberg, F.R. and Siegel, D., "The Effects of Leveraged Buyouts on Productivity and Related Aspects of Firms Behavior," NBER Working Paper No. 3022, 1989.

[43] Lichtenberg. F.R., "Industrial De-diversification and its Consequences for Productivity," NBER Working Paper No. 3231, 1990.

[44] Mansfield E.A., "Basic Research and Productivity Increase in Manufacturing," *The Ame-*

rican Economic Review, 1980.

[45] Morrison, C., "Quasi-Fixed Inputs in U.S. and Japanese Manufacturing: A Generalized Leontief Restricted Cost Function Approach," *The Review of Economics and Statistics,* 1988.

[46] Morrison, C.J., "The Impacts of Fixed Inputs on Firm Behavior and Productivity: An Empirical Comparison of the U.S. and Japanese Manufacturing Industries," Paper in NBER Conference, 1985.

[47] Morrison, C.J., "Unraveling the Productivity Growth Slowdown in the U.S., Canada and Japan: The Effects of Subequilibrium, Scale Economy and Markups," NBER Working Paper No. 2993, 1989.

[48] Morrison, C.J., "Productivity Measurement with Non-Static Expectations and Varying Capacity Utilization," *Journal of Econometrics,* 1986.

[49] Nadiri, M.I. and Prucha, I.R., "Comparison and Analysis of Productivity Growth and R&D Investment in the Electrical Machinery Industries of the United States and Japan," Paper in NBER Conference, 1985.

[50] Nadiri, M.I. and Prucha, I.R., "Dynamic Factor Demand Models, Productivity Measurement, and Rates of Return: Theory and an Empirical Application to the U.S. Bell System," NBER Working Paper No. 3041, 1989.

[51] Nadiri, M.I. and Schankerman, M.A., "Technical Change, Return to Scale and the Productivity Slowdown," *The American Economic Review,* 1981.

[52] Nadiri, M.I., "Sectoral Productivity Slowdown," *The American Economic Review,* 1980.

[53] Odagiri, H., "Research Activity, Output Growth, and Productivity Increase in Japanese Manufacturing Industries," *Research Policy,* 1985.

[54] Ohta, M., "A Note on the Duality between Production and Cost Functions: Rate of Returns to Scale and Rate of Technical Progress," *Economic Studies Quarterly,* 1975.

[55] Patrick, H. and Rosovsky, H. (ed.), *Asia's New Giant,* The Brookings Institution, 1976.

[56] Prucha, I.R. and Nadiri, M.I., "A Comparison of Alternative Methods for the Estimation of Dynamic Factor Demand Models under Non-Static Expectations," *Journal of Econometrics,* 1986.

[57] Schankerman, M., "The Effect of Double-Counting and Expensing on the Measured Returns to R&D," *The Review of Economics and Statistics,* 1981.

[58] Schankerman, M. and Nadiri, M.I., "A Test of Static Equilibrium Models and Rates of Return to Quasi-Fixed Factors, with an Application to the Bell System," *Journal of Econometrics,* 1986.

[59] Scherer F.M., "Using Linked Patent and R&D Data to Measure Inter-industry Technology Flows," *The Review of Economics and Statistics,* 1981.

[60] Scherer F.M., "Demand-Pull and Technological Invention: Schmookler Revised," *Journal of Industrial Economics,* 1982.

[61] Schere F.M., "Inter-Industry Technology Flows and Productivity Growth," *The Review of Economics and Statistics,* 1982.

[62] Schmookler J., *Invention and Economics Growth,* Cambridge: Harvard University Press, 1966.

[63] Slade, M.E., "Total-Factor-Productivity Measurement When Equilibrium is Temporary," *Journal of Econometrics,* 1986.

[64] Solow, R.M., "Technical Change and the Aggregate Production Function," *The Review of Economics and Statistics,* 1957.