



RIETI Discussion Paper Series 07-J-035

体化された技術進歩と資本の平均ヴィンテージ

徳井 丞次
信州大学

乾 友彦
日本大学

金 榮慧
経済産業研究所



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所
<http://www.rieti.go.jp/jp/>

体化された技術進歩と資本の平均ヴィンテージ¹

徳井丞次 乾友彦 金榮慧

要旨

世界的な IT 資本への関心の高まりや、日本経済における資本のヴィンテージの高まりへの懸念などから、資本に体化された技術進歩が再び注目されている。われわれは、まず資本の質の向上率（陳腐化率）、資本に体化された技術進歩率、資本の平均ヴィンテージなどの関係を理論的に整理した。次に経済産業省による「企業活動基本調査」から作成したパネルデータを用い、日本の製造業の機械装置について資本の陳腐化率を推定し、機械装置に体化された技術進歩率を評価した。

こうした推定を行うためには、企業が保有するヴィンテージごとの資本の物理的残存量を推計する必要がある。このために、われわれは米国 BLS による資本財種類別の残存率パターンと、JIP 2006 データベースの産業別の資本財種類別投資系列から、産業ごとの資本財の残存率パターンを作成し、これを各企業の投資系列に当てはめて、ヴィンテージごとの資本の物理的残存量を推計した。

陳腐化率の推定は、Sakellaris and Wilson(2004)の生産関数による推定式に幾つかのコントロール変数を追加し、2種類の非線形推定式と1種類の線形推定式に基づいて行った。推定された機械装置の陳腐化率は、年率8%～22%の幅の値となったが、この推計値の範囲は、生産関数により資本の陳腐化率を推定した他の先行研究と大きな差異はない。また、この推計値から、機械装置に体化された技術進歩率を求めると0.2%～0.4%となる。したがって、宮川・浜潟(2006)によると1990年代において製造業の資本の平均ヴィンテージが2年弱上昇したものと推計されていることから、これは製造業の生産の成長率を0.4～0.8%低下させる効果があったものと推察される。

キーワード：資本の質、ヴィンテージ、生産性、パネルデータ

JEL Classification: C33, D24, O33

¹本稿は、独立行政法人経済産業研究所の『RIETI 製造業データベースの作成と産業別生産性に関する研究』（リーダー：深尾京司一橋大学教授、宮川努学習院大学教授）の成果の一部である。また本研究を実施するに当たって、乾は文部科学省の科学研究費補助金（基盤研究 C 課題番号 17530224）による資金助成を受けた。本稿を作成するにあたり、宮川努学習院大学教授、深尾京司一橋大学教授、藤田昌久経済産業研究所所長、森川真之経済産業研究所上席研究員をはじめ経済産業研究所における報告会の参加者からの貴重なコメントに感謝したい。ただし残された誤りはすべて筆者たちの責任である。

1. はじめに

多くの技術進歩は新しい種類の資本設備のなかに体化されるので、こうした新技術の効果は新しい資本設備を導入することによってはじめて実現されるというアイデアは、Johansen [1959] と Solow [1960] によって提案されて以来より現実的な資本の取り扱い方として研究者の関心を引いてきたが、近年の IT 資本への注目の高まりと相俟って、こうしたアイデアに再び関心が向けられるようになってきている。これは、IT 関係の技術進歩の大部分が IT 資本に体化されて実現されると考えられているからである。例えば、IT 資本の代表例としてコンピューターを考えてみると、2005 年の新機種は 2000 年の機種よりもより性能が向上しているが、新しいコンピューターを買わなければこうした性能向上の利益を享受することができないことは、まさにこの例である。

また、日本経済に特有の観点として、1990 年代のいわゆる「失われた 10 年」の間、投資が低迷を続けた結果、IT 資本以外の資本設備についても更新投資が進まず、資本の平均ヴィンテージの高まりが懸念されるようになってきている²。例えば、産業構造審議会がまとめた「新経済成長戦略」でも、具体的施策の一つとして「生産手段の新陳代謝の促進」を挙げ、IT、ソフトウェア、ロボット等の活用に加えて、減価償却制度の見直しを提案している。こうした政策面の関心を評価するには、実際の日本経済の資本に体化された技術進歩の潜在的な大きさはどのくらいであるか、またそのうち実際に実現する技術進歩と新規投資との間にはどのような関係があるのかを明らかにする必要がある。

以上のような政策面での関心に加えて、われわれの研究は、資本ストックの計測、全要素生産性 (TFP) の計測といった問題にも関係する。資本ストックの計測に際して、資本の物理的減耗や除却に陳腐化を加えた経済的減耗率の値をどのように設定するかは重要である。この場合に、資本の陳腐化率としてしばしば用いられる値は、資本財の中古価格から算出されたものである³。この値の信頼性を確認する一つの方法は、それを異なる方法で求めてみることであろう。第 2 節で説明するように、資本に体化された技術進歩率は、資本の陳腐化率と密接につながりのある概念である。また、資本ストックの計測において資本の陳腐化が不十分にしか反映されていない場合には、計測された全要素生産性 (TFP) 上昇には、資本に体化された技術進歩の効果が含まれてしまうことになる。しかも、第 2 節で説明するように、資本に体化された技術進歩がどの程度実現するかはまったくの外生変数ではなくて、新規投資の大きさに左右されるものとなる。こうした場合に、例えば研究開発活動と生産性の関係の評価しようとしても、それは新技術を体化した投資がどの程度活発に行われるかに左右されることになる。

資本に体化された技術進歩率を計測するためにこれまで提案されてきた方法には、大きく二つの方法に分かれる。その一つは、資本財の二つの価格指数の差に着目するものである。

² こうした観点からの最近の研究として、宮川・浜瀉 (2006) がある。

³ 國則 (1988) は、経済的減耗率に係る論点を整理し、中古価格のデータを使って建設機械の経済的減耗率の推計を行なっている。

これらの研究は、耐久財の質の変化を反映させて Gordon [1990] が作成した価格指数を使って、これを公式発表の価格指数の差から、資本財の質の向上の大きさを計測するものである。こうした方法に依拠した研究としては、Hulten [1992], Horstein and Krusell [1996], Greenwood, Hercowitz, and Krusell [1997], Cummins and Violante [2002] などがある。もう一つの方法は、生産関数の推定に基づいて資本に体化された技術進歩率を求めるもので、最近の研究では Bahk and Gort [1993], Sakellaris and Wilson [2004] などがある。ここでの研究でわれわれが採用した方法は、生産関数の推定に基づく方法で、なかでも Sakellaris and Wilson [2004] のアイデアに基づくものである。推定に使う生産関数の説明変数には、Sakellaris and Wilson [2004] で使用されている説明変数に、企業年齢、広告宣伝費ストック、研究開発ストック、投資スパイクを追加している。企業年齢と広告宣伝費ストックは、企業に蓄積された無形資産の効果をコントロールすることを意図したものである。投資スパイクは、企業ごとに大規模な投資が集中する時期を捉えることを意図した変数で、こうした大規模投資が行われる時期には不連続な技術革新が起こっている可能性を考慮するための変数である。

本稿の構成は以下の通りである。第 2 節では、資本に体化された技術進歩と効率単位資本ストック及び資本の平均ヴィンテージの関係を導出し、資本に体化された技術進歩が実際に実現される大きさと平均ヴィンテージの変化との関係を説明する。続く第 3 節では、資本の物理的減耗率と平均ヴィンテージのデータの作成方法を説明している。そのほかのデータ作成方法については、データ補論で説明している。第 4 節では、推定方法と推定結果を示し、最後に第 5 節でまとめを述べる。

2. 資本に体化された技術進歩と資本の平均ヴィンテージの関係

この節では、資本に体化された技術進歩が存在する場合には、資本の質の向上を反映させた資本ストック（効率単位資本ストック）を計測する必要があることを導く⁴。また、資本に体化された技術進歩率、資本の質の向上率、資本の陳腐化率、資本の平均ヴィンテージの関係を説明する。

技術が資本に体化されている場合には、古い資本と新しい資本は異なる技術水準を反映しているので、現存する資本設備をそれが据え付けられた日付け（ヴィンテージ）によって区別する必要がある。現時点を t 時点として、 s 年前、すなわち $t - s$ 時点に据え付けられて残存する資本ストックの量を $K_{t,t-s}$ と表すことにしよう。 $t - s$ 時点の粗投資を I_{t-s} とし、物理的な減耗による s 年後の残存率を D_s とすると、 t 時点のヴィンテージ s の資本の残存量は (1) 式のようなになる。ただし、資本の最大残存年数を T 年として、それ以降は全

⁴ Johansen [1959] と Solow [1960] は共に、技術が資本に体化されるというアイデアを採用しているが、Johansen [1959] はこれに加えて、いったん据え付けられた資本の資本労働比率はそれ以降変更できないと仮定している。これに対して、Solow [1960] は生産要素の結合比率は資本の耐用期間を通じて自由に変更できるものと仮定している。この論文で採用する定式化は、Solow [1960] のモデルに沿ったものである。

て除却されるものとする $s = 1, \dots, T$ である。

$$(1) \quad K_{t,t-s} = I_{t-s} D_s$$

ヴィンテージが異なる資本では体化されている技術水準が異なるので、ひとまずヴィンテージの異なる資本ごとの生産関数を考えて、それから全てのヴィンテージに集計された生産関数を導出することを考えてみよう。したがって、 t 時点にヴィンテージ s の資本 $K_{t,t-s}$ と組み合わせられる労働投入を $L_{t,t-s}$ と表し、これらを投入することによって生産される産出量を $Q_{t,t-s}$ とし、これらの関係は (2) 式のような一次同時のコブ・ダグラス生産関数で与えられるものとする (α は資本分配率)。生産関数の中の λ が資本に体化された技術進歩率で、 t_0 を基準年として生産関数が定義されている。なお B_t は、企業における資本や労働に体化されていない技術水準 (TFP のレベル) を表す⁵。

$$(2) \quad Q_{t,t-s} = B_t (1 + \lambda)^{t-s-t_0} L_{t,t-s}^{1-\alpha} K_{t,t-s}^\alpha$$

なお、この節では説明を簡単にするために資本と労働の 2 つの生産要素とするが、以下の導出は中間投入など生産要素の種類が増えても同様に行うことができる。

産出量と労働投入の集計は、それぞれ (3) 式のような単純な足し算でよい。

$$(3) \quad Q_t = \sum_{s=1}^T Q_{t,t-s}$$

$$(4) \quad L_t = \sum_{s=1}^T L_{t,t-s}$$

異なるヴィンテージの資本ストックに労働投入をどのように配分するかは、利潤最大化の条件から、実質賃金率 w_t を (2) 式から求められる労働の限界生産性に等しくするように、次の式で与えられる。

$$w_t = \frac{\partial Q_{t,t-s}}{\partial L_{t,t-s}} = (1 - \alpha) B_t (1 + \lambda)^{t-s-t_0} L_{t,t-s}^{-\alpha} K_{t,t-s}^\alpha$$

この式と (1) 式から異なるヴィンテージの資本ごとに投入する労働量を導き (4) 式によって集計すると (5) 式のように労働投入量が、また (1) 式及び (2) 式と組み合わせる異なるヴィンテージの資本ごとの産出量を導き (3) 式によって集計すると (6) 式のような産出量が求められる。

$$(5) \quad L_t = h_t \sum_{s=1}^T I_{t-s} D_s (1 + \lambda)^{\frac{-s}{\alpha}}$$

⁵ ここでは、労働の質の向上については考慮していない。

$$(6) \quad Q_t = B_t (1+\lambda)^{t-t_0} h_t^{1-\alpha} \sum_{s=1}^T I_{t-s} D_s (1+\lambda)^{\frac{-s}{\alpha}}$$

ただし、 $h_t = \left((1-\alpha) B_t \right)^{\frac{1}{\alpha}} w_t^{\frac{-1}{\alpha}} (1+\lambda)^{\frac{t-t_0}{\alpha}}$ である。

以上のようにして導かれた (6) 式は、次の (7) 式と (8) 式のように書き直すことができる。

$$(7) \quad Q_t = B_t L_t^{1-\alpha} J_t^\alpha$$

$$(8) \quad J_t = \sum_{s=1}^T I_{t-s} D_s (1+\lambda)^{\frac{t-s-t_0}{\alpha}} = \sum_{s=1}^T I_{t-s} D_s (1+\gamma)^{t-s-t_0}$$

ただし、(8) 式で二番目の等号の右辺は、 $(1+\lambda)^{\frac{1}{\alpha}} = (1+\gamma)$ と書き換えた。 γ を、資本の質向上率と解釈すると、(8) 式は、各ヴィンテージの資本残存量に資本の質を反映した効率係数を掛けて集計したものとなっている⁶。したがって、(8) 式で定義される J_t は、効率単位資本ストックと呼ぶことができる。

このように、資本に体化された技術進歩が存在する場合でも、資本の質向上率を反映させた効率単位資本ストックで資本を測れば、その資本投入量を使って (7) 式のように生産関数を定義することができる。また、(8) 式の効率係数 $(1+\gamma)^{t-s-t_0}$ は基準年を、過去のある時点ではなくて、最新年にとれば、最新の資本の技術水準を基準にして、古いヴィンテージの資本では効率が劣ることを反映する係数となるので、 γ は古い資本の陳腐化率と言い換えることもできる。したがって、資本の物理的減耗だけでなく陳腐化を正確に反映させた経済的減耗率を得ることができれば、効率単位で資本ストックを直接計測することができる⁷。JIP データベースの資本ストック推計では、米国 BEA の経済的減耗率を使って、効率単位で測った資本ストックを直接推計している。一方、われわれの目的は資本の質の向上率 γ を分離して計測し、それを使って資本に体化された技術進歩 λ の大きさを評価することにある。この両者の関係は、対数をとって近似すると、 $\lambda = \alpha\gamma$ となるので、資本の陳腐化率に資本分配率を掛けると、資本に体化された技術進歩率の近似値を得ることができる。

次に、(8) 式のように定義された効率単位資本ストックと、資本の平均ヴィンテージと

⁶資本の質向上率を γ として、基準年 (t_0) に導入された資本 1 単位の資本サービスを 1 とすると、それから $t-s-t_0$ 年後に導入される資本 1 単位は $(1+\gamma)^{t-s-t_0}$ のサービスを生み出す。

⁷ 物理的減耗のみを考慮して計測した資本ストックを「粗資本ストック」、物理的減耗に加えて陳腐化を考慮して計測したものを「純資本ストック」と呼ぶこともある。

の関係を導いておこう⁸。資本の平均ヴィンテージ V_t は、資本の質を表す指標としてしばしば使われる指標で、次の(9)式のように定義される。すなわち、現在(t)時点で物理的に残存する各ヴィンテージの資本の比率を加重平均のウェイトとして計算した資本の平均年齢である。

$$(9) \quad V_t = \sum_{s=1}^T \frac{sI_{t-s}D_s}{K_t}$$

ただし、(9)式右辺の分母 K_t は、次の(10)式で与えられ、現在(t)時点で物理的に残存する各ヴィンテージの資本量の単純合計を表す。

$$(10) \quad K_t = \sum_{s=1}^T I_{t-s}D_s$$

(8)式、(9)式、(10)式で定義した J_t 、 V_t 、 K_t は、資本の質の向上率 γ が小さな値をとる場合には、近似式 $(1+\gamma)^{-s} \approx 1-s\gamma$ を使って、次のように関係づけることができる⁹。

$$(11) \quad J_t \approx G(1+\gamma)^t K_t (1-\gamma V_t)$$

ただし、 $G = (1+\gamma)^{-t_0}$ である。

さて、資本に体化された技術進歩が実現されるかどうかは、新技術を体化した資本の投資が実際に行われるかどうかにかかっている。このことは、実際に実現される資本に体化された技術進歩率を、(11)式を使って求めることができる¹⁰。t-1時点からt時点にかけて実現する資本に体化された技術進歩(μ)は、(12)式のように近似的に与えられる。

$$(12) \quad \mu = \alpha\gamma - \alpha\gamma(V_t - V_{t-1})$$

⁸ この関係は Sakellaris and Wilson [2004] が使っているが、最初の導出は Nelson [1964] に遡る。ただし、Nelson [1964] は奇妙なことに、資本の質の向上を考慮せずに、物的減耗率を小さいと想定して近似計算を行っている。

⁹ (4)式は、Gittleman, Raa and Wolff [2003] が Nelson's formula と呼ぶ定式化の離散版である。彼らは、本節で使ったモデルの連続版から出発して Nelson's formula が成り立たないことを証明している。もちろん、Nelson's formula は近似式として導かれるものに過ぎない。彼らの連続版モデルでも、資本の質の向上率が小さければ、近似式として Nelson's formula を導出することが可能である。

¹⁰ (11)式の両辺の対数を取り、 γ および γV_t を十分小さい値とみて対数近似を行うと、 $\log J_t = const. + \log K_t + \gamma t - \gamma V_t$ が得られる。体化された技術進歩率のうち新規投資に伴って実現されるものを、資本分配率 \times (J_t の変化率 $-K_t$ の変化率)と定義すると、これは $\alpha\gamma - \alpha\gamma V_t$ となり、離散形では(12)式ようになる。

前期から今期にかけて資本の平均ヴィンテージが変化しない（すなわち $V_t - V_{t-1} = 0$ ）ときには、資本に体化された技術進歩率は（12）式から $\alpha\gamma$ となる。これは、（8）式のところでも説明した、資本に体化された技術進歩率だが、正確にはその潜在的大きさを示すものである。もしも前期から今期にかけてまったく投資が行われない場合には、資本の平均ヴィンテージは1年古くなるが（すなわち $V_t - V_{t-1} = 1$ ）、この場合には実現される資本に体化された技術進歩率は（12）式からゼロとなる。

3. 資本の物理的減耗パターンと平均ヴィンテージの推計

この論文では、「企業活動基本調査」からパネルデータを作成し、同調査で機械装置の投資額が調査され始めた1997年以降2002年までの製造業のデータを使っている。この節では、本研究で使用するデータの作成方法のうち、資本の物理的減耗パターンと資本の平均ヴィンテージのデータ作成方法について説明する。その他のデータの作成方法については、データ補論で説明している。

3. 1. 資本の物理的減耗パターン

経年に伴う資本の価値損失は、物理的な資本減耗と、技術進歩に伴う陳腐化による価値の損失に分けて考えることができる。通常、恒久棚卸法で資本ストックを推計する際には、物理的な減耗と陳腐化の両者を同時に反映した経済的減耗率を使用している。しかし、ここでは生産関数から資本の陳腐化率、あるいは資本に体化された技術進歩率を抽出して推計することから、いったん物理的な減耗のみ考慮して残存する資本系列を作成する必要がある¹¹。

資本財種類別の物理的減耗パターンは、Mohr and Gilbert[1996]に倣って、次の（13）式のようなBeta-decay Functionで捉えられるものとする¹²。

$$(13) \quad \Phi_s(k) = \frac{T_k - s}{T_k - \beta s}, \quad 0 \leq s \leq T_k$$

ただし、 $\Phi_s(k)$ は、資本財 k の投資後 s 年後の残存率をあらわす。 T_k はこの資本財種類別の平均サービス寿命で、米国BEAが推計した値を使った¹³。 β は曲率パラメータで、この

¹¹ 技術進歩による価値の変化は、資本（もしくは投資）デフレータにも反映されている。このため、ここでは、投資系列の実質化のために資本デフレータを使用せずに、代わりに消費者物価指数を使っている（データ補論参照）。

¹² Mohr and Gilbert [1996] は、economic depreciation と economic decay の概念を区別して使い、前者が資本財の資産価値の喪失であるのに対して、後者は資本財の生産能力の低下であると定義している。ここで使うBeta-decay Functionは、economic decayを捉える方法として提案されている。ここでは、Sakellaris and Wilson [2004]と同様に、economic decayが物理的減耗に対応すると考え、この方法を使った。したがって、ここでの物理的減耗は、経年に伴う資本の能力低下を含む広義の概念である。また、資本の劣化パターンとBeta-decay Functionについては、野村（2004）も参照。

¹³ Mohr and Gilbert [1996] に掲載されている。資本財の種類は、建物・構築物 (structures) と装置 (equipment) に大きく分けられ、装置は87種類に区分されている。第4節で報告する推定では、機械装置に体化された技術進歩に焦点を当てるので、装置 (equipment) の各種

値には 0.75 を採用した¹⁴。ここから、資本財の種類別に、投資後の経過年数に伴う残存率のパターンを作成することができる¹⁵。

以上のようにして資本財種類ごとの残存パターンを作成することができるが、われわれのデータでは、個別企業ごとに詳細な資本財種類ごとの構成は分からない。しかし、産業ごとの資本財種類別の構成なら、JIP2006 データベースから、詳細な資本財構成のデータが利用できる。そこで、JIP2006 データベースから産業別の固定資本マトリックスを使用して、産業ごとの投資の資本財構成比を求め、これを資本財種類別の経過年数別残存パターンと組み合わせることによって、産業ごとに資本の経過年数別残存パターンを作成し、これをその産業内の全ての企業に共通なものとし、各企業に当てはめた。

産業ごとの経過年数別残存パターンは、具体的には、次のような手順で推計を行なっている。まず、1970 年から 2002 年までの JIP2006 産業分類による産業別・資本財別名目投資系列を、消費者物価指数を使って実質化した。この系列に資本財別の残存パターンを適用してから、産業ごとに資本財別の残存額を足し合わせることによって、産業ごとの残存パターンを求めることができる。すなわち、第 i 産業の t 時点の資本財 k の実質化した投資額を $I_{it}(k)$ とすると、第 i 産業が t 時点に行った投資の残存パターンは、次の (14) 式のように得られる（ただし、 m は資本財の種類数）。

$$(14) \frac{\sum_{k=1}^m \Phi_s(k) I_{it}(k)}{\sum_{k=1}^m I_{it}(k)}$$

投資の資本財構成が同じ産業でも年々変化しているため、以上のようにして求めた産業ごとの残存パターンは、投資のなされた時点によっても異なることになる。このように、産業ごとの残存パターンを、製造業の各業種区分について、1970 年から 2002 年までの各年について求めた。

こうして求めた物理的残存率を、Hulten and Wykoff [1981] の定率の経済的減耗率による残存率と比較してみよう。次の図 1 は、二つの方法による残存率を製造業全体で単純平均したものを比較したものである¹⁶。当然ながら、物理的残存率には陳腐化による資本財価値の低下が反映されないことから、経済的減耗率に基づく残存率よりも、残存率が高いことがわかる。投資時点の価値の 50% が失われるまでの経過年数は、陳腐化の効果を含む経済的減耗率を使うと約 5 年であるが、物理的減耗のみでは 12 年ほどかかることが、図 1 から読

類の平均サービス寿命を使用した。

¹⁴ 米国 BLS でもその部署によって異なる β の値を使っており、装置 (equipment) については 0.75 もしくは 0.5 を使用している。

¹⁵ Mohr and Gilbert [1996] や Sakellaris and Wilson [2004] では、資本財のサービス寿命は均一ではなくて、災害や事故、品質の異常などが原因で変動する確率変数であるとの扱いをしているが、ここでは同一種類の資本財に平均サービス寿命を当てはめた。

¹⁶ 物理的残存率は、1990 年の投資の資本財構成に基づいて計算されたものである。

み取れる。

3. 2. 資本の平均ヴィンテージ

企業ごとの機械装置の平均ヴィンテージは次の(15)式のように求めた。平均ヴィンテージのウェイトは、各ヴィンテージの資本の物理的残存量である。

$$(15) V_t = \frac{(V_{t_0} + t - t_0 + 1) \cdot K_{t_0}^b + (t - t_0 + 1) \cdot I_{t_0} D_{t-t_0} + \dots + 3 \cdot I_{t-2} D_2 + 2 \cdot I_{t-1} D_1 + 1 \cdot I_t D_0}{K_{t_0}^b + I_{t_0} D_{t-t_0} + \dots + I_{t-2} D_2 + I_{t-1} D_1 + I_t D_0}$$

t_0 は初期時点をあらわす。 I_t は t 期における機械装置の実質投資額であり、それに投資後経過年数に伴う残存率 (D_s) を掛けたものが各ヴィンテージの資本の物理的残存量となっている。また、 $K_{t_0}^b$ は機械装置の初期時点の資本ストックの物理的残存量で、ここでは初期

時点の資産残高に時価簿価比率を掛けて実質化したものを使っている。 V_{t_0} は、初期資本ストックの初期時点 t_0 のヴィンテージである。

われわれは、「企業活動基本調査」から作成したパネルデータを使うが、「企業活動基本調査」で機械装置の投資額が調査されるようになったのは 1997 年以降の調査であるため、1996 年以前に設立された企業の初期時点の平均ヴィンテージをどのように推計するかが問題になる。そこで、JIP2006 の産業レベルの情報を利用して産業別、企業設立年別の資本の平均ヴィンテージをまず推計し、各企業の産業と設立年を考慮して、各企業の初期時点の平均ヴィンテージとして当てはめた。

JIP2006 では、1970 年以降の産業別投資系列とその資本財構成が分かっているので、1970 年以降に設立された企業については、1996 年まで産業平均と同じ投資パターンと資本財構成であると仮定すれば、ヴィンテージごとの資本の残存量が得られ、それを使って初期時点 t_0 の平均ヴィンテージを求めることができる。この方法は、1970 年以前に設立された企業には適用できないが、これらの企業については、初期時点の平均ヴィンテージとして、便宜的に 1970 年設立の企業と同じ値を使った¹⁷。例えば、1975 年に設立され、1997 年から「企業活動基本調査」のデータが利用できる企業については、当該企業が所属する産業の 1975 年を始点にして計算された平均ヴィンテージの 1996 年時点における値を、1997 年期首における平均ヴィンテージとして使用した。

図 2 は、以上の方法によって求められた各企業の平均ヴィンテージの 2000 年時点における分布状況を、製造業全体、鉄鋼業、電子部品について棒グラフにしたものである。電子部品の平均ヴィンテージは製造業全体に比べて概して低い値で分布し、鉄鋼業では逆に高い値

¹⁷ 1970 年から 30 年近くが経過した 1997 年から推定期間は始まるので、1970 年以前設立企業の初期時点平均ヴィンテージのこうした取り扱いによる生じる誤差の影響は小さいと考えている。

に分布していることがみてとれる。それと同時に、同一産業内でも、企業間で資本の平均ヴァインテージのばらつきが大きいことが分かる。

4. 推定方法と推定結果

4. 1. 推定方法

ここでは資本（土地を除く有形固定資産）を機械装置と建物・構築物の2種類に分けて、資本に体化された技術進歩は機械装置にのみに起こるものと仮定して推定を行う。推定式は、**Sakekkaris and Wilson [2004]** の推定式に幾つかの説明変数をコントロール変数として追加したものである。三つの推定式を順に説明しよう。

4. 1. 1. 体化された技術進歩率を非線形推定で直接推定する方法

第2節で説明したように、資本に体化された技術進歩がある場合でも、資本の質の向上率を考慮して効率単位の資本ストックを定義すれば、通常の生産関数を推定することができる。ここでは、労働（対数変換して l_{it} ）、中間投入（対数変換して m_{it} ）、建物・構築物の資本ストック（ S_{it} ）、機械装置の効率単位資本ストック（ J'_{it} ）を生産要素として、グロスの産出（対数変換して y_{it} ）を生み出すコブ・ダグラス型生産関数を考えて、両辺の対数をとることによって、次の(16)式のような推定式が得られる。各変数のサブスクリプトは、 i が企業、 t が年を表す。また、 γ は資本の質の向上率を、 $D_{i,t-s,s}$ は物理的減耗による残存率を表す。

$$(16) \quad y_{it} = \beta_0 + \beta_t \cdot t + \beta_l \cdot l_{it} + \beta_m \cdot m_{it} + \beta_s \cdot \log(S_{it}) + \beta_j \cdot \log(J'_{it}) + \beta_X \cdot X_{it} + \varepsilon_{it},$$

$$J'_{it} = \sum_{s=1}^T I_{i,t-s} D_{i,t-s,s} (1+\gamma)^{t-s-t_0}.$$

ここでは、資本の質向上率の値が未知であるので、物理的残存率パターンを当てはめて企業ごとに機械装置資本ストックの各ヴァインテージの物理的残存量（ $I_{i,t-s} D_{i,t-s,s}$ ）の系列を作成しておき、それを使って(16)式の非線形の推定を行い、資本の質向上率 γ を推定することができる¹⁸。

建物・構築物の資本ストック（ S_{it} ）は、土地を除く有形固定資産から機械装置を差し引いたものとしてデータを作成している。また、元のコブ・ダグラス型生産関数にヒックス中立的技術進歩を想定して、(9)式では時間変数（ t ）が説明変数に加わっている。以上の

¹⁸ もしも資本の質向上率 γ の値を予め知っていて、それを使って機械装置の効率単位資本ストックのデータをあらかじめ作成することができれば、(16)式は単なるコブ・ダグラス型生産関数の推計式となる。

説明変数に加えて、さらに幾つかのコントロール変数を説明変数に追加しており、それらは (9) 式ではベクトル表記で X_{it} と表されている。コントロール変数としては、企業内に蓄積された無形資産の効果をコントロールする変数として、企業年齢、その二乗項、R&D ストック（自然対数を取ったもの）、広告宣伝費ストック（自然対数を取ったもの）を追加している。また、大規模投資（投資スパイク）に伴う不連続な技術革新の効果を考慮するために、投資スパイク後の経過年数ダミーを加えている。さらに、産業特有の生産性要因をコントロールするために、産業ダミーを追加している¹⁹。

4. 1. 2. 資本の平均ヴィンテージを説明変数に加える方法

資本に体化された技術進歩を捉えるためによく用いられるいま一つの方法は、資本の平均ヴィンテージを作成して説明変数として加えるものである。第2節で説明したように、効率単位資本ストックは、資本の質を考慮しない資本ストックと資本の平均ヴィンテージに近似的に分解することができる。この関係を利用して、(16)式を近似的に次の(17)式のように書き換えることができる²⁰。ただし、 V_{it} は、 t 時点における i 企業の機械装置の平均ヴィンテージを表し、 V_{i0} は、基準時点における i 企業の機械装置の平均ヴィンテージを表す。企業ごとの平均ヴィンテージは、前節で説明したように作成したものである。また、 K'_{it} は物理的減耗のみを反映した機械装置の資本ストックで、各ヴィンテージの物理的残存量を単純合計して求めている。

(17)

$$y_{it} = \beta'_0 + \beta'_t \cdot t + \beta_l \cdot l_{it} + \beta_m \cdot m_{it} + \beta_s \cdot \log(S_{it}) + \beta_j \cdot \log(K'_{it}) + \beta_j \cdot \log(1 + \gamma(V_{i,0} - V_{i,t})) + \beta_X \cdot X_{it} + \varepsilon_{it}$$

機械資本の効率単位資本ストックを近似する過程で、新たな定数と、新たな時間変数 (t) の項が追加されるので、(16) 式と (17) 式とでは、定数項と、時間変数の係数が表す意味が異なっている。時間変数の係数は、(16) 式ではヒックス中立的な技術進歩率のみを表していたのに対して、(17) 式では、これに資本の質の向上率 (γ) を加えたものとなる（すなわち、 $\beta'_t = \beta_t + \gamma$ である）。

この (17) 式では、推定すべき係数の一つである資本の質の向上率 (γ) が対数の中に入っているため、推定は非線形で行わなければならない。対数の中の $\gamma(V_{i0} - V_{it})$ が十分に

¹⁹ ただし、この推計では、資本の稼働率については考慮していない。

²⁰ (17) 式の近似は、第2節で導出した (11) 式とは異なって、Nelson[1964]に倣って、次のように導いた。

$$J_t = \sum_{s=1}^T I_{t-s} D_s (1+\gamma)^{t-s-t_0} = (1+\gamma)^{-t_0-V_0} (1+\gamma)^t \sum_{s=1}^T I_{t-s} D_s (1+\gamma)^{-s+V_0} \\ \approx G'(1+\gamma)^t K_t [1+\gamma(V_0 - V_t)]$$

ただし、 $G' = (1+\gamma)^{-t_0-V_0}$ である。また、近似式 $(1+\gamma)^{-s+V_0} \approx 1-s\gamma+V_0\gamma$ を使った。

小さいと考えれば、この部分をさらに線形に近似して、次の(18)式のような推定式を導くことができる。(18)式は線形の推定式で、OLSによる推計のほかに、生産要素投入の内生性を考慮した Levinsohn and Petrin [2003] の方法に基づく推計も行なった。

$$(18) \quad y_{it} = \beta'_0 + \beta'_t \cdot t + \beta'_l \cdot l_{it} + \beta'_m \cdot m_{it} + \beta'_s \cdot \log(S_{it}) + \beta'_j \cdot \log(K'_{it}) + \beta'_j \gamma \cdot (V_{i,0} - V_{i,t}) + \beta'_X \cdot X_{it} + \varepsilon_{it}$$

なお、(17)式と(18)式でも、(16)式と同様のコントロール変数が加えられている。

4. 2. 推定結果

表1は、(16)式の非線形推定を行い、資本の質向上率(γ)を推計した結果を報告している。推定は、R&D支出、広告宣伝費のデータが回答されている企業のグループと、これらのデータが得られない企業のグループに、データを分割して行った。また、絶対的投資スパイク後の経過年数ダミーを説明変数に加えた推定結果と、これを加えない推定結果を報告している。二種類の資本と労働投入、中間投入の掛かる係数は、それぞれの生産要素の分配シェアを推定したものとなっている。

いずれの推定結果でも、中間投入の分配シェアは概ね80%で安定しており、残りの約20%が付加価値シェアとなっている。付加価値のうち約75%から80%が労働の分配シェア、残りの約半分ずつが機械装置と建物・構築物にそれぞれ分配されている。グロスの産出額に対する機械装置への分配のシェアは約2%となっている。こうした推定結果は、既存の生産関数の推定結果と概ね整合的な結果である。

研究開発ストックの1%の増加はTFPを1%弱、広告宣伝費から作成したブランドストックの1%の増加はTFPを0.5%それぞれ引き上げる推定結果が得られている。ただし、研究開発費と広告宣伝費が回答されている企業は、全サンプルサイズ約4万8千社のうち2万3千社で、こうした効果の高い企業に偏ったサンプルになっている可能性はあることには注意を要する。また、投資スパイク後の経年ダミーの係数は、投資スパイクの年から4年後までの期間、TFPのレベルを1~2%引き上げる効果があるものと推計された。

機械装置の質の向上率は、投資スパイクの効果を考慮した推定結果では9~13%、投資スパイクを考慮しない推定結果では17~22%の値が推定された。これを、グロスの産出額に対する機械装置の分配シェアを2%として、資本に体化された技術進歩率に換算すると、0.2%弱から0.4%強の範囲の大きさとなる。

表2は(17)式に基づく非線形推定の結果を報告している。推定結果は、(16)式に基づく表1のものほとんど変わらない。機械装置の質向上率の推定値が、投資スパイクの効果を考慮した推定結果では8~10%、投資スパイクを考慮しない推定結果では12~14%となつて、表2の推定結果よりも幾分小さなものとなっている。

表3は(18)式に基づくOLS推定の結果を報告している。(18)式の推定では、機械装置の平均ヴァインテージの係数として、機械装置の質向上率に機械装置の分配シェアを掛けた

ものが推定されるので、その上の欄に推定された機械装置の分配シェアで割って求めた機械装置の質向上率も報告している。機械装置の質向上率は、投資スパイクの効果を考慮した推定結果では10~13%、投資スパイクを考慮しない推定結果では14~17%となって、表1の推定結果とほぼ同等な結果となっており、その他の係数も表1の結果とほとんど変わらない。また、(18)式の線形推定式については、表3で報告したOLS推定のほかに、生産要素投入の内生性を考慮したLevinsohn and Petrin [2003]の方法によっても行なったが、他の推定結果をほぼ整合的な推定結果を得ることができた(表4参照)。

以上の結果をSakekkaris and Wilson [2004]と比較してみると、彼らの1972-1996年の米国の工場レベルのデータを使用して得られた推計は、資本の質の向上率が8~17%ポイントであり、本論文の推計結果が8~22%であることから大きな差異はない。またBahk and Gort [1993]による1973-1986年の米国の企業のデータを使用した結果も15~21%であり、われわれの推計結果は既存の生産関数のアプローチによる結果と概ね整合的であるものと考えることができる。

年率8~22%が機械資本における資本の質の向上率(あるいは陳腐化率)であるとする、この結果は次の二つの意味で重要である。まず、Hulten and Wykoff [1981]に基づいた製造業における機械資本の平均償却率(経済的減耗率に対応)をJIP2006のデータベースを使用して、2002年時点で求めると12.7%である。これに対して、資本の陳腐化率についてのわれわれの推定結果は、推定方法によって幅があるものの、仮に中ほどの値をとって資本の陳腐化率を15%とし、物理的な償却率を2.8%と仮定する²¹と、全体の償却率は17.8%となり、Hulten and Wykoff [1981]の償却率より大きくなる。そこで、もしわれわれの推計がより正確な経済的償却率を与えるとすれば、Hulten and Wykoff [1981]の償却率に基づいて推計された資本ストックは過大推計であり、資本ストックに比例すると通常仮定されている資本サービス投入の推計は過大となり、TFPは過少に推計される可能性がある。

また、1990年代における日本の経済成長の低迷はHayashi and Prescott [2002]のようにTFP成長率の低下に基づくものと指摘されているが、資本の質の向上率が年率9~20%ポイントあるとすると、日本の経済成長の低迷にはTFP成長率の低迷にみられるようなDisembodied Technological Changeの低迷に加えて、1990年代に資本ストックの成長率が低下し、またこれによって資本に体化された技術の導入が減少することの影響も大きく寄与しているものと考えられる。すなわち、ここでの計測結果から、機械資本のヴィンテージが1年伸びると、機械資本の分配率が推計式から2%程度であるので、資本に体化された技術進歩率が0.2%~0.4%ポイント低下することが予想される。

5. おわりに

²¹ 本稿で使っている償却のルールは、定率法ではないため、一定の償却率を仮定することはできない。この資産では、資産の導入から5年までの償却の平均を使っている。導入から10年までの平均償却率は5.2%である。

日本経済における資本に体化された技術進歩の大きさを計測することが重要であるとの認識に立ち、可能な限りモデルと整合的なデータを作成して推定を行った。データの作成作業のなかでも特に、推定結果から資本の質向上率（＝陳腐化率）の情報を正確に抽出するために、陳腐化の効果を含まない物理的減耗だけを反映したヴィンテージごとの残存資本量を企業ごとに計測する必要があった。

推定された資本の質の向上率は、推定式の特定化や推定方法によって多少の開きがあるものの年率 8～22%の値となり、先行研究と概ね一致する結果である。資本の質の向上率とは、資本の陳腐化率を意味し、これに物理的減耗率を加えた経済的減耗率は、これまでの資本ストックの推定で用いられている経済的減耗率よりもかなり大きな値となる。第 2 節で説明したように、資本の質の向上率に資本分配率を掛けた値が、資本に体化された技術進歩率であるが、われわれの推定結果ではこの大きさは年率 0.2%～0.4%である。この値の潜在的技術進歩率が実現されるのは、資本の平均ヴィンテージを一定の水準に保つほどの投資が行われているときであり、新規投資が低調となって資本の平均ヴィンテージが上昇し始めると、資本に体化された技術進歩率はより低い水準となる。表 5 は、J I P 2006 の 1970 年以降の産業別投資系列に、3 節で説明した資本財種類別の物理的残存パターンを当てはめて、ヴィンテージごとの残存ストック量を求め、それを使って産業別に機械設備の平均ヴィンテージを計算したものである²²。表の右端には、1985 年から 2000 年までの 5 年毎の平均ヴィンテージ上昇年数が示されている。網掛け箇所は、それぞれの 5 年間で平均ヴィンテージが 1 年以上上昇した産業を示している。1980 年代後半に比べて 1990 年代前半には、こうした設備の平均ヴィンテージを顕著に上昇させた産業数が倍増したことに加えて、1980 年代まで日本の輸出産業の主要な一翼を担ってきた電気機械産業で押し並べて機械設備ヴィンテージの上昇が見られるようになったことが目に付く。1990 年代後半に入ると、通信機器と電子応用装置・電気計測器ではヴィンテージ上昇に歯止めがかかっているものの、他の電気機械産業ではヴィンテージ上昇傾向が続いており、なかでも重電機器、民生用電子・電気機器、電子部品、その他の電気機器ではこの傾向が著しい。これらの産業では資本の平均ヴィンテージが 2 年程度上昇したものと推計されていることから、これらの産業の生産の成長率を 0.4～0.8%低下させる効果があったものと推察される。またこれらの産業の製品を中間投入物として使用する産業の生産にも影響を与え、これらの産業の資本年齢の上昇が日本経済の成長の停滞に少なからず影響を与えたものと考えられる。

TFP 上昇率がそれほど大きくない日本経済の現状では、資本に体化された技術進歩によってもたらされる潜在的な生産性上昇の機会を逸しないことも今後重要となる。こうした観点から、産業構造審議会の「新経済成長戦略」が指摘するように、減価償却制度の見直しなど、資本設備の更新に向けた政策的配慮が必要となろう。

²² 3 節で説明したように、この 1996 年の値を、企業別平均ヴィンテージの初期値として使用した。

データ補論：その他のデータの作成方法

資本の物理的減耗に伴う残存率と平均ヴィンテージのデータ作成については、第3節で説明した。このデータ補論では、本論文の推定に使用したその他のデータの作成方法について、簡単に説明しておく。

本研究の企業別マイクロデータは、『企業活動基本調査』の個票データからパネルデータを作成したものであり、1994年度から2002年度までの期間の製造業のデータを使用した。『企業活動基本調査』の産業分類は、回答された売上高構成に応じて分類換えされるため、サンプル期間中に産業分類を移動する企業があるが、ここでは、サンプルに現れた最初の年度の産業分類をその企業の属する産業と固定して扱った。また、異常値の処理に関しては、総売上高、常用従業員数、有形固定資産額、賃金総額、中間投入額がゼロまたはマイナス値を回答している企業をサンプルから外すことで対応した。

1. 産出、中間投入、労働投入のデータ作成

各企業のグロスの産出は、『企業活動基本調査』の総売上高を実質化して使った。実質化のためのデフレーターには、JIP2006 データベースの産出額のデフレーター(95年基準)を利用した。

中間投入は、『企業活動基本調査』の費用側情報から、まず名目中間投入額を、売上原価＋販売費・一般管理費－(賃金総額＋減価償却費)と求めておいて、JIP2006 データベースの中間投入デフレーター(95年基準)を利用して実質化した。

労働投入量は、各企業の常用従業員数に、JIP2006 データベースの各産業平均の労働時間を掛けて求めた。

2. 実質資本ストックの作成

『企業活動基本調査』は、1997年以降、有形固定資産全体と機械装置に対するストック(簿価)と投資を調査している。これを、土地、機械装置、建物・構築物に分ける必要がある。

このためにはまず、有形固定資産全体から土地を除く必要がある。1995年度と1996年度の『企業活動基本調査』から、有形固定資産内訳の土地の調査結果を利用して²³、産業別に平均土地保有比率を計算して、この値を用いて各企業の有形固定資産額から土地相当額を除いた。さらに、このようにして求めた土地を除く有形固定資産額(簿価)から機械装置の保有額(簿価)を差し引いて、建物・構築物の保有額(簿価)を求めた。

建物・構築物の実質資本ストック(1995年価格)は、各企業の各年度の簿価保有額に、『法人企業統計調査』から作成した産業ごとの時価・簿価比率を掛けて求めた。

機械装置については、やはり『法人企業統計調査』から作成した時価簿価比率を使って初期時点の実質ストックを求め、それ以降の実質化した投資系列を使って、第3節で説明したように、ヴィンテージごとの物理的残存量を作成している。

²³ 1995年度と1996年度の『企業活動基本調査』では、有形固定資産の内訳として土地に関して調査しているが、それ以降の年には土地は調査項目から除かれている。

3. R&Dストックとブランドストックの作成

R&Dストックとブランドストックは、企業のR&D支出と広告宣伝費から作成した。実質化のためのデフレータには、「科学技術白書」の研究開発費デフレータと、日本銀行の企業向けサービス価額指数をそれぞれ使っている。R&Dストックの償却率は、JIPデータベース2002の産業別R&D資産の減耗率を使った。ブランドストックの償却率は30%とした。

4. 投資スパイク後の経過年数

Power [1998] らは新規の大規模投資に着目して、大規模投資が行なわれた時点を投資スパイクとして、その後の経過年数が生産性に与える効果を分析している。これは、大規模な投資が行われた際に新規技術の導入が図られるものと想定して、その後の生産性効果に着目したものである。このアイデアに従って、機械装置の投資から三種類の投資スパイク(相対的投資スパイク、絶対的投資スパイク、複数年投資スパイク)とその後の経過年数のデータを、企業ごとに作成した。三種類のどの投資スパイクを使っても推定結果に大きな影響はなかったので、推定結果は、絶対的投資スパイク(前期末の機械装置現在高の20%を超える投資が行われた場合)後の経過年数ダミーをコントロール変数に加えた場合のみ報告している。²⁴

²⁴ 投資スパイクを使った分析は、上場企業の財務データを使った分析であるが、徳井・乾・落合(2006)でも行なっている。

図1 製造業における資本の残存率

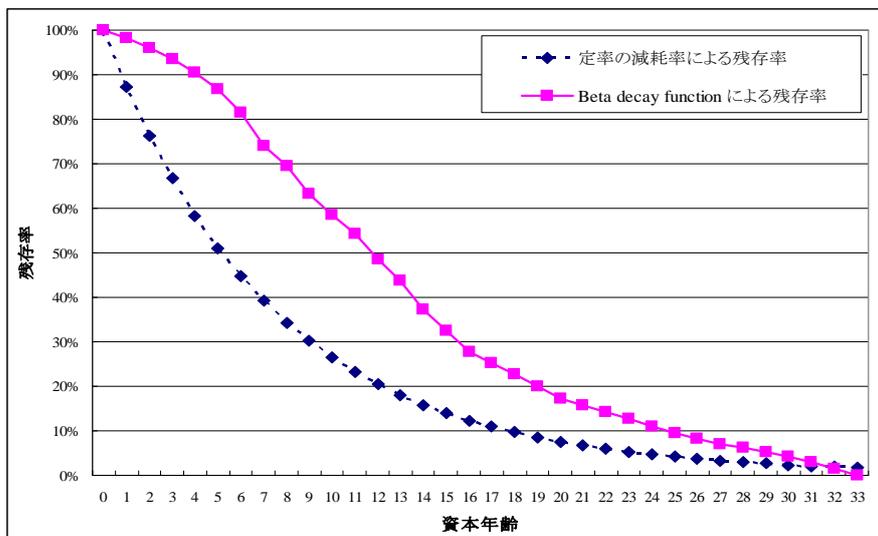


図2 2000年時点における平均ヴィンテージの分布（製造業，電子部品産業，鉄鋼業）

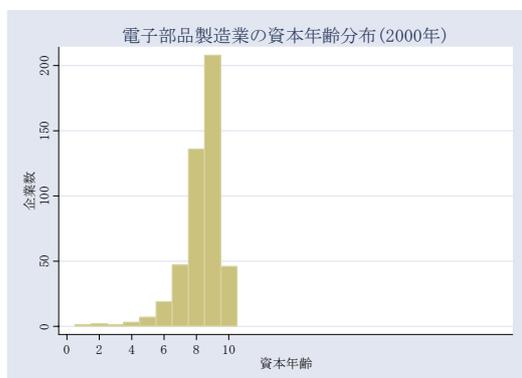
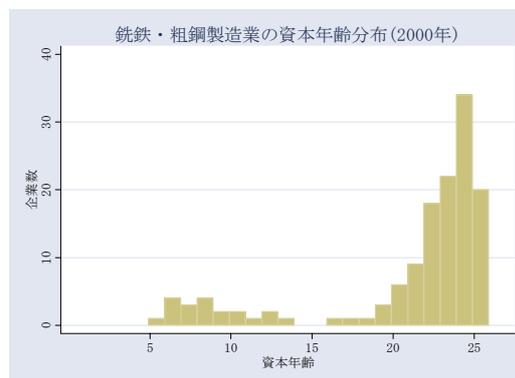
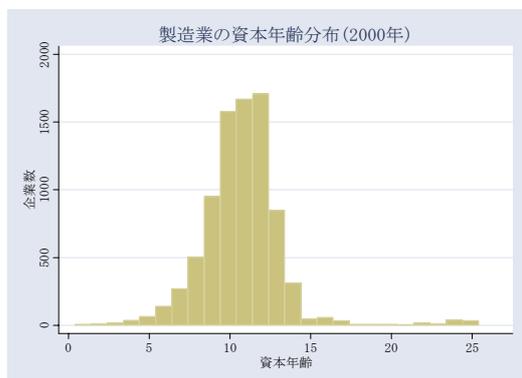


表1 資本の質向上率の推定結果：(16)式に基づく非線形推定

	NL1	NL2	NL3	NL4
	Coef./ (SE)	Coef./ (SE)	Coef./ (SE)	Coef./ (SE)
タイムトレンド	-1.0.E-04 *** (0.0000)	-1.8.E-04 *** (0.0000)	-1.2.E-04 *** (0.0000)	-2.3.E-04 *** (0.0000)
資本の質向上率	0.169 *** (0.0147)	0.223 *** (0.0230)	0.090 *** (0.0157)	0.126 *** (0.0230)
資本-機械装置	0.021 *** (0.0005)	0.020 *** (0.0007)	0.020 *** (0.0005)	0.019 *** (0.0007)
資本-建物・構築物	0.017 *** (0.0006)	0.020 *** (0.0008)	0.017 *** (0.0006)	0.021 *** (0.0008)
労働投入	0.188 *** (0.0012)	0.150 *** (0.0017)	0.188 *** (0.0012)	0.150 *** (0.0017)
中間投入	0.786 *** (0.0009)	0.802 *** (0.0013)	0.786 *** (0.0009)	0.802 *** (0.0013)
R&Dストック		0.009 *** (0.0005)		0.009 *** (0.0005)
ブランドストック		0.005 *** (0.0005)		0.005 *** (0.0005)
企業年齢	-0.001 *** (0.0001)	-0.001 *** (0.0002)	-0.002 *** (0.0001)	-0.001 *** (0.0002)
企業年齢の二乗	1.2.E-05 *** (0.0000)	6.0.E-06 *** (0.0000)	1.3.E-05 *** (0.0000)	6.6.E-06 *** (0.0000)
絶対的投資スパイク,AIS			0.013 *** (0.0016)	0.016 *** (0.0021)
AIS 1年後			0.010 *** (0.0018)	0.011 *** (0.0022)
AIS 2年後			0.014 *** (0.0020)	0.016 *** (0.0027)
AIS 3年後			0.014 *** (0.0024)	0.013 *** (0.0034)
AIS 4年後			0.017 *** (0.0034)	0.016 *** (0.0047)
R-squared	0.992	0.995	0.992	0.995
サンプルサイズ	47729	22875	47729	22875

1. すべての推計には産業ダミーと年ダミーを入れているが、ここでは報告していない。
2. ダミー変数を全部の観測値に入れたため、定数項は推計されていない。
3. * , ** , ***は、それぞれ 10% , 5% , 1%水準で優位であることを示す。

表2 平均ヴィンテージを使った推定結果：(17)式に基づく非線形推定

	NL1	NL2	NL3	NL4
	Coef./(SE)	Coef./(SE)	Coef./(SE)	Coef./(SE)
タイムトレンド	0.001 (0.0029)	0.004 (0.0038)	-0.005 (0.0029)	-0.001 (0.0038)
資本の質向上率	0.124 *** (0.0084)	0.137 *** (0.0098)	0.079 *** (0.0137)	0.095 *** (0.0178)
資本-機械装置	0.019 *** (0.0005)	0.018 *** (0.0006)	0.020 *** (0.0005)	0.019 *** (0.0006)
資本-建物・構築物	0.017 *** (0.0005)	0.020 *** (0.0008)	0.017 *** (0.0005)	0.020 *** (0.0008)
労働投入	0.191 *** (0.0011)	0.154 *** (0.0016)	0.190 *** (0.0011)	0.152 *** (0.0016)
中間投入	0.787 *** (0.0008)	0.803 *** (0.0012)	0.786 *** (0.0008)	0.802 *** (0.0012)
R&Dストック		0.009 *** (0.0005)		0.009 *** (0.0005)
ブランドストック		0.005 *** (0.0005)		0.005 *** (0.0005)
企業年齢	-0.002 *** (0.0001)	-0.002 *** (0.0002)	-0.002 *** (0.0001)	-0.001 *** (0.0002)
企業年齢の二乗	1.6E-05 *** (0.0000)	1.0E-05 *** (0.0000)	1.6E-05 *** (0.0000)	9.5E-06 *** (0.0000)
絶対的投資スパイク,AIS			0.023 *** (0.0015)	0.025 *** (0.0018)
AIS 1年後			0.017 *** (0.0016)	0.017 *** (0.0021)
AIS 2年後			0.016 *** (0.0019)	0.016 *** (0.0026)
AIS 3年後			0.016 *** (0.0023)	0.013 *** (0.0032)
AIS 4年後			0.019 *** (0.0033)	0.017 *** (0.0045)
定数項	-2.929 (5.7101)	-8.659 (7.5657)	8.772 (5.7730)	1.269 (7.6851)
R-squared	0.992	0.995	0.992	0.995
サンプルサイズ	47667	22845	47667	22845

1. すべての推計には産業ダミーと年ダミーを入れているが、ここでは報告していない。
2. * , ** , ***は、それぞれ 10% , 5% , 1%水準で優位であることを示す。

表3 平均ヴァインテージを使った推定結果：(18)式に基づくOLS推定

	OLS1 Coef./(SE)	OLS2 Coef./(SE)	OLS3 Coef./(SE)	OLS4 Coef./(SE)
タイムトレンド	-0.003 (0.0028)	0.000 (0.0040)	-0.006 ** (0.0028)	-0.002 (0.0041)
資本の質向上率	0.139	0.168	0.106	0.126
資本の質向上率×資本分配シェア	0.003 *** (0.0004)	0.003 *** (0.0005)	0.002 *** (0.0004)	0.002 *** (0.0005)
資本-機械装置	0.020 *** (0.0006)	0.020 *** (0.0008)	0.019 *** (0.0006)	0.019 *** (0.0008)
資本-建物・構築物	0.017 *** (0.0007)	0.020 *** (0.0009)	0.018 *** (0.0007)	0.021 *** (0.0009)
労働投入	0.190 *** (0.0021)	0.152 *** (0.0022)	0.189 *** (0.0021)	0.151 *** (0.0022)
中間投入	0.787 *** (0.0020)	0.802 *** (0.0022)	0.787 *** (0.0020)	0.802 *** (0.0021)
R&Dストック		0.009 *** (0.0005)		0.009 *** (0.0005)
ブランドストック		0.005 *** (0.0006)		0.005 *** (0.0005)
企業年齢	-0.002 *** (0.0001)	-0.002 *** (0.0002)	-0.002 *** (0.0001)	-0.001 *** (0.0002)
企業年齢の二乗	1.6E-05 *** (0.0000)	9.8E-06 *** (0.0000)	1.6E-05 *** (0.0000)	9.6E-06 *** (0.0000)
絶対的投資スパイク,AIS			0.016 *** (0.0015)	0.019 *** (0.0019)
AIS 1年後			0.011 *** (0.0017)	0.011 *** (0.0021)
AIS 2年後			0.010 *** (0.0020)	0.011 *** (0.0027)
AIS 3年後			0.009 *** (0.0023)	0.008 ** (0.0034)
AIS 4年後			0.013 *** (0.0033)	0.012 ** (0.0046)
定数項	5.088 (5.5215)	-0.218 (8.0399)	10.920 * (5.6136)	4.272 (8.1318)
R-squared	0.992	0.995	0.992	0.995
サンプルサイズ	47667	22845	47667	22845

1. すべての推計には産業ダミーと年ダミーを入れているが、ここでは報告していない。
2. 本推定では、平均ヴァインテージの係数として資本の質向上率×資本分配シェアが推定されるが、これを資本分配シェアで割って資本の質向上率を計算し、表に掲載している。
3. * , ** , ***は、それぞれ 10% , 5% , 1%水準で優位であることを示す。

表4 平均ヴァインテージを使った推定結果：(18)式に基づく Levinsohn & Petrin の方法による推計

	LP1 Coef./ <i>(SE)</i>	LP2 Coef./ <i>(SE)</i>	LP3 Coef./ <i>(SE)</i>	LP4 Coef./ <i>(SE)</i>
タイムトレンド	-0.205 (0.4947)	-0.246 (1.0799)	-0.215 (0.3162)	-0.259 (0.4047)
資本の質向上	0.158	0.112	0.183	0.109
資本の質向上率×資本分配シェア	0.009 *** (0.0022)	0.008 *** (0.0031)	0.007 *** (0.0020)	0.006 * (0.0031)
資本-機械装置	0.056 *** (0.0064)	0.075 *** (0.0087)	0.037 *** (0.0055)	0.051 *** (0.0093)
資本-建物・構築物	0.057 *** (0.0028)	0.062 *** (0.0055)	0.058 *** (0.0038)	0.063 *** (0.0049)
労働投入	0.655 *** (0.0096)	0.622 *** (0.0112)	0.654 *** (0.0086)	0.622 *** (0.0115)
R&Dストック		0.035 *** (0.0025)		0.036 *** (0.0027)
企業年齢	-0.002 * (0.0008)	-0.002 * (0.0010)	-0.002 (0.0010)	-0.002 (0.0011)
企業年齢の二乗	1.0E-05 (0.0000)	1.5E-06 (0.0000)	1.1E-05 (0.0000)	1.2E-06 (0.0000)
絶対的投資スパイク,AIS			0.049 *** (0.0045)	0.061 *** (0.0074)
AIS 1年後			0.033 *** (0.0050)	0.038 *** (0.0078)
AIS 2年後			0.023 *** (0.0063)	0.022 *** (0.0078)
AIS 3年後			0.021 *** (0.0071)	0.014 (0.0104)
AIS 4年後			0.041 *** (0.0092)	0.048 *** (0.0146)
サンプルサイズ	47260	25061	47260	25061

1. すべての推計には産業ダミーと年ダミーを入れているが、ここでは報告していない。
2. ダミー変数を全部の観測値に入れたため、定数項は推計されていない。
3. 本推定では、平均ヴァインテージの係数として資本の質向上率×資本分配シェアが推定されるが、これを資本分配シェアで割って資本の質向上率を計算し、表に掲載している。
4. * , ** , ***は、それぞれ10% , 5% , 1%水準で優位であることを示す。

表5 産業別資本の平均ヴァインテージ(年率平均, %)

JIP2006	1985	1990	1995	2000	2002	1985-1990	1990-1995	1995-2000
8 畜産食料品	8.2	8.4	7.8	8.4	8.6	0.2	-0.6	0.6
9 水産食料品	8.2	8.0	7.4	8.4	8.9	-0.2	-0.6	1.0
10 精穀・製粉	7.3	8.9	8.7	9.0	8.7	1.6	-0.2	0.3
11 その他の食料品	8.1	8.5	8.0	8.9	9.1	0.4	-0.5	0.9
12 飼料・有機質肥料	8.6	7.8	6.5	7.3	7.8	-0.8	-1.3	0.8
13 飲料	8.3	7.1	6.8	7.1	7.6	-1.2	-0.3	0.3
14 たばこ	7.6	10.0	10.5	10.2	9.5	2.3	0.5	-0.3
15 繊維製品	9.0	7.0	7.4	8.3	8.5	-1.9	0.3	1.0
16 製材・木製品	6.6	5.6	6.3	6.9	7.0	-1.0	0.6	0.7
17 家具・装備品	6.1	6.2	6.6	7.3	7.4	0.1	0.4	0.6
18 パルプ・紙・板紙・加工紙	9.1	8.9	10.0	10.4	10.5	-0.2	1.0	0.5
19 紙加工品	8.7	7.9	8.4	9.4	9.6	-0.8	0.5	1.0
20 印刷・製版・製本	6.2	5.3	6.1	6.6	6.6	-0.8	0.8	0.4
21 皮革・皮革製品・毛皮	4.6	5.2	7.2	8.2	8.4	0.6	2.0	1.0
22 ゴム製品	7.3	6.0	6.9	7.6	7.7	-1.2	0.9	0.6
23 化学肥料	7.9	8.8	10.8	11.5	11.3	0.9	2.0	0.7
24 無機化学基礎製品	7.8	7.5	8.5	8.9	8.9	-0.2	1.0	0.4
25 有機化学基礎製品	8.4	9.3	9.9	8.6	7.7	0.9	0.6	-1.3
26 有機化学製品	8.8	8.8	9.2	9.6	9.6	0.0	0.4	0.4
27 化学繊維	9.3	9.9	11.5	12.9	13.2	0.6	1.6	1.4
28 化学最終製品	8.4	8.3	8.7	9.5	9.8	-0.1	0.4	0.8
29 医薬品	7.7	6.9	6.3	7.0	7.4	-0.8	-0.6	0.7
30 石油製品	11.4	13.4	9.5	9.6	10.2	2.0	-3.9	0.2
31 石炭製品	11.4	14.2	14.5	16.0	16.9	2.8	0.3	1.5
32 ガラス・ガラス製品	6.1	6.4	7.9	8.9	9.0	0.3	1.5	1.1
33 セメント・セメント製品	7.2	7.9	8.3	8.4	8.9	0.7	0.4	0.1
34 陶磁器	5.9	6.5	8.1	9.5	10.0	0.6	1.6	1.4
35 その他の窯業・土石製品	6.8	7.9	9.4	7.3	6.1	1.0	1.6	-2.1
36 鉄・粗鋼	13.5	18.2	21.5	18.1	15.7	4.7	3.4	-3.5
37 その他の鉄鋼	7.7	10.3	12.2	13.6	13.8	2.6	1.9	1.4
38 非鉄金属製錬・精製	10.2	11.4	11.0	10.1	10.2	1.1	-0.4	-0.9
39 非鉄金属加工製品	7.5	8.7	10.2	11.2	11.8	1.3	1.5	1.0
40 建設・建築用金属製品	8.2	8.9	8.6	9.7	10.2	0.7	-0.3	1.0
41 その他の金属製品	8.2	7.1	7.5	9.0	9.6	-1.1	0.4	1.5
42 一般産業機械	6.9	7.4	8.1	9.3	9.9	0.5	0.7	1.2
43 特殊産業機械	6.9	8.1	8.9	9.9	10.5	1.2	0.8	1.0
44 その他の一般機械	8.0	8.5	8.8	9.4	9.8	0.6	0.2	0.6
45 事務用・サービス用機器	6.9	8.3	8.8	9.6	10.1	1.3	0.6	0.8
46 重電機器	4.1	4.6	6.8	9.0	10.0	0.5	2.2	2.3
47 民生用電子・電気機器	4.9	4.9	6.0	7.3	7.9	-0.1	1.1	1.3
48 電子計算機・同付属装置	4.5	5.3	7.0	7.8	8.2	0.8	1.8	0.7
49 通信機器	5.3	7.5	10.1	9.8	9.5	2.2	2.6	-0.3
50 電子応用装置・電気計測器	5.1	5.7	8.1	7.9	7.5	0.6	2.4	-0.2
51 半導体素子・集積回路	3.3	4.0	5.3	5.7	6.0	0.7	1.3	0.4
52 電子部品	4.6	3.9	5.4	6.5	7.2	-0.7	1.5	1.1
53 その他の電気機器	6.4	4.8	5.9	7.4	8.2	-1.6	1.1	1.5
54 自動車	6.9	7.6	8.7	9.0	8.9	0.6	1.1	0.3
55 自動車部品・同付属品	6.1	6.3	7.0	7.6	7.8	0.2	0.8	0.6
56 その他の輸送用機械	8.8	9.0	9.2	9.6	9.4	0.2	0.1	0.4
57 精密機械	4.9	5.3	6.5	6.5	6.7	0.4	1.2	0.1
58 プラスチック製品	6.3	6.0	7.6	8.3	8.1	-0.3	1.6	0.6
59 その他の製造工業製品	5.8	5.8	7.7	8.0	7.8	0.0	1.9	0.3

(注1) 産業別資本の平均ヴァインテージは、JIP2006の機械資本の1970年以降の産業別投資系列に、物理的残存率を当てはめてヴァインテージごとの残存ストック量を求めて計算したものである。この1996年の値を、企業別平均ヴァインテージの初期値として使った。

(注2) 表の右端の1980-1985、1985-1990、1990-2000は、それぞれこの期間の平均ヴァインテージの上昇年数を表す。

【参考文献】

- 國則守生 (1988), 「設備の償却率について ―わが国建設機械の計測例」 日本開発銀行設備投資研究所『経済経営研究 VOL. 9-3』.
- 野村浩二 (2004), 『資本の測定』 慶應義塾大学出版会.
- 徳井丞次, 乾友彦, 落合勝昭 (2006), 「資本のヴィンテージ, 研究開発と生産性」 宮川努編「失われた10年を超えて研究会」報告書 日本経済研究センター, pp. 27-52
- 宮川努, 浜潟純夫 (2006), 「ヴィンテージ資本と更新投資循環」 日本経済研究センター・ディスカッションペーパーNo. 94.
- Bahk, B. and M. Gort [1993], “Decomposing Learning by Doing in New Plants,” *Journal of Political Economy*, 101(4), pp. 561-583.
- Blundell, Richard and Bond, Stephen, [1998], “Initial Conditions and Moment Restrictions in Dynamic Panel Data Models,” *Journal of Econometrics*, 87(1), pp. 115-143.
- Greenwood, J., Z. Hercowitz, and P. Krusell [1997], “Long-run Implications of Investment-specific Technological Change,” *American Economic Review*, 87 (3), pp. 342-362.
- Greenwood, J., and B. Jovanovic [2001], “Accounting for Growth,” in C. Hulten, E. Dean, and M. Harper, eds., *New Developments in Productivity Analysis*, University of Chicago Press, Chicago.
- Grittleman, M., T. Raa, and E. Wolff [2003], “The Vintage Effect in TFP Growth: An Analysis of the Age Structure of Capital,” *NBER Working Paper*, No. 9768.
- Gordon, R. J. [1990], *The Measurement of Durable Good Prices*, University of Chicago Press, Chicago.
- Hayashi, F., and E. Prescott [2002], “The 1990s in Japan: A Lost Decade,” *Review of Economic Dynamics*, 5, pp. 206-235.
- Hobijn, B. [2001], “Embodiment in U.S. Manufacturing,” Mimeo. Federal Reserve Bank of New York.
- Hulten, C. [1992], “Growth Accounting When Technical Change is Embodied in Capital,” *American Economic Review*, September, 82, pp. 964-80.
- Hulten, C. and F. Wykoff [1981], “The Measurement of Economic Depreciation,” in Hulten, C. (Ed.), *Depreciation, Inflation, and the Taxation of Income from Capital*. Urban Institute, Washington, D.C., pp. 81-125.
- Jensen, B., R. McGuckin, and K. Stiroh [2001], “The Impact of Vintage and Survival on Productivity: Evidence from Cohorts of U.S. Manufacturing Plants,” *The Review of Economics and Statistics*, 83(2), pp. 323-332.

- Levinsohn, J., and A. Petrin, [2003] , “Estimating Production Functions Using Inputs to Control for Unobservables,” *Review of Economic Studies*, 70(2), pp. 317-341.
- Licandro, O., R. Maroto, and L. Punch [2005] , “Innovation, Machine Replacement and Productivity,” Mimeo, European University Institute.
- Mohr, Michael F., and Charles E. Gilbert [1996], “Capital Stock Estimates for Manufacturing Industries: Method and Data,” Board of Governors of the Federal Reserve System.
- Nelson, R. [1964] , “Aggregate Production Functions and Medium-Range Growth Projections,” *American Economic Review*, September 54, pp. 575-606.
- Power, L. [1998] , “The Missing Link: Technology, Investment, and Productivity,” *Review of Economics and Statistics*, 80 (2), pp. 300–313.
- Sakellaris, P. [2001] , “Production Function Estimation with Industry Capacity Data,” Mimeo. Board of Governors of Federal Reserve System.
- Sakellaris, P., and D. Wilson. [2004] , “Quantifying Embodied Technological Change,” *Review of Economic Dynamics*, 7, pp. 1-26.
- Salvanes, K.J., and R. Tveteras. [2004] , “Plant Exit, Vintage Capital and the Business Cycle,” *Journal of Industrial Economics*, 52(2), pp. 255-276.
- Solow, R. [1960] , “Investment and Technical progress,” in: Arrow, K., Karlin, S., Suppes, P. Eds.), *Mathematical Methods in the Social Sciences*. Stanford Univ. Press, Stanford, CA, pp. 89–104.
- Wolff, E. N. [1991] , “Capital Formation and Productivity Convergence over the Long-Term,” *American Economic Review*, June, 81, pp. 565-579.
- Wolff, E. N. [1996] , “The Productivity Slowdown: The Culprit at Last?” *American Economic Review*, December, 86, pp. 1239-1252.