

論文

情報化投資は生産性の向上をもたらしたのか？*

鵜飼 康 東**

要 約

情報技術投資が全要素生産性および労働生産性に与える正の効果について、米国のマクロ経済分析の専門家達は1990年代にはきわめて懐疑的であった。しかし、1990年代の後半に入り、経営学者を中心にして企業のマイクロデータを利用することにより正の効果を認めるパネル・データ分析が出始めている。日本の研究はまだ少数であるが、マクロ分析では米国の分析結果よりもさらに低い正の効果が計測されている。また、日本の銀行業のマイクロデータ分析では米国と正反対の分析結果が予想されている。

キーワード：情報技術；情報投資；全要素生産性；労働生産性；マイクロデータ；
経済学文献季報分類番号：02-27；02-42；09-14；

第1節 日米情報技術格差の神話

米国経済は、1991年3月に底を打って以来、本稿執筆中の2000年7月現在に至るまで、9年数か月の長期に渡り、年率2.5パーセントから4パーセントの高い実質経済成長率を達成している。労働生産性の伸びも著しい。これは20世紀に入って最も長期に渡る景気拡大である。一方、日本の実質経済成長率は、1991年2月に山を越えて以来、1996年にいったん4.2パーセントに回復しながらも、消費税率上昇、アジア通貨危機、金融機関破綻の衝撃に耐えられず、1パーセント台の低い位置に留まっている。日本の新聞、雑誌、放送媒体等によく見受けられる見解は、「日米の成長率格差の主たる原因は、コンピュータ・ハードウェア、同・ソフトウェアおよび通信機器の集中的投資による技術進歩率の日米格差である」という主張である。

* 本論は平成9年度より平成12年度にわたり科学研究費補助金の交付を受けた「金融情報システム投資の実証分析」（課題番号09630061・基盤研究C1・研究代表者鵜飼康東）の研究成果の一部である。草稿は平成12年6月10日に慶應義塾大学三田校舎で開催された日本公共政策学会年次大会において報告された。草稿に対して、Dale W. Jorgenson（ハーバード大学ケネディ行政大学院）、Daniel E. Sichel（アメリカ連邦準備制度理事会事務局）、Erik Brynjolfson（マサチューセッツ工科大学スローン経営大学院）、長峯純一（関西学院大学総合政策学部）、渡邊真治（大阪府立大学総合科学部）、金子勝（法政大学経済学部）、武田浩一（法政大学経済学部）、代田豊一郎（日本銀行金融研究所）、中室牧子（日本銀行調査統計局）の各氏より助言を賜った。記して深謝の意を表する。

** 関西大学総合情報学部教授 e-mail: <ukai@res.kutc.kansai-u.ac.jp>

筆者の判断では、このような見解は科学的検討なくして主張されている場合が大半である。このような主張をする場合には、第1に、米国の情報化投資が米国の技術進歩にどの程度貢献したかについての統計的検証が必要である。第2に、日本の情報化投資が日本の技術進歩にどの程度貢献したかの統計的検証が必要である。最後に、日米経済の初期条件の違いを前提として、どのような情報化投資が日本経済に必要なかの理論的検討が必要である。ただし、初期条件に日米両国の法律・慣習等の制度的相違を含む見解に筆者は反対である。

本論の主たる目的は、第1の統計的検討についての1990年代のアメリカ経済学界における論争点を整理することである。ただし、副次的に、1990年代後半から開始された、日本についてのマクロ的研究とミクロ研究についても触れることとする。

第2節 生産関数、全要素生産性、および技術進歩

最初に経済学における全要素生産性の定義を簡単に述べることにする。

Q を生産量、 L を労働投入量、 K を資本投入量、 A を技術係数とおいて、以下のようなコブ・ダグラス型生産関数を想定する。

$$Q = AL^{\alpha} K^{\beta} \quad (1)$$

ここで、(1)式の両辺の自然対数 \ln をとると、対数関数の性質より、

$$\ln Q = \ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K \quad (2)$$

となる。 $\ln Q$ を $\ln L$ で偏微分すれば α となるが、これは生産量の労働投入に対する弾力性の値とつねに相等しい。なぜならば、合成関数の微分公式、および対数関数の微分公式を用いれば、

$$\partial \ln Q / \partial \ln L = (\partial \ln Q / \partial Q) (\partial Q / \partial L) (\partial L / \partial \ln L) = (\partial Q / Q) / (\partial L / L) \quad (3)$$

となるからである。(3)式の右辺は、「労働投入が1パーセント変化した場合の生産量のパーセント変化の数値」という、「生産量の労働投入に対する弾力性」の定義そのものである。

同様に、 $\ln Q$ を $\ln K$ で偏微分すれば β となるが、これは「資本投入が1パーセント変化した場合の生産量のパーセント変化の数値」という、「生産量の資本投入に対する弾力性」の定義そのものである。

また、(1)式の左辺を L もしくは K で偏微分すれば、労働もしくは資本の限界生産力の定義そのものである。よって、各生産要素の限界生産力の逓減を仮定すれば、(1)式の左辺を L もしくは K で2回偏微分した値がいずれも負となることを仮定したことと同値である。

したがって、各要素の限界生産力が正であり、それが逓減するという仮定は、以下のように仮定したことと同値である。

$$0 < \alpha < 1 \quad (3)$$

$$0 < \beta < 1 \quad (4)$$

なお、コブ・ダグラス型生産関数では、労働投入と資本投入との間の代替の程度を示す限界代替率が1パーセント変化したときに要素投入比率 (K/L) も1パーセント変化する、すなわち要素代替の弾力性がつねに1であることが簡単な数式展開で証明することができる。

これに加えて、この生産関数が規模に関して収穫逓増ならば、 $\alpha + \beta > 1$ 、となり、また、規模に関して収穫不変ならば、 $\alpha + \beta = 1$ 、となり、さらに、規模に関して収穫逓減ならば、 $\alpha + \beta < 1$ 、となることも簡単に証明することができる。¹⁾

さて、(1)式を見れば、生産量 Q が増加するための条件として、労働投入 L が増加すること、資本投入 K が増加することのみならず、技術係数 A が上昇することを挙げることが出来る。各変数が時間の関数であると仮定すれば、

$$\ln Q(t) = \ln A(t) + \alpha \ln L(t) + \beta \ln K(t) \quad (5)$$

となり、この式の両辺を時間 t で微分すれば、対数関数の微分公式により、

$$Q \text{ の期間増加率} = A \text{ の期間上昇率} + \alpha (L \text{ の期間増加率}) + \beta (K \text{ の期間増加率}) \quad (6)$$

となる。いま、何らかの手段により、 Q と L と K の各期間の数値が得られたとすれば、 A の期間上昇率を以下の残差として推計することが出来る。

$$A \text{ の期間上昇率} = Q \text{ の期間増加率} - \alpha (L \text{ の期間増加率}) - \beta (K \text{ の期間増加率}) \quad (7)$$

さて、上記の A の期間上昇率は、労働投入や資本投入の変化によっては説明することが出来ない生産量の変化である。経済学者は、技術係数 A を全要素生産性と呼んで、資本の生産性や労働の生産性と厳格に区別する。

この全要素生産性は、1) 資本や労働に体化された技術進歩、2) 経営組織の改善等の資本や労働に体化されない技術進歩、3) 環境汚染や自然災害等の生産関数への外生的衝撃によって変化すると考えられている。したがって、ある経済での全要素生産性の期間上昇率が大きいと、当該する経済に技術進歩が起こったことの傍証として使用することが出来る。

第3節 ソロー生産性の逆説

コンピュータに関連した資本と労働を K とし、コンピュータに関連しない資本と労働を L とし、収穫逓減の生産関数 f を、生産量 Q 、生産要素 K および L の3次元空間に作図して見よう。これが、第1図である。生産要 K と L の投入費用を B とし、コンピュータ関連要素の価格を P_K 、コンピュータ非関連要素の価格を P_L とすれば、費用条件は、

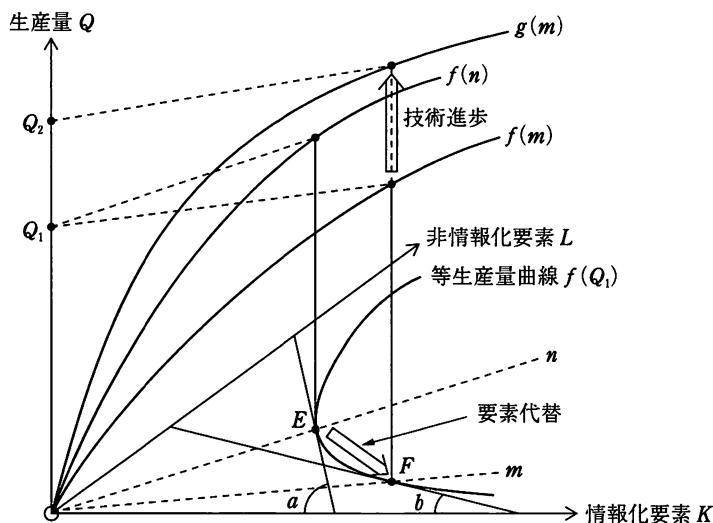


図1 要素代替と技術進歩

$$B = P_L \cdot L + P_K \cdot K \quad (8)$$

となる。費用と要素価格を所与とすれば、両辺を P_L で割り、左辺を右辺へ移項し、右辺第1項を左辺へ移項して、両辺を K で微分すれば、

$$dL/dK = -(P_K/P_L) \quad (9)$$

である。この予算制約線の勾配の絶対値が、先に定義した限界代替率である。

所与の要素価格比率 a の下でのある生産量 Q_1 にとっての費用最小をもたらす生産要素の組み合わせは、等生産量曲線 $f(Q_1)$ と最適の生産費用線の接点 E が示す。これは、価格理論の教科書には、制約条件 $f(Q_1)$ の下で投入費用 B を最小にする1階の条件として記述されている。要素価格比率 a の下での最適生産経路は n 軸に沿って $K-L$ 平面に垂直な平面で生産関数を切断した像 $f(n)$ で示されている。

いま、コンピュータ関連要素の価格 P_K が低下してゆくと、他の事情一定にして、生産費用線の勾配の絶対値、すなわち限界代替率 (P_K/P_L) が角度 a から角度 b に低下する。したがって、企業の費用最小の要素投入の組み合わせはこの新しい予算制約線と等生産量曲線 $f(Q_1)$ の接点 F となる。要素価格比率 b の下での最適生産経路は m 軸に沿って $K-L$ 平面に垂直な平面で生産関数を切断した像 $f(m)$ で示されている。

しかし、接点 E から接点 F への変化、すなわち、所与の生産関数のもとでの像 $f(n)$ から像 $f(m)$ への変化は技術進歩とは何の関係もない。技術進歩とは3次元の生産関数全体が上方に移動して F の下での生産量が Q_1 から Q_2 に増加すること即ち、技術係数 A が上昇することだからであ

る。

1990年代のアメリカの新古典派経済学者の実証研究の結果は、1973年以来米国では情報技術関連の投資が急激に増加しているにもかかわらず、上記の A の上昇によって計測される技術進歩の上昇率が非常に低いというものであった。Jorgenson and Stiroh (1999) は、1980年代より企業部門における情報技術投資が実質的に年率約28.3パーセント上昇しているのに対して、1973-90年の全要素生産性の上昇率は年率0.34パーセントであり、1990年から1996年は年率0.23パーセントとむしろ低下していると推計している。

これは、米国の情報化投資が技術進歩に大きく貢献したという通俗的見解とまったく異なっている。Jorgenson and Stiroh (1999) はこれを「ソロー生産性の逆説」と呼んでいる。

さて、このような新古典派経済学者の統一見解に対する批判としては以下の4点が挙げられる。第1に、全要素生産性 A の伸び率で情報投資の経済に与える影響を計測する手法は不適切であるという批判である。第2に、情報投資 K の計測対象の定義が狭すぎるという批判である。第3に、計測期間に問題があるという批判である。最後に、マクロ経済学の指標で情報投資の影響は計測できないという根本的批判が存在する。

筆者は第1から第3の批判までは、新古典派経済学の分析的枠組みを崩すことなく解決可能であると考えている。第4節でこの解決策について論評する。次に、第4の根本的批判については第5節で論評する。

第4節 労働生産性、生産の情報設備弾力性、および短期計測期間

第1の全要素生産性を尺度に用いる手法への批判に対しては、労働生産性 (K/L) もしくは生産の情報設備弾力性 β の上昇率を新しい尺度として用いることにより回避することが出来る。第2の情報投資の定義についての批判に対しては、情報投資の定義にコンピュータのみならず、ソフトウェア、コンピュータ関連労働、インターネット用通信機器等を含めて広く解釈することにより回避することが出来る。さらに、第3の計測期間についての批判は、情報技術革命が社会的に広く認識された1995年前後から現在までの短期間の計測に限定することにより回避することが出来るのである。

ここで、労働生産性の説明を簡単にしておこう。Solow (1957) と同様に、規模に関して収穫不変を仮定すれば、 $\alpha + \beta = 1$ 、であるので、生産関数は以下のように1次同次の関数となる。

$$Q = AL^{1-\beta} K^{\beta} \quad (10)$$

ここで、両辺を人時単位の労働 L で割れば、以下のようなになる。

$$Q/L = A(K/L)^{\beta} \quad (11)$$

さらに、(11)式の両辺の自然対数 \ln をとると、

$$\ln(Q/L) = \ln A + \beta \ln(K/L) \quad (12)$$

これは、人時あたりの労働生産性(Q/L)を人時当たりの資本ストック(K/L)、すなわち資本装備率で説明する式である。先程の(2)式と同様に、(12)式の各変数が時間の関数であると仮定し、この式の両辺を時間 t で微分すれば、

$$(Q/L) \text{の期間増加率} = A \text{の期間上昇率} + \beta [(K/L) \text{の期間増加率}] \quad (13)$$

となる。

さて、情報技術革命の経済分析の先駆的業績である Sichel (1997) は、情報技術投資の尺度としてコンピュータのハードウェアとソフトウェアの投資額を推計して、1987年から1993年までの労働生産性の伸びが平均して年率0.9パーセントであったのに対して、情報投資の寄与する部分は年率0.25パーセント分であると推計した。したがって、Sichel (1997) の情報技術投資が労働生産性に及ぼす正の効果についての結論は、Jorgenson and Stiroh (1999) の全要素生産性に及ぼす正の効果についての結論とほぼ同様の悲観的色彩を帯びていた²⁾。

ところが、Oliner and Sichel (2000) は、情報技術投資の尺度に、インターネットやイントラネットに関連する通信設備を追加し、自己の研究に新しい時系列をつけ加えることによって、先に述べたように、「1995年以後の労働生産性の伸びに情報投資は大きく寄与している」という、自己の過去の研究結果を覆す結論を得たのである。

Oliner and Sichel (2000) の新しい推計によれば、米国の労働生産性は1991年から1995年にかけて年率1.61パーセント上昇したのに対して1996年から1999年にかけては年率2.66パーセント成長した。この1.05パーセントの成長率の要因を分析すれば、人時当たりの情報技術投資の貢献度が0.46パーセントであり、コンピュータおよび半導体産業の全要素生産性向上の貢献度が0.26パーセントである。合計0.76パーセントの貢献となる。

さらにつけ加えれば、全要素生産性の上昇率は1991年から1995年にかけての年率0.57パーセントから1996年から1999年にかけての年率1.25パーセントに急上昇している。

それでは、日本についての状況はどうであろうか。篠崎彰彦 (1999) はこの分野の先駆的研究である。彼は、第8章においてアメリカの情報化投資額を1981年から1994年まで推計し、さらに第10章において、日本の情報化投資額を1974年から1996年まで推計している。そこでは、日本における労働生産性上昇率2.83%に対する情報化投資の貢献は0.35%であり、米国の0.84%よりもはるかに低い。さらに、全要素生産性は1980年以来下落し続けている。すなわち、日本では、現在のところ、マクロ的には「ソロー生産性の逆説」が成立する可能性が高い³⁾。

経済企画庁 (2000) の最新の推計もこの結論を補強している⁴⁾。

第5節 個別企業データによる新しい研究動向

しかしながら、Jorgenson and Stiroh (1999) に代表される新古典派経済学の理論に基づく実証研究には、経営学者や New Economy 論者を中心とした反論が絶えなかった。1990年代の米国において、個別企業の経営者が争って新しい情報技術を自己の生産過程に導入し、全企業が情報技術を共有するまでの、すなわち市場の静学的均衡が形成されるまでの、超過利潤を追求した社会現象をうまく説明していないからである。

もちろん、新古典派経済学は以上の社会現象を明確に説明できる。1990年代に、電算機および半導体産業の技術進歩により処理能力単位のコンピュータの価格が劇的に低下したことにより、生産要素の相対価格が大きく変化し、その結果、生産要素の大幅な代替が生じた、という説明がそれである。図1における、生産費用線の角度が a から b に大きく変化して、最適生産経路が n 軸から m 軸に変化することであると言ってもよい。しかし、経営学者や New Economy 論者から見れば、このような相対要素価格による説明は、米国の情報技術革命を、通常の資本設備の増加による単なる数量的生産拡大効果として、社会的に低く評価してしまうことになる⁵⁾。

ペンシルヴァニア大学、マサチューセッツ工科大学、スタンフォード大学等の経営大学院に集まった若手の経営学者達による個別企業データによる情報技術の新しい統計分析が開始されたのは1995年頃のことである。

Brynjolfson and Hitt (1995) は上記の Sichel (1997) や Jorgenson and Stiroh (1999) のようなマクロ経済のデータ分析ではなく、個別企業の1990年から1995年までの5年間のデータの平均値のクロスセクション分析を行った。データ源泉は、経済雑誌「Fortune」に毎年掲載される製造業上位500社およびサービス業上位500社の公表財務諸表、およびこの約1000社のコンピュータ関連の各種の公表データベースである。

Brynjolfson and Hitt (1995) では、生産関数は個々の企業の財務諸表から推計される企業の数だけ存在する。したがって全要素生産性は個々の企業で異なっている。さらに、生産関数は以下のような「トランスログ」形式を採用。

$$\ln Q(t) = \ln A(t) + \alpha \ln L(t) + \beta \ln L(t)^2 + \gamma \ln K(t) + \delta \ln K(t)^2 + \epsilon \ln L(t) \ln K(t) \quad (14)$$

したがって、(14)式の両辺を $\ln K$ で偏微分すれば、生産の情報投資弾力性が計算される。

$$(\partial Q/Q)/(\partial K/K) = \gamma + 2\delta \ln K + \epsilon \ln L \quad (15)$$

彼等の分析では、個々の経営者の投資行動を反映する企業別の全要素生産性の差をコントロールするために、企業別の固定効果を削除しても、情報投資の生産弾力性は正の値をとる。しかも、ま

まったく同じデータを用いてコブ・ダグラス型生産関数を推計しても、情報投資の生産弾力性は正の値をとる。さらに、製造業よりもサービス産業の方が情報投資の生産弾力性は高い。

したがって、Brynjolfson and Hitt は、 A の変化よりも α から ε を用いて計算される各弾力性の時間的変動に着目することにより「個別企業の水準では生産性の逆説は存在しない」と結論する。

最近、Hitt and Brynjolfson (1998) は、コンピュータ投資の拡大は企業の内部組織や、部品納入業者との関係、顧客との関係に大きな変化をもたらし、その結果、製品の品質の向上や納入の速度の上昇が生じて、社会全体の消費者の効用を上昇させているが、それは GNP 統計には表れて来ないと、主張している。これは、マクロ経済学は IT 革命の分析用具として不適切である、という一群のエコノミストを生み出した。

日本では、このようなミクロ・レベルでの情報投資の効果を計測した研究はきわめて少ない。鵜飼康東(1997)は、日本の銀行業へのアンケート調査により、銀行業の情報技術関連投資および投下労働を推計して、公表された財務諸表データと比較してクロスセクション分析を行っている。そこでの予想は、銀行業の情報投資については投資金額がある水準を越えれば規模の経済が存在しなくなる、というものである。

この予想は、Brynjolfson and Hitt の推計結果がすくなくとも日本の巨大銀行については成立しない可能性がある、ということを示唆している。

第6節 結論および必要とされる統計資料

以上の文献展望により以下の点が明らかとなった。第1に、情報投資の生産性上昇効果はすくなくとも20年以上の期間を計測しなければ明確にあらわれない。したがって、情報投資の経済効果は、民間投資需要の増加が経済の現実の成長率を潜在成長率に近づける短期的効果のみが明確な効果である。いわゆる「IT 革命」は、新古典派経済学者から見れば、きわめて不確かな理論的基礎に立つ文化的流行現象に過ぎない。

第2に、Brynjolfson and Hitt のようなミクロデータによる情報投資の生産性上昇効果の計測を可能にするためには、日本企業の情報投資の個別データの整備が不可欠である。しかし、日本の現状は絶望的である。ほとんどの企業経営者がこのような学術研究のための情報公開を拒否するからである。

筆者は、すべての上場企業に情報投資の明細の公表を義務づけるために、中立的民間研究機関により「情報投資の情報公開度の格付け」を行い、格付けの低い企業の株価が低下するような市場機構の整備が必要であると考えている。

注

- 1) 例えば、蓑谷（1997），77-80ページを参照せよ。
- 2) Sichel, Daniel E.(1997), Chapter 4, p.80, Table4-2. および pp.84-85を参照せよ。
- 3) 篠崎彰彦（1999），110-123ページおよび141-175ページを参照せよ。
- 4) 平成12年版『経済白書』，158-160ページを参照せよ。
- 5) D.W. ジョルゲンソン自身は情報技術革命の社会的意義を決して低く評価してはいない。彼は、ハーバード大学ケネディ行政大学院に科学技術政策を研究する部門を1984年に創設し、2000年7月現在も総括責任者である。しかし、彼は情報技術革命は新古典派経済学の枠組みを根本的に変革する社会現象ではないと考えている。

参考文献（著者・ABC順）

- Bresnahan, Timothy F., Brynjolfson, Erik. and Lorin Hitt (2000): Information Technology , Workplace Organization and the Demand for Skilled Labor: Firm-level Evidence, May 2000, MIT Sloan Working Paper.
- Brynjolfson, Erik. and Lorin Hitt (1995): Information Technology as a Factor of Production: The Role of Differences Among Firms, Economics of Innovation and New Technology, vol.3, No.4, pp.183-200.
- Hitt, Lorin and Erik Brynjolfson(1998): Beyond Computation: Information Technology, Organization Transformation and Business Performance, Mimeo.
- Jorgenson, Dale W. and Kevin J. Stiroh(1999): Information Technology and Growth, American Economic Review, Vol.89, No.2, May 1999, pp.109-115.
- 経済企画庁（2000）：『平成12年版経済白書—新しい世の中が始まる—』，大蔵省印刷局，東京，2000年。
- 蓑谷千鳳彦（1997）：『計量経済学』，多賀出版，東京，1997年。
- Oliner, Stephen D. and Daniel E. Sichel(2000): The Resurgence of Growth in the Late 1990s: Is Information Technology the Story ? , Federal Reserve Board Working Paper, February 2000.
- Shapiro, Carl and Hal R. Varian (1999): Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy, Harvard Business School Press, Boston.1999.
- Sichel, Daniel E.(1997): The Computer Revolution: An Economic Perspective. Washington D.C., The Brookings Institution, 1997.
- 篠崎彰彦（1999）：『情報革命の構図』，東洋経済新報社，東京，1999年。
- Solow, R. M.(1957) : Technical Change and the Aggregate Production Function, Review of Economic Statistics, vol.39, pp.312-320.
- The World Bank(2000): Entering the 21st Century: World Development Report 1999/2000, Oxford University Press, 2000.
- 鵜飼康東（1997）：「JMPver.3.1 ソフトウェアによる銀行業情報システム投資横断面分析」『第16回日本 SAS ユーザー会総会および研究発表会論文集』，321-332頁，SAS インスティテュートジャパン，東京，1997年。