

## 日本における情報通信技術の生産性分析

竹村 敏彦・江良 亮

*RCSS*

文部科学省私立大学学術フロンティア推進拠点  
関西大学ソシオネットワーク戦略研究センター

Research Center of Socionetwork Strategies,  
The Institute of Economic and Political Studies,

Kansai University

Suita, Osaka, 564-8680 Japan

URL: <http://www.rcss.kansai-u.ac.jp>

<http://www.socionetwork.jp>

e-mail: [keiseiken@jm.kansai-u.ac.jp](mailto:keiseiken@jm.kansai-u.ac.jp)

tel: 06-6368-1228

fax. 06-6330-3304

# 日本における情報通信技術の生産性分析

竹村 敏彦\*

関西大学ソシオネットワーク戦略研究センター†

江良 亮‡

山形県立産業技術短期大学校庄内校国際経営科§

2007年8月

## 概要

本稿では、生産関数アプローチを用いて、2000年から2004年におけるICT投資によってもたらされる経済効果の測定をおこなってきた。パネルデータ分析の結果、ICT資産の弾力性は0.079で正の値をとっており、またソフトウェア資産およびコンピュータ関連機器の弾力性も0.031～0.032の範囲で正の値をとっていることがわかった。業種ダミーを踏まえて、製造業と非製造業におけるICT資産の弾力性をそれぞれ計算したところ、製造業よりも非製造業のほうがICT投資することによって得られる経済効果は大きくなっていることがわかった。また、同様のことがソフトウェア資産においても確認されている。ただし、コンピュータ関連機器に関しては、製造業、非製造業問わずその効果の差異はないといえる。この結果は、製造業および非製造業ともに生産性パラドックスは観測されないという命題が日本においても成立することを主張することができる論拠となりうる。

KEYWORD: Information and Communication Technology, Software, Panel Data Analysis, Productivity

JEL CLASSIFICATION: C23, C81, C87, D24, L11, L86

---

\*関西大学ポスドクトラル・フェロー・E-mail: takemura@rcss.kansai-u.ac.jp

†〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35 関西大学経済・政治研究所ソシオネットワーク戦略研究センター

‡専任講師・E-mail: era@shonai-cit.ac.jp

§〒998-0102 山形県酒田市京田三丁目57-4 山形県立産業技術短期大学校庄内校国際経営科

# Productivity Analysis of Information and Communication Technology in Japan

**Toshihiko Takemura**

E-mail: takemura@rcss.kansai-u.ac.jp

*Research Center of Socionetwork Strategies, Kansai University,  
3-3-35 Yamate, Suita, Osaka, 564-8680, JAPAN,*

**Akira Ebara**

E-mail: era@shonai-cit.ac.jp

*International Business Management Course, Shonai College of Industry and  
Technology, 3-57-4, Kyota, Sakata, Yamagata, 998-0102, JAPAN*

## ABSTRACT

In this paper, we estimate economic effect on ICT investment in the period 2000-2004 by using production function approach and panel data analysis. As the result, elasticities of ICT asset is 0.079, and software asset and computer equipment are positive values in the range of the 0.031-0.032. When we analyze the economic effect by distinguishing into the manufacturing industry and the non-manufacturing industry, we find that the effect of ICT investment in non-manufacturing industry is larger than in manufacturing industry. In the same way, we also verify the fact regarding software asset. In regard to the computer equipment, it is no difference of the effect between the manufacturing and the non-manufacturing industry. The fact implies that productivity paradox is not observed in Japanese manufacturing and non-manufacturing industry.

KEYWORD: Information and Communication Technology, Software, Panel Data Analysis, Productivity

JEL CLASSIFICATION: C23, C81, C87, D24, L11, L86

## 1 序論

日本の企業レベルデータを用いた産業横断的な情報通信技術 (Information and Communication Technology, 略称 ICT) 投資の経済効果を測定している研究に松平 (1998) がある<sup>1)</sup>。松平 (1998) は ICT 投資に関するアンケート調査の個票データをもとに、財務データとリンクさせて、ICT 投資の経済効果のインパクトを計測し、生産性パラドックスの検証をおこなっている。その結果、全産業では ICT 資産の回帰係数は有意に正であり、生産弾力性と限界生産性が正であることを確認している。しかしながら、製造業と非製造業に分けて分析をおこなったところ、前者では正の経済効果が認められるものの、非製造業においては統計的に有意な結果が得られていない。そして、松平 (1998) は日本の製造業において生産性パラドックスは存在しないものの、非製造業においてはその存在を否定することができないと結論づけている。この主張に対する検証は、ICT 資産に関する企業レベルデータが 2000 年以降まで整備されていなかったことなどを理由として、これまで特におこなわれてこなかった。非製造業において生産性パラドックスの存在を否定できなかった理由のひとつとして、製造業において十分な標本数が確保されているものの、非製造業においては十分な標本数が確保されていないことが挙げられる。この他にも、研究の興味が個別産業を対象にしたものや、企業レベルデータを用いた研究でしかできない ICT 投資の経済効果に関する更なる検証へとシフトしたことも考えられる。

そこで、2000 年以降 (2000 年から 2004 年) の標本数が十分確保できる時期を対象に、日本経済新聞社が提供している「一般事業会社本決算データ」を用いて、松平 (1998) の主張を再検証する。言い換えると、マクロやセミマクロレベルデータを用いた研究と同様に、生産性パラドックスがいずれの業種においても存在しないことを企業レベルデータを用いた研究でも確認する。言い換えると、製造業のみならず、非製造業においても ICT 投資が正のインパクトを与えることを主張する<sup>2)</sup>。なお、この仮説検証には、生産関数を用いる。

この仮説検証をおこなうことで、政府の ICT 政策が有効に機能するかについて議論することができる。また、今後この種の追試を可能とすると同時に、企業レベルデータを用いた研究とマクロ・セミマクロレベルデータを用いた研究との整合性についても議論することができる<sup>3)</sup>。企業レベルデータを用いた研究はその他のレベルのデータを用いた研究よりも日本全体の ICT 投資の現状が垣間見ることができるといえる。

本稿の構成は以下の通りである。第 2 節では、生産関数アプローチを拡張したモデルについての説明を与える。第 3 節では推計手法であるパネルデータ分析とデータセットについて説明をおこない、第 4 節にてその推計結果を示す。第 5 節では、本稿における分析の含意を示す。そして、最後の節にて本稿のまとめを与える。

## 2 フレームワーク

本稿では、企業の生産に関する理論 (生産関数アプローチ) に基づいて、ICT 投資の経済効果の測定をおこなう。

生産関数アプローチは、各企業の生産活動が労働や資本といった実物的な生産要素を投入するこ

<sup>1)</sup> 日本の企業レベルデータを用いた ICT 投資の経済分析に関する先行研究については、江良・竹村 (2005) や Watanabe, Ukai and Takemura (2005a) などを参照されたい。

<sup>2)</sup> 業種ごとに ICT 投資のインパクトは異なることが推測される。竹村 (2006) において、情報通信業を対象にして ICT 投資の経済分析をおこなっているので参照されたい。

<sup>3)</sup> 特に、「一般事業会社本決算データ」などのデータベースを用いれば、竹村 (2007) のように有価証券報告書からデータセットを最初から構築する手間が省けるので、追試は容易にできる。

とで、各企業の生産物が生成されるといった基本的な考えに基づくものである。この関係を一般的に表現したものが

$$Q_i(t) = F_i(\mathbf{K}_i(t), \mathbf{N}_i(t); \mathbf{X}_i) \quad (1)$$

である。ここで、 $i$  は企業  $i$  を表している。また  $Q_i(t)$  は  $t$  期における企業  $i$  の生産物、 $\mathbf{K}_i(t)$ 、 $\mathbf{N}_i(t)$  と  $\mathbf{X}_i$  はそれぞれ資産  $K_{j,i}(t)$  ( $j \in J$ ) から構成されるベクトルとその他の生産要素  $N_{l,i}(t)$  ( $l \in L$ ) から構成されるベクトル、業種特有の要素  $X_{m,i}$  ( $m \in M$ ) から構成されるベクトルを表している。なお、生産関数  $F_i : \mathbf{K}_i(t) \times \mathbf{L}_i(t) \rightarrow \Re$  は単調性 (monotonicity) と準凹関数 (quasi-concavity) を満たしていると仮定する。

式 (1) を用いることで、ICT 投資の有効性を調べることは容易にできる。それは、ICT 資産  $K_{ICT,i}(t)$  について式 (1) を偏微分し、次式の関係式を確認すればよい<sup>4)</sup>。また、非 ICT 資産  $K_{NIS,i}(t)$  についても理論的には同様の関係が得られる。

$$\frac{\partial Q_i(t)}{\partial K_{ICT,i}(t)} = \frac{\partial F_i}{\partial K_{ICT,i}(t)}(\mathbf{K}_i(t); \mathbf{N}_i(t); \mathbf{X}_i) > 0 \quad (2)$$

式 (2) は ICT 資産の生産物に対する限界生産性が正となることを意味している。

松平 (1998) では、製造業については式 (2) の関係が成立しているが、非製造業については実証的に必ずしもこの関係が成立していないと主張している。そこで、式 (2) の関係が製造業および非製造業において成立する、つまり ICT 投資が企業の経営パフォーマンス上昇に寄与するという仮説を立て、その検証をおこなう<sup>5)</sup>。

### 3 推計手法とデータセット

#### 3.1 パネルデータ分析

パネルデータ分析は企業レベルのデータを用いた分析において近年多用されるようになっていいる。本稿のような生産関数の推計において長らく問題になっていた規模の経済と技術変化を判別できないといった問題がある。それは、クロスセクションデータでは前者に関する情報がわかるのみで、時系列データでは両者の効果が混ざってしまうので区別がつかないためである<sup>6)</sup>。パネルデータ分析はこれらのクロスセクションデータや時系列データを用いた分析のデメリットを克服することができるので、この問題を回避することができる<sup>7)</sup>。

パネルデータ分析をおこなうために、式 (1) における生産関数の形状や資産、その他の生産要素を特定化する必要がある。議論を簡単化するために、生産関数の形状は Cobb-Douglas 型を仮定する。また、資産としては ICT 資産 (ソフトウェア資産とコンピュータ関連機器) と非 ICT 資産、その他の生産要素として従業員数、業種特有の要素として業種ダミーを考える。そして、式 (1) を対数変換し、それに誤差項  $\varepsilon_i(t)$  を付与した以下の推計式を得る。

$$\begin{aligned} \ln Q_i = & \alpha_i + (\beta_{ICT} + \delta_{ICT} D_i) \ln K_{ICT,i}(t) + (\beta_{NICT} + \delta_{NICT} D_i) \ln K_{NICT,i}(t) \\ & + (\gamma_E + \delta_E D_i) \ln N_{E,i}(t) + \varepsilon_i(t) \end{aligned} \quad (3)$$

<sup>4)</sup> ただし、 $\mathbf{K}_i(t) \gg 0$ 、 $\mathbf{N}_i(t) \gg 0$  が満たされるものとする。

<sup>5)</sup> 実際に、本稿では情報システム資産の限界生産性ではなく弾力性をもって議論している。限界生産性でなく弾力性による検証については、竹村 (2006) などを参照されたい。

<sup>6)</sup> そのために、時系列データ分析では、技術変化をみつめるためには、規模に関して収穫一定が一般的に仮定されたりする。

<sup>7)</sup> パネルデータのメリットとデメリットについては、北村 (2005) などを参照されたい。

および

$$\ln Q_i = \alpha_i + (\beta_S + \delta_S D_i) \ln K_{S,i}(t) + (\beta_H + \delta_H D_i) \ln K_{H,i}(t) + (\beta_{NICT} + \delta_{NICT} D_i) \ln K_{NICT,i}(t) + (\gamma_E + \delta_E D_i) \ln N_{E,i}(t) + \varepsilon_i(t) \quad (4)$$

ここで、 $i$  は企業  $i$  を表しており、 $Q_i$  は生産物、 $K_{ICT,i}$  は ICT 資産、 $K_{S,i}$  はソフトウェア資産、 $K_{H,i}$  はコンピュータ関連機器、 $K_{NICT,i}$  は非情報システム資産、 $N_{E,i}$  は従業員数である。なお、 $\alpha = \ln A$  である。また、 $D_i$  は企業  $i$  が製造業であれば 1、非製造業であれば 0 を付与する指示関数である。さらに、 $\alpha_i$ 、 $\beta_j$  ( $j = ICT, S, H, NIS$ )、 $\delta_m$  ( $m = ICT, S, H$ )、 $\gamma_E$  はそれぞれ推計される係数パラメータである。

簡単にパネルデータ分析の手順を明記すると、以下のようになる。

式 (3) および式 (4) において全ての銀行の個別効果が共通であるか否か、つまり全ての  $i$  に対して  $\alpha_i = \alpha$  という帰無仮説を棄却できるか否かを  $F$  検定によって調べる。これは  $\alpha_i$  の違いを無視し、一時点のクロスセクションデータで上記の式を推定すれば、各係数パラメータ  $\beta_j$  は過小に計測されるために、この検定が必要となる。もしこの帰無仮説が棄却されなければ、古典的な最小二乗法 (Ordinal Least Squares, 略称 OLS) によって各係数パラメータを効率的に推計することができる。一方で、もしこの帰無仮説が棄却された場合、各銀行は企業特性を有すると判断することができ、 $\alpha_i$  を確率変数として扱うか、非確率変数として扱うかを調べる必要がある。なお、個別効果を確率変数として扱うモデルを変量効果モデル (Random Effect Model)、非確率変数として扱うものを固定効果モデル (Fixed Effect Model) と呼ぶ。それぞれ一般化最小二乗法 (Generalized Least Squares, 略称 GLS) と最小二乗ダミー変数法 (Least Squares Dummy Variable, 略称 LSDV) によって各係数パラメータを効率的に推計することができる。しかしながら、両者から推計された係数パラメータが大きく乖離していれば、モデルが特定化の誤りを引き起こしている可能性のあることが示唆される。そのために、いずれのモデルを用いるべきかを調べる必要がある。一般的に、この検定には  $\chi^2$  統計量を用いて個別効果と各説明変数の直行性を検定する Hausman 検定が用いられる。これに加えて、Breusch and Pagan 検定を合わせておこなう。なお、Breusch and Pagan 検定は変量効果モデルよりもプーリング回帰モデルが正しいと仮説検証をおこなうものである。もし、この仮説が棄却されれば、変量効果モデルが採択されることになる。なお、モデルと検定の関係を図 1 にまとめている。

なお、パネルデータ分析について Baltagi (2001)、Wooldridge (2002)、Hsiao (2003) や北村 (2005)

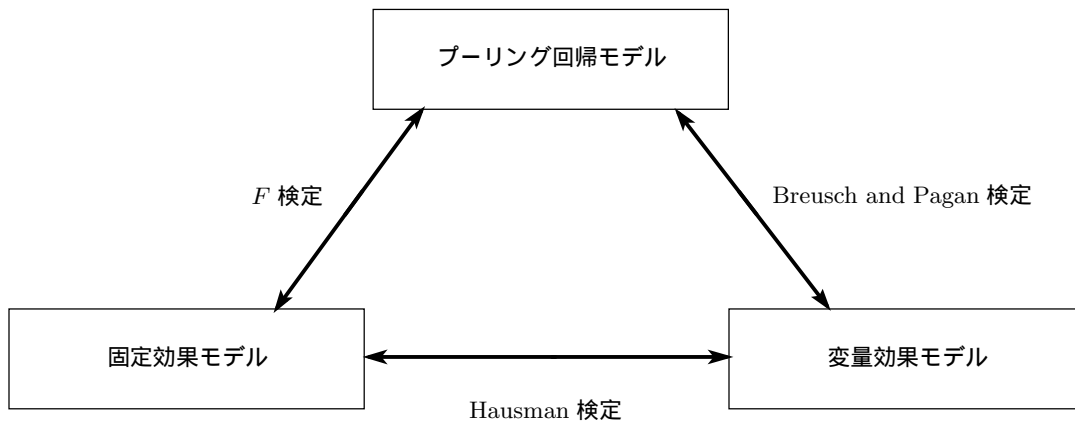


図 1: 推計モデルと検定の関係

などが詳細を与えているので参照されたい。

### 3.2 データセットの構築

本稿の推計には、日本経済新聞社が提供している「一般事業会社本決算データ」(2000年から2004年)のデータセットを用いる。村上・竹村(2005)や竹村(2006)などでも指摘されているように、これらのデータセットは、「研究開発費等に係る会計基準」が適用されて間もないこともあって、該当データベースへの反映が即座におこなわれていないという問題がある。しかしながら、十分な標本数が確保できることや追試可能性を考えると特に問題はないといえる。

全ての産業を対象に、同じ基準でもって分析を行う際、生産物および生産要素をどのように定義するかの問題にまず直面する。特に、非製造業では、この問題はさらに複雑なものとなる。本稿では、後述するように、松平(1998)やBrynjolfsson and Hitt(2001)と同様に総付加価値でもって生産物を定義する。また、生産要素に関しては、ICT関連資産、非ICT関連資産、従業員数を用いる。

生産物 松平(1998)やBrynjolfsson and Hitt(2001)は生産物を総付加価値とし、生産要素として材料およびサービスの総購買額を用いるよりも望ましいと主張している。それは、中間製品の購入は短期的な経済変動に大きく変動されるため、両者の相関が強ければ、生産関数の推計の際、同時性バイアスが生じる可能性があるためである。また、生産物を総付加価値でもって定義する方法は主として国や産業レベルの研究でも多く用いられている。本稿では松平(1998)との比較検討をおこなうことを考慮して、総付加価値でもって生産物を定義する<sup>8)</sup>。

$$Q = \text{総付加価値} = \text{総売上高} - \text{原材料など}$$

分析を単純化するために、3種類の生産要素を考える。生産要素に関しては、資産をICT関連資産(ソフトウェア資産とコンピュータ関連機器)と非ICT関連資産、また可変生産要素としては従業員数を用いる。

ICT関連資産 本稿では、ソフトウェア資産とコンピュータ関連機器でもってICT関連資産を定義する。なお、Bresnahan, Brynjolfsson and Hitt(2002)などで定義されているような広義の意味でのICT関連資産とは異なる<sup>9)</sup>。

$$K_{ICT} = K_S + K_H$$

ソフトウェア資産 ソフトウェア資産に関しては「一般事業会社本決算データ」にひとつの項目として存在しており、それを分析に用いる。

$$K_S = \text{ソフトウェア資産}$$

<sup>8)</sup> 江良・竹村(2007)では、生産物として、総付加価値ではなく純付加価値を用いることがよいと主張している。詳細については、江良・竹村(2007)を参照されたい。

<sup>9)</sup> Bresnahan, Brynjolfsson and Hitt(2002)、Brynjolfsson, Hitt and Yang(2002)やWatanabe, Ukai and Takemura(2005b)では、ICT関連資産をこれらに資産に加えて、コンピュータ関連機器およびネットワーク、さらにそれらを利用・運用するための教育訓練に必要とされる人的資本を含めたものでもって定義されている。公表されたデータでもって分析をおこなう際、人的資本を情報システムに関わるものとそうでないものに分類することは困難である。

コンピュータ関連機器 ソフトウェア資産に関しては「一般事業会社本決算データ」の項目として存在するものの、パソコンやサーバなどのハードウェアに関する資産について項目として存在していない。村上・竹村 (2005) ではコンピュータ関連機器を無視して分析をおこなっているが、本稿では竹村 (2006) にならい、コンピュータ関連機器は機械設備に含まれていると仮定し、その代理変数として分析に用いる。

$$K_H = \text{機械装置}$$

ただし、竹村 (2007) などでも考慮されているフィナンシャルリースで取引されたコンピュータなどについてはこれらに含まれていないことに注意されたい。

非 ICT 関連資産 非 ICT 資産の代表として、建物・構築物と土地の総和を用いる。もちろん、総資産から ICT 資産を差し引いたもので非 ICT 資産を定義することもできる。しかしながら、あくまでコンピュータ関連機器は代理変数であること、他の資産に ICT 資産が含まれていることを考慮して建物・構築物と土地の総和を非 ICT 資産としている。

$$K_{NICT} = \text{建物} \cdot \text{構築物} + \text{土地}$$

また、非 ICT 関連資産に関して、業種毎にその重要さが異なるといった問題がある。それを考慮するという意味でも、これを分析に用いることは妥当的であるといえる<sup>10)</sup>。

従業員数 生産要素として重要な役割を果たす労働力を考える。なお、他の ICT 投資の研究のように、ICT 関連の労働と非 ICT 関連の労働に区別して分析をおこなうべきであるが、日本経済新聞社の企業情報データベースからそれらの区別をおこなうことができない。また ICT 資産をすべての従業員が利用していることを考慮して、総従業員数を用いる。

$$N_E = \text{従業員数}$$

## 4 推計結果

表 1 には、ソフトウェア資産が一般事業会社本決算データに記載されている企業数を示している。推計期間において、倒産、合併、上場廃止、新規上場している企業があるために、全期間を通じて標本数が一致することはなく、各期においてその数は異なっている。

表 1: 一般事業会社本決算データにソフトウェア資産が記載されている企業数

年度	2000	2001	2002	2003	2004
製造業	1178	1230	1233	1222	1079
非製造業	988	1190	1214	1217	1077
総企業数	2166	2420	2447	2439	2156

<sup>10)</sup> この他にも、ちょうど推計期間が不況期を脱した時期なので、各項目の加工もそれほど難しくないと理由もある。



表1を見てわかるように、松平 (1998) で問題となっている標本のバイアスは、本稿のデータセットではほぼないといえる。また、標本数についても十分に確保できている。他の同様に、非ランスパネルデータでもって式 (3) と式 (4) における係数パラメータを推計していく<sup>11)</sup>。

#### 4.1 全産業

表2と表3はそれぞれ式 (3) と式 (4) の係数パラメータを推計した結果を示している。なお、各表には、固定効果モデル (Fixed Effect) と変量効果モデル (Random Effect)、プーリング回帰モデル (Pooled OLS) と級間モデル (Between) を提示している。

表 2: 推計結果 I

	Pooled OLS	Between	Fixed Effects	Random Effects
$\hat{\alpha}$	3.297 *** (73.890)	3.254 *** (37.050)		4.016 *** (65.000)
$\hat{\beta}_{ICT}$	0.060 *** (8.740)	0.045 *** (3.250)	0.079 *** (13.690)	0.078 *** (14.350)
$\hat{\beta}_{NICT}$	0.237 *** (34.490)	0.248 *** (17.700)	0.062 *** (7.970)	0.112 *** (16.450)
$\hat{\gamma}_E$	0.725 *** (58.420)	0.729 *** (28.620)	0.756 *** (44.910)	0.758 *** (57.930)
$\hat{\delta}_{ICT}$	0.083 *** (6.670)	0.098 *** (3.850)	-0.058 *** (-4.360)	-0.033 *** (-2.740)
$\hat{\delta}_{NICT}$	-0.099 *** (-6.880)	-0.103 *** (-3.430)	0.003 (0.200)	0.048 *** (3.780)
$\hat{\delta}_E$	-0.026 (-1.250)	-0.035 (-0.820)	-0.214 *** (-7.680)	-0.090 *** (-4.500)
Adj. $R^2$	0.718	0.739	0.454	0.710

2625 firms, 11297 data  
 $F(2624, 8666) = 62.610^{***}$   
Hausman test:  $\chi^2(6) = 463.210^{***}$   
BP test:  $\chi^2(1) = 16981.980^{***}$

\*\*\* は 1% で有意である。() 内は  $t$  値を表す。

個別効果の同時有意性に関する  $F$  検定をおこなったところ、いずれの推計結果においても 1% 有意水準で帰無仮説を棄却したので、各企業は観測できない企業特性をもっていることがわかった。

表2と表3を見てわかるように、固定効果モデルと変量効果モデルの推計結果の一部には若干の違いがある。そこで、Hausman 検定をおこなった。その結果、いずれの推計結果においても、1% 有意水準で帰無仮説が棄却されて、変量効果モデルよりも固定効果モデルを用いる方が妥当であることがわかった。

続いて、プーリング回帰モデルと変量効果モデルの推計結果に関しても一部大きな違いがある。そこで、Breusch and Pagan 検定をおこなった。その結果、いずれの推計結果においても、1% 有意水準で帰無仮説が棄却されて、プーリング回帰モデルよりも変量効果モデルを用いるほうが妥当

<sup>11)</sup> ただし、他の変数に欠損値があるために、実際の推計に用いられる標本数はこれよりも少なくなっている。

表 3: 推計結果 II

	Pooled OLS	Between	Fixed Effects	Random Effects
$\hat{\alpha}$	3.591 *** (61.540)	3.604 *** (31.030)		4.923 *** (64.410)
$\hat{\beta}_S$	0.125 *** (16.890)	0.114 *** (7.460)	0.031 *** (6.350)	0.041 *** (8.430)
$\hat{\beta}_H$	0.002 (0.350)	0.003 (0.250)	0.032 *** (3.850)	0.032 *** (4.310)
$\hat{\beta}_{NICT}$	0.245 *** (23.360)	0.243 *** (11.480)	0.059 *** (5.030)	0.098 *** (9.690)
$\hat{\gamma}_E$	0.644 *** (43.650)	0.652 *** (21.780)	0.636 *** (28.410)	0.682 *** (43.360)
$\hat{\delta}_S$	-0.028 *** (-2.930)	-0.006 (-0.320)	-0.031 *** (-5.020)	-0.025 *** (-3.980)
$\hat{\delta}_H$	0.094 *** (9.280)	0.094 *** (4.590)	-0.016 (-1.270)	-0.001 (-0.110)
$\hat{\delta}_{NICT}$	-0.084 *** (-5.700)	-0.089 *** (-2.930)	0.003 (0.160)	0.065 *** (4.910)
$\hat{\delta}_E$	-0.031 (-1.470)	-0.037 (-0.850)	-0.273 *** (-9.360)	-0.146 *** (-7.240)
Adj. $R^2$	0.726	0.726	0.324	0.709

2050 firms, 8846 data  
 $F(2049, 6788) = 76.800^{***}$   
Hausman test:  $\chi^2(8) = 782.100^{***}$   
BP test:  $\chi^2(1) = 13681.670^{***}$

\*\*\* は 1% で有意である。() 内は  $t$  値を表す。

であることがわかった。 $F$  検定、Hausman 検定の結果を踏まえると、固定効果モデルを用いて分析を行っていくことが最も適切であるといえる。

そこで、表 2 と表 3 の固定効果モデルにおける推計された係数パラメータについて考察していく。

まず、係数パラメータの符号条件について見てみる。ICT 資産、ソフトウェア資産、コンピュータ関連機器、非 ICT 資産および従業員数の係数パラメータ  $\hat{\beta}_j$  ( $j = ICT, S, H, NICT$ ) と  $\hat{\gamma}_E$  は統計的に 1% 水準で正の値をとっており、いずれも符号条件を満たしている。次に、業種ダミー  $D_i$  について見てみると、表 2 では非 ICT 資産の業種ダミー  $\hat{\delta}_{NICT}$ 、表 3 ではコンピュータ関連機器の業種ダミー  $\hat{\delta}_H$  と非 ICT 資産の業種ダミー  $\hat{\delta}_{NICT}$  に関する統計的に有意な結果が得られなかった。一方で、ICT 資産の業種ダミー  $\hat{\delta}_{ICT}$ 、ソフトウェア資産の業種ダミー  $\hat{\delta}_S$  および従業員数の業種ダミー  $\hat{\delta}_E$  については、いずれも 1% 有意水準で、負の値をとっている。

これらの推計結果から、ICT 資産、ソフトウェア資産、コンピュータ関連機器が生産物に対して正の経済効果を与えていることがわかる。また、業種ダミーを考慮すると、ICT 資産およびソフトウェア資産がもたらす経済効果には、製造業と非製造業では差異があり、前者よりも後者のほうが大きくなっていることがわかる。

次に、製造業と非製造業にわたるパネルデータ分析をおこなう。なお、これらの推計には式 (3) と式 (4) から業種ダミーを除いたものを用いる。これらの推計式でもって、さらに分析を進めていくことで、本稿における主張が頑健なものになっているか否かを検証していくことができる。

## 4.2 製造業

表4と表5はそれぞれ業種ダミーを除いた式(3)と式(4)の係数パラメータを推計した結果を示している。

表4: 推計結果 III

	Pooled OLS	Between	Fixed Effects	Random Effects
$\hat{\alpha}$	2.997 *** (59.840)	2.871 *** (28.820)		3.983 *** (49.880)
$\hat{\beta}_{ICT}$	0.131 *** (18.280)	0.129 *** (8.740)	0.022 *** (2.220)	0.058 *** (6.880)
$\hat{\beta}_{NICT}$	0.163 *** (17.870)	0.175 *** (9.360)	0.066 *** (5.740)	0.157 *** (16.310)
$\hat{\gamma}_E$	0.722 *** (58.160)	0.726 *** (28.430)	0.542 *** (29.920)	0.664 *** (44.570)
Adj. $R^2$	0.819	0.825	0.810	0.816

1345 firms, 5915 data  
 $F(1344, 4567) = 42.6^{***}$   
Hausman test:  $\chi^2(3) = 509.690^{***}$   
BP test:  $\chi^2(1) = 8089.450^{***}$

\*\*\* は1%で有意である。()内は  $t$  値を表す。

個別効果の同時有意性に関する  $F$  検定をおこなったところ、いずれの推計結果においても1%有意水準で帰無仮説を棄却したので、各企業は観測できない企業特性をもっていることがわかった。

表4と表5を見てわかるように、固定効果モデルと変量効果モデルの推計結果の一部には大きな違いがある。そこで、Hausman 検定をおこなった。その結果、いずれの推計結果においても、1%有意水準で帰無仮説が棄却されて、変量効果モデルよりも固定効果モデルを用いる方が妥当であることがわかった。

続いて、プーリング回帰モデルと変量効果モデルの推計結果に関しても一部大きな違いがある。そこで、Breusch and Pagan 検定をおこなった。その結果、いずれの推計結果においても、1%有意水準で帰無仮説が棄却されて、プーリング回帰モデルよりも変量効果モデルを用いるほうが妥当であることがわかった。 $F$  検定、Hausman 検定の結果を踏まえると、固定効果モデルを用いて分析を行っていくことが最も適切であるといえる。

そこで、表4と表5の固定効果モデルにおける推計された係数パラメータについて考察していく。

まず、係数パラメータの符号条件について見てみる。ICT 資産、コンピュータ関連機器、非 ICT 資産および従業員数の係数パラメータ  $\hat{\beta}_j$  ( $j = ICT, H, NICT$ ) と  $\hat{\gamma}_E$  は統計的に有意で正の値をとっており、いずれも符号条件を満たしている。しかしながら、ソフトウェア資産の係数パラメータ  $\hat{\beta}_S$  に関しては統計的に有意な結果が得られなかった。

これらの推計結果から、製造業において、ICT 資産、コンピュータ関連機器が生産物に対して正の経済効果を与えていることがわかる。

表 5: 推計結果 IV

	Pooled OLS	Between	Fixed Effects	Random Effects
$\hat{\alpha}$	3.148 *** (53.600)	3.156 *** (26.260)		4.462 *** (51.810)
$\hat{\beta}_S$	0.079 *** (15.800)	0.088 *** (8.070)	0.0002 (0.050)	0.021 *** (5.950)
$\hat{\beta}_H$	0.087 *** (15.120)	0.087 *** (7.550)	0.016 * (1.820)	0.037 *** (4.910)
$\hat{\beta}_{NICT}$	0.200 *** (20.550)	0.193 *** (9.590)	0.061 *** (5.460)	0.182 *** (17.990)
$\hat{\gamma}_E$	0.649 *** (49.360)	0.652 *** (23.980)	0.363 *** (20.510)	0.571 *** (38.560)
Adj. $R^2$	0.825	0.825	0.813	0.821

1316 firms, 5800 data  
 $F(1315, 4480) = 50.690^{***}$   
Hausman test:  $\chi^2(4) = 1050.240^{***}$   
BP test:  $\chi^2(1) = 8178.790^{***}$

\* は 10% で有意、\*\*\* は 1% で有意である。() 内は  $t$  値を表す。

### 4.3 非製造業

表 6 と表 7 はそれぞれ業種ダミーを除いた式 (3) と式 (4) の係数パラメータを推計した結果を示している。

個別効果の同時有意性に関する  $F$  検定をおこなったところ、いずれの推計結果においても 1% 有意水準で帰無仮説を棄却したので、各企業は観測できない企業特性をもっていることがわかった。

表 6 と表 7 を見てわかるように、固定効果モデルと変量効果モデルの推計結果の一部には若干の違いがある。そこで、Hausman 検定をおこなった。その結果、いずれの推計結果においても、1% 有意水準で帰無仮説が棄却されて、変量効果モデルよりも固定効果モデルを用いる方が妥当であることがわかった。

続いて、プーリング回帰モデルと変量効果モデルの推計結果に関しても一部大きな違いがある。そこで、Breusch and Pagan 検定をおこなった。その結果、いずれの推計結果においても、1% 有意水準で帰無仮説が棄却されて、プーリング回帰モデルよりも変量効果モデルを用いるほうが妥当であることがわかった。 $F$  検定、Hausman 検定の結果を踏まえると、固定効果モデルを用いて分析を行っていくことが最も適切であるといえる。

そこで、表 6 と表 7 の固定効果モデルにおける推計された係数パラメータについて考察していく。

まず、係数パラメータの符号条件について見てみる。ICT 資産、ソフトウェア資産、コンピュータ関連機器、非 ICT 資産および従業員数の係数パラメータ  $\hat{\beta}_j$  ( $j = ICT, S, H, NICT$ ) と  $\hat{\gamma}_E$  は統計的に 1% 水準で正の値をとっており、いずれも符号条件を満たしている。

これらの推計結果から、製造業において、ICT 資産、ソフトウェア資産、コンピュータ関連機器が生産物に対して正の経済効果を与えていることがわかる。

表 6: 推計結果 V

	Pooled OLS	Between	Fixed Effects	Random Effects
$\hat{\alpha}$	3.467 *** (49.170)	3.457 *** (25.350)		3.919 *** (43.210)
$\hat{\beta}_{ICT}$	0.061 *** (7.130)	0.048 *** (2.760)	0.079 *** (11.700)	0.078 *** (12.190)
$\hat{\beta}_{NICT}$	0.238 *** (27.330)	0.249 *** (14.140)	0.062 *** (6.810)	0.109 *** (13.530)
$\hat{\gamma}_E$	0.697 *** (40.620)	0.694 *** (19.870)	0.756 *** (38.360)	0.775 *** (45.960)
Adj. $R^2$	0.657	0.657	0.634	0.645

1280 firms, 5382 data

$F(1279, 4099) = 71.700^{***}$

Hausman test:  $\chi^2(3) = 119.730^{***}$

BP test:  $\chi^2(1) = 8438.710^{***}$

\*\*\* は 1% で有意である。() 内は  $t$  値を表す。

表 7: 推計結果 VI

	Pooled OLS	Between	Fixed Effects	Random Effects
$\hat{\alpha}$	4.202 *** (35.180)	4.112 *** (18.300)		5.039 *** (36.270)
$\hat{\beta}_S$	0.134 *** (13.510)	0.122 *** (5.960)	0.031 *** (5.750)	0.039 *** (7.270)
$\hat{\beta}_H$	0.008 (0.880)	0.009 (0.510)	0.032 *** (3.490)	0.032 *** (3.870)
$\hat{\beta}_{NICT}$	0.209 *** (13.990)	0.212 *** (7.160)	0.059 *** (4.560)	0.089 *** (7.570)
$\hat{\gamma}_E$	0.594 *** (28.310)	0.609 *** (14.520)	0.636 *** (25.750)	0.678 *** (33.050)
Adj. $R^2$	0.563	0.563	0.538	0.544

734 firms, 3046 data

$F(733, 2308) = 108.390^{***}$

Hauseman test:  $\chi^2(4) = 70.010^{***}$

BP test:  $\chi^2(1) = 5070.940^{***}$

\*\*\* は 1% で有意である。() 内は  $t$  値を表す。

## 5 インプリケーション

前節において、1) 全産業、2) 製造業、3) 非製造業を対象にして、パネルデータ分析をおこなった。

全産業を対象にしたパネルデータ分析の結果から、ICT資産の弾力性は0.079で正の値をとっていることがわかった。また、ソフトウェア資産およびコンピュータ関連機器の弾力性もそれぞれ0.031と0.032となり、いずれも正の値をとっていることもわかった。この結果は松平(1998)と一致したものとなっている。

業種ダミーを踏まえて、製造業と非製造業におけるICT資産の弾力性をそれぞれ計算すると前者が0.021、後者が0.079となり、製造業よりも非製造業のほうがICT投資することによって得られる経済効果は大きくなっていることがわかった。また、同様のことがソフトウェア資産においても確認されている。ただし、コンピュータ関連機器に関しては、製造業、非製造業問わずその効果の差異はないといえる。次に、これらのデータセットを製造業と非製造業にわけて、それぞれ推計をおこなったところ、上述した主張を支持する結果を得ている。

本稿の分析結果から、まず、製造業のみならず非製造業においてもICT資産が正の経済効果をもつことがわかった。次に、その経済効果は製造業よりも非製造業のほうが大きいものとなっていることもわかった。この結果は、松平(1998)の製造業と非製造業にわけておこなった分析結果とは異なり、製造業および非製造業ともに生産性パラドックスは観測されないことを意味している<sup>12)</sup>。

本稿の結果は、竹村(2006, 2007)などの特定の業種を対象に分析をおこなっている研究とも整合的な結果を与えている。また、この主張は、マクロ・セミマクロデータを用いてICT投資を分析している研究の主張と整合的である。さらに、米国におけるBrynjolfsson and Hitt(2001)などの主張とも本稿の主張は一致したものとなっている。

## 6 結論と今後の課題

本稿では、生産関数アプローチを用いて、2000年から2004年におけるICT投資によってもたらされる経済効果の測定をおこなってきた。パネルデータ分析の結果、ICT資産の弾力性は0.079で正の値をとっており、またソフトウェア資産およびコンピュータ関連機器の弾力性も0.031~0.032の範囲で正の値をとっていることがわかった。

業種ダミーを踏まえて、製造業と非製造業におけるICT資産の弾力性をそれぞれ計算したところ、製造業よりも非製造業のほうがICT投資することによって得られる経済効果は大きくなっていることがわかった。また、同様のことがソフトウェア資産においても確認されている。ただし、コンピュータ関連機器に関しては、製造業、非製造業問わずその効果の差異はないといえる。この結果は、松平(1998)の製造業と非製造業にわけておこなった分析結果とは異なり、製造業および非製造業ともに生産性パラドックスは観測されないという命題が日本においても成立することを主張することができる論拠となりうる。

最後に、分析の今後の方向性と可能性について考える。本稿では、松平(1998)の追試およびその主張の再検証をおこなうために、製造業と非製造業に大別して分析をおこなってきた。しかしながら、業種を細かくすることにより、より深化させた研究をおこなうことができる。深化させた研究をおこなうことで、本研究では見えなかったものが見えてくる可能性があるといえる。また、データに関しても、江良・竹村(2007)でおこなっているような総付加価値ではなく、純付加価値

<sup>12)</sup> なお、製造業を対象にした分析結果を踏まえると、非製造業においては生産性パラドックスの存在は否定することができるものの、逆に製造業においては生産性パラドックスの存在を強く否定するにはまだ十分な議論が必要とされるかもしれない。

を用いたデータ加工についても議論する必要がある。

## 追記・謝辞

草稿において、鶴飼康東氏（関西大学ソシオネットワーク戦略研究センター・センター長）、森脇祥太氏（拓殖大学国際学部・准教授）および坂本博史氏（マルチメディア振興センター情報通信研究部・研究員）から貴重なコメントを頂いた。ここに記して謝意を表したい。もちろん残る誤りは、全て筆者の責に帰すものである。

## 参考文献

- [1] Baltagi (2001), *Econometric Analysis of Panel Data (Third Edition)*, Wiley, New York.
- [2] Bresnahan, T., E. Brynjolfsson and L. Hitt (2002), “Information Technology, Workplace Organization, and the Demand for Skilled Labor: Firm-Level Evidence,” *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 117, pp.339-376.
- [3] Brynjolfsson, E., and L. Hitt (2001), “Computing Productivity: Firm-Level Evidence,” *MIT Sloan Working Paper*, Vol.4210-01.
- [4] Brynjolfsson, E., L. Hitt, and S. Yang (2002) “Intangible Assets: Computers and Organizational Capital,” *Brookings Papers on Economic Activity: Macroeconomics* (1): pp.137-199.
- [5] Hsiao, C. (2003), *Analysis of Panel Data (Second Edition)*, Cambridge University Press, New York.
- [6] Watanabe, S, Y. Ukai and T. Takemura (2005), “Firm-Level Analysis of Information Systems Investment,” Ukai Y. (ed): *Economic Analysis of Information System Investment in Banking Industry*, Springer, Tokyo, pp.71-87.
- [7] Watanabe, S, Y. Ukai and T. Takemura (2005), “Analysis of Information System Investment Using Questionnaire data,” Ukai Y. (ed): *Economic Analysis of Information System Investment in Banking Industry*, Springer, Tokyo, pp.149-163.
- [8] Wooldridge, J.M. (2002), *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*, the MIT Press, London.
- [9] 江良亮・竹村敏彦 (2005), 『電気通信インフラ整備と政策評価（平成 16 年度自主研究報告書）』, 国際通信経済研究所 (RITE), RITE04-J04, pp.1-41.
- [10] 江良亮・竹村敏彦 (2007), 「アグリビジネス産業における情報化の生産力効果」, Mimeo (山形県立産業技術短期大学校内校) .
- [11] 北村行伸 (2005), 『パネルデータ分析』, 岩波書店.
- [12] 竹村敏彦 (2006), 「日本の情報通信業における IT 関連投資と生産性・効率性 - パネルデータによる確率的フロンティアアプローチによる検証 - 」, 『産業経営』, 第 40 号, pp.21-38.

- [13] 竹村敏彦 (2007), 「日本の銀行業における情報システム資産の最適投資 - 有価証券報告書記載データを用いたパネルデータ分析 - 」, 『国際開発学研究』, 第 7 巻, pp.33-46.
- [14] 松平 Jordan (1998), 「日本企業における IT 投資の生産性」, *FRI Review*, Vol.10, pp.43-57.
- [15] 村上裕太郎・竹村敏彦 (2005), 「銀行業におけるソフトウェア資本の最適投資: 日経 NEEDS 財務データを用いたパネルデータ分析」, 『大阪大学経済学』, Vol.55, pp.69-84.