

# IT 投資が企業の生産性に与える 影響の比較分析

## — 航空産業、鉄道産業を事例として —<sup>1</sup>

東京大学公共政策大学院経済政策コース 専門職学位課程二年  
好井俊春

### 要旨.

これまで経営学、経済学の分野で IT 投資と企業の生産性との関連性は多く議論されてきているが、その関係性は研究者によって結論は様々である。本稿では産業形態が比較的近い航空産業と鉄道業を抽出し、マイクロデータが得られた鉄道業についてはパネルデータ分析、マクロデータのみ得られた航空産業については ARMAX モデルによる時系列分析を行うことにより、IT 投資が生産性に与える影響を定量的に分析する。分析の結果、①航空産業における推計の結果、実質ハードウェア投資額は TFP 水準を約 0.03%押し下げ、実質ソフトウェア投資額は TFP 水準を約 0.04%押し上げる、②鉄道産業においては、「Suica」などをはじめとする IC カードの導入は、鉄道各社の TFP 水準を約 0.04%押し上げる、③航空産業の推計において、実質ソフトウェア投資額が産出額ベース労働生産性（産出額／部門別マンアワー）への影響は統計的に有意とは認められなかった、④鉄道産業においても、産出額ベース労働生産性への IC カード導入の影響は統計的に認められなかった、という結果を得た。この結論を得た理由として、①航空産業においては、実質ハードウェア投資に関しては保安検査やその他の安全対策の為に急激に増加させる必要に迫られ、TFP 水準に対してマイナスの影響が認められた、②航空産業における「JAL カード」や鉄道産業における「suica」等の IC カード導入や、各航空会社間の業務提携等にかかる実質ソフトウェア投資が TFP 水準の押し上げに寄与した、ということが考えられる。IT 投資が企業の TFP 水準を押し上げる効果があるのは、IT 技術が企業内部・企業外部の情報の流れを円滑にし、その情報の流れの効率化が価値の創造につながっている時である。

---

<sup>1</sup> 本稿は、東京大学公共政策大学院の 2011 年度事例研究「ミクロ経済政策・問題分析／解決策分析Ⅲ」で行われた研究である。（担当教官：東京大学社会科学研究所・松村敏弘教授、東京大学公共政策大学院・戒能一成非常勤講師。）

## 目次

0. はじめに.....	3
1. IT 投資と競争優位.....	3
1.1 経営資源としての IT .....	3
1.2 ネットワークとしての IT .....	4
2. 分析.....	5
2.1 分析手法.....	5
2.2 分析に用いた変数 .....	6
2.3 分析結果.....	6
2.4 推計結果のまとめ .....	13
3. 各産業における IT 投資の動向.....	15
3.1 航空産業における IT 投資の動向 .....	15
3.2 鉄道産業における IT 投資の動向 .....	17
4. 結論と限界.....	19
4.1 本分析から得られる示唆 .....	19
4.2 本分析の限界.....	20
謝辞.....	21
【参考文献】 .....	22
【参考 URL】 .....	22

## 0. はじめに

これまで経営学、経済学の分野で IT 投資と企業の生産性との関連性は多く議論されてきている。情報ネットワークの高度利用が生産性（以下 TFP とする）と正の相関が認められたという主張や、IT 投資が企業の生産性向上に寄与しているとは言えないという主張など、IT 投資が企業の生産性に与える影響は研究者の間でも意見が異なっている。その一方で IT 投資だけが企業の生産性向上に寄与しているのではなく、同時に企業組織や各企業のビジネスモデル等、企業固有の特性が IT 投資と企業の生産性の関係性に大きな影響を与えている可能性を指摘している点では一致している。

これらの分析の多くは、パネルデータ分析等を用いることによって、産業横断的に IT 投資と TFP の関係を明らかにしており、個別企業のマイクロデータを扱った分析、また特定の産業に特化して、そこから得られる実証結果を分析したものは少なかった。本稿では産業形態が比較的近い航空産業と鉄道業に着目し<sup>2</sup>、IT 投資が生産性に与える影響を比較分析する。

## 1. IT 投資と競争優位

### 1.1 経営資源としての IT

そもそも IT 投資が何故企業の生産性に寄与するのかを考えると、それは IT 投資が企業内、企業外の情報の伝達を効率化するからであると考えられる。伊丹・軽部（2004）は伝統的なヒト、モノ、カネという経営資源に加え、「情動的経営資源」の重要性を指摘した。すなわち、技術やノウハウといった企業内部の人々が持つ「情報」と、ブランドなどの企業外部の人々に蓄積されている「情報」が企業の競争優位の確立に大きく貢献している、ということである。また、技術を「自然と企業の間での情報の流れの結果として、企業の人々が学ぶに至る知識の蓄積」と定義し、企業内の情報の流れの重要性を指摘した。ここでは情報の流れを、企業が意図的に情報活動を行うことによって起こる「意図的な情報の流れ」と、日常的な仕事の中で起こる「副次的な情報の流れ」の二つに区別している。IT 投資はこのどちらの情報の流れについても効率化する可能性を秘めている。なぜなら「意図的な情報の流れ」については、企業内イントラネットなどの利用によって流れの効率化を図ることができると考えられるし、後者の「副次的な情報の流れ」についても、例えばメールなどの利用により、より低コストで伝達することが可能だからである。このように、IT 投資をすることによって企業内部の情報の流れを効率化することができ、その結果として技術革新が促され、企業の生産性の向上が期待されるのである。

また、企業外部の情報の蓄積に関しても IT 投資は大きく寄与していると考えられる。それはこれまでの企業が採択するマーケティング戦略の変遷を見ても顕著である。すなわち、

---

<sup>2</sup> 航空産業、鉄道業は共にかつては国営であり、経済の発展と共に民営化されていった。航空産業においては日本航空株式会社（以下 JAL）と全日本空輸株式会社（以下 ANA）というリーダー企業が、鉄道業においては旧国鉄である JR というリーダー企業がいる。以上の点で産業構造やこれまでの歩みが比較的近いことから、この二産業を抽出し、比較分析を行った。

IT 技術の発達によりこれまでよりも顧客情報の管理が容易になったことによって、セグメントごとにマーケティング戦略を考えるマス・マーケティングから、より顧客個人の選好を考慮した **One-to-One** マーケティングへと各企業が採用するマーケティング戦略が変化している。より個人の選好を反映した販売戦略を低コストで実行していくことにより、企業外部での情報蓄積の効率性にも IT 投資は貢献していると考えられ、企業の競争優位の実現に貢献していると考えられる。

以上のように、IT 投資は企業内外の情報の流れを効率化することにより、企業の生産性向上に寄与していると推察することができる。

## 1.2 ネットワークとしての IT

以上の議論は、組織と組織の間、もしくは組織内部のネットワークを構築する為の資産としての IT の役割を概観するものである。しかし、現代の社会は高度にネットワーク化された社会であり、ただ IT を用いてネットワーク化したからといって、企業が競争優位を獲得することができるわけではない。どのようなネットワークがより競争優位を獲得しやすいのかについて、組織間関係論の枠組みが重要な示唆を与えている。

**Granovetter (1978)** は、個人間の紐帯の強さがマクロ・レベルの現象とどのような関係性を持つかを考察した。具体的には、強い紐帯よりも弱い紐帯を辿っていったほうがより多くの人々に到達することができる、ということ述べた上で、弱い紐帯の重要性を述べた。また、**Burt (1992)** は、社会的資本という概念を用い、競争の成功を決定するのは社会的資本であると述べている。また、そこで”**structural hole**”という概念を用い、冗長性のないコンタクトの重要性を述べている。冗長性のないコンタクトの数が多く、多様性に富んでいるネットワークが効果的であり、このようなネットワークを持つことにより、競争優位を築くことができる、と述べている。

**Watts (2003)** は、規則性とランダム性というパラメータを用いることによって、**small-world** の現象を明らかにすることを試みた。**Small-worlds network** は、各グループ内のつながりが強く、また各グループ同士が少しのステップでつながることができるネットワークであり、すべてのネットワークは、**small-world network** になりうるということを述べている。

ここでの示唆は、ネットワークを結ぶ対象の関係性の強さが、そのネットワークがもたらす効果を決定している可能性がある、ということである。冗長性のないコンタクトの数が多く、多様性にとんだネットワークを構築することで競争優位を築くことができ、そこでは強い紐帯よりも弱い紐帯（強い関係性よりも弱い関係性）が重要になってくるということが考えられる。

## 2. 分析

### 2.1 分析手法

本稿の分析では、TFP や労働生産性の指標を被説明変数とし、航空産業については時系列分析、またマイクロデータを入手することができた鉄道産業についてはパネルデータ分析を行う。

#### (i) 航空産業

時系列分析では、IT 投資やその他の要因を説明変数とした ARMAX モデルの推定を行う。ARMAX モデルは、以下のように表される。

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t} + \dots + \beta_n x_{nt} + \sum_{i=1}^p \varphi_i y_{t-i} - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (1)$$

$y_t$  は被説明変数、 $\beta_0$  は定数項、 $x_{kt}$  ( $k = 1 \sim n$ ) は外的要因を表す説明変数、 $\varepsilon_t$  は攪乱項である。また、 $\sum_{i=1}^p \varphi_i y_{t-i}$  は自己相関項 (AR 項) であり、 $\sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}$  は移動平均項 (MR 項) である。ARMAX モデルでは、これらの項で系列相関を説明し、 $\beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t} + \dots + \beta_n x_{nt}$  の項で外的な要因を説明する。本稿で着目するのは外的な要因であり、 $\beta_1$  から  $\beta_n$  というパラメータの推計が目的である。

分析には Box-Jenkins 法を用いる。まず全ての変数が定常化されているのかを検定する。定常化の検定には、ADF 検定 (Augmented Dickey-Fuller 検定) を用いる。ADF 検定で定常化が確認されなかった変数については、対数を取り、更に定常化が確認されなかった場合は階差をとることによって定常化する。次にモデルを構築する前に、説明変数から被説明変数への逆因果性が無いかを検定する為に、Granger 因果性検定を行う。逆因果性が確認された場合、説明変数を組み替えることにより、逆因果性が確認されなくなるまで説明変数を選び替える。

逆因果性が無いことが確認された後、定常化された変数を用い、自己相関関数 (ACF) と偏自己相関関数 (PCAF) を見ながら AR 項、MR 項の次数を決定し、赤池情報量 (AIC)、Schwartz's Bayesian Information Criterion (SBIC) が最小になるようにモデルを構築し、パラメータの推計を行う。そして構築されたモデルの攪乱項に系列相関が残っているかを検定する。系列相関の検定には、Ljung = Box 検定を用い、「攪乱項に系列相関が残っていない」という帰無仮説が、全ての次数において棄却されないように AR 項、MR 項をモデルに組み込み、モデルを再構築する。

#### (ii) 鉄道産業

パネルデータ分析についても、基本的な手順は Box-Jenkins 法と同様である。モデル式は以下のように表される。

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{1it} + \beta_2 x_{2it} + \dots + \beta_n x_{nit} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$y_{it}$  は被説明変数、 $\beta_0$  は定数項、 $x_{kit}$  ( $k = 1 \sim n$ ) は外的要因を表す説明変数、 $\varepsilon_{it}$  は攪乱項である。本稿で着目するのは外的な要因であり、 $\beta_1$  から  $\beta_n$  というパラメータの推計が目的で

ある。

分析の手順として、ARMAX モデルの推計と同様、まず全ての変数について定常化検定を行う。定常化の検定には、Fisher-Type ADF 検定 (Fisher-Type-Augmented Dickey-Fuller 検定) を用いる。Fisher-Type ADF 検定で定常化が確認されなかった変数については、対数を取り、更に定常化が確認されなかった場合は階差をとることによって定常化する。次に定常化された変数を用い、パラメータの推計を行う。パラメータの推計を行う際、固定効果モデルと変量効果モデルの両方で推計を行う。変量効果モデルは②式と同様であるが、固定効果モデルは、

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{1it} + \beta_2 x_{2it} + \dots + \beta_n x_{nit} + \theta fix_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

という式で表される。 $fix_i$ はグループ  $i$  が持つ固有の効果を表す変数であり、実際に推計された際には相殺される。パネルデータ分析を行う際には変量効果モデルが採用されるか、固定効果モデルが採用されるかを検定する必要がある、その検定の際には Hausman 検定を用いる。そして採用されたモデルの攪乱項に系列相関が残っているかを検定する。系列相関の検定には Wooldridge Test を用い、「攪乱項に系列相関が残っていない」という帰無仮説が棄却されないようにモデルを構築する。

## 2.2 分析に用いた変数

航空産業については、経済産業研究所が公表している「JIP データベース 2010」<sup>3</sup>にある TFP、実質産出額 (2000 年価格)、実質 IT 投資額 (2000 年価格)、実質 IT ストック額 (2000 年価格)、部門別マンアワー (1000 人×総労働時間)、の 1980 年から 2007 年までの時系列データを用いて分析を試みる。また、実質 IT 投資額については、ソフトウェア投資額とハードウェア投資額 (ともに 2000 年価格) に分け、実質 IT ストック額についても、ソフトウェアストック額とハードウェアストック額 (ともに 2000 年価格) に分けて<sup>4</sup>推計を行う。なお、JIP データベースには 1980 年以前のデータも存在するが、1980 年以前とそれ以降では IT 投資の定義が変更されていることから 1980 年以降のデータを用いた。また鉄道産業については、日本経済研究センター (JCER) <sup>5</sup>が公表している EAST ASIAN LISTED COMPANIES DATABASE (以下 EALC DATABASE) より、個別企業の TFP、実質産出額 (2000 年価格)、企業別マンアワー (1000 人×総労働時間)、実質資本ストック額 (2000 年価格) の、観測可能な 1994 年から 2005 年までのデータを用いて分析を行う。

## 2.3 分析結果

以上の変数を用いて、航空産業、鉄道産業について時系列分析、パネルデータ分析をそ

<sup>3</sup> 経済産業研究所 : <http://www.rieti.go.jp/jp/index.html>

<sup>4</sup> ソフトウェアストック額は、JIP 資産分類の 38 番「受注ソフトウェア」を用いている。またハードウェアストック額は、JIP データベースの実質 IT ストック額から 38 番「受注ソフトウェア」を除いた額である。

<sup>5</sup> 日本経済研究センター : <http://www.jcer.or.jp/>

れぞれ行う。

(i) TFP へ IT 投資が与える影響の推計

①航空産業

航空産業については、実質ハードウェア投資と実質ソフトウェア投資に IT 投資を分けた上で推計を行う。実質ハードウェア投資、実質ソフトウェアについて Granger 因果性検定を行った結果、TFP への逆因果性が無いことが確認された。まず、実質ハードウェアが TFP に与える影響を推計したモデル式は、以下の通りである。

$$lntfp_t = \beta_0 + \beta_1 lnhardinv_{t-1} + \beta_2 lnsoftstock_t + \beta_3 lnhardstock_t + \beta_4 kiseidm_t + \beta_5 septemberdm_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

$lntfp_t$  : t 期における TFP 水準 (対数値)

$lnhardinv_{t-1}$  : t-1 期前の実質ハードウェア投資 (対数値)

$lnsoftstock_t$  : t 期における実質ソフトウェアストック額 (対数値)

$lnhardstock_t$  : t 期における実質ハードウェアストック額 (対数値)

$kiseidm_t$  : 規制緩和ダミー

$septemberdm_t$  : 9・11 ダミー

航空産業では 1999 年に路線免許制が廃止され参入自由の規制緩和が行われた為、1999 年以前は 0、1999 年以降に 1 をとる規制緩和ダミーを説明変数に加えている。また、9・11 米国テロによる影響を取り除く為、2001 年以降 1 を取る 9・11 ダミーを説明変数に加えている。実質ハードウェア投資に関しては、1 期ラグを用いている。定常化検定については、各変数について ADF 検定を行う。ADF 検定の結果、対数化したいくつかの変数が定常化しなかったため、一階階差を取ったモデルを採用した。すなわち、モデル式は以下のように書き換えられる。

$$\Delta lntfp_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta lnhardinv_{t-1} + \beta_2 \Delta lnsoftstock_t + \beta_3 \Delta lnhardstock_t + \beta_4 \Delta kiseidm_t + \beta_5 \Delta septemberdm_t + \varepsilon_t \quad (4)'$$

※  $\Delta$  は一階階差を示す。

また、同様に実質ソフトウェア投資が TFP に与える影響についても検証する為にモデル式を構築する。各変数について ADF 検定を行った結果、対数化したいくつかの変数が定常化しなかったため、一階階差を取ったモデルをここでも採用した。モデル式は以下の通りである。

$$\Delta lntfp_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta lnsoftinv_{t-1} + \beta_2 \Delta lnsoftstock_t + \beta_3 \Delta lnhardstock_t + \beta_4 \Delta kiseidm_t + \beta_5 \Delta septemberdm_t + \varepsilon_t \quad (5)$$

$lntfp_t$  : t 期における TFP 水準 (対数値)

$lnsoftinv_{t-1}$  : t-1 期前の実質ソフトウェア投資 (対数値)

$lnsoftstock_t$  : t 期における実質ソフトウェアストック額 (対数値)

$lnhardstock_t$  : t 期における実質ハードウェアストック額 (対数値)

$kiseidm_t$  : 規制緩和ダミー

$septemberdm_t$  : 9・11 ダミー

以上の(4)式と(5)式を推計する。(4)の推計結果は以下の表1の通りである。

(表 1) 実質ハードウェア投資が TFP に与える影響の推定結果

Variables	Coef	p-value	Confidence Interval	
$\lnhardinv_{t-1}$	-0.031**	0.012	-0.056	-0.007
$\lnsoftstock_t$	0.070	0.247	-0.049	0.190
$\lnhardstock_t$	0.009	0.844	-0.081	0.100
$kiseidm_t$	0.022*	0.088	-0.003	0.048
$septemberdm_t$	-0.031***	0.009	-0.054	-0.007
Constant	-0.004	0.550	-0.018	0.009
			<b>AIC</b>	<b>BIC</b>
			-86.70412	-80.22494

\*は10%有意、\*\*は5%有意、\*\*\*は1%有意をそれぞれ表す。

上記のように、t-1 期の実質ハードウェア投資、9・11 ダミーはそれぞれ有意<sup>6</sup>である。また、(5)式の推計結果は、表 2 の通りである。

(表 2) 実質ソフトウェア投資が TFP に与える影響の推定結果

Variables	Coef	p-value	Confidence Interval	
$\lnsoftinv_{t-1}$	0.040***	0.008	0.010	0.070
$\lnsoftstock_t$	0.036	0.614	-0.106	0.180
$\lnhardstock_t$	-0.054	0.266	-0.150	0.041
$kiseidm_t$	0.018	0.204	-0.009	0.046
$septemberdm_t$	-0.027**	0.024	-0.051	-0.003
Constant	-0.005	0.510	-0.021	0.010
			<b>AIC</b>	<b>BIC</b>
			-87.42098	-80.94179

\*は10%有意、\*\*は5%有意、\*\*\*は1%有意をそれぞれ表す。

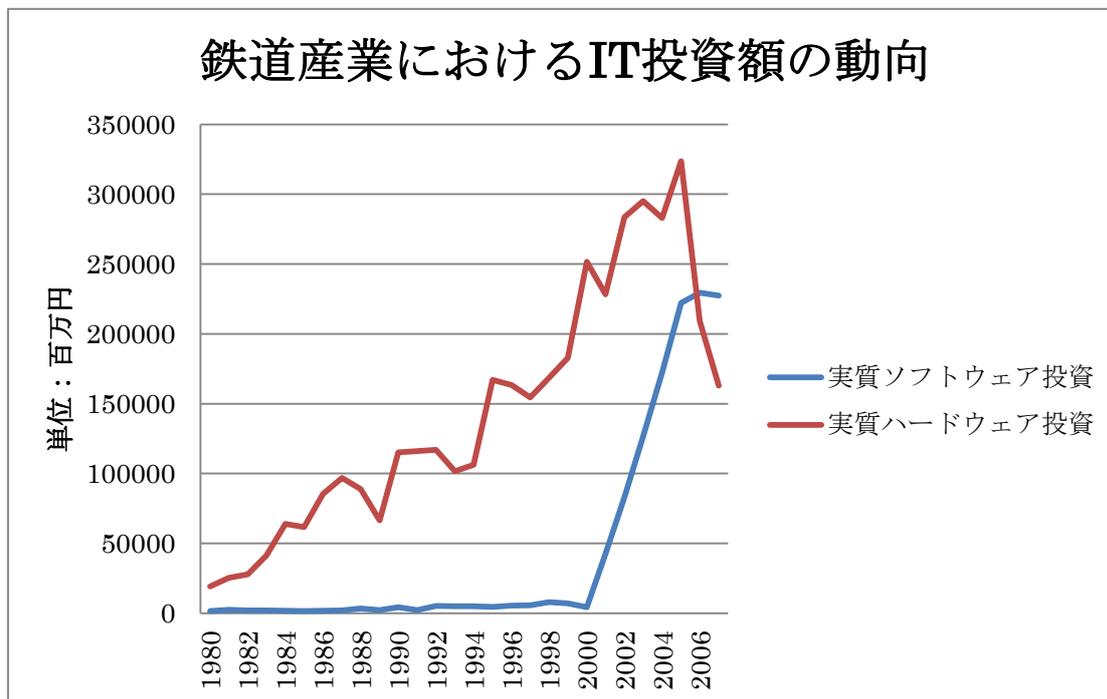
上記のように、t-1 期の実質ソフトウェア投資、9・11 ダミーはそれぞれ有意である。

## ②鉄道産業

鉄道産業については、IT 投資に関する個別企業のデータを観測することが不可能だった。よって分析を行う際、鉄道産業における IT 投資動向の特殊性を利用して分析を行う。以下の図 1 は、鉄道産業におけるマクロの実質 IT 投資の動向である。

<sup>6</sup> 本稿では有意水準として、5%、1%有意水準を採用する。

(図 1)



出所：JIP データベース 2010 より筆者作成

図 1 から明らかなように、2001 年以降実質ソフトウェア投資と実質ハードウェア投資の両者とも急激に増加している。2001 年は JR 東日本が Suica の導入モニターテストを実施することを発表した年であり、2001 年以降は ICOCA、PASMO の導入等に向けて各社が IT 投資を増加している。本分析では 2001 年以降の IT 増加の大部分がこれらの IC カードの導入に関するものであると仮定し、分析を行う。具体的には、EALC DATABASE の中で観測可能な資本金 100 億円以上の鉄道企業をランダムサンプリングし、選ばれた各企業が IC カードを導入した年から 1 をとるダミー変数を作成し、そのダミー変数にかかる係数を IT 投資による効果とみなす。

実質 IT 投資額が TFP に与える影響を推計したモデル式は、以下の通りである。

$$\ln tfp_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln manhour_{it} + \beta_2 \ln realcapital_{it} + \beta_3 ICdm_{it} + \sum_{j=1995}^{2005} \theta_j dm_j + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

$\ln tfp_{it}$  : 企業 i における t 期の TFP (対数值)

$\ln manhour_{it}$  : 企業 i における t 期のマンアワー (対数值)

$\ln realcapital_{it}$  : 企業 i における t 期の実質資本額 (対数值)

$ICdm_{it}$  : 企業 i における IC カード導入ダミー

$\sum_{j=1995}^{2005} \theta_j dm_j$  : 年次ダミー

$\sum_{j=1995}^{2005} \theta_j dm_j$  は年次ダミーであり、各年度における鉄道産業の変動要因を取り除くために説明変数に含めた。

定常化検定については Fisher-Type ADF 検定を行う。Fisher-Type ADF 検定を行った結果、 $\ln manhour_{it}$ を除く全ての変数の定常化<sup>7</sup>が確認された。よって、(5)式の各パラメータを推計する。推計をする際に、固定効果モデルと変量効果モデルのいずれが適切であるかを検定する為に Hausman 検定を行い、検定の結果、固定効果モデルが採用された。また、ここでも ARMAX モデルの推計と同様、攪乱項の系列相関が残っているかを検定する必要があり、Wooldridge Test を用いた系列相関の検定を行う。Wooldridge Test の結果、「攪乱項に系列相関が残っていない」という帰無仮説を棄却することができなかった。(5)式の推定結果は以下の通りである。

(表 3) IC カード導入が TFP に与える影響の推定結果

Valuables	Coef	p-value	Confidence Interval	
Inmanhour	0.079*	0.081	-0.010	0.169
Inrealcapital	-0.10***	0.008	-0.185	-0.028
d95	0.024	0.127	-0.007	0.056
d96	0.044***	0.004	0.014	0.073
d97	0.073***	0.000	0.034	0.112
d98	0.076***	0.000	0.040	0.113
d99	0.088***	0.000	0.054	0.122
d00	0.118***	0.000	0.080	0.156
d01	0.122***	0.000	0.082	0.163
d02	0.135***	0.000	0.091	0.180
d03	0.148***	0.000	0.102	0.195
d04	0.154***	0.000	0.101	0.207
d05	0.160***	0.000	0.107	0.214
ICdm	0.037***	0.007	0.010	0.064
constant	0.394	0.630	-1.22	2.01

\*は10%有意、\*\*は5%有意、\*\*\*は1%有意をそれぞれ表す。

上記のように、実質資本ストック額、96年度、97年度、98年度、99年度、2000年度、01年度、02年度、03年度、04年度、05年度のそれぞれの年度ダミー、ICカード導入ダ

<sup>7</sup> 非定常な説明変数が一つだけであり、他の説明変数が定常な場合は正しくパラメータの推計を行うことが可能である。

ミーはそれぞれ有意である。

(ii)労働生産性へ IT 投資が与える影響の推計

労働生産性を示す指標として、生産額ベース労働生産性（実質生産額／マンアワー）と付加価値ベース労働生産性（実質付加価値額／マンアワー）という二つの指標が考えられる。付加価値ベース労働生産性については航空産業の推計に当たって対数化した後に一階階差をとっても定常化しなかった。本稿は航空産業と鉄道産業の比較分析を目的としているので、前者の生産額ベース労働生産性のみを用いて分析を行う。

①航空産業

航空産業については、TFP への影響の推計と同様に実質ハードウェア投資と実質ソフトウェア投資に IT 投資を分けた上で推計を行う。Granger 因果性検定の結果、労働単位当たり実質ソフトウェア投資額（実質ソフトウェア投資額／部門別マンアワー）から生産額ベース労働生産性への逆因果性が無いことが確認されたが、労働単位当たり実質ハードウェア投資額（実質ハードウェア投資額／部門別マンアワー）から生産額ベース労働生産性への逆因果性が確認された。よって労働単位当たり実質ソフトウェア投資額が生産額ベース労働生産性に与える影響は正しく推計することが不可能な為、推計を行わなかった。また、ADF 検定の結果、変数を対数化後に一階階差をとることにより、生産額ベース労働生産性、労働単位当たり実質ソフトウェア投資額については定常化が確認されたが、労働単位当たり実質 IT スtock 額（実質 IT スtock 額／部門別マンアワー）、労働単位当たり実質ハードウェア投資額については定常化が確認されなかった。同様に労働単位当たり実質ソフトウェアストック額（実質ソフトウェアストック額／部門別マンアワー）については対数化後一階階差をとると定常化が確認されたが、労働単位当たり実質ハードウェアストック額（実質ハードウェアストック額／部門別マンアワー）については、対数化後に一階階差をとっても定常化が確認されなかった。これらの ADF 検定の結果を考慮して、以下のようにモデルを構築した。

$$\Delta \ln outputlabour_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta \ln softinvlabour_{t-1} + \beta_2 \Delta \ln itstocklabour_t + \beta_3 \Delta kiseidm_t + \beta_4 \Delta septemberdm_t + \varepsilon_t \quad (7)$$

$\ln outputlabour_t$  : t 期の生産額ベース労働生産性（対数值）

$\ln softinvlabour_{t-1}$  : t 期の労働単位当たり実質ソフトウェア投資額（対数值）

$\ln itstocklabour_t$  : t 期の労働単位当たり実質ハードウェア投資額（対数值）

$kiseidm_t$  : 規制緩和ダミー

$septemberdm_t$  : 9・11 ダミー

上記の(7)式の推定の結果は以下の通りである。

(表 4) 労働単位当たり実質ソフトウェア投資額が生産額ベース労働生産性へ与える影響

Variables	Coef	p-value	Confidence Interval	
$\ln\text{softinvlabour}_{t-1}$	0.024	0.138	-0.008	0.057
$\ln\text{itstocklabour}_t$	0.152	0.144	-0.051	0.356
$k\text{iseidm}_t$	-0.067***	0.000	-0.093	-0.041
$\text{septemberdm}_t$	-0.023*	0.097	-0.050	0.004
Constant	0.026	0.006	0.007	0.045

AIC	BIC
-81.4691	-76.28575

\*は10%有意、\*\*は5%有意、\*\*\*は1%有意をそれぞれ表す。

表 4 から明らかのように、労働単位当たり実質ソフトウェア投資額が生産額ベース労働生産性へ与える影響は有意ではない。また規制緩和ダミーについては有意である。

## ②鉄道産業

次に鉄道産業についても生産額ベース労働生産性への IT 投資の影響の分析を行う。ここでの分析手法は、先述の TFP への影響の分析に用いられた分析と同様である。すなわち、IC カード導入ダミーに係る係数の推定を行う。モデル式は以下のように表される。

$$\ln\text{outputlabour}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln\text{realcapitallabour}_{it} + \beta_2 \text{ICdm}_{it} + \sum_{j=1995}^{2005} \theta_j \text{dm}_j + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

$\ln\text{outputlabour}_t$  : t 期の生産額ベース労働生産性 (対数値)

$\ln\text{realcapitallabour}_{it}$  : t 期の労働単位当たり実質資本額 (対数値)

$\text{ICdm}_{it}$  : IC カード導入ダミー

$\sum_{j=1995}^{2005} \theta_j \text{dm}_j$  : 年度ダミー

定常化検定については Fisher-Type ADF 検定を用いる。Fisher-Type ADF 検定の結果、全ての変数において定常化が確認されなかったため、一階階差をとり、再び Fisher-Type ADF 検定を行ったところ、全ての変数において定常化が確認された。従って、(8)式は以下のように書き換えられる。

$$\Delta \ln\text{outputlabour}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \Delta \ln\text{realcapitallabour}_{it} + \beta_2 \Delta \text{ICdm}_{it} + \sum_{j=1996}^{2005} \theta_j \text{dm}_j + \varepsilon_{it} \quad (8)'$$

(8)'式の各パラメータを推計する。推計をする際に、固定効果モデルと変量効果モデルのいずれが適切であるかを検定する為に Hausman 検定を行い、検定の結果、固定効果モデルが採用された。また、攪乱項の系列相関が残っているかを検定する為、Wooldridge Test を用いた系列相関の検定を行う。Wooldridge Test の結果、「攪乱項に系列相関が残っていない」という帰無仮説を棄却することができなかった。(8)'式を推計することによって得られ

た結果は以下の通りである。

(表 5) IC カード導入が生産額ベース労働生産性に与える影響の推定結果

Valuables	Coef	p-value	Confidence Interval	
Inrealcapitallabour	0.360***	0.000	0.185	0.536
d96	-0.054	0.171	-0.132	0.024
d97	0.012	0.691	-0.051	0.077
d98	-0.088**	0.025	-0.165	-0.011
d99	-0.102*	0.055	-0.207	0.002
d00	-0.04	0.296	-0.116	0.036
d01	-0.032	0.329	-0.097	0.033
d02	-0.036	0.306	-0.107	0.034
d03	-0.094***	0.008	-0.163	-0.025
d04	-0.03	0.409	-0.103	0.042
d05	-0.121***	0.001	-0.188	-0.054
ICdm	0.052	0.211	-0.03	0.134
Constant	0.07***	0.005	0.023	0.128

\*は10%有意、\*\*は5%有意、\*\*\*は1%有意をそれぞれ表す。

表 5 から明らかなように、労働単位当たり実質資本額、98 年度、03 年度、05 年度のそれぞれの年度ダミーは有意であるが、IC カード導入ダミーは有意であることが認められなかった。

## 2.4 推計結果のまとめ

### ①TFP への IT 投資の影響

航空産業における推計の結果、実質ハードウェア投資額は TFP 水準を約 0.03%押し下げ、実質ソフトウェア投資額は TFP 水準を約 0.04%押し上げる、という結論を得た。また、実質ソフトウェアストック額、実質ハードウェアストック額はいずれも TFP 水準への影響は統計的に有意ではない。更に特筆すべきは 9・11 ダミーの影響である。今回の推計によると、米国 9・11 テロの影響は、我が国の航空産業の TFP 水準を約 0.03%押し下げた、という結論を得た。航空各社が指摘しているように、9・11 テロの我が国の航空産業への影響は大きいものであったということが判る。

また鉄道産業においては、「Suica」などをはじめとする IC カードの導入は、鉄道各社の TFP 水準を約 0.04%押し上げた、ということが今回の推計から明らかになった。

## ②産出額ベース労働生産性への IT 投資の影響

航空産業の推計において、実質ソフトウェア投資額が産出額ベース労働生産性へ影響を与えているということは、統計的に有意とは認められなかった。また、規制緩和ダミーについては、産出額ベース労働生産性を約 0.07%押し下げる、という結果を得た。9・11 ダミーについては本稿で扱っている 5%有意水準には届かなかったものの、10%有意水準で有意となっており、産出額ベース労働生産性へ全く影響が無かったとは断定できない。

また、鉄道産業においても航空産業と同様、産出額ベース労働生産性への IC カード導入の影響は、統計的に有意とは認められなかった。

以上の推計結果から明らかになったことは、以下の三点である。①IT 投資額は TFP 水準に対して何らかの影響を与えているが、産出ベース労働生産性への影響は認められない、②IT 資本額は TFP 水準、産出額ベース労働生産性の両者に影響を与えていることが認められなかった、③9・11 テロは、我が国に直接的な被害をもたらさなかったものの、我が国の航空産業に深刻な影響を与えた。本稿において特に関心があるのは①、②の結論である。次章で航空産業、鉄道産業における IT 投資の状況を整理しながら、今回の推計結果が何故得られたのかを分析する。

### 3. 各産業における IT 投資の動向

#### 3.1 航空産業における IT 投資の動向

航空産業の IT 投資動向を論ずる際に、我が国の航空保安検査の運営方法を概観する必要がある。何故ならば航空産業における IT 投資は顧客管理や IC カードのようにビジネスに直接結びつくものだけではなく、手荷物検査や安全運航の為にシステムへの投資など、安全対策への IT 投資が占める部分が大きいと考えられるからである。

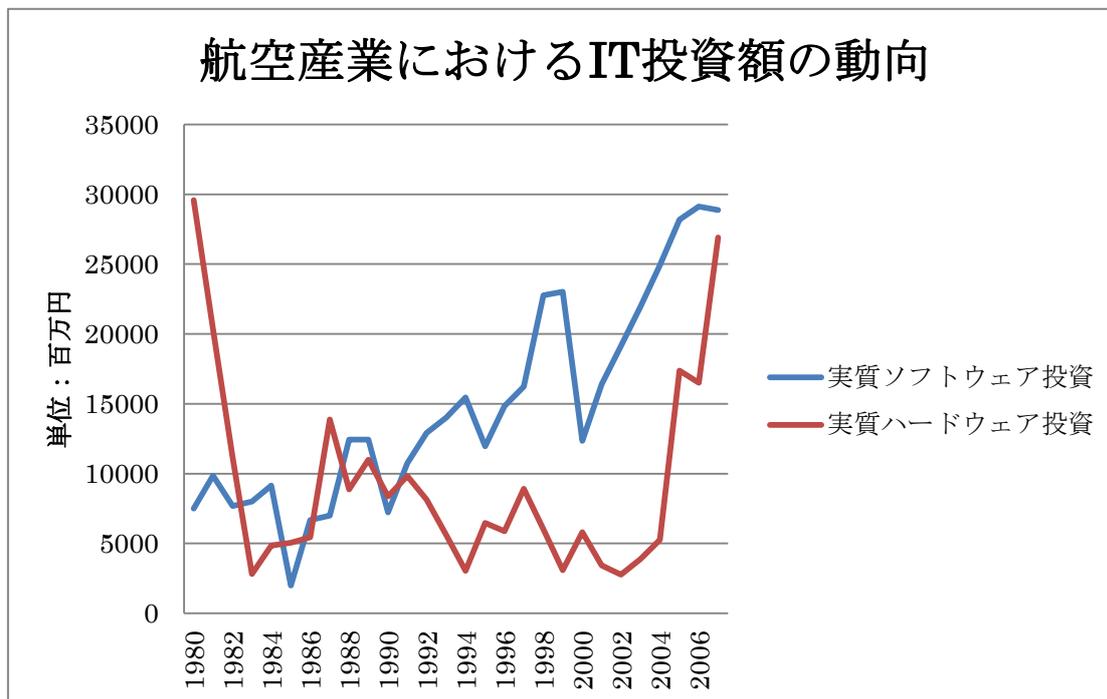
我が国では旅客や手荷物の航空保安検査は航空会社の責任になっている<sup>8</sup>。諸外国では国の機関や空港運営体などにより行われていることが多く、我が国のような運営の方法は稀である。すなわち、我が国では航空会社が検査機器を購入し、保安検査を実施しているのである。国内の定期便就航空港は保安検査業務を各検査会社に委託をしている。就航する航空会社は、空港ごとに検査会社とそれぞれの検査の委託契約を結ぶが、同じ検査レベルで実施されるよう、航空保安協議会が航空局の指導の下、検査体制・検査方法を決め、検査機器も保安協議会が選定したものを各航空会社が購入・設置・運用している。また空港ごとに複数の航空会社が乗り入れている場合は、保安業務の代表幹事社を決めて設置・運用をしている。

2001 年 9 月 11 日に起こった米国テロは世界の航空産業に大きな衝撃を与えた。我が国の航空産業も例外ではなく、航空需要の落ち込みが顕著であった。航空各社が 9・11 テロを受けて更なる安全対策への取り組みを強いられたのは疑うまでもなく、我が国での航空保安検査が航空会社の責任になっている以上、航空各社は追加的な負担をすることで安全対策を強化しなくてはならなかったことは容易に想像することができる。以下の図 2 は我が国の航空産業における IT 投資の動向である。

---

<sup>8</sup>日本において航空会社が航空運送業を営む為には、国土交通大臣から“許可（航空法第 100 条）”を受け、この許可を受ける為には航空会社は各社必ず“事業計画（航空法第 100 条第 2 項）”を国土交通大臣へ提出しなくてはならない。その事業計画に記載すべき事項として“航空機強取等防止措置の内容（航空法施行規則第 210 条第 1 項第 7 号、同法 232 条第 1 項第 7 号ホ）”と明記されており、この“航空機強取等防止措置の内容”が客の手荷物検査を含む保安措置内容ということになる。このことから日本国内の空港におけるお客様に対する保安検査の実施主体、つまり責任の所在は各航空会社ということになる。（成田セキュリティガイドホームページより一部抜粋）

(図 2)



出所：「JIP データベース 2010」より筆者作成

図 2 から明らかなように、9・11 テロのあった 2001 年以降、実質ハードウェア投資、実質ソフトウェア投資と共に急増していることが判る。これらの投資額のうち、どの程度の割合が 9・11 テロを受けての安全対策に充てられたのかは明らかではないが、更なる安全対策の為に IT 投資が必要であったことは、図 2 から明らかである。

言うまでもなく航空会社は「JAL カード」や「ANA カード」などへのハードウェア、ソフトウェアへの IT 投資も行っている。これらの IT 投資はこれまで述べてきた安全対策への投資よりも、より企業の利潤を拡大させる為の投資としての性格を持っている。しかし、例えば JAL カードの利用者数は 2010 年度末で約 249 万人に過ぎない。後述する「Suica」の発行枚数と比較すると、発行枚数とカードの利用者数は必ずしも一致しないとしても、規模はかなり小さい。また 2005 年 1 月以降、JAL カードは「Suica」と業務提携をしており、電子マネーとしての機能を持つことになった。

また 2002 年の JAL と JAS の経営統合や、1999 年の ANA のスターアライアンス加盟<sup>9</sup>など、2000 年前後から我が国の航空会社は統合や業務提携を進めており、図 2 に見られる IT 投資の急激な増加は、これらの各航空会社における統合・業務提携の推進も反映されていると考えられる。

<sup>9</sup> スターアライアンスは 1997 年に設立された最大の航空連合であり、2012 年 2 月現在、就航空港は 1290 港、就航国は 189 カ国にも及ぶ。(スターアライアンス HP より一部抜粋)

### 3.2 鉄道産業における IT 投資の動向

本分析においては「Suica」をはじめとする IC カードの導入が TFP や労働生産性に与える影響を分析してきた。以下で交通系 IC カードの特徴を概観する。

IC カードには複数の異なる規格が存在しており、交通分野で用いられるのは一般に「非接触方式」カードである。これは、カード内に埋め込まれたアンテナがリーダ/ライターから発せられる電波を受信し、それをエネルギーに変換してデータのやり取りを行う方式である。「Suica」ではソニー製の非接触型 IC カード「FeliCa」が採用されている。ただし、必ずしも各社の IC カードが他社の路線でも自由に使えるというわけではない。各社の IC カードがそれぞれの目的や用途に応じて個別に仕様を設定している。その為、鉄道各社は IC カードの共通化、相互利用化の計画を進め、現在では多くの路線で相互利用が可能になっている<sup>10</sup>。また、主な IC カードの導入状況は以下の表 4 の通りである。

(表 4) IC カードの導入状況

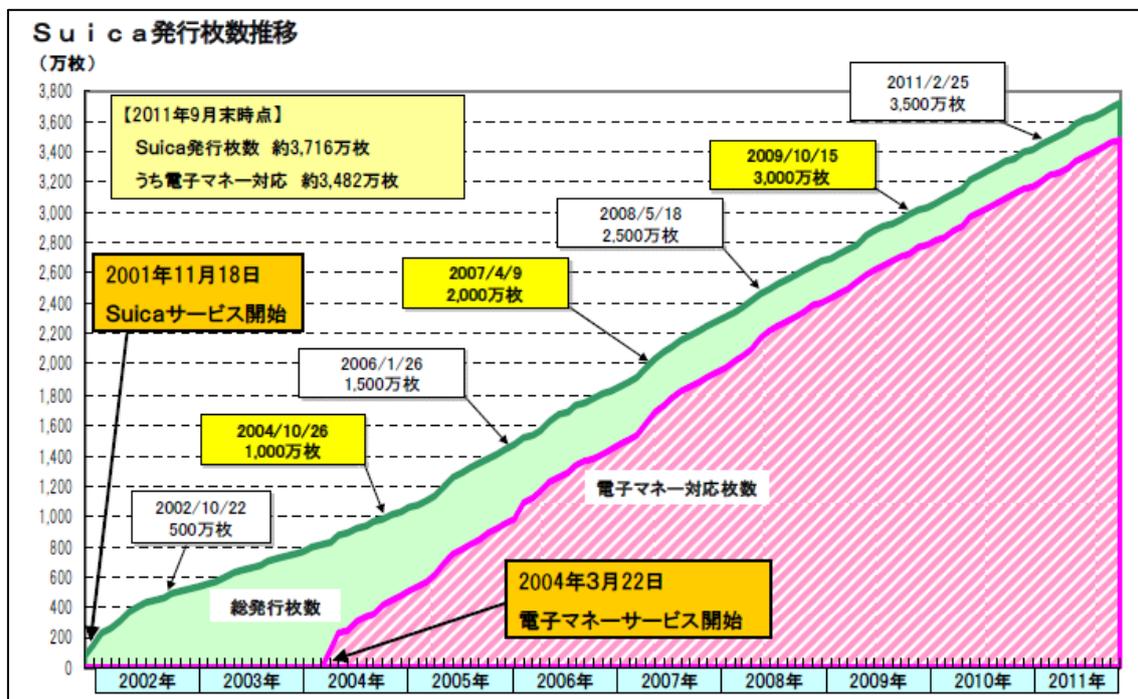
企業名	導入時期	カード	資本金額	所在地
東日本旅客鉄道	2001年11月	Suica	2000億円	東京都渋谷区
西日本旅客鉄道	2003年11月	Icoca	1000億円	大阪市北区
京阪電気鉄道	2004年8月	PiTaPa	514億円	大阪府中央区
西日本鉄道	2008年5月	nimoca	261億円	福岡府中央区
山陽電気鉄道	2006年7月	PiTaPa	101億円	神戸市長田区
南海電気鉄道	2006年7月	PiTaPa	637億円	大阪府中央区
名古屋鉄道	2011年2月	manaca	841億円	名古屋市中村区
小田急電鉄	2007年3月	pasmo	603億円	東京都渋谷区

出所：各社ホームページより筆者作成

電子マネーとしての交通系 IC カードの役割も企業の TFP や労働生産性に大きな影響を与えていると考えられる。2011 年 8 月末現在の電子マネーとしての「Suica」の利用可能店舗数は約 154,190 店舗、利用可能箇所数は約 294,370 箇所、月間利用件数は約 7,191 万件である。また、「Suica」の発行枚数の推移は、以下の図 3 の通りであり、前述の「JAL カード」と比較すると、利用されている規模の大きさが顕著である。

<sup>10</sup> 例えば、2002 年には J R 東日本の「Suica」は、東京モノレール株式会社、東京臨海高速鉄道株式会社と相互利用を実現させており、「Suica」と西日本旅客鉄道株式会社の「ICOCA」は 2004 年度、「ICOCA」とスルッと KANSAI 協議会の「PiTaPa」の相互利用化が 2005 年度にそれぞれ開始されている。

(図 3) 「Suica」 発行枚数の推移



出所：2011年10月4日、東日本旅客鉄道プレスリリースより

## 4. 結論と限界

### 4.1 本分析から得られる示唆

以上の航空産業、鉄道産業における IT 投資の動向を考慮しつつ、今回の推計で得られた結果についての考察を行う。

まず航空産業の IT 投資動向に大きな影響を与えていると考えられるのは、旅客や手荷物の航空保安検査が航空会社の責任になっている、ということである。特に 9・11 以降航空産業が置かれた状況は非常に厳しく、安全対策を講じることにより乗客の信頼を勝ち取らなくてはならなかった。その為には厳重な警備体制と共に、新たな設備の購入やそれに伴うシステムの導入等、IT 投資、非 IT 投資を安全対策の為に行わなくてはならなかったと推察される。さらに我が国では航空会社がそのような安全管理に重大な責任を持っており、航空会社の投資が安全対策に集中せざるを得なくなってしまった結果、投資に関する意思決定を柔軟にすることができなかつたと考えられる。特に実質ハードウェア投資に関しては、保安検査やその他の安全対策の為に急激に増加させる必要に迫られ、TFP 水準に対してマイナスの影響が認められる、という結果を招いてしまったものと考えられる。また実質ソフトウェア投資に関しては、もちろんこれまで議論してきたような安全管理に関するソフトウェア開発やシステム開発などに投資されてきたことが考えられる。ただし、実質ハードウェア投資と異なる点は、例えば「JAL カード」のような直接企業の収益につながるような分野や、他の航空会社との業務提携などにも、本分析の観測期間の間に積極的に投資を行っている点である。また、この点では鉄道産業における IC カード導入についても同じ結論が導かれる。本分析の中で観察可能であった期間では、まだ電子マネー・サービスが開始されてから一年後までの期間でしか分析をすることが出来なかった。さらに、本分析で取り上げた期間では、まだ関東私鉄が中心となって取り入れた「Pasmo」が登場していない。よって、本分析の中の TFP への IC カード導入の効果の推計結果は過少である可能性が高い。それにもかかわらず、航空産業における実質ソフトウェア投資額が TFP 水準を押し上げた効果と遜色ない押し上げ効果を持っていることが明らかになった。

以上のように IT 投資が企業の TFP 水準を押し上げる効果があるということは、伊丹・軽部（2004）が指摘しているように、企業内部・企業外部の情報の流れを円滑にすることが、企業の競争優位を確立する上での重要な要素である、ということを示唆している。しかし、航空産業において実質ハードウェア投資が TFP 水準にマイナスの影響を与えてしまったことから明らかなように、たとえ情報の流れを円滑にしたところで、その情報の流れの効率化が価値の創造につながっていないと、TFP 水準にはプラスの影響を与えない。安全管理に関する情報の流れを効率化するような投資を行う場合には、その投資自体から短期的には利益を得ることはできない。安全管理を徹底することで、長期的には利益を押し上げ、TFP 水準を高めるような効果がある可能性は否定できず、たとえ実質ハードウェア投資が TFP 水準にマイナスに寄与していたとしても、その実質ハードウェア投資が非効率的なものであったかは明らかではない。また、IT がつくりだすネットワークについては、

鉄道産業の IC カードの導入や「JAL カード」が「Suica」をはじめとする様々なビジネスと業務提携や、航空会社間の業務提携や経営統合などといった、組織間関係論が指摘する”弱い関係性”を多く持つことが、競争優位を勝ち取る為の経営戦略である、ということを経回の推計結果は示唆している。

また、産出額ベース労働生産性への IT 投資額の影響は明らかではない、との結論を得た。TFP 水準には影響を与え、産出額ベース労働生産性には影響を与えない、ということはいくつかの可能性が考えられる。その可能性とは、①IT 投資は産出額を増加させる効果はない、②IT 投資は労働投入を減少させる効果がない、という二つの可能性である。この結果の解釈は明らかではない。

#### 4.2 本分析の限界

本分析の限界は大きく分けると以下の四点である。

(i) 航空産業におけるマイクロデータの入手が困難であった点。特に 2002 年の JAL と JAS の経営統合により、データの処理が困難になった。

(ii) 航空産業におけるテロ対策など安全対策への IT 投資額の内訳のデータが入手できなかった為、マクロの IT 投資のデータからどのように IT 投資額が変化したかを予想し、考察することしかできなかった。

(iii) 鉄道産業における各社の実質ソフトウェア投資額、実質ハードウェア投資額のデータが入手できない。その為に、IC カードの導入の評価にとどまり、IC カードの導入による TFP 水準の押し上げに、実質ソフトウェア投資額、実質ハードウェア投資額のいずれが多く寄与しているのかを明らかにすることができなかった。

(iv) 鉄道産業において、データの制約から「Pasmo」が導入された後の影響を分析することができなかった。

特に (ii) については実際に企業にヒアリングに行くなどして対処することができると考えられが、(i) については対処が難しいと予想される。航空産業の IT 投資動向をより緻密に分析することで、本分析はより意味を持つものになると考えられ、今後の課題とする。

## 謝辞

本稿は東京大学公共政策大学院 2011 年度事例研究「ミクロ経済政策・問題分析／解決策分析Ⅲ」の総括として執筆したものである。本稿の執筆にあたり、東京大学社会科学研究所・松村敏弘教授、東京大学公共政策大学院・戒能一成非常勤講師からは、一年間を通じて熱意あるご指導を頂いた。この場を借りて厚く御礼申し上げます。また本研究を進めるに当たり、筆者の同級生である、東京大学公共政策大学院経済政策コース七期生の多くの友人から助言を頂いた。ここで御礼申し上げます。

なお、本稿における主張・誤りは全て筆者に帰するものであり、ご指導を頂いた先生方の見解を示すものではない。

## 【参考文献】

- Barabasi,Albert-Laszlo (2002) “The New Science of Networks”: Cambridge,MA: Persus
- Ronald S Burt (1992) ”The Social Structure of Competition”: Harvard Business Press, pp.57-91
- Mark.S.Granovetter (1978) ” The Strength of Weak Ties” : The American Journal of Sociology, Vol.78,No.6,1360-1380
- Mark Granovetter (1985) “Economic Action and Social Structure: The Problem of Embeddedness” AJS Volume 91 Number 3 (November 1985) : 481-510
- 伊丹敬之・軽部大 (2004) : (編)「見えざる資産の戦略と論理」、日本経済新聞社
- JR東日本 (2011) : プレスリリース2011年10月4日
- JR東日本 (2008) : プレスリリース2008年2月27日
- 国土交通省 (2005) : 『東アジアにおける交通系共通IC カード導入に関する研究』 国土交通省国土交通政策研究所
- 宮川 努・浜瀧純大 (2004) : 『わが国IT 投資の活性化要因－JIP データベースを利用した国際比較と実証分析－』 特定領域研究「制度の実証分析」ディスカッションペーパーNo.33
- 山本拓 (1988) : 『経済の時系列分析』 創文社
- Watts, Duncan J. (2003) “Six Degrees: The Science of a Connected Age.”
- Wooldridge, Jeffrey M. (2008) ”Introductory Econometrics: A Modern Approach (fourth edition),” *South-Western College Publishing*

## 【参考 URL】

- ANA HP : <http://www.ana.co.jp/>
- JAL HP : <http://www.jal.com/ja/>
- 株式会社JALカードHP : <http://www.jalcard.co.jp/profile/index.html>
- JR東日本 HP : <http://www.jreast.co.jp/>
- JR西日本 HP : <http://www.westjr.co.jp/>
- スターアライアンスHP : <http://www.staralliance.com/ja/>
- 京阪電気鉄道 HP : <http://www.keihan.co.jp/>
- 西日本鉄道 HP : <http://www.nishitetsu.co.jp/>
- 山陽電気鉄道 HP : <http://www.sanyo-railway.co.jp/index.html>
- 南海電気鉄道 HP : <http://www.nankai.co.jp/>
- 小田急電鉄 HP : <http://www.odakyu.jp/>
- 名古屋電鉄 HP : <http://www.meitetsu.co.jp/>
- 経済産業研究所HP : <http://www.rieti.go.jp/jp/index.html>

- 日本経済研究センターHP : <http://www.jcer.or.jp/>
- セキュリティ産業新聞 危機管理産業展・企画セミナー「航空セキュリティの現場が求める技術開発の現状と将来」  
<http://www.secu354.co.jp/contents/seminar/09/seminar-091110-1-8.htm>
- 成田セキュリティガイドHP :  
[http://www.narita-airport.jp/jp/security/ss\\_passengers/index.html](http://www.narita-airport.jp/jp/security/ss_passengers/index.html)