



RIETI Discussion Paper Series 25-J-016

# デジタル投資の成長要因 —AI時代に日米の生産性格差を解消するには—

大岩 浩之  
経済産業省



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所

<https://www.rieti.go.jp/jp/>

## デジタル投資の成長要因 —AI 時代に日米の生産性格差を解消するには—\*

大岩 浩之（経済産業省）

### 要 旨

本稿は、1990 年代以降に拡大した日米の生産性格差の要因として、日本のデジタル投資の相対的な不足に着目し、その経済的影響を定量的に検証する。1994 年から 2020 年までの 100 業種にわたるパネルデータを用いて生産関数を推定した結果、ソフトウェア資産の付加価値に対する限界効果は有形資産を大きく上回ることが確認された。また、補完関係にあるソフトウェア資産と無形資産が、それぞれ米国水準まで増加した場合、日米間の生産性格差（38%ポイント）の約 2 分の 1 を解消できると推定された。これらの分析結果は、政策支援の重心を設備投資からデジタル投資や無形資産投資にシフトする必要性を示唆する。

次に、Post-Double-Selection Lasso 法による制御変数の選択バイアスを排除した頑健な推定を行った上で、デジタル投資の決定要因の投資関数を推計した。分析の結果、労働者の質、ソフトウェア価格、一般労働者の賃金の各要因が、デジタル投資の拡大に対して統計的に有意な正の効果を持つことが確認された。また、ソフトウェア資産を米国水準まで増やすためにデジタル投資額を約 4 倍に拡大するには、各要因の水準を 76% ずつ改善する必要があると推定された。これにより、ソフトウェア開発を手の内化している質の高い労働者の育成・確保の支援や、抜本的にソフトウェア価格を下げるためのスケールアップ（規模拡大）支援、そして、労働者全体の賃上げが、デジタル投資を通じた日本の生産性向上に対して有効な政策手段であることが示された。

キーワード：デジタル、ソフトウェア、無形資産、生産性、人材育成、賃上げ、スケールアップ

JEL classification: E17, E22, O30, O47

RIETI ポリシー・ディスカッション・ペーパーは、RIETI の研究に関連して作成され、政策をめぐる議論にタイムリーに貢献することを目的としています。論文に述べられている見解は執筆者個人の責任で発表するものであり、所属する組織及び（独）経済産業研究所としての見解を示すものではありません。

\*独立行政法人経済産業研究所（RIETI）におけるプロジェクト「企業ダイナミクスと産業・マクロ経済」の成果の一部である。本稿の原案は、RIETI のディスカッション・ペーパー検討会で発表を行ったものである。検討会参加者からの有益なコメントに感謝したい。また、本稿の作成にあたっては、細野教授（学習院大学）や宮川教授（早稲田大学）から多くの有益なコメントを頂いた。ここに記して、感謝の意を表したい。本稿の分析に当たっては、RIETI の JIP データベース 2023 を利用した。

## 1. 背景・課題

本稿は、日本のデジタル投資<sup>1</sup>について、ソフトウェア資産の蓄積が生産性向上に寄与することや、ソフトウェアの実質的な導入費用の低下がその資産の蓄積を促進することを、1994年から2021年の業種別のパネルデータを用いて実証的に分析する。

表1の日米の購買力平価ベースの一人当たりGDPが示すとおり、日本の生産性<sup>2</sup>は、対米国比で、1994年の82%から2021年の62%まで悪化した(World Bank, 2025)。このように、2021年時点で米国と38%ポイントの生産性格差が生じており、その格差は悪化の一途を辿っている。そのため、米国をベンチマークしながら、日米の生産性格差の原因や解消方法を分析・特定し、改善策を講じる必要がある。

表1 日米の購買力平価ベースの一人当たりGDP

	1994年	2021年
日本	22,823 ドル	44,316 ドル
米国	27,695 ドル	71,318 ドル
対米国比	82%	62%

日米の生産性格差については、様々な原因が指摘されている。例えば、エネルギーの観点からは、日本は化石燃料資源に乏しいのに対して、米国は化石燃料資源が豊富な上にシェールガス革命によりその生産量を増やしてきた。Bilgili et al. (2016) は、米国では、2000年以降に技術革新により地下の岩石に圧搾されている天然ガスを水圧破砕法で採掘して得られるシェールガスの生産量が急激に上昇し、それがGDPの増加に繋がったことを実証的に示した。また、教育の観点からは、大学以降の高等教育を受けている人の割合が、2021年時点で米国の85%に対して、日本は63%に過ぎない(World Bank, 2025)。Wang (2023) は、米国の各州のパネルデータを用いて、学士以上の保有者の割合が高いほど一人当たりGDPが高いことを示した。このように、エネルギーや教育が、日米の生産性格差を生み出している可能性は高い。しかし、エネルギーの開発や教育には時間を要するので、これらは短中期的に解決することが難しい。

短中期的に解決できる分野として、デジタルが挙げられる。デジタル投資が生産性に与える影響は古くから研究されており、佐藤(2000)は、ハードウェアとソフトウェアの両方を含むデジタル投資が日米それぞれで生産性の向上に寄与していることや、日米のソフトウェアの投資規模が1990年代後半から差が広がり始めたことを示した。近年の研究では、Fukao et al. (2011) が、ソフトウェアに限らずコンピューター機器といったハードウェアも含むICT資本の蓄積において、日本は、イタリアを除くEUの主要国や米国に遅れを取っていることを指摘した。2020年時点では、表

<sup>1</sup> 一般的に、「デジタル投資」には、ソフトウェアに加えて、計算機等のハードウェアを含むこともあるが、本稿では特別な言及がない限りは、専らソフトウェアに関する投資を指す。

<sup>2</sup> 本稿における「生産性」は、国単位では、為替水準の変動を加味して、購買力平価に基づく一人当たりGDPを指す。一方で、業種単位では、日本国内での経年変化を補足するため、「生産性」は、一人当たり名目付加価値額を指す。

2 の日米の資産構成比<sup>3</sup>が示すとおり、日本では有形資産への投資が多く、無形資産<sup>4</sup>やソフトウェア資産<sup>5</sup>への投資が少ない傾向にある。具体的には、有形資産の構成比は米国 81.8%に対して日本 91.7%である。しかし、無形資産の構成比は米国 13.9%に対して日本 7.1%、ソフトウェア資産の構成比は米国 4.6%に対して日本 1.2%に過ぎない。こうした事実から、近年においても、日本のソフトウェア資産の構成比は米国より小さいことが確認できる。

表 2 日米の資産構成比

国	ソフトウェア資産額	(比率)	無形資産額	(比率)	有形資産額	(比率)
日本	32 兆円	1.2%	185 兆円	7.1%	2,402 兆円	91.7%
米国	87 百億ドル	4.6%	275 百億ドル	13.9%	1,620 百億ドル	81.8%

(注) 日米ともに 2020 年のデータを参照

さらに、機械学習や大規模言語モデルをはじめとする人工知能（以下、「AI」という。）の普及に伴い、デジタルが生産性に与える影響は更に高まる可能性がある。例えば、Vijayakumar (2021) は、AI の普及は、生産性向上による平均賃金の上昇や、AI 関連サービスの開発による新しい市場の開拓、AI を活用したデータ分析の高度化による事業競争力の強化を通して、経済成長を促すと主張している。その上で、Vijayakumar (2021) は、AI への民間投資と米国の GDP 成長率には相関があることを示した。このように、AI の普及に伴い、デジタル投資が生産性に与える影響が強まると予測される。

こうした背景を踏まえて、本稿では、1990 年代以降に拡大してきた日米の生産性格差の要因の一つとして、日本のデジタル投資の相対的な不足に着目し、その経済的影響を定量的に検証する。具体的には、ソフトウェア資産の蓄積が生産向上に寄与することや、その蓄積のためにデジタル投資を促進するにはソフトウェアの実質的な導入費用の低減が不可欠であることを実証する。

本稿の構成は、第 2 節でデジタル投資に関わる先行研究を概観した上で、第 3 節で研究仮説を述べる。第 4 節では、分析に使用するデータ及び分析方法を説明する。第 5 節で分析結果とその解釈を示し、第 6 節で分析手法の限界に言及する。最後に、第 7 節で結論と政策的含意を述べる。

## 2. 先行研究

### 2-1. 生産関数に関する先行研究

付加価値額を目的変数に取った生産関数の実証分析について、海外では、Bontempi・Mairesse

<sup>3</sup> 米国の数値については、BEA(2024)の Table 2.3. Historical-Cost Net Stock of Private Fixed Assets, Equipment, Structures, and Intellectual Property Products by Type の 2020 年のデータから、ソフトウェア資産は Software の値を、無形資産は Nonresidential intellectual property products の値からソフトウェア資産の値を除いた値を、有形資産は Nonresidential equipment 及び Nonresidential structure の合計値を用いて、構成比を計算している。日本の数値は、RIETI (2023) が提供する JIP データベースにおける 2020 年のデータから、ソフトウェア資産は部門別のソフトウェアの固定資本ストックの集計値を、無形資産はソフトウェア以外の無形資産の部門別の固定資本ストックの集計値を、有形資産は部門別名目純資本ストックの値から前記のソフトウェア資産及び無形資産の値を除いた集計値を用いている。このように利用可能なデータを用いて構成比を算出しているため、日米で集計方法が完全には合致しない点には注意が必要である。

<sup>4</sup> 本稿における「無形資産」は、特別な言及がない限りは、ソフトウェア資産を除く無形資産を指す。その上で、「無形資産」は、RIETI が公表している JIP データベースにおける科学的研究開発、鉱物調査・評価、娯楽作品原本、デザイン、金融業における新商品開発、ブランド、企業特殊的人的資本、組織改編費用という分類に該当する資産を指す。その上で、本稿では、分かりやすさの観点から、科学的研究開発は「研究開発」、企業特殊的人的資本は「固有技能投資」と言い換える。

<sup>5</sup> 本稿における「ソフトウェア資産」は、RIETI が公表している JIP データベースにおけるソフトウェアに該当する資産を指す。

(2008)や Marrocu et al. (2012) が、無形資産を生産要素として考慮した生産関数を推計している。また、日本では、森川 (2012) が、「経済産業省企業活動基本調査（以下、「企業活動基本調査」という。）」（経済産業省）のパネルデータを用いて、コブ＝ダグラス型の関数を推計して、労働投入量、有形固定資産ストック、無形固定資産ストックといった説明変数が、目的変数である付加価値額に正の影響を与えることを示した。この他に、Fukao et al. (2015) が、企業規模や企業年齢、業種の違いを考慮して、ソフトウェアだけではなくハードウェアも含む ICT 投資が付加価値に及ぼす影響について分析した。

このように、表 3 に示すとおり、無形資産や有形資産、労働投入量が付加価値に与える影響を定量的に分析した先行研究や、ハードウェアも含む ICT 投資が付加価値に与える影響を定量的に分析した先行研究が存在する。しかし、無形資産をソフトウェア資産とその他無形資産に分けた上で、ソフトウェア資産が付加価値に与える影響を定量的に分析した先行研究は、確認できなかった。本稿では、無形資産や有形資産、労働投入量に加えて、ソフトウェア資産が付加価値に与える影響を分析することで、学術的な知見の深化に寄与する。

表 3 先行研究で取り扱われた生産関数に関する変数

目的変数	説明変数	関係	実証有無
付加価値	ICT 投資	正	有
付加価値	無形資産	正	有
付加価値	有形資産	正	有
付加価値	従業員数	正	有

## 2-2. 投資関数に関する先行研究

デジタル投資の促進には、ソフトウェアの導入・活用を行う高技能人材の充実や、ソフトウェアの価格の低下、代替財である一般労働者を雇用する費用の上昇といったソフトウェアの実質的な導入費用の低下が重要だと考えられる。

高技能人材の確保という観点からは、Bresnahan et al. (2002) が、デジタル技術は、スキルバイアスを持つので、高度な技能を持つ労働者の需要を高めることを指摘している。宮川ら (2014) は、無形資産の形成に関わる研究開発と人的資本に関する分析を行った。日韓両国の企業に対して経営管理に関するインタビュー調査を実施した結果、組織管理や人的資源管理に取り組む企業ほど、研究開発費活動を行う確率が高い傾向を示した (宮川ら, 2014)。また、宮川・滝澤 (2022) は、デジタル投資や研究開発投資、人的資本投資、組織改編投資の国際比較を通じて、日本はソフトウェアや研究開発への投資を補完する人材や組織の体制が非常に弱いことを指摘している。このように、デジタル技術の進展はデジタル技術を有する人材の需要を高めることが示されている。ただし、実際にデジタル技術を導入・活用する人材は、デジタルの専門人材とは限らない。また、デジタルの導入・活用が効果的に行える人材を組織内に有するのでソフトウェアの導入が容易になりデジタル投資を行うという逆の因果関係も考えられる。

ソフトウェアの価格に関しては、乾・金 (2001) が、ソフトウェアの導入費用が高いため、その普及に遅れが生じていることや、日本の情報通信サービスの価格は購買力平価でみて米国のそれを大きく上回っていることを指摘している。さらに、Fukao et al. (2015) は、中小企業に関しては、ビジネスプロセスアウトソーシング市場の未発達や専門人材の不足により、高い費用を負担してい

ることが、ICT 投資の阻害要因であると指摘している。このように、ソフトウェア導入に要する費用の増加がデジタル投資を妨げることが定性的に示されてきたが、定量的な分析を行っている先行研究は確認できなかった。

労働者の雇用費用の代替効果に関しては、Autor et al. (2007)は、米国の州別パネルデータを用いて、労働規制強化に伴う労働調整費用の増加が資本の増加に繋がることを実証した。日本でも、田中ら(2008)が、「企業活動基本調査」(経済産業省)のパネルデータを用いて、正規労働者への規制は、資本投資の増加に繋がることを確認した。このように、労働者の費用の代替効果に関しては、規制による労働調整費用の増加が資本投資に与える影響の分析は存在する。しかし、労働者の賃金の上昇が投資に与える影響を分析した先行研究は確認できなかった。

これらの先行研究の成果と限界を踏まえて、本稿では、投資関数を用いて、ソフトウェアの実質的な導入費用が、デジタル投資に及ぼす影響を分析し、学術的な知見の深化を目指す。ただし、統計的な定量分析において、ソフトウェアの実質的な導入費用の定義は未確立である。そこで、本稿では、その構成要素として、ソフトウェア価格に加え、代替財である一般労働者の賃金と比べた相対価格や、高技能人材の充実によるソフトウェア導入・活用費用の低減の影響を考慮する。

次に、デジタル投資を促す企業の特徴に着目した先行研究を概観していく。乾・金(2018)は、「企業活動基本調査」(経済産業省)のパネルデータを用いて、売上に占める研究開発支出の割合や、企業年齢、企業規模、外資比率、輸出額が売上高に占める割合が、デジタル投資に正の影響を与えることを示した。Zhao et al. (2024)は、中国の上場企業を対象とした実証分析を行い、企業の年次報告書におけるデジタル関連用語の出現回数に対して、企業規模、負債、売掛金比率、管理経費比率、企業年齢は正の影響を及ぼし、海外収益比率、株主集中度、国有化、企業ライフサイクル、市場占有率は負の影響を与えることを示した。目的変数が異なっている上に、分析の対象国が異なるため、単純比較はできないが、これらの2つの分析を比べると、企業の規模が大きいほどデジタル技術の活用に前向きであることは共通している。しかし、企業年齢や海外との取引は、デジタルへの取組に対して異なる影響を及ぼすことが示されている。その原因については、日本の企業は中国企業と比べて平均企業年齢が高い傾向<sup>6</sup>にあることを踏まえると、一定の企業年齢までは年齢が高いほどデジタル化に積極的に取り組むが、ある程度の年齢を超えるとその積極性が低下する可能性がある。そのメカニズムとして、まず、企業年齢が高いほど企業規模が大きくなり、デジタル投資に充てる余裕が生まれる、又はデジタル投資の費用対効果が向上することが考えられる。次に、日本の企業の場合は、一定の企業年齢に達すると企業規模の拡大は鈍化するが、年配の従業員の割合は上昇を続けるため、それがデジタル化への取組を抑制する要因となっている可能性がある。そこで本稿では、企業年齢ではなく、年配の従業員の割合がデジタル投資額に及ぼす影響に着目し、この関係を明らかにすることで、既存研究の理解を深める。

企業の固有業務に関しては、宮川・金(2010)が、日本企業は米国企業と比べ、自社の業務に合わせた形でソフトウェアを導入するケースが多いことを指摘している。受注ソフトウェアは、標準的なパッケージ・ソフトウェアを自社向けに改修することで価格が高くなる傾向がある中で、日本ではこうした個別対応型の導入が主流であり、その結果、標準化されたパッケージ・ソフトウェアの普及が遅れている(宮川・金, 2010)。本稿では、固有技能投資がデジタル投資に与える影響を定量的に確認することで、学術的な知見を深める。

この他にも、補完投資や資金制約が投資に与える影響を分析した先行研究が存在する。Basu et

<sup>6</sup> 株式会社東京商工リサーチ(2022)によれば、日本は、2021年時点で平均企業年齢が34.1年であり、平均して1987年に創業していることが分かる。中国については、企業年齢に関する統計データは確認できないが、改革開放が1978年に開始したことから、日本企業よりも企業年齢が若いと推測できる。

al. (2003)やCrespi et al. (2007)が、無形資産への投資と ICT 投資は補完関係にあることを示した。また、企業の資金制約に関する分析として、森川(2012)は、企業のキャッシュフローは無形資産の増加に影響を及ぼすこと、有形資産投資と比較して無形資産投資の方が内部資金への依存度が高いことを示し、無形資産投資の資金調達においては、金融・資本市場が十分に機能していない可能性を指摘した。また、Fukao et al. (2015)も資金流動性の制約が中小企業や若年企業の ICT 投資を阻害していることを確認している。

表 4 は以上の先行研究の概観を示している。デジタル投資の増加要因に関連する分析は数多く存在するが、その中でも定量的な分析に乏しいソフトウェアの実質的な導入費用の影響を検証することが、本稿の主な貢献となる。

表 4 先行研究で取り扱われた投資関数に関する変数

目的変数	説明変数	関係	実証有無
研究開発投資	高技能人材	正	無
デジタル投資	ソフトウェア費用	負	無
資本投資	労働調整費用	正	有
デジタル投資	研究開発比率	正	有
デジタル投資	企業年齢	正	有
デジタル投資	企業規模	正	有
デジタル投資	外資比率	正	有
デジタル投資	輸出額	正	有
デジタル投資	無形資産投資額	正	有
デジタル投資	固有業務	負	無
DX への積極性	負債	正	有
DX への積極性	売掛金比率	正	有
DX への積極性	管理経費比率	正	有
DX への積極性	海外収益比率	負	有
DX への積極性	株主集中度	負	有
DX への積極性	国有化	負	有
DX への積極性	企業ライフサイクル	負	有
DX への積極性	市場占有率	負	有
無形資産投資	資金制約	負	有

(注) 実証有無が無の変数は、筆者の文献調査では実証分析の存在を確認できなかった変数

### 2-3. 統計手法に関する先行研究

分析に用いるデータに関しては、企業単位や産業単位のデータを用いた分析が存在する。前記の先行研究で触れたとおり、企業単位のデータでは、「企業活動基本調査」(経済産業省)を利用する分析事例が豊富に存在する。産業単位のデータについては、例えば、宮川・石川(2021)が、内閣府の国民経済計算をもとにした産業別データを利用して、日本の有形資産投資の減少分を無形資産投資が補っていることを示した。また、先述の Fukao et al. (2011)は、EU KLEMS データベースや

JIP データベース、KIP データベースを用いた分析を行っている。

次に分析手法については、Autor et al. (2007)の労働に関する規制が資本投資に与える影響の分析のように、規制の導入等の人為的介入が存在する場合には、Difference-in-Differences 分析の手法を用いた因果推論が行われる。また、特定の閾値（カットオフ）を基準に処置群と対照群を分けられる状況で因果効果を推定する場合には、回帰不連続デザイン（RDD）が用いられる。

一方、人為的介入がない場合は、Two-Way Fixed Effects（TWFE）を考慮した関数によるパネルデータ分析が行われる。しかし、未観測の交絡因子や処置のタイミングによる影響を適切に考慮できないため、TWFE のみでは因果推論の厳密性は強固とは言えない。

こうした中で、近年では、Belloni et al. (2014)が示すように、Post-double Selection Lasso（PDS Lasso）を活用することで、因果推論の精度を向上させる手法が注目されている。PDS Lasso は、被説明変数に対する制御変数の Lasso 回帰と、説明変数に対する制御変数の Lasso 回帰の両方を実施し、それぞれの回帰分析において係数がゼロでなかった制御変数を選択する。そして、被説明変数に対する説明変数及び選択された制御変数を用いた回帰分析を実施することで、因果推論の精度を高める。

### 3. 研究仮説

#### 3-1. 生産関数に関する研究仮説

生産関数について、「日本が、仮にソフトウェア資産を米国並みに蓄積した場合に、米国との生産性格差をどの程度埋められるのか。」というリサーチクエスチョンを設定する。各業種の付加価値額を目的変数に設定した際に、ソフトウェア資産、無形資産、有形資産がそれぞれ増加すれば、その業種の付加価値が増加するという仮説を立てる。先行研究では、ICT 資産（ハードウェアを含む。）や無形資産、有形資産が付加価値額に正の影響を与えることが確認されている。ソフトウェア資産についても、各業種の付加価値額を増やす効果を持つと予測する。

次に、グローバル経済における主要な競合国を考慮して、ソフトウェア資産や無形資産が付加価値額に与える影響は、有形資産よりも大きいという仮説を立てる。ソフトウェア産業や、無形資産が重要となる製薬・コンテンツ等の産業においては、日本よりも生産性が高い米国や一部の欧州の主要国が競争相手となる。一方、製造業では、日本より生産性が低い中国が主な競合国であり、厳しい価格競争に晒される。そのため、ソフトウェア資産や無形資産への投資は限界利益が大きく、有形資産への投資は限界利益が小さいという予測する。

#### 3-2. 投資関数に関する研究仮説

投資関数に関して、「デジタル投資の成長要因は何か。」というリサーチクエスチョンを設定する。デジタル投資の成長要因の中でも、ソフトウェアの実質的な導入費用の影響に着目する。具体的には、高技能人材の充実、ソフトウェア価格の低下、労働者賃金の上昇により、ソフトウェアの実質的な導入費用は低下し、デジタル投資拡大に繋がるという仮説を立てる。

ソフトウェアの導入には、①外注による開発費用の増加や、②外注に伴う開発・修正スピードの鈍化による事業の機会損失、③受発注者間の情報の非対称性やプリンシパル・エージェント問題に起因する発注者の事業・業務にミスマッチしたソフトウェアの開発といった幅広い費用が実質的には生じる。そのため、発注側がソフトウェアの企画・開発・実装を手の内化している質の高い労働者を有すれば、ソフトウェア開発の全部又は一部を内製化することでソフトウェアの導入費用を下げられる。ソフトウェアの導入・活用を行う人材は必ずしもデジタルの専門家とは限らないが、デ



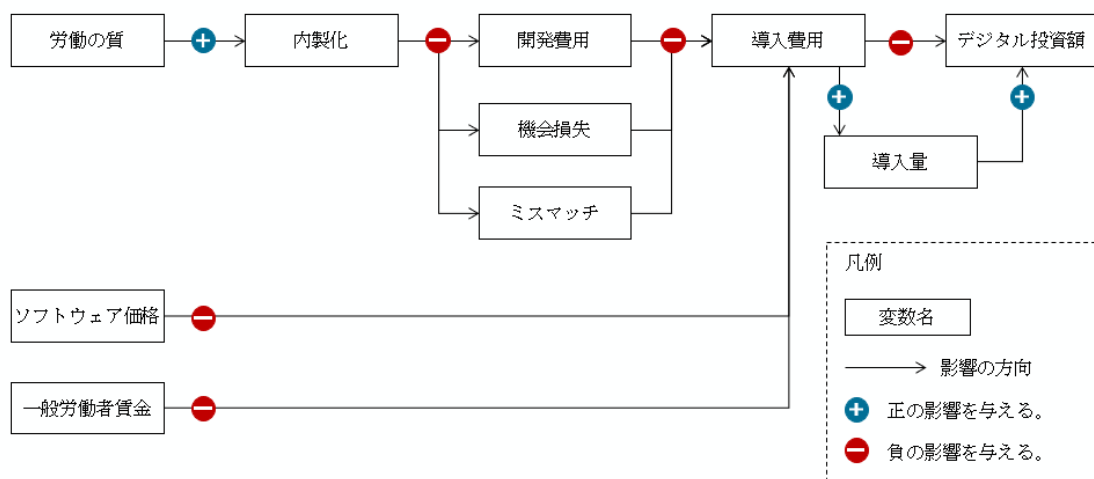
デジタル人材に関しては、情報処理推進機構（2019）によれば、米国では 65.4%がユーザー企業に所属しているのに対して、日本ではユーザー企業側にわずかに 28.0%しか所属していない。このように、ユーザー企業側の高技能人材の不足が、ソフトウェアの実質的な導入費用を高めている可能性がある。

ソフトウェア価格の低下はデジタル投資額の減少に繋がるが、同時に価格低下による導入数量の増加を通じてデジタル投資額の拡大にも貢献する。ソフトウェアのうち、オペレーティングシステムや文書作成ツール、データ処理ツール、メールといった基礎的なソフトウェアは、企業にとって必需品に等しいので、価格弾力性が小さいと考えられる。しかし、こうしたツールは、米国に限らず、日本でも広く普及しているので、ソフトウェア資産の格差を生み出しているのは、高度な業務管理や販売促進、データ分析に関するソフトウェアへの投資だと考えられる。こうした高度なソフトウェアは、労働者又は基礎的なソフトウェアによる代替が可能であり、需要の価格弾力性が大きいと考えられる。全体としては、ソフトウェアの価格弾力性は大きく、その価格低下はデジタル投資額の増加に繋がると予測する。

代替財の関係にある労働者全般の賃金（以下、「一般労働者賃金」という。）が上昇すれば、ソフトウェアの価格は相対的に低下し、デジタル投資が増加するという仮説を立てる。ソフトウェアを導入することで、単純作業から経営判断に必要なデータの分析といった高度な作業まで、幅広い労務作業が削減される。労働者の賃金が高いほど、ソフトウェア導入による削減コストが大きくなり、その投資対効果が大きくなるので、デジタル投資が促進されると予測する。この仮説は、デジタル投資が活発な米国の労働者の平均年収は 80,115 ドルであるのに対して、日本の労働者の平均年収は 46,792 ドルに過ぎないという事実と整合的である（OECD, 2025）。

以上の議論を踏まえたソフトウェアの実質的な導入費用がデジタル投資額に与える影響の因果関係の仮説を図 1 のとおり。

図 1 ソフトウェアの実質的な導入費用がデジタル投資額に与える影響の因果関係の仮説



また、先行研究を踏まえて、これらのソフトウェアの実質的な導入費用以外にも、高齢従業員の割合や企業の固有業務がデジタル投資に負の影響を与え、補完投資や業績は正の影響を与えるという仮説も併せて検証する。高齢従業員の割合が大きい企業では、ソフトウェアの扱いに慣れていない従業員が多いことから、デジタル投資への積極性が低下すると予測される。また、企業が独自の業務を多く抱えている場合、標準化されたソフトウェアの導入が難しく、ソフトウェアの導入には

大幅な改修が必要となるため、デジタル投資の拡大が抑制される可能性がある。一方で、研究開発、デザイン、組織改編に関する投資は、デジタル技術の活用が必要なケースが多いため、デジタル投資と同時に実施されると予測される。さらに、企業の業績が好調であれば、デジタル投資に限らず投資額が全体的に増加することが期待される。

#### 4. データ・分析手法

##### 4-1. 生産関数のデータ・分析手法

生産関数の分析に当たっては、RIETI が 2023 年に公表した JIP データにおける、1994 年から 2020 年にかけての 100 業種の業種別のデータを用いる。表 5 に生産関数の分析に利用するパネルデータの要約統計量を纏めている。

表 5 生産関数の分析に利用するパネルデータの要約統計量

変数	変数略称	観測数	標準偏差	平均値	最小値	最大値	単位
付加価値額	Value Added	2,794	7.95E+06	5.09E+06	1.00E+00	5.01E+07	百万円
ソフトウェア資産額	Software Asset	2,800	2.04E+05	8.85E+04	0	1.82E+06	百万円
無形資産額	Intangible Asset	2,766	2.53E+06	1.75E+06	0	1.33E+07	百万円
有形資産額	Tangible Asset	2,766	5.65E+07	1.61E+07	-1.36E+07	4.53E+08	百万円
従業員数	Worker Number	2,766	1.18E+06	6.78E+05	1.61E+03	7.41E+06	人

(注) 本表における無形資産額はソフトウェア資産額を除く無形資産額

生産関数の目的変数である業種別の付加価値額については、JIP データの「名目付加価値」を用いている。説明変数に関しては、ソフトウェア資産額は「固定資本ストック（ソフトウェア）」の値、制御変数であるソフトウェア資産額を除く無形資産額は「固定資本ストック（無形資産投資）」から「固定資本ストック（ソフトウェア）」を除いた値、有形資産額については「部門別名目純資本ストック」からソフトウェア資産額や無形資産額を除いた値、従業員数は「部門別従業員数」を用いる。

これらのパネルデータを用いて、各業種が生産活動において有するソフトウェア資産、無形資産、有形資産、労働投入量が付加価値額に与える影響を定量的に評価する。分析に当たっては、推定の解釈容易性と実証的な汎用性を踏まえ、コブ＝ダグラス型の生産関数を対数線形に変形した上で、TWFE を考慮した pooled OLS のモデルを用いる。TWFE 構造を有するパネルデータ回帰モデルは、時系列及び業種別の固定効果を考慮することで、各投入要素が付加価値に与える限界効果を識別する。このとき、推定された係数  $\beta_1$  は、ソフトウェア資産の生産弾力性（説明変数が 1% 増加したときの付加価値額の % 変化）を示す。

##### コブ・ダグラス型の生産関数

$$Y_{it} = A_{it} \cdot (K_{Si,t})^{\beta_1} \cdot (K_{I,it})^{\beta_2} \cdot (K_{T,it})^{\beta_3} \cdot (L_{it})^{\beta_4}$$

(注)  $A_{it} = e^{\beta_0 + \mu_t + \eta_i + \varepsilon_{it}}$

##### 対数変換した生産関数

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln K_{S,it} + \beta_2 K_{I,it} + \beta_3 \ln K_{T,it} + \beta_4 \ln L_{it} + \mu_t + \eta_i + \varepsilon_{it}$$

$Y$ は付加価値額、 $K_S$ はソフトウェア資産額、 $K_I$ はソフトウェア資産を除く無形資産額、 $K_T$ は有形資産額、 $L$ は従業員数を指す。 $\mu$  は時間固定効果、 $\eta$ は業種の固定効果を表す。

#### 4－2．投資関数のデータ・分析手法

投資関数の分析に当たっては、RIETI が 2023 年に公表した JIP データにおける 1994 年から 2021 年にかけての 100 業種の業種別のデータ及び日本銀行が公表する物価関連統計の企業向けサービス価格指数における 1994 年から 2021 年にかけてのソフトウェア価格に関するデータを用いる。表 6 に投資関数の分析に利用するパネルデータの要約統計量を纏めている。

表 6 投資関数の分析に利用するパネルデータの要約統計量

変数	変数略称	観測数	標準偏差	平均値	最小値	最大値	単位
デジタル投資額	Digital Investment	2,800	2.04E+05	8.85E+04	0.00E+00	1.82E+06	百万円
労働の質指数	Labor Quality	2,766	5.93E-02	9.74E-01	0.541205	1.13E+00	指数
ソフトウェア価格	Software Price	2,766	3.24E+00	9.70E+01	92.025	1.04E+02	指数
一般労働者賃金	Labor Wage	2,766	1.04E+00	2.94E+00	5.94E-02	6.75E+00	千円
高齢従業員率	Older Employee Ratio	2,766	1.05E+01	2.43E+01	3.98E+00	7.40E+01	%
固有技能投資額	Special Investment	2,800	29764	17723	0	243669.1638	百万円
デザイン投資額	Design Investment	2,800	2.69E+05	8.71E+04	0	2.44E+06	百万円
研究開発投資額	R&D Investment	2,800	3.52E+05	1.68E+05	0	2.38E+06	百万円
組織改編費用	Reorganization Cost	2,800	97,341	50,048	0	50047.69021	百万円
業績	Value Added	2,794	7.95E+06	5.09E+06	1.00E+00	5.01E+07	百万円

目的変数であるデジタル投資額については、JIP データにおける「名目固定資本形成（ソフトウェア）」を用いる。説明変数に関しては、高技能人材の質を表す変数として労働の質指数を設定する。これは JIP データの「部門別労働の質指数」を指しており、学歴、給与、勤続年数等により算出される指数である。労働の質が高いほど、ソフトウェア開発の全部又は一部を内製化できる労働者の割合が高いと期待し、この指数がソフトウェアの導入・活用に必要な労働者の技能水準を代表するものと見做す。

また、制御変数について、ソフトウェア価格は、日本銀行の物価関連統計における「情報サービス」の指数を用いる。その他の制御変数については JIP データを用いる。一般労働者賃金は「部門別名目労働コスト」を「部門別マンアワー」で割った時間当たりの労働コストを用いる。高齢従業員率は「部門別 55 歳以上従業員比率」を用いる。また、職場外での研修費用等をもとに算出される「名目固定資本形成（企業特殊的人的資本）」の蓄積が他社では通用しない企業独自の業務の拡大につながるものと見做して、この値を固有技能投資額の変数として用いる。さらに、デザイン投資として「名目固定資本形成（デザイン）」、研究開発投資として「名目固定資本形成（科学的研究開発）」、組織改編費用として「名目固定資本形成（組織改編費用）」、業績として「名目付加価値」を用いる。

これらのパネルデータを用いて、先述の説明変数及び制御変数が、デジタル投資額という目的変

数に対して与える影響を推計する投資関数を構築する。投資関数の具体的な推計式として TWFE 構造を有するパネルデータ回帰モデルを以下のとおり設定する。

$$\begin{aligned} \text{Digital Investment} = & \beta_0 + \beta_1 \text{Labor Quality Lag} + \beta_2 \text{Software Price Lag} \\ & + \beta_3 \text{Labor Wage Lag} + \beta_4 \text{Interaction} + \beta_5 \text{Older Employee Ratio Lag} \\ & + \beta_6 \text{Special Investment Lag} + \beta_7 \text{Design Investment} \\ & + \beta_8 \text{R\&D Investment} + \beta_9 \text{Reorganization Cost} \\ & + \beta_{10} \text{Value Added Lag} + \mu_t + \eta_i + \varepsilon_{it} \end{aligned}$$

*Digital Investment* は業種別のデジタル投資額、*Labor Quality* は労働の質指数、*Software Price* はソフトウェア価格、*Labor Wage* は一般労働者賃金、*Older Employee Ratio* は高齢従業員率、*Special Investment* は固有技能投資額を、*Design Investment* はデザイン投資額、*R&D Investment* は研究開発投資額、*Reorganization Cost* は組織改編費用、*Value Added* は業績を指す。また、ソフトウェア価格と一般労働者賃金の関係は、組み合わせによってデジタル投資に異なる影響を与える。ソフトウェア価格が安く労働賃金が高い場合、企業はより積極的にデジタル投資を行うが、ソフトウェア価格が高く労働賃金も高い場合やソフトウェア価格が安く労働者賃金が安い場合は、デジタル投資の増減は各変数の値や影響の程度に依存する。こうしたメカニズムを補足するため、*Software Price* と *Labor Wage* を乗じた交互作用項を *Interaction* としてモデルに含める。加えて、本モデルは、TWFE を考慮するので、時間固定効果を表す  $\mu$  及び業種というエンティティの固定効果を表す  $\eta$  をモデルに含める。また、企業のデジタル投資は、*Labor Quality*、*Software Price*、*Labor Wage*、*Older Employee Ratio*、*Special Investment*、*Value Added* を踏まえて判断・実行される。そのため、投資判断に影響を与えるこれらの変数に時間差（以下、「Lag」という。）を設定することで、その因果関係を補足する。なお、*Design Investment*、*R&D Investment*、*Organization Investment* については、デジタル投資と同時に行う補完的な投資であると想定して Lag は設定しない。

また、本稿では、共変量が多数存在する中での因果推論の信頼性を高めるため、PDS Lasso 法を用いる。具体的には、デジタル投資額に対する制御変数の Lasso 回帰及び労働者の質指数に対する制御変数による Lasso 回帰を実施して、双方で係数がゼロではなかった制御変数を特定する。そして、デジタル投資額に対する労働者の質指数及び特定された制御変数による回帰分析を行い、統計的有意性の評価を行う。

## 5. 分析結果・解釈

### 5-1. 生産関数に関する分析結果・解釈

表 7 の全業種に関する生産関数の推定結果によると、ソフトウェア資産額は 1% 増加すると、付加価値額が平均 0.03% 増加することが確認され、これは統計的に 1% 水準で有意である。この結果は、Palatelli (2021) が推定した欧州では ICT 資本が 1% 増えれば付加価値が 0.14% 増加するという結果と比べて大きな乖離はない。Palatelli (2021) の分析では ICT 資本はソフトウェア資産以外の資産も含むために金額が大きくなるので、1% の増加に伴う付加価値額の増加率は本研究より大きな値を示したと考えられる。

同様に、無形資産投資額の 1% の増加は、付加価値額を平均 0.18% 押し上げることが示され、こちらも 1% 水準で統計的に有意である。一方、有形資産投資額は付加価値額との統計的に有意な関係を

示さず、その係数は0.002%と僅少である。なお、従業員数については、1%増加すると付加価値額が平均0.59%増加し、統計的に1%水準で有意である。この結果から、ソフトウェア資産や無形資産投資、従業員数は付加価値額と正の関係を持つ一方で、有形資産投資は付加価値額と統計的に有意な関係を持たないことが明らかとなった。

本モデルに基づけば、日本のソフトウェア資産構成比が米国水準まで319.7%増加すれば、付加価値額は6%ポイント増加する<sup>7</sup>。同様に、日本の無形資産構成比が米国水準まで120.9%増加すると、付加価値額は13%ポイント増加する<sup>8</sup>。日米の生産性格差の38%ポイントについて、ソフトウェア資産が米国水準まで増加すれば、格差の約6分の1を埋められる。補完関係にある無形資産投資も同様に米国水準まで増加すれば、格差の約2分の1を埋められる。一方で、有形資産の増加は、付加価値額の上昇に寄与しない。これは民間投資を促す政策において、支援対象の重心を設備投資からデジタル投資や無形資産投資にシフトする必要性を示唆する。なお、これはマクロな傾向に関する分析なので、個別の投資案件で常に同じ傾向が見られるわけではないことに留意が必要である。

表7 生産関数の分析結果（全産業）

変数等	変数等略称	値（係数等）	統計有意性		信頼区間	
定数	Const	4.6096	0.0000	***	4.0450	5.1742
ソフトウェア資産額	ln Software Asset	0.0301	0.0007	***	0.0128	0.0475
無形資産額	ln Intangible Asset	0.1773	0.0000	***	0.1448	0.2098
有形資産額	ln Tangible Asset	0.0021	0.4057	-	-0.0029	0.0072
従業員数	ln Worker Number	0.5901	0.0000	***	0.5513	0.6289
観測数	Number of Observations	2,138				
決定係数	R-squared	0.3874				

（注）\*\*\*は1%水準で統計有意、\*\*は5%水準で統計有意、\*は10%水準で統計有意（以下、同じ）

次に、業種を産業別に分けて行った分析の結果について述べる。表8で示す農林水産業等の第一次産業の分析結果では、ソフトウェア資産額は1%増加すると、付加価値額が平均0.05%減少することが確認され、これは統計的に1%水準で有意である。同様に、無形資産投資額の1%の増加は、付加価値額の平均0.43%の増加と関係し、こちらも1%水準で統計的に有意である。一方、有形資産投資額は付加価値額との統計的に有意な関係を示さず、その係数は0.0004%と僅少である。なお、従業員数については、1%の増加が、平均0.47%の付加価値額の増加と関係し、統計的に1%水準で有意である。この結果から、無形資産投資は付加価値額と正の関係を持つ一方で、ソフトウェア資産は負の関係をもち、有形資産投資は統計的に有意な影響を持たないことが明らかとなった。第一次産業では、ソフトウェア資産や有形資産ではなく、主にブランドや品種等の無形資産や従業員数によって付加価値が決まっていることが原因と考えられる。

<sup>7</sup> 日本の有形資産額が変わらないと仮定し、有形資産とソフトウェア資産の比率が米国と同じ「81.8%対4.6%」となった場合、日本のソフトウェア資産額は319.7%増加する。この増加分に係数0.0301を乗じると、付加価値額は9.6%上昇する計算になる。日本の生産性は米国の62%であるため、この62%に9.6%を乗じること、生産性は6.0%ポイント向上することが予測される。

<sup>8</sup> 日本の有形資産額が変わらないと仮定し、有形資産と無形資産の比率が米国と同じ「81.8%対13.9%」となった場合、日本の無形資産額は120.9%増加する。この増加分に係数0.1773を乗じると、付加価値額は21.3%上昇する計算になる。日本の生産性は米国の62%であるため、この62%に21.3%を乗じること、生産性は13.2%ポイント向上することが予測される。

表 8 生産関数の分析結果（第一次産業）

変数等	変数等略称	値（係数等）	統計有意性		信頼区間	
定数	Const	3.3271	0.0000	***	2.0917	4.5626
ソフトウェア資産額	ln Software Asset	-0.0472	0.0009	***	-0.0744	-0.0200
無形資産額	ln Intangible Asset	0.4296	0.0000	***	0.3369	0.5223
有形資産額	ln Tangible Asset	0.0004	0.9509	-	-0.0124	0.0132
従業員数	ln Worker Number	0.4657	0.0000	***	0.3372	0.5942
観測数	Number of Observations	101				
決定係数	R-squared	0.8965				

表 9 で示す製造業等の第二次産業の分析結果では、ソフトウェア資産額は 1%増加すると、付加価値額が平均 0.14%増加することが確認され、これは統計的に 1%水準で有意である。同様に、無形資産投資額の 1%の増加は、平均 0.21%の付加価値額の増加と関係し、こちらも 1%水準で統計的に有意である。一方、有形資産投資額は付加価値額と統計的に有意な関係を示さない上に、その係数は -0.003%と負の値である。なお、従業員数については、1%増加すると付加価値額が平均 0.53%増加し、統計的に 1%水準で有意である。この結果から、ソフトウェア資産や無形資産投資、従業員数は付加価値額と正の関係を持つ一方で、有形資産投資は統計的に有意な影響を持たないことが明らかとなった。資本集約型の産業が多い第二次産業であっても、有形資産ではなく、ソフトウェア資産や無形資産、従業員数によって付加価値の増減が決まっている。すでに国内で過剰に設備を有しており稼働率が低いいため追加の設備投資では新たな付加価値を生みにくい、デジタル化を通じた生産性の向上の余地が残っていることが原因である可能性がある。また、製造業では、直接投資を通じて海外で製品を生産した上で、知的財産権の対価を得るビジネスモデルが普及していることから、無形資産が付加価値額と正の関係を持つと考えられる。

表 9 生産関数の分析結果（第二次産業）

変数等	変数等略称	値（係数等）	統計有意性		信頼区間	
定数	Const	3.6207	0.0000	***	2.8917	4.3496
ソフトウェア資産額	ln Software Asset	0.1350	0.0000	***	0.0997	0.1703
無形資産額	ln Intangible Asset	0.2086	0.0000	***	0.1644	0.2527
有形資産額	ln Tangible Asset	-0.0031	0.4261	-	-0.0106	0.0045
従業員数	ln Worker Number	0.5346	0.0000	***	0.4839	0.5854
観測数	Number of Observations	1,276				
決定係数	R-squared	0.4343				

表 10 で示すサービス業等の第三次産業の分析結果では、ソフトウェア資産額は 1%増加すると、付加価値額が平均 0.12%増加することが確認され、これは統計的に 1%水準で有意である。同様に、無形資産投資額の 1%の増加は、平均 0.15%の付加価値額の増加に関係し、こちらも 1%水準で統計的に有意である。一方、有形資産投資額は付加価値額と統計的に 5%の水準で有意な関係を示す

が、その係数は 0.0065%と僅少な値である。なお、従業員数については、1%増加すると付加価値額が平均 0.49%増加し、統計的に 1%水準で有意である。この結果から、ソフトウェア資産や無形資産投資、有形資産投資、従業員数は付加価値額と正の関係を持つことが明らかとなった。労働集約型の産業が多い第三次産業において、電子商取引といったソフトウェアに加えて、セルフレジ等の省人化設備が、人手への依存度を下げて付加価値を創出している可能性がある。また、第三次産業は、コンテンツ産業やソフトウェア産業といった知識集約型の産業も含み、こうした分野では無形資産の蓄積が付加価値の増加に直結していると考えられる。

表 1 0 生産関数の分析結果（第三次産業）

変数等	変数等略称	値（係数等）	統計有意性		信頼区間	
定数	Const	5.4018	0.0000	***	4.2003	6.6034
ソフトウェア資産額	ln Software Asset	0.1249	0.0000	***	0.0921	0.1577
無形資産額	ln Intangible Asset	0.1516	0.0000	***	0.0962	0.2069
有形資産額	ln Tangible Asset	0.0065	0.0472	**	0.0001	0.0129
従業員数	ln Worker Number	0.4891	0.0000	***	0.3903	0.5878
観測数	Number of Observations	736				
決定係数	R-squared	0.3130				

産業別の結果を比較すると、ソフトウェア資産額は、第二次産業、第三次産業の順に付加価値額と強く正に関係しており、第一次産業では負に関係している。無形資産は、第一次産業、第二次産業、第三次産業の順に付加価値額と強く正に関係している。有形資産は、第一次産業及び第二次産業では付加価値額と統計的に有意な関係を持たないが、第三次産業においては正の関係を持つ。なお、従業員については、第二次産業、第一次産業、第三次産業の順に、付加価値額と強く正に関係している。これらの分析結果を踏まえると、第一次産業及び第二次産業の設備投資に用いている資源の一部を、第一次産業の無形資産投資や第二次・第三次産業のデジタル投資・無形資産投資に振り分けることで、効果的に日本全体の付加価値を高めることができる。

## 5－2．投資関数に関する分析結果・解釈

投資関数の分析を行うに当たっては、表 1 1 に示すとおり、PDS Lasso による変数の選択を実施した。労働の質指数に対する制御変数の Lasso 分析では一般労働者賃金やデジタル投資額、交相互作用項、高齢従業員率、固有技能投資額の係数がゼロとなった。しかし、付加価値額に対する制御変数の Lasso 分析では全ての係数がゼロではなかった。そのため、全ての制御変数を投資関数の変数として選択した。

表 1 1 Post-Double-Selection Lasso による変数選択の結果

変数	変数略称	変数分類	集合 A	集合 B	集合 A ∪ 集合 B
デジタル投資額	Digital Investment	目的変数	-	-	-
労働の質指数	Labor Quality	説明変数	-	-	-
ソフトウェア価格	Software Price	制御変数	有効	有効	有効
一般労働者賃金	Labor Wage	制御変数	有効	無効	有効
交互作用項	Interaction	制御変数	有効	無効	有効
高齢従業員率	Older Employee Ratio	制御変数	有効	無効	有効
固有技能投資額	Special Investment	制御変数	有効	無効	有効
デザイン投資額	Design Investment	制御変数	有効	有効	有効
研究開発投資額	R&D Investment	制御変数	有効	有効	有効
組織改編費用	Reorganization Cost	制御変数	有効	有効	有効
業績	Value Added	制御変数	有効	有効	有効

(注 1) 集合 A は目的変数 (デジタル投資額) に対する制御変数の Lasso 分析、集合 B は説明変数 (労働の質指数) に対する制御変数の Lasso 分析の結果として、係数がゼロではない変数の集合  
(注 2) Lasso の係数がゼロではない場合は有効、ゼロの場合は無効を記載

投資関数に関する分析結果は表 1 2 のとおりだが、各変数の影響を直感的に理解するため、投資弾力性 (説明変数が 1% 増加したときのデジタル投資額の % 変化) を表 1 3 に示す。労働者の質指数が 1% 増加すると、デジタル投資額が平均 1.38% 増加することが確認され、これは統計的に 1% 水準で有意である。また、一般労働者賃金の 1% の増加は、デジタル投資額の平均 7.23% の増加に繋がり、これは 1% 水準で統計的に有意である。

しかし、ソフトウェア価格に関しては、現在の一般労働者の平均賃金を前提にすると、価格が 1% 上昇すれば、デジタル投資額が 10.18% 増加し、これは 5% 水準で統計的に有意である。これは価格増加に伴う需要の減少よりも、価格増加の効果が大きく、全体としてデジタル投資額が増えること意味している。現在の平均賃金では高度なソフトウェアの導入が十分な費用対効果を生み出さないで、企業は主に必需品のソフトウェアを導入しており、需要の価格弾力性が小さいことが原因と考えられる。仮に一般労働者賃金が 2021 年の平均 3,041 円から 1.35 倍の 4,109 円以上に増えれば、ソフトウェア価格の 1% の増加はデジタル投資額の減少に繋がる<sup>9</sup>。すなわち、一般労働者賃金が十分に上昇すれば、ソフトウェア導入の費用対効果が高くなり、企業は高度なソフトウェアを積極的に導入するので、需要の価格弾力性は大きくなり、ソフトウェア価格が下がるほどデジタル投資額は増加すると考えられる。

<sup>9</sup> 2021 年の平均賃金は、一般労働者賃金の各業種の賃金を単純に平均した値。また、ソフトウェア価格の上昇がデジタル投資の減少に繋がる閾値の賃金は、モデルをソフトウェア価格について微分して、ゼロ以上になる一般労働者賃金を計算した値。



表 1 2 投資関数の分析結果

変数等	変数等略称	値（係数等）	統計有意性		信頼区間	
定数	Const	-1, 012, 000	0. 0387	**	-1. 97E+06	-5. 28E+04
労働の質指数	Labor Quality Lag	137, 700	0. 0000	***	8. 65E+04	1. 89E+05
ソフトウェア価格	Software Price Lag	10, 060	0. 0442	**	262. 05	1. 99E+04
一般労働者賃金	Labor Wage Lag	234, 700	0. 0000	***	1. 83E+05	2. 86E+05
交互作用項	Interaction	-2, 449	0. 0000	***	-2977. 4	-1920. 9
高齢従業員率	Older Employee Ratio Lag	-1, 523	0. 0006	***	-2391. 1	-654. 12
固有技能投資額	Special Investment	-1. 0468	0. 0000	***	-1. 269	-0. 8246
デザイン投資額	Design Investment	0. 1008	0. 0000	***	0. 06	0. 1416
研究開発投資額	R&D Investment	0. 0350	0. 0033	***	0. 0117	0. 0584
組織改編費用	Reorganization Cost	-0. 4402	0. 0000	***	-0. 5885	-0. 2918
業績	Value Added	0. 0118	0. 0000	***	0. 0097	0. 0139
観測数	Number of Observations	2, 758				
決定係数	R-squared	0. 1995				

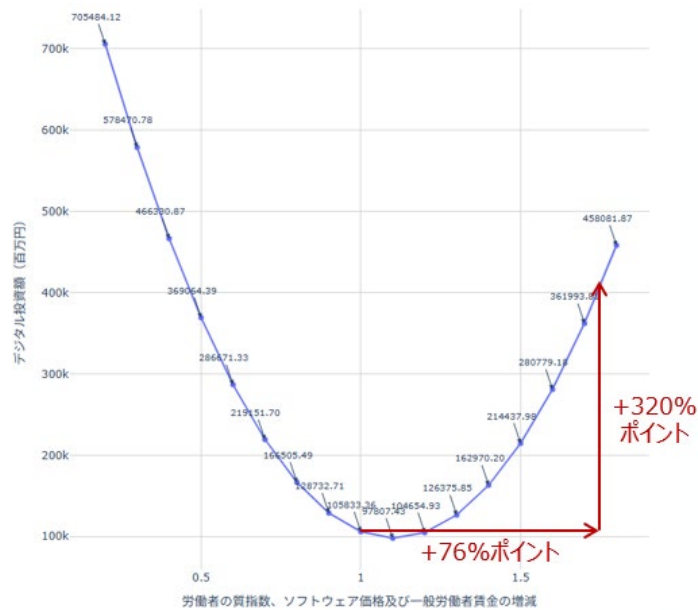
表 1 3 投資弾力性の分析結果

変数等	変数等略称	投資弾力性
労働の質指数	Labor Quality	1. 38%
ソフトウェア価格	Software Price	10. 18%
一般労働者賃金	Labor Wage	7. 23%
高齢従業員率	Older Employee Ratio	-0. 44%
固有技能投資額	Special Investment	-0. 12%
デザイン投資額	Design Investment	0. 10%
研究開発投資額	R&D Investment	0. 07%
組織改編費用	Reorganization Cost	-0. 19%
業績	Value Added	0. 65%

図 2 は、労働の質指数の増加、ソフトウェア価格の低下及び一般労働者賃金の増加といったソフトウェアの実質的な導入費用の改善がデジタル投資額に与える影響を可視化したグラフである。ソフトウェア資産比率を米国並みの水準に引き上げるために、デジタル投資額を約 4 倍に引き上げるには、労働者の質指数、ソフトウェア価格、一般労働者の賃金がそれぞれ 76%の改善が必要となることが確認された<sup>10</sup>。

<sup>10</sup> 脚注 8 で言及したとおり、日本のソフトウェア資産額は 319. 7%増加させる、すなわち、4. 2 倍にするために必要な各変数の改善率を計算した。具体的には、目的変数、説明変数、制御変数の各値を 2021 年の平均値に設定した上で、労働の質指数に「1 +改善率」、ソフトウェア価格に「1 -改善率」、一般労働者の賃金に「1 +改善率」を乗じた場合に、目的変数であるデジタル投資額の値が 2021 年の平均値の 4. 2 倍となるような改善率を計算した。

図2 労働者の質指数、ソフトウェア価格、一般労働者の賃金の改善とデジタル投資額の関係



また、制御変数に関しては、仮説に示したとおり、1%水準で統計有意に、高齢従業員率や固有技能投資の増加はデジタル投資額の減少に繋がり、補完関係にあるデザインや研究開発投資はデジタル投資額と正の関係を持つ。他方で、経営者が組織改編に費やす時間やその給与をもとに算出している組織改編費用は、同じく補完関係にあるのでデジタル投資額の増加と関係するという仮定を置いたが、実際には負の関係性を示した。組織改編に時間を費やしてしまうと、デジタル投資の縮小に繋がるリスクがあると考えられる。

## 6. 分析手法の限界

本稿の分析には、データの適合性や因果関係の精度、変数の網羅性に課題が存在する。データの適合性に関しては、仮説の検証に直接的に必要なデータが存在しないので、類似データを用いている点に限界がある。例えば、本稿で取り扱った労働の質指数は、学歴、給与、勤続年数等によって計測される指数である。そのため、これらの要素が、デジタルの導入・活用に長けた高技能人材を直接的に意味するわけではない。しかし、学歴や給与が高い人材は能力が高く、勤続年数が長ければ業界知識が豊富になるので、デジタルを自社の業務に導入・活用することができる高技能人材である可能性が高いと推定して、本データを変数として用いた。この限界を克服するには、実際にデジタル投資の意思決定を行う企業レベルの媒介変数を考慮する必要がある。例えば、労働の質が高ければ、ソフトウェア開発を手の内化している人材が多いため、ソフトウェアの導入による便益や費用を適切に判断・管理できることから、デジタル投資が増加すると考えられる。将来的には、こうしたソフトウェア開発を手の内化している人材の割合を調査し、それが各企業のデジタル投資額に与える影響を分析する必要がある。

次に因果関係の精度に関しては、TWEEにより業種や時間の固定効果の影響を加味することや、PDS Lassoにより変数を選択すること、そして、因果関係を期待する変数にはLagを与えることで、その精度の向上を図った。しかし、本分析は、特定の介入を前提とした、差の差分分析や回帰不連続デザインではないので、因果関係の精度には課題がある。今後、デジタル投資額の向上を大規

模に支援する政策が実施されることがあれば、そのタイミングで、分析に必要なデータを取得して差の差分析等による検証を行うことで、より高い精度の因果関係の立証を行うべきである。

また、PDS-Lasso による推定は、高次元の制御変数空間から因果推定に有用な変数を選択できるという利点がある。しかし、推定の精度は、交絡因子がデータとして観測可能であり、適切に選択されることを前提としており、未観測の交絡因子が存在する場合には推定にバイアスが生じる可能性がある。本稿では、先行研究を踏まえて、業種レベルでデジタル投資額に影響を与える観測可能な制御変数を網羅的に捉えたと考える。しかし、例えば、業種固有のアナログ規制<sup>11</sup>の動向といった観測されない変数の影響を完全に排除することはできない。

## 7. 結論・政策的含意

分析の結果、日本の生産性は米国の 62%に留まっているが、ソフトウェア資産を 32 兆円から 134 兆円まで約 4 倍、補完関係にある無形資産を 185 兆円から 407 兆円まで約 2 倍に引き上げて米国並みの水準を達成することで、生産性を 19%ポイント向上させて対米比 81%まで改善し、日米間の生産性格差（38%ポイント）の半分を解消できると推定された。この目標を達成するためにデジタル投資を 11 兆円/年から 44 兆円/年まで現行の約 4 倍に増やすには、ソフトウェアの実質的な導入費用を構成する、高技能人材の労働の質、ソフトウェア価格、一般労働者の賃金を各 76%ずつ改善する必要がある。なお、仮にデジタル投資額を約 4 倍に増やしても、ソフトウェア資産が約 4 倍に達するには時間を要する点には留意が必要。また、無形資産の成長要因は本分析の対象外なので、今後、分析を行う必要がある。

この分析結果を解釈して政策的含意を導き出す。生産関数を推計した結果、ソフトウェア資産は、有形資産と異なり、生産性向上に大きく寄与するにも関わらず、現実には米国と比較してデジタル投資が不十分であることが分かった。日本の政策は有形資産投資の促進に偏重している（森川, 2012）。こうした政策が、企業の合理的な投資判断を歪めて、デジタル投資の増加を妨げているおそれがある。デジタル投資や無形資産投資に関する優遇措置を拡大する、又は、資産の種類を問わず向上した生産性に応じてインセンティブを提供するなどして、効率的な資源配分を実現することが重要だと考えられる。

次に、投資関数を推計した結果、労働の質の向上、ソフトウェア価格の低下、一般労働者の賃金の上昇が、デジタル投資の増加と関係することが確認された。人材制約、資金制約、そして、価値観が、これらの成長要因の伸長を妨げていると考えられる。

デジタル投資の拡大には高い技能を持つ人材が欠かせないが、労働市場において高技能人材が十分に供給されていない。Romer (1990) が指摘するように、知識はスピルオーバー効果を持つため、民間の私的利益より社会的利益の方が大きく、民間部門だけでは人材育成に十分な投資が行われなない。そのため、政策として、社会的利益の最大化に必要な程度まで、企業の労働の質に応じて税控除を行うなど、企業が人材育成に投資を行うインセンティブを抜本的に強化する必要があると考えられる。

ソフトウェアが生み出す将来的な収益は不確実性が高いので、低いリスクを好む融資による資金調達は難しいが、日本では高いリスクを取るエクイティファイナンスが米国ほどは発達していない。ソフトウェアは、質的に差異のある財であり、同じ分野のソフトウェアであっても、供給すれば一定の価格で必ず販売できるわけではない。一方で、Romer (1990) が示したとおり、無形資産と

<sup>11</sup> デジタル庁(2025)は、アナログ規制を「アナログ的な手法（人の目による確認、現地・対面での講習への参加、公的証明書等の書面での掲示など）を前提としているルール（規制）」と定義している。

いった技術は、誰もが利用できるという非競合性や技術の利用を一部制限できるといった特性を持つので、通常の市場競争ではなく独占的競争が成立する。そのため、ソフトウェア市場はハイリスク・ハイリターン構造であり、収益の確実性は低い一方、成功時には高い超過利潤が期待される。米国のシリコンバレーでは、超過利潤を得た企業が、新たな研究開発や事業の買収に巨額な資金を充てることで、次なる成功事例の創出に繋がっている。また、ソフトウェアは限界費用が小さいため、生産量の増加に伴い平均コストが下がり、成功した企業は安価にソフトウェアを提供できる。こうしたソフトウェア産業の特徴を踏まえて、政策としては、様々なソフトウェアを薄く広く支援するだけではなく、有望なソフトウェアに絞ってスケールアップ（短期間での指数関数的な規模拡大）のための巨額の支援を行うことで、企業に安価なソフトウェアを提供できるようにする必要がある。ただし、独占的地位を得た企業が、その地位に甘んじて、経営努力を怠らないように、新たに有望なソフトウェアが現れた場合には、そちらに巨額の支援を行うことで、常に競争のプレッシャーを市場に与える必要がある。また、巨額の支援方法としては、リスク・リターンに直接的には関わらない政府が有望なソフトウェアを特定することは容易ではないので、自ら投資する投資家に有望なソフトウェアを選択させた上で、一定の期限までに相当規模の供給を行う場合には供給量に応じて大規模な税控除・補助金を提供することで、エクイティファイナンスを活性化することが考えられる。その際には、タックスエクイティインベストメント<sup>12</sup>の仕組みによる税控除枠の投資家への移転を認めることで、投資家が成長を期待できるソフトウェアを選定・投資するインセンティブをさらに高めることができると考えられる。

日本の政策議論では「生産性向上が賃金上昇を促す」という因果構造が暗黙の前提とされてきた。しかし、本分析の結果は、平均賃金の上昇によってデジタル投資が進み、生産性が向上するという逆の因果関係を示唆している。そのため、賃上げのための生産性向上という考え方に加えて、生産性向上のための賃上げという発想を持つ政策を強化することが重要である。既に賃上げ促進税制が実施されているが、これは全雇用者の給与等支給額の増加率に応じた税控除であり、平均賃金の増加率に基づいたインセンティブではない。また、都道府県毎の最低賃金を引き上げる取組や、事業所内の最低賃金・非正規雇用労働者の賃金規定の増額を促す政策も措置されてきた。しかし、最低賃金と時給の差が100円以内の労働者は、フルタイムで4.4%、パートタイムで30.5%しか存在しない（厚生労働省，2023）。また、非正規労働者が全労働者に占める割合は36.7%に過ぎない（内閣府，2022）。そのため、効果的に平均賃金を増加させるためには、最低賃金近傍の水準で働く労働者だけではなく、例えば、各企業の平均賃金の増加率に基づいた税控除等のインセンティブを設けるなどして、その他大勢の労働者の賃金を上げる政策も強化するべきだ。

こうした本稿の分析結果から得られた示唆を政策として実装する場合には、支援対象に注意が必要である。Joseph et al.（2022）は、米国の再生可能エネルギーに対する補助金の事例で、投資に対する補助金は、生産量に対する補助金より費用対効果が悪いことを実証的に示した。支援対象が投資といったインプットの場合には利用率の小さい資産・人材も蓄積されてしまうので、支援対象を生産量・賃金といったアウトプットに設定することで利用率の高い資産の蓄積を促す方が、政策の費用対効果が高いことが原因だと考えられる。ただし、アウトプットを支援対象とする場合は、生産性の高い資産・人材に加えて、利用率は高いが生産性は低い資産・人材も同時に支援することになる。ソフトウェアは限界費用が小さいため生産量の増加に伴い平均コストが下がる特徴も加味して、アウトプットの増加率を基準に支援することで、現在又は将来的に生産性が高い資産・人材

<sup>12</sup> 米国では、エネルギー政策でタックスエクイティインベストメントの仕組みを導入した。これは、事業会社に十分な課税所得がなく税額控除の利益を即座に得られない場合に、その税額控除枠を十分な課税所得を持つ投資家側に移転することで、投資家による積極的な投資を促す仕組みである。

を中心に支援した方が費用対効果がさらに高まるだろう。

以上の議論を踏まえれば、一人当たり付加価値額の増加率、労働者の質で加重平均した賃金の上昇率、ソフトウェアの供給量の増加率に応じた税控除・補助金等を提供することで企業にデジタル投資のインセンティブを与えるとともに、タックスエクイティインベストメントの制度を整備することで金融機関の支援を促すことが、デジタル投資額の増加を通じた生産性の向上に繋がると考えられる。

## 参考文献

- 乾友彦, 金榮慤. (2018). 日本企業の IT 化が何故遅れたのか. *RIETI Policy Discussion Paper*, 18-J-014.
- 株式会社東京商工リサーチ. (2022). 全国 157 万社の“平均年齢(業歴)”は 34.1 年 最長は製造業の 42.1 年、最短は情報通信業の 23.1 年 ～ 2021 年「企業の平均年齢」調査 ～.
- 経済産業研究所 (RIETI). (2023). JIP データベース 2023. *RIETI*.
- 厚生労働省. (2023). 労働経済の分析-自足的な賃上げに向けて-, 197.
- 佐藤洋一. (2000). ソフトウェアを含む IT 投資と生産性に関する定量分析 (Doctoral dissertation, Kogakuin University).
- 情報処理推進機構 (IPA). (2017). IT 人材白書 2017. *IPA*.
- 田中健太, 古村聖, 馬奈木俊介. (2018). 労働規制と技術投資の関係性—労働規制変化による資本投資及び情報化投資への影響の分析. *RIETI Policy Discussion Paper*, 18-J-006.
- デジタル庁. (2025). 地方公共団体におけるアナログ規制の見直しの取組.
- 内閣府. (2022). 男女共同参画所 令和 4 年版.
- 日本銀行 (Bank of Japan). (2025). 物価統計. *日本銀行*.
- 宮川努, 石川貴幸. (2021). 資本蓄積の低迷と無形資産の役割—産業別データを利用した実証分析—. *RIETI Policy Discussion Paper*, 21-J-020.
- 宮川努, 枝村一磨, YongGak, K., & Hosung, J. (2014). 経営管理と R&D 活動—日韓インタビュー調査を元にした実証分析—. *日本銀行*.
- 宮川努, 金榮慤. (2010). 無形資産の計測と経済効果—マクロ・産業・企業レベルでの分析—. *RIETI Policy Discussion Paper*, 10-P-014.
- 宮川努, & 滝澤美帆. (2022). 日本の人的資本投資について - 人的資源価値の計測と生産性との関係を中心として -. *RIETI Policy Discussion Paper*, 22-P-010.
- 森川正之. (2012). 無形資産投資における資金制約. *RIETI Policy Discussion Paper*, 12-J-016.
- Autor, D. H., Kerr, W. R., & Kugler, A. D. (2007). Does Employment Protection Reduce Productivity? Evidence from US States. *The Economic Journal*, 117(521), F189-F217.
- Basu, S., J. G. Fernald, N. Oulton, and S. Srinivasan. (2003). The case of the missing productivity growth: or, does information technology explain why productivity accelerated in the United States but not in the United Kingdom?. *NBER Macroeconomics Annual 2003*, pp. 9-63.
- Belloni, A., Chernozhukov, V., & Hansen, C. (2014). Inference on treatment effects after selection among high-dimensional controls. *The Review of Economic Studies*, 81(2), 608-650.
- Bilgili, F., Koçak, E., Bulut, Ü., & Sualp, M. N. (2016). How did the US economy react to shale gas production revolution? An advanced time series approach. *Energy*, 116(Part 1), 963-977.
- Bontempi, M. E. and J. Mairesse. (2008). Intangible capital and productivity: an exploration on a panel of Italian manufacturing firms. *NBER Working Paper*, No.14108.
- Bresnahan, T., E. Brynjolfsson, and L.M. Hitt. (2002). Information technology, workplace

- organization and the demand for skilled Labor: firm-level evidence. *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 117, pp. 339-376.
- Bureau of Economic Analysis. (2024). Interactive data tables. *U.S. Department of Commerce*.
- Crespi, G., C. Criscuolo, and J. Haskel. (2007). Information technology, organizational change and productivity growth: evidence from UK firms. *Centre for Economic Performance Discussion Paper*, No. 783.
- Fukao, K., Ikeuchi K., Kim Y., & Kwon H. (2015). Why was Japan left behind in the ICT revolution. *RIETI Policy Discussion Paper*, 15-E-043.
- Fukao, K., Miyagawa, T., Pyo, H. K., & Rhee, K. H. (2011). Estimates of total factor productivity, the contribution of ICT, and resource reallocation effects in Japan and Korea. *Global COE Hi-Stat Discussion Paper Series*.
- Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change, *Journal of Political Economy*, 98(5), S71-S102.
- Marrocu, Emanuela, Raffaele Paci, and Marco Pontis. (2012). Intangible capital and firms' productivity. *Industrial and Corporate Change*, Vol. 21, No. 2, pp. 377-402.
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2025). *Average annual wages*.
- Pelatelli, M. (2021). *ICT and economic growth in the EU*.
- Wang, H. (2023). Relationship between higher education level and GDP per capita of different American states. *Financial Engineering and Risk Management*, 6(11).
- Vijayakumar, H. (2021). The impact of AI-innovations and private AI-investment on US economic growth: An empirical analysis. *Reviews of Contemporary Business Analytics*, 4(1), 14-32.
- World Bank. (2025). *GDP per capita, PPP (current international \$)*.
- World Bank. (2025). *Tertiary school enrollment rate (% gross)*.
- Zhao, X., Chen, Q., Zhang, H., Chen, P., & Chen, S. 2024. A study on the influencing factors of corporate digital transformation: empirical evidence from Chinese listed companies. *Sci Rep* 14, 6243.