



RIETI Policy Discussion Paper Series 19-P-020

## 「第4次産業革命」と日本産業のイノベーション能力

長岡 貞男  
経済産業研究所



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所

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

「第4次産業革命」と日本産業のイノベーション能力

長岡 貞男（東京経済大学／経済産業研究所）

要旨

近年、情報通信技術(ICT)の累積的な発展の上に、AIでの新しいブレイクスルー(深層学習)が加わって、「第4次産業革命」と呼ばれるイノベーションの大きな波が起きている。情報通信技術は多くの産業の研究開発に利用可能な汎用技術となっている。

本稿では、情報通信の研究成果の中核であるソフトウェア関連発明と同分野の研究開発投資のマイクロデータを活用して、このようなイノベーションの特徴を明らかにするとともに、日本産業の課題を分析する。日本産業が行う情報通信分野の研究開発投資は、2000年代後半から大幅に減少してきており、このような分析は非常に重要となっている。分析のフォーカスは、ソフトウェア関連発明の広がりとその創造過程、並びに情報通信技術の研究開発における垂直分業の進展の影響である。この分野の研究開発を含めて、日本産業が世界的に展開できる独自性の高い技術を生み出す研究開発の必要性は高まっている。このため、本稿では、日本産業の基礎研究がサイエンスの活用機会の拡大に反応してきたのか、また産学連携研究や企業への政府機関からの委託研究の影響分析も行う。これらを踏まえ、政策への含意を議論する。

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。

## 1 はじめに

近年、情報通信技術(ICT)の累積的な発展の上に、AIでの新しいブレークスルー(深層学習)が加わって、「第4次産業革命」と呼ばれるイノベーションの大きな波が起きている。情報通信技術は多くの産業の研究開発に利用可能な汎用技術となっている。

本稿では、情報通信の研究成果の中核であるソフトウェア発明と同分野の研究開発投資のマイクロデータ(企業とマッチされたデータ)を活用して、このようなイノベーションの特徴を明らかにするとともに、日本産業の課題を分析する。日本産業が行う情報通信分野の研究開発投資は、2000年代後半から大幅に減少してきており、その原因を探る上でこのような分析は非常に重要となっている。また、この分野の研究開発を含めて、日本産業が世界的に展開できる独自性がある研究開発の必要性は高まっている。そのためには先端的なサイエンスを吸収し、イノベーションに発展していくために、産業が行う基礎研究が非常に重要な要素である。本稿では、日本産業の基礎研究は、サイエンスの活用機会の拡大に反応してきたのか、また産学連携研究や企業への政府機関からの委託研究の影響の分析も行う。

本稿ではまずソフトウェア関連発明と研究開発上位企業とのマッチトデータを利用して、ソフトウェア関連発明が世界的にどのように拡大してきたか、各産業の発明でどの程度の割合を占めるようになってきているのか、そして日本産業の特徴を分析する(2節)。「第4次産業革命」の多くは、情報通信技術の新しい利用か、情報通信技術自体の革新であり、ソフトウェア関連発明が重要な情報を提供する。

次に、ソフトウェア関連発明が多くの産業で研究開発の成果の多くを占めるようになってきている原因は何かを、発明の創造過程のデータを利用して次に分析する(3節)。以下の二つの仮説を考えることができる。第一は、コンピューティング・パワーとインターネットの拡大など、発明の実施における補完財が増えたために、ソフトウェア発明への需要が高まっているとの仮説である。第二は、深層学習、検索方法などソフトウェア技術自体に内在的な新しいブレークスルーが持続的に生まれてきたという仮説である。発明がどういう契機で生まれたか、ハードウェアの発明とソフトウェアの発明を比較することで、どちらの要因が重要であるかを分析する。この点は、「第4次産業革命」に関連したイノベーションの担い手が誰になるのかに重要な意味を持っている。

次に、日本産業の情報通信分野の研究開発投資の産業別の動向を、科学研究調査報告の個票を利用して分析する(4節)。リーマンショックに伴う円高等が、輸出志向の製造業に深刻な負の影響を与えたが、情報通信分野の研究開発の不振はそれによって説明できるかどうか。国際競争に直面している産業の多くで、情報通信分野の研究開発投資がそれ以外の研究開発投資と比較して大幅に減少してきたこと、ただし部品産業の研究開発投資ではそれが起きなかったことを踏まえ、次の節では、このような不振の原因として、情報通信技術の研究開発における垂直分業の進展を分析する(5節)。世界の研究開発上位企業の中で、情報通信分野における汎用性のあるサービスや部品を供給する企業、プラットフォーム企業と最終製品生産企業を抽出して、研究開発のパフォーマンスを比較分析する。

情報通信分野の研究開発を含めて、日本産業が世界的に展開できる独自性が高い技術を生み出す研究開発の必要性は高まっている。日本産業の基礎研究は、サイエンスの活用機会の拡大に反応してきたのか、また産学連携研究や企業への政府機関からの委託研究の影響を最後に分析する（6節）。

## 2 研究開発における汎用技術としての情報通信技術：ソフトウェア関連発明の広がり

### 2.1 「第4次産業革命」の特徴：汎用基盤技術

活版印刷、水車、電力、内燃機関等の発明は、経済社会全体に大きく、かつ持続的な影響を与え、汎用基盤技術(General purpose technology)であると言われている<sup>1</sup>。汎用基盤技術をベースとする技術革新の特徴は、核となる技術の革新とそれを利用した下流産業での多数の技術革新が補完的に進むことにある。第4次産業革命の汎用基盤技術に、半導体技術が入ることは間違いが無いであろう。『ムーアの法則』に即した半導体技術の急速かつ持続的な発展は現在も続いている<sup>2</sup>。これによる高速で安価な計算能力の提供がなければ、AIの活用可能性が現在のように拡大することはできなかったはずである。クラウドを通じた検索サービスの提供、携帯電話やPCを通じた、動画を含めた通信も然りである。Agrawal他(2018)は、AI自体が新たな汎用基盤技術として、持続的な大きな進歩を実現していくと予想しているが、その是非はともかく、AIの進歩がコンピューター、ストレージ、通信への需要を高め、それが更に半導体技術の進歩を促す、ソフトウェアとハードウェアの技術革新の間に好循環が新たに発生していることは確かである。すなわち、半導体の微細化・高集積化、通信技術(高速化、大容量化)、計測制御機器(例、GPSセンサー)の小型化と低価格化、データ自体の集積、AIなどのソフトウェア技術の発達等が補完的に作用し、「第4次産業革命」の範囲の拡大とその持続性が高まっている。

### 2.2 ソフトウェア関連発明の拡大<sup>3</sup>

研究開発における情報通信技術の応用性の広さを検証するために、以下ではソフトウェア発明に注目する<sup>4</sup>。情報通信技術の大半はソフトウェアに体化されコンピューターによって実施されるからである。コンピューターによって実施される新しいサービスの提供方法やコンピューターを利用した新たな製造方法はソフトウェアの発明として保護される。

以下では、Graham and Vishnubhakat (2013)の特許の分類に依拠して<sup>5</sup>、発明(米国の登録

---

<sup>1</sup> Bresnahan and Trajtenberg(1995)が汎用基盤技術(General purpose technology)の命名者である。

<sup>2</sup> ITによる技術進歩における半導体の重要性についてはJorgenson(2001)も指摘している。

<sup>3</sup> 以下は塚田尚稔氏(新潟県立大学)との共同研究の成果であり、第18回RIETIハイライトセミナーでの発表に基づく(長岡, 2017)。

<sup>4</sup> ただし、コンピューター・プログラム(ソースプログラム)は、企業秘密として保護される。

<sup>5</sup> 彼らは米国特許庁の審査官の協力をえて、米国の特許分類の中から、汎用性のあるソフトウェアあるいは特定のハードウェアを対象としたソフトウェアの要素がある特許出願や特許登録を含むと考えられる特

特許)をソフトウェア関連とそれ以外(以下ハードウェアと呼ぶ)に分ける。更に彼らのソフトウェア関連発明を、米国特許分類の技術分類の中での NBER のプロジェクトで「ソフトウェア」<sup>6</sup>として分類された発明として分類されているかどうか、それ以外のソフトウェア発明でかつ情報通信分野の発明であるかどうか、それともそれ以外の分野であるかによって三つの分類に分けた。その結果、発明を以下の四つの種類に分類した。(1)狭義のソフトウェア(Narrowly defined software):各種データ処理(AI を含む)、情報セキュリティー技術他、(2) 上記以外で、コンピューターと通信(C&C)の分野でソフトウェア要素が重要な分野の発明 (Broadly defined software in C&C), (3) C&C 以外の分野でソフトウェア要素が重要な分野の発明 (Other broadly defined software in non C&C) , (4)その他の発明 Hardware patent (Non software) . 以下では最初の三つの分野の発明をソフトウェア関連発明と呼ぶ。

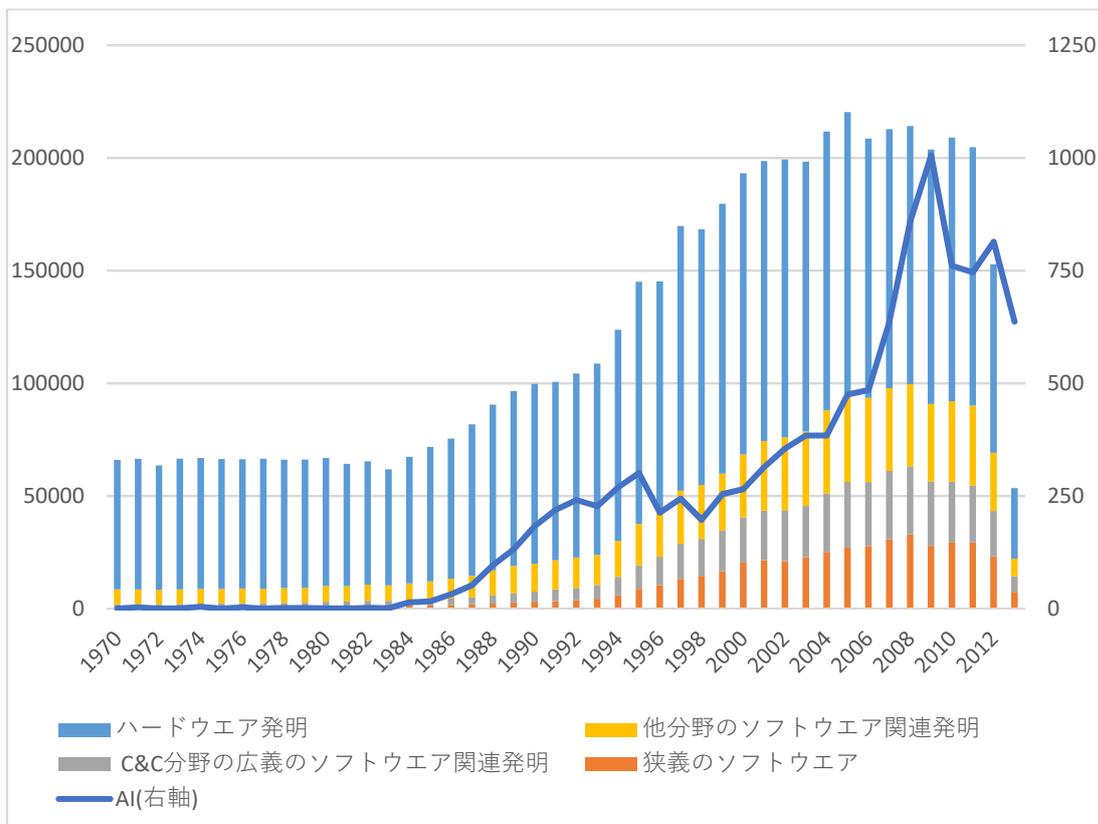
以下の図 1 は、上記の 4 つの分類に即して、1970 年以降の米国特許出願年毎の特許登録件数(全世界の出願人ベース)を示している(棒線の長さは左軸に表示)。加えて、AI の分野(これは IPC 分類で G06N「特定の計算モデルに基づくコンピュータ・システム」)の特許の登録動向(折れ線、右軸)も示している。登録ベースであり、近年のデータには特許審査未了によるトランケーションがある。1970 年出願特許に占めるソフトウェア関連発明の割合は合計で 10%強であったが、急速に拡大し 2000 年代後半には 5 割近くを占めるようになっている。いずれのカテゴリーのソフトウェア関連発明も増加しており、狭義のソフトウェア発明は 1970 年代前半には 1%弱であったのが近年では 15%程度となっており、またこれを除く、情報通信分野のソフトウェア関連発明も 2%強から 15%弱に増加している。情報通信分野を除く、他分野のソフトウェア関連発明も 1%から 15%程度に大幅に拡大している。したがって、経済全体として、ソフトウェアによる発明、すなわちコンピューターや通信技術を活用した発明は大きなシェアを占めるに至っている。また、特許登録された AI の発明は、昔から存在するが、2000 年代後半に急速に拡大している。

---

許分類を特定しており、この分類を利用した。彼らはこのようにして構築したデータから、ソフトウェアの特許出願はそれ以外の発明の特許出願と比較して、米国の特許庁のファーストアクションで同等の比率で拒絶していることを示している。

<sup>6</sup> Hall 他(2001)の分類で sub-category の 77 である。

図1 ソフトウェア関連発明の動向(米国特許登録, 出願年 1970年~2013年)



(出典)PATSTAT から米国特許を抽出し、特許を分類した後で集計。

以下の表1が示すように、ソフトウェア関連発明が多くの産業で重要となっている。以下の表は2000年以降に出願された米国出願と2014年時点の世界の研究開発支出トップ2500社(EU委員会が作成し公表しているR&D scoreboard)とマッチして作成したものである。研究開発費は上位企業に集中しており、トップ2500社の研究開発支出は研究開発費全体の大きな部分を占める(日本の産業については、同リストにある企業が企業全体の研究開発費の約85%を占めている)。以下の表1は研究開発費総額が大きい10業種を示している。ソフトウェアとコンピューター・サービス産業では発明の89%がソフトウェア関連発明であり、技術集約的なハードウェアと装置もその割合が71%と高い。電気電子機械、一般産業も50%である。宇宙航空国防産業で約40%、自動車と部品でも28%がソフトウェア関連発明である。その割合が低いのは、医薬バイオ(3%)と化学(10%)であるが、こうした産業でも近年はAIの活用による創薬や生産プロセスの改良等に取り組まれている。このように、ソフトウェア関連発明は多くの産業の研究開発の重要な成果となっている。

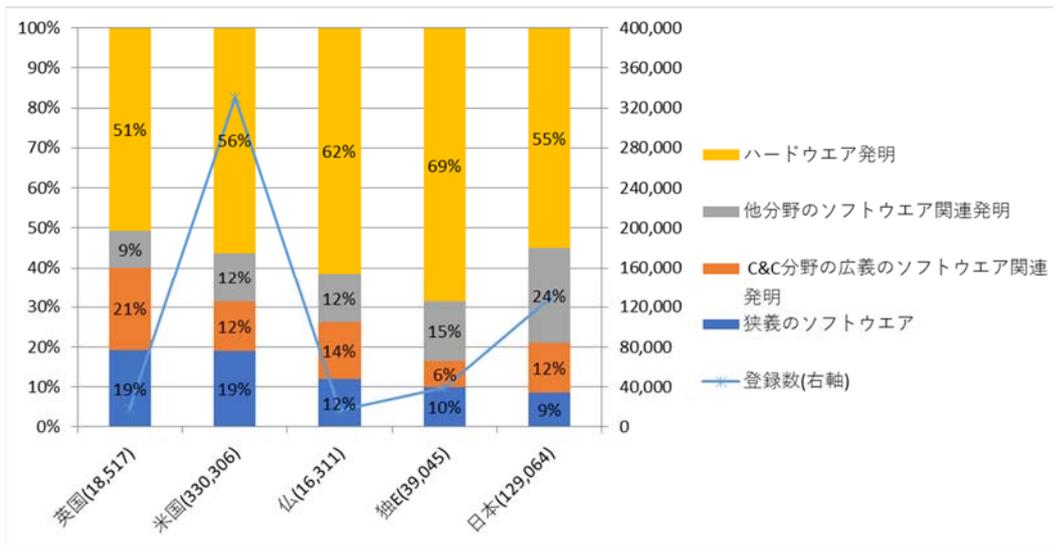
表1 研究開発支出上位産業と全発明に占めるソフトウェア関連発明のシェア

|    | 産業                  | 全産業の R&D におけるシェア(%) | 当該産業でのソフトウェア関連発明のシェア(2000年以降の出願) |
|----|---------------------|---------------------|----------------------------------|
| 1  | 医薬バイオ               | 18.1%               | 2.7%                             |
| 2  | 技術集約的なハードウェアと装置     | 16.5%               | 70.8%                            |
| 3  | 自動車と部品              | 15.6%               | 27.8%                            |
| 4  | ソフトウェアとコンピューター・サービス | 10.4%               | 88.9%                            |
| 5  | 電気電子機械              | 7.6%                | 50.4%                            |
| 6  | 産業エンジニアリング          | 4.0%                | 23.0%                            |
| 7  | 化学                  | 3.5%                | 9.6%                             |
| 8  | 宇宙航空国防              | 3.3%                | 37.2%                            |
| 9  | 一般産業                | 2.9%                | 49.2%                            |
| 10 | 医療機器とサービス           | 2.2%                | 18.6%                            |

(データ出典) 世界の研究開発支出トップ 2500 社と米国特許登録データのマッチトデータから作成

以下の図 2 は、先進主要 5 ヶ国について、2010 年代に登録された米国特許の水準と構成を示している。登録件数の水準は米国出願人を 100 とすると、日本が 39%、独が 12%、英国が 6%、仏が 5%であり、日本の水準は高い。発明の構成では、AI 等の狭義のソフトウェア及びソフトウェア関連発明全体では米国と英国が最も高い。狭義のソフトウェアで共に 19%、後者では英国が 49%、米国が 44%である。これに対して、日本では AI を含む純粋な狭義のソフトウェアのシェアは 9%と小さいが、逆に情報通信産業以外の産業でのソフトウェア関連発明のシェアは高く、このため、ソフトウェア関連発明全体のシェアは 45%と米国と同程度の水準となっている。独は情報通信産業以外の産業でのソフトウェア関連発明も低く、ソフトウェア関連発明のシェアは 31%と低い。日本の製造業は、『メカトロニクス』と言われてきたように、ロボットなど機械の制御や計測にコンピューターが広汎に使われており、それが反映されていると考えられる。ただ、後で見るように、このようなハードとソフトを融合した分野での研究開発のあり方が、情報通信分野のイノベーションの深化によって大きな挑戦を受けている。

図 2 主要国の発明の水準とソフトウェア関連発明(2010 年代の米国特許登録)



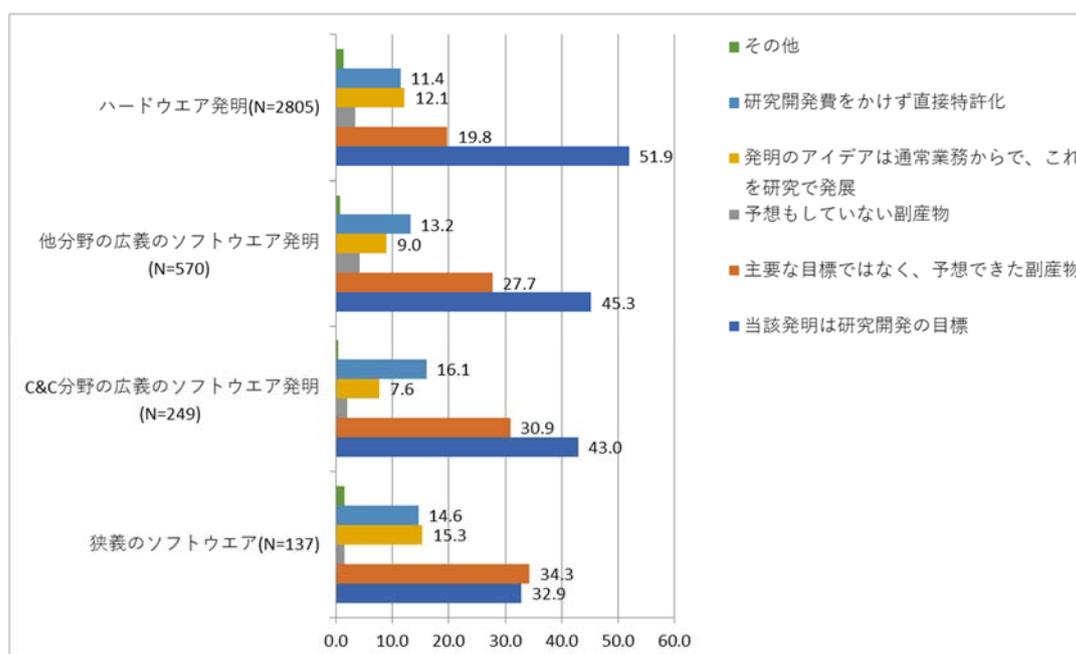
### 3 ソフトウェア発明の創造過程とその進歩性への示唆

前節では、ソフトウェア関連発明が多くの産業で研究開発の成果の多くを占めるようになってきていることを示したが、その原因として二つを考えることができる。第一は、コンピューティング・パワーが拡大したこと、インターネットが普及しその通信能力が拡大したこと、デジタル化されたデータが豊富になったことから、ソフトウェアに体化し実施可能な発明への機会が増大している、すなわち、発明の実施における補完財が増えたから、ソフトウェア発明への需要が高まっているとの仮説である。この要因が重要である場合、ソフトウェア発明は補完的な技術進歩からの需要駆動型であり、進歩性は必ずしも高くないことを意味する。ソフトウェア発明の新規性、進歩性については、米国ではかねてから批判があり、裁判でも争われてきたことは、この要因の重要性を示唆している。コンピューターの進歩によって初めて発明を実施出来るようになったが、その発明自体には技術的な進歩性がない場合(例、従来も利用はされてきたが、コンピューターでは実施されていなかった金融取引の方法をコンピューターで実現する)、本来は特許にはならないはずであるが、特許出願自体は新規であるために特許となってしまう危険性があるからである<sup>7</sup>。第二の仮説は、ソフトウェア自体に内在的な新しいブレークスルーが持続的に生まれてきた可能性である。例えば、AI自体が汎用基盤技術であるとすれば、深層学習を更に進歩させる新しい革新が持続的に起きて、技術革新をリードすることになる。発明創造のプロセス、すなわち、発明がどのような契機で生まれたかが、2つの要因の中でどちらが重要であるかを理解する手がかりとして、重要である。

<sup>7</sup> 米国の最高裁は、こうした問題を認識し、金融取引についてのソフトウェア発明について、最近の判決 (ALICE CORPORATION PTY. LTD. v. CLS BANK INTERNATIONAL ET AL., Case No.13-298)で、抽象的なアイデアは特許対象とはならず、それに発明としての具体的な技術的進歩がなければ特許にはならないと判示した。

経済産業研究所で実施した発明者サーベイの結果<sup>8</sup>を利用して、前節の発明の類型毎に創造の契機を分析したのが以下の図3である。調査の実施時点は2006年度であるが、各発明類型の基本的な特徴は変わらないと考えられる。調査票では、調査対象発明がどのように創造されたかを、「研究開発の目標」であった、「主要な目標ではなく、予想できた副産物」、「予想もしていない副産物」、「発明のアイデアは通常業務からで、これを研究で発展」、「研究開発費をかけず直接特許化」、「その他」に分けて尋ねている。狭義のソフトウェア発明は、ハードウェアの発明と比較すると、研究開発の目標であった割合が大幅に低く(51.9%>32.9%)、予想できた副産物だった割合がかなり高い(19.8%<34.3%)。研究開発の目標であった割合が低く、予想できた副産物である割合が高いということは、発明に求められる努力は小さいと言うことで、発明の進歩性は低いということである。なお、図2は、広義のソフトウェア発明は両者(ハードウェア発明と狭義のソフトウェア発明)の間であることを示している。

図3 発明の創造過程(最も当てはまる創造シナリオ, %)



(出所) 日米発明者サーベイから作成

また、AIの発明に着目して、特許庁は、こういった技術課題をAIの発明で解決しているかを分析している(特許庁, 2015)が、その結果とも整合的である。それによると、2012年に出願された日米欧中韓に出願された特許で、正確性(29%)、高速性・リアルタイム性(15%)、利便性(12%)、網羅性・柔軟性(9%)となっており、これに経済性・収益性という技術課題と

<sup>8</sup> 概要は長岡・塚田(2007)を参照。

しては抽象的な課題の頻度(24%)を加えると、全体の 89%となっている。このことは、AI の発明は、従来実現ができなかった技術課題を解決したと言うより、既にある解決手段の効率を高める発明が多いことを示している。

以上の分析は、ソフトウェア発明は、研究開発の主要な目標であることは相対的に少なく、同時に予想された副産物が多く、また技術課題も改良型が多く、このような発明が増えてきた理由としては、コンピューターの能力やインターネットを含む通信能力の拡大など、ソフトウェアを実施する上での補完財の拡大が重要であったことを示唆している。このことは発明の主役は技術課題を持っている産業、企業であることを示唆しており、この点は AI やビッグデータの活用についても成立すると考えられる。

#### 4 日本産業の情報通信分野の研究開発動向<sup>9</sup>

前節で、先進主要国で、また大半の産業で、ソフトウェア特許の割合が高まっていることを確認した。本節では、日本の産業にフォーカスを当てて、研究開発において情報通信技術 (ICT, Information and Communication Technology) を利用した研究開発が各産業で如何に重要となっているかを分析する<sup>10</sup>。ICT 技術を利用した研究開発は、いわゆる IT 産業を超えて、自動車産業等を含めて、多くの産業が取り組んでいる。世界的にも強い拡大傾向にあるが、日本では情報通信技術の分野での研究開発は 2007 年をピークとして、大きく減少している。その原因の分析が本節と次節の課題である。2008 年に起きたリーマンショックに伴う円高が 2012 年まで約 5 年間長期に持続したことが、情報通信機械器具製造業を代表とした、輸出志向の製造業の研究開発に深刻な負の影響を与えたことは重要である。しかし、同時に、製造業に属する多くの産業で、情報通信分野の研究開発への負の影響は全分野の研究開発支出総計への影響を大きく上回っているが、電子部品等の部品産業ではそれが起きなかった。すなわち、情報通信分野の研究開発の国際競争力の低下が大きいのが、電子部品は例外である。このことは、以下の分析に示すように、情報通信分野の研究開発における垂直分業の進展に日本産業が効果的に対応できていないことも示唆する結果となっている。

以下の研究では、総務省が行っている科学研究調査報告の個票を利用している。同調査の特定目的別研究費の中には「情報通信」(2000 年までは「情報処理」でありこれを接続)があり、すべての業種の企業を対象に、その研究開発の中で情報通信分野の研究開発の大きさを調査している<sup>11</sup>。他方、製品分野別研究費の中にも、「ソフトウェア情報通信」があり、これもすべての業種の企業を対象としているが、これは「製品分野別」研究開発であり、ソフトウエ

---

<sup>9</sup> 本節の分析を含め、企業データを使う分析では、「年」は会計年である。

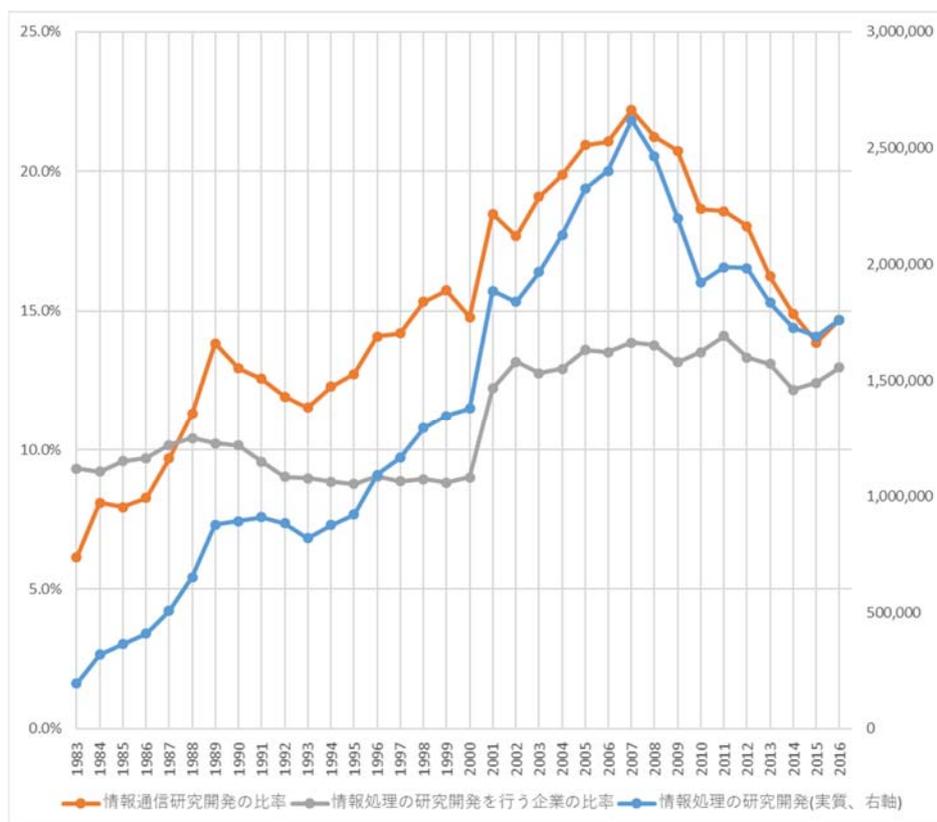
<sup>10</sup> 本節は、長岡・枝村・大西・塚田・内藤・門脇 (2019) に基づく。

<sup>11</sup> 図 4 で観察されるように、2000 年と 2001 年の間に情報通信分野の研究開発をしている企業の割合に断絶(情報通信分野で研究開発を行う企業の割合にジャンプ)があることはこの定義の差を反映している可能性がある。

アや情報通信サービスを販売している企業によるソフトウェア開発や情報通信サービスにおけるプロダクト・イノベーションを主に把握している。したがって、前者より射程が小さい。両者には大きな規模の差があり、「ソフトウェア情報通信分野」の製品研究開発費は、「情報通信」分野の研究開発の7分の1程度に過ぎない。このことは、情報通信分野の研究開発は、その大半が各種機器などソフトウェアや情報サービス以外の製品に体化されて商業化されているか、または製品ではなく生産過程で利用されていることを示している。

以下の図4は、情報通信の研究開発総額(実質、2001年価格)、企業の研究開発全体に占める情報通信研究開発の比率(各企業の研究開発費を合計してから比率をとっており、各企業の比率の研究開発費による加重平均値、%)、及び情報通信の研究開発を行う企業の比率(%)を示している。標本は日本の主要な研究開発実施企業であり、文部科学省科学技術学術政策研究所の企業辞書と科学研究調査報告の個票をマッチングした結果である。すでに指摘したように、研究開発支出額は対数正規分布に近く、上位企業に集中しているため、研究開発総額と企業の研究開発全体に占める情報通信研究開発の比率は、科学研究調査報告の母集団と近い結果となっている。

図4 情報通信分野の研究開発動向：水準(2001年に実質化、百万円)と実施比率



(出典) 科学技術調査研究調査報告から作成

図4が明確に示しているように、日本産業では、2007年をピークとして2015年まで、情報通信分野の研究開発費は、絶対水準も研究開発費全体に占める割合も大きく減少している。情報通信分野の研究開発費は2.62兆円から1.76兆円と約3分の2に低下した。また企業の研究開発費全体に占める情報処理の割合も22%から15%へと減少した。2007年以降、情報通信分野の研究開発を行っている企業の割合は大きく変化していないので、各企業がこの分野の研究開発費を大幅に減少させたことが大きな原因である。

その産業別の源泉を見るために、次の表2は2007年時点で、情報通信分野の支出が最も高かった11業種について、2007年の各産業の情報通信研究開発におけるシェア、研究開発全体における情報通信分野の研究開発の割合(ICT集約度、2007年と2015年)、2007年から2015年間の研究開発全体及び情報通信研究開発の実質伸び率(年間)、及び2005年～2007年の輸出比率の平均を示している。これによると、情報通信機械器具製造業は2007年において情報通信分野の研究開発全体の4割強を占めていたが、同産業での情報通信分野の研究開発費は、2015年までに平均すると毎年12%も縮小しており、情報通信分野の研究開発費は実質で約3分の1に激減した。この間に研究開発全体も実質で年間マイナス5%であるが、情報通信分野の研究開発の減少はそれを大幅に上回っている。その結果、同産業では研究開発における情報通信の集約度は52.5%から29.8%へと大きく減少し、また、産業全体に占める割合も43%から25%に減少した。

このような、研究開発全体の中で、情報通信分野の研究開発費が大きく低下した傾向は、製造業の中で、情報通信分野で多くの研究開発をしてきた多くの産業についても当てはまる。すなわち、業務用機械器具製造業、はん用機械器具製造業、生産用機械器具製造業等でも研究開発全体の投資が減少ないし停滞する中で、情報通信分野の研究開発は激減している。情報通信分野の研究開発を拡大している産業は限定的であり、製造業では以下の11業種の中では、自動車・同附属品製造業のみである。

ただし、研究開発におけるICT集約度も輸出比率も情報通信機械器具製造業と同様に高水準であった。電子部品・デバイス・電子回路製造業では、逆に、情報通信分野の研究開発の減少はその研究開発費全体の減少を少し下回った。このような情報通信機械器具製造業と電子部品・デバイス・電子回路製造業との大きな差は、次節で述べる垂直分業の進展と整合的である。すなわち、垂直分業の結果、最終製品生産企業の規模が、汎用性のある独自部品の供給企業の規模と比較して相対的に縮小する。

なお、国際競争に直面していない、通信業及び情報サービス業では、研究開発全体も情報通信分野の研究開発も拡大している。

表2 情報通信分野の研究開発上位産業の動向(2007年～2015年)

| 産業分類              | 情報通信 R&D におけるシェア (%) , 2007 | R&D の ICT 集約度, 2007 | R&D の IT 集約度, 2015 | 実質 R&D の年間伸び率(2007 ~2015,%) | 情報通信 R&D の年間伸び率 (2007 ~ 2015,%) | 輸出比率の平均 (2005 ~ 2007,%) |
|-------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 情報通信機械器具製造業       | 43.0%                       | 52.5%               | 29.8%              | -5.0%                       | -12.0%                          | 34.5%                   |
| 電子部品・デバイス・電子回路製造業 | 14.6%                       | 52.8%               | 60.3%              | -3.9%                       | -2.3%                           | 33.0%                   |
| 業務用機械器具製造業        | 14.1%                       | 42.7%               | 12.8%              | 1.9%                        | -13.1%                          | 45.6%                   |
| 自動車・同附属品製造業       | 6.4%                        | 7.5%                | 7.4%               | 2.1%                        | 1.9%                            | 38.9%                   |
| 電気機械器具製造業         | 4.7%                        | 13.1%               | 12.0%              | 0.9%                        | -0.1%                           | 24.6%                   |
| 通信業               | 4.3%                        | 50.0%               | 71.1%              | 4.1%                        | 8.5%                            |                         |
| 情報サービス業           | 3.8%                        | 92.1%               | 92.5%              | 3.3%                        | 3.4%                            | 0.0%                    |
| その他の製造業           | 1.4%                        | 32.7%               | 34.7%              | -2.0%                       | -1.3%                           | 16.1%                   |
| はん用機械器具製造業        | 1.4%                        | 14.1%               | 0.5%               | 0.7%                        | -41.3%                          | 13.8%                   |
| 生産用機械器具製造業        | 1.1%                        | 9.1%                | 3.1%               | 0.0%                        | -13.5%                          | 36.0%                   |
| 化学工業              | 1.0%                        | 3.9%                | 2.5%               | 0.7%                        | -4.8%                           | 15.8%                   |

(データ出典) 輸出比率は企業活動基本調査から構築。

## 5 情報通信技術の研究開発における垂直分業の進展<sup>12</sup>

前節で見たように、日本の多くの産業で(電子部品・デバイス・電子回路製造業を例外として)、情報通信の分野での研究開発投資が大きく減少してきたが、その重要な原因は、情報通信技術の開発における垂直分業が大きく進展する中、規模の経済が大きくなった事業分野で専業企業が成長する分野で、既存の垂直統合企業がこれと競合する事業を整理縮小してきたことにあると考えられ、本節ではこの仮説を分析する。多くの産業で、企業は、部品、原材料、サービスなどをサプライヤーから購入して、自社の独自の付加価値を加えて、加工、組み立てを行い、顧客・ユーザーに供給している。このような分業関係がどの程度広範に行われるかは、市場の大きさに依存している。産業の発展初期では資本財、部品なども全て内生されていたのが、市場の拡大によってこれらを供給する産業が独立し、分業が成立していく。アダム・スミスが指摘したように、「分業の程度は市場の大きさによって決定される」。このような垂直分業は、産業組織に重要な帰結な帰結があることを、半世紀以上も前に、米国の経済学者 Stigler(1951)が指摘している。すなわち、垂直分業によって、産業は規模の経済を生かした独占的・寡占的なセグメントと多数の企業が参入する競争的なセッ

<sup>12</sup> 本節で利用している、世界の R&D 上位 2500 社のパネルデータは、東京経済大学の共同研究費を活用して学生諸君の協力を得て構築した。

グメントに分割され、最終財生産に特化した(旧)垂直統合企業は縮小する。

このような垂直分業と垂直分割は、インテルの創業者の一人であった Grove(1996)が指摘したように、コンピューター産業で非常に重要であった。1990年のコンピューター産業においては、IBM、DEC、富士通などの垂直統合企業が、CPU等の部品、コンピューターの組み立て、OS(オペレーティング・システム)や応用ソフトの開発、販売と流通をそれぞれが自社内で行い、最終製品であるコンピューターの販売で競争をしていた。ところがそれはその後の20年の間に大きく変貌し、コンピューターの生産に必要な特定の生産過程を担う、CPUのインテル、OSのマイクロソフトなどの専門企業が参入・成長し、寡占化した。同時に、多数のコンピューター組み立て企業が参入しこちらのセグメントは高度に競争的となった<sup>13</sup>。このため垂直統合企業は大きく衰退した。Stigler(1951)が分析したように、市場が小さい段階では、部品の生産、組み立てをすべて同じ企業が行うこと、すなわち垂直統合で生産を行うことが最も効率的である。しかし、市場が拡大すると、自社だけで規模の経済を生かせない生産過程(コンピューターの場合、CPU,OS)を各社が外部調達に切り替える。その結果、CPU、OS等の分野では、各社からの需要を集めて規模の経済を生かす専門企業が成長する(例えば、インテル、マイクロソフト)。他方で、それ以外の工程分野(コンピューター産業では、コンピューターの組み立て生産)では、これらの基幹部品の自社生産をする必要はなくなり、その調達費用も下がるので、企業レベルの規模の経済が小さくなり参入が容易となり参入企業数が拡大するとともに、企業の規模は小さくなる。

「第4次産業革命」の中で、コンピューターと通信を利用したソフトウェアやサービスへの市場の規模は拡大し、その研究開発の規模の経済は拡大し、更にプラットフォーム企業の成長もあって、情報通信技術の開発における垂直分業は強まってきたと考えられる。例えば、グーグルが検索サービスを行うには、ネットで公開されている情報を読み込み(crawling)、相互の引用関係等を索引化する膨大な作業が必要である。ただ一度その作業を行えばそのデータを何度でも利用して検索サービスを行うことができる。実際、グーグルの検索サービスやマイクロソフトのOSの利用実績が示唆するように<sup>14</sup>、優れたコンピューター・サービスやソフトウェアは数億人あるいは数十億人を超える世界のユーザーで利用される。また、アマゾンやフェイスブックを含めた、プラットフォーム企業は、他社による商品、コンテンツ、アプリケーション・ソフトウェアが、インターネット市場で供給されるインフラを提供している。このような変化の結果、規模の経済やネットワーク外部性が重要な生産過程の寡占化・独占化とそうでない分野の参入拡大が同時に進むことになり、前者では販売規模が拡大し、研究開発の収益性は高まり、研究開発が大きく拡大する。他方で垂直統合企業から完

---

<sup>13</sup> このような変化は日本では「水平分業」と呼ばれることが多いが、分業関係は垂直的な関係にある企業で起きているので、適切な表現ではなく、海外では垂直分割、vertical disintegration と呼ばれている。

<sup>14</sup> グーグルの検索サービスは最近では一日に35億回利用されていると報告されている(<https://www.smartinsights.com/search-engine-marketing/search-engine-statistics/>)。)

成品企業に移行した企業では販売規模は小さくなり、また事業内容の研究開発集約度が下がるために、研究開発投資は減少する。

以下の表3は、このような観点から ICT 分野における汎用性のあるサービス、ソフトウェアや部品の供給企業、プラットフォーム企業と最終製品生産企業で代表的な企業を集め、その2017年の研究開発投資の水準、その伸び率(2008年から)と利益率を比較している。最終製品生産企業の中で、基幹となる部品やソフトウェアを内部で生産している企業(サムソン、アップル)を更に垂直統合企業としている。EU委員会が公表している、世界のR&D上位2500社のパネルデータを利用している。企業を三つに分類する上で、グーグルはプラットフォーム企業として把握することもできるが、コンピューター等を効率的に利用する上で必須に近い標準化された検索サービスを供給しており、その観点からはOSの供給やCPUの供給に近いので、汎用性のあるサービスや部品企業と分類している。マイクロソフトとインテルなど部品・サービス供給企業は、コンピューターやそれを利用した個別の最終サービスを提供している完成品企業(ヒューレット・パッカー、レノボ、日本電気、富士通等、垂直統合企業を除く)と比較して、研究開発集約度(売上/研究開発費)も研究開発費の水準自体も高い傾向がある。マイクロソフトの研究開発集約度は、2017年で13%、インテルは21%、グーグルは14.5%と、非常に高水準である<sup>15</sup>。また、研究開発費の年間伸び率(ECUベースで2008年から2017年、名目)も、それぞれ7.1%、10.8%、21.1%である。他方で、最終製品を供給している垂直統合企業である、IBM、ヒューレット・パッカー、レノボは売り上げに対する研究開発集約度は、6.5%、5.1%、2.6%と低水準である。同じく、日本企業(日本電気、富士通)もそれぞれ、3.8%と3.7%と低い。研究開発費の伸びは、レノボは高い伸びを記録しているが、その他の企業はマイナスである。

また、フェースブック、アリババなどのプラットフォーム企業も、汎用サービス等の専門供給企業と同様に高い研究開発投資の伸びを記録しており、収益率と研究開発集約度の双方が高い傾向にある<sup>16</sup>。ただし、最終製品供給企業でも、アップルとサムソンは垂直統合企業であり、利益率、研究開発の水準や伸びは、汎用サービス等の専門供給企業と劣位していない。

表3 情報通信産業分野の汎用サービス・ソフトウェア企業、プラットフォーム企業及び最終製品供給企業の研究開発投資の水準、研究開発集約度(2017年)及び成長率

---

<sup>15</sup> これらの企業は利益率が高く、売上に対する研究開発費は費用に対する研究開発費を大幅に上回る：費用に対してはマイクロソフトの研究開発集約度は、13%、インテルは29%、グーグルは19.6%である。

<sup>16</sup> EU委員会の資料では、アマゾンについては、研究開発費の伸びがマイナスとなっているが、子会社の研究開発費等が十分に把握されていない可能性がある。

|                        | 世界ランク | 企業名          | 研究開発<br>(百万ユーロ) | 研究開発集約度(%) |      | 収益率<br>(%) | 研究開発<br>年間伸び<br>率<br>(%、2017/<br>2008、名<br>目) | 設立年  | 業種                 | 国名 |
|------------------------|-------|--------------|-----------------|------------|------|------------|---|------|--------------------|----|
|                        |       |              |                 | 対売上げ       | 対費用  |            |   |      |                    |    |
| 汎用サービス・ソフトウェア・部品       | 4     | マイクロソフト      | 12,279          | 13.3       | 19.5 | 31.7       | 7.1   | 1975 | ソフトウェア・コンピューターサービス | 米国 |
|                        | 6     | インテル         | 10,921          | 20.9       | 28.9 | 27.8       | 10.8  | 1968 | テクノロジー機器           | 米国 |
|                        | 28    | クアルコム        | 4,557           | 24.5       | 31.4 | 21.9       | 11.3  | 1985 | テクノロジー機器           | 米国 |
|                        | 2     | グーグル         | 13,388          | 14.5       | 19.6 | 26.1       | 21.1  | 1998 | ソフトウェア・コンピューターサービス | 米国 |
|                        | 24    | オラクル         | 5,079           | 15.3       | 23.9 | 35.9       | 10.4  | 1977 | ソフトウェア・コンピューターサービス | 米国 |
| プラットフォーム               | 15    | フェースブック      | 6,465           | 19.1       | 37.9 | 49.7       | 51.2  | 2004 | ソフトウェア・コンピューターサービス | 米国 |
|                        | 343   | アマゾン         | 329             | 0.2        | 0.2  | 2.3        | -10.9   | 1994 | ソフトウェア・コンピューターサービス | 米国 |
|                        | 51    | アリババ         | 2,914           | 9.1        | 12.6 | 27.7       | 53.8  | 1999 | ソフトウェア・コンピューターサービス | 中国 |
|                        | 61    | テンセント        | 2,235           | 7.3        | 11.7 | 37.1       | 40.3  | 1998 | ソフトウェア・コンピューターサービス | 中国 |
|                        | 81    | バイドゥ         | 1,658           | 15.3       | 18.7 | 18.5       | 45.6  | 2000 | ソフトウェア・コンピューターサービス | 中国 |
|                        | 1195  | 楽天           | 72              | 1.0        | 1.2  | 11.0       |   | 1997 | 小売り                | 日本 |
| 最終製品<br>(*は垂直<br>統合企業) | 32    | IBM          | 4,263           | 6.5        | 7.6  | 15.1       | -0.2  | 1911 | ソフトウェア・コンピューターサービス | 米国 |
|                        | 113   | ヒューレット・パッカード | 1,239           | 5.1        | 5.5  | 6.5        | -8.0  | 1939 | ソフトウェア・コンピューターサービス | 米国 |
|                        | 143   | レノボ          | 973             | 2.6        | 2.6  | 0.9        | 20.2  | 1984 | テクノロジー機器           | 中国 |
|                        | 173   | 日本電気         | 799             | 3.8        | 3.9  | 2.4        | -13.9   | 1899 | ソフトウェア・コンピューターサービス | 日本 |
|                        | 117   | 富士通          | 1,172           | 3.7        | 3.8  | 3.1        | -6.2  | 1935 | ソフトウェア・コンピューターサービス | 日本 |
|                        | 7     | アップル(*)      | 9656            | 5.1        | 6.9  | 26.8       | 27.6  | 1976 | テクノロジー機器           | 米国 |
|                        | 1     | サムソン(*)      | 13,437          | 7.2        | 9.3  | 22.4       | 15.0  | 1938 | エレクトロニクス・電気機器      | 韓国 |

注) フェースブックの伸び率は2011年から、アリババとバイドゥは2009年から。データ出典、世界研究開発上位2500社(EU委員会)の各年版。設立年は個別にネット調査。

こうした結果は、情報通信技術の開発における垂直分業の進展と整合的である。研究開発費の世界ランキング上も、ICT産業の研究開発の主たる担い手は、汎用サービス・ソフトウェア企業やプラットフォーム企業になりつつある。ただ同時に、サムソンやアップルの例が示すように、垂直統合の効果が全く無くなっている訳ではない。これらの企業はいずれも独自性のある技術(アップルは例えばOSを自社開発、サムソンは有機液晶の携帯電話での活用のパイオニア)を核とする垂直統合企業としてグローバルな市場で高い競争力を持ち、利益率は高く、高水準の研究開発を行っている。独自性のある新技術を創造し、これをグローバルに展開していくことが、日本産業が情報通信技術の開発における垂直分業の進展に有効に対応して行く上で非常に重要であろう。

## 6 産業の基礎研究、サイエンス及び産学官連携研究<sup>17</sup>

日本の産業がもたらしたブレイクスルー(ハイブリッド、リチウム電池、LED、スタチン、ビジネス・ジェットなど)は、企業における基礎的な研究に裏打ちされたケースが多い。企業の基礎研究からの取り組みは、そのサイエンスの吸収を高め、独自性が高く、産業への

<sup>17</sup> 本節は、長岡・枝村・大西・塚田・内藤・門脇(2019)に基づく。本節は基礎研究の変動に着目しているが、基礎研究の効果については本DPを参照。

波及効果も高い研究成果につながり得る<sup>18</sup>。基礎研究は不確実性も高いので、大学や国公立研究機関に任せて、企業は基礎研究の成果を受け取り、応用研究、開発研究に特化すれば良いという見方もあるが、「橋渡し研究」や「死の谷」の重要性が指摘されているように、大学等の基礎研究の成果が直ぐに商業化可能となっている場合は多くはない。革新的な創薬の源泉についての筆者等の研究によれば、革新的な医薬品の源泉としてサイエンスは重要であるが、初期段階では創薬可能性から見てサイエンス自体が未完であり、企業が潜在的な可能性を探索する中で、不確実性を克服し、革新的な創薬がなされている(長岡(2016))。こうした観点からすると、企業から大学等への委託研究、政府機関等からの研究開発プロジェクトの企業の受託は、企業の基礎研究努力の代替ではなく、補完財となる。本節では、長期的に見て日本企業の基礎研究は、当該企業が直面しているサイエンスの活用機会の拡大に反応してきたのか、また産学連携研究や企業への政府機関からの委託研究の影響の分析を行う。

## 6.1 データの概要

最初に我々が利用する日本企業の研究開発のデータを、基礎研究及び産学官連携研究に注目して、概観する。以下の図 5 には、日本産業の研究開発支出全体の動向が示されている。企業が内部で実施する研究開発は、実質ベースで、リーマンショックの前の 2007 年までは傾向的に増加し、リーマンショックによって大幅に減少し、長期に停滞したが、近年回復している。すでに本稿で見たように、ICT 分野の研究開発の大幅な減少がこのような停滞の最も重要な要因である。企業が内部で実施する基礎研究の水準(応用、開発研究の合計への比率、企業ごとの値の平均値ではなく加重平均値)は、米国産業における傾向的低下とは異なって(Arora, Belenzon, and Pataconi, 2015)、安定しており、7%程度である。基礎研究比率は、リーマンショック(2008 年)前後の動向から明確であるが、カウンター・サイクリカルである。基礎研究は、開発研究、応用研究より長期的な視点で行われており、需要変動に伴う変動が小さい。

企業から大学等への委託研究支出<sup>19</sup>の、企業内部の応用開発研究支出に対する比率(左軸、以下同様)は、長期的に見ると緩やかに減少し、高いときは1%強であったのが近年では0.5%程度である。また、政府機関等公的機関からの受託研究<sup>20</sup>は、近年で企業が内部で行う応用

---

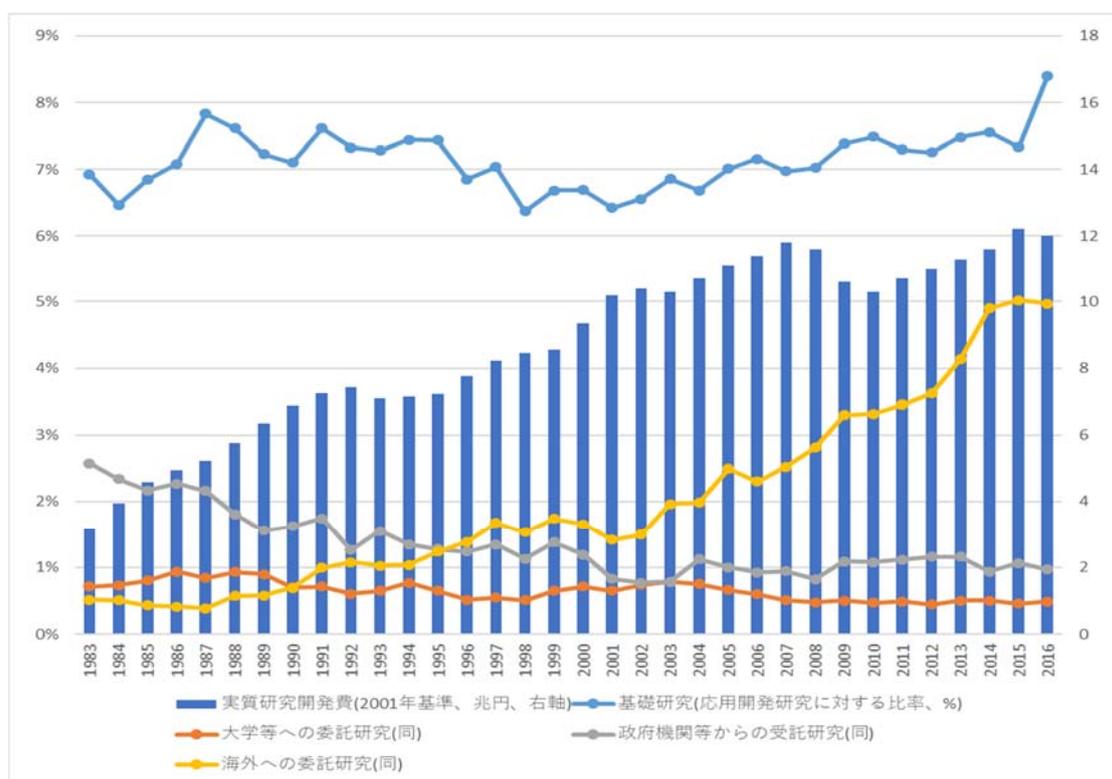
<sup>18</sup> 企業の研究開発が、技術の吸収能力の強化に貢献することの重要性については、Cohen and Levinthal(1989)を参照。

<sup>19</sup> 科学技術調査研究調査報告は、大学等への委託研究を包括的に把握しており、社外支出研究費\_国公立大学+ 社外支出研究費\_国公営研究機関+ 社外支出研究費\_その他の国地方+ 社外支出研究費\_特殊法人等\_研究所等+社外支出研究費\_特殊法人等\_公団等+ 社外支出研究費\_私立大学で算出した。

<sup>20</sup> 科学技術調査研究調査報告は、企業の政府等からの公的期間からの受託研究も包括的に把握しており、受入研究費\_国\_うち内部使用+ 受入研究費\_地方公共団体\_うち内部使用+ 受入研究費\_国公立大学\_うち内部使用+ 受入研究費\_国公営研究機関\_うち内部使用+受入研究費\_その他の国地方\_うち内部使用+ 受入研究費\_特殊法人等\_研究所等\_うち内部使用+ 受入研究費\_特殊法人等\_公団等\_うち内部使用で算出し

開発研究支出の 1%程度である。2000 年代の初頭まで政府からの受託研究の割合が減少しているのは、図 5 から明らかなように、産業の研究開発費が実質でかなり大幅に伸びたからである。その後は産業の研究開発費が全体として伸びていないが政府の研究開発費も同様であり、割合は変化していない。こうした中で非常に大きく近年支出が伸びているのは、海外企業等への委託研究であり、応用開発研究の 5%程度にまで伸びている。委託先は企業が大半であり、最近の統計では、対親子会社が約半分である。

図 4-5 日本産業の研究開発支出(実質, 1983 年~2016 年)の動向



(出典)総務省の科学技術調査研究調査報告より作成。比率は合計値の比率。

以下の分析では、サイエンスの活用と、産学官連携研究の企業の内部基礎研究との補完性、ならびに付加効果を確認する。企業の基礎研究は、企業の研究開発全体からの派生需要であり、政策的な介入の他に、当該企業の研究開発に関連したサイエンス活用機会の拡大によって拡大し、また当該企業の市場が拡大すれば拡大する。このため、以下の推計では、産業レベルの需要やサイエンスの活用機会の変動、更に特許の引用文献数及び被引用件数のデータランケーションによる変動を産業別の年次ダミーコントロールし、企業の能力の水準を企業の固定効果でコントロールし、更に各企業が直面している市場とサイエンス機会の

た。

変動を、それぞれ当該企業の売上(1年前,  $L.lnsales$ ), 及び当該企業が出願している技術分野の米国特許(日本出願人以外)による科学技術論文の引用件数( $lnscience$ )で把握する。

被説明変数は、企業の内部基礎研究の水準(実額の対数  $lnlbasic\_r$ )と企業の研究開発費全体(社内研究費の総額(実額)の対数,  $lnrd\_r$ )である。説明変数として、大学等への企業からの委託研究と政府機関等からの企業の受託研究はそれぞれ過去の支出のストック化をしている( $lnlcommission\_univ\_pro\_stock$ ,  $lnlcommissioned\_pub\_stock$ )。大学等への企業からの委託研究が企業の基礎研究と補完的であれば、正の影響を持つ。また、政府機関等からの受託研究の拡大は、企業自体の費用負担をそのままクラウドアウトするのではなければ、企業の研究支出は拡大するはずであり(付加効果)、また、受託研究が基礎的な研究にフォーカスしているのであれば、特に基礎研究が大きく増加することが予想される。利用する変数は全て年次によって変動する変数である。企業の固定効果を導入することで、政府からの委託研究(企業にとっての受託研究)が能力の高い企業を選別して行われる、セレクション効果をかなりコントロールすることができる<sup>21</sup>。

## 6. 2 サイエンスの活用と補完性についての推計結果

推計結果は、以下の表4の通りである。全期間をまとめた推計と2000年代以降の推計を示しており、対象企業は前者が約3500社、後者が2500社である。データの欠落によるバイアスを避けるために、データが連続して存在する期間にサンプルを限定している。企業の固定効果を導入した場合(FE)に加えて、変動効果(RE)を仮定した場合の結果を示している。

推計結果によれば、産業毎の年間の変動をコントロールしても、全ての推計が示しているように、基礎研究と研究開発費総額はともに、企業の販売額の拡大で、上昇する。変動の度合いは、基礎研究費の方が小さい。

当該企業が直面するサイエンスの活用機会の拡大は、全期間をまとめた推計では基礎研究の拡大に高度に有意であり、研究開発費全体にも弱い正で有意である。しかし、2000年代以降に限定した推計では、固定効果推計では有意ではなくなっており、企業の基礎研究にサイエンスが活用される程度が、近年弱くなってきていることを示唆している。なお、変動効果推計の方が販売額とサイエンス吸収機会に推計された係数が大きく、我々が観測できない企業の基礎研究能力が、企業の規模やフォーカスしている技術分野のサイエンス活用機会と正の相関があり(例、高い基礎研究能力がある企業はサイエンス機会の高い技術分野で研究を行う)、これをコントロールすることの重要性も示唆している。

全期間でも最近の期間に限定しても、大学等への企業からの委託研究と政府機関等からの企業の受託研究の係数は、企業の基礎研究の拡大に正でかつ高度に有意である。このこと

---

<sup>21</sup> 本稿では、大学等への委託研究等の影響は、それを新たに行うあるいは拡大した企業の内部基礎研究の変化が、同業種のそうでない企業の内部基礎研究の変化とどのように異なるかで評価しており、直接因果関係の推計をおこなったものではない。

は、こうした研究は、それぞれ企業の基礎研究と補完的であり、企業の基礎研究を高める効果があったことが示唆される。ただし、政府機関等からの受託研究の係数は2000年代以降では、3分の1位とかなり低下している。研究開発費全体では、大学等への委託研究は正であり、同様に有意である。他方で、政府機関等からの受託研究は期間全体ではいずれの推計でも研究開発全体に対して、正で有意である。しかし最近では、変動効果推計では正であるが、固定効果推計では有意ではなくなっている。

まとめると、大学等への企業からの委託研究と政府機関等からの企業の受託研究の係数は、それぞれ企業の基礎研究の拡大に有意な影響があることが示唆される。しかし、2000年代以降の日本産業の研究開発は、サイエンス機会の拡大への反応が弱くなっており、また企業の受託研究の基礎研究への効果も同様である。2000年代以降の期間では、リーマンショックがあり、多くの企業が研究開発を減らさざるを得なかった(基礎研究の成果があっても応用開発研究に進めない)ことが推計結果にも影響している可能性や政府機関の研究開発委託政策の変化の可能性があるが、原因の識別は今後の課題である。

表4 企業の基礎研究と研究開発全体の水準

| VARIABLES                    | 変数                             | 全期間(1984-2016)            |           |                     |           | 2000年代以降                  |           |                     |           |
|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------------|-----------|---------------------|-----------|
|                              |                                | (1)                       | (2)       | (3)                 | (4)       | (5)                       | (6)       | (7)                 | (8)       |
|                              |                                | ln1basic_r (社内使用基礎研究費の対数) |           | lnrd_r(社内研究費_総額の対数) |           | ln1basic_r (社内使用基礎研究費の対数) |           | lnrd_r(社内研究費_総額の対数) |           |
|                              |                                | FE                        | RE        | FE                  | RE        | FE                        | RE        | FE                  | RE        |
| L.Insales                    | 企業の販売額の対数(1年ラグ)                | 0.185***                  | 0.347***  | 0.475***            | 0.631***  | 0.177***                  | 0.288***  | 0.297***            | 0.553***  |
|                              | (L.Insales)                    | (0.0237)                  | (0.0152)  | (0.0109)            | (0.00807) | (0.0258)                  | (0.0170)  | (0.0147)            | (0.0107)  |
| lnscience                    | サイエンス吸収機会                      | 0.0558***                 | 0.102***  | 0.0144*             | 0.0371*** | 0.0370                    | 0.0886*** | -0.00923            | 0.0166    |
|                              | (lnscience)                    | (0.0190)                  | (0.0182)  | (0.00866)           | (0.00864) | (0.0241)                  | (0.0231)  | (0.0133)            | (0.0135)  |
| ln1commission_univ_pro_stock | 企業の大学等への委託のストック                | 0.124***                  | 0.199***  | 0.0476***           | 0.0708*** | 0.146***                  | 0.250***  | 0.0395***           | 0.0932*** |
|                              | (ln1commission_univ_pro_stock) | (0.00864)                 | (0.00803) | (0.00381)           | (0.00374) | (0.0122)                  | (0.0109)  | (0.00646)           | (0.00620) |
| ln1commissioned_pub_stock    | 企業の公的な受託研究のストック                | 0.0639***                 | 0.103***  | 0.0121***           | 0.0291*** | 0.0230**                  | 0.0808*** | -0.000130           | 0.0301*** |
|                              | (ln1commissioned_pub_stock)    | (0.00696)                 | (0.00661) | (0.00300)           | (0.00298) | (0.00962)                 | (0.00891) | (0.00487)           | (0.00482) |
| Observations                 | 観測数                            | 25,495                    | 25,495    | 25,465              | 25,465    | 13,746                    | 13,746    | 12,434              | 12,434    |
| Number of newcomp_id2        | 企業数                            | 3,867                     | 3,867     | 3,472               | 3,472     | 2,719                     | 2,719     | 2,345               | 2,345     |
| Within R-squared             | Within R-squared               | 0.158                     | 0.147     | 0.237               | 0.221     | 0.122                     | 0.105     | 0.141               | 0.113     |
| Between R-squared            | Between R-squared              | 0.0841                    | 0.341     | 0.430               | 0.628     | 0.132                     | 0.418     | 0.407               | 0.648     |
| Overall R-squared            | Overall R-squared              | 0.183                     | 0.452     | 0.585               | 0.750     | 0.182                     | 0.470     | 0.510               | 0.719     |

注)産業別の年次ダミーが、産業毎の市場、技術機会の変動、特許の引用文献数をコントロールしている。

## 7 おわりに

本節では、本稿で紹介した研究からの知見を踏まえて、今後のイノベーション政策への含意を述べる。そのまえに、「第4次産業革命」のイノベーションの基本的な特徴をまとめておく。半導体の微細化・高集積化、通信技術の進歩(高速化、大容量化)、計測制御機器(例GPSセンサー)の小型化と低価格化、データ自体の集積、AIなどのソフトウェア技術の発達等が補完的に作用し、「第4次産業革命」の範囲の拡大とその持続性が高まっており、広範

な分野のイノベーション機会が発生している。ソフトウェア関連発明は2000年代後半に米国登録特許の5割近くを占めるようになってきている。同時に、ソフトウェア発明は、創造過程を見ると、コンピューター的能力やインターネットを含む通信能力の拡大など、ソフトウェアを実施する上での補完財の拡大が重要であったことを示唆しており、このことは発明の主役は往々にして技術課題を持っている利用側の産業、企業であることを示唆している。「第4次産業革命」の中で、コンピューターと通信を利用したソフトウェアやサービスへの市場の規模は拡大し、更にプラットフォーム企業の成長もあって、情報通信技術の開発における垂直分業は強まってきており、産業組織と競争への影響も大きい。

第一に、「第4次産業革命」によるイノベーションの特徴は、応用性が高く、あらゆる産業で活用できる応用性が高いことである。今後のイノベーションの主役は、解決すべき技術課題をもっている利用企業、利用産業である。したがって、日本産業のAI等の活用能力の強化が重要である。すでに日本の多くの産業ではソフトウェア関連発明が幅広く行われてきた実績があること、またロボットの高い普及率が示唆するように、日本の産業は新しい技術を現場で活用する能力は高い。企業内での雇用の柔軟性、長期雇用を背景とした人材教育への投資など日本企業の伝統的な強みが発揮されうると考えられる。政策としては、高度な利用を促進するために、数学、統計、プログラミングなどの分野の深い能力をもった、専門人材を大学、大学院等で供給していくことも重要であろう。

第二に、垂直分業の進展の結果、規模の経済やネットワーク外部性が大きいセグメントでは、寡占化や独占化が進展した。ただ、これらの企業の多くは高水準の研究開発を行っており、研究開発投資の伸びも大きい。現実のあるいは潜在的な研究開発競争が、これらの企業の行動を規律していると考えられる。こうした競争を維持するために、インターフェース、通信規格等におけるオープンな標準の形成とその持続的な革新が重要であると考えられる。標準自体の革新へのインセンティブと標準の広い利用を両立させるために、合理的で無差別なライセンス政策の実施が重要である<sup>22</sup>。

第三に、特許権等について、進歩性の基準が適切に維持されることが重要だと考えられる。コンピューティング・パワーが拡大したこと、インターネットが普及しその通信能力が拡大したこと、デジタル化されたデータが豊富になったことからイノベーションの機会は拡大しているが、コンピューター上やインターネット上で新たに実施可能となったためだけの発明は、特許権による保護が無くても発明され実施される可能性が高い。他方で、技術的な付加価値がなく、その特許化はイノベーション競争を阻害する可能性がある。この観点から、発明の技術的貢献に見合った権利化がされるような特許出願と特許審査が重要である<sup>23</sup>。

---

<sup>22</sup> イノベーションを促進する観点する観点からの標準必須特許のライセンスのあり方については、METI JPO-RIETI 国際シンポジウム 標準必須特許を巡る紛争解決に向けて ―Licensing 5G SEPs― (RIETI Highlight, 2018 Fall 71)を参照。標準自体の革新へのインセンティブと標準の広い利用を両立させる上で、事前交渉の枠組の重要性については、同号の長岡(2018)を参照。

<sup>23</sup> 特許審査は発明の貢献に応じた権利画定に重要な役割を果たしている。RIETI DP, 16-E-092 に基づ

第四に、多数のユーザーを対象としたネットワーク外部性が重要なプラットフォームによるイノベーションには、初期需要の創出と互換性の確保が重要である。政府が支払いや調達に大きく関与している、健康医療等の分野では初期需要の形成のために、また仕様のフラグメンテーションによる二重投資や重複を避けるために、データ仕様の標準化で積極的な役割を果たしうる。

第五に、情報通信技術を活用した製品、サービスやソフトウェアの競争はグローバルであり、国際競争力を確保して行くにはグローバルな市場で展開していくことが必要である。サービスの分野でも、国際的な互換性が強まり、国際競争は強まっていくと考えられる。また、外国人材を研究開発のために採用していくことも重要である。米国企業はソフトウェア関連発明では、6割もの発明に、外国籍(Foreign born)の発明者が単独発明者あるいは共同発明者として参加しており、また4割は海外に在住していると推計される。人材の確保と事業のグローバル化の両面で、日本産業による外国生まれあるいは外国在住の人材の活用が重要である<sup>24</sup>。

第六に、情報通信分野の研究開発を含めて、日本産業が世界的に展開できる独自性が高い技術をもたらす研究開発の必要性は高まっている。このため、企業が最先端のサイエンスを吸収する機会を拡大していくことが重要であり、こうした観点から、産学連携や産学官連携を促進していくことが重要である。

#### 参考文献

Agrawal Ajay, Joshua Gans, Avi Goldfarb, (2018), Prediction Machines: The Simple Economics of Artificial Intelligence, *Harvard Business Review Press*

Arora, A., S. Belenzon and A. Pataconi (2015), "Killing the Golden Goose? The Decline of Science in Corporate R&D," *NBER Working Paper* 20902.

Bresnahanan, T. and M. Trajtenberg (1995), "General purpose technologies 'Engines of growth'?", *Journal of Econometrics*, 65(1): 83-108.

Cohen, W.M. and D. A. Levinthal (1989), "Innovation and learning: the two faces of R&D," *The Economic Journal*, 99: 569-596.

---

く、論文(Okada, Naito and Nagaoka(2018))を参照。

<sup>24</sup> 外国生まれあるいは外国在住の外国人が、知識や能力の多様性でどのように共同発明者として貢献するかについては、塚田・長岡(2019)を参照。

Graham, S. and S. Vishnubhakat (2013), "Of Smart Phone Wars and Software Patents," *Journal of Economic Perspectives*, 27(1): 67–86.

Grove, A. (1996), *Only the paranoid Survive*, Crown Business.

Hall B. H., A. B. Jaffe and M. Trajtenberg (2001), "The NBER Patent Citation Data File: Lessons, Insights and Methodological Tools," *NBER Working Paper* 8498

Jorgenson, D. W. (2001), "Information technology and U. S. Economic growth," Presidential Address to the American Economic Association at New Orleans.

Okada Y., Naito Y., S. Nagaoka, 2018, "Making the patent scope consistent with the invention: Evidence from Japan", the *Journal of Economics and Management Strategy*, July, Volume 27, Issue 3, Pages 607-625

Stigler, G. J. (1951), "The Division of Labor is Limited by the Extent of the Market," *The Journal of Political Economy*, 59(3): 185-193.

特許庁 (2015), 「特許出願技術動向調査報告書：人工知能技術」.

長岡貞男・枝村一磨・大西宏一郎・塚田尚稔・内藤祐介・門脇涼 (2019), 「日本産業の基礎研究と産学連携のイノベーション効果とスピルオーバー効果」RIETI Discussion Paper

長岡貞男・塚田尚稔 (2007), 「発明者から見た日本のイノベーション過程：RIETI 発明者サーベイの結果概要」RIETI Discussion Paper 07-J-046.

塚田尚稔・長岡貞男 (2019), 「国際共同研究は何故パフォーマンスが高いのか」(仮題), RIETI Discussion Paper

長岡貞男 (2018). 「標準必須特許のライセンスをめぐる：ホールドアップ, リバース・ホールドアップ及び事前交渉」RIETI Highlight, 71: 18-19.

長岡貞男 (2017), 「第 4 次産業革命とソフトウェア関連発明」第 18 回 RIETI ハイライトセミナー 第 4 次産業革命の動きと課題—流れに乗り遅れないために (<https://www.rieti.go.jp/jp/events/17032201/info.html>).

長岡貞男 (2016), 『新薬創製～日本発の革新的医薬品の源泉を探る～』 日経 BP 社.