

IoT 時代のイノベーション・エコシステム —第3次および第4次産業革命における非市場機構の役割—

安 田 聡 子

要 旨

産業革命という概念を使ってIoT時代のイノベーション・エコシステムについて論じた。IoTは第3次および第4次産業革命の中に位置づけられるが、これらの産業革命は「技術革新の指数関数的な増加」、「R&Dの垂直分離と専門性に基づく分業」、「技術の融合」、「需要表現の重要性」という4つの特徴を持つ。ここからIoT時代のイノベーションは「不確実性が大きいこと」と、「異部門のプレイヤーどうしの相互作用から革新が生じるため、調整の重要性が増している」ことを指摘した。先行研究の精査から、こうしたエコシステムでは国が中核的な役割を果たすことが期待されていると報告した。

キーワード：国の役割 (the role of state)、指数関数的な増加 (exponential growth)、R&Dの構造変化 (structural change in R&D)、技術融合 (technology fusion)、技術表現 (demand articulation)

I はじめに

この論文はとても簡単そうな問いから出発する：「IoT (Internet of Things: モノのインターネット) に関する議論では、なぜ、国や大学の役割について熱く語られるのか」。IoTとは—詳しい説明は第2節で行うが—デジタル技術やICT (情報通信技術) を使って急進的イノベーション (radical innovation) を起こそうという試みであり、現在起こりつつある現象である。

デジタル技術やICTを活用したイノベーションは、これまで企業が先導

してきた—あるいは、そのように語られてきた。マイクロソフトのビル・ゲイツ、アップルのスティーブ・ジョブズとスティーブ・ウォズニアク、テスラのイーロン・マスク、フェイスブックのマーク・ザッカーバーグ等々、ICT産業の発達は常に企業家（アントレプレナー）と彼らが興した企業の物語として語られてきた。

研究開発や技術革新も同じである。ワールドワイドウェブ（www）を発明したティム・バーナーズ＝リー、ウェブブラウザである Mosaic や Netscape Navigator をつくったマーク・アンドリーセン、Linux の開発者であるリーナス・トーバルズなど、デジタル・イノベーションの物語は常に企業家精神（entrepreneurship）が横溢する市場部門を舞台として語られてきた。

ところが同じデジタル技術、ICT の活用であるにもかかわらず、IoT の議論では国のリーダーシップや研究機関のイニシアチブに関する議論が多くなる。これは不思議な現象ではないだろうか。

もちろん、現在までのところドイツが（IoT と同義である）インダストリー 4.0 のフロント・ランナーであり、ドイツ政府とフラウンホーファー研究機構がこれを先導しているということが大きいであろう。ではなぜ、これまで企業の力が脚光を浴びてきた分野で、政府や研究機関といった非市場機構が主導権を握り大きな成功を収めつつあるという現実があるのだろうか。われわれがこれまで紡いできた ICT と企業家の物語は前半部分に過ぎず、後半部分にはこれまでとは異なる主役が登場する新しいストーリーがあるのだろうか。

本稿はこうした問いに対して、IoT も含まれる第3次および第4次産業革命を俯瞰する立場から接近する。接近する際に使う道具—分析枠組み—はイノベーション・エコシステム論—とくにその先鞭をなすナショナル・イノベーション・システム（NIS）論—である。議論のベースとなるのは先行研究群である。第3次および第4次産業革命について調査・分析した文献を精査し、IoT が発展していく中で何が起きているのか、特徴は何か、イノベーション

ンの成功に貢献しているものとは、ということをとらえ、冒頭の問いに答えようと試みる。

本稿は次のように構成されている：第2節では分析枠組みであるNIS論やイノベーション・エコシステム論について解説する。また分析対象である産業革命やIoT、非市場機構についても説明を加える。

第3節では前節の内容を踏まえて、第3次および第4次産業革命と非市場機構の関係について述べる。第4節では、冒頭の問いに対して著者なりの答えを出そうと試みる。

II 先行研究と言葉の定義

イノベーションとは、新知識が誕生して新しい財貨が生まれて普及し、経済効果が発生するまでの全プロセス（過程）のことである。こうした新知識誕生から経済効果発生までのプロセスが順調にすすみ、しかもそれが繰り返し起こる国もある一方で、知識は誕生しても製品開発や経済効果に結び付かない、あるいはそもそも新知識が誕生しないなど、プロセスが遅々として進まない国々も多い。つまりは、イノベーションが頻繁に発生して経済が成長する国もあれば、イノベーションが起こりにくい国もあるのである。なぜ、このような違いが生じるのかを説明するのが「ナショナル・イノベーション・システム（NIS: National Innovation System）論」である。本稿のタイトルであるイノベーションのエコシステム論もこれに含まれる。

ナショナル・イノベーション・システム（NIS）論とは

NIS論は、1980年代末～1990年代初頭にフリーマン（Freeman, 1987）、 Lundvall（Lundvall, 1992）、ネルソン（Nelson, 1993）がそれぞれ独立に、だが相互に参照しあいながら発表した論文群が嚆矢となった。彼ら3人や後続のNIS研究における分析結果は完全に一致しているわけではないが、それでも「(NISは)イノベーションの発展・普及・利用に影響を及ぼす全ての経済的、社会的、政治的、組織的、制度的要素」(Edquist, 1997)から成

るというのは一致するところである。

NIS 理論が当時の経済学と比較してユニークだった点として以下の3つが挙げられる。第一に NIS 理論は、動態 (dynamics) から経済効果が生まれるとする点である。イノベーションとは、“知識創造 (発明・研究)”、“知識吸収 (学習)”、“新財貨の登場”といった経路 (path) をたどる動きのことである。経路をたどって動いていく過程、すなわちプロセスの中で革新が遂行され経済効果が生まれる、つまりイノベーションは達成される。

第二に、こうしたダイナミクスの発生は、大学、産業、政府、制度・社会といったいくつかの要素 (NIS の構成要素であり、これらのうち大学、産業、政府は“アクター”ともよばれる) がさまざまな形で影響しあう相互作用と関係がある、とする点である。イノベーションの進展を促進するような相互作用がある一方で、革新に向かう動きを阻害してイノベーションを停滞させるような相互作用もある。また、イノベーションが不活発な国では、アクターどうしが相互不干渉の状態にあり相互作用が生まれにくいこともある。

NIS 理論の登場前は、研究費などの入力 (インプット) と、特許などの出力 (アウトプット) からイノベーションを分析することは行われていたが、“入力を出力に変換しているメカニズム”はブラックボックスだった。NIS 理論はシステムの構成要素 (大学、産業、政府、制度や社会) どうしの相互作用が“入力を出力に変換しているメカニズム”であることを示したものである (OECD, 1997)。ブラックボックスの中をのぞくレンズを提供した理論と言えよう。

第三に—これは第二の特徴と部分的に重なり合うが—NIS の構成要素には“産業”といった市場部門と、“大学”、“政府”、“制度や社会”といった非市場機構の両方が含まれており、市場と非市場が互いに干渉する相互作用が経済効果を生み出す源である、と指摘した点である。今日の経済学では市場と非市場の相互作用に注目することは稀ではないが、NIS 論が登場・発展した1980末～1990年代前半は、「合理的な個人が、市場の中で自由な競争を繰り返り広げると、価格メカニズムの働きにより資源の効率的分配が実現される」

とされていた時代である。市場部門と非市場部門が別個の枠組みで分析されていた時代と言っても良い。そうした時代に、大学や政府、制度・社会といった非市場機構と、市場部門が干渉しあい相互作用を起こしながら革新が進み、経済効果が発生するとしたNIS論は、顕著で独自の特徴を有していた。

イノベーション・エコシステム論とは

NIS論とイノベーション・エコシステム論に本質的な違いはない。同義である。ただ、NIS論が1970年代日本の高度成長に刺激を受けて登場したのに対して、エコシステム論は20世紀末から盛んに使われだしたという時代背景の違いがある。

時代背景の違いは、若干のニュアンスの違いにつながることもある。NIS論は1970～80年代を彩る経済成長を反映しているせいか、“生産の増加”、“所得の増加”、“全要素生産性の増加”といったアウトプット増加のメカニズムを探求する際によく使われるようだ。これに対してエコシステム論は、知識社会や知的生産といった今日の風潮を反映してか“知識生産”と“新規性（革新性）”、そして革新活動を完遂する“企業家と企業家精神（アントレプレナーシップ）”にスポットライトを当てる研究でしばしば採用される。また、オープンイノベーションがもてはやされる現代にふさわしく、“産業”、“政府”、“大学”そして“社会や市民”さらには“環境”といった要素間の相互作用に重きを置いた分析でも多用される。

知識生産と相互作用を強調したエコシステム論の中で特に有名なのは、Triple Innovation Helix論（Leydesdorff & Etzkowitz, 1998）であろう。同論の新規性は、イノベーションが実現していく中で大学が果たす役割がいかに大きいかを説得的に示したことにあろう。NIS論でも大学等の研究機関はシステムの重要な構成要素とされたが、やはり分析の中心は産と官の連携におかれていた。しかしTriple Innovation Helixの理論枠組みでは、大学が知識移転と知識創造の源であるとされている。そして、知識社会と称される現代では、大学—政府—産業の3つのセクターが交差する点、これら3つが

相互作用を起こす局面からイノベーションが誕生すると論じられた。

これに続くものとして Quadruple Innovation Helix 論 (Carayannis & Campbell, 2011; Monteiro & Carayannis, 2017)、Quintuple Innovation Helix 論 (Carayannis et al, 2012) がある。Quadruple Innovation Helix 論は、“市民と市民社会 (public and civil society)” —厳密には、メディアや文化の影響を強く受けている “市民と市民社会” —を “大学” “政府” “産業” に次ぐ 4 つ目のイノベーション・システムの構成要素としている。これに加えて “環境” を 5 つ目の構成要素としたのが Quintuple Innovation Helix 論である。

非市場機構とは

非市場を定義するためには、先に市場について理解しなければならない。以下、McMillan (2002: 邦訳版は2007年) に沿って市場の特徴を挙げていく: まず市場を特徴づけるのは意思決定の自律性である。

「市場では、買うにしても、売るにしても、労力を提供するにしても、投資をするにしても、自分の好みを反映するような意思決定を自由に行うことが出来る。」
(McMillan (邦訳版)、pp. 6-7)。

また市場には競争が存在している。

「競争は個々の市場参加者の力を抑制し、ほとんどの市場において、個人が全体の結果を左右しないようにしている。競争があるとき、消費者は「結構です、別のところで買います」ということが出来る。競争的市場とは、代替的な選択肢が存在しているということである。」 (McMillan (邦訳版)、p. 7)。

こうした McMillan の説明を踏まえて、非市場、すなわち市場ではない部門を考えると、家庭内での交換、政府や公的機関が主導する事業、企業内での取引の 3 つが想定される。家庭内で「結構です。別のところで……」という意思決定はやらないほうが良いし、政府・公的部門が主導する事業では事業主の力はまるで抑制されないし、また企業内取引では意思決定の自律性は

担保されないからである。

本論文では、イノベーションの発生や普及に影響を及ぼす要因を論じることから、上の3つの中でも特に政府や大学のような公的機関に焦点を当てる。企業内取引もまた、イノベーションの実現に強い影響を及ぼすが、そうした研究で使われる分析枠組みは本稿のそれとは異なるため、ここでは言及しない。

厳密には非市場機構とは、価格メカニズムに影響されない非金銭的なインセンティブによって機能している組織 (organization) と、そうした非金銭的なインセンティブの発生源となっている制度 (institution)、また当該制度が埋め込まれている社会 (society) と、その社会を形成する市民 (public) に分割可能であろう。だがここでは非市場を細かい要素に分割せずに、非市場組織と、その組織のふるまいを律する制度や社会・市民を併せて非市場機構 (non-market institutions) とよぶ。

産業革命とは

産業革命とは技術革新が企業の栄枯盛衰のみならず産業再編をももたらし、同時に人間の行動や社会の様相も大きく変化する動きのことである。Gordon (2012) は14～21世紀のイギリスおよびアメリカの経済成長を調査し、歴史上3度の産業革命が起こったことを確認している。以下、Gordon (2012) に沿いながら産業革命について説明する。

最初の産業革命 (第一次産業革命: IR#1) は1750～1830年ごろに起こっている。蒸気機関、綿繰り機¹⁾、鉄道、蒸気船の発明が契機となり、一人当たりGDPが長期にわたって拡大していった。IR#1による経済成長は150年間続いた。

第二次産業革命 (IR#2) は1870～1900年の時期に胎動が始まり誕生している。IR#2も、IR#1と同じぐらい長く続いた産業革命であるが、その端

1) cotton gin: 綿と種を取り分ける機械で、品質安定効果と労働節約効果が非常に高く、米国の綿花生産を拡大させた。

緒となったのは1879年に発明された電燈と内燃機関（ガソリン・エンジンやディーゼル・エンジンなど）である。つづく1880年代には電話、蓄音機、動画が発明され、その後は膨大な種類の電気機械類や車両がつぎつぎと発明される。IR#2に登場した多数の発明は、発電所や道路といった補完財を生み出しただけではなく、それらを活用した“follow-up 発明”も誘発した。“follow-up 発明”にはテレビ、エアコン、高速輸送網などが含まれる。

IR#2に登場したものは、歴史上起こったどの発明よりも人間生活に与えた影響が大きく、そのため比較的長い時間をかけて社会も変化していった。IR#2による生産性の向上とそれに伴う経済成長は、アメリカでは1970年代までの約100年間続いた。

Gordon (2012)の研究はアメリカに焦点を当てたものであるが、後藤(2016)は日本を取り上げ、「日本の復興期、キャッチアップ期、高度成長期はこのような世界的な第二次産業革命の普及期と重なって」いることや、「日本の企業やそれを取りまく労使慣行なども戦中からこの時期に形作られ、効果的に機能した」（後藤、2016、p. 19）ことを述べている。

「第二次産業革命の時の日本企業は垂直的に統合され、多角化した大企業が大きな役割を果たし、その大企業は一流大学の理工系の学部あるいは大学院を出た学士、修士を雇用し、品質の良い製品の大量生産を行った。同質的な研究者の間ではコミュニケーションが取りやすく、より良い製品を効率的に生み出していくことに成功した。」（同書、p. 20）

「第二次産業革命は電気、内燃機関などが汎用技術²⁾であり、これを応用した電気

-
- 2) 汎用技術（GPT: General Purpose Technology）とは、画期的な新技術であると同時に、幅広い分野で応用されて普及する可能性を持つものをさす。さまざまな分野で利用・応用されるにつれて、その技術自体もダイナミックに変化していくという特徴を持つ。また通常の技術革新が、ある特定の問題に対する個別のソリューションを提供するのとは対照的に、GPTは新しい技術分野を拓いたり、新しい産業を生み出す力となったりする。たとえば製造工程に電動機（IR#2のGPTのひとつ）を利用すると、その工程で生産性が向上するという特定のソリューションが得られるだけではなく、さまざまな工業用電気機械の発明につながったり、それらを統合した効率的な生産システムが誕生したりする（Bresnahan & Trajtenberg, 1995）。同様に、フラッシュメモリ（IR#3のGPTのひとつ）の発明は、原材料節約によるコスト低下という特

機械、自動車などが次々に生み出されて、世界の経済発展にきわめて大きなインパクトを与えた。日本は戦後の復興期、高度成長期がこの第二次産業革命期の普及期と重なり、産業は強い競争力を示した。終身雇用、年功序列、企業別組合、メインバンク制によるガバナンス、株式の持ち合いなどの慣行は、第二次産業革命の産業技術に適合的なように意図的に設計されたのではなく、第二次世界大戦中の戦時経済体制や、戦後の占領軍による経済民主化政策などの結果であったが、結果的にはこのような特徴を持つ日本の産業は第二次産業革命の中で大きく成長していった。』(同書、p. 208) (注2は本稿の著者が加筆)

戦後の日本の復興と高度成長は、マクロ経済指標や経済政策、あるいは経済システムの特徴(野口、1995)と結び付けて語られることが多いが、NIS論やイノベーション・エコシステム論ではこれらの要素と共に、IR#2期の汎用技術(GPT:詳しくは注2を参照)と生産システム・慣行との適合性にも言及しながら議論が展開される(児玉、1991)。

第三次産業革命(IR#3)は、1960代に登場したコンピューターとインターネットが契機となった。IR#3については、現在進行中ということもあり、その影響に関する評価は分かれている。IR#3が経済システムに及ぼす影響をみとめない(あるいはごく小規模な影響しか及ぼさない)とする論文として有名なのは、“We see the computers everywhere but in the productivity statistics. (コンピューターは至る所にあるけれども、コンピューターによって生産性が上がったことを示す統計はどこにもない。)”と指摘したDavid (1990)であろう。

繰り返し引用しているGordon (2012)も同じ立場のようで、IR#3が経済システムに影響を及ぼしたのは1990年代末がピークで、その後は経済への影響力は減衰していると述べている。金融セクターの研究者も類似の見解を出している。Phelps & Tilman (2010)は、1990年代以降は経済のダイナミズムが衰えており、ベンチャーキャピタリストはイノベーションに関するアイディ

定のソリューションをはるかに超えてハードディスクを代替し、さらにUSBメモリや携帯電話、スマートフォン、カード類など多様な製品の部品として利用されることにより、経済活動だけではなく人間のライフスタイル変化にも貢献している。

アが現れてこないことを嘆いている、と指摘している。

IR#3の影響が大きいとする論者の代表格は“Race against the Machine, 2011 (邦訳:『機械との競争』、2013)”を発表して注目を集めた Brynjolfsson & McAfee であろう。彼らはゴードン・ムーアやレイ・カーツワイルといった技術革新と社会変化の予測に優れた人々を引用しながら、IR#3の影響は指数関数的に増加しており、21世紀初頭から経済のみならず社会へも強いインパクトを及ぼしていると述べている：

「倍々ゲームでの増加すなわち指数関数的な増加は人を欺く、(中略)と言うのも、最初はこれほど増えるとは分からないからだ。指数関数は、始めはありふれた直線的な増え方をするように見える。だが時間の経過とともに、(中略)私たちの直観の見通しを狼狽させるような増え方に転じる。(中略)コンピュータの進化もまさにこれと同じで、最初は不可能とされていたタスクもこなすようになった。」(Brynjolfsson & McAfee, 邦訳版, pp. 42-43)。

「この年(1958年)をIT元年と考えることにしよう。そして、ムーアの法則による集積密度の倍増ペースが18カ月ごとだと仮定する。すると、32回倍増した年(中略)は、2006年ということになる。となれば、グーグルの自動運転車、ワトソンのクイズ番組での勝利、高品質のリアルタイム機械翻訳などは、(中略)(指数関数的増加が始まった直後に)次々に登場するであろうデジタル・イノベーションの最初の例とみなすことができる。そう、指数関数的な進化が私たちを驚愕させるのはこれからだ。」(同書, 邦訳版, pp. 43-44)。(カッコ内は本稿の著者が加筆)

Brynjolfsson & McAfee が技術革新の速度加速とそれが産業や労働に与える影響について、刺激的な表現で論説を展開しているのに対して、Mowery (2009) は詳細なデータ分析に基づきながら、IR#2の真ただ中であった1985年前後と、IR#3が本格化している今日では、研究開発(R&D)に変化が生じていることを報告している。Mowery が報告した変化には以下のようなものが含まれる：

- ・ R&Dにおける中小企業の役割が増している。IR#2のただ中であった1984年に大企業(従業員25,000人以上の企業)が支出したR&D費は、産業部門の総R&D費の60%を占めていたが、2001年には40%にまで

低下している。対照的に小規模企業（従業員500人以下の企業）のR&D費が産業全体に占める割合は、7%（1984年）から20%弱（2001年）へと急拡大している。

- ・ R&Dにおける非製造業の役割が拡大している。1990～2003年の期間、非製造業のR&D費は拡大しており、特に1990年代末以降は急拡大している。
- ・ 情報（IT）産業とバイオテクノロジー産業では垂直分離がすすみ、それに呼応するように専門性に基づく分業がすすんでいる。こうした垂直分離は、1990年代は米国特有の現象であったが、1990年代末～21世紀にかけては日本やヨーロッパでも現れ始める。
- ・ 垂直分離と専門性に基づく分業の進展とともに、R&Dにおける戦略的提携（strategic alliance）が増加している。これに伴い、特許取得と特許使用許諾の両方にかかわる動きも活発化している。

産業史の研究者である Mowery は、上述のような変化を Brynjolfsson & McAfee のように新規性を強調するのではなく、むしろ「1920～1930年代のイノベーション・システムの再来のようだ」と語っている。また同時に Mowery は、上述のような垂直分離と分業の進展は“Open Innovation”（Chesbrough, 2012）のそれに該当するものであるが、“Open Innovation”そのものが1920～1930年代のイノベーション・システムの再来なのではないかと、控えめに論評している。

Mowery の言う垂直分離現象をもの作りの観点から支持するような主張をしているのが Anderson (2012) である。Anderson は研究者ではなく、技術革新と社会の関係を特集するカリスマ的雑誌『ワイアード（Wired）』の編集長であるが、彼は下のように述べている：

「1950年前後の情報時代の幕開け、1970年代後半から1980年代はじめのパーソナル・コンピュータの開発、そして1990年代のインターネットとウェブの出現は、確かに革命だった。しかし、それは製造業を民主化し、その能力を増幅することで初めて、

「産業」革命となる。第三次産業革命とは、デジタル・マニュファクチャリングとパーソナル・マニュファクチャリングが一体となった時にこそ起きるもの（である）。（Anderson、邦訳版、p. 56）

「いま（2012年）僕らが目しているのは、新しい時代の家内工業への回帰だ。新たなテクノロジーは、人々にふたたび生産手段という力を与え、草の根からの起業と分散されたイノベーションを可能にした。」（同書、p. 69）

「新しい時代とは、大ヒット作がなくなる時代ではなく、大ヒット作による独占が終わる時代なのだ。もの作りにも同じことがいえる。（中略）より多くの人が、より多くの場所で、より多くの小さなニッチに注目し、より多くのイノベーションを起こす。そんな新製品—目の肥えた消費者のために数千個単位でつくられるニッチな商品—は、集合として工業経済を根本から変える。50万人の従業員が大量生産品を製造するフォックスコン1社につき、ほんの少量のニッチ製品を製造する新しい企業が数千社は生まれるだろう。そうした企業の総和が、もの作りの世界を再形成することになるはずだ。」（同書、p. 291）

Anderson は、デジタル化と製造のロボット化によって人件費の安い途上国でもの作りを行う必然性が薄れていることと、協創（co-creation）やコミュニティによる開発の拡大・深化により大規模サプライチェーンに頼らないもの作りが可能になることを挙げて、IR#3では先進国でもの作りが復興すると述べている。Anderson が言う協創やコミュニティによる開発とは、Mowery の指摘する垂直分離と専門性に基づく分業の進展を示すひとつの事象であると解釈できる。

IR#3については、既出の David や Gordon のように産業革命と呼ぶほどの経済効果や社会的インパクトは生まれていないとする評価も多く、またそれらは説得的でもある。しかしながらこうした評価は、100～150年の長きにわたって続いた IR#1 や IR#2 に比べて生後数十年しか経っていない IR#3 の影響力は未だ小さいと言っているだけである。微々たる景気の変化によって所得が上がったり反対に失業したりするわれわれ生身の人間にとっては、IR#3 のインパクトは到底無視できるものではない。後世の研究者に「杞の

国の人のようだ」と笑われても、今を生きているわれわれはIR#3の影響をまじめに分析しなくてはならない。

第4次産業革命(IR#4)は、学術用語ではないため確立した定義がない。そもそもIR#4とは存在するのか。別の言い方をすれば、人工知能がプロ棋士に勝ったことや実用化間近の自動運転車、あるいはゲノム編集といった巷を賑わす現象をIR#3の成果ととらえるのではなく、わざわざIR#4という新しいカテゴリーに分類する必然性はあるのだろうか。多くの研究者は懐疑的であり³⁾、本稿の著者も同意見である。

だが本論文では、現実世界で話題になっていることを一厳密な意味では正確ではないかも知れないが一使える理論を動員して其処其処の精度で解釈することを試みるため、巷間で“IR#4とよばれているもの”にも検討を加えていく。

さて、仮に今われわれはIR#4を経験しているとした場合、それはいつごろに始まったのか、またIR#3との違いは何か—すなわちIR#4の際立った特徴—を考えなくてはならない。まずは始まった時期について考えてみよう。World Economic Forum (WEF) (2016)はIR#4のことを「IR#3のデジタル革命によって生まれたインフラストラクチャーの上に構築される新しいシステムへ(技術、ヒト、社会が)向かうこと」という趣旨の説明をしている。また、IR#4の論者として有名なSchwabはIR#4のことを「IR#3のデジタル革命の上に生まれつつあるもの」と説明している(Schwab, 2016)。

情報倫理や哲学を研究するFloridi (2014: 邦訳版は2017)は著書『The 4th Revolution (邦題は『第四の革命』)』の中で、先進国の多くでは「ICTとそのデータ処理機能(が)(中略)、社会の福祉や個人の幸福、そして全体の繁栄を維持し、さらに発展する上での基本条件となっている」(Floridi (邦訳版)、pp. 4-5)と述べている。こうした、現代の我々を取り巻く環境のこ

3) ジャーナリストであるMartin WolfはIR#4に懐疑的な研究者の意見を分かりやすく集約したうえで、これまで200年間に起こった変化に比べると21世紀の20年間で起こることは極めて小さいだろうとIR#4支持派(Wolfは“Techno-optimists”とよんでいる)を批判している(Wolf, 2016)。

とを彼は“インフォスフィア (infosphere)”であると定義している。インフォスフィアは ICT とそのデータ処理機能を基盤としており、その形成には21世紀になっての情報爆発が大きく関与しているらしい。Floridi の言う『第四の革命』は直接的に IR#4 を指すものではないのだが、上述の WEF や Schwab と同様に ICT の飛躍的進歩とそれに伴う情報爆発によって、以前とは質の違う現象が21世紀初頭に勃興していることを述べている。

さて、既述の Brynjolfsson & McAfee は2006年を「デジタル・イノベーションの最初の成功例（＝グーグルの自動運転車、人工知能であるワトソンのクイズ番組での勝利、高品質のリアルタイム機械翻訳など）が登場した年」と述べているが、これと WEF、Schwab、Floridi の説明を統合すると、21世紀の幕開けが IR#4 の始まりとしてよいだろう。

つぎの論点である IR#4 の際立った特徴についてであるが、最初に考えるべきは汎用技術（GPT。注2 参照）であろう。だが繰り返し述べてきたように IR#4 を支えるのは ICT とそのデータ処理技術であることから IR#3 と同じである。IR#4 の特徴について Schwab (2015) は“技術の融合”を挙げている。異なる分野の技術が融合することによって、物理学、情報科学、生物学といった個々の領域を横断する新技術がつつぎと生まれるのが IR#4 の特徴であると彼は説明している。スーパーコンピューターを使った創薬や金融技術と ICT が融合したフィンテックなどがその代表例だろう。IoT もまた、技術融合から誕生している。

IoT と産業革命

IoT を日本語で言えば「モノのインターネット (Internet of Things)」である。人口に膾炙した説明では「モノ同士をインターネットでつなぐこと」であるが、これでは「なぜ IoT がイノベーションだと持て囃されるのか」を理解するのは到底無理である。IoT が経済効果を生むイノベーションであるということを理解したり、そこからいかにして価値を獲得するのかと経営戦略を立案したりするためには、工学と経営学を融合させた分析枠組み一つま

りイノベーション論—を使って考察しなければならない。

IoTを工学的に説明すると「センサーと無線を使ってデータを蓄積すること」（伊本、2017）である。しかしこれでは、IoTに使われている個々の技術は説明できても、「IoTが経済効果（＝価値創造）を伴うイノベーションである」という説明はできない。

だが工学的説明と経営学的な説明—特に価値連鎖（value chain）の考え方を結合させると、IoTが新しい価値を生むイノベーションであることを下のようによく説明できる：

- ・ 一つひとつのモノにICタグをつけると、
- ・ センサーがICタグを読み取ってモノの個体情報を認識し、
- ・ サーバーやクラウド上にモノの個体情報が蓄積されて、
- ・ データ（場合によってはビッグデータ）となり、
- ・ 情報処理技術を使って分析したり、
- ・ 通信技術を使って離れた場所間でデータをやり取りしたりして、
- ・ 生産効率が上がる。あるいは新しい事業が生まれる。
- ・ その結果、新しい価値が生まれる。

センサーと無線でできているIoTを、上のような価値連鎖のプロセスであると「表現した」から、IoTは価値を生むイノベーションとなったのである。この禅問答のようなロジックを“需要表現（demand articulation）”という概念を使って、以下で詳しく説明する。

需要表現とは、「潜在需要を製品概念として統合することと、この概念を要素技術の開発項目へと分解するという、二つの技術活動の動学的相互作用であると定義」される（児玉、1991、p. 153）。

20世紀末から先進諸国は経済低成長の時代へ突入するが、こうした経済状況を受けて産業界では需要変動に伴うリスクを最小化したいという需要が高まった。同時に、成熟市場で需要を喚起する策の一つとして短サイクル化の強化も志向された。こうしたことにより生産現場では、変種変量生産を実現

したいという潜在需要が生まれた。変種変量生産とは、「必要なものを、必要な時に、必要な量だけ生産する」というリーン生産システムを極限まで追求するものである。

この潜在需要に応えるため、製造装置と自動機械（ロボット）とデータを結合させて“自ら考える工場”をつくるという構想が出された。これがIoTの基本構想である。つまり、変種変量生産という潜在需要と、“自ら考える工場”という構想が結合してIoTというソリューションが出てきたのである。

これと同時に、“自ら考える工場”という構想を実際に稼働する工場として実現するために、要素技術が特定され、必要な開発項目へと分解された。すなわち、センサー技術、情報通信技術（ICタグや無線）、データサイエンス（データ蓄積やデータ分析）といった要素技術の開発がすすめられ、現在も進められているのである。

以上から「IoTとは何か」を説明すると、「変種変量生産という潜在需要を満たすために“自ら考える工場”が構想されたが、これを現実のものとするために、センサー技術、情報通信技術、データサイエンスといった要素技術の開発がすすめられて、それらが統合され、究極のリーン生産システムを実現すること。機械と情報とヒトが高度に協調してもの作りを行うことから、需要変動に伴うリスクを最小化しつつ、需要喚起のための超多品種生産ができるようになること」と定義できるだろう。

さて、イノベーションのエコシステムを考える上で重要なのは、IoTが価値を生み出すイノベーションとなる上で決定的だった需要表現を誰が行ったか、という点である。すなわち、変種変量生産という潜在需要を特定し、それへのソリューションとして“自ら考える工場”を構想し、センサー技術、情報通信技術、データサイエンスという開発項目へと分解した主要プレイヤーは誰か、という問いである。

現実にはたくさんの関係者がいるのであろうが、ドイツ政府が主要プレイヤーであることは誰もが納得するであろう。かつて、IR#2の時代に大量生

産の構築で主要な役割を果たしたのは市場部門のプレーヤーであるフォードであった。リーン生産体制を完成させたのは、やはり市場部門のトヨタであった。しかし今日のIoTでは、ドイツ政府という非市場組織が重要な役割を果たしている。IR#3やIR#4ではイノベーション・エコシステムの様相が異なってきているのかも知れない。

III 第3次・第4次産業革命での非市場機構の役割

ここまで述べてきたIR#3やIR#4の特徴は、以下の4つのキーワードで集約できるだろう：

- (1) 技術革新成果の指数関数的な増加 (Brynjolfsson & McAfee, 2011)
- (2) R&Dの垂直分離と専門性に基づく分業 (Mowery, 2009)
- (3) 技術の融合 (Schwab, 2015)
- (4) 需要表現の重要性 (児玉, 1991)

4つのキーワードのうち(1)については、IR#3やIR#4では不確実性が増加していると解釈できるだろう。

イノベーション経営のテキストを多数書いているTidd and Bessantは、この不確実性とマネジメントの関係について考察している。彼らは、イノベーションをマネジメントすること—すなわち何かを新しくする革新活動を企画・立案・実行して経済的価値を獲得すること—を「動いている的を狙うようなものである」(Tidd and Bessant, 2009, p. 13)と形容している。

「(既存財を改善する累積的イノベーションとは異なり)何かを根本から変える急進的イノベーション (*radical innovation*) では、(技術や市場、あるいは政府や社会の反応が予測できないという意味で)情報が不足しており、それが高いリスクにつながる。急進的イノベーションは、成功すれば高い報酬が得られるが、その一方で、何処でどのようなトラブルに見舞われるかは予測できない。(中略)先行事例や統計等の情報が不足して先が見えない状況では、情緒的な力 (*emotional forces*) に基づいて決断が下される。かのケインズが指摘した“アニマル・スピリット”が決断を大きく左右するのである。」(同書、p. 312) (カッコ内は本稿の著者が加筆)

こうした不確実性は、Tidd and Bessantによれば、R&Dや市場調査等の知識獲得と蓄積の活動を続けていくことにより減少させることができる。つまり不確実性は市場のプレイヤーである企業が主体となって広い意味での研究開発を続けることで解消できるとしている。

対照的に、企業やベンチャーキャピタルといった市場部門のプレイヤーは不確実性に対処できないとするのがMazzucato（2014：邦訳版は2015年）である。企業が不確実性や高リスクに対処する能力について、彼女は次のように評している：

「イノベーション・プロセスの高リスクと利潤の不確実性という特徴から、利益を最大にしたい企業は基礎研究に消極的で、手早く利益が得られ、かつ大きい応用研究に手を出す。基礎研究への投資は典型的な市場の失敗例で、市場だけでは十分な成果が得られない」（Mazzucato, 邦訳, p. 140）

また、イノベーションのリスクを取るのが役割とされている投資家（ベンチャー・キャピタル）についても下のように断じている：

「民間は投資資金が不足しているから投資しないのではなく、決断力がなく、現状の安全域内に留まろうとする精神構造があるから投資しないのである」（同書、p. 79）

「ベンチャーキャピタルは忍耐強くない投資家なので、長期的なリスクや技術革新のコストを引き受ける気は毛頭ない。」（同書、257）

企業やベンチャーキャピタルがイノベーションの不確実性やリスクに尻込みする一方で、政府は旺盛な企業家精神を発揮してイノベーションの主要プレイヤーの役割を果たしてきたというのが彼女の主張である：

「政府は多くの産業分野でイノベーションとダイナミズムを引き起こしており、民間セクターは後部座席で様子見をしてきたというのが実態である」（同書、p. 182）

「国が巨大な投資を行って iPhone、iPad に搭載されているインターネット、GPS、タッチスクリーンディスプレイ、情報通信技術などの土台作りをした。その革命的技術革新の波にアップル社が乗れたからこそ、スティーブ・ジョブズの天才と狂気がアップル社の大成功と巨額の収益につながったのである。」(同書、p. 184)

Mazzucato (2014) は殊更に IR#3 や IR#4 を強調しているわけではないが、分析されている事例が ICT やバイオテクノロジーあるいは次世代エネルギー（太陽光や風力発電等）であることから、IR#3 や IR#4 のイノベーション・システムを論じているとみて良いだろう。そして彼女は、企業や投資家といった市場プレイヤーの貢献をほとんど評価しておらず、不確実性と高リスクに向き合いながらイノベーションを進めているのは国家であると強く主張している。

さて、既出の4つのキーワードのうち、(2) R&Dの垂直分離と専門性に基づく分業、(3) 技術の融合、(4) 需要表現の重要性は全てオープンイノベーションの概念と共通するものである。したがって、IR#3 や IR#4 の時代はオープンイノベーション論に基づくビジネスモデルが競争力構築に貢献すると推測できる。

ただし注意しなければならないのは、Chesbrough (2012) のオープンイノベーション論がもともとはデジタル産業のみを分析対象としていたことから分かるように、同論が基本的には同一産業内での分業と協調を扱っていたものであるのに対して、IR#3 や IR#4 で起こっているイノベーションは、プレイヤーが入り乱れてもっと複雑な現象となっているという点である。

技術の融合—つまり異なる産業でそれぞれに育まれてきた技術が結合すること—や、産学連携—市場部門の企業と非市場組織の大学というように、異なる部門のアクター同士が相互作用を起こすこと—といった、IR#2 の時代には目立たなかった現象が存在感を強めている。

同一産業内での融合や協調ならば、業界連合や主導的企業といった市場のプレイヤーが中心となって革新的なイノベーションを遂行することも可能で

あろう。しかし異なる産業間や異なる部門間での連携の場合、調整の問題が複雑になる。

こうした異分野間の相互作用を調整するものとして、国の役割を重視しているのが NIS 論である (Soete et al., 2010)。既述のようにイノベーションとは、さまざまな要素が互いに影響を及ぼしあう相互作用の過程の中から結実する。具体的には大学、産業、政府といったアクターが互いに影響を及ぼしあうのだが、NIS 論の特徴は相互作用の調整 (coordination) が重要と考える点にある。

たとえば Freeman (1987) は、「NSI とは、公的部門と民間部門に存在する種々の制度どうしのネットワークのことであり、これら種々の制度の活動と相互作用によって、新技術が生まれたり、輸入されたり、修正されたり、普及したりする」といった趣旨のことを述べている。彼は1970年代の日本の経済成長を調査して、「日本社会では様々な公的・私的制度が互いに結び付いており、それぞれの制度の活動や結びつきが新技術の創造・輸入・修正・普及に影響を及ぼし、それが奇跡的な成長を可能にした」と説明したが、その調整役として通商産業省 (現・経済産業省) の役割を重視している。

Freeman の研究は IR#2 の時代に基づくものであるが、異なる産業や異分野間での協調が基盤となるオープンイノベーションの時代には調整機能はますます重要になると予測できる。

IV むすび

本稿は「IoT 時代といわれる今日に、企業や投資家よりも国や大学等研究機関といった非市場機構がクローズアップされるのはなぜか」という問いから出発し、産業革命に注目しながらこれに接近しようと試みた。

IoT 時代とは IR#3 および IR#4 の時代でもあるが、IR#2 に比べると「技術革新の指数関数的な増加」、「R&D の垂直分離と専門性に基づく分業」、「技術の融合」、「需要表現の重要性」という4つの特徴が色濃く表れていることを先行研究の精査から発見した。

こうした4つの特徴の背後にあるのは、IR#3およびIR#4ではイノベーションに伴う不確実性が高まっていること、そして異なる産業や異なる部門のプレイヤーが入り乱れて相互作用を起こすので調整の重要性が増している、という現実である。

したがって、IoT時代のイノベーション・エコシステムでは不確実性に正面から向き合い、かつ相互作用の調整機能を担うものが、エコシステムの実効性と効率性を決めるということになる。これまで出されている研究では、企業家精神を発揮する国家（Mazzucato, 2014）に調整の役割を期待されているようだ。この主張には、伝統的な理論であるNIS論の裏付けもあり有望そうである。

つまり本稿冒頭に書いた疑問への暫定的な答えは、「IoT時代といわれる今日では、イノベーションの不確実性に対処できて、調整役も果たせるのは国家である」ということになる。国（あるいはクニ）はその誕生から長い間、治水、軍事と徴税の機能しか行使していなかった。それがやや発展して夜警国家になり、今日のような国民の福祉を担保する機能を持つようになったのはつい最近のことである。それがIR#3やIR#4の到来により、国には経済活動に深く関与する機能まで求められるようになるのだろうか。かなり強い疑問が残るが、ここで紹介した先行研究を読むとそういうことになる。

（筆者は関西学院大学商学部教授）

【参考文献】

- Anderson, C. (2012). *Makers: The New Industrial Revolution*. Signal. (邦訳：『MAKERS—21世紀の産業革命が始まる』、NHK出版、2012年)
- Bresnahan, T & Trajtenberg, M. (1995) General Purpose Technologies ‘Engines of Growth’? *Journal of Econometrics* 65(1), pp. 83–108.
- Brynjolfsson, E. & McAfee, A. (2011) *Race against the Machine: How the Digital Revolution Is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy*. Lightning Source Inc. (邦訳：『機械との競争』、日経BP社、2013年)
- Carayannis, E. & Campbell, D. (2011) *Mode 3 Knowledge Production in Quadruple Helix Innovation Systems: 21st-Century Democracy, Innovation, and Entrepreneurship for Development*. Springer.

- Carayannis, E., Barth, T. & Campbell, D. (2012) The Quintuple Helix Innovation Model: Global Warming as a Challenge and Driver for Innovation, *Journal of Innovation and Entrepreneurship* (Springer Open Journal),
<http://www.innovation-entrepreneurship.com/content/1/1/2> (accessed: January 5, 2018)
- Chesbrough, H. (2012). Open Innovation: Where We've Been and Where We're Going. *Research-Technology Management*, July-August 2012, pp. 20-27.
- David, P. (1990). The Dynamo and the Computer: An Historical Perspective on the Modern Productivity Paradox. *The American Economic Review*, 80(2), pp. 355-361.
- Edquist, C. (1997). *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*. Pinter.
- Floridi, L. (2014). *The Fourth Revolution: How the Infosphere is Reshaping Human Reality*, Oxford University Press. (邦訳:『第四の革命—情報圏(インフォスフィア)が現実をつくりかえる』、新曜社、2017年)
- Freeman, C. (1987). *Technology and Economic Performance: Lessons from Japan*. Pinter.
- Gordon, R. (2012). Is U.S. Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds. *NBER Working Paper 18315*. <http://www.nber.org/papers/w18315> (accessed: February 07, 2019).
- Leydesdorff, L. & Etzkowitz, H. (1998). The Triple Helix as a Model for Innovation Studies. *Science and Public Policy*, 25(3), 195-203.
- Lundvall, B-Å. (ed.) (1992). *National Innovation Systems: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Pinter.
- Mazzucato, M. (2015). *The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths*. Public Affairs; Revised. (邦訳:『企業家としての国家—イノベーション力で官は民に劣るといふ神話』、薬事日報社、2015年)
- McMillan, J. (2002). *Reinventing the Bazaar: A Natural History of Markets*, Norton & Co. Inc. (邦訳:『市場を創る—バザールからネット取引まで』、NTT出版、2007年)
- Monteiro, S. & Carayannis, E. (eds.) (2017). *The Quadruple Innovation Helix Nexus: A Smart Growth Model, Quantitative Empirical Validation and Operationalization for OECD Countries*. Palgrave Macmillan.
- Mowery, D. (2009). Plus Ça Change: Industrial R&D in the “Third Industrial Revolution.” *Industrial and Corporate Change*, 18(1), pp. 1-50.
- Nelson, R. (ed.) (1993), *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*, Oxford University Press.
- OECD (1997). *National Innovation System*.
<https://www.oecd.org/science/inno/2101733.pdf> (accessed: December 28, 2017).
- Phelps, E. & Tilman, L. (2010). Wanted: A First National Bank of Innovation. *Harvard Business Review*, January-February 2010 issue.
<https://hbr.org/2010/01/wanted-a-first-national-bank-of-innovation> (accessed: December 29, 2017).

- Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution: What It Means and How to Respond. (reprinted in “*The Fourth Industrial Revolution*,” Foreign Affairs Special Collection, pp. 3-11)
- Soete, L., Verspagen, B., Weel, B. T. (2010). Systems of Innovation. In: Hall, B. and Rosenberg (eds.). *Handbook of the Economics of Innovation*. Elsevier, pp. 1159-1180.
- Tidd, J. and Bessant, J. (2009). *Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change* (2nd edition.). John Wiley & Sons.
- Wolf, M. (2016). Same as It Ever Was: Why the Techno-optimists Are Wrong? (reprinted in “*The Fourth Industrial Revolution*,” Foreign Affairs Special Collection, pp. 116-128)
- World Economic Forum (2016). *The Global Competitiveness Report 2016-2017*.
http://www3.weforum.org/docs/GCR2016-2017/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2016-2017_FINAL.pdf (accessed: December 30, 2017).
- 伊本貴士 (2017) 「IoT の導入で必要なのは行動力」、日経テクノロジー online
<http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/column/15/070800054/122700036/?ST=bigdata> (アクセス日: 2018年1月3日)
- 児玉文雄 (1991) 『ハイテク技術のパラダイム—マクロ技術学の体系』、中央公論社
- 後藤晃 (2016) 『イノベーション—活性化のための方策』、東洋経済新報社
- 野口悠紀雄 (1995) 『1940年体制—「さらば戦時経済」』、東洋経済新報社