

# 技術進化から見たデジタル変革

## Digital Transformation from the Perspective of Technological Evolution

砂田薫<sup>†</sup>

Kaoru Sunada<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 国際大学グローバル・コミュニケーション・センター

<sup>†</sup> Center for Global Communications, International University of Japan.

### 要旨

現在進行しているデジタル変革について、イノベーションの経済学の知見を参照しつつ、技術進化の歴史的視点から考察を行う。そのさい、長期にわたって経済社会の構造を大きく転換させる汎用的な技術「GPT」があることに注目して分析した。また、デジタル変革を促している技術進化の方向性には、第一に既存の境界の融解、第二に全体最適と個別最適の同時進行、という二つの特徴がある。とりわけ、人間と機械の境界が曖昧になっていくなかで、情報システム学と人間学の結合が後重要になっていくと考えている。

## 1. はじめに

経済産業省は2018年9月7日、日本の企業がデジタル変革（DX：Digital Transformation）を目指すために、ITシステムの現状と課題を整理した「DXレポート～ITシステム「2025年の崖」の克服とDXの本格的な展開」と題したレポートを公表した[1]。DXについてはさまざまな定義があるが、同レポートでは「企業が外部エコシステム（顧客、市場）の破壊的な変化に対応しつつ、内部エコシステム（組織、文化、従業員）の変革を牽引しながら、第3のプラットフォーム（クラウド、モビリティ、ビッグデータ/ソーシャル技術）を利用して、新しい製品やサービス、新しいビジネス・モデルを通して、ネットとリアルの両面で顧客エクスペリエンスの変革を図ることで価値を創出し、競争上の優位性を確立すること」というIDCジャパンによる定義を採用している。

これに代表されるように、日本においては、デジタル変革を企業のITシステムの課題であると狭義にとらえてミクロの視点から議論することが多い。また、そのことが日本の企業や産業にとってきわめて重要な課題であることも確かである。しかし、現在進行しているデジタル変革は決して経済面に限定された現象ではない。2004年に「Information Technology and the good life」と題した論文で初めて「Digital Transformation」という概念を提唱したEric StoltermanとAnna Croon Forsによれば、ITが社会に広く浸透することで人々の生活をあらゆる面で良い方向に変化させていく、というより広い意味で用いられていた[2]。

本稿では、デジタル変革について後者の広義の定義を採用し、より長期的・マクロ的な視点から議論を進めたい。そして、技術進化の歴史を踏まえてデジタル変革について考察を行うことを目的とする。なお本稿は、国際大学グローバル・コミュニケーション・センターが発行するOPINION PAPERとして公表された筆者の2本のエッセイに基づいている[3]。

## 2. 社会変革を促す技術進化

情報社会論の先駆者である増田米二は、1985年の著作で、人類社会を根本的に変革してしまうような革新的技術群を「社会的技術」と呼び、社会と技術の関係という観点から人類の歴史を「狩猟社会」「農業社会」「工業社会」「情報社会」の4段階に分類した[4]。それから30年余りを経た2016年、日本政府は第5期科学技術基本計画で「情報社会」の次の段階を「ソサエティ5.0」と名付け、「仮想空間と現実空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会」と定義した。現在進行中のデジタル変革によって、社会に根本的な変化がもたらされ、情報社会から「超スマート社会（ソサエティ5.0）」へと移行するというシナリオである。また、産業構造の変化から見ると、日本政府はデジタル変革を第四次産業革命と位置付けている。

ところで、ネオシュンペタリアン（新シュンペーター学派）のイノベーションの経済学では、増田のいう「社会的技術」ときわめてよく似た「GPT (General Purpose Technology)」という概念がある。Richard G Lipseyらは、GPTには紀元前9000年頃の「植物の栽培」から21世紀の「ナノテクノロジー」に至るまで計24の技術があると指摘し、それらを鉄道・自動車・コンピュータ等の「プロダクト」、バイオテクノロジー・ナノテクノロジー等の「プロセス」、工場制度・大量生産・リーン生産といった「組織」の3つに分類した[5]。

筆者は、24のGPTが「情報・コミュニケーション」「動力・エネルギー」「移動・輸送」「生命・生物（食・医療・環境）」という4分野に大分類できることに気づき、産業革命の分析にあたってはむしろ社会インフラを構成するこの4分野に注目すべきではないかと考えた。そのうえで18世紀後半以降の技術の変遷を整理したのが下の表である。表からは、第一に、蒸気を動力とする移動手段（鉄道）の登場にみられるように、4分野の間での横断的な新結合が経済と社会を変えるようなイノベーションに結びついていること、第二に、どの時代でもイノベーション原理となる組織のGPTが生まれていること、の2つが重要なポイントであることがわかる。また、ジェレミー・リフキンが指摘したように、それぞれのインフラがインターネットによって統合されていき、境界がなくなっていく点も重要である[6]。

表. 社会インフラの中核技術の変遷

産業革命 (時代)	先導国と波及先	社会インフラを構成する4分野の中核技術とGPT				イノベーション原理
		情報・コミュニケーション	動力・エネルギー	移動・輸送	生命・生物 (食・医療・環境)	
<b>第1次産業革命</b> (18世紀後半～)	英国から欧州、米国へ波及	郵便 電信 <u>印刷機</u> (蒸気式)	<u>蒸気機関</u>	<u>鉄道</u> <u>鉄製汽船</u> 運河・水路 道路	農業革命(農法や農業経営の改革)	<u>工場制度</u> 機械機械 資本主義的土地所有
<b>第2次産業革命</b> (19世紀後半～)	米国から欧州、日本へ波及	電話 ラジオ テレビ	<u>内燃機関</u> <u>電気</u> 化石燃料(とくに安価な石油)	<u>自動車</u> <u>飛行機</u>	食肉処理工場 農業・漁業の機械化	<u>大量生産</u> ・大量消費 規模の経済 中央集中型巨大組織
<b>第3次産業革命</b> (20世紀後半～)	米国から欧州、日本へ波及	<u>コンピュータ</u> <u>インターネット</u>	<u>電気</u> (原子力等による中央集中型電力システム)	道路・港湾・空港ネットワーク	<u>バイオテクノロジー</u> 遺伝子操作	<u>リーン生産</u> ニッチ市場 情報化・自動化 グローバル化
<b>第4次産業革命</b> (21世紀前半～)	米国・ドイツを起点に欧州、アジアの主要国がほぼ同時に追随	IoT, AI SNS ブロックチェーン 量子コンピュータ 人間中心の情報システム	再生可能エネルギー <u>電気</u> (再エネ等による自律分散型電力システム) デジタルグリッド	自動走行車 電気自動車 コネクテッドカー ドローン パーソナルモビリティ 水素燃料電池車	農業・漁業のIoT化 再生医療・個別化医療 分子ロボット医療( <u>ナノテクノロジー</u> との結合) 脳とAIの結合	デジタル化 スマート化 生産と消費の近接 共有型経済 自律分散協調型組織 限界費用低減

(Perez, Lipsey, リチャード・リフキン、阿部力也および第四次産業革命に関する日本政府公開資料を参考に筆者作成、

下線はLipseyらが定義したGPT)

社会の変革を促す技術の進化について考えるとき、増田米二ほど長期の時間軸で見なくとも、歴史的視点からの分析は重要である。その例として、産業界ではガートナー社が1995年から発表している先進テクノロジーのハイプサイクルがよく知られている。

一方、アカデミックな研究では、新シュンペーター学派が技術変化の規則性・連続性・不連続性に注目しつつ、「軌道」や「パラダイム」といった概念を用いて歴史的考察を蓄積してきた。その代表的な研究者であるクリストファー・フリーマンは、技術革新について、①連続的な改良をもたらす「漸進的革新 (incremental innovation)」、②非連続的な変化をもたらす「根本的革新 (Radical innovation)」、③その両者が結びつき関連する技術革新が引き起こされて経済の1部門あるいは複数部門に影響を及ぼす「新技術システム」、④長期間にわたって経済全域に影響を与え生産と分配の様式を変える「技術経済パラダイムの転換」の4つに分類した[7]。これに従えば、超スマート社会への移行とは明らかに技術経済パラダイムの転換を意味することになる。

しかし、技術経済パラダイムという概念を提唱したカルロタ・ペレスは、「産業革命」(1771年～)以

降を、「蒸気・鉄道」(1829年～)、「鉄鋼・電気・重工業」(1875年～)、「石油・自動車・大量生産」(1908年～)、「情報通信」(1971年～)の5つの時代(技術経済パラダイム)に分類し、現在を情報通信パラダイムの後半にさしかかる時期と位置付けている。一つのパラダイムは50～60年続き、前半の20～30年は新たな技術基盤が急速に発展する「導入期」、後半の20～30年は着実に技術が発展し社会に浸透する「展開期」で、その変わり目に経済危機や不景気が起こる「転換期」があるとしている。転換期の長さは数年で終わる場合もあれば20年近くに及ぶこともある。ペレスは2017年8月のインタビューで、情報通信パラダイムの転換期は2000年に始まったが、そろそろ終わりを告げ展開期に入ると答えている[8]。

この理論に基づけば、情報通信パラダイムの導入期においてはコンピュータとインターネットによって特定分野に変化をもたらされ、リーマンショック等の危機に陥った転換期を経て、展開期に入るとIoT・AI・ロボットの本格普及によるデジタル変革であらゆる分野に変化が及び、そして最終的にスマート社会が到来すると整理できるだろう。

たしかに導入期の大きな変化は、主に情報・コミュニケーション分野で起こった。音声・絵・文字・紙・印刷機・電話・写真・新聞・映画・ラジオ・テレビ・コンピュータ・インターネットなど、人類はコミュニケーション手段であるメディアを次から次へと発明してきたが、コンピュータの革新性は、デジタル化によるメディア融合、すなわち既存の異なるメディア間の境界を融解させた点にある。その結果、新しい製品・サービスが次々と生まれ、今日ではスマートフォンがその代表例となっている。

### 3. デジタル変革における進化の特徴

以上、デジタル変革の歴史的な位置づけは、「第四次産業革命」であったり、「情報通信パラダイムの展開期」であったりと異なる見方が存在するが、いずれにしても、技術進化の方向性は、第一に既存の境界の融解、第二に全体最適と個別最適の同時進行、という二つの特徴がある点に注目すべきだろう。

IoTによって境界融解という変化はあらゆる分野と業種で進行しつつある。社会インフラにおいては、①情報・コミュニケーション、②動力・エネルギー、③移動・輸送、④生命・生物、の4分野でデジタル化が進み、インフラの統合と再定義が始まっている<sup>i</sup>。動力・エネルギーでは電力インフラのスマート化が進み、移動・輸送においてもコネクテッドカー、自動走行車、ドローン、MaaS (Mobility as a Service : サービスとしてのモビリティ) をめぐる開発競争が激しさを増している。生命・生物分野におけるデジタル化と他分野との結合も急速に進みつつある。

境界をめぐる変化は異なる分野・業種の間だけで起こっているのではない。仮想空間と現実空間の境界では、AR (拡張現実) /VR (仮想現実) /MR (複合現実) といった技術や、現実世界と同じものを仮想空間で再現するデジタルツインのような技術概念が登場している。また、人間と機械の境界においては、生体認証、会話型AI インタフェース、ブレイン・マシン・インタフェースなど、新たなユーザーインタフェースの開発が進んでいる。それだけでなく、生命と非生命の境界においてさえ、合成生物学や分子ロボティクスの研究開発が活発になっている。これらは必ずしも境界を完全に融解させるとまでは言えないにしても、境界に関する既存の概念や感覚をゆさぶる技術と位置付けることができる。

境界の融解が情報通信パラダイムの導入期で始まり、展開期で全面化していくのに対し、展開期に向けて現れた新潮流として全体最適と個別最適の同時進行がある。従来の最適化は、企業組織や行政機関ごとの部分最適が重視され、全体最適か部分最適かという二律背反で捉えられがちだった。だが、今後はそうではなく、産業や社会全体の最適化が進んでいく一方で、同時に、個人を対象としたパーソナライゼーションが高度化して個別最適も実現していく。

シェアリングエコノミーの台頭はその表れといえよう。社会的に見れば遊休資源を無駄なく再配分する全体最適であり、同時に、個人の細かなニーズに対応し個人間取引を可能にする個別最適でもある。API エコノミーもまた、個別ニーズに対応しつつ、全体最適によって資源と時間を節約するというベクトルに沿って成長した。

こうした新しい最適化を支える技術概念や技術群には、ビッグデータ解析、プラットフォーム、API、ブロックチェーン、3D プリンター、ユーザーインターフェースなどが含まれる。また、コンピュータ開発においても変化が表れている。ムーアの法則が限界に達したことを背景に、量子コンピュータへの期待が高まると同時に、個別領域に特化したアーキテクチャー（DSA：ドメイン・スペシフィック・アーキテクチャー）が注目され、エネルギー効率の高い専用プロセッサ開発が進められている。パーソナライゼーション技術、個別専用のコンピューティング技術の重要性が高まる一方で、独立した複数のシステム間の連携をとる System of systems のように全体最適を指向する技術概念が重視されている。

## 4. おわりに

以上見てきたように、「境界の融解」と「全体最適と個別最適の同時進行」という二大潮流のもとで技術が進化し、社会のデジタル変革は不可逆的に進んでいくだろう。だとすれば、仮想空間と現実空間の区別や、組織や業界の区別といった既存の境界意識から脱却して、個人と社会の両方に利益を生み出す技術の利用を考えることが重要な課題となる。これまでは、主に仮想空間において、コンピュータとインターネットの画期的な利用方法を考え普及させた IT 企業が、結果として、膨大なデータを保有する巨大プラットフォームへと成長を遂げた。情報通信パラダイムの展開期に入ると、仮想空間と現実空間の両方で、IoT・AI・ロボット等も含めた IT を、個人と社会のためにいかに利用するかが問われるようになる。

そのさい、「人間中心の情報システム」がきわめて重要なキーワードとなる。というのは、人を生産性的手段と位置付けた経済活動においては、人間が機械に近づいてきた。今後、AI や人間の五感をコントロールする技術の進歩によって、人と機械の境界が曖昧になってくると、ますます人間が他者の目的を達成するための手段と位置付けられた応用が広がりかねない懸念がある。それを避けるためには、情報システム学と人間学との統合が求められている。

## 参考文献

- [1] 経済産業省(2018)「DX レポート」 <http://www.meti.go.jp/press/2018/09/20180907010/20180907010-3.pdf>
- [2] Stolterman, Eric & Fors, Anna (2004) 「Information Technology and the good life」  
<http://www8.informatik.umu.se/~acroon/Publikationer%20Anna/Stolterman.pdf>
- [3] 砂田薫(2017)「デジタルグリッドで加速する第4次産業革命」  
<http://www8.informatik.umu.se/~acroon/Publikationer%20Anna/Stolterman.pdf>
- 砂田薫 (2018)「超スマート社会へ向かう技術進化の二大潮流」  
<http://www.glocom.ac.jp/opinionpaper/op21/>
- [4] 増田米二 (1985)『原典情報社会—機会開発者の時代へ』、TBS ブリタニカ
- [5] Richard G. Lipsey, Kenneth I. Carlaw, and Clifford T. Bekar, (2005) . Economic Transformations: General Purpose Technologies and Long Term Economic Growth., Oxford University Press, p.132.
- [6] ジェレミー・リフキン著 (柴田裕之訳) (2015)『限界費用ゼロ社会<モノのインターネット>と共有型経済の台頭』、NHK 出版
- [7] Freeman, Christopher (1992) *The Economics of Hope*, Pinter Publishers, p76-81. 杉本伸 (2012)「技術革新と社会的技術選択過程—ネオ・シュムペタリアンの議論から得られる示唆—」  
[http://www.unotheory.org/files/No8/newsletter\\_2-8-4.pdf](http://www.unotheory.org/files/No8/newsletter_2-8-4.pdf)
- [8] <http://www.strategy-business.com/article/Are-We-on-the-Verge-of-a-New-Golden-Age?gko=f0fed>