

論文

第四次産業革命の進展によるデジタル技術革新と労働代替の可能性

井上 湧太

はじめに

インターネットが急速に発展する中で、さまざまな物事にロボットや人工知能（AI : Artificial Intelligence）のようなデジタル技術を活用する事例が増えている。これらの科学技術は私たちの生活に利便性をもたらした。そんな中で、「将来、AI が人間の仕事を奪う」という説がある。このまま AI などのデジタル技術が発展していけば、労働において人間が担ってきた部分をデジタル技術が代替してしまうのではないかという。これを聞くと、労働者にとっては将来の雇用について不安を感じてしまうと考えられる。しかし、そのようなことが危惧される一方で、デジタル技術による労働の代替や生産性の向上は、人口減少が進む日本の人手不足を解消する鍵になるのではないかと考えられる。

そして、デジタル技術の分野で注目されているのが第四次産業革命である。18 世紀末にイギリスで始まった第一次産業革命を始めとして、これまで第三次産業革命まで起きているとされており、産業構造の変化とともに労働の形も変化してきた。そして、2021 年現在、デジタル技術の発展を核とした技術革新である第四次産業革命が起きているといわれている。本稿ではこの第四次産業革命とはどのようなものなのか、デジタル技術による労働の代替はどのように進むのか、そして第四次産業革命の進展によって発生する可能性のある問題とその対策について考察する。

第 1 節 第四次産業革命の概要

1.1 第四次産業革命の下地となった過去の産業革命

第四次産業革命について考察する前に、過去に起きた 3 つの産業革命が社会にどのような影響をもたらしたか確認しなければならない。なぜなら、過去の産業革命が第四次産業革命の下地となっているからである。

まず、18 世紀末にイギリスで始まった第一次産業革命は、自動織機の発明や蒸気機関の出現、石炭の利用という生産技術とエネルギーの革新であった。これによって工業化が進み、軽工業や鉄鋼業などさまざまな産業が発展する中で、資本が集中する都市に労働者が流れ込み、人口の都市集中が起きた。これに加え、機械化によって単純労働が多くなったことで労働者は不利な条件で働かされるようになり、長時間の低賃金労働を強いられるようになった。熟練が必要ない仕事も増え、劣悪な環境で女性や子どもが働く場合も多かった。このような状況下で資本家と労働者という資本主義社会という構造が確立した。

次に、19世紀にドイツとアメリカで始まったとされる第二次産業革命は、重化学工業中心の技術革新であり、エネルギーの主力は石油と電力であった。自動車工場等では労働は分業化された大量生産が始まった。労働者がそれぞれの持ち場で同じ作業を繰り返すことで生産効率が大きく引き上げられた。重化学工業や石油エネルギーの利用には莫大な資本が必要であったため、資本の集中・独占が進んだ。

最後に、第三次産業革命であるが、第一次・第二次産業革命は統一的な見解が得られているのに対し、第三次産業革命は定義がはっきりしていない部分が多い。尾木(2015)は第三次産業革命をエレクトロニクスや情報技術の活用による自動生産の促進としており、これによって生産効率が大きく上がったと述べている¹。これに対し、山形(2015)はインターネットの発達による産業の動きや技術的な変化は存在するが、経済統計的にみて第一次・第二次産業革命ほどの変革ではなく、第三次産業革命と呼べるほどのものであるかの判断については慎重な姿勢をとっている²。この他にも、リフキン(2012)は、インターネット通信技術と再生可能エネルギーの発展を第三次産業革命としたが、彼はこれをこれから起きるものとしており、過去に起きた第三次産業革命とされる革新については存在を認めていないと考えられる³。

このように、第三次産業革命は定義がはっきりしていない部分が多いが、第二次産業革命以降に産業分野で起きた最も大きな変化は、ME (Micro Electronics) 化であったと考えられる。MEとは製造機械の制御部分にマイクロエレクトロニクスを組み込むことによって、人間の作業を再現し自動化する技術のことである。作業工程の自動化が進んだことによって、肉体労働が減少し、事務職が増えるといった労働力編成の変化が起きた⁴。

ここまで第一次～第三次までの産業革命をみてきたが、産業革命が起こるたびに技術革新が社会に大きな影響を与え、労働の形を変えてきたことが分かった。これらの改革と同様に、第四次産業革命の技術革新も社会に大きな影響を与え、労働の形を変えると考えられる。加えて、第四次産業革命がこれらの産業革命を踏まえたものであることが確認できた。

1.2 デジタル技術の革新である第四次産業革命

第四次産業革命とは文字通り「第四の産業革命」のことであり、第一次～第三次産業革命以降に起きる、もしくは2021年現在起きていると考えられる革新である。第四次産業革命という言葉が注目されたのは、ドイツが提唱し、推進している「インダストリー4.0」がきっかけであり、この言葉自体が第四次産業革命と訳される。第一次～第三次の産業革命が過去を振り返って社会が大きく変化した変革のことを指すのに対し、第四次産業革命は、社会に影響を与えているAIやモノのインターネット (IoT: Internet of Things) のようなデジタル技術が産業革命を起こしているのではないかと、もしくはこれらの技術を活用して産業革命を起こし、ものづくりを発展させ

¹ 尾木(2015) p. 23.

² 山形(2015) pp. 11-12.

³ リフキン(2012) pp. 64-67.

⁴ 富田(2011) pp. 1-3.

ようという意味を含んだ言葉なのである。

日本では、日本経済 2016-2017 において第四次産業革命について言及されている。まず、内閣府は IoT や AI といったデジタル技術の革新が第四次産業革命のコアとなる技術革新であるとしている。さらに、第四次産業革命には 4 つの流れがあるとしている。第一は、財・サービスの生産・提供に際してデータの解析結果をさまざまな形で活用する動きである。これによって商品やサービスの質の向上、それぞれの顧客に合わせた商品の提供が可能になる。第二は、個人が所有する遊休資産を他者に提供するシェアリング・エコノミーである。インターネットがより広範囲に繋がることによって、サービスの利用者と提供者を素早くマッチングすることができ、シェアリング・エコノミーが可能になる。第三は、AI・ロボットの活用である。2020 年 4 月には公道での自動運転レベル 3 の利用が解禁されるなど AI・ロボットが活用され始めている。第 4 は、金融と技術を組み合わせたフィンテックの発展である。

そしてその結果、第四次産業革命が社会にもたらす変化は以下のとおりである。

- ①大量生産・画一的サービス提供から個々にカスタマイズされた生産・サービスの提供
- ②既に存在している資源・資産の効率的な活用
- ③AI・ロボットによる、従来人間によって行われていた労働の補助・代替⁵

第四次産業革命は進行中であるため、その概観はそれぞれの国や団体、個人によって違いがみられ、新たな要素が加わる可能性があるが、デジタル技術を重要視していることは共通しており、以後もデジタル技術を核として革新が進んでいくと考えられる。

1.3 各技術の定義

過去の産業革命において、技術の発展が労働の形を変化させてきたが、第一次・第二次産業革命において主役であった技術は「機械」、第三次産業革命において主役であった技術は「ME」、第四次産業革命で主役になると考えられる技術は「デジタル技術 (IoT 及びビッグデータ+AI)」である。

まず機械とは、動力によって作動し、一定の運動・仕事を行う装置のことである。第一次・第二次産業革命期に活躍した科学技術は自律的に作業を実行するものではなく、人間の制御によって作動していたことから機械に分類できると考えられる。

次に、日本工業規格 (2015) は、ロボットとは「二つ以上の軸についてプログラムによって動作し、ある程度の自律性をもち、環境内で動作して所期の作業を実行する運動機構」と定義している。つまりロボットとは、機械の中でも人間の代わりに作業を行う自律的な機械のことである。第三次産業革命期において活躍した科学技術は産業用ロボットや FA (Factory Automation) 装置などは、自律的に作業を実行し、自動生産が行われていたことからロボットに分類できると考えられる⁶。

⁵ 内閣府 (2017)。

⁶ 日本工業規格 (2015)。

最後に、IoT及びビッグデータ・AIについてである。

IoTとは「モノのインターネット (Internet of Things)」の略であり、自動車、家電、ロボット、施設などあらゆるものがインターネットにつながり、情報のやり取りをすることで、モノのデータ化やそれに基づく自動化等が進展し、新たな付加価値を生み出すというものである⁷。

ビッグデータとは巨大化したデータの集まりのことで、個人が使用するデータ管理用のソフトウェアや、企業が使用する従来のデータ処理システムでは、記録や保管、解析などの処理を行うことが難しいほど膨大な量のデータをビッグデータと呼ぶ。情報端末の普及と小型化、通信ネットワークの高速化、センサー技術の高性能化、コンピュータの情報処理能力の向上などの情報通信技術の発達によって、人、社会、環境に関するさまざまなデータをリアルタイムに取得することが可能となり、さらには蓄積されたデータをパターン認識や統計学、AIなどを用いてデータ解析を行うことができるようになった⁸。

AIについては、総務省 (2016) は、「知的な機械、特に、知的なコンピュータプログラムを作る科学と技術」と説明しているが、AIの定義は研究者によって異なっており、堅固な定義をすることは難しいとしている⁹。

そして2021年現在、AIはロボットの知能・制御系の要素として取り込まれていたり、AIの機械学習やディープラーニングの発展をビッグデータに活用し、膨大なデータの管理・処理が可能になっていたりすることから、さまざまなデジタル技術が密接に関わりあっていることがわかる。

1.4 第四次産業革命のコアとなる ICT 産業

インターネットの急速な普及とともに、第四次産業革命のコアとなるIoTやAIのようなデジタル技術が発達してきたが、これらはICTである。ICTはInformation & Communication Technologyの略であり、情報通信技術という意味である。似ている言葉にIT (Information Technology)があり、意味はほとんど同じであるが、ITはコンピュータ関連の技術そのもののことであるのに対し、ICTは通信技術で人とインターネット、人と人が繋がる技術のことであり、「コミュニケーション」がより強調されている。国際的にはICTという言葉が一般的であり、日本においても政府がITからICTへと呼び方を変更するといった動きがみられて以後、ICTが一般的になっている。

ITからICTへと呼び方を変更する動きの背景には、インターネットとモバイル端末が急速に普及したことがある。世界のインターネットの利用者数は2001年の4億9500万人から2016年には34億8800万人に増加した。モバイル端末の普及はさらに著しく進展しており、2016年時点で携帯電話の加入数は約74億とされている¹⁰。私たちはモバイル端末を生活の一部として利

⁷ 総務省 (2015)。

⁸ 大谷・三橋・江口 (2015) p. 58.

⁹ 総務省 (2016)。

¹⁰ 総務省 (2012)。

用し、いつでもどこでもインターネットに接続することができるようになった。モバイル端末の普及によって情報処理と通信が一体化し、IT から ICT へと呼び方が変わったと考えられる。そんな中、ネットワークを活用して、流通や交通などさまざまな分野でシステムを改善する動きが始まり、AI やビッグデータ、IoT といったデジタル技術が活用されるようになったのである。

ICT 産業とは情報通信技術産業である。総務省（2015）は ICT 産業を①通信業、②放送業、③情報サービス業、④インターネット付随サービス業、⑤映像・音声・文字情報制作業、⑥情報通信関連製造業、⑦情報通信関連サービス業、⑧情報通信関連建設業、⑨研究の 9 部門としている。ICT 産業はコンピュータや通信機器を製造する「ICT 製造業」だけでなく、ICT を活用したサービスを提供する「ICT サービス業」も含むのである¹¹。

ICT 産業の動向について、表 1 の ICT 産業の範囲とその拡大から、世界で ICT 産業の流れを主導するアメリカを分析する。ここでは、ICT のコンピュータや通信機器を製造する部門を「ICT 製造業」、ICT に関連するソフトウェアと ICT を使用してビジネスサービスを行う部門を「ICT サービス業」とした上で、この 2 部門全体を「ICT 産業」とする。まず、ICT 産業全体の規模についてみると、ICT 業界全体の名目付加価値は 1990 年の 2987 億ドルから 2015 年には 1 兆 1476 億ドルへと 3.8 倍に成長しており、アメリカの民間経済全体の 5.2% から 7.3% に拡大している。次に就業者数についてみると、ICT 産業全体で 1990 年の 363 万人から 2015 年には 448 万人へと増加しているが、民間経済全体に占める割合で見ると 4.0% から 3.7% に減少している。このように、ICT 産業全体で見るとその名目付加価値は拡大したが、民間経済全体に占める就業者数の割合は減少しており、ICT 産業の生産性が急速に高まっていることがわかる。

そして、ICT 産業の中でも ICT 製造業と ICT サービス業を区別すると、それぞれ違った動向がみえる。ICT 製造業の名目付加価値は 1990 年の 888 億ドルから 2000 年には 2101 億ドルへと増加しているが、その後は 2015 年にかけて 1196 億ドルまで減少している。就業者数は 1990 年の 155 万人から一貫して減少し、2015 年には 86 万人となっている。これに対して ICT サービス業は 1990 年の 2100 億ドルから 2015 年には 1 兆 281 億ドルへと約 5 倍に増加している。就業者数 1990 年の 208 万人から 2015 年には 361 万人へと増加している。1990 年から 2015 年にかけて、ICT 製造業はその規模が縮小し、ICT サービス業は一貫して拡大してきた。このような推移がみられるのは、ICT の技術革新が急速に進展する中で ICT 製造業の製品価格が持続的に低下し、ICT 製造業の規模が縮小する一方で、ICT 製品の利用拡大によって ICT サービス業が拡大したからである¹²。

¹¹ 総務省（2015）。

¹² 田村（2018）pp. 201-206.

表1 ICT産業の範囲とその拡大

	名目付加価値 (10億ドル)				就業者数 (万人)			
	1990年	2000年	2010年	2015年	1990年	2000年	2010年	2015年
ICT 製造業	88.8	210.1	153.5	119.6	155.2	148.4	89.8	86.8
ICT サービス業	210.0	561.5	775.4	1,028.1	208.1	336.6	300.2	361.2
ICT 産業合計	298.7	771.7	928.9	1,147.6	363.3	485.0	390.0	448.0
民間経済全体に 占める割合	5.2%	7.8%	7.2%	7.3%	4.0%	4.4%	3.6%	3.7%

(出所) 田村 (2018) p. 203 より筆者作成。

第2節 第四次産業革命に向け協力する各国の動き

2.1 ものづくり大国として第四次産業革命にいち早く乗り出したドイツ

第四次産業革命の最初の大きな動きが始まったのはものづくり大国ドイツであった。第一次～第三次産業革命を踏まえ、新たな技術革新をドイツが主導し、さらに生産効率を高めることを目標に、国全体で動き出した。2013年4月から、政府・企業・大学や研究所が合同でプロジェクトを推進していく組織として「インダストリー4.0プラットフォーム」を組成し、第四次産業革命を意味するインダストリー4.0の実現に取り組み始めた。このプロジェクトでは、ものづくりのスマート化、デジタル化を大企業だけでなく、中小企業を含め国内企業全体で推し進める姿勢を打ち出した。ドイツの研究所の試算によると、このインダストリー4.0への取り組みによって、ドイツ国内で2025年までに11兆円、経済成長率を1.7%押し上げる経済効果をもたらすと予想されている¹³。

このプロジェクトの最大の特徴は、産官学連携の国家プロジェクトである点である。ドイツ政府は産業界や大学、応用研究所に対し、ドイツがインダストリー4.0プロジェクトを国を挙げて推し進めていくことを示し、これを政府として全面的に支援することを表明した。さらに、企業経営者、研究者だけでなく、労働者を保護する立場の労働組合もインダストリー4.0プロジェクトの一員として迎え、しっかりと社会としての準備を進めていく姿勢を表明した。

ドイツが国家プロジェクトとしてインダストリー4.0を始めたのは、ドイツが製造業の分野で新たな環境変化に直面しているからである。

第一の環境変化はICT、インターネットの普及である。アメリカのシリコンバレーを中心に、デジタル技術を活用した新しいビジネスモデルが台頭しつつある中で、ものづくりの製造プロセスにまでその影響が及ぶという考えが欧米で広がっており、ものづくり大国であるドイツにとって一人勝ちするアメリカのIT企業への危機感は大きかった。ドイツ企業がアメリカのIT企

¹³ 尾木 (2015) p. 17.

業の単なる下請けになってしまえば、低い収益の価格競争に巻き込まれてしまう可能性がある。

第二の変化は生産コストである。東欧諸国やアジア新興国が安い労働コストを武器に製造業の新たな集積地となって技術力を高めていることや、ドイツでは原発を廃止して再生可能エネルギー等へのシフトを進めていて、エネルギーコストの低下は見込めないことから、現状の生産コストを前提条件とした対策を立てなければならなかった。

第三の変化は消費者ニーズの多様化である。ドイツは大量生産を前提とした安い消費財の製造で新興諸国と価格競争をすることは得策ではないと考え、消費者ニーズの多様化に注目して高付加価値製品を製造し、国際競争力を維持・強化しようとしている。

これらの大きな環境変化に対応し、ドイツが製造業の分野でものづくり大国としての立場を維持・強化するために考えられたのがインダストリー4.0であった¹⁴。

2.2 幅広い産業分野での革新を狙うアメリカ

ドイツの次に第四次産業革命に向けた大きな動きがあったのはアメリカであった。2014年3月にアメリカのトップ企業（IBM、ゼネラル・エレクトリック、インテル、シスコシステムズ等）を中心にインダストリアル・インターネット・コンソーシアム（IIC: Industrial Internet Consortium）が設立され、航空・鉄道・石油ガス・電力・医療など、幅広い産業分野でインターネットを活用した消費者へのサービス提供を目指すと表明した。さらに、IICは世界中の企業にこのグループに入るよう呼びかけ始めた。

ものづくり大国である日本は、ドイツとアメリカのどちらが優勢かその実態を図りかねていた中、2015年にはインダストリー4.0の主要メンバーであったドイツ企業がアメリカのIICに入り始めた。ドイツとアメリカは競争関係にあるようにみえたが、ドイツのインダストリー4.0プロジェクトはものづくりの現場のデジタル化、スマート化を目指しているのに対して、アメリカのIICは広く産業全体をスマート化しようとしており、広い産業の中の一つの構成要素として工場があることを考えると、不自然な動きではないのであった¹⁵。

IICは「産業向けIoT」の実現を目指している。産業向けIoTはモノ・機械・コンピュータ・人のインターネットと定義されており、これを利用することでビジネスに革新がもたらされスマートな産業運営が可能になると考えられている。具体的には、産業アプリケーションを搭載した機械・機器・センサーをつないで使用しビッグデータを解析することで、効率性と信頼性を向上させることができ、さらには収集された有用なデータから新しいビジネスモデルや新事業を創出することが可能になると考えられている¹⁶。

産業向けIoTの実現に向け、IICは以下のような活動をしている。

¹⁴ 尾木（2015）pp. 44-52.

¹⁵ 尾木（2015）pp. 17-19.

¹⁶ Canavan（2019）.

- ・実世界における産業向け IoT の応用を視野に入れた既存及び新たなユースケースの活用とテストベッドの創出
- ・接続技術の導入を容易にするための最善の方法、参照設計、事例研究、標準要件の提供
- ・インターネット及び産業システムに関する世界標準の策定プロセスへの働きかけ
- ・実世界における産業向け IoT のアイデア、実行、教訓、洞察を共有・交換するオープンなフォーラムの促進
- ・産業向け IoT のセキュリティの新しい革新的なアプローチに関する信頼構築

ICC はこれらの活動を通じて、産業向け IoT が広くさまざまな分野で活用され、デジタル技術の革新を促進することに注力している¹⁷。

2.3 「世界の工場」の代償を革新で解決したい中国

中国は世界最大の人口を持つ国であるが、一人っ子政策によって出生率が抑えられ、急速に高齢化が進展している。これにより、安い労働力を前提としたものづくりの時代は終わりを迎えると考えられている。さらに、中国の賃金上昇によって工場を中国以外の新興国に移す「チャイナ・プラス・ワン」戦略も活発化している。加えて、中国は「世界の工場」のステータスを得た代償として環境問題に苦しんでいる。これらのことを踏まえ、中国では賃金上昇、環境問題を前提としたものづくりが考えられ始めており、デジタル技術の活用が求められている¹⁸。

第四次産業革命に向け、2015年には「互聯網+（インターネットプラス）」と「中国製造 2025」という2つの計画が策定された。

インターネットプラスはインターネット技術とほかの産業が結びつくことで、あらゆる産業と連携し、従来の産業の新たな発展の推進を目指している。インターネットプラスの推進により、オンライン決済サービスの急速な普及、共有單車（自転車シェアリング）の爆発的なヒット、デリバリーサービスの充実など、人々の生活スタイルが大きく変化している¹⁹。

中国製造 2025 は「中国版インダストリー4.0」ともいえる計画で、インダストリー4.0を強く意識した内容となっている。この計画の目標は「製造強国」の実現であり、これまでの大量生産型の工業経済の姿から高付加価値であることを重視した「中国の特色ある」工業に移行していき、2049年までに中国の製造強国化を実現するとしている。さらに、計画の具体施策として「デジタル化」がキーワードになっており、品質の高い製品の生産、製造過程における環境負荷の低減、インターネットなどの技術との融合なども基本戦略とされている²⁰。

¹⁷ JETRO (2021) p. 1.

¹⁸ 尾木 (2015) pp. 150-152.

¹⁹ JETRO (2017) p. 3.

²⁰ 横塚 (2018) pp. 2-3.

2.4 後れを取りながら第四次産業革命に向けて動き出した日本

第四次産業革命に向けて世界が動き出している中、日本は他国や他の企業の動向を探ったり様子を見たりといった受け身の姿勢であり、イノベーション活動を本格的に展開できていない状況であったが、2016年には「第5期科学技術基本計画」において、第四次産業革命に向けた取り組みを決定した。

この計画では、あらゆる主体が国際的に開かれたイノベーションシステムの中で競争、強調し、日本発のイノベーションの創出に向けて、各主体が持つ力を最大限発揮できる仕組みを人文科学および自然科学のあらゆる分野の参画の下で構築していくことで、日本を「世界で最もイノベーションに適した国」となるように導くことを目標としており、この目標を達成するために以下の4つの取り組みを政策の柱としている。

①未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取組

大変革時代において、日本が将来にわたり競争力を維持・強化していくため、国内外の潮流を見定め、未来の産業創出や社会の変革に先見性を持って戦略的に取り組んでいくことが欠かせない。このため、自ら大変革時代を先導していくことを目指し、ICTの進化やネットワーク化といった大きな時代の潮流を取り込んだ「超スマート社会」を未来社会の姿として共有し、新しい価値やサービスが次々と創出され、人々に豊かさをもたらす仕組み作りを強化する。

②経済・社会的課題への対応

経済・社会の構造が日々変化する中で、顕在化しているさまざまな課題に対し、先手を打って対応していく。

③科学技術イノベーションの基盤的な力の強化

起こり得るさまざまな変化に対して、科学技術イノベーションによりの確に対応していくため、若手人材の育成・活躍促進と大学の改革・機能強化を中心に科学技術イノベーションの基盤的な力の強化に向けた取組を進める。

④イノベーション創出に向けた人材、知、資金の好循環システムの構築

世界的にオープンイノベーションの取組が進む中で、国内外の人材、知、資金を活用し、イノベーションを迅速に進めていくことが日本の競争力を左右する。このため、企業、大学、公的研究機関の本格的連携とベンチャー企業の創出強化などを通じて、人材、知、資金のあらゆる壁を乗り越え循環し、イノベーションが次々と生み出されるシステムの構築を進める。

さらに、これら4つの取組を進めていく上で、社会の多様なステークホルダーとの対話を対話と協働に取り組んで科学技術イノベーションと社会との関係深化を図ることや、産学官のパー

トナーシップを拡大し、科学技術イノベーションの推進機能の強化をしていくことを推進にあたっての最重要事項とした²¹。

このように世界各国で第四次産業革命に向けた取組が行われているが、どの国においてもデジタル技術の革新に向けて産学官、そして国際的にも協力する姿勢である。デジタル技術の発展が進み、世界中のものづくり企業や産業界をつなぐことができるようになれば、ルールを同じくする主要グループへの集約が進むため、自分たちでグローバルプラットフォームを作ることが第四次産業革命における優位性を高めることにつながるのである²²。

第3節 第四次産業革命が起こす社会の変革

3.1 デジタル技術の活用で訪れるスマートな社会

スマート工場

ドイツはインダストリー4.0プロジェクトで、ものづくりの現場でのデジタル技術活用を重視しており、サイバー・フィジカル・システム（CPS：Cyber Physical System）という技術を使った「スマート工場」の実現を目指している。CPSは現実世界の工場の情報をデジタルデータに置き換えてコンピュータに吸い上げ、デジタル技術の力を活用して、一番効率的で速い、理想的な生産を実現してしまおうというものである。

スマート工場ではAIやIoTといったデジタル技術が活用される。ロボットや製造機械、さらには作られる製品にもセンサーやロボットとの通信機能を備え、工場内のあらゆるものがインターネットとつながり、設計や物流などの情報がAIに分析され、最も効率的な生産のために自動的に動く仕組みができあがるのである。しかし、ドイツはこのスマート工場は完全無人化を前提にしているのではなく、工場の中のさまざまなセンサーから上がってくる大量のデータを分析する機能をAIに受け持たせることで、効率的な生産を実現することができると考えているのである。

スマート工場では、消費者のオーダーメイドが可能になる。従来の製造業では生産のための部品や材料の調達、企画、設計を行った上で生産し、検査、出荷、物流のプロセスを経て消費者に販売されてきた。これに対し、スマート工場は消費者のデジタル発注から出荷までインターネットを通じた自動処理で行われるため効率が高まり、多品種少量生産、究極的にはそれぞれの消費者の好みに合ったオーダーメイドビジネスが可能になると考えられている。

さらに、消費者への販売が完了した後もIoTを活用したアフターサービスが可能となる。製造業は、製品を売ったら終わりのビジネスからセンサーやビッグデータ分析を駆使したアフターサービスで付加価値を高める新しいビジネスモデルにシフトしていくと考えられる²³。

²¹ 内閣府（2016）。

²² 尾木（2015）p. 20.

²³ 尾木（2015）pp. 24-35.

超スマート社会

内閣府は「第5期科学技術基本計画」において、世界に先駆けた「超スマート社会」の実現を目指している。超スマート社会とは、「必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要だけ提供し、社会のさまざまなニーズにきめ細かに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といったさまざまな違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことのできる社会」である。

この社会では、人とロボット・AIは共生し、サービスのカスタマイズや誰もがサービス提供者となる環境の整備によって、質の高いサービスを受けることができる。さらに、製造、交通など個々のシステムや、人事、経理のようなマネジメント機能や労働力の提供など、人が実施する作業の価値が組み合わせられ、さらなる価値の創出が期待される。その一方、超スマート社会はサイバー空間と現実世界が高度に融合した社会となるため、より高いセキュリティが必要となる。

このような社会の実現のためには、IoTによって得られたビッグデータをAIに解析させるというように、デジタル技術を連携させる必要があるとされている。つまり、ドイツが目指すスマート工場の技術を社会に応用させたものが超スマート社会であり、日本が目指すのはものづくりだけでなく社会全体のスマート化である²⁴。

3.2 「将来、AIが人間の仕事を奪う」のか

各国が理想の社会に向けて第四次産業革命を進めようとデジタル技術の発展を促進する中で、「将来、AIが人間の仕事を奪う」という説がある。このような説はマイケル・A・オズボーンらが2013年に発表した、さまざまな職業のAI化のしやすさ・しにくさを推定した研究がきっかけになっていると考えられる。この研究では、AIには難しい人間の技能（手先の器用さ・手先の素早さ・不安定な環境下での作業実施能力・独創力・芸術的能力・他者に対する洞察力・交渉力・説得力・他者へのサポート能力）を仮定し、アメリカ労働省が定めた702種類の職業において、それらの技能が一般的にどれだけ要求されるかという情報をもとに、AI化のしやすさ・しにくさを推定した。この研究では、全体の約47%の職業がAI化しやすいという結果が出たのであった。さらに、オズボーンは2015年には野村総合研究所と共同開発を行い、先の論文と同じ統計手法を使って、日本の労働政策研究・研修機構が定めた601種類の職業について分析し、日本の労働人口の約49%が10～20年後には人工知能やロボットなどにより代替できるようになる可能性が高いと発表した。これらのインパクトの強い結果が、「将来、AIが人間の仕事を奪う」といったニュースを巻き起こしたのであった。

しかし、これはあくまで「一般的に見れば」AI化しやすい、という研究結果であり、本当にAIにとって代わられるかどうか厳密に研究したものではないため、インパクトの強い研究結果

²⁴ 内閣府（2016）。

が取り沙汰され、世間の不安を煽ったことによって生じた説だと考えられる²⁵。

3.3 AIにできること・できないこと

では、2021年現在の「今のAI」には何ができて何ができないのだろうか。AIには人間から仕事を奪えるだけの優れた能力が備わっているのか、その実態を明らかにするために、AIに知性が備わっているかどうかを掘り下げていく。ここで、知性という言葉が何を指すのか決めなければならぬが、「人間のように、いろいろな仕事をこなせる」ために必要な能力を知性とするならば、知性は「自分で考えて環境に対応し、より良い成果を達成する能力」と定義することができる。このような知性をAIが持っているのか考えていく。

AIを実現するためのアプローチとして、強いAI、弱いAIという2つの考え方がある。強いAIとは、知性の仕組みを明らかにした上で、その仕組みをAIに搭載して、コンピュータに知的な作業を行わせる方法である。搭載された知性は、最初はほとんど何も理解していないが、「自分で考えて環境に対応し、より良い成果を達成する能力」を持っており、必要なことを自ら学んでいくことができる。まずは初歩的な知識を獲得し、それを基礎としてさらに高度な課題を解決できる能力を身につけていく、というように、人間と同じように成長することができるのである。知性をもち自ら学んでいくことができる強いAIのアプローチは理にかなった方法に思えるが、残念ながら現実的ではない。なぜなら、知性の仕組みをまだ誰も解明していないからである。解明できていない以上、作り方も分からない。

「今のAI」は、すべて弱いAIという考え方で作られている。弱いAIとは、「知的な作業に等しい結果を得られる仕組みを作る」というアプローチである。これはつまり、「知的な作業に等しい結果を得られる仕組みを、知的ではない方法を使って作る」ということであり、「今のAI」に知性はないのである。弱いAIには知性がないため、知的な作業をするために外部の知性に助けられている。つまり、人間に知的な作業の方針を設計してもらっている²⁶。

「今のAI」は弱いAIで、知性を持っていないことを説明してきたが、AIが知性を持つ上で何が足りないのかを明らかにするために、AIが知性を持つ上で必要な要素を列挙していく。ここで列挙するのは知性を持つために「少なくとも必要」な要素であり、これらの要素だけで必ず知性が達成できるとは限らないし、仮に知性が実現できたとしても、それが「人間の知性とまったく同じ」とは限らない。あくまで、「AIが持ちうる知性」として考えていく。

まず、知性とは「自分で考えて環境に対応し、より良い成果を達成する能力」であったが、「より良い成果を達成する」ためには、何かしら解決しなければならない課題があるはずである。「課題を自分で見つけて解決する」能力が知性に求められることだとすると、それには次の4つの力が必要となる。

²⁵ 藤本・柴原（2019）pp. 153-154.

²⁶ 藤本・柴原（2019）pp. 30-36.

- ・ 動 機：解決すべき課題を定める力
- ・ 目標設計：何が正解かを定める力
- ・ 思考集中：考えるべきことを捉える力
- ・ 発 見：正解へとつながる要素を見つける力

この4つの力は人間の知性をもとに考えることができ、動機は数ある課題の中で、自分が解きたいと願う課題を見つける力、目標設計はどうかすれば課題が解決できたとするのか、最善の解決にならなかったとしても、より満足のいく結果が得られたと捉えるのかを自分で決める力、思考集中は課題の解決に向けて、検討すべき選択肢や、目標に至るまでの手段を絞る力、発見は失敗を重ねながら、目標達成へとつながる要素を発見し、抱えていた課題の解決へとつなげる力である。これら4つが知性を形作っており、4つの要素をうまく組み合わせて、「自分で考えて環境に対応し、より良い成果を達成する」ことが知性の実現に必要なのである。つまり、知性の実現には4つの要素に加えて、「知性の4要素をうまく組み合わせる力」もまた必要なのである。

では知性の4要素について、「今のAI」はどこまでできているのかというと、「発見：正解へとつながる要素を見つける力」以外は、あまり実現できていない。特に、「動機：解決すべき課題を定める力」と「目標設計：何が正解かを定める力」は、ほとんどできておらず、「今のAI」では、解決すべき課題や何が正解かはAI設計者があらかじめ与えている。「思考集中：考えるべきことを捉える力」はある程度発達しているが、それでも人間の持つ能力には及んでいない。そして、これらの要素をいかにして組み合わせるのかという「知性の4要素をうまく組み合わせる力」もできていない²⁷。

ところで、AIは「Artificial Intelligence」の略語で、造られた（Artificial）知能（Intelligence）という意味であり、知性（Intellect）ではなく知能という言葉が使われている。この「知能」と「知性」について、多摩大学大学院の教授で、元官房長官参与の田坂広志は、知能を「答えのある問いに対して答えを見いだす能力」、知性を「答えのない問いに対して考え続ける能力」と定義している。つまり、AIが持っているのはすでに決まった正解を探す能力である「知能」であり、弱いAIは正解のある課題に対し、正解を見出すことを目的に、人間が作り出したシステムということができる²⁸。

²⁷ 藤本・柴原（2019）pp. 58-73.

²⁸ 松本（2018）pp. 28-30.

3.4 企業と消費者のデジタル技術への評価

どのような労働が代替されていくのか考えるにあたって、企業と消費者それぞれの視点からみたデジタル技術の評価に関する調査を参考にする。

まず、森川 (2016) で企業を対象に行われた、表2の将来 AI・ロボットが自社の経営に及ぼす影響についての評価に関するアンケートの結果をみると、すべての業界で「どちらとも言えない」が一番多く、新技術の影響がまだわかっていない企業が多かったが、AI・ロボットの影響がマイナスであると考えた企業は少なく、全企業のうち「マイナス」もしくは「大きなマイナス」と回答した企業は1.3%であった。これに対し、「プラス」もしくは「大きなプラス」と回答した企業は全体の27.5%であった。どの産業分野でも AI・ロボットに対してポジティブな評価の方が多かった。「プラス」もしくは「大きなプラス」と回答した割合が特に大きかったのは製造業と情報通信業であり、製造業で32.5%、情報通信業で42.4%であった²⁹。

表2 AI・ロボットが経営に及ぼす影響

	大きなプラス	プラス	どちらとも	マイナス	大きなマイナス
製造業	4.7%	27.8%	66.5%	0.8%	0.2%
情報通信業	8.5%	33.9%	54.5%	3.2%	0.0%
卸売業	1.8%	17.1%	79.8%	1.2%	0.2%
小売業	2.4%	18.4%	77.8%	0.8%	0.5%
サービス業	3.3%	18.4%	76.3%	1.1%	0.8%
その他	2.2%	17.8%	80.0%	0.0%	0.0%
全産業	3.9%	23.6%	71.3%	1.0%	0.3%

(出所) 森川 (2016) p. 13 より筆者作成。

この2つの産業について、表3の AI・ロボットが自社の雇用に及ぼす影響についての調査の回答をみると、情報通信業は「雇用増加」という回答が15.9%と全産業の中で最も高いのに対し、製造業は「雇用抑制」が29.3%と全産業の中で最も高いという真逆の結果であった。このことから、情報通信業は AI・ロボットを自社の産業を発展させる要素として捉えているのに対し、製造業は AI・ロボットを労働の代替目的でとらえていると考えられる。産業全体でみても、AI・ロボットが自社に及ぼす影響は雇用抑制的だとみている企業が21.8%と多く、雇用増加につながるとみている企業は3.9%と少ない。

²⁹ 森川 (2016) pp. 6-7.

表3 AI・ロボットが雇用に及ぼす影響

	雇用増加	無関係	雇用抑制	わからない
製造業	3.0%	21.8%	29.3%	45.9%
情報通信業	15.9%	30.7%	13.8%	39.7%
卸売業	2.0%	30.7%	13.9%	53.4%
小売業	1.9%	37.8%	16.8%	43.6%
サービス業	6.7%	42.3%	14.2%	36.8%
その他	0.7%	33.3%	15.6%	50.4%
全産業	3.7%	28.6%	21.8%	45.8%

(出所) 森川 (2016) p. 14 より筆者作成。

次に、消費者の視点でデジタル技術による労働の代替について考える。森川 (2016) で個人を対象に行われた「ロボットではなく人間にやってもらわなければ困ると思う」サービスについてのアンケートで、人間にやってもらいたいという回答は保育 58.9%、医療 56.3%、教育 47.5%、介護・看護サービス 37.9%、理容・美容サービス 29.7%、自動車の運転 21.8%であった。このことから、消費者側の視点から考えると、そのサービスの対話の重要性が高いほど人間志向が強いことがわかる³⁰。

これらの結果から、企業側は AI・ロボットによる業務の代替や効率化に期待しており、雇用抑制的になると考えている企業が多いことが分かった。しかし、消費者が人間にやってもらわなければ困ると考えるサービスがあることから、消費者のニーズという観点からみて、人間が担う労働がなくなってしまう可能性は低いと考えられる。

第4節 第四次産業革命の問題と対策

第四次産業革命は私たちの社会をよりよくする革新である一方で、新技術を活用した労働の代替による失業のような問題も考えられる。第一次産業革命期のイギリスでは、産業革命によって失業の危機にさらされた労働者が機械を破壊するというラッドライト運動が起きた。過去の産業革命で起きたことを振り返りながら、第四次産業革命で労働はどのように変化していくのか、そしてその変化にどのように対策していけばよいのか考える。

4.1 技術と人間は補完関係にある

過去から 2021 年現在にかけて、人間は技術革新によってさまざまなことを省力化してきたが、技術革新を経ても大多数の労働者は失業していない。生産量の単位あたりの労働量が明らかに

³⁰ 森川 (2017) p. 8.

削減されても、自動化は総雇用を削減してこなかった。それは、自動化によって代替されるのは部分的な労働で、自動化できない労働は人間によって補完されてきたからである。労働にはさまざまな要素があり、ある要素の生産性が向上すると、残りの要素を担う労働の経済的価値は高まる。

この例としてアメリカにおける現金自動預け払い機（ATM：Automatic Teller Machine）と銀行窓口係の補完関係がある。ATMはアメリカで1970年代に導入され、1995年から2010年にかけてその数は約10万台から40万台に増加した。ATMの増加は銀行の窓口係を排除したのではないかと考えられるかもしれないが、実際にはアメリカの銀行窓口係の雇用は一度減少したものの、1980年から2010年にかけてみると約50万人から約55万人にわずかに増加している。これは、ATM導入によって銀行の各支店の運営コストを削減することができたため、支店を増やすことができ、減少した雇用を相殺することができたからである。さらに、銀行窓口係の日常的な現金処理業務が減少するにつれて、より多くの銀行員が高度な業務に携わることができるようになったのである³¹。

人間の労働を全てデジタル技術で代替しようとして失敗した例として、ドイツの「コンピュータ統合製造（CIM：Computer Integrated Manufacturing）」という考え方がある。これは1980年代に成長する日本企業への対抗策として流行した考え方で、コンピュータを徹底活用して、ものづくりの効率を高めようというものであった。この取り組みは人間の労働を全てコンピュータと機械に置き換えようとしたことで投資が過大になり、知恵を出してもものづくりを支えてきた従業員も得られなかったため、失敗に終わった³²。

これらのことから、第四次産業革命が進む中でデジタル技術による労働の部分的な代替が起きた場合でも、デジタル技術では代替できない部分の労働の価値が上昇し、人間が担う労働はなくなると考えることができる。

4.2 デジタル技術が新たな産業をもたらす

これまで技術によって代替されてきた労働は部分的であり、人間と技術は補完関係であったことに加え、新たな技術によって生み出された資本財と補完的な労働による雇用の増加も失業を抑制した。これまでの技術革新において失業者が続出しなかったのは、新しい産業が生まれたことも大きく関係しているわけである。しかし、19世紀の政治経済学者が21世紀のファッションコンサルタントやサーバーセキュリティの専門家、オンライン評判管理者のような新しい職業を予測できなかったように、2021年現在に生きる私たちが新しい職業を予測することは難しい。これまでの技術革新でも新たな職業が生まれてきたように、デジタル技術の革新によっても2021年現在は想像できない職業やサービスが生まれると考えられ、労働需要は維持されると考

³¹ Autor (2015) pp. 3-5.

³² 飯村・日野編 (2015) p. 23.

えられる³³。

4.3 デジタル技術は少子高齢化を解決する

デジタル技術による労働の代替は失業を生むどころか、日本のように少子高齢化による人口減少に直面している社会の人手不足を解決する可能性がある。

そもそも、ドイツがインダストリー4.0プロジェクトを推し進める狙いの一つは「少子高齢化への備え」であった。少子高齢化が進むドイツでは、エンジニアの減少が見込まれているため、スマート工場によって従来エンジニアが担当していた仕事の一部をデジタル技術で代替しようとしているのである。

さらに、スマート工場の生産方法の改善や問題解決のためのサポートは在宅勤務でもカバーできると考えられており、ものづくりの分野で匠の技を磨いてきたエンジニアがこれまでの定年よりも長く働き続けることができるようになり、高齢化の対応策になると考えられる。それだけでなく、在宅勤務が増えることによって子育てと仕事の両立がしやすくなり、少子化の改善につながる可能性もある。

このように、デジタル技術による労働の変化は必ずしも失業のような悪い結果を招くものではなく、社会問題を解決することにもつながる³⁴。

4.4 富の格差が拡大してしまった場合の対策

これまでの技術革新で労働の代替が進むことによる失業は一時的なものであり、長期的にみれば労働需要は維持されてきたことから、第四次産業革命が進んでも労働需要は維持されると考えられるが、富の格差が広がってしまう可能性はある。資本主義経済では生産手段を資本として所有する資本家に富が集中しやすいが、デジタル技術が産業に関わる範囲が広くなればなるほど、生産手段としてのデジタル技術を持つ資本家に富が集中すると考えられるからである。2021年現在でも上位1%の富裕層の資産が国全体の個人資産に占める割合はアメリカで約35%、中国で31%、日本でおおよそ25%となっている³⁵。

デジタル技術による労働の代替が起き、富の格差が拡大してしまった場合の対策として、時間と富の再配分という方法が考えられる。社会が経済的に豊かになればなるほど富の配分はうまくいかなくなるため、テクノロジーの恩恵を手放したくなければ再配分をしなければならない。もし富の再配分が上手くいかなければ労働者＝消費者であるため、消費者の消費が期待できず経済が停滞してしまうからである。富の再配分としては、国民一人一人に対し、一定の購買力を政府が給付するベーシックインカムのような対策が考えられる。加えて、生産性の向上によって、

³³ Mokyr (2015) p. 6.

³⁴ 尾木 (2015) pp. 194-197.

³⁵ NHK (2021).

労働において人間が担わなければならない部分が減少した場合、労働時間の短縮によって労働の分担をしなければならないと考えられる。労働時間の短縮としては、生産性の向上に合わせて人間が担うべき労働を複数人で分け合い、ワークシェアリングしていくことが必要であると考えられる³⁶。

おわりに

2021年現在、世界に大きな変革をもたらしてきた3つの産業革命に続く第四次産業革命が進む真ただ中である。ドイツが提唱し、世界に広まっていった第四次産業革命に向けて世界各国でさまざまな取り組みがなされ、デジタル技術は急速に発展している。

これまでと違うのは、世界中で情報が共有される中で、各国が協力して産業革命を進めようと足並みをそろえていることである。デジタル技術は共通する部分が多いほどスムーズにその利益を享受でき、他国との協力でインセンティブが働くため、国同士で協力して発展を進めることができる。第四次産業革命の先に見据える目標はものづくりや社会のスマート化、あらゆる産業のIoT化、製造強国などそれぞれ違うが、デジタル技術を活用してより良い社会実現したいという思いは同じである。

しかし、技術革新に失業や労働の変化はつきものであり、第四次産業革命においても労働者の不安は生じている。過去の技術革新の例や、2021年現在のAIが持つ能力を踏まえると、第四次産業革命を経ても私たちの労働はなくなると考えられる。しかし、未だその可能性が未知数であるAIは私たちの社会にどのような影響を与えるのか、慎重に見極めながら利用していかなければならない。

参考文献

- ・飯村かおり・日野なおみ編(2015)『日経BPムック まるわかりインダストリー4.0 第4次産業革命』日経BP社。
- ・大谷和利・三橋ゆかり・江口晋太郎(2015)『ICTことば辞典 ネット時代のニュースがよくわかる250の重要キーワード』三省堂。
- ・尾木蔵人(2015)『決定版インダストリー4.0 第4次産業革命の全貌』東洋経済新報社。
- ・田村太一(2018)「グローバル化の推進軸としてのICT産業」河崎信樹・吉田健三・田村太一・渋谷博史『現代アメリカの経済社会 理念とダイナミズム』東京大学出版会。
- ・藤本浩司・柴原友一(2019)『AIにできること、できないこと ビジネス社会を生きていくための4つの力』日本評論社。

³⁶ プレグマン(2017) p. 181, 202-203.

- ・松本健太郎（2018）『AI は人間の仕事を奪うのか？ 人工知能を理解する 7つの問題』シーアンドアール研究所.
- ・弥永真生・宍戸常寿（2018）『ロボット・AI と法』有斐閣.
- ・山形浩生（2015）『第三の産業革命 経済と労働の変化』KADOKAWA.
- ・ブレグマン, ルトガー（2017）『奴隷なき道 AI との競争に勝つ ベーシックインカムと一日三時間労働』文藝春秋.
- ・リフキン, ジェレミー（2012）『第三次産業革命 原発後の次代へ経済・政治・教育をどう変えていくか』インターシフト.
- ・富田義典（2011）「ME 化ー「ME 革命」・「IT 革命」とは労働にとって何であったか」,
<https://www.jil.go.jp/institute/zassi/backnumber/2011/04/pdf/030-033.pdf>
- ・横塚仁司（2018）「製造業の高度化を目指す中国～中国は 21 世紀の「製造強国」になり得るか～」,
https://www.murc.jp/wp-content/uploads/2018/03/global_1803.pdf
- ・森川正之（2016）「人工知能・ロボットと企業経営」,
<https://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/16j005.pdf>
- ・森川正之（2017）「人工知能・ロボットと雇用：個人サーベイによる分析」,
<http://hermes-ir.lib.hit-u.ac.jp/rs/bitstream/10086/30378/1/DP17-004.pdf>
- ・Mokyr, Joel（2015）“The History of Technological Anxiety and the Future of Economic Growth : Is This Time Different?,”
<https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jep.29.3.31>
- ・Autor, David（2015）“Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation,”
<https://economics.mit.edu/files/11563>
- ・Canavan, Lynne（2019）“What is IIoT? The Industrial Internet of Things Primer,”
<https://blog.iiconsortium.org/2019/09/what-is-iiot-the-industrial-internet-of-things-primer.html>
- ・JETRO（2017）「「互聯網+（インターネットプラス）」で変わる 中国のライフスタイル 2017」,
<https://www.jetro.go.jp/world/reports/2017/02/7854a5ba68a23e2d.html>
- ・JETRO・IPA New York（2021）「インダストリアル・インターネット・コンソーシアム（IIC）の活動状況」,
<https://www.ipa.go.jp/files/000089452.pdf>
- ・NHK（2021）「“上位 1% 富裕層 世界の個人資産 4 割近く保有” 仏研究グループ」,
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20211227/k10013406141000.html>
- ・総務省（2012）「平成 24 年度版 情報通信白書」,
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h24/index.html>
- ・総務省（2015）「平成 27 年度版 情報通信白書」,
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/html/na000000.html>

- ・ 総務省 (2016) 「平成 28 年度版 情報通信白書」,
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/html/nc142110.html>
- ・ 総務省 (2017) 「平成 29 年度版 情報通信白書」,
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/h29.html>
- ・ 内閣府 (2016) 「第 5 期科学技術基本計画」,
<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf>
- ・ 内閣府 (2017) 「日本経済 2016-2017」,
<https://www5.cao.go.jp/keizai3/2016/0117nk/index.html>
- ・ 日本工業規格 (2015) 「JIS B013:2015 ロボット及びロボティックデバイスー用語」,
<http://www.kikakurui.com/b0/B0134-2015-01.html>