

# 専修大学社会科学研究所月報

The Monthly Bulletin of the Institute for Social Science  
Senshu University

ISSN0286-312X

No. 703

2022. 1. 20

## 目 次

日本のDX社会推進に向けた海外との連携について

—中国・華南地区を念頭に置いた事例研究— …… 遠山 浩 …… 1

ロボットやアバターと共存する未来社会へ

～ムーンショットプロジェクトの挑戦～ …… 中村 尚樹 …… 16

DXで変わる日本の産業—電機産業を中心に— …… 中村 吉明 …… 42

編集後記 …… 57



# 日本のDX社会推進に向けた海外との連携について —中国・華南地区を念頭に置いた事例研究—

遠山 浩

## 【目次】

1. エレクトロニクス産業を巡る産業集積の変遷①：京浜工業地域の変遷
  2. エレクトロニクス産業を巡る産業集積の変遷②：華南地区の変遷
  3. エレクトロニクス関連産業：京浜工業地域からみる華南地区
  4. DX化の進展と都市型産業広域化に求められる日本企業の組織化・ネットワーク化
- 補論：成熟社会に資するネットワーク構築に向けて

今日の日本産業にとってDX<sup>1</sup>化の進展が急務であることが、はからずもコロナ禍で露見した。DX化の進展が急務であることはコロナ禍以前から指摘<sup>2</sup>されていたが、DX化に適した生産要素の活用ができていない、企業組織・ネットワークを構築するガバナンス体制等ができていないことが背景にあると筆者は考えている。オープン・モジュラー型生産が主流となりアジア企業の猛迫を受けて日本のエレクトロニクス産業は国際競争力を失ってきたわけだが、この要因とDX化の進展が遅れている要因とは、同根のような気がする。

そこで本稿では、エレクトロニクス関連産業に焦点をあてて、かつて国際競争力を有していた京浜工業地帯から華南地区へと産業集積が推移してきた様子を概観する。そのうえで、日本企業はどのような企業組織・ネットワークを構築していくべきかを、都市型産業集積広域化の観点を加味して考察し、日本のDX社会推進に向けて海外との連携が重要であることを述べる。

## 1. エレクトロニクス産業を巡る産業集積の変遷①：京浜工業地域の変遷

戦後日本の輸出はエレクトロニクス産業と自動車産業とが中心的役割を担い、この2つの産業が日本の国際協力を高めてきた。それぞれの業界毎に、パナソニック、東芝、日立、ソニー、三菱電機、トヨタ、日産自動車、本田技研工業といった複数の世界的メーカーが存在し、彼らに部品等を供給する中小製造業が立地するという構造が構築されており、戦後日本の高度成長を支えたのは製造業であった。彼らの多くは工業地域、上記分業関係がいわゆる産業集積を形成し、都市部がその中核をなすが、都市部への人口密集が顕著になったこともあり、1960年代にいわゆる工場三法が施行され、都市部の製造業は都市部からの移転を余儀なくされた。1985

年のプラザ合意に伴う円高局面では、移転先は国内の地方にとどまらず海外も含まれるようになる。

こうした局面で京浜工業地域に立地する川崎市では、1981年3月の「川崎市産業構造・雇用問題懇談会（会長、専修大学教授、正村公宏氏）」提言を踏まえて、川崎市を機械産業と電気電子機械産業の融合した産業の転換の重要性を意識し、メガトロポリス構想（電子・機械工業中心の都市、現在の言葉で言うならば「研究開発都市」）の推進を図る。この構想の下に高度研究開発・生産都市への展開を図る「マイコンシティ構想」、「産業振興会館の整備」が構想され、実行に移されていった。時を同じくして、神奈川県においても日本最初の本格的なインキュベーター・KSP構想を発表、KSPは1987年に溝の口に設立され、京浜工業地域全体が研究開発都市へと大きく舵を切っていく<sup>iii</sup>。

その後25年強が経過し、エレクトロニクス産業の多くは、デジタル化が進む中でオープン・モジュラー型生産が主流になったこともあり、アジア企業の猛烈な追い上げを食らう。クローズド・インテグラル型の生産が主流とされる金属加工を軸とする機械産業の集積は今日の京浜工業地域には見られるもののエレクトロニクス産業の集積はみられない。この点、上記構想から若干予測が外れていることにはなるが、研究開発都市への転換という流れは概ねうまくいったように思える。

エレクトロニクス分野で予測が外れた原因は、デジタル化の進展、オープン・モジュラー型生産の主流化、アジア企業の追い上げといった点にあるわけだが、2. でみるように、エレクトロニクス関連の産業集積がアジアで形成されている。筆者は同時期に深圳を軸とする中国華南地区にエレクトロニクス産業の集積が形成される過程をみてきており、それをまとめたのが2. である。また、3. 以下で述べるように、日本の都市部の産業集積が広域化する中で、各方面でイノベーションを達成する過程を検討してきた。

日本が国際競争力を発揮するためにはこれまでの経済成長を支えてきた製造業を起点とするのが近道だと考えているが、そのためには今日の生産システムを理解し活用する視点が重要である。アジア企業は、オープン・モジュラー型生産のメリットを活かすべく、あとで述べるような産業集積ならびに廉価な人件費をフル活用できる生産体制を構築しており、生産面で国際的な競争優位ある地位を確立するためには、彼らの土俵で戦わざるを得ない。したがって、彼らの中に入って、すなわち彼らの集積地に入って生産活動を行う、もしくは彼らを生産のパートナーとして位置付けることが肝要かと思われる。

なお、エレクトロニクス製品というハード製品を提供するだけでは、ユーザーにソリューションを提供したことにならない。エレクトロニクス製品というハード製品を活用したサービスの提供が重要になる。この1つがDX化の進展に他ならないわけだが、サービスの提供にあたり、

ものづくりの知見を活かすというのは大きなアドバンテージになる可能性がある。したがって、かつて確実に国際競争力を有していた京浜工業地帯という都市型産業集積地が、アジアへと広域化する中で、こうしたサービス分野に転換していく意義は十分あるのではなかろうか。よって、2. では華南地区を事例に、アジア企業の勃興の様子をみていく。

## 2. エレクトロニクス産業を巡る産業集積の変遷②：華南地区の変遷

エレクトロニクス産業を巡る華南地区の変遷については遠山 [2018] に詳しく述べてあるが、要点をまとめると以下ようになる。

- ① 90年頃に英国領であった香港を輸出組み立て拠点とし活用すべく日系コピー機メーカーの生産拠点が華南地区に進出したことが、エレクトロニクス（家電・IT）関連メーカーの産業集積地を形成する礎になった。
- ② 当初の生産拠点は深圳市内であったが、後に周辺の東莞市などへ生産拠点は拡充し、華南地区全体に産業集積地は拡充している。今日の深圳市内、特に南山区のビル群（世界企業となったTENCENTなどがある）に入居している企業群は、開発設計に長けた、付加価値の高い分野へとシフトしている。かつて生産拠点が入居していた貸工場跡地もベンチャー企業向け貸オフィスへと転換され、廉価な起業環境も創出されている。
- ③ ハード製品製造のかつての主力プレーヤーは外資系企業であったが、中国系企業の水準は向上しており、今日の主力プレーヤーは中国系企業である。ハード製造能力が向上した中国系企業と②の開発設計を担う中国系ベンチャー企業とのコミュニケーション力は高く、国際競争力を持ちつつある。
- ④ ③の背景には、後述の通り、深圳特有の環境が、地縁ネットワークを育んだことにある。なお、これが米中貿易摩擦にまで進展した遠因ともいえる。
- ⑤ ハード製品の製造者は、関心の高い分野の製造に注力する傾向が出てきており、ただたんに利益がでるから単純な生産でも対応するといったモチベーションは低くなっていると聞く。それゆえ、ハード製造の裏付けがあり、中国以外のソフト需要を持ち込むことで、単純な製造でないハード製品を製造したいという製造業のモチベーションとマッチする可能性は高い。

ハード製品の産業集積が構成された様子は遠山 [2018] にて述べた通りであるが、ハード開発者とソフト開発者とが地縁ネットワークでつながっている点について、以下で述べる。

### 深圳にみる地縁ネットワーク

中国の事業家の行動をみるに、彼らが事業で成功する背景には、出身地の絆をベースとする地縁ネットワークが重要な役割を果たしていることが少なくない。西口・辻田 [2017] は温州出身者が海外事業で成功している要因を分析している。各事業家を「ジャンプ型」「動き回り型」「現状利用型」「自立型」の4類型に分類し、温州人海外ネットワークの特徴は、「ジャンプ型」「自立型」とならず「動き回り型」「現状利用型」とのネットワークを維持しながら発展している（他の地方出身者は「ジャンプ型」が「自立型」となり地元ネットワークから離脱）と指摘している（p.314）。この結果、同じ中国系でも、（ヨーロッパで）後発で人脈の少ない東北人や福建人も、同郷人のネットワークが脆弱で、温州人にとっては当たり前の、先に蓄財した定住移民が、順繰りに同郷の新参移民を支援する仕組みが、彼らには圧倒的に欠けているとも指摘している（p.137）。西口・辻田 [2017] のこうした指摘は的をえていると考えるが、中国国内の新興都市である深圳では、温州人以外でも、「ジャンプ型」事業家が「自立型」事業家となり地元ネットワークから離脱することは少ないこと、この地縁ネットワークが後述する深圳で新たに形成されたネットワークとつながることで、事業の発展を支える現象が生まれている。そして、その背景には、中国地方出身者固有の向上心があるように思える。

### 中国地方出身者の向上心を吸収した深圳

この中国地方出身者固有の向上心を巡る考察は、筆者が地方中核都市である遼寧省省都の瀋陽市に立地していた合弁リース会社勤務時の経験から感じている内容で、概ね中国人知人の同意を得ているものである。

中国に関わらずどの国でも同じかと思うが、地方に住む若者は地元への関心は総じて高くない。日本であれば首都圏へのあこがれは大きく、首都圏への進学や就職を希望する地方の高校生は少なくない。それゆえ、多くの地方都市では18歳人口の減少が大きな課題とされている。中国の場合、厳格な戸籍制度があるため、都市部に移動して正規雇用での職を得るのは比較的難しい。そこで、北京、上海といった大都市圏への進学を目指し、成績優秀な高校生はめでたく合格を勝ち取るわけだが、入学定員枠もあり、大都市圏への進学が全ての高校生にかなうわけではない。そこで、夢をかなわずに地元の大学に進学した学生は、留学や外資系企業への就職等を通じて海外に出る機会をうかがう。90年代に瀋陽という地方都市の外資系企業にいた筆者は、こうした事例を多数見てきた次第である。

深圳は、改革開放政策の下で、何も無いところに新たに創られた都市であり、外地人を受け入れることで成立している都市である。それゆえ、大学進学で大都市圏の大学への進学が果たせなかった90年代の地方出身者からみると、その次のリベンジは外国に出ることであったの

が、深圳に行くという選択肢が増えたことになる。それゆえ、向上心の高い地方出身者を吸収できたと考えられる。

ところで、留学や外資系企業の本国勤務等を経て、海外で技術力や知識水準を高めた人材（中国語では「海亀」と呼ぶ）が、地元へ帰郷すると理解されないことが少なくないようである。さらに地元の資産家でなければ、持ち帰った技術や知識で新たな事業を起ち上げるにしても自己資金が不足しており、政府から支援を受けるなどしないと立ち行かない。こうした事情から、地元では新規事業に取り組むチーム組成が難しいことになりがちになるが、深圳ではこうした海外から帰国した人材を積極的に受け入れた。こうした政策が先にみたように 2000 年頃に活発に実施されている。このころから目立ってきたビル群は、不動産バブルだけで林立したわけではなかったようである。

2000 年頃の中国では、ハイテク企業（中国語でいう「高新科技企业」）の育成に熱心であった。低賃金で豊富な労働力だけを強みとする製造業の高度化が図られていたわけである。これは中央政府の方針であり地方政府もこれにしたがい、深圳での取り組みは 1. でみたとおりで、ハイテク企業に認可されると、法人税が優遇される、インキュベーション施設に入居できる等の特典を受けることができた。こうした政策は他の都市でも盛んに実施されたが、深圳に着地した留学帰国者（海亀）は、他の地域に比して人材採用が容易であるとか、リスクマネーを調達しやすいとかいったメリットを享受することができた。この結果、深圳に着地する留学帰国者（海亀）が増加するという好循環が生まれたのではないかと考えられる。

### ハイテク企業（バイオ関連企業）事例研究

ここで、留学帰国者の技術力をベースに設立されたハイテク・バイオ企業を事例に考察を深めることとする。エレクトロニクス産業ではないが、ハイテク企業である華瑞同康生物技術（深圳）有限公司は、スウェーデンで開発されたガン検査試薬技術を 2010 年から中国市場で製造販売し、2016 年 9 月ヒアリング時点で中国市場シェア 80%を占めるという、2002 年設立のバイオベンチャー企業である。南山区の深圳高新区生物孵化器（バイオ企業に特化したインキュベーション施設で 2004 年からオープン）に 6 年間入居して今日の礎を築き、現在は業容を拡大し、南山区の深圳高新区生物孵化器大楼に移転している。

当社の技術シーズは、中国初の国費留学生としてスウェーデンの Skog 研究所で学んだ創業者（現在の総裁）の母（武漢大学卒）の成果に基づいている。総裁の母は留学 1 年後に帰国し武漢大学教授に就任したが、Skog 研究所からの強い招請を受けて 8 歳の総裁を武漢に残しスウェーデンで研究を再開し、製品化につなげた。しかしながら、学者ゆえに事業化のセンスはなかったという。しかも、スウェーデンは人口が少なく健康者も比較的多い。そこで、成人し

て母と再会した総裁(当時は武漢市科学技術局で制度融資を担当)が中国での事業展開を決断。退職金ほか 20 万円を元手に深圳で起業し、事業を開始した時の事業資金は 50 万円だったという。

総裁が深圳を起業の地と定めた理由は、深圳在住の同級生から、①政府サポート・助成あり(1000 万円を銀行から借り入れるにあたり無担保扱いでかつ利子補給を受けている模様)、②民間資金多い(現在上場準備中ゆえ VC からの出資受け入れを検討中の模様)、③人材集めやすい(ヒアリングした副総裁は別のバイオ企業で 5 年間副総経理を務めた後に、当社がまだ社員 5 人の時に入社)④製品化するコストも比較的安くすむ(賃料助成効果等を含む)と聞き、深圳は創業環境がよいと判断したためという。設立時の株主は、総裁、総裁母、スウェーデン人の母の恩師に総裁の深圳在住の同級生、企業家という陣容であった。

2016 年 9 月ヒアリング時点での年商は 1 億元。今日は 2016 年時点で深圳高新区生物孵化器大樓に移転し、そこにあるクリーンルーム・浄水設備完備した検査試薬製造工場面積は 2300 m<sup>2</sup>。これに隣接して約半分の面積で R&D 部門が活動していた。当時の社員は 100 人で、うち生産 10 人、R&D 15 人、マーケティング 40 人という陣容であった。検査機器は自社ブランドで、ソフトは自社開発であるものの、機構部品などは外注生産という。華南地区のハード製品製造の集積の中から医療機器ハード専門メーカーが出現しており、多品種少量生産にも対応可能になっている様子がうかがわれる。登録資本金は 1000 万円まで積み上がり上場準備も進んでいるようだが、助成金で手当てしたからであろう、検査機器の多くは国家管理であることや、中国 30 数省・市の(病院ランク)甲甲甲 1 には全て採用されているといったように売上は伸びているが、採用は国家認可が多く時間がかかることなどあり、上場認可には困難が多いようである。

今日の高級人材の採用は、深圳企業に関わらず多くの中国企業も We b 経由が主流と聞く。したがって、採用人材は全国から受け付けていることになる。こうした We b での採用に加えて、リアルな関係に基づく採用も有効に作用するといわれ、これは万国共通である。出身地ネットワークがここで有効に作用しているようだが(例えば、華瑞同康生物技術は武漢出身者の採用は少なくない)、We b 経由であろうがリアルな関係性に基づくものであろうが、現在居住している地方都市よりも魅力的な生活環境が提供できないと採用への応募は増えない。これに対して深圳は適地といえる。こうして地方で埋もれている優秀な人材を採用できる深圳で創業した留学生の持ち帰った技術力で創業したベンチャー企業は、深圳のエレクトロニクス関連産業の発展に貢献している。すなわち、第 1 経済の主要な担い手として、深圳および華南地区の発展に貢献している。

第一経済の担い手として注目が集まる企業は、後で詳しく見る第 1 経済の支援機能を果たす

第2経済へのアクセスも比較的容易となる。外資系企業からのスピンアウト組が起業した製造業事業者の場合は、第2経済との何らかの結束役がないと投資家との出会いはないと思われるが、インキュベーション施設の入居審査に合格した華瑞同康生物技術のような企業は、政府の信任を得ていることになり、第2経済ネットワークへのアクセスは比較的容易と言える。

以上より多様な人材が深圳に流入してくることになるが、もう少し具体的にみてみよう。

### 惠州市の燃料電池産業集積とEV製造等に見る華南エレクトロニク産業の今後

惠州市は深圳市の東に位置する。本稿でも述べてきたように、90年代終盤から、深圳市のハード製造機能は北側・広州市との間の東莞市へと拡充していったのであるが、近年東莞市の投資環境に嫌気を感じる向きなどが反対方向・スワトウにつながる地域である惠州市に着目している。

今後EV関連事業が拡大すると考えると、エレクトロニクス関連産業の今後の注目点はEVの燃料電池やモーター部品にあるかと思われるが、惠州市億鵬能源科技(Yinghe)、惠州比亞迪電池(BYD)、科達利(KDL)、藍微新源技術(BNET)、惠州億緯鋰能(EVE)、欣旺達(Sunwoda)<sup>iv</sup>といったように、惠州市には複数の国内有力燃料電池メーカーが集積している。

なお、深圳市内の華強北といったいわゆる電気街に行くとドローン<sup>v</sup>が多数飛んでいる。世界NO.1シェアを誇るJDIの本社も深圳市内にある。JDIは全ての部品を内製化していることはなく、多くの部品を華南地区の協力メーカーから調達していると聞く。カメラが振動しないモジュールを開発できた点に優位性があるようである。

ドローン関連部品の製造供給が飛行機向け部品の製造供給になるにはかなり技術面での進化が必要かと思われるが、華南地区で飛行機部品を製造している企業は実際にいると聞く。先にみたようにエアバスの設計拠点も深圳に立地している。華南地区で大型の機構部品を製造できる企業を小職は見たことがないが、華南地区のエレクトロニクス関連産業集積のものづくり力は相応に高い水準にあると考えられる。

### 深圳特有のネットワーク

深圳と他の中国国内地域との大きな相違点は、第1経済プレーヤーの独立創業が進み産業構造の高度化が進んでいるのみならず、第2経済プレーヤーの集積が進んでいる点にあると筆者は考えている。この第2経済プレーヤーの集積が華南産業集積上昇のエンジン役を担っている。以下では、深圳でどのようにして第2経済プレーヤーの集積が進んでいるのかをみていく。

第1経済を支援する第2経済の担い手は、法律事務所、会計事務所、人材派遣会社、総務業務等事務受託会社、ベンチャーキャピタル、アクセラレーター、インキュベーター、といった

各方面の支援会社・機関で形成され、第1経済で得た利得を第2経済に還元する仕組み（例：ストックオプション）が構築されている第1経済、第2経済が共に発展する基盤となること、こうしたシステムはシリコンバレーで構築されておりこれがシリコンバレーの強みを支えていることを、ケニー [2002] は示している。シリコンバレーの第2経済は、政府主導で構築されたものではなく、第1経済同様に民間、すなわち市場主導で構築されたものだが、深圳は、当社は政府主導で構築されたもののその後の発展に向けた推進力は民間、市場主導に移っていると言える。

### 華南産業集積を支える深圳の第二経済ネットワーク

2019年2月に南山区で複数棟のインキュベーション施設を運営する深圳湾創業広場を訪問した。敷地面積合計10万㎡に13棟のベンチャー企業向け賃借ビルが立ち並び、テンセントは独自に1棟を構えている。ベンチャー企業向け賃借ビルの建物床面積合計63万㎡で、約360社が入居しているという。うち5~10%はAIRBUSやGoogle関連など欧米系企業が入居しており、その他韓国系であればサムソン電子向け医療関連開発を手掛けるSKの関連企業や、日系であれば飛行機向け設計を手掛ける丸紅関連の企業も入居しているとされ、グローバルなベンチャー企業が集積する、深圳の旺盛な第1経済を構成する地域となっている。一方、彼らを支える第2経済のプレーヤーも集積している。アクセラレーターは48社が活動し、さらに2社も進出を検討中という。銀行等投資会社も約50社が拠点を構えている。投資会社は、香港系、シンガポール系、東南アジア系と中国系以外も立地している。

この地域は深圳市政府により2015年に開発された。建物建設費用等を深圳市が運営する深圳市投資控股有限公司傘下の深圳市高新投集团有限公司が投資している。2016年に、国家が提唱する「大衆創業、万衆創意」政策に基づくイベントを開催している。いわば政府主導で第2経済も整ったベンチャー企業を中心とする第1経済の集積地を構築されている。投資会社が集積し後述のような金融システムを構築していることが、活発なアクセラレーターの活動につながった第2経済がベンチャー企業の躍進を支えており、活発な第1経済のパフォーマンスを支えるベンチャー企業の利得は、投資リターン等の形で第2経済に還元されている。

遠山 [2018] で示す通り、深圳市投資控股有限公司は、信用保証会社やVCなど幅広い金融会社を傘下にもっており、様々な金融チャネルを通してベンチャー企業向けファイナンスを行っている。金融業界は与信先の情報を仲間内以外に開示することをさけるために業界内でネットワークを構築する傾向があるが、深圳市傘下の深圳市投資控股有限公司が主導して深圳市創業湾広場を開発していくことで、多くのVCやアクセラレーターの誘致に成功している。この結果、当地にVCやアクセラレーターのネットワークを誘致する効果をあげている。深圳

市創業湾広場に立地するベンチャー企業は、この第2経済のネットワークにアクセスが容易である。各地域の地縁ネットワークの中からこの仲介役を担う企業が出現しているようである。

地縁ネットワークで人材を採用、第一段階のリスクマネーを調達するなどして成熟期が見えてきたベンチャー企業が、さらなる飛躍を目指して上述の第2経済にアクセスしているのが深圳市創業湾広場といえよう。

深圳市では、深圳市共通のコミュニティが成立しており、そこに各地方からのジャンプ型がアクセス・同郷人ネットワークとのつながりを維持でき、つながれるのは競争の勝ち残りとして深圳市内で認められた者のみである。これは、内モンゴル出身者、安徽省出身者で観察できており、温州人海外ネットワークと同じネットワークが複数成立していると理解しているであろう。また、各地縁ネットワークをワイヤリングする「ジャンプ型」も、深圳市内ではアクセラレーターとして存在している。これらが深圳エコシステムの本質といえよう。

### 3. エレクトロニクス関連産業：京浜工業地域からみる華南地区

エレクトロニクス関連分野については、深圳にはハード製造、ソフト開発に関わる企業が集積しており、自らのアイデアを製品化したいというスタートアップ企業には便利な地域と言える。それゆえ、米国企業を中心に、日本でもアキバに集うアイデア企業などが、多くの中国国外スタートアップ企業が深圳に集い活動している姿が近年目立っている。しかしながら、深圳経済成長の本質は、本稿でみてきたように、中国社会の特質にも起因して形成された深圳独特のネットワークにある。したがって、先の状況だけをみて、深圳をスタートアップ拠点とか、スタートアップ企業を育むエコシステムが形成されている聖地のように捉えようと、深圳の本質を見誤ることになる。

深圳が中核となる華南地区の産業集積は、ハード製造については、オーディオ、家電、コンピューターといったエレクトロニクス関連製品製造が中心である。広州で自動車製造が盛んで惠州で燃料電池の生産供給が盛んになっているとはいえ、伝統的なガソリン自動車産業を華南地区の産業集積が支えているとは言えない。当地は大物機械の製造に特徴がある地域でもない。

今後確実に進展するIoT化の下で、その対象となる機械類はより複雑で重厚な駆動機能を持つ機械が対象になろう。しかし、大物や複雑な機構に関する機械加工技術は一朝一夕に築き上げられるものではない。したがって、深圳がこの流れのなかで重要な地位を占めるためには、大物機械等の製造に長けた産業が集積している地域との協業を目指すのが現実的と考えられる。こうした分野に長けた製造業が集積している地域は、例えば重機をはじめとする大物機械加工技術に長けた華東地域とか中国国内にも結構ある。また、本稿でもみてきたように海外との往

来の中でエレクトロニクス関連ハード製品の集積地になってきたことを考えると、深圳をはじめとする華南地区が協業相手とする地域は国内にとどまる必要もない。

機械加工技術に長けた国外の地域を考える場合、日本の各地域は検討対象として視野に入ってくると考えられる。複雑な加工技術であれば京浜地域に長年の技術蓄積があるし、大物加工であれば、例えば日立市およびその周辺といった日本国内地方の産業集積に技術蓄積がある。

これらの地域の産業集積は協業と競争という産業集積の本質と呼べる機能を広域化させることで発展をとげており、彼らの広域化の対象として深圳および華南地区は十分その対象となると考えられる。なぜならば、深圳・華南地区は、エレクトロニクス関連製品分野で培われたハード製品製造能力、ソフト製品開発能力、新たな需要に対応するもしくは新たな需要を創出する事業アイデア構築力の3つがバランスよく発展・集積することが今日の発展の源になっているわけだが、特に3つ目の特性は日本の製造業に欠けているスタンスである。したがって、日本にないこうした特性を持つ深圳・華南地区は、日本の産業集積地を補完する可能性が高く、日本の地域の産業集積の広域化という流れの中で、日本と深圳・華南地区との間で、協業と競争が促進されることが期待される。

日本製造業の国際競争力は複雑な機械加工につながるものづくり力にあると言える。オープン・モジュラー型生産のエレクトロニクス関連製品製造では単純化されたモジュール製品製造が求められるようになり、日本の製造業の優位性は低下したと考えられる。しかしながら、複雑な機械加工に必要なインテグラル型製造にはまだまだ国際競争力はあると言われる。今後IoTが進展する中でインテグラル型製品にもITに絡む機能を搭載することが重要になってくる。その際に、エレクトロニクス関連のものづくり技術への理解はある方がよりよいものが作れる。

エレクトロニクス製品、ソフト製品が普及するにつれて、ものづくりのモジュール化が顕著になっている。技術アーキテクチャーの観点からみると、産業集積を活用して部品は調達するにしてもモジュール内をクローズドにして、モジュールはオープンにつながるような製品・部品を開発する必要がある<sup>vi</sup>。この際に、エレクトロニクス関連のものづくり技術への理解がなければモジュール内をクローズドにすることはできないであろう。エレクトロニクス関連製品の産業集積は華南に移っているわけだから、華南地域と強固なネットワークを構築することが、京浜地域に所在し、ものづくり機能は喪失したもののユーザーとの関係は維持できているエレクトロニクス関連企業には求められるのではないだろうか。

立本 [2017] の言うように、大手企業が多いプラットフォーム企業は、グローバル戦略を進める中で海外の産業集積地にエコシステムを作ろうとする。しかし、製造業のプラットフォーム企業は中核部品メーカーに過ぎないため、クローズド領域の他の部品を製造加工する共存メー

カーやオープン領域の部品を製造加工する新興企業との共業が必要である。川崎市でみるような部品加工業は、加工技術力が高くとも、プラットフォーム企業の下請け・孫請けに位置する企業が多い。彼らは今日まで日本国内での製造加工に徹してきたのだが、今後もこの国内製造体制だけでいけるのか、エレクトロニクス関連であれば深圳・華南地区の理解・研究が必須と言える。納品先である大手企業がオープン・クローズ戦略への理解が乏しいようであるならば、技術指南が新しい事業になる可能性もある。このようにプラットフォーム企業と新たな協業を探ることは重要なのだが、プラットフォーム企業は彼らのビジネスモデルをよい製品を製造するプロダクト志向戦略から変わりプラットフォーム志向に特化する可能性があることにも留意しなければならない。特にIoT（含むビックデータ化、AI化）が今後進展してネットワーク効果が向上すればその傾向は強くなるかもしれない。

日本全体として、アイデア創出する機運に乏しく、また京浜地域では、エレクトロニクス関連のハード製造、ソフト開発機能を担う企業群の減少は著しい。この意味でも、複雑な機械加工製品を製造している企業群がIoT化の流れの中で高度化していく際のパートナーとして、深圳・華南地区は重要な存在ということができる。

#### 4. DX化の進展と都市型産業広域化に求められる日本企業の組織化・ネットワーク化

先に見たように華南地区では第2経済を含めた集積内プレーヤーが揃っており、海外との取引実績のある企業も少なくない。したがって、日本の都市型産業集積が広域化する過程でのパートナーとしてスムーズに入り込める企業も少なくない。

エレクトロニクス関連企業の華南地区での集積は進んでいるようにみえるが、機械加工系製造業の加工技術力は、現時点では京浜工業地帯に一石の長があるように思える。また、華南地区の方が日本よりも規制が緩く、社会実験を行いやすい。したがって、少子高齢化の流れの中で、機械加工系の技術を活用しつつパワフルなIT系製品のサービス化を図るような例えば福祉系の新サービスに向けた実験市場として、華南地区には優位性があるようにも思える。このように華南地区・京浜地区相互の強み・弱みを補完しあうようなパートナーシップが組めれば、世界のDX化に資する活動が、日中間でできるのではなかろうか。

上でみてきたように、華南地区の産業集積を支えているのは、中国特有の地縁を背景とする第1経済、第2経済である。この中国特有のネットワークに華南地区を起点に入り込むのは事業機会として魅力的である。しかし、ここに外国企業である京浜地域の企業がアクセスするのは簡単ではない。上述のようなネットワークを有している人物にきちんとアクセスすることが重要となるが、こうしたネットワークを堅固に構築するには様々な面で創意工夫が必要となる

う。

堅固なネットワーク構築のためには DX 化が必須であろう。DX 化がなじむ水平分業を目指すべく、フラットでオープンな組織作りが求められる。日中双方ともに IT を活用した「見える化」を徹底することが、対社内取引・対社外取引共に、円滑なコミュニケーションの礎となる。したがって、DX 化に乗り遅れている企業は規模の大小を問わず、本稿で述べてきたような世界のプレーヤーとして参入できない。そうならないために、京浜地域の企業、特にエレクトロニクス関連企業は、まずは華南とのネットワーク構築以前に自社の社内の DX 化、事業モデルの変化、組織作りの改革を完結させねばならない。

DX 化を推進するためには、IT 環境整備に注目が集まりがちであるが、DX に適した組織作り、人事考課システムの構築がより重要と思える。対社内取引でこうしたシステムが整備されていないと、対社外で DX 化を導入し効率的な取引関係を構築するとはならないであろう。したがって、京浜地域のエレクトロニクス関連製造業者は、オープン・モジュラー化が進展する中で、他社・他地域との取引関係を深めるためには、まずは自社内での DX 化を進める必要がある。

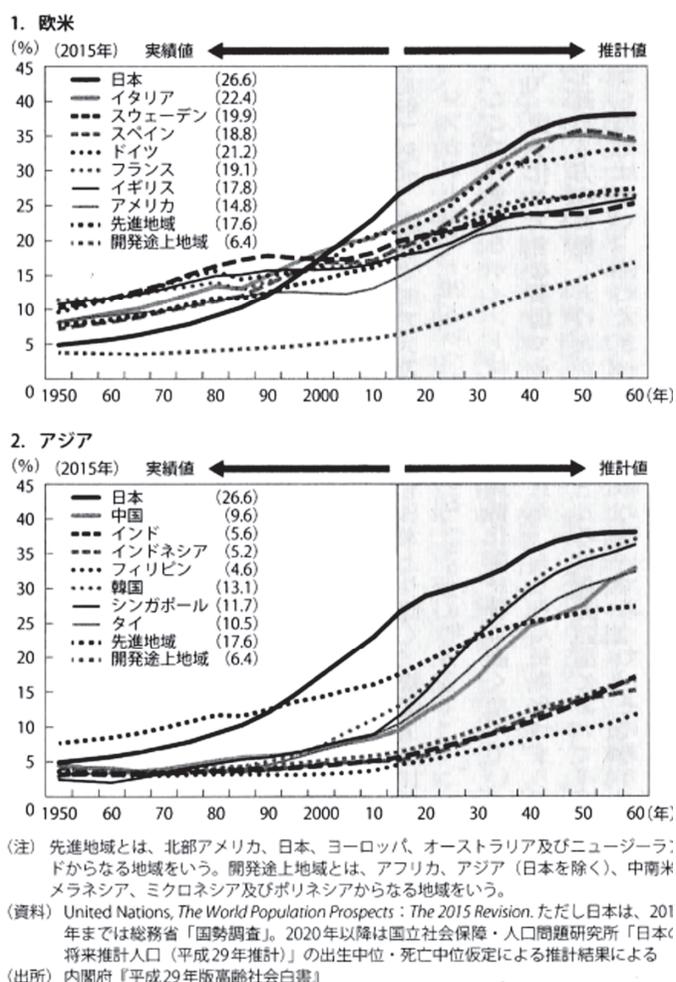
こうした努力は日中双方で必要と考えられ、こうした体制を構築できない企業は淘汰される可能性が高いと考えられる。Win-Win の堅固なネットワークが両地域間で構築され、成熟社会に生きる我々にとって利便性の高い製品・サービスが供給されることを期待する。

#### **補論：成熟社会に資するネットワーク構築に向けて**

成熟社会においては、ソーシャル・ネットワークによるソーシャルビジネス・インキュベーションの創出が重要であると中野 [2017] では述べ、成熟社会でソーシャル・ネットワーク構築が重要になってきている背景として、日本社会を念頭に置いた考察であるが、多くの人々が農村を離れ都市を生活することで、個人の生活はそれまでになかった職場や死後上の人間関係、職業上の集団、政治的な団体、社交クラブなどといった目的の異なるネットワークへ重層的に結びついてきた点をあげている (p.36)。これは、地縁ネットワークの欠如している地方出身者が集まる日本の都市部では、職場など様々なネットワークが存在しているものの地縁ネットワークが果たしてきた互助の仕組みが欠如しているため地縁ネットワークを補完できないこと、それゆえ、ここを補う社会企業家の出現が重要なことを示している。地方出身者が多数集い、都市化が進む深圳は、少しデータが古いが、2016 年末時点の常住人口平均年齢は 32.5 歳と若い都市であるが、今後は高齢化も進んでくるであろう。その際どうなるのだろうか。若い都市ゆえ今日では話題にもならないテーマであるが、深圳の今後を考えるにあたり、避けられない重要な論点である。

中国全体に目を移すと、近年まで行われていた1人っ子政策の影響もあり、人口別分布図は、多くの若者が高齢者を支えるピラミッド型にはなっておらず、少子高齢化対策が急務と言われている。社会主義計画経済下の「大鍋飯」時代の社会福祉事業は国有企業に担い手としての役有がもとめられていたが、社会主義市場経済下の今日では国有企業を軸とするシステムは崩壊している。そこで、地域全体での高齢者を支えるようなシステム、例えば最小の行政単位である「街道」で地域の老人を支えるようなシステムが模索されているという。しかしながら、こうしたつながりの薄い深圳では、このシステムは機能しがたいであろう。ここまでみてきたビジネス・イノベーション創出の鍵となってきた地縁ネットワークが、「街道」ネットワークを補

図表 1-4 高齢化率の推移：国際比較



(出典) 広井 [2019]

完できる可能性はあるが、補完役として機能できるかは現状では不透明と言わざるを得ない。

今日の深圳は、ITリテラシー弱者にやさしくない社会になっている。例えば、飲食店によっては、wechat-pay、ali-pay といった電子決済しか受け付けない店がある。小銭を含め多くの偽物が流通している中国で電子決済は極めて有益な手段であるが、スマホを使って電子決済できない顧客はお断りという店が増えてきている。もともと、10年もたてば、高齢者と言ってもITリテラシーが欠如した者は本当に少数派になり、無視できるほどの問題なのかもしれない。むしろ、無視できないほどの層が困るのであれば、そこにはビジネスチャンスがあることになり事業化を目指す起業家が出現する、単独の事業として採算が合わないのであれば、収益を上げている事業者からの寄付とか、政府部門からの助成といった、その不採算部分を補う仕組みの構築が必要となる。

日本の高齢化の進展は図表1のとおり、先進国の中でも深刻である。この図表1によれば、中国という平均像であり深圳にフォーカスしたデータではないが、2050年にかけて日本に猛スピードでキャッチアップしてくると予測されている。今般のコロナ禍で高齢者のITリテラシー不足は顕著に表れたといえるが、高齢者のITリテラシー不足が日本のDX化進展の足かせになっては、都市型産業集積の広域化はままならない。そうならないためには、若者が高齢者に指導するようなサービスが確立されていくことが重要に思える。上述のように中国では、当面の高齢者数が目立たないこともあり、ITリテラシー不足層を切り捨てるような形で行くように思える。これに対して、日本では高齢者が目立つ存在であり、産業変革が急務な段階にあり、真剣にこの課題克服に取り組まねばならない。それが他国の参考にもなるであろう。

将来の深圳社会がどうなるかは現時点ではわからないが、よりよい成熟社会を目指して、深圳の人々が何らかの解を導くものと期待する。この解を導く原動力が、事業化に向けた今日のバイタリティーにあると思われる。日本は、成熟社会を自らどのように構築するかという観点からも、深圳と往来を重ねる意義は高いと考える。

## 参考図書

陳晋 [2021] 「世界ドローン最大手 DJI のプラットフォーム構築」 アジア経営学会第 28 回全国大会自由論題報告資料

広井良典 [2019] 『人口減少社会のデザイン』 東洋経済新報社

伊藤和良 [2020] 「新たな産業政策の黎明期から【川崎モデル】の基盤を構築する」 専修大学社会科学研究所月報 NO.685、2020年7月号 (<http://www.senshu-u.ac.jp/~off1009/PDF/geppo2020/685/685-ito.pdf>)

Kenny, M. (ed.) [2000] Understanding Silicon Valley: The Anatomy of an Entrepreneurial Region, Stanford (M. ケニー編 [加藤敏晴監訳・解説/小林一紀訳] [2002] 『シリコンバレーは死んだか』 日本経済評論社)

経済産業省 [2020] 「DX レポート 2 (中間取りまとめ)」

—— [2018] 「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～」

李在鎬、塩地洋、ステファン・ハイム、垣谷幸介 [2021] 「中国 EV 用 2 次電池のバリューチェーン—大連、惠州企業を中心に—」 アジア経営学会第 28 回全国大会自由論題報告資料

西口敏宏、辻田素子 [2017] 『コミュニティー・キャピタル論 近江商人、温州企業、トヨタ、長期繁栄の機密』 光文社新書

小川紘一 [2015] 『オープン&クローズ戦略 日本企業再興の条件』 翔泳社

立本博文 [2017] 『プラットフォーム企業のグローバル戦略』 有斐閣

遠山浩 [2018] 「イノベーション創出都市 変貌する深圳」 専修大学社会科学研究所月報 NO.665、2018 年 11 月号 (<http://www.senshu-u.ac.jp/~off1009/PDF/181120-geppo665/smr665-touyama.pdf>)

---

<sup>i</sup> 経済産業省 [2020] では DX=Digital Transformation=デジタルを使った事業モデルの変化とし、アナログコンテンツをデジタルコンテンツに置き換えるいわゆる IT 化を指す Digitization、IT 化を活用した業務効率化を指す Digitalization とは区別し、これらの次のステップにあると説いている。DX という言葉急に出現した感が日本では強いが、それだけ世界の潮流に日本は乗り遅れているともいえる。

<sup>ii</sup> 経済産業省 [2020] [2018] などに述べられている。

<sup>iii</sup> 伊藤 [2020] pp.21 以降に当時の経緯が詳しく述べられている。

<sup>iv</sup> 李他 [2021] で受けた報告をもとに記した。

<sup>v</sup> ドローンについては、陳 [2021] に詳しい。

<sup>vi</sup> 小川 [2015] でも同様の主張を展開している。立本 [2017] はさらに学術的考察を深め、オープン領域では新興国企業、クローズ領域では先進国企業が参入することでグローバルマーケットが拡大することを示している (第 3 章、第 4 章など)。特に第 4 章では、これまでの事例研究は、ネットワークのハブに位置する優位性が強調されていたが、第 4 章の半導体製造装置の取引関係を実証研究することで、ハブに位置するという高い媒介中心性とオープン標準活用、新興国への販売展開との 3 要素を同時に活用することが、プラットフォーム戦略のメカニズムで、グローバル・エコシステム形成につながることを明らかにしている (p.161)。

# ロボットやアバターと共存する未来社会へ ～ムーンショットプロジェクトの挑戦～

中村 尚樹

## はじめに

マンガとアニメはいまや、日本を代表する文化となっている。その中の有力なジャンルのひとつとしてあげられるのが、ロボットの登場する未来社会を描いた SF ものだ。そのロボットは、タイプによって大きくふたつに分けられる。ひとつは「鉄腕アトム」に代表される、人間のように自律的に活動するタイプのロボットだ。もうひとつは、人間が操縦するタイプだ。こちらは「鉄人 28 号」のように遠隔操縦するタイプと、「機動戦士ガンダム」のように、操縦者がロボットの中に乗り込むタイプがある。

こうしたロボットは、かつては空想の世界の産物だった。しかしいまや、現実のものになるうとしている。アメリカ映画「アバター」の大ヒットで知名度を上げたアバターも、バーチャル空間ですっかり市民権を得ている。本稿では、ロボット先進国日本で研究開発が進められているロボットやアバターの最先端プロジェクトを紹介し、私たちの社会の未来像を展望してみることにはしたい。

## 1-1 ムーンショットとは

「ムーンショット」という言葉がある。アメリカの第 35 大統領、ジョン・F・ケネディが 1961 年 5 月 25 日のスピーチで、次のように述べたことに由来している。

「私たちは今後 10 年以内に人間を月に着陸させ、安全に地球に帰還させるという目標に取り組むべきだと信じています」<sup>(1)</sup>

その頃のアメリカは、宇宙開発競争でソビエト連邦（現・ロシア他）に大きく遅れをとっていた。ソ連は 1957 年、人工衛星の打ち上げに世界ではじめて成功し、アメリカが受けた衝撃は人工衛星の名前に因んで「スプートニク・ショック」と呼ばれた。その後もソ連は地球周回軌道にはじめて、生き物である犬を乗せた人工衛星を打ち上げた。1961 年 4 月には人類ではじめて、ボストーク 1 号に乗ったガガーリンが地球軌道を周回した。

その翌月に行われたケネディ演説は、宇宙開発競争でソ連に大きく遅れをとったことに対するアメリカ国民の不安を取り除くためのものだった。しかし地球から 38 万キロも離れた月に

着陸する計画は、高度数百キロで地球を回る人工衛星とは違って、実現不可能な夢物語のように思われた。ところがケネディのスピーチから8年後の1969年7月20日、アポロ11号に搭乗したアームストロング船長が人類としてはじめて、月面にその第一歩を記したのである。

このエピソードを踏まえて、一見すると実現不可能のように思えるが、しかしきわめて独創的な計画で、専門家の叢智を結集すれば成功する可能性があり、しかも実現すれば社会にきわめて大きなインパクトをもたらすプロジェクトをムーンショット、日本語に訳せば「月への挑戦」と呼ぶようになったのである。最近では世界の最先端の研究やビジネスで、ムーンショットという言葉がよく用いられるようになってきている。アメリカの巨大IT企業グーグルで、「研究開発の中心組織『グーグルX』のキーワードは『ムーンショット』」<sup>(2)</sup> だという。

## 1-2 科学技術分野の衰退

これを踏まえて日本政府が2018年度に打ち出した、壮大な科学技術政策が「ムーンショット型研究開発制度」だ。なぜ政府がムーンショットと銘打った国家プロジェクトに取り組むのかというと、その背景には、このままでは国家の基盤が衰退するかもしれないという危機感がある。

高度経済成長を経た1980年頃までの日本は「ジャパン・アズ・ナンバーワン」と呼ばれるほど、この世の春を謳歌した。しかし1991年に始まったバブル崩壊で日本経済が停滞する。

いまから20年前、2002年の『科学技術白書』は、科学技術の国際競争力が激しさを増し「日本は生き残りなくなっている」と、はじめて危機感を表明した。2011年には、東京電力福島第一原子力発電所の事故で、原子力の安全神話が崩壊した。

2015年の『科学技術白書』は、STAP細胞や高血圧治療薬の臨床研究などで相次いだ研究不正問題を特集で取り上げ、「科学や社会の発展を妨げ冒とくするもの」と指摘した。白書がこう書かざるを得ないほど、社会の科学に対する不信感が増大したと言える。

2017年の『科学技術白書』は、科学技術やイノベーション<sup>(3)</sup>の「基盤力」に多くの課題を指摘し、「わが国の国際的な地位のすう勢は低下していると言わざるを得ない」と分析した。同白書によれば、2000年と比較した科学技術関係予算の伸び率は、中国が13.48倍（2016年）と最も高く、韓国が5.1倍（2016年）、アメリカが1.81倍（2017年）なのに対し、日本は1.15倍（2018年）にとどまっている。

科学技術予算の金額で見ると、中国が2016年で22兆4000億円、アメリカが2017年で14兆9000億円なのに対し、日本は2018年度で3兆8400億円と、大きく水を開けられている。

さらに注目度の高い研究分野への参画度合いでは、アメリカ91%、イギリス63%、ドイツ

55%に対し、日本は32%と大きく引き離されている。新たな分野に挑戦しようという姿勢が見られないのだ。

2018年の『科学技術白書』は、学術論文の減少に危機感をあらわにした。それによれば、日本の研究者による論文は2004年の6万8000本をピークに減少し、2015年は6万2000本となった。これに対して同期間で中国は約5倍の24万7000本に、アメリカは23%増えて27万2000本となった。主要国で減少したのは日本だけとなっている。さらに研究の影響力を示す引用回数では、日本はピーク時は世界4位だったのが、9位に下がっている。

一方、アメリカ経済はIT産業を中心に劇的に復活した。中国はあれよあれよという間に日本を追い抜いて世界第二の経済大国に躍り出た。かつて「モノづくり大国」を自負していた日本は、自動車など一部を除いてアメリカや中国のはるか後塵を拝している。

### 1-3 国家プロジェクト

そこで起死回生の策として、政府がひねり出したプロジェクトが「ムーンショット型研究開発制度」なのだ。その取り組むテーマは、超高齢化社会対策や地球温暖化問題など、多岐にわたる。それらは世界でも日本が先陣を切って直面している課題であり、逆に言えば日本が世界初のイノベーションを巻き起こす可能性を秘めている。政府は2018年度の補正予算で1000億円、2019年度の補正予算で150億円を計上して同制度の基金を造成した。

事業を主管する内閣府では、学識経験者や企業経営者、それにSF作家やアーティストなど多彩なメンバーによる有識者会議を立ち上げ、ムーンショットの目標となる事業のアイデアを聴取した。これを踏まえて内閣府は2020年1月、内閣総理大臣を議長とする「48回 総合科学技術・イノベーション会議」を開催し、「ムーンショット目標」を公表した<sup>(4)</sup>。当初は目標6まで設定されたが、後に目標9にまで拡大された。各目標は以下の通りである。

目標1：人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現

目標2：超早期に疾患の予測・予防をすることができる社会を実現

目標3：AIとロボットの共進化により、自ら学習・行動し人と共生するロボットを実現

目標4：地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現

目標5：未利用の生物機能等のフル活用により、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出

目標6：経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現

目標7：主要な疾患を予防・克服し100歳まで健康不安なく人生を楽しむためのサステイナブル

ルな医療・介護システムを実現

目標 8：激甚化しつつある台風や豪雨を制御し極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現

目標 9：こころの安らぎや活力を増大することで、精神的に豊かで躍動的な社会を実現

目標を達成する期限は目標 7 が 2040 年まで、それ以外の目標は 2050 年までとされた。それぞれの目標について研究代表者が PD（プログラムディレクター）として指名されている。公募に応じた研究グループの中から、各目標についてそれぞれ複数のプロジェクトが選ばれ、2020 年度から研究が始まっている。各プロジェクトの代表者は PM（プロジェクトマネージャー）と呼ばれる。

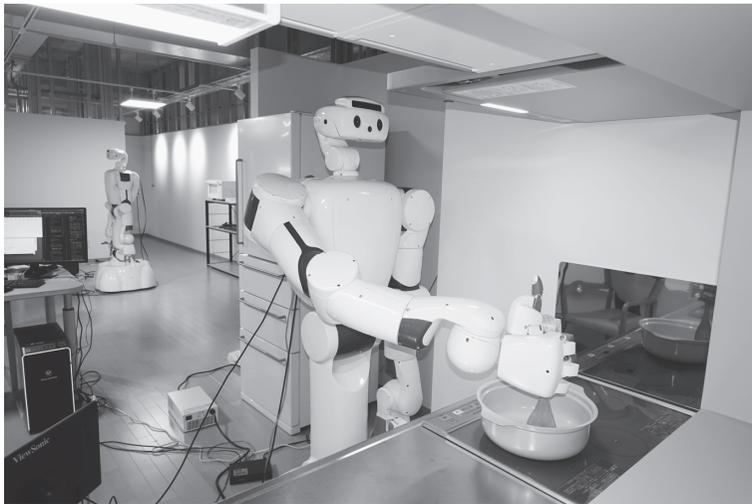
本稿では政府のムーンショット型プロジェクトのうち、目標 1 と目標 3 の中から、「一人に一台一生寄り添うスマートロボット」「人と AI ロボットの創造的共進化によるサイエンス開拓」「誰もが自在に活躍できるアバター共生社会の実現」「身体的能力と知覚能力の拡張による身体の制約からの解放」の 4 つの研究開発プロジェクトを紹介したい。なぜこれらを選んだかという、ロボット開発は日本のお家芸とも言うべき分野であり、さらに遠隔操作によるアバターの活用とあわせて、労働力不足が懸念される私たちの生活をどのように変えていこうとしているのか、その具体的な未来の姿が提示されているからである。

各プロジェクトは、目標とする年次のあるべき姿を設定し、その未来を起点にして、そこからいまに至る目標を逆算する「バックキャスト型」の手法をとっている。その反対に、現状を踏まえて適切な目標を設定する方式がフォアキャスト型だ。ムーンショットのプロジェクトの場合、いまの技術の延長線上にはないゴールを設定するため、バックキャスト型の課題設定となっている。

最初に紹介するのは、「究極のロボット作り」である。

## 2-1 アイレック

2020 年、早稲田大学は新たな研究開発拠点として、東京都新宿区に「リサーチイノベーションセンター」をオープンした。ここでムーンショットの研究が始まっている。厳重なセキュリティで守られたドアから研究室の室内に入ると、床はフローリング張りのバリアフリーで、リビングルームや浴室、広々としたトイレも備えられている。マンションのモデルルームのような雰囲気だ。そのキッチンで料理していたのが、人型ロボット（ヒューマノイド）だ。身長 166 センチ、体重は 150 キロ。頭部の両目部分にはカメラ、口にはスピーカー、耳にはマイクが備



研究室のキッチンで調理に取り組む AIREC

(早稲田大学リサーチイノベーションセンターにて)

えられていて、会話が可能だ。人間そっくりに作られたアンドロイドとは違い、シンプルで機能的な、いかにもロボットという外観である。楕円形の頭部に長い首という輪郭は、アメリカのSF映画「E.T.」に出てくるエイリアンにちょっと似ていて、ユーモラスだ。これが AIREC = AI-driven Robot for Embrace and Care (以下、アイレック) のプロトタイプなのだ。正式名称は、「AI 駆動で優しく包み込み、ケアするロボット」という意味である。

アイレックは右手で木製のヘラを器用に持ち、鍋の中をぐるぐるとかき混ぜている。AI が搭載され、学習を重ねた結果、鍋の中身をすくいあげて、隣のボウルに移すこともできるようになった。その行為がプログラミングされたものではなく、AI が学習を重ねた結果、道具を自分で選んで、作業ができるようになったというところがミソだ。ボディは青みがかかった白色で、移動は二足歩行ではなく、4 つの特殊な車輪「オムニホイール」で、真横も含めすべての方向へ自由自在に動くことができる。安定性や安全性、制御性や経済性を考慮し、2 足歩行ではなく、車輪式を選択した。バッテリー内蔵のコードレスで、人混みで混雑するところでも、ぶつからないよう人をよけるのはもちろん、「ちょっと、すみません」と声をかけて道を開けてもらいながら移動することもできる。衝突を回避するだけの、これまでのロボットではとれなかった行動だ。室内では家事のほか、入浴介助など福祉や介護作業の実証実験が行えるようになっている。

開発の中心となっているのが早稲田大学理工学術院長で、創造理工学部教授の菅野重樹である。菅野は、「目標 3」の「自ら学習・行動し人と共生する AI ロボット」に応募し、「一人に一

「台一生寄り添うスマートロボット」と題したプロジェクトが採択されたのだ。

## 2-2 人間のパートナー

「現代の私たちがスマートフォンを持っているような感覚で、2050年の社会ではひとりひとりがパートナーAI ロボットを持っているだろう。パートナーAI ロボットは子どもの見守り、学習、仕事や家事、健康管理や介護まで、持ち主の個性と年齢に合わせて様々なサポートをしてくれる存在だ」

これはムーンショット型研究開発事業の目標 3 で示された、2050年のイメージの一節である。少子高齢化が急速に進む中で、福祉や介護はもちろん、オフィスやサービス、工事など様々な労働現場をはじめ、生活のサポートまで、これまで人手に頼っている社会のあらゆる場面でロボットの活用が期待されている。

とはいいながら、様々な場面に対応した専用の機械はすでに多く存在している。掃除は移動式自動掃除機、食器洗いは食洗機、洗濯はホームランドリー、アイロンは形状記憶で不必要。音声認識でコンピューターと会話もできる。

これに対して菅野が目指すのは、人に優しく、1台で何でもこなせる人型ロボットだ。家庭では炊事や洗濯などの家事、一般のビジネスの世界では様々な仕事、社会福祉では食事介助や歩行リハビリ支援、病気やケガをしたときには治療や看護、さらには手術まで、1台の同じロボットがあらゆる場面に対応する。菅野が挑むのは、そんな「人と共生できる汎用ロボット」だ。

## 2-3 ロボットとは

映画やアニメを見ていると、私たちはつい「なんでもこなすロボットなんて、簡単にできそう」と思ってしまいがちだ。特に最近ではロボット技術の進化が著しい。2000年に登場したホンダのアシモは、優れた歩行技術が世間をあっと言わせた。それから20年がたち、アメリカのボストン・ダイナミクス社が2021年に公開した動画を見ると、身長約150センチ、体重86キロの2足歩行ロボット「アトラス」が階段をすばやく駆け上がったり、片手をついて障害物を飛び越えたり、さらには華麗なバク宙を2回連続で決めたりする。香港のハンソン・ロボティクスが開発した看護ヒューマノイド「ソフィア」は、患者の体温や脈拍を測ったり、英語と北京語で会話したりする。60パターン以上の表情を組み合わせて、自然な会話ができるという。産総研＝産業技術総合研究所のヒューマノイド「HRP-5P」は身長が約180センチあり、建設現場

で大型の石膏ボードを軽々と持ち上げて、壁面でビス留めまで施行することができる。いずれも私たちを驚かせる。アメリカの電気自動車メーカー、テスラも本格参入を表明した。

その一方、テレビやYouTubeで言及されないこともある。それは、それぞれのロボットが得意とする場面が、きわめて限られているということだ。菅野は開発者の立場から、次のように説明する。

「シチュエーションを決めて、場所や対象物を限定した上で作業をやらせようと思えば、何でもできるのです。ロボットのデモンストレーションって、大体決まった動きなんです。そこだけ見てみなさん、『すごい』と思ってしまうので困るんですよ。『それでは他に何ができるんですか』という問いかけに、答えられない。普通の生活の中で自然に、あらゆる場面に対応できるかと言えば、明らかに限界があるのです」

ここでロボットとは何か、機械とはどう違うのかについて確認しておこう。経済産業省のロボット政策研究会は2005年に「センサー、知能・制御系、駆動系の3つの要素を有する、知能化した機械システム」をロボットと定義した。人間で言えばそれぞれ感覚、脳、そして手足が該当する。3要素の内、ひとつでも欠ければ、機械ということになる。とは言うものの、「検索ロボット」のようにコンピューター上のプログラムまでロボットと言う場合もあり、使う人によってロボットの定義は様々なのが現状だ。

次にロボットを用途別に見てみると、産業用ロボットとサービスロボットに分類できる。危険なところで作業したりする特殊環境用ロボットという区分もある。

というわけで、ロボットが人型である必要はない。ロボットの語源がチェコ語の「robota」（強制労働）と言われるように、第一の役割は労働の担い手である。日本ロボット工業会によれば、工場で働く産業用ロボットの生産は、国内では1960年代後半から始まり、日本は現在、質量ともに世界トップの座を保っている。

もちろん人型ロボットもある。そもそもロボットはチェコの作家、チャペックが1920年に発表した戯曲で、人型ロボットを登場させたのが最初である。アメリカではアシモフが1950年にロボットもののSF小説を発表して以降、フィクションの世界では様々な人型ロボットが登場するようになり、アニメや映画で人型ロボットはおなじみである。そして菅野が目指すのも人型ロボット、それも1台ですべてをこなせる究極のロボットだ。

## 2-4 身体知と原始的感情

問題は、それをどう実現するかだ。

「最初のアプローチは、AIがハードウェアを含んだ『身体知』です」

これまでのAIは、ハードウェアを動かすためのソフトウェアでもあるが、ハードウェアそのものの特性はあまり考慮されていない。例えばディープラーニングで画像を解析し、何らかの認識を得て行動を決めると、ロボットがそれを実行する。その場合、ハードウェアの特性は特に考慮されない。しかし、何でもできる汎用型のロボットには、言語化することの難しい「巧みさ」が要求される。その巧みさはロボットの身体機能にかかっている。人型ロボット開発から学んだその仕組みを、菅野は身体知と呼ぶ。そこでアイレックに搭載するAIには、ロボットの身体機能を含めたリアルタイム予測と感覚、運動制御を深層予測学習し、身体知に基づくロボット独自の世界モデルを獲得させる。

もうひとつのポイントは、ハードウェアに「ドライ・ウェットハイブリッドメカニズム」を取り入れることだ。これまでのロボットは動作はモーター、ボディは硬い素材で作られている。菅野はそれをドライメカニズムと呼ぶ。その内部は隙間だらけだ。これに対して生身の人間は、硬い骨格が内部にあるものの、基本的に柔らかい。内部の隙間は体液で満たされている。つまりウェットなメカニズムである。

「究極の、何でもできるロボットを目指すのであれば、人に近い柔らかさを持っている方がいい。ドライではなく、ウェットになっていきます」

ロボットの構成要素を流体ベースに転換し、人工筋肉の動作は粘性流体アクチュエーター(駆動装置)、エネルギーは燃料電池、表面はゴム弾性を有するエラストマーでカバーして無数のセンサーを配置し、内側には流動性のあるゾルを充填する。構造的には生体のような「自己修復」も重要になってくる。しかしすべてをウェットなシステムにするのは技術的に難しく、骨格部分には金属素材を取り入れたドライメカニズムとのハイブリッド型を目指すことにしている。この節の冒頭で紹介したアイレックのプロトタイプは、まだウェットメカニズムを取り入れておらず、ドライタイプだ。

「かなり生体に近いような構造のロボットを作ろうと考えています」

こうして人体に近い身体機能を持たせることで、AIは生体器官の維持や環境適応のための身体変化も担うことになり、「原始的感情」を作り出すことになると菅野は予想する。

## 2-5 汎用ロボットの課題

菅野の目指す汎用ロボットが広く社会に行き渡るようになれば、従来のロボットのイメージも大きく変わるだろう。

「ロボットが人と一緒にいろんなことやることによって、生活や人生を豊かにできる可能性が、すごくあるはずです。便利さだけでなく、何でもできて知的なロボットは、私たち人間を高め

るきっかけにもなると思います」

同時に新たな課題も出てくる。

「どこまでロボットの自律性を人間が許容できるのか。現時点でバラ色の夢を描くのは簡単ですが、現実的にロボットが進化してきたとき、いろいろ問題が起きてもおかしくないと思います。世界的にロボットが受け入れられるかどうか、地域によっても違うでしょうし、宗教によっても違うでしょう。一方で産業化を考えると、自動車と同じように世界的に普及しないと、産業にはなり得ない。そこには非常に難しい問題があります」

そこで菅野は、社会的ニーズの把握と実用化戦略を準備している。2050年は、ジェネレーションZと呼ばれる1990年代後半から2010年代にかけて生まれた世代が、究極のロボットを使う時代になる。ビジネス展開をにらんだ市場では、日本国内だけでなく、文化や宗教の違う地域でも使ってもらえるようにする必要がある。そこで欧米やアジア8カ国のZ世代を対象に1万人規模で、ロボットのニーズを把握するための社会受容性調査を2023年以降に実施する計画だ。

産業として社会に汎用ロボットを広く受け入れてもらうための戦略としては、新たに開発するロボットのOS=オペレーティングシステムを誰でも自由に使ってもらえるようにするオープン化戦略を描いている。プログラムの設計図であるソースコードを無償で公開するのだ。これまでのオープンソースとしては、スマートフォンのアプリを動かすGoogleのOS「Android」、コンピューターOSの「リナックス」、国産ではデジタル家電をはじめ、自動車やビル、工場など様々な場面で利用されているOS「トロン」が有名だ。オープンソース化することで、世界標準を狙うのだ。

蒸気力で走る自動車が発明されて250年以上が過ぎた。交通戦争と呼ばれるほどの事故被害者を出しながら、免許制度や保険、法律や道路整備などの対策がとられてきた。環境対策として電気自動車へのシフトが世界的に進む。このように様々な問題があっても、自動車そのものを廃止しようという話にはならない。それは自動車が便利だからだ。汎用の人型ロボットも同じように社会に受け入れられるかどうか。社会の受け入れ体制を含めた準備をはじめるときが来ている。

次に紹介するのは「人とAIロボットの創造的共進化によるサイエンス開拓」プロジェクトである。

### 3-1 ロボットとの対話

「あの細胞に薬品を注入したら効果がありそうだけど、小さくて柔らかいし難しいのよね」

2050 年のある日、科学者はそうつぶやきながら、試薬 A と試薬 B の入った試験管を手にとり、ロボットに問いかけた。

「A と B を混ぜて、少しずつ量や位置を変えながら注入できる？」

「やってみます。でも調整は苦手なので、ほかのロボットと一緒にやりますね」

ロボットは、人ができないような難しい作業も苦にしない。人では操作が難しい対象物に対しても、ロボットの性能を生かした操作や解析を行う。加えて自分の苦手な作業だと、他のロボットを頼ることもある。必要とされる機能をセルフオーガナイズするのだ。

「この試薬に一番反応します」

疲れを知らないロボットは粘り強く作業を進めた。

「この場所に同時に注入したらうまくいきました」

ロボットは工夫した結果やコツなど、新たな知見を科学者に報告した。

「面白いやり方ね。それならあの細胞に使えるかも」

ロボットからインスピレーションを得た科学者は、さらなるサイエンスの探求を行うことにした。

あたかも星新一の SF 小説のような世界を紡ぎ出そうとしているのは、東京大学大学院医学系研究科准教授の原田香奈子だ。原田の思い描く物語は、AI ロボットを活用することで、人間に秘められた可能性を最大限に引き出そうという未来ビジョンだ。

「AI ロボット科学者と人間の科学者が共にサイエンスを探求することを目指します。AI ロボット科学者が、人では思いつかないような AI による仮説、解釈あるいは、ロボットによる観察、操作を行うことで、人の創造性を刺激し、また人の創造性から AI ロボットが刺激を受けるという相互作用によりサイエンスを探求してゆきます」

### 3-2 あきらめないロボット

原田は、内閣府が設定したムーンショット目標のうち「2050 年までに、自ら思考・行動し、自動的に科学的原理・解法の発展を目指す AI ロボットシステムを開発する」に取り組む。その具体的内容として、以下を提示する。

科学者と対等に議論しながら、人では困難な環境におけるサイエンス実験を行う AI ロボットを開発する。AI ロボットは科学者と共に試行錯誤することで、未経験の対象物や環境にも対処する。それにより、サイエンス分野において AI ロボットによる科学原理・解法の発見を実現する。

これを一口で言えば「人と AI ロボットの共進化」である。

「AI ロボット科学者が、人では思いつかないような仮説、解釈を提案し、あるいは AI ロボットによる観察、操作を行うことで、人の創造性を刺激し、さらに人の創造性から AI ロボットが刺激を受けるという相互作用によりサイエンスを探求してゆきます」

これまでの人間とロボットの関係は、人が決めたことをロボットがやり、ロボットができないことを人がやってきた。これに対して原田の目指す世界は、ロボットが得意なところと、人が得意なところをうまく組み合わせで進化する。原田はそれを「共進化」と呼ぶのだ。

ロボットは人間から指示されていない可能性を自ら探ることになる。

「これまでロボットが獲得した知識だったり、仲間のロボットが経験したことだったり、そういう過去の経験や知識を共有しながら、探索していくイメージです」

工場で働くロボットは、ひたすら同じ作業を速く、正確に行えるよう改良されてきた。その目的とする作業がしやすいよう、ロボットは設計されている。対象となる部品もロボットが扱うことのできる形や硬さに限られる。しかもロボットが届く場所からはずれないように、部品を置かなければならない。エラーが出たら作業はストップし、人間が対応しなければならない。

「手取り足取り、人間が面倒を見なければなりません。それは今の AI ロボットがそのまま高度化しても解決できることではありません」

自分のやっている仕事がかまくいかなかったとき、人間だったら自分で打開策を検討する。一方、これまでの AI やロボットだと「エラー」と認識して停止してしまう。原田の創り出そうとしている AI ロボットは、予想外の事態に直面したとき、停止するのではなく、踏みとどまる。

「人から言われてもいないようなことをロボットがやり出すというようなイメージではなくて、やるべきタスクをできなかったとき、あきらめないロボットです」

原田の目指す AI ロボットは、自分で「何をすればいいのか」を理解し、そこでベストのパフォーマンスを発揮する。そのためにはまず、ロボットが自分の機能や構造と知識、過去の経験を踏まえて、自分でいま、できることとできないことを判断する。その上で、自力で対処するためには、例えばロボットアームを自分で組み替える場合があるかもしれない。自分だけで対処できない場合、対処できそうな機能を持つ仲間の AI ロボットに助けを求めることもあるかもしれない。こうした作業ができるよう、原田は独自のアルゴリズムを開発しようとしているのだ。

「例えばロボットが、あのロボットと一緒にできるとか、人がここだけやってくればあとは自分でできるとか、そんな双方向の関係性を実現したいと思っています」

プロジェクトでは「ロボット科学者」という呼び方をしているが、目指すのは人型ロボットなのだろうか。

「私はロボットを人に近づけたいという気持ちはありません。例えばペットの犬を見て、犬を人間に近づけたいとは思いませんが、犬と人間は共存しています。おなじようにロボットはロボットらしく、ロボットとして発展してくれればいいと思っています。人型もあれば産業ロボットのような形、形がなくて音声だけなど、様々な形態の AI ロボットが混在していいと思っています」

### 3-3 植物に対する理化学実験

プロジェクトで対象とするサイエンスの探求は、特定の領域に留まるものではない。しかし、コンセプトを具体化し、かつ早期に社会貢献を行うためとして、原田のプロジェクトでは、耐性のある植物を作るための「バイオスティミュラント」を開発することになっている。植物の薬とも呼ばれ、近年注目が集まっているバイオスティミュラントは農薬でも肥料でもなく、土地改良でもない。日本語に直訳すると「生物刺激剤」であり、植物の能力と価値を高めるのが目的だ。具体的には高温や低温、乾燥や塩害など非生物学的ストレスに対する耐性を強化し、肥料の吸収効率を高める。遺伝子に手を加えることなく植物を制御できる技術であり、農薬の代替として期待されている分野だ。特にヨーロッパで先進的に取り組まれている。日本でも農薬や肥料を補完するバイオスティミュラント製品がすでに商品化されて収穫量が増えるなどの成果をあげている。

しかし従来の研究方法では多大な労力がかかる割に、得られるものが少なかった。

「化学物質の候補は何億もあり、それを一つひとつ調べるのはものすごく大変です。『この化合物が良さそう』と場当たりのにやってみて、やっぱり効果がなかったという場合が大半です。計測も人がしているので、値が違ったり、計測自体を失敗したりという不確かさもあります」

原田たちは何度も収穫できるような植物の再生力や最適な培地も研究することになっている。そこで AI ロボットがどのように活躍するのだろうか。

「現状では、これまで良かった化合物に似た化合物を調べているのですが、それは人間の探せる範囲が限られているからなのです。しかし化合物は無数にあるので、AI ロボットがまったく違う領域を探して、人間の科学者が探したこともない化合物の集団から『もしかしたらいい』という化合物をピックアップできる可能性があります。さらに新しい候補について AI ロボットは『結合を変えると、さらに効果があります』という発見をもたらしてくれるかもしれません」

確かに創薬などの分野では、すでに一部で AI を使ったこうした取り組みが始まっている。これに対して原田たちは化合物の探索や計測だけでなく、それに続くすべての過程で AI ロボッ

トを組み合わせ、研究システムを最適化しようとしている。

### 3-4 AI ロボット開発の課題

原田のプロジェクトで開発する AI ロボットが活躍を特に期待される環境とは、どのような現場だろうか。

ひとつは人間が入りたくないような危険な環境だ。例えば毒のある材料を触るような危険な作業やウイルスに汚染されたバイオハザードでの作業、低酸素環境での作業などがある。逆に人間が対象物を汚染してしまうような非常にクリーンな環境も含まれる。宇宙や深海など人間が簡単に行けないところでも、自律的に活動できる AI ロボットが期待されている。コロナ禍による社会変化に伴い、理化学実験を遠隔で行いたいというニーズも増えている。これはまさに AI ロボットが最も得意とする場面でもあると言えるだろう。

別の側面から見てみよう。理化学実験では、対象物の個体差が非常に大きく、事前にすべての手順を設計することは困難であり、臨機応変な操作が必要だ。サンプルサイズも限られ、特に動物を対象とした実験におけるサンプル数は、倫理的問題とも直結する。

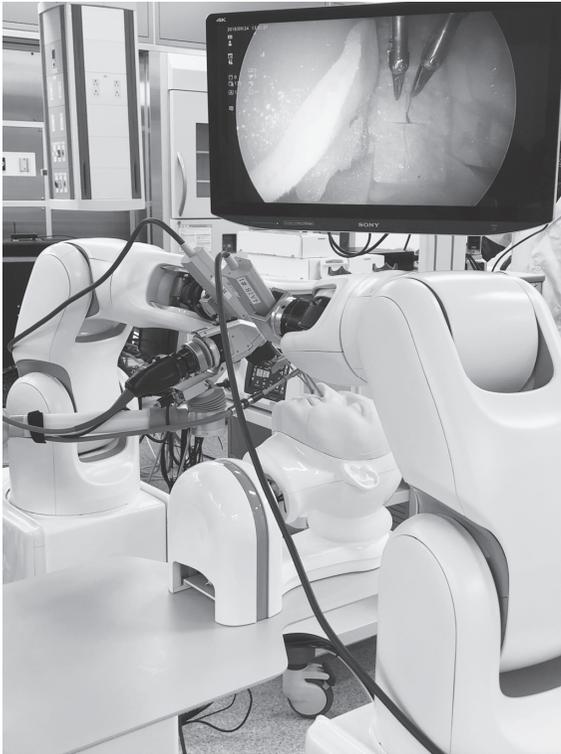
限られた時間で、あるいは決められたタイミングで実験を行うことが求められることも多く、非常に小さく、柔軟な対象物をウェットな環境で扱うことも重要なテーマだ。

実験が上手い、下手などの評価があるように、職人的な技術が求められる分野でもある。例えば人間が遠隔でロボットを操作して、実験動物の臓器を取り上げる場合、非熟練者はつかんで潰してしまうことがある。これに対して熟練者は、すくい上げるように持つことができる。具体的に言えば、臓器の下にツールを差し込み、臓器を壊さない程度の弱い力で持ち上げることができる。ツールを差し込む位置は、ほかの臓器との接続部という解剖学的知識が必要となる。

別の例をあげると、特定の反応を起こす有機化合物を探索する場合、まず実験条件を設定するが、条件を変えても同じようなグラフしか出ないような場合がある。一方で、大きく反応が変わり、解決のヒントが得られる場合もある。このとき、勘に頼るのではなく、科学的に根拠のある仮説を立て、最短で解決に導くような実験条件を自律的に探索することで、効率的に研究を進めることが可能となる。

このような場面に対応して、AI ロボットの知覚や運動を設計し、最終的に自律化することで、人間では知覚できない情報を使って、また人間では制御できない運動を行うことで、実験の成功率を向上させ、さらに実験を高速化することで、効率的なサイエンス探究につなげていく。

こうした課題は手術ロボットなど、ほかのロボットにも共通しており、このプロジェクトの



内閣府 ImPACT プロジェクトで開発した  
評価用患者モデルと、手術ロボット。

(提供：東京大学)

成果は、様々な AI ロボット技術の発展にも繋がるだろう。

「人の臓器は個体差があり、柔軟なため、AI ロボットの対象としてはとてもチャレンジングです。まずは理化学実験を対象として技術開発を行い、手術支援に転用していきたいと思っています」

原田は、内閣府が 2018 年度まで実施した ImPACT (以下、インパクト) = 革新的研究開発推進プログラムというプロジェクトで、やはりプロジェクトマネージャーを務めた経験がある。原田たちはインパクトで、センサー付きの精巧な人体モデル「バイオニックヒューマノイド」を開発し、すでに実用化されている。手術ロボットの「スマートアーム」の開発にも取り組んだ。

「医師のやりたいことを精度よく実現

するのが手術ロボットの役割ですが、これからのロボットは自分ができない事もロボット自身で模索していくような能力が必要ではないかと考え、このプロジェクトにつながりました」

ムーンショットで開発するロボットの初期版はスマートアームとほぼ同じシステム構成になり、インパクトの成果が活かされることになっている。

次に紹介するのは、コミュニケーションの可能性を拡げる「アバター」である。

#### 4-1 ジェミノイド

人間とロボットが共存する SF 映画のような世界を作り出そうとしている研究者がいる。ロボット工学者として世界的に著名な石黒浩だ。自分の身代わりロボットが当たり前になっている世界を描いた 2009 年のアメリカ映画「サロゲート」で石黒は、彼自身にそっくり似せて作られたアンドロイドとともに登場している。石黒は、モデルとなった人にそっくりの外見を持つロボットを、双子のアンドロイドの意味で、「ジェミノイド」と名付けている。



大阪大学 石黒浩教授（左）とジェミノイド HI-4  
(提供：国際電気通信基礎技術研究所)

ちなみに人型ロボットの総称が「ヒューマノイド」で、その中でも見た目が人間のように作られたものがアンドロイドである。

有名人に似せて石黒の製作・監修したアンドロイドは、落語家の桂米朝をモデルにした「米朝アンドロイド」や、タレントのマツコ・デラックスの分身としてテレビ番組で活躍した「マツコロイド」が有名だ。埼玉県深谷市の依頼で製作され、2021年に公開された「渋谷栄一アンドロイド」は、渋谷の肖像画が1万円札の図柄に採用されることもあって評判を呼んだ。

石黒の作るアンドロイドの特徴のひとつは、豊かな表情だ。アンドロイドの体内には空気を使って肌や関節などを動かす駆動装置が多数配置され、まぶたや眼球を細かく動かしたり、オペレータの話す声にあわせて口元を動かしたり、息をしたり、さらには相手の発話に応じて様々な相槌を打ったりすることで、いかにも人間らしい表情や仕草、振る舞いをすることができる。

一方、ヒューマノイドを機能面で見ると、大きく「自律型」と「遠隔操作型」に分けることができる。前者は搭載されたセンサーで環境を認識し、その結果をロボット自身が解釈して自律的に行動する。ホンダのASIMO（アシモ）は二足歩行する世界初の自律型ヒューマノイドとして注目を集めた。これに対して後者は、無線やインターネットなどを介してロボットのカメラやセンサーから情報を受け取り、オペレーターが動きを操作する。わかりやすく言えば操り人形である。石黒はどちらの型も開発してきたが、ジェミノイドは、基本は遠隔操作型で、離れた場所にいる人間が操作し、ロボットが発する言葉や仕草でぴとと意思疎通をはかる。一口で言えば、コミュニケーション・ロボットなのだ。

## 4-2 アバターとは

「ムーンショット型研究開発制度」の目標のひとつが「2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現」することだ。事業を所管する内閣府では、その手法として「サイバネティック・アバター」の活用を提示した。内閣府によればサイバネティック・アバターとは「身代わりとしてのロボットや3D映像等を示すアバターに加えて、人の身体的能力、認知能力及び知覚能力を拡張するICT技術やロボット技術を含む概念」と規定する。

同制度で、石黒は「誰もが自在に活躍できるアバター共生社会の実現プロジェクト」を提案して採択された。ムーンショットプロジェクトに応募した理由を、石黒に聞いてみた。

「私がやってきたこと、そのままだからです。遠隔操作型のアンドロイドを作ったり、アバターの研究を早期に始めた一人だと思っています。私がやってきた研究がそのままプロジェクトになったと思って応募しました」

アバターという言葉の語源は「化身」という意味のサンスクリット語で、いまは「自分の分身」という意味で用いられている。2009年製作のアメリカ映画「アバター」は、実写と組み合わせた3D映像の美しさも相まって記録的な大ヒットとなった。インターネットなどでのアバターを使ったサービスは、この映画をきっかけに普及したといっても過言ではない。

しかし石黒はそれ以前の早い時期から、遠隔操作ロボットとしてのアバターの研究に取り組んできた。1999年にはテレビ会議システムと移動台車を合体させた遠隔操作型ロボット（アバター）を発表している。

石黒が作る人間そっくりのジェミノイドは、もちろんアバターだ。一方で、その対極とも言えるアバターの「テレノイド」を10年以上にわたって研究している。テレノイドが特徴的なのは、ひと目で人間だと分かるが、しかし誰であるかがわからないことだ。個性的なジェミノイドとは対照的に、徹底して没個性なのだ。見方によって男性とも女性とも、おとなとも子どもとも思えるニュートラルなデザインだ。柔らかく、肌触りのよい外観と、小型ボディの採用で、容易に抱きかかえることができる。テレノイドはすでに高齢者向けサービスとして事業化され、要介護や一人暮らしの高齢者の健康管理や見守りに役立っている。認知症高齢者の反応としては、人によっては暴言などの問題行動が抑えられ、うつ傾向の改善も人によっては見られているという。

こうした石黒の様々な取り組みが、ムーンショットのプロジェクトで活かされることになる。

#### 4-3 2030年までの目標

ムーンショットのプロジェクトで内閣府は、年代別に目標を設定している。まず2030年までに達成すべき目標として「1つのタスクに対して、1人で10体以上のアバターを、アバター1体の場合と同等の速度、精度で操作できる技術を開発し、その運用等に必要な基盤を構築する」ことをあげている。

これを踏まえて石黒が2021年から開始したのが「遠隔対話ロボットで働く」をテーマに、大阪大学とサイバーエージェントがムーンショットプロジェクトのもとに取り組んだ実証実験だ。その第一弾として、大阪大学の学内保育園で、アバターによる保育サポート事業を実施した。なぜ保育園が選ばれたのかというと、保育士の有効求人倍率が年々増加し、保育をサポートする人材が慢性的に不足しているからだ。実証実験では、73歳から83歳の高齢者5人が離れた場所から「あいさつ運動」に、またコロナ禍で新たな活動の場を探している劇団員など2人が「からだ遊び」や「ロボットへの質問会」などに取り組んだ。

実験で使ったアバターは、言葉に加えて身振りや手振りも使った自然な対話を実現する小型会話ロボット「Sota」（以下、ソータ）をベースに、独自に開発したシステムだ。このアバターは高さ28センチで、カメラやマイク、スピーカーのほか、無線装置などを備えている。

実験には、サイバーエージェントが大阪大学基礎工学研究科に設定している共同研究講座で開発した遠隔操作ロボットシステムが使われた。ソータはリアルタイム音声変換で、オペレーターの声をかわいいロボットに相応しい声に変える。さらに音声認識によるロボット動作生成などの最新技術を組み合わせて、オペレーターは話すだけで、ソータの基本的な動きを操作することが可能となっている。

その結果、高齢者がアバターを通して行ったあいさつ運動では、12日間でアバターが245回の声掛けをしたのに対し、子どもたちから62%の割合で返答があった。園長に対するヒアリングでは「人間の保育士と同程度の役割をこなすことができた」との回答が寄せられた。劇団員らは遠隔から約30分のアクティビティを4回行ったが、子どもたちはみなアバターの声に耳を傾け、質問に元気よく答えていた。劇団員は「人に無条件で肯定される体験として、生活をうるおす貴重な体験であると感じました」と話し、オペレーターにとっても貴重な体験となったことが伺われた。

保護者に対する聞き取りでも「はじめてロボットと触れ合いましたが、自分から積極的に関わっていました」「またソータくんに会いたいと言っていました」など、好意的な評価だった。実験の結果、特殊なスキルがなくても、あいさつ運動をサポートできることが示された。

続いてスーパーマーケットでは、アバターによる販売促進の実現可能性を1週間、検証した。

スーパーなどの小売店では新型コロナウイルスの感染防止を目的に、接客や販売促進の手段が制限されている。アバターによる接客なら、感染リスクはない。しかし「購買の促進」は、難易度が高いという課題があった。実験では1日あたり9時間にわたり2台のアバターを使い、20代から50代までのべ36人が操作を担当した。結果はというと、店員が配布するより約5倍のチラシを配布することができた。また時間にして45%にわたり、客が立ち止まってアバターと会話をしており、約半分の時間で利用されていたことが確認された。一方で買い上げ率は、人間の店員が販売員をした場合に比べて42%にとどまり、売上の向上にはつながらなかった。利用客に対するヒアリングでは「楽しく会話できた」「ロボットのインパクトが強すぎて、商品が目に入らなかった」などの回答が多く、アバターを商品の売上にいかにつなげるかが今後の課題となった。

さらに水族館と動物園、美術館を融合させた大阪市内の新感覚アミューズメントパーク、NIFREL（ニフレル）では1週間にわたり6台のアバターを設置し、常に3から4人のオペレーターが館内の案内や展示説明などの接客業務、クイズの出題や来場者からの質問対応にあたった。実験の結果は、訪問客の67%がアバターと会話し、そのうちの70%が対応に満足した。

実験の結果、来場者と数多くの接触機会を生み出し、アバターが顧客とコミュニケーションをとるための有力な手段となりうることを実証した。アミューズメント施設はリピート率の向上に特に力を入れており、リピーターの獲得にも貢献できると期待される。

課題となったのは、複数のアバターに対して同時に、複数の来場者が会話しようとしたときのことだ。事前に立てた対策としては、アバターが自律して対話できる仕組みを構築した。「話しかけてくれたから、豆知識を教えるね。〇〇という魚は～」などと、オペレーター不在時の時間を稼ぐ。その間に手の空いたオペレーターが順次対応するという対策をたてていた。しかしこの対応は十分ではなく、立ち止まった人のうち、ロボットの反応が不十分ため立ち去った割合が42%もあった。来場者に滞在し続けてもらうための自律対話のあり方や、遠隔操作を優先的にみるべきアバターの表示、自律対話と遠隔操作の対話を自然に切り替えできる発話の支援などが、今後の課題として明らかになった。

#### 4-4 2050年までの目標

2050年までの目標として設定されているのが「複数の人が遠隔操作する多数のアバターとロボットを組み合わせることによって、大規模で複雑なタスクを実行するための技術を開発し、その運用等に必要基盤を構築する」ことだ。その具体的なイメージを石黒に聞いてみた。

「コロナ禍で、家でできることは家ですという風に生活様式が変わってきています。しかし

オンラインの会議システムだけでは、十分な活動ができません。学校や会社では、世界中の人がアバターに乗り移って活動し、プロジェクトを進める環境が重要になってくると思います」

コロナ禍の感染予防で在宅勤務が推奨されている。ひとりで仕事に集中する時間も必要だが、だれかと対話することで作業が進むことも多い。しかし自宅には、相談できる仲間や専門家は少ない。そんなとき経理や法律、コーチングなどの専門家がアバターで助けてくれると、仕事は、はかどるだろう。仕事に社会性は不可欠であり、孤立して仕事をすることはできないからだ。これまではオフィスや学校が担ってきたその役割を、アバターが担当してくれる。

高齢者や障害者を含む誰もが多数のアバターを用いて、認知能力や知覚能力を拡張しながら、様々な活動に自在に参加できるようになる。いつでもどこでも仕事や学習ができる。ワークライフバランスを取りながら、自己実現が可能となる。人生の時間は有限だが、アバターは限られた自分の時間を有効に使う助けになるだろう。

さらに新型コロナウイルス感染症の初期の診断は、病院に行くより、家でアバターに診察してもらったほうが安心だ。認知症や重症患者を在宅や施設で看護する場合も、複数のアバターによる重層的な見守りが役に立つ。

「専門医と、ふだんの状態をよく知っている看護師やソーシャルワーカーが連携すれば、専門的な知識も使いながら、日々の看護をより充実させることができます」

あらゆる人が自分の人生の過ごし方を、自分の好みにあうようデザインすることができる。そんな未来を石黒は目指している。

最後に紹介するのは、究極のブレイン・マシン・インターフェースである。

## 5-1 ブレイン・マシン・インターフェース

「人の意図が推定できれば、思い通りに操作できる究極のサイバネティック・アバターが可能になります」

そう語るのは、身体的能力と知覚能力の拡張による身体の制約からの解放」のプロジェクトマネージャーである、金井良太だ。金井は脳科学者で、イギリスのサセックス大学准教授を務め、現在は人工知能ベンチャー「アラヤ」のCEOである。

彼が構築を目指すのが BMI-CA (ブレイン・マシン・インターフェースーサイバネティック・アバター) である。生身の人間の代わりとなる CA=「サイバネティック・アバター」を脳で動かすインターフェースという意味である。

金井はこの目標について、ふたつの意義を強調する。ひとつは医療的な観点で、不自由な状態からの機能回復を目指すというものだ。例えば、ALS=筋萎縮性側索硬化症の患者や、「ロッ



脳波取得実験

(提供：アラヤ)

クトイン・シンドローム」＝閉じ込め症候群の患者は、身体を動かしたり、しゃべったりすることが困難だ。こうしたコミュニケーションをとることが難しい人たちの支援技術として、これまでも AAC＝「拡大（補助）・代替コミュニケーション」と呼ばれる技法がある。

手を動かせる人は、自分の表現したい意思を示すカードを指し示したり、手や足が動かなくても、まぶたを動かすことのできる人は、瞬きの回数で「はい」「いいえ」を意思表示したり、眼球を動かせる人は、透明なアクリル板に書かれたアイウエオ表を目線で指すことで言葉を表現したりする。手や足、首など身体の一部がわずかに動く人は、その動く部分に対応した専用のスイッチを入れたり切ったりすることで、パナソニックなどが製品化している「意思伝達装置」を操作し、自分の思いを伝えることができる。しかしこうした手法は当事者、介助者ともに高度な習熟が求められるのに加え、口でしゃべるのに比べて大幅に時間がかかる。そこで従来の技法と比べて圧倒的に便利な AAC として、BMI が期待されているのだ。

日本 ALS 協会の協力で ALS 患者にアンケートしたところ、有効回答の 4 分の 3 以上が BMI に興味を示し、BMI が実用化されれば高いニーズがあるだろうことを裏付けている。そこで期待されているのは「意思伝達」と「運動機能の補助」だ。加えて、いまは元気な人たちも、加齢や病気でコミュニケーションが難しくなる事態も想定される。誰にとっても他人事ではないはずだ。

もうひとつの意義は、健康な状態にある一般の人にとっても役に立つという視点だ。情報過

多な日常生活の中で、効率よくたくさん情報を得たり、発信したりしたいとき、BMI を使えば、文章を読んだり書いたりする手間を大幅に省くことができるようになる可能性がある。人間の能力を補うだけでなく、拡張することができるのだ。

## 5-2 侵襲型と非侵襲型

人間の脳は、膨大な数の神経細胞＝「ニューロン」からできている。ニューロンは何らかの刺激を受けると、細胞膜に一過性の電位が生じ、次々と他のニューロンへ電気信号を伝えていく。こうした脳の活動に伴って発生するのが脳波だ。その脳波も様々あり、リラックスしているときはアルファ波、興奮しているときはガンマ波など、そのときの意識や心の状態に応じて違った種類の脳波が出ていることがわかっている。

そうした脳波の種類や強さ、それに脳波を検出した部位などを的確に捉えることで、その人の考えていることを読み取ったり、逆に情報を脳に入力したりできたりする可能性をもった装置が BMI なのである。

ただし、それは簡単なことではない。ひとりの人間の脳内にあるニューロンは 1000 億個とも 2000 億個とも言われ、その結合部分であるシナプスは、数百兆個にも上る。この数は銀河系の星の数にも匹敵する。なんとも壮大な取り組みなのだ。

その BMI を装着する方式は、大きく「侵襲型」と「非侵襲型」に分けられる。

「侵襲」とは身体に何らかのダメージを伴う行為のことで、BMI で侵襲型という場合は、手術で頭蓋骨に小さな穴を開けて情報を得る方式を言う。その際、脳波を読み取る電極の設置方法で、脳の内部にまで電極を埋め込む侵襲性の高いタイプと、大脳皮質表面を覆う硬膜の下で脳の表面から脳波を感知する侵襲性の低いタイプに分けられる。後者は「低侵襲型」と呼ばれることもある。得られる脳波は侵襲性が高いほどクリアで、情報量が多くなる。同時に侵襲性が高いほど人体への負担は大きく、電極による脳の損傷や、免疫機能の低下による感染症などのリスクも生まれる。

身体を傷つけない非侵襲型は、頭部に装着するヘッドギアタイプの脳波計が一般的だ。脳が発する脳波と磁場信号を頭皮上から測定するほか、NIRS（近赤外分光脳計測法）<sup>ニルス</sup>を使って血中ヘモグロビン濃度を読み取ることもある。市販されているものも多く、自宅で手軽に測定できるが、侵襲型に比べれば精度はかなり劣る。金井は従来からある脳波計を利用するのはもちろん、新しい非侵襲型 BMI も開発することになっている。

「運動に関係する部位は頭頂部付近にあるのですが、いまある簡易脳波計は、運動の部位からとれるものが少ないのです。そこに対応した脳波を取れるタイプを開発して、ビッグデータ化

することを狙っています」

金井たちのプロジェクトがユニークなのは、侵襲型、非侵襲型に加えて「非接触型」BMIの開発も重視している点だ。人間が頭で考えた結果は、表情や身振り手振り、歩き方や行動など身体の動き、心拍数や呼吸にも現れる。身体の不自由なALS患者も、視線で表現できることがある。

「人間の行動の意図は、その人の外側にも現れます。そうした簡易にとれるものを全部、ディープラーニングで学習させて、その人の意図を予測することで、詳細な脳の中の情報が得られなくても、機能的に同じことを実現しようという作戦です」

### 5-3 世界の BMI

海外では脳研究と BMI 開発が重要なテーマとなり、すでに熾烈な開発競争が始まっている。

国家レベルで見ると、アメリカ政府は2013年に当時のオバマ大統領が、脳の全容解明を掲げて「ブレイン・イニシアチブ」プロジェクトをスタートさせた。その予算規模は、かつてのアポロ計画に匹敵するとも言われている。

これとは別に米国防総省のDARPA<sup>ダーパ</sup>=国防高等研究計画局は、ヘルメット内部に装着したBMIで兵士の脳から情報を取得し、意思疎通を可能とする「サイレント・トーク」の開発を進めている。味方の声が敵に聞こえることなく、あるいは爆音が響く戦場でもコミュニケーションできることを目指している。

EUは同じ2013年に「ヒューマン・ブレイン・プロジェクト」をフラッグシッププログラムのひとつに採択し、10年間で約110億ユーロという大規模予算をつけている。中国でも「チャイナ・ブレイン・プロジェクト」を2016年から15年計画で実施している。

民間レベルでは、特にアメリカのハイテク企業が熱心だ。中でもテスラ CEO のイーロン・マスクが中心となって2016年に創業した「ニューラリンク」が注目の的だ。同社の開発した超小型マイクロチップには、髪の毛の10分の1ほどの太さしかない糸状の電極が1000本以上接続され、頭蓋骨に小さな穴を開けて電極を脳内に埋め込むと、脳神経の働きをパソコンやスマートフォンに伝達する。侵襲性の高い方法だが、2020年8月にはブタを使った動物実験が成功したと発表し、大きなニュースとなった。ニューラリンクは電極を埋め込むための自動手術ロボットも開発し、手術の簡易化も目指している。埋込み型のチップは脳波だけでなく、血流などの異常も感知し、脳卒中や心臓発作などの予防にも役立つという。

これに対して日本も遅れをとっているわけではない。2008年には文部科学省が脳科学研究の「推進プログラム」を、2014年には理化学研究所が中心になって脳機能ネットワークの「全容

解明プロジェクト」を開始した。2018年には京都府精華町の国際電気通信基礎技術研究所で、人が両腕を使いながら「第3の腕」としてロボットアームをBMIで使うことに世界ではじめて成功した。基礎研究で日本は一定の成果をあげている。その一方で、ベンチャーなど企業の参入による事業化の取り組みが弱いとの指摘も出されていた。また予算規模も欧米諸国に比べて十分ではなかった。こうした背景を踏まえ、ムーンショットのプロジェクトで、金井の提案が採択されたのである。

#### 5-4 BMIの目標

今回のプロジェクトで、金井が直近の目標として示しているのが、健常者向けのBMIサービスだ。脳の活動パターンを分析することで、例えば人が難しい課題に取り組んでいるときと、簡単な課題をこなしているときで、それぞれに要する脳の労力を定量化する。

「日常的に使える脳波計と組み合わせることで、この課題をやるときはこれぐらいの仕事量というように、自分にとって必要な労力を管理できるようにしたら、効果的に成果を出すことができるのではないかと考えています」

効果を期待できる例として金井のあげたのが、ピアニストなど音楽家の脳神経疾患として知られるジストニアの予防だ。うまくなりたくて指や腕を酷使した結果、特定の動きをしようとしたとき、本人の意図に反して筋肉が収縮したり、別の筋肉が動いたりする。作曲家のシューマンがピアニストの道を断念した疾患としても知られている。

「脳の状態で評価して『練習しすぎだから、休んだほうがいいですよ』と、分かるようにしたい。音楽家だけでなく、ふつうに働いていても、勉強していても起こることだと思います。状態をモニタリングし、人の状態と脳波の関係をデータとして蓄積すれば予測の精度も上がり、予防につながります」

客観的に自分の精神状態を把握し、自分で自分をうまくコントロールできるようにするということだ。いざというとき、必要以上に力んだり、あがったりして実力を発揮できないことが誰にでもある。そうならないために、BMIで精神をコントロールする練習をしておけば、いつも平常心でのぞめるようになるかもしれない。

「ストレスを抱えて心が疲れてしまうとか、過去の重大な事件がトラウマになって、そこからなかなか回復できないとか、心に関する問題を解決することも、目標としています」

BMIで特に期待されるのが、医療分野での貢献である。ALSなどの患者に対し、頭で思い浮かべるだけで装置を操作できるようなBMIシステムを構築する。そのシステム設計で、金井らしさが発揮されることになる。

例えばBMI利用者が目の前にあるりんごを食べたくなくて手にとろうとしたとき、腕をどう動かすかという細かな信号を脳の運動野から読み取ることは、技術的には可能だ。しかしその場合、脳の内部に電極を深く埋め込む必要があり、侵襲性が高くなる。

侵襲性を低くすれば人体に対する負担は少ないが、一方で情報量は少なくなる。

「我々が、莫大な資金力のあるニューラリンクと同じことをやろうとしてもできません。そこで必要となるのは、違う視点です」

例えばスマートフォンの低倍率レンズでも、ズームする際にはデジタル補正されてきれいな写真が撮れるように、金井たちは侵襲性が低くても、AIを活用することでそこから読み取れる情報量を増やし、侵襲性の高いBMIと同程度の性能を出せるようにする戦略だ。

「そうすれば、脳の表面でも重要な情報は取れそうだと感じています。侵襲性を下げるためにAIで計算をがんばるのが、ニューラリンクと我々の違いだと思います」

先程のりんごの例の場合、「りんごを手に取りたい」という意図さえ読み取ればよいと考えれば、低侵襲型で得られる脳波だけで分かるかもしれないし、場合によっては視線と表情だけで分かるかもしれない。ここでAIが活躍する。測定した脳波の分析だけでなく、外面的な表情や行動から、その人が何をしたいのか、つまり「りんごを食べたい」のか、「りんごを手に取りたい」のか、「りんごの絵を描きたい」のか、利用者の意図をAIが分析して推定する。そのあとのプロセス、つまりロボットアームでりんごを取るなどの制御もすべて、AIに任せてしまう。

「脳の細かな信号が取れなくても、その人のやりたいことを叶えるという観点で見れば、目標が実現されます。使えるものは全部使って、侵襲性が低くても、侵襲性が高いBMIと同じ成果を達成することができるわけです」

資金力にもものを言わせて侵襲型の開発を推し進めるイーロン・マスクのアプローチを「剛」とするなら、表情や動作も含めたあらゆるデータを細大漏らさず活用する金井のアプローチは「柔」とも言える。「柔よく剛を制す」に期待したいところだ。

## 5-5 究極のBMI

金井は2025年ごろの目標として、動物実験で低侵襲型BMIの効果や安全性を実証したうえで、人に対する臨床研究も始めたい考えだ。

「障害のある人が使うスマートフォンやパソコンなどの入力手段で、従来の方法に比べて同等かそれ以上のスピードで入力できることを目指します。それによって障害者の社会参加に貢献できればと思っています」

もちろん検討課題は多くある。人が考えることと、それを口にしたり、実行したりすること

とはまったくの別物である。たったひとつの意思決定に際しても、人間の脳内では肯定的な思考や否定的な思考、さらに感情的な情動が渦巻いている。思っていることがすべて、勝手に表現されてしまうと大変なことになる。そこでBMIでは、本人が伝えたいことだけ表現できるようにしなければならない。逆にBMIで、他人の考えを勝手に読み取ることは許されない。

米国防総省が研究に力を入れていることからわかるように、軍事利用される可能性もある。

長期的な目標として金井は、脳と脳をつなぐBMIの技術開発を目指している。言葉にしなくても自分の気持ちが相手に伝わる「以心伝心」が、本当に現実のものになるかもしれない。

人間の脳は、部位によって役割が細かく異なっている。そのうえで右脳の人格と左脳の人格がつながって、ひとりの人間を構成している。その延長線上でBMIによって、別々の人の気持ちが直接的につながるという可能性も考えられないわけではない。

「脳と脳をつなぐと、人と人の心が融合するということも考えられます。私たちは、一人ひとりの心はバラバラに存在していて混ざったりしないし、人はひとりの人間だと思っています。そんな常識が変わるのではないかと考えています」

## おわりに

脳科学や認知科学とAI研究の強みを次世代ロボットやアバターに取り入れる研究は、世界的にも競争が激しさを増している。

AIの研究で世界的権威とされるアメリカの未来学者レイ・カーツワイルは、AIが人類の知能を越える転換点を“シンギュラリティ”（技術的特異点）と定義した。カーツワイルはシンギュラリティが「2045年に到来する」と予言する。

ムーンショットで研究開発が進むAIロボットは、シンギュラリティへと導くのだろうか。ロボットが暴走するSF映画や、監視社会を扱った海外のドキュメンタリー番組でロボットが色々使われているのを見ると、知らないところでロボットが進化しているのではないかと疑心暗鬼にもなる。

早稲田の菅野は「AIは確かにすごいけれど、それでもやはり人間には叡智というものがあって、どうしてもロボットではできないこともあります。SF映画のようになることはありえないと思います」という。人間の巧みさをロボットに取り入れようと研究を重ねて、その難しさを知る菅野の言葉だけに、説得力がある。

東大の原田は「単に人を超えるというようにはならない方向で進めています。人とAIロボットが役割を分担して協働するイメージを持っています」という。AIロボットはAIロボットとして進化する一方で、人はそれぞれ自分の才能を開花させる。それが原田の考える「誰でも科

学者になれる未来」だろう。

今まではひとりの人間にとって世界はひとつのものだった。それが様々なアバターを使うことで、実世界での活動が多様に広がり、あるいは仮想世界で働いたり活動したりすることが可能になってくる。同時にそこでは匿名性の問題、能力をアバターで拡張することの問題、複数の存在を持つことの問題など、倫理面も含めた様々な問題が出てくる。

阪大の石黒は「社会が受け入れるかどうかという問題もあります。みんなが『使わない』と言ったら、それで終わってしまいます。どういうタスクで、どういう使い方をすれば、世の中の人は受け入れてくれるのか。それがきちんと世の中に定着するのかを見定めないといけないのです」と語る。

アラヤの金井も「研究としては、面白いことがいっぱいできると思うのですが、事業化が難しい。一般の人が役に立つと思うもの、使いたいものを作らないと、普及していかないと思っています。そこに研究とはまた別の、難しさがあります」と述べる。

人とロボットやアバターの関係は、新たな段階を迎えようとしている。

(敬称略)

## <註>

(1) John F. Kennedy, “Special Message by the President on Urgent National Needs,” May 25, 1961, National Archives Catalog website

<<https://catalog.archives.gov/id/193915>>

(2) 2015年1月3日付け毎日新聞

(3) イノベーションという言葉は「技術革新」と理解されることが多いが、2021年4月に施行された科学技術基本法の改正案では「イノベーションの創出」の定義規定が新設され、「発見または発明、その他の創造的活動を通じて新たな価値を生み出し、経済社会の大きな変化を創出すること」と、技術面に限らず幅広く捉えている。

(4) 「多くの研究者に配分される科研費などを重視すべきだ」という意見は、研究者の間で根強い(2019年6月6日付け朝日新聞)、「予算は5年間で約1千億円と聞けば、中途半端さに首をひねる人も多いのではないか(2019年8月21日付け朝日新聞)、「ムーンショット研究 壮大なバラマキでは困る(2019年9月11日付け毎日新聞)、「大学の基盤的経費を削り、じっくり研究できる環境を奪っておきながら、気宇壮大な研究テーマにトップダウンで大金をつぎ込む。経済成長のための成果を焦って求めるあまり、ばくちに手を出したように映る」『誰が科学を殺すのか 科学技術立国「崩壊」の衝撃』(2019年、毎日新聞「幻の科学技術立国」取材班)など、新聞ではムーンショット型研究開発制度に批判的な論調も見られる。

## <参考文献>

菅野重樹『人が見た夢 ロボットの来た道 ギリシャ神話からアトム、そして…』2011年、JIPM  
ソリューション

石黒浩『アンドロイドは人間になれるか』2015年、文春新書

金井良太『個性のわかる脳科学』2010年、岩波書店

# DXで変わる日本の産業—電機産業を中心に—

中村 吉明

## 1. はじめに

バブル崩壊以降、日本の産業は長期低迷期に入っており、特に、1989年(平成元年)から2018年(平成30年)の平成の30年を称して「失われた30年」と言うこともある。特に電機産業の低迷は顕著で、高度成長期、自動車産業とともに日本経済を支えてきたが、今やその影も薄くなっている。確かに他業態に転換したソニーの躍進のほか、電機産業自身もコロナ禍の巣ごもり需要で、家電、パソコン等が売れ一時的に好調となっているが、特に平成以前のビジネスモデルの限界を実感している総合電機メーカーは、新たな経営戦略を考えなければならない時期を迎えている。

振り返って考えると、この平成の30年間、様々な技術が見出されてきた。1990年代のインターネット、2000年代のモバイル、2010年代のAI、IoT、2020年代のブロックチェーン、量子コンピュータ、というように目まぐるしく、新たな技術が見出され、企業はそのたびに新たな対応を求められてきた。それぞれの技術は、連鎖し重層的に進化し、商品・サービスのみならず、ビジネスモデルをも変換するインパクトを持っていた。そのため、あらゆる企業にアジャイルな対応を求めるようになっていった。

それら新たな技術の企業、産業、社会への導入は、総称としてデジタル・トランスフォーメーション(Digital Transformation ; DX)とも言われ、現在、一大ムーブメントを起こしつつある。

本稿では、特に電機産業、総合電機メーカーを念頭に置きつつ、DXによって日本の企業、産業がどのように変わってきているか、さらに今後、どのように変わるかを考えていく。

第2章では、そもそもDXとは何か、その鳥瞰図を示すとともに、日本及び日本企業の位置づけを確認する。第3章では、DXに先んじてブームになり、現在、DXの一端を担っているドイツの製造業中心のDX、インダストリー4.0を中心に議論を進める。さらに第4章では、DXを活用したコロナ禍の3密回避、非接触販売の実例をいくつか示し、第5章では、物流のDX化の潮流を説明する。最後に第6章では、DXによって電機産業、引いては日本産業がどのように変わってきているか、さらに今後、どのように変わるかを論じていきたい。

## 2. DX の概要とその鳥瞰図

### (1) DX とは何か？

DX とは、Digital Transformation の略であるが、Trans という接頭語は「変える」「超える」という意味であり、cross と同義語のため、クロスを体現する X を用い、DX として使われている。

DX の定義は様々な書籍、論文で定義されているが、まずは類義語から論じていきたい。その類義語は Digitization と Digitalization である。Digitization は手書きからデジタルへの入力変換の動きのことを言う。今まで手書きで書いていたカルテをパソコン入力によりデジタル化されるのもその一例と言える。また、今まで印鑑が必要だった行政手続きをデジタル認証で対応することも含まれる。つまり Digitization は結果として省人化、コスト削減につながるが多いのである。さらに Digitization が進化すると Digitalization となる。デジタル化したデータを基にビジネスモデルを変革する動きのことを言う。例えば、ある人の検索履歴や購入履歴を分析し、次にその人が購入する蓋然性が高い商品・サービスを提案するというマーケティング手法もその一例と言える。さらに Digitalization が進化すると DX となる。DX は企業のビジネスモデルの転換にとどまらず、それに呼応して企業組織、企業そのもの、引いては産業構造を変えることを指しているのである。

DX を初めて世界に知らしめたとされる当時スウェーデンのウメオ大学にいたエリック・ストルターマン教授は、DX を以下のように定義づけてる (Stolterman, Eric and Anna Croon Fors [2004])。

The digital transformation can be understood as the changes that the digital technology causes or influences in all aspects of human life. (デジタル技術の浸透が人々の生活をあらゆる面でより良い方向に変化させる。)

やや具体性に欠けるため、それを斟酌した、経済産業省の定義を以下に示す (経済産業省 [2018b]<sup>1)</sup>)。

企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること。

本稿では、以降、DX をこの定義を前提に話を進める。

## (2) 世界の中の日本の DX の位置づけ

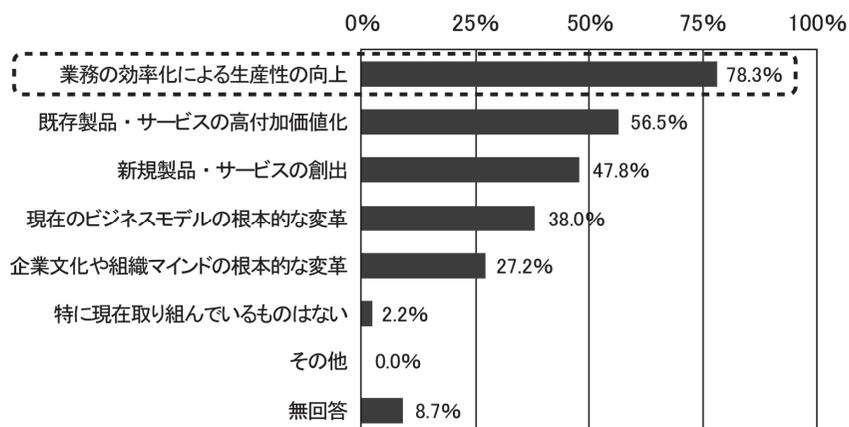
まず、スイスのビジネススクール IMD が公表している「世界デジタル競争力ランキング」を見ると、過去5カ年、日本は低迷している。最新の2021年の順位は64国・地域中28位となっており、米独のみならず、アジア各国の中でも低順位となっている。内訳をみると、科学的集積では13位と比較的好成績であるが、ビジネスの俊敏性(53位)、規制の枠組み(47位)、人材(47位)となっており、それらが低順位の原因だと思われる。

表1 世界デジタル競争力ランキング

	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
米国	3	1	1	1	1
香港	7	11	8	5	2
台湾	12	16	13	11	8
韓国	19	14	10	8	12
中国	31	30	22	16	15
ドイツ	17	18	17	18	18
日本	27	22	23	27	28

(出典) 日経産業新聞 [2021]

図1 現在取り組んでいるDXの内容



(出典) 日本情報処理推進機構 [2019]

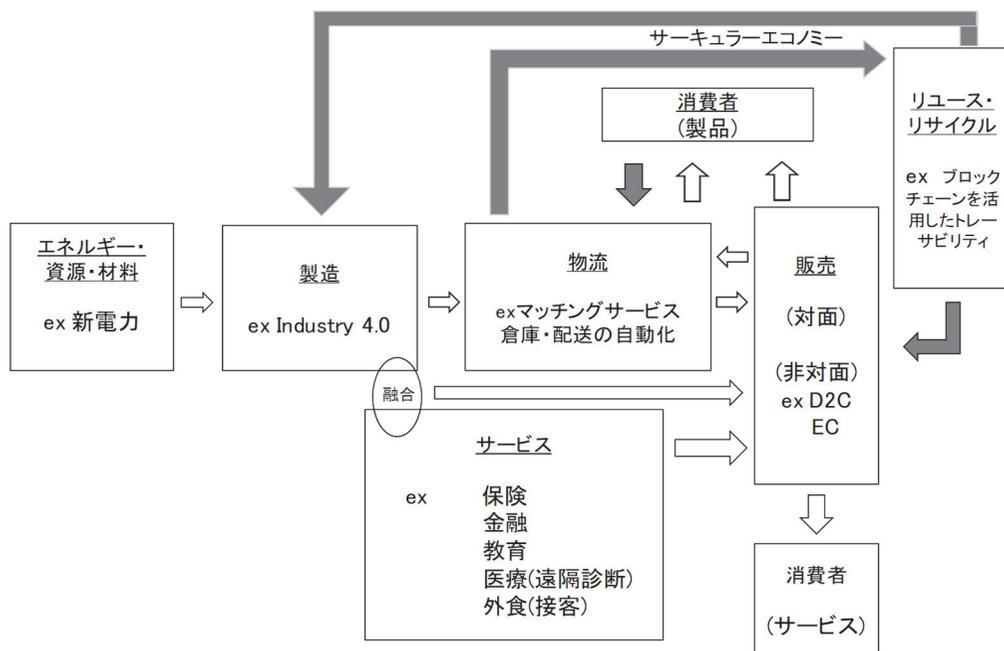
また、情報処理推進機構のアンケート調査では（情報処理推進機構 [2019]）、DXに取り組んでいる企業に対し、複数回答で現在取り組んでいる DX の内容を聞いている。そこでは Digitization と思われる「業務の効率化による生産性の向上」は 78.3%と高いものの、Digitalization の一環である「新規製品・サービスの創出」(47.8%)、「現在のビジネスモデルの変革」(38.0%) は低く、DX の最終形と目される「企業文化や組織マインドの根本的な変革」は 27.2%にとどまっており、日本企業が真のDXの導入に至っていないことを示唆している。

### (3) DXの鳥瞰図

ここで改めて DX の鳥瞰図を考えてみる（図2）。

大きく製品とサービスに分け、製品を図の中段横方向に「エネルギー・資源・材料」から「製造」、「物流」、「販売」とリニアに置き、サービスを下段横方向に「サービス」、「販売」と描いた。アップルの製品のように製品とサービスを一体として提供しているケースもあるため、製品とサービスの上に丸印で「融合」と記している。消費者は対面で「販売」経由で製品を購入するケースと E コマースのように非対面で購入の後、「物流」を経て製品が届く2つのケースがあるため、図ではそれらを示した。なお、色の濃い矢印は静脈物流、つまりサーキュラーエコノミーを示している。

図2 デジタル・トランスフォーメーション (DX) の鳥瞰図



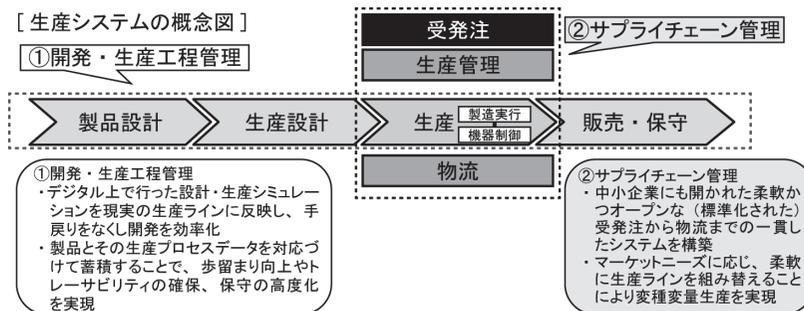
DXは(1)で指摘した通り、企業組織、企業そのもの、引いては産業構造の転換を意味するものであるが、以降は、分かりやすさの観点から、DXの一部である「製造」、「販売」、「物流」のそれぞれのパートのDigitalizationの例を中心に記述する。

### 3. 「製造」のDigitalization<sup>2</sup>

#### (1) ドイツのインダストリー4.0

「製造」のDigitalizationとして世界的に有名なのは、ドイツのインダストリー4.0である。インダストリー4.0は、そもそも、2011年にドイツの産学によって立案されたもので、ドイツの製造業の競争力強化を図るため、AI、IoT等を活用して、生産の効率化やサプライチェーンの最適化を進め、国全体をあたかも1つの「スマート工場」にすることを目指した国家プロジェクトである。つまり、国内の工場の生産ラインに組み込んだセンサーやこれを制御するシステムを整備し、それらをネットワークでつないで関連する情報を収集・分析し、生産性を向上させる試みである。日本では、このインダストリー4.0を参考にして、新たなプロジェクトが創成されている(コネクテッド・インダストリーズ)。インダストリー4.0とは、具体的にはどのようなものなのか、2015年度の『ものづくり白書』に掲載されている図3を用いて考えてみる<sup>3</sup>。

図3 インダストリー4.0の生産システムのイメージ



資料：経済産業省作成

ここでは、インダストリー4.0を、デジタル化で製品設計～生産設計～生産～販売・保守までのデータ(横の流れ：①開発・生産工程管理)と受発注～生産管理～生産～物流までのデータ(縦の流れ：②サプライチェーン管理)をつなぎ、多品種少量生産をさらに進化させた変種変量生産に対応した柔軟で自立的な生産現場を創出するプロジェクトと定義づけている。その際、顧客に対して製品だけを提供するのではなく、製品とサービスをパッケージとして提供するこ

とも企図している。

日本やドイツでは、以前から、工場における作業や工程を装置や情報システムを使って自動化するファクトリーオートメーション (FA) が相当程度進んでいたため、インダストリー4.0は何ら新しい概念ではないという人もいるが、2つの点でFAとは決定的に違うものがある。

その一つは、異なるメーカーの装置であっても、データ仕様を共通化して、つながることを目指す点である。

もう一つは、それぞれの装置が「考える」、つまり、「スマート」である点である。これまでのFAは集中管理型で全体の生産プロセスを制御するものであったが、インダストリー4.0は、装置自身が「考え」、非集中型、分散型の制御を目指している。

同時に、サプライチェーン及び開発・生産工程管理全体をデジタル的につなぎ、大幅に強化されたコンピュータ能力を活用して現場の全体の情報をサイバー空間に転写し、そのうえで、生産システムをシミュレーションして、現場に指示し直すことによって最適化を目指している。

さらに、最大の留意点は、インダストリー4.0は、AI、IoTによる「つながる工場」とどまらない点にある。すなわち、モノを作って終わりではなく、そのモノを活用しつつ、新たなサービス産業の創設まで念頭に置いている点である。図3では、横の流れを①開発・生産工程管理から始めたが、右へ、その流れを見ていくと、「販売・保守」までつながっている。ここからも、単なる生産で終わるのではなく、生産した後に新たなサービス産業へつなげていこうとする意図が透けて見えるのである。

## (2) インダストリー4.0でだれが得をするか

インダストリー4.0が成功すれば、ドイツは国家として労働生産性が上がり、産業競争力が強化されるであろう。ただ、すべてのドイツ企業が、インダストリー4.0で利するという訳ではない。

例えば、自動車組立メーカーは、国内市場だけではなく、世界市場における競争でも勝っていくためには、トップダウンでインダストリー4.0を推進するインセンティブがある。というのは、部品を納入している企業のガバナンスが高められるだけではなく、それらの企業の実態をIoTを活用して細部まで把握できるようになるため、クルマの生産効率があがり、市場が望むクルマを迅速に供給できるようになる。結果として、売り上げ、収益が上がるのが想定できるからである。

その過程で、組立メーカーに部品を供給している技術力のある中堅企業、中小企業に仕事が集中し、競争力のない企業は仕事なくなる可能性もある。というのは、部品を納入している企業だけでなく、すべての企業とIoTでつながっていることが前提であるため、組立メーカー

は、部品を供給する各企業のコストを含む効率性や品質のよさが比較可能となり、その結果、部品を納入する中堅・中小企業は優勝劣敗となるからである。

他方、勝ち残った競争力のある中堅企業、中小企業は順風満帆かという点、必ずしもそうではない。組立メーカーの厳格なガバナンス下に置かれる可能性が高い。組立メーカーは、それら中小、中堅企業のコスト構造も把握可能なため、大きな利益をあげないように、生かさず、殺さずの対応をしていくに違いないからである。

#### 4. 「販売」の Digitalization

##### (1) 非対面販売の新たな潮流

コロナ以前から E コマースが販売の一端を担っていたが、コロナ禍の巣ごもりで隆盛となり、アフタ・コロナでも E コマースが生活の中心にあり続ける可能性が高い。富士経済の「通販・e-コマースビジネスの実態と今後 2021」によると、2020 年の通販・E コマース市場の規模は前年比 17.7%増の 13 兆 7,243 億円とコロナ禍で大きく伸びた。さらに 2021 年は 15 兆 1127 億円（前年比 10.1%増）、2022 年は 16 兆 4,988 億円（前年比 9.1%増）と伸び率は鈍化しているが持続的な成長を予測している。

E コマースは、ネットを通じた閲覧履歴や販売履歴をマーケティングに活かし、次なる製品の提案を行っていることから、Digitalization と密接な関係にある。

さらに、E コマースの進化系の一形態として D2C がある。D2C（ダイレクト・トゥ・コンシューマー：Direct to Consumer）とは、自社で企画・製造した製品を自社サイト等で直接販売することをいう。中間流通をなくしてコストを抑える点では従来のメーカーの直販と同じだが、SNS を通じて消費者と交流し、ともにブランドを作り上げていくところに違いがある。

また、D2C の特徴の一つとしてサプライチェーンの変革が挙げられる。具体的には、メーカー→メーカー系販社→商社→小売業者→消費者を中抜きして、メーカーから直接、消費者に供給する D2C を行い、余分な流通コストをカットしている。このビジネスモデルは単に安い価格で製品を提供するだけでなく、消費者の声がダイレクトにメーカーに伝わり、真に消費者が欲しい製品の提供を可能としている。

さらに、D2C の中にはカスタマーサポートを外注せずに内製で行い、顧客の情報を重要視している例もある。つまり、顧客対応をコストとみず、製品の改良に必要な不可欠なものとしてとらえているのである。カスタマーサポートの情報を瞬時に全社で共有し、データとして分析しているという。製品に改善点すべき点があればプライオリティをつけて製品を改善し、改善した製品をすぐにネットで販売しているのである。言い換えれば、PDCA（Plan（計画）→Do（実行）

→Check (評価) →Action (改善) ではなく OODA (Observe (観察)、Orient (判断)、Decide(決定)、Act (行動)) を高速に回して、カスタマーの意向を踏まえた製品改良を随時行っていると  
言える。

今までの総合電機メーカーの家電は、大量生産、大量消費を前提にしているため、生産する  
までに丹念に製品の問題点をつぶし、誰にでも好まれるような最大公約数的な製品を作ってい  
た。そのため開発まで時間がかかったし、すべての人に少し不満さが残る製品であった。

しかし、最近ではたとえ未完成品でもアジャイルに開発して市場に出し、カスタマーの反応  
を機微にとらえて、改善し、再度よりよい製品として市場に出すビジネスモデルが主流になり  
つつある。つまり製造業を情報産業ととらえており、消費者が欲しいものを精緻に作ってすぐ  
に提供することを第一に考えているのである。

## (2) サイバー・フィジカル・システムと「販売」

実社会とサイバー空間の相互連携を通じて社会問題を解決するシステムのことを、サイ  
バー・フィジカル・システム (CPS: Cyber Physical System) と言い、従来は製造部門のサイバー  
とリアルな補完的なシステムのことが注目されてきたが、最近では「販売」でも導入し始めて  
いる。(1) で指摘したように E コマースは「販売」の重要なパスとなりつつあるが、十分に商  
品の「質感」「色」「大きさ」などが分からないというデメリットがあり、それを補完する意味  
でリアルな店舗が注目され始めているのである。

例えば、アマゾンではリアルな店舗の高級スーパーのホールフーズを買収しているし<sup>4</sup>、ウォル  
マートはリアル店舗と E コマースを融合させ、新たな小売ビジネスを展開している。特に最近  
になってリアル店舗を E コマースの配送拠点とするなど、店舗の概念を変えつつある。

そのような中、シリコンバレー発の「販売しない店舗」(OMO (Online Mergers Offline)) が注  
目され始めている。売らない小売店を標榜する「b8ta」(ベータ) という体験型ストアである。  
いわゆる RaaS (Retail as a Service) であり、店舗内のブース (40 センチ×60 センチ四方) を様々  
な企業に月額一定の金額で提供し、出品者は店内に設置している 3D LiDAR など撮る顧客の  
行動データや商品に対する声を得るといったビジネスモデルである。2022 年 1 月現在、日本には  
有楽町、新宿、渋谷の 3 店舗がある。シリコンバレーでは最新のガジェットや D2C 製品などが  
多いが、日本では、自動車、食品など幅広い商品を展示する場となっている。

このような現象は「b8ta」のみの現象ではなく、西武渋谷店の「チューズベース・シブヤ  
(CHOOSEBASE SHIBUYA)<sup>5</sup> や渋谷スクランブル交差点下の商店街「しぶちか」にある AZLM  
CONNECTED CAFÉ<sup>6</sup> など、売ることを主目的としない店舗が増えている。

これらは E コマースというオンラインのビジネスだけでは他との違いを見出せないため、オ

ンラインとオフラインとを組み合わせることで製品などを提供することによる差別化を目指していると言える。つまりオフラインは体験の場として製品を使ってもらい、その良さを浸透させるとともに、改善点の示唆を得て、それらを商品にフィードバックさせるアジャイル開発を目指しているのである。

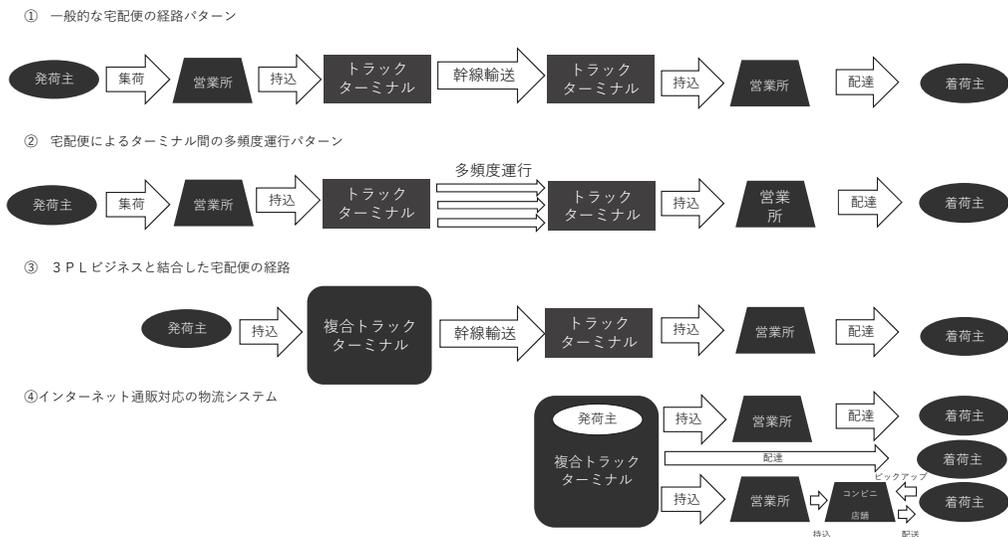
## 5. 「物流」の Digitalization<sup>7</sup>

### (1) 「物流」のビジネスモデルの変革

まず、宅配便のビジネスモデルから考えてみる。図4の①の通り、一般的な宅配便の経路パターンは、(i) 発荷主→(ii) 営業所→(iii) トラックターミナル→(iv) トラックターミナル→(v) 営業所→(vi) 着荷主というものである。このモデルは、多品種・少量の荷物を日本中のどこからでも効率的に運送できるシステムと言える。つまり荷物が営業所を通じて発送元の地域のトラックターミナルに集められ、そこで配送先の地域別に仕分けされ、まとめて輸送されているのである。

一方、宅配便は個人の荷物の輸送だけでなく (BtoC、CtoC)、古くからビジネスでも使われており (BtoB)、例えば、自動車や機械などの部品の輸送と相性がよいと言われている。短時間でほぼ確実に指定した場所まで運送できる宅配便は「ジャスト・イン・タイム」の輸送手段とし

図4 エコマースの輸送パターン



(注) 齊藤 [2014] をもとに筆者が加筆修正

て、経済成長にも一定の役割を果たしてきたのである。

また、最近では、齊藤 [2014] が指摘するように、首都圏、中部圏、阪神圏に新たな多機能の大規模なトラックターミナルを建設して、日本の主要な大動脈となっている幹線輸送を弾力的に多頻度運行させることにより、トラックターミナルで貨物が滞留する時間を節約し、当日配送を実現する取り組みがなされている（図4の②）。

しかし、インターネット通販の物量が爆発的に増えてきていることに加え、再配達などで人手不足が問題化しており、特に最後の営業所と着荷主を結ぶラストマイルの担い手不足が深刻となっており、そもそも宅配便のビジネスモデルがEコマースに合っているのかと疑問の声も上がっている<sup>8</sup>。

次に、Eコマースの輸送の現状を見てみる。

近年、日本各地で高速道路沿いなどの交通便利性の良い場所に、Eコマース企業の大規模な物流施設（発荷主の倉庫と運送拠点兼ねた複合トラックターミナル）の建設が続いている。この場合の物流は、(i) 発荷主→(ii) 複合トラックターミナル→(iii) トラックターミナル→(iv) 営業所→(v) 着荷主——と集荷部分が簡素化されることになる（図4の③）。もちろん、効率的な物流システムを構築することはEコマース企業にとって重要だが、物流は、在庫管理や運送など、専門分野に関する人材とノウハウが必要になるため、会社によっては、3PL会社などの専門の会社に任せて物流の効率化を図るケースが以前から多くみられた。

しかし近年は、物流を経営戦略の根幹と考え、直接的には物流に携わらなくても、物流を担う子会社を設立したり、自らが意思決定を持つ形で運送会社と連携するなどして、「自社の指揮下に組み込む」Eコマース企業が増えてきた。具体的には、図4の③を進化させ、需要地に多くの複合トラックターミナルを設け、幹線輸送等を省き、(i) 複合トラックターミナル→(ii) 営業所→(iii) 着荷主、あるいは(i) 複合トラックターミナル→(ii) 着荷主——というように運送経路をさらに簡素化させているのである（図4の④）。また、着荷主の最終運送場所をコンビニとし、事業者、着荷主双方の利便性を高めたり、ホールフーズを買収したアマゾンのように、Eコマース企業が店舗を買収し、店舗を拠点として商品を配送するケースも出てきている。

## （2）「物流」のDigitalizationの具体例

このようにEコマースの増大に対応する形で、運送経路を通販に適合するようにして物流効率化を進めているが、依然として、営業所などから着荷主までの間は、物流のボトルネックを解消することができないのが現状である。

そのような中、今まで物流を担ってきた既存の事業者の枠を超えた効率化を処方箋とする動

きもある。

例えば「ラクスル」（東京）というマッチングサービスが挙げられる。ラクスルが展開する「ハコベル」というサービスは、モノを運んでもらいたい企業などの発荷主と、物流事業者とを仲介するマッチングサービスである。発荷主がスマートフォンで運送予約をすると、物流事業者側に通知が届き、発荷主と対応可能な物流事業者をマッチングするのである。具体的には、料金体系が明確で、事前に輸送距離や拘束時間などに応じた見積金額が明示され、発荷主と物流事業者との間で直接契約を行うシステムとなっている。なお、このサービスは、効率的に商品を運送し、消費者のニーズに対応したい E コマース企業にとって、魅力的なものとなる。他方、物流事業者にとっても、透明性が高く、かつ、適正な価格で運送契約を締結できるメリットがある。

発荷主と物流事業者をマッチングするサービスには、ほかのベンチャーの参入も相次いでいる。例えば、「CBcloud」（東京）も、発荷主と、軽貨物車両などで運送業務を手掛ける個人事業者をスマホのアプリでマッチングするサービス「PickGo」を展開している。PickGo の特徴としては、ドライバーが過去の働きぶりで「格付け」されており、発荷主はこの「格付け」をもとに、ドライバーの選定を行っているとのことである。

以上のサービスは、3PL 会社などへの依存度を低下させるとともに、ラストマイルの運送を自らが直接依頼することによって、そのハンドリングを強められるところに利点がある。

一方、アマゾンでは 2016 年から、発荷主→着荷主の運送を「デリバリープロバイダ」という地域の比較的小規模な運送会社に担わせるシステムを構築している。このことにより、発荷主であるアマゾンは荷物を短時間かつ安価で目的地まで運んでもらうことができるし、物流事業者側もトラックやドライバーの空き時間を有効に活用できるなど、お互いにウィンウィンの関係になる。一部「遅配が目立つ」などとの指摘もあったが、現時点では比較的安定的に機能しており、宅配便による配送を補完する一つのモデルとなり得ると考える。

## 6. まとめと今後の方向性

### （1）総合電機メーカーの DX と今後

図 2 では、製品は消費者に届いた後のことは書かれていないが、現在、総合電機メーカーは、製品が消費者に届いた以降の「つながる家電」に新機軸を見出そうとしている。これもある意味、広義の総合電機メーカーの DX の試みと言える。特に AI や IoT といった技術を活用して製品同士をつなげ、連携できるようになれば、消費者の特性や要望を付度した製品・サービスの提供が可能となる。

また「つながる家電」は、規模が大きく、かつ、家電のみならず AI、IoT など幅広い知見を持つ「総合」電機メーカーの特徴を生かせる数少ない分野となる。そのため総合電機メーカーは、家電の世界で生き残りをかけ、「個」の家電のブラッシュアップはもちろん、「つながる家電」にも注力する両面作戦を取っている。

例えば、ソニーは、One SONY と称して、コングロマリッド・ディスカウントとならないように、他事業との融合、すなわち「つながる」ことを最重要戦略としている。また、パナソニックは、家電を一つのパーツとして考え、それらをつなげ、家全体で、個人の利便性を高めるプラットフォームを開発しようとしている (home X)。他方、日立は、ルマードをコアテクノロジーとして BtoB 分野で「つながる」ことによる利便性を高めているが、それを BtoC、すなわち家電をつなげ始めている。

BtoC の「つながる製品」のわかりやすい例としては、外出先からスマホで電源を入れられるエアコンが挙げられる。また、若干進んだ例としては、扇風機を温度や湿度に合わせて制御したり、エアコンと連動して風量を調整する例などがある。これは MtoM (マシーン・トゥ・マシーン) の連携とも言う。

一方、BtoB における「つながる製品」の典型例としては、米 GE の航空機エンジンの例がよく知られている。米 GE は、航空機エンジンの製作だけでなく、実際の稼働中に、それらに取り付けたセンサーから回転数などの様々なデータを取得し、交換が必要になりそうな部品とその時期を保守要員に知らせる「予知保全」を行っている。さらに、飛行データの解析を行い、効率的なフライト航路を導き出し、航空会社に提案している。その結果、例えば、アリタリア航空は、年間 1,500 万ドルの燃料コストを削減したという。

さらに、日本の BtoB の例として、コマツの KOMTRAX (コムトラックス) が挙げられる。コムトラックスは、建設機械から得られる情報 (位置情報、稼働情報) を、インターネットを用いて集中管理し、それらを最大限活用することにより、最適な部品交換や修理サービスのタイミングを告知し、サービスの付加価値を高めるビジネスモデルのことである。

以上の BtoB、BtoC における「つながる製品・機械」のイメージは、製品・機械を作り、販売して終わりではなく、販売後も AI、IoT を活用して管理し、付加価値を生んでいこうというビジネスモデルであり、これが今後の主流となっていくものと思われる。そのためには共通のプラットフォームが必要となるが、表 2 の通り、各社、独自の提案をしているのが現状である。BtoB も BtoC のいずれのユーザーも 1 社の製品・機械だけではなく、多くのメーカーの製品・機械を所持しているため、今後、他社の製品・機械も含め「つながる」ようにプラットフォームに進化、統合されていくことが必要となる。

表2 デジタルプラットフォーマーを目指す企業

企業名	プラットフォームの名称
独シーメンス	マインドスフィア
米ゼネラル・エレクトリック	ブレディックス
日立製作所	ルマーダ
東芝	スパインエックス
三菱電機	エッジクロス
コマツ	コムトラックス
ファナック	フィールドシステム

## (2) 今後のDXの潮流

本稿では、電機産業に限らず業種横断的な Digitalization などの動きをみてきた。確かに業種や個別企業毎に差異はあるものの、Digitization や Digitalization は日本の企業・産業に確実に導入され始めている。今後は、それらが部分最適ではなく、全体最適になるように企業組織を変革し、新たな付加価値を創出する仕組みを構築することが重要となる。つまりDXは、Digitization、Digitalization やそれらを効率的に進める企業組織の変革にとどまらず、それらを活用して新たな付加価値を創出することが最も重要なのである。

そのような動きを徐々に始めている総合電機メーカーがある。富士通や NEC などである。両社とも出自は日本電電公社（現 NTT）に通信機器を提供するところから社業が始まったが、その後、パソコン、コンピュータなどで頭角を現し、その後の停滞の後、IT 企業から DX 企業の脱皮を図ろうと試みている。これら企業は自らが DX 企業となることを目指すだけでなく、その経験をもとに各社の DX 化をコンサルティングすることを社業の中心と位置づけようとしている。特に富士通は 100%子会社リッジラインズを設立し、そこで外部人材を活用しつつ DX のコンサルティングに特化した業務を行っている。今後、これら企業が日本企業の DX 化のリトマス試験紙となり、日本企業及び産業の DX の行く末を示唆するものとなるだろう。

一方、DX を容易に進められるツールとして、データの入力方法も大きな変革の時期を迎えている。今までは文字入力だったのが、音声入力、最近では動作で入力するというように変わってきている。

その一つとして、現実環境にコンピュータで作られた映像や画像を重ね合わせる技術の AR (Augmented Reality : 拡張現実) が挙げられる。例えば、メガネのようなウェアラブル型の映

像表示装置の AR グラスをつけることにより、建設作業者であれば、設計図を確認せずに、操作手順を把握することができ、より効率的な作業が進められるようになっている。

また、現実ではない世界または体験しがたい状況を CG によって仮想空間に作り出す技術である VR (Virtual Reality : 仮想現実)は、以前から注目されていたが、最近、良質なヘッドマウントディスプレイが発売されるようになりさらに脚光を浴びるようになってきた。今後、VR はスポーツ、医療、エンタメ、不動産など、幅広い産業での活用が期待される。

これらがさらに進むと、アバターを使って仮想世界と同じように生活することができるインターネットの仮想世界であるメタバースの世界となる<sup>9</sup>。もちろん、現在、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を長期間装着することによる違和感が問題となっているが、近い将来、それが解消され、「没入感」の高い機器が世に出るかもしれない。あるいはヘッドマウントディスプレイを使わない疑似的な 3D 映像、つまり「ホノグラム」などの立体アバターを生成して、現実社会と変わらないような世界となるかもしれない。さらに NFT (non-fungible token : 非代替性トークン) を活用して改ざんやコピーのできないアートを売買するのが一般的になるかもしれない。このようなツールの進化も企業が DX 化を進める重要な起爆剤となりうる。

#### 【参考文献】

Stolterman, Eric and Anna Croon Fors [2004]” Information Technology and the Good Life”.

<https://www8.informatik.umu.se/~acroon/Publikationer%20Anna/Stolterman.pdf>

経済産業省 [2018a] 「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～」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/mono\\_info\\_service/digital\\_transformation/pdf/20180907\\_03.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/digital_transformation/pdf/20180907_03.pdf)

経済産業省 [2018b] 「デジタル・トランスフォーメーションを推進するためガイドライン (DX 推進ガイドライン) Ver.1.0」

<https://www.meti.go.jp/press/2018/12/20181212004/20181212004-1.pdf>

齊藤実 [2014] 「インターネット通販の成長と物流のラストマイル問題」 神奈川大学商経論叢 第 49 巻第 2-3 合併号, pp.193-219.

週刊東洋経済 [2019] 「EC・決算 覇権バトル」 2019 年 11 月 9 日.

情報処理推進機構 [2019] 「デジタル・トランスフォーメーション推進人材の機能と役割のあり方に関する調査」

<https://www.ipa.go.jp/files/000073700.pdf>

中村吉明 [2017] 『AI が変えるクルマの未来—自動車産業への警鐘と期待』 NTT 出版.

中村吉明 [2021] 「日本のインターネット通販による物流のラストマイル問題の処方箋に関する

【注】

<sup>1</sup> 経済産業省 [2018a] では、レガシーシステムと言われる老朽化した情報システムを刷新する必要があるとの提案をしており、その題名に DX を用いているが、その定義は明確に記していない。その後、公開された経済産業省 [2018b] で本稿に示した定義を定めている。

<sup>2</sup> 本章は、中村吉明 [2017] によるところが大きい。

<sup>3</sup> 「平成 26 年度 ものづくり基盤技術の振興施策（概要）」の 29 ページに記載されている。

[https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2015/honbun\\_pdf/pdf/gaiyou.pdf](https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2015/honbun_pdf/pdf/gaiyou.pdf)

<sup>4</sup> それ以外にアマゾンでは、2018 年、シアトルに無人店舗「アマゾン・ゴー」の 1 号店を開業している。当該店舗では、カメラやセンサーで顧客や商品の動きを把握するとともに、購入商品は自動的にキャッシュレス決済を行うようなシステムとなっている。

<sup>5</sup> チューズベース・シブヤには、接客する店員はおらず、顧客は QR コードで商品の説明や価格を知り、専用サイトのショッピングカートに購入した商品を入れてキャッシュレス決済をすませ、キャッシャーで商品を受け取るというようなシステムとなっている。

<sup>6</sup> AZLM CONNECTED CAFÉ は、EC サイトと連動した約 300 の商品を展示・販売し、購入した商品は Amazon Pay を活用したキャッシュレス決済を行うというシステムになっている。出展者は月額一定金額支払うとともに、10%の支払手数料を支払う代わりに、来客者の行動や購入履歴などが得られる。

<sup>7</sup> 本章は、中村吉明 [2021] によるところが大きい。

<sup>8</sup> 例えば、週刊東洋経済 [2019] では、「アマゾンや楽天など大手 EC 事業者からすると、宅配便モデルはムダが多いように映る。エリアごとにまとまった量の荷物を出荷できる大手 EC 事業者は個人荷主とは違い、わざわざ宅配会社のドライバーに集荷してもらう必要はないからだ。自社サービス以外の荷物で集荷や仕分け作業に時間を取られると、出荷から配達完了までのリードタイムが延びてしまい、サービスの利便性低下につながるという面もある。」としている。また齊藤 [2014] は「インターネット通販の個別配送を担う宅配便という物流サービスは、小型貨物に限定されたサービスであるとともに、コモンキャリアとしてある一定範囲の共通した配送サービスに限定される。このためインターネット通販がさらに拡大すると、貨物の大きさ、さらには特殊な配送サービスの提供の必要性などによって、インターネット通販事業者が独自の配送を自ら展開する必要が出てくる。」としている。

<sup>9</sup> メタバースは、メタ (meta: 高次元の) とユニバース (universe: 宇宙) の合成語である。2021 年 10 月、フェイスブックは、メタバースのプラットフォームを目指し、社名を「メタ」に変更した。

## 執筆者紹介

とおやま こう  
遠山 浩 本学経済学部教授  
なかむら ひさき  
中村 尚樹 本研究所客員研究員  
なかむら よしあき  
中村 吉明 本学経済学部教授

### 〈編集後記〉

2022年冬季北京オリンピックがコロナ禍の中で開催され無事に終了しました。多くの日本人選手が活躍され、なかでも本学の経営学部3年次の重森航君がスピードスケート種目で銅メダルを獲得されたことはたいへんな快挙です。この場をお借りして祝福の意を表します。

その北京。オリンピック史上初となる夏、冬の両方の開催都市となったのは偶然ではないように感じます。まさに中国経済の拡大勢力がスポーツ界にも到達したかのごとくです。私自身も開会式、閉会式が盛大に行われている様子をテレビでみて、中国経済の豊かさを改めて感じました。皆様は、どのようにご覧になりましたでしょうか。

さて、月報1月号をお届けします。本号は、三人の方からご投稿いただきました。いずれも説得力と刺激に満ちた論考であります。以下、簡単ですが紹介させていただきます。

まず、遠山論文「日本のDX社会推進に向けた海外との連携について」は、エレクトロニクス関連産業に着目して、かつて国際競争力を有した日本の京浜工業地帯から中国の華南地区への産業集積の移転過程を概観したうえで、その移転過程における日本企業の組織・ネットワーク再構築のあるべき方向性を考察しています。そして都市型産業集積広域化の観点を加味しながら考察を深め、今後日本のDX（デジタル・トランスフォーメーション）社会推進に必要とされるのは、海外との連携であるという結論を導いています。

次に、中村尚樹論文「ロボットやアバターと共存する未来社会へ」は、ロボット先進国日本におけるロボットやアバターの最先端の研究開発プロジェクトの事例を紹介しながら、今後に予想される、あるいは期待される「未来社会像」というものを野心的に展望しています。「ロボット」は、かつて空想の産物であったのが、もはや現実空間に入り込んだ実用的な存在へと変貌しており、ひとりの人間が様々なアバターを使うことで実世界での活動が多様に広がったり、仮想世界で働くことも可能になると予測しています。

最後に、中村吉明論文「DXで変わる日本の産業」は、電機産業、総合電機メーカーにおけるデジタル・トランスフォーメーション（DX）が、日本企業や産業社会にどのような影響を与えてきたのか、またその影響の範囲は今後どのように広がっていくのかを考察しています。DX、すなわち新しい技術の産業社会への浸透は、たんに「つながる製品」が財サービスとして生産・消費されるだけでなく、企業組織の変革や新たな付加価値の創出に資する源泉となっている点こそ肝要なのだと主張しています。

皆様に、ご高覧いただければ幸いです。

埜 武郎

---

2022年1月20日発行

〒214-8580

神奈川県川崎市多摩区東三田2丁目1番1号 電話 (044)911-1089

専修大学社会科学研究所

The Institute for Social Science, Senshu University, Tokyo/Kawasaki, Japan

（発行者） 大 矢 根 淳

製 作 株式会社グラフィカ・ウエマツ

新宿区下落合 4-21-19 目白LKビル3F 電話 (03)6915-3835

---