

Vol.48

2021 Winter

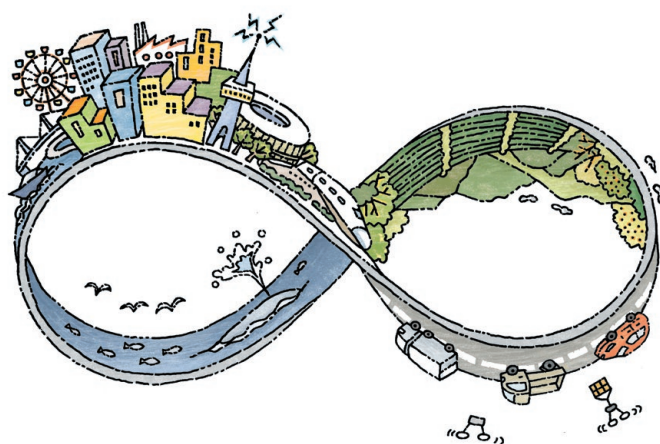
ネクストコム

情報通信の現在と未来を展望する

Nextcom

特集

サーキュラー エコノミー



Feature Papers

特集論文

脱炭素化・産業構造転換・
日本経済の新たな成長

諸富 徹 京都大学 大学院 経済学研究科/地球環境学堂 教授

特集論文

EUの循環経済(CE)概念の意味と特徴

中西 優美子 一橋大学 大学院 法学研究科 教授

特集論文

サーキュラーエコノミーとデジタル革命:

これからのものづくりと

デジタルプラットフォーム設計のアプローチ

木下 裕介 東京大学 大学院 工学系研究科 精密工学専攻 准教授

Articles

5年後の未来を探せ

坊農 真弓 国立情報学研究所 准教授に聞く

言葉だけでは捉えきれない

人間の高度なコミュニケーション

江口 絵理 ライター

明日の言葉

技術は、自然のなすところを模倣する。

…… アリストテレス

「技術は、一方では、自然がなしとげえないところの物事を完成させ、
他方では、自然のなすところを模倣する」(『自然学』)と、
哲人はその技術観を記した。

特集

サーキュラー エコノミー

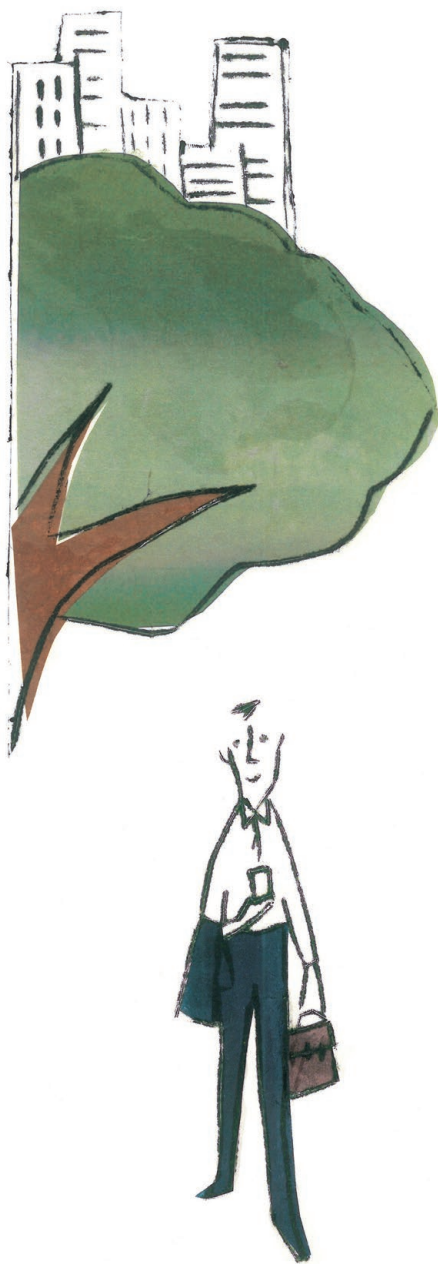
- 2 | **すでに始まってしまった未来について
気候変動と都市インフラ**
平野 啓一郎 作家
- 4 | 特集論文
**脱炭素化・産業構造転換・
日本経済の新たな成長**
諸富 徹 京都大学 大学院 経済学研究科／地球環境学堂 教授
- 14 | 特集論文
EUの循環経済(CE)概念の意味と特徴
中西 優美子 一橋大学 大学院 法学研究科 教授
- 23 | 特集論文
**サーキュラーエコノミーとデジタル革命：
これからのものづくりと
デジタルプラットフォーム設計のアプローチ**
木下 裕介 東京大学 大学院 工学系研究科 精密工学専攻 准教授
- 34 | 5年後の未来を探せ
**坊農 真弓 国立情報学研究所 准教授に聞く
言葉だけでは捉えきれない
人間の高度なコミュニケーション**
江口 絵理 ライター
- 40 | お知らせ
論文公募のお知らせ
2022年度著書出版・海外学会等参加助成に関するお知らせ
- 42 | 情報伝達・解体新書
**アリはしゃべる！
複雑な社会ほどおしゃべりなアリの世界**
村上 貴弘 九州大学 持続可能な社会のための決断科学センター 准教授
- 44 | 明日の言葉
「しぜん」ではなく「じねん」に
高橋 秀実 ノンフィクション作家

すでに始まってしまった未来について——④⑧

文：平野啓一郎

絵：大坪紀久子

気候変動と都市インフラ



気候変動の話題は、いかにそれを喰い止めるかに集中しがちだが、他方で私が気になるのは、都市インフラである。

東京新聞(6月30日)の記事で、都内の小学校で屋外プールを廃止する動きがあるというのを知り、驚いたのだが、理由の一つは夏の「猛暑」だった。つまり、熱中症の危険があるというのである。

温暖化対策のインフラ整備というと、スマートシティ化や自転車道の整備、太陽光発電の普及などがすぐに思い浮かぶが、それ以前に、そもそも猛暑の夏に、どのように屋外活動をするか、という視点は、欠落しがちである。

コロナ禍のリモートワークで明らかになったように、そうなる、真夏はもう極力外出しない、ということになるのであろうが、しかし、四六時中家にいるだけでは身も心も持たない、というのも、この間、痛感したことである。

例えば、どれほど猛暑の日でもビルや木の陰に入ってしまうえば案外涼しい。都内の通勤に関しては、駅からオフィスまでの道が問題だが、よくよく見てみると、時間帯によって道路の両脇のビルが影を落とすので、直射日光を浴びる道は所々である。そこにだけ、公費で歩道の上を屋根で覆うなり、大きな街路樹を植えるなどすれば、夏でも日なたを歩くことなく移動出来る。

公園も、木場公園などは、大木が多く植えられていて、その木陰の下にアスレチックの遊具が設置されているので、真夏でも、まだ子供が遊ぶことが出来る。しかし、昔ながらの遊具の脇にだっ広いスペースがあるという公園は、真夏は危険で、とても遊べる場所ではなくなっている。根本的なデザインの変更が必要だろう。

インフラではないが、服装も、いずれはハワイのように、男性が仕事で短パンを穿くようになるのではあるまいか？

ともかく、生き延びるためにはどうするかという視点が必要だが、現状、そうした変化が活発に生じている気配がない。

生活実感の中からこそ、都市の変化を求めてゆくべきだろう。

Keiichiro Hirano

小説家。1975年生まれ。1999年京都大学在学中に『日蝕』により芥川賞を受賞。以後、『葬送』、『ドーン』、『かたちだけの愛』、『空白を満たさない』、『透明な迷宮』、『マチネの終わりに』、『ある男』、『「カッコいい」とは何か』など、数々の作品を発表。最新刊は『本心』(文藝春秋)。

特集

サーキュラー エコノミー

廃棄物の増大、資源や食料需要の増加、気候変動など、地球規模の問題が深刻化し、従来の大量生産・大量消費・大量廃棄型の「線形経済」からの脱却が、世界的な課題になっている。

日本は、2020年10月に、2050年までにカーボンニュートラルの実現を目指すことを宣言。そして、「循環経済(サーキュラーエコノミー)」への移行が期待されている。

サーキュラー エコノミー 1

脱炭素化・産業構造転換・ 日本経済の新たな成長

京都大学 大学院 経済学研究科／地球環境学堂 教授

諸富 徹 Toru Morotomi

「脱炭素化」や「カーボンニュートラル」が急速に時代のキーワードとなっている。

だがこれらを本当に実現するのは容易ではない。

脱炭素化への省エネや再生可能エネルギー投資が企業収益を圧迫したり、

価格上昇を通じて消費者の生活を圧迫したりする恐れがある。

だが脱炭素をうまく成し遂げ、経済成長との両立を図る途もあるのではないか。

本稿は、脱炭素化をデジタル化と一体的に進めることで産業の形を変え、

新しい日本経済の成長に至る道筋を明らかにする。

実は、脱炭素化に向けての産業構造転換は、「資本主義の非物質化」という根本変化への適応プロセスに他ならず、日本経済を新しいステージに導く契機になり得ることを認識する必要がある。

キーワード

脱炭素化 資本主義の非物質化 デカップリング 産業構造転換 カーボンプライシング

1. 脱炭素化と経済成長は矛盾するか

本稿は、いま喫緊の問題となっている「脱炭素化」と経済成長がはたして両立するのか、という論点に焦点を当て議論したい。気候変動がもたらす地球規模の環境問題を解決するには、少なくとも先進国は2050年までに脱炭素化する必要がある。これは、2015年の第21回気候変動枠組条約締約国会議(COP21)で合意されたパリ協定や、その後の科学的知見の進展によ

る要請だ。しかし他方で、脱炭素化は経済や産業に打撃を与え、経済成長を妨げると長年指摘されてきた。

確かに、石油文明といえる現代社会が脱炭素化するのは一見、技術的に極めて困難に見えるし、仮に可能だとしても、膨大なコストがかかるように思われる。ここから、脱炭素化が経済成長の足かせになるという懸念が出てくるのも当然であろう。だが筆者は、脱炭素化と経済成長は両立可能だけでなく、むしろ脱炭素化こそが経済成長への途であることを、本稿で強調していきたい。ただし、そのためには満たされるべき

条件がある。産業構造が今のままでは両立は難しく、脱炭素化達成には産業構造の転換が不可避になる。

確かに産業構造の転換は、そう簡単なことではない。にもかかわらず比較的長い時間軸で見れば、どの国も産業構造は時代の進展とともに必ず変化していることが分かる。19世紀から20世紀を経て21世紀の現在、産業の中心軸は大きく農業から工業へ、そしてサービス産業へと変化してきた。21世紀の課題は、産業構造の変化を成り行きに任せるのではなく、いかに人為的に脱炭素化と整合的な方向へ転換させることができるか、という点にある。

私たちがいま直面している最大の困難であるコロナ禍が実は、産業構造転換を引き起こしつつある、という意外に思われるかもしれない。コロナ禍と気候変動問題、この何の関係もない二つの問題が、脱炭素化に向けた産業構造転換という点で深く関係しているのだ。次節以降ではまず、この点を説明することにした。

2. コロナ禍が日本経済に与えた影響

いまコロナ禍で経済と産業にどのような変化が起きているのか、その変化の中に、新しい経済・産業構造への萌芽をどのように見いだすことができるのかについて、本節では論じていくことにしたい。

まず日本経済は、コロナ禍の影響を受けて大きく落ち込んだ。内閣府によれば、コロナ禍の影響が顕在化した直後の2020年4月から6月までのGDP(国内総生産)は、前の3カ月と比べて年率換算でマイナス28.1%と、リーマンショック時を超える大きな落ち込みとなった。同年7～9月期にはその反動で前期比・年率プラス22.9%となったものの、第3波に襲われたことで、同年10～12月期は減速しており、さらに2021年に入って第2回目の緊急事態宣言が出たことにより、21年1～3月期は東京都などへの緊急事態宣言の発令による個人消費の落ち込みが全体を押し下

げ、3四半期ぶりのマイナス成長に転じていた。その後、同年4～6月期は企業の設備投資が伸びたことにより前期比0.3%増、年率換算で1.3%増とプラス成長に転じた。

コロナ禍の影響により日本でも、とりわけ外食産業、旅行業、航空・鉄道などの旅客産業、そして百貨店をはじめとする小売業が、大きな打撃を受けている。他方、アメリカではコロナ禍でもグーグル(アルファベット)、アップル、フェイスブック、アマゾン、マイクロソフト(GAFAM)をはじめとする大手デジタル企業は、むしろ業績を大きく伸ばしている。直近の2021年第2四半期(4～6月期)の決算によれば、GAFAM全社が前年同期比で大幅な増収増益となり、うち3社の売上高、そして2社の純利益が四半期で過去最高を記録した。コロナ禍でデジタル化が進んだことが、彼らのビジネスチャンスとなったのだ。

コロナ禍で、これまでのビジネスの在り方は大きく変化し、感染症対策として「非対面」、「非接触」が求められるようになった。それを可能にするデジタル化への対応の巧拙が、明暗の分かれ目となっている。

3. 「資本主義の非物質化」という構造変化

実は、コロナ禍の影響を受ける以前から、資本主義経済の在り方は変化し始めていた。具体的には1980年代以降、それまでの製造業中心のモノづくりから、サービス産業、知識集約型産業、そして無形資産を中心とした産業構造への転換が起きていたのだ。1990年代以降に、情報通信技術(ICT)とデジタルサービス産業が台頭し、投資、労働、そして消費に至るまで、「資本主義の非物質化」とも呼べる変化が進行していた。こうした変化の中で鍛え上げられてきたデジタル技術が今回、在宅勤務やオンライン教育、遠隔医療など、コロナ禍の下で「非対面」、「非接触」で物事を進めることを可能にしている。

コロナ禍は、こうした変化を一挙に前倒しし、日本

の産業構造の転換を加速させると筆者は考えている。なぜか。例えば、紙・パルプ産業を例にとろう。コロナ禍で、イベントの中止等による紙需要の大幅な落ち込みに加えて、在宅勤務への移行でオフィスの紙需要が大幅に落ち込んでいる。今後も、デジタル化や在宅勤務の定着で、紙需要はもはや元には戻らないと考えるべきだ。

このことは短期的には紙・パルプ産業にとって打撃だが、いずれ、経済構造の変化で紙需要は長期的に減少すると予想されていた。それがコロナ禍で前倒しになったのだ。他方で、紙がオンラインで代替されることで、資源が節約される他、オンライン上での文書決裁や本人認証の仕組みなど、紙を代替する「非対面」、「非接触」型の新しいビジネスが生まれている。紙・パルプ産業自身も、手をこまねいているわけではなく、転身を図っている。

つまり、個別の産業にとっては打撃であっても、そ

れをきっかけに経済全体としては新しい産業が生まれ、成長していくことで、一国の経済全体としては新たな発展を遂げていく。

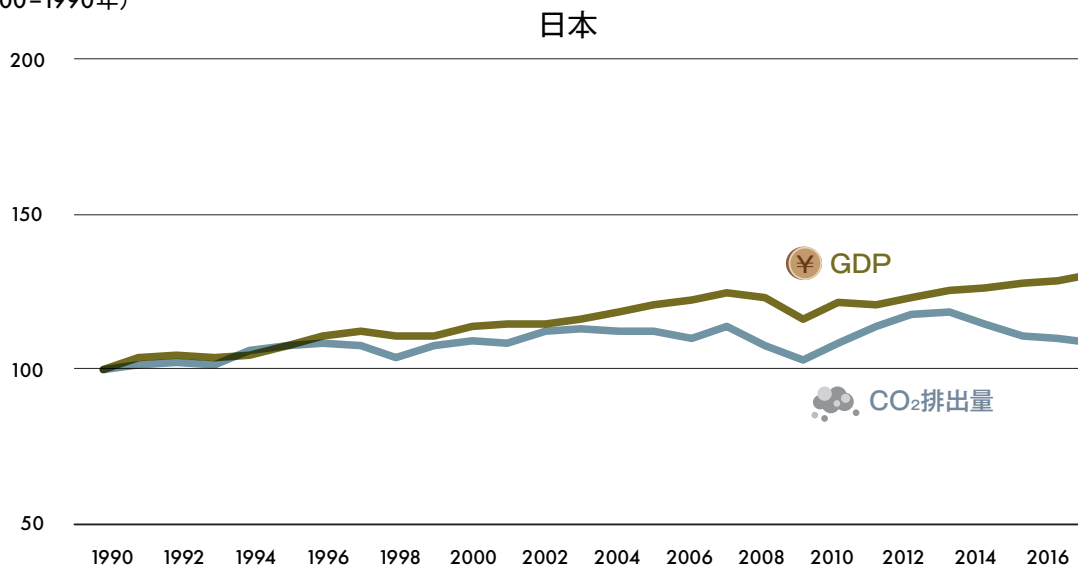
同じことは、同様に時代のキーワードである「脱炭素化」についても当てはまる。2016年度の日本の温室効果ガス排出の業種別比率を見ると、紙・パルプ産業は温室効果ガスの大量排出業種で5番目に大きな比率を占めていることが分かる。逆に言えば、紙・パルプ生産が減少することは、温室効果ガス排出の減少につながるのだ。

4. 経済成長と環境保全の切り離し

以前ならば、温室効果ガス排出の削減は、産業への打撃を意味し、「環境か、経済／産業か」というトレードオフの議論に陥っていた。しかし、経済のデジタル化が進展する中で、先ほどの紙パルプ産業もいず

図表1 日本とスウェーデンのデカップリング推移

(100=1990年)



れ、さらなる成長のために事業構造の転換を迫られていたはずだ。それが、コロナ禍で一挙に前倒しになっただけだといえる。温室効果ガスの排出削減は、その結果として生じるわけだ。ここでは経済成長と環境保全が、同一の方向を向いている点にご留意いただきたい。ただし、産業構造の転換を伴うということだ。

一国レベルでも、同様のことが言える。実は欧州を中心に1990年代以降、「デカップリング」という現象が観察されるようになった。デカップリングとは「切り離す」という意味だが、ここでは「経済成長と温室効果ガスの排出を切り離す」という意味だ。かつての高度成長期ならば、各国とも経済が成長すると、必ずエネルギー消費が伸び、温室効果ガス排出も増加していた。しかしその後、両者の関係は切り離されるようになった。

それにしてもなぜ、高度成長期は連動していた経済成長と温室効果ガス排出の動きが、ここに来て切り離

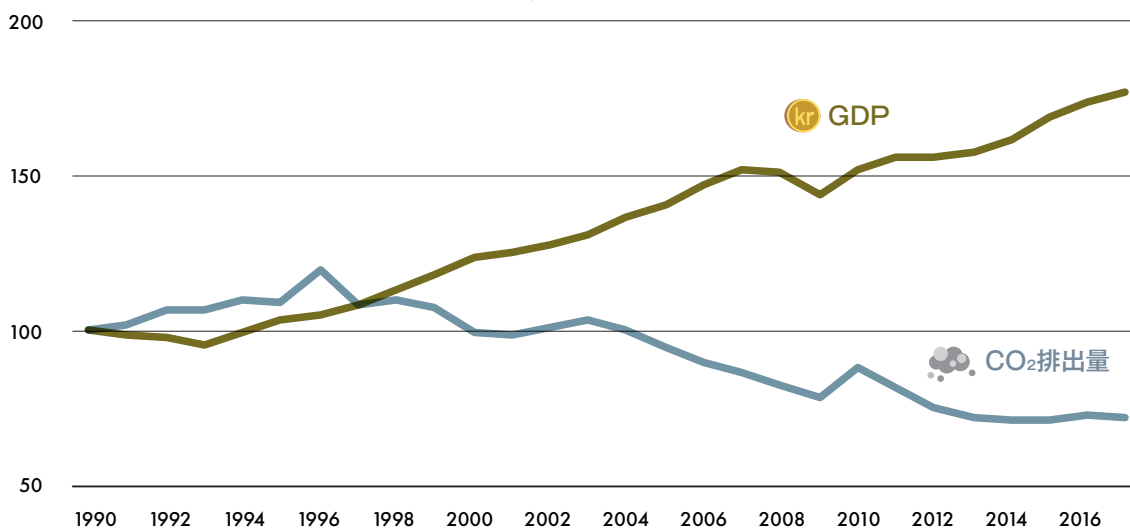
されるようになったのか。このことを本稿では、脱炭素化方針をいち早く打ち出し、脱炭素化と経済成長の同時達成を成し遂げたスウェーデンの事例を基に考えることにしたい。

スウェーデンは1991年に世界に先駆けて炭素税を導入するなど、温暖化対策の先頭を走ってきた。彼らは2018年1月には「気候法」を発効させ、脱炭素化の方針を鮮明にした。2045年を目標年次とし、それまでに森林などによるCO₂の吸収分も考慮して「正味ゼロ排出」を実現するとしている。

読者の方々は、そんなことは可能なのかと思われるかもしれない。だが、彼らにはすでに実績がある。図表1を見ていただきたい。これは、スウェーデンの経済成長とCO₂排出の推移を示している。この図から容易に読み取れるように、スウェーデンは1990年～2017年の期間に、経済は成長する一方(+78%)、CO₂排出を削減(-26%)してきたのだ。これがまさに

(100=1990年)

スウェーデン



[出所] GDP: World Bank, CO₂: IEA

「デカップリング（経済成長とCO₂排出の切り離し）」である。同図の日本が「デカップリング」しきれていないのと対照である。

ここからいまや、CO₂排出の削減は、成長の妨げにはならないことが分かる。いやむしろ、熱心に環境に取り組むことこそが成長を促したとみられる。いったいここには、どういうメカニズムが働いたのだろうか。

第一は、産業構造の転換である。つまり産業の中心が、炭素集約的な重化学工業から、情報通信やデジタル化されたサービスなど知識産業へと移行したのだ。後者は前者に比べ、CO₂排出が少ない一方、収益性や生産性（労働者1人がどれだけの付加価値を生産するかを示す指標）がより高い。つまり産業構造転換で、CO₂排出を削減しつつも、経済成長を図ることが可能になった。スウェーデンは今なお、VOLVOに代表される自動車産業など製造業に強みを持つ。だが他方で、家具製造・販売のIKEA、ファストファッションのH&M、デジタル音楽配信サービスのSpotify、ビデオ会議サービスのSkypeなど、新興企業を次々と輩出する国でもある点に注意を促しておきたい。

第二に、炭素税や欧州排出量取引制度のような環境規制の強化は、環境改善投資を喚起し、GDP拡大に寄与しただけでなく、エネルギー生産性の向上を通じて企業の競争力向上を促した。スウェーデンだけでなく、デカップリングに成功している国々はほとんど例外なく、炭素税や排出量取引などの「カーボンプライシング（炭素の価格付け）」を導入している点に特徴がある。

さらに第三に、エコカーの開発のように、他国や他企業に先駆けて環境に望ましい製品、サービス、製造工程を確立することで、それらを巡る国際競争で先んじ、有利な地歩を占めることが可能になる。

5. 日本はどういう道をとるべきか

スウェーデンはこうした戦略に沿って今後、さらに大胆な脱炭素化に舵を切る。コロナ後のEU復興基金（グリーン・ディール）の援助を受けて、炭素集約産業の象徴である鉄鋼業を2045年までになんと「正味排出ゼロ産業」に転換させる計画だ。すでに技術的には可能とみられ、今後、実証へ向けての投資が始まる。スウェーデンの鉄鋼産業の「脱炭素化」へ向けた投資は、2050年脱炭素化をにらみつつ、コロナ禍からの経済復興を図る「グリーン・リカバリー（緑の経済復興）」の一環だといえる。

日本も遅ればせながら、2050年に向け脱炭素化に向かうことを宣言した。当時の菅義偉首相は2020年10月26日、所信表明演説で、2050年に日本の温室効果ガス排出量を実質ゼロにすると表明した。

とはいえ、日本の出遅れは明らかで、これまでの政策は脱炭素化に向けた産業構造転換の視点や、脱炭素化とコロナ禍からの経済復興を両立させるグリーン・リカバリーの視点が薄い。だが本稿で論じてきたように、もはや「成長か環境か」という問題の立て方そのものが古色蒼然となり、脱炭素化こそが成長の鍵を握る時代に入った。日本は、日本なりの脱炭素化の途を見いだしていくべきであろう。

6. 脱炭素化とビジネス

2050年カーボンニュートラル宣言以降、企業の脱炭素化に対する意識は大きく向上した。「ESG投資」が金融の世界でも大きな潮流となり、投資先が環境に対してしっかり取り組んでいるかどうかで選別される動きが強まっている。また、電力の利用に関しても「RE100」の名の下に、再生可能エネルギー（以下、「再エネ」と略す）で発電された電力の比率を高めようとする機運が急速に高まっている。その背景には米

アップル社などが、将来にRE100を達成することを取引先企業に求めるようになってきたという事情がある。このような形で、脱炭素化やRE100を自社だけでなく、自社のサプライチェーン企業に対しても求める動きが顕著になっている。さらに、政府側ではカーボンプライシング(炭素の価格付け)導入の検討が始まっている。

こうした潮流に企業としてどのように対処し、経営を成り立たせていくかは、ビジネスに携わる方々にとっての一大課題であろう。脱炭素化の進展は、どのような影響をビジネスに与えるのだろうか。最大の影響は、ビジネスで用いるエネルギーコスト上昇の形で現れる。自社のオフィス、工場等で使用している化石燃料、電気、ガスが該当する。これらの使用量の多寡だけでなく、その質が問われるようになっていく。つまり、同じエネルギー使用量でも、化石燃料比率が高いと、それだけ将来のビジネスに与える負の影響は大きくなる可能性が高い。

省エネを進め、化石燃料から再エネへの転換を進めることが必要になる。こうした対応が遅れたり、そもそも対応しなかったりすれば、どうなるのか。まず考えられるのは、金融機関／投資家からの投融資を引き上げられる恐れである。次に、アップル社のような脱炭素化に取り組む大手取引先企業から、取引を解消される恐れが出てくる。最後に、政府がカーボンプライシングを導入する場合は、その負担がのしかかってくる。企業経営に求められるのは、こうした潜在的なリスクを認識し、それを避けるために先手を打っていくことである。

具体的にはまず、自らのエネルギー(電力、ガス、ガソリン／軽油などの化石燃料)の使用量の把握、透明化を行う必要がある。次に、省エネの可能性をさらに追求(事業のどの部分で省エネが可能か検討を)する必要がある。さらに、省エネにかかるコストの検証を行う必要がある(安い手段から順番に実行)。そして、電力では再エネ比率を増やす方向へ向かう必要が

ある。最後に、どうしても化石燃料を使用しなければならない場合、もし代替可能なら、よりCO₂排出の少ないもの(石炭＞石油＞天然ガス)へ転換をすべきである。

こう書くと、コストやリスクの話になってしまうが、しかし反面で、これらはビジネスに新たな機会をもたらす。これらの課題に先んじて着手し、課題を克服した企業は競争優位を獲得できる他、脱炭素・省エネ・再エネを武器に市場で新たな収益機会を創造できる可能性も広がる。しかも、経済全体としても、日本がカーボンプライシングを用いて脱炭素化に向かうことは経済成長をむしろ促進する可能性がある。以下では、筆者が代表を務める京都大学大学院経済学研究科「再生可能エネルギー経済学講座」の研究成果を紹介することにしたい。

7. 脱炭素で成長は可能—— カーボンプライシング導入の経済影響

(1)カーボンプライシングと経済成長の関係

これまでカーボンプライシング導入を含む野心的な気候変動政策の実施は、経済に対策コストの増大をもたらし、その成長を阻害すると主張されてきた。だが、本当にそうだろうか。カーボンプライシング導入国の実績からは、その導入が経済成長率を低下させたという明確な証拠は見いだせていない。現実には1990年代以降、多くの国々でデカップリングが実現し、カーボンプライシング導入でCO₂排出量は減少しても、経済はむしろ成長するという関係が観察されている¹⁾。

興味深いのは、カーボンプライシングの導入国において「実効炭素価格」が高いほど、1人当たり投資額が大きいという関係が観察されている点である²⁾。実効炭素価格とは、炭素税、排出量取引制度、その他エネルギー税の負担額を足し合わせた総額を、その国のCO₂排出量で除した値だ。CO₂の排出1トンと引き換

えに、企業や個人がどれだけの経済的負担を負わなければならないかを示している。

われわれは直感的に、「実効炭素価格が高いほど投資が妨げられる」と考えがちである。しかしデータの示すところによれば、現実はその逆である。実効炭素価格が高いほど、1人当たり総資本(有形資産+無形資産)形成額、もしくは1人当たり知的財産(無形資産)生産物形成額は大きくなるという相関関係が見られる。これらの関係が示しているのはあくまでも相関関係であって因果関係ではないため、これらのデータから「高い実効炭素価格が投資を活性化する」とまでは言えないが、少なくとも前者が後者を阻害してはいない、とは言えそうである。

だが厳密には、経済成長、投資に影響を与える要因として、カーボンプライシング以外の要因、例えば景気循環、財政金融政策、貿易政策などを考慮しなければならない。カーボンプライシングが導入されても投資が鈍化しなかったのは、たまたまその時に景気が良かったからかもしれないからだ。従って、より正確にカーボンプライシングの経済・投資影響を分析するには、現実の経済をモデル化した上で、カーボンプライシングがない下での経済運行と、カーボンプライシング下での経済運行を比較するシミュレーションを行う必要がある。

(2)カーボンプライシングの影響をシミュレートする

筆者が代表を務める京都大学再生可能エネルギー経済学講座では、カーボンプライシング(ここでは炭素税)の経済影響を分析するため、李秀澈名城大学教授主導の下、英国ケンブリッジ・エコノメトリクス(Cambridge Econometrics)との共同研究を実施、2021年5月にディスカッションペーパー(Discussion Paper: DP)として研究成果を公表した³⁾。

得られた結果は、われわれの事前予想を上回るものであった。要約的に述べれば、2050年カーボンニュートラル達成に向けて炭素税を導入することにより、日

本のGDPはそうでない場合に比べて約3%から最大で約4.5%上昇するという結果が得られた。2050年カーボンニュートラルに向けた炭素税導入は、経済に打撃を与えるどころか、むしろその成長を促進する。以下ではこの分析内容を、ポイントを絞って紹介することにしてしよう。

分析の最初になされるべきは、「レファレンスシナリオ」の設定である。これは、日本経済が現状のまま2050年まで推移したときのGDPとCO₂排出量を予測する作業である。本研究では、日本エネルギー経済研究所の「IEEJ OUTLOOK2021」におけるレファレンスシナリオを採用した。それによれば、2050年に向けて日本経済は年率平均0.7%で成長、2050年に最終エネルギー消費は2018年比で20.8%減少するものの、発電量は逆に3.0%上昇し、エネルギー起源CO₂排出量は31.7%減少する。炭素税導入の政策効果は、それにより日本経済がこのレファレンスシナリオからの上方、もしくは下方への乖離^{かいり}として表現される。

次に重要なのが、2050年カーボンニュートラルに向けた「政策シナリオ」の設定である。政策の中核に座るのは、炭素税である。税率は2021年の50米ドル(約5,500円)/CO₂・tから比例的に上昇し、2040年には400米ドル(約44,000円)/CO₂・tに到達、そこから2050年までは同水準に維持される。税収は税収中立を維持するように低炭素投資、再生可能エネルギー固定価格買取制度(FIT)、火力発電フェーズアウトに伴って発生する費用に充当すると想定する。

脱炭素化の政策手段は、炭素税だけではない。発電部門や交通部門で、現時点で想定し得る政策シナリオを組み込んでいる。発電部門では、原発に関して二つの政策シナリオを設定した。第一は、「IEEJ OUTLOOK2021」に沿って原発比率が2018年の6.2%から2050年の13%へと拡大するシナリオ(「原発あり」シナリオ)である。第二は、2018年以降原発の新規建設は行われず、2040年までに順次廃止されるシナリオ(「原発なし」シナリオ)である。

再エネについては、太陽光はFIT適用しないが、風力とバイオマス発電については2035年まで引き続きFIT適用が行われるものと想定する。

交通部門では2035年以降、ガソリン・ディーゼル車の販売が禁止される一方、電気自動車については2025年まで車両購入補助金が維持されると想定する。

産業部門では、鉄鋼部門のみ2050年までに高炉からの排出がゼロになると想定する。

(3)分析結果——

炭素税による脱炭素化は成長を促進する

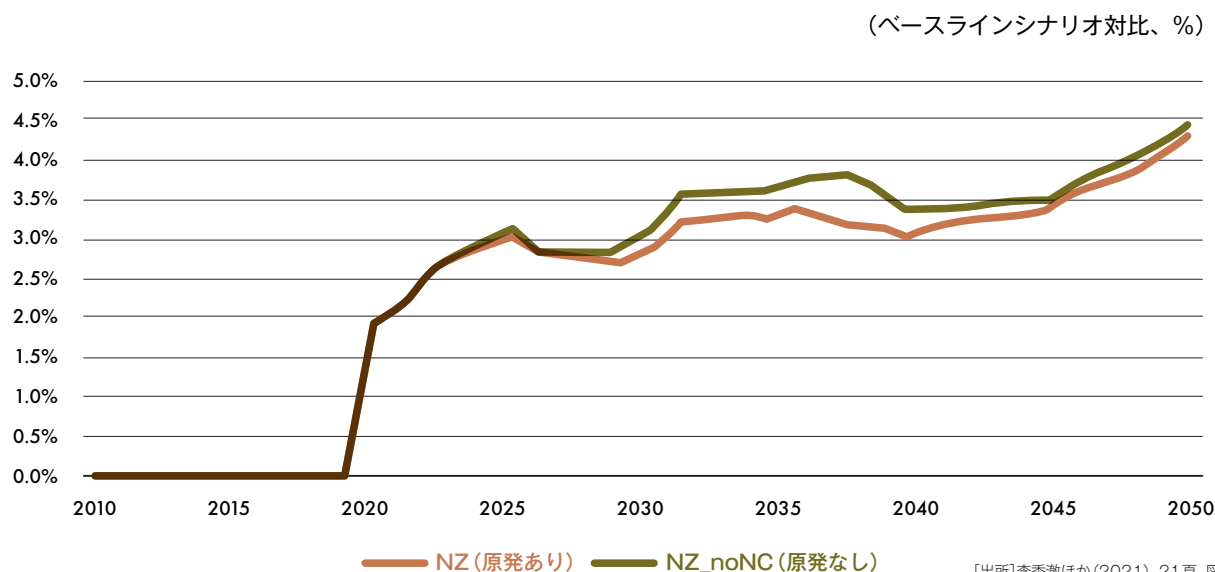
以上の設定の下、本研究ではケンブリッジ・エコノメトリクスのマクロ計量モデル(E3MEモデル)を用いて、2050年カーボンニュートラルに向けた炭素税が日本経済に及ぼす影響を分析した。その結果を示したのが、図表2である。

この図は、炭素税が導入される2021年から2050年

にかけて、日本のGDPがレファレンスシナリオからどのように乖離するかで、政策の経済影響を示している(乖離のない場合は0.0%となる)。ここから分かるように、炭素税の導入で炭素中立に向かうことにより、GDPはそうでない場合よりも3.0~4.5%上昇する。これは、①炭素税が脱炭素化投資を誘発するほか、②雇用拡大による賃金上昇が消費を刺激し、その効果がエネルギーコスト上昇による消費抑制効果を上回ること、さらに、③化石燃料の輸入が抑えられることで貿易収支が改善すること、以上三つの要因による。

しかも驚くべきことに、「原発なし」シナリオ(図のNZ_noNC)の方が、「原発あり」シナリオ(図のNZ)よりも高い成長率を達成すると予測されている。これは、原発の代替電源としての再エネによる発電コストが十分に下がるほか、原発フェーズアウトによる投資縮小効果を、再エネ拡大による投資拡大効果が上回るためである。

図表2 2050年カーボンニュートラル達成におけるGDPの経路



以上が、本研究による結果の主要ポイントである。2050年にカーボンニュートラルという高い目標を実現するため、炭素税率は高い水準に上昇せざるを得ず、経済に悪影響を及ぼすと予想されたが、われわれの事前想定に反する形で、むしろその方が成長は促進されとの結果が得られた。この結果は、各国で実現しているデカップリングが決して偶然の産物でないことを示すエビデンスとなり得る。また、「なぜ実効炭素価格が高いと投資が大きくなるのか」という問いに対して有力な解答を提供できる点でも意義深い。

われわれはそろそろ、「カーボンプライシングの導入＝経済にマイナス」というこれまでのステレオタイプな物の見方から解放されるべきだろう。「環境か経済か」の二項対立的な議論から脱却し、カーボンプライシングをうまく活用してCO₂を削減しつつも成長する、新しい経済発展にどう導くべきか、建設的な議論を開始すべき時期に来ているのではないだろうか。

8. 脱炭素化をビジネスチャンスに転化を

以上のように、脱炭素化は日本の経済構造の刷新を通じて成長を促す可能性がある。もっとも、その過程では化石燃料依存度の高い産業業種や企業には負担が増大し、産業の盛衰や構造転換が進む可能性がある。

だからこそ、こうした構造転換に備えて失業者への支援、衰退産業・衰退企業への対処、成長産業への労働力移動といった政策を実行する必要性が議論されている。脱炭素社会への移行に伴うショックを和らげ、不利になる人々を支える「公正な移行(just transition)」の重要性が、脱炭素化とともに必ず強調されるようになってきている。

脱炭素化が不可避で不可逆的な潮流であることを認識することの必要性を、改めて強調させていただきたい。その対応には短期的にはコストがかかるが、いま着手しないとビジネスには将来、致命的な結果をもたらす。後追いの対応ではなく、脱炭素化をチャンス

と捉える前向きな姿勢への転換がここで求められるといえよう。かつて、日本の産業は石油ショックを乗り越えて劇的な省エネを実現し、同時に産業競争力を高めた成功体験を持つ。あるいは、自動車の排気ガスを10分の1に減らすことを求める「マスキー法」を見事にクリアする触媒装置を開発し、さらに燃費を向上させることで、北米市場で大成功を収める礎を築いた経験を日本の自動車メーカーは持っている。脱炭素化時代に向けて、これらの再現を期待しつつ筆をおきたい。



Toru Morotomi

諸富 徹

京都大学 大学院 経済学研究科／地球環境学 教授

1968年生まれ。1998年京都大学大学院経済学研究科博士課程修了。2010年3月から現職。この間に、内閣府経済社会総合研究所客員主任研究官、ミシガン大学客員研究員、放送大学客員教授(放送授業担当主任講師)を歴任。

主著に、『環境税の理論と実際』(有斐閣、2000年)：NIRA大来政策研究賞、日本地方財政学会佐藤賞、国際公共経済学会賞を受賞)、『低炭素経済への道』岩波新書(共著、2010年)、『資本主義の新しい形』(岩波書店、2020年)など。

これまでに、内閣府「政府税制調査会」特別委員、東京都「税制調査会」委員、環境省中央環境審議会「カーボンプライシングの活用に関する小委員会」などの役職を歴任。

注

- 1) 諸富 (2020), 第3章第2節「資本主義の非物質主義的転回としての『脱炭素化』」(95-117頁)を参照。また、環境省「税制全体のグリーン化推進検討会」第3回(2021年3月5日)の資料2「炭素税・国境調整措置を巡る最近の動向」(<https://www.env.go.jp/policy/zeishiryou2.pdf>)のスライド21枚目に、炭素税導入国の大半でデカップリングが実現していることが示されている。
- 2) 環境省中央環境審議会地球環境部会長期低炭素ビジョン小委員会「長期低炭素ビジョン」参考資料集スライド155枚目(<https://www.env.go.jp/council/06earth/y0618-14/mat03-1.pdf>)参照。
- 3) 李秀澈ほか(2021)を参照。

参考文献

- 明日香壽川(2021),『グリーン・ニューディール―世界を動かすガバナリング・アジェンダ』岩波新書。
- 諸富徹(2020),『資本主義の新しい形』岩波書店。
- 李秀澈ほか(2021),「日本の2050年カーボンニュートラルの実現がエネルギー構成及びマクロ経済へ与える影響分析—E3MEマクロ計量経済モデルを用いた分析」京都大学大学院経済学研究科再生可能エネルギー経済学講座ディスカッションペーパー No.32.
(http://www.econ.kyoto-u.ac.jp/renewable_energy/stage2/contents/dp032.html)

サーキュラー エコノミー 2

EUの循環経済 (CE) 概念の 意味と特徴

一橋大学 大学院 法学研究科 教授

中西 優美子 Yumiko Nakanishi

2015年にEUは循環経済 (サーキュラーエコノミー) 行動計画を発表した。

循環経済とは、製品、材料および資源価値ができるだけ長期にその経済において維持され、
廃棄物の生成が最小限化されることを意味する。日本においては循環型社会の形成が目指されている。
両者において廃棄物の管理を中心としていることは共通している。

しかし、EUの循環経済は、「経済」と名付けられていることから
循環型社会を創る上で競争力を向上させることが目的になっている。

また、循環経済を実現するために、多年次財政枠組み計画を通じて企業への財政支援の仕組みが担保されている。
2020年の新循環経済行動計画では、欧州グリーン・ディール (脱炭素とデジタル化) とのリンクが図られている。

キーワード

循環経済 (CE) サーキュラーエコノミー 欧州グリーン・ディール デジタル化 ホライゾン

1. はじめに

EUにおいて、これまでさまざまな概念が創出されてきた。EUは、1952年に設立された欧州石炭鉄鋼共同体 (ECSC) から始まっており、1958年には欧州経済共同体 (EEC) が設立された。この欧州共同体 (European Community) というネーミングにも意味がある。ドイツ語では Europäische Gemeinschaft という。EECは経済的な統合を第一義的な目標としていたの

で、Gesellschaft (利益社会) という言葉の方が合っている気もするが、Gemeinschaft (共同体) という言葉を用いたところに意味がある。ECは、経済統合を超えたものを目指し、経済統合を超えるものに到達した。EUは、欧州連合 (European Union) の略である。EUは、欧州市民間に一層緊密化する連合を創設することを目指している。EEC条約は、共同市場 (common market) の創設を規定していたが、1970年代にオイルショックで経済が停滞すると、1987年の単一欧州議定書により、それを打破するために新たな概念、域内市

場 (internal market)を生み出した。域内市場は、「物、人、サービスおよび資本の自由移動が確保される国境のない領域」と定義された(EU運営条約26条)。この概念は、1992年末市場統合のキャッチフレーズとともに用いられ、1992年末に実際に市場統合が実現された。その後も1992年発効のマーストリヒト条約により単一通貨ユーロの発行の基盤となる経済通貨同盟(EMU)が創設された。1997年発効のアムステルダム条約で「自由、安全および司法の領域」という新しい概念が導入された。2009年発効のリスボン条約によりエネルギー分野の新しい権限がEUに付与されたことを受け、「エネルギー同盟」という言葉も生み出された。また、2019年12月に欧州委員会の委員長フォンデアライエンは、「欧州グリーン・ディール」を公表し、気候変動対処政策を中心に環境保護のための政策に力を入れる方向性を示している。そのような中で、今回取り上げる「循環経済(Circular Economy, CE)」も、EUが生み出した概念である。

また、循環経済概念は、キャッチフレーズ的な概念であり、その役割を果たしているが、それにとどまるものではない。EUが創出する概念やコンセプトには、単に一つの事項に関わるのではなく、空間的な広がりを持っている。例えば、欧州委員会は2020年12月にGAFAなどのデジタルプラットフォームを規制する、デジタル市場法(Digital Markets Act)案¹⁾を提出した。デジタル市場法案は、競争法的規制法を用いているが、競争法にとどまらず、デジタル市場がどうあるべきかという考えを基盤にして出来上がっている。それは、循環経済の概念にも当てはまる。EUの循環経済は、最終的にはEUのさまざまな措置に落とし込まれて実現されるわけではあるが、重要なのは、EUが描いている循環経済は、廃棄物管理を中心に単に環境を考慮しつつ、競争力を維持、向上させようという単純なものではないということである。EUの循環経済概念は、世界が移行期を迎える中で、将来、社会はどうあるべきかについてのビジョンを示すもので

ある。言い換えれば、EUは、不確定で不安定な世の中において、構成国に、地方に、企業に、個人に、10年後、20年後、あるいはもっとその先の未来におけるあるべき社会像を循環経済という概念を用いて示している。

本稿では、EUの循環経済概念の意味と主な特徴を明らかにしていきたい。最後に、日本への示唆を結語に代えて、述べることにする。

2. 循環経済(CE)とは

(1)基本的文書：二つのCOM文書

EUにおいては、欧州議会と理事会が立法機関であるが、欧州委員会は、EU法の推進者として、EUの一般的な利益の追求を促進し、このために適切な発議を行う。欧州委員会は、立法提案の他に戦略文書や指針となる文書をCOM(Communication)文書の形で公表する。前述した「欧州グリーン・ディール」も欧州委員会のCOM文書の形で公表されている。EUの循環経済は、2015年と2020年に公表された二つのCOM文書を基礎とする。2015年のCOM文書²⁾は、「ループを閉じる―循環経済のためのEU行動計画」と題されている。この文書は、ユンカー欧州委員会のときに出された。2020年のCOM文書³⁾は、「新循環経済行動計画：よりクリーンでより競争力のあるヨーロッパ」と題されている。この文書は、現在のフォンデアライエン欧州委員会の下で出されている。同委員会は、委員会発足後すぐに「欧州グリーン・ディール」を公表したが、2020年のCOM文書は後述するように脱炭素とデジタル化とリンクしている。どちらも20頁ほどの文書で長くはないが、その中に循環経済を実現する、見取り図が描かれている。そして、重要なことは、循環経済をどのように具体的に実現するかについて、企業の変革力、技術力、想像力に任されていることである。循環経済文書は、行動を規制する文書ではなく、長期的なビジョンを与え、財政的支援をしますから、能力を

発揮してくださいという文書になっている。

これら二つのCOM文書に措置が書き込まれているわけではなく、これらの文書では、欧州委員会が今後取り組みたいと考えている措置や行動が述べられている。この見取り図に従って、欧州委員会は実際に立法提案を行い、その後欧州議会と理事会が措置を採択することになっている。実際、これらのCOM文書を受けて、さまざまな措置が採択されたり、既存の措置の改正が行われてきている⁴⁾。

(2)循環経済の意味

2015年のCOM文書によると、循環経済では、製品、材料および資源価値ができるだけ長期にその経済において維持され、廃棄物の生成が最小限化されるとある。これは、日本において目指されている循環型社会と共通する。同文書では、循環経済への移行は、持続可能で低炭素、資源効率的で競争力のある経済発展に寄与するものであるとされる。循環「経済」の概念は、「経済」と結び付いているところが特徴である。ここは、日本の循環型社会とは異なっている。欧州委員会は、循環経済を実現することは、経済を「変化(transform)」させ、ヨーロッパにとって新たに持続可能な競争的利点を生み出す機会になると捉えている。経済と環境は、長らく相反するものとされたが、持続可能な発展の概念の発展、国連の持続可能な開発目標(SDGs)の言葉の浸透とともに、両者を両立させていくことが求められるようになってきている。それ

とともに、大量生産・大量消費がもてはやされる時代が終わり、生産においても消費においても大きな変革が必要となっている。商品が売れなければ、売り上げが伸びず、経済も回らない。直線的なパターン(採取・製造・利用・処理<take-make-use-dispose>)で利益を上げることから、循環型のパターンにおいて競争力を維持し、向上させることが要請されている。欧州委員会は、循環経済概念が二つの点からEUの競争力を促進するものであるとしている。一つは、循環経済により、資源不足が解消され、安定した価格の下でビジネスが可能になること、二つ目は、循環経済は、イノベーション的でより効率的な生産と消費の方法を生み出すことを援助し、新しいビジネス機会を与えるものであること。さらに、循環経済は、競争力を高めるだけでなく、新たなビジネス・ニーズにより雇用を創出し、エネルギー消費を削減し、地球(気候、生物多様性、大気、土壌、水)への不可逆的な損害を回避することを助けるものであるとされている。持続可能な活動および新しいビジネス機会を促進することによって、循環経済の成長と雇用創出ポテンシャルを高めるとされている。

2015年の循環経済行動計画の目的は、的確な規制枠組みを単一市場における循環経済の発展のために準備し、経済活動者と社会に明確なシグナルを与えることであるとされている。この一文に循環経済行動計画の内容が凝縮されている。同行動計画文書は見取り図であると説明したが、そこでは今後どのような規制

枠組みが必要かということが述べられている。また、「経済活動者と社会に明確なシグナルを与える」、このことが企業に長期的なビジョンを立てることを可能にする。また、投資を呼び起こし、平等な機会 (level playing field) を創出し、欧州の立法または不十分な執行から生じる障害を取り除き、単一市場を深化させ、変革および全てのステークホルダーに対して有利な条件を確保するものになるとされている。さらに、EU の行動は、価値連鎖の各段階 (生産から消費、修理、再製造、廃棄物管理、二次原料化) において循環経済を支援するとされている。

(3) 循環経済の実現と企業への財政支援

EU の循環経済において廃棄物の管理は重要な役割をする。廃棄物のヒエラルキーは、防止、再利用、リサイクル、廃棄物処理の際のエネルギー回収、埋め立て等の廃棄物処理の順となっている。これは、日本における循環型社会の考え方と共通している。しかし、EU の COM (2015) 文書の特徴は、それにとどまらず、循環経済への移行がシステムの変更を要請するものであることを認識していることである。同文書で、欧州委員会は、循環経済がうまくいき、資源が動かされる条件を創設することが必要であるとする。さらに、注目されるのは、イノベーションをシステム変更における重要な点としていることである。生産、消費の方法を再考し、廃棄物を付加価値のある製品に変えるためには、経済と社会の将来を形作る新しいテクノロ

ジー、プロセスのサービスとビジネスモデルが必要とされる。これが、すでに日本で紹介されているフランスの Veolia 会社やドイツの Siemens 会社の取り組みにつながっている⁵⁾。ここで強調したいのは、このイノベーションのために EU から財政支援がなされることである。これが、EU の循環経済の特徴であると考ええる。欧州委員会は、研究とイノベーションの支援が循環経済への移行を奨励する主要因になるとし、EU 産業の競争の現代化に寄与すると捉えている。

2015 年の COM 文書では、ホライゾン (Horizon) 2020、他方 2020 年の COM 文書では、ホライゾン・ヨーロッパが財政支援の基盤として言及されている。EU では、1984 年から科学技術の発展のために予算の中に財政支援が組み込まれていたが、1984 年から 1987 年の多年次財政枠組み計画第 1 期は、33 億ユーロ (約 4,300 億円) にすぎなかった。しかし、ホライゾン 2020 (第 8 期) は、研究が将来のための投資であるという認識の下、研究とイノベーションに関わる事業プロジェクトに 2014 年から 2020 年の 7 年間にに対し約 800 億ユーロ (約 10 兆円) の財政支援をするものである。ホライゾン 2020 が全て循環経済のために使われるわけではないが、例えば、ホライゾン 2020 のプログラム 2016 - 2017 は、EU における循環経済と産業競争力の目的を支援するイノベーション的な事業プロジェクトに対して 6 億 5,000 万ユーロ超を与える、「循環経済における産業 2020」を含んでいた。さらに、研究とイノベーションの分野の財政支援プログラム基金、ホ

ライゾン・ヨーロッパ(Horizon Europe)では、約955億ユーロ(約12兆円)の予算となり、ホライゾン2020の予算より30%増加した。ホライゾン・ヨーロッパは、2021年から2027年(第9期)の期間に充てられる。このうち、50億ユーロがEUコロナ復興基金「次世代EU」からのものとなる。ホライゾン・ヨーロッパは、研究とイノベーション分野において、気候変動と闘い、国連の持続可能な開発目標(SDGs)を達成し、EUの競争力と成長を促進するために用いられる。予算に縛りがあり、35%は気候に関する目的に用いられなければならない。また、ホライゾン2020に比べてデジタルの研究・イノベーションにより多くが用いられるようになっている。2021年2月23日、欧州委員会は、ホライゾン・ヨーロッパの下で共同事業を設定する理事會規則の立法提案を行った⁶⁾。

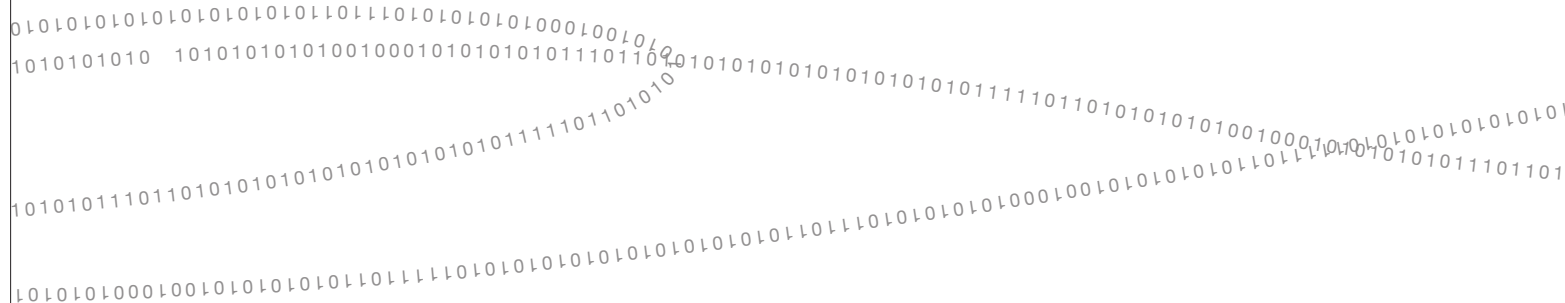
また、EUには、地方・地域の開発のために政策、結束政策(cohesion policy)があり、そのための結束基金が存在する。例えば、これまで、廃棄物管理インフラを発展させるために結束基金が広く用いられてきた。上述した復興基金「次世代EU」のうち、結束政策「リアクトEU」に475億ユーロが充てられる。さらに、欧州グリーン・ディールの投資計画の一部として提案される「インベストEU」には、復興基金「次世代EU」から56億ユーロが充てられている。この基金を用いて循環経済の事業プロジェクトも支援することができる。欧州アーバンイニシアチブ、インテリジェントシティチャレンジイニシアチブ、サーキュラーシティ

および地方イニシアチブが鍵となる援助となる。

(4)循環経済のアクターと消費者

2015年と2020年の循環経済行動計画の両方において、循環経済のアクターは、ビジネス(企業)と消費者(個人)とされている。また、EUレベルのみならず、国および地方レベルでの循環経済の実施が強調されている。地方および国家機関が循環経済への変革(transition)を可能にし、EUもそれを支援するのに重要な役割を持つ。循環経済を現実のものにすることは、全てのレベル(構成国、地域、都市、ビジネスおよび市民まで)の長期的な関わりを必要とするとの認識が示されている。循環経済計画は、企業、消費者、市民、市民社会組織と協力して、よりクリーンでより競争的なヨーロッパを達成するために将来を志向したビジョンを提供する。循環経済への移行は、EUおよびEUを超えて、システム的で、深いものであり、かつ、変革的な(transformative)ものである。その移行は、全てのレベルの全てのステークホルダーの協力(alignment and cooperation)を必要とするとされている。

2015年の循環経済行動計画の消費の項目では、エコラベルにエネルギーパフォーマンスのみならず、環境パフォーマンスの要素を盛り込むことが述べられているが、注目されるのは、消費の変革的な形として、製品やインフラをシェアし(共有型経済(collaborative economy))、製品よりもサービスを消費し、ITまた



はデジタル・プラットフォームを利用する循環経済の支援が述べられていることである。2020年の新循環経済行動計画は、市民に効率的で、手頃な価格で、より長く、そして再利用、修理およびハイクオリティなリサイクルのためにデザインされている製品を提供することになるとしている。また、持続可能なサービス、例えば、製品のサービス化 (Product-as-a-Service) およびデジタルソリューションが、より高品質な生活、革新的な雇用およびアップグレードされた知識とスキルをもたらすことになるとしている。さらに、注目されるのは、消費者を循環経済により参加させることが目指されていることである。欧州委員会は、消費者が信頼できる情報 (寿命、修理サービスの利用可能性、スペアパーツ、修理マニュアル等) を受け取ることができるようにするとしている。また、委員会は、修理を受ける権利 (right to repair) の設定に向けて働き、スペアパーツまたは修理へのアクセスのような利用可能性に関して、ICTと電子製品の場合には、アップグレードサービスに関する消費に対して新しい権利 (horizontal material rights) を検討するとしている。修理を受ける権利を実施する優先セクターとして電子機器とICTが検討されている。

(5) 欧州グリーン・ディール (気候中立とデジタル化) とのリンク

循環経済の特徴は、他の政策とのリンクである。循環経済は、他のEUの優先事項、雇用・成長、投資、

気候・エネルギー、社会的アジェンダ、産業イノベーションに結びつくものとして捉えられている。その中でも、気候中立を目指す欧州グリーン・ディールとの有機的なリンクが設定された。

フォンデアライエン率いる欧州委員会が2019年12月1日に発足し、同月11日に「欧州グリーン・ディール」に関するCOM文書⁷⁾が公表された。そこでは、2050年に気候中立を実現することが目標として掲げられている。同文書では、「グリーンへの移行」と「デジタルへの移行」が強調されている。それらに循環経済がこれに結び付いていることが示されている。それから4カ月後の、2020年3月11日に2番目の循環経済行動計画文書が公表された。同文書において、循環経済と気候中立目標とのリンクが見られる。最初に、地球は三つもあるかのように消費されているが、一つしかないことが述べられ、欧州グリーン・ディールに言及がなされている。同文書では、単にフロントランナーのみが行動するのではなく、メインストリームにある経済プレーヤーが行動するという、循環経済の拡大が、2050年までに気候中立を達成し、また、経済成長を資源利用から切り離すことに寄与するとしている。このために、EUは、地球の再生的な成長 (regenerative growth) モデルに向けた移行を加速することに向けて進むとしている。地球の再生的な成長モデルとは、地球から何か採ること以上に地球に還元する成長モデルのことを意味する。EUは、消費フットプリントを減らすことに尽力し、今後10年間に循

環物質の利用率を倍にする必要があると述べられている。欧州グリーン・ディールでは、EUが、企業がクリーンな製品と技術の世界的リーダーになることを支援することが述べられている。循環経済行動文書では、これに関連して、ビジネスによって、持続可能な製品のための枠組みを創設することは、EUおよび世界において新しい機会を供すると述べられ、この持続可能な経済システムへの前進的で不可逆的な移行は、新EU産業戦略の不可欠な部分であると捉えられている。

同文書において、循環経済とデジタルの融合が述べられている。ビジネスにとっては、カスタマーとのより密接な関係、シェアリングおよび共有型経済に基づき、デジタル技術（ビッグデータ、ブロックチェーン、AI等）により強化されるイノベーション中心モデルは、循環を加速するだけでなく、経済の脱物質化も加速し、欧州の一次原料への依存を減らすことになると示されている。デジタル化は、フォンデアライエン欧州委員会が脱炭素化と並び力を入れているものである。EUデジタルサービス法案⁸⁾、デジタルマーケット法案など、欧州委員会は、グリーン分野と並んでデジタル関連の法案を公表してきている。循環経済行動文書では、グリーン分野およびデジタル化の融合が示唆されている。循環経済は、気候中立および長期的競争力に対する幅広い産業のトランスフォーメーションの本質的な部分であるとされている。

さらに、2020年2月に欧州委員会は、ヨーロッパのデジタルの将来の形成というCOM文書⁹⁾を公表している。そこでは、クリーン、サーキュラーで、デジタルでかつグローバルに競争力のあるEU産業に向けた変革を容易にする、産業戦略パッケージを提案すると述べられている。環境、循環経済およびデジタルの三つ相互が結び付いて世界において競争力のあるEU産業を発展させることが目指されている。また、同文書では、デジタルソリューションが循環経済を前に進め、全ての分野での脱炭素を支援し、EU市場における製品の環境および社会的フットプリントを減少させ

ることができるとしている。欧州委員会のキーアクションとして、デバイスが耐久性に優れ、メンテナンスが容易で、分解、再利用およびリサイクルでき、電子機器のデバイスのライフサイクルを伸ばすために修理またはアップグレードを受ける権利を確保する、サーキュラーエレクトロニクスイニシアチブが挙げられている。

3. 日本への示唆 — 結語に代えて—

日本においては、江戸時代には理想的な循環型社会が実現していたとされる。古くから現在に至るまで「もったいない」の精神が存在してきた。物を大事に用いて、例えば靴下に穴が開いた場合、継ぎ当てをするということも行われてきた。茶碗によそわれたご飯も一粒も残さずに食べるという美德もある。また、循環経済文書で述べられている、サービスの消費についてもダスキン等のモップサービスに見られるように従来から存在している。1993年に環境基本法が制定されたが、8条2項には、「事業者は、基本理念のっとり、環境の保全上の支障を防止するため、物の製造、加工又は販売その他の事業活動を行うに当たって、その事業活動に係る製品その他の物が廃棄物となった場合にその適正な処理が図られることとなるように必要な措置を講ずる責務を有する。」と規定されている。2000年には、「循環型社会」の形成を目指し、廃棄物・リサイクル政策の枠組みを示す基幹的枠組み法である循環基本法¹⁰⁾が制定された。そこには、廃棄物のヒエラルキー（再使用、再生利用、熱回収、適正処分）も規定されている（7条）。この法律に基づき、循環型社会形成推進基本計画が5年おきに出されている。2018年に第四次循環型社会形成推進基本計画が出された。この計画では、サイバー空間とフィジカル（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（society）である、Society 5.0とのリンクが言

及され、価値の源泉が「モノ」や「カネ」から「ヒト」、「データ」に移り、多様なもの同士をつなげ、「統合」することで、より少ない資源でより大きな豊かさを生み出し、Society 5.0の実現が循環型社会の形成にもつながっていくと述べられている。日本には、循環型社会を形成するための法律が存在し、それに基づく基本計画も作成されている。EUの循環経済のためのCOM文書に比べて、分量も多く、具体的かつ詳細に記述されている。問題は、循環型社会のコンセプトをどのように企業や市民に浸透させ、社会・技術変革をもたらすかということである。

循環型社会概念と循環経済概念、どこが異なるのか。日本もEUと同じような問題に直面している。気候変動問題、コロナ問題、GAFAの台頭、デジタル化の遅れなど。EUの循環経済が注目されるのは、共通の課題を抱えるEUがその解決策として循環経済概念を出してきたからである。循環「経済」とうたわれているように、企業の競争力強化を主眼にしている。循環経済概念の良さは、同概念が大きな変革を求めるため、企業に長期的なスパンで見通すことのできる将来像を明確に示していることである。変革には、巨額の投資も必要となる。また、EUの循環経済の良さは、企業に対し変革を実際に後押ししていることである。単にキャッチフレーズの連呼だけでは企業は動かない。ホライゾン(Horizon) 2020、その後のホライゾン・ヨーロッパにより、循環経済を実現する事業プロジェクトに財政的支援を担保していることである。さらに、循環経済をデジタル化、気候変動、研究開発、世界戦略等と結び付け、横断的な政策としていることである。特に気候変動とのリンク、財政的にはEU コロナ復興基金(Next Generation EU)とのリンクにより、より実現可能性が向上した。EUの政策が重層的に重なり合うことで、より実効性が増加する。循環経済は、実際、国家、地方、企業(大企業、中小企業)、個人(消費者)、将来世代など、ありとあらゆるものに関わり合いを持たせ、実現されるものになっている。

循環経済に寄与するには、明確なビジョンを前提として、次にどのような事業を展開すべきかという、企業の想像力、事業プロジェクト作成力が重要である。そして、その事業プロジェクトを具体化するために政府からの資金援助が重要である。簡単ではないが、将来あるべき社会像のビジョンを日本が独自で描き、それを企業や個人に示し、同時に、それが可能となるように、財政的支援および法的枠組みの設定をすることが求められる。EUの循環経済文書の中に答えがあるのではなく、ヒントのみがある。将来あるべき社会について、EUが創出した概念をヒントとしつつも、日本に合った独自の見取り図を描き、実現していくことが必要である。循環型社会にしよ、循環経済または別の概念にせよ、そのコンセプトを企業および個人が、また、国、地方が共有して、主体的に参加していくことが重要である。



Yumiko Nakanishi

中西 優美子

一橋大学 大学院 法学研究科 教授
専門はEU法、特にEU機構法、EU環境法、EU対外関係法を研究。

1993年一橋大学大学院法学修士。同大学院博士課程進学後、1993～1998年ドイツ・ミュンスター大学留学(1995年修士、1998年法学博士)。2000年専修大学法学部講師、准教授、教授を経て、2012年より現職。2019～2021年ミュンスター大学およびマックスプランク手続法研究所(ルクセンブルク)において客員研究員。

雑誌『EU法研究』(信山社)の責任編集者。雑誌『自治研究』(第一法規)において「EU法における先決裁定手続に関する研究」を隔月連載中。最新本は、『概説EU環境法』2021年、法律文化社。

注

- 1) COM (2020) 842, 15.12.2020, "Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on contestable and fair markets in the digital sector (Digital Markets Act)".
- 2) COM (2015) 614, 2.12.2015, "Closing the loop—An EU action plan for the Circular Economy".
- 3) COM (2020) 98, 11.3.2020, "A new Circular Economy Action Plan—For a cleaner and more competitive Europe".
- 4) エコデザインやエコラベル措置、廃棄物に関する措置、包装および包装廃棄物に関する措置、プラスチック製品に関する措置、持続可能な投資に関する措置、バッテリーに関する措置、水に関する措置など。
- 5) 梅田靖・21世紀政策研究所編著『サーキュラーエコノミー』2021年 勁草書房参照。
- 6) COM (2021) 87, 23.02.2021, "Proposal for a Council Regulation establishing the Joint Undertakings under Horizon Europe".
- 7) COM (2019) 640, 11.12.2019, "The European Green Deal".
- 8) COM (2020) 825, 15.12.2020, "Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on a Single Market for Digital Services (Digital Services Act) and Amending Directive 2000/31/EC".
- 9) COM (2020) 67, 19.2.2020. "Shaping Europe's digital future".
- 10) 北村喜宣『環境法』第5版 2020年 弘文堂 292-300頁。

サーキュラー エコノミー 3

サーキュラーエコノミーとデジタル革命： これからのものづくりと デジタルプラットフォーム設計のアプローチ

東京大学 大学院 工学系研究科 精密工学専攻 准教授

木下 裕介

Yusuke Kishita

欧州を起点として世界的に広まりつつあるサーキュラーエコノミー（CE）は、従来の売り切り型ビジネスから、シェアリング、メンテナンス、リユースなどを用いた循環型のビジネスへと今後の産業の在り方を大きく変える可能性を持つ。本稿では、ものづくりの文脈でCEビジネスを今後広く普及させるための鍵として、ライフサイクル思考とデジタル技術に着目する。ライフサイクル工学の分野で研究されている「システム技術」のうち、本稿ではライフサイクル設計とシナリオ設計を紹介する。さらに、プラットフォーム型CEビジネスの普及を支援するためのアプローチとして、アーキテクチャを用いたデジタルプラットフォーム設計方法論の構想について述べる。

キーワード

サーキュラーエコノミー ライフサイクル思考 デジタル技術 プラットフォーム ものづくり

1. はじめに

2015年12月に欧州委員会（European Commission）が、サーキュラーエコノミー政策パッケージ「Closing the loop: An EU action plan for the Circular Economy」を発表した。これを契機として、サーキュラーエコノミー（以下、CE）は、国連による持続可能な開発目標（SDGs）やカーボンニュートラルと並んで日本を含む世界各国の産業の在り方や政府の政策に大きな影響

を及ぼしている。CE（日本語では「循環経済」とも呼ばれる）は、従来のリニアエコノミーに代わる新しい経済の仕組みとして提唱されたものであり、英国のエレン・マッカーサー財団がそのコンセプトの普及の旗振り役を担っている^[1]。CEでは、シェアリング、リペア（修理）、リユース、リマニュファクチャリング（再製造）、リサイクルなどを適切に組み合わせることによって、資源効率（resource efficiency）の最大化を目指している。エレン・マッカーサー財団によると、CEの原則は、(1)廃棄物と汚染を取り除くこと

(eliminate waste and pollution)、(2)製品と材料を循環させること (circulate products and materials)、(3)自然システムを再生すること (regenerate nature)、の三つである^[2]。

一方、日本が2000年前後から推進してきた「循環型社会」では、3R(リデュース・リユース・リサイクル)をキャッチフレーズとして持続可能な資源循環システムの構築を目指してきた。しかし、CEと循環型社会との間にはいくつかの違いがある。その一つは、循環型社会は天然資源の利用と環境負荷を抑制・低減することを目的とした環境政策であったのに対し、CEは持続可能な社会に向けて社会経済システムの転換や新たなビジネスモデルの構築を志向しているという点である^[3]。事実、欧州連合(EU)はCEを経済政策・産業政策と位置付けており、資源循環を通じたEU内の新たな市場や産業の創出による産業競争力の強化、および雇用の確保を目指している。

EUの政策はともかくとしても、持続可能な社会を実現するという文脈の中で、CEのコンセプトそのものは日本を含め世界的に主流になっていくものと思われる。では、いったいどうやってCEを実現していけばよいのだろうか？ その鍵となるのが、ライフサイクル思考(life cycle thinking)とデジタル革命(digital transformation; DX)である。

本稿では、筆者が専門とするライフサイクル工学の視点から、特にものづくりに着目したときのCE実現に向けた方法論を考えてみたい。ただし、本稿が対象とするものづくりに、製品とサービス両方の視点を含める。CEを志向したビジネス(本稿ではこれを「CEビジネス」と呼ぶ)の事例として、デジタルプラットフォームを活用したサブスクビジネスやシェアリングビジネスが挙げられる。今後のCEビジネスのさらなる普及に向けて、本稿ではCEとDXを融合させたアプローチとして、デジタルプラットフォーム設計のコンセプトを試論として提示したい。

2. CE政策とビジネスの現状

2.1. CEのコンセプトと現状の政策

1章で述べたようにCEのコンセプトについてはおよその共通理解が存在するものの、用語としてのCEの定義は多種多様であり、いまだ明確な定義はない^[4]。製品・部品・材料等の資源の循環をリニアからサーキュラーへと変えていくためには、シェアリング、メンテナンス、リユース、リサイクルのように循環経路を決定付けるパターンとしてさまざまなオプションが存在する。本稿では、これらをまとめて「CEオプション」と呼ぶことにする。このことを端的に表したのが図表1のバタフライダイアグラムであり、特に図表1右側の枯渇性資源のループに着目したとき、原則としてできる限り小さいループを通るようなCEオプションを選択することが環境性と経済性の両面から持続可能な循環につながる。そのような循環を実現するためには、単なる技術論や漸進的な変化(incremental change)ではなく、社会システムの変更を含めた革新的な変化(transformative change)あるいはシステム変革が不可欠である。

CEの実現に向けて政策面でリードしているのがEUである。2015年のCE政策パッケージに続き、2020年3月にはCEアクションプランを発表した。その中でも、持続可能な製品ポリシーの枠組み(sustainable product policy framework)では、製品の環境負荷のおよそ80%が設計段階で決定されているとの前提に基づき、持続可能な製品の設計に関する具体的な規制の方法を検討している^[5]。ポイントは、エコデザイン指令(Ecodesign Directive)のスコープをエネルギー関連製品(energy-related products; ErP)以外の製品にも拡大してさまざまな方策を検討することである。具体的な内容の一部を以下に示す。

- ・製品の耐久性、リユース可能性、アップグレード可能性、修理可能性を高め、エネルギー効率と資源効

- ・製品のリサイクル材含有率を増加させる。
- ・リマニュファクチャリングと高品質なリサイクルを可能とする。
- ・シングルユース品に制限をかける。
- ・Product-as-a-Service (PaaS) 型ビジネスモデルにインセンティブを導入する。
- ・製品情報のデジタル化を推進する（例えば、デジタルパスポート、タグ、透かしなど）。

環促進法が成立したものの、CE 関連の政策は現段階でさほど表立った動きがない印象を受ける。

2.1節で述べたCEオプションは、製品・部品が持つ潜在的な価値をできる限り使い切るように選択されることが望ましい。そのためには、材料に戻すリサイクルだけでなく、図表2(次頁)に示すような残存価値プロセス(Value-Retention Processes;VRP)を考えることがCE実現にとって重要である。CEオプションの一部としてここに示されている、リマニュファクチャリング、リファーマビリティ、リペア、直接リユースは、それらの英語の頭文字をとってRRRDR (Remanufacturing, Refurbishment, Repair, and Direct Reuse)と呼ばれる。それぞれの定義は以下のとおりである。

- 図表 1 Ellen MacArthur 財団の報告書によるサーキュラーエコノミーのイメージ^[1]



条件下で行う。分解や部品の除去・交換は行われない。

- ・リペア (repair)：元々意図された目的のために製品が機能的に使えるようにするため、初期不良品や使用済み製品の故障を修理したり、または、欠陥のある部品を交換したりすること。
- ・リファービッシュ (refurbishment)：初期不良品や使用済み製品の整備によって、新品に準じる状態にまで性能・機能を回復させ、元々意図された目的どおりに製品が使えるようにすること。
- ・リマニュファクチャリング (remanufacturing)：使用済み製品の整備によって、新品と同様の水準にまで性能・機能を回復させ、元々意図された目的どおりに製品が使えるようにすること。

図表2のように、リマニュファクチャリングが品質の面では新品同様となり優れているが、その分、プロセスが複雑になりコストがかかる。そのため、対象となる製品・部品の状態と市場の需要に合わせて適切な

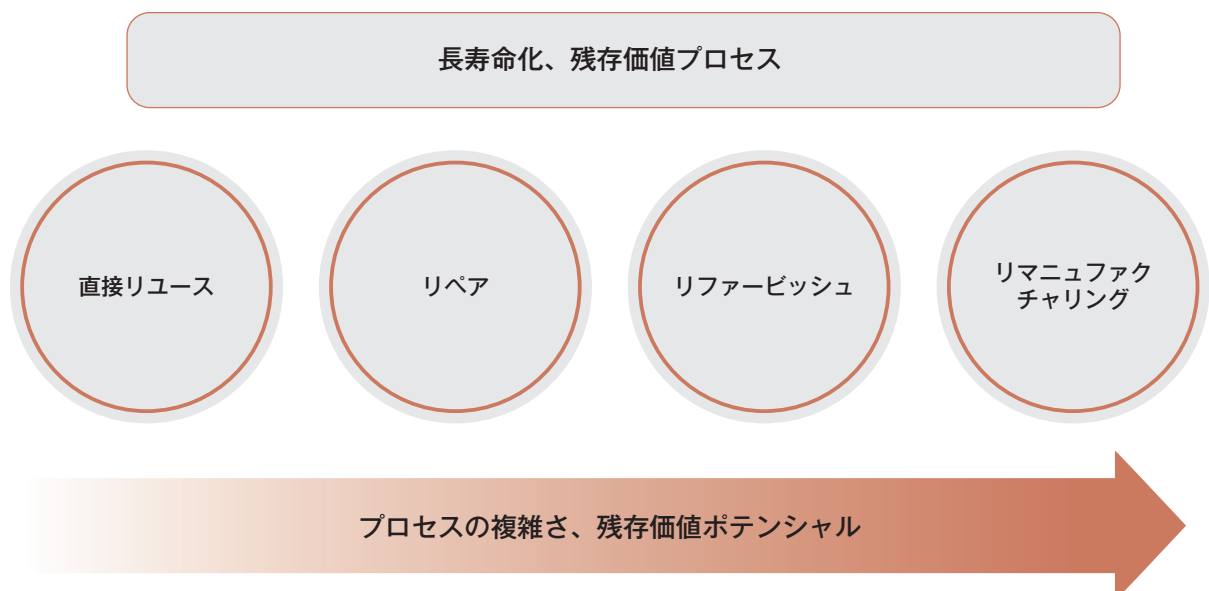
オプションを選択することが重要である。

2.3. CE ビジネス事例とその類型

ものづくりに関連して、これまでに数多くのCEビジネスが国内外で展開されている。CEビジネスの類型化の例として、以下のようなものがある^{[8][9]}。

- ・製品寿命の延長：製品のメンテナンスやアップグレード、あるいは製品のリマニュファクチャリング・リファービッシュなどを通して、製品の寿命を延ばすことで収益を生み出すビジネスモデル。
- ・シェアリング・プラットフォーム：プラットフォームを介したレンタルやシェアリングなどにより、遊休資源をうまく活用して需給マッチングを行うビジネスモデル。
- ・製品のサービス提供 (Product as-a-Service; PaaS)：サービス提供者側が製品の所有権を保持しながら、顧客に対して製品の使用を通じたサービスを提供するビジネスモデル。例として、ロールスロイスが

図表2 残存価値プロセスの構造^[7]



1962年に導入した Power-by-the-Hour¹⁾が有名。

- ・回収とリサイクル：製品ライフサイクルで発生する副産物や廃棄物を最大限回収して活用するビジネスモデル。ここには、副産物を異なる産業や工場間で共有する産業共生 (industrial symbiosis) のアプローチも含まれる。
- ・循環型サプライ：リサイクル困難もしくは非再生可能なエネルギーの利用を代替し、リサイクル可能な原材料および再生可能エネルギーを使用するビジネスモデル。

これまでのCEビジネスの多くは、デジタル技術あるいはデジタルプラットフォームを活用したものである。本稿では、このようなビジネスをプラットフォーム型 CEビジネスと呼ぶことにする。図表3にそれらの一例を示す。これまでに、自動車部品、電子機器、ペットボトルなどを扱ったさまざまなCEビジネスが実践されており、顧客の利便性を高めつつ資源を循環させるためにスマートフォンのアプリなどを用いたサービスがデジタルプラットフォームを介して提供されている。

プラットフォーム型CEビジネスを一般化して描い

図表3 デジタルプラットフォームを活用したCEビジネスの例

ビジネスの名称	ビジネスの概要	ビジネスの類型	デジタルプラットフォームの機能・活用方法
BlaBlaCar	自動車のライドシェアリングサービス	C2C	運転者と同乗者のマッチング
BMW DriveNow	カーシェアリングサービス	B2C	スマートフォンで自動車を予約、好みの場所で乗降可能
日本自動車リサイクル・アライアンス(JARA)	自動車中古部品の販売	B2B	中古部品約800種類の検索・販売サービスを提供
Loop	食品・日用品等の容器のリユース	B2C	ウェブサイト、アプリなどを通した商品発注と容器回収
Rent the Runway	衣服のレンタルサービス	B2C	希望する種類・サイズの衣服の発注、スタイリストとのオンライン相談
iFixit	電子機器の修理用パーツ・特殊工具の販売	B2C	オンラインマニュアル生成サービスの提供、パーツ・特殊工具の販売
Refurbed	スマートフォン等の電子機器のリファバービッシュ	B2C	法人等から買い取った中古電子機器をウェブサイトで販売
セブン&アイペットボトルリサイクルプロジェクト	ペットボトルのボトルtoボトル リサイクル	B2C	スーパーマーケットの店頭で回収したときにnanacoポイントに交換
enevo	廃棄物処理・リサイクル用コンテナの管理	B2B	容器内の堆積率をセンサーで測定し、回収・配送を最適化
KOMTRAX	建設機械のモニタリング、メンテナンスサービスの提供	B2B	GPSやセンサーを用いて建設機械の各種データを蓄積し、部品交換時期予測などのサービスを提供

たときのイメージは図表4のとおりである。従来は生産者と顧客が直接的にモノやサービスをやりとりすることが多かったが、プラットフォーム型CEビジネスでは、モノ、サービス、情報のやりとりがデジタルプラットフォーム上でCEビジネスプロバイダを介して行われる。ただし、生産者・供給者とCEビジネスプロバイダを同一のアクターが担う場合もある。

例えば、KOMTRAXはGPSやセンサーを用いて建設機械の位置、稼働情報、機器の状態に関するデータを取得し、それらのビッグデータを蓄積することによって、メンテナンス効率や使用済み部品の利用効率を高めるサービスを提供している。これまでのところは、プラットフォーム型CEビジネスにはB2B (Business-to-Business) の事例が多いとされる^[3]。消費者を巻き込んだB2C (Business-to-Consumer) の事例としては、衣服のレンタルサービスを扱ったRent the Runwayや、容器リユースサービスを対象としたLoopなどの事例が知られている。一般に消費者の行動変容を引き起こすことは容易でないが、デジタル技術の適切な導入によって、利便性の向上と製品・部品

の循環性向上を両立させられる可能性がある。

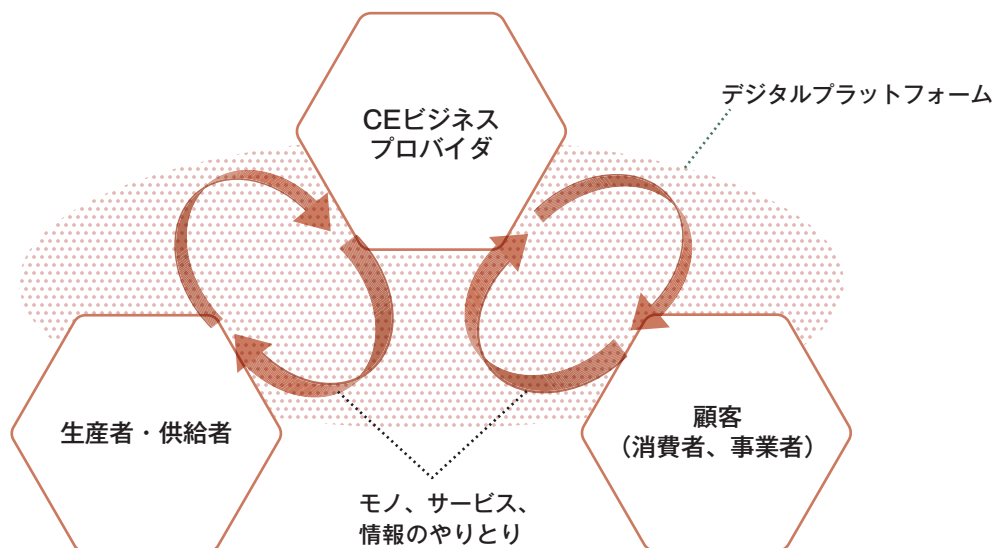
3. CE実現のためのシステム技術： ライフサイクル工学の視点から

3.1. ライフサイクル工学

すでに実世界で数多くのCEビジネスが登場しつつある一方で、ライフサイクル工学と呼ばれる分野ではライフサイクル思考に基づいてさまざまな手法・ツールの開発が進められてきた。ライフサイクル思考は、製品の製造段階のみならず、材料採掘から廃棄・リサイクルに至るまでの製品ライフサイクル全体にわたる環境的・経済的・社会的影響に着目する考え方である。CEが持続可能な循環システムの構築を目指していることから、その実現のためにライフサイクル思考が不可欠であることはほぼ自明といってよいであろう。

持続可能な循環システムを実現するためには、言わずもがな、製品ライフサイクルの構想、設計、保守・管理のためにさまざまな技術が必要である。そこには、リサイクルのための分解・選別技術、洗浄技術、

図表4 プラットフォーム型CEビジネスのイメージ



検査技術のような「要素技術」と、要素技術を組み合わせることによってシステム全体を設計・構築・運用するための「システム技術」がある^[3]。本稿では、CEに向けた循環システムをいかに設計およびマネジメントすればよいのかという視点から、特に「システム技術」に着目する。以下では、ライフサイクル工学分野で研究が進められているシステム技術として、ライフサイクル設計とシナリオ設計の二つを簡単に紹介する。

3.2. ライフサイクル設計

ライフサイクル設計は、製品のみならず、製品ライフサイクル全体を設計するための方法論である。すなわち、ここでのポイントは、単に製品のリサイクル性やメンテナンス性などを向上させるというだけではなく、実世界における実効性を担保するための循環システムを設計する点にある。具体的には、ライフサイクル設計は、ライフサイクル・プランニング、製品設計、ライフサイクルフロー設計、実世界での実装、という四つの段階に分けて考えることができる^[10]。

中でも、ライフサイクル・プランニングは、製品ライフサイクルを取り巻くさまざまな外部要因（法制度、顧客要求、技術動向など）を考慮しながら、製品ライフサイクルの設計方針を決定する点で極めて重要である。この段階では、製品コンセプト、ビジネスオプション（売り切り、シェアリング、レンタルなどのビジネスの実施方法）、ライフサイクルオプション（リマニュファクチャリング、リサイクルなどの製品・部品の循環方法）の三つの要素を決定する。ここで、2.1節で述べたCEオプションは、ライフサイクル設計でいうところのビジネスオプションとライフサイクルオプションを組み合わせたものに相当する。

ライフサイクル・プランニングの段階では、ビジネスオプションやライフサイクルオプションに対して取り得る複数の選択肢をシナリオとして想定し、それらの環境性、経済性、あるいはリスクをあらかじめ評価する。そして、その評価結果に基づいてライフサイクル・

プランニングで方針が決まると、それに沿ってライフサイクルフロー設計と製品設計を整合的に実施することになる。なお、ライフサイクル設計の各段階で活用できる具体的な手法・ツールはさまざまある^{[10][11]}。例えば、評価にはライフサイクルシミュレーション^[12]やライフサイクルアセスメント（LCA）^[13]といった手法が用いられる。

3.3. シナリオ設計

CEを実現する際のポイントの一つが、時間軸の視点である。CEでは製品とそれを取り巻く社会経済システム全体の変革を志向しているが、その一方で、時間の変化に伴う外部要因の不確実性はビジネスに大きな影響を及ぼし得る。もともと、シナリオ（scenarios）は企業の中長期的な戦略立案によく用いられるものであることから、シナリオの活用はCEビジネスの企画段階、戦略立案段階においても有用である^{[14][15]}。ここで、シナリオは複数の起こり得る将来を描いた物語形式のストーリーであると定義される。

シナリオ設計は、シナリオを体系的に理解、作成、分析するための方法論である。一般に、シナリオ設計プロセスは、準備（問題設定、プロセスデザイン、データ収集）、シナリオ作成、シナリオ分析、シナリオ評価、文書化の五つの段階から成る^[15]。このプロセスでは、設計対象となるシステムの情報を収集するために、専門家やステークホルダーを含めたブレーンストーミング主体のワークショップが用いられることが多い。対象システムの外部要因（例えば、顧客要求、法制度など）を可能な限り幅広く列挙することで、将来の不確実性による影響を深く分析する。

シナリオ設計には大きく2種類のアプローチがあり、一つは現在を起点として考えるフォアキャストイング、もう一つは望ましくかつ比較的遠い将来から現在へと時間をさかのぼって考えるバックキャストイングである。これらは、対象とするCEビジネスの目的や時間軸（短期、中期、長期）に応じて選択すべきで

ある。いずれにせよ、想定したシナリオの上でさまざまなCEオプションを事前に検討・評価することによって、持続可能なCEビジネスの戦略立案に役立てることができる。

4. CE×DXのアプローチ： デジタルプラットフォーム設計方法論の構築に向けて

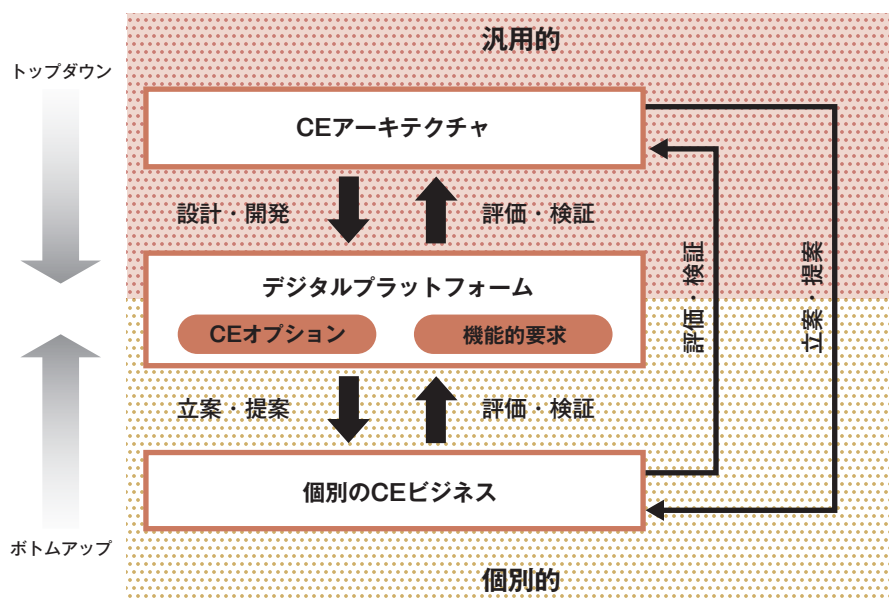
プラットフォーム型CEビジネスの実現を支援するためのアプローチとして、筆者らは、ライフサイクル工学分野のシステム技術(3章参照)を用いつつ、デジタルプラットフォームを設計するための方法論開発を試みている。この背景として、これまでの研究(例えば、^[16])では新たな価値を生み出すCEビジネスを構築するためのデジタルプラットフォームの設計方法は暗黙的で、体系化されてこなかったという問題意識がある。ここで、「デジタルプラットフォーム設計」には、

資源(製品、部品など)の循環方法の決定、デジタルプラットフォームの機能要件の明確化、各ステークホルダーによる資源循環への関わり方の決定、デジタルプラットフォームの評価といったタスクを含む。消費者の価値観の転換や行動変容は容易でないが、プラットフォームの活用によってリユースなどへの受容性が高まる可能性が指摘されている^[17]。

筆者らは、デジタルプラットフォームを設計するために図表5のような三つのレイヤーの導入を想定している²⁾。

- ・CEアーキテクチャ：デジタルプラットフォームとCEビジネスを合わせたシステム全体の汎用的な構造を表現する。一般にアーキテクチャは、図表6に示すように対象システム全体の構造を階層的に表現する。
- ・デジタルプラットフォーム：資源の循環経路を決定付けるパターン(CEオプション)を選択したとき、デジタルプラットフォームに必要な機能、使い方お

図表5 プラットフォーム型CEビジネスのためのデジタルプラットフォーム設計



よび実装方法をCEアーキテクチャに基づいて表現する。ここでCEオプションの例としては、シェアリング、リース・レンタル、リマニュファクチャリングが挙げられる(2.1、2.2節参照)。

- ・ 個別のCEビジネス：デジタルプラットフォームを用いて展開され得る個別的・具体的なCE型ビジネスを表す。

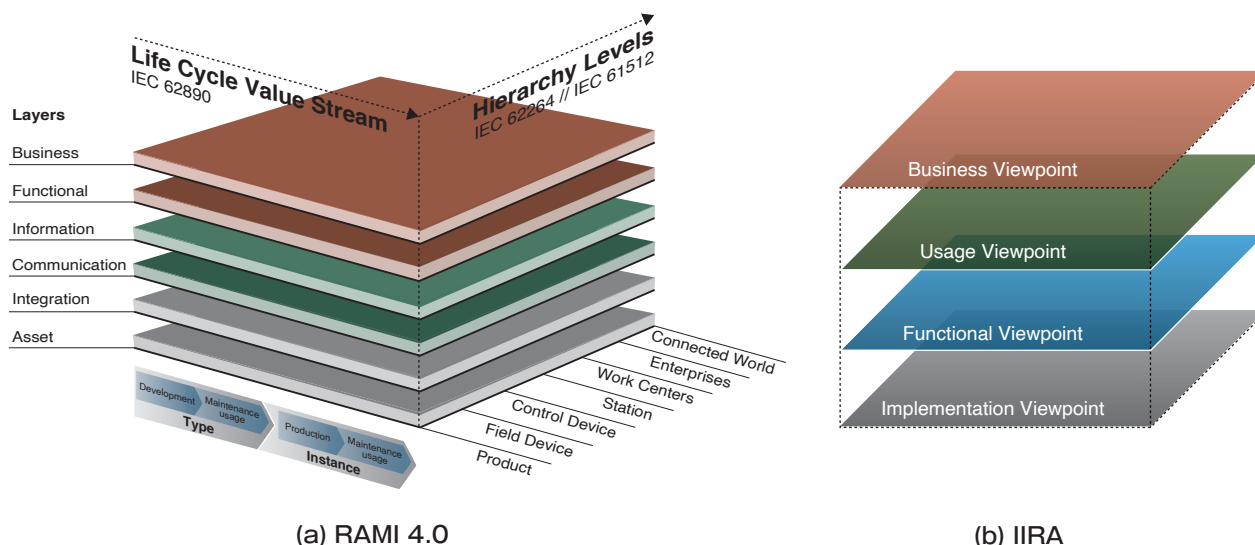
ここで、デジタルプラットフォームには、業界内、各社内、商品単位といった複数のレベルがあり得る。CEオプションの選択においては、資源を可能な限り高い価値のまま長期にわたって循環させることが重要である。

図表6に示すように、既存のアーキテクチャの代表例はRAMI (Reference Architectural Model Industrie) 4.0、および、IIRA(Industrial Internet Reference Architecture)であり、それぞれドイツ、米国で開発された。これらはそれぞれ、スマート生産システム、産業

IoT (Internet of Things) システムのアーキテクチャとして開発されたものである。しかし、プラットフォーム型CEビジネスを対象としたアーキテクチャはいまだ開発されておらず、筆者らはこの課題に現在取り組んでいるところである。

プラットフォーム型CEビジネスを対象としたアーキテクチャを開発することができると、それを用いてさまざまなユースケースシナリオを作成・評価し、それらの比較に基づいてCEオプションの選択やデジタルプラットフォームに必要な機能の抽出ができるようになる。このようなデジタルプラットフォームの設計プロセスでは、3章で述べたライフサイクル設計およびシナリオ設計の考え方・方法論を活用することが可能である。ただし、この設計プロセスを実効性のあるものにするためには、ライフサイクル工学の知識だけでは不十分であり、情報工学、ソフトウェア工学、経営学のような異分野の知識を融合させることが求められる。

図表6 既存のアーキテクチャ例^{[18][19]}



5. おわりに

本稿では、サーキュラーエコノミー (CE) の現状と今後の方向性について、特にものづくりの視点から論じることを目的とした。CE ビジネスの普及のためにはライフサイクル思考が不可欠であり、かつ、個別技術を効果的に組み合わせるための「システム技術」が必要であることを述べた。さらに、システム技術の例としてライフサイクル設計とシナリオ設計について紹介した。

今後、デジタル技術を活用した CE ビジネスがさらに発展・普及していくであろうことを想定すると、CE とデジタル革命 (DX) を組み合わせたアプローチを学術的にも研究していく必要があると思われる。その一つの方向性として、本稿では CE アーキテクチャを用いたデジタルプラットフォーム設計方法論の構想について述べた。CE×DX の領域では、産業界と学術界の連携によって、いま、まさに実践と理論の共進化が試されているのではないだろうか。



Yusuke Kishita

木下 裕介

東京大学 大学院 工学系研究科 精密工学専攻 准教授

2010年大阪大学大学院工学研究科 機械工学専攻 博士後期課程修了、博士(工学)。

専門は、設計学、ライフサイクル工学、シナリオ設計。国内外の研究機関、産業界、自治体と連携して、サーキュラーエコノミーのためのデジタルプラットフォーム設計方法論の開発、バックキャスティングを用いた持続可能な消費と生産の将来シナリオ作成、カーボンニュートラルに向けた戦略立案のためのロードマップ設計などに関する研究に従事。2019年に「サステナビリティに向けたシナリオ設計方法論に関する研究」の研究業績で科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞。

注

- 1) ロールスロイスはジェットエンジンの整備・修理に責任を負い、顧客(航空会社)に対してジェットエンジンを使用するというサービスを販売する。顧客は実際の飛行時間に応じて料金を支払う。
- 2) ここでの詳細な検討内容については、以下で発表予定である。
Hirota, T., Kishita, Y., Tsunazawa, M., Sugiyama, K., Tasaka, K., Umeda, Y., Developing digital architecture for platform-based circular economy business: An exploratory study, the 29th CIRP Conference on Life Cycle Engineering 2022. (abstract submitted)

参考文献

- [1] Ellen MacArthur Foundation (2013) Towards the Circular Economy vol.1: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition.
- [2] Ellen MacArthur Foundation, What is a circular economy?, <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- [3] 梅田靖, 21世紀政策研究所編 (2021) サーキュラーエコノミー: 循環経済がビジネスを変える, 勁草書房.
- [4] Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M. (2017) Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions, Resources, Conservation and Recycling, 127, pp. 221-232.

参考文献

- [5] European Commission (2020) Circular Economy Action Plan, https://ec.europa.eu/environment/circular_economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf
- [6] 経済産業省 (2020) 循環経済ビジョン 2020, https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/junkai_keizai/index.html
- [7] International Resource Panel (IRP) (2018) Re-defining value – The manufacturing revolution: Remanufacturing, refurbishment, repair and direct reuse in the circular economy, Nasr, N., Russell, J., Bringezu, S., Hellweg, S., Hilton, B., Kreiss, C., von Gries, N. (eds), United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- [8] Lacy, P., Rutqvist, J. (2015) Waste to Wealth, Palgrave Macmillan, New York.
- [9] アクセンチュア, サーキュラーエコノミー, https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-120/Accenture-200244-JPN-Circular-Economy.pdf
- [10] Umeda, Y., Takata, S., Kimura, F., Tomiyama, T., Sutherland, J.W., Kara, S., Herrmann, C., Duflou, J.R. (2012) Toward integrated product and process life cycle planning: An environmental perspective, CIRP Annals, 61 (2), pp. 681-702.
- [11] 木村文彦ほか編 (2004) インバース・マニファクチャリングハンドブック—ポストリサイクルの循環型ものづくり, 丸善, 東京.
- [12] Umeda, Y., Nonomura, A., Tomiyama, T. (2000) Study on life-cycle design for the post mass production paradigm, Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis and Manufacturing 14 (2), pp. 149-161.
- [13] Hauschild, M., Rosenbaum, R.K., Olsen, S. (2018) Life Cycle Assessment: Theory and Practice, Springer.
- [14] Kishita, Y., Hara, K., Uwasu, M., Umeda, Y. (2016) Research Needs and Challenges Faced in Supporting Scenario Design in Sustainability Science: A Literature Review, Sustainability Science, 11 (2), pp. 331-347.
- [15] Kishita, Y., Mizuno, Y., Fukushima, S., Umeda, Y. (2020) Scenario Structuring Methodology for Computer-Aided Scenario Design: An Application to Envisioning Sustainable Futures, Technological Forecasting and Social Change, 160, 120207.
- [16] Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., & Väisänen, J. M. (2021) Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy—Multiple case study. Resources, Conservation and Recycling, 164, 105155.
- [17] Burgon, J.D., Wentworth, J. (2018) Charter, M. (ed.) Designing for the circular economy, Routledge, New York, pp. 70-79.
- [18] The Industry IoT Consortium (2019) The Industrial Internet Reference Architecture version 1.9, <https://www.iiconsortium.org/pdf/IIRA-v1.9.pdf>
- [19] PlattformIndustrie4.0 (2018) Reference Architectural Model Industrie4.0 (RAMI4.0) – An Introduction, <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/rami40-an-introduction.html>

5年後の 未来を

坊農 真弓 国立情報学研究所 准教授に聞く 言葉だけでは捉えきれない 人間の高度なコミュニケーション

取材・文：江口絵理 撮影：下坂敦俊 図版提供：坊農真弓

人はなぜ、井戸端会議のような多人数の会話にそれとなく参加したり離脱したりできるのだろうか？ なぜロボットにはそれができないのだろうか？ 人は発話だけでなく、目線や体の向き、身振りなど、さまざまな情報を利用して周囲の人とコミュニケーションを行っている。こうした人間の高度な「やりとり」のメカニズムを明らかにできないか。言語学を専門とする坊農真弓国立情報学研究所 准教授は、情報学や認知科学などの文理融合的なアプローチでコミュニケーションのメカニズムに挑んでいる。

ロボットは井戸端会議に入れるか？

学会でポスターセッションを眺めて歩く。興味を引かれた発表者にはすでに話を聞いたのでこの場を去ってもいいのだが、とあるポスターの前で1人の来訪者が発表者に話を聞いているのが目についた。2人の会話に自分も混ぜてもらって話を聞いてみようか……。

発表者は近づいてくる私に気付き、説明を続けながらもわずかにこちらに体の向きを変えて“話の輪”に入りやすいようにしてくれたのだが、説明を聞いている人はそれには気付かず、ポスターを指差して質問。発表者がポスターに向かって一歩踏み出し、結果的に“話の輪”は私から遠ざかってしまったため、会話に加わるのは難しくなった。無理矢理割り込んでまで聞きたいわけではないからまあいいか、と私はその場を立

ち去る——よく見られる光景だが、家庭でも友人同士でも仕事においても、同じような状況は日常的に発生している。

人間はこのような場面で、一瞬のうちにさまざまな情報を受け取り、会話に参加するかしないかを判断する。また、会話に参加してからも、相手はいつ発言を終えそうか、自分が話し始めてよいのか、別のトピックで話しかけてもよさそうな人はいるかななどを、話されている言葉はもちろん、視線や体の向き、身振り手振りなどから読み取り、自らも言葉や身振りなどをタイミングよく使いながら会話を続けていく。何気なくやっけていても、そこで高度な情報処理とアウトプットが瞬時に行われていることは間違いない。そして今のところ、そのようなやりとりを自然にこなせるロボットは存在しない。

国立情報学研究所(NII)の坊農真弓さんは2011年、そんなロボットの可能性を探る研究プロジェクトを立ち上げた。プロジェクト名は「ロボットは井戸端会議に入れるか」。通称「井戸ロボ」である。

「発案した当時、NIIの中で東京大学の入試突破を目指す『ロボットは東大に入れるか』(通称『東ロボ』)というプロジェクトが立ち上がり、大きな注目を集めていました。東ロボはロボット開発を通じて『人間の知能』を解明しようとする研究でしたが、それにいわば対置するような形で、多人数の会話に自然に参加できる能力を持ったロボットを作ろうという試みを通して、

Mayumi Bono

坊農 真弓

国立情報学研究所 情報社会相関研究系 准教授

2005年神戸大学大学院総合人間科学研究科修了。ATRメディア情報科学研究所研究員、京都大学大学院情報科学研究科研究員、カリフォルニア大学ロサンゼルス校客員研究員、テキサス大学オースティン校客員研究員、国立情報学研究所助教等を経て現職。2015年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞など受賞。



人間が日常生活でいかに複雑なやりとりをこなしているかを探る研究ができれば面白いのではないかと提案したんです」(坊農さん)

人間のコミュニケーションには、多くの人が「これは自然だ」と感じるやりとり(インタラクション)や、「これは不自然だ」と感じるやりとりがある。そこには、まだ見えていないだけでなんらかの「構造」があり、定式化できる「法則」があるはずだ、と坊農さんは考えていた。井戸ロボの開発は、それらを見いだすためのヒントをくれるのではないかと。

ただし坊農さんはロボット研究者でも人工知能の研究者でもない。専門領域は言語学だ。井戸ロボ・プロジェクトでは、言語学、ロボット工学、認知科学、情報学、社会学などを専門とするさまざまな研究者が議論しながらインタラクションの研究ができる文理融合的な枠組みを作ろうと坊農さんは考えた。

仲間と共に、アンドロイド演劇でやりとりが肉付けされる過程を分析

井戸ロボ・プロジェクトの中でとりわけ異彩を放つのは、ロボット工学者の石黒浩氏の協力で劇作家・演出家の平田オリザ氏と劇団・青年団が公演した演劇『三人姉妹』のフィールドワーク研究だ。この演劇では、石黒氏開発のアンドロイドが、人間の役者に交じって役を演じた。坊農さんは舞台稽古の過程を記録

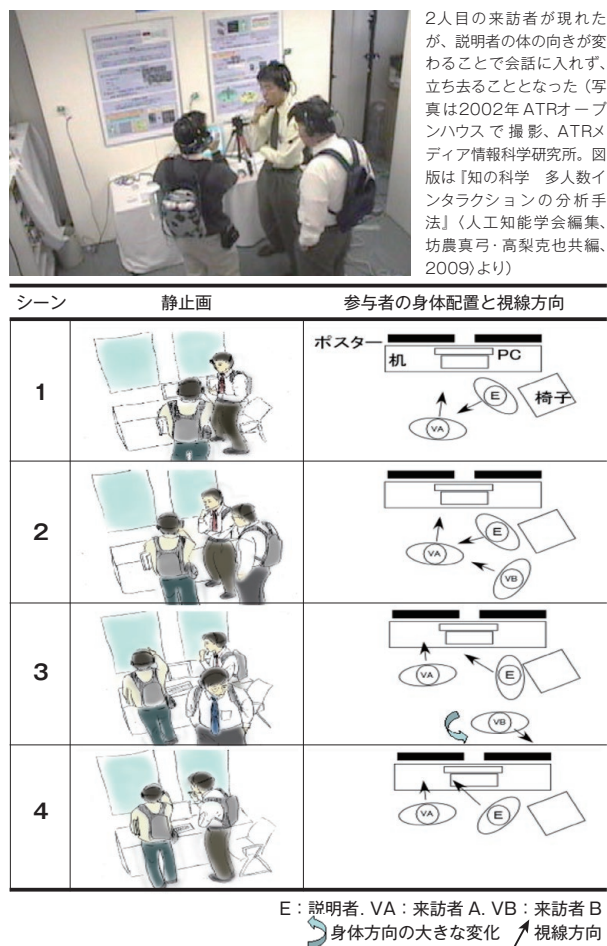
し、舞台上のアンドロイドと人間の役者とのやりとりが演出されていくさまを分析した。

「共にフィールドに入った研究仲間と、ある見解にたどり着きました。平田オリザさんの脚本には基本的にせりふ、つまり発話内容しか書かれていません。発話の細かいタイミングも、目線も身振りも、家具の配置も役者の動線も書き込まれておらず、せりふという骨格だけが存在しています。舞台稽古によって役者と演出家がそこに肉付けをして、観客がリアルな会話と感じられるものへと仕上げていきます。そこが『マルチモーダル研究』として、とてつもなく面白い」

つまり稽古は、発話という一つの手段だけ(シングルモーダル)で存在していたやりとりを、立ち位置や動作などを含めたマルチモーダルのやりとりへと作り替えていく営みだと言い換えられる。そこに役者としてロボットが加わるとどんな影響を与え、演出家や役者はどのようにやりとりを作り上げていくのだろうか。

こうしたやりとりを分析するとすると、従来の言語学の会話分析方法ではとても対応しきれない。うなずくタイミングや目線の移動、参加者同士の物理的距離、体の向き、部屋のレイアウトなどさまざまな構成要素が影響しあって会話が生まれ、消えていくからだ。「音声言語の分析には長い歴史があります。例えば、『私が話します』という発話があったら、『私』と『が』を分けるだけでなく、『わ』の音を『W』と『A』に分けるぐらいに細かい単位に分解し、分析します。しか

Figure1 ポスターセッションでのインタラクション

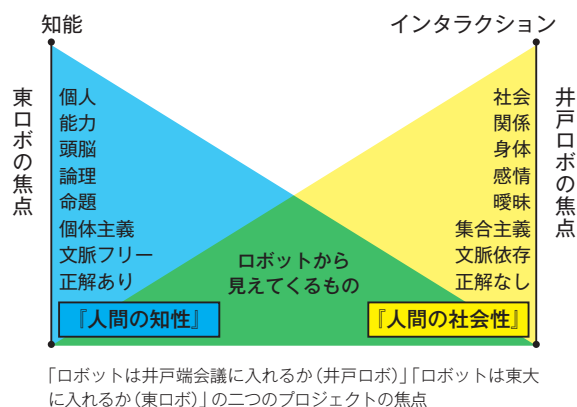


し、マルチモーダルなインタラクションとなると、分析は途端に難しくなるのです」

例えば、話者が「私」を強調しようと自分の鼻を指したとする。その身振りはどう分析できるだろう？
まずは始点と終点を明確にしなければ分析を始められないが、発話と異なり、動作は何となくひと連なりに見えるものの、ここから始まってここで終わるといった明確な切れ目が分かりにくい。その上、会話の内容に関わる動きもあれば直接関わらない動きもある。構成単位が見えにくいのだ。ではどのような手法で分析を行ったのか。その原点は坊農さんが言語学に興味を持ち始めた大学時代にさかのぼる。

「言語学は言葉を収集し、構成要素に分解し、それぞれの間の法則を探る学問です。伝統的な言語学が対象としてきたのは主に書き言葉で、品詞や構文などを分析する研究が主流でした。ただ私は大学の図書館で、『あのう……』とか『えーと』などの明確な意味を持たない語、つまり主流の言語学研究では“ゴミ”として捨

Figure2 東ロボ vs. 井戸ロボ



てられてしまうような語を分析した論文に出会い、『面白い!』と思ったんです。そこから、主流とはちょっと異質な言語学の研究に入りました」

博士課程の研究で坊農さんが注目したのは、冒頭のポスターセッションのような「会話への参加」だった。静的な環境で対一対峙する会話ではなく、井戸端会議のように参加や離脱が不規則に起きる環境で人がどう動き、どのようにやりとりが交わされるかを映像で記録して緻密に観察し、分析の手法を考えた。

「例えば、先ほどの『私が』で自分の鼻を指す動作に関しては、指を鼻の前に持ってくるまでの動きをプリパレーション、指で鼻を指す動きをストロークと分けました」

まずはひとかたまりに見えているものを、分けて解きほぐす。これは、言語学がこれまで話し言葉に対して行ってきたアプローチだ。さらに、海外のマルチモーダルインタラクション研究の理論や方法論を使い、立ち位置と体の向きによってやりとりがどう変化するか、話者交替や会話の分裂がどのようなタイミングで起きるかといった分析を行って、会話の構造を探る研究を続けてきた。このような坊農さんの経歴が、アンドロイド演劇の稽古分析にも生かされている。

このアンドロイド演劇のフィールドワークからは、人間の役者が稽古の中で、どのようにアンドロイドに対する振る舞いを作り上げていくかなど、多くの発見が得られたが、「はい、これが人間同士のマルチモーダルインタラクションの構造であり、このような法則を適用すれば井戸ロボが作れます」というような分かりやすい結論が導き出されたわけではない。むしろ、「どれだけ人間が複雑なことをしているのか」の複雑

Figure3 アンドロイド演劇のフィールドワーク



稽古を通じてやりとりが作り上げられる過程を細かく記録、観察する

さを見る解像度が上がったことが成果と言えるだろう。

また、ロボットと共存する未来において、人間とロボットがどれだけ「自然に」やりとりをすることが望まれるか、つまり、ロボットに対しても人間同士と同じような自然なやりとりを望むか、それともあくまで人間とは異なる存在として新たな距離感を求めるかを技術者や社会に問いかけることともなった。

この研究と並行して坊農さんは、日本科学未来館の科学コミュニケーターが展示に近づいてきた来館者に解説をする場面を分析する研究も進めた。この研究では、ベテランの科学コミュニケーターが言葉や動作を使って、いかに自然に来館者たちとやりとりを始め、興味を引き出しているかを分析することができた。

「従来の言語学は言葉を、発話に伴う身振りや視線、発話を取り巻く環境や社会から切り離して分析してきました。でも私は、実世界のやりとりを分析する枠組みを作りたいと考えているんです。井戸ロボはその挑戦の一つでした」

手話研究の基礎となるコーパスの構築

日本において多くの人がコミュニケーションに用いる日本語（音声日本語）だけではなく、日本手話も坊農さんの主要な研究対象だ。実は坊農さんは、マルチモーダルインタラクション研究を始める前から手話を研究したいと思い続けてきた。

「私の父は片耳が聞こえなかったんです。もう片方の耳は聞こえるので父自身は手話を使いませんが、手話の入門書は家にたくさんありました。私は大学の宗教部の活動で地域のろう者の方々と手話で交流する機会

Figure4 科学コミュニケーターのインタラクション



日本科学未来館の科学コミュニケーター（左奥）が3名の来館者（左手前）に解説を行う様子を記録し分析。自然なやりとりを始めて来館者を誘導する方法を見いだした

があって、その入門書で勉強しました」

そこで坊農さんを驚かせたのは、手話が実に豊かな表現手段であるという事実だった。

「手話は、単に日本語をジェスチャーに置き換えたものではなく、手の動きや顔の表情などを使って心の中でイメージしている世界や森羅万象を表現豊かに目の前に作り出す、日本語とは別の言語なんです」

しかし、手話は音声言語に比べ、分析資料として使える記録の蓄積が乏しい。坊農さんは博士号取得後すぐに「手話コーパス（言語資料）」の構築に乗り出した。「手話も日本語と同じく自然発生的に生まれた言語なので、全国共通の標準語が存在するわけではなく、地域ごとに方言があり、年代でも違いがあります。一般的な野菜である『タマネギ』を表す手話ですら、多くのバリエーションがあるんです。そうしたバリエーションを捉えるため、全国各地でさまざまな手話の映像を収録しています」

マルチモーダルインタラクションの研究でも坊農さんは、発せられた言葉をそのときの環境や社会と切り離さずに扱おうとするが、その哲学は手話研究においても一貫している。「これが日本手話です」とホルマリン漬けにしてガラスケースに収めるのではなく、経時的に変わりゆくもの、多様性に富むものとして記録していく。こうして収集・構築されたコーパスは、手話を研究していくための基礎資料となり、その時代時代で手話という言語がどう変遷していったかの生きた記録となっているのだ。そして、近年のAI・深層学習技術もまた、手話研究を後押しする可能性がある。2011年に撮影した手話映像を近年の深層学習アルゴリズムで読み込むと、手の動きのみならず、口や眉の

Figure5 手話の“方言”



Aさんの表現

Bさんの表現

手話には地域や世代による“方言”がある。写真は「タマネギ」の表現で、左はタマネギの形に、右はタマネギの茎をつかんでかじる動作に由来する。他にも涙や包丁で切る動作に由来する表現などがある

Figure6 指点字による会話



点字タイプライターを打つとき同様に、話者が盲ろう者の指をたたくことによって、言葉を伝える

動きまで認識できることが分かってきた。従来の動きの詳細な記述と組み合わせて、これからできるようになります。ますます増えそうだ。

盲ろうの当事者、福島智氏と共同でインタラクション分析

手話には手の動きを見て会話する一般的な手話だけでなく、耳と目が不自由な人のための、手を触ってその動きを読み取る「触手話」もある。また、盲ろうの当事者で研究者として活躍する福島智さんが使い始めた「指点字」は、点字タイプライターを打つ指に対応した盲ろう者の指を指点字通訳者がたたいて伝えるやり方だ。坊農さんは近年、そうしたマイノリティー言語のコーパス作りやインタラクション研究にも踏み出した。

「ただ私は手話コーパスや会話分析においては専門家ですが、盲ろうの当事者ではないので、私の視界や洞察は目の見える／耳の聞こえる人間から見える範囲に限られてしまいます。そこで、当事者である福島さんに共同研究をお願いしました」

まず福島さんと坊農さんが指点字通訳者を介して対談し、坊農さんが対談の会話分析を行った。その結果を福島さんに伝え、当事者としての実感や一つ一つのやりとりの意図を聞きながら議論を重ね、その議論から見えてきたものを論文にまとめた。

「分析を進める中で、福島さんは対話中にしばしば内容を聞き返し、自分で言い換えて言葉を投げ返してくることに気が付きました。会話分析ではこれを『修復の連鎖』と呼びます。この聞き返しの行為には指点字

Figure7 深層学習を利用した手話の研究



という、平仮名だけで伝達することによる誤解を防ぐ意味もありますが、視覚や聴覚という手段を持たずに世界にアクセスする福島さんが、やりとりを増やすことによって対話相手をよりよく知り、話題となっている世界をより手触りのあるものへと変えようとしている行為ではないかと考えています」

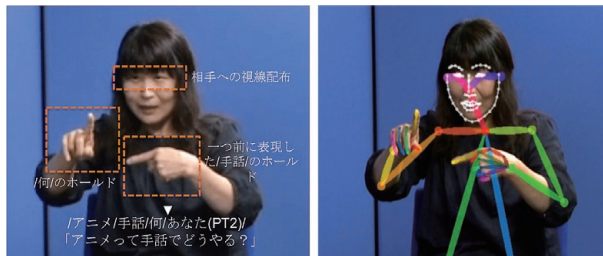
自分を取り囲んでいる世界へのアクセス手段が限定されている福島さんは、指点字による会話をより太く、豊かなコミュニケーションのチャンネルにしようとしていたのだ。

その感覚は、コロナ下で利用する機会の増えたりリモートミーティングでのコミュニケーションを思い起こしてみれば理解しやすい。リモートだからといって話す内容が変わるわけではないはずだが、対面での対話よりも発話のタイミングに気を使い、身振りを大きくするなど、使えるチャンネルをフルに利用していることに気付く。オンラインで飲み会を開いたり、同じ食べ物をデリバリーして食事会を開いたりする人も出てきた。離れていても味覚や嗅覚、触覚などの感覚を共有しようとしているのだ。これらは、リモートで失われるモダリティを別のモダリティで代替しているのだろうと坊農さんは指摘する。コミュニケーションの根底には、利用可能なあらゆるモダリティを使って、世界へのアクセスをより豊かなものにしたいという欲求があるのかもしれない。

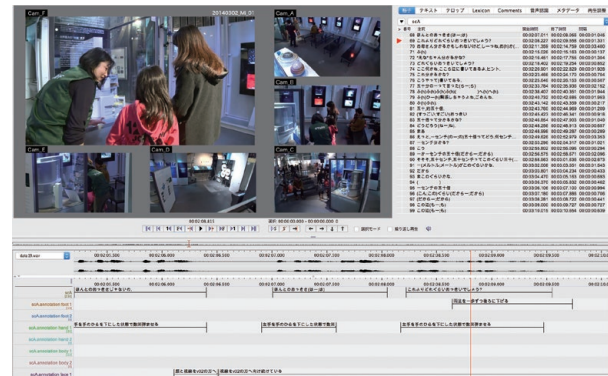
コミュニケーションが困難な人たちの会話のルール

2018年からは、手話翻訳システムを目指して手話

Figure8 マルチモーダルインタラクションの分析



動画から深層学習で姿勢を推定するツールで手話を解析し、言語学的研究に使えるかを検証している



記録したデータは、映像、音声、会話などを総合的に関連付けて分析する。図は日本科学未来館でのインタラクション分析例

の文単位を研究する文理融合型プロジェクトも進めてきた。それにも手話の言語学的研究が役立つはずだが、坊農さんはここ数年で機械翻訳を巡る環境が急激に変わってきたことを実感している。

機械翻訳は従来、言葉を切り分け、分類して、ルールに基づいて翻訳を行うという方法で開発されてきた。坊農さんもこれまでに理工系の研究所に所属し、Siriのような音声認識システムや翻訳システムの開発の最先端を傍らで見た経験があり、手話と音声言語の翻訳システムの開発にも、手話の構造を言語学的に明らかにすることが欠かせないと考えてきた。

一方で、ここ数年の深層学習の興隆はすさまじい。共同研究をする情報科学系の研究者やアドバイザーは、「人為的な切り分けや分類やルールはむしろ学習のノイズになる」と言う。素のデータをそのまま大量にコンピューターに学習させたほうがいい、と。

この問題は「井戸ロボ」のような、マルチモーダルの多人数インタラクションを自然にできるロボットの開発にも同じように立ち現れてくる。人間のコミュニケーションを分析してロボットに適用するのではなく、大量の映像データを読ませて「日常的やりとり」を学習させればいいのか、と言うエンジニアも多いだろう。

しかし、言うまでもないことだが、言語学的に記録して分析する意義は機械翻訳への応用にとどまるものではない。それも学術的意義だけでなく、社会的にも大きな意義がある。例えば、「日常的やりとり」を考える上で、非常に興味深い話がある。

前述のアンドロイド演劇を実際に観た人からはしばしば、「アンドロイドの振る舞いや会話が、自分の身

の回りにいるコミュニケーションに少し困難を抱えている人のそれととてもよく似ている」という感想が寄せられた。それは、現在のロボットで実現できる動きの限界によるものだが、より自然なやりとりを追求したことが、むしろ違和感を際立たせたのだ。

自閉症や発達障害などの傾向がある人は、多くの人にとっての「日常的なやりとり」に困難を感じる人が多いだろう。この困難さは外からは見えないため周囲に理解されにくく、社会から疎外されがちだ。しかしこうした人たちのコミュニケーション感覚は、まだ十分に記述できていないと坊農さんは言う。彼らがどんなルールでしゃべり、コミュニケーションをとっているのかを明らかにできれば、周囲の理解も広がり、彼らの社会参加を進めることにつながるはずだ。

ろう者や発達障害を持つ人など社会的弱者の立場に置かれがちな人を包摂するシステムを考えるには、言語学に裏打ちされた、坊農さんのインタラクション分析が大きな役割を果たす局面がきっとあるだろう。さらに、そうした知見が認知科学や神経科学に新たな視点や洞察をもたらすことも期待できる。

目下、坊農さんが課題としているのは言語学と情報科学との架け橋を改めて作ることだ。深層学習のエンジニアから見れば、言語を扱う研究でも言語学的な分析は不要、データだけくれればいいのか、という話になってしまう。しかし、それに対して、そうですねと協力する言語学者はいないだろう。

何か可能性はないだろうか、と坊農さんは考え続けている。情報科学の研究所に身を置く言語学者ほど、言語学と情報学をつなぐ役割にふさわしい人はいないに違いない。

「Nextcom」 論文公募のお知らせ

本誌では、情報通信に関する社会科学分野の研究活動の活性化を図るため、新鮮な視点を持つ研究者の方々から論文を公募します。

【公募要領】

申請対象者：大学院生を含む研究者

*常勤の公務員（研究休職などを含む）の方は応募できません。

論文要件：情報通信に関する社会科学分野の未発表論文（日本語に限ります）

*情報通信以外の公益事業に関する論文も含みます。

*技術的内容をテーマとするものは対象外です。

およそ1万字（刷り上がり10頁以内）

選考基準：論文内容の情報通信分野への貢献度を基準に、Nextcom監修委員会が選考します。

（査読付き論文とは位置付けません）

公募論文数：毎年若干数

公募期間：2022年4月1日～9月10日

*応募された論文が一定数に達した場合、受け付けを停止することがあります。

選考結果：2022年12月ごろ、申請者に通知します。

著作権等：著作権は執筆者に属しますが、「著作物の利用許諾に関する契約」を締結していただきます。

掲載時期：2023年3月、もしくは2023年6月発行号を予定しています。

執筆料：掲載論文の執筆者には、5万円を支払います。

応募：応募方法ならびに詳細は、以下「Nextcom」ホームページをご覧ください。

その他：1. 掲載論文の執筆者は、公益財団法人KDDI財団が実施する著書出版助成に応募することができます。

2. 要件を満たせば、Nextcom論文賞の選考対象となります。

3. ご応募いただいた原稿はお返しいたしません。

「Nextcom」ホームページ

<https://rp.kddi-research.jp/nextcom/support/>

問い合わせ先：〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-10-4 オークラプレステージタワー

株式会社 KDDI総合研究所 Nextcom編集部

E-mail:nextcom@kddi-research.jp

2022年度 著書出版・海外学会等参加助成に関するお知らせ

本誌では、2022年度も公益財団法人KDDI財団が実施する著書出版・海外学会等参加助成に、候補者の推薦を予定しています。

【著書出版助成】

助成内容：情報通信に関する社会科学分野への研究に関する著書

助成対象者：過去5年間にNextcom誌へ論文を執筆された方

助成金額：3件、各200万円

受付期間：2022年4月1日～9月10日（書類必着）

【海外学会等参加助成】

助成内容：海外で開催される学会や国際会議への参加に関わる費用への助成

助成対象者：情報通信に関する社会科学分野の研究者（大学院生を含む）*

助成金額：北米東部 欧州 最大40万円 北米西部 最大35万円 ハワイ 最大30万円
その他地域 別途相談（総額100万円）**

受付期間：随時受け付け

*常勤の公務員（研究休職などを含む）の方は応募できません。

Nextcom誌に2頁程度のレポートを執筆いただきます。

**助成金額が上限に達し次第、受け付けを停止することがあります。

推薦・応募：いずれの助成も、Nextcom監修委員会において審査・選考し、公益財団法人KDDI財団へ推薦の上、決定されます。応募方法ならびに詳細は、以下「Nextcom」ホームページをご覧ください。

「Nextcom」ホームページ

<https://rp.kddi-research.jp/nextcom/support/>

問い合わせ先：〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-10-4 オークラプレステータワー

株式会社 KDDI総合研究所 Nextcom編集部

E-mail:nextcom@kddi-research.jp

彼らの流儀はどうなっている？ 執筆：村上 貴弘 絵：大坪 紀久子

目指すのは「アリリンガル」の実現？
農耕するアリの声を聞いてみた。

アリはしゃべる！ 複雑な社会ほど おしゃべりなアリの世界



にぎやかな ハキリアリの世界

「キュキュギ！ キュキョ！」

ある夜、自宅でアリの音声解析をしていたところ、あまりに単調な作業に眠気が襲ってきてつい寝てしまった。娘に起こされたとき、思わずアリ語をしゃべってしまったようだ。

驚いた娘が「お父さん！アリ語をしゃべっているよ！」と心配そうに顔をのぞき込んでいた。

危ない危ない。アリの世界に引き寄せられていたようだ。

アリがしゃべるのか？ その答えはイエスである。特に僕の研究対象種であるハキリアリは非常におしゃべりだ。

ハキリアリは、中南米に生息する。その一番の特徴は、「農業」をすることだ。アリが農業を？と思うかもしれないが、これが本当の話。

このアリは熱帯多雨林から葉を切り出し、巣に持ち運び、細かく切り刻んで複雑な形に組み



上げ、そこに菌糸を植え付け栽培する。そう、彼女らの栽培するのは「キノコ」だ。しかしながら、このキノコ、普通のキノコとは全く異なる。5,000万年もの長きにわたってアリとの密接な共生関係を結んだ結果、有性生殖する能力がなくなってしまったのだ。キノコの最大の特徴である「笠」や胞子を作らず、全てアリに依存してあちこちに植え付けてもらい、クローン繁殖することに特化してしまっている。

この共生菌は高タンパク、高糖質、高脂質の完全食で女王と幼虫の主食になっている。

実はアリの農業の起源は人間の農業の起源のはるか5,000倍も古く、驚かすにはいられない。

おしゃべりには理由がある

この農業をするアリにはハキリアリをはじめとして250種ほどが知られている。最も複雑な社会を持つハキリアリは、一つ

の巣に数百万個体の働きアリがいて、20年も生き続ける巨大な女王アリや、最大で家一軒が地下に埋まるくらいのサイズの巨大な巣を作るなど規格外の特徴を持つ。

一方で祖先的な特徴を残したグループでは、巣のサイズは直径5cm程度、働きアリも数十個体というなんともつつまじやかな社会を作る。

それぞれのアリの発する音を独自に開発した小型高精度録音装置で録音してみたところ、つつまじやかな社会ではあまりおしゃべりは録音されず、複雑な社会のハキリアリは、冒頭に描写したような音の嵐。

何をしゃべっていたのか？

一つだけお教えすると、切った葉の質を表現していた。つまり「これは良い葉だ!」とか「この葉はイマイチ!」などだ。

一番おしゃべりなアリは1分間に7,700回も何かを訴え続け、僕は軽いノイローゼ状態に追い込まれつつ、15分間のファイル

を解析するのに1カ月以上を要することになった。

この研究から明らかになったのは、社会の進化段階と音声の頻度などが相関関係にあること、つまりおしゃべりなアリほど複雑な社会を作ることだ。この結果は非常に示唆に富む。つつまじやかな社会ではそれほど複雑な情報共有は必要なく、複雑で大きな社会では常に密接なコミュニケーションを必要とするのだ。

新型コロナウイルスの感染拡大から約2年が経過し、人間社会のコミュニケーションの低下がもたらす弊害が出てきている。直接のコミュニケーションに勝るものはないのだが、何としても代替の手法を洗練させないとこの巨大な社会は維持できないのではないかと。アリの社会から、学ぶことは多い。

技術は、自然のなすところを模倣する。
……アリストテレス

「しぜん」ではなく「じねん」に

高橋秀実

コロナ禍の自粛生活ということもあり、このところ家で仏教書ばかり読んでいる。そのせいだろうか、先日「自然」という漢字を見て、思わず「じねん」と読んでしまった。実家近くの「こども自然公園」を「こどもじねんこうえん」と。間違いといえば間違いなのだが、そもそも「自」は「じ」と読むべきで、「じねん」のほうが正しいような気がする。実際、「じねん」のほうが「しぜん」より歴史も古い。「じねん」は平安時代の源氏物語などにも記されているが、「しぜん」は明治以降に英語の「nature」の翻訳語として「自然」という漢字があてられ、その読み方として一般化したにすぎない。つまり日本人にとって「自然」とは本来「じねん」なのだ。

例えば、アリストテレスの『自然学』の中に「(技術は)自然のなすところを模倣する」*¹という一節があるが、これも「しぜん」と読むと、意味不明になってしまう。「しぜん」とは「人手を加

えない」*²ものとされているので、それを技術が模倣するのは矛盾である。人手を加えることが技術なのだから。それにクレーンのように物を持ち上げる技術なども「しぜん」に逆らっているのではないだろうか。物は落ちるというのが「しぜん」のなすところであり、持ち上げるのは不自然なのだ。

しかし、この「自然」を「じねん」と読めば、すっきり納得できる。「じねん」とは「おのずから」という意味。技術が「じねん」を模倣するとは、「おのずから」そうなるかのように、物を動かしたり、加工したりするということだ。そもそもアリストテレスは「自然」を運動や静止の原理(原因)を「自らのうちにもっている」*¹と定義していた。「おのずから」動いたりすることを「自然」と呼ぶわけで、「じねん」が正解なのだ。近年ではサメの肌に似せた水着や、蚊のような注射針など、「しぜん」を模倣するバイオメティクスが注目を浴びて

article: **Hidemine Takahashi**

ノンフィクション作家。1961年横浜市生まれ。東京外国語大学モンゴル語学科卒業。

『ご先祖様はどちら様?』で第10回小林秀雄賞、『弱くても勝てます』開成高校野球部のセオリーで第23回ミズノスポーツライター賞優秀賞受賞。

他の著書に『からくり民主主義』『損したくないニッポン人』『不明解日本語辞典』『定年入門』『悩む人』『パワースポットはどこです?』『一生勝負』など。

いるようだが、これらもサメや蚊を眺めていると「おのずから」わいてくるアイデアのようであり、「おのずから」そうになっているかのように利用することが技術の成果になるのだろう。

やはりスマホ教室に行こう。

私はそう決心した。先日ようやくスマホを購入したのだが、本などで自分なりに理解しようとしても、まったくわからない。まわりの人々は「じねん」に使いこなしているようなので、私もそれを模倣したい。かの親鸞も「自然法爾（じねんほうに）」と呼びかけていた。仏のはからいも「おのずから」そうになっているので、何事も自力で得ようと思うなよ、と。

*1『アリストテレス全集3 自然学』（出隆、岩崎允胤訳 岩波書店 1968年）

*2『岩波国語辞典 第七版新版』（岩波書店 2011年）

背景

「自然の模倣」とは、アリストテレス（前384～322年）の技術観の基本をなす。「技術」という言葉を、道具の使用や製作に伴う知識を表す、つまり現代では自明視されている概念の意味で用いている点も、アリストテレスは先駆的だった。

編集後記

「グリーン社会の実現」が、いわゆる政府の「骨太方針2021」で、日本の未来を拓く四つの原動力の第一に位置付けられた。

確かに、新たなグリーンという産業分野を確立して環境負荷を下げることとの両立を図ることは理解できるが、企業側からのグリーン投資はコスト増要素にもなる。CSR（企業の社会的責任）がまた一つ増えたと考える経営者も多かろう。

本誌では、グリーン戦略を、例えばサプライチェーン全体で考え、経済と環境の好循環で真にプロフィットを生む姿が描けないか、また新しい資本主義の議論が盛んになる中、デジタル化の加速とも合わせて有形から無形資産へのシフトを進め、より高い付加価値を得ることにつなげられないかと考えて特集を組んだ。産業政策や企業戦略の一助となれば幸いである。

なお、次号は「デジタル時代のコロナ対応」（仮）を取り上げます。（編集長：花原克年）

Nextcom（ネクストコム） Vol.48 2021 Winter
2021年12月1日発行

監修委員会

委員長 菅谷 実（慶應義塾大学 名誉教授）
副委員長 辻 正次（神戸国際大学 学長／大阪大学名誉教授）
委員 依田 高典（京都大学 大学院 経済学研究科 教授）
（五十音順） 川濱 昇（京都大学 大学院 法学研究科 教授）
田村 善之（東京大学 大学院 法学政治学研究科 教授）
舟田 正之（立教大学 名誉教授）
山下 東子（大東文化大学 経済学部 教授）

発行 株式会社KDDI総合研究所
〒105-0001
東京都港区虎ノ門2-10-4 オークラプレステージタワー
URL：www.kddi-research.jp

編集長 花原克年（株式会社KDDI総合研究所）
編集協力 株式会社ダイヤモンド社
株式会社メルプランニング
有限会社エクサビーコ（デザイン）
印刷 瞬報社写真印刷株式会社

本誌は、わが国の情報通信制度・政策に対する理解を深めるとともに、時代や環境の変化に即したこれからの情報通信制度・政策についての議論を高めることを意図しています。
ご寄稿いただいた論文や発言などは、当社の見解を示すものではありません。

●本誌は当社ホームページでもご覧いただけます。
<https://rp.kddi-research.jp/nextcom/>

●宛先変更などは、株式会社KDDI総合研究所Nextcom編集部にご連絡をお願いします。（E-mail：nextcom@kddi-research.jp）

●無断転載を禁じます。





