

第4節 日米のICTとイノベーションの現状

前節でみたとおり、我が国では、米国と比較しICTの経済成長への貢献が低水準にとどまっている。

米国では新技術に対する供給側の対応と新たな需要の創出とがあいまって経済成長が実現した一方で、日本で米国並みの経済成長が起こらなかったのは、(人口動態の要因を別にすると)産業構造・産業組織の変化に伴う企業の業務や組織の見直しが不十分であったためと考えられる。

本節では、我が国のICTの経済成長(付加価値増加)への貢献が低水準にとどまった要因をミクロ的な視点から探る。前節でも述べたとおり、ICTを導入すればただちに生産性の向上や付加価値増加が実現するわけではなく、業務及び組織の見直しや人材の再訓練など様々な仕組みの見直しも必要とされる^{*1}。

具体的には、日米企業アンケート結果を踏まえて、まず、産業の構造変化と付加価値増加との関係について概観した上で、グラフィカルモデリング分析という手法を用い、ICTの導入や利活用が様々な仕組みの見直しを行うことを通じて企業にとっての成果にどのようなつながるか、要因間の関係及び日米の相違点について分析する。

1 ICTによる付加価値増加

1 産業の構造変化とイノベーションの重要性

前節で取り上げたとおり、1994年以降2015年まで米国では概ね持続的にGDPが増加傾向にあった一方、我が国では横ばいないし微増にとどまった。両国の付加価値を増加させる力に差があったことがうかがわれる。これについては、1990年代、米国ではICTによって需要の伸びが大きい新たな財が生まれた一方、日本ではICTが消費ではなく主に投資を目的としたものであったこと^{*2}、供給側でICTを導入したものの、業務及び組織の見直しや人材の再訓練など様々な仕組みの見直しが進まなかったこと^{*3}などが指摘されている。

さらに、1990年代以降ICTが企業内、産業組織(各産業内)、産業構造(各産業間)それぞれのレベルにおいて従来の垣根を越え活用されるようになり、コミュニケーションコストや探索コストが下がったことで、従来の固定的な取引関係に関わらず分業・協業が進んだ結果、多様な組合せが可能となってきている。

「多様な組合せ」は「新たな結合」とも解釈可能であり、古くは経済学者のシュンペーターが既存の技術・資源・労働力などを従来とは異なる方法で新結合することをイノベーションと定義したことも関連する。最近では、イノベーションは、OECDとEurostat(欧州委員会統計総局)が合同で策定した国際標準(オスロ・マニュアル)において、4分類されている。それらは、①プロダクト・イノベーション(新しいまたは大幅に改善した製品・サービス)、②プロセス・イノベーション、③組織イノベーション、④マーケティング・イノベーションである(図表1-4-1-1)^{*4}。分業・協業が進む昨今、改めてイノベーション、特に新結合の意義は高まっていると言える。

図表1-4-1-1 OECD「オスロ・マニュアル」のイノベーションの4類型

※イノベーションの4類型 類型と定義はOECD「オスロ・マニュアル」に準拠	プロダクト:	自社にとって新しい製品・サービス(プロダクト)を市場へ導入すること
	プロセス:	自社における生産工程・配送方法・それらを支援する活動(プロセス)について、新しいもの又は既存のものを大幅に改善したものを導入すること(技法、装置、ソフトウェア等の変更を含む)。
	組織:	業務慣行(ナレッジ・マネジメントを含む)、職場組織の編成、他社や他の機関等社外との関係に関して、自社がこれまでに利用してこなかった新しい組織管理の方法の導入
	マーケティング:	自社の既存のマーケティング手法とは大幅に異なり、かつこれまでに利用したことのない新しいマーケティング・コンセプトやマーケティング戦略の導入

(出典) 文部科学省 科学技術・学術政策研究所「第3回全国イノベーション調査報告」(2014)
<http://data.nistep.go.jp/dspace/handle/11035/2489>

*1 前節脚注14参照。

*2 篠崎彰彦『情報技術革新の経済効果』日本評論社(2003)P.209

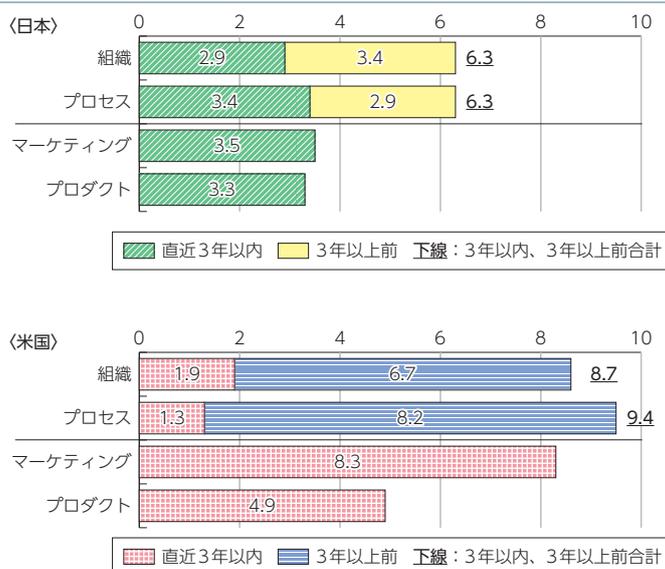
*3 前節脚注14参照。

*4 文部科学省 科学技術・学術政策研究所「第4回全国イノベーション調査統計報告」P49-56

2 イノベーション実現度の日米比較

日米企業へのアンケート結果を基に、日米の大企業*5での直近3年間（組織イノベーション及びプロセス・イノベーションは3年以上前の取組も含む*6）のイノベーションの実現度*7を比較すると、いずれのイノベーションにおいても米国企業の方が多いことがわかる（図表 1-4-1-2）。組織イノベーションやプロセス・イノベーションについては、3年以上前の実現度は、米国企業（組織6.7、プロセス8.2）が日本企業（組織3.4、プロセス2.9）よりも高く、直近3年間の実現度については、米国企業（組織1.9、プロセス1.3）は日本（組織2.9、プロセス3.4）よりも低くなっている。これは、米国企業は3年以上前に両イノベーションを概ね実現済みである一方、日本企業は直近3年間に取り組んでいる企業が未だ一定数あることを示している。次に、マーケティング・イノベーションとプロダクト・イノベーションについては、日本企業では特にマーケティング・イノベーションが遅れている。今後、日本企業が成長していくためには、これらの取組をより一層加速させていくことが求められる。

図表 1-4-1-2 日米企業のイノベーションの実現度



（出典）総務省「我が国のICTの現状に関する調査研究」（平成30年）

次に、アンケート結果から、企業におけるICT利活用*8と全イノベーションの実現数*9が平均（ICT利活用：日本企業8.8、米国企業9.1、全イノベーション：日本企業11.4、米国企業12.4）以上を（高）、平均未満を（低）グループに分類し、3年前と比べて営業利益が増加した企業の割合を比較すると、日本ではICTを利活用しているほど、また、イノベーションの実現が多いほど、営業利益が増加した企業の割合が高くなっている（図表 1-4-1-3）。特に、日本では全イノベーションの高低よりもICT利活用の高低で営業利益が増加した企業の割合に顕著な差が生じていることから、ICT利活用の重要性がわかる。

*5 「製造業」、「情報通信業」、「エネルギー・インフラ業」は常勤従業員数が300人以上、「商業・流通業」、「サービス業」は常勤従業員数が100人以上の企業を大企業とした。
 中小企業からもイノベーションは起こりうるが、大企業と比較して業務プロセスや組織形態が多様であり1社で完結していないことも多いため、グラフィカルモデリング分析の枠組みになじみづらい点があることから、今回は大企業を対象に分析を行っている。なお、米国においては、大企業のプロダクト・イノベーションであってもスタートアップ企業を買収したことによるものもあること、日米でスタートアップ企業へのファイナンスの金額が異なることにも留意が必要と考えられる。

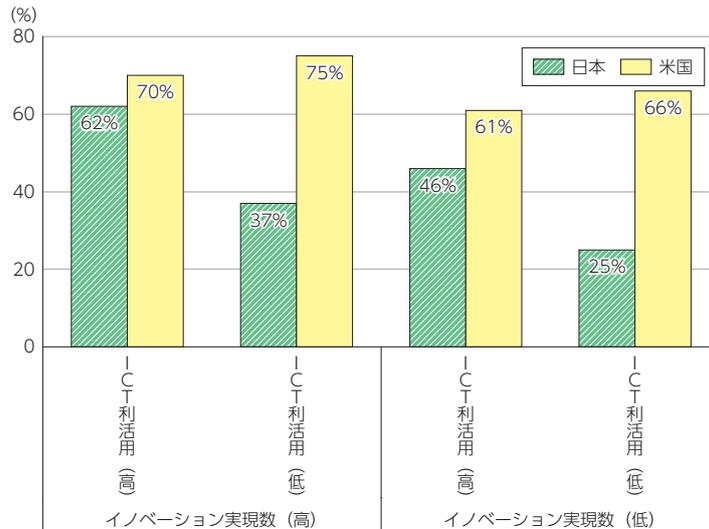
*6 各イノベーションとも直近3年間における実現を確認し、プロセス・イノベーションと組織イノベーションについては、川上淳之・浅羽茂（2015）「組織改革は生産性に影響するか？」経済産業研究所, RIETI Discussion Paper Series, 15-J-048, によると取組から効果の発現まで3年程度の期間を要することから、3年以上前における実現も確認した。

*7 イノベーションの実現度をアンケートにて尋ね4類型それぞれ10点満点に換算。プロダクト・イノベーションは製品とサービスに分け、それぞれの実現数を確認した（5つ以上の場合は5点に換算）。プロセス・イノベーションは生産工程・配送方法・それらを支援する活動それぞれについて実現有無を確認した。組織イノベーションは企業務慣行（4項目）、職場組織（8項目）、社外関係（8項目）について実現有無を確認した。マーケティング・イノベーションはデザイン・販売経路・販売促進方法・価格設定方法それぞれについて実現有無を確認した。

*8 ICT端末（パソコン、タブレット、スマホ、IoT端末）、ネットワーク（専用線、一般固定回線、無線回線）、社内向けサービス（グループウェア、社内ポータルサイト、社外からのモバイル端末アクセス）、社外向けサービス（外部向けHPの開設、外部向けSNSアカウントの開設、SNSで顧客の意見や反応の収集・活用）、クラウド（SaaS、PaaS、IaaS）の利用状況（全16項目）について確認した。

*9 プロダクト・イノベーション、プロセス・イノベーション、組織イノベーション、マーケティング・イノベーションの直近3年間における実現数の合計

図表1-4-1-3 日米企業のICT利活用、イノベーションと営業利益増加との関係



(出典) 総務省「我が国のICTの現状に関する調査研究」(平成30年)

3 ICT導入や利活用とイノベーション実現は付加価値増加にどう結びつくか

ア グラフィカルモデリングによる分析

ここまでのデータ観察や分析により、営業利益の増加にICTの導入や利活用、イノベーションが影響していることは推察されるが、相互の関係は明らかになっていない。これを明らかにするため、以下では、企業におけるICTの導入や利活用が4イノベーションのどれを通じて成果(アウトカム)に結びついているのかを分析する。

分析にあたっては、日米企業へのアンケートの結果に基づきグラフィカルモデリング^{*10}という手法を用い、要因(変数)間の相互の関係及び日米の相違点を明らかにする。

ICTの導入や利活用の状況を、ICT投資やICTサービスへの支出等^{*11}(以下、「ICT投資等」という)とICT利活用に分けたうえで、それぞれのイノベーション実現や営業利益の増加とのつながりを比較する^{*12}。

まず、ICT投資等については、日米ともイノベーションとは直接的な関係がなく(図表1-4-1-4)、営業利益との間だけに直接的な関係がある。これはイノベーションの実現に関わらず、営業利益を増加させた企業がICT投資等を増加させているため関係性が示されたと考えられることから、ICT投資等を増やすのみで営業利益の増加に結びつくことを表しているものではない。

^{*10} グラフィカルモデリング分析は被説明変数(営業利益の増加)に説明変数(ICTの導入や利活用、イノベーション)がどの程度影響しているのかを分析するのではなく、変数間の相互の関係を分析するものであるが、変数を図示し関係性を線で示すことで変数間の「絡み」が視覚的に明らかにできるというメリットがある。また、グラフィカルモデリング分析では変数間の相関係数ではなく、偏相関係数を考えており、他の諸変数の影響を取り除いた変数間の直接的な関係を明らかにすることができる。グラフィカルモデリングにおける分析の概念は以下のとおりである。

分析に用いる複数の変数から2つの変数を取り出し、全ての組合せについてその偏相関係数を計算する。これは、単純に2つの変数の関係を相関係数として推定すると他の諸変数の影響が含まれることから、他の変数の影響を取り除くためである。

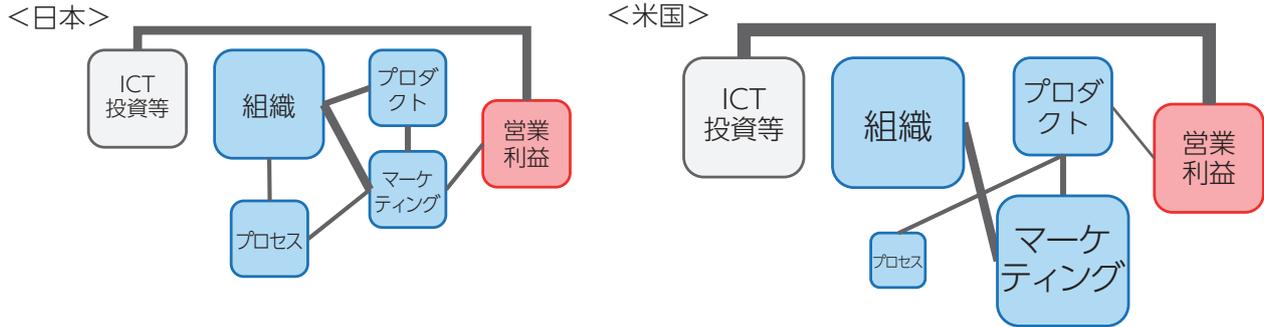
例えば、最高気温とアイスクリームの売上、水難事故の件数という3つの変数と考えた場合、相関係数を計算すると、水難事故の件数とアイスクリームの売上には強い相関係数がみられる。一方、最高気温の影響を取り除いた水難事故の件数とアイスクリームの売上の偏相関係数を計算すると、ほとんど関係性が見られない。相関係数から水難事故の件数が多いほどアイスクリームの売上が多いという解釈をするのは早計で、偏相関係数を確認することによって、水難事故の件数と最高気温に関係性があり、最高気温とアイスクリームの売上にも関係性があるという解釈を得ることができる。

偏相関係数が0に近いものは、変数間に直接的な関係性が低いと解釈できるため、偏相関係数の絶対値が小さいものから順に0と置き換えていくことで、変数間の関係を簡素化し、全体の構造を明瞭にすることが可能となる。これを視覚的に表現すると、すべての要素(変数)が線でつながった状態からスタートし、偏相関係数の絶対値が小さいつながりを1本ずつ切断していくことになる。線を切断したあとのモデルがスタート時点のモデルからどの程度逸脱しているのかとモデルの簡潔さを用いて最適なモデルを選択する。これは共分散選択における減少法と呼ばれる手法で、本分析では最適なモデルの判定基準としてベイズ情報量規準(BIC)を用いた。

^{*11} ICT関連の投資(ハードウェア投資、ソフトウェア投資、その他のICT関連投資)や支出(クラウドなどICTサービスへの支出)

^{*12} ICT投資については、3年前と比較した場合のICT関連の投資・支出割合の増減を変数とし、ICT利活用については、ICT端末、ネットワーク、社内向けサービス、社外向けサービス、クラウドの利用数を、プロダクト・プロセス・マーケティングイノベーションについては、直近3年間のイノベーション実現数を、組織イノベーションについては、直近3年間だけではなく3年以上前も含めたイノベーション実現数を、営業利益については、3年前と比較した場合の営業利益の増減を変数とした。

図表 1-4-1-4 グラフィカルモデリング分析結果の日米比較 (ICT 投資等)

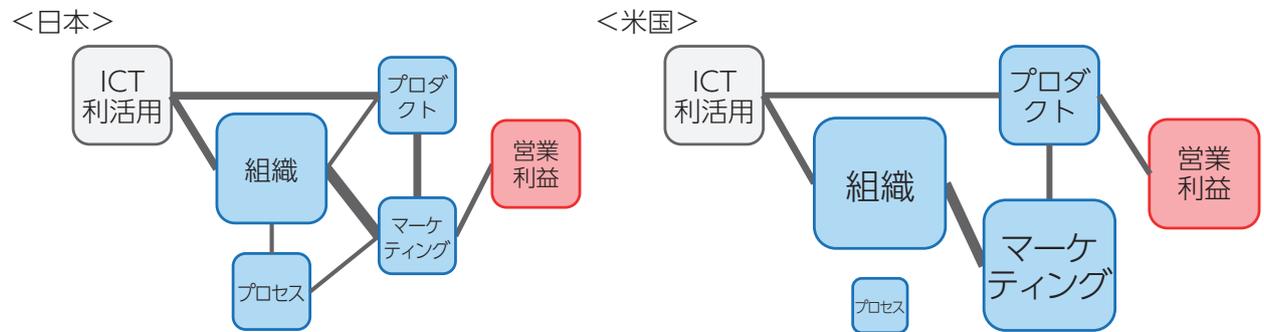


注1：上図では線が繋がっている要素間には直接的な関係があることを意味する。
 注2：上図では四角の大きさは増加割合又は実現数の日米の違いを、線の太さは各変数間の関係性の強弱を表している。
 具体的な数値は調査研究報告書参照。

(出典) 総務省「我が国の ICT の現状に関する調査研究」(平成30年)

次に、ICT 利活用については、日米ともプロダクト・イノベーション、組織イノベーションと直接的な関係がある(図表 1-4-1-5)ことが示された。

図表 1-4-1-5 グラフィカルモデリング分析結果の日米比較 (ICT 利活用)



注1：上図では線が繋がっている要素間には直接的な関係があることを意味する。
 注2：上図では四角の大きさは増加割合又は実現数の日米の違いを、線の太さは各変数間の関係性の強弱を表している。
 具体的な数値は調査研究報告書参照。

(出典) 総務省「我が国の ICT の現状に関する調査研究」(平成30年)

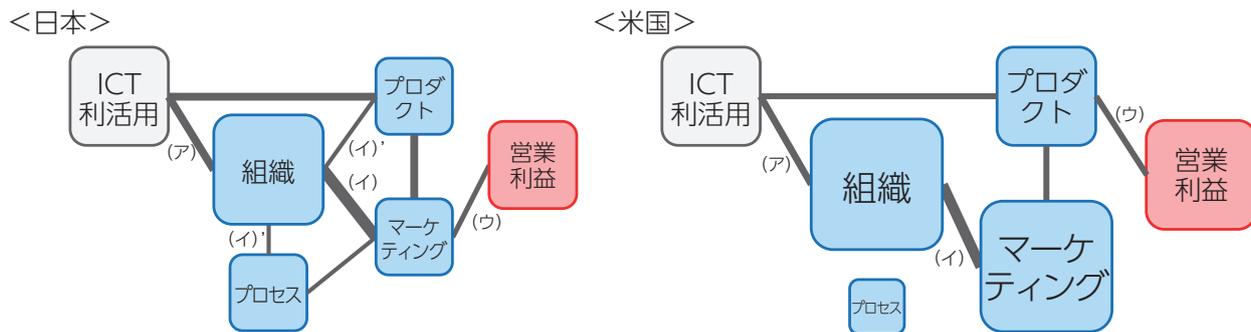
これらからは、ICT 投資等を増加したらイノベーションが起こるのではなく、さらに ICT 利活用を進めることがイノベーションの実現に重要であることを示唆している^{*13}。

イ 要因間の関係性考察

そこで、ICT とイノベーションの実現、営業利益の増加との関係の分析については、後者の ICT 利活用に着目して、図表 1-4-1-5 を基にグラフィカルモデリングによる分析結果を、直接的な関係性が強いところを中心に、以下概観していく。

*13 中野(2005)の分析では、企業が研究開発投資の比率を高めるだけではなく、社内組織、社外連携、人材などに関する取組を活発に行うことによってイノベーションの実現割合が高まるという結果を得ている。

図表1-4-1-6 グラフィカルモデリング分析結果の日米比較 (ICT利活用) (再掲)



注1：上図では線が繋がっている要素間には直接的な関係があることを意味する。

注2：上図では四角の大きさは増加割合又は実現数の日米の違いを、線の太さは各変数間の関係性の強弱を表している。

(出典) 総務省「我が国のICTの現状に関する調査研究」(平成30年)

まず、日本の企業では、ICT利活用から組織イノベーション、マーケティング・イノベーションを通じて営業利益増加につながっている。イノベーション相互の関係については、組織イノベーションから他のイノベーションへ網状のつながりがみられる。

米国の企業ではICT利活用から組織イノベーション、マーケティング・イノベーション、プロダクト・イノベーションを通じて営業利益増加につながっている。ただし、日本の企業と異なり組織イノベーションからプロセス・イノベーションやプロダクト・イノベーションへの直接的なつながりはない。

これらから、大きく特徴が3点挙げられる。第一に日米ともに組織イノベーションが営業利益増加の前提となっていること(図表1-4-1-6中の(ア))、第二に日米ともに、組織イノベーションとマーケティング・イノベーションの間には直接的な関係はある(図表1-4-1-6中の(イ))が、プロダクト・イノベーションとプロセス・イノベーションについては、日本のみ関係がある(図表1-4-1-6中の(イ)')こと、第三に営業利益増加に直接つながるのが、日本ではマーケティング・イノベーションである一方、米国ではプロダクト・イノベーションとなっていること(図表1-4-1-6中の(ウ))が挙げられる。

(ア) 前提としての組織イノベーション

第一の特徴に関して補足すると、組織イノベーションの実現からプロダクト、マーケティング・イノベーションの実現や営業利益の増加への方向性が推察される^{*14}。3年以上前に組織イノベーションが平均以上取り組まれていた企業とそれ以外の企業を比較すると、平均以上だった企業の方が直近3年間におけるプロダクト・イノベーション、マーケティング・イノベーションの実現ともに多くなっている^{*15}。日本企業については営業利益の増加についても同様の傾向となっている。

(イ) 日米の組織イノベーション、マーケティング・イノベーションの違い

第二の特徴のうち、日米ともに組織イノベーションとマーケティング・イノベーションの間には直接的な関係があるものの、その内容は日米で大きく異なることは留意が必要である。図表1-4-1-2でも取り上げたとおり、米国企業では、組織イノベーション及びマーケティング・イノベーションとも概ね実現済みとなっているが、日本企業では両方とも取組の途上である。また、日本企業のみ組織イノベーションからプロセス・イノベーション及びプロダクト・イノベーションへのつながりがみられるが、日本では社内で様々な取組を進める傾向があるのに対し、米国の場合自社に足りないリソースは外部から調達したり外部の企業ごと買収する傾向の違いがあることも一因と考えられる。

(ウ) 日米の企業業績への結びつきの違い

第三の特徴に関して、第二の特徴の留意点も踏まえると、米国企業ではマーケティングの取組が当然のこととして行われているため、マーケティングの差が営業利益増加と直接的な関係とならず、プロダクト・イノベーションの実現の多寡で差が生じていることが想定される。一方、日本企業では、プロダクト・イノベーションによって新たな製品やサービスを創出しても、その後、安易な価格競争に陥るなど価格設定や他社との差別化がうまくいかな

*14 組織改革の先行研究については、川上他(2015)³³でも分析されており、生産性への因果効果を推定した結果、業績が悪化していない状況で組織改革を行っている企業では組織改革後、2期目から4期目にかけて生産性の上昇がみられたという結論を得ている。

*15 日本では、3年以上前に組織イノベーションが平均以上だった企業では、プロダクト・イノベーション3.9、マーケティング・イノベーション1.8に対して、平均未満の企業では、プロダクト・イノベーション2.8、マーケティング・イノベーション1.0となっている。3年前と比較して営業利益が増加した企業の割合も、平均以上の企業では50%なのに対して、平均未満の企業では35%に留まっている。米国では、3年以上前に組織イノベーションが平均以上だった企業では、プロダクト・イノベーション5.1、マーケティング・イノベーション3.7に対して、平均未満の企業では、プロダクト・イノベーション4.6、マーケティング・イノベーション2.9となっている。

い場合が多いため、営業利益増加に直接的に結びつかず、マーケティングの取組が一部企業にとどまっていることから、マーケティングへの取組の有無で営業利益の増加に差が生じていることも一因と考えられる。

ウ まとめ

以上から、日本の企業への示唆をまとめる。まずICTは導入するだけでなく、利活用を行うことが必要である。その前提として、ICTの能力を効果的に引き出し、利活用するための組織改革を実施すること、次に価格設定の工夫や他社製品・サービスとの差別化等マーケティングの取組を行うこと、その上でのプロダクト・イノベーションが有効と考えられる。

4 日米のICT人材の比較

我が国でICT利活用によるイノベーション促進及び付加価値増加を目指すにあたり、現状では、ユーザ企業にICT人材が少ないという構造的問題があることについて補足する。

我が国は米国と比較して、ICT人材の数が少なく、さらに人材がユーザ企業側に少なくベンダ側に偏在している傾向がある。独立行政法人情報処理推進機構の「IT人材白書2017」では、2015年の日米の情報処理・通信に携わる人材数を推計している（図表1-4-1-7）。

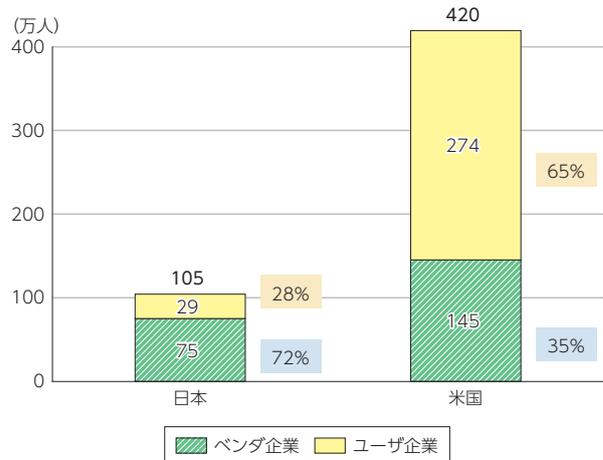
これによると、情報処理・通信に携わるICT人材は日本では105万人、米国では420万人であり、日本は72%がベンダ企業^{*16}に属する一方、米国は65%がユーザ企業に属する。ただし、我が国は雇用慣習の違いから人材の流動性が低い点は留意が必要である。

「はじめに」でも述べたように、今後、IoT、AI等によってICT技術がますます高度化すると共に、さまざまな領域でデジタルデータが活用されるようになる。企業側の視点でみると、自社のビジネスモデルのコアの部分とそれ以外の部分とを見極め、それぞれにデジタルデータを上手く活用することが、競争力や付加価値増加のためにも必要になる。

ここで自社開発^{*17}が重要となってこよう。自社開発は委託開発と比較して社内で迅速かつ柔軟に対応できる、社内の事情や目指す戦略を共有しやすく、システム開発や自社のデータ活用に関しても開発側から攻めの提案が行いやすい^{*18}などの利点があり、これらはイノベーション実現や付加価値増加にもつながると考えられる。

総務省情報通信審議会が2017年1月に公表した「IoT／ビッグデータ時代に向けた新たな情報通信政策の在り方について第三次中間答申」では、「IoTが社会に実装され、社会インフラとして機能していくためには、システムの構築・管理・運用を担う人材の育成が急務となる。」旨述べ、概要資料中でも「グローバルに競争するIoT時代を迎え、今後10年間（～2025年）で、ICT企業中心の「日本型」からユーザ企業中心の「米国型」への転換を図り、最大200万人規模のICT人材の創出と、最大60万人規模の産業間移動を実現することが必要。」としている。

図表1-4-1-7 日本と米国の情報処理・通信に携わるICT人材



(出典) 情報処理推進機構「IT人材白書2017」を基に作成

*16 ソフトウェア業、情報処理・提供サービス業、インターネット附随サービス業

*17 多くのユーザ企業にとっては、自社で0から独自のものを構築するのではなく、OSやパッケージソフトを活用しつつ自社の競争や付加価値創出上必要な部分をカスタマイズすることが費用対効果の点でも効果的と考えられる。

*18 委託開発では、劇的に費用を低下させる新技術があってもベンダにとってはその新技術を採用することは売上低下につながりかねない場合、新技術採用に伴うリスクを過度にベンダが負う場合には、新技術を採用することが全体最適であったとしても新技術が採用されない可能性がある。

COLUMN 1

実装の進む AI・IoT 概説

近年、様々な分野で、「AI（人工知能）」、「IoT（モノのインターネット）」が実装され始めており、今後は、社会・経済に大きなインパクトをもたらすと期待されている。白書本文では、AI・IoTが頻繁に登場することから、ここでは、それらについて、これまでの発展の経緯や現状などを簡潔に説明する。

1 特定の分野では人間以上の“判断”が可能になったAI（人工知能）

AIとは、「Artificial Intelligence」の略で、日本では「人工知能」と訳される。一般的なイメージとしては、「人間に代わって計算したり判断したりできる高性能なコンピューター、または、そのためのソフトウェア」や「知能があるかのように振る舞える人工物」といったものが広がっている。だが実は、AIの明確な定義はない。「知能」の定義が難しい現状では、それを人工的に実現することの定義も難しい。

にもかかわらず最近では、様々な分野で「AI」のキーワードが目立つ。しかし実際には、そのいずれもが人に備わる機能のごく一部分を実行しているに過ぎない。AIスピーカー（スマートスピーカー）で使われている音声認識や、スマートフォンのロック解除にも搭載された顔認識などは、AIの一部ではあるが、すべてではない。またAIスピーカー（スマートスピーカー）では、私たちが日常的に話している文章を認識し、検索したり、その結果を表示／再生したりするためには、音で得られた文章の構造や文脈を含めて処理しなければならない。こうした自然言語をコンピューターに適切に処理させるための技術を自然言語処理と呼び、同分野の精度向上にもAIが適用され始めている。

音声認識や顔認識など、特定の分野でのAIはすでに人間と同等の認識率を実現している。^{*1} そうした現象をみて「AIは万能だ」と感じている人々が多いし、「AIが人間の仕事を奪ってしまう」といった論調も少なくはない。人間を置き換えるほどに万能なAIを「汎用AI」と呼ぶが、この領域に至るには、まだまだ研究すべきことが多く、その実現手法を探っているのが実状である。これに対し、音声認識や画像認識など特定の機能をこなすAIは「専門AI」と呼ぶ。

また、汎用AIと専門AIの対比を、米国の言語哲学者 John Searle氏が「強いAI」と「弱いAI」と呼んだことから、AIと人間の能力を比べる際には、AIの能力を「強い」「弱い」と表現することもある。現時点でAIと称している仕組みは、この弱いAIであり、各種研究の進展に伴って実用化が始まっている段階である。

(1) 機械が学習することで“判断”を実現

その意味で、現在「AI技術を使って実現」と表現されていることの多くは、実際には「大量のデータに潜む特徴（パターン）を見つけ出す技術である機械学習による“判断”の実現」を指している。専門的には、分類や、回帰、クラスタリングなどの実現と呼ばれるが、これらに共通する概念は「線引き」であり、ここでは、これらをまとめて“判断”と表現しよう。

機械学習で実現する判断とは、データを機械、実際にはソフトウェアに読み込ませ、その属性を自動的にふるい分けられるようにすることである。学習したソフトウェアは、未知の入力に対しても適切にふるい分けられるようになる。もちろん、未知の入力に対して誤った結果を出すこともある。その場合は、新たなデータを使って学習を進めることで、ふるい分けの精度を高めていく。

学習の手法には、「教師あり学習」や「教師なし学習」「強化学習」などがある。教師あり学習とは、入力するデータと、結果に対する正解を与える手法だ。教師なし学習は、入力だけを与える手法であり、強化学習は、判断の結果によって与えられる“報酬”が、より高くなるように学習していく手法である。

機械学習の実現方法もさまざまである。それらの中で近年、最も利用されているのが、「ニューラルネットワーク」である。ニューラルネットワークは、1958年に米国の心理学者 Frank Rosenblatt氏が発表した「パーセプトロン」を源流とする。パーセプトロンは、神経の動作を真似るモデルで学習ができる。これを何層にも重ねて接続し、人の神経網を真似たのがニューラルネットワークである。

ニューラルネットワークは、1960年代と1980年代に、2度ブームを迎えており、現在は3度目のブームにあると言える。1990年代と現在の違いは、多層化の度合いである。かつては数層だったものが、現在では200層を超えることもある。

多層化が進んだニューラルネットワークを利用する実現方法を「深層学習（Deep Learning：ディープラーニング）」と呼ぶ。深層学習にも複数の接続方法や学習方法があり、深層学習という1つの方式があるわけではない。

*1 MicrosoftやGoogleなどによると、音声認識率95%前後と、人間の認識率と同等あるいはそれを上回る結果が報告されている。
"Microsoft researchers achieve new conversational speech recognition milestone", Microsoft Blog (2017年8月20日)
<https://www.microsoft.com/en-us/research/blog/microsoft-researchers-achieve-new-conversational-speech-recognition-milestone/>

(2) 深層学習により音声認識と画像認識が劇的に改善

深層学習は、2011年に音声認識の分野で、2012年には画像認識の分野で、それぞれの認識率に劇的な改善を見せた。

それまでの機械学習では、入力情報のモデルを作り、見つけるべき特徴を抽出させ、そこから得る特徴量を人間が設計していた。

これに対し深層学習では、判断用のモデル自体を自動で学習する。ただし、与えるデータによって生成されるモデルが変化するために、どのようなデータを与えるかには考慮が必要である。また結果のみが得られる形になるため、深層学習による判断理由を提示するための研究も行われている。

深層学習を中心としてAIは、その仕組みから、人と言う“経験と勘”を置き換えているといえる。データによる機械学習が“経験”であり、経験の蓄積による判断が“勘”である。これまで“経験と勘”に頼ってきた作業は、AIに置き換えられると考えられる。ただし、記憶をたどり新たな発想を展開する作業は、現在のAIには実行できない。

(3) AIの精度を高めるには、良いデータとハードウェアが必要

深層学習によるAIは現在、認識率が高まった画像認識や音声認識などのアプリケーションとしての利用が広がっている。画像認識のAIは、顔の認識だけでなく、表情の認識や身体の動きの認識などにも使える。これを医療分野に応用し、X線画像から病変を発見するといった用途にも利用されている。

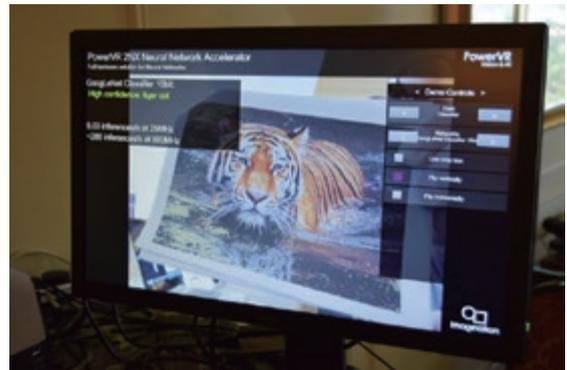
深層学習に限らず、機械学習で注意しなければならないことは、学習に使うデータの質である。典型的なデータのみを集めては、よい判断ができないし、不適切なデータからは不適切な判断を下すことになる。学習データの質が、深層学習の成果を左右する。

また深層学習の学習と実行には、コンピューターの強力な処理能力が必要になる。ソフトウェアによる処理では時間がかかるため、ハードウェアによる高速化支援が欠かせない。

これまでのハードウェア支援策としては、画像処理用に設計されたGPU (Graphics Processing Unit) による加速が一般的だった。深層学習における計算は行列計算であり、これを並列に実行する。一方のGPUも、数式で表された画像 (行列など) に対する計算を並列実行することに最適化されている。両者のアーキテクチャーの合致により、深層学習の実行速度はGPUにより高速に実行できている。

それが最近では、深層学習の加速機能をシステムLSI (SoC: System on a Chip) に組み込む動きが始まっている (図表)。スマートフォン用のシステムLSIにも、深層学習の加速機能を搭載したものが登場している。機械学習による判断が半導体に組み込まれていくことで、AIは、より多くの場面で利用できるようになる。

〈図表〉 AI機能を内包するハードウェアによって加速処理される深層学習による被写体認識の例 (英国Imagination Technologies 社記者説明会)



(出典) インプレス提供資料 (2018年)

2 IoTは「モノをつなぐ」から「社会を最適にする」に大きく変化

IoTとは、「Internet of Things」の略で、「モノのインターネット」と訳されることが多い。電車やクルマ、工場やビル、製造機械や飛行機のエンジン、冷蔵庫や洗濯機、農地や牧場の牛などなど、あらゆるものをネットワークに接続することで、それぞれの最新状態を示すデータを集め、その分析から、より最適な状態に導くようにフィードバックを返すという、一連の流れを指している。

ネットにつながるクルマを「Connected Car」と呼ぶなど、「Connected (つながっている)」ことで、新たな価値を生み出そうとする概念や取り組みだとも言える。スマートフォンや携帯電話は「Connectedな電話機」であり、内蔵するセンサーなどにより、私たち利用者の行動を把握できるIoTの一種である。最近では、スマートウォッチや活動量計といったウェアラブルデバイスの登場により、歩数や脈拍など私たちの身体の状態まで把握できるようになっている。

(1) もはやインターネットを前提としない

IoTは1998年に、米国マサチューセッツ工科大学 (MIT) のDavid Brock氏とSanjay Sarma氏が提唱した用語である。もともとは、RFID (ICタグ) を使ってモノの個数や存在場所を1つひとつ正確に管理しようとする取り組みの中で、遠隔地にあるICタグを読み取るために発想された。ICタグを読み取る部分と結果を表示する部分を分け、両者をインターネットで結ぶという構想だったという。

この構想を起点に、「モノがインターネットにつながれば何が起こるか」が議論されるようになり、それを実現するための各種の技術が発展し、現在のIoTへとつながっている。現在のIoTは大きく、(1)モノの状態を把握するセンサー、(2)センサーで得たデータを集約するためのネットワーク、(3)集約したデータを蓄積・分析するためのサーバーあるいはデータセンター、(4)分析結果をモノにフィードバックするアクチュエーターで構成され、そのシステム全体を指すようになっている。

IoTと並列に使われる用語に「M2M (Machine to Machine)」がある。機器と機械の間の通信を意味し、機械同士が通信する状況を示している。厳密にはM2MはIoTの一要素であり、それ自体はIoTではない。IoTと呼ぶには、上記のように一連のシステムが成り立ち、状態の最適化を目指す必要がある。もっともM2Mを使ったアプリケーションは、この条件に当てはまるため、アプリケーションを含めたM2MがIoTと同義に使われている。

現在のIoTは、ICタグの読み取りといった固定的な情報の伝達を目指してはいない。世の中に存在する、さまざまな情報を集め、それを処理することで最適化を図るといったシステムの発想が組み込まれている。無線の通信環境の普及や、サーバーやデータセンターも昨今はクラウドに変わり、IoTに特化したサービスの提供も始まっている。センサーの多様化も進む。「インターネット」の名前が冠されるが、もはやIoTというシステムとしては、いわゆるインターネットを使う必要もない。

(2) リアルな社会を写し取った「デジタルな双子」をAIで分析

モノの管理から、データに基づきさまざまな事象の最適化を図るといったシステム思考に発展したIoTは、「CPS (Cyber Physical System)」とも呼ばれる。リアルな社会の状況を、種々のデータによってネット上(サイバー空間)に再構築し、そのデータを分析することで、まずはサイバー空間上で解決策をシミュレーションし、最適なものをリアルな世界に反映させるという概念である。

このとき、リアルな社会とサイバー空間に構成されるビッグデータを「デジタルツイン (デジタルな双子)」と呼ぶ。それぞれで起こっていることが相互に反映されることで、両者は常に“双子”のように存在し、影響し合い、さらには両者の融合が始まり、その境界線はあいまいになっていくと考えられている(図表)。VR(仮想現実)/AR(拡張現実)などは、こうした考えを視覚面で実現した仕組みだと言える。

〈図表〉 リアルな社会をデータとしてサイバー空間に再現し「デジタルツイン」として相互の融合を図る



(出典) 総務省「ICTの新たな潮流に関する調査」(2018年)

デジタルツインの構築・活用において、研究開発が盛んになっているのが、データ収集のためのセンサーと、データを分析するためのAI(人工知能)である。センサーは、測定したい対象の広がりや欲しいデータが明確になってくるのに合わせ、新たなセンサーや、複数のセンサーを組み合わせた複合的な測定装置などが登場してきている。

一方のAIは、IoTの考えに沿って、より多くのデータが集まり保存されるようになったことから、機械学習/深層学習の精度が高まっている。機械類の故障を事前に感知する予測機能や、将来の需要予測などが主な用途である。

なかでも急速に適用例を増やしているのが画像認識のAIである。カメラで撮影した静止画や動画を分析することで、個人を判別したり、一定エリアにいる人の数をカウントしたり、あるいは小売店で商品を手に取ったのかどうか、何をバッグに入れたのかといったことの判定にも利用できる。これらの認識機能を使って、商品だけが並び店員が一人もいない「無人店舗」も登場している。

(3) デバイスやセンサーの増加を支えるネットワークが課題に

加えてIoTで注目されているのがネットワークである。工場内などであれば無線LANを使えば一応の通信はできる。しかし今後、IoTが発展していくと、これまでの無線LANでは足りなくなる。数の問題と距離の問題が発生するためである。

数の問題とは、接続すべきIoTデバイスやセンサーが増えることである。デジタルツインをより精密にしようとするれば、

各種センサーを至るところに設置することになる。現在の無線LANは、一定エリアに数千ものデバイスやセンサーが置かれることは想定されておらず、円滑な情報伝達が維持できなくなるかもしれない。

一方の距離の問題とは、製品の生産から物流、販売、客先での利用と保守までのライフサイクル全体をカバーしようとするれば、長距離な通信が必要になる。長距離通信では、無線LANではなく、携帯電話用（セルラー型）の無線方式が使われている。だが第4世代（LTE/LTE-Advanced）までは、地域によって採用されている方式が異なり、それぞれへの対応が必要である。

対策は進んでいる。数の問題では、2017年7月に規格化された「IEEE 802.11ah (Wi-Fi HaLow)」のように、8000台もの端末が利用できる無線LANが登場する。第5世代（5G）では1キロ平方メートル内で100万端末の運用を目指す。

距離の問題は、セルラー型の無線方式の中では、「NB-IoT」や「LTE Cat-M1」などIoTに最適化した方式が登場している。これまでのように高速化を指向するのではなく、数への対応や通信距離の拡大、および低消費電力化を図っている。1日1回、数百バイトのデータを送るだけでなら、単3乾電池2本で10年間、通信できるように設計されている。

長距離（数キロから数十キロメートル）、低消費電力に的を絞ったIoT用の通信方式も広がり出している。LPWA（Low Power Wide Area：低消費電力型長距離無線通信）あるいは非セルラー型LPWAと呼ばれる方式で、フランス発の「Sigfox」や、Ciscoをはじめとした米国企業や業界団体が推す「LoRaWAN」がある。いずれも免許が不要な無線帯域を使う。ただし、データ通信速度は、数十ビット/秒から数百kビット/秒である。



エストニアの事例

1 政府機能の電子化が進むエストニア

バルト3国の一つであり、人口がわずかに約130万人の国であるエストニアは、インターネット電話サービスのSkypeを始めとするさまざまな新規ICTサービスを生み出してきた国として知られている。同国では政府が率先して公共サービスの高度な電子化及びインターネットを通じた民間サービスとの連携を図ってきた。

「電子政府」とも表現されるエストニアの政府機能及び主要な社会制度を支えるのは、全国民に対して割り振られる国民ID番号である。このID番号を基にした、電子署名や電子認証機能を持つ「国民IDカード」、[携帯電話に挿入するSIMカード]、[スマートフォンやタブレット向けの専用アプリ]などを利用することで、エストニアの国民は個人情報を必要とする様々なサービスをインターネット上で利用することができる。また公共サービスの各部門及び各種の民間サービスはシステム上で連携しているため、エストニア国民はたった一つのID番号を用いて、選挙における電子投票（図表1）から、保護者による個々の学生の学習進捗状況の把握、犯罪者データベースへの照会、電子カルテとの連携といった様々な用途へと活用することができるのである。

こうした電子政府の仕組みを利用することで、例えばエストニア国民は法人登記をオンライン上にて20分以内で完了させることができる。また患者ごとの過去の医療情報を網羅した電子保険記録システムや電子処方箋システムとも連携されているため、医師による異なる病院間での特定の患者の治療記録の共有や、カルテや処方箋の記入など事務処理作業の効率化を実現している。さらには国民の95%がインターネットを通じた確定申告を行っており、生産年齢人口の90%がインターネット・バンキングを利用している*1。

〈図表1 エストニアで実施された選挙におけるインターネット投票者の割合〉

	地方選挙 2005	総選挙 2007	欧州議会選挙 2009	地方選挙 2009	総選挙 2011	地方選挙 2013	欧州議会選挙 2014	総選挙 2015
電子投票者/有権者	0.9%	3.4%	6.5%	9.5%	15.4%	12.3%	11.4%	19.6%
電子投票者/全体の投票者	1.9%	5.5%	14.7%	15.8%	24.3%	21.2%	31.3%	30.5%

(出典) エストニア選挙委員会

2 電子政府が誕生した背景

1991年にソビエト連邦より独立したことで独自の新規制度を構築する必要があったエストニアでは欧州の国としては比較的広い国土を有する一方人口が少なく（国土面積は日本の10%強であるのに対して人口は日本の約1%）、公共サービスを電子化することで業務効率化を図る必要があった。また、トップの大統領がITの専門家であることに加え、現行の政治家・役人の世代が非常に若いことが、電子政府の推進をさらに加速させた要因として挙げられる。

こうした背景を受けて、エストニア経済通信省が中心となり、様々なサービスの電子化を通じた公共部門の業務効率化を推進。近年では、2012年秋から2013年春にかけて行われた民間企業や公共セクターなどとの協議を踏まえて2020年までに実施すべき関連施策などをまとめた「デジタル・アジェンダ 2020」*2などに基づき、ICT利活用のための環境整備を目指している。

同資料によると、エストニアにおける固定ブロードバンドのカバー率は2011年時点で93.9%、現在は2020年に完成予定の6500キロにわたる光ファイバーケーブルネットワークを整備中であり、全国民が30メガビット毎秒以上、6割以上が100メガビット毎秒以上のインターネットに接続することができる環境づくりを目指しているという。

なお、エストニアでは、国民のICT教育にも注力。2012年9月からは、政府関連組織である「タイガー・リープ基金（現・財団法人教育情報工学発達センター：HITSA）」を通じて、小学生から高校生までを対象とした全国的なプログラミング教育推進プログラムが開始されている。

*1 デジタル・アジェンダ 2020
https://www.mkm.ee/sites/default/files/digital_agenda_2020_estonia_eng.pdf

*2 デジタル・アジェンダ 2020
 (*1に同じ)

3 データ交換基盤「X-Road」

IDカードやICT教育と並んで、エストニアの電子政府を支えるのが、各省庁やその他の機関のデータベースを連携させるためのデータ交換基盤「X-Road」である。このX-Roadを通じてあらゆる行政機関や医療機関などがシステムを連携させているため、国民の個人データに対して非常に広範囲な「紐付け」が実現されている。なお、エストニア政府は、国民や企業は政府機関に一度のみ自身の情報を提供すれば良く、同じ情報を複数の機関に提供する必要がない「ワンスオンリー原則（once-only principle）」^{*3}を方針としており、政府が提供する電子サービスの利便性が高まっている。

エストニア政府によると、X-Roadを活用することにより、年800年に相当する労働時間を節減^{*4}。この仕組みは国内の各システムとの連携に留まらず、2013年からは国外の諸国とも接続されることになった。エストニア政府は、このX-Road及び関連システムの構築に当たって、国内のIT企業6社に委託。政府自ら先進的なソリューションを導入することにより、ICT分野の産業育成にも貢献しているといえる。

4 データ危機管理

各種制度やサービスの電子化が進むに伴い、最も懸念されるのが、サイバー被害によるデータの喪失や災害時にインターネット利用が制限された際の対応策などである。エストニアは2007年にロシアからサイバー攻撃を受け、エストニア政府関係のものを含む58ものウェブサイトが一度にアクセス不能になる事件が起きた過去があるため、とりわけ危機意識は高い。

そこでエストニア政府が考えた解決策が、海外のデータセンターに政府が保有する公的データのバックアップを保管する仕組みとなる「Data Embassy（データ大使館）」の構築であった。この取組はルクセンブルグのデータセンターにおいて、2014年より試験運用が始まっている^{*5}。

5 電子国家エストニアの未来

エストニア政府は、充実したICT基盤の拡充を目的として、スマートグリッドや電気自動車充電ネットワークの構築にも注力している^{*6}。2018年からは国家規模でのブロックチェーン技術を通じたエネルギー取引の実証実験を開始した^{*7}。また人口が少ないという長期的な社会的課題を解決すべく、エストニアの非居住者を電子国民＝仮想国民と位置付けるための「e-residency」の取組を2014年より本格的に展開し、2025年までに1000万人のエストニア仮想国民を誘致すると掲げている^{*8}。さらには政府が発行する仮想通貨「エストコイン」の構想も発表^{*9}するなど、国家規模での電子化に向けての取組は今後も積極的に行われていくと見込まれている。

〈図表2 「e-residency」に提供されるデジタルIDカード〉



Photo: Renee Altrov^{*10}

*3 欧州公共部門ネットワーク

[http://www.eupan.eu/files/repository/20171221145326_\(5\)_EUPAN__Once-only_principle__Janek_Rozov.pdf](http://www.eupan.eu/files/repository/20171221145326_(5)_EUPAN__Once-only_principle__Janek_Rozov.pdf)

*4 X-Roadを通じて照会、問合せ、手続等を行った場合は、従来の方と比べ1件当たり15分が節約できると想定し、実際の件数を掛け合わせることで算出。

エストニア情報システムセンター
<https://www.ria.ee/x-tee/fact/#eng>

*5 E-estonia

<https://e-estonia.com/estonia-to-open-the-worlds-first-data-embassy-in-luxembourg/>

*6 e-Estonia guide

<https://e-estonia.com/wp-content/uploads/eestonia-guide-2018.pdf>

*7 Elering AS/WePower プレスリリース

<https://pr.blonde20.com/wepower-elering/>

*8 E-estonia

<https://e-estonia.com/e-estonia-state-of-the-future/>

*9 E-estonia

<https://e-estonia.com/were-planning-launch-estcoin-only-start/>

*10 ツールボックス・エストニアより

<https://toolbox.estonia.ee/media/1651>

〈図表3 エストニア政府によるICT事業の取り組み〉

年	主な取組
2000年	e-Tax（インターネットでの納税申告）が開始 m-Parking（携帯電話を通じた駐車システム）が開始
2001年	電子住民登録が開始 X-Road（各省庁を連携させるデータ交換基盤）が開始
2002年	e-School（オンライン化された学校教育支援管理システム）が開始 IDカード発行 電子署名を導入
2003年	IDバス乗車券を導入（乗車券と国民IDを連携） 電子不動産登記を開始
2004年	教育情報システムを統合
2005年	i-Voting（電子投票）を開始
2007年	Mobile-ID（携帯電話を電子IDとして利用できる仕組み）が開始 e-Police（警察が保有するモバイル端末と国民データベースの連携）が開始
2008年	e-Health（健康情報と国民IDの連携）開始
2010年	e-Prescription（処方箋情報と国民IDの連携）開始
2011年	スマートグリッド運用開始
2012年	電気自動車充電ネットワークを構築
2013年	X-Road Europe（各省庁を連携させるデータ交換基盤を欧州諸国と連携）が開始
2014年	Data Embassy（政府情報をルクセンブルグのデータセンターに保存）の試験運用が開始 e-Residency（エストニアの非居住者を電子国民化）が開始
2015年	e-Receipt（領収書や保証書などを管理するポータルサイト）が開始
2017年	法改正により銀行口座のオンライン開設を可能に データ流通の自動化により、起業家の申告手続きを簡素化する取組が開始 自動運転の実証実験を合法化

（出典） e-Estonia guide

4 日本との関係

2018年1月、安倍総理大臣がエストニアを訪問し、ラタス首相と首脳会談を行った。その場で両首脳は、サイバー分野での両国の協力を進めていくことで一致した。5月にはウルヴェ・パロ起業・情報技術大臣が来日し、野田総務大臣及び小林総務大臣政務官と会談を行った。本会談では、日・エストニア間のICT・サイバー分野での協力や、両国の電子政府に関する取組みについて意見交換が行われた。

〈図表4 野田総務大臣、小林大臣政務官とパロ起業・情報技術大臣〉

