

「次世代人工知能推進戦略」

情報通信審議会 情報通信技術分科会
技術戦略委員会 第2次中間報告書(案)別冊2
第4章 分野別の推進方策
第2節 次世代人工知能分野の推進方策

目次

I 我が国が抱える社会的課題と人工知能への期待	1
I-1 社会課題を解決する人工知能	1
I-2 産業構造の変革をもたらす人工知能	6
II 人工知能の研究開発等の動向	9
II-1 人工知能の発展の経緯	9
II-2 海外における人工知能技術に関する取組	12
(1) 米国の状況	12
(2) 欧州の状況	23
(3) 韓国の状況	28
(4) 中国の状況	30
II-3 我が国における人工知能技術に関する取組	31
(1) 総務省の人工知能研究及び脳科学研究の取組	32
(2) 文部科学省の人工知能研究の取組	41
(3) 経済産業省の人工知能研究の取組	44
(4) 3省連携による次世代人工知能研究の取組	49
(5) 内閣府革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）の取組	50
(6) 我が国の企業の取組	51
III 人工知能が実現する社会	55
III-1 人工知能技術の発展の方向性	55
III-2 人工知能技術の利活用イメージ	55
(1) 医療・ヘルスケア分野	57
(2) 教育分野	59
(3) 防災分野	62
(4) 生活支援分野	64
(5) ビジネス分野	66
(6) コミュニケーション支援分野	68
(7) 介護・福祉分野	69
(8) 農林水産分野	70
IV 人工知能の発展のための推進方策	72
IV-1 人工知能の発展に向けた諸課題	72
IV-2 国や研究機関が取り組むべき研究課題と推進方策	82
(1) 人工知能に関する研究開発	82
(2) 脳科学の知見を取り入れた人工知能の飛躍的な発展	96
(3) 次世代人工知能技術の研究開発ロードマップ	101

(4) データ確保・データ流通の円滑化	105
(5) 人材の確保	107
(6) 人工知能技術の社会展開の推進	108
V まとめ	110

I 我が国が抱える社会的課題と人工知能への期待

I-1 社会課題を解決する人工知能

我が国は現在、少子高齢化による本格的な超高齢化社会の到来とそれに伴う労働力不足、地震や洪水等の自然災害等、深刻な社会的課題に直面している。

我が国の人口推移を見ると、2008年をピークに2010年の1億2,806万人に対し、2030年には1億1,662万人、2045年には1億2,211万人になると推計されており、少子高齢化に伴い人口減少が着々と進みつつある。さらにその内訳を2010年と2030年で比較すると、65歳以上人口は22.8%から31.6%へと増加をみせるのに対し、労働力人口（15歳～64歳とする）は63.3%から58.1%へと減少すると予測されており、これは人数で見ると20年で約1,330万人もの減少を意味する。

このまま少子高齢化が進めば、間もなく我が国では高齢者の医療・生活支援等のニーズが爆発的に増大し、同時に深刻な労働力不足に陥ることとなる。その結果、社会経済活動が停滞・後退し、国民生活に重大な支障を及ぼす恐れがある。

このため、将来にわたって国民が豊かな生活を送ることができるように、今まさに国を挙げて早急に対策を講じることが求められている。

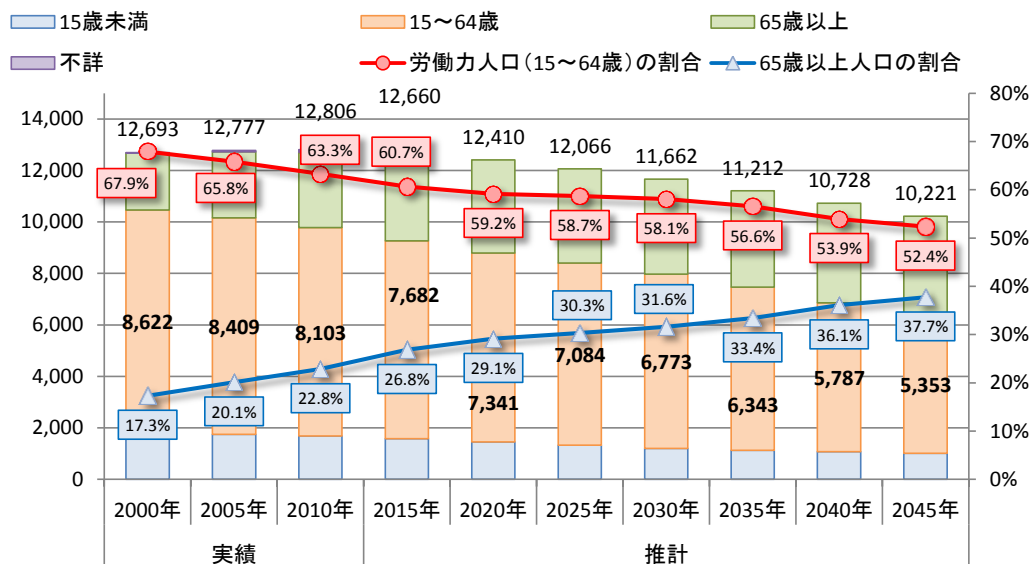


図 I-1 我が国の人口構成の推移

出典：総務省「国勢調査」及び国立社会保障・人口問題研究所「将来推計人口」

に基づき、三菱総合研究所作成

一方、昨今、人間の活動を強力に支援したり、人間の能力を代替する技術として人工知能技術が注目を集めており、研究開発や社会実装に向けた取組が世界各国で急速に進展している。

米国では、2013年、オバマ大統領により、**BRAIN Initiative**として、脳における情報処理機構の解明及び次世代の科学技術開発を目指すプロジェクトが発表された。国立衛生研究所（NIH）、国防高等研究計画局（DARPA）、全米科学財団（NSF）の3機関の主導のもと、2014年度に約1億ドル、2015年度に約2億ドルの政府予算を割り当てている。

また、欧州では、**Horizon2020**の中で2016-2017年予算160億ユーロのうちIoT関連公募に1億3900万ユーロを配分することが発表された。2013年にEU FETのフラグシッププログラムのひとつとして採択された**Human Brain Project**では、脳の情報処理機構を応用した高度な情報処理技術の確立を目指し、10ヶ年で予算総額11.9億ユーロが投入される予定となっている。

世界の大手ICT企業においてもグーグル、フェイスブック、バイドゥ等が人工知能に関連する研究組織の設立や著名な研究者の採用、さらにはベンチャー企業の買収などにより人材確保に力を入れている。

また、人工知能の社会実装も進みつつある。例えばアップルやグーグルが提供するパーソナルエージェントサービスは、スマートフォン等に組み込まれ、世界中に急速に普及しつつある。自動運転に関する技術開発も、グローバルICT企業や自動車メーカー等によって加速度的に進められている。例えば、前方車両との衝突防止機能や高速道路のレーンキープ機能などの運転者を支援する機能が既に実用化されているほか、グーグルの自動走行車が走行距離190万kmに達するなど（2015年11月時点）、商用化に向けた動きが急速に展開しつつある。このような動きを受け、各国政府による研究開発の支援や法制度を含めた環境整備も進んでいる状況にある。

このように人工知能技術への注目が高まり、各国がその開発に向けて力を入れる中で、我が国においては、世界に先駆けて直面する社会的課題の解決のために、人工知能技術を最大限活用していくとともに、我が国の産業の国際競争力を確保するため、高度な人工知能技術の研究開発に向けて早急に戦略を立案し、行動することが求められている。

図 1-2 に、人工知能の活用が期待される具体的なシーンの例を示す。多様かつ大量のデータをリアルタイムに処理するための高度な情報通信技術を基盤として、人工知能の活用が期待される分野は多岐にわたる。

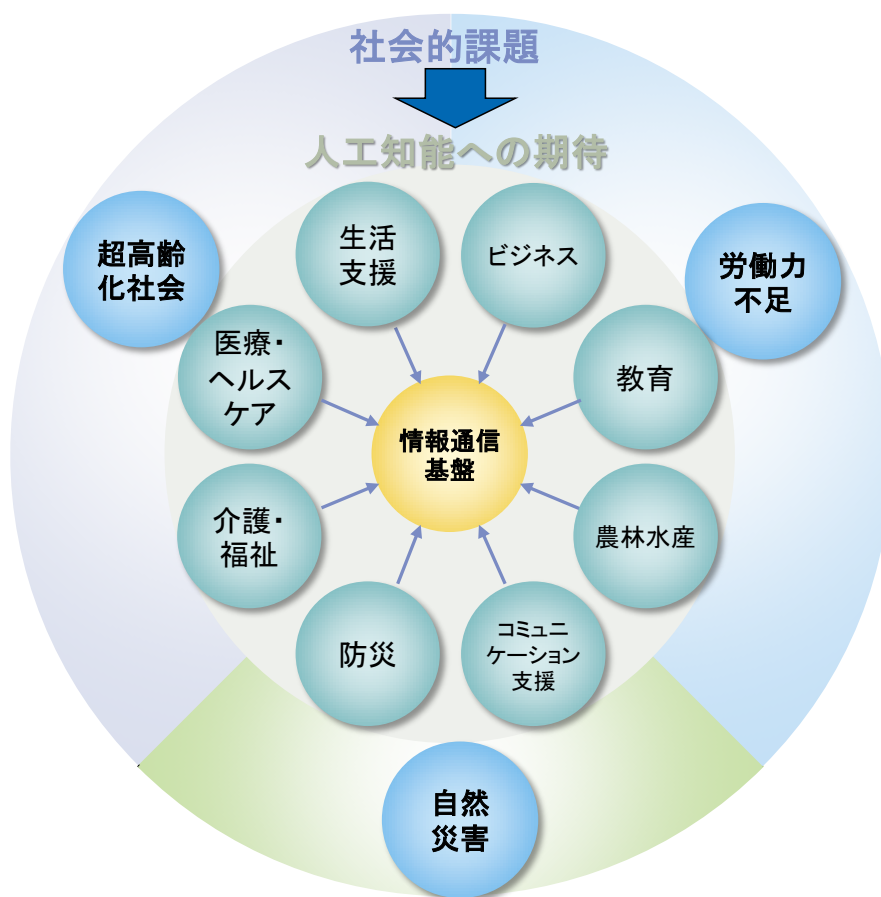


図 1-2 社会的課題と人工知能への期待

例えば、医療分野では、医療機器や診断装置等の技術は高度化しつつあるが、地方における医師不足や全国的な介護人材不足が深刻化している。一方で、医療機関における ICT 利活用の取組が進められており、例えば、電子カルテシステムの整備率は、一般病院全体で 2005 年には 7.4%であったのに対して 2014 年には 34.2%となり、中でも病床数 400 床以上では 77.5%に達するなど¹、医療情報活用のための基盤が広く普及しつつある。これらの環境を生かし、医療情報を有効に活用することによる個人に適した医療提供、健康づくりの実現に加え、今後はさらに最先端の医療技術を誰もがどこにいても受けられる環境や、介護の負担を軽減する仕組みづくりが求められている。

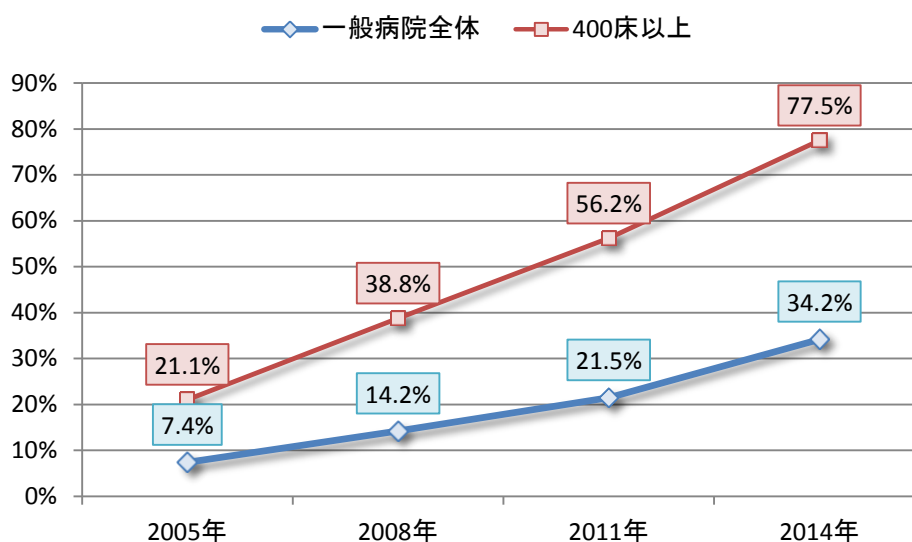


図 I-3 電子カルテシステムの普及状況

出典：厚生省「医療施設調査」に基づき三菱総合研究所作成

労働力不足への対策としては、企業における業務効率の改善や、仕事をしながら家事や介護、子育てを行えるようにするなど、多様なライフスタイルに対応する社会制度整備が必要とされている。また、制度面だけではなく、各個人の日常生活をサポートする技術に対するニーズが多様化・顕在化している。加えて、労働力不足の状況下では、技術力の底上げやより高度な技能を有する人材の育成にも力を入れなければならない。そのために教育現場における、個人個人の適性を見極めた質の高い教育の在り方についても検討が進められている。

さらに、我が国は地震をはじめとした様々な災害の影響を受けやすく、今後も

¹ 厚生労働省「平成 26 年医療施設調査」

南海トラフ等の大規模自然災害の可能性が指摘されている。災害に強い社会を実現するためには、災害時の状況をマクロ及びミクロの視点からリアルタイムで正確に把握し、適切な対応を実行するための情報通信インフラをはじめとした強じんな社会基盤が必要とされている。

加えて、近年、我が国を訪れる訪日観光客は増加を続け、**2015**年度は前年度比**45.6%**増の**2135万9000人**と、初めて**2000万人**を超え²、我が国経済においてもその影響は重要視されている。**2020**年の東京オリンピック・パラリンピック競技大会に向け、外国人観光客は今後も増加すると見込まれる中で、コミュニケーションの壁をなくし、多様な文化を受け入れる体制を整備することが求められている。外国人との円滑なコミュニケーションは、外国人観光客が滞在しやすい環境づくりのためにも、また我が国の産業の発展のためにも重要な課題となっている。

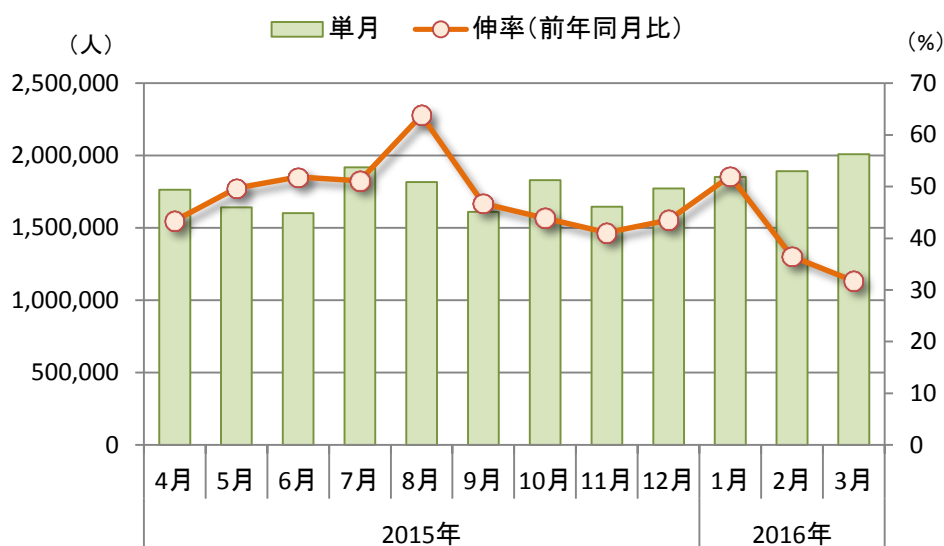


図 I-4 訪日外客数推移

出典：日本政府観光局（JNTO）公表データに基づき作成

このように多くの社会的課題を抱える我が国において、人工知能技術は課題解決の鍵を握る技術として大きな期待が寄せられている。例えば単純労働や、日常生活のルーチンワークとなっている部分を人工知能技術で代替することにより、貴重な労働力を新たなアイデアの創造や技術開発など付加価値の高い業務に活かすことができる。

² 日本政府観光局発表（2016年4月20日）

さらに、課題解決の手段となるだけでなく、例えば人の心に寄り添う多様なコミュニケーションを実現すること等により、新たな発見や感動、精神的な安らぎをもたらすとともに、人間の創造性を豊かにするという観点からも大いに期待されている。

1-2 産業構造の変革をもたらす人工知能

社会的課題である労働人口の減少などを技術で解決できる可能性がある一方で、人工知能、ビッグデータなどの技術革新が既存の産業構造、各社の事業構造、さらには消費者の行動や意識に大きな変化をもたらしつつあることにも目を向けなければならない。

例えば、自動車産業では完成車メーカーが生み出すハードウェアである自動車そのものに大きな価値があり、消費者が保有することを前提とした産業構造になっている。

ところが今、そこに変化が起きつつある。モビリティという観点から、安全かつ快適に移動できることが自動車の価値であり、それを実現する自動車に組み込まれた各種デバイスや、それらを制御するためのソフトウェアやアプリケーションに大きな付加価値があることが認識されつつある。図 1-5 は自動車を構成する要素別にコストの割合を示したものであり、実際、2004 年にはハードウェアである機械部品が製造コストの大部分 (81%) を占めていたのに対して、2015 年には電子部品やソフトウェアのコストが 40%を占めるようになっており、ソフトウェアの開発の比重が高くなっている。このようにハードウェアの開発や提供が中心である自動車産業においても産業のソフトウェア化が急速に進んでいる。

こうした状況下で昨今は、ハードウェアを開発、提供する自動車メーカーよりもむしろ、自動車に搭載するアプリケーションを生み出す企業等に注目が集まりつつある。特に、人工知能技術を使った運転者支援や自動運転をはじめ、センサ情報を用いたビッグデータ技術を活用するアプリケーション、利便性と低コストを実現するシェアリングビジネスなどを提供する新興企業が競い合っており、大きく注目されている状況にある。

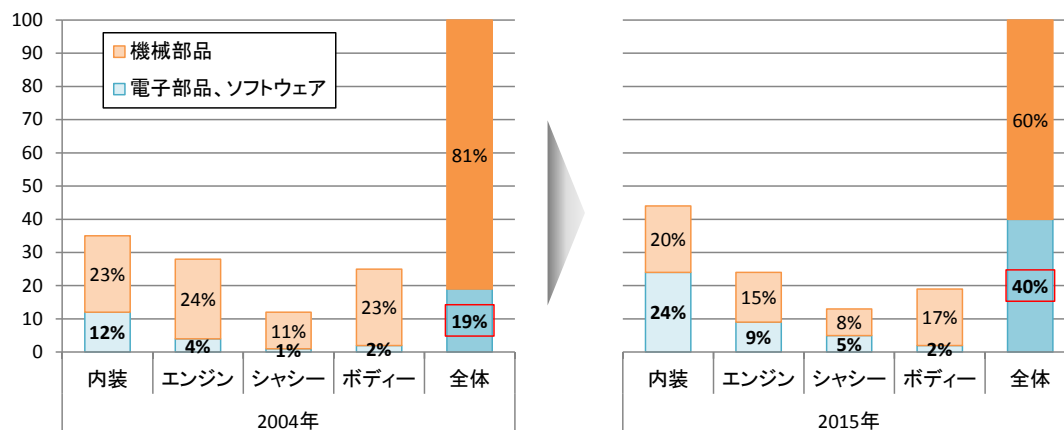


図 I-5 産業のソフトウェア化の例（自動車部品）

出典：McKinsey “Managing innovations on the road”に基づき三菱総合研究所作成

こうした事業環境の変化は、人々の価値観の変容にも大きく影響している。付加価値の高いハードウェアを保有する必要がなく、誰かが保有する資産を有効に活用し、必要とするサービスを利用したい時に必要なだけ利用できるような仕組みであるシェアリングエコノミーが拡大している。

このような中、各産業においては、優れた技術や使い勝手のいい便利なサービスを提供することによって、多数の利用者を集めることで、プラットフォームを構築することが重要になってきている。プラットフォームを利用するアプリケーションを多く集めるほど、プラットフォームとしての地位が強固なものとなり、エコシステムが確立されることになる。このようになれば、エコシステムの基盤となるプラットフォームには、ユーザーに関するデータが日々蓄積され、人工知能技術によりそのデータからさらに大きな価値が創出されるという好循環が生まれることとなる。

また、従来の垂直統合型のビジネスは、今後水平分業化が進み、各機能に特化した事業者の組合せにより実現するようになる。例えば、データ解析をまとめて担う事業者や機械学習の機能を提供するクラウドサービス等が出現してきており、アプリケーションに必要な機能を提供するプラットフォームを形成するようになってきている。そして、そのプラットフォームに組み込まれる主要技術である人工知能技術を、いかに低コスト、高性能、高品質に提供できるかが重要になってくる。

そのため、誰よりも早く、付加価値の高いサービスを創出することが重要であり、大手 ICT 企業をはじめ、ベンチャー企業など多くの企業が、鍵を握る人工知能技術に多額の投資を行い、開発に全力を挙げて取り組んでいる。

このように人工知能技術の現実社会での利活用に向けて様々な動きが活発化し、産業構造が大きく変わりゆく中で、人工知能技術の分野で世界に遅れを取るといことは、今後我が国の産業が世界に互していく、あるいは台頭するための「足がかり」を失うということの意味する。

急速な少子高齢化に伴う様々な社会的課題に他国よりいち早く直面する、いわば「社会的課題先進国」である我が国が、最先端の人工知能技術を早急に確立し、それを活用した新たなサービスを世界に先駆けて創り出し、国内での課題解決につなげるとともに、その実績を世界市場にどの国よりも早く展開することが、我が国の国民はもちろん、世界中の人々の豊かな生活と、将来にわたる我が国の産業の発展を実現する上で絶対的に必要な条件となるものであり、我が国の国民が総力を挙げて取り組むべき喫緊の命題である。

II 人工知能の研究開発等の動向

II-1 人工知能の発展の経緯

人工知能の概念は、1947年、Lecture to London Mathematical Society（ロンドン数学学会における講演）においてアラン・チューリングが提唱したとされており、その後1956年のThe Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence（「人工知能に関するダートマス夏の夏期研究会」、いわゆる「ダートマス会議」）において、初めて「人工知能」という言葉が用いられた³。

その後、1960年代に入って人工知能の研究開発が行われるようになった。この頃がいわゆる人工知能の第一次ブームと呼ばれている。この時期には、ニューラルネットワーク研究の源となった、McCulloch と Pitts の論理ニューロンモデル、Rosenblatt によるパーセプトロン、記号処理的人工知能の源となった、McCarthy によるプログラミング言語 LISP、Simon と Newell による一般問題解決器（general problem solver）、幾何学の定理証明システム、スタンフォード大学が開発した自律移動ロボット SHAKEY、Winograd による自然言語対話システム SHLDLU など、様々な問題に対する興味深い成果が生まれ人工知能技術の基礎が作られた。しかしながら、当初の楽観的な見方に反して、人工知能のシステムが人間並みの能力に達することはなく、実社会で利用されるレベルにも至らなかったことから失望が生じてブームは去った。

³ 人工知能学会ウェブサイト <https://www.ai-gakkai.or.jp/whatsai/Alttopics5.html> より

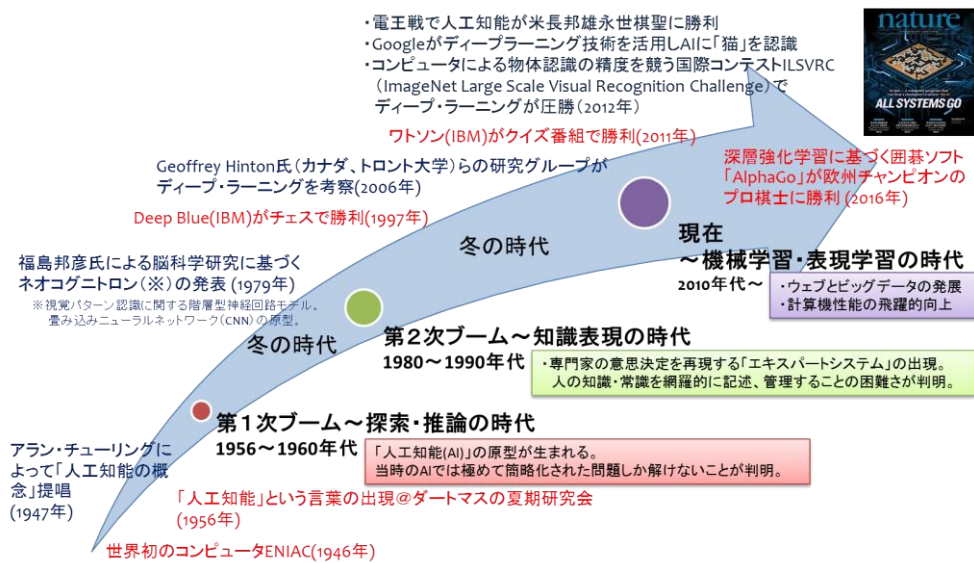


図 II-1 人工知能の進化と研究開発の変遷

出典：「人工知能の未来 - ディープラーニングの先にあるもの」(東京大学 松尾豊氏)講演資料と、「人工知能が拓く新たな情報社会」(NTT データ経営研究所 神田武氏)資料を基に作成

第二次ブームは 1980 年頃～1990 年頃と言われている。この時期に、記号処理、知識处理的な人工知能の分野では、プロダクション・システムなどに基づき、専門家の知識をコンピュータに入力して、推論を行わせることで専門家の意思決定を再現する「エキスパート・システム」としての人工知能研究が発展し、医療診断等への活用が始まった。

日本における「第五世代コンピュータ」の研究開発も世界の人工知能研究に大きな影響を与えて研究を活性化した。

しかしながら、当時の方法では必要な知識をすべて人間がコンピュータに入力しなければならず、専門家の知識をすべて書き下すことは大変困難であった。また、苦勞して知識ベースを構築しても想定外の事態には対応できないという限界も明らかとなり、実社会で広く利用されるまでには至らなかったことから、再びブームが去ることになった。

これと並行して、人間の脳を模倣したニューラルネットワークの分野でも、カリフォルニア大学サンディエゴ校の Rumelhart を中心とするグループ(深層学習の提唱者となる Hinton も含まれていた)が、ニューラルネットワークによって人間の情報処理をモデル化するコネクショニズムを提唱し、その中で多層のパーセプトロンを学習させる技術である誤差逆伝播学習法を提案した。誤差逆伝播学習法は、問題解決に適した中間表現をデータから学習することを可能にしたことから、様々な問題に階層的なニューラルネットワークが適用されるようになった。

日本でも、それより早く 1979 年に福島邦彦氏が、脳科学研究の成果に基

づき、現在の深層学習でよく用いられている「畳み込みニューラルネットワーク」の原型となる「ネオコグニトロン」を発表して、手書き数字の認識等を行っている。また、甘利俊一氏は多層パーセプトロンの学習則を1967年に理論化し、翌年には世界初の中間層の学習シミュレーションを行っていた。

しかしながら、誤差逆伝播学習法には局所収束という課題があり、また、層の数が多いニューラルネットワークを学習させることは困難であった。パターン認識の分野で、画像や音声などそれぞれの分野の研究者が工夫した特徴量を用いた認識システムの能力を明確に超えることはなく、1990年代に入ってから、Vapnikらが提唱したサポートベクトルマシンが、様々なパターン認識課題においてニューラルネットワークの性能を凌駕したこともあって、ニューラルネットワークの工学的応用研究も下火になった。

この頃、我が国では国際電気通信基礎研究所（ATR、1986年設立）をはじめとした研究機関において、ニューラルネットワークの研究が盛んに行われた。海外からも多くの研究者が日本に招聘され、研究開発が集中的に行われたことにより、我が国がニューラルネットワーク関係の研究開発を世界的に牽引してきた。当時日本にいた海外の研究者は、計算論的神経科学やマシンインテリジェンスなどで、現在も各企業、大学の一線級として活躍をしている。

また、この時期は、ネオコグニトロンも含めた今日の深層学習に繋がる研究や、現在の機械翻訳にも活用されている時間遅れニューラルネットワーク⁴、脳の原理に基づく学習ロボットやロボットの階層強化学習⁵に関する研究、機械学習の汎化の研究、脳情報デコーディングなど、今日でも通用する研究開発が行われていた。

そして現在、計算機の発展やインターネットの普及等により、人工知能が高度化し、大きな注目と期待を集めている。具体的には、1997年にチェス専用マシンが世界チャンピオンに勝利したことや、深層学習（ディープラーニング）と呼ばれるニューラルネットワークの進化したモデルが画像認識において高い能力を見せ始めたこと、また、2011年にIBMの質問応答システムWatsonがテレビのクイズ番組「Jeopardy!」に参加し、同番組の記録保持者2名に勝利したことなど、複数の出来事が発端となっている。

2016年3月にはグーグルの傘下の企業が開発した囲碁の人工知能「アルファ

⁴ TDNN(Time Delayed Neural Network)

⁵ 複数の学習器を階層構造にして、下位の階層で細かい部分を学習してから全体を統合していく強化学習の方法 <http://www.me.cs.scitec.kobe-u.ac.jp/~takigu/pdf/2010/1007SP.pdf> 等参照

ア碁」が、世界最強の棋士に勝利したというニュースが世界中で大きく報道された。

人工知能ビジネスは、今後、現在の 3.7 兆円から 2030 年には 87 兆円に成長するという予測もされており、運輸、卸売小売、製造分野が、そしてさらに将来的には農業や医療福祉などの分野でも人工知能の活用が進むと考えられている。

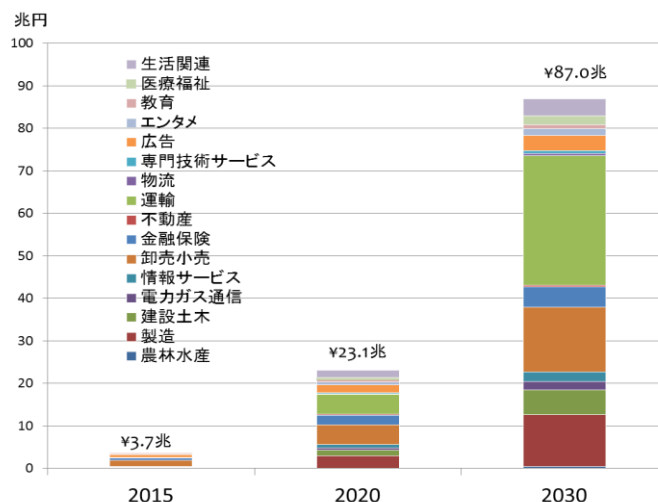


図 II-2 人工知能関連産業国内市場予測 (EY 総合研究所 2015 年)

II-2 海外における人工知能技術に関する取組

(1) 米国の状況

① 人工知能研究に関する国家プロジェクト

米国における取組は、国防高等研究計画局 (DARPA) が大きな役割を果たし、「DARPA グランドチャレンジ (2004 年～2007 年)」ではロボットカーなどのプログラムが実施された。

また、中国やインドをはじめとする新興国の急速な経済発展等により国際競争が激化する中、国際競争力の確保を背景に、2007 年 8 月に米国競争力法 (The America COMPETES Act) が成立した。それは、研究開発によるイノベーション創出の推進や人材育成への投資促進、及びこれらのための政府予算の大幅増加を一体的に実現するためのものであった。直接的な人工知能プロジェクトへの関係性は必ずしも大きいとは言えないが、オバマ政権における科学技術イノベーションに関するロボットやコネクテッド・カーなどの人工知能に関連する研究開発プロジェクトにおいて、イノベーションの推進や

人材育成への投資推進の基本政策として位置づけられるものである。

そして2009年9月、基本政策として「米国競争力イノベーション戦略」が発表され、その後、2012年3月には「ビッグデータ研究開発イニシアティブ (Big Data Research and Development Initiative)」の発表により、ビッグデータの活用に向けて2億ドル以上の研究開発投資が行われることとなった。

その応用分野の研究開発としては、自動走行システムや自然言語、画像関連技術、ロボットなどへの適用に向けた研究開発が行われている。

1) DARPA グランドチャレンジ／アーバンチャレンジ／ロボティクスチャレンジ

DARPAによる複数チーム参加型の競技会であり、自動車の自動運転を目指したグランドチャレンジ(2004年、2005年)及びアーバンチャレンジ(2007年)と、災害用ロボットの実現を目指したロボティクスチャレンジ(2015年)がこれまでに開催されている。このうち、グランドチャレンジ、アーバンチャレンジは、その後の欧米企業による自動運転車の開発を加速する役割を果たしてきている。

また、ロボティクスチャレンジには日本からは4チームが参戦し、産業技術総合研究所と新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の共同チームが10位に入賞したのが最高であった。

2) 国家ロボティクス・イニシアティブ

2011年6月にオバマ大統領により、ロボティクス関連の新技术開発・商用化の積極的な支援のために提唱された。

4つの政府機関(全米科学財団(NSF)、国立衛生研究所(NIH)、航空宇宙局(NASA)及び農務省(USDA))による次世代ロボット開発支援への予算措置を(2011年7,000万ドル(約77億円)、2012年4,000万ドル(約44億円)、2013年約3,800万ドル(約42億円))実施した。

3) ビッグデータ研究開発イニシアティブ

2012年3月に科学技術政策局(OSTP)により「ビッグデータ研究開発イニシアティブ」が発表された。

同イニシアティブでは、①巨大な量のデータの収集、保存、運用、分析、共有に必要な中核技術の進歩、②科学技術分野での発見速度の加速や、国家安全保障の強化、教育・学習の変化への当該技術の活用、③ビッグデータ技術の発展・活用に必要な労働人口の拡大を目指すとしている。

この中では新規に5年間で2億米ドル以上の予算が投入され、6つの政府

機関（国立科学財団（NSF）、国立衛生研究所（NIH）、国防総省（DoD）、国防高等研究計画局（DARPA）、エネルギー省（DOE）、米国地質調査所（USGS））が、ビッグデータを取り扱うためのツールや技術の向上に向けた研究開発を行うことが示されている。こうした研究開発が現在の人工知能の技術的な発展の基盤の一つとなっているものと考えられる。

さらにこの中には、DARPA はデータ解析ツール開発プログラム（XDATA プログラム）に年間約 2,500 万ドルを4年間に渡り投じること、そして、エネルギー省は 2,500 万ドルをかけて新たな研究機関（SDAV）を設立することなどが盛り込まれており、米国政府では、民間企業等に対し、同イニシアティブへの参加を広く呼びかけて取り組んでいる。

4) SyNAPSE プロジェクト

DARPA による生物の神経回路網を工学的にチップ上に再現しようとするプロジェクトであり、2008 年から開始され、2013 年までの6年間で、研究開発費は約1億ドル（約110億円）が投入された。その中で、IBM を中心とするグループと、HRL Laboratories 社を中心とするグループの二つのグループに対して、DARPA から助成が行われている。助成額は IBM グループに対して累計 3,710 万ドル（約40億円）、HRL Laboratories 社グループに対して 2,860 万ドル（約31億円）⁶となっている。

IBM は同プロジェクトから生み出されたものとして、Neurosynaptic Chip の概要を公表しており⁷、ニューロンの数が 100 万個、シナプス数が 2 億 5,600 万個、消費電力 70 ミリワットというスペックが明らかになっている。画像認識等のタスクに対しては、従来型のノイマン型コンピュータに比べて高い性能と、極めて低い消費電力を実現している。他方で、複雑なアルゴリズムの実装には向いていないとする分析もある⁸。

5) Big Mechanism プログラム

Big Mechanism プログラムは、DARPA によって行われている、研究の要約と論文を読みこみ、原因メカニズムの要素を抽出し、そのデータを使ってより完全な因果モデルと裏付けデータを作成する、データ管理技術の開発を目指す研究である。予算規模は 4,500 万ドルで、2014 年から3年半の

⁶ DARPA SyNAPSE Program : <http://www.artificialbrains.com/darpa-synapse-program> より推計

⁷ IBM Research : Brain Power

<http://research.ibm.com/cognitive-computing/neurosynaptic-chips.shtml#fbid=7k0vzLhCwYo>

⁸ <http://www.slideshare.net/Funk98/neurosynaptic-chips> スライド P26 より

プロジェクトである。

加えて、最近の動向として、**2015年10月**に改訂された「米国競争力イノベーション戦略**2015**」の戦略的イニシアティブにおいて、質の高い雇用の創出及び持続的な経済成長が掲げられている。その方向性としては、「先進的製造による米国の競争力の強化」、「未来の産業への投資」などがあり、研究イニシアティブや優先的課題の例として、以下のものが挙げられている。

- 国家ロボティクスイニシアティブ：協調ロボットの開発と利用の加速化
- ビッグデータ研究開発イニシアティブの推進：
大量、異種のデータセットから洞察を抽出するように改善していくこと。
国立衛生研究所（NIH）は、ゲノム配列、電子カルテ、画像診断、ウェアラブルセンサーといった複数のソースからデータセットを統合することを追求している。
- サイバーフィジカルシステム（CPS）への投資

また、同イノベーション戦略の国家的優先課題に対するブレイクスルーの促進においては、先進自動車による交通事故死亡率の削減を掲げており、自動走行技術の研究開発費が**2016年**予算案では約**2倍**に増加する見込みとなっている。

② 民間企業による取組

大手 ICT 企業である IBM、グーグル、マイクロソフト、フェイスブックをはじめ、民間企業によるディープラーニング等に関する取組が活発化している。そして、最近では、人工知能クラウド及び API 提供の取組も各社が競うように開始しているほか、スタートアップ企業の買収・提携等、そしてオープン化の動きなどが活発化しており、サービス開発の競争が激化しつつある。

1) IBM

IBM の人工知能の取組は、長い歴史があり、**1945年**に Watson 研究所を設立し、音声認識技術や機械翻訳技術に取組んできた。そして、Watson の開発にあたっては、IBM とカーネギーメロン大学が自動質問応答に関する共同研究を加速させるための基本的な構造、方法論を提供することを目的に、**OAQA** イニシアチブを立ち上げ（**2008年**）、Watson の基礎となる **QA** 機能について、MIT がオンライン自然言語 **QA** システムの開発を行うなど、**8つの**大学と共同開発が行われ、**2011年**には、Watson はクイズ番組「Jeopardy!」で優勝するに至っている。

Watson の活用については、東京大学医科学研究所が有するスーパーコンピュータ「Shirokane3」と、クラウド基盤で稼働する「Watson Genomic Analytics」が連携して、ビッグデータ解析基盤を構成し、がん細胞ゲノムに存在する遺伝子変異情報に基づいたゲノム医療や個別化医療の研究が行われている。

IBM は、医療分野における事業拡大に向けて、クラウドによるヘルスケア情報の提供や分析を行う企業 Truven Health Analytics を 26 億ドルで買収（2016 年 4 月）している。

2) グーグル

豊富な資金力を活かし、人工知能分野の研究者の確保やスタートアップ企業等の買収を通して、強化を図っている。詳細は触れないが、ディープラーニングの世界的な権威である Geoffrey Hinton 氏を研究チームに加え、囲碁ソフト「AlphaGo」を開発した DeepMind 社の買収（2014 年 1 月）、Movidius 社（米）との提携（2016 年 1 月）により、次世代モバイル端末にディープラーニングを組み込み、machine intelligence の開発を加速化している⁹。

そして、ニューラルネットワークのオープンソース「TensorFlow」による展開など、戦略的なオープン化の動きも注目される。

また、ニューラル ネットワークをベースとする機械学習プラットフォームとして、Cloud Machine Learning を提供開始（2016 年 3 月）している。その他 API として、Cloud Speech API、Translate API、Vision API、Cloud Speech API がある。さらに 2015 年の半ば頃には、「RankBrain」と呼ばれる人工知能が検索エンジンのアルゴリズムとして導入されている。

3) マイクロソフト

ディープラーニングに関する研究としては、クラウドベースの機械学習による予測分析を行う「Azure Machine Learning」がプレビューとしてリリース（2014 年 7 月）され、その後一般提供を開始（2015 年 2 月）している。現在は、その「Azure Machine Learning」と、グローバルで展開している Bing 検索エンジンで培ったディープラーニング技術を組み合わせた人工知能会話ボット「りんな」が提供されている。

また、Twitter 上に公開されたチャットボット「Tay」は、意図しない攻撃により、不適切な発言を繰り返し、公開後 24 時間で停止に至った。マイク

⁹ <http://www.movidius.com/news/google-and-movidius-to-enhance-deep-learning-capabilities-in-next-gen-devic>

ロソフトは 18 歳～24 歳の若者を対象とし、エンターテインメントを目的として「Tay」を提供したが、人工知能が情報の良し悪しの区別なく学習してしまうことが露呈したケースとなった。

その他、主な研究プロジェクトとしては、Cortana のような音声認識に関する「DeepCU: Deep Learning for Conversational Understanding」や人気ゲームである Minecraft によって強化学習がされる「Project Malmo」、そして音声・視覚モデリングによる双方向の LSTM 技術による「Photo-Real Talking Head with Deep Bidirectional LSTM」などがある。NIPS（2015 年 11 月）へ出された論文においては、自然言語処理の Latent Dirichlet Allocation (LDA) モデルが紹介されている。

また、ディープラーニングのオープンソースのツールキットとして、GitHub 上に Computational Network Toolkit (CNTK) が公開されている（2016 年 1 月）。

さらに応用展開としては、トヨタ自動車と共同で新会社「Toyota Connected, Inc.」を米国に設立（2016 年 4 月）し、車両から得られる情報集約、ビッグデータの活用や人工知能技術との連携に向けた取組みを始めている。それから災害対策の取組として、洪水による被害を避けるために、過去のデータを収集し、機械学習による洪水予測を行う研究が行われている¹⁰。

また、ビッグデータ解析・インテリジェントプラットフォームとして、Cortana Intelligence Suite、その他 API として、音声、画像、感情認識などの Cognitive Services を提供開始している（2016 年 3 月）。

4) フェイスブック

2013 年 9 月に Facebook AI Research (FAIR) を設立し、Yann LeCun 氏（New York 大学教授）が所長に就任（同年 12 月）している。ディープラーニングのオープンソースフレームワーク「Torch」のためのモジュールの公開やディープラーニング解析用のハードウェア「Big Sur」の設計をオープンソース化している。

人工知能研究拠点をパリに設立（2015 年 6 月）し、2016 年 2 月には「Facebook AI Research Partnership Program」を発表し、EU の研究施設へ GPU ベースのサーバーを提供している。

¹⁰ 出所：Microsoft Research Blog；

https://blogs.msdn.microsoft.com/msr_er/2016/05/05/preventing-flood-disasters-with-cortana-intelligence-suite-2/

また、ディープラーニングによる顔認識技術「DeepFace」が公開（2014年3月）され、Messenger 上における会話形式の人工知能パーソナルアシスタント「M」が発表（2015年8月）されている。

5) Salesforce.com

ディープラーニング技術のスタートアップ企業 MetaMind 社（米）を買収した（2016年4月）。MetaMind のディープラーニング技術を Salesforce のサービスへ組み込み、それにより顧客サポートのパーソナライズ化やマーケティングの自動化、その他ビジネスプロセスに活かそうとしている¹¹。

6) アマゾン

機械学習モデルを構築し、予測を生成するためのマネージド型サービスとして、Amazon Machine Learning を提供開始した（2015年4月）。人工知能技術関連としては、音声認識、Echo、Mechanical Turk 、そしてレコメンデーションを行うためにはニューラルネットワークが必要ということから、マルチ GPU スケールや大規模レイヤ、Sparse Data を特長とするオープンソース「DSSTNE」を公開している。

7) アップル

アップルは相次いで音声認識技術のスタートアップ企業を買収している。Siri 社を買収し、発話解析・音声認識アシスタントアプリ「Siri」を開発・実用化（2010年4月）したほか、音声認識技術の VocallQ（英）、Perceptio（米）を買収（2015年10月）、さらにディープラーニング技術を利用した表情認識技術の Emotient（米）を買収（2016年1月）している。

8) Enlitic

Enlitic は、ディープラーニングによる画像認識技術で、X線やCTスキャンなど、医療画像データを取扱い、癌などの検出システムを提供している企業である。同社の技術による肺がん検出の精度は、熟練の放射線医師1人が検出する精度より、50%以上も上回るとされている。

9) SkyMind

SkyMind は、金融の不正検出や E コマースのレコメンド機能や顧客関係

¹¹ <https://www.metamind.io/salesforce-acquisition>

管理（CRM）などにおいて、ディープラーニングによるオープンソース「DeepLearning4j (dl4j)」を提供する企業である。

1 0) Tera Deep

Tera Deep は、携帯機器向けのディープラーニング用アクセラレーターを製品化したパイオニアとして有名な、米国のスタートアップ企業である。ニューラルネットワーク（CNN,RNN 等）を実装したプロセッサを開発している。

③ 大学による取組

1) スタンフォード大学¹²

スタンフォード人工知能研究所（SAIL）1962 年が設立された。自動運転プロジェクトにおいて、Toyota Center for AI Research と人工知能に関する研究で連携（2015 年 9 月）しており、ディープラーニングによる車線レーンや周辺の自動車の位置を画像処理する研究に取り組んでいる。また、同研究所ラボの Affiliates Program にパナソニックが参加している。

2) 米カリフォルニア大学バークレー校（UC バークレー）

ビッグデータ処理ソフト「Spark」の開発で知られている AMPLab¹³において、ディープラーニングによる 3D 物体認識と物体を適切につかむアルゴリズムに基づいたクラウドロボティクスの研究¹⁴がグーグルと共同で行われている。

また、ロボット分野の研究開発では、BRETT（ロボット）が試行錯誤をしながら飲料ボトルのキャップの開閉のスキルを習得する等のディープラーニングの研究を行っている。

3) トロント大学

2006 年 Geoffrey Hinton 教授により、ディープラーニングが発表された。2012 年には、画像認識のコンペティション（ILSVRC）において、ディープラーニングによる認識結果が、従来手法と比較して頭一つ抜けた高い認

¹² <http://ai.stanford.edu/>

¹³ <https://amplab.cs.berkeley.edu/>

¹⁴ Dex-Net 1.0: A Cloud-Based Network of 3D Objects for Robust Grasp Planning Using a Multi-Armed Bandit Model with Correlated Rewards <http://berkeleyautomation.github.io/dex-net/>

識率を示したことがきっかけとなり、ディープラーニングが注目されるようになった。

同大学のコンピュータサイエンス学部の研究領域は、数理言語学や自然言語処理、知識表現、コグニティブロボティクス、機械学習、視覚計算がある。

4) カーネギーメロン大学

1950年代に Herbert Simon 氏、Allen Newell 氏を招き、人工知能研究に取り組んできた。研究領域として、人工知能のほか、グラフィックス（画像処理）プログラミング言語、システム、理論の5領域の研究が行われている。

Uber との戦略的な提携（2015年9月）、ボーイング社との提携（2015年10月）では、航空宇宙データ分析研究所を設立し、ボーイングが3年にわたり、750万ドルを同研究所へ投資することとなっている。

5) マサチューセッツ工科大学 (MIT)

MIT コンピュータ科学・人工知能研究所 (CSAIL: The Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory) は、MIT 人工知能研究所と MIT コンピュータ科学研究所の合併により創設され、研究領域としては、人工知能、コンピュータ理論、機械学習、コンピュータグラフィックス、ヘルスケア等がある。

2015年9月には、トヨタが2,500万ドルを拠出して、共同で自動運転技術を開発するセンターを設立すると発表した。2016年1月に Toyota Research Institute, Inc. が設立され、元 MIT 教授、DARPA executive の Gill A. Pratt 氏が CEO に就任した。

④ 脳科学研究の取組

米国においては、1990年に「脳の10年 (Decade of Brain)」が米国議会によって決議され、脳研究から様々な便益が得られることについて、一般社会の認識を高めることに主眼が置かれ、同時に脳疾患等も含めた様々な脳科学研究の振興が行われた。

2013年4月には、オバマ大統領により「BRAIN Initiative (Brain Research

through Advancing Innovative Neurotechnologies)」が発表された¹⁵。同大統領は議会演説の中で「ヒトゲノム解読への投資は140倍になって返ってきた」と述べ、脳科学の振興を説いている。

同イニシアティブの中では、2014年度予算として、国立衛生研究所(NIH)、国防高等研究計画局(DARPA)及び国立科学財団(NSF)による、民間の研究プロジェクト支援のための資金として1億ドル(約110億円)が確保されることが表明された。

例えばNIHにおいては、BRAIN Initiativeの下で、ハイレベルのワーキンググループの設置による研究目標の設定や、数年にわたる研究計画の立案、マイルストーンの設定、コスト試算などを行うことや、さらに、PPP(官民連携)として連邦の研究機関が民間企業や財団、民間の研究機関と連携することも想定されている。

上記の研究開発の推進にあたっては、倫理的側面・法的側面・一般社会への影響など、多方面への配慮が必要であることから、生命倫理研究委員会での検討を開始している。

2017年度予算では、BRAIN Initiativeをさらに推進するため、4億3,400万ドルが生まれ、2016年度予算の3億ドルよりも大幅に増額される見込みである。また研究プロジェクトの体制においても、国防高等研究計画局(DARPA)、米国食品医薬品局(FDA)、知能高等研究計画局(IARPA)、国立衛生研究所(NIH)、国立科学財団(NSF)に、今年度よりエネルギー省(DOE)も加え、計6機関が同プロジェクトに参加することになった¹⁶。

1) BRAIN 2025: A Scientific Vision¹⁷

2014年6月に「BRAIN 2025: A Scientific Vision」が公表され、The BRAIN Initiativeの科学的な目標及びその目標を達成するためのタイムテーブル、マイルストーン、コスト試算するための計画が示されている。

2) NIH: Human Connectome Project (HCP)

米国の国立衛生研究所(NIH)により、2014年からの5年間で4,000万

¹⁵ BRAIN Initiative Challenges Researchers to Unlock Mysteries of Human Mind
<https://www.whitehouse.gov/blog/2013/04/02/brain-initiative-challenges-researchers-unlock-mysteries-human-mind>

¹⁶ 出所: WhiteHouse BLOG「New Investments to Help Unlock the Mysteries of the Brain」March 21, 2016 at 9:00 AM ET by Tom Kalil, Noemie Levy, and Robbie Barbero
<https://www.whitehouse.gov/blog/2016/03/20/new-investments-help-unlock-mysteries-brain>

¹⁷ 出所: NIH; BRAIN 2025 http://braininitiative.nih.gov/pdf/BRAIN2025_508C.pdf

ドル（約 44 億円）が与えられる研究プロジェクトである。

大きく以下の二つのコンソーシアムに分かれ、ニューロンの結線・配線構造の総体である「コネクトーム」を解明するための研究開発を担当している。

- ハーバード大学、マサチューセッツ・ジェネラルホスピタル、UCLA 等：MRI 技術の改善
- ワシントン大学、ミネソタ大学、オックスフォード大学等：被験者の脳検査の結果をデータベース化

3) The MICrONS program : Machine Intelligence from Cortical Networks¹⁸

知能高等研究計画局 (IARPA) は、人間の脳のアлゴリズムをリバーエンジニアリングによって機械学習の革新につなげる取組を行っている。

MICrONS program は 2015 年～2020 年の 5 年間のプログラムで、以下の 3 つの技術分野から構成されている。

- 実験計画、理論的な神経科学、計算神経モデリング、機械学習、神経生理学的データ収集や分析
- 神経解剖学的なデータ収集
- 神経解剖学的データによる皮質回路の再構成と、それに関連する神経生理学と神経解剖学的データを使った神経回路再構成の保存や整列、アクセスするための情報システムの開発

4) Precision Medicine Initiative¹⁹

2015 年 1 月 30 日、オバマ大統領が一般教書演説にて発表。2016 年度予算は 2 億 1,500 万ドルである。現状では、多くの治療法は平均的な患者向けにデザインされているが、個々の遺伝子や環境、ライフスタイルなどの違いを考慮した予防や治療によるアプローチへ変えていくことを目指している。

- 癌のよりよい治療法

¹⁸ 知能高等研究計画局(IARPA) : 2006 年設立。横断的な機関として、Intelligence Community (IC)に関するハイリスク、ハイリターンな研究プログラムへの投資を行う。

<http://www.iarpa.gov/index.php/research-programs/microns/microns-baa>

¹⁹ 出所 : FACT SHEET: President Obama's Precision Medicine Initiative

<https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/01/30/fact-sheet-president-obama-s-precision-medicine-initiative>

- ボランタリーな全米研究 cohort の創設（100 万人以上の規模）
データの主な内容は、カルテ情報、遺伝子情報、体内の微生物、生活環境、ライフスタイル情報等。
- プライバシーの保護
- 規制の見直し
- 官民連携

5) DARPA: Neural Engineering System Design (NESD)Program²⁰

人間の脳とデジタル世界との間において、信号処理及びデータ転送帯域幅を提供できる、人体に埋め込むことができるほど小型で、100 万個の神経に接続可能なブレイン・マシン・インターフェースの開発を目的としている。

平成 28 年より 4 年間のプログラムで、6,000 万ドルの研究開発費が予定されている。

(2) 欧州の状況

① 人工知能研究に関する国家プロジェクト

1) 第 7 次研究枠組計画 (FP7)²¹

欧州における取組は、EU の科学分野の研究開発への財政支援計画を中心として進められている。2007 年から 2013 年の 7 年間の「第 7 次研究枠組計画 (FP7)」のもとでは、例えば自然言語解析技術として言語解析ツールや機械翻訳のプロジェクトに年間 5000 万ユーロがあてられた。

「第 7 次研究枠組計画 (FP7)」における人工知能関連のプロジェクトとしては、例えば以下のように、織物産業における製造工程の効率化、人工知能技術によるエネルギー効率化やパーソナライズモビリティサービスの開発等の取組などがある。

²⁰ BRAIN initiative による DARPA のプログラムとして、その他 Electrical Prescriptions(ElectRx)、Reliable Neural-Interface Technology (RE-NET)、Restoring Active Memory (RAM)などがある。

<http://www.darpa.mil/program/our-research/darpa-and-the-brain-initiative>

²¹ 7th Framework Program for Research and Technological Development

i. 織物産業における製造工程の品質管理、制御によるインテリジェント化
TexWIN²²

ニューラルネットワークを基本とする人工知能技術やナレッジに基づくシステムにより、**20%**の生産性向上や機械の稼働停止時間を **1/3** まで削減することを目的としたプロジェクト。機械メーカー2社、ソフトウェア会社2社、研究機関4機関から構成されるコンソーシアムにより、5社の繊維工場等で実証を実施した。

プロジェクト期間：2010年3月～2013年3月（3年間）

プロジェクト費用：484万4,189ユーロ（EUファンド329万3,699ユーロ）

コーディネート：ドイツ

ii. 人工知能技術によるエネルギー効率やパーソナライズモビリティサービス
MobiS²³

人間やモノ、自然、社会・ビジネス環境など都市の複雑化したモビリティネットワークをリアルタイムにモニター、モデル化、マネジメントする人工知能技術により、インテリジェントなモビリティプラットフォームの概念を創り出すことを目的としたプロジェクト。スウェーデン、ギリシャ、ソルベニアの中心市街地におけるモビリティ実証実験が行われ、コンソーシアムはEU加盟6か国から構成された。

プロジェクト期間：2012年10月～2015年10月（3年間）

プロジェクト費用：487万7,624ユーロ（EUファンド303万8,000ユーロ）

コーディネート：ドイツ

2) Horizon2020²⁴

FP7による研究開発支援の枠組みは、後継となる「Horizon2020」に引き継がれ、その中で自動走行システムやロボット等の研究開発が引き続き進められている。

Horizon 2020は、2014年～2020年の7年間にわたる約800億ユーロの財政支援を内容とするEUにおいて最大の研究・イノベーションプログラム

²² http://cordis.europa.eu/project/rcn/95352_en.html

²³ http://cordis.europa.eu/project/rcn/105549_en.html

²⁴ 「Horizon2020」 <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en>
各分野のプログラムやファンディングの獲得について紹介がされている。

である。

例えば、ICT を活用したパーキンソン病の早期発見に関する i-PROGNOSIS プロジェクトが進められている²⁵。このプロジェクトは、50 代以上のユーザを対象に、パーキンソン病の兆候をとらえるために、スマートフォンやスマートウォッチなどの ICT ベースの行動分析アプローチにより、収集されたデータを分析することを目的としている。

現在の「Work Programme 2016 – 2017」²⁶において、ICT 分野の研究開発としては、新世代コンポーネンツ・システム（スマートサイバーフィジカルシステム等）、先端コンピューティング、次世代ネットワーク、コンテンツ（ビッグデータ等）、ロボティクス等の 9 つのテーマが掲げられている。

また、EU 委員会はデータ駆動経済において、ビッグデータによるベネフィットの獲得に向け、科学、ビジネス、公共サービスのために世界クラスのデータインフラやクラウドサービスの構想「The European Cloud Initiative」を打ち出しており、その中で 170 万人の研究者や 7,000 万人の科学・技術の専門家がデータを蓄積、共有、再利用する European Open Science Cloud を構築するとしている。この構想では、官民による投資額が全体で 60.7 億ユーロ見込まれており、そのうち Horizon2020 において 20 億ユーロの拠出が見込まれている²⁷。

② 民間企業による取組

1) DeepMind

2010 年英国に設立。2014 年 1 月グーグルにより買収され、deep Q-network (DQN) を開発（2015 年 2 月）した企業である。最近では囲碁ソフト「アルファ碁」がプロ棋士に勝利したことで注目を集める一方で、医療分野では DeepMind Health を提供開始（2016 年 2 月）しており、英国 NHS（National Health Service）や病院と共同して急性腎障害の早期措置を

²⁵ i-PROGNOSIS project : Horizon 2020 News 15/03/2016
<http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/i-prognosis-project-builds-early-detection-test-parkinsons%E2%80%99-disease>

²⁶ Horizon2020 Work Programme 2016 - 2017 5.i. Information and Communication Technologies
http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2016_2017/main/h2020-wp1617-infrastructure_en.pdf

²⁷ European Commission - Press release; European Cloud Initiative to give Europe a global lead in the data-driven economy (Brussels, 19 April 2016) http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-1408_en.htm

医師や看護師が判断できるようにする、モバイルアプリ「Streams」²⁸ の開発を行っている。

2) フェイスブック

パリに人工知能研究拠点を設立（2015年6月）し、フランス国立情報学自動制御研究所（INRIA）と共同研究を行っている。

3) クアルコム

オランダの画像認識技術（Impala:写真管理アプリ）のスタートアップ企業 Euvision Technologies 社を買収（2014年9月）している。Euvision Technologies 社はアムステルダム大学のスピンアウトとして、2009年設立された企業である。

③ 脳科学研究の取組

1) Human Brain Project

脳科学においては、2013年より「Human Brain Project」が開始され、10年間（2013年～2023年）で総額約12億ユーロの予算規模となっている。その目的は、脳科学とICTを融合し、スーパーコンピューターを用いて、脳の詳細なモデルやシミュレーションを再構築することとしている。

このプロジェクトは、FP7の中で「未来新興技術（FET: Future and Emerging Technologies）」の「旗艦研究（Flagships）」の一つとして採択され、Horizon2020がスタートした現在も、継続的に実施されている。「旗艦研究」は大型・分野横断的で野心的な科学技術研究を目指すものとされており、予算額が大きいこともその特徴となっている。現時点で開始されているプロジェクトは「グラフェン（Graphene：ハニカム格子状の炭素原子1枚膜）」と、この「Human Brain Project」のみである。

人間の脳をシミュレートし、理解を深め、脳疾患に対する新たな診断ツールや処置方法を探求すると共に、脳に類似した低消費エネルギーの人工知能や、ニューロモーフィック・コンピュータ（脳を真似たコンピュータ）を作り出すことを目的としている。最初のコンソーシアムには22カ国から80の欧州の研究機関が参加しており、同プロジェクトは13のサブプロジェクトに分かれている。

²⁸ <https://deepmind.com/health>

表 II-1 Human Brain Project サブプロジェクト一覧

サブプロジェクト	概要
マウスの脳データ	マウスの脳構造をデータ化し、マウスと人間の脳の違いをデータ化すること
人間の脳データ	人間の脳データを予測するために、人間の脳データにマウスの脳データを多層化すること
認知アーキテクチャ	脳の活性化や反応のパターンを解明するために、認知課題を抽出すること
理論神経科学	理論神経科学が、生物学的プロセスのモデリングや脳活動の大規模パターン分析など、 Human Brain Project の研究に貢献すること
ニューロインフォマティクス	研究者が神経科学のデータや知見、ツールへアクセスできるプラットフォームの整備
脳シミュレーション	研究者が脳モデルのシミュレーションを行うためのプラットフォームの運用
高性能コンピューティング	Human Brain Project のコンソーシアムや欧州の神経科学機関が脳のモデリング研究を行う上で、必要な支援としてスーパーコンピュータやビッグデータ、クラウド環境を提供すること
医療インフォマティクス	研究者が匿名の臨床データにアクセスや分析するためのツールを提供
ニューロモーフィック・コンピューティング	研究者がニューロモーフィック・コンピューティング・プラットフォームを利用できるよう、その設計、運用を行うこと
ニューロロボティクス	科学者や技術者が脳モデルをロボットにシミュレータで繋げるようにするハードウェア、ソフトウェア環境を提供すること
アプリケーション	神経科学や医学、コンピューティングなどの研究において、早期・小規模な実証を行うために、ICTプラットフォームでテストしたり、プレリリースを行うこと
倫理と社会	プロジェクトの社会的、倫理的、哲学的な影響を追求すること
マネジメント	欧州研究プログラムのマネジメントやステークホルダーに対する透明性やアカウンタビリティの確保

2) SpiNNaker project

2005年に開始された SpiNNaker プロジェクトは、人間の脳の基本構造や機能による超並列コンピュータアーキテクチャの研究プロジェクトで、大学(マンチェスター大学、ケンブリッジ大学など)と民間企業(ARM Ltd、Silistix Ltd、Thales)により共同研究が行われている。

主な研究分野は、ニューロサイエンス、ロボティクス、コンピュータ科学の3分野で、プロジェクトの主な目的は以下のとおりである。

- 脳科学者やコンピュータ科学者、ロボティクス研究者に対する研究ツールとして、大規模ニューラルネットワークをリアルタイムに利用できるハイパフォーマンスな並列処理を行うプラットフォームの提供
- 従来のスーパーコンピュータとは異なるエネルギー効率に優れた並列コンピュータとして期待される新たなコンピュータアーキテクチャの調査支援

SpiNNaker チップのプロトタイプは、2009年11月より展開され、現在では48チップのボードが開発されている。英国の研究機関である EPSRC (The Engineering and Physical Sciences Research Council) から財政支援を受け、「Human Brain Project」によりソフトウェア開発など継続的な支援を受けている。

(3) 韓国の状況

① 人工知能研究の取組

韓国においては、基本政策計画である「第3次科学技術基本計画」と連動して、「未来成長動力計画」(2014年6月)や「社会問題解決総合実践計画(2014～2018年)」(2013年12月)等により、情報科学技術分野に関する基本方針が打ち出されている。

「未来成長動力計画」においては、国家をあげて推進する戦略産業のうち、以下の分野が挙げられている²⁹。

- ・主力産業：スマートカー、5G 移動通信
- ・将来の新産業：知能型ロボット、ウェアラブルスマート機器、実感型コン

²⁹ 出所：国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発センター 主要国の研究開発戦略(2015年)2015年3月

テック

- ・ 公共福祉産業：パーソナライズド・ウェルネスケア、災害安全管理スマートシステム、再生可能エネルギーハイブリッドシステム
- ・ 基盤産業：インテリジェント半導体、インテリジェント IoT、ビッグデータ

最近の動向として、2016年3月17日、国の研究開発を強力に推進するため、大統領直属の科学技術戦略会議を設立することが発表された。その科学技術戦略会議は、関連分野の民間の専門家や関係部門の公務員で構成され、中核となる科学技術政策について関係省庁の軋轢を取り払うため、トップダウンで戦略を立てることとされている。そうすることで、研究開発システムにおける根本的な改革につながるとしている³⁰。

また、韓国未来創造科学部は「知能情報産業発展戦略」を公表し、今後5年間で1兆ウォン（約1,000億円）を投資する見込みであるとしている。また人工知能開発のための研究所を設立し、その研究所に民間企業（サムスン電子、LG電子、現代自動車、SKテレコム、KT、ネイバー）6社が参加する予定と報じられている。

② 脳科学研究の取組

脳科学分野においては、1998年「脳研究促進法」が制定され、それに基づく「第1次基本計画（1998年～2007年）」において、約318億円の研究投資が行われた³¹。

そして、現在進行している「第2次脳研究促進基本計画（2008年～2017年）」では、2017年までに脳研究分野で世界第7位までに入ることや研究人材の増加を目標に掲げ、合計約1,500億円を投じて取り組まれている。

また、2013年には、韓国が脳の研究において世界の原動力になることをビジョンに掲げ、国内の脳研究のリソースを集中させ、バイオテクノロジー、情報科学、ナノテクノロジー分野のコンバージェンスを通して、新たな産業の創出、つまりブルーオーシャンの領域において、脳科学研究分野におけるコアとなるプラットフォーム技術を獲得することを目的とし、国家主導型の

³⁰ 韓国大統領府 Web サイト HEADLINES（2016年3月18日）より
http://english1.president.go.kr/activity/headlines.php?srh%5Bview_mode%5D=detail&srh%5Bseq%5D=14674

³¹ 出所：独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター「脳科学研究の国内および国際動向について P47 韓国における脳神経科学研究の推進戦略」

研究拠点として韓国脳科学研究所 (Korea Brain Research Institute) ³²が設立された。

(4) 中国の状況

① 人工知能研究の取組

中国には国家の方針を示す「5カ年計画」があり、現在は「第13次5カ年計画 (2016～2020年)」の方針に基づいて様々な施策が実施されている。

科学・イノベーション政策の基本方針は、「国家中長期科学技術発展規画綱要 (2006-2020)」に示されており、この中で2020年までに世界トップレベルの科学技術国家になることを目標に掲げ、研究開発投資の拡充や重点分野の強化などを図っている。

また、「工業の変革・高度化に関する5カ年計画 (2012～2016年)」における「智能製造装置産業発展計画 (2012年)」では、産業用ロボットの推進が図られており、最近ではビッグデータの活用推進策をまとめた「ビッグデータ成長促進の行動綱要 (2015年8月)」や工業化と情報化の融合を方針とする「中国製造2025 (2015年10月)」が示されている。

「中国製造2025」においては、2025年、2035年、2045年に向けた戦略の方向性が示されており、重点施策としてクラウド、ビッグデータ、IoT等の政策との融合が掲げられている。世界の製造業が集まる中国において、今後どのように展開されるか注目される³³。

② 脳科学研究の取組

脳科学分野においては、「国家中長期科学技術発展規画綱要 (2006～2020年)」に基づき、脳科学及び認知科学分野の基礎研究強化やBMI研究に取り組んでいる。

研究機関の設立が相次いでおり、2015年4月には、中国科学院の Suzhou Institute of Biomedical Engineering and Technology (SIBET)が the Brain Research Instrument Innovation Center (BRIIC) を設立し、科学的なニーズに適う先進的な装置の開発を目指している。また、同年4月には、中国科学院

³² 韓国脳科学研究所 (Korea Brain Research Institute) については、<http://eng.kbri.re.kr/>

³³ 参考：国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発センター 主要国における次世代製造技術の研究開発に係る政策動向 (2015年3月)。中国製造2025 (中国 工業・情報化部)
<http://www.miit.gov.cn/n973401/n1234620/index.html>

の自動化研究所が **Cognitive Brain Modeling Group**（前身 **Neural Computation Group**）などの研究グループを統合し、「脳型知能研究センター」を設立している。同センターでは、マルチスケールな脳のシミュレーション、脳情報処理や脳のネットワークモデリングなどの研究テーマに取り組んでいる³⁴。

さらに自動化研究所には、「**Brainnetome Center**」も設置されており、2010年に科学技術部により承認された「国家基礎研究計画（973計画）」のプロジェクトのうちの一つであるマルチモーダルな脳ネットワークの研究プロジェクトが、2011年～2015年の5年間で2,600万元の研究資金により実施された³⁵。

また、脳型チップの研究開発が大学において取り組まれており、例えば、清華大学の「**Tianji Chip**」や杭州電子科技大学、浙江大学による「**Darwin**」の開発が知られている³⁶。

II-3 我が国における人工知能技術に関する取組

社会・経済活動の様々な場面において世界的に人工知能の役割への関心が大きく高まっている中、我が国においても人工知能及び脳科学に関する研究開発等に取り組んでいる。

総務省では、従来より情報通信研究機構（NICT）において、ビッグデータ処理に基づく人工知能技術や、脳科学の知見に学ぶ人工知能技術について最先端の研究開発に取り組んでいる。

また、情報通信政策研究所において、人工知能を構成要素とする情報通信ネットワークシステムの構築及び高度化（「AI ネットワーク化」という。）に向けて以下の事項について検討を行っている。

- 1) 人間と AI ネットワークシステムが共存する未来における社会のあり方に関し、目指すべき社会像及びその基本理念
- 2) AI ネットワーク化が社会・経済にもたらす影響
- 3) AI ネットワーク化が社会・経済にもたらすリスク

³⁴ Research Center for Brain-inspired Intelligence Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences
<http://bii.ia.ac.cn/>

³⁵ Brainnetome Center <http://www.brainnetome.org/en/>

³⁶ 「Darwin」（ニューロン2,048、シナプス400百万個）

http://english.cas.cn/newsroom/china_research/201512/t20151225_157876.shtml

4) AI ネットワーク化が社会・経済にもたらす影響・リスクに関し、今後注視し、又は検討すべき事項

文部科学省では、未来社会における社会変革に対応するため、平成 28 年度から、「AIP (Advanced Integrated Intelligence Platform Project) : 人工知能／ビッグデータ／IoT／サイバーセキュリティ統合プロジェクト」を開始し、理化学研究所に、革新的な人工知能の研究開発拠点を新設することとしている。これと一体的に、科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業を活用して、大学等の多様な研究活動を支援することとしている。

経済産業省では、先進的な人工知能の開発・実用化と基礎研究の進展の好循環（エコシステム）を形成するため、平成 27 年 5 月 1 日に産業技術総合研究所に「人工知能研究センター」を設立した。人工知能研究センターでは、次世代脳型人工知能やデータ・知識融合型人工知能の大規模目的研究や、人工知能の要素技術の利活用を促進する次世代人工知能フレームワーク・先進モジュールの研究開発、人工知能技術の標準的評価手法等の共通基盤技術の整備等を行うことで、基礎研究を社会実装につなげるための研究開発を実施している。また、海外の研究機関・大学とも協力関係を構築し、国内外を問わず人工知能に関する英知を結集して活動を進めている。

このような中、平成 28 年 4 月 18 日には、総務省、文部科学省、経済産業省の 3 省が中心となり、人工知能の研究開発等の司令塔機能を果たす「人工知能技術戦略会議」を創設した。今後、この戦略会議のもとで、関係府省、学界、産業界と連携を図りつつ、我が国の人工知能技術の高度化と社会実装に向けて研究開発に取り組むこととしている。

(1) 総務省の人工知能研究及び脳科学研究の取組

総務省の人工知能及び脳科学研究の取組状況に関して、以下に紹介する。

国立開発研究法人情報通信研究機構（NICT）では、長きにわたり人工知能及び脳科学研究に取り組んでいる。

平成 28 年 4 月からスタートした第 4 期中長期計画において、第 3 期までの研究開発成果を更に発展させるためにデータ利活用基盤分野において、「音声翻訳・対話システム高度化技術」、「社会知解析技術」、「実空間情報分析技術」、「脳情報通信技術」の 4 分野の研究開発を重点化している。さらには、NICT

全体の研究開発成果の社会展開を推進するためのオープンイノベーション推進本部を設置している。

このうち、「社会知解析技術」、「実空間情報分析技術」については、NICTユニバーサルコミュニケーション研究所（UCRI）内のデータ駆動知能システム研究センター（DIRECT）等において、「音声翻訳・対話システム高度化技術」については先進的音声翻訳研究開発推進センター（ASTREC）において、また、「脳情報通信技術」については、脳情報通信融合研究センター（CiNet）において研究開発を推進している。また、ビッグデータ及び人工知能関連技術の社会実装に関しては、NICT オープンイノベーション推進本部が担当している。

さらに、情報通信技術（ICT）に関する先端的な研究開発に取り組んでいる株式会社国際電気通信基礎技術研究所（ATR）においては、脳科学の知見をロボットに適用するための技術開発や高度な無線通信技術等の研究開発に取り組んでいる。

なお、NICT UCRI、ASTREC と ATR は「けいはんな学研都市」に、CiNet は大阪大学の吹田キャンパスに研究拠点を構えている。



NICT ユニバーサル
コミュニケーション研究所(UCRI)
開設：平成 12 年

NICT 先進的音声翻訳研究開発セ
ンター(ASTREC)
開設：平成 26 年

NICT データ駆動知能システム研
究センター(DIRECT)
開設：平成 28 年

所在地：京都府相楽郡精華町



NICT 脳情報通信融合
研究センター (CiNet)

開設：平成 25 年

所在地：大阪府吹田市
(大阪大学内)



(株)国際電気通信基礎技術
研究所 (ATR)

開設：昭和 61 年

所在地：京都府相楽郡精華町
(平成元年に現在地へ移転)

図 II-3 総務省関連機関の人工知能関係の研究拠点

UCRI と ASTREC のビッグデータを解析することで実現する人工知能技術に関する研究と、CiNet の脳情報通信に関する研究は、いずれも世界最先端のレベルであり、将来的には、これら2つのアプローチを相互補完的に融合さ

せることにより、世界の人々にとって真に役立つ次世代の人工知能を実現することを目指している。

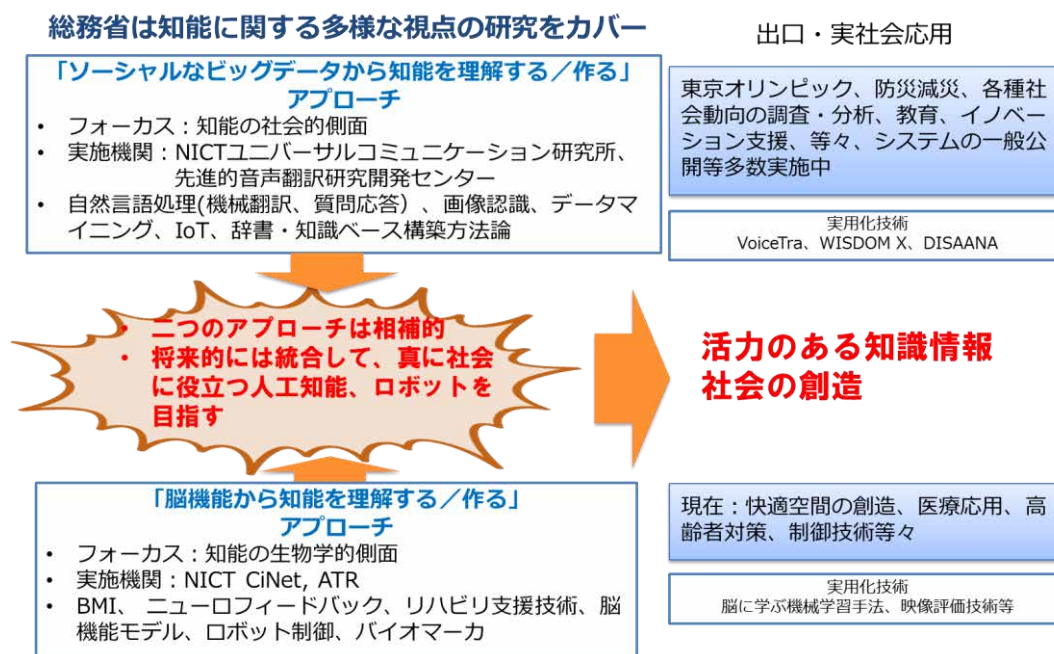


図 II-4 総務省の人工知能研究関連研究のアプローチ

以下、それぞれの研究所における先進的な研究開発や実用化に向けた取組等について代表的な事例を幾つか紹介する。

① NICT ユニバーサルコミュニケーション研究所 (UCRI)

NICT ユニバーサルコミュニケーション研究所 (UCRI) においては、ビッグデータ、特にテキストのビッグデータを活用する技術を中心に研究開発を行っている (図 II-5)。

具体的には、

- 1) インターネット上の極めて膨大なデータを自動的に解析し、質問者に有益な回答や仮説を提示する情報分析技術 (情報分析システム「WISDOM X」、対災害 SNS 情報分析システム「DISAANA」)
- 2) センサ情報からテキスト情報まで多種多様な情報を横断的に分析する技術

等の研究開発を実施している。特に1)の研究開発については、UCRI 内にデータ駆動知能システム研究センター (DIRECT) を設立して研究開発を進めている。以下、WISDOM X と DISAANA について詳細を述べる。

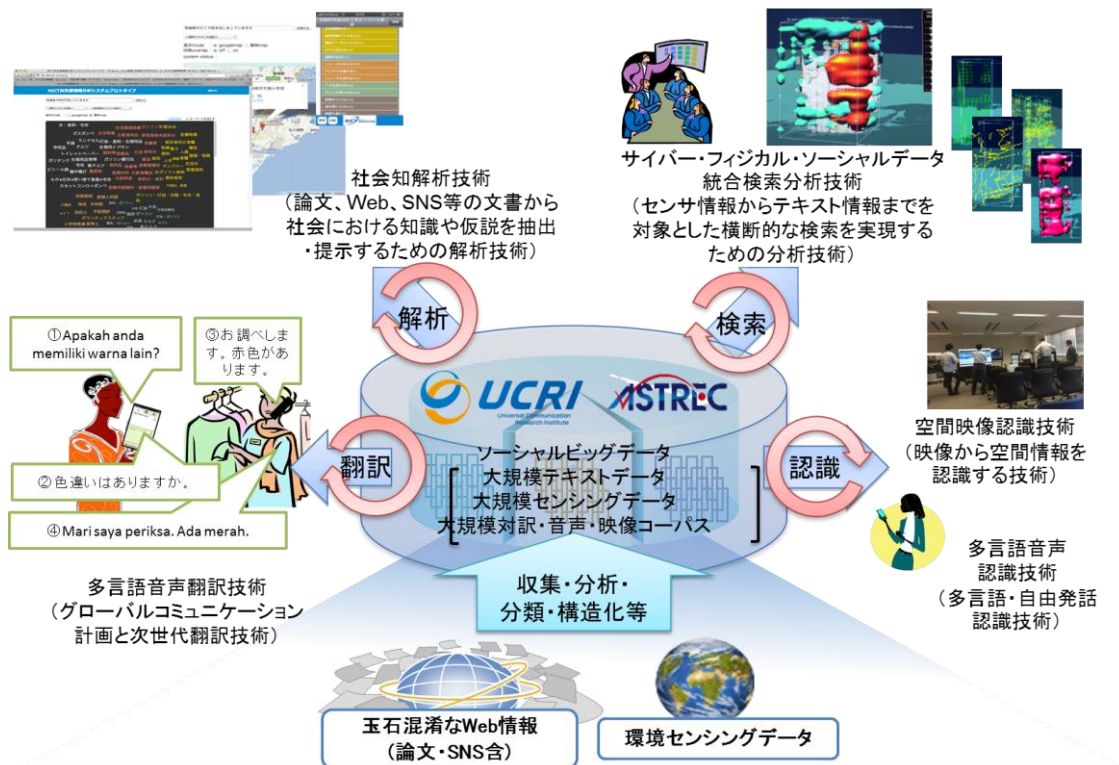


図 II-5 NICT ユニバーサルコミュニケーション研究所の研究概要

NICT DIRECT では、自然言語処理技術を用い、約 40 億件の Web ページを解析して、ユーザの質問に様々な回答を提示できる情報分析システム「WISDOM X」(図 II-6) や、災害時に SNS に発信される膨大な災害関連情報に関し、ユーザの質問に回答したり、エリア内の災害関連情報を一括して分かりやすく提示する対災害 SNS 情報分析システム「DISAANA」を開発し、ネット上で無償で公開をしている。(WISDOM X は 2015 年 3 月、DISAANA に関しては 2014 年 11 月より公開)

通常の Web 検索では、検索キーワードを含む文書へのリンクが提示されるのみであるが、この場合、質問の回答となりえる単語や文章がピンポイントで提示されるのみである。一方、WISDOM X は、入力されたキーワードに関して回答可能な質問を列挙したり、提示された回答をさらに深掘りするための質問を提案する等の機能を持つ。この情報の深掘りをする機能を活用することで、情報源の Web ページには記載されていない仮説を作成することも可能である。また、DISAANA においては、質問の回答に関して矛盾する情報も同時に提示して、デマの可能性を示唆したり、被災報告に対して取られた対応策も同時に提示する等、単なる質問応答にとどまらない各種機能を持つ。これは、システム内部でテキストを意味的に深く分析することによって可能

になっているものであり、また、他の質問応答システムにはない特長である。

なお、DISAANA に関しては平成 28 年 4 月に発生した熊本地震において、Twitter の情報を分析して効率的に支援体制を構築することを可能とする等、政府による活用も始まっており³⁷、今後さらに普及が進むものと期待される。

さらに、これらの技術は、将来的に民間企業やシンクタンク等が活用することで、専門家でなくても、あらゆる技術、出来事や事象の膨大な組み合わせを、人間には実行不可能な規模でシミュレーションすることが可能となり、将来有望な様々なアイデアを提案するなど、企業戦略のサポートとしての利用が期待されているほか、今後大きな発展、普及が予想される音声対話システムにおいて、ユーザに提示すべき有用な知識を Web 等から取得する機能を実現する上で極めて有効な技術である。(図 II-7)

- WISDOM Xは膨大なインターネット上の文字データ(40億ページ以上、原稿用紙220億枚相当)から世界最大級の知識ベースを構築し、単純な質問への回答だけでなく、NICTが持つICTのノウハウを集約して仮説の推論や質問の提案まで行う、世界トップレベル・国内唯一の高性能な自然言語処理・AIシステム。
- 計算機300台で構成される専用システムを構築しており、<http://wisdom-nict.jp>にて一般公開中。

例1 「東京オリンピックで何を心配すべきか？」

例2 ①質問：地球温暖化が進むとどうなる？

② 450件の回答

- 海水温が上がる
- 被害総額年100兆円

③上の回答に基づき、システムが「海水温が上がるとどうなる？」という質問を提案。利用者はこの提案をクリック。

④ 450件の回答

- メタンが放出される
- サンゴの白化が進む
- 腸炎ビブリオ(大腸菌)が増える…

その後、気候変動による腸炎ビブリオ由来の食中毒の増加を専門誌が報告
Austin-Baker, C. et al., Nature Climate Change, 3: 73-77(2013)

図 II-6 情報分析システム (WISDOM X) の概要

³⁷読売新聞、2016年5月11日夕刊、<http://www.yomiuri.co.jp/politics/20160511-OYT1T50192.html>

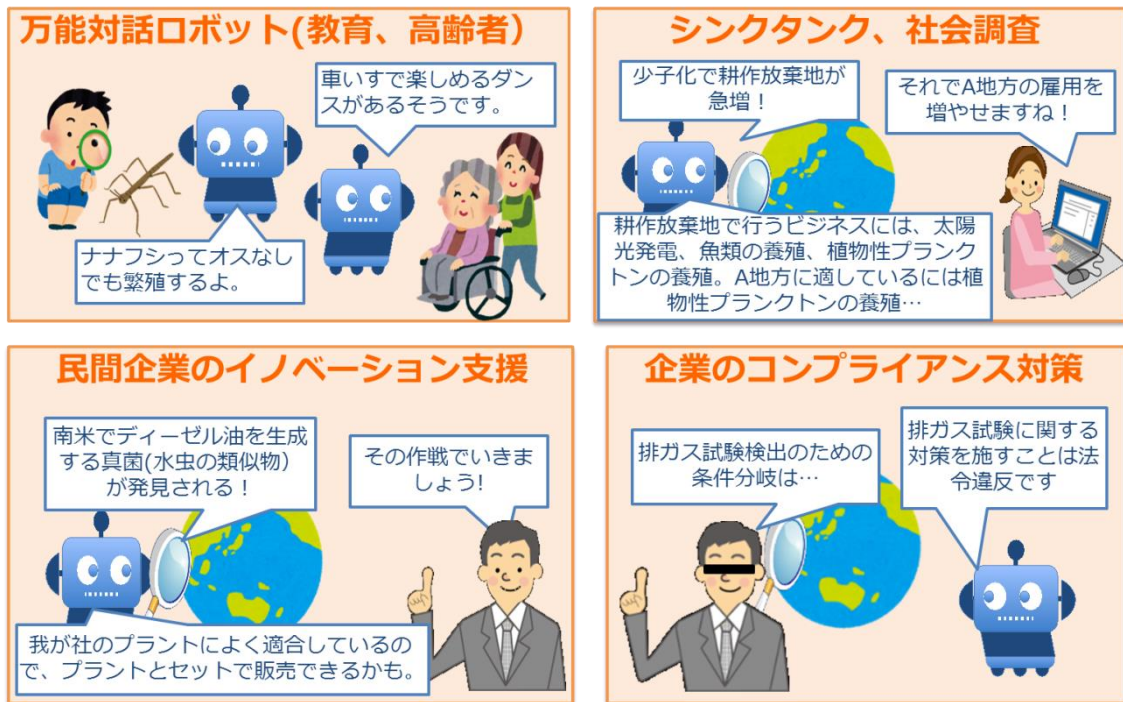


図 II-7 情報分析システム (WISDOM X) 10年後の将来像 (案)

② NICT 先進的音声翻訳研究開発推進センター (ASTREC)

NICT 先進的音声翻訳研究開発推進センター (ASTREC) においては、外国語と日本語の間で話した言葉の自動通訳を可能とする多言語音声翻訳技術 (VoiceTra) 等の研究開発を実施している。以下に多言語音声翻訳システムの詳細を述べる。

NICT ASTREC では、世界の「言葉の壁」を超えたコミュニケーションの実現を目指した「多言語音声翻訳システム」の研究開発を行っている。この多言語音声翻訳システムのうち、音声認識、音声合成や翻訳の技術に人工知能が活用されている。

現在は無料のスマートフォンアプリ「VoiceTra」(図 II-8) として公開しており、一部テキストによる入出力も含め 29 言語間の翻訳に対応している。中でも日英中韓を含めた 10 言語 (日本語、英語、中国語、韓国語、スペイン語、フランス語、タイ語、インドネシア語、ベトナム語、ミャンマー語) の旅行会話については、実用レベル (TOEIC 600 点レベル) の翻訳が可能となっている。(VoiceTra は 2010 年 8 月に公開し、シリーズの累計ダウンロードは 100 万件を越えている。)

また、総務省では平成 24 年 4 月に、NICT が開発した多言語音声翻訳システムをさらに高度化するとともに、2020 年の東京オリンピック・パラリンピ

ック競技大会までに全国に社会実装することを目的とした「グローバルコミュニケーション計画」を発表し、NICT や民間企業等と連携して、雑音抑圧技術等の研究開発や様々なアプリケーションに適用するための社会実証等にオールジャパン体制で取り組んでいる。

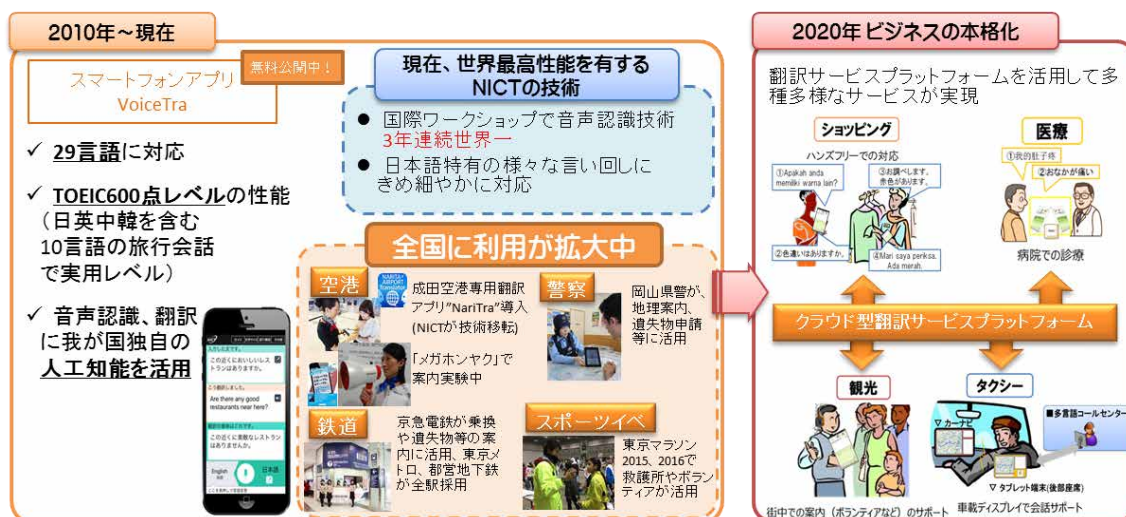


図 II-8 多言語音声翻訳技術 (VoiceTra) の概要

③ NICT 脳情報通信融合研究センター (CiNet)

NICT 脳情報通信融合研究センター (CiNet) は、加速的に進化している脳機能研究を究め、そこで得られる知見を脳科学に基づく新しい技術体系の発展に応用することを目的とした異分野融合研究を先導する研究機関として創設された。

主に人間の脳を対象とした最先端の計測施設を備え、システムレベルに焦点を合わせた基礎的な神経科学を中心とした研究を推進している。その中で、特に視覚と運動の制御についての研究に重点を置きつつ、痛み、多感覚の統合、高次の認知、意思決定、言語、社会神経科学などの高次脳機能領域について研究を進めている。

CiNet の重要なビジョンは、脳科学を情報通信技術 (ICT) に応用する研究を進めることであり、つぎのような課題を掲げている。

- 1) 脳情報処理についての知見は情報ネットワークの計算や制御の分野に根本的に新しい考え方を創り出すこと。
- 2) 複雑なネットワークの科学を脳が行う情報処理の理解の一助となすこと。

3) 人間のコミュニケーションと脳内での情報処理とを理解することで脳機能を基礎とした新しい形のコミュニケーション技術創出をめざすこと。

CiNetの研究はNICTが擁する豊富な専門的知見、また複数の充実した研究施設と研究施設間の相互連携を礎としており、その研究は、ネットワーク科学、IoT、センサーネットワーク、携帯型脳波計を実現したウェアラブルなセンサー技術、量子ICT、ナノ&昆虫脳や自然知能に基づくバイオコンピューティング、超臨場感・没入型コミュニケーションテクノロジーなどの幅広い領域に及んでいる。

また、ニューロイメージングに関する物理学や技術の基礎研究を積極的に行っており、高磁場fMRI、統合型PET-fMRI、磁気共鳴分光法(MRS)および高密度近赤外線分光法の研究を進めている。位相差脳血流イメージング、温度機能イメージング、神経線維機能イメージング、脳幹神経核機能イメージングなどの次世代イメージング技術の確立を目指している。さらに、MEGとfNIRSなどの先端的計測から得られる脳情報ビッグデータを解析するための新しい統計的手法の研究開発にも取り組んでおり、ヒトの脳活動の研究拠点のひとつとして、その重要度は高まっている。

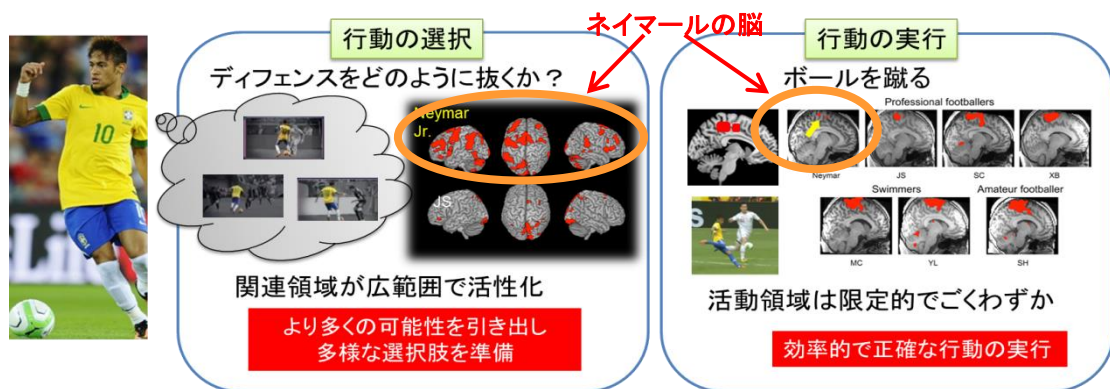
これらの研究はいずれも世界最先端の独創的な取組であり、総務省では、前述のユニバーサルコミュニケーション研究所の研究開発と合わせて、これらのリソースを最大限に活かして、将来の人工知能の実現に向けて取り組んでいる。



図 II-9 NICT 脳情報通信融合研究センターの研究概要

以下、多様な分野への応用や展開に向けた研究活動の一例として、脳活動と行動の関係性に関する研究について述べる。

図 II-10 は、サッカーのブラジル代表のネイマール選手の脳活動について高精度 MRI で測定したものである。ネイマール選手がドリブルで相手ディフェンスをどのように抜くかをイメージしてもらい、そのときの脳活動を分析している。図 II-10 の左側の図に示すとおり、一般の選手に比べて、ネイマール選手の脳の関連領域が広範囲で活性化していることが判明した。また、同選手がボールを蹴る瞬間の脳活動についても調べたところ、同図の右側の図の矢印で示すように、限定的でごくわずかな領域のみ活性化していることが判明した。このように、一流運動選手の脳活動と行動との関係を解明することで、将来的には「高齢者／障がい者の能力回復」や「健常者の能力向上」「ジュニア育成」の実現に寄与できると期待される。



【出典 NHKスペシャル「ミラクルボディ」(2014年6月1日放送)】

図 II-10 ネイマール選手の脳に学ぶ身体を動かす脳の仕組み

④ NICT オープンイノベーション推進本部

NICT オープンイノベーション推進本部では、NICT の研究開発成果を社会実装するための取組の一環として、我が国のビッグデータ技術や人工知能技術の革新を目指した研究を行うためのネットワークテストベッドの運用や、委託研究等による効率的な研究開発を推進するとともに、それらの研究で得られた実験データをオープンデータとして活用するための取組を行っている。

(2) 文部科学省の人工知能研究の取組

文部科学省においては、これまで、人工知能分野の研究開発の取組として、未来社会実現に必要な ICT 基盤技術の確立に向けた研究開発の実施や、科学技術振興機構 (JST) における戦略的な基礎研究等の推進などを行ってきた。平成 28 年度からは、情報技術の世界的な急速な進展、とりわけ、人工知能やビッグデータ等への関心の高まりの中で、我が国の大学や研究機関の力を結集し、産業界等と連携しつつこの分野の研究開発の国際競争に臨むため、新たに「AIP: 人工知能/ビッグデータ/IoT/サイバーセキュリティ統合プロジェクト」を開始し、取組を強化したところである。

具体的には、平成 28 年 4 月 14 日付で、理化学研究所に、「革新知能統合研究センター」を新設した。同センターでは、世界的に優れた競争力を持つ研究者を糾合し、革新的な人工知能の基盤技術の研究開発や、サイエンスの飛躍的発達の推進、応用領域の社会実装への貢献、人工知能等が浸透する社会での倫理的・社会的課題への対応、データサイエンティスト、サイバーセキ

ユリティ人材等の育成に取り組んでいくこととしている。

また、上記と一体的な取組として、JSTの戦略的創造研究推進事業においても、新たに人工知能に係る研究課題の採択を進めている。これまでも、CREST・さきがけの中で関連課題として延べ5研究領域（採択64件）が取り組まれてきたが、平成28年度は、このうち2研究領域について新規採択を行うとともに、人工知能基盤技術に係る新たな戦略目標を掲げ、社会の様々な分野における多種・膨大な情報をもとに、状況に応じて知的で統合的な解析・処理・制御を行うことのできる情報基盤技術の確立を目指し、新たに3研究領域を設定することとしている。

AIP: Advanced Integrated Intelligence Platform Project 人工知能/ビッグデータ/IoT/サイバーセキュリティ統合プロジェクト		平成28年度予算額 : 5,448百万円(新規) (関連する既存事業(2,849百万円)を含む) ※運営費交付金中の推計額含む
【国際的な動向】 ○ 各分野でのビッグデータの集積、センサーの量的・質的拡大(IoT: Internet of Things) ○ 人工知能に50年来の大きな技術的ブレークスルー(自ら特徴を捉え進化する人工知能が視野) ○ 一方、高度化する脅威に対するサイバーセキュリティの確保(ますます巧妙化しており、人材育成が必須)		
【文部科学省の対応】 (1) 文部科学省が持つビッグデータの解析(コホート、環境のデータなど多様)を通じて、新たな価値を創造。 (2) そのため、革新的な人工知能技術を開発・活用 (3) ビッグデータの充実のため、高度なセンサー/IoT技術を活用。あわせて、堅牢なセキュリティを構築。 [経済産業省・総務省との連携を呼びかけ、基礎研究から社会応用まで、一体的に実施する体制を構築]		
AIPセンター(理化学研究所) 1,450百万円 I. 人間の知的活動の原理に学んだ革新的な人工知能の基盤技術を開発。 II. 人工知能とビッグデータにより複数分野においてサイエンスを飛躍的に発達させる。 III. 具体的な社会・経済価値を創造する多数の応用領域の社会実装に貢献。 IV. 人工知能等が浸透する社会での倫理的・社会的課題等に対応。 V. データサイエンティスト、サイバーセキュリティ人材等を育成。	戦略的創造研究推進事業(一部)(科学技術振興機構) 新規採択課題分 1,150百万円 関連する既存採択課題分 2,849百万円 ※運営費交付金中の推計額 ○ 大学等の研究者から広く提案を募り、組織・分野の枠を超えた時限的な研究体制を構築して、 戦略的な基礎研究を推進。	

【目指す成果】

- 人々と社会のための知能とイノベーションの創出に向けて、世界的に優れた競争力を持つ研究者を結集、最先端研究を統合。我が国が直面する労働力減少、高齢化社会の中でも、
- ・生産性の大幅な向上による**経済成長への貢献**、
 - ・一人ひとりに優しい**社会構築**(医療・介護等)を実現

図 II-11 AIP: 人工知能/ビッグデータ/IoT/サイバーセキュリティ統合プロジェクト

また、上記以外にも、ポスト「京」の萌芽的課題のうち、「⑬思考を実現する神経回路機構の解明と人工知能の応用」においては、革新技術による脳科学の大量のデータを融合した大規模多階層モデルを構築し、ポスト「京」での大規模シミュレーションにより思考を実現する脳の大規模神経回路を再現し、人工知能への応用をはかることを目的としている。

⑬ 思考を実現する神経回路機構の解明と人工知能への応用

概要・意義・必要性	ポスト「京」により、 複雑な神経回路を再現し、「考える」という脳機能の解明に挑むことは現代科学の最大のチャレンジであり、「健康・医療戦略」にもあるように新しい情報処理技術の確立や精神神経疾患の克服に向け社会的期待も高い。
(1) 必要性の観点	
(2) 有効性の観点	脳科学の革新的プロジェクトと連携し、そのビッグデータのモデル化と大規模シミュレーションにより、新たなブレークスルーが期待できる。脳の機構にならった人工知能は、人の心を理解するロボットなど新たなイノベーションを可能にする。
(3) 戦略的活用の観点	思考の神経回路の実体の解明には、大量の実験データに基づく大規模、マルチスケールのモデルの構築と、さらにリアルな感覚行動データによる長期の学習が不可欠であり、ポスト「京」の超大規模計算により初めて実現可能である。
<p>内容の詳細:「革新的技術による脳機能ネットワークの全容解明プロジェクト」等により得られる脳構造と活動の高スループット計測によるボトムアップデータと、認知を実現する機械学習によるトップダウン設計論を融合し、思考を実現する脳の大規模神経回路を、ニューロンの特性や回路の結合構造などの実験データに基づいた多階層モデルにより再現し、その応用をはかる。</p> <p>サブ課題A: 思考を実現する神経回路機構の解明</p> <p>細胞形態と回路結合、活動のイメージングなど異種大規模データを、機械学習手法をもとにモデル統合しその動作機構を解明する。 ポスト京により様々な規模と詳細度のシミュレーションを実現する。 ・細胞内分子シグナルを含む局所神経回路の詳細モデル ・自動縮約したニューロンモデルによる全脳規模シミュレーション</p> <p>サブ課題B: 脳アーキテクチャにもとづく人工汎用知能</p> <p>大脳皮質の階層的確率推論、大脳基底核の報酬評価、小脳による定型的行動制御など脳の機能アーキテクチャを参考に、環境との相互作用のもとで学習し続ける知能エージェントを実現する。 ポスト京のキャパシティにより、ネット上で得られる膨大な情報のもとで学習させることにより、動的に発達し続ける人工知能システムを実現する。</p>	
<p>期待される成果・波及効果</p> <p>マーモセットなど霊長類の脳データにもとづく詳細大規模シミュレーションにより、脳内シミュレーションと思考、他者認知とコミュニケーションなど、人の精神活動の基盤となる脳機構の実体の解明が期待される。</p> <p>そのモデルの解析は、精神神経疾患や発達障害のメカニズムの理解、それらの診断、治療、予防法の開発、また人の心を理解し行動するロボットなど、より人間的な人工知能の応用への道を開く。</p>	

図 II-12 ポスト「京」「⑬思考を実現する神経回路機構の解明と人工知能の応用」

国立情報学研究所においては、「人工頭脳プロジェクト「ロボットは東大に入れるか」というプロジェクトを立ち上げている。当該プロジェクトは、大学入試問題という総合的知的タスクをベンチマークとして設定することで、1980年以降細分化された人工知能分野を再統合し、新たな地平を切り拓くとともに、産学が連携しつつ人工知能の各要素技術の精度を高め、人工知能の可能性と限界を見極めることで、来るべき人－機械協働社会に必要な社会制度を予測することを目指すものである。

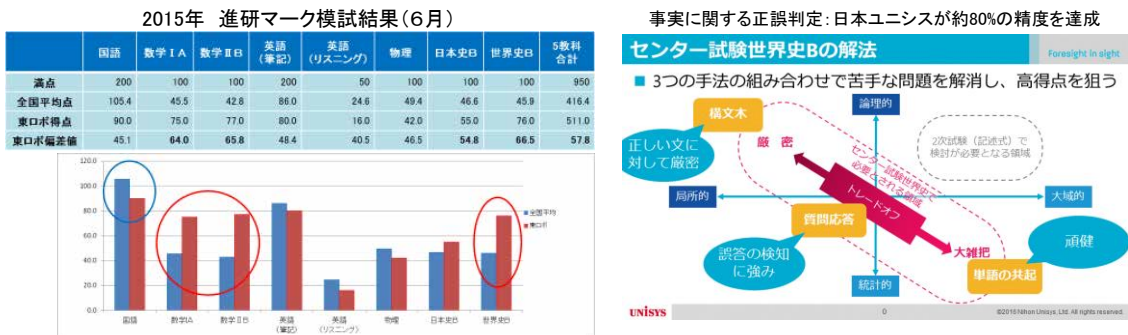


図 II-13 人工頭脳プロジェクト「ロボットは東大に入れるか」

国立研究開発法人科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業のうち、ERATOの「石黒共生ヒューマンロボットインタラクションプロジェクト」でも、身振り手振り、表情、視線、触れ合いなど、人間のように多様な情報伝達手段を用いて対話できる、社会性を持つ自律型ロボットの実現を目標に、共生ヒューマンロボットインタラクション（人間とロボットの相互作用）の研究開発に取り組んでいるところである。



図 II-14 石黒共生ヒューマンロボットインタラクションプロジェクト

このように、文部科学省においては、10年後そしてその先の未来におけるイノベーションの創出に向け、関係省庁・産業界等との連携のもと、革新的な基盤技術の研究開発や人材育成等の取組が進められている。

(3) 経済産業省の人工知能研究の取組

経済産業省では、産業技術総合研究所の「人工知能研究センター」を中核的な拠点として、主に新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」事業（平成28年度30.6億円）で人工

知能の研究開発を進めている。また、平成 28 年 4 月には新エネルギー・産業技術総合開発機構に「AI 社会実装推進室」を設置し、研究開発から社会実装までを一元的に推進している。その詳細について、以下に紹介する。

経済産業省では、平成 27 年 5 月、国内外の多様な人工知能研究のトップ・新進気鋭の研究者や優れた技術を集結し、先進的な人工知能の開発・実用化と基礎研究の進展の好循環（エコシステム）の形成を目指して、「人工知能研究センター」を産業技術総合研究所に整備した。

人工知能研究センターは、以下の役割を果たすことを目的としている。

- 1) 様々な技術を統合し、ユーザ企業と連携して実用化を加速し、実世界の課題解決やビジネスにつなげる。その結果をフィードバックしてさらに技術を進化させる。
- 2) 様々な一線の研究者により、実世界の課題を解決する大規模な基礎研究を実施する。研究成果の実証により、基礎研究を加速する。
- 3) 評価手法やベンチマークデータセットの整備など、公的研究機関として人工知能研究のベースアップに貢献する。
- 4) 開発された成果や知的財産について、事業化やカーブアウトを実施する。企業との共同研究だけでなく、アカデミアと産業界のハブとなる。

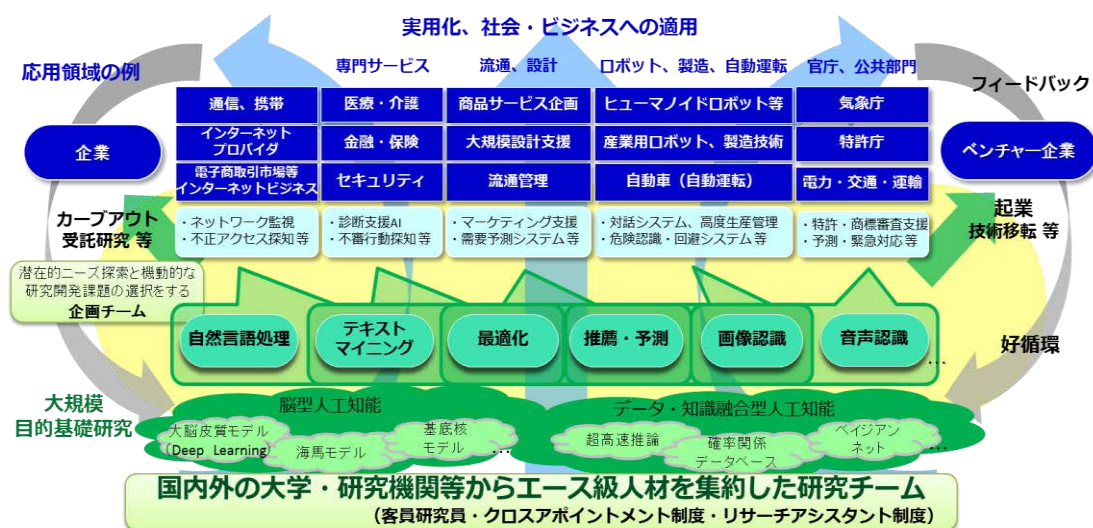


図 II-15 人工知能研究センターの概要

人工知能研究センターには、国内外の研究者、ユーザ企業や共同研究企業が結集し、平成 28 年 4 月初めの時点では、250 名超の研究者等が在籍している。また、具体的に研究を進めるチームの他に、「企画チーム」を設置し、各研究チームと密接に連携して、個別企業の課題やデータに対する人工知能

技術の適用可能性の検討、適切な技術パッケージのコンサルテーションも実施している。同研究センターでは、基礎研究を社会実装につなげることを目的としつつ、大規模目的基礎研究として、人間と親和性の高い次世代人工知能の実現のために、辻井潤一研究センター長の下、次の2つのテーマを柱とする研究開発に取り組んでいる。

- 1) 人間の知能を発現させる仕組みを人間の脳から工学的に学ぶことで、脳のように柔軟でしなやかな情報処理を行うコンピュータシステムを実現する次世代脳型人工知能や、脳の神経回路と神経細胞が情報を処理する動きをコンピュータの情報処理の動作に取り込むニューロコンピューティングの研究。
- 2) 膨大なデータから規則性を学習する機械学習技術と、人間社会が蓄積してきたテキストや知識を理解する意味理解技術やテキスト・知識を使った推論技術とを自然に融合することで、複雑な判断や行動の決定とその過程の説明ができるデータ知識融合型人工知能の研究。

また、基礎研究の成果や人工知能の要素技術の利活用を促進する次世代人工知能フレームワーク・先進モジュールの研究開発、人工知能技術の標準的評価手法等の共通基盤技術の整備等も進めている。

さらに、人工知能を様々な分野と融合する技術と捉え、我が国が強みを有する以下の3つの分野と人工知能技術の融合を進めている。

- Manufacturing** (人工知能×ロボ) : 高いものづくり力や世界トップの産業用ロボットや自動車と融合し、他の追従を許さない製造業を実現
- Human Life** (人工知能×IoT) : 日本の高品質なサービス業、医療・介護、物流等と融合し、豊かな生活を提供
- Science/Engineering** (人工知能×Big Data) : 世界トップクラスの基礎科学と融合し、科学技術の発展を促進

人工知能研究センターは、「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」(平成28年度:30.6億円)で実施している次世代人工知能分野の研究開発に拠点として参画している。当該事業は、未だ実現していない次世代の人工知能・ロボット技術のうち中核的な技術の開発を目的とし、平成27年度から実施している。

この事業では、大きくは次世代人工知能技術と、革新的ロボット要素技術とに分けて研究開発を実施している。このうち、次世代人工知能技術については、国内外の人工知能に関する研究所や研究者等を集約し、その英知を結

集して、研究開発を進める必要があることから、研究開発拠点を選定し、集中研究方式を取り入れて実施している。前述のとおり、「人工知能研究センター」を拠点とし、株式会社国際電気通信基礎技術研究所や国立情報学研究所、東京大学、京都大学、電気通信大学、信州大学、玉川大学、金沢大学、九州工業大学、奈良先端科学技術大学院大学、千葉工業大学、中部大学、中京大学、大阪大学等が参加している。具体的な研究内容は、図 II-16 のとおりである。



図 II-16 プロジェクトの概要

さらに、人工知能分野でイノベーションの好循環を実現する出口側の仕組みとして、平成 28 年 4 月、NEDO に「AI 社会実装推進室」を設置した。研究成果の戦略的な社会実装に向けてユーザ企業と連携しつつ、関心企業等へのサンプル提供、技術の国際標準化に加え、研究開発成果を出口側（技術に関心のある行政機関や民間企業等）が有する社会課題と連携させ、技術シーズの社会実装化に向けた取組を強化していくとしている。この取組の一環と

して、NEDO では、平成 28 年 4 月には、「次世代人工知能技術社会実装ビジョン」を策定・公表し、人工知能技術の進展予測と出口分野への効果の可視化を行った。

分類	現在～2020年	2020年～2030年	2030年以降
認識能力関係	<ul style="list-style-type: none"> 静止画像・動画像からの一般物体認識が人間レベルに到達 3次元情報からの環境認識が人間レベルに到達 人間の表情、感情の認識が人間レベルに到達 	<ul style="list-style-type: none"> 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、特定ドメインにおいて、文脈や背景知識を考慮した認識が可能に スモールデータでの学習による認識が可能に 	<ul style="list-style-type: none"> 特定ドメインに限らず、一般ドメインにおいて、文化や社会的背景などを考慮した認識が可能に（シンボルグラウンディング問題の解決）
運動能力関係	<ul style="list-style-type: none"> ディープラーニング（DL）と強化学習の融合が進化し、人間が設定した報酬体系の下、高度なゲームなどのタスクの遂行（プランニング）が人間レベルに到達 運動に関するプリミティブ、構造（オントロジー）を自動生成する技術の確立 	<ul style="list-style-type: none"> スモールデータでの学習により、深い背景知識を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達 人間の運動・モノの操作・動画像から概念階層を自動で獲得（運動からの自動的なオントロジー獲得技術の確立） 安全マニピュレーション技術の確立 ハードの進化とあわせて、さまざまな実用的タスクに対するマニピュレーション技術が確立 	<ul style="list-style-type: none"> 文化や社会的背景を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達 マニピュレーション機能がモジュール化され、社会全体で最適配置される
言語・意味理解	<ul style="list-style-type: none"> 画像とテキストを相互変換する原始的シンボルグラウンディング技術の確立 特定ドメインにおいて、会話が成立するための発話計画を自動で生成 	<ul style="list-style-type: none"> マルチモーダルな情報、運動に関するプリミティブとテキストを相互変換する、より本格的なシンボルグラウンディング技術の確立 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、新聞等のフォーマルなテキストの分類、情報検索、含意関係認識等が人間レベルに到達 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、特定ドメインの機械翻訳が人間レベルに到達 	<ul style="list-style-type: none"> 人間の言語知識と、画像や運動を介したグラウンディングが融合し、大規模な知識獲得が可能に フォーマルなテキストに限らず、インフォーマルなテキストの分類、情報検索、含意関係認識等が人間レベルに到達 機械翻訳が人間レベルに到達 機械が仮説や要約を生成 音声対話が人間レベルに到達
数値データの処理、人間やシステムモデル化	<ul style="list-style-type: none"> センサからの大量データの取得・活用が進む（IoT） 認知発達モデル、脳の情報処理の研究が加速 	<ul style="list-style-type: none"> センサデータにより、社会の部分的最適化が可能に 認知発達モデルが部分的に構築 脳の情報処理原理が部分的に解明 	<ul style="list-style-type: none"> 認識能力、運動能力、言語・意味理解能力の向上とあわせて、社会全体の最適化が可能に 認知発達モデルが概ね構築 脳の情報処理原理が概ね解明
計算機システム等の必要なハードウェア	<ul style="list-style-type: none"> ワンショット3D計測やハイパースペクトルカメラなどのセンサ 省電力高性能小型プロセッサ 触覚センサなどセンサ類の高度化 高度マニピュレータ 	<ul style="list-style-type: none"> イジングモデル型デバイス スマートアクチュエータ あらゆるデバイスが超低消費電力駆動 	<ul style="list-style-type: none"> 人の脳にせまる脳型デバイス

図 II-17 次世代人工知能技術社会実装ビジョン（抜粋）

なお、経済産業省では、「第4次産業革命」とも呼ぶべき IoT、ビッグデータ、ロボット、人工知能等による変革に的確に対応するため、平成 27 年 8 月、産業構造審議会に「新産業構造部会」を設置し、官民が共有できるビジョンの策定に向けた検討を進めてきた。平成 28 年 4 月、「新産業構造ビジョン」の中間整理をとりまとめ、「第4次産業革命」を我が国が勝ち抜くための道筋を示した。

GDP600 兆円の達成に向け、「希望生み出す強い経済」の実現において、人工知能は鍵となる重要な技術である。人工知能技術は急激な技術革新を遂げており、その活用によって新たな製品やサービスが生み出されたり、これらの生産や提供の仕組みが変わることによって、産業構造、就業構造さらに経済社会システムを劇的に変える可能性がある。経済産業省では、「人工知能研究センター」での研究開発や、「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」事

業、AI 社会実装推進室での活動等を通じて、先進的な人工知能の研究と実用化の好循環（エコシステム）の形成に貢献していくとしている。

(4) 3省連携による次世代人工知能研究の取組

次世代の人工知能技術の研究開発においては、総務省、文部科学省、経済産業省の3省が一体的に連携することとし、平成27年9月には、3省連携体制のもとで人工知能技術の研究開発を推進し、その研究成果を関係省庁や産業界などに提供し、政府全体として更なる新産業・イノベーション創出や国際競争力強化を図っていくことで合意がなされた。

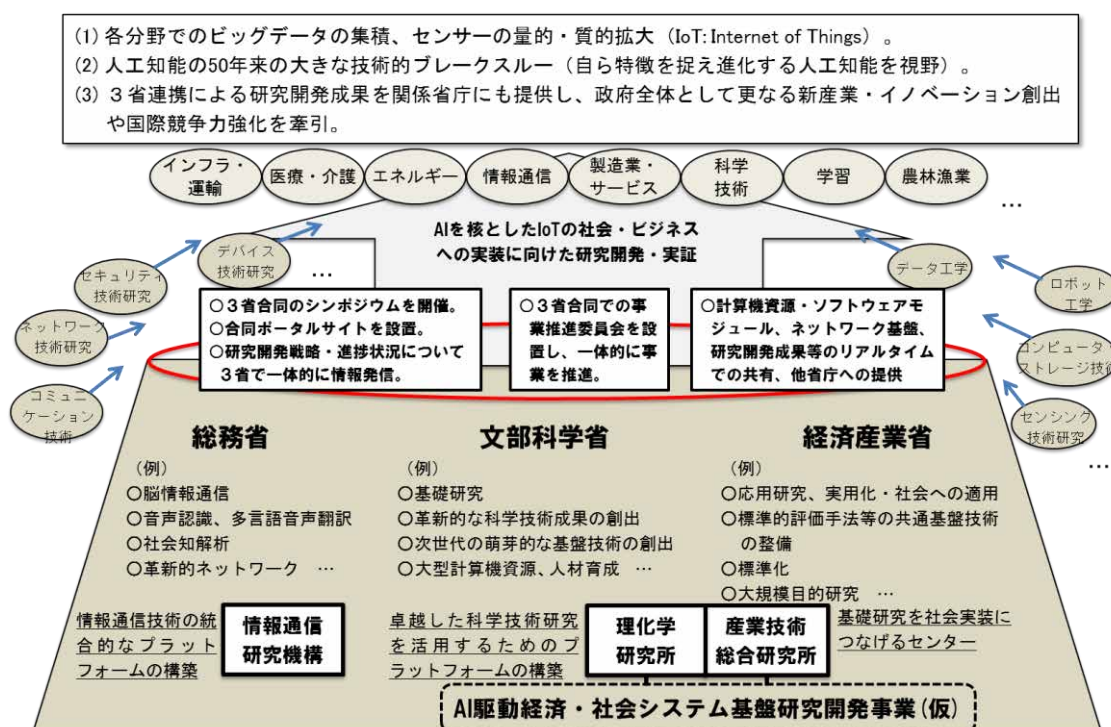


図 II-18 次世代の人工知能技術の研究開発における3省連携体制

また、平成28年4月12日の「第5回未来投資に向けた官民対話」において、安倍総理大臣からの

- 1) 人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップを本年度中に策定し、
- 2) 産学官の叡智を集め、縦割りを排除した「人工知能技術戦略会議」を創設する、

との指示を受け、同年4月18日に総務省、文部科学省、経済産業省の3省が中心となり、人工知能技術の研究開発等の司令塔機能を担う「人工知能技術戦略会議」が設置された。

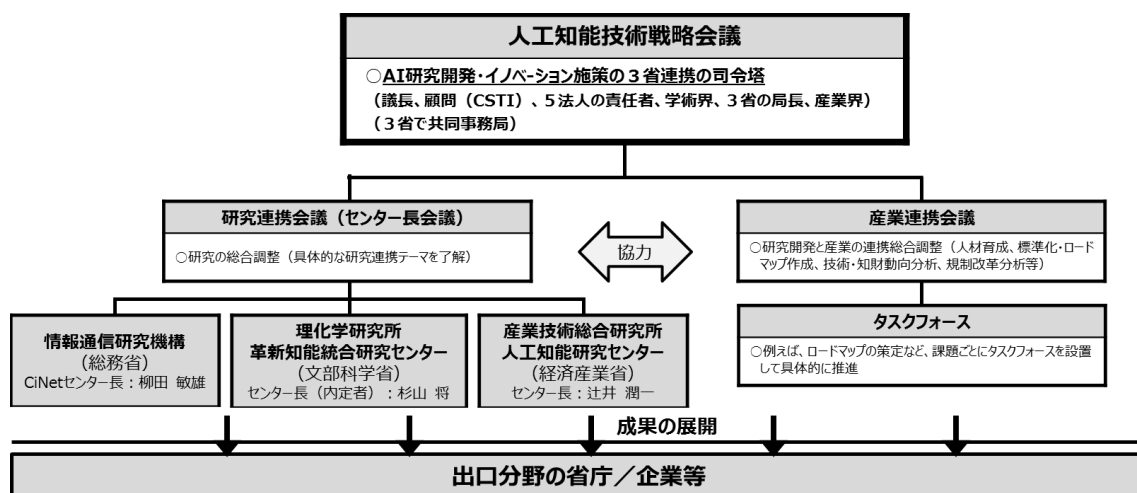


図 II-19 人工知能技術戦略会議の検討体制

(5) 内閣府革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) の取組

少子高齢化・人口減少による経済状況への不安解消と、心の豊かな社会生活の実現を目指して、企業の中では心を扱う脳情報の民生応用への期待が高まり、脳科学と事業の真の融合が求められている。

内閣府革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) では、多様な心の有り様を可視化する脳情報のデコーディング技術及び自分が望む脳の状態へと整えるフィードバック技術、さらには大規模脳情報蓄積基盤の開発とその国際標準化を進め、2020年までに共有可能なリソースとして提供するための取組を行っている。

これにより、脳の健康状態の予測アルゴリズムを用いたメンタルヘルスケアサービスや、専門家と自分の脳活動パターンマッチングを用いた暗黙知学習支援サービスの実現を目指している。

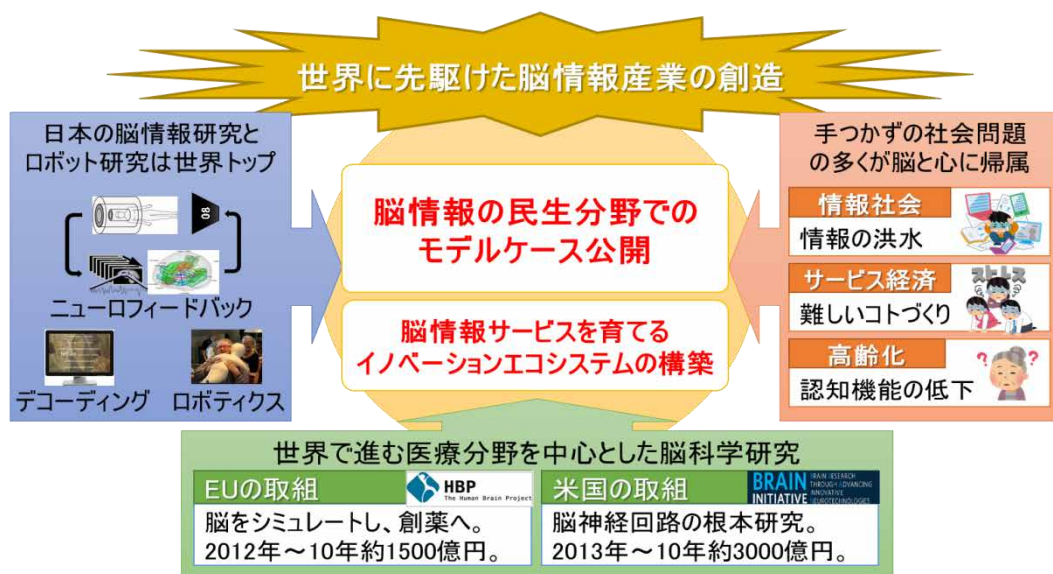


図 II-20 内閣府革新的研究開発推進プログラム (ImpACT)
「脳情報の可視化と制御による活力溢れる生活の実現」全体構想

(6) 我が国の企業の取組

我が国の大手 ICT 企業は、人工知能技術に関して様々な取組を行っている。主な企業が取り組んでいる事例は以下の通り。

1) 日立製作所

- ビッグデータを利用し、街づくりに伴う投資効果や環境への影響などを可視化できるシミュレーションソフトを開発し、これにより、鉄道や病院等の建設にあたり利用人数や人の流れを予測したり、必要な投資規模等を瞬時に算出したりすることができる。
- 電子カルテから病態や病気の部位等の指定された情報を高精度で抽出する技術を開発し、これによりあらかじめ用意した学習データに基づき、電子カルテに記入された情報から、答えを判定する規則を自動構築する機械学習手法を導入したサービスを提供している。
- 人工知能技術を活用して、企業の売り上げ向上やコスト削減を含めた経営課題の解決を支援する「Hitachi AI Technology／業務改革サービス」を展開している。ビジネスに関連する大量かつ複雑なデータの中から組織の重要な経営指標 (KPI : Key Performance Indicator) との相関性が強い要素を発見し、革新的な業務改革施策の立案を可能にする。

2) NEC

- 「**NEC Advanced Analytics - RAPID 機械学習 V1.1**」は、ディープラーニング技術を搭載したソフトウェアであり、独自技術によってメモリに読み込むデータ量を圧縮することで、省リソースで高速処理を実現している。この技術を用いて、カメラ画像からの不審者の自動検出など高精度な画像認識を実現する「画像解析版」と、求職者の適性にあった求人企業の紹介など効果的なマッチングを実現する「人材マッチング版」の2種類を提供している。
- 電力使用量に影響する多種多様なデータを、「異種混合学習技術」で分析し、将来の電力需要を高精度に予測できる。
- 大量のセンサー情報を、「インバリエント分析技術」を用いてリアルタイムに分析し、故障に至る前に設備等の不健全な状況を検知／通知する。
- 大阪大学と脳型コンピューティング技術に関する共同研究を進めるため、**2016**年4月に**NEC**ブレインインスパイアードコンピューティング協働研究所を設置した。また、シミュレーションと人工知能が融合した技術を基本原理から産業応用まで一貫した研究開発に取り組むため、産業技術総合研究所と**NEC**は産総研人工知能研究センター内に「産総研-NEC人工知能連携研究室」を設立している。

3) 富士通

- 先端研究から得た知見やノウハウをベースに、「知覚・認識」「知識化」「判断・支援」の機能と、それらを高度化させる学習機能を「**Human Centric AI「Zinrai」**」として体系化し、各種サービスに実装して提供している。
- ディープラーニングにより、中国語の手書き文字認識において人間を超える認識精度を達成し、中国語の手書き帳票の処理の効率化を可能にしている。
- 人工知能技術を活用した対話型質問応答技術を開発し、保険分野での窓口対応業務での実証を終え、サービスへの実装を進めている。
- 海外の病院との共同研究において、人工知能技術を活用して精神疾患の発症トリガーを発見し、精神疾患に対する新しい対策や治療法の確立に取り組んでいる。
- 船舶に関連するビッグデータを活用・解析し、実海域における燃料消費や速度などの船舶性能を5%以下の誤差で高精度に推定する技術を開発し、船舶の燃費改善に繋げるべく取組を進めている。
- 富士通の従業員**26,000**名の過去3年分の健康診断データとレセプトデ

ータから、1年後の糖尿病の発症リスクを予測した。

- ・ リスク要因をマーケット指標、為替市況などからオンラインで抽出し、短時間で解析。リアルタイムにリスクをグラフ化するとともに、その予測エンジンを活用した商品価格変動の予測分析も可能にした。
- ・ 人工知能技術を活用して、各種センサーから膨大な稼働データをリアルタイムで分析することで、故障や異常が発生する予兆を検知するサービスを提供している。
- ・ 稼働ログや現場で発生するデータを活用した頻発停止の発生予兆分析、工場内のエネルギー情報と経営情報のリアルタイム管理による工場最適化、様々な外部データを活用した需要予測の精度向上による機会ロス・廃棄ロスの低減を可能とするサービスを提供している。

4) パナソニック

- ・ 人工知能研究開発に関する情報発信を強化するため、「Panasonic AI」Web サイトを開設し、その中で人工知能技術の研究・開発ビジョンをはじめ、自動運転に向けた「高精度リアルタイム人物検出技術」、人のくらしの中で安全にロボットを活用するための「人とロボットの協調制御技術」、人とコンピュータとの自然な対話や高精度な翻訳を目指した「対話・機械翻訳技術」などの自社の研究開発事例を紹介している。
- ・ 内外の連携を促す新拠点「パナソニックラボラトリー東京」(PLT)を設置し、ロボット、人工知能、IoT、センシングに関わる研究を実施している。
- ・ 社内の人工知能教育プログラムの拡充・人工知能に特化した採用を通じて、現状 100 人弱の人工知能技術者を、2018 年度に 3 倍の 300 人に増やすとしている。

5) シャープ

- ・ 「モノの人工知能化」を推進している。人工知能 (AI) と IoT を合わせた造語 “AloT” により、家電をクラウドに接続して人工知能化し、もっと人に寄り添う存在にする、とのコンセプトのもとで、(1)音声対話、(2)センシング・人工知能、(3)思考理解に注力する方針を打ち出している。
- ・ 現在、音声アシスタント「emopa (エモパー)」を、家電製品に搭載されている人工知能「ココロエンジン」をベースに、スマホに登載し、数十万人が利用している。
- ・ 音声対話による自然なコミュニケーションや写真撮影、二足歩行などが可能なモバイル型ロボット電話「ロボホン」を 5 月 26 日より発売。ユ

ユーザーの利用状況やプロフィールなどを学習しながら、新たなサービスやアプリケーションにより人に寄り添う存在に成長していく。

6) NTT ドコモ

- ・ 「自然対話プラットフォーム」は、「しゃべってコンシェル」でも使われている技術をさらに拡張し、意図解釈、雑談対話、知識 Q&A、シナリオ対話、外部コンテンツ連携、キャラクター風発話変換、ユーザ情報自動抽出などの機能を統合して扱えるクラウド型システムを開発・提供している。ロボットや玩具に搭載し、人との自然な対話を実現することができる「自然対話プラットフォーム」に企業が独自のシナリオを追加カスタマイズすることが可能な「おしゃべりロボット for Biz」を 2016 年 5 月 30 日より提供している。
- ・ 携帯電話ネットワークの仕組みを利用して作成される人口統計に、タクシー運行データ等をかけ合わせて分析することで、タクシーの利用需要をリアルタイムに予測する「移動需要予測技術」を開発し、交通網の効率化をめざす世界初の実証実験を 2016 年 6 月 1 日より実施している。

また、我が国のベンチャー企業においても人工知能技術の研究開発等の取組が活発に行われている。人工知能関連ベンチャーの種類に関しては、技術特化型とサービス特化型に大別される。各企業が取り組んでいる事例は以下の通り。

表 II-2 我が国のベンチャー企業における取組の事例

技術特化型	<ul style="list-style-type: none"> ① 画像認識エンジン ② 顔認識エンジン ③ 自動運転支援のための深層学習エンジン ④ 感情認識エンジン
サービス特化型	<ul style="list-style-type: none"> ① 建造物の画像診断 ② IoT データコントロールサービス ③ ソーシャルメディア画像分析や Web 画像フィルタリングサービス ④ 銀行での音声対話サービス ⑤ 店舗内の行動データ分析サービス ⑥ ウェブサイト内のユーザ行動分析サービス

このようなベンチャー企業に、数億円～数十億円規模の範囲で大手企業が投資を行っている事例もある。

III 人工知能が実現する社会

III-1 人工知能技術の発展の方向性

II-1「人工知能の発展の経緯」で述べたとおり、これまで人工知能と脳科学研究は相互に影響を及ぼし合いながら、それぞれ発展してきた経緯があり、将来的には「情報科学に基づく（ビッグデータを活用する）人工知能技術」と「脳科学に基づく人工知能技術」がさらに高度化し、融合することにより、次世代の人工知能技術が実現することが期待されている。

本WGでは人工知能及び脳科学研究の最新動向を踏まえながら、図 III-1 の発展イメージを議論の出発点として検討を行ってきた。

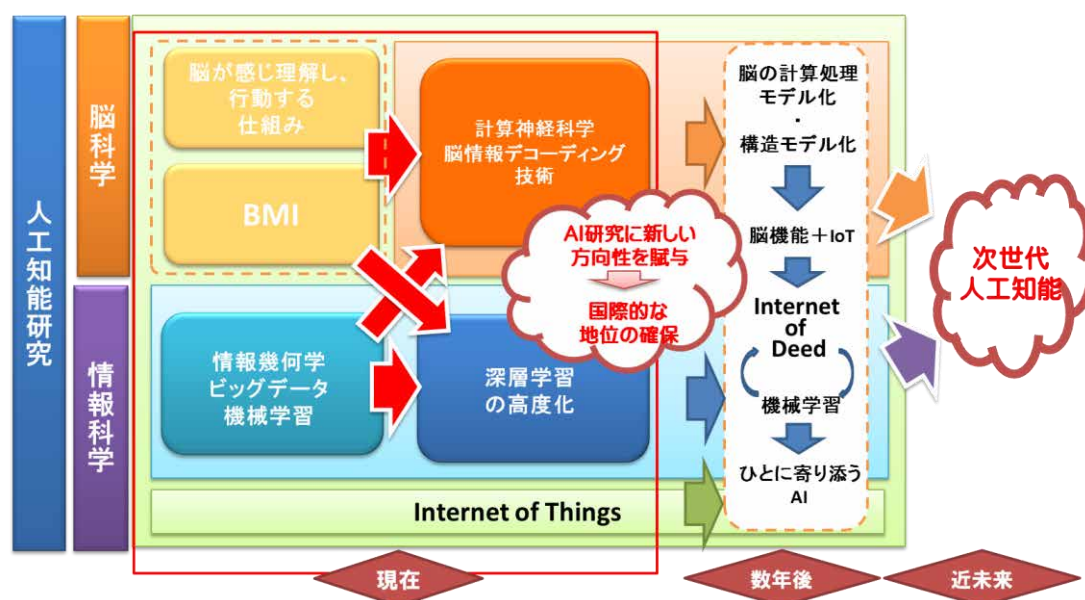


図 III-1 人工知能技術の検討イメージ

III-2 人工知能技術の利活用イメージ

本章では、次世代人工知能が実現する近未来を想定して、人工知能技術によりどのようなことが可能となり、国民生活がどのように変わっていくのかを展望するため、将来の人工知能技術の利活用イメージをまとめたものである。

人工知能技術の将来の利活用イメージをまとめる上では、まずは人工知能技術やサービス開発等の現状を把握する必要がある。このため、人工知能技術の適

用分野において、商用段階にあるものから研究段階にあるものまでを整理し、図 III-2 に示した。

人工知能技術/サービス動向

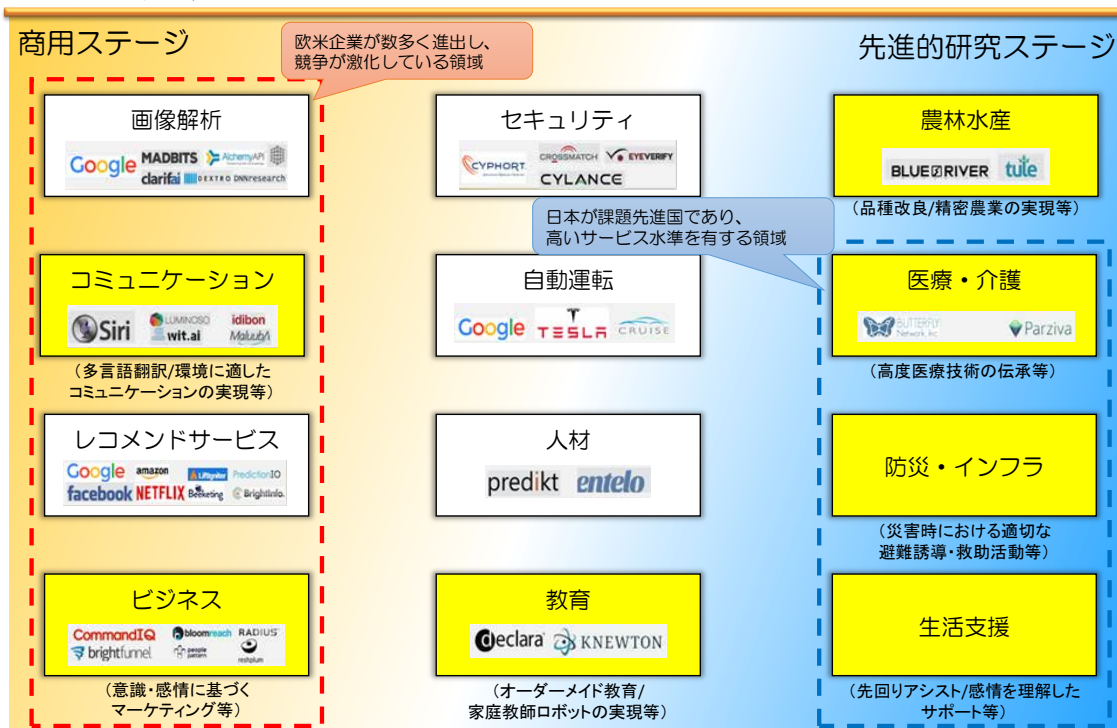


図 III-2 人工知能技術/サービス動向

出典：AI・脳研究WG 第2回栄藤構成員資料を参考に作成

図 III-2 において赤枠で示した商用段階にある分野については、欧米企業が既に数多く進出しており、競争が激化している領域が多いのが現状である。しかしながら、コミュニケーション分野やビジネス分野については、欧米では必ずしも自然言語や脳活動のデータベースが十分に整備されているとは言えず、良質なデータベースを有する我が国が十分に勝負できる分野であると考えられる。

一方、青枠で示した研究段階にある分野については、第1章で示したように「社会的課題先進国」である我が国が、高度なノウハウとサービス水準を有する領域であることから、今後、世界に先駆けて重点的に人工知能技術の研究開発を進めるとともに、データ整備の枠組みを早期に構築することで、大きなアドバンテージを得られると考えられる。

以下、我が国における社会的課題の解決という視点から特に重要と想定される分野（図 III-2 中黄色で示した分野）について、人工知能技術の利活用イメージをまとめた。

人工知能技術の活用によって、幅広い分野において従来人手では処理できない量のデータを扱えるようになり、労働生産性の大幅な向上・人材不足の解決が可能となる。また、人工知能のサポートによって様々な分野で各人の創造力を発揮することができ、新たなサービスや商品の創出につながることを期待される。

(1) 医療・ヘルスケア分野

個人のバイタルデータ、遺伝子情報、ライフログ等のビッグデータによって、個人に適した（カスタマイズされた）医療やヘルスケアの提供により、病気を未然に防ぐことで、健康寿命の延伸、医療費の低減に効果があることが明らかになりつつある。この分析精度を上げるために、深層学習による大規模データの高精度な分析が期待されている。さらに、そのような分析に基づいて、医師の経験に基づく処置や高度な技術に基づく手術等から、人工知能技術と ICT による名医の知識と技術が共有化された高度な医療サービスを普及させることが出来る。さらに、最高峰の医療技術を効率的に習得あるいはロボット等を実装することにより、誰でもどこでも最高峰の医療を受けることができる。

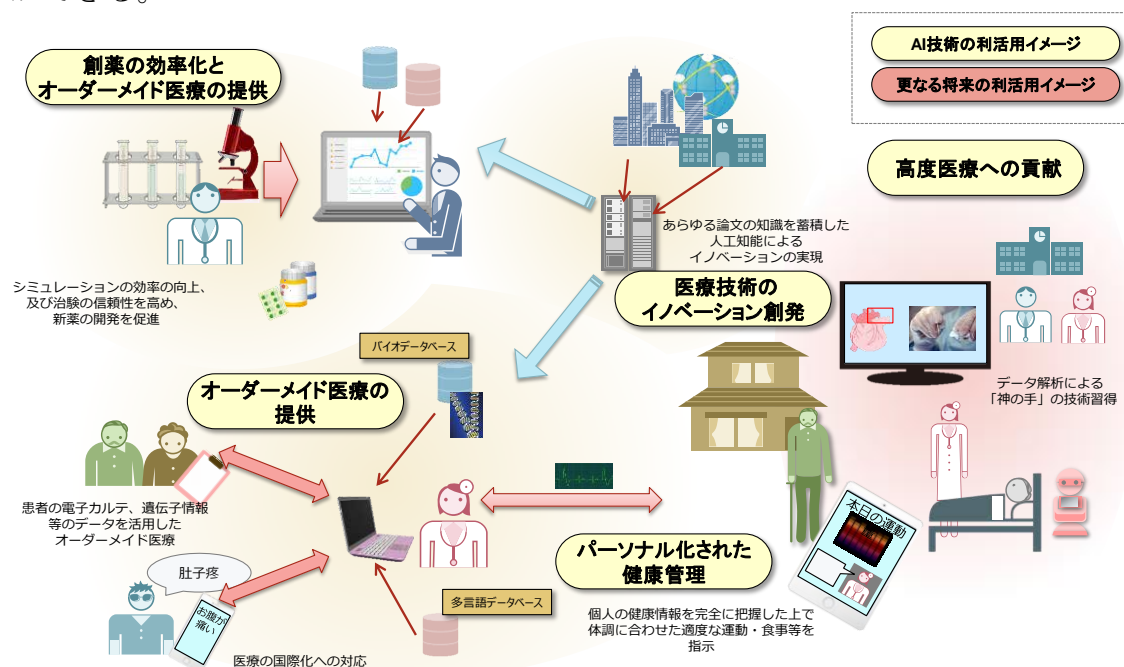


図 III-3 医療・ヘルスケア分野における人工知能活用イメージ

① 人工知能技術の利活用イメージ

1) 創薬の効率化とオーダーメイド医療の提供

- ・ 計算機の処理性能向上に伴い、タンパク質と化合物の結合及び条件設定における大量の組合せを自動でシミュレーションすることが可能となり、これを活用して効率的に新薬を創り出す取組がすでに進められている。
- ・ 人工知能技術の高度化により、シミュレーション効率や治験の信頼性を高め、新薬の開発を促進するとともに、研究費の低減にも貢献する。

2) オーダーメイド医療の提供

- ・ 患者の電子カルテ情報や処方箋、遺伝子情報等のデータを活用することによって、個々の患者に起こりうるリスクを事前に予測し、個人に適した医療（オーダーメイド医療）を実現するための研究が活発化しており、実用化に向けた取組みが進められている。
- ・ 医療の国際化が不可避的に進み、患者と医師の言語が異なる状況が生じている。すでに、訪日観光客の急増に医療現場は困窮しており、現在開発中の医療向け音声翻訳の早期実現への期待が急速に高まっている。また、医療分野のデータは、一国にとどまって収集しても十分な量が集まらないことが想定され、他国のデータを自動翻訳を介して利用することも必要となる。すでに、特許や科学技術論文では高精度な自動翻訳を実現しており、テキストデータである患者の電子カルテ情報や看護師の所見の翻訳も実現可能と推定される。
- ・ 今後も各種バイタルデータ計測技術の時間分解能・空間分解能の高度化、診断画像の高精度化等と、それらのデータの処理性能の向上が、これらの研究成果の高度化に寄与していくことが期待される。

3) パーソナル化された健康管理

- ・ 日常生活におけるあらゆる生体情報及びライフログを常時取得し、データベース化することによって体調の異常予兆検知が実現する。また、通院するタイミングや服薬のアドバイスをを行うことができる。
- ・ さらに、各個人の健康状態を完全に把握した上で、体調にあわせた適度な運動・食事の指示を実現する。日々の活動が自分の身体に及ぼす影響がリアルタイムで可視化されることによって、健康意識が高まり、自律的な健康維持に繋がる。このようなシステムも日本人だけを対象とするのではなく、少なくとも中国やASEAN 諸国などに展開していくことは重要であり、ここでも自動翻訳の早期実用化が求められる。

4) 医療技術のイノベーション創発

- ・ 言語処理技術等の活用により、あらゆる論文の知識を蓄積した人工知能を構築し、その知識を組み合わせることによって、人間の発想及びスピ

ードを超越したイノベーションを実現し、医療技術の高度化を加速させる。

② 更なる将来の利活用イメージ

集積された医療ビッグデータに基づいて多様な分析が行えるようになることが期待されるが、外科手術等の人の技量が必要な分野においては、レセプトデータ等の活用だけでは不十分である。外科手術等の高度医療においても活用出来る人工知能技術の更なる研究が期待されている。以下に具体的な例を示す。

- 1) 「神の手」と呼ばれる最高峰の技術を持つ医師が行う術中の動作や視線、診断技術について、脳活動を一般的な医師と比較し、技術の差を生み出していると考えられるポイントを抽出することにより医師の技術習得に役立てる。
- 2) 長年の経験の積み重ねが必要となる高難易度な手術や、症例が少なく実際に経験を積むことが難しい手術において、高度な技術を有する医師の経験を再現できるように各種情報を取得する。別の医師がその手術の方法を習得する際、シミュレータ上で練習を行う場合においても、経験のある医師と比較することによって効率的に習得が可能となる。
- 3) また、これらの高度な技術をもつ医師の脳活動等から手術に必要な操作を学習し、ロボットの動きとして実装することによって「神の手」を大量に製造することが可能になる。最高峰の医療技術を、誰もが、どこにいても受けることができることが期待される。

(2) 教育分野

様々なデータに人工知能技術を適用し、生徒一人一人に合わせた教育を実施する手段が提供され、さらに将来的には、生徒一人一人に向けてパーソナライズされた”家庭教師”ロボットが教育の一定の範囲を担うようになる。ライフログや脳活動情報を活用することにより、学習すべき内容を抽出し、個人に適した方法で効率的に学習が可能な環境を構築できる。これにより生徒本人の能力を最大限に引き出すことが出来るようになるとともに、教員のスキルが向上し、より効果的に高度な指導を行うことができる。

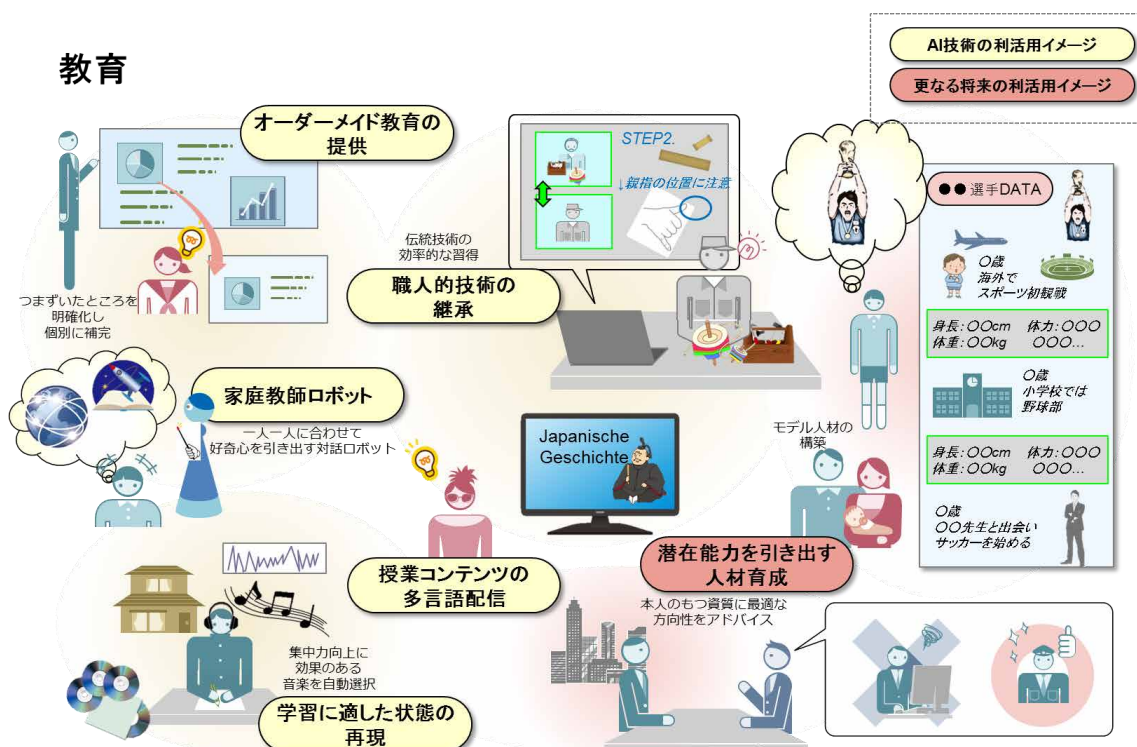


図 III-4 教育分野における人工知能活用イメージ

① 人工知能技術の利活用イメージ

1) オーダーメイド教育の提供

- 教育現場の ICT 化が進み、一人一台の学習用情報端末の導入が本格的に進められる中、生徒一人一人の学習状況をデータとして蓄積し、その理解度・進捗に合わせて、デジタル教材を自動的にカスタマイズして提供する仕組みが既に実用化されている。
- 一方で、脳の状態遷移の見える化技術も進みつつあり、これを学習状況と組み合わせることによって、教材のどこでつまづいたのかを明確化し、補完する高度なオーダーメイド教育が可能となる。
- 特に低学年の教育内容については、上記のような人工知能を搭載した家庭教師ロボット等により、きめ細かい教育支援の実現を図る。

2) 家庭教師ロボットによる教育

- 生徒一人一人の学習の進捗に合わせて、多様な対話で生徒の興味、好奇心を引くとともに知識を伝授する対話ロボットが出現する。
- 既存のカリキュラム、教材に従って教育を行うのではなく、Web や学術論文上の知識も併用することで、生徒の興味に従ってよりレベルの高い内容へとジャンプすることも可能とし、例えば、算数が得意な小学生をハイレベルなプログラミングの学習に誘導するといったことも可能となる。

- ・ 人間の教師による教育と、こうした家庭教師ロボットによる柔軟でパーソナライズ化された教育を併用することで、生徒各々の才能をより効率的に伸ばすことが可能になる。
- 3) 学習に適した状態の再現
- ・ 個人個人の集中時における脳活動状態等を予め学習した人工知能が、学習中の集中状態をリアルタイムに把握し、本人にフィードバックする。これによって、学習に最適な状態に持っていくためのルーティンを生成することが可能となる。さらに、そのルーティンを機械が学習することによって、例えば最適な音楽をレコメンドする等、集中力増強をサポートすることができる。
- 4) 職人的技術の継承
- ・ 手足や指の動作をセンサーで詳細に捉え、解析することによって、模範となる繊細な動きと比較し、効率的にスキル習得を目指す取組が進められている。その成果を、習得が困難な職人的技術の習得に役立てる。例えば、継承者が少なく消滅が懸念されている伝統技術の存続への寄与などが期待される。通常、伝統技術の継承には長い年月を必要とするが、人工知能が技術者のもつスキルを動作やバイタルデータ等から収集し、綿密に解析・学習する。その結果を継承者の教育時と比較し、矯正するための指示を出すことによって効率的に継承する。これにより、継承者は伝統技術の進化、あるいは新規技術とのコラボレーションといった新たな方向性に貴重な時間を使うことが可能となる。
- 5) 授業コンテンツの多言語配信
- ・ 近年、授業のビデオの配信サービスが普及している（**MOOC: Massive Open Online Course**）。現行では、このビデオを音声認識し文字化したり、自動翻訳したりすることが技術的に十分可能になってきている。更なる音声認識技術及び自動翻訳技術に係る基礎研究を深めつつも、開発・商品化して、コンテンツの価値を上げることは、インバウンドでもアウトバウンドでも重要になってくる。

② 更なる将来の利活用イメージ

- 1) 潜在能力を引き出す人材育成
- ・ ある分野において成功しているとされる人材（モデルとなる人材）のこれまで受けてきた教育や社会経験、それらに紐づく脳活動情報等に基づき、今後その分野で成功する可能性がある人材（類似する人材）を抽出。また、そのモデル人材の構築のために必要となる重要な経験を抽出し、教育現場で活用する。

- ・ 脳活動から本人のもつ資質を抽出し、能力を最大限に引き出せる方向性をアドバイスすることで、本人の可能性を効率的に拡大することができる。また、これに基づいて企業が人材の配置を検討することにより、適した場所で能力を最大限に発揮することが可能となる。

(3) 防災分野

災害時において、大量かつ高精度な各種センサーデータや SNS 上にあげられた被災情報等を分析することで、被災状況の把握や予測、救援活動における意思決定の支援等をより正確かつ迅速に行い、いわゆる「減災」を行うことが可能になる。

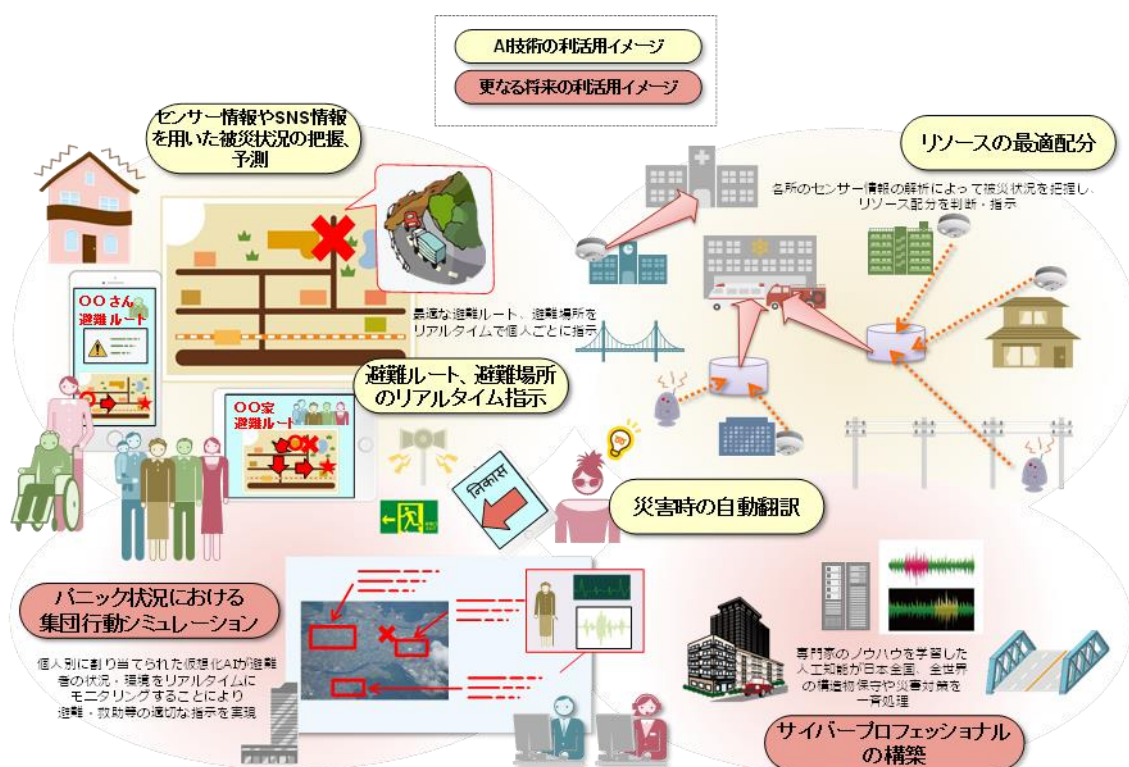


図 III-5 防災分野における人工知能活用イメージ

① 人工知能技術の利活用イメージ

1) センサー情報や SNS 情報を用いた被災状況の把握、予測

地球観測衛星、航空機、ドローン等による観測データ、日本全土に設置された各種センサからの情報や、Web 上のニュースや Twitter 等の SNS

情報などを、人工知能技術により統合的にリアルタイムで分析することで、物理的な被害から、被災者の心理やニーズまで様々な観点で被災状況を把握することが可能となる。(例：NICT の対災害 SNS 情報分析システム「DISAANA」の更なる高度利活用)

特に、過去の災害時の様々な情報が蓄積されつつあることから、災害時におけるセンサからのリアルタイム情報と、過去の SNS 情報等を照合することで、被災から一週間先の被災者のニーズを人工知能技術で予測し、救援物資の確保など、救援活動を先行して行うことなどが可能になる。

SNS 情報における被災者のニーズと、救援者サイドの物資の確保状況、センサーからわかる道路の通行情報などを統合して分析することで、より迅速で無駄がなく、また網羅的な救援活動をプランニングすることが可能になる。

2) 避難ルート、(安全な) 避難場所のリアルタイム指示

センサーによる道路・住宅の被害状況、人流 (スマホの位置データ等から取得)、自動車のプローブデータ等と、個人の状況 (体力、家族構成等) を組合せ、最適な避難ルート、避難場所をリアルタイムで個人ごとに指示する。

3) リソースの最適配分

道路や橋梁、トンネル、住宅に設置された大量のセンサーのデータに関して、災害時にはセンサーノード単体、一定の集合体においてフィルターや処理を独自に行うことにより、必要なデータのみを流通させることによって災害時のネットワーク負荷を軽減できる。その状況下でセンサー情報の解析によってその地域の被災状況を把握した上で、各エリアにある物資や人的リソースの最適配分を判断し、必要なエリアへ指示を伝達する (医師の数に余裕のある病院に対し、怪我人の多い避難所へ、不足している救命物資の数とともに出動を指示する等)。

4) 災害時の自動翻訳

東日本大震災の発生直後において、避難情報等が正確に伝わらないことから、日本を去った外国人が非常に多かったのは記憶に新しい。これは経済的な損失にもつながるものである。自動翻訳技術の精度を更に向上させることにより、このような災害時にも外国人が安心して行動・生活できるようになる。

② 更なる将来の利活用イメージ

1) 災害時のパニック状況における集団行動シミュレーション

人工知能技術によって個人の能力 (運動能力) や環境 (家族構成) に合

わせて個別にチューニングされ、かつ避難時にパニックや渋滞を発生させないような集団行動のシミュレーションを事前あるいはリアルタイムに実施した上で、個別適応させた避難誘導を行うシステムが実現する。例えば膨大なデータをリアルタイムにシミュレーションすることにより、刻々と変化する状況に瞬時に合わせて、その結果に基づいて避難誘導から救助に切り替えを行ったり、援助者を配備したりする。

2) サイバープロフェッショナルの構築

道路保守、構造物保守、耐災害診断の専門家（プロフェッショナル）が保有するノウハウを人工知能自身が、専門家の映像、音響、発言、動作から自律学習することで、サイバープロフェッショナルを自律的に構築する。これをコピーすることで日本全国、全世界の構造物保守や災害対策を一斉に処理することができるようになる。このメカニズムはモノづくり、医療や経営にも応用することができる。

3) 地震津波防災

我が国は世界でも有数の地震大国であり、近い将来に高い確率で大規模地震が発生するものと予測されている。

現時点では、人工知能による地震予知に関する手法は確立されていない。防災関連の研究所が有する微小地震から大規模地震までの計測データや、GPSで計測された地表面の測定データ、海底に設置された水圧計による津波データ、更には人工衛星や航空機等が撮影した地表面の高精細な画像データ等を統合し系統的に取扱い、また、スパースモデリング等の人工知能技術を用いて地震の生成プロセスの研究を進めることで、被災規模の予測が可能となり、地震津波防災に関するシナリオの形成に役立つものと考えられる。

(4) 生活支援分野

脳活動情報や日々の行動から、意図および感情を学習することによって、持ち主の意思を尊重したストレスフリーな生活支援を実現する。

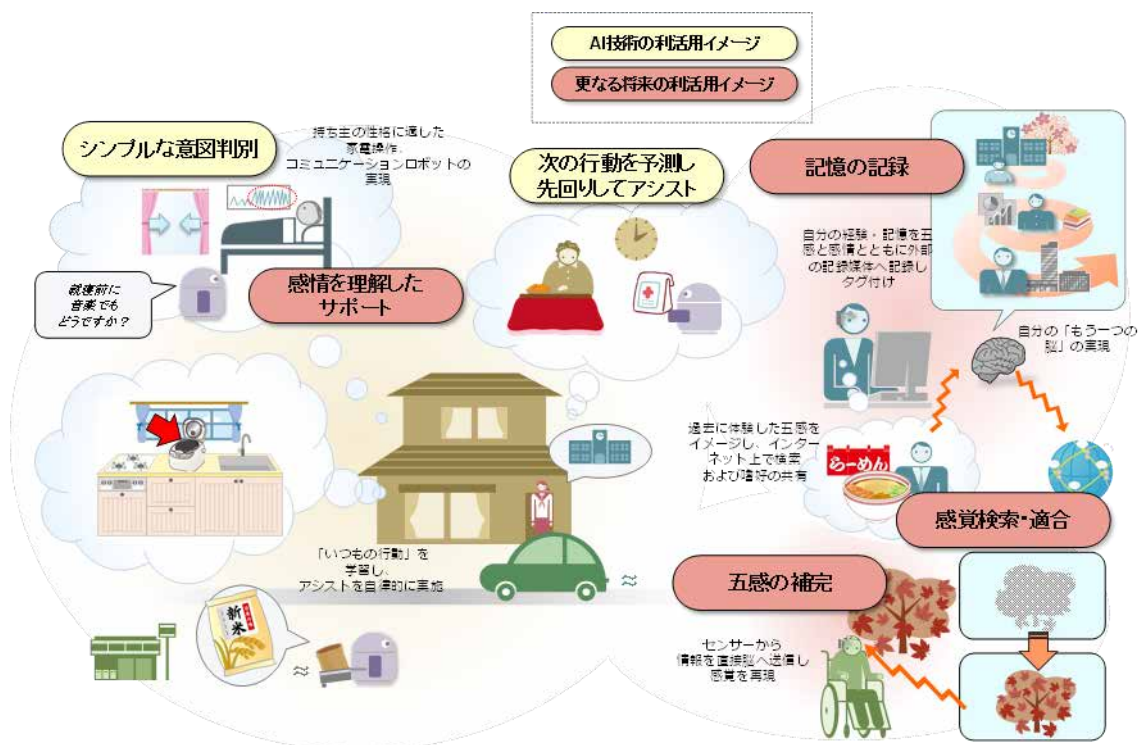


図 III-6 生活支援分野における人工知能活用イメージ

① 人工知能技術の利活用イメージ

1) シンプルな意図の判別による行動支援

- 日常生活に支障のない簡易で小型の脳活動計測機器によって、日々の脳活動情報から意図を判別し、シンプルな意思伝達及びスイッチの ON/OFF などの家電操作を実現する BMI 技術が、身体の不自由な人の生活支援及び多様なコミュニケーションツールとして利用される。

2) 日々の活動から次の行動を予測し、先回りしてアシスト

- 日々の活動をライフログとしてセンサーで取得し続け、「いつもの行動」を学習し、それに対するアシストを自律的に実施する。(食事の後に菓を自動的に持ってくるロボットなど)
- トイレットペーパー、お米など、消耗品は過去の行動に基づき、買いに行く前に自動的に宅配される。

② 更なる将来の利活用イメージ

1) 感情を理解したサポート

人間の脳の仕組みを明らかにすることで、意志及び感情を脳活動から把握できるようになる。これにより、快適かつ持ち主の性格に適した各種デバイスの操作や、きめ細やかな配慮が可能なコミュニケーションロボ

ットが実現する。

2) 記憶の記録

- ・ 自分の経験や記憶を、その時の視覚・聴覚などの五感と感情とともに外部の記録媒体に記録しタグ付けをすることで、必要な時に必要な記憶を引出すことが可能となる。映像とともにその時の五感を脳へインプットすることによって、同じ感覚を再び体験したり、体験を第三者と共有することができるようになる。
- ・ また、上記のような自分と同じ経験や記憶をもつ記録媒体を、自分のもう一つの脳として、自分とは別のタスクを行わせることにより、同一人物の脳によるマルチタスクが実現する。

3) 感覚検索・適合

- ・ 過去に体験した五感をイメージすることによって、インターネット上で検索が可能となる。例えば、過去に見た写真や食べた料理の味、聴いた音楽などをイメージし、その際の脳活動情報やセンサーの情報に基づいてそのイメージを再現することによって検索を行う。また、同時にその体験に紐づく感情を解析することによって、人との嗜好の共有、嗜好の合う人同士のマッチングが可能となり、より豊かなコミュニケーションが実現する。

4) 五感の補完

- ・ 視覚や聴覚などの五感に障害をもつ人に対し、不自由な機能を代替可能な高度で小型のセンサを身に着け、そのセンサが取得した情報を脳に直接インプットして感覚を再現することによって、障害を感じさせない生活を実現する。

(5) ビジネス分野

人工知能技術は、Web、SNS 等の情報を活用したマーケティングのみならず、科学技術文献等も用いたイノベーション支援等をも可能とし、さらには脳活動情報や表情等から、人の感情を把握し、商品の改良や消費者へのレコメンドに役立て、快適な消費活動を促進する。

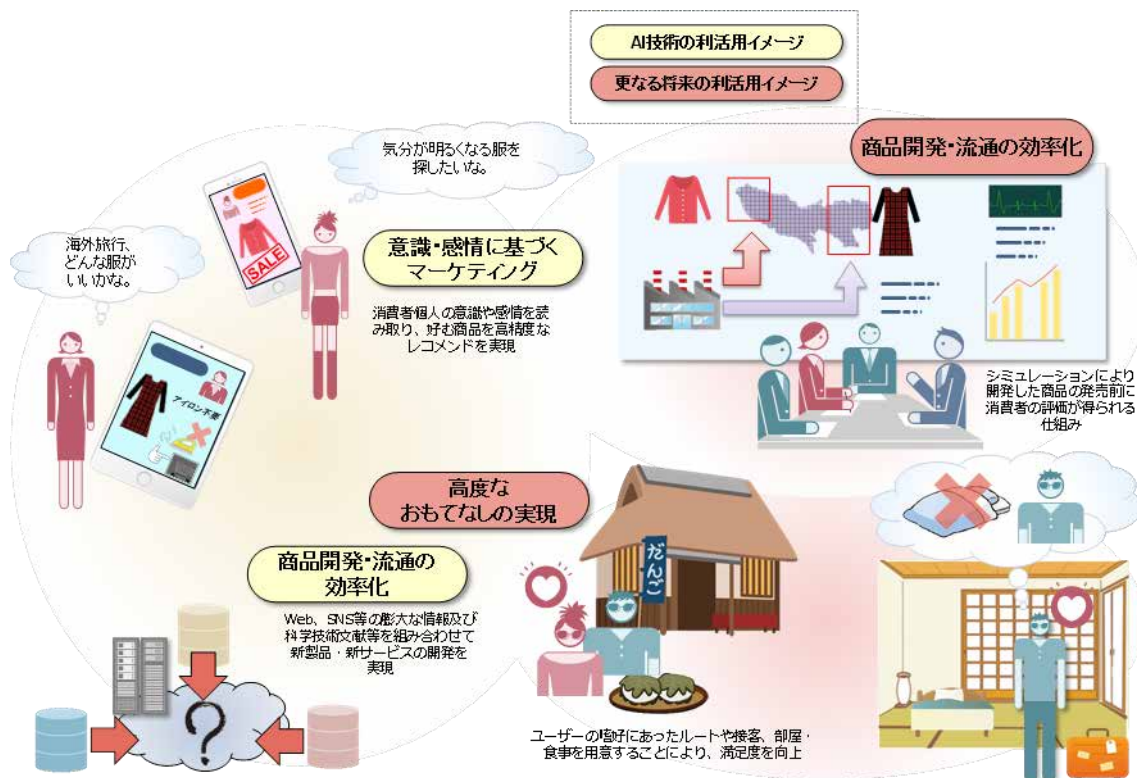


図 III-7 ビジネス分野における人工知能活用イメージ

① 人工知能技術の利活用イメージ

1) リアルタイムなマーケット把握

Web、SNS等の膨大な情報から顧客のニーズを把握、ないしは予測し、また、それに基づいて新製品、新サービス等を開発する際、膨大な科学技術文献等と合わせて分析し、それらを用いて様々な仮説を生成、提示し、イノベーションを促すことで人の想定を超えた新製品、新サービスの開発を可能とする。

2) 意識・感情に基づくマーケティング

- ・ 消費者の脳活動情報、バイタルデータ、表情等から商品に対する意識や感情を読み取り、商品やテレビCMの評価および改良に役立てる取組み（ニューロマーケティング）が近年注目されている。
- ・ このような取組が拡大することにより、脳活動情報とマーケティング効果の相関に関するデータが収集され、個々の消費者が好む商品を、高精度に Recommend することが可能となる。

② 更なる将来の利活用イメージ

1) 商品開発・流通の効率化

- ・ 新商品を発売する前に、商品の味や形状など五感で得られる情報に基づき、その商品に対する消費者の評価やニーズを高精度にシミュレーションすることにより、発売の是非や販売ルート戦略等を検討することができる。

2) 高度なおもてなしの実現

- ・ 旅先までの交通機関、及び旅館・ホテル等で、ユーザの嗜好にあったルートや接客、部屋・食事を用意することにより、満足度を向上させることができる。さらに、おおすすめの観光地やお土産をレコメンドし、個人個人に合わせた高度なおもてなしを実現することができる。

(6) コミュニケーション支援分野

急増する訪日外国人をおもてなしするとともに、日本人の海外進出をサポートするため、外国語を母国語と同じように理解できる技術を実現する。また、同一言語の場合でも、環境や個人の特性に応じて聞き取り補助等のサポートを実現し、コミュニケーションを円滑化する。

① 人工知能技術の利活用イメージ

1) 多言語によるストレスのないコミュニケーション

- ・ 現在スマートフォンのアプリとして実現されている多言語音声翻訳システムのユーザインターフェース (UI) にハンズフリー化などの改良を加えることにより、例えば、病院では医者が両手を自由に作業に使える等利便性が高まり、普及に拍車がかかる。
- ・ 翻訳する言葉の分野を問わず、眼鏡型ディスプレイやヘッドアップディスプレイ (HUD) を通して外国語を見ることにより、母国語に自動翻訳される。

2) 環境に適したコミュニケーション支援

- ・ ビッグデータから、外部環境とそれに適した声量、あるいはストレスを感じさせない声量等を学習した人工知能を搭載した補聴器等により、例えば騒音が多い街中の会話における聞き取り補助(ノイズ除去や聞き取れなかった単語の自動補完) や、声を出しにくい静かなレストラン等での受信音量の自動調整等のコミュニケーション補助が実現する。

② 更なる将来の利活用イメージ

1) ストレスフリーなコミュニケーションの実現

- ・ 高度な逐次翻訳処理技術を実現して、遅延のない同時通訳をいつでもどこでも利用できるようになる。
- ・ 長年の課題である文脈理解を人工知能技術によって高度化し、機械翻訳にもかかわらず人間による翻訳と同等の能力を有する自動翻訳システムを実現する。
- ・ 視野に入ってきた単語を自動的に母国語に翻訳して脳内へ直接インプットし、意味を理解できるようになる。

(7) 介護・福祉分野

介護・福祉分野における労働力不足を補うために、ロボットの活用による介護業務の支援や介護・福祉サービス利用者とのコミュニケーションを可能とする。

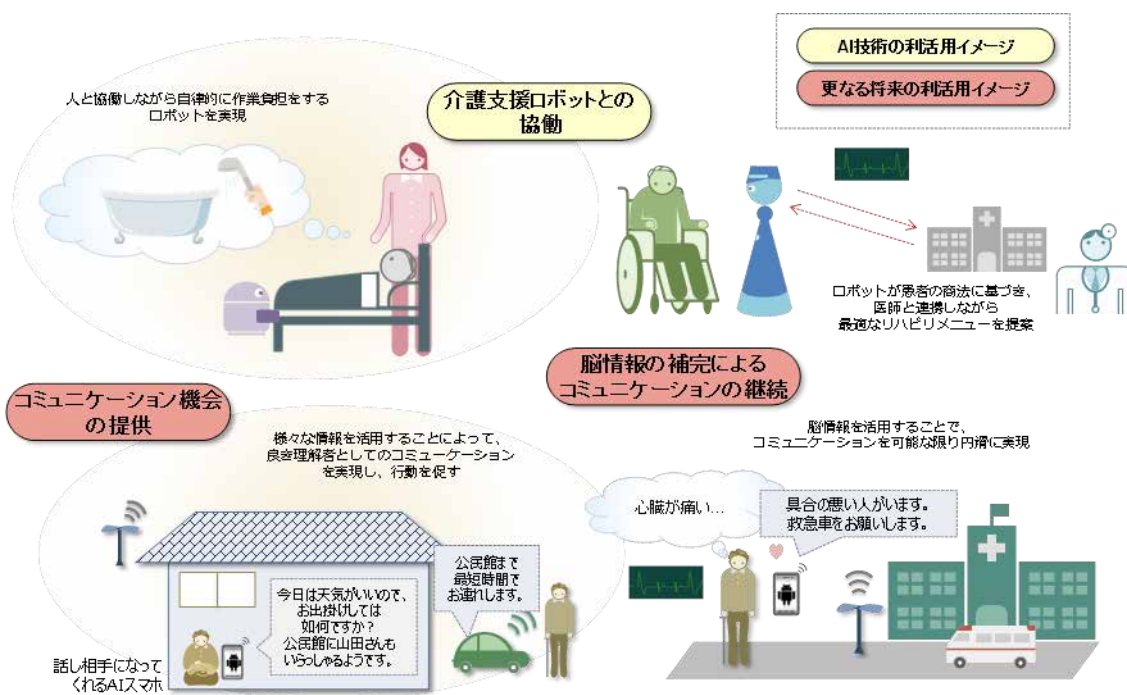


図 III-8 介護・福祉分野における人工知能活用イメージ

① 人工知能技術の利活用イメージ

1) 介護支援ロボットとの協働

- ・ 介護サービス利用者とそれをサポートする側の人の双方の状況を把握

し、ものを持ち上げる等の負担の大きい作業を中心に、人と協働しながら自律的に作業を行うロボットが実現する。

- ・ ロボットが患者の情報に基づき、個人に適した最適なりハビリメニューを提案する。患者に付き添って専属トレーナーとして最適なタイミングでリハビリを支援し、その効果もリアルタイムで解析し、医師と連携していくことにより、効果的かつ効率的なりハビリを実現する。

② 更なる将来の利活用イメージ

1) コミュニケーション機会の提供

- ・ 一人暮らしの人など、周囲とコミュニケーションをする機会が少なくなりがちの人に対し、ライフログ、バイタルデータや、天気などの外部環境の情報を活用しながら、あたかも古くからの友人のように、よき理解者として自然なコミュニケーションを実現する。さらに、その人の身体の状態を考慮した上で、最適と思われる行動（散歩などの適度な運動等）をレコメンドし、その際のサポートも自律的に行う。
- ・ 対話ロボットが **Web** や **SNS** 等の分析結果をもとに情報提供を可能とすることで、例えば、過去の経験談などについて自然なコミュニケーションを行う。こうした経験談の提供、蓄積（例えば、ビジネス上の経験、子育ての経験等）は若い世代にとっても有用であり、また、そうした情報の蓄積に貢献するという一方で、高齢者の生きがいにもつながることが期待される。

2) 脳活動情報の補完によるコミュニケーションの継続

- ・ 事故や病気などにより脳機能に損傷が生じた場合にも、それまでの脳活動情報や、脳機能の中の正常な部分を活用することで、意志を読み取り自然なコミュニケーションが出来るようになる。

(8) 農林水産分野

農林水産業においても労働力不足は顕著であり、また、我が国においては小規模な農場で人手をかけ過ぎる傾向があるため、諸外国と比較してコスト面での競争で不利になる等の問題に直面している。人工知能技術により、生産性の向上とロボット活用による労働力不足の解消を実現する。

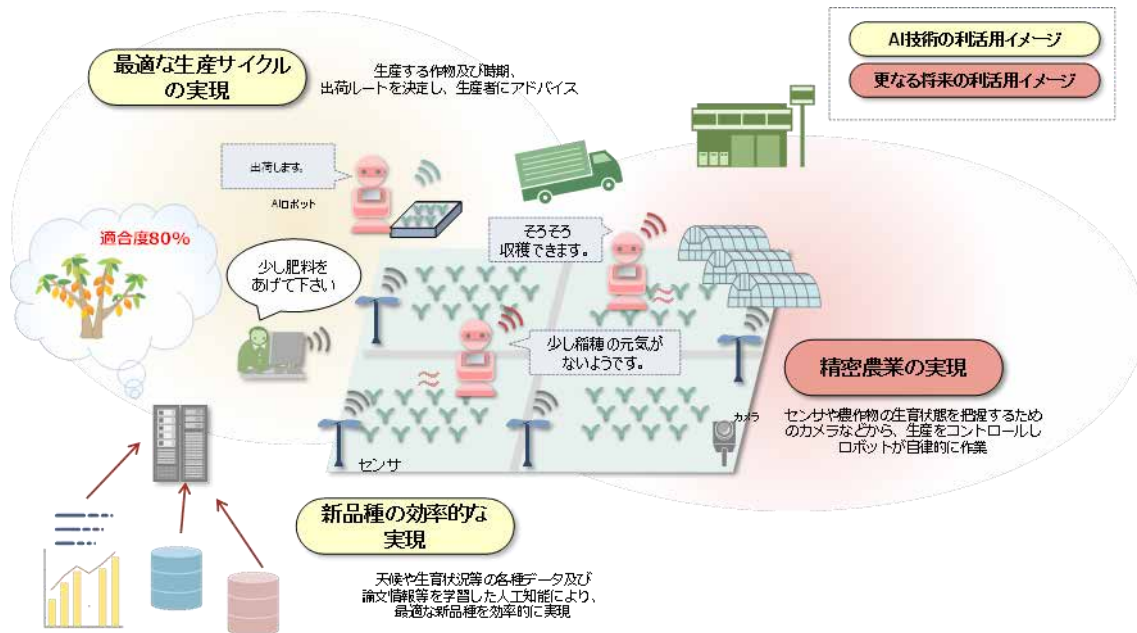


図 III-9 農林水産分野における人工知能活用イメージ

① 人工知能技術の利活用イメージ

1) 最適な生産サイクルの実現

- 市場価格や将来の天候、消費者の嗜好やニーズ等の情報を広く収集、解析した上で、生産する作物及び時期、出荷ルートを決出し、生産者にアドバイスする。

2) 新品種の効率的な実現

- 品種ごとの天候と生育状況等の情報、及び過去の実験データや生物学分野の論文情報等を学習した人工知能により、市場ニーズと作地の環境に適した新品種を効率的に実現する。

② 更なる将来の利活用イメージ

1) 精密農業の実現

- 肥料や農薬の散布状況、土壌、日照、大気の状態などを計測するセンサーや、農作物の生育状態を把握するためのカメラなどを設置し、過去の経験から蓄積されたノウハウを含むデータを統合的に解析することによって、どのような場所や環境でも確実に高い品質の農作物を生産することを実現する。作付や収穫などの労働については、ロボットがデータの解析結果に基づき自律的に実施する。

IV 人工知能の発展のための推進方策

IV-1 人工知能の発展に向けた諸課題

「ビッグデータを活用する人工知能技術」及び「脳機能に基づく人工知能技術」の研究開発を加速して、両者を融合した次世代の人工知能技術の研究開発を推進するとともに、人工知能の利活用を加速させるためには、ビッグデータの構築や流通における課題、人工知能技術の利活用を推進する上での課題、人材育成に関する課題などが当面の課題として挙げられる。

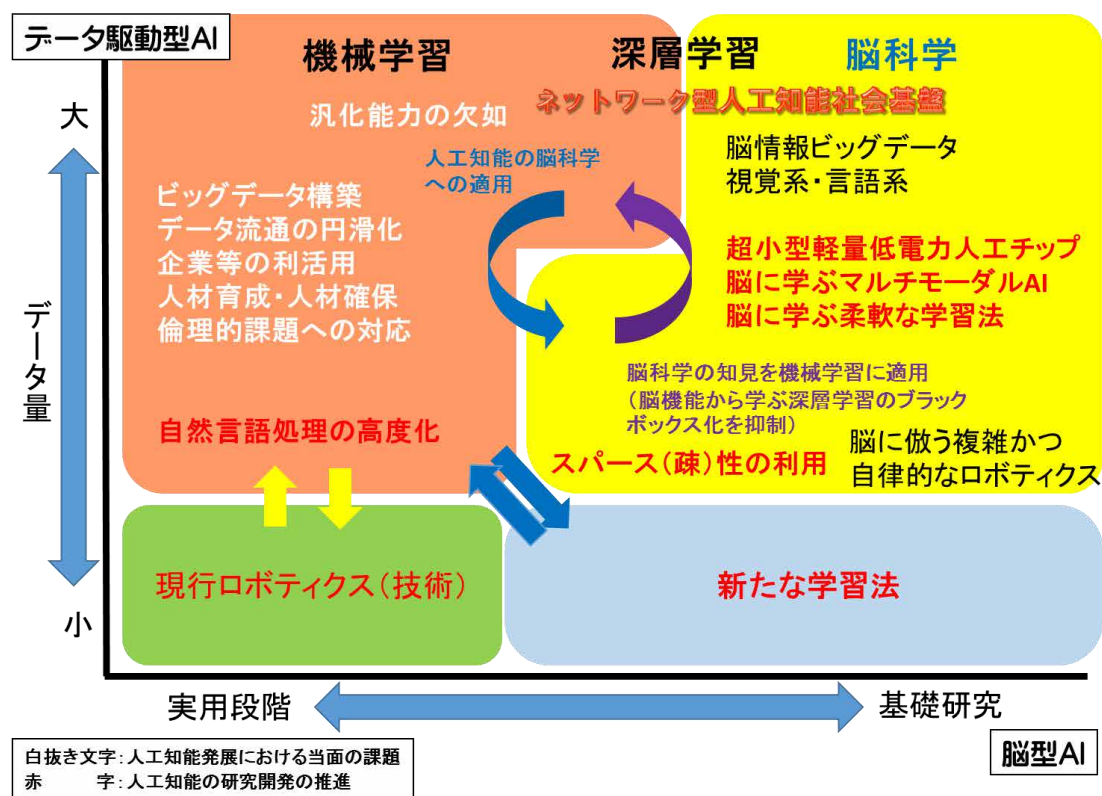


図 IV-1 人工知能の当面の課題と研究開発の推進

将来、人工知能技術が国民生活や社会経済活動の隅々に浸透してくる時代において、我が国が様々な産業の国際市場で諸外国と連携してリーダーとしての役割を担い、将来に向けて更に発展していくためには、これらの課題解決に早急にかつ戦略的に取り組み、人工知能技術の分野で優位性を確保することが不可欠である。

① ビッグデータ構築における課題

1) データを確保する仕組みの構築

現在の人工知能は、大量のデータをコンピュータに学習させることで実現しており、このため、いかに良質なデータを大量に確保できるかということが重要なポイントとなっている。欧米の大手 ICT 企業は、自らが提供するサービスの見返りとして、ユーザから大量のデータを収集する仕組みを構築しており、これが人工知能を急速に進歩させている大きな鍵となっている。日本の企業は欧米の ICT 企業のように大量データを手に入る仕組みを持ち合わせておらず、現時点において所有するデータ量はそれらに遠く及ばない。

また、実際に優れた人工知能を開発するには、上述のようなユーザが作り出す大量のデータだけではなく、人工知能の用途に特化した機械学習用の学習データも必要となる。後者の学習データは人手をかけて作成する必要がある、欧米の企業はそうしたデータも確保している。したがって、人工知能による効果を最大限に生み出すためには、基本的には、機械学習用の学習データも含め、良質で大量のデータを確保することと、高度なタスクを実行するための人工知能を学習させるモデリング技術の開発、さらにはそのモデリングの精度を高めるための効率的かつ効果的な手法の検討が喫緊の課題となっている。

例えば、話し言葉の自動翻訳では、大量の翻訳データをコンピュータで学習することによって精度を確保することができる。しかしながら、話し言葉の翻訳は、書き言葉の翻訳に比較して圧倒的にデータ量が少なく、欧米の企業も機械学習用の学習データも含め、翻訳データの大量確保に苦慮している。このため、例えばこの自動翻訳技術の分野では、人間とコンピュータの連携により大量データを創出する技術を確立したものが勝者となる。クラウドソース技術がその基盤となると想定されている。

2) データ流通の困難性

我が国の企業（特に大企業）や研究機関、国や地方自治体等の公共機関においては大量のデータを所有している場合が多いが、個人情報保護の観点からデータ管理の体制・運用面を厳しく問われるなど、外部へのデータの提供（データのオープン化）はなかなか進んでいない状況にある。現在では、統計処理によるデータの匿名化技術等も進展してきており、個人情報十分に保護された状態でデータ解析を可能とするなどデータ利用への期待が広がってきている。

一方、企業が有するデータをすぐにオープン化することについては、抵抗感も根強いことから、情報提供にあたっては何らかのインセンティブ等がない

限りは、現実的には企業側から積極的なデータ提供は望めないと考えられる。このため、企業から進んでデータを提供してもらうための制度整備や環境作り、競争領域と協調領域の仕分け等のルール等の整理が必要である。

② 人材確保の課題

1) 人工知能の研究者の確保

人工知能研究に関する研究者リソースについては、欧米とは研究者数及びカバーする分野において格段の差があるのが現実である。特に、我が国には機械学習の理論研究者が少ないと言われており、また、国際学会で採択される論文数なども少ないのが実情である。

また、現在の技術レベルでは、機械学習等、人工知能技術をビッグデータ解析に活用する際にデータの「前処理」に相当の時間・労力を費やしているのが実状である。

前処理や人工知能技術の適用も含め、データの高度な処理を行うことができるデータサイエンティストの確保については、先進的な大学では基礎・応用の両面を意識した人材育成の取組も行われているところであるが、我が国全般として捉えた場合には、様々な課題が残っているところである。

2) 人材育成の仕組み

データを単に既存の枠組みで分析するだけではなく、そもそもデータをいかに利活用するかについて考え、イノベーションを起こすことができる科学者やエンジニアを育成していくことが非常に重要である。さらには、IoT／ビッグデータ（BD）／AI時代において、データの種別、量が劇的に変化していく中で、それら多様なデータを上手く駆使して、情報の獲得から処理、解析、認識、マイニングモデルの開発などを一貫して実施でき、またシステムを構築できる人材が必要であることも言うまでもない。

もう一つの課題として、大学等において、人工知能研究者など特定の専門領域の学生数を社会の変化や企業のニーズに応じて柔軟に変更することが難しい点が挙げられる。IoT／BD／AI時代の到来を見据えて、米国スタンフォード大学やマサチューセッツ工科大学（MIT）、ハーバード大学ではコンピュータサイエンスの学生が急増している。一方、我が国においては、仮に来年度から大学において、コンピュータサイエンスの学生を倍増する等の計画を各大学が立てたととしても、現行制度の下では実現は容易ではない。

今後更なる少子化が進む中で、我が国の産業の成長を担っていく若手人材の育成は喫緊の課題であり、特にIoT／BD／AI時代を見据えた人材育成にあた

っては、大学側が社会の要請や企業ニーズに迅速に対応した形で人材供給を行うことができ、またバランスを保ちながら基礎学力を身につけた適正な人材育成を実施する観点から、我が国の大学教育制度による対応が急務である。

③ 人工知能技術の利活用を推進する上での課題

1) 企業等における利活用

企業でのデータ利用に関しては、当面、世界的には「ビッグデータ＋機械学習」の枠組みが主流になると考えられる。一方で、我が国は欧米に比して、人工知能を十分に活用できる企業や、人工知能による解析結果などに対して価値を見出す企業が少なく、市場環境としても若干不利な状況にあるとの指摘がなされている。

一部の企業ではスモールデータを活用したデータ解析を試みようとする動きがある一方、スプレッドシートを利用した初歩的なデータ解析で十分だと考えているケースが多いのが実情である。

2) 国際競争力の確保

欧米では、人工知能の技術開発やビジネス化の進展はめざましく、国際競争が激しさを増している。特に、大手 ICT 企業等は、Web、SNS によって様々なビッグデータを収集しており、また、年間 1 兆円規模の研究開発投資を行っている企業もある。さらに、世界中から優秀な研究者を集めてくるなど、日本に比べて圧倒的に人工知能研究に必要な環境を備えている。

ウェブビジネスの世界では、様々な技術やビジネス環境等の条件が揃った時に、タイミングよく登場した米国企業が急速に成長し、圧倒的な競争力で後発企業を寄せ付けなくなるという状況が繰り返されている。その過程では、成長し始めた企業によって関連の研究者が次々と引き抜かれていくとともに、規模の経済のメカニズムが働くことによって、後発企業が主戦場となる分野で競争することが著しく不利になる、あるいはほとんど不可能になってしまう、という状況に陥っている。検索エンジンなどはまさにこれに当てはまる事例であり、欧米等の ICT 企業が急速に巨大化していった中で、関連の主要な研究開発を行うことが極めて困難になっていったという報告もある。

人工知能が今後、IoT の潮流の中で情報系から物理世界系へ対象を拡大していく中で、製造・素材など日本が得意とする「ものづくり」とも密接に関連している物理世界系において、上記と同様の事態が起こることがあれば、我が国は産業競争力を喪失してしまうことは火を見るより明らかである。

このような状況において、我が国が人工知能の研究開発や標準化、さらには

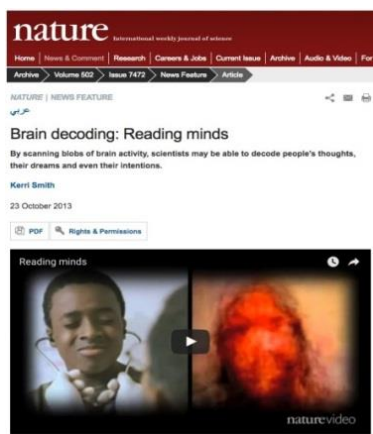
ビジネス化の過程において、どのような戦略を立て、かつ、どのようなビジネス分野において勝負することができるのかについて、産学官が一体となって早急に検討・対処することが求められている。

3) 脳研究との関係

これまでも述べてきたように、人工知能研究と脳科学研究は相互に影響を及ぼし合いながら発展してきている。

例えば、脳神経科学の知見（仮説）であるヘブ則から、パーセプトロンの概念が誕生している。さらに、Hubel と Wiesel によって発見された、視覚系のメカニズムに「繰り返し」が生じているという知見をもとに福島邦彦氏がネオコグニトロンを発明し、その成果が、その後の畳み込みニューラルネットワークや深層学習のメカニズムに受け継がれている。また、パーセプトロンの概念自体は脳神経科学に受け継がれており、1982年には日本の伊藤正男氏により、小脳におけるパーセプトロンのメカニズムが発見されている。他にも、BMI、バイオマーカー³⁸、ニューロフィードバック治療³⁹など、人工知能の知見が脳科学に貢献している事例は多数見られるところである。

さらに、少数のニューロンで複雑な行動を実現している昆虫の脳のメカニズムの解明はスパース性の開発や検証に貢献し、人間の脳機能の解明に結びつくものと期待される。



Nature 特集号で紹介された「脳内知覚の映像化」(2013年)

図 IV-2 脳科学研究の成果(例)

³⁸ 例えば、自閉症スペクトラム障害の鑑別等に有用な、fMRI から得られる信号パターンや特性値などをいう

³⁹ 脳の疾患を持つ患者に対して、fMRI で測定した脳活動をリアルタイムで見せて、望ましい脳活動を誘発するなどの治療法

現在、米国の国立精神保健研究所（NIMH）等により、脳の神経細胞の結合様式（コネクトーム）⁴⁰を解明するプロジェクトが進められており⁴¹、これらの研究成果が近い将来において人工知能研究の進展に貢献することが期待されている。

脳科学の研究が急速に進展している状況に鑑みて、人工知能に脳科学の知見を先駆的に取り入れることで、我が国が次世代の人工知能技術の研究開発に大きく貢献していくことができると考えられる。

④ 我が国を取り巻く諸課題への対応と倫理的課題への対応

我が国が抱える少子高齢化やインフラの老朽化等の諸課題が深刻化していく中で、国民の QoL 向上を実現する人工知能の進化が期待されている。少子化によって減少する労働力を補完したり、貴重な労働人口のスキルアップ、高齢者のケアなどに貢献できる人工知能や、老朽化したインフラを検知、修復できるロボット等の出現が期待される場所である。さらには、特に大規模な都市などにおいて、センサー情報に基づく人・モノ・情報の流れの近未来予測が可能となり、先行的な制御や誘導が行われるようになることで、混雑、渋滞、情報の輻輳や各種の遅延などを回避し、より快適な生活環境が実現するものと期待される。

一方、人工知能の急速な進展に伴い、次に示すような様々な課題が生じる恐れが指摘されている。

1) 人工知能への依存度が増すことによる課題

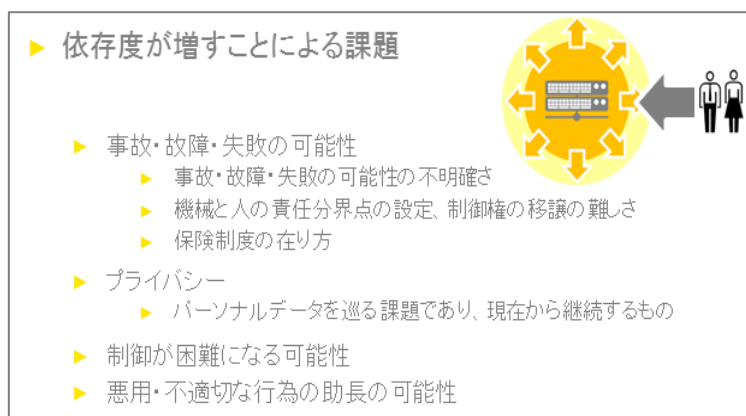


図 IV-3 人工知能の依存度が増すことによる課題(出典：EY 総合研究所作成)

⁴⁰ ニューロン、ニューロン群、領野など間の詳細な接続状態を表した地図 (Wikipedia より)

⁴¹ “The Human Connectome Project” <http://www.humanconnectome.org/>

i. 事故・故障・失敗の可能性

人工知能への依存度は今後非常に大きくなることが考えられる。その際に考えられる課題として、まず「事故・故障・失敗の可能性」が挙げられる。

現在の人工知能は基本的に統計的処理に基づいた判断・制御を行うため、事故や故障の確率を0%にすることは極めて困難である。また、その確率がどの程度になるかについても、事前に予測することが難しい。したがって、ミッションクリティカルなシステムへの導入については、慎重を期す必要がある。

また、人工知能と人の責任分界点の設定や、制御権の移譲の難しさなども指摘されている。例えば学習をして次第に賢くなっていく人工知能製品があった場合、製造元企業はどこまでその製品に対して品質保証を行うのかは検討が必要である。一方、人工知能が自動車の自動運転などの複雑なパラメーターを操り、高度な自動制御を行っている状況から、人間による操作へ制御を移行する際に、人間側が瞬時にその状況を理解し、適切に対応できるかどうか大きな課題となっている。

自動運転に関しては、どうしても事故が避けられない際に、どのような制御を行うべきか、例えばより被害者の人数を減少させられる制御とするのか、被害の状況（深刻さ）を最小にする制御とすべきなのか、究極の場合にはドライバー（乗客）を犠牲にして周囲の人命を救うべきなのか、など検討すべき事例は数多くある。

さらには、学習により機能向上をしていくシステムを考えた場合、製造者が製造責任を長期に亘って負い続けるよりも、適切な保険制度が第三者により供給され、それにより不具合が生じた場合の損害が賠償される方が、より適切な責任分担となる可能性もある。そのため、保険制度が製造物責任の範囲をどこまでカバーするかについて、今後多様なステークホルダー間で議論・調整が行われることになると考えられる。

ii. プライバシーの課題

人工知能が学習をしていく際に利用者のパーソナルデータを取り扱うこととなるが、現在のIoTの潮流の中でもそうであるが、プライバシーの課題は人工知能の発展と共に今後も重要な課題であり続けるはずである。

iii. 制御が困難になる可能性

機械学習を活用する人工知能は、そのモデルが複雑であればあるほど、学習していない状況への適切な反応が困難になる性質を有することから（汎化能力の欠如、又は過学習の問題）、大量データによる学習が困難な領域で

は、人工知能による判定や制御が適切に機能しなくなる恐れがある。このため、社会実装に向けて十分な事前の実地テストの実施等が求められる。

特に深層学習においては、学習結果の内容が人間に理解しやすい形式になっておらず、不具合が生じた場合も論理的に処理を辿って欠陥を修復することが非常に行いにくい。深層学習の学習結果について不具合が生じた場合は、再度学習をさせ直すくらいしか不具合の除去に有効でない場合も有り得る。

iv. 悪用・不適切な行為の助長の可能性

ロボットやドローンに人工知能を搭載し、軍事利用等が行われることに対する懸念も表明されている。これらの技術は人間の損失を伴いにくいことから、軍事力の行使に関する抵抗感を低下させ、より行使しやすい力として認識されるとともに、安価ゆえ、テロリズムや民族紛争などで日常的に利用されるようになる可能性が高いとして、その開発・製造・使用を世界的に禁止するべきとする動きもある⁴²。

v. 雇用や人の存在感が失われる不安

米国の論文 **Future of Employment** では 702 の職種について今後職業が失われる可能性が数字で表現されている。

また、一般のメディア・書籍などでも「今後無くなる仕事」などの特集が組まれる場合もあり、人工知能が人々の雇用を奪うのではないかとといった不安を抱く人もいると考えられる。

この課題に関しては、現時点で学者等の間でも議論は分かれており、そもそも ICT 化等の進展と併せて格差が広がっているという考え方と、人工知能による職の代替により、人間はより創造的・企画的・管理的な業務に移行していくことで特段の問題は生じないとする考え方がある。また、我が国においては少子化・高齢化の中でそもそも労働供給の逼迫が予想されており、この問題は生じにくいのではないかとの考え方もある。

⁴² 人工知能学会 (IJCAI) における専門家らによる公開書簡
<https://www3.nd.edu/~dhoward1/FLI%20-%20Future%20of%20Life%20Institute.pdf>

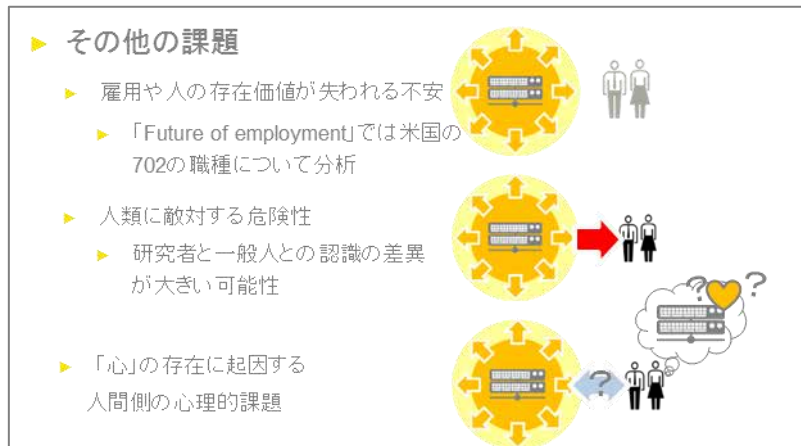


図 IV-4 その他の課題（出典：EY 総合研究所作成）

なお、総務省では、2040年代までをも視野に入れ、人工知能（AI）を構成要素とする情報通信ネットワーク（以下「AI ネットワークシステム」という。）の構築及び人工知能相互の連携等 AI ネットワークシステムの高度化（これらを「AI ネットワーク化」と総称する。）の進展を見据え、①AI ネットワーク化の進展を通じて目指すべき社会像及びその基本理念を整理するとともに、②AI ネットワーク化が社会・経済にもたらす影響及びリスクを多角的に評価する（インパクトスタディ、リスクスタディ）とともに、③AI ネットワーク化が社会・経済にもたらす影響及びリスクに関し今後注視し、又は検討すべき事項を整理することを目的として、平成28年2月からAI ネットワーク化検討会議（座長：須藤修東京大学大学院情報学環教授）を開催している。同検討会議の中間報告書「AI ネットワーク化が拓く智連社会（WINS）—第四次産業革命を超えた社会に向けて—」（平成28年4月15日）においては、上記①及び②に関する検討の成果及び③の事項のうち速やかに検討に着手すべき当面の課題⁴³が取りまとめられている。

2) G7における人工知能の研究開発の原則に関する議論

平成28年4月29日から30日にかけて開催されたG7香川・高松情報通信大臣会合において、IoTや人工知能などの新たなICTの普及する社会における経済成長の推進やセキュリティの確保等について議論が行われた。

⁴³ 当面の課題としては、人工知能の研究開発の原則の策定、イノベティブかつ競争的なエコシステムの確保（関係する市場の動向の継続的注視、AI ネットワークシステムに関する相互接続性・相互運用性の確保等）、AI ネットワークシステムのガバナンスに関する国際的な議論の場及び国内の議論の場の形成を含む計14項目が掲げられている。

人工知能に関しては、我が国の高市総務大臣から、G7 各国が中心となり、OECD 等国際機関の協力も得て、AI ネットワーク化が社会・経済に与える影響の分析や、人工知能の研究開発の原則の策定（図 IV-5）等 AI ネットワーク化をめぐる社会的・経済的・倫理的課題に関し、産学民官等関係ステークホルダーの参画を得て国際的に議論を進めるべきことを提案した⁴⁴ところ、各国から賛同が得られた。

AIの研究開発の原則の策定

OECDプライバシーガイドライン、同・セキュリティガイドライン等を参考に、関係ステークホルダーの参画を得つつ、**研究開発に関する原則を国際的に参照される枠組みとして策定**することに向け、検討に着手することが必要。

研究開発に関する原則の策定に当たっては、少なくとも、次に掲げる事項をその内容に盛り込むべき。

① **透明性の原則**

AIネットワークシステムの動作の検証可能性を確保すること。

② **利用者支援の原則**

AIネットワークシステムが利用者を支援するとともに、利用者を選択の機会を適切に提供するよう配慮すること。

③ **制御可能性の原則**

人間によるAIネットワークシステムの制御可能性を確保すること。

④ **セキュリティ確保の原則**

AIネットワークシステムの頑健性及び信頼性を確保すること。

⑤ **安全保護の原則**

AIネットワークシステムが利用者及び第三者の生命・身体の安全に危害を及ぼさないように配慮すること。

⑥ **プライバシー保護の原則**

AIネットワークシステムが利用者及び第三者のプライバシーを侵害しないように配慮すること。

⑦ **倫理の原則**

ネットワーク化されるAIの研究開発において、人間の尊厳と個人の自律を尊重すること。

⑧ **アカウンタビリティの原則**

ネットワーク化されるAIの研究開発者が利用者等関係ステークホルダーへのアカウンタビリティを果たすこと。

図 IV-5 AIの研究開発の原則

3) 内閣府における人工知能と人間社会の関わりに関する検討

内閣府では、第5期科学技術基本計画で掲げた **Society 5.0** の実現の鍵となる人工知能の研究開発及び利活用を健全に発展させていくため、平成 28 年 5 月 30 日、内閣府特命担当大臣（科学技術政策）の下に、人工知能と人間社会の関わりについて検討を行う「人工知能と人間社会に関する懇談会」を設置した。同懇談会において、倫理、法、制度、経済、社会的影響など幅広い観点から人工知能が進展する未来の社会を見据えて、国内外の動向を俯瞰して、人工知能と人間社会の関わりについて今後取り組むべき課題

⁴⁴ 高市総務大臣の提案に当たっては、今後の議論のためのたたき台として、図 IV-5 の英訳を配付している。図 IV-5 の内容については、AI ネットワーク化検討会議中間報告書「AI ネットワーク化が拓く智連社会（WINS）—第四次産業革命を超えた社会に向けて—」50 頁以下（平成 28 年 4 月 15 日）を参照。

や方向性について検討することとしている。

IV-2 国や研究機関が取り組むべき研究課題と推進方策

(1) 人工知能に関する研究開発

欧米における人工知能技術の研究開発やビジネス化の進展はめざましく、国や民間企業等が多額の研究開発投資を行うとともに、世界中から優秀な研究者を集めているほか、大手 ICT 企業がユーザーから膨大なビッグデータを収集する仕組みを構築するなど、圧倒的なスピードとスケールで様々な取組が進められている。人工知能研究に関する国際学会等においても、欧米からは数多くの研究論文が投稿されているのに対し、我が国からの論文発表は数少なく、この分野で存在感を示すにはほど遠い状況である。

しかしながら、人工知能技術を国民生活に浸透させ、真に社会に役立つものとする上で、数多くの重要な技術的課題が未解決であることも事実である。

このような中でも、国内に目を向ければ、産学官の研究機関を中心に多岐にわたる人工知能技術の研究開発が着々と取り組まれている。

これらの我が国の人工知能技術の研究リソースを結集し、我が国が蓄積する医療分野をはじめとする良質なビッグデータ等を有効に活用するとともに、例えばロボット分野などの強みを有する技術との融合等を進めること等により、将来の次世代人工知能技術の実現に大きなインパクトをもたらすことが出来るはずである。

ここでは産学官が効果的にそれぞれの役割を果たしつつ、我が国として注力していくべき研究開発分野を示す。

① 小規模データで実現する人工知能技術の開発

機械学習を想定した場合、基本的には大量のデータを学習することにより精度を高めていくものであることから、より大量でかつ良質なデータの確保が求められている。一方で、画像認識などの特定の事例を除き、多くの適用分野においては大量のデータを揃えること自体が困難である。このような場合を想定して、現在「少数サンプルからの強化学習（階層強化学習）」という新たなアルゴリズムの研究開発や、データのスパース（疎）性に基づく情報処理手法が注目されている。

米国国防高等研究計画局（DARPA）が主催する災害救助用のロボット競技大会（Robotics Challenge）では、過酷な状況下（災害現場等）で活動するロ

ボットの開発を促進することを目的として、がれきの除去や運転等の人間と同様の作業をこなせるかどうかを競わせている。現状では、人工知能で学習した世界各国の優れたロボットであっても、このような難しいチャレンジを克服するためには多くの課題を抱えている。

一方、人間や動物は少ない数のサンプルから学習して（少ない経験から）、起き上がったり、正しいモノを判別することなどを容易に習得することができる。このため、脳科学の知見を活用することによる、新たな「階層型強化学習」のアルゴリズムの研究開発が進められている。



図 IV-6 ロボットの起き上がり実証実験の様相
(ATR 森本淳氏、銅谷賢治氏の研究成果)

(試行錯誤を繰り返す間に学習して立ち上がるロボット)

また、医療現場における医療症例などは日本全国から該当者を集めたとしても、100万人～1億人といったオーダーにはそもそも届かないことが多い⁴⁵。企業のデータ解析で用いられる購買データなども、実際に分析やマーケティングの対象となる購買層の年齢・性別・居住地域などで分類していくことになれば、一定の領域ではデータ数が限られてしまう場合がある。

このような課題に対して、脳科学と機械学習の研究の双方の知見を基に境界領域で近年編み出された手法として、データのスパース（疎）性に基づく情報処理手法が注目されている。

1996年に Olshansen と Field が発見した手法⁴⁶で、自然界に見られる画像をできるだけ少ない（疎な）要素画像の組合せで表現しようとして計算を行うと、脳の1次視覚野で観察される細胞が反応する特定の図形群を上手く再

⁴⁵ 例えば自閉症の罹患率は1万人あたり27.2人とされており、全人口を1.27億人と仮定しても全国で約35万人しか存在しない計算となる <https://www.niph.go.jp/journal/data/59-4/201059040004.pdf>

⁴⁶ 「スパースコーディング」と呼ばれる。

現することができたというものである。これは、脳に限られた（疎な）細胞数で、できるだけ多くの自然界で見られる映像を処理できるように工夫をした結果とも考えられている。

この手法を発展させ、自然界で得られる様々なデータは「できるだけ少ない（疎な）要素の組合せで表現できるはずである」として、多様な情報処理に応用しようとする動きがある。

例えば、少ないセンシング情報から元の情報を再現することが可能であるため、MRIの撮像時間を短縮して効率的な診察に寄与したり⁴⁷、天体の観測領域が少なく天体全域をカバーできない場合でも全体の領域の観測をしたのと同程度の効果が得られたり（観測可能領域の仮想的な拡大）⁴⁸、あるいは効率的なノイズ除去等に活用できる、といった事例が報告されている。

また、この情報処理技術の特性を利用することで、現代の自然科学者が苦慮している大量のデータから系統的に科学的仮説を導き出す方法⁴⁹や、通常の方法開発とは異なり、求める性質から組み合わせるべき元の素材の組み合わせを推定する方法⁵⁰など、新しい手法なども開拓されつつあるところである。

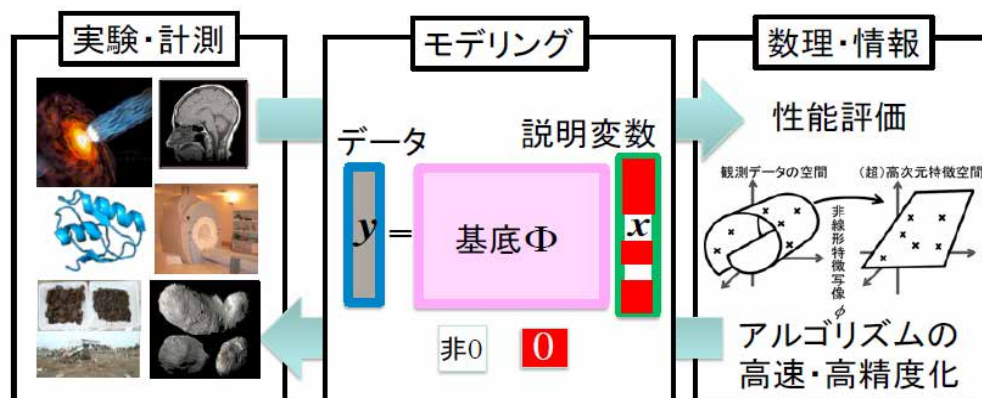


図 IV-7 スパースモデリングの進化と高次元データ駆動科学の関係性

これらの解析手法を医療分野やマーケティング等のビジネス分野に導入することによって国際競争において優位性を確保するとともに、将来的には、日本全国の河川や沿岸部における地表面を撮影した高精細画像データをスパースモデリングにより解析することで、例えば、河川の氾濫危険エリアを推

⁴⁷ <http://sparse-modeling.jp/program/A01-1.html>

⁴⁸ <http://sparse-modeling.jp/program/A02-3.html>

⁴⁹ <http://www.orsj.or.jp/ramp/2014/paper/3-1.pdf>

⁵⁰ http://www.nims.go.jp/nimsforum/files/03_okada.pdf

定し未然防止に役立たせるとともに、豪雨時における河川の水位が予測できる。また、大地震が発生した際の海底水圧センサーのデータをスパースモデリングによって解析し、より正確に予測された津波の高さと、津波被害関数を統合することで、津波到達前の量的被害予測と被災地支援策の検討を可能にするなど⁵¹、我が国の防災・減災計画の強化に役立つことから、積極的に研究開発及び開発実証に取り組むべきである。

② 深層学習の欠点を克服した機械学習法の研究開発

深層学習はニューラルネットワークの先駆的研究者である Geoffrey Hinton が 2006 年に提唱した手法で、ニューラルネットを多層に重ねて処理を行うものである。当初は大きな注目は集めていなかったが、2012 年に行われた画像に写った物体の識別を競う ILSVRC で圧倒的な性能差をつけて Hinton のチームが優勝したことで、一躍注目を浴びるようになった。

深層学習の方法論そのものは従前に考案されていたものと大きな変化はないものの、近年計算機の性能が飛躍的に向上したことと、ウェブや SNS の普及により大量の画像データを容易に入手可能になったこと、また活性化関数と呼ばれる「発火」を決める関数の形式を変更したこと等の要因により⁵²、これまで難しかった多層構造における学習が可能になったとされている。

深層学習の大きな利点として「特徴量」の自動抽出が可能になったことが挙げられる。これにより、一般物体認識⁵³も可能になったものであり、現在では画像識別などの特定領域においては、人間よりも精度が向上したとされている。

また、この特徴量の自動抽出が可能になったことで、これまで人工知能研究における難題と考えられていたフレーム問題やシンボルグラウンディング問題などの解決にも期待が寄せられている⁵⁴。

しかしながら、幾つかの難点も指摘されている。

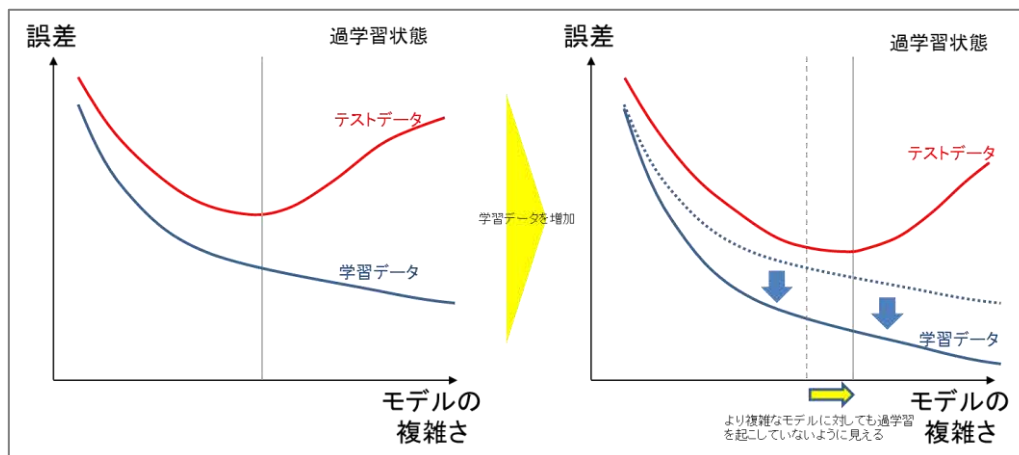
最大の難点は、汎化能力の欠如（又は過学習の問題）である。人工知能では、モデルが複雑になればなるほど、未知の状況に直面した場合に対応能力がより低下してしまうということが知られている。複雑なモデルの深層学習では、これが生じやすい事が当初から指摘されている。

⁵¹ <http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/project/44/14531840.html>

⁵² シグモイド曲線から、ReLU と呼ばれる関数に変更されている場合が多い。

⁵³ 制約のない実世界の画像に対して、その中に含まれる物体を一般的な名称で認識すること。

⁵⁴ <https://kaigi.org/jsai/webprogram/2014/pdf/785.pdf>



- (左) モデルが複雑化するにつれ、「学習データ」に対してはフィッティングが良くなるものの、本番である「テストデータ」に対しては誤差が大きくなってしまふ。
- (右) 学習データを増やすと、同じ複雑度のモデルに対しても学習データ・テストデータ共にフィッティングは一見良くなるが、より複雑なモデルに対しても過学習を「起こしにくく」なっているだけであり、本質的には解決していない。

図 IV-8 汎化能力の欠如（過学習の問題）

出典 AI・脳研究WG 第2回川人構成員資料を参考に作成

また、深層学習には、求められた成果に対して十分な結果が得られなかった場合に、その理由を説明することが困難であるという課題もある。深層学習のシステムでは学習により調整された数値（パラメーター）自体は明らかに確認できるものの、その内部で行われている処理の状況を人間が論理的に把握することが困難であるため、システムに不具合が生じてもその原因の究明が困難な場合がある。そのため、故障検知など、原因究明が必要なタスクには向いていないと言われている。また、原因究明が難しい場合には、その改善も難しい場合が多いため、品質保証を行うことも難しくなる。

現在主流となっている深層学習はこのような欠点を有しているため、そのアルゴリズムの評価法を確立し、これらの欠点を克服した新たな実用的な機械学習を開発することが出来れば、次世代の人工知能技術の覇者となる可能性もあると考えられることから、積極的に取り組んでいくべき研究分野である。

③ 新たな「機械学習法」の研究開発

機械学習は「モデル」と「学習法」の2つの項目で分類することが可能であり、例えば「モデル」では線形モデルや深層モデルが、また、「学習法」では回帰・分類・強化学習といった方式がそれぞれ存在している。「モデル」と「学習法」は独立しており、それぞれから適切なものを選択し、組み合わせて利用することが可能である。

このうち「モデル」は適用できる課題と密接な関係がある。例えば深層学習

の一種である畳込みニューラルネットワークのモデルは、画像処理の課題と関係が深い。このモデルに関しては、研究、実用化共に欧米が先行している。

他方で、「学習法」は「モデル」から独立しているため、効果の大きい学習法を生み出すことができれば、モデルに関係なく課題も越えて広く適用できるという利点がある。このため、「学習法」を中心に理論研究を進めていくことも一つの方策と考えられる。

特に、本項①で述べたとおり、ロボットの強化学習などにおいては、従来型の学習法では不十分なデータしか得られない可能性が高い。このため、少量のデータしか得られない場合でも、多数の入力データを活用することによって汎化能力を高めようという半教師あり学習が盛んに研究されてきたが、必ずしも成功しているわけではない。より少量のデータで精度よく学習可能な方法が求められている。

また、脳型人工知能であるパーセプトロンの中間層にランダム性を持たせることで、高い汎化性能を持たせられることが最近分かってきているが、カーネル法の学習時間短縮のために行われるランダム性を利用したアルゴリズムと共通点があることが判明しており、脳型人工知能の発展のためにも機械学習の基礎理論の強化に早急に取り組むべきであると考えられる。

④ 運動と人工知能の組合せ

深層学習の応用は海外において急速に進展しており、少し先の課題であると考えられていた「プランニング問題⁵⁵」や「シンボルグラウンディング問題⁵⁶」といった人工知能の基礎的問題に関係する研究開発も報告されている。

例えば「プランニング」に関しては、オートエンコーダーの仕組みを転用し、TVゲームの中で自分の動きの結果を予測して行動を決定する人工知能が報告されている⁵⁷。

また、「シンボルグラウンディング」に関しては、入力した説明文の内容に応じて画像を合成する人工知能が報告されている⁵⁸。この研究では「青空を飛ばす停止標識」「砂の上でスキーをする人」などの日常的には見られないイメージを合成することにも成功している。

⁵⁵ プランニング問題：目的を達成するための行為の系列を求めるというタスクの中で初期状態から目標状態へと遷移させる動作の系列を発見する問題

⁵⁶ シンボルグラウンディング問題：記号システム内のシンボルがどのようにして実世界の意味と結びつけられるのかという問題

⁵⁷ J. Oh et al: Action-Conditional Video Prediction using Deep Networks in Atari Games

⁵⁸ E. Mansimov et. Al: GENERATING IMAGES FROM CAPTIONS WITH ATTENTION

今後の深層学習の発展の方向性としては、「認識」から「運動」へ進み、「言語」能力を獲得していくことが考えられる。

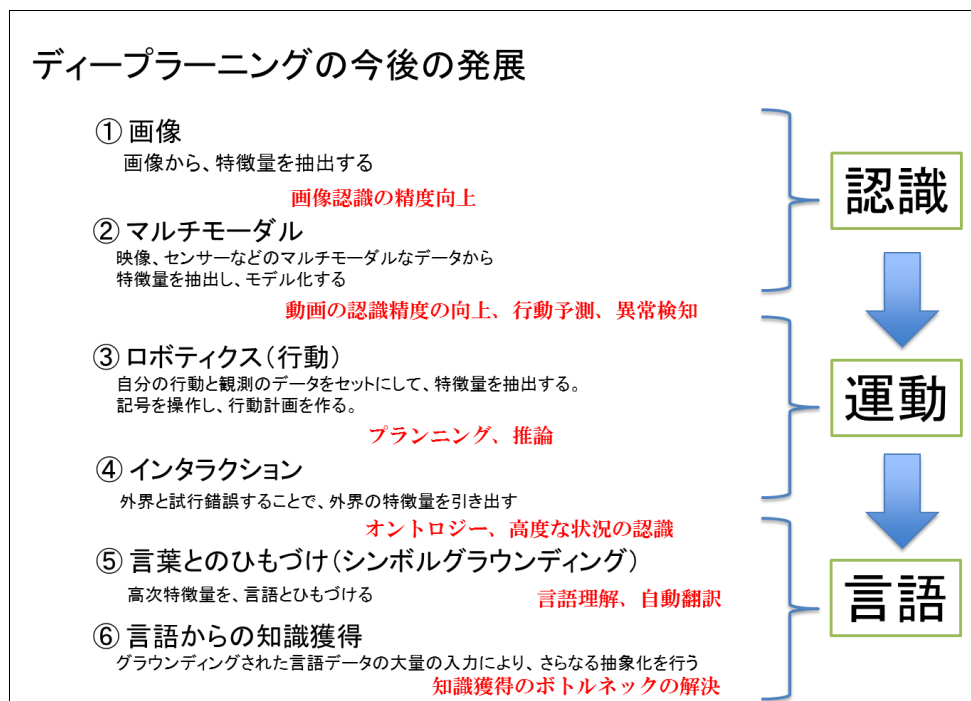


図 IV-9 深層学習の発展の方向性

出典 AI・脳研究WG 第3回松尾構成員発表資料より

特に「運動」能力の獲得は、柔軟性のある学習可能なロボットの実現に不可欠であり、極めて重要なマイルストーンであると言える。人工知能が組み込まれ、柔軟性を有した日常生活用あるいは生産用のロボット等が実現できれば、非常に大きな産業上のインパクトがあるはずであり、またこうした産業から研究コミュニティに資金が環流することで、日本における当該分野の研究レベルも大きく向上する可能性がある。

現状の人工知能の動きを大局的に見ると、多様な情報を活用することを究めて情報の利活用の利便性からアプローチしていく「情報路線」と、深層学習を基盤としながら、実際にモノを動かす、加工するといったところから信頼性を梃子にアプローチをしていく「運動路線」が考えられる。前者の代表例は、主に欧米の大手 ICT 企業であるが、後者についてはそれに匹敵する代表例はまだ出てきていない。海外の企業や研究者は、機械やロボットの取扱に関する苦手意識があるとも言われており、我が国において「運動路線」は一つの検討すべきアプローチとして位置付けるべきである。

⑤ 自然言語処理の高度化

自然言語（特に日本語）は国民が互いに意思疎通を図る際の基礎であると同時に、政府が対応すべき様々な社会問題（例えば、大規模自然災害の発生や対処）、あるいはビジネス上の事象、意思決定も、日本語を介して認識、実施されることから、国の基盤をなす存在であると言える。

したがって、日本語を処理する人工知能技術である自然言語処理は国が重点的に取り組むべき課題である。また、ロボットやビッグデータの処理に関しても、人間とのコミュニケーションや処理結果の解釈等において自然言語処理は必須であり、重要な課題であると言える。

欧米では主に英語と他言語の翻訳に注力されていることから、日本語と他言語の高精度翻訳は日本語に関する高度な研究に基づいて我が国が実現していくべき課題である。

自然言語処理の課題は大きく二つある。一つ目は異なる言語間のインターフェースである機械翻訳や音声翻訳である。すでに分野を絞った音声翻訳は実用レベルに達しつつあるが、将来の同時通訳を実現するため、自動換言処理等に基づく自動翻訳の汎用化及び翻訳の逐次処理化技術の確立や、自動翻訳の精度を高めるため、単語や文章に加えて談話構造等の文脈を利活用することで意味に基づく翻訳を実現する基盤技術等を確立するための研究開発が必要である。また、機械翻訳のための学習データである、いわゆる対訳コーパスの開発・蓄積も従来に引き続き重要となる。

また、二つ目の課題は、日本語も含め、自然言語で書かれた大量の文書の有効利用である。ウェブや SNS、さらには学術論文や公的文書等には社会問題の記述からイノベーションのヒントまで多種多様な知識（すなわち「社会知」）が存在する。それらを人工知能技術を用いて有効利用し、社会問題やその解決策を自動認識したり、イノベーションを加速させるといった活用法、さらには、こうした知識をより効率よく人間に伝え活用するための手段として対話ロボット等の開発が期待される。

こうした活用法では、往々にしてユーザの想定以上の知識や処理が必要となり、従来の質問応答システム、すなわち、ユーザが想定して入力した質問に対して回答を返すといった受動的なシステムではなく、システムが自律的に社会的課題等を認識し、自律的に問題意識を持って解決策等を発見する技術が必要である。また、既存文書に書かれた知識だけではなく、どこにも書かれていない仮説も推論によって求め、さらにはそうした仮説を自動的に検証して、自ら賢くなる技術や、得られた知識をユーザのレベルに合わせてわかりやすく提供する対話的インターフェース等も必要となる。

また、こうした高度に知的な処理を行うにあたっては、大量のテキストを取

集するだけでなく、高品質な機械学習用の学習データ、辞書、知識ベース等を大規模に蓄積していくことが重要である。

⑥ ネットワーク型人工知能社会基盤の実現

各種センサーの高精度化と低価格化、通信回線の大容量化と低価格化が進展するとともに、クラウド等において柔軟で大規模なコンピューティング資源を利用することが可能となってきたことで、様々な種類のセンサー情報の取得・分析・予測及び制御の高度化が進展し、より快適で安心・安全な生活を送ることが可能になってきている。

今後、人工知能技術の進歩により、センサーやアクチュエータなど様々なデバイスがそれぞれ知能を持ち、それらがネットワークに接続されることにより、デバイス上の人工知能は、自らの周囲の環境や状況を自律的にセンシングし、認識・予測・応答する。

また、ネットワーク上のクラウド等と自律的に処理を分担するとともに、システム間での情報共有が可能となる等、相互に通信し連携しながら自律的に判断、行動し、人の意思決定や行動を支援することが期待される。

これによって、人工知能は IoT サービスやアプリケーションの高度化及び最適化を図るとともに、ネットワークインフラを構築する ICT 機器等についても高度化、最適化することで、IoT ネットワークインフラ全体がリアルタイムにかつダイナミックに最適化を可能とする高度情報通信基盤の実現が大いに期待される。

そのためには、環境に偏在するデバイス群がリアルタイムにセンサーで実世界を計測し、インターネット上の情報と組み合わせて、学習型シミュレーションに基づく最適シナリオの探求・立案と人工知能が組み込まれた様々なデバイス協調制御を可能とする、人工知能とネットワークが融合した新たなプラットフォームを実現することが必要である。

例えば、エッジ側では計算量が比較的小さい人工知能（カーネル法など）で一度処理を行い、通信量を削減してから、深層学習を行うクラウド側の巨大なサーバにデータを送信する、異なる機械学習アルゴリズムの融合に基づいた通信の効率化や、情報のスパース符号化による通信量の削減、さらには脳の動的なネットワークの再構成を模倣した効率よいルーティングなど、脳科学の知見を適用することで情報通信基盤の更なる高度化が期待される。

まさにこのプラットフォームは、来る IoT/BD/AI 時代の社会インフラの根幹となる「ネットワーク型人工知能社会基盤」として、国の主導のもと、産学官が連携して研究開発から社会実装まで一体的に取り組むとともに、標準化に対して戦略的に取り組む必要がある。また、大規模計算機設備等を含

めた人工知能研究開発・実証テストベッド環境の整備等について早急に着手すべきである。

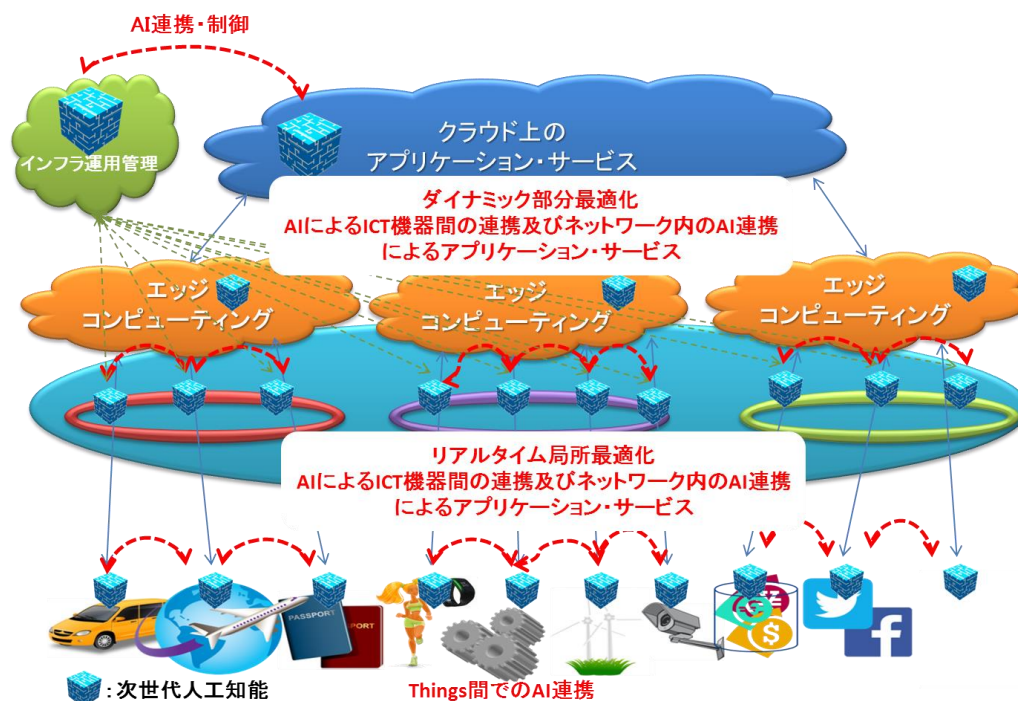


図 IV-10 ネットワーク型人工知能社会基盤のイメージ

⑦ 人工知能の脳科学への適用

近年の脳科学におけるめざましい進展には、以下の3つのことが深く関わっており、また、人工知能技術の適用も大きく寄与している。

- 1) 脳活動計測技術の進展
- 2) 脳活動データの蓄積
- 3) 脳モデルを用いた高度な解析

昨今、飛躍的な脳活動計測技術の進展によって、より高解像度でより多くの種類の膨大な脳活動データの取得が可能となっており、さらにクラウドなどの環境が整備されてきたことでビッグデータの蓄積が可能となってきている。この膨大なデータの中から脳機能と対応した活動を抽出する際に、人工知能技術を用いたデータマイニングが重要となってきている。

近年の脳科学では、膨大な脳活動データに神経生理学の知見を活かした様々な人工知能技術を適用することで知覚内容と脳活動の対応関係をエンコーディングモデルとして記述することが可能となり、例えば脳活動から見ている画像や夢の内容等を推定する技術が実現している。また、脳活動をモデル化する際に、サポートベクターマシン (SVM) のようなパターン認識手法や深

層学習等の人工知能技術を利用することで、特定脳領域の脳活動の上昇・下降にとどまらない、脳活動がどの部分でどのような情報を有しているのか等のより詳細な手がかりを得ることにより、脳機能の解明への進展が期待されている。

このため、人工知能技術を脳科学の研究により積極的かつ有効に活用していくことにより、脳機能の解明を加速し、将来の次世代人工知能の発展につなげていくべきである。

⑧ 脳科学の知見の人工知能への適用

現在の機械学習において大きな進展を見せている深層学習の画像情報処理方法は、脳（視覚野）で明らかにされた情報処理の方法と極めて類似している。このため、機械学習独自の進化が注目されるとともに、脳科学の発展に伴い、脳科学と機械学習が相互に補完し合うことにより、人工知能がさらなる発展を遂げていく可能性が期待されている。

人間の脳の情報処理メカニズムについては未解明の領域が多く残っており、ここに深層学習の新たなパラダイムを創出させる種（宝）が大量に眠っている可能性がある。一方、深層学習の原理に関する理論研究も急速に進展している。

これまで判明している視覚野の研究成果の実績から判断して、この情報処理メカニズムを深層学習に組み込むことが可能であることから、それによってより人間的な人工知能の開発を進めていくことが重要である。

また、この分野の研究を推進するにあたっては、脳科学と人工知能の両方の分野に関する知識や経験を有する優秀な研究者の育成を同時に進めていくことが不可欠である。

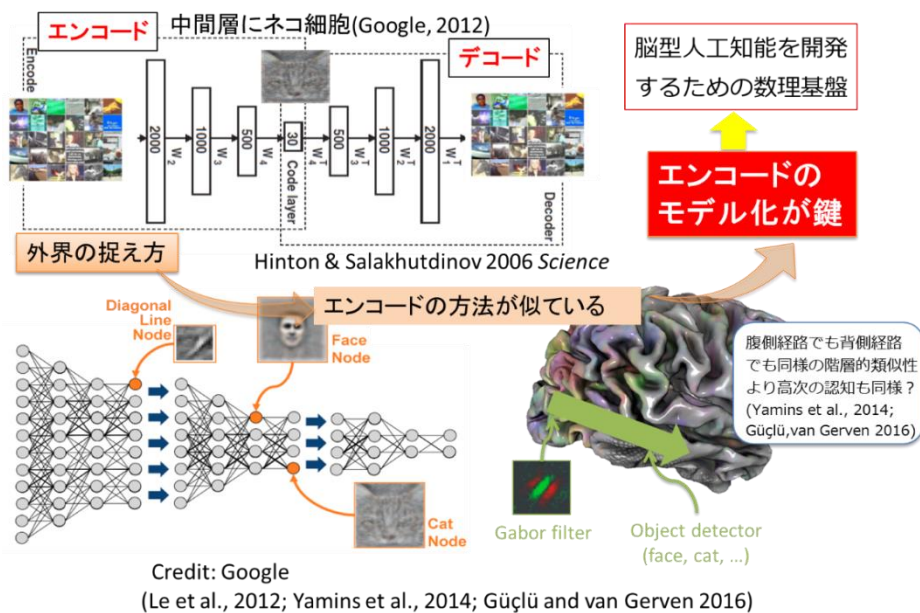


図 IV-11 深層学習と脳科学のエンコードの類似性

1) 視覚系

脳科学の進展により視覚野の知見が多く蓄積されてきているが、詳細な機構が判明しつつある立体視などのメカニズムに関しては、現在の人工知能にはまだ導入されていない。今後、深層学習にこのような知見を取り入れることにより、より高機能な視覚認識機構などを実現できる可能性がある。

なお、大脳皮質には領野を越えた類似構造が見られるため、視覚野での成功例は、他の記憶・運動・言語等に関わる脳型人工知能にも、応用できる可能性がある。

また、画像認識を行う際に、脳内に映し出された人の意図や意識を読み取ることがマーケティング等における重要な課題であり、脳科学と連携して解析することにより、より高度な意図や意識の解明に繋がることも期待される。

2) 言語系

現在の自然言語処理では、タスクごとに学習データが必要になるため、強化学習などでの課題と同様に学習データ不足が課題となっている。教師無し学習も現在のものは基礎的なタスクにしか有効でないのが実情であり、このような課題に対して、脳科学や深層学習のフレームワークで、解決する糸口を見つけ出すことが期待されている。

3) 脳情報ビッグデータの構築

上記の1)及び2)の研究を進化させていくためには、多様な認知機能を対象としたデータ取得とモデル化が必要となってくる。具体的には、多様な自然認知条件下における脳活動と行動メタデータ（例えば、視聴覚認知、会話、ゲーム、学習、購買、創造、SNS、倫理等）を従来より一桁から数桁のオーダーで数多く収集する。そのためには、多くの実験系と人員が必要であり、具体的には、脳活動を測定するための **fMRI (functional magnetic resonance imaging : 機能的磁気共鳴画像化装置)** 並びに実験運用設備の拡充及びデータ整理（モデル化）のための人員増員が望まれる。これらの大規模データ取得やモデル化にあたっては国の研究開発機関や大学が主導し、さらには企業が参加して脳情報ビッグデータの構築を目指す必要がある。

4) 脳科学分野における新たな研究課題

情報通信技術（ICT）は、人間の身体空間を拡張し、また、感覚空間を拡張する技術として発展し、さらには人間の生活をより機能的に、便利に、安全なものに向上させてきた。今後もこのような方向で ICT の研究開発を進展させて、国民の生活の質の向上や安心安全を確かなものにしていくことが重要である。



図 IV-12 人の様々な活動に伴う脳情報データと人工知能解析に基づく新たなサービスの創出

無線通信を活用した携帯型脳活動計測装置や生理機能をモニターするウェアラブル計測器の開発によって、ヒトが実験環境において拘束されることなく、自然活動中の生理学的データの収集も可能となっている。今後 IoT と連携することによって、日常生活におけるモノとの相互作用、その結果生じる生理学的反応や脳活動を有機的に結合したライフログデータベースの構築も可能となる。

このビッグデータは深層学習等の人工知能による解析の対象となり、ヒトの日常活動のさまざまな場面での行動予測を可能とするものである。これにより、例えば転ばぬ先の杖を差し出すサービスや、気の効いたサービス、かゆいところに手が届くサービスの提供を可能にするものと想像できる。加えて、ひらめきなどの意識下プロセスを活性化する刺激・環境情報空間を定義することができれば、新たな発見や感動を生み出すとともに、創造性の補助・促進のための適切な環境を定義することも可能となる。

(2) 脳科学の知見を取り入れた人工知能の飛躍的な発展

人工知能研究と脳科学研究はこれまで相互に影響を及ぼし合いながら発展してきた。現在、人工知能技術と脳科学の研究がそれぞれ急速に進展している状況において、改めて、脳科学の知見を取り入れた人工知能の研究開発の重要性が高まってきている。

① 脳に学ぶマルチモーダル人工知能技術

近年の人工知能の革新の多くは深層学習によってもたらされており、次世代人工知能も深層学習を踏まえた上でさらに脳科学の知見を取り込んだものになると予想される。深層学習は主に人間の脳における視覚情報処理をモデルにすることによってこれまでの機械学習ではなし得なかった画像認識を実現した。

ところで脳は視覚のみならず聴覚や触覚、運動、言語など様々な人間の機能を実現することが知られている。このことは脳の汎化能力を深層学習に当てはめることによって、視覚以外の様々な脳の機能を深層学習で実現できることを示唆する。事実、深層学習による音声認識においては、画像認識のために作られたネットワークをほぼそのまま使うことで従来技術に比べて2倍以上高い音声認識率を実現している。

今後は、この視覚、聴覚という流れをまず触覚へと拡張することで深層学習による身体性の獲得を実現し、さらに身体性を踏まえた上での柔軟な運動制御や、実感のある言語処理を行う次世代人工知能を実現することが期待される。

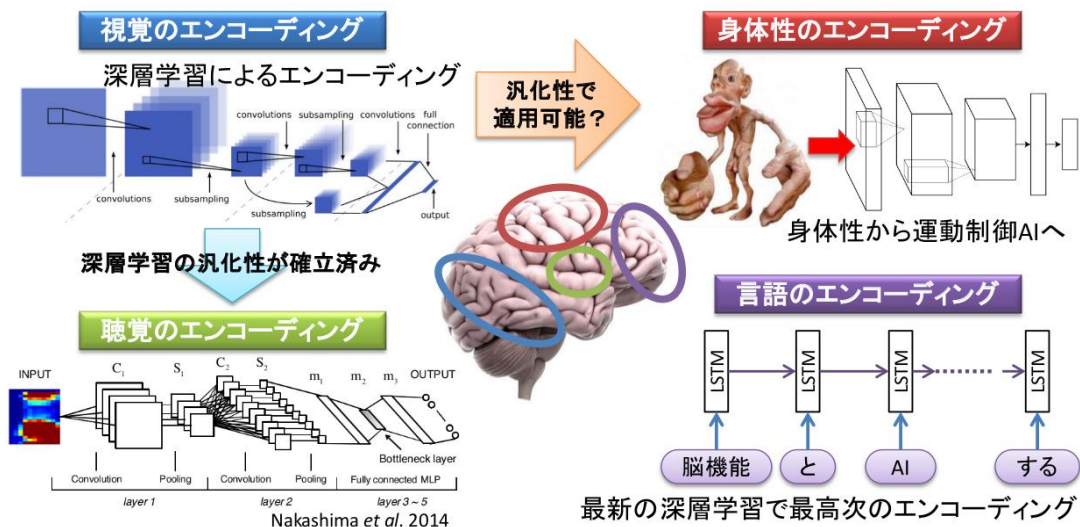


図 IV-13 脳科学と深層学習の融合による発展の可能性

② 超小型軽量低電力の人工知能チップ

人工知能チップの実現に関してはいくつかのアプローチが存在するが、IoT におけるエッジコンピューティングや Things に搭載され、かつ長時間低電力で駆動可能な人工知能チップの実現に関しては最近実用に資するレベルの技術が欧米で登場しつつある。

我が国においても、フォン・ノイマン型に代表されるような既存のコンピュータアーキテクチャにとらわれない全く新しいアーキテクチャの実現に向けて、脳神経回路を模倣する（ニューロモルフィック，**Neuromorphic**）電子回路レベルの研究が大学レベルでは進んできているが、今後は、脳科学の知見に基づく脳機能に倣うトップダウンの脳型コンピューティングの研究と、脳神経回路を模倣するボトムアップの電子回路技術の研究を連携させることが超小型軽量低電力人工知能チップ実現には不可欠となる。

欧米においては、未だボトムアップ中心の技術開発にとどまっており、両者の融合が図られた研究開発は行われていないが、我が国としては、トップダウン研究とボトムアップ研究を効率的に融合・統合させ、人工知能コンピュータ（脳型コンピュータ）チップの研究開発並びに開発体制の整備等を推進し、世界に先駆けた人工知能チップの IoT における実用化を加速することが重要である。

その際、ニューロンが高い密度で集積している昆虫の脳は高い素子密度を実現していることから、生物が記憶を作り出す神経回路の構造及びメカニズムを解明することにより、ニューロコンピュータを高機能かつ小型化するヒントを得ることが可能である。

また、チップの開発と合わせて、その利用技術（プログラミング、実装、応用）の開発及び実証を推進することで社会実装を加速すると同時にグローバルな普及を促進することも重要な視点である。

2020年にはヒト大脳機能の一部領野を模倣するニューロモルフィック回路、2030年には大脳に加え大脳辺縁系を含めた認知・意思決定系機能を具備するニューロモルフィックチップの完成を目指し、さらに2040年までに運動系（大脳・小脳）機能を搭載した全脳チップの完成を目指す。これにより、消費電力を低く抑えたまま計算機能力の飛躍的な向上を実現し、世界に先駆けた画期的な新しいサービスの実現につながっていくことが期待される。

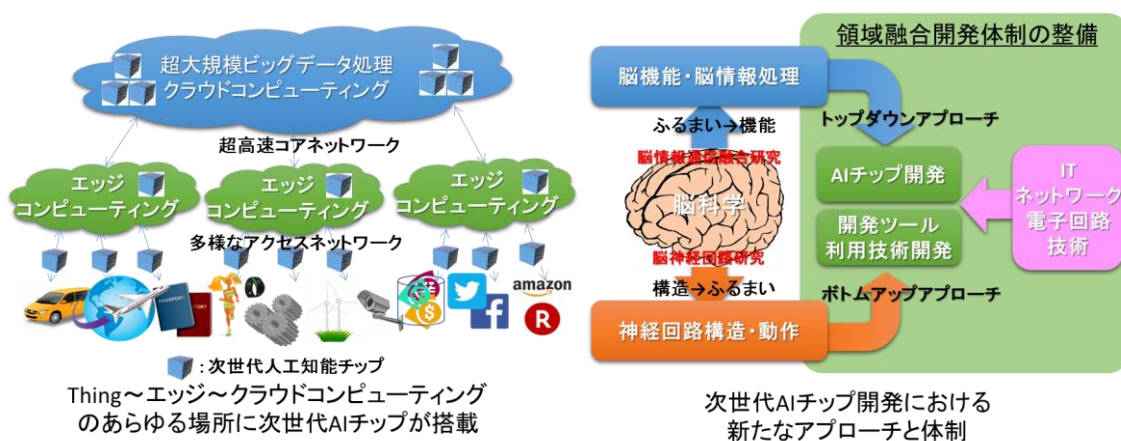


図 IV-14 次世代人工知能チップ開発の新たなアプローチ

③ 脳に学ぶ柔軟な学習法

現在の人工知能技術の問題点の一つとして、膨大な学習用データ、特に正解がしっかりと紐付けられたものが需要であるということが挙げられる。そのため、欧米等の大手 ICT 企業のような膨大な個人データを集積しうる企業以外の参入が困難であるとともに、医療データのような学習データの準備が比較的困難なタスクへの応用が難しいという面があった。しかしながら、例えば医療データにおいては、医師は現状の深層学習が必要とする数（例えば画像認識の ImageNet の場合 1400 万枚）よりもはるかに少ない学習データでの診断を実現しており、これは脳が深層学習よりも効率的に学習しているためと考えられる。

脳のような学習効率を実現するためには、正解がしっかりと紐付けられていないデータで普段から学習しつつ、正解と紐付けられたデータがある場合に一気に学習を進める、「一を聞いて十を知る」ような学習が必要とされる。こ

のような枠組みは人工知能では「半教師あり学習」と呼ばれており、脳における学習の過程を詳細に解明することによってこのような学習が実現することが期待される。

④ 脳に学ぶ桁違いの低消費エネルギーで駆動する人工知能

人工知能開発の成功を示す例として、チェスや囲碁のチャンピオンに人工知能が勝利したことが取り上げられ、大きなインパクトとして報告されている。しかしながら、一見人間の能力を超えたように見えても、エネルギー消費の観点から見れば、人工知能開発の別な課題（消費エネルギーの課題）が明らかになってくる。

アルファ碁は 1,000CPU と 200GPU を駆使しておよそ 25 万 W の電力を消費する。一方、人間の脳は 1W 程度のエネルギー消費で同じ情報処理を行っている。複雑な処理を行わせるために深層学習ではその階層を上げることになり、消費エネルギーは桁違いに増えていくことになるが、現在では 150 層にも及ぶ階層構造を有するものまで出現している。一方、人間の脳は 10 層程度の階層構造で情報処理を実現している。

脳における桁違いの省エネルギーの実現には、コンピュータチップ開発において従来常識とされていた大規模・超高速指向のトレンドの見直しとそのアーキテクチャのみならず回路レベルから計算アルゴリズムまでを見直すアプローチが必要である。

なお、当面は人間の脳に比べて規模の小さい神経ネットワークを有する昆虫類等の脳のネットワークマッピングや機能解析、さらには小規模な情報ネットワークである細胞内情報処理の解析を通して構成生成の推理モデル化が進展することが期待される。

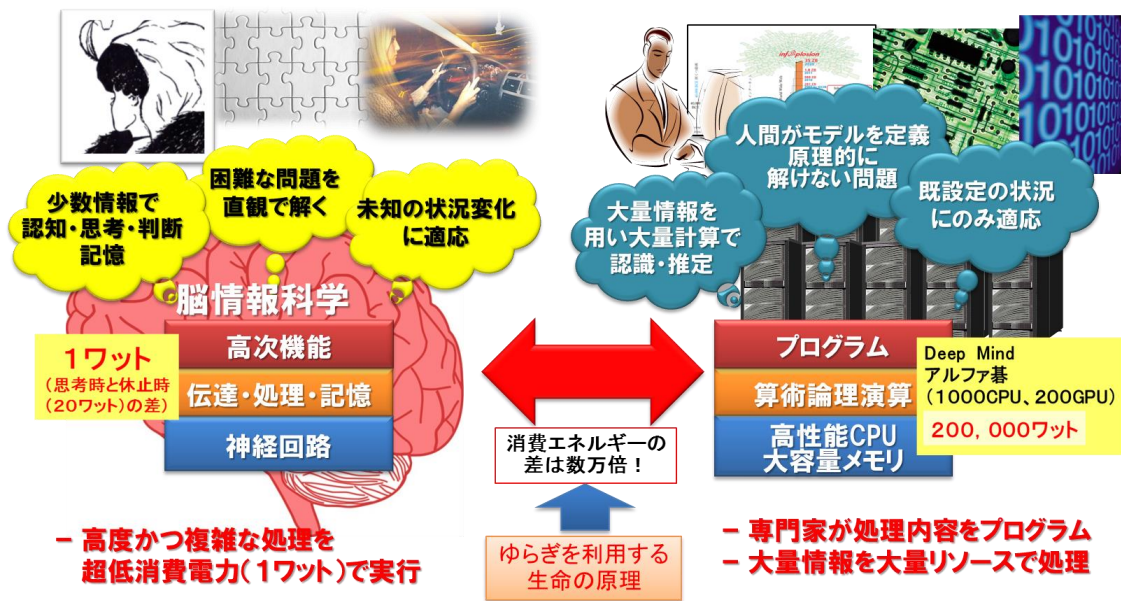


図 IV-15 人間の脳とコンピュータの違いについて

出典：技術戦略委員会 第7回加納敏行氏（日本電気）発表資料を基に作成

⑤ 脳機能から学ぶ深層学習でのブラックボックス化の抑制

現在の深層学習は、ヒト脳視覚野の階層構造にヒントを得て作った多層のニューラルネットワークに基づいている。情報通信研究機構で実施している研究では、視覚野における情報処理のエンコーディングモデルが構築され、脳内の信号処理のエミュレーションが可能になっている。次に、身体性を含む意識下状態のエンコードモデルの構築がなされれば内部処理を明らかにすることができる。これは、深層学習の課題として指摘がなされているブラックボックス化（入力から出力に至る処理のプロセスが見えない問題）の解決につながる技術開発である。

脳機能研究を推進するために積極的に現在の人工知能技術である深層学習やスパースモデリングを活用し、その結果得られる脳情報処理のメカニズムを使って新たな人工知能のためにアーキテクチャやアルゴリズムを開発するというように、脳科学と人工知能技術を融合した次世代人工知能技術の研究開発を推進することが重要である。

さらにその先のAI技術を目指して

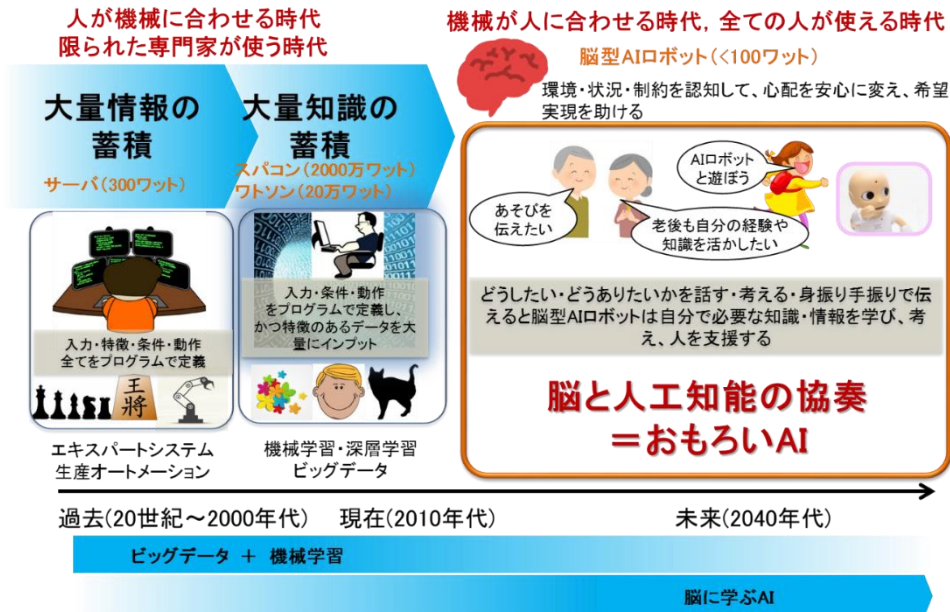


図 IV-16 次世代人工知能の将来像 (イメージ)

(3) 次世代人工知能技術の研究開発ロードマップ

我が国の次世代人工知能技術の研究開発を推進する上で、我が国の人工知能技術の研究開発の基本戦略並びに 2020 年及び 2030 年頃を見据えた我が国の次世代人工知能技術の研究開発内容や目標等を取りまとめたロードマップの策定が重要である。

我が国が取るべき人工知能技術の研究開発の基本戦略は図 IV-17 のとおりであると考えられる。

IoT 時代の到来を見据え、あらゆるデータを共通的に収集できる仕組みを早急に構築し、その上で、膨大かつ高品質なデータを集積するとともに、人工知能に関するソフトウェア及びハードウェアの開発・実証を進める必要がある。また、脳科学の知見を基にした次世代の人工知能の研究開発等を推進することにより、人の感性を把握し、意思決定や行動を円滑に行うことができる新たなアルゴリズム開発を行い、その成果を社会実装することで産業競争力・国際競争力を強化し、社会に貢献していく必要がある。

一方、構築した膨大かつ高品質なデータの中から研究目的でオープンに扱えるデータを大量に用意することで、大学等が自由に研究を行うことが出来る環境を構築することも極めて重要である。これにより、新たな人工知能ア

ルゴリズムの開発者やデータ分析等を行うデータサイエンティスト、データを作り出せる人材、倫理的問題を扱える人材、社会実装を見据えた人材等の育成についても早急に対応していく必要がある。

以上で述べたように、我が国が次世代人工知能技術の研究開発を推進し、国際競争力を確保していくためには、①高品質ビッグデータの集積化、②ソフトウェア・ハードウェア開発、③人材育成の3項目に関して、産学官が一体となって国を挙げて、かつスピード感を持って推進していくことが重要である。また、人工知能関連研究開発成果の各種実証の推進や潜在的利用者への効率的・効果的な技術提供など、国として人工知能関連技術の研究開発から社会実証までを一体的に推進していくための基盤として、大規模計算機設備等を含めた人工知能研究開発・実証テストベッド環境の整備について早急に着手する必要がある。

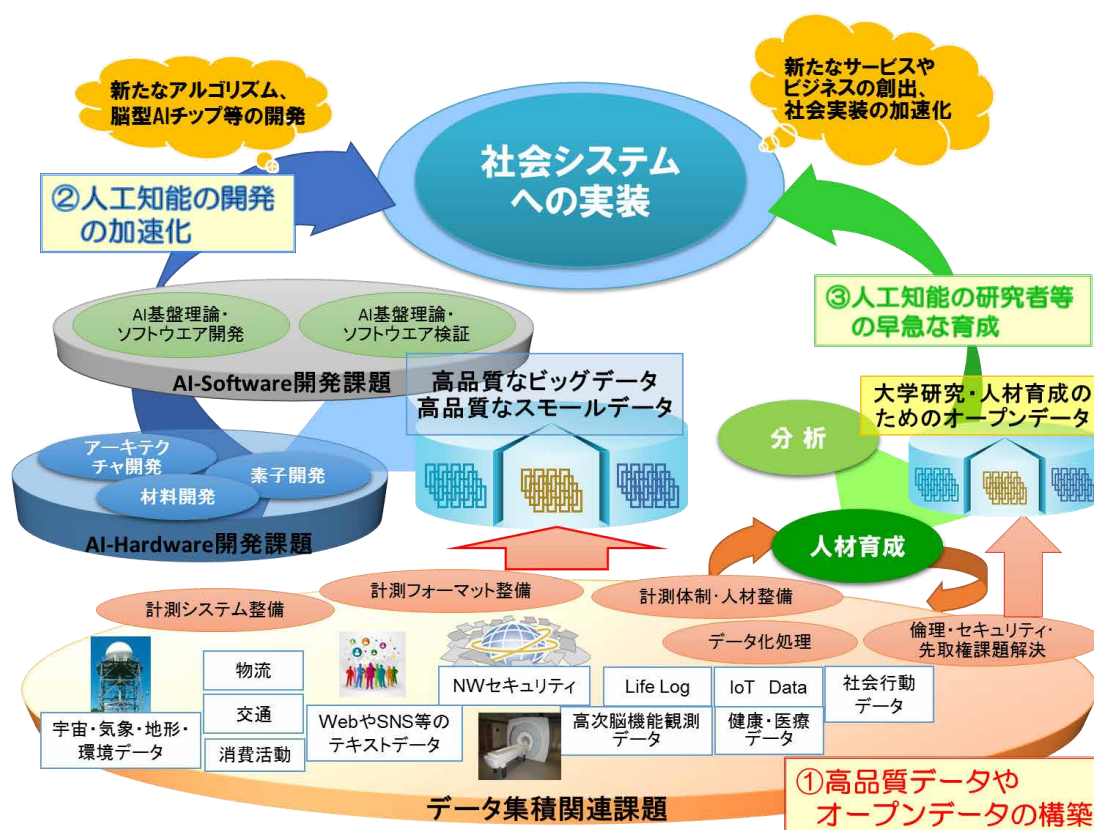
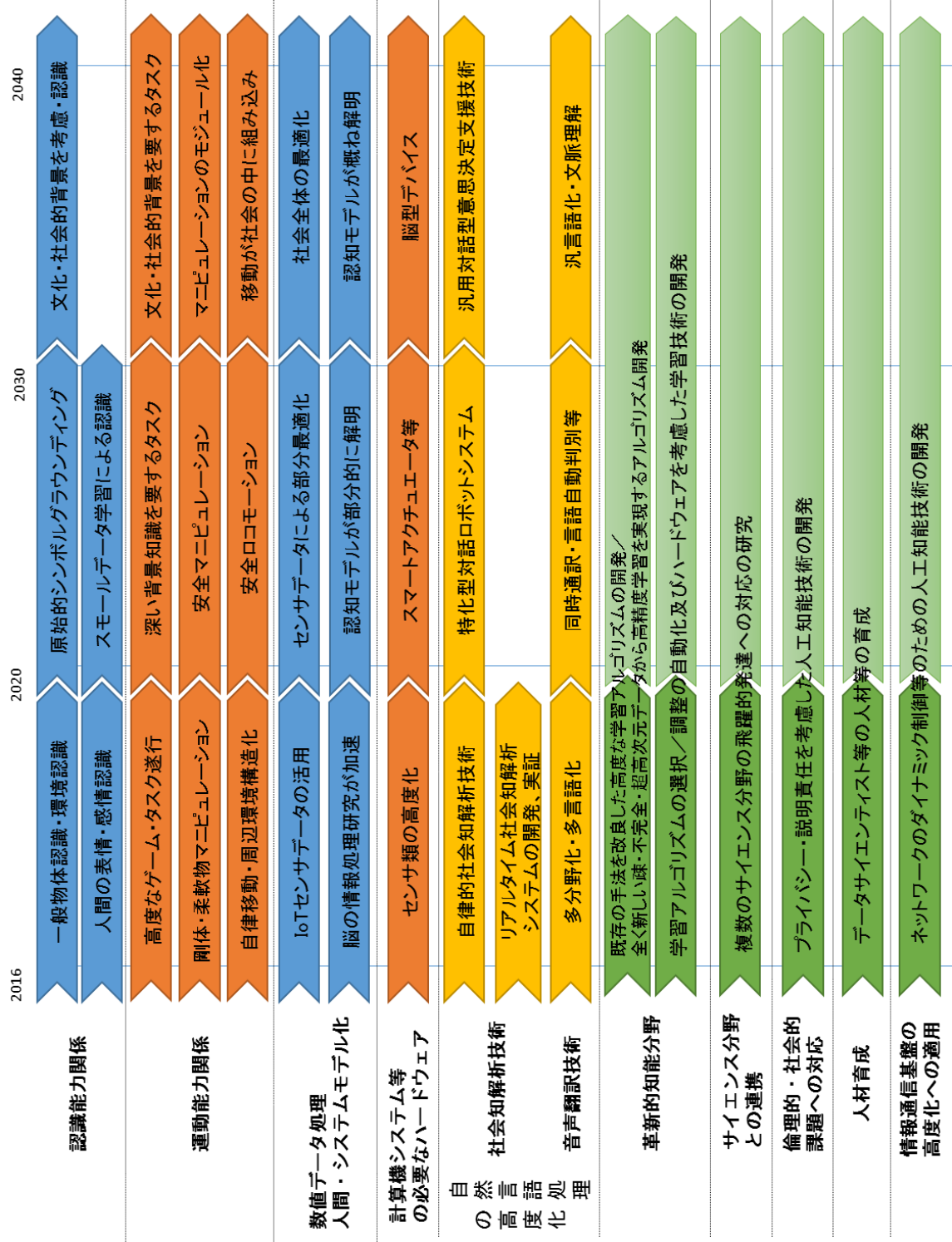
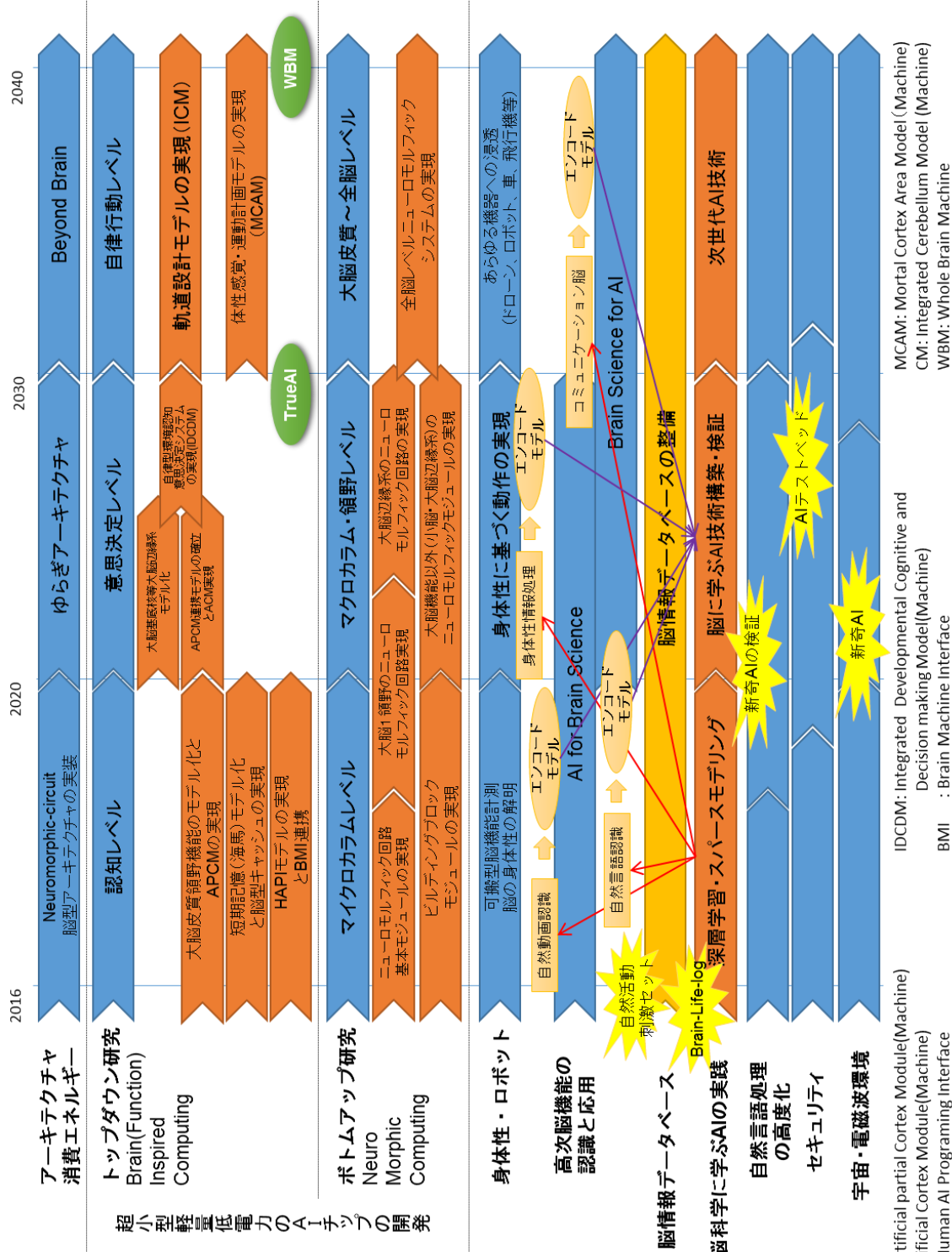


図 IV-17 次世代人工知能技術の研究開発の基本戦略

上述の次世代人工知能技術の研究開発の基本戦略を受けて、2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会を見据えた当面の課題への対応と、2030年以降の未来を見据えた人工知能技術の研究開発ロードマップの検討を行った。



ビッグデータに基づく AI



脳科学の知見に基づく AI

(4) データ確保・データ流通の円滑化

IoT時代の到来を見据えると、ビッグデータを人工知能技術を活用して分析することで、新たなサービスやビジネスが次々に創出される環境を整えることが重要である。そのためには、大量のデータを収集し、円滑かつ戦略的に流通、利用するための仕組みを産学官が連携して早期に構築することが重要である。また、多くの適用分野においては大量データを揃えることは困難であることから、スモールデータを活用した新たな人工知能解析技術の研究開発にも取り組むことが重要である。

① ビッグデータの利活用ルール

IoTデータの普及や第三者による多様なサービスの利活用の拡大のためには、IoTデータの共通利用が図れるような形式共通化・正規化技術の確立・標準化が求められる。また、形式共通化・正規化し、抽出されたIoTデータを第三者が利活用しやすくするための外部接続インターフェースなどの共通機能も合わせて検討することが重要である。さらには、複数のデータを用いて分析を行う場合に、個々のデータの粒度が揃っていないと良質なデータとは言えないことから、データのデザイン性も非常に重要となる。

企業や研究機関、国・地方自治体が有する大量のデータを人工知能技術を活用して解析し、有益な情報を生み出すことは、我が国の経済成長の発展に不可欠である。しかしながら、こうした大量のデータの中には、位置情報を含む個人情報を含むケースがあることから、個人情報保護とデータ流通促進の両方の観点からどのように扱うべきかについて様々な議論がなされているところである。

データ所有者からの情報提供を容易にする手法の一つとして、例えば、「情報銀行」のような仕組みが考えられている。情報銀行が個人情報を取り扱うハブとなることで、データ所有者が安全に安心して企業や個人の情報を預けることができ、これらのデータが活用される場合に所定のポイントが付与されるなどの報酬が伴うことにより、データ所有者のインセンティブが働くなどの仕組みが検討されている。

このようなデータベースの構築や流通の枠組みの検討を官民が連携して策定することによってデータ利活用の大きな進展が期待される。

また、自然言語処理の分野などでは、「辞書」や「知識ベース」などの言語データの品質の良さを維持し、良質なデータを活用した自然言語処理の高度化や新たなアプリケーションの研究開発では、欧米の研究機関と同等レベルの技術力を発揮できるものと考えられる。したがって、日本の良質なデータ

を維持管理し、積極的に利用することは我が国の国際競争力強化の観点から非常に重要である。

このような、人工知能解析に必要となる良質なデータが創出され、第三者が利活用できるようにするための環境整備は、我が国のみならず世界的にも喫緊の課題であり、また、様々な利害が交錯することが想定されることから、国が主導して取り組む必要がある。具体的には、企業、公共機関や研究機関等有するデータ等の利活用を積極的に推進するとともに、データ利活用にあたってのルール作りや、競争領域と協調領域の区分けの考え方などの整理が必要である。また、それらルールのもと、国や研究機関が従来蓄積してきたデータを含め、様々な分野で蓄積されているビッグデータを活用し、研究機関、大学及び企業等が利用可能な「産学官の連携による次世代人工知能の研究開発・実証オープンテストベッド」を国が主導して構築し、次世代人工知能分野におけるイノベーション創出に向けて取り組むべきである。



図 IV-18 産学官連携による人工知能研究開発・実証オープンテストベッドの構築

② 少量データの利活用の動き

人工知能技術を用いたデータ分析の際に、取り扱うべきデータのノイズ除去等の「前処理」については相当の時間が費やされているという指摘がある（デ

ータ解析に要する総時間数の 50%から 90%近くまでが「前処理」に充てられている。) ことから⁵⁹、効率化が望まれるところである。

このため、少量のデータでもビッグデータ解析と遜色のない学習結果が導き出せるようにする研究として、強化学習、見まね、熟練学習等の研究や、少量のデータを取り扱う新たな機械学習法の研究が期待されている。

また、精神疾患などの原因解明にあたっては、脳機能の解明が急がれることとなるが、脳の高次機能の解明によるモデル化と、深層学習に代表される神経回路に学ぶ特徴抽出・学習アルゴリズムの高度化を融合し、超高効率な人工知能解析技術（超スモールデータ解析技術）等の研究開発を目指すべきである。

海外企業の一部には、ビッグデータパラダイムではなく、スモールデータを活用した人工知能解析に取り組む研究、また、脳や生命科学に学び、脳機能を再現し、人工知能を高度化しようとする研究も近年積極的に進められている。

我が国もスモールデータの適用領域をしっかりと見定めた上で、それぞれの分野に適した人工知能技術の研究開発を行う必要がある。

(5) 人材の確保

基礎科学分野では、知能情報基盤として統計、数理、知能情報学、機械学習、データマイニングのほか、様々な分野に応じた知覚情報処理としての画像、音声、言語、さらには時系列のセンサー情報、ロボティクスなどのヒューマンインターフェース、感性情報処理等の知識を有する人材や、知的財産問題や倫理・法律・社会の諸課題を扱える人材の育成が必要となる。

また、システムの構築や情報サービスを創出していく上で不可欠なネットワーク、データベース、セキュリティなどの知識を有する人材も必要である。

優秀な人材を育成するためには、基礎学問を学びつつ、ターゲットとなる問題を理解した上でそれぞれの分野における固有のノウハウを考慮した総合的問題解決能力の修得が必要であり、例えば、大学等において、基礎学問と具体的な課題に対する OJT 実践教育を組み合わせる等、基礎学問から実践までの一貫した教育が望まれる。

⁵⁹ xplenty 社レポート https://assets.xplenty.com/infographics/raw_data_cleaning_is_killing_bi.pdf 等

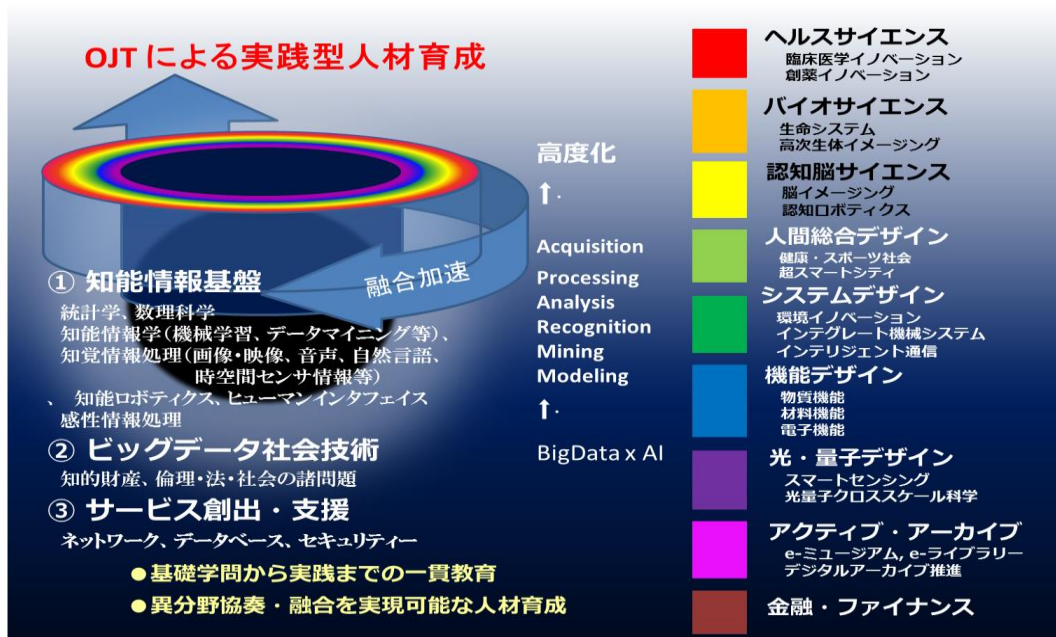


図 IV-19 実践型人材育成の考え方について

出典 AI・脳研究WG 第4回八木構成員発表資料より

米国においては、どのようにデータを集めるかということに対して、国家レベルで様々な方策を打ち出して懸命に取り組んでいる中、社会実装まで辿り着くのは大変難しい状況にある。

だからこそ我が国がチャレンジすることに価値があると言える。

この難しい課題に対処していくためには、日本の学生がチャレンジできる環境作りを行い、誰も解いたことがない問題を解かせる教育、そして解いた人は褒め称え、解けなくてもそれが失敗と決めつけず、更なるチャレンジを促すことができる風土や環境作り、すなわち「やんちゃ」ができる環境を作ることが重要である。

なお、人工知能は、使い方を間違えると人に危害を加えるような悪用や不適切な行為を助長する危険性を内包していることから、チャレンジを促す際には人工知能がもたらしうる負の側面についても留意する必要がある。

(6) 人工知能技術の社会展開の推進

欧米においては、大手企業が人工知能技術の事業化を主導している状況にあるが、これらの企業は、新しい人工知能技術やサービスを手掛けるベンチャー企業等を買収することで技術力や必要なデータ、さらには、優秀な人工知能人材を獲得し、熾烈な競争を繰り広げながら成長を続けることで、人工知

能分野において圧倒的な優位性を保っている。

また、データや人工知能技術者を有しない企業は、データや人工知能技術者を有する企業とパートナーシップを結ぶことで強力な企業間連携を構築し、新たな事業展開を推進しているケースも見受けられる。

我が国においても、人工知能を活用した新たなビジネス創出を目指して起業した大学発ベンチャー等は数多くあり、一部のベンチャー企業は大手企業から多額の投資を受けている。しかしながら、米国のように我が国の大手企業が人工知能ベンチャー企業を買収するというケースはまだ少ないのが現状である。これは日本の大手企業が人工知能による価値を十分に推し量れていないためではないかという見方がある。すなわち、人工知能が単なるデータ解析の手段ではなく、新たな価値を創出するものであるという認識が企業側に十分に醸成されていないということが考えられる。

我が国において、独創的なアイデアによる人工知能技術を活用した新しいサービスの創出を後押しするためには、サービスを展開したい企業と、人工知能の技術開発や新たなサービスのアイデアを持つ企業等と一緒に新たな価値を創出できる環境を整備することが必要である。そのため、脳科学分野も含め、様々な最先端の人工知能技術や斬新なサービスを開発するベンチャー企業等と様々な業界の大手企業等の連携を推進するプラットフォームとして、ICT テストベッドを国が中心となり開発・提供することが必要である。

V まとめ

IoT 時代を迎える今、身の周りのあらゆる「モノ」に人工知能が入り込みつつあり、人工知能はまさに将来の世界中の産業のプラットフォームを支える技術であると言える。このプラットフォームの構築に向けた開発、実用化競争が激化している。欧米も官民がこの分野に人材と予算を集中させ、人工知能技術の研究開発等に取り組んでいる状況にある。

この将来のあらゆる産業の基盤技術に位置づけられる人工知能技術の開発、実用化に関する国際競争に敗れることは、すなわち、日本の産業が将来にわたり衰退することを意味すると言っても過言ではなく、今はまさに我が国の産業は岐路に立っていると言える。

しかしながら、悲観する必要はなく、むしろ我が国には展望が開けていると言える。

第3章で述べたように、現在、人工知能技術の分野では、欧米企業が先行して、極めて膨大なデータを確保、利活用する仕組みを構築することにより、一歩リードしながら新たなサービスの創出に取り組んでいる。その一方で、例えばコミュニケーション分野においては、話し言葉の翻訳データに関して、世界的な大手 ICT 企業でさえも大量の良質なデータの確保には苦慮するなど、必ずしも全ての分野においてデータの確保という面で日本が劣勢に立たされている訳ではない。

また、医療・介護、防災・インフラ、生活支援などの分野においては、我が国は世界の先を行く「社会的課題先進国」であり、これまでも数多くの課題に直面してきた。

さらに、我が国は他国と比較して様々なサービスに対する国民の要求水準が高く、行政機関や企業等のサービス提供側はそれに応えてサービス品質を向上させてきた歴史がある。

こうした様々な社会的課題を解決する経験の積み重ねにより、レベルの高い「サービス」を実現し、高い安全性と信頼性のある社会を築いてきた。その結果、我が国は医療・介護、防災・インフラ、生活支援などの分野において、良質な「データ」を数多く保有している状況にある。

加えて、我が国には、ビッグデータ解析に基づく人工知能や脳科学の分野で世界最先端の研究開発を行っている機関が複数存在している。これら機関の研究開発リソースを効果的に結集することができれば、極めて大きな推進力になることが期待でき、まさに今、その体制づくりが始まっている。

これらの我が国が持つ「強み」を礎として、世界に先駆けてそれぞれの利用分

野における最適な人工知能技術の研究開発を進めるとともに、官民において、とりわけ民間企業の創意工夫により、高品質なビッグデータ／スモールデータを「取りに行く」と同時に戦略的に流通させ、研究開発や社会実装を加速する仕組みを構築することに一刻も早く取り組むべきである。また同時に、大学等における研究開発でオープンに大量のデータを扱える環境を整備し、データサイエンティストや倫理的問題を扱える人材等を早急に育成する必要がある。

その上で、様々なアイデアを持つ人がチャレンジできる仕組みを取り入れることにより、世界に先駆けて人工知能技術を活用した新たなサービスを創出し、様々な社会的課題を解決するとともに豊かな国民生活を実現することが出来るはずである。

さらに、次の世代のために着実に取り組んでおくべきことがある。それは、人工知能分野において脳科学や新しい学習アルゴリズムをはじめとする基礎研究に着実かつ継続的に取り組むとともに、流行に左右されず、日本の未来を支えることができる基礎力のある人材を育成するための教育システムの改革などを着実に推進することであり、これにより、将来にわたって人工知能をはじめとする我が国の産業の国際競争力を維持・強化し、持続的な経済成長を実現することができることを確信している。

これらの取組について、産学官がアクションプランを明確にして、力を合わせて今直ぐ行動することを期待するものである。