

**インテリジェント化が加速する ICT の未来像に関する研究会  
報告書 2015**

**平成 27 年 6 月**

# 《目次》

1. 序章（検討の背景及び全体要約） .....	- 4 -
2. ICT インテリジェント化とは.....	- 8 -
2-1. CPU、ストレージ、通信ネットワークの能力の加速度的向上 .....	- 8 -
2-2. 人工知能の高度化.....	- 11 -
（補論）人工知能のカテゴリー .....	- 13 -
2-3. あらゆるものごとのデータ化.....	- 14 -
2-4. インターネットのグローバル化 .....	- 17 -
2-5. クラウド、ネットワーク、エッジの各階層を活用した分散処理.....	- 18 -
2-6. 人間（の脳）と人工知能等との連携、意識の通信.....	- 21 -
第1部 未来社会の像と現在取り組むべき課題 .....	- 24 -
3. 人間とインテリジェント ICT の関係の変化 .....	- 24 -
3-1. インテリジェント ICT が人間を支援.....	- 25 -
3-2. インテリジェント ICT のネットワーク化による協調が進展し、支援の付加価値が向上 .....	- 26 -
3-3. 人間の潜在的能力が人工知能によって引き出され、身体的にも頭脳的にも発展.....	- 27 -
3-4. 人間とインテリジェント ICT が共存する社会へ.....	- 28 -
4. シンギュラリティ .....	- 30 -
（補論①）ロボットは意識を持ち得るか？ .....	- 31 -
（補論②）人工知能は自分で目的を設定できるか？ .....	- 31 -
5. ICT インテリジェント化が社会、経済に及ぼす影響 .....	- 32 -
5-1. 経済への影響 .....	- 32 -
5-2. 雇用への影響 .....	- 33 -
5-2-1. 雇用の創出と代替.....	- 33 -
5-2-2. 今後の展望.....	- 35 -
6. インテリジェント ICT との共存に向けた検討課題 .....	- 37 -
6-1. 【課題1】インテリジェント ICT の研究・開発に係る原則の検討 .....	- 37 -
6-2. 【課題2】インテリジェント ICT の社会実装に向けた課題の検討①・・・倫理、法律 .....	- 39 -
6-3. 【課題3】インテリジェント ICT の社会実装に向けた課題の検討②・・・プライバシー 保護 .....	- 40 -
6-4. 【課題4】インテリジェント ICT との共存を前提とした社会設計の検討.....	- 41 -
6-5. 【課題5】インテリジェント ICT が社会・経済に及ぼす影響等の評価・・・インパクトスタディとリスクスタディ .....	- 42 -

第2部 インテリジェント ICT の開発・展開と社会への導入・活用 .....	- 44 -
7. 我が国におけるインテリジェント ICT 開発・展開の促進（研究開発・ベンダサイドの課題） .....	- 44 -
7-1. 【課題1】開発に係る連携の促進等によるイノベーションの活性化 .....	- 45 -
7-1-1. 開発企業間連携 .....	- 45 -
7-1-2. 開発企業とユーザ企業間連携 .....	- 46 -
7-1-3. 国際アライアンス .....	- 46 -
7-1-4. 大学、ベンチャー発のイノベーションの活性化 .....	- 47 -
7-2. 【課題2】イノベーションを活かす制度的対応 .....	- 47 -
7-3. 【課題3】データへのアクセス確保 .....	- 47 -
7-4. 【課題4】優秀な人材の育成と確保 .....	- 49 -
7-5. 【課題5】戦略的研究開発の推進 .....	- 50 -
7-5-1. 多様な用途・データを想定した人工知能技術・機械学習技術 .....	- 50 -
7-5-2. 膨大なモノが繋がり連携する社会を前提としたネットワーク技術 .....	- 51 -
7-5-3. 人間とコンピュータがシームレスに連携する社会の実現を視野に入れた脳科学分野の研究 .....	- 51 -
8. インテリジェント ICT を前提とした社会・経済への移行促進（ユーザサイドの課題） .....	- 52 -
9. 諸外国における取り組みと我が国の現状 .....	- 54 -
9-1. 諸外国における取り組み .....	- 54 -
9-1-1. 諸外国の主要企業の研究開発 .....	- 54 -
9-1-2. 諸外国主要企業による企業間連携 .....	- 56 -
9-1-3. 諸外国の政府の取り組み .....	- 58 -
9-2. 我が国における取り組み .....	- 59 -
9-2-1. 我が国の企業における研究開発 .....	- 60 -
9-2-2. 我が国の企業による企業間連携 .....	- 60 -
9-2-3. 我が国の政府の取り組み .....	- 61 -
補論① ロボットは意識を持ち得るか? .....	- 64 -
補論② 人工知能は自分で目的を設定できるか? .....	- 69 -
インテリジェント化が加速する ICT の未来像に関する研究会構成員名簿 .....	- 71 -
開催経緯 .....	- 72 -

## 1. 序章（検討の背景及び全体要約）

人類は、約1万5千年前の農耕革命、18世紀に始まる産業革命の後、第三の変革を経て脱工業化社会（Post-Industrial Society）に入ったとされる。農耕革命によって定住生活が始まり、現代につながる人間社会の基本が構築された。産業革命によって人間の肉体労働の機械への置き換えが起こり、生産性の著しい向上がもたらされた。第三の変革は情報革命とも呼ばれ、情報処理やコミュニケーション技術の発展を通じて、人間の頭脳労働の機械への置き換えが進んでいる。産業革命により筋肉の機能を拡張した人間は、情報革命により脳の機能を拡張しつつあるといえる。

この情報革命が、関連技術の指数関数的発展の結果、昨今、急速にその本質を表しつつある。すなわち、これまで人間だけが行い得た頭脳労働、とりわけ認知、判断、創造について、機械が人間を支援したり、代替したりすることが可能になりつつある。

人類は、人間の頭脳労働によって発展してきた。この頭脳労働の機械への置き換えが本格的に進展する結果、人間社会には新たな大きな変化が生じると考えられる。この変革は、今後、人間社会にどのような未来をもたらすか。また、我々は新しい技術とどう付き合い、これをどのように使いこなしていけばよいか。このような問題意識の下、本報告書はとりまとめられた。

変革の主役は、情報通信技術（ICT）と呼ばれるコンピュータや通信ネットワーク、それらの上で動く人工知能や活用される多様なデータ、これら技術と人間との間のインターフェイスである。本報告書では、これら技術の高度化等によってもたらされる変化を「ICT インテリジェント化」と、また、そのような能力を発揮する技術やシステムの総体を「インテリジェント ICT」と称する。

\*\*\*\*\*

変革に伴い生ずる課題を、本報告書では、インテリジェント ICT がもたらす今後の進歩及び人間社会への影響に関するものと、インテリジェント ICT 関連産業の発展に関するものの二つに分けて整理することとした。以下、その概要を述べる。

第一部では、インテリジェント ICT がもたらす未来社会の像を概ね 2045 年まで展望するとともに、そこへの移行に向けて現在取り組むべき課題を、次のとおり整理した。

今後、技術進歩とその社会への導入の結果、人間は様々なインテリジェント ICT に含まれ

るようになり、インテリジェント ICT の存在を前提として活動するようになる。人間自身もその周囲とネットワークを介してシームレスにつながり、自らを取り巻く環境が自動的に制御され秩序だった状態になるとともに、人間が周囲の空間をリアルタイムでコントロールしたりすることも可能となる。高度な人工的知性が時には有能な執事のように、時には家族のようにその生活に加わることとなり、人間はインテリジェント ICT と「共存」することとなる。

これに関して、人間を超える人工知能が実現されるかという問いがある。いわゆるシンギュラリティ（特異点）に到達するか否かに関連する疑問である。本研究会では、2045 年を判断の年とした場合、部分的には人間より優れた能力を持つ人工知能はできるが、人間の身体性と社会性を前提とした枠組みにおいて、人間に伍する機能をもつ人工知能は実現されないとの認識が主であった。しかしながら、より長期を考えた場合には、人間を超える人工知能が実現し得ると考える。

インテリジェント ICT はさまざまな側面で人間を支援し、その QOL(Quality of Life)を向上させる。その過程において、インテリジェント ICT は私たちの生活を変え、仕事を変え、ひいては価値観や人間社会そのものの姿を変えていくであろう。変化の先が見えないとき、人は少し不安になる。しかしながら、技術進歩は止まらない。進歩を前提に、この技術を使いこなし、人間社会の未来を拓くための取り組みを、産学官が協力して始める必要がある。

現在取り組むべき課題は、以下の 5 つに整理される。これらは、我が国のみならずグローバルに共有され、解決されるべき課題である。産学官は諸外国も含めて連携し、早急に取り組むを進めるべきべきである。

- ① インテリジェント ICT は非常に多彩かつ高度な機能を実現できる。そのような機能は人間社会が良くなるために開発されなければならない。そのための原則を定め、原則を実現するための手立てを講じる必要がある。
- ② インテリジェント ICT の社会実装を進める上で、生死や倫理に関わる判断をどの程度までそれに委ねて良いのか、重大な不具合があった場合に誰または何が責任をとるのか、また、意識や心を持つインテリジェント ICT を作って良いのか等を整理していく必要がある。
- ③ あらゆるものごとのデータ化とその活用が進む中、プライバシーを取り巻く環境は大きく変わる。技術進歩がもたらす新しい世界を前提に、プライバシー保護はどのようにあるべきかを整理しなければならない。
- ④ インテリジェント ICT との共存が進むと、人間の行動や思考形態も変化し、様々な側面で人間社会の様相が変わる。その変化を踏まえて、教育や労働を始めとする社会制度のあり方にも変更が不可避となり、どのような対応が必要か等について検討が必要にな

る。

- ⑤ これらの課題について整理し具体的な取り組みを進めるため、ICT インテリジェント化に係る「インパクトスタディ」と「リスクスタディ」を早急に開始すべきである。

第二部では、喫緊の課題となっているインテリジェント ICT の開発・展開と社会への導入・活用はどうあるべきかを、以下のとおり整理した。

インテリジェント ICT 関連ビジネスの現況は、インターネットビジネス黎明期の 1995 年にも例えられている。今後、大きく成長するだけでなく、広汎な分野において影響力を及ぼすと思込まれるインテリジェント ICT について、我が国は積極的にその恩恵を得るよう取り組む必要がある。諸外国の動きは激しい。取り組み方を誤ると、逆に、我が国経済が取り返しのできない大きなダメージを受ける恐れがある。

インテリジェント ICT の開発・展開に係る取り組みとしては、以下が重要である。産学官はそれぞれの立場から、取り組みを進めるべきである。

- ① インテリジェント ICT の開発においては、企業間連携が不可欠である。インテリジェント ICT は様々な技術の集合体であり、それらが一体となって初めて機能する。まずは開発サイドの企業が自らの得意領域を持ち寄るとともに、そのビジネス展開においてはユーザ企業を深く巻き込んで最適化を図らなければならない。国内外の企業間アライアンスが重要になる。また、大学やベンチャー企業における研究開発の活力を活かす取り組みも重要である。
- ② インテリジェント ICT を新たなビジネスに適用する際に障害となり得る既存の制度的枠組みについて、変更の必要がある場合に速やかに結論を出す仕組みや弾力的運用を可能とする仕組みの構築が求められる。
- ③ 様々なデータへのアクセスを確保すべく、とりわけ国境を越えたデータの共有に関する枠組み整備等が重要である。
- ④ 国内外から優秀な人材が集まる環境の整備、人材の育成が急務であり、産学官がそれぞれの特質を活かした連携を行っていくべきである。
- ⑤ 産学官を貫き、かつ分野横断性を有するインテリジェント ICT 研究開発戦略などが策定されることが望ましい。

加えて、今後、世界各国の流れを先取りして、インテリジェント ICT を前提とした社会・経済への移行を促進すべきであり、これを国家戦略レベルで推進すべきである。

\*\*\*\*\*

本報告書は、2015年2月に立ち上げられた「インテリジェント化が加速するICTの未来像に関する研究会」（座長：村井純慶應義塾大学環境情報学部学部長・教授）において、情報通信、Internet of Things(IoT)、人工知能、認知心理、経済等幅広い分野の産学の関係者が一堂に会し、分野の壁を越えて議論した結果を取りまとめたものである。

2015年は、我が国においては電気通信自由化30周年、インターネットが広く一般に使われるようになって20周年である。このような年に、レイ・カーツワイル博士がシンギュラリティに到達すると予測した2045年までの30年を展望し、その課題を整理しようとしたこととなったのは、奇遇である。

本報告書における議論が、我が国における今後のインテリジェントICT政策の土台となり、また、企業等においてその開発や活用のきっかけとなることで、インテリジェントICTとの共存に向けた準備が円滑に進むとともに、我が国がインテリジェントICT分野において、将来にわたり世界で主要な地位を占めることができることを祈念する。

## 2. ICT インテリジェント化とは

コンピュータの演算・記憶に係る能力及び情報通信ネットワークの能力が向上するとともにグローバル化する中、IoT 等の進展により「ひと」の情報も含む様々なものごとのデータ化が進んでいる。同時に、ディープラーニング技術の開発や脳科学分野における研究の進展により人工知能技術が急速に高度化し、大量に生み出されるデータの高度な活用が可能となりつつある。更に、分散処理の進展によってコンピュータの能力の一層の拡大や、通信遅延（レイテンシー）の問題解決が進み、これら新たな技術の活用範囲が拡大すると期待されている。加えて、人間の脳の解明が進み、人間と機械との連携等が今後大きく進展しようとしている。

「ICT インテリジェント化」とは、これらコンピュータや通信に関する様々な技術の同時並行的かつ加速度的な進展によってもたらされる、人間を取り巻く ICT における知性の大幅な向上と、その ICT と人間の連携の進展という、巨大かつ急速な変化である。

本章では、ICT インテリジェント化を以下の6つの要素に分け、それぞれの進展の状況を整理する。

- ① CPU<sup>1</sup>、ストレージ<sup>2</sup>、通信ネットワークの能力の加速度的向上
- ② 人工知能の高度化
- ③ あらゆるものごとのデータ化
- ④ インターネットのグローバル化
- ⑤ 分散処理の進展
- ⑥ 人間（の脳）と人工知能等との連携、意識の通信

### 2-1. CPU、ストレージ、通信ネットワークの能力の加速度的向上

コンピュータのハードウェアと通信ネットワークの能力は、過去 50 年にわたり加速度的に向上しており、今後もその傾向が継続すると見込まれる。

#### 【CPU】

ゴードン・ムーアが 50 年前に提唱した「ムーアの法則」は今日まで継続して成り立ち、CPU、ストレージといったハードウェア能力は、継続して指数関数的に向上している（図

---

<sup>1</sup> CPU (Central Processing Unit : 中央演算装置) コンピュータにおいて演算・制御を行う装置。

<sup>2</sup> コンピュータのハードディスクなどの記憶装置。



表 1 参照)。この法則についてはこれまで何度もその限界が話題になり、現在も CPU に使用される半導体チップの微細化技術の限界にあと 5 年で到達するとの見方があるが、デバイスの三次元重層化など様々な方法でその限界を超える取り組みが進められている。また、全く異なる手法である量子コンピュータの研究開発なども進められている。

一般にコンピュータは 1946 年に登場した ENIAC が最初のものでされ<sup>3</sup>、登場以来概ね 70 年が経過している。この間、コンピュータの計算能力の向上は著しく、1976 年にクレイ・リサーチ社が開発した CRAY-1 では約 160 メガフロップス<sup>4</sup>であったものが、35 年後の 2011 年には「京」の 10.5 ペタフロップスに、10 の 7 乗倍以上となった。年平均約 1.6 倍向上したこととなる。

また、コンピュータの小型高性能化と一般人への普及も著しい。2011 年に Apple 社から発売された iPhone4S の演算性能は約 140 メガフロップスで、上述の CRAY-1 とほぼ同等である。35 年前のスーパーコンピュータの能力がタブレット端末上で実現できており、将来的には、現時点で我が国最速のスーパーコンピュータ「京」の能力を、個人が持ち歩く日も来ると考えられる。

## 【ストレージ】

コンピューティング能力と共に、ストレージに関しても大容量化・小型化が進んでいる。HDD（ハードディスクドライブ）は、IBM が 1956 年に発表した RAMAC がその起点とされ、記録・再生の基本的な仕組みは変わらないものの記録密度とサイズが大きく変わり、記録容量の爆発的増加と小型・軽量化が実現している。2000 年代中盤には SSD（ソリッドステートドライブ）といった新たな方式の記録装置も実用化されるなど、ストレージの容量は過去 15 年間で概ね 3 千倍となり、年平均 1.7 倍で向上して来ている。

## 【通信ネットワーク】

通信ネットワークは、19 世紀における電信の発明以来用いられているが、有線通信においては、アナログからデジタルへ、メタルから光へと進化しすることで能力が飛躍的に向上している。例えば、1988 年には 64Kbps だった家庭向け回線の通信速度が 2000 年には 1.5Mbps（ADSL）、2013 年には 2Gbps（光サービス）になるなど、15 年の間で約 3 万倍向上した。年平均 2.2 倍の向上である。今後、光ノード技術や、マルチコアファイバ等を用いた光伝送技術等により更なる飛躍が見込まれている。

無線通信（移動体通信）に関しても 1980 年代の第一世代移動通信システム（1G）の

---

<sup>3</sup> ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer、米、1946)が、世界初のコンピュータとされることが多いが、Zuse Z3(独、1941)、Atanasoff-Berry Computer(米、1942)、Colossus(英、1944)等を世界初とする意見もある。

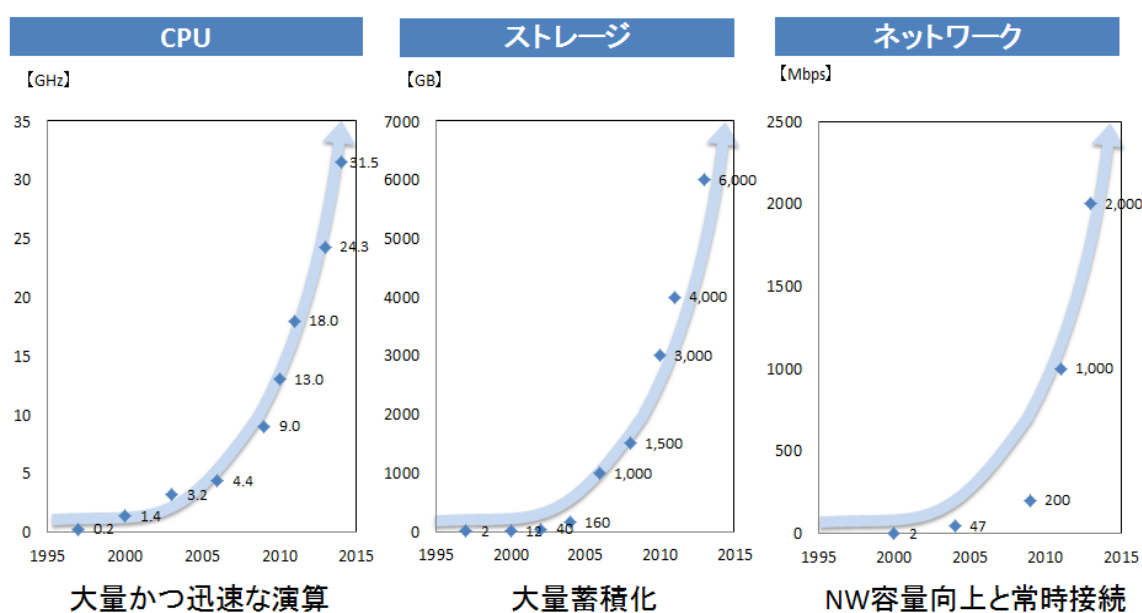
<sup>4</sup> フロップス (Flops : Floating point operations per second) は計算機の計算能力を示す指標。メガ (M)は百万倍、ペタ (P)は千兆倍を表す。

アナログ通信（約 10Kbps）から 2010 年代の 4G LTE<sup>5</sup>(約 100Mbps)まで、およそ 30 年で 1 千倍以上の能力向上が実現した。こちらも、年平均 1.7 倍の向上である。更に通信速度 10Gbps の第五世代移動通信システム<sup>6</sup>（5G、LTE の更に 100 倍）が 2020 年にサービス提供開始される見込みである。

通信ネットワークに関しては、近年、Software Defined Network（SDN）といった、仮想サーバやクラウドコンピューティングを用いてネットワークを柔軟かつ動的に構築し運用する技術が登場しており、単なる通信速度の向上とは別の観点からも効率化が進んでいる。

この他、ネットワークを活用して複数のコンピュータを稼働させる並列処理や分散処理も高度化しており、計算能力・ストレージ容量・ネットワーク能力は相互補完的に向上を続け、当面限界が見えない状況にある。

図表 1 CPU、ストレージ、ネットワーク能力の推移



出典：第一回研究会事務局資料

<sup>5</sup> LTE（Long Term Evolution）は、第 4 世代移動通信システム（4G）の一つ。家庭向けのブロードバンド回線にほぼ匹敵する高速なデータ通信が可能。

<sup>6</sup> 4G の次の世代の移動通信システムとして 2020 年頃の実現が期待されている。現行 LTE と比べて 100 倍の接続機器数、100 倍の通信速度（10Gbps）などが目標。

## 2-2. 人工知能の高度化

コンピュータ能力の加速度的向上と相乗的に知的処理技術の研究開発が加速し、人工知能の高度化が急速に進んでいる。

### 【工学的アプローチ】

人工知能研究は 1950 年代に始まり、これまで、推論・探索の時代（1950 年代後半から 1960 年代）、知識表現の時代（1980 年代）を経て、機械学習の時代（2000 年代）に至っている。それぞれの時代に、現在活躍する人工知能に繋がる主要な技術が開発されてきた（図表 2 参照）。

推論・探索の時代には、基本的には決まったルールに従い多くの選択肢（探索木）を分析していく手法が開発され、チェスや将棋ソフト等に用いられている。1997 年には IBM が開発したディープブルーがチェス世界チャンピオンを、2012 年には前年の世界コンピュータ将棋選手権優勝ソフトボンクラーズが、当時の日本将棋連盟会長米長邦雄永世棋聖を第一回将棋電脳戦において破るなどしている。

知識表現の時代に開発された技術は、コンピュータに人間の知識を与え、その知識を元にコンピュータが専門家に代わって推論等を行うもので、当初は生産・管理・会計・人事等に用いられ、現在は病気診断、法令の適用判断等にも用いられるようになっている。昨今話題の IBM が開発した Watson もこの技術の延長線上にあり、機械学習と組み合わせられて作られている。

機械学習の時代は、インターネットの登場とウェブの広がりにより利用可能となった大量のデータを用いてコンピュータが自ら学習する技術が、それ以前から蓄積されてきたパターン認識技術と一体となることで発展した。統計的言語処理と呼ばれる、文法構造や意味構造を考えずに、訳される確率の高い訳を機械的にあてはめていく翻訳手法等に応用されている。Google 翻訳などがその代表例である。ただ、当初は、学習の際に必要となる特徴表現のとらえ方を、人間が与えなければならないという課題があった。

機械学習の時代が継続する中、人工知能研究における 50 年来のブレイクスルーとも言えるディープラーニング技術が開花した<sup>7</sup>。ディープラーニング技術は、判断や思考に必要な特徴表現について人間が指示しなくとも、コンピュータ自らが学習することを可能とするものである。これにより、コンピュータは単なる記憶・演算装置から、与えられ

---

<sup>7</sup> ディープラーニング技術は、2012 年に開催された世界的な画像認識コンペティション ILSVRC (Imagenet Large Scale Visual Recognition Challenge) で、それまで画像認識のエラー率を大幅に改善したことで注目された。また、同年には、Google の開発したディープラーニングのアルゴリズムが、ランダムに与えられた YouTube の画像から猫の特徴量を自動的に学習したことが話題となった。

た乱雑な情報からその内容を認識し、推論、思考を自ら行う人間に近い存在に進化することが可能となったと考えられており、今後、人工知能分野が大きく発展すると期待されている。

現在のディープラーニング技術は、まだ発展途上である。画像特徴の抽象化、観測データの抽象化、自分の行動に関するデータと観測したデータから自らの行為とその帰結の抽象化、言語理解や自動翻訳などを経て、更なる抽象化や知識獲得を行うなど、今後、連鎖的に大きなブレイクスルーが起きていく可能性があると考えられている<sup>8</sup>。

### 【理学的アプローチ】

機械学習や特徴表現学習のように工学的に人工知能を作ろうとする取り組みとは別に、人間の脳の機能そのものを模倣して人工知能を作ろうとする試みがあり、Whole Brain Emulation (WBE) と呼ばれている。

WBE の基本コンセプトは、ある特定の脳をスキャンしてそのオリジナルの脳と同じ機能を持ったソフトウェアを作り、適格なハードウェアにのせれば、それは元の脳と同じ振る舞いをするだろうというものである。

2005年にIBMとスイス連邦工科大学が協働プロジェクト Blue Brain を立ち上げ、また2008年はオックスフォード大学がWBEに関するロードマップを発表するなど、2000年代の後半から具体的な動きが始まっており、我が国においても、霊長類（マーモセット）の神経回路全容解明プロジェクトが2014年から10年間計画で進められている。

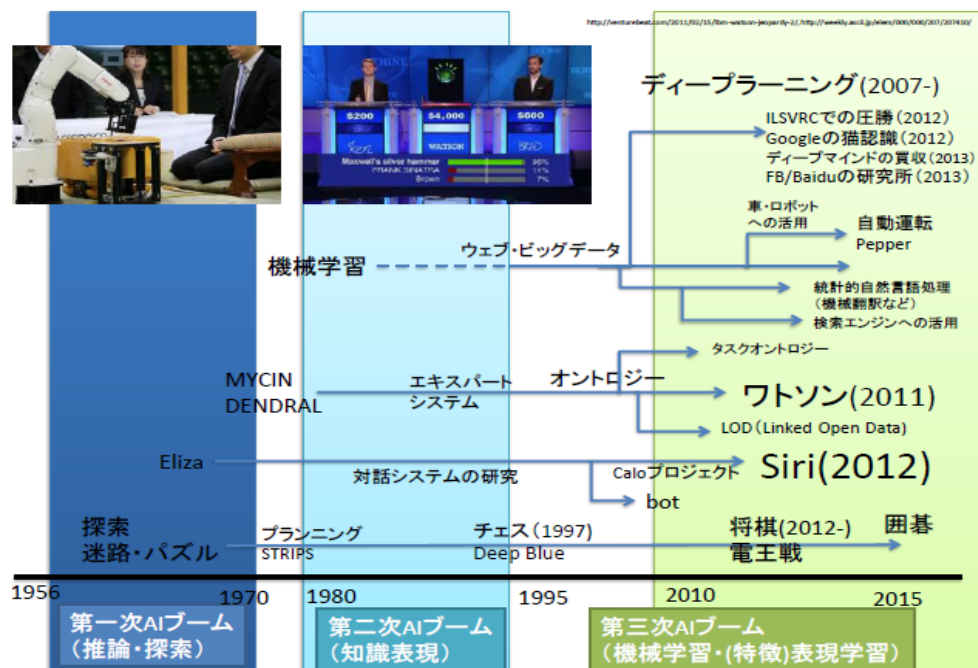
また、我が国においては、脳はそれぞれよく定義された機能を持つ機械学習器が一定のやり方で組み合わせることで機能を実現しているとの考え方から、それを真似て人工的に構成された機械学習器を組み合わせることで人間並みかそれ以上の能力を持つ汎用の知識機械を構築しようとする、全脳アーキテクチャ・プロジェクト (WBA) も立ち上がっている。

このように、人工知能研究は複数のアプローチがありそれぞれの領域において進歩が見られる。今後、これらの知見が相互補完することで、更に新しい世界が開ける可能性があると考えられる。

---

<sup>8</sup> ディープラーニングの適用対象は、現在、画像認識、音声認識などの認識タスクからより高度なタスクに広がりつつあり、例えば、従来の人工知能が困難としていたロボットの行動学習、対話システム、プログラムの自動学習などのより高度な問題にも適用されつつある。特にIoTにおいては、センサやアクチュエータなど時系列情報を扱い、状態を管理する「回帰結合型ニューラルネットワーク」(RNN)、たくさんのデータが容易に得られるが教師付きデータは少ない「変分自己符号器」(VAE)、様々な条件や目標を考慮した上で最適行動を求める「深層強化学習」等の研究開発が進んでいる。

図表 2 人工知能開発の流れ



出典： 第一回研究会松尾構成員資料

## (補論) 人工知能のカテゴリー

「人工知能」は非常に幅広い概念である。無秩序なデータから特徴量を自ら学習し、複雑な状況下で推論等を行うものも、将棋を指すものも、お掃除ロボットを動かすものも人工知能と呼ばれている。これらは人工知能の振る舞いの段階により、以下の4つのカテゴリーに分類することができる。

- ・カテゴリー1：単なる制御（言われた通りにやる）
  - 温度が上がるとスイッチを入れる。下がるとスイッチを切る。
  - 洗濯物の重さで洗い時間を調整。
- ・カテゴリー2：対応のパターンが非常に多い
  - (探索や知識を使って、言われた通りにやる)
  - 探索や推論。将棋や囲碁で、決められたルールにしたがって、手を探す。
  - 知識。例えば、与えられた知識ベースを使い、検査の結果から診断内容や処方する薬を出力する。
- ・カテゴリー3：対応のパターンを自動的に学習（重みを学習する）
  - 機械学習

- 駒がこういう場所にあるときは、こう打てばよいということを学習。
- この病気とこの病気はこういう相関があるということを学習。
- ・ カテゴリー4：対応のパターンの学習に使う「特徴量自体」も学習  
(変数も学習する)
- (特徴) 表現学習。ディープラーニングはこの一種
- 駒の位置だけでなく、複数の駒の関係性をみたほうがいい。
- こういった一連の症状が、患者の血糖異常を表し、複数の病気の原因になっているようだ。
- (カテゴリー4は人間の認知機能を機械上に実現しようとするものであることから、「コグニティブ・コンピューティング」(認知的なコンピュータ計算)と呼ばれることがある。)

人工知能に関する議論を進化させるためには、この分類を踏まえ、どのカテゴリーの人工知能について議論しているかを意識して進める必要がある。

### 2-3. あらゆるものごとのデータ化

インターネットの普及は、無限ともいえるデータにネットワーク経由でアクセスすることを可能とした。そして、データを集めたところに知性が集まり、新たなビジネスが生まれるという流れができ、Google、Amazon、YouTube、ニコニコ動画、ツイッター、フェイスブック等がビジネスで成功してきている。

1990年代半ば以降、まずはウェブサイト情報や音楽、映像情報といった「コンテンツ」のデータ化が進み、その活用が進んだ。これらは始めから何らかの意味を有するデータである。

次に、GPS機能の普及に伴い「行動情報」のデータ化が進んだ。行動情報のデータは蓄積され、解析され、また、他のデータと組み合わせて活用されることとなった。

今後は「もの」のデータ及び「ひと」のデータが重要になっていく。これらは基本的に状態をあらわすデータであり、行動情報と同様、解析されることで価値を生み出す。2-2で述べた人工知能の高度化等により、今後、様々な角度から解析され、活用されることとなる。

ものデータ化に関しては、IoTとしての取り扱いが進みつつある。IoTは、当初、センサやRFID(ICタグ)から始まったが、近年では、OS(Operating System)やDB(Database)を搭載し汎用的な計算能力を備えたデバイスが、実世界上のあらゆる情報をセンシング

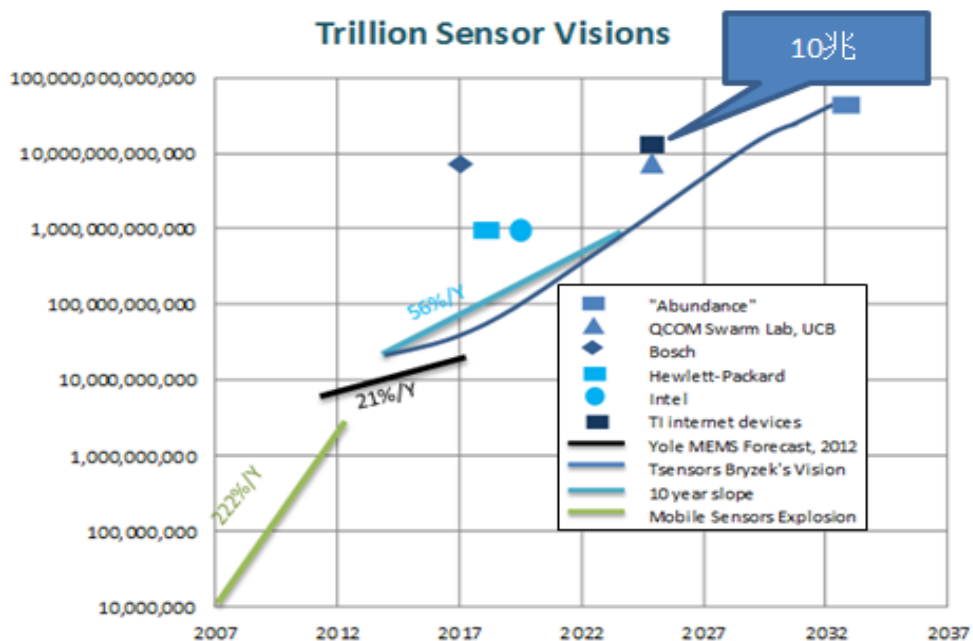
しクラウド上にデータを伝送するようになっている。端末上での高度な情報処理も可能となり、2-5 で述べる分散処理の進展によって、大量のデータを短時間に効率的に処理することも実現可能となっている。

今後の展望として、2020 年代にはインターネットに接続されるセンサの出荷台数が年間 10 兆個以上になるという予測も発表されている（図表 3 参照）。自動車、監視カメラ、空調装置、工場の生産設備等、膨大なデバイスがネットワークに接続されることで、機械から生成されるデータが爆発的に増加すると予想される。海外においては、それらを製造業の効率化等に用いようとする Industry 4.0 などの取り組みも始まっている。

製造業に限らず、これまでデータ活用が進んでこなかった医療、農業、防災、スポーツ等の、いわば生産性の低い産業セグメントにおいて、よりデータの重要度が高まると考えられる。例えば、医療に関しては、日本は国民皆保険を導入しており世界的にも多量のデータを収集できることから、そうしたデータを活用し抜本的に新しい予防医療などを作っていくことも可能と考えられる（図表 4 参照）。

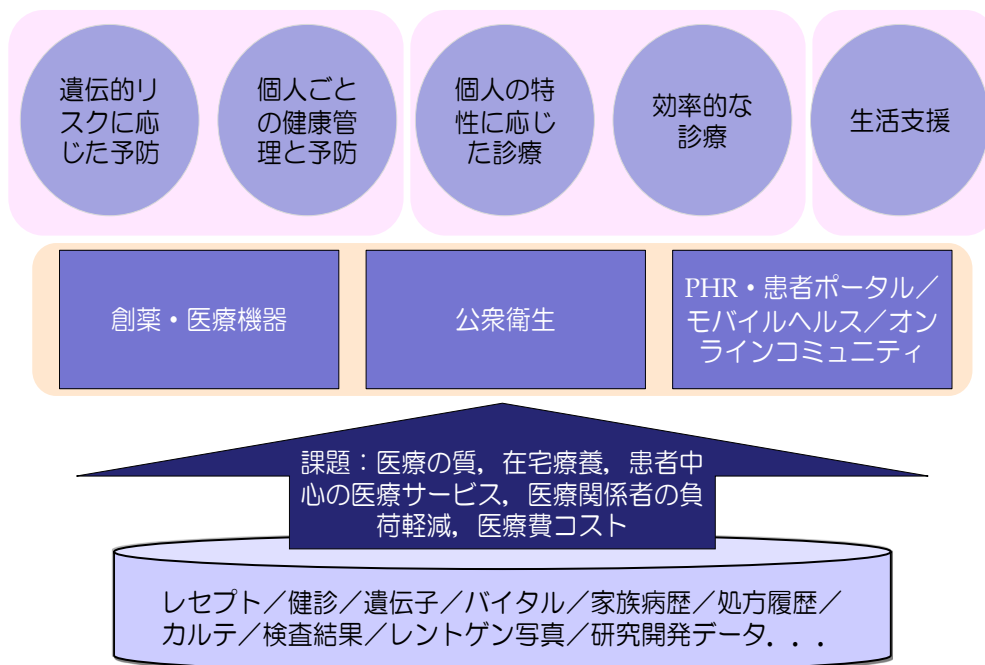
もののデータ化とともに、ひとのデータ化が急速に進みつつある。Google のコンタクトレンズや NTT の hitoe などといったウェアラブルデバイスや各種センサを通じて、ひとに係る時系列を伴うデータが収集・活用されるようになっている。ひとのデータを有効活用できるようになることで、2-6 で述べる人間と人工知能等との連携、連動が可能となる。その結果、人間がコンピュータに合わせなければいけない現在の状況から、コンピュータが身体の一部になる状況に推移していくと考えられる（図表 5 参照）。

図表 3 センサの出荷予測



出典：TSensors Summit

図表 4 医療分野のデータ活用例



出典： 第三回研究会森川構成員資料

図表 5 ひとのデータ化の例

hitoe

Source: Babak Amir Parviz

Source: NTTプレスリリース, 2014.

Source: Star Trek

Source: 東大染谷教授提供

身体の一部となるウェアラブル

超人的な身体強化

- » シリコンと生体細胞が融合する時代
- » ナノテクノロジー，遺伝子工学，生物学と情報通信技術との融合
- » 動物が備える優れた能力の獲得

デザイン領域への展開

- » 電気，紙，水道の発展の最終形態：照明，和紙造形，噴水などといった装飾的な使われ方

指数関数的な技術進歩

出典： 第三回研究会森川構成員資料



## 2-4. インターネットのグローバル化

インターネットのインフラ環境が整い、世界中のデバイスが一つのネットワークで繋がろうとしている。

ARPA ネット<sup>9</sup>として1969年に始まったインターネットは、急速にその世界に広まり、2000年に4億人、2005年には10億人、2015年には32億人が利用することとなった。Ciscoの推計では、2025年に55億人に達すると予測されている。

ITUの推計によると、2015年のインターネット利用率は43%であり、先進国においては82%、発展途上国では35%以下となっている（図表6参照）。

今後、とりわけ発展途上国を中心にインターネットインフラの整備が進むと見込まれる。ITUは普及目標を示しており、2020年までに、世界の55%の世帯（2015年は46%）がインターネットにアクセスできるようにすることとし、途上国の目標も50%（2015年は34%）としている。

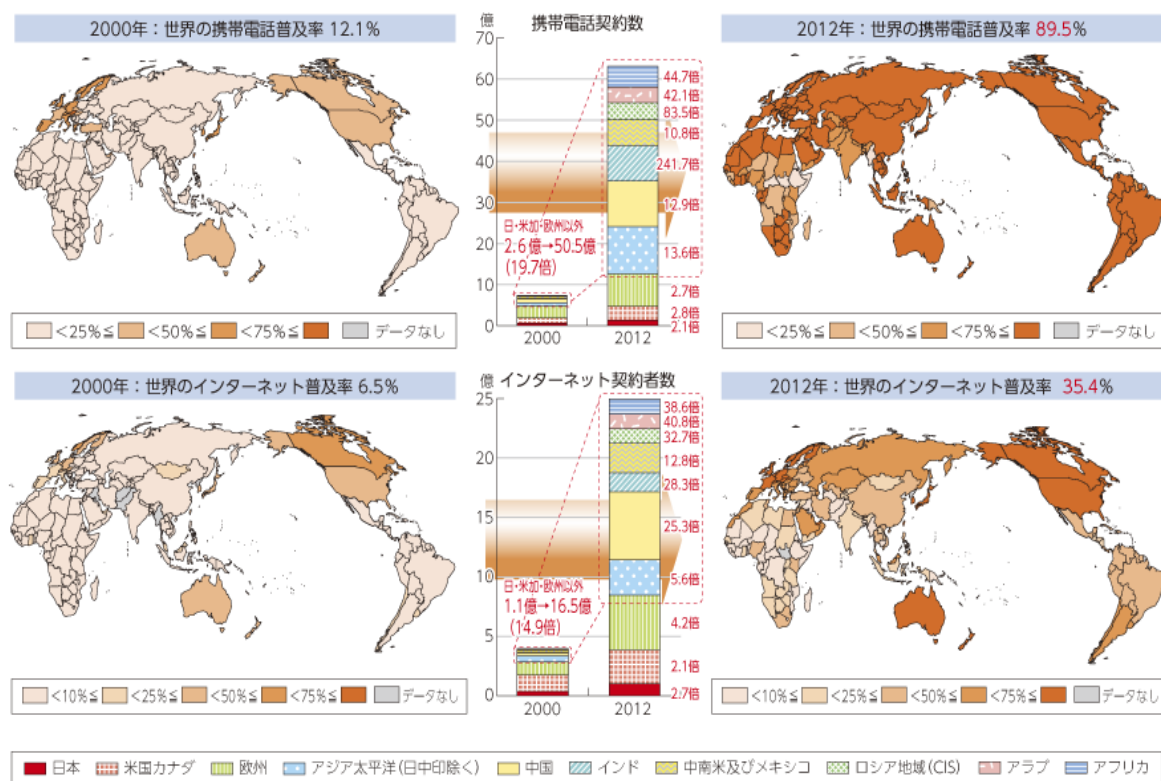
異なるアプローチとして、米国のスペースX社は今後12年から15年かけて4000機以上の小型衛星を高度1100kmの軌道に投入し、低人口密度地域からインターネットにアクセスできる衛星通信サービスを提供しようとしている。現時点では通信インフラの整備が進んでいない地域を含め、急速にアクセス可能エリアが広がるものと考えられる。

インターネットのグローバルな普及により、国境に関係ないthe Internetという一つの空間が構築される。そこでは、ひとやものが生み出すデータのみならず、処理や蓄積（ストレージ）、サービスも全てグローバル化することとなる。人類はインターネットを介してこれら資源を共有できることを前提に未来を構築することとなる。

---

<sup>9</sup> 1969年に米国防総省の高等研究計画局（ARPA、現在のDARPA）が導入したコンピュータネットワーク。各地に分散したUNIXコンピュータ同士をTCP/IPで相互接続するもので、後のインターネットの原型になった。

図表6 世界における携帯電話およびインターネット普及率の変化



出典：総務省情報通信白書

## 2-5. クラウド、ネットワーク、エッジの各階層を活用した分散処理

コンピュータの処理機能の分散配置は、CPU の能力とネットワークの能力の相関関係で変化し、これまで、メインフレームの時代（集中）、パーソナルコンピュータの時代（分散、1990 年頃～）、クラウドの時代（集中、2010 年頃～）と、概ね 20 年を周期に集中と分散を繰り返してきた。この流れの中であって、近年、二つの視点から再度分散処理への流れが生じている。一方は計算能力を確保、もう一方は通信量の増大や通信遅延を克服し処理能力を適切に配置しようとするものである。

計算能力を確保する観点から分散処理を活用する取り組みは、以前からあった。インターネットを介して複数のコンピュータやデバイスを並列に組み合わせ、大きな計算能力を得ようとするものであり、著名な試みの一つに、多数のボランティア・コンピュータを用いて地球外知的生命体を探そうとする SETI@home（セティアットホーム）プロジェクトがある。数百万台のコンピュータが参加し、スーパーコンピュータ並みの計算能力を生み出したとされる。

並列処理により計算能力を確保する手法としては、このようなグリッド・コンピューティングを経て、近年、デバイスや OS の種類を限定せず、複数のコンピュータがブラウザという共通のプラットフォーム上で連結するものが実現しつつある。

### 【エッジ・コンピューティング】

通信量の増大や通信遅延を克服する取り組みとして、近年、エッジ・コンピューティングの研究が進展している。

2-3 で述べたとおり、IoT などあらゆるものごとのデータ化が進展することにより、今後ネットワークを流通する情報量が爆発的に増加すると見込まれている。この場合、大量のデータを中央に吸い上げ処理し解析結果を返送するクラウド型の情報処理では、データトラフィック量の増加によるネットワークの混雑や遅延、エネルギー量の増加を招くこととなる（図表 7 参照）。他方、IoT の有力アプリケーションである自動運転車制御等においては、大量の情報を活用しつつ高いリアルタイム性の処理を行うことが要求されている。

エッジ・コンピューティングはクラウドに全ての情報を集めて処理するのではなく、一部の処理を末端（エッジ）のデバイスやその近傍で分散的に行うことで、これらの課題を克服しようとするものである。すなわち、大量の情報を組み合わせて判断すべきことは中央のクラウドが、情報量が限られていても判断できることや伝送・処理時間に制約があるものはエッジで処理する分散処理を行うことにより、資源配分を最適化しようとするのである（図表 8 参照）。

自動運転車制御の他にも、BEMS（ビルエネルギー管理システム）、HEMS（ホームエネルギー管理システム）といったビルや家屋のエネルギー管理、スマートシティ管理システムといった省資源化を始めとする多様な側面における都市機能の管理、拡張現実を活用したサービス、防災などについて、エッジ・コンピューティングを活用することで、クラウド上の巨大な人工知能に過度に依存することなく円滑な情報処理が実現できる。

### 【センサー・フュージョン】

複数のセンサからの信号を有効に組み合わせて全体像を把握する「センサー・フュージョン」の研究が急速に進んでいる。

人間の脳内では、『どこに』と『何が』あるのか、『自分はどんな状態か』、『どう動いているのか』等について体内のセンサから得られた情報を脳に集約し、脳内の別々の場所で分散的並列的に分析した上で、最後にそれらの結果を融合して対象や自己を認識していること、及び、そうした認識に際してはニューロンとシナプスの関係として格納されている記憶との瞬時の照合が逐一なされていること、等が解明されつつある。

センサー・フュージョンはこの脳の仕組みにも似た処理方法であり、距離や形、動き、色、

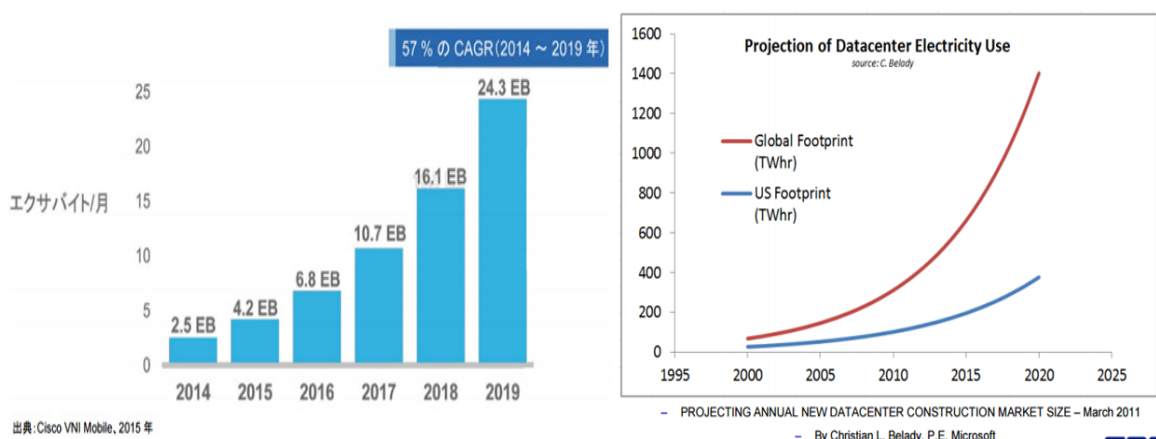
方向、加速度、気圧等様々なセンサ情報をコンピュータ上でソフトウェア的に融合し、対象が『何で』、『どう変化しているのか』、それに対して自己は『どう動いているのか』、『どう動くべきか』等の認識や分析を行うものである。

このセンサー・フュージョンの技術はこれまでスタンドアロン端末とその周囲のセンサ間の技術として発展してきたが、昨今の通信技術の発達とコンピュータの処理能力の拡大により、IoT を実現する上で非常に重要な技術要素となってきた。すなわち、各種センサから排出される大量の情報をクラウドに集約して一括処理することが可能となり、それらにより短時間に大規模の処理と調和が可能となると考えられている。

課題は、クラウド内処理時間と端末ークラウド間通信時間（遅延）とであったが、最近のディープラーニングによる画像認識に係るクラウド内処理時間は 60msec 程度と人間の脳内処理速度と同等となっており、また、センサとクラウド（又はエッジ）間の通信時間も、LTE Advanced<sup>10</sup>又は 5G（特にマイクロセル化による）となれば短縮し、全体システムとして人間の体内における処理時間より短くなると考えられている。将来、エッジ・コンピューティングとセンサー・フュージョンのベストミックスが求められることとなるであろう。

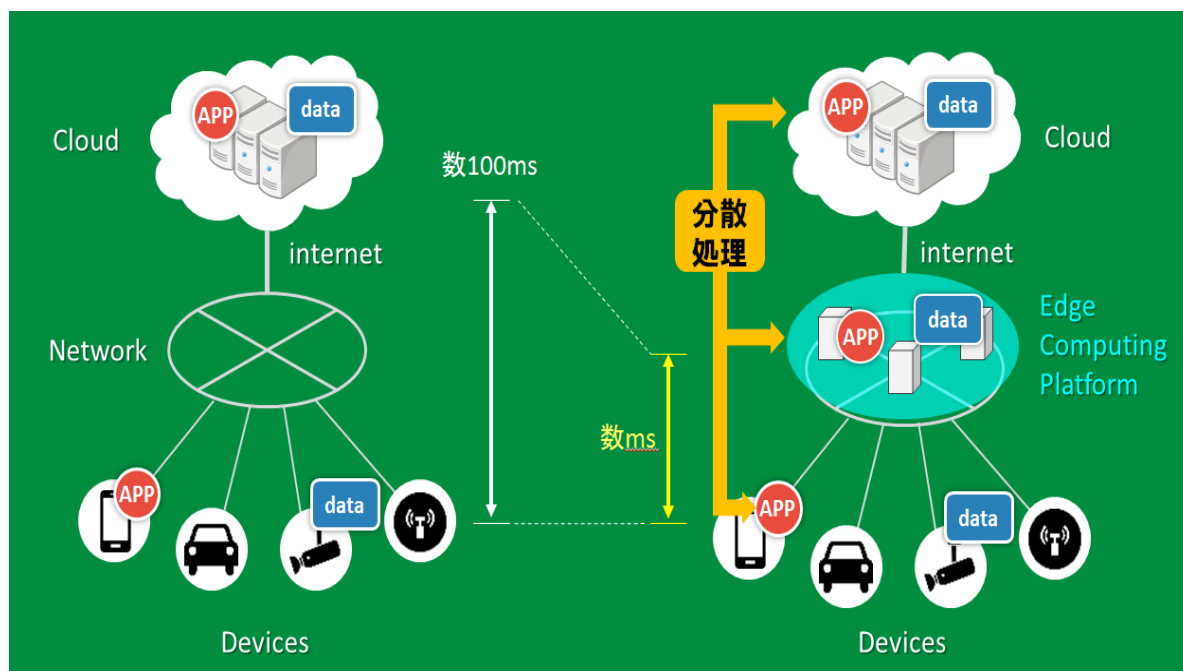
コンピュータ画像処理は人間と異なり同時に複数のものを認識可能である。多様なセンサ群とセンサー・フュージョン技術の高度化により、人間よりも早くかつ多くの情報を正確に処理する端末やサービスが実現されると見込まれ、例えば、自動運転車制御、各種犯罪防止、農業や鉱業の自動化、遠隔ヘルスケアなどに応用可能と考えられている。

図表 7 データトラフィック量とデータセンターの電力使用量の予測



<sup>10</sup> LTE を高度化した携帯電話の通信規格。現行 LTE に比べて 10 倍の通信速度 (1Gbps) を実現。

図表 8 エッジ・コンピューティングの構造



出典：第三回研究会岩本構成員資料

## 2-6. 人間（の脳）と人工知能等との連携、意識の通信

脳科学の進化により脳情報の外部からの解読や、脳への外部からの働きかけが可能となり、人間（の脳）と人工知能等の連携が医療分野等で現実のものとなっている。今後幅広い産業分野への応用が進み、これまでなかったような人間と機械の関わり方が生まれ、我々の生活を変えていくことが予測される。

### 【脳情報の解読】

人間の脳と機械の「インターフェイス」については、2000年代からBMI（Brain Machine Interface）の本格的な実用化研究が進展している。脳波の成分である「運動準備電位」は人間が運動を実行前にその変化を読み取れることから、これを計測することにより、四肢等を介すことなく機械を制御することができる。2010年頃には「人間が意図する前」に、「運動を行うか行わないか」あるいは「右に行くか左に行くか」といった時間的・質的情報が解読できるところまで進化した。

BMIは医療目的で研究されてきたが、エンターテインメントや軍事などへの応用研究も始まっている。BCI(Brain Computer Interface)といった脳情報によりコンピュータを制御するシステムの研究も、今後大きく進歩すると考えられている。

1990年代はじめから使われ始めたfMRI(機能的磁気共鳴画像法)の発展により、BMIで計測したリアルタイム運動では計測できない、更に複雑な情報も解読できるようになってきている。2000年代の後半以降、例えば自由な計算課題において「足し算をするか引き算をするか」といった意思決定や、知覚内容(今その人がどんなアルファベットを見ているか)、更には夢の内容の解読にも成功している。また、脳活動の情報から、その人がみていた「動画」の内容を再構成するような技術も登場している。

こうした脳活動の計測・解読技術を人間の能力強化に応用しようという試みも始まっている。2011年には、fMRIで計測した脳活動の情報をリアルタイム本人に視覚的にフィードバックすることで、「望む脳活動」を自ら起こさせようとするDecoded Neural Feedbackと呼ばれる技術が登場している<sup>11</sup>。トレーニングによって「脳の能力を変化」させる可能性を求めるもので、現時点では基礎研究が始まった段階であるが、実用段階まで進めば社会的なインパクトは大きいと考えられる。

### 【脳活動への外部からの介入】

直接脳活動に介入する技術の研究も進んでいる。TMS<sup>12</sup>(経頭蓋磁気刺激)やtDCS/tACS<sup>13</sup>(経頭蓋直流/交流電気刺激)といった、磁気・電流を使った刺激方法により、問題解決能力や短期記憶を向上させることが報告されており、その適用範囲は、今後、広がっていくと考えられる。既に、電極付きヘッドフォンを付け直流電気刺激等を行いながら音楽を聴くことによって、自分の報酬系を非侵襲的に刺激し音楽を聴く喜びを大きくするといったサービスが現実には開発されている(図表9参照)。

これらとは別に、硬膜下や脳深部に留置した電極を通じた電気刺激によって、光を見せる等の感覚体験が成功しており、人工感覚の基礎技術となることが期待されている。前述の脳情報のパターンの解析技術と融合することで、複雑なパターンの刺激により、高次な感覚体験を人工的に作り出せる時代もそう遠くはない可能性がある。

### 【脳と脳間の通信】

機械と人間だけでなく、人間と人間のコミュニケーションのあり方も変わっていく。2014年11月には米国ワシントン大学の研究チームが、人間で初めての「脳-脳インターフェイス」の開発に成功したことを報告している。実験では、約800m離れた2つの建物に分かれ、送信者の脳波をコンピュータで変換してインターネット経由で送信したところ、受信者は、送信者の運動意図を運動野の脳刺激を介して受信することができたとされる。今後、「脳情報解読」と「脳活動介入」技術が進歩し、更に複雑なコミュニケ

---

<sup>11</sup> 「目指すべき脳活動」のデータをもとに、空間的な認知能力を上げたり、精神疾患患者の脳を「健康な脳」の活動に近づけたりする訓練などが試みられている。

<sup>12</sup> Transcranial Magnetic Stimulation

<sup>13</sup> Transcranial Direct Current Stimulation / Transcranial Alternating Current Stimulation

ーションも可能になると期待される。

複雑な脳情報の解読には人工知能分野の技術も用いられており、今後「脳科学」と「人工知能」が連携を深め、人間と機械のコミュニケーション、そして人間同士のコミュニケーションを変えていくと考えられる。

### 【人間と機械の連携】

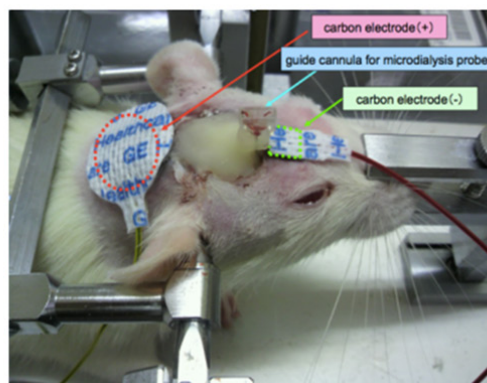
直接「脳」の情報を使用しない人間と機械の連携も加速している。仮想現実（Virtual Reality：VR）、拡張現実（Augmented Reality：AR）、更に最近では代替現実（Substitutional Reality：SR）とよばれるような技術が発展している。これらのネットワーク化も進んでおり、遠隔地の出来事を仮想体験したり、遠隔地の他人に自分の存在を仮想体験させたりする「テレプレゼンス」や「レイグジスタンス」が現実感を持つようになっている。更に、これらにロボティクス技術が加わることで、人間は現在地と大きく離れた場所についても知覚できるようになり、遠隔地に対しても影響可能になると見込まれる。ダ・ヴィンチ外科手術システムはその端緒と考えられる。

図表 9 直接脳活動に介入する研究の例

脳を直接刺激する

tDCS → fMRI

経皮直流電気刺激



ヒトの皮質下報酬系を、遠隔に非侵襲的に制御できるか？  
（動物実験との比較から）ドーパミン系に作用と特定できるか？

出典：第二回研究会下條構成員資料

## 第1部 未来社会の像と現在取り組むべき課題

人間とインテリジェント ICT の関係がどのように変化するかを展望し、シンギュラリティについて議論した上で、ICT インテリジェント化の進展が社会、経済に及ぼす影響を雇用の観点を中心に検討する。それらを踏まえ、現時点において産学官が取り組むべき課題を整理する。

### 3. 人間とインテリジェント ICT の関係の変化

インテリジェント ICT は、近年急速にその応用範囲を広げている。つい最近まで SF 映画の中ものと考えられていた世界が、現実社会の中で実現されつつある。

例えば、自動運転車技術に繋がる安全運転支援システム、無人飛行機（ドローン）を用いた商品配送、エンターテインメント業界における完全没入型のバーチャルリアリティ技術、医療分野での遠隔手術、リアルタイムの自動音声翻訳などが既に実サービスとして登場している。更に、テレプレゼンスロボットを用いた遠隔からの会議参加、スマートフォンで随時呼び出し可能な無人タクシー、脳によって制御可能な義肢・義足も近い未来に実用化するであろうと予測されている。

眼鏡や腕時計を模ったウェアラブルデバイスが普及の兆しを見せており、遠からず、これらに搭載された各種のセンサによってリアルタイムで人の脳・生理情報や行動情報が取得され、個々人の身体的状況に合わせた健康管理、個別ニーズに合わせたサービスの提供なども実現すると考えられている。

商用コンピュータの誕生から数十年をかけてコンピュータを前提とした社会が実現し、インターネットの誕生から約 20 年をかけてインターネット基盤上の社会が実現した。今後、インテリジェント ICT を基盤とした社会が急速に実現していくであろう。

ICT インテリジェント化の更なる進展によって、人間の社会はどのように変わっていくのか。本章では、これを次の 4 つの段階を経る変化として整理する。

- ① インテリジェント ICT が人間を支援
- ② インテリジェント ICT のネットワーク化による協調が進展し、支援の付加価値が向上
- ③ 人間の潜在的能力が人工知能によって引き出され、身体的にも頭腦的にも発展
- ④ 人間とインテリジェント ICT が共存する社会へ



### 3-1. インテリジェント ICT が人間を支援

まずは、人工知能同士が（連携することなく）独立して機能する中で、人間を支援する。

2-2 で述べたように、人工知能研究の進展により、チェスや将棋といった定型化された特定の領域において、人間を上回る能力を有する人工知能が出現している。また、弁護士事務所における判例探索、医療分野における症例検索、保険業界における審査、銀行での認証等、より広範な知識や判断力を必要とする問題についても、分野を限ると、既に知識の量や探索の速度において人工知能が人間の能力を上回りつつある。

今後、ディープラーニング技術等によって収集したデータから自動的に特徴量を抽出する、言わば「自ら考える」能力を有するコンピュータが普及し、音声や画像の認識、行動結果の予測等を自ら学習し判断することで、人間が行う業務の軽減や代替、人間の知的活動の支援が更に進むと考えられる。

#### 【ネットワーク活用の進展】

あらゆるものごとのデータ化が進むにつれ、インテリジェント ICT におけるネットワーク活用の比重が高まる。既に Google、Amazon 等が膨大なコンテンツ情報や行動履歴、検索履歴等を蓄積し、そこに含まれるパーソナルデータも含めて活用を進めている。今後、機械の稼働情報、環境情報等の「もの」のデータが利用可能となり、更にはコミュニケーション・ロボットが収集するパーソナルな情報、医療情報やウェアラブルデバイス等から得られる生態情報、遺伝子情報や脳情報といった「ひと」の情報もデータ化され利用が進むと予測される。

これら膨大なデータの一部は、既にビッグデータ解析として分析が始まっているが、今後、人工知能が自ら特徴量を抽出できるようになることで、従来解析できなかった相関関係なども明らかになると考えられる。その結果、医療や農業といったきわめて変数の多く扱いが容易でなかった分野においても知見が得られるようになり、これら従来 ICT の活用が進んでこなかった分野においても、インテリジェント ICT が人間の生活の向上に寄与するようになると考えられる。

今後、コンピュータやネットワークの能力向上により、処理できる情報量の増大と処理速度の向上が進み、リアルタイム性を要する判断や、非常に複雑な条件下の判断を可能とする多数のシステムが開発されると考えられる。それらは個人の判断（行動の選択、交流する相手の選択、進路の決定等）、企業的意思決定（経営判断、生産性向上、商品開

発等)、インテリジェントな社会インフラの実現（防災、犯罪捜査等）など、人間生活のあらゆる側面で人間をサポートするようになると予想される。

### 3-2. インテリジェント ICT のネットワーク化による協調が進展し、支援の付加価値が向上

次のステップでは、人工知能の相互連携が行われるようになり、関連付けられる情報の範囲が拡大するとともに処理が迅速化し、物事の予測精度が高まるとともに、社会の様々な側面における自動調整・自動調和が進展する。

現在、まずは「もの」のデータ化の進展をインテリジェント ICT のネットワークにおいて活用しようとする取り組みが始まっており、例えば、産業機械と部材との間や、サービスロボットと周辺センサとの間の情報連携が図られている。今後、インテリジェント ICT が備える知能の分散配置が進展し、情報連携の範囲が大幅に拡大するとともに、その協調が進展し、調達や製造の効率的な自動調整や安全で安定的なロボット活動が実現すると見込まれる。

今後、他のさまざまな分野においても同様に、もののデータ化をインテリジェント ICT のネットワークにおいて活用しようとする取り組みが進展すると見込まれる。例えば、交通、物流、オフィス業務、生活環境等の自動調整が進み、生産性とともにより快適な生活がサポートされるものと考えられる。

また、リアルタイム性の高い環境制御も、ネットワークを介したシステム間協調により可能となる。例えば、自動運転車と周辺環境とのコミュニケーションが進み、車載システムと電柱等に設置されたセンサ、サーバ、ストレージ等が連携して自動運転車制御に必要な路面の状態等をリアルタイムで後続車に伝えることも、近い将来可能になると考えられる。人も仮想的にそれらネットワークに繋がることで、例えば、交差点で飛び出そうになった子どもをシステムがびっくりさせて止まるようにするなど、危険な状態や不適切な行動が早期に回避、修正されるようになる。

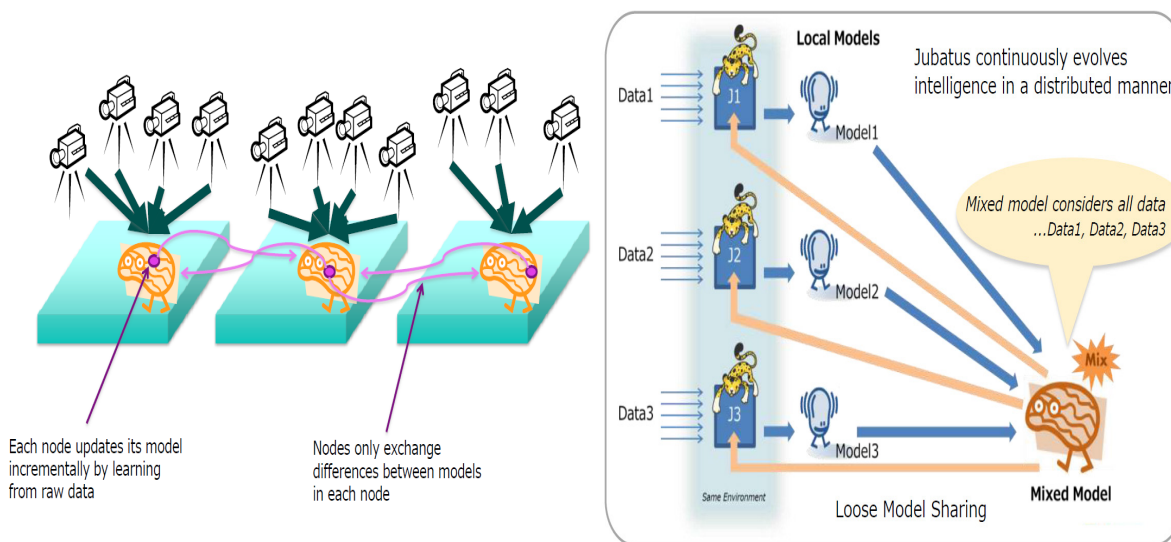
中長期的には、分野を跨いだ情報連携や協調が行われるようになり、社会において自動調整される領域が拡大する。またそのような機能を生かす汎用的なサービスロボット等も登場すると考えられる。

この段階においては、ネットワーク上に多種多様な能力を有する人工知能が出現するとともに、異なる専門的能力を持った複数の人工知能を融合して取りまとめる能力を持

つ人工知能も出現し、それらの連携、協調が進む。人工知能間で学習結果の交換、統合も自動的に行われるようになる。上位層はネットワークを介して、お互いに繋がったニューラルネットワークになり、そのニューラルネットワーク自体も繋がって、全体としては全ての部分が繋がることとなる（図表 10 参照）。

用途の異なる様々なシステムがネットワークを介して自動的に連携・協調し、システムが総体として人間をサポートすることで、人間の日常生活や日常業務における生産性が飛躍的に高まるとともに、高い QOL が実現する。

図表 10 人工知能間の連携・協調



出典 第二回研究会西川構成員資料

### 3-3. 人間の潜在的能力が人工知能によって引き出され、身体的にも頭腦的にも発展

センサ技術やデータ処理の進展と並行してアクチュエータ（駆動装置）の進化も進む。人間の五感に作用する仮想現実（VR）、拡張現実（AR）技術が進展するとともに、脳情報解読（Decoding）とニューラルフィードバック（解読された脳情報を可視化・実体化したフィードバック）によって人間の意識と情報空間が直接繋がるようになる。それによって、人間の生活空間の概念が大きく変化する。

ネットワークの発達により分散・最適配置された人工知能等と人間との間の相互作用も設計できるようになり、センサ、アクチュエータ、人間、人工知能の4つが融合し、

連携する社会が実現する。そこでは、人間の五感を中心とする感覚器官の能力がセンサとつながることで向上し、ロボット等の駆動装置系が身体機能を拡張することによって、総合的な人間の能力が向上すると考えられる。すなわち、インテリジェント ICT によってアナログ・インテリジェンス（人間）とデジタル・インテリジェンス（人工知能等）のシームレスな連携が実現し、人間と機械の能力をさらに向上、進化させる。

例えば、脳情報を外部に出力できるようになり、ひとの意識で義手義足、ロボット等を動かすことが可能となる。更に、自宅に居ながら遠隔地のオフィスにいるロボットを操作し勤務できる可能性もある（テレプレゼンスロボットの実現）。また、ウェアラブルデバイス等を用いた精緻かつリアルタイムの健康管理が一般化することで、人間のコンディションの調整が容易になり、心身の一層の能力向上が可能となる。

人間と様々な駆動装置が、音声や映像、センサデータを介して間接的に繋がることで、人間は周辺の空間をリアルタイムにコントロールできるようになる。更に、人間自身がネットワークに繋がり、物理的にもコンピュータ・機械と共同で作業をすることが可能となる。

例えば、製造現場においてロボットと人間が同じ対象に向かい、人はロボットに手助けをしてもらいながら作業し、ロボット化が難しい部分のみ人間が行うという協働が始まっている。これが進化し、人とロボットがリアルタイム情報を共有して行動し、人間の指示のみならず問題意識や体調を踏まえてロボットが仕事を行うことや、人間とコンピュータが協働して課題解決方法を見出すこと等も可能となる。

また、ユーザーフレンドリーな人工知能が登場し、人と人工知能とのコミュニケーションがより高度になる。それによって、人が持つ「社会的感覚」が、次第に変化していくことも考えられる。

これらの結果、様々なインターフェイスを通じて人間は日常的にインテリジェント ICT とつながった状態になり、情報入手に留まらず思考や行動においてもインテリジェント ICT を活用して生活するようになる。

### 3-4. 人間とインテリジェント ICT が共存する社会へ

3-1 から 3-3 への変化が進み成熟することで、インテリジェント ICT が人間を包むように存在し、かつ、インテリジェント ICT と人間がシームレスに連携する世界が実現する。このとき、ほとんど全ての人間にとってインテリジェント ICT は日常生活に不可欠な存在となる。それは常に周囲に存在する空気のようなものとして様々な自動調整・自

動調和を実現すると同時に、有能な執事のように自らを支える存在となり、また、相談や苦楽を分かち合う家族や友人のような存在となるとも考えられる。すなわち、人間とインテリジェント ICT が共存する社会となっていく。

インテリジェント ICT の能力がどこまで高まり、それが人間社会と本質的にどのような関係になっていくのか、長期的な視点で見れば、だれも答えを持ち合わせていない。しかしながら、インテリジェント ICT と人間の関係が変化し始めた現時点において、今後、急速に高まるインテリジェント ICT の能力をあくまで「人間が使いこなすもの」と位置付け、インテリジェント ICT をそのように「作りこんでいく」ことが重要である。人間が火を使いこなしてきたようにインテリジェント ICT を使いこなせるかが、人間とインテリジェント ICT の共存の在り方を決める。インテリジェント ICT を使いこなすことによって、人間はその可能性を更に拡大することができる。

## 4. シンギュラリティ

技術の進化によりコンピュータの能力が高まり、ある時点で人工知能がその自己学習能力により自らの能力をわずかでも自らより高めることができるようになると、人工知能の自己再生産による加速度的能力向上が起こり、未知の技術進化が始まると考えられる。Ray Kurzweilはこの時点（特異点）をシンギュラリティと呼び、2045年にシンギュラリティに到達するのではないかと予測した<sup>14</sup>（図表 11 参照）。

具体的には、このような人工知能がロボット技術、ナノテクノロジー、遺伝子操作技術等と融合すると、人間を介さない人工知能とロボットによる企画、実験、研究開発、設計、部品から製品までの自動生産等があらゆる分野で実現する可能性があるとしている。

シンギュラリティについて研究会では、単に人工知能が自分よりも優れたものを再生産可能になるかという問いではなく、以下の視点から議論した。

- ① 人間の知性を完全に超える人工知能が作られる可能性があるか。
- ② 実現するとした場合、それはいつか。
- ③ その人工知能は自己再生産が可能か。

研究会では、30年後の2045年を判断の年とした場合、部分的には人間より優れた能力を持つ人工知能はできるが、人間の身体性と社会性を前提とした枠組みにおいて、人間に伍する機能をもつ人工知能は実現されないという認識が主であった。

ただし、将棋ロボットがプロ棋士に勝つなど、領域を特定することで極めて高い能力を発揮する人工知能は既に登場しており、今後その領域が広がることで、近い将来、領域ごとに非常に能力の高い人工知能が登場すると考えられるとされた。

他方、人間の脳を模倣するWBEの進展等によっては、思考や判断も含め人間よりも優れた知性が作り出される可能性が否定できないとの意見もあった。

2045年を判断の年とするとこのような結論になるが、より長期を考えた場合には結論が異なる、すなわち、人間を超える人工知能が実現し得ると考える<sup>15</sup>。

---

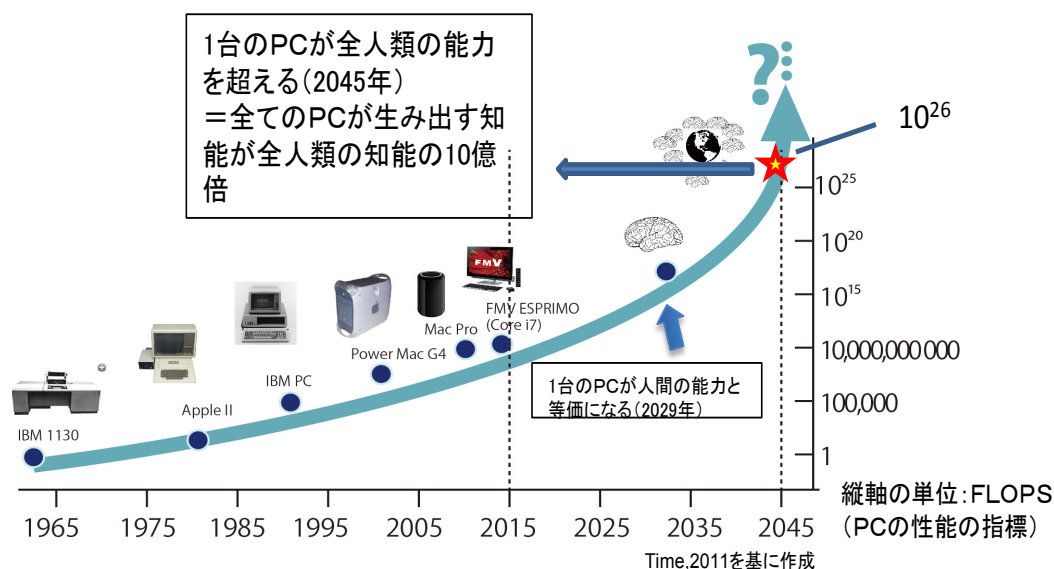
<sup>14</sup> Ray Kurzweil, "The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology" (2005)

<sup>15</sup> この点に関しては様々な議論があり、例えば、Stephen W. Hawking 博士は "The primitive forms of artificial intelligence we already have, have proved very useful. But I think the development of full artificial intelligence could spell the end of the human race." (2014.12)、Microsoft の Bill Gates 氏は "I am in the camp that is concerned about super intelligence", "A few decades after that though the intelligence is strong enough to be a concern." (2015.1)、利根川進博士は「ロボットが人間と戦うような事態が起き、どう規制するかも問題になるだろう」

人工知能の自己再生産可能性については、既に、プログラムの領域においては一部実現している。Ray Kurzweil が主張したような身体性も含めた完全な自動再生産が行われるかは別にして、非常に高度な人工知能ができた場合、そのプログラムが自己再生産される可能性はあると考えられる。

シンギュラリティについて研究会として最も重要と考えるのは、いわゆるシンギュラリティに到達するか否かではなく、「(人間に匹敵する可能性のある) 高度な認知や判断、更に創造を行う力をもった人工的な知性が近い将来に実現する」ことが確実なことである。今後の社会制度設計、政策立案は、これを前提に進めていく必要がある。

図表 11 シンギュラリティへの展望



(補論①) ロボットは意識を持ち得るか？

(補論②) 人工知能は自分で目的を設定できるか？

これらの点について研究会では議論していないが、参考資料として、下條構成員及び松尾構成員がそれぞれ考え方をまとめたものを、64 頁及び 69 頁に掲載する。

(2015.6) とそれぞれ脅威論をインタビューで答えている。他方、例えば Microsoft の研究所長 Eric Horvitz 氏は humans would not “lose control of certain kinds of intelligences” とし、“In the end we’ll be able to get incredible benefits from machine intelligence in all realms of life, from science to education to economics to daily life.” と楽観論を述べている (2015.1)。

## 5. ICT インテリジェント化が社会、経済に及ぼす影響

ICT のインテリジェント化が社会、経済に及ぼす影響にはさまざまな側面が考えられるが、具体的研究は始まったばかりである。本章では、多少なりとも具体的な研究成果のある経済と雇用に関して、議論を整理する。

### 5-1. 経済への影響

序章で述べたように、ICT インテリジェント化は情報革命に端を発する技術革新の流れであり、昨今、ようやくその本質を現し始めたところと考えられる。すなわち、この技術革新は引き続き相当期間継続し、世界経済に大きな影響を及ぼしていくと考えられる。人工知能やロボット関連ビジネスにおける 2015 年は、インターネットビジネスにおける 1995 年に相当し、今後、様々な新規ビジネスが登場することで大きな経済成長に繋がるとの見方もある。

今後起きるであろうイノベーションとその成果を予測するのは容易ではない。その中で Brynjolfsson と McAfee は、2006 年の状況を情報革命における道の半ば（彼らの例えではチェスボードの半分）まで来たところとし、今後指数関数的にその成果が得られることで、人間の生活が急速に改善、改良され、予想を超える世界がやってくるとしている<sup>16</sup>。

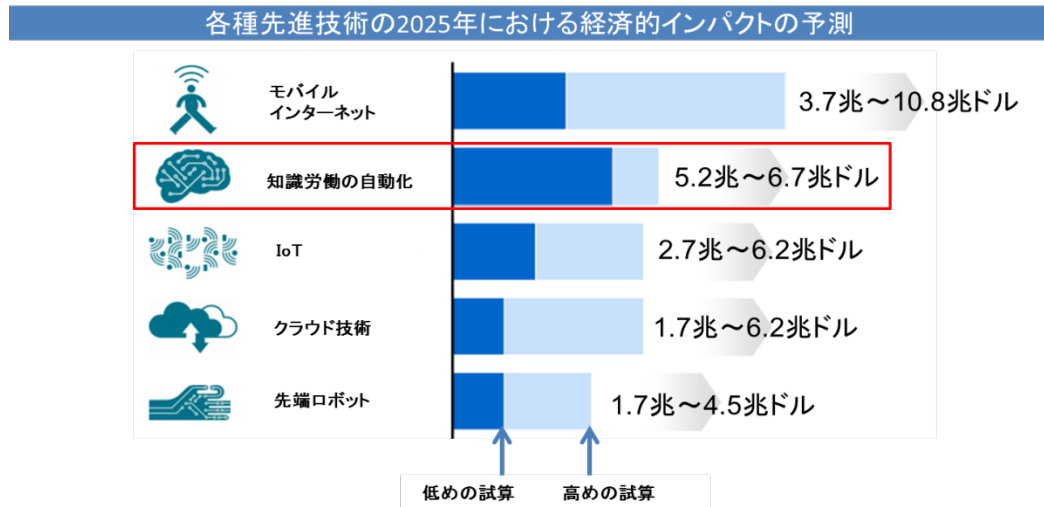
各種先進技術の 2025 年における経済的インパクトを予測したマッキンゼー社は、コンピュータによる知識労働の自動化がもたらす経済的インパクトは、2025 年時点で 5 兆ドルを超えると試算している（図表 12 参照）。

---

<sup>16</sup> Erik Brynjolfsson and Andrew McAfee, “The Second Machine Age” (2014) チェスボードの最初の枠に米粒一つを入れ、次の枠からは前の枠の倍の数の米粒を入れていくと、米粒の数が膨大になる話を例えに使っている。



図表 12 知識労働の自動化がもたらす経済的インパクト



出典: McKinsey Global Institute "Disruptive technologies"(2013) を一部改編

## 5-2. 雇用への影響

技術革新は、経済成長をもたらすと同時に、雇用の在り方にも影響する。まずは技術革新が新たな仕事をもたらすのみならず、経済成長によって経済全体のパイが増大し雇用が増えるという好影響がある。他方、それまで人間が行っていた仕事をより効率的あるいは安全に実施できるようになると、その仕事が機械等によって代替され雇用の喪失が起こる。これらは技術革新の雇用に対する補完効果及び代替効果と呼ばれている。

### 5-2-1. 雇用の創出と代替

ICT インテリジェント化の進展に伴い、これらの技術の開発、導入、利用、応用ビジネスなどに関連する様々な仕事が発生すると考えられる。複雑なシステムの構成、新たな枠組みの構築等に多くの人材が必要となる。例えば、人工知能の実装を行うエンジニアだけでも、2万人以上育成する必要があるとも考えられる。

ただし、新たに出現する仕事は出現して初めてわかるものであり、代替される仕事を予測するのに比較して事前予測が困難である。2011年度にアメリカの小学校に入学した子供たちの65%は、大学卒業時に今は存在していない職業に就くとの予測<sup>17</sup>のように、職というのは時代によって生まれてくるものと考えられる。

<sup>17</sup> Cathy N. Davidson の言葉、New York Times (August 7, 2011)

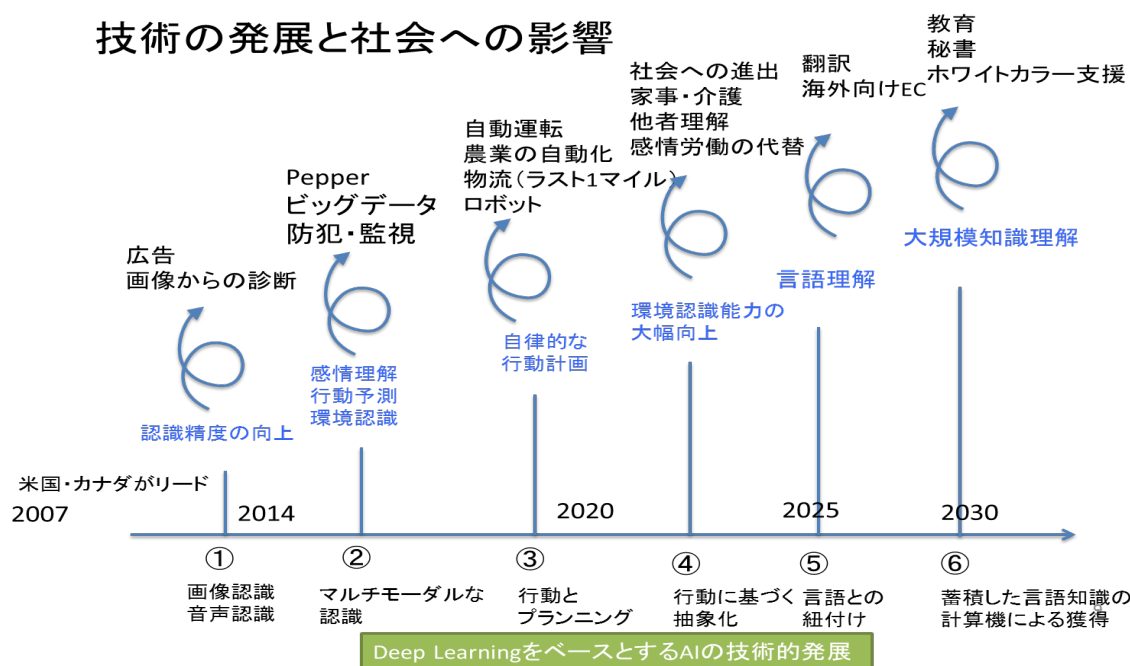
他方、インテリジェント ICT が代替可能となる仕事は、ある程度見通しが立つ。まずは、事務処理、開発、プロジェクトマネジメントといった定型的な管理業務が代替可能となる。5年程度以内の短期では法律・医療・会計・税務といった専門家支援の分野での利用が進む。中期では、特徴量の抽出がしやすい監視系の業務、例えば監視員・警備員・設備の管理・維持・保守が代行できるようになると考えられる。

15年程度先になると、インテリジェント ICT は幅広い分野で人間に近い能力を発揮できるようになる。例えば、判断や意思決定、創造的活動等といった領域でも代替できる部分が増え、人間の仕事は大局的価値判断・意思決定（経営等大域的な判断、生命にかかわる仕事）、あるいは「人間」がインターフェイスとして重要な仕事（営業・接客等）、そもそも人間が行うことに価値と考えられるもの（スポーツ、アート）などが中心になるとも考えられる（図表 13 参照）。

（参考）

Oxford 大学の Frey らは、米国労働省のデータに基づき 702 職種のコンピュータによる自動化に対する脆弱性の確率を算出し、「業務管理・事務関連」や「サービス業」等 47%の職種が 20 年以内にコンピュータ等に代替される可能性が高いと分析している<sup>18</sup>（図表 14 参照）。

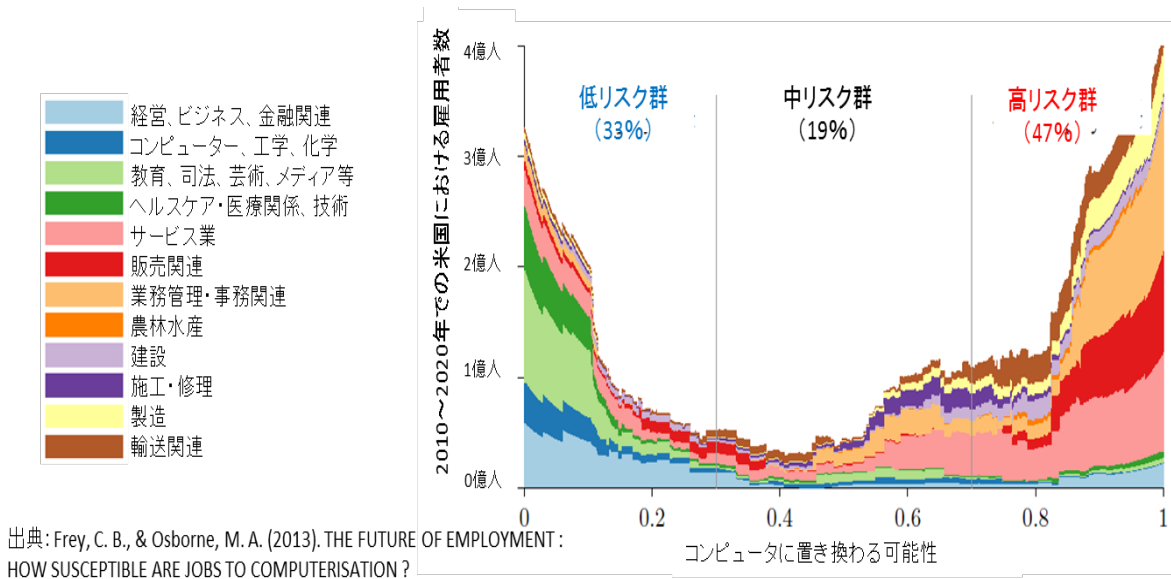
図表 13 AI 技術の発展と社会への影響



出典：第一回研究会松尾構成員資料

<sup>18</sup> Carl Benedikt Frey and Michael A. Osborne, “The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation?” (2013)

図表 14 コンピューターに置き換わる可能性



### 5-2-2. 今後の展望

20 世紀後半に登場したコンピュータを中心とする情報技術（IT）は、補完効果として高所得層と低所得層の仕事を増やすと同時に、代替効果として中間所得層の仕事の減少をもたらし、ミドルの消失と雇用の二極化をもたらしてきたと一般に分析されている。

今後、ICT インテリジェント化が雇用にどのような影響を与えるかについては、研究が始まったばかりである。例えば、Brynjolfsson らはコンピュータによる知的処理能力の向上に伴いホワイトカラー業務等が代替される可能性を示しつつ、過去の経験を踏まえると、古い仕事が失われても新しい仕事が生まれると述べている<sup>19</sup>。Benzell らは理論的分析に基づき、幅広い領域でスマートマシンが仕事を代替した場合には労働分配率が低下して富の偏在が起り、富の再配分が必要になるとしている<sup>20</sup>。

長期的視点に立つと、インテリジェント ICT やロボット等が担いうる仕事は大幅に拡大し、現存する様々な職種について、雇用の代替が進むと考えられる。他方、歴史的に見ても、現時点では存在しない新規雇用が必ず創出される。雇用の創出と雇用の代替の

<sup>19</sup> Erik Brynjolfsson and Andrew McAfee, “Race Against the Machine” (2011)

<sup>20</sup> Seth G. Benzell, Laurence J. Kotlikoff, Guillermo LaGarda and Jeffery D. Sachs, “Robots are us: Some Economics of Human Replacement” (2015)

いずれが勝るかについて、見通しを立てることは容易ではない。

また、短期的に見ても、雇用の代替と創出のタイミングの予測が困難である。すなわち、インテリジェント ICT を使いこなすための新たな仕事の増加が先行するとの見方と、インテリジェント ICT による代替が先行し先に失業が発生するとの両方の見方がある。

なお、インテリジェント ICT による雇用の代替を我が国の状況との関係で展望すると、世界に先駆けて進展する急速な少子高齢化にともなう労働力の減少を、インテリジェント ICT が代替したり、高齢者や女性の活躍を支援することで補完したりする可能性がある。既にそのような視点の研究開発やビジネス展開も検討されている。

## 6. インテリジェント ICT との共存に向けた検討課題

これまで見てきたように、今後、インテリジェント ICT が人間を包むように存在し、かつ、インテリジェント ICT と人間がシームレスに連携する世界が実現することで、人間とインテリジェント ICT が共存する社会となっていく。

その過程で、インテリジェント ICT は能力を加速的に高め、高度な認知や判断、創造を行う力等を獲得し、現在の私たちには想像できない機能を発揮するようになる。他方、人間の側においては、インテリジェント ICT に包まれて活動することで人々の生活スタイルが大きく変わり、前章でみた雇用や経済が変わるだけでなく価値観が変遷し、人間社会もその姿を変えていくことになる。

変化の先が見えないとき、人は少し不安になる。しかしながら、技術進歩は止まらない。私たちが好む、好まないにかかわらず、これまで見てきたような未来が到来する可能性が高い。技術が進歩することを前提に、将来を考える必要がある。

インテリジェント ICT の技術進歩とそれに伴う社会の変革は、一般に想像されるよりも急速に進展すると考えられる。インテリジェント ICT との共存において人々が豊かさと幸せを感じられる社会をもたらすため、我々は今後、インテリジェント ICT を健全に発展させ、使いこなすための取り組みを、早急に始めなければならない。

課題は、以下の 5 つに整理される。これらは、我が国のみならずグローバルに共有されるべき課題である。産学官が連携し、諸外国も巻き込んで取り組みを進めるべきである。

- ① インテリジェント ICT 研究・開発に係る原則
- ② 社会実装に向けた倫理、法律上の課題
- ③ プライバシー保護の在り方
- ④ インテリジェント ICT との共存を前提とした社会設計
- ⑤ インテリジェント ICT が社会・経済に及ぼす影響等の評価

### 6-1. 【課題 1】インテリジェント ICT の研究・開発に係る原則の検討

インテリジェント ICT は、認知や判断といった能力を獲得することで、極めて多彩かつ高度な機能が実現できる。その高度な機能は、人や社会がよくなるためという、基本原則のもとに進められる必要がある。そのためには、インテリジェント ICT の研究・開発に係る原則を明らかにするとともに、発生しうる負の側面を限りなく小さくする仕組

みを構築しなければならない。

研究・開発に係る原則としては、Isaac Asimov のロボット 3 原則<sup>21</sup>が参考になる。これは、ロボットはどのようにあるべきかを示すことで、その研究・開発の原則を示したものと理解できるが、インテリジェント ICT、とりわけ高度な認知、判断、創造を行う力をもった人工的な知性について、同様の原則を打ち立てることが必要となっていると考えられる。

更に、高度かつ多様な機能が加速度的に実現していくと考えられる中にあるには、抽象度の高い原則論だけでは不十分であり、より具体的な研究・開発の基本指針が必要である。例えば、人工的な知性の行動を最後は人間が制御可能とすること、サイバー攻撃やセンサ攪乱攻撃に対して十分な耐性を確保すること、プライバシー保護を確実にすること、リスク分析と管理を行うこと等が考えられる。

加えて、これらの原則や指針を実効あらしめるための技術を開発していかなければならない。米国マサチューセッツ工科大学 (MIT) 教授らが中心となって設立した団体 The Future of Life Institute (FLI) が進める人工知能の影響に関する研究活動の一環として、短期、長期の研究優先度を提示した公開文書<sup>22</sup>が発出されている。このような活動も参考に、今後、必要となる技術を順次明確化し、その開発に係る取り組みを進めるべきである<sup>23</sup>。

なお、我が国においても、一般社団法人人工知能学会において同様の取り組みが始められており<sup>24</sup>、そのような活動も含め、幅広く取り組みが進むことが期待される。

---

<sup>21</sup> アシモフ博士のロボット工学 3 原則

第一法則：ロボットは人間に危害を加えてはならない。またその危険を看過することによって、人間に危害を及ぼしてはならない。

第二法則：ロボットは人間から与えられた命令に服従しなくてはならない。ただし、与えられた命令が第一法則に反する場合はこの限りではない。

第三法則：ロボットは前掲の第一法則、第二法則に反するおそれのない限り、自己を守らなければならない。

<sup>22</sup> "Research Priorities for Robust and Beneficial Artificial Intelligence: an Open Letter"

<sup>23</sup> 同公開文書署名者の一人である Elon Musk 氏は、“I think we should be very careful about artificial intelligence. If I had to guess at what our biggest existential threat is, it's probably that. So we need to be very careful”. “I'm increasingly inclined to think that there should be some regulatory oversight, maybe at the national and international level, just to make sure that we don't do something very foolish.”と国又は国際レベルの規制が必要と考え始めていると述べている。

<sup>24</sup> 人工知能学会内に設置された倫理委員会が中心となっている。

## 6-2. 【課題2】インテリジェント ICT の社会実装に向けた課題の検討①・・・倫理、法律

インテリジェント ICT の社会実装が進むにつれ、倫理、法律等に係る様々な課題の整理が必要になると見込まれる。

まずは、これまで人間が最終判断していた分野において、判断能力の高まったインテリジェント ICT にどこまで判断権限を委ねて良いか、また、その判断結果の責任をだれが取るのが問題となると考えられる。例えば、以下の課題について検討を開始すべきと考えられる。

- a) 身体や生命の安全といった領域において、どこまでをインテリジェント ICT の判断に委ねて良いか。例えば、インテリジェント ICT が判断・操作した場合の人身事故発生率が、人間が判断・操作した場合を大幅に下回るが、なお一定程度発生する場合、その判断・操作を自動化してよいか。また、事故発生時の責任はだれが負うべきか。
- b) インテリジェント ICT がプログラムのバグ等により故障、暴走等した場合、だれがどのように責任を取るのか。

更に、インテリジェント ICT と人間の連携が進展する中、意識や心を持つインテリジェント ICT を作ってよいか、人間の脳機能を含む身体機能をインテリジェント ICT にどこまで代替させてよいか、インテリジェント ICT は人間の意識に対しどこまで働きかけて良いか（人間を催眠術の対象としてよいか）等、人間の本質に係る課題も順次表面化すると考えられ、その検討の準備も必要になっている。

なお、これらの検討に際しては、倫理等の問題に過剰に慎重である国は、ケーススタディが進まないため倫理コード等の策定において他国に後れをとってしまう点に留意し、大局的観点から取り組むことが求められる。

(参考)

諸外国において既に同様の研究が始まっている。スウェーデンでは政府も関与する形で、自動運転車が事故を起こした場合の責任の所在などについて検討が進められている。米英では大学を中心に研究が進められており、米国 Stanford 大学が中心となって進めている活動からは、倫理、法律に加え、犯罪、幸福、機械との協調等 18 項目に係るホワイ

トペーパーが発表されている<sup>25</sup>。

### 6-3. 【課題3】インテリジェント ICT の社会実装に向けた課題の検討②・・・プライバシー 保護

今後、あらゆるものごとのデータ化が進展する中、プライバシー保護をどのようにするかについて、改めて検討する必要性が生じていると考えられる。

インテリジェント ICT は、膨大なデータを収集・蓄積・分析・活用することで、人間社会をサポートし、人々の QOL を向上させる。今後、医療、ショッピング等幅広い分野に於いて、パーソナルデータの提供を前提とするカスタマイズド・サービスが広がり、サービス享受のためのパーソナルデータ提供が広がる。

また、高度なコミュニケーション・ロボットが家庭に常駐したり使用者に帯同したりするようになると、当該ロボットは使用者及びその周囲の状況を日常的に映像等でモニタ可能となる上、使用者との会話等を通じて極めて多くのパーソナルデータを取得し、それらが背景で作動するクラウド上に蓄積されることとなる。

この他、街頭センサが取得する映像情報や移動情報等のように本人が知らないうちに取得されるデータも大量に蓄積され、合わせて利用されるようになると考えられる。

このように収集・蓄積されたパーソナルデータは、様々な形で組み合わせて解析、利用されることとなり、個人の特徴が明らかにされるプロファイリングも大幅に進展すると見込まれる。

現状、既に各国企業等において多様なパーソナルデータの蓄積が進みつつあり、特定の企業は検索や電子商取引、SNS といったサービスや、モバイル端末に係るプラットフォームを活用して極めて大規模にパーソナルデータを収集・活用している。

他方、我が国の企業等はプライバシー保護に慎重に対処しようとする等から収集したデータを企業内に限って用いるなど、一般的にパーソナルデータの収集・活用が抑制的である。

この結果、大規模にパーソナルデータを収集・活用できるのは、特定の大企業に限られることとなっており、結果としてパーソナルデータの寡占化とも言える状況が進行している。

ICT インテリジェント化の進展に伴ってパーソナルデータの利用が大幅に拡大し、そ

---

<sup>25</sup> One Hundred Year Study of Artificial Intelligence (AI100)



れを前提とした社会システムが構築されると考えられる。そのような状況下におけるプライバシー保護はどのようにあるべきかについて、今後、技術革新による QOL 向上とプライバシー確保のバランス、特定企業への集中の是非を含め、幅広い視点からの議論が必要となっている。

#### 6-4. 【課題 4】インテリジェント ICT との共存を前提とした社会設計の検討

ICT インテリジェント化の進展に伴い、人間はインテリジェント ICT の存在を前提として活動するようになる。自らを取り巻く環境が自動的に制御され秩序だった状態となることや、高度な知性を執事のように日常的に活用可能となることにより、人間の行動や思考形態も変化していくと考えられる。そのような時代に係る社会設計において、何に重点を置いていくべきか、今後、様々な視点からの研究が必要になると考えられる。

現時点で具体的にイメージできる分野として、教育と労働が挙げられる。

教育について議論する際は、新しい時代に求められる人間像を示さなければならない。かつて高く評価された博覧強記や高い翻訳能力は、今では重要項目ではないだろう。例えば、入手できる情報や周囲のシステムをどのように選択し使いこなすか、それらを活用したプランニング能力、オリジナリティや企画力、説得のコミュニケーション能力等が評価されるようになるのではないか。更に、急速に進歩する技術やそれに伴う社会変容にどのように柔軟に対応できるようにするか、その中でどのような生き方をすべきかなどが新たな課題になると考えられる。

労働については、今後の急速な技術進歩の結果、一つの職業に長期的に従事するのではなく、異なる複数の職業に就くことも一般化する可能性がある。そのような変化に柔軟に対応できる人材をどのように育成するかとともに、労働者の流動性を前提としつつ安定的な就労環境をどのように確保していくか等が課題となっていくと考えられる。

更に長期的にみれば、インテリジェント ICT による労働の代替が進む結果、人間は今よりも働かなくとも十分なサービスが提供され、社会全体として QOL が向上するのではないかとの見方がある。他方、ICT インテリジェント化は富の配分を二極化させ、いずれ富の再配分が不可避になるとの議論もある。インテリジェント ICT に係る資本蓄積が進んだ場合にどのような社会制度がふさわしいかも、将来、議論の対象となりうると考えられる。

また、人間とインテリジェント ICT の共存が進む中で、人間とは何か、人間にとって豊かさとは何か、人間の尊厳とは何かという問いに答えることが求められていくと考えられる。

## 6-5. 【課題5】インテリジェント ICT が社会・経済に及ぼす影響等の評価・・・インパクトスタディとリスクスタディ

6-1 から 6-4 の課題の検討を進めるため、インテリジェント ICT が社会・経済に及ぼす影響や発生しうるリスクの評価・分析を行う必要がある。

まずは、インテリジェント ICT が社会に与える影響を正しく評価するための「インパクトスタディ」（影響度研究）を行うべきである。これは、今後 ICT インテリジェント化がどのような影響を社会に及ぼし、その結果、どのような変化が発生するのかを可能な限り具体化して評価・分析するものである。

既述のとおり、研究は始まったばかりであり、まずは経済発展や産業構造の変化、雇用や所得への影響等の経済的側面から研究を進め、教育や社会への影響に範囲を拡大していくべきと考えられる。インテリジェント ICT の存在を前提として活動する人間の行動や思考がどのように変化するかについても、継続的に研究する必要がある。

他方、インテリジェント ICT に係る「リスクスタディ」を行うべきである。インテリジェント ICT を使いこなすためには、発生しうる負の側面を正しく把握することが不可欠である。例えば、様々な側面を有する異なるインテリジェント ICT がネット上で混在することで意図しない事象が発生するリスク、悪意を持った人間の使用によるリスク、人工知能が何らかの理由で暴走するリスク等、様々なリスクの存在可能性が否定できない。また例えば、心を持つ人工知能ができたなら何が起こるかなどについても検討されていない。

これらを可能な限り把握し、把握できたものから、研究・開発原則等への反映や、慎重なルール作りを通じて、対処の仕組みを構築していくべきである。

なお、社会の豊かさ、富の配分などを考える際に重要となるのが、GDP 統計をはじめとする経済統計である。

インテリジェント ICT によって利便性の高いサービス等が実現し、安価に提供されること等により消費者余剰が増加する可能性がある。一方で、インテリジェント ICT への投資においては、いわゆるソフトウェア投資の比重が高まるが、こうしたソフトへの投資は相対的にハードへの投資よりも一件あたりの投資額が小さくなる可能性がある。す

なわち、消費者余剰の増加は QOL を向上するが、生産を計る統計である GDP 統計にはきちんと表れない可能性がある。今後、インテリジェント ICT の時代において、豊かさをどのように計るかも課題となると考えられる。

## 第2部 インテリジェント ICT の開発・展開と社会への導入・活用

ICT インテリジェント化に係る技術革新、技術進歩は、今後、グローバルな競争の枠組みで加速度的に進展していく。この技術革新は、新たな産業を生み出すばかりでなく、既存の産業分野と組み合わせることで、今後長期にわたり、世界経済に極めて大きな影響を及ぼしていくと考えられる。

加えて、インテリジェント ICT は、非常に応用範囲が広く影響力のある技術である<sup>26</sup>。高度なインテリジェント ICT を有することは、経済的な側面において優位性をもたらすのみならず、安全保障や外交といった側面にも影響を及ぼす可能性があるものと考えられる。

既に諸外国に於いて、インテリジェント ICT の開発・展開に係る多様なプロジェクトが動き始めている中、ICT 先進国である我が国が取り組むべき課題を、インテリジェント ICT の開発・展開に係るもの（研究開発・ベンダサイドの課題）と、導入・活用に係るもの（インテリジェント ICT を前提とした社会・経済への移行促進）に分けてそれぞれ整理する。

### 7. 我が国におけるインテリジェント ICT 開発・展開の促進（研究開発・ベンダサイドの課題）

インテリジェント ICT に係る基盤技術の研究開発については、領域ごとに差はあるものの、我が国においても政府系研究機関や企業の研究所、大学等において、世界最先端の研究が数多く行われている。引き続き、基盤技術の一層の研究開発を促進することは、我が国がインテリジェント ICT 分野において世界レベルで重要な地位を占める上で不可欠である。

インテリジェント ICT の開発・展開における喫緊の課題は、これら技術のビジネス展開である。多様な技術が絡み合って構成されるインテリジェント ICT については、そのビジネス展開において、最先端の技術を持つ企業が連携して取り組むことが大きな潮流となっている。

我が国におけるインテリジェント ICT 開発・展開に係る課題は、次の5点に整理される。産学官はそれぞれの立場から、対処すべき課題に係る取り組みを進めるべきである。

- ① 開発に係る連携の促進等によるイノベーションの活性化
- ② イノベーションを活かす制度的対応

---

<sup>26</sup> Stanford 大学学長の John Hennessy 学長は「人工知能は、科学における最も深遠な企図の一つであり、人間生活の全ての側面に影響を与えるものである」と述べたとされる。

- ③ データへのアクセス確保
- ④ 優秀な人材の育成と確保
- ⑤ 戦略的研究開発の推進

## 7-1. 【課題1】開発に係る連携の促進等によるイノベーションの活性化

インテリジェント ICT は様々な技術の集合体であり、それらが一体となって初めて機能する。単独企業で全ての領域において最先端の技術を提供することは困難であり、単独主義を貫く場合、質の低下か時間のロスが生じる。

すなわち、インテリジェント ICT の開発においては、企業間連携が不可欠となっている。まずは開発サイドの企業が自らの得意領域を持ち寄るとともに、そのビジネス展開においてはユーザ企業、更には最終ユーザとしての顧客を深く巻き込んで最適化を図らなければならない。グローバルブレインを用いたオープンイノベーションの姿勢が求められている。

また、既存企業によるイノベーションに加え、大学やベンチャー企業の研究開発の活用も大きな課題である。

### 7-1-1. 開発企業間連携

インテリジェント ICT の特徴は、研究開発と社会実装が同時並行的かつ加速度的に進むことである。技術革新のステップにある技術が、順次、社会実装されていく。このため、インテリジェント ICT の技術開発を行う企業は、自社が得意とする技術を最もタイミング良く活かすことを優先すべきである。

他社が得意とする技術が必要であれば、当該技術の自社内育成・調達にこだわらず、他社と連携してあるいは他社を買収して、迅速性を確保すべきである。他社との連携方策は多様化しており、ライセンス、モジュール化等、様々な選択肢を念頭に、柔軟に対処する必要がある。

速い展開の中でプラットフォームとなって生き延びることができるのは、グローバル・マーケットで一定のシェアを獲得した企業のみとなる。インテリジェント ICT の開発・展開競争に参入する企業は、グローバル・マーケットシェアの獲得を目指すことが不可欠である。我が国のマーケットサイズに焦点を当てていけば、短期的には成功しても、いずれグローバル企業に市場を奪還されるであろう。

グローバル・マーケットシェアを獲得する観点においても、企業同士が連携することが一般化しつつある。我が国企業は、国内においてすら同じような市場に複数の伝統的

企業が存在し、その間の競争に資源が費やされている。これら企業は国内外に於いてタイミング良く開発を連携し、グローバルレベルのデータ連携、サービス連携、人材交流を増やすなどの取り組みを進展させるべきである。

### 7-1-2. 開発企業とユーザ企業間連携

ユーザ企業向けの製品開発を行う場合、開発企業はユーザ企業と密接に連携し、ユーザ企業と一体となった取り組みを行うことが効果的である。インテリジェント ICT について深く理解している開発企業は、その多様な可能性を活かすべく、対象のビジネスについて深く理解しているユーザ企業の知見を最大限取り入れるべきである。両者が連携し、インテリジェント ICT を用いてビジネスをどう変えうるかも含めて検討することで、インテリジェント ICT を最大限活用可能となる。

我が国においては、ややもするとインテリジェント ICT に係るシステム構築等を、開発企業に丸投げするユーザ企業が多い。今後は、ユーザ企業も自らのシステムを理解したエンジニアを抱え、自社ビジネスとインテリジェント ICT の相性等を研究するなど、システムの在り方を自らの視点で検討し、積極的に開発に関わる必要がある<sup>27</sup>。

ユーザ企業が意識を変え積極的に開発に関わるためには、ユーザ企業のマネジメント、とりわけ CEO(Chief Executive Officer) がインテリジェント ICT の現状及び今後の可能性に正しい理解を持つ必要がある。今後、ユーザ企業経営者において、インテリジェント ICT は経営上必須のツールとの認識が高まるよう図る必要がある。また、ユーザ企業の社内において、CTO(Chief Technology Officer)や CIO(Chief Information Officer) が CFO(Chief Financial Officer)並の経営に関与する権限を与えられ、インテリジェント ICT を重視した経営姿勢がとられるようにすべきである。

### 7-1-3. 国際アライアンス

開発、マーケットシェアの獲得両側面に於いて、国際アライアンスが重要となっている。むしろ、国際アライアンスへの参画が不可欠の時代になったとも言える。とりわけ、国際標準化においては、近年、国際アライアンスの重要性が高まっていることに留意すべきである。

---

<sup>27</sup> 米国のシステムエンジニアの約 7 割はユーザ企業に在籍するのに対し、我が国では逆に約 7 割がベンダ企業に在籍すると言われている。ユーザ企業において人材が確保されるとともに、有効に活用されることが望まれる。

現在、インテリジェント ICT に関して様々なアライアンスの動きがあるが、我が国が主導権をとっているものは多くない。国際アライアンスをリードしていくには参加するだけでは不十分である。グローバルレベルで影響力を行使できる「人」の育成と、アライアンス内における企業等の強い「立場」の確保が必要である。

#### **7-1-4. 大学、ベンチャー発のイノベーションの活性化**

インテリジェント ICT に係るイノベーションにおいて、大学やベンチャー企業における研究開発の活力を活かす取り組みも重要である。

インテリジェント ICT は基礎的・先端的な知識の集合体であるため、大学で産み出される優れた技術がイノベーションの中核的役割を果たす可能性は大きい。グローバルな産学連携による製品・サービスの創出や大学発ベンチャーの活性化をめざし、産学連携の評価指標の見直しやベンチャー支援の拡充などの環境整備を推進することが有効と考えられる。

### **7-2. 【課題 2】イノベーションを活かす制度的対応**

インテリジェント ICT は、その展開スピードが重要である。開発がスムーズに進んでも、その展開に時間がかかっている間は間に合わない。

新たなビジネスの登場に際し、既存の制度的枠組みが新たな技術・サービスの導入を妨げる場合がある。とりわけ新しい技術に安全等に関して常に未知の部分が存在する場合、既存の枠組みを変更するのに時間がかかることが多い。我が国では、諸外国の動向を見極めてから対応する場合もしばしばみられる。しかしながら、諸外国で安全が確認されるのを待っているのは、当該分野で競争力を確保することは極めて困難となる。

技術革新のスピードが速まるほど、制度対応のスピードが国際競争力に及ぼす影響が大きくなる。新しい技術やサービスを活かすためには制度変更が必要とされる場合、その可否の判断について速やかに結論を出す仕組み、あるいは、一時的に弾力的な運用を可能とするような仕組みなどの構築が求められる。特区制度なども有効に活用されるべきである。

### **7-3. 【課題 3】データへのアクセス確保**

インテリジェント ICT の能力を発揮する上で、データの確保は生命線となる。データ

があるとそれに基づく知見が生まれ、そこにユーザ企業の動機が重なってビジネスは動く。ICT インテリジェント化の進展に伴い、企業等においては、従来に増して様々なデータを収集蓄積解析することが、その競争力の源となる。

データ活用度合いはデータセンターのサーバ数から推測できる。例えば、昨今の Web サービスは 100 万台規模のサーバ群で運用することが一つの基準になりつつあり、Google、Amazon は既に 100 万台のハイエンド PC サーバを一つのドメインで走らせ、Facebook、Microsoft も 1-2 年以内には 100 万台規模になると言われている。また、中国の Alibaba は近い将来、更に一桁多いサーバ群を持つ可能性もあると見られている。これらは我が国主要企業が運用するサーバの規模を大きく上回っており、データの活用度や活用能力において、先にあげた諸外国企業との比較において大きな差が生じていると考えられる。

このような現状を改善する観点、更に、新たなデータ活用方策を開拓する観点から、今後、重要度を増すと考えられるのが、複数の組織間のデータ共有と活用である。インテリジェント ICT を用いてデータ解析を行うと、人間が想像もできない相関関係が表面化することが多々ある。同業種間はもとより、異業種間のデータ共有が新たな価値を生み出すことを意識した取り組みが不可欠となりつつある。とりわけ、ライフサイエンス分野のように取得できるデータに限りがある場合はなおさらである。6-1 で見た企業間連携の促進は、このようなデータ共有の観点からも重要である。

データ共有に関しては、6-3 で議論したプライバシー情報の保護が課題となる。データ共有を促進しつつ、プライバシー情報の保護を図る方策の検討を進めなければならない。

この点に関する喫緊の課題として、国境を越えたパーソナルデータの流通に関する制度面の対応が不可欠となっている。クラウドサービスの普及等国境を越えた情報の流通が極めて容易になり一般化する中、2013 年 7 月に OECD がプライバシーガイドラインを改正したほか、米国、EU 等において具体的取り組みが進むなど、個人情報及びプライバシー保護に関する議論や法整備が世界的に進んでいる。諸外国との円滑な情報共有のためには、我が国も適切な制度整備を進めなければならない。本報告書取りまとめ時点では、個人情報保護法の改正案が国会に提出されるなど、制度の国際的な調和を図るための取り組みが進められているが、今後、関連制度整備を速やかに進めるとともに、情報共有に係る国際枠組み交渉を着実に進め、我が国が不利にならないようにする必要がある。



パーソナルデータ以外の情報についても、今後、世界各地で無限に生み出されるデータにアクセスし、そのデータを活用する流れが生じるものと見込まれる。これらについても、データそのものの権利やデータを編集加工したデータ（情報）に係る権利、その共有の仕方等について、情報の独占や個人情報保護といった様々な観点において、諸外国制度と整合をとりつつ適切な枠組みを構築していく必要がある。

#### 7-4. 【課題4】優秀な人材の育成と確保

インテリジェント ICT の開発・展開にはソフトウェア技術者、データサイエンティストを始めとする「人材」が重要であるが、現状、圧倒的に不足している。優秀な人材が海外の企業に就職してしまい、国内の人材が空洞化している状態を変えなければならない。

まずは優秀な人材が国内で活躍できる場を作り、国内外から人材が集まり、留まる流れを作らなければならない。そのためには、まずは報酬体系も含め、我が国におけるソフトウェア技術者のステイタス向上が図られるべきである。

優秀なデータサイエンティストは、データのあるところに集まる。7-3 で述べたように、現状、我が国企業におけるデータ蓄積量は米中の主要 Web サービス企業に比較して見劣りしており、このような現状も、優秀な人材の確保に負の影響を与えている可能性がある。

今後、急速な進展が見込まれる「あらゆるものごとのデータ化」に関して、我が国はセンサ技術等において優位性を有するとみられている。その優位性を生かしたビジネス展開のためには、センサから得られるデータの処理の充実が不可欠である。データセンターの整備なども含め我が国にデータが集まるようにし、かつ、その活用を通じて優秀な人材の育成が進むことを目指すべきである。

また、技術の専門人材の育成、技術を使いこなすビジネスを構想できる人材の育成の両面で教育の充実が必要と考える。例えば、人工知能関係やエッジ・コンピューティング関係の人材の急速な育成が必要になっているが、現状、これらの領域の教育システムは十分整備されておらず、新たな人材育成方策が必要になっている。今後、急速に変化する技術環境に対応した人材を的確に育成するため、産学官それぞれの特質を活かした連携を進める必要がある。

なお、グローバル競争の下では、人材の確保もグローバルレベルで行う必要がある。国内で優秀な人材を育成することはもちろんだが、外国からも国内に人が集まるよう、

教育環境、雇用環境などを整えていかねばならない。また、海外の人材を含む優秀な人材が日本で起業・ビジネス展開しやすくする環境の整備も重要である。

## 7-5. 【課題5】戦略的研究開発の推進

インテリジェント ICT に係る基盤技術の研究を、戦略的に行わなければならない。インテリジェント ICT に係る基盤技術については、研究開発を始めてから社会実装されるまで 10 年、15 年かかるのが一般的である。このため、出口イメージのない研究のための基盤研究ではなく、早い段階から社会実装をイメージした取り組みが必要である。

インテリジェント ICT は、非常に多岐にわたる技術要素が組み合わさって機能する。このため、研究開発に際しては、関連する技術を開発する関係者の間で方向性を整える必要がある。産学官を貫き、分野横断性を有するインテリジェント ICT 研究開発戦略などが策定されることが望ましい。

戦略の策定においては、それぞれの技術に関する我が国のポジション、諸外国の動向等も踏まえ、今後の海外政府・企業との連携も視野に入れた取り組みが必要である。例えば、分散処理に不可欠な 5G モバイル通信技術の開発において、民間企業間のアライアンスと政府間のアライアンスをシンクロさせた、的確な取り組みの推進が求められる。

また、我が国の強みを活かすことも重要となる。脳情報通信などの分野においては、世界最先端の研究が進められているが、これが人工知能の研究開発などと連携し、我が国におけるインテリジェント ICT 研究が総体としてその強みを活かせるようにすべきである。

今後 10 年間程度に着目すると、以下の分野における研究開発の取り組みが重要と考えられる。

### 7-5-1. 多様な用途・データを想定した人工知能技術・機械学習技術

- ① 「3. 人間とインテリジェント ICT の関係の変化」で述べた通り、今後、あらゆるデバイスがインテリジェント化し、マルチモーダルな情報処理、自らの行動結果の予測などを自ら学習し、人間を支援できるようになる。そのような社会を実現するための、多様な入力データや用途を想定した、汎用性が高い機械学習技術。
- ② ロボット、あるいはセンサ、アクチュエータが連携し、現実世界に働きかけインタラクションすることにより、外界から概念を抽出する技術。また、それを言語とひ

もづける技術。(我が国としてニーズの高い自動翻訳や対話システムにつながる。)とりわけ、日本が強みを有するヒューマノイドと技術連携し、人間にとって優しい振る舞いを実現する技術。あるいは人間と機械のコミュニケーションに関する HMI (Human Machine Interface)。

- ③ ネットワーク上でインテリジェントなシステム同士が連携する際に必要となる、プライバシーを守りつつ重要なポイントを伝達することのできる、複数のシステム間での抽象表現 (ディープラーニング結果) の伝送や共有技術。また、そのための特微量の利用等に関わる仕組みづくり。

### **7-5-2. 膨大なモノが繋がり連携する社会を前提としたネットワーク技術**

- ① IoT 分野をはじめとしてネットワークにつながるデバイスのオーダーが変わる中、デバイス周辺 (エッジ) でのデータ処理を効果的に取り入れたエッジ・コンピューティング・ネットワーク技術。
- ② IoT の重要なアプリケーションである自動運転車、ロボット等において重要となる通信の遅延 (レイテンシー) を最小化するための技術。
- ③ 仮想化や分散処理、人工知能の活用等によって、ネットワークアーキテクチャやルーティングのプロトコルなど、ネットワークインフラそのものを変える技術の検討。
- ④ IoT の端末に組み込まれる各種センサから爆発的に発生するデータを、ネットワークを介してクラウド上の大規模データセンターで認識・分析し、これまでに無い端末機能やサービスを実現するための、センサー・フュージョン技術。

### **7-5-3. 人間とコンピュータがシームレスに連携する社会の実現を視野に入れた脳科学分野の研究**

- ① 高い時間分解能・リアルタイム性を持つと共に、高空間分解能も持つような脳・生体のセンシング・解析技術。
- ② 計算論的神経科学等におけるひとの脳のモデル化。
- ③ 脳と認知・行動の因果関係を明らかにし介入・刺激を行う脳情報コミュニケーション技術。

## 8. インテリジェント ICT を前提とした社会・経済への移行促進（ユーザサイドの課題）

様々な産業分野において、デバイスから得られたデータをインテリジェント ICT で処理し、これまでにはない付加価値を提供することが、今後、世界的潮流となると考えられる。我が国はその流れを先取りし、様々な分野へのインテリジェント ICT の導入を促進し、インテリジェント ICT を前提とした社会・経済への移行を促進すべきである。

我が国はこれまで、産業分野の中でも、自動車、電機などを中心に製造業に強く国際競争力があると考えられてきた。これらの高度な製品は、既に多数のマイクロコンピュータが導入されているが、今後は、インテリジェント ICT が組み込まれることで、製品の機能等が大きく変わっていくこととなる。

加えて、製造プロセス・生産管理・品質管理なども、今後デバイスがネットワークを通じて連携・協調する中で、大きく変わろうとしている。昨今急速に高度化している 3D プリンタもインテリジェント ICT と相性の良いデバイスであり、それらの導入が「製造」を大きく変えていくこととなる。

諸外国に於いて新たな技術の導入が進み、ものづくりのあり方が変わってしまう時、対応を過れば我が国の基幹産業といえども、短期間に大きな打撃を受ける恐れがある。

製造業に限らず、全ての分野においてビジネスの仕組みが、今後短期間にインテリジェント ICT によって変わる可能性を有している。流通、医療、金融、農業、教育と想定される分野には限りがない。観光業、飲食業等の労働集約型の産業においても、インテリジェント ICT を活用して、生産性の底上げなどが図られていくと見込まれる。

既に、医療や農業分野におけるビッグデータ活用の取り組みなども進められているが、ICT のインテリジェント化が進む中で、今後、利用できるデータの種類が格段に増えるとともに、人工知能等の能力が加速度的に高まることで、得られる予測の水準が大幅に上昇することとなる。すなわち、ビジネスの効率化を通り越し、ビジネスの在り方そのものが変わっていく可能性がある。

これまでも ICT によって仕事のやり方を変えるべきと言われ、取り組みが進められてきたが、多くの取り組みはコスト削減に留まっている。インテリジェント ICT の可能性を追求し、新たなビジネスモデルを構築していくべきである。

我が国には、高齢者介護、労働力人口減少対策、災害復興対策等様々な国際的にみても先行する課題・ニーズがある。それらの中には、インテリジェント ICT の導入により改善、解決できる可能性があるものが多数ある。例えば、人工知能やロボットによる労働生産性向上を実現することで長期的な労働人口の減少に対応することが可能となる。

今後、民を主体とするインテリジェント ICT の導入・活用促進について、早急に国家戦略レベルで推進すべきである。

## 9. 諸外国における取り組みと我が国の現状

本章では、これまでの議論を補足すべく、諸外国における取り組みと我が国の現状を比較する。

これまで見てきたように、ICT インテリジェント化は、その影響範囲が非常に広く、世界経済や社会に与えるインパクトも巨大である。その影響の大きさを先取りし、諸外国企業や政府が、様々な取り組みを始めている。

注目すべきは、米国企業、中国企業における積極的な投資である。インテリジェント ICT 関連分野において数百から数千億円規模の買収投資を行っている。

また、企業間のアライアンスも活発に組成されている。2013 年から 2014 年にかけては IoT 関係の企業連携が進んだが、その特徴は、各分野のトップ企業が連携し、大きな枠組みで市場を抑えようとしている点である。

これらの取り組みは、米国では DARPA(米国国防高等研究所)が IBM における次世代チップ開発のための投資(SyNAPSE プロジェクト)を支援したり、EU が脳型コンピュータ開発を目指した Human Brain Project を展開するなど、米欧政府の大規模プロジェクトによって支えられているものも多い。

他方、我が国については、企業レベルの投資を見ると、とりわけ人工知能関連の研究開発投資において米国企業とは比較にならない状況にある。

企業間連携についても、国内企業が構成員の大半を占める国内企業連合が多数ある一方、諸外国トップ企業と一体となったものへの参加は限られている。トップ集団連携に参加した場合も、当該連携を主導する立場にあるとは言えない。

国家的戦略投資については、一定規模のプロジェクトが複数立ち上がりつつある。次世代ネットワーク関連では、ネットワーク仮想化技術、高速大容量光伝送技術等の我が国の官民のプロジェクトが研究成果を出しつつあるものもある一方、欧米と比較すると規模で劣位にあるプロジェクトが多い。

### 9-1. 諸外国における取り組み

#### 9-1-1. 諸外国の主要企業の研究開発

米国の大手 ICT 企業を中心に、人工知能、ロボット、ウェアラブル、VR 等の開発に積極的な投資を行っている。彼らは、自ら技術開発に対する大規模投資を行うことに加

え、先進的な技術系ベンチャーの買収、機械学習や人工知能分野における世界的な権威の招聘(人材獲得のための買収含む)等、社外の技術の取り込みにも積極的である。最近の代表的な動きを以下に示す。

- ① Google、Facebook といった「データが集まるプラットフォーム」を有している企業が、人工知能をはじめとするインテリジェント ICT を有効活用することでその強みを活かし、更なる付加価値化・競争力に展開しようとしている。

Google は、ロボットベンチャー7社を相次いで買収(2013年)した他、機械学習によりユーザの利用パターンを学習する空調システム開発を行う Nest Labs を32億ドルで買収(2014年)した上、Deep Learning による汎用学習アルゴリズムの開発を進める DeepMind Technology を4億ドルで買収(2014年)している。

Facebook は、人工知能分野の権威を迎え入れ、人工知能研究所を設立(2013年)。

中国の Baidu においても、機械学習分野の世界的権威を迎え、人工知能研究所を設立(2014年)している。

- ② Intel、Qualcomm、IBM といった半導体や通信機器などの巨大企業が、次世代半導体や超小型コンピュータなどの開発に注力し、更に人工知能によるサービス(IBM Watson 等)など上位のアプリケーションまで提供を開始している。

Intel は、超小型コンピュータ「Curie(キュリー)」を発表、ウェアラブルデバイス等への搭載を目指す(2015年)他、機械学習・ビッグデータ処理など大規模データ処理のための CPU の開発と実装も進めている。









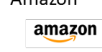
Intel、Qualcomm は、次世代端末への組み込みを目指し、ニューロモーフィックチップ「Zeroth」の開発を推進している(2013年)。

IBM は、Watson Group を立ち上げ、2000人規模の事業部門を設立し(2014年)、既に人工知能によるサービス事業を開始している。

- ③ 従来コンピュータ関連事業にフィールドを持たなかった企業である GE が、Industrial Internet(製造業分野における ICT の活用)を第3の波(IT革命の次)と位置づけ、製造業・工業分野においてビッグデータを利用することで、コンピューティングビジネスに参入している。

こうした人工知能、IoT 等の分野への投資、研究開発を強力に推進するグローバル大手企業の動向の例を、図表 15 にまとめた。

図表 15 人工知能、IoT 等の分野への投資、研究開発を強力に推進するグローバル大手企業の動向の例

	<ul style="list-style-type: none"> <li>ユーザーの利用パターンを学習する空調システム開発を行うNest Labsを32億ドルで買収(2014年)</li> <li>汎用学習アルゴリズムの構築を得意とするDeepMind Technologiesを4億ドルで買収(2014年)</li> <li>ロボットベンチャーを7社買収(2013年)</li> <li>その他自動運転車、ロボット、無人飛行等の研究を推進</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>保有するデバイス接続技術を軸にIoTを推進する業界団体「AllSeen Alliance」の設立を主導(2013年)</li> <li>次世代端末への組み込みを目指し、ニューロモーフイックチップ「Zeroth」の開発推進(2013年)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Watson Group(人工知能サービス)を立上げ、2,000人規模の事業部門を新設し10年間で100億ドルの売上目標(2014年)</li> <li>スーパーコンピュータBlue Geneを用いて大脳新皮質の現象を化学反応レベルでシミュレーションするBlue Brainプロジェクトを実施(2005年)</li> <li>コグニティブコンピューティングやニューロモーフイックチップの開発・サービス化も加速</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>超小型コンピュータ「Curie(キュリー)」を発表、ウェアラブルデバイス等への搭載を目指す(2015年)</li> <li>機械学習・ビッグデータ処理など大規模データ処理に有効なFPGAをCPU「Xeon」に搭載する計画(2015年)</li> <li>ウェアラブル機器のクラウド関連サービスA-Wearを発表(2014年)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>人工知能プロジェクト「Torch」のDeep Learningモジュールをオープンソース化(2015年)</li> <li>Virtual Realityに特化したヘッドマウントディスプレイを手掛けるOculus VRを約20億ドルで買収(2014年)</li> <li>人工知能ラボを設立(2013年)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>今後10年間で、IoTが世界で約19兆ドルの経済価値を創出すると予測(2014年)</li> <li>サーバーやネットワーク機器、末端のセンサーなどに近い場所でインテリジェントな処理を実行する「フォグコンピューティング」装置などを組み合わせたIoTソリューションの提供に注力</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deep Learning等を研究する「シリコンバレーAIラボ」をカリフォルニア州に開設(2014年)</li> <li>人工知能分野の権威であるStanford大のAndrew Ng教授を所長に迎える(2014年)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>PaaSソフトなどを開発するPivotalと共同で「産業用データレイク」を展開するなど産業分野のビッグデータ分析の基盤を提供(2014年)</li> <li>Industrial Internetを第3の波(IT革命の次)と位置づけ、世界経済の約半分に影響すると予測(2012年)</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>物流センターや倉庫で稼働する作業ロボットのメーカーKiva Systemsを約7億7500万ドルで買収。物流センターへのロボットの導入を進める(2012年)</li> </ul>

## 9-1-2. 諸外国主要企業による企業間連携

主に欧米のグローバル企業が主導する形での企業間連携が活発に進んでいる。

Industrial Internet Consortium(2014年)は、Industrial Internet・IoTにおけるシームレスな情報共有と協調的かつインテリジェントな運用を実現するために業界横断的な共同施策を推進するという目的の下、GEが主導し、AT&T、Cisco Systems、Intel、IBMといったグローバル企業を中心に129社が参加している。

我が国からも富士通・日立・三菱電機・NEC・トヨタ・東芝等が参加している(トヨタは、米国法人販社であるToyota Motor Salesが参加)。

AllSeen Alliance(AA)やOpen Interconnect Consortium(OIC)などは、参加企業の技術(ソフトウェア等)の普及やIoT機器の相互運用性のための標準規格(接続フレームワークの仕様、認証、ブランディング)の定義等を進めることで、技術開発・普及・標準化を推進している。AAにはMicrosoft、Qualcommをはじめ159社が、OICにはCisco Systems、GE、Intelなど79社が参加している。我が国からの参加企業もある。

この他、家庭のホームオートメーションのネットワークプロトコルの設計開発を目指すThread、M2Mの標準化のためのoneM2M、次世代ネットワークを意識したOpen Network Foundation(ONF)やOpenDayLight(ODL)等があり、欧米の代表的企業が多



数参加している。

こうした諸外国の主要企業を中心とした企業間連携には、一部我が国の企業も参加しているが、必ずしも全体の取りまとめとして議論をリードする立場にはない場合が多いとされている。諸外国主要企業による企業間連携の例を図表 16 にまとめた。

図表 16 諸外国主要企業による企業間連携の例

名称	Industrial Internet Consortium	AllSeen Alliance	Open Interconnect Consortium	Thread
目的	インダストリアル・インターネットとIoTの普及を推進	IoTにおけるシームレスな情報共有と協調的かつインテリジェントな運用を実現するために、業界横断的な共同施策を推進	様々な産業分野において幅広い応用が可能な標準通信フレームワークを定義し、250億個の次世代スマートデバイスの接続を促進	家庭の周辺機器のセキュリティと相互運用の為にホームオートメーション向けネットワークプロトコルを設計・開発
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>米ゼネラル・エレクトリック (GE) や米シスコシステムズなど米大手5社主導で立ち上げ</li> <li>実社会での実装を通し、イノベーションを加速すると共に、情報交換を行うオープンフォーラムも促進</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AllJoyn™オープンソースプロジェクトをきっかけに組織化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IoT機器の相互運用性の促進のため、標準規格(接続フレームワークの仕様、認証、ブランディング)を定義し、規格のオープンソース実装を提供</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>対応製品の開発のためのソフトウェアキットを提供</li> <li>無線規格802.15.4を基礎としたメッシュネットワークを構築可能</li> </ul>
設立年	2014年	2013年	2014年	2014年
参加企業等総数	163社	159社	79社	127社
参加企業(グローバル企業)等	GE, AT&T, Cisco Systems, Intel, IBM	Microsoft, Qualcomm, Silicon Image, Haier Group, TP-LINK, Electrolux, Technicolor, LG Electronics	Cisco Systems, GE, Intel, MediaTek, SAMSUNG	Delta T, Nest Labs (Google), Freescale, Semiconductor, Silicon Laboratories, Yale Security, ARM, SAMSUNG
参加している日本企業等	富士電機、富士フィルム、富士通、日立、三菱電機、NEC、Toyota Motor Sales、東芝	パナソニック、シャープ、ソニー、Kii	IIoT	スカイリー・ネットワークス

名称	oneM2M	Open Network Foundation (ONF)	OpenDayLight (ODL)
目的	M2Mのサービスレイヤの標準化の推進	オープンな標準化活動を通じた Software-Defined Networking (SDN) の利用促進	SDNコントローラーをOSS (Open Source Software) として開発する
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>各国の標準化8団体から組織(日本からは、ARIBとTTCが参加)</li> <li>各標準化団体を通じて通信事業者やベンダー等が約200社参画。</li> <li>社会インフラ、自動車、家電等のM2Mの利用シーンに共通する機能を技術的条件として抽出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OpenFlowプロトコルの標準化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Linux Foundation内のプロジェクト</li> <li>OpenFlow以外のプロトコルもサポート</li> <li>参加メンバーが自社開発したソフトウェアを寄贈するなどして、OSSとして開発・公開</li> </ul>
設立年	2012年	2011年	2013年
参加企業総数	標準化団体8団体 約200社	150社超	48社
参加企業(グローバル企業)	AT&T, Cisco Systems, Ericsson, Huawei, HTC, Intel, LG, Qualcomm	Cisco Systems, Ericson, Facebook, Google, IBM, Intel, Juniper, Microsoft, Nokia, Oracle, Yahoo, etc.	Cisco Systems, Ericson, IBM, Intel, Juniper, Microsoft, Oracle, Vmware, etc.
参加している日本企業	ドコモ、富士通、日立、KDDI、NEC、NTT、Panasonic、ソニー等	NEC、富士通、日立製作所、沖電気工業、リコー、NTTコミュニケーションズ	NEC、富士通

### 9-1-3. 諸外国の政府の取り組み

近年、諸外国において産官学が一体となって推進する中・長期の大規模プロジェクトが発足している。

米国においては、オバマ政権のグランドチャレンジの一つとして BRAIN Initiative が 2013 年に発表され、2014 年から 2025 年までの期間を予定し、初年度の投資額は 1 億 1000 万ドルとなっている。プロジェクトの内容としては、脳での大量の情報の記録・処理・貯蔵・利用・引出、および脳機能と行動の複雑な関係を解明することを目指すもので、ナノサイエンス、イメージング、工学、情報学などの科学技術の分野横断的取り組みである。

DARPA(米国国防高等研究所)は様々なプロジェクトを推進しているが、その一つとして、2008 年から主に IBM に委託して次世代の脳型チップを開発する Synapse プロジェクトに投資している。IBM は人間の脳と同等以上の効率性・計算力を持ったチップの開発を通して、公衆安全や自動運転車制御などに応用することを志向している。

NSF (米国科学財団)が、ネットワーク仮想化(SDN)を含む複数のネットワーク実証実験等を行うテストベッドの開発を目指すプロジェクトである GENI(Global Environment for Network Innovations)を 2015 年までの 5 年間、予算額 3 億 6700 万ドルで実施している。

EU は、2014 年から 2020 年までの 7 年間の科学技術・イノベーション政策全体の方向性を規定する Horizon 2020 を発表している。基礎研究、産業競争力育成、社会的課題(人口、食糧、エネルギー等)の 3 本柱のうち、産業競争力育成において、ICT を将来の重点分野と位置付けている(産業競争力育成における ICT の予算は他と比較して群を抜いて大きい)。その ICT では、特に、次世代コンピューティング、次世代インターネットに向けたインフラ・技術・サービス、情報マネジメント、ロボティクス等の項目において、実現技術・産業技術研究の支援、リスクファイナンス提供、中小企業支援等を実施するとしている。

また、Human Brain Project が 2013 年 1 月、EU FET (Future and Emerging Technologies)フラッグシッププログラムの一つとして採択され、ICT と脳科学をキーワードに、次世代脳型コンピュータやロボティクス技術の開発に 10 年間投資を行うとしている。内容としては、戦略的な脳データの収集、脳の情報処理の計算論的基盤の同定、多様な脳科学・臨床データの統合情報通信技術プラットフォームの形成などに取り組んでいる。

ドイツ政府は、「インダストリー 4.0」を 2012 年に「デジタル経済及び社会」の中心的将来課題として決定し、主に製造業分野で従来の生産方法を ICT 活用によりスマート化を行う産官学の複合プロジェクトとして取り組んでいる。政府の政策に盛り込まれているが、原則民間企業の主導により進められ、官学の支援を受けるという体制をとっている。目指すのは生産システムの「全体最適化」であり、生産現場での生産性向上に寄与するモデルを作り上げるのが究極の目標とされている。

こうした諸外国の政府が関与するビッグプロジェクトの例を図表 17 にまとめた。

図表 17 諸外国の政府が関与するビッグプロジェクトの例

プロジェクト名	BRAIN Initiative	SyNAPSE	GENI (Global Environment for Network Innovations)
実施国	米国	米国	米国
内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>オバマ政権の一連の「グランドチャレンジ」のひとつとして、産官学一体となったプロジェクト</li> <li>脳での大量の情報の記録・処理・貯蔵・利用・引出、および脳機能と行動の複雑な関係を解明し、アルツハイマー病等の脳神経疾患を治療・予防することが究極の目的</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>DARPA(米国国防高等研究所)が主導し、主にCBMIに投資</li> <li>IBMは長期的なゴールとして、消費電力1kW、体積は2リットル以下で100億ニューロン、100兆シナプスのチップの開発を目指し、公衆安全や自動運転などに応用することを志向</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>米国科学財団(NSF)が推進する次世代ネットワーク技術のテストベッドプロジェクト</li> <li>新しいインターネット構成やネットワークサービスの研究開発を促進するため、ネットワーク仮想化(SDN)を含む複数のネットワーク実証実験が同時かつ独立に遂行できるネットワーク共通基盤テストベッドの開発を目指す。</li> <li>プリンストン大学、スタンフォード大学、ユタ大学、デューク大学、HP Labs等が参加。</li> </ul>
期間	2014年～2025年	2008年～2016年	2007-2015年
投資額	1億1000万ドル(2014年)	1億260万ドル(2013年)	3億6700万ドル(5年間)

プロジェクト名	Horizon 2020	Human Brain Project	Industry4.0
実施国	EU	EU	ドイツ
内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>EUの科学技術・イノベーション政策全体の方向性を規定</li> <li>①基礎研究、②産業競争力育成、③社会的課題(人口、食糧、エネルギー等)の3本柱のうち、②では、ICTを将来の重点分野と位置付け(②の予算の過半数をICTに割り振り)</li> <li>ICTでは、特に次世代コンピューティング、次世代インターネットのインフラ・技術・サービス、情報マネジメント、ロボティクス等の項目について、実現技術・産業技術研究の支援、リスクファイナンス提供、中小企業支援等を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ICTと脳科学をキーワードに、次世代脳型コンピュータやロボティクス技術の開発に10年間投資を実施</li> <li>主要なプロジェクト             <ul style="list-style-type: none"> <li>①戦略的な脳データの収集</li> <li>②脳の情報処理の計算論的基盤の同定</li> <li>③多様な脳科学・臨床データの統合プラットフォームの形成</li> <li>④上記の統合プラットフォームを用いた新しい脳科学・医学・技術開発研究の推進</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来の生産方法をICT活用によりスマート化を目指す産官学の複合プロジェクト「Industry 4.0」を「デジタル経済及び社会」の中心的将来課題として決定</li> <li>政府の政策に盛り込まれているが、原則民間企業の主導により進められ、官学の支援を受ける</li> <li>標準化の実現を重要課題としている</li> </ul>
期間	2014-2020年	2013年～2022年	2012年以降に12～15年間
投資額	770億ユーロ(7年間) (うちICT関連は76.3億ユーロ)	11億ユーロ (予算総額)	2億ユーロ (2012年)

## 9-2. 我が国における取り組み

欧米を中心とした諸外国では民間企業の取り組み、民間企業同士の連携、そして国家としての戦略的中長期大規模投資(ビッグプロジェクト)が加速している。同様の視点で我

が国の現状を概観すると、企業・政府の取り組み自体は出てきているものの、ICT のインテリジェント化の世界的潮流の中で、イニシアチブをとっていくのに十分な状況とは言い難い。

### 9-2-1. 我が国の企業における研究開発

我が国の企業の取り組みでは、人工知能分野では、ドワンゴによる人工知能研究所の設立(2014年)、リクルートの人工知能研究所設立(2015年)等が挙げられる。また、(富士通・NEC・NTT・日立等の)大手企業においては、音声認識・画像認識・自然言語処理等の研究開発を進めているものの、買収や人材獲得を含めた積極的な投資には至っていない。人材規模、予算規模の面で、米国企業には及んでいない。

### 9-2-2. 我が国の企業による企業間連携

ICT のインテリジェント化の分野において、我が国の企業が主導する企業間連携としては、例えば、情報通信研究機構(NICT)や国内企業が主導的な役割を果たして立ち上げた Wi-SUN アライアンスがあり、スマートメーター等向けの無線通信規格である Wi-SUN の普及・促進を目的として、国際的な企業間連携を図りつつ、用途に応じたプロフィールの策定や規格認証等を推進している。Wi-SUN アライアンスには世界各国の多くの関連企業が参加しており、Wi-SUN の国際展開を視野に入れた活動が行われている。(図表 18)。

図表 18 日本企業の企業間連携の例

名称	Wi-SUNアライアンス
目的	スマートメーター等向けの無線通信規格であるWi-SUNの普及を促進
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>情報通信研究機構(NICT)等が主導し立ち上げ</li> <li>使用用途に応じたプロフィールの策定や規格認証等を実施</li> </ul>
設立年	2012年
参加企業等総数	81社
主な参加企業等	Analog Devices、Cisco Systems、村田製作所、NICT、オムロン、ルネサス、Silver Spring Networks、東芝等

### 9-2-3. 我が国の政府の取り組み

諸外国のビッグプロジェクトの取り組みに対し、我が国においても省庁間連携・産学官連携を推進する中・長期のプロジェクトが発足している。

内閣府主体の ImPACT(革新的研究開発推進プログラム)においては、全 12 テーマ中の 2 テーマが人工知能関連のテーマとなっている。一つは、「量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現」として脳型情報処理を量子コンピュータに取り込んだ量子人工脳を開発するプロジェクトであり、もう一つは「脳情報の可視化と制御による活力溢れる生活の実現」として、意識しただけで制御可能な機器開発や多言語入力などものづくりやサービス革新の基盤構築を目指すものである。

同じく内閣府主体のプロジェクトとして、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)があり、その中に IoT 関連の研究開発として「自動走行システム」があり、2015 年度配分額は 23.2 億円となっている。

ロボット分野では、内閣官房が主体となってロボット革命実現会議を組成し、ロボット新戦略として、ロボットを核とした新たな産業革命に向けた産学官の取り組みを 2015 年度から 5 年間の予定で進めている。

この他、次世代ネットワーク等について政府の関与する取り組みとしては、次のものがある。

O3(オースリー)プロジェクトは、SDN 等のネットワーク仮想化技術の研究開発について総務省からの受託を行う事業者の集まりであり、2013 年度と 2014 年度の予算規模は約 50 億円となっている。

次世代光ネットワーク技術の研究開発は、総務省の超高詳細映像やビッグデータ等に対応する超高速(每秒 1 テラビット級)・低消費電力の光ネットワーク技術開発のための施策であり、2015~2017 年度の予算規模は 15 億円と見込まれている。

第 5 世代モバイル推進フォーラム(5GMF)は、5G の導入に向けて、研究開発、標準化活動、国際連携、周知啓発を産官学が連携して取り組むことを目的に 2014 年に設置されている。この 5GMF は、国際ワークショップを主導するなどして、欧米やアジアと共同した研究開発や戦略的な標準化を進めようとしている。

こうした我が国の政府の関与する ICT のインテリジェント化関連の取り組みの例を図表 19 にまとめた。

図表 19 我が国の政府が関与する ICT のインテリジェント化関連の取り組みの例

プロジェクト名	ImPACT (革新的研究開発推進 プログラム)	SIP (戦略的イノベーション 創造プログラム)	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	ロボット革命実現会議 (ロボット新戦略)
実施主体	内閣府	内閣府	文部科学省	内閣官房
内容	全12テーマ中2テーマが関連 ・「量子人工脳を量子ネット ワークでつなぐ高度知識社 会基盤の実現」(山本喜久国 立情報学研究所教授)ー脳 型情報処理を量子コンピュ ータに取り込んだ量子人工脳 を開発 ・「脳情報の可視化と制御によ る活力溢れる生活の実現」 (山本義徳 NTTデータ経営 研究所)ー意識しただけで制 御可能な機器開発や多言語 入力などのづくりやサービ ス革新の基盤構築	全10テーマ中1テーマが関連 ・「自動走行システム」(渡邊 浩之 トヨタ自動車顧問)ー 2017年までに準自動走行 システムの実現(レベル2)、 2020年代前半に準自動走 行システムの市場化(レベ ル3)、2020年代後半以降 に完全自動走行システム の市場化(レベル4)を目指 す。	・豊長類の神経回路の全容を ニューロンレベルで解明し、 精神・神経疾患の克服につな がるヒトの高次脳機能の解明 のための基盤構築・技術開 発が目的 ・中核拠点の代表機関として 理化学研究所を採択	①ロボット創出力の抜本強化 ②ロボットの活用・普及(ロ ボットショーケース化) ③世界を見据えたロボット革 命の展開・発展(高度IT社 会を見据えて) を軸に、ロボットを核とした新 たな産業革命に向けた産学 官の取り組みを実施
発表年	2013年	2013年	2013年	2014年
期間	2014年以降に3～5年以内	2014年以降5年間(予定)	2014年以降原則5年間	2015年～2020年
投資額	550億円(5年間計) の一部(1/6程度)	23.2億円 (2015年度)	37.3億円 (2015年度)	172.8億円 (2014年補正予算、 2015年当初予算)

プロジェクト名	O3プロジェクト	次世代光ネットワーク技術の 研究開発	第5世代モバイル推進フォーラム(5GMF)
関係する省庁	総務省	総務省	総務省
内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>総務省の委託研究「ネットワーク仮想化技術の研究開発」に基づき、NEC、NTT、NTTコミュニケーションズ、富士通、日立製作所の5者が実施するプロジェクト</li> <li>SDNを、広域ネットワークインフラに適用するための研究開発を推進</li> <li>2016年3月末までに、SDN研究開発成果の実用化を目指すとともに、研究成果のグローバルな普及や、標準化を推進する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2020年オリンピック時に予想される8K映像等の巨大リアルタイムデータの流通等に対応するため、現状を大幅に上回る超大容量を確保できる光ネットワーク技術の研究開発を推進。</li> <li>既存技術(100Gbps級光伝送)の10倍にあたる1Tbps級光伝送を実現するため、より高度な光伝送方式を用いた高速大容量光伝送技術並びに最新の電子回路技術を駆使し低消費電力化を進めたデジタル信号処理回路技術を確立。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第5世代移動通信システム(5G)の導入に向けて、研究開発、標準化活動、国際連携、周知啓発を産官学が連携して取り組む</li> <li>電気通信事業者、通信機器メーカー、端末メーカー、チップメーカー、関係公益法人、大学、研究開発機関など57者</li> </ul>
発表年	2013年	2015年	2014年
期間	2013-2015年	2015～2017年	2014年～
投資額	50億円(3年間)	15億(予定)	

また、NICT では、日本語と複数の他の言語との間で話し言葉を自動的に高精度に翻訳する多言語音声翻訳技術や、Web 等に存在する大量のテキストを深く意味的に分析し、情報の価値ある組み合わせや、価値ある仮説を柔軟な入力を元に提示する先進的な情報分析技術の研究開発に取り組んでいる。前者については、スマートフォンの翻訳アプリケーションとして「VoiceTra4U」が 2012 年から公開されているほか、他のアプリケーションにも技術導入がなされている。後者については、ユーザからの質問に対して、Web 等に存在する膨大な情報源をもとに回答(仮説)を自動生成する技術である、大規模 Web 情報分析システム「WISDOM X」を 2015 年 3 月に試験公開した。また、SNS 上の災害情報をリアルタイムで分析し、被災者や復旧・救援活動に有益な情報を提供する対災害

SNS 情報分析システム「DISAANA」を開発し、2015年4月に試験公開している。

更に、NICT 脳情報通信融合研究センター(CiNet)においては、脳科学を情報通信技術(ICT)研究に応用する研究を進めており、人間のコミュニケーションと脳内での情報処理を理解することによる、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、BMI 技術、脳の情報処理に学んだロボット技術等の研究開発を推進している。

このように我が国においても ImPACT や SIP のプロジェクト等のように ICT のインテリジェント化関連の取り組みが始まりつつある。しかし、これらのプロジェクトの期間は3～5年かつ一つのプロジェクトあたりの投資額も年間20億円弱である等、期間・投資規模で欧米のビッグプロジェクトと比べ優位性が小さい。

## 補論① ロボットは意識を持ち得るか？

### ・・・意識があるように振る舞うロボットの登場

下條信輔

この問いは研究会当初の検討課題リストには入っていたし、ICTの将来を占う上での関心は当然あるだろう。ただ実際にはあまり議論する機会が無かった。そこで心理学・認知神経科学の立場から答案を書け、というのが、ここで筆者に与えられた課題だ。(以下の内容はあくまでも筆者の個人意見で、研究会の総意ではない。また「人間の意識がコンピュータに乗る日は来るのか」という宿題もあったのだが、とてもこの紙幅では論じ切れないので、より基本的と思われる表題の問いに絞る。)

#### 1人称の「意識」 vs. 2/3人称の「意識」

(つまらない出発点のようだが) この問題に対する答えは、言うまでもなく定義による。「意識を持っている」という状態についての理解が、実に曖昧で多様だからだ。次にその定義に照らして、誰がどのような基準で意識の有無を判定するかということも問題になる。

「階級意識」「エリート意識」など、比喩的ないしは拡張した意味で使われる場合を、まず排除させてもらおう。考慮するのは「覚醒している実感」「私がここに居るという実感」「(この赤色を) 見ているのは私だ、という実感」などの場合だ。

だとしても、1人称の意味で使われる場合(この原稿を書いているこの私が「意識を持っている」と)と、2人称/3人称の意味で使われる場合(読んでいるあなた、またはあの彼女が「意識を持っている」)を、まず峻別しなくてはならない。

この点を曖昧にしてきたことが、この問題にコンセンサスが得られない原因となってきた。ただ裏返せば、これらすべての人称ケースについて同じ「意識」という言葉が適用される(できる)認知・言語構造の中で、私たちは生きている。そこにこそ最大の謎があり、その答えも(おそらくは)ある。

#### 2/3人称に絞らざるを得ない理由

(この区別を前提に先に進むと) 2/3人称に話を限定せざるを得ない理由が、複数ある。まず言うまでもなく、実験心理学や認知神経科学の知見は、ほぼすべて2/3人称のデータに限定される。筆者は自らが被験者となって脳を刺激したり脳活動を記録しているが、それを他の被験者からのデータと併せて公刊した途端に「3人称のデータ」になってしまう。ここで、『私』の1人称の知覚経験と、『彼(女)』のそれとを突き合わせて共通点/相違点を論じられるではないか」と頑張る科学者がいるかも知れない。だがそれとても、しょせんは科学者の第三者的立場からの議論に過ぎない。またそうでないなら科学ではない。(この点については哲学者永井均が一般向けに、しかし徹底的に



論じ尽くしているので、ここでは深入りしない。)

### 他者の「意識」は確証が無い

2 / 3人称に話を限定せざるを得ない第二の理由として、相手がロボットではなくて生身の人間の場合ですら、相手が「1人称の意味の意識を持っている」ことには、定義上（相手が自分でない以上）確証が無い。相手が「意識を持っているかのように振る舞うゾンビ」だと疑ってみることはいつでもできて、それに対する究極的な反証はあり得ない（事実、そういう議論をする神経哲学者もいる）。「相手も自分と同じように意識を持っている」という考えは、良くて私たちの共通の信念か、生活上の常識あるいは「作業仮説」に過ぎない。

という訳で、「ロボットは意識を持ち得るか」という問いは、2 / 3人称に意味を限定して問わざるを得ない。つまり私たちの目の前にいる何者か（ヒトまたはロボット）について、「意識があり意図的に行為をする」エージェントとして認めるか、という問題だ。近未来を考える上でも、こちらがより適切なのは明らかだろう。1人称の問いは、例えばこれを読んでいるあなた自身が現にロボットである場合を除き、無意味だ。それでもと言うなら問うても良いが、本人以外には判定する権利が（原理的に）無い。

### 他者の意識をどう「推定する」か

さて、2 / 3人称に問題を限定すると、話の筋道はだいぶすっきりしてくる。ある被験体に「意識がある」かどうかを問う時、科学者は普通どうするか。まず科学者はその被験体にさまざまな問いかけをしたり、刺激したりして反応を見るだろう。その反応が（これまでのデータに照らして）意識が無い状態（あるいは単なる機械的反応の状態）に較べてより生身の人間の反応に近ければ、「意識を持っている」蓋然性は高まるだろう。

実際にこのアイデアはA. チューリングによって「チューリングテスト」として定式化され、毎年コンテストが行われているぐらいだ。もっともうまく人間を騙したソフトウェアが優勝する。毎年レベルが上がって行くのはコンペである以上当然だ。

### 「意識」の神経対応

次に科学者は「覚醒」と「意識混濁」を分ける神経生理学的所見を参照する。一例として脳波の活動を見れば、普通の意味で覚醒しているか、睡眠中か、別の意識混濁状態かは、だいたいわかる。ここで「わかる」という意味は、過去のデータに照らして「推定できる」ということだ。「推定できる」というのは、「神経活動で意識が「定義できる訳ではない」「あくまで推定できるに過ぎない」という意味だ。

ここで主客を混同してはならない。「かくかくしかじかの神経活動があるなら、普通に『意識がある』のと同じ振る舞いをするだろう」と推定できるだけだ。

今無造作に「かくかくしかじかの神経活動」と書いたが、意識の「神経対応」について今神経科学で何か判っているかを、ここでごく簡単にまとめておく。

「2重らせん」で有名な F. クリックと神経科学者 C. コックは、「ごく少数の神経細胞が意識の必要十分条件」とする強い立場を表明したが、現在では旗色が悪い。視床、視床枕、帯状回、前頭前野などの脳内部位の関与が示されているが、そのうちのどれかひとつというより、それらを含むより広汎な神経ネットワークの関与が有力だ。さらに脳だけでは駄目で、身体を通した環境世界とのつながり、またそうしたやりとりの来歴こそが「意識」にとって本質的、という立場も台頭している。

### 周辺（状況）と中核の「逆転」

今述べた最後の点を、「意識は状況依存的である」という観点から、少し敷衍しておきたい。

次のような事例を考えてみよう。犬などのペットを溺愛している飼い主が、「うちのクロに限っては絶対、意識がある」などと主張する。たとえば痛がっている時は「本当に痛みを感じているんだ」と強く共感する。ところが周囲から見ればただの駄犬、（他の犬に人間並みの意識が無いとすればそれと同じく）「意識なんか持っていない」。こういう状況は結構、現実にある。

これをどう捉えるべきだろう。飼い主がペットを溺愛するあまり「錯覚しているだけ」という立場を、筆者は採らない。もしそう主張したいなら、家族や親友が意識を持つ事も同じく「錯覚しているだけ」とするしかない。

そうではなくてこういう社会関係への依存性こそが、「意識を持つ」という言語的フレームで私たちが捉えようとしている事態の、本質なのではないか。つまりこれは意識を巡る周辺的な事情などではなく、まさに「意識」の中核なのではないか。だとすれば、冒頭で述べた謎（1人称と2／3人称では全然事態が違うのに、なぜ私たちは同じ「意識を持つ」という表現で括って、それで何ら不都合が生じないのか）についても、氷解の糸口が見えてくる。

同じ事がペットロボットやビジネスロボットに起きても不思議はない。どころかすでに起きつつある。ペットロボットが故障して、「可哀想、捨てるなんてできない」という状況が、すでに愛用者の間では起きている。

本稿をここまで読んで、何となく失望した読者が多いのでは、と筆者は予想する。あるいはもっと強く「反発を覚えた」という人もいるかも知れない。その中身には、「意識を持っている」という表現でやはり何かもっと特権的で神秘的なものを期待した、という点があるのではないか。しかし先に見た通り、1人称と2／3人称に分けて整理してみれば、「意識があるかのようにふるまう」＝「意識がある」とする立場を採る他無く、それ以外は問う意味が無い。とりわけここ（総務省 ICT 研）での問題意識がより現実的

な近未来を問うていることを考えれば、なおさらだ。

関連して最後に指摘したい点がいくつかある。

### タマネギの皮剥き

まず第一に、「2／3人称」の観点で見れば「意識」の人工知能化はおそらく、タマネギの皮むきの様相を呈するだろう（すでにそうなりつつある）。接客、教師、心理セラピスト、医師の問診、雑談の相手などが、ひとつひとつ可能になっていく。一時的に停滞はしても長期的に見れば「10年後には今よりは進んでいる」という状態が続くはずだ（戻ることは無い）。過去においても、神経科学におけるミラーニューロン／ミラーシステムの発見（1980年代）、ニューラルネットにおけるディープラーニング（2000年代後半）などによって、「意識」の理解は停滞から飛躍へと進んだ。これに類することが10～20年毎に起きると予想するのは自然だ。

ところでタマネギの皮むきという言い方には、「最後まで剥いても核にあたるものは出て来ない」という含意があるが、まさにこれが筆者の指摘したいことだ。現時点での大きなチャレンジは、情動反応、共感などの社会性、複雑な意思決定などだが、これらについても「皮剥き」はすでに起きつつある。人工知能に出来ない課題は減って行く。社会はこれを前提に近未来に備えるべきだろう。

### (不安に裏打ちされた) 安心？

上記の主張に対して、「そんな筈は無い、機械が人間に本質な意味で取って代われる訳が無い」という批判が世間では有力であることを、筆者は承知している。筆者の考えが少数意見であることを認めるにやぶさかではないし、究極的には筆者も（機械は人間に取って代われない、という）この批判に賛成するかも知れない。

ただここでひとつ、重要な観察を付け足したい。それはこのように言い放つ時、発言者の顔に広がる微妙な安心（と同時に隠された不安の）表情についてだ。

現状で、情動、意識、共感性、利害や理屈を超えた行動などを持ち出して「機械に人間の代わりができる筈が無い」と結論するのは簡単だ。しかし上記「タマネギの皮剥き」分析を前提に考えれば近視眼的で、その根拠は脆弱と言わざるを得ない。むしろこの種の発言は、自己正当化と現状肯定（そして思考停止）の心理回路に過ぎないのではないか。

### 結語

結局「ロボットは意識を持てるか？」という冒頭の問いが、そのままでは答えにくい問いであることがわかってきた。ただどこが「答えにくい」かを具体的に問ううちに、今問題にするべきは何なのかもわかってきた。「意識があるかのように振る舞う（ので現に意識がある）ロボット」の登場を前提に、そして「タマネギの皮剥き」的な技術進歩

を前提に、技術、産業、社会制度、犯罪と倫理などあらゆる側面で、近未来に備えるべきだろう。

## 補論② 人工知能は自分で目的を設定できるか？

### ・・・人工知能のサブシステム性

松尾 豊

人工知能にまつわる話題は、ややもすると、「人工知能が勝手に考えだすのではないか」「感情を持つのではないか」「人間を征服するのではないか」といった話に容易に発展する。このことを直ちに否定するわけではないが、重要な概念を理解しておく必要があると感じている。それは「目的と手段の明確な分離」である。

まず、人間も人工知能も、外界から得られた情報をもとに、また、外界とインタラクションしていくことで、概念を形成していく。その仕組みのひとつが、現在のディープラーニングにより例示されつつある。ところがこの概念化の方法には目的に非依存のものと、目的に依存したものがある。ディープラーニングでは、pre-training と呼ばれる目的に非依存の段階と、fine tuning と呼ばれる目的に依存した段階が明確に分離されて実行される。本来、生物は目的に資する方向に世界の分節の粒度をあげていくはずであり、したがって、同じ世界を観察しても、目的によって世界の分節の仕方は異なると考えられる。

では、人間はどのような目的を持ち、人工知能はどのような目的を持ちえるだろうか。人間がもつ目的にはさまざまなものがあるが、もとをたどれば、生物として自己を保存したい、種を残したいということが究極の目的であろう。そこから派生し、社会的動物として、身近なものを守りたい、手助けし共感したい、社会で認められたいなどの目的が生まれてくるのだろう。人間、あるいは生物の大きな特徴はその頑健性である。ちょっとやそっとの環境の変化ではその存在や行動は影響を受けない。これは長い進化の過程でさまざまな環境の変化を勝ち抜いてきたためである。

一方で、人工知能にもたせる目的は任意である。期待したい動作にあわせて目的を設定することができる。そして設定した目的に対して、適切に世界を分節し、より賢い方法でその目的を達成することができる。その意味で、人工知能は「道具」であり、活かすも殺すも使い方次第である。しかし、この目的の外では非常に脆い。それは人間あるいは生物のような環境の変化を耐えぬいていないためである。

つまり、まとめると

- ・人間は、生物としての根源から派生するさまざまな目的を持つ。自己保存を目的として進化してきたがゆえに、その存在は非常に頑健である。
- ・人工知能は、目的をいったん与えられれば、うまく実行することができる。ただし、その存在は非常に脆弱である。

こうした特性を考えたときに、人間と人工知能の関係性は、人間がもつ目的に対して、人工知能はその目的の達成を最大限支援するという立場にしかなり得ないのではないだろうか。目的を与えるのは常に人間であり、手段を提供するのは人工知能ということになる。言い方を変えると、人工知能が人間の上位に来るということはなく、あくまでも人間社会のサブシステムを担うものであり続ける。つまり、人工知能は本来的に人間社会に対してのサブシステム性を持つと言い換えてもいいかもしれない。

おそらく、人工知能の技術が進めば進むほど、さまざまな目的に対してより良い解を提示することが可能になってくるだろう。そして、それがゆえに、人間がどのような目的を与えるのが更に重要になる。つまり、目的と手段がより明確に分離し、役割分担がなされるはずである。そして、社会において、人工知能に対してどのような目的を設定すればよいのか、競合する価値観で何を重視するのかといった議論がますます重要になってくるのではないだろうか。

## インテリジェント化が加速する ICT の未来像に関する研究会構成員名簿

### 【座長】

村井 純 慶應義塾大学環境情報学部 学部長・教授

### 【構成員】

荒木英士 グリー株式会社 取締役 執行役員

岩田一政 公益社団法人日本経済研究センター 理事長

岩本敏男 株式会社 NTT データ 代表取締役社長

江田麻季子 インテル株式会社 代表取締役社長

川上量生 株式会社ドワンゴ 代表取締役会長 CTO

川妻庸男 富士通株式会社 執行役員常務 CTO&CIO

下條信輔 カリフォルニア工科大学 ボルティモア冠教授

関口和一 日本経済新聞社 論説委員兼編集委員

西川 徹 株式会社 Preferred Networks 代表取締役社長 最高経営責任者

松尾 豊 東京大学工学系研究科 准教授

森川博之 東京大学先端科学技術研究センター 教授

(注) 敬称略、五十音順、肩書きは平成 27 年 2 月時点のもの

### 【事務局】

総務省情報通信政策研究所

## 開催経緯

第1回（平成27年2月6日）

### ○構成員からの発表

- ・ 松尾構成員  
「人工知能の現在と未来」
- ・ 荒木構成員  
「ICTインテリジェント化により実現する世界のイメージ」

第2回（平成27年3月10日）

### ○構成員からの発表

- ・ 下條構成員  
「ヒト・脳・社会の近未来」
- ・ 西川構成員  
「Internet of Things を加速する新しいコンピューティング」

第3回（平成27年4月6日）

### ○構成員からの発表

- ・ 岩本構成員  
「ICTのインテリジェント化と今後のビジネス」
- ・ 森川構成員  
「あらゆるものごとの『データ化』とその利活用の展望」
- ・ 江田構成員  
「ICTインテリジェント化時代におけるグローバル社会での成長に向けて」

第4回（平成27年5月15日）

### ○ゲストスピーカーからの発表

- ・ 国立情報学研究所 新井紀子教授  
「次世代のAI、ロボットとその課題・・・テクノロジーと人間」

○報告書取りまとめに向けた議論

第5回（平成27年6月12日）

### ○報告書案について