

# 最新テクノロジーによる社会の変革

久世和資

## はじめに

AI やビッグデータ分析などの先進技術が、社会で実際にどのように活用されているかについて紹介します。

IBM の基礎研究所は、世界に 13ヶ所あり、研究員は約 3 千名います。本部はニューヨーク郊外の Watson 研究所で、IBM の創業者の名前が使われています。米国のワトソン研究所、スイスのチューリッヒ、イスラエルのハイファ、日本の東京、米国西海岸のアルマデン、中国の北京、インドのデリー、米国テキサス州のオースティンの 8ヶ所体制が長年続きました。この 8 研究所に加え、2010 年以降、ブラジル、オーストラリア、アイルランド、ケニア、南アフリカの 5ヶ所に研究所を新設しました。

基礎研究所は、過去 70 年以上の歴史がありますが、多くの研究成果を出しています。例えば、1964 年の世界初の汎用コンピュータ System/360、1970 年

図 1 世界に広がる IBM の基礎研究部門



の関係データベース、1980 年の RISC などです。また、6 名の研究者がノーベル賞を受賞しました。これには、1986 年の走査型トンネル顕微鏡や 1987 年の常温超電導などの業績が含まれます。1997 年には、チェスをするコンピュータ Deep Blue が、当時の世界チャンピオン、カスパロフ氏に勝利しました。また、世界最速のスーパーコンピュータも複数、開発しています。研究員の専門分野は、コンピュータサイエンス、物理、化学、材料科学、電子工学に加えて、数理科学、行動科学、認知科学、バイオ科学と多岐にわたり、専門分野を超えた研究が推進されています。

## コグニティブ・システム登場の背景

2020 年には世界中のデータのサイズが 44 ゼタバイトになるといわれています。従来の IT システムが処理をする数値データやテキストデータなど構造化データの増加ペースは変わりません。これに対して、自然言語データ、音声データ、画像データ、動画データ、センサーデータなど非構造化データは、飛躍的に増大します。

また、データ量の増大に伴い「企業におけるデータの有効活用」と「複数の企業によるデータ活用連携」も非常に重要になります。例えば、人間一人の一生の健康データのうち、医療機関での臨床データは 0.4 テラバイト、ゲノムデータは 6 テラバイトです。それらに比べて健康状態への影響が大きい外的なデータは、1,100 テラバイトにもなります。これには、飲酒や運動、仕事のストレスなど、日常の生活から取れるデータが含まれます。今後、健康に関するサービスや業務では、病院や医療機関のデータだけでなく、医療とは直接関係ない業界のデータを集めることも大切になります。例えば、自動車の運転状況から取得できるデータや、食品データなどです。

コンピュータの進歩は、第三世代に入ります。第一世代は集計機、第二世代は現在のコンピュータです。コンピュータにさせたい仕事を定義し、ソフトウェアを設計し、プログラムを記述し、データを入力し、実行します。ところが、現在はデータ量も膨大になっていますし、コンピュータにさせたい仕事の種類も増えています。また、要求される開発のスピードも桁外れに上がっています。

このような状況では、人だけがプログラムを作成するのでは限界があります。

図2 データの爆発的増加と新しいアプローチへの要請

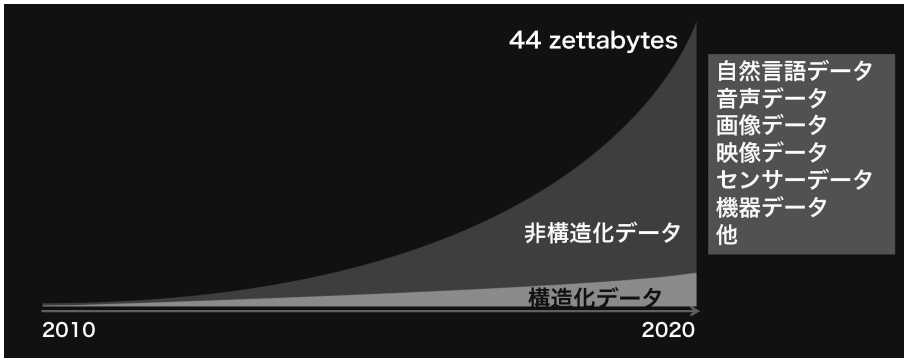
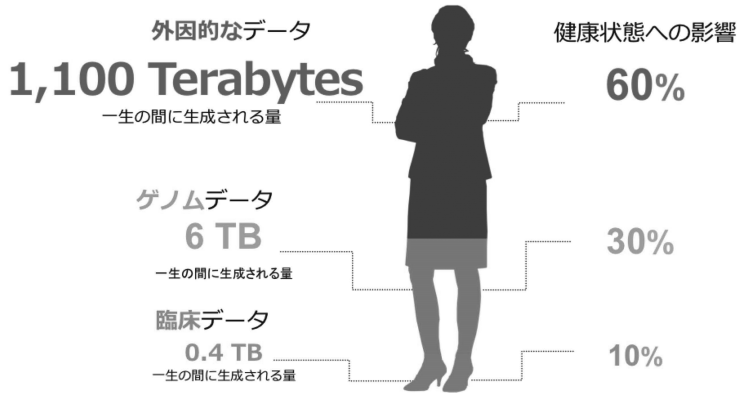


図3 新しいデータ活用のインパクト

例えば医療システムの外側にある大量のデータが健康に大きな影響をもつ



Source: "The Relative Contribution of Multiple Determinants to Health Outcomes", Lauren McGover et al., Health Affairs, 33, no. 2 (2014)

図4 新しいコンピューティングの時代に向けて



システムのサポートも大切です。システムが適切なデータを集めたり、プログラムを更新したり、最適化することも必要になります。我々は、このようなシステムをコグニティブ・システムと呼んでいます。「コグニティブ (cognitive)」は、「認知する」という意味があります。コグニティブ・システムの一つに AI があります。我々は、AI を人工知能 (Artificial Intelligence) ではなく、拡張知能 (Augmented Intelligence) と捉えています。拡張知能は、人間の知性の拡張や支援を目的としています。AI は、人に置き換わったり、取って代わるものではなく、人の近くにおいて人を支援することを目指しています。

## Watson で『ジョパディ!』に挑戦

2011 年 2 月 16 日、基礎研究所が 5 年がかりで開発したコグニティブ・システムの Watson が、クイズ番組『ジョパディ!』で、歴代チャンピオン二人と対戦しました。『ジョパディ!』はアメリカで 50 年以上も続いている人気のクイズ番組です。毎週月曜日から金曜日の夕方 30 分放映されています。6 種類のジャンル、5 段階のレベル、 $6 \times 5 = 30$  問を 2 ページ、つまり、60 問を 30 分で対戦することになります。三人で早押しをして、解答権を得たら答えることができ、正解すると賞金がもらえます。ゲームの終了時に、獲得した賞金額が一番大きい人が優勝となります。

Watson が対戦したのは、歴代のチャンピオンの二人で、74 連勝のケン・ジ

図 5 Watson のジョパディへの挑戦



ェニングス氏と 3 億円獲得の賞金王のブラッド・ラター氏です。Watson はもちろん初挑戦です。開発のコアチームは約 30 名ですが、それ以外にも数百名規模のメンバーが参画し、Watson を完成させました。Watson は解答の候補の確信度も計算します。

Watson は、チャンピオン二人に勝つことができましたが、100% 勝てるという自信があったわけではありません。過去の優勝者の解答した割合と正解率を見ると、例えばケン・ジェニングス氏の優勝した対戦の一つは、60 問中 60 パーセントに解答権を得て、36 問に答えました。解答時の正答率は、90 パーセントでした。Watson を開発し始めた 2006 年、できるだけ多くの問題に答えさせても正答率は 14%、Watson が自信を持った問題だけに答えさせても 48% といったレベルでした。2007 年、2008 年、2009 年と少しずつ正答率はアップしましたが、実際の対戦の 3ヶ月前、2010 年 11 月の時点で、ケン・ジェニングス氏の方が優位でした。Watson の勝算は半分以下と分が悪い状況でしたが、本番では二人のチャンピオンに勝つことができました。

50 年以上続いている番組ですが、二度と同じ問題は出題されないのので、過去問をいくら記憶しておいても答えることはできません。また、全てのジャンルから出題されるので、広範囲の知識や情報が必要になります。対戦中は、Watson はネットワークにはつながっていません。新聞、百科事典、聖書、音楽の歌詞など、あらゆる分野の約 2 億ページ分のデータが使われました。コグニティブ・システムの特徴的なことは、まず、莫大なデータが基本になっており、データには構造化データと非構造化データがあることです。それらのデータを理解し、推論し、さらに、学習により計算の精度を高めていきます。

図 6 学習するシステム

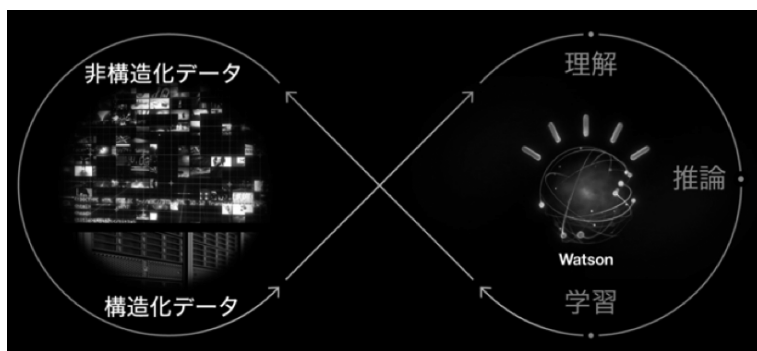


図 7 Watson への取り組み



Watson の場合は、過去問を学習に使いました。

当時の対戦は、全米で生放送されましたが、勝った瞬間、Watson を事業や業務に使いたいといった問い合わせが多数、IBM に寄せられました。複数の企業と事業検証を約 3 年間続け、2014 年 1 月に事業部を発足させました。クイズに遡ること 5 年前、2006 年から研究は始まっており、Watson の実現には、基礎研究所の過去 60 年の多くの研究成果が使われました。

## コグニティブ・システムの実社会への応用

AI、ビッグデータ分析および IoT を含むコグニティブ・システムは、あらゆる分野や産業で利活用が進んでいます。そのうちのいくつかを紹介します。

### 1) 医療における支援

医療では新しい治療法や新薬が急速に増えており、5 年間で文献にして 2 倍になるとされています。ところが現場の医師が、新しい情報を勉強できる時間が月に平均して 5 時間しかありません。経験があり優秀な医師であっても、最新の情報を知っているか知らないかで、診断にしても治療にしても内容が異なってきます。新しいことを勉強する時間がない医師に代わり、Watson が膨大な医療データを学習しておき、医師が診断や治療法を決める支援をしています。米国の Memorial Sloan-Kettering がんセンターでは、当初、150 万のがんの症例と、42 種類あるがんの専門誌から 200 万ページを Watson に取り込みました。更に、がんセンター医師が 3 年間、Watson を教育し、現在、世界中の複

図 8 がんの診断支援など医療支援への活用



数の病院で活用されています。

東京大学医科学研究所は、ニューヨークのゲノム・センターと IBM が共同開発した Watson ゲノム分析を使って、白血病の診断支援の研究をしています。医科学研究所では遺伝子の変異データを Watson に入力し、Watson が読み込んだ 2,500 万件の論文から関係する複数の論文を分析します。その結果、病気の根本的な原因となった遺伝子の重要な変異を特定し、可能性のある白血病の種類と効果のある薬の候補を医師チームに提示します。Watson は、その根拠となる論文やレポートも列挙し、それらを医師チームが精査して、最終判断をします。2,500 万件の論文は、A4 の紙に印刷して積み上げると、4,000m の高さになります。これは、富士山より高く、人間には読み切れない量です。これに対して、コンピュータは、膨大な量であっても網羅的に短時間で分析することができます。

## 2) 創薬の支援

バイラー医科大学とは創薬支援の共同研究をしました。新しい薬の開発には、多くの人手と時間がかかります。プロテイン 53 (p53) というタンパク質はがん細胞を抑制する効果があります。したがって、p53 を活性化したり抑制する別のタンパク質や酵素が発見できると新しい薬につながります。この分野の研究は活発で、7 万件もの論文が発表されています。7 万件の論文を全部理解してから実験に取り掛かると、無駄な実験を省き、効率的に実験を進めることができます。ただし、1 日に 5 編の論文を読める人でも、全てを読み切るのに、38 年間かかってしまいます。この 7 万件の論文を Watson に入力して、これまで

図 9 創薬支援



に発見されたタンパク質の傾向を分析をしました。その結果を利用し、ベイルー医科大学単独で、数週間のうちに6個も新たに発見することができました。これまで、p53に作用する物質の発見は、世界中で多くても年に1つのスピードでした。このように、創薬のスピードを抜本的に変える可能性が期待されています。この取り組みは、日本が強い素材や材料の分野でも同様に適用できるはずです。

### 3) 製造現場での支援

AI や IoT は、意思決定の支援にも活用されています。特に日本では、現場のノウハウや専門家の知識をシステム化することに関心が高まっています。オーストラリアで最大の石油採掘会社である Woodside Energy 社の海底油田現場の事例があります。こういった現場では、予期せぬ事態や異常事態が起こることがあります。例えば、ポンプの圧力が急上昇したり、装置が高温になったり、異常音がしたりといった事態です。この現場では、作業が1日停止すると、5千万円の損害規模になります。そこで、できるだけ迅速に異常事態から回復する必要があります。しかし、急いで誤った処理をして、かえって状況が悪くなり、1週間、停止すると3億5千万円の損失になってしまいます。かつては現場に熟練の専門家が複数いて、異常事態の際には、過去の豊富な経験からバルブや機器を操作したり、複数のメーターの数値をチェックして、各種の異常状況に応じて、最善の対処をしていました。しかし、現在は、そのような熟練の専門家が少なくなっています。そこで、この会社では、過去20年間にわたる30万ページの操業レポートや保守レポートの内容を Watson に学習させま



図 10 石油採掘現場における迅速な意思決定の支援



図 11 サイバーセキュリティの対策支援



した。学習した Watson が、現場で作業員のサポートをしています。このシステムでは、AI だけでなく、ビッグデータ分析や IoT が効果的に融合され利用されています。

#### 4) サイバーセキュリティの支援

サイバー攻撃は、大きな社会問題で、頻度も増えていますし、内容も高度化し防御も困難になっています。サイバー攻撃の詳細や、その防御方法については、多くのレポートや文献が世界中で作成されています。その数は、100 万件以上にもなります。これらのレポートを事前に学習、熟知しておけば、実際に同様のサイバー攻撃を受けたときに、現場のセキュリティーチームが迅速かつ的確に対応できます。情報量が多いので、人が全ての情報を熟知しておくことは困難ですが、AI が網羅的に情報を分析、整理しておき、現場のチームをサポートすることができます。

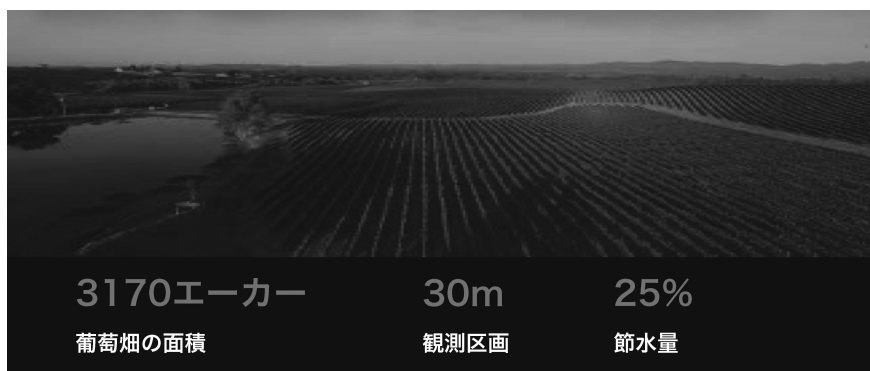
### 5) 農業の支援

AI や IoT を農業に活用する事例も増えています。例えば、米国カリフォルニア州の E&J ガロのワイナリーには、3,170 エーカーものぶどう畑があります。3,170 エーカーは、東京都の豊島区のサイズより少し大きな広さです。このぶどう畑に対して最適な量の水を最適なタイミングで与える実証実験をしました。広大なぶどう畑に対して、同じように水やりをするのではなく、30 平方メートル区画ごとに、その土地の水分量、傾斜、日当たり、ぶどうの状況などを、人工衛星からの情報に加え、畑のセンサーから収集されるデータや天候の精度の高い予測データなどを総合的に分析し、区画に応じた最適な水やりを実現することができました。その結果、各区画のぶどうの品質は上がり、全体での水の節水も 25%達成することができました。

### 6) 大気汚染改善の支援

IBM の研究所では、グリーン・ホライゾン・プロジェクトで、大気汚染の解決に取り組んでいます。これにも、AI、IoT、ビッグデータ分析が効果的に活用されています。まず中国で実施されましたが、二酸化炭素や PM 2.5 を減らすためには、実際にそれらの元となる工場や車の稼働を制限をする必要があります。もともと地域とタイミングを一律に決めて、一斉工場停止や車の規制を試行していました。しかし、これらの規制は、実際に大気に対する影響が最も悪くなるタイミングで実施するのが効果的です。工場からの排煙の量が多く、かつ、PM 2.5 の被害が最大になる風向きや風力、湿度が、あらかじめ正確に予想できれば、最悪の事態を避けることができます。精度の高い天候予測に加え、ソーシャルメディア分析などによる工場の排煙量の予測を 2 週間前に行

図 12 ワイナリーのぶどうデータと天候予測で水削減



い、最悪なケースを特定します。工場の操業休止を2週間前に計画することにより、経済的なインパクトは、最小限にし、大気汚染防止の効果を最大限にすることができました。そのために、1日当たり、34エクサバイトのデータを分析しています。2年間で、18%のPM 2.5の削減を達成しました。

#### 7) 健康維持の支援

パーキンソン病は、最も深刻な疾病の一つで、日本でも、その対策が注目されています。パーキンソン病は、発病すると完治しませんが、適切な生活習慣や投薬により、その進行を抑えることができます。また、早期発見も重要です。我々は、製薬会社のファイザーと、パーキンソン病についての共同研究を進めています。家に、各種のセンサーを設置し、生活状況を分析し、病気の進行を防ぐことを目指しています。

図 13 AI + IoT による中国の CO<sub>2</sub> 排出量削減



図 14 パーキンソン病の新治療法への挑戦



## ブロックチェーン

次に、ブロックチェーンについて少し説明しておきます。元々は、仮想通貨を実現するための技術として登場しましたが、仮想通貨や金融のサービスだけではなく、物流や資産管理など、より広い産業や分野での活用が始まっています。我々も、ブロックチェーンは主要な研究戦略分野の一つと位置付け、研究開発に力を入れています。

実際のビジネスの現場では、複数の企業が、品物、サービス、対価、資金、情報などをやりとりしています。その際に、参加企業間でのやりとりを台帳に記録しておく必要があります。通常、各企業は個別に、この台帳をコンピュータで管理します。ブロックチェーンでは、全ての参画企業が、分散台帳を使って情報を共有することができます。しかも、改ざんや不正などに対するセキュリティが強固で、管理も簡便です。また、新たな企業の参加にも柔軟に対応できます。

マースクラインは、海上輸送の会社です。例えば、南アフリカから冷凍食品をヨーロッパに輸送する際には、約 30 の会社や組織が関係してきます。以前は、紙の書類が使われていました。そのため、最終の輸送先に到着する前に、1 枚の書類がなくなると、1ヶ月以上も、入港できない場合もありました。ブロックチェーンを導入することにより、作業の効率も格段に上がり、セキュリティのレベルも高まりました。

図 15 ブロックチェーンの応用

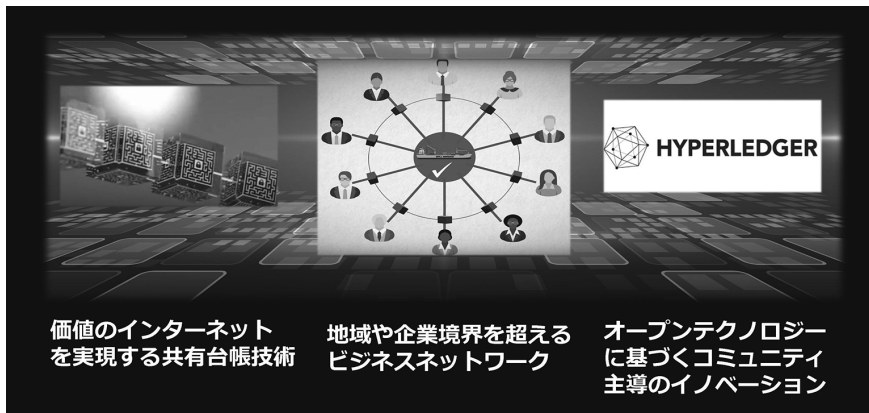


図 16 ブロックチェーンを用いたグローバル・ロジスティクス



図 17 ブロックチェーンを用いた食品サプライチェーン



食品の安全性の確保も大変重要な課題の一つです。アメリカで食品に関連する数十の企業が協力して、ブロックチェーンを活用し、食品のトレーサビリティを実現しています。例えば、マンゴーの場合、収穫をする畑から、輸送会社、倉庫会社、加工会社、包装会社、小売店、消費者まで、一貫して品質を保証することができます。

## コグニティブ・システムの課題と展開

AI、ビッグデータ分析、IoTを含むコグニティブ・システムの応用事例を紹介してきました。更なる展開のためには、いくつかの課題を解決する必要があります。

ります。より自然な人とのコミュニケーション，創造的な作業の支援，少量のデータで学習，省電力での実行，人や物の近くで実行などがあります。このうち，いくつかを紹介します。

### 1) 創造的な作業の支援

料理のレシピ作りを支援するシェフ Watson を開発しました。ニューヨークで最も古い料理学校で，Watson が，自然言語で書かれた 3 万件のレシピを学習しました。レシピに加えて，食材の化学組成や特性，健康への影響，組み合わせ理論なども学習させました。料理には，文化的な要素も重要で，国や地域によって好まれる食材や，記念日に食される料理，例えば感謝祭にはターキーが食べられるといった情報も学習しました。

重要なことは，シェフ Watson が全部レシピを作り出すのではなく，使う人はシェフということです。シェフが主要な食材とスタイルを指定します。例えば，牛肉を主材にして，ポルトガル風+和風でといった具合です。そうすると，シェフ Watson は，材料の組み合わせの候補を多数提示してくれます。材料だけで分量や作り方の提示はしません。これまで考えもしなかった食材の組み合わせが，プロのシェフの創造力を喚起します。

映画の予告編作成も，創造的な作業の一つです。20 世紀フォックス社と共同で、『モーガン』という SF 映画の予告編の作成に挑戦しました。まず，既存の百本の映画と予告編を Watson に学習させました。学習した Watson に，『モーガン』を分析させ，予告編にふさわしい十数シーンの候補を選びました。

図 18 シェフワトソンが新レシピ作りを支援



専門家チームが、それらの候補シーンから、最終的に使用するシーンを選択し、シーンの順番を決定し、音楽を加えて、予告編を完成させました。通常は1ヶ月かかる作業ですが、Watson のサポートにより 24 時間で予告編を完成することができました。

## 2) 動的ボルツマンマシン

AI は、大量のデータを利用することが一般的ですが、常に大量のデータが用意できるとは限りません。データが少量であっても、学習ができて、精度の高い結果を出すことは、重要な技術課題の一つになっています。我々は、動的ボルツマンマシンという時系列データを学習できるアルゴリズムを新たに作り出しました。この成果は、Nature の Scientific Report にも採択されました。現在、オープンソースとして公開されています。これを使うと、小さな計算機資源でリアルタイムで学習することができます。異常検知、産業用ロボットのトレーニング、株価の暴落予測など、いくつかの応用の実証が進んでいます。

図 19 動的ボルツマンマシンによる時系列データの学習



図 20 動的ボルツマンマシンの応用



### 3) 脳型コンピュータ

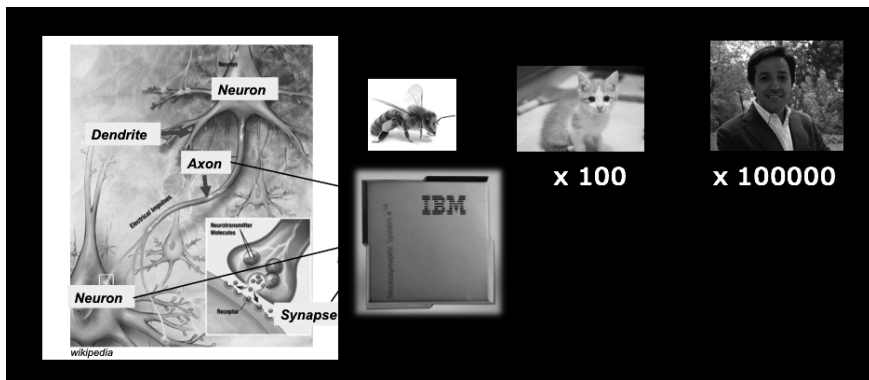
クイズ『ジョパディ!』のチャンピオンに勝った Watson は 5 ギガヘルツで動き、消費電力は 20 万ワットでした。ケン・ジェニングス氏とブラッド・ラター氏の脳は、それぞれ、20 ワットしか使っていません。半導体の集積度を上げてきましたが、微細化の限界にきています。人間の脳は、わずか 10 ヘルツで動き、最新の半導体チップより、格段に優秀です。AI を社会で更に広く活用するには、AI 実行時の高い消費電力の問題を解決する必要があります。

解決法の一つとして、脳の仕組みを利用したニューロモーフィック・コンピュータの研究開発をしています。これは、脳の神経網のニューロンやシナプスの構造を模して電子回路で実装したものです。2014 年に完成した第二世代のチップには、ニューロンが 100 万個、シナプスが 2 億 5600 万個入っています。消費電力は、通常の CPU の 700 分の 1 から 1000 分の 1 で、70 ミリワットです。100 万ニューロンは、生物では、蜂の脳ほどです。猫は、蜂の脳を 100 個、組み合わせる必要があります。人間の脳は、猫の 1,000 個分、蜂の 10 万個分となり、やはり人間の脳と同等のシステムを実現することは、まだまだ難しく、技術的なブレイクスルーが必須です。現在も、この仕組みを利用して、高性能で低消費電力のコンピュータの研究を進めています。

### 4) 量子コンピュータ

量子コンピュータには、大きく二つの方式があります。量子ゲート方式と量子アニーリング方式です。量子アニーリング方式は、実用化では先行していますが、適応範囲が限られています。これに対して、量子ゲート方式は、多くの

図 21 脳型コンピュータは 1000 倍の省エネ





分野での応用が期待されています。

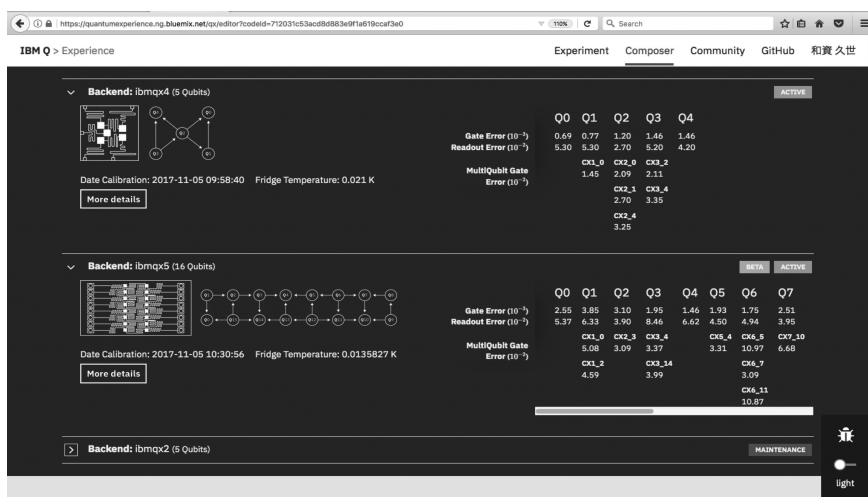
我々は、世界初の量子ゲート方式の量子コンピュータを実装し、2016年5月から、IBM Q Experience というプログラムを発表し、無料でクラウド上で公開しています。現在、世界で9万人以上の方が、このプログラムを使って、Watson 研究所に設置された5量子ビットと16量子ビットの量子コンピュータにアクセスしています。量子コンピュータ用のプログラムが容易に作成できる開発ツールキットやシミュレータも提供されています。ゲート方式の量子コンピュータを、クラウド上で誰もが使えるようにしたことは、画期的です。

2018年には、IBM Q HUB というプログラムを発表し、世界4か所の大学を中心に、新しい応用を検討し実証するコンソーシアムを複数企業と推進してい

図 22 万能量子コンピュータを目指して



図 23 量子コンピュータのモニター画面



ます。日本では、慶應義塾大学がハブとなり、現在、4社が参画しています。問題によっては、通常のコンピュータで100年以上かかる計算が、量子コンピュータでは、数秒で実行することもできます。量子コンピュータの応用が期待されている分野は、新材料の発見や創薬、最適化問題、AIにおける機械学習などです。量子コンピュータの実行には、ほとんど電力を使わないので、前述のAI実行の消費電力問題の解決にもつながります。ただし、絶対零度への冷却にはエネルギーが必要です。

#### 5) 世界最小コンピュータ

AIやビッグデータ分析を、実際にその結果を利用する人や物のできるだけ近くで実行するという要求は高まっています。ネットワークが高性能になっても、ネットワークの遅延をゼロにすることは不可能だからです。我々は、その一つの形態として、世界最小コンピュータの開発を進めています。サイズは、100ミクロン角のレベルです。超小型のセンサーは各種ありますが、これは、単独で動作するコンピュータなので、CPU、メモリー、バッテリー、通信モジュールなどが一体化されています。一個のチップで数円の製造コストを目指すことにより、塗装の中に入れてたり、スプレーで吹き付けたり、畑にばらまいたり、いろいろな利用形態が可能になります。安全な食品を目指したトレーサビリティにも使えます。

図 24 世界最小コンピュータ



## まとめ

AI, ビッグデータ, IoT など先進デジタル技術を活用したビジネスや社会の変革は、世界中で進んでいます。日本でも、すべての人が、これらのデジタル技術を便利な道具として、当たり前、手軽に使えるようになることが大切です。先進デジタル技術を活用することにより、日本の品質力や現場の知恵やノウハウを組み合わせシステム化し、世界の中でリーダーシップを取ることができます。また、先進デジタル技術の進展には、ソフトウェアのみならず、微細化技術、材料技術、品質技術など日本が強い分野の応用も必須です。日本の独創性や強みを十分に活用するためにも、若い世代から先進デジタル技術を正しく理解し、使えるようになることが重要です。

(くせ・かずし 日本 IBM 株式会社 執行役員 最高技術責任者)