



AI（人工知能）にける米シリコンバレーと Google の野望 ——危機に晒される日本の産業用ロボット

執筆者

KDDI総研 特別研究員 小林雅一

🕒 記事のポイント

サマリー

米シリコンバレーで今、「機械学習」を中心にAI関連のベンチャー企業が次々と生まれている。AI（人工知能）は1950年代に研究開発が始まった古い技術だが、その後、「AIの冬」と呼ばれる長い低迷期を脱し、最近、新たな形で蘇ってきた。その最大の理由が、機械学習の急激な発達にある。それはコンピュータや各種マシンがビッグデータを消化して、（ある面では）人間を遥かに凌ぐ知的能力を獲得する技術だ。

シリコンバレーのベンチャー企業は、これをクラウド型サービス（SaaS）として提供し、産業各界でAI革命を引き起こそうとしている。またGoogleはこれを使って日常社会で活躍する知的なサービス・ロボットを開発。日本が得意とする産業用ロボット市場に、挑戦状を突きつけようとしている。シリコンバレーで進むAI開発の最前線を追った。

主な登場者

Google, Nest, Deep Mind, Facebook, EasilyDo, Sensor Platforms, Thomas Bayes, Sight Machine, EnerNOC, Palantir, Netflix, TeraDeep, Qualcomm, DARPA, Geoffrey Hinton, Bruno Olshausen, Sebastian Thrun, Andrew Ng, Jeff Hawkins, SCHAFT, Boston Dynamics, 福島邦彦, Preferred Infrastructure

キーワード

AI (Artificial Intelligence)、人工知能、Machine Learning、機械学習、ビッグデータ、パーソナル・アシスタント、ベイズ理論、ベイズ定理、事前確率、Prior Probability、事後確率、Posterior Probability、Bayes Theorem、自動運転車、マシン・ビジョン、Machine Vision、SaaS、スマート・グリッド、Smart Grid、デマンド・レスポンス、Demand Response、HEMS、住宅エネルギー管理システム、ニューラルネット、Neural Network、ディープラーニング、Deep Learning、ディープ・ニューラルネット、Deep Neural Network、ニューロモーフィック・チップ、Neuromorphic Chip、シナプス、SyNAPSE、スパース・コーディング、Sparse Coding、スパイクング・ニューラルネット、Spiking Neural Network、センサー・モーター統合、Sensor Motor Integration、DARPA Robotics Challenge (DRC)、産業用ロボット、サービス・ロボット、Service Robot、ROS、Robot Operating System

地域 米国

Title	A.I. Spring for Silicon Valley Start-ups and Google's Silent Ambition to Conquer the Robot Industry: Japan's Mighty Position in Industrial Robots Could be in Danger.
Author	KOBAYASHI, Masakazu (Research Fellow, KDDI Research Institute)
Abstract	<p>Currently in Silicon Valley start-up companies specializing in or utilizing A.I. technologies, especially machine learning, have sprung up one after another.</p> <p>Artificial Intelligence (A.I.) is not a new technology, with its research and development roots going back to the 1950s. The idea was to make computers and machines think and act intelligently, just like humans. However, after initial excitement in this early stage, A.I. entered a long setback period, commonly known as the 'A.I. Winter', which endured for an extended period of time.</p> <p>A.I. showed early signs of come back in 1997, when IBM's Deep Blue beat Gary Kasparov, the then world chess champion, and since has gradually picked up momentum once more. Presently, A.I. is everywhere, being fundamental to Apple's 'Siri', Google's voice search and the 'Self-Driving Car', IBM's 'Watson', Microsoft's 'Cortana' and the list goes on.</p> <p>What brought about this dramatic revival of A.I. is so-called "machine learning," which is now a main branch of A.I. technology, that enables computers and machines to learn on their own by extracting notable patterns from 'Big Data'.</p> <p>Some of the A.I. start-ups in Silicon Valley are now providing this machine learning technology as SaaS (otherwise known as 'Cloud Computing'), which could revolutionize a wide range of industries, not only in the U.S., but eventually throughout the entire world. Major companies are onboard, too, of course. Google, for example, seems to have begun the development of the next generation intelligent robots by building machine learning technology into them, and this development could be a serious threat to Japan's mighty robot industry in the near future.</p> <p>This report focuses on the frontiers of such various A.I. developments outlined above.</p>
Major players	Google, Nest, DeepMind, Facebook, EasilyDo, Sensor Platforms, Thomas Bayes, Sight Machine, EnerNOC, Palantir, Netflix, TeraDeep, Qualcomm, DARPA, Geoffrey Hinton, Bruno Olshausen, Sebastian Thrun, Andrew Ng, Jeff Hawkins, SCHAFT, Boston Dynamics, Preferred Infrastructure, Willow Garage
Keywords	A.I. (Artificial Intelligence), Machine Learning, Bayes Theorem, Machine Vision, SaaS, Smart Grid, Demand Response, HEMS, Neural Network, Deep Learning, Deep Neural Network, Neuromorphic Chip, SyNAPSE, Sparse Coding, Spiking Neural Network, Sensor Motor Integration, DARPA Robotics Challenge (DRC), Industrial Robot, Service Robot, ROS (Robot Operating System)
Region	U.S.

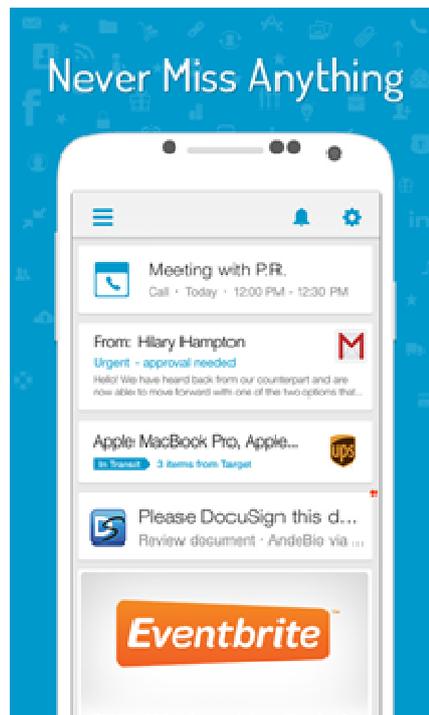
1980年代に一大ブームを迎え、その後、長らく低迷していた「AI（人工知能）」に今再び、スポット・ライトが当たっている。Googleは最近、スマートホーム技術を手がける米Nestや機械学習の英Deep Mindなど、AI関連の新興企業を次々と買収。FacebookやYahoo!らも同様の動きに出たため、これら企業の買収額が上がり、M&Aバブルの様相すら呈している。

このビッグ・ウェイブに乗り遅れまいと、米シリコンバレーでは今、AI関連のベンチャー企業が続々と生まれている。彼らは、一体、どんな技術を開発し、それをどう応用して新たなビジネスを切り開こうとしているのか？また彼らを買収するGoogleの真の狙いは何か？米国での現場取材を中心に、今、巻き起こる第二次AIブームの実態と今後の行方を探っていこう。

1 製品がユーザーに合わせる時代へ

シリコンバレーのマウンテンビューに本社を置くEasilyDoは、スマートフォンに搭載されるパーソナル・アシスタント・アプリを開発するベンチャー企業だ。同アプリは、ユーザーのカレンダー、メール、SNSなどの情報から、その場の状況に応じて最も必要と思われる情報や通知をスマホ画面上に自動表示する（図表1）。

【図表1】 EasilyDoはユーザーに必要な情報を自動表示



これを可能にするのが、AIの一種である「機械学習（Machine Learning）」だ。機械学習とは、文字通りコンピュータやスマホのような「機械」が、各種センサーやウェブなどから取得してきた大量のデータ（いわゆるビッグデータ）を基に「学習」して、自らの性能や機能を高めていく技術だ。

1950年代に研究開発が始まったAIは、当初、プログラマー（つまり人間）がコンピュータのような機械に、たとえば「言語の文法」や「医者診断方法」など各種ルールを移植することによって実現された。しかしコンピュータが幾ら沢山のルールを憶えたところで、それを杓子定規に適用するだけでは、多様性と例外に満ちた現実世界では使い物にならない。1980年代に盛り上がったAIが、その後、急速に衰退したのは、この致命的欠陥が露呈したためだ。

やがて1990年代から徐々に復活してきた新しいAIは、ルールの代わりにデータを中心とする手法へと生まれ変わっていた。そこでは大量のデータを統計・確率的に分析することによって、様々なパターンを自動的に抽出する方法が主流になった。つまり人間がコンピュータにルールを教え込むのではなく、コンピュータ自身がデータから学ぶことによって知的能力を形成していく。これが機械学習で、この方がルール・ベースよりも、現実世界に柔軟に適応できるのだ。

EasilyDoのアプリは「Twitter」、「Facebook」、「LinkedIn」、そして「Google」など各社のウェブ・サービスから、機械学習に必要な情報をかき集めてくる。この種のパーソナル・アシスタント・サービスとしては、「Google Now」が以前から、よく知られている。これはGoogle検索に使われた無数のキーワードを機械学習して、ユーザーに必要とされる情報をスマホ画面に適宜表示する。これとEasilyDoでは何が違うのか。

「Google Nowは基本的にGoogle内部だけで閉じているのに対し、我々のアプリはあらゆるウェブ・サービスをカバーする。またGoogleの検索キーワードは、単にユーザーの関心事を示しているに過ぎないが、我々のアプリは『ユーザーが実際に何を買ったか』、『どんなイベントに参加したか』など、過去の行動履歴から学習する。この方が、（パーソナル・アシスタント機能の）予測精度を高めることができる」（EasilyDo, Business Development ManagerのNoam Cadouri氏）

ただし、EasilyDoと同様のサービスとして、Microsoftが2014年4月にリリースした「Cortana」がある。CortanaはSNSのようなウェブ・サイトやスマホの使用履歴などから広範囲の情報を吸収し、これをNotebookと呼ばれるデータベースに記録しながら、日々、ユーザーについて学習していく。またSiriのような音声会話機能も備えている。Microsoftなど大手IT企業の参入に伴い、EasilyDoのようなベンチャー企業が置かれた状況は今後、厳しさを増していくだろう。

2 センサー・フュージョンとベイズ理論

こうした機械学習には、ウェブ情報以外にも各種センサーからのデータも使われる。たとえばスマートフォンやタブレットなどモバイル端末には、GPSや加速度センサーなどが搭載されている。最近の上位機種の中には、16個ものセンサーを内蔵している端末もある。

マウンテンビューから南に約20キロ下った、サンノゼに本社を構える Sensor Platformsは、スマホに搭載された各種センサーからの情報を機械学習で分析し、ユーザーの置かれた状況を割り出す「センサー・フュージョン」技術を開発。これを端末メーカーやキャリアなどにライセンス提供している。

同社の技術は「ベイズ理論」と呼ばれる確率論に基づいている。ベイズ理論は18世紀の英国の牧師、Thomas Bayesが考案した「ベイズ定理 (Bayes Theorem)」に基づく諸理論で、1990年代から徐々にAIやロボット工学などに応用され始めた。

ベイズ定理では、最初は精度の低い「事前確率 (Prior Probability)」を、ある種の測定や実験によって、もっと精度の高い「事後確率 (Posterior Probability)」へと改良していく。たとえばGoogleや世界の自動車メーカーが開発中の「自動運転車」では、車体に搭載されたGPSやレーダー、ライダー、ステレオ・カメラなど各種センサーが、周囲の歩行者や自動車、障害物などの位置データを繰り返し計測。その度に、ベイズ定理を適用することによって、最終的に正確な位置情報を得ることができる。

Sensor Platforms社の技術も、これとほぼ同様の原理に基づく。そこではスマホに搭載された各種センサーからの情報をベイズ理論で分析し、今、ユーザーがいる場所に加え、「椅子に座っている」、「歩いている」、「走っている」など現在置かれた状況を、高い精度で割り出す。そこから、たとえば必要に応じGPSをオフにして、端末の電力消費量を節約するなどの処理を実行することができる。

現在、Sensor Platformsの技術が搭載されるのは主にスマートフォンだが、今後はスマート・ウォッチのようなウェアラブル端末やIoT (Internet of Things) への応用も期待しているという。その見通しについて、同社幹部は次のように語る。

「ウェアラブル端末やIoTは機能面であまり欲張らず、ヘルスケアのような一つの用途に限定したほうがいい。そして値段を思い切って安くし、バッテリー消費量も抑えれば成功するだろう。一旦充電したら半年くらい、そのまま使えるのが望ましい。ここに我々の技術が必要とされる」(Sensor Platforms, Chief Technology Officer のKevin Shaw氏)

3 機械学習をSaaSで提供

一方、こうした機械学習技術をクラウド型サービス、いわゆる「SaaS (Software as a Service)」として提供するベンチャー企業も多数生まれつつある。米サンフランシスコに本社を置く「Sight Machine」もその一つだ。

同社は、ビデオカメラなどを使って工学的な視力を実現する「マシン・ビジョン (Machine Vision)」技術を機械学習と組み合わせて、自動車や電機など各種メーカーの工場に向けてSaaSとして提供する。これによって製造ラインにおける不良品の検出など、従来は人手（正確には人間の目視等によるチェック）に頼っていた検査作業を安く自動化しようとしている。

2014年2月時点で、Sight Machineのサービスを利用する予定の企業は6社。その一つは米国の自動車メーカー大手「Chrysler」だ。ただしクラウド型サービスとは言っても、工場の生産管理に応用するにはシステムの作りこみが必要だ。このためSight MachineのスタッフがChryslerの工場に出向いて、共同でシステムの設計作業を進めている。今年中には、同工場の製造ライン上で10か所における検査工程を、SaaSで自動化する計画だ。

Sight Machineの独自調査によれば、様々な業界の中でも自動車産業は特に、こうしたシステムへの潜在需要が高いという。GM (General Motors)、トヨタ、日産など主要メーカーに加え、彼らに部品などを供給するメーカーも含めれば、北米だけで5000以上の自動車関連工場がある。特に品質を重視する工場の中には、マシン・ビジョンや機械学習に興味を示すところが少なくない。

そうした中であって「現在欠けているのは共通する技術プラットフォームであり、我々はそれになることを狙っている」(Sight Machine, Chief Executive OfficerのJon Sobel氏)

同社調査では、自動車産業に続く市場も幾つか俎上に上っている。たとえば米国の某大手ファストフード・チェーンでは、1日に平均65万個のチキン・フィレを調理する。それは生焼けではいけないし、焼き過ぎてもよくない。ちょうどいい具合に焼き上がったかどうかを見るには、フィレについて（焼き網の）ストライプの色と形をチェックする。ここにもマシン・ビジョンと機械学習が使える。また医療機器や医薬品、食品業界など、人命や健康に関わる業界も期待できるという。さらに日本の電機メーカーも同社のターゲットの一つだ。

「日本の電機メーカーでは、液晶パネルに微かな欠陥があるかどうかを人手（人の目視）でチェックしていると聞く。こういうところに我々は入り込んでいきたい」(Sobel氏)

4 「スマート・グリッド」から「安全保障」まで用途は多彩

他にも機械学習システムを導入、ないしは検討している業界は多数存在する。中でも今後、大きな市場となりそうなのが電力業界の「スマート・グリッド (Smart Grid)」だ。無数の家庭、オフィス、工場などにおける電力消費データを機械学習で分析して、どこにどの程度の電力を供給するかをリアルタイムで管理する。

この種のシステムは最近「デマンド・レスポンス (Demand Response)」とも呼ばれ、既に米EnerNOCなどが商品化している。日本では2013年12月に丸紅がEnerNOCと合弁会社を設立し、今後、法人顧客に向けてエネルギー配分の効率化やコンサルティングなどのサービスを提供していく予定だ。他にもエナリス（本社：東京都足立区）など、いわゆるHEMS（住宅エネルギー管理システム）業者が同様のサービスを提供している。

ちょっと風変わりな機械学習の応用事例としては「安全保障」が挙げられる。たとえば米Palantir（本社：パロアルト）は、メールや通話、金融データなど多彩な情報源から収集したビッグデータを機械学習で分析して、主にCIA（中央情報局）やFBI（連邦捜査局）など米政府機関に向けて、テロや国際犯罪などに結び付く情報を提供している。

このように、あらゆる業界への導入が進む機械学習だが、一方で「過信は禁物」との見方もある。たとえば米国の通信キャリアは最近、全米に張り巡らしたネットワークの故障などを検知するために機械学習の導入を検討している。しかし通信ネットワークでは、広大な地域に多様な機器が設置されるので、いつどこで、どんなトラブルが発生するかもしれない。

「かつて米国ではLucent Technologies製の通信機器が、ガン・マニア（銃愛好家）による射撃訓練の標的にされたことがある。同社のロゴは『白地に赤い丸』なので、銃の標的に最適なのだ。現在の機械学習システムが、果たして、こういったことまで予想出来るかは疑問だ」（米通信業界の某コンサルタント）

5 ディープラーニングとは何か

そこまで極端なケースに対応できる機械学習システムが現在、あるいは将来も含めて存在するかどうかは不明だ。しかし、なるべく柔軟で適応力に富むシステムを開発するために、この分野では様々な取り組みが行われている。その一つである「ディープラーニング (Deep Learning)」は、いわゆるニューラルネットの最新形として、今最も注目されているAI技術だ。

ニューラルネットは人間の脳を構成する、無数のニューロン（神経細胞）とシナプス（接合部）のネットワークを工学的に再現したもの。その研究開発は1950年代

に始まったが、つい最近まで実用的なレベルに達しなかった。

それが転機を迎えたのは2006年で、この年を境に「GPU（Graphics Processing Unit）」と呼ばれる高速プロセッサや、「スパース・コーディング（詳細は後述）」など脳神経科学の最新成果がニューラルネットに導入され始めた。これによって性能が大幅に向上し、本格的な実用化の時代に突入した。これが現在「ディープラーニング」、あるいは「ディープ・ニューラルネット（Deep Neural Network）」などと呼ばれているものだ。

ディープラーニングは今、強力な機械学習のツールとして多方面で注目されている。GoogleやFacebook、さらにNetflixなど米国の大手IT企業は、ディープラーニングを開発するベンチャー企業を買収したり、社内に専門の開発チームを設けるなど、この分野に非常な力を注いでいる。Googleが先頃、買収したDeep Mindもディープラーニング専門のベンチャー企業だ。

このディープラーニングを、SaaSとして広く一般企業に提供するベンチャー企業が幾つか生まれている。その一つが、米サンフランシスコに本社を構える「Ersatz」だ。

「我々の使命は、ディープラーニングを博士号を持つ専門家ではなく、一般ユーザーでも使えるようにすることだ。我々のサービスを使えば、機械学習やニューラルネットの専門知識がない人たちでも、高度な分析作業を行うことができる」（Ersatz, Chief Executive OfficerのDave Sullivan氏）

ディープラーニングはこれまで、画像や音声などパターン認識で実績をあげてきた。たとえばアップルの音声アシスタント「シリ（Siri）」やGoogleの音声検索などは、その基盤となる音声認識技術にディープラーニングを採用している。またGoogleは写真や動画など、画像解析にもディープラーニングを導入。いずれも高いパフォーマンスを示している。今後は「自然言語解析」や「ロボット工学」など、多方面への応用が期待されている。

Ersatzも様々な業界にディープラーニングを提供しようとしている。同社のクライアント（顧客企業）は、分析対象のデータをErsatzのクラウド上にアップロードし、そこからパソコン画面に表示される幾つかの質問に答えるだけで、たとえば「ユーザーの行動解析」など目的とする作業を行うことができる。同社は既にベータ版サービスを提供している。最初の60分間は無料で使え、その後は毎分41セントで利用できる。具体的な市場開拓はこれからだが、現時点で特に期待を寄せているのが、医療分野への応用という。

「これまで多くの病院では、X線写真やCTスキャンなどの画像を専門の医師が分析して、患者に報告するまでに何週間もかかっていた。ここにディープラーニングを投入すれば、大量の検査データを瞬時に解析して結果を出すので、報告までの時間を大幅に短縮できる」（Sullivan氏）

6 脳を模倣したプロセッサも登場

一方でディープラーニング専用のプロセッサの開発も始まっている。脳の神経回路網を模した「ニューロモーフィック・チップ (Neuromorphic Chip)」だ。その基本的なアイデアは1980年代に提案されたが、近年の集積回路技術とニューラルネット技術の発達が進んで、漸く最近、実用化の目途が立ったところだ。

米インディアナ州ウエストラファイエットに本社を構える「TeraDeep」は、このニューロモーフィック・チップを開発するベンチャー企業だ。創業者の一人である Eugino Culurciello氏は米パーデュー大学の准教授でもあり、同大学での研究成果を商品化するために、この会社を立ち上げた。

同社が開発中のチップは、ディープラーニングに特化されたプロセッサだ。それはコプロセッサ（補助演算装置）として、従来のCPUと協力して仕事を行う。また消費電力も抑えたので、スマホなどモバイル端末に搭載された場合、チップを常時オンの状態にしておくことができる。

TeraDeepのチップは、スマホに視覚能力を与えるために開発された。スマホ内臓のカメラから入ってくる映像情報をディープラーニングでリアルタイム解析し、これによってスマホが周囲の環境を自動的に認識できるようになる。

「たとえばユーザーが靴屋に入ったら、『貴方が好きな靴は、あそこの棚にある、あの靴ですよ』とスマホが教えてくれる。そんな製品が我々の技術で可能になる」（Culurciello氏）

TeraDeepは既に、こうしたニューロモーフィック・チップ技術を開発済みで、そのデモを同社ホームページ上で公開している。ただし自社でチップを製造するのではなく、その技術を大手メーカーにライセンス提供する。既に幾つかの会社とライセンスに向けた交渉に入っているという。

一方で大手メーカーもまた、脳を模倣したチップの開発を進めている。たとえば米Qualcomm（本社：米San Diego）は、社内に「プロジェクト零番地（Zeroth Project）」と呼ばれる特別編成チームを設け、ここで「スパイクング・ニューラルネット（Spiking Neural Network）」を実装したニューロモーフィック・チップを開発中だ。

スパイクング・ニューラルネットは、従来のニューラルネットにニューロンが発する時間的パルスが付加したもの。これは人工的な「脳波」にあたり、より本物の脳に近づくことになる。その先には意識を持ったAIが生まれるかもしれない、との見方もあるほど先端的な研究だ。この意義を同社関係者は次のように説明する。

「従来のチップ（CPU）は高速の数値計算は得意でも、物体を認識したり、不完全な情報を処理したり、雑音の多い環境下で興味深い情報を抽出したり、ある場面

において実際何が起きているかを把握する、といった処理は苦手だった。こうした情報処理には、むしろ本物の脳のやり方を参考にの方がいい」（Qualcomm, Director-Business Development & Product ManagementのSamir Kumar氏）

同社の「プロジェクト零番地」には、IT技術者と共に神経科学者も数名含まれており、彼らが協力しながら新型チップの開発を進めている。製品化はまだ先の話だが、端末メーカーなど同社のパートナー企業に向けて、研究開発用のプラットフォームは2014年中に提供予定としている。

こうしたチップをスマートフォンに搭載すると、スマホがユーザーの好みや独特の使い方などを機械学習し、自動的にカスタマイズされる。さらに「シリ（Siri）」のような音声アシスタントと、より自然な言葉で会話（操作）できるようになるという。

Qualcomm以外では、米国防高等研究計画局（DARPA）も「シナプス（SyNAPSE）」というプロジェクトを立ち上げ、スパイクング・ニューラルネット型のニューロモーフティック・チップを開発中だ。同プロジェクトには米IBMのアルマーデン研究所やワトソン研究所、さらに米Hughes Aircraft社のHRL研究所などが参加している。

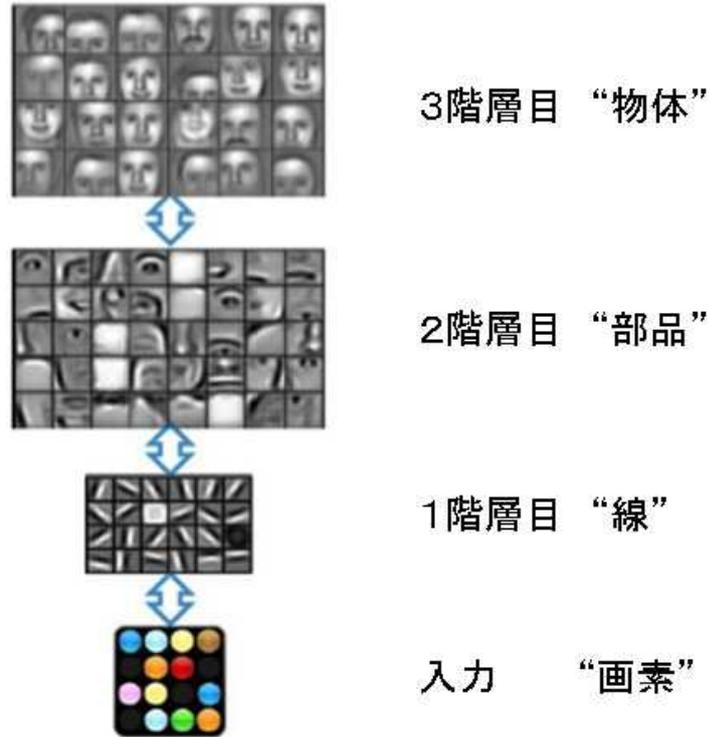
7 脳科学と融合するIT

これらは最近進んでいる、「ITと脳科学の融合」を示す格好の事例だ。かつてのニューラルネットはその呼称とは裏腹に、実際は数学的、工学的な技法の集積に過ぎなかった。つまりはITである。しかし2006年頃から、カナダのトロント大学教授、Geoffrey Hinton氏ら一群の研究者が、そこに脳神経科学の成果を本格的に導入し始めた。

その一例が「スパース・コーディング（Sparse Coding）」だ。これは「V1」と呼ばれる、脳の視覚野の認知機構をアルゴリズム化したもの。1996年にカリフォルニア大学デイビス校・准教授（当時）のBruno Olshausen氏が考案した（同氏は現在、カリフォルニア大学バークレイ校・教授）。

脳の視覚野は、目の網膜から伝達された映像情報を、ただ漠然と処理しているのではない。むしろ映像を構成する無数のピクセル情報の中から、物体を的確に認識するために本質的な特徴ベクトルを幾つか抽出し、これらを段階的に組み合わせることで、徐々に高次の概念を形成していく（図表2）。

【図表2】 スパース・コーディングの様子



（出典：” Tutorial on Deep Learning and Applications” , Honglak Lee, University of Michigan）

人間の脳が無意識に行っている、こうした高度な処理を、コンピュータでもやれるようにアルゴリズム化したものがスパース・コーディングだ。これをニューラルネットへと応用したものがディープラーニングだが、それは最初、画像認識において従来の性能を大幅に上回る成果を見せた。たとえば2012年、スタンフォード大学のアンドリュー・エン（Andrew Ng）准教授は、Googleと共同で「Google Brain」と呼ばれる巨大ニューラルネットを構築。これがYouTube上の大量動画を自動解析し、そこから「猫」のイメージを自力で描き出して世界を驚かせた（<http://googleblog.blogspot.jp/2012/06/using-large-scale-brain-simulations-for.html>）。このベースとなった技術がディープラーニングだ。

脳科学の世界には「One Learning Theory（たった一つの学習理論）」と呼ばれる仮説がある。それは「視覚野」、「聴覚野」、「感覚野」など、大脳皮質の異なる領域が実は同一の認知機構に従って動作している、とする仮説だ。これが正しければ、視覚野の認知機構に基づくスパース・コーディングは単に画像認識のみならず、たとえば聴覚、つまり音声認識など他の分野にも応用できるはずだ。

実際、ディープラーニングは「画像認識」や「音声認識」、さらには「新薬の開発」などにも高い性能を示すなど、かなりの汎用性を持っていることが確かめられた。

GoogleやFacebook、さらにはNetflixなど米国の主要IT企業がディープラーニングに強い関心を示すのは、そうした脳の持つ汎用性や柔軟性と、コンピュータならではの高速演算や大容量メモリを組み合わせた次世代AIに、無限の用途と将来性を感じ取っているからだ。

8 外界を認識してスムーズに動けるロボットも

それは彼ら大手IT企業だけではない。シリコンバレーの高級住宅街、レッドウッドシティの一角に本社を構える「Grok」は、大脳皮質の情報処理メカニズムに基づく独自のニューラルネット技術を開発するベンチャー企業だ。同社創業者の一人であるJeff Hawkins氏は、いわゆるPDA（携帯情報端末）の先駆けとなる「Palm Computer」の開発者として知られる。同氏はPDAビジネスの成功がもたらした潤沢な資金を使って、2002年に「レッドウッド神経科学研究所（Redwood Center for Theoretical Neuroscience）」を設立。ここに前述のOlshausen氏らを招き入れて共同で、脳神経科学の成果に基づくニューラルネットの研究開発を進めてきた。

ここで開発された技術を製品化するために設立されたのがGrokだ。同社が開発したニューラルネットは、ディープラーニングと同じくスパース・コーディングを採用している。が、両者の大きな違いは、Grokのニューラルネットがインターネット上を流れるストリーミング・データを処理できることだ。人間の脳は目や耳から流れ込んで来る情報を、（どこかに貯める前に）そのまま処理している。Grokのニューラルネットは、これと同じ仕組みで流れるデータを直に処理することができる。

同社は今年1月、このニューラルネットを使った機械学習システムを、アマゾン・ウェブ・サービス（AWS）の上で、クラウド型のサービスとして提供し始めた。当初の用途は、通信ネットワークなどの異常検知サービスから入る。これに次ぐ市場として期待しているのがロボット、特に「センサー・モーター統合（Sensor Motor Integration）」と呼ばれる分野だ。

人間の脳は目や耳から入った周囲の環境情報を素早く認識し、それに基づく行動へとスムーズにつなげることができる。これをロボットに当てはめると、各種センサーから入力された外界情報を認識し、制御系や駆動系システムへと滑らかにリンクさせることだ。これがセンサー・モーター統合だが、現在のロボットにはこれが最も難しい。

たとえば昨年12月、米DARPA（国防高等研究計画局）がフロリダ州の自動車レース場で催した「DARPA Robotics Challenge（DRC）」の予選競技会。原発の事故現場など危険な環境下で、自律的に作業をする高度な次世代ロボットの競技会ということで、世界的な関心を集めた。

しかし「壁にドリルで穴を開ける」「梯子を上る」など、実際に競技を行うロボットの動作は非常に鈍く、中には途中で止まったまま固まってしまうロボットが多数見受けられた。ロボット開発の専門家によれば、これはロボットが外界情報の認識処理に、膨大な時間を消費しているためだという。Grokはこうしたところに自分達の技術を使おうとしている。

「センサーで外界の情報を吸収し、そこから自律的に学んで行動できる機械（ロボット）は、これまで人類が想像すらできなかった全く新しい世界をもたらすだろう。ここに向けて多彩なアプリを開発してもらうために、今後、我々の技術をオープンソースとして開発者コミュニティに開放していく」（Grok, Chief Executive OfficerのDona Dubinsky氏）

このように脳科学の成果をAIに導入することは、実はかなり間近に迫った課題として受け止められている。Olshausen氏はそれを次のように説明する。

「たとえば（現在開発が進んでいる）自動運転車は、人間の脳とは別の仕方でモノを認識している。このやり方だと、仮に自動車のフロントガラスに蠅（ハエ）が止まっただけでも、それを小石のような重大な障害物として急停車してしまうかもしれない。蠅を蠅として認識するには、人間と同じ認識機構を導入するしかない。逆に言うと、そこまでの限り、自動運転車の実用化はできないだろう」

Olshausen氏は、自動運転車や自律的ロボットなどに、今後、スパース・コーディングのような脳神経科学の成果に基づく技術が導入されれば、急激に性能が向上すると見ている。

この分野をリードするのがGoogleだ。同社は昨年、前述のDRC予選競技会で首位にランクされた日本の「SCHAFT（シャフト）」や、米Boston Dynamicsなどロボット開発のベンチャー企業8社を、立て続けに買収して話題となった。Googleは脳科学に基づくニューラルネット技術を既に持っている。また現在、QualcommやDARPAが開発中のニューロモーフィック・チップにも多大な関心を寄せているはずだ。これらの技術を今後、既に関心したベンチャー企業の技術に応用して、次世代ロボットの開発で世界の先頭に躍り出るとは想像に難くない。

9 産業用ロボットからサービス・ロボットへ

これを迎え撃つ日本の現状はどうか？日本はこれまで、自動車の製造工場などで使われる産業用ロボットでは、世界で推定50%前後のシェアを占めてきた。が、先進国では、産業用ロボットの市場自体が頭打ちとなりつつある。こうした中、日本のロボット・メーカーは、中国や東南アジアなど新興国市場に活路を見出そうとしている。

これに対しGoogleをはじめとする米国勢は、従来の産業用ロボットは潔く諦め、これとは異なる「サービス・ロボット (Service Robot)」と呼ばれる新規分野の開拓に乗り出している。これは文字通り様々なサービスに従事する次世代ロボットだ。たとえば軍事用の無人航空機・戦車・潜水艦などが、それに当たる。あるいは農産物収穫用のロボット、さらには医療・介護用ロボットなどもそうだ。

また企業や一般コンシューマ向けには、遠隔地での会議などに出席する代理ロボット、床掃除や窓清掃、芝刈りなどを行う家庭用ロボット、あるいは室内の温度や湿度を自動的に調節するスマートホーム技術、さらには教育・娯楽用のロボットなど極めて広範囲に及ぶ。

これらサービス・ロボットの市場は今、漸く立ち上がりつつあるところで、その市場規模は産業用ロボットとは比較にならない程小さい。しかし今後、様々な業界や社会の隅々にまで浸透することで、将来的には大きな市場になると予想されている。

これについて、日本の大手ロボット・メーカーから米スタンフォード大学のロボット研究室に派遣留学している、ある日本人研究者は次のように見ている。

「従来の産業用ロボットでは、日本とドイツが断トツで強い。しかし今、ロボット業界における最大のテーマは、次の新しいアプリケーションを探すこと。たとえば家庭用やオフィス用など、今までと違う領域に展開していこうとしているが、そこでのクリエイティブな発想では米国の方が進んでいる」

家庭やオフィス、さらに社会の隅々で働くサービス・ロボットには、従来の産業用ロボットとは異なる能力が求められる。スポット溶接やアーク溶接など定型的な作業を繰り返し行う、産業用ロボットには精密な制御系や駆動系の技術が求められた。これに対し、クリーニング店で洗濯物を畳むようなロボットを考えた場合、もっと人間に近い柔軟で器用な動作をするための高度な認識系の技術が必要とされる。

たとえば、これまでのロボットに使われてきたマシン・ビジョン技術では、作業台の上に、きちんと広げられたセーターと、くしゃくしゃと折り畳まれたセーターが同じものとは認識出来ない。台に置かれた際の形状が全く違うからだ。たとえ形は違っても実は同じものであると認識するためには、ロボットにディープラーニングやニューロモーフィック・チップのようなAI技術を搭載する必要がある。

一般人から見ればロボット工学とAIは近い分野のようにも思えるが、実際はこれまで異なる研究領域と見られてきた。ロボット研究者は大学では機械系や制御系、一方AI研究者はコンピュータ・サイエンスなど情報科学系の学科を専攻する。つまり学んできたことが全然違うので、企業に入ってから両者を隔てる壁は意外に厚い。ロボット・エンジニアがAIのことを全然知らないというケースも珍しくないと言われる。

これに対しスタンフォード大など米国の先端大学では、ロボット（ハードウェア）とAI（高度ソフトウェア）を統合する動きが進んでいる。たとえば現在、Googleで自動運転車の開発を進めるSebastian Thrun氏、同じくGoogleで大規模ニューラルネットを開発したAndrew Ng氏らは、いずれもスタンフォード大学でAIとロボット工学の両方を研究してきた。このようにAIと組み合わせた新たなロボットを開発しようというのが、今、シリコンバレーで生じつつある新たなロボット産業の潮流だ。

ここ数年、そのリーダー格と目されていたのが、スタンフォード大学出身の研究者が中心になって起業した「Willow Garage」というベンチャー企業だ。彼らは「ROS（Robot Operating System）」と呼ばれる基本ソフトを開発し、これを各種サービス・ロボットに搭載される業界標準OSにしようと、無料で一般公開してきた。

同社は登記上は現在も存在するが、事実上は昨年、内部分裂を起こして、幾つかのロボット・ベンチャー企業へと分かれてしまった。これらを買収したのがGoogleなのだ。従ってGoogleは今後、Willow Garageの野望を受け継いで、新たなロボット産業における業界標準OSの開発に乗り出す。このOSを、同じく昨年買収した日本のSCHAFTや米Boston Dynamicsなどの技術と組み合わせ、様々な業界で活躍するサービス・ロボットを開発すると見られている。

ニューヨーク・タイムズやウォールストリート・ジャーナルの報道によれば、Googleが最初にそうした次世代ロボットの投入を目指している分野は、意外にも自動車や電機など製造業であるという。こうした業界の工場では従来の産業用ロボットが何台も稼働しているが、一方で製品の組み立て作業など未だに人手に頼っている工程も残されている。ここに人間の労働者を代替する、あるいは人間と共同作業できる器用なサービス・ロボットを投入すると見られている。まずはここから入って、いずれは流通業や小売業、宅配業などサプライ・チェーン全域へとロボット市場を拡大していく腹積もりだ。

日本のロボット・メーカーからスタンフォード大に派遣留学した、前述の日本人研究者はこれに危機感を募らせる。

「日本のロボット業界関係者は恐らく、中国市場の次は東南アジア市場に（従来型の産業用ロボットを）売れば良いと考えている。しかし、その流れが終わったとき、先進国で普及し始めているのはGoogleなど米国勢が今後開発する新型ロボットになっている。日本のロボット・メーカーがそれに対応できなくなっていたら、もう後がない。Googleは我々にとって脅威としか言いようがない」

10 日本企業はどうしたらいいのか

AIや次世代ロボットで先行するGoogleら米国勢に遅れをとるまいと、日本の科学者たちも動き出している。東京大学、産業技術総合研究所、そして富士通研究所の

研究者らは昨年12月、「全脳アーキテクチャ勉強会」を立ち上げた。これはディープラーニングのように、ITと脳神経科学を融合させた新しいAIを開発するための勉強会。第2回目の会合には、200人以上の研究者やIT業界関係者が集ったが、今年も継続する予定だ。主催者の一人はその目的をこう語る。

「日本は、ディープラーニングの源流『ネオコグニトロン』を考案した福島邦彦氏（元NHK放送技術研究所研究員）のように、ニューラルネットの分野では昔から優れた人材を輩出してきた。その後を継ぐ人材を育成するために、この勉強会を立ち上げた」（産業技術総合研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・主任研究員の一杉裕志氏）

ここからも窺えるように、日本は1980年代にニューラルネットの基礎研究で世界をリードしていた。しかし当時のコンピュータの処理速度の限界などから、ニューラルネットの性能は実用化のレベルに到達しなかった。このため研究者の多くはその後、戦線離脱し、結果的に米国に遅れをとってしまった。

これはいまだに尾を引いている。特にディープラーニングなど最近成果をあげているニューラルネットについては、「表立って製品として出て来る段階には、日本の各企業はなっていない。どの会社も未だ研究段階だと思う」（Preferred Infrastructureのリサーチャー、得居誠也氏）

Preferred Infrastructureは東京都文京区に本社を構えるベンチャー企業。情報科学専攻の学生らを数多く採用して、クラウドや機械学習など最先端のシステム技術を短期間に開発し、各業界の企業に提供するビジネスを展開している。同社も最近、ディープラーニングの研究開発に着手したところだ。

「これ自体は非常に新しい技術なので、日本企業も今、研究開発を始めれば十分間に合うと思う。と言っても、世界のマス（総人口）を相手にするGoogleと真正面から対抗するよりは、まずは日本市場に適したアプリケーションを考えることから入るべきだ」（得居氏）

そうは言っても、結局はGoogleと競合する機会は生まれてくるだろう。そのリスクをとっても、日本企業は敢えてディープラーニングに挑戦する価値はある。その重要性をAI専門家は次のように力説する。

「ディープラーニングの最大の特徴は、ある問題における変数を人間に代わって見つけてくれること。要するにコンピュータが大量データの中から、『これが重要だ』というポイントを発見してくれる。この『何かに気付く』という能力こそ、これまでのAIに欠如していたものだ。この限界を突破したことでディープラーニングは、（従来のAIに比べて）一挙に応用範囲が広がった」（東京大学工学系研究科・総合研究機構・准教授の松尾豊氏）

松尾氏はディープラーニングのような先端ソフト技術が、意外にも電機メーカー

など日本の製造業復活にも貢献できると考えている。

「たとえばウェブ上のビッグデータから消費者の要求を吸い上げてみてはどうか。ビッグデータは目的をはっきりさせることが重要だ。特にメーカーの場合、最終的には『何を作るのか』というところに結び付けないと意味がない。そこでディープラーニングのような（消費者が本当に欲しがっているものに）気付く能力を備えた機械学習技術が必要になる」（松尾氏）

日本の産業界は長年、ハードウェアの製造、いわゆる「モノづくり」は得意だが、ディープラーニングのようなソフトウェア開発は苦手と言われてきた。しかし一概にそう見なすのは早計との指摘もある。

「一口にソフト開発と言っても、その範囲は広い。確かに（MS Windowsのような）基本ソフトの開発では、日本企業は世界に太刀打ちできないだろう。しかしAIのような高度ソフトウェアでは、日本は意外に進んでいる。特に（AIの一分野である）意思決定システムは、日本発の技術とっていいと思う。日本にはそうした土壌があり、今後はこの上に新しい技術を育てていくことも可能だ」（筑波大学・システム情報系・情報工学域・教授の酒井宏氏）

ディープラーニングのベースとなる脳科学と情報科学の融合領域は最近、「計算論的神経科学（Computational Neuroscience）」と呼ばれる。酒井氏や前述の一杉氏は、この領域に属する研究者だ。ここは今、非常に注目されているが、両方の分野に精通した専門家は世界的にも少ない。特にディープラーニングのような、最新のニューラルネットを構築できる技術者の多くは未だ大学院生と言われる。Googleがほとんど実績のない「Deep Mind」のようなAIベンチャーを高額で買収したのも、こうした分野の若手技術者を青田刈りする目的からだった。

筑波大の酒井氏は、日本でも早急にこの分野の人材育成を図る必要があると訴える一方で、それを取り巻く問題も指摘する。

「私の研究室の大学院生を見る限り、日本の情報科学系の学生は本当に優秀だし、良く働く。それなのに・・・」と酒井氏は言葉を濁す。それなのに、なぜ企業に入ると伸び悩んだり、持っている力を発揮できないのか？また、なぜ優秀な学生ほどGoogleなど外資系企業に入ろうとするのか？

もちろん、それが悪いと言うわけではない。しかし、かつてのエレクトロニクスのような日本の基幹産業を再び立ち上げるためには、若手技術者がやる気と力を発揮できる環境へと、日本の企業風土を変えていかねばならない。またスタンフォード大学とGoogleの関係のように、大学など研究機関と企業との人材交流を促進する必要もあるだろう。今、巻き起こりつつあるAI革命は、実はもっと根本的な諸課題を日本の産業界に突き付けている。

【執筆者プロフィール】

氏名：小林 雅一（こばやし まさかず）

所属：KDDI総研

専門：メディア・IT・コンテンツ産業の調査研究

経歴：東京大学大学院理学系研究科を終了後、雑誌記者などを経てアメリカに留学。ボストン大学でマスコミ論を専攻し、ニューヨークで新聞社勤務。慶應義塾大学メディア・コミュニケーション研究所などで教鞭をとった後、現職。

主な著書：

『クラウドからAIへ アップル、グーグル、フェイスブックの次なる主戦場』（朝日新書）

『日本企業復活へのHTML5戦略』（光文社）

『スマートフォンのすすめ—手のひらのクラウドで未来を生きる』（ぱる出版）

『ウェブ進化 最終形 「HTML5」が世界を変える』（朝日新書）

『モバイル・コンピューティング』（PHP研究所）

『社員監視時代』（光文社ペーパーバック）

『欧米メディア・知日派の日本論』（光文社ペーパーバック）

ほか多数。