



自律的ロボットで「モノづくり」を制覇したいGoogle ——そのベースとなる「AI（人工知能）」の現状と日本企業の取り組み

執筆

KDDI総研 特別研究員 小林 雅一

🕒 記事のポイント

昨年、世界的な話題となった自動運転車や米DARPA（国防高等研究計画局）の災害対策ロボットなど、ほとんどSFと見紛うばかりのインテリジェント・マシンが今や現実のものとなりつつある。その背景にあるのが、「AI（人工知能）」と呼ばれる古くて新しい技術だ。1950年代に研究開発が始まったAIは、その後「AIの冬」と呼ばれる長い低迷期を経て、今、統計・確率的な手法や脳・神経科学の最新成果を導入することで、本当に使える技術として産業界の表舞台に再登場しつつある。

サマリー

Appleの音声アシスタント「Siri」やGoogleの「音声検索」、「自動運転車」など、既にAIは私達の身の回りにあるコンシューマ製品に次々と導入されている。それに留まらず、Googleは今後、AIを搭載した自律型ロボットによって工場における製造ラインや、物流・配送システムなどの合理化も図ると見られる。こうしたAI応用の最前線と現代AIの原理、さらにAIに対する主要企業の取り組みや日本固有の状況などを詳しく紹介した後、今後の行方を展望する。

主な登場者

Google Andy Rubin DARPA（国防高等研究計画局） SHAFT Amazon.com IBM
Judea Pearl Apple Thomas Bayes Microsoft 富士重工業（スバル） Qualcomm

キーワード

DARPA ROBOTICS CHALLENGE（DRC） ヒューマノイド（人型ロボット） 人工知能 AI（Artificial Intelligence） 自動運転車 ITS（高度道路交通システム）
iPhone Siri セマンティック検索 Watson Deep Blue 機械学習（Machine Learning）
カルマン・フィルター（Kalman Filter） ベイズ定理（Bayes Theorem, Bayes Rule）
ニューラル・ネットワーク（Neural Network） ディープラーニング（Deep Learning）
ニューロモーフィック・プロセッサ（Neuromorphic Processor）

地域 米国 日本 世界

Title	New Developments in Artificial Intelligence (AI): Google Wants to Revolutionize the Manufacturing Industry with Autonomous Robots
Author	KOBAYASHI, Masakazu (Research Fellow, KDDI Research Institute)
Abstract	<p>In 2013 a self-driving car and disaster-relief robot drew much public attention, making us realize that such science fiction-like intelligent machines will soon become reality. Behind these developments is Artificial Intelligence, or AI, which is a kind of old and new high-tech.</p> <p>Basic research of AI began in the 1950s, before soon hitting a hard wall and experiencing some long and severe setback periods, the so-called “AI Winter.” But AI has made a come back recently by introducing a probabilistic/statistical approach and up-to-date neural-and-brain science research, which has now made AI a very pragmatic and convenient technology.</p> <p>For example, Apple’s virtual assistant “Siri” and Google’s voice search function, i.e. consumer products, are all using such new forms of AI technologies. Beyond that, Google is reported to be preparing to enter the manufacturing and distribution industry with autonomous robots that have AI installed. The company is aiming to revolutionize these industries by saving labor on the production line in factories and in the distribution process of products. This report investigates the frontline of such AI usage, and explains the mechanism behind current AI technology, as well as looking into prospects for the technology in the near future.</p>
Main players	Google Andy Rubin DARPA SCHAFT Amazon.com IBM Judea Pearl Apple Thomas Bayes Microsoft Fuji Heavy Industry(SUBARU) Qualcomm
Keywords	DARPA Robotics Challenge (DRC) Humanoid Artificial Intelligence Self-Driving Car ITS (Intelligent Traffic System) iPhone Siri Semantic Search Watson Deep Blue Machine Learning Kalman Filter Bayes Rule Neural Network Deep Learning Neuromorphic Processor
Region	World

1 Googleがロボット・ベンチャーを次々と買収

米Googleが最近、自分で判断して器用に動くことができる、高度な次世代ロボットの開発に着手した。この開発プロジェクトの中心人物は同社の技術担当副社長、Andy Rubin氏。かつてスマートフォンやタブレットに搭載される基本ソフト（OS）「Android」を開発し、それを世界的なモバイルOSへと育て上げた立役者だ。

米New York Times紙によれば、Rubin氏は2013年3月、社内の事情でAndroid事業の担当を離れたが、その後、Googleの共同創業者Larry Page氏（現CEO）とSergey Brin氏らを説得し、ロボット開発事業のために多額の予算を引き出したという（具体的な金額は不明）。

このお金を使ってRubin氏は、昨年中盤から米シリコン・バレーを中心に、生きのいいベンチャー企業を次々と買収し始めた。その数は半年余りの間に8社にも上ったが、いずれもヒューマノイド（人型ロボット）や器用に動くロボット・ハンドなどを開発する新興メーカーだ。

この中には日本メーカーの「シャフト（SHAFT）」も含まれる。同社は元々、東京大学情報理工学系研究科・情報システム工学研究室からスピンアウト（分社化）したロボット・メーカーで、現在は福島第一原発の事故現場など危険な場所で、人間に代わって作業するヒューマノイドを中心に開発している。

GoogleによるSHAFT買収が明らかになったのは2013年12月初旬。その約2週間後、SHAFTは米DARPA（国防高等研究計画局）が主催する、災害対策ロボットの開発コンテスト「DARPA ROBOTICS CHALLENGE（DRC）」の予選競技会に出場し、見事首位に輝いた。2014年12月に開催予定の本戦に向けて、優勝の最有力候補に躍り出たと言える。

DRCが目指すのは、AI（人工知能）を搭載することによって、人が無線で遠隔操作しなくても、基本的に自分で判断して動けるロボットの開発だ。なぜ、これが必要かという点、たとえば原発事故では、建屋の厚い壁や空気中の放射線などが通信用の電波を妨害するので、無線による遠隔操作が難しくなるからだ。このため、ロボットが自律的に作業することが必要になる。

2013年12月の予選競技会では、会場となったフロリダ州マイアミの自動車レース場に、あらかじめ原発の事故現場などを想定して作られた各種の競技場が設けられた。そこに出場したのはSHAFTのようなヒューマノイドが多かったが、中には四足動物のような奇妙な姿のロボットもあった。

いずれも米マサチューセッツ工科大学（MIT）や韓国先端科学技術研究所など、世界有数の大学や研究機関が開発したものだ。これらロボットたちは、「自動車を運転して現場まで行く」「散乱した瓦礫を踏み越えて建屋まで歩く」「建屋の壁にドリルで穴を開ける」など8種類の競技をこなし、審査員の評価による得点を競った。

まだ予選段階ということもあり、各種競技に出場したロボットたちは、いずれも完全に自分で動くことはできず、基本的には離れた場所にいるオペレーター（つまり人間）がリモコン操作した。ただしオペレーターとロボットを結ぶ無線通信は、競技会の主催者であるDARPAが時折、意図的に妨害するので、リモコン操作できない時間帯が発生する。この際にはロボットが自律的に動くことが求められる。

動画投稿サイト「YouTube」にアップされた予選競技会の様子^(脚注)を見ると、出場したロボットたちの動きはいずれも非常に鈍かった。中には川辺のワニのように、動いたと思ったら止まってしまう、そのまま、いつまで経っても動かない不気味なロボットも見受けられた。そうした中であって、首位にランクされたSHAFTの人型ロボットは比較的卒なく8種類の競技をこなしたが、それとて動作はぎこちなく、その背中には転倒を防ぐための命綱がつけられていた（ロボットの重量は今のところ数百キロ・グラムと非常に重いので、転ぶと壊れてしまうのだ）。

これを見る限り、事故現場などで縦横無尽に活躍する、本格的な災害対策ロボットには程遠いという印象を受ける。が、だからと言って、こうした試みを侮ることはできない。なぜならDARPAが主催する、この種の開発コンテスト（競技会）には、スロー・スタートながらも最終的に大成功した前例があるからだ。

それは今、世界的な話題となっている自動運転車の開発を競った「Darpa Grand Challenge」だ。このレースは2004年と2005年の2回に分けて実施された。まず2004年の予選レースでは、米国南西部の砂漠に設けられた約100キロのコースを完走した自動運転車はゼロ。いや、完走どころか、スタートしたと思ったら、すぐに止まったり、途中で壊れてしまうロボット自動車が続出した。

この結果を見た誰もが「自動運転車なんて所詮はSF。実現できるはずがない」と思った。ところが翌年開催された2回目のレース（最終競技会）では、200キロ以上に延長されたコースを5台の自動運転車が見事完走した。この時、優勝したスタンフォード大学チームの「Stanley」は、現在のGoogle自動運転車のベースとなっている。

つまり目標が余りにも大きいだけに1年目から期待するのは無理だが、逆にもう1年あれば、指数関数的に急激な進歩を遂げる。今回の災害対策ロボットについても、同じことが起きる可能性は十分あると見ていいだろう。

2 ロボット・メーカーを買収したGoogleの意図

さて問題は、このSHAFTをはじめ、新興ロボット・メーカーを次々と買収したGoogleの意図である。つまり「穴あけドリル」など人間の道具を使いこなせる器用



^(脚注) <https://www.youtube.com/watch?v=mwWm3HaDbnQ>

なAIロボットによって、Googleはこれから一体何をやろうとしているのだろうか？

これについて米New York Times紙が、昨年12月に興味深い記事を掲載している（“Google Puts Money on Robots, Using the Man Behind Android”^④（脚注））。それによれば、Googleは今のところロボット・メーカー買収の目的を公式には明らかにしていない。が、同紙のJohn Markoff記者がRubin氏に直接電話で話を聞いたところ、同氏は「いずれ製造業にAIロボットを投入する」ことを示唆したという。たとえば現在、家電製品を作る工場では、組み立て作業など、かなりの工程が人手に頼っている。ここに器用なAIロボットを投入することで、劇的な自動化・省力化を達成できるというのだ。

それが果たして人型ロボットになるかどうかは分からない。しかし現在の組み立て作業では、生産ラインに並んだ多数の労働者が両手を使い、ときに隣の人と目を合わせてコミュニケーションする事を考えると、こうした作業を代替できるロボットは両目、両腕を備えた、かなり人間に近い形のロボットになることは想像に難くない。

また同じ記事によれば、Googleは物流や宅配業などにもロボットを導入すると見られる。これは先を行く米Amazon.com（以下、Amazon）の動きに刺激されてのことだ。Amazonは既に数年前から、荷物を載せて移動する搬送用ロボットを自社の倉庫等に導入している。また最近では、配送センターから商品を直接消費者に届ける無人航空機（ドローン）の開発計画も明らかにした。

因みに、この無人機は人が無線で操作するのではなく、行き先を告げれば、自分で最適な飛行経路を探索して荷物を届けてくれるロボット航空機だ。つまりGoogleやAmazonなど米国の大手IT企業は今、商品の製造から管理、配送に至るサプライ・チェーンの全てを、そうした高度な自律型ロボットによって自動化することを目指しているのだ。

こういう話を聞くと「ロボットが人間の雇用を奪ってしまう」と反発する人も多いが、AmazonやGoogleの経営者らは、むしろ「製造から配送に至るまでの単調労働はロボットに任せて、人間はもっと創造的な仕事に従事すべき」という考え方の持ち主。つまり基本的な哲学の違いなので、この辺りをいくら議論しても平行線をたどる。とにかく彼らはそういう世界を実現したいのだ。

このような考え方は、特に日本の製造業と対照的だ。これまで日本は、トヨタ自動車の「カイゼン」や「カンバン方式」に代表されるように、生産工場や物流現場の従業員が自主的に様々なアイデアを出し合い、作業の効率性や精度を高めることによって、世界に誇る製品やサービスのクォリティを達成してきた。つまり日本



④（脚注）

<http://www.nytimes.com/2013/12/04/technology/google-puts-money-on-robots-using-the-man-behind-android.html>

型の製造業は「ヒト（人間）」を中心に発達してきたが、今、米国のIT企業がやろうとしているのは、この「ヒト」の部分で「知的ロボット」で置き換えてしまうことなのだ。

同じことは恐らく、製造業だけでなく流通・宅配業など他の業種にも言えるだろう。つまり日本がこれまで得意としてきた、（どちらかと言えば労働集約的な）これらの業種を、GoogleやAmazonは彼ら好みの色に塗り替えようとしている。もちろん、彼らがそれを意識的にやっているかどうかは分からない。だが結果的に、彼らが今やろうとしていることは、人を中心とする日本型の産業モデルに挑戦状を突きつけることなのだ。

3 背後にあるのはAI（人工知能）

彼らが引き起こす変革の波は、工場や物流現場などに先駆けて、人々の日常生活にもひたひたと押し寄せつつある。ここ数年の間に、私達の身の回りに、ある種の知性を帯びた製品が目立ち始めた。たとえば「秘書のように問いかけに答えるスマホ」「自力で室内を移動してゴミを吸い込むロボット掃除機」「（人や障害物の直前で自動停止する）ぶつからないクルマ」、そして昨年、世界的な話題となった「自動運転車」など枚挙に暇がない。

これらの技術的バックボーンは、今、急激な発達を遂げつつある「AI（人工知能）」である。AIとは、「見る、聞く、話す、考える、判断して動く」など、人間の様々な知的能力を、コンピュータや各種マシン上で再現する技術。特にソフトウェア技術を指すことが多い。

つい最近まで、この「AI」と聞くと、「ああ、あの、昔から騒がれてるけど、いつまで経っても使い物にならない駄目な技術ね」と一笑に付す人が多かった。実際、1950年代に研究開発が始まったAIは、1980年代の日本における「第五世代コンピュータ計画」（詳細は後述）など、これまで何度か大きな注目を浴びながら、結局は期待外れに終わり、その後は「AIの冬」と呼ばれる長い低迷期が続いた。

ところが21世紀が幕を開ける前後から、この「駄目なAI」が見違えるような変身を遂げ、あちこちで目覚ましい成果を挙げ始めた。たとえば1997年にIBMが開発したAIスパコン「Deep Blue」は、当時のチェス世界チャンピオン、ガルリ・カスパロフ氏を破った。また2011年に同じくIBMが開発した「Watson」は米国の人気クイズ番組「Jeopardy」に出演して、歴代チャンピオン（もちろん人間）を相手に勝利を収めた。

日本でも昨年3月、将棋電王戦に出場したコンピュータ・ソフトが強豪のプロ棋士チームに勝ち越している（ただし、同チーム・メンバーの一人、船江恒平五段は昨年大晦日のリベンジマッチでパソコンに搭載された将棋ソフト「ツツカナ」に雪辱を果たした）。他にも、何十年も解けなかった数学の難問を証明したソフトなど、最

近のAIの発達には目を見張るものがある。これが今、私達の日常生活から工場生産、物流システムにまで拡大し、社会全体がインテリジェント化される方向に進み始めたのだ。

4 停滞していたAIが急成長を遂げた理由

それでは、AIはなぜ今、長い低迷期を脱して、急に進化し始めたのか？そのブレーク・スルーをもたらしたのは、「ルール・ベースの手法」から「統計・確率的な手法」への転換である。1950～80年代までのAIは、もっぱら人間の知的活動を司る様々なルールを、コンピュータに移植することで作られてきた。たとえばAIの一種である機械翻訳の場合、コンピュータに「文法（言語のルール）」を植え付けることで、英語から日本語のような翻訳をやらせようとした。

しかし杓子定規に文法を適用するだけでは、普段、人間同士の会話で使われる様々な比喩やニュアンスなどが全く理解できない。これは一例に過ぎないが、一般に1980年代までのAIが壁にぶつかったのは、こうしたルール・ベースAIの限界が認識されたためだ。つまりルールでガチガチに固められたAIは融通が利かず、現実世界ではほとんど使い物にならなかった。

そこで厳格なルールに代わって、もっと柔軟な統計・確率的な考え方がAIに導入された。これによって、数多くの例外や突発的事態が発生する現実世界にも柔軟に対応できるようになった。その代表格である「ベイジアン・ネット (Bayesian Network)」がUCLA（米カリフォルニア大学ロサンゼルス分校）のJudea Pearl教授によって考案されたのは1980年代後半。当初はアカデミックな世界に埋もれていたが、1990年代に入ると、徐々に産業界へと浸透し、実用化の段階に入った。

この背景には、いわゆる「ビッグデータ」の登場がある。ビッグデータとはワールド・ワイド・ウェブのようなサイバー空間や、我々が実際に生きている現実世界などに、日々蓄積されていく大量のデータを指す。

たとえばウェブ上に世界中から寄せられる大量の文書や検索キーワード。あるいはフェイスブックやツイッターなどに投稿される無数のコメントや写真。また現実世界では、様々な企業の業務用データベースに蓄積される顧客情報。あるいはコールセンターに日々寄せられる問い合わせや苦情の電話、さらには社会各所の監視カメラで撮影される映像や多種多様なセンサーによって計測されるデータ。これらが大量に蓄積されたものがビッグデータである。

これと同時に、「ムーアの法則」に従うCPU（中央演算プロセッサ）の高速化、そしてメモリや通信コストの急激な低下なども効いている。つまり「統計・確率的なAI」には大量のデータと、それを高速に処理するプロセッサや有り余るほどの記憶・通信容量などが必要だ。これらが近年、急速に整備されたことにより、「統計・確率的なAI」が実用化されるための、お膳立てが整ったのだ。

これを真っ先に活用したのが「Deep Blue」や「Watson」を開発したIBMであり、さらにコンシューマ製品にまで応用したのがAppleやGoogleなど米国を代表する大手IT企業である。たとえばAppleの音声アシスタント「Siri」やGoogleの「音声検索」「自動運転車」などは、いずれも、この統計・確率的なAI手法に立脚している。

5 自動運転車の動作原理は「ベイズ定理」

この「統計・確率的なAI」とは、具体的にどんな仕組みなのか？その感触を知って頂くために、自動運転車を例にとりて説明しよう。自動運転車は、その天井やバンパー付近など各所に、レーザー・レーダーやミリ波レーダー、ビデオ・カメラなど各種センサーが取り付けられている。それはいわば、クルマの「目」や「耳」に当たるものだ。

これらセンサーが計測した各種情報、つまり「目」や「耳」から入ってくる周囲の情報を処理し、クルマの進路変更や障害物の回避など知的な情報処理を行うのが、自動運転車の頭脳にあたるAI（人工知能）、つまり高度ソフトウェアの役目だ。

特に重要なのは、周囲の歩行者や障害物、あるいは脇を走る別のクルマなど、「様々な移動体の場所」を正確に把握することだ。これは「カルマン・フィルター（動的ベイジアン・ネット）」と呼ばれる手法によって実現されている。

カルマン・フィルター（Kalman Filter）は、18世紀に英国の牧師Thomas Bayesによって考案された「ベイズ定理（Bayes Theorem, Bayes Rule）」と呼ばれる確率理論を、ロボット工学に応用したものだ。つまり自動運転車の原理（ひいては統計・確率的AI全般）を理解する上で、本質的に重要なのはベイズ定理なのだ。

ベイズ定理は昨今、「ベイジアン・フィルター（Bayesian Filter）」のような迷惑メールの除去ソフトなどに使われていることで知られるが、その潜在能力は実はそんなものとは比較にならないほど大きい。ベイズ定理は自動運転車のみならず、Appleの音声アシスタント「Siri」やGoogleの意味理解検索エンジン「Semantic Search」など、現在、商品化されている様々なAI製品のベースとなる基本理論なのだ。この重要性に、いち早く気付いたMicrosoft創業者のBill Gates氏は、早くも2001年に「これからのAIはベイズ理論によって生まれ変わる」と予想している。

ベイズ理論の基礎となるベイズ定理は、次のような、たった1行の数式で表現される。

$$P(B|A) = \frac{P(A|B)P(B)}{P(A)}$$

この数式を少し書き直すと、次のようになる。

$$P(B|A) = (P(A|B) \div P(A)) \times P(B)$$

この式の右辺にあるP(B)は「事前確率 (Prior Probability)」、左辺にあるP(B|A)は「事後確率 (Posterior Priority)」と呼ばれる。また、右辺には(P(A|B)÷P(A))という別の項もある。これは若干複雑な項だが、非常に簡単に言ってしまうと、「何らかの実験、測定、あるいは観測などによって、私達にもたらされた新しい情報 (つまり実験や測定の結果)」を意味する。従って上のベイズ定理を、純粋な数式ではなく、敢えて普通の言葉に近い形に書き直すと、次のようになる。

$$\text{事後確率}^{\text{㊦}} \text{ (脚注)} = (\text{実験・測定・観測などの結果}) \times \text{事前確率}$$

これをさらに噛み砕いて説明すると、次のようになる。つまり、「まず最初は『いい加減』というか、かなり適当に決めた不正確な確率 (事前確率) から出発し、これを何らかの実験や測定、観測などによって、もっと正確な確率 (事後確率) へと改良していこう」という考え方だ。

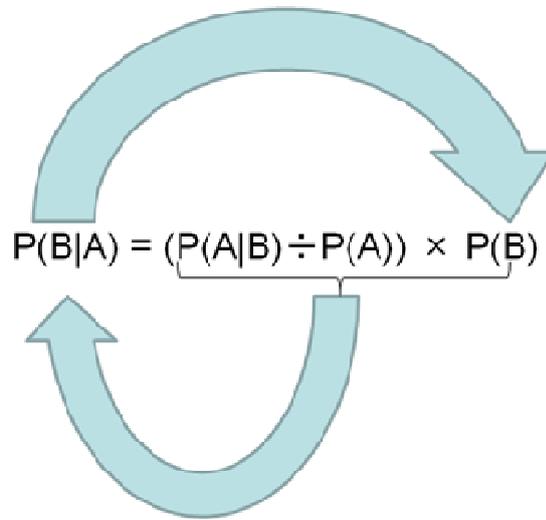
これを実践しているのが自動運転車に搭載されている「カルマン・フィルター」なのだ。カルマン・フィルターでは、ミリ波レーダーやレーザー・レーダー、ビデオ・カメラなど各種センサーを総動員して、まずは自分の周囲にいる歩行者や障害物、他のクルマなどを検知し、ここから、それら移動体の存在位置を確率的に算出する。しかし最初、たった一回計測しただけでは、移動体の居場所を正確に把握することは不可能だ。つまり移動体の場所を特定する事前確率は、最初は極めて精度の低い値になる。

しかし、ここからが本当の勝負になる。自動運転車は、自らに搭載された高性能のプロセッサとセンサーをフル稼働し、目にも止まらぬスピードで周囲にある移動体の場所を繰り返し計測し、その度毎にベイズ定理を適用することで、最初は精度が悪かった確率をどんどん精度の高い確率へと改良していく。もう少し噛み砕いて言うと、「ベイズ定理によって一旦得られた事後確率 (左辺) を右辺にもっていき、今度はこれを新たな事前確率として、そこに再度ベイズ定理を適用して次なる事後確率を得る」といった再帰的 (循環的) 作業を毎秒何百万回というペースで繰り返すのだ。(図表1)。



[㊦] (脚注) 「事後確率」の「事後」とは、「実験・測定・観測」などを行った後のことを意味する。

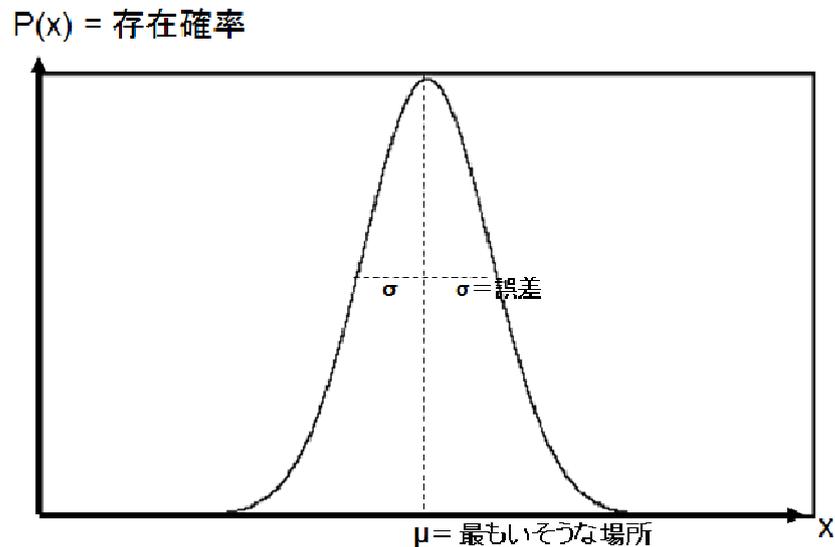
【図表1】 ベイズ定理は繰り返し、循環的に適用される



$$P(B|A) = (P(A|B) \div P(A)) \times P(B)$$

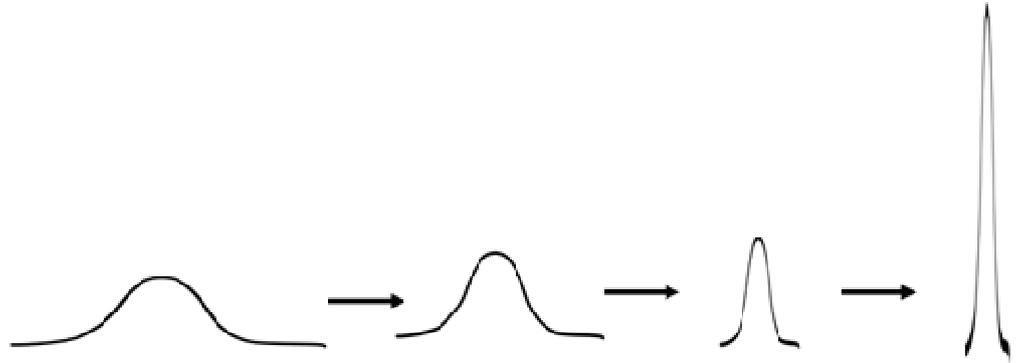
この様子をもう少し直観的に表現するためには、移動体の存在位置を示す確率分布曲線が必要になる。カルマン・フィルタでは「正規分布」、あるいは「ガウス曲線（Gaussian）」などと呼ばれる釣鐘型の曲線を採用する（図表2）。ここで μ （平均値）が移動体の最もいそうな場所を表し、 σ がその誤差を示す。

【図表2】 正規分布曲線



このガウス曲線は、最初は誤差が大きな、非常に平べったい形をしていたのに、各種センサーによる位置測定とベイズ定理の適用を繰り返すうちに、徐々に鋭いカーブへと移り変わって行き、最終的には、まるで針のようにシャープな曲線になる（図表3）。

【図表3】 カルマン・フィルターの原理



センサーによる位置測定とベイズ定理の適用を繰り返すことで、誤差を徐々に収束させて、移動体の位置を正確に把握する

このようにして得られた鋭いガウス・カーブの中心にある μ （平均値）が、自動運転車の周囲を動く移動体の存在位置となる。これは、ほとんど誤差（ σ ）を持たない、非常に正確な位置情報なので、これに従って動けば自動運転車は周囲の人や物にぶつかることなく、安全に移動することができる。以上がカルマン・フィルターの原理だ。

カルマン・フィルターのよう統計・確率型のAIは、ビッグデータを機械学習で消化して、より強く賢いものへと成長する。つまり競争相手よりも先に、より多くのデータを食べたAIは、相手のAIよりも大きく強くなる。これをほっておくと、強者と弱者の差がどんどん開いてしまう。

Googleの自動運転車はこれまで50万マイル（80万キロ）以上の走行実験によって、既に大量のテスト・データ（ビッグデータ）を取得している。Volvoや日産自動車をはじめ世界の自動車メーカーが、ここに来て自動運転車の開発と走行テストを急ぐのは、先を行くGoogleに引き離されないためだ。

6 自動運転車とITSの微妙な関係

カルマン・フィルターのようやり方は、クルマが各種センサーからのデータを処理して自力で移動する、いわば「自律型の自動運転」である。しかし欧米や日本の自動車メーカーは、過去に違うやり方を試みたこともある。

たとえば「車道に磁気マーカーや磁気ネイルなどを設置して、これらに沿ってクルマを誘導しよう」という試みだ。つまり道路のような交通環境に、自動運転システムを組み込むという考え方で、言わば「環境依存型の自動運転」と言うことがで

きるだろう。

これは、先進各国の政府が進めてきた、いわゆる「ITS（高度道路交通システム）」の一環という位置づけにある。特に日本の自動車業界では、この傾向が強かった。日本のITSは国土交通省が主導してきたが、こうした官僚機構は本能的に中央コントロールを指向する。

つまりセンサーをつけたクルマが自律的に自動運転するよりは、交通管制センターが磁気マーカーなどに沿って、多数のクルマを誘導する方を好むのである。では一体、何のためにそんなことをするかというと、たとえば荷物を載せたトラックなどを自動で隊列走行させることで、渋滞の緩和や排ガス抑制などを考えていたようだ。

しかし、どちらのやり方が正解かと言えば、それは自律型の方である。なぜなら「環境依存型の自動運転」は、その環境を整備するために莫大な予算がかかるし、それを全国津々浦々に整備するのは事実上不可能だからだ。クルマは基本的に、どんな場所で使われるやもしれない。仮に自動運転の環境が整備された幹線道路から、そういった環境が整備されていない支道・裏道にクルマを走らせたとしたら、そこではクルマの制御が効かなくなってしまう。これは非常に危険だ。

これまで世界各国の自動車メーカーは、自律型と環境依存型に二股をかけてきたが、Googleの成功を目の当たりにした今では、基本的に自律型の方向へと舵を切った。ただし日本では、いまだにITSに固執する傾向が見られ、「自動運転は道路環境との協調で実現されるべき」との意見もしばしば聞かれる。

もちろんITSも過去に信号制御の高度化など大きな成果を上げているので、一概に否定されるものではない。しかし、こと自動運転に限っては、あくまでも自動車、つまり機械が自律的に判断するAIに頼る方が安全だ。

またコスト的に見ても、ITSには色々な産業分野から数多くの企業が関与してくるので、全体のインタフェースを合わせるのに、非常な手間とお金がかかる。今後、莫大な国家予算をかけて交通環境を過度にインテリジェント化するよりは、むしろクルマの方を知的にして、どんな環境にも対応できるようにすることが理にかなっている。

仮に自動運転とITSとの連携を図るとしたら、「クラウド経由でクルマに最新の交通情報を提供する」といった支援的な機能に限定すべきだろう。逆に言うと、「クルマを操作する」という自動運転の中核機能は、あくまでもクルマが自律的に行わなければならない。また改めて断るまでもないが、自動運転車の頭脳に当たるAIは、クラウド（サーバー）側ではなく車体そのものに搭載される必要がある。なぜならクラウド側にAIを搭載した場合、通信回線が切断されたときにクルマが自力で走れなくなってしまうからだ。

7 ソフト開発への苦手意識に悩む日本企業

さて、そうした自動運転車に日本の自動車メーカーはどう取り組んでいるか？これは一言で言うと「マチマチ」という表現が適切である。片や日産自動車のように「2020年には自動運転車を製品化したい」とする積極的なメーカーがある一方で、トヨタ自動車や米GM（General Motors）のように、「自動運転はあくまでドライバー支援システムの一環。かりにやるとしても高速道など部分的な自動運転に留める」とするメーカーもある。

このように積極派と慎重派が混在する中で、自動車業界全体に共通して言えることはGoogleとの微妙な関係だ。GoogleはこれまでモバイルOS（基本ソフト）の「Android」を無償で提供することにより、世界の携帯電話産業に強い影響力を持つようになった。今や端末開発の主導権を握っていると言っても過言ではない。

この携帯産業に続いて、今後、AIを搭載した車載OSを世界全体に普及させることで、自動車産業までもGoogleが支配するかもしれない。これを欧米や日本の自動車メーカーは警戒する一方で、車載OSのようなソフトウェアの開発では、とてもGoogleに敵わないという見方もしている（実際2014年初頭には、独Audi、米GM、ホンダ、そして韓国現代自動車の4社がGoogleと間で「Open Automotive Alliance（OAA）」を結成。今後、彼らの車載OSには、GoogleのモバイルOS「Android」を改造したものを採用することを表明した）。特に日本メーカーは、単にGoogleというより米IT企業全体に対して、強い苦手意識を抱いている。

これは日米間の歴史的背景に基づいている。1980年代までエレクトロニクスを中心に繁栄を謳歌した日本の製造業は、その後、デジタル技術とソフトウェア重視の姿勢を打ち出した米国に逆転された。特に日本の家電メーカーは、1990年代以降、パソコンではMicrosoft、インターネットではGoogle、スマホなど携帯端末ではAppleやGoogleの軍門に降った。

これらは全て、米IT企業が持つ優れたソフトウェア技術による支配だ。その究極形とも言えるAIによって、日本にとって最後の砦とも言える自動車産業、ひいては産業界全般の製造・流通プロセスまでも、米IT業界に主導権を握られてしまう恐れがある。

8 先端技術に関する官民連携はどうあるべきか

日本の産業界において、AIに関する過去の記憶は決して良いものではない。たとえば1980年代に当時の通産省が主導した「第五世代コンピュータ計画」がある。これは「高度な推論機能を備えたAIコンピュータを日本が独自開発する」という、壮大な産官学共同プロジェクトだった。

しかし第五世代コンピュータ計画は、当時主流であったルール・ベースのAI技術

に立脚していたため、思うような成果を出せず、総額570億円とも言われる巨費を投じた挙句、1990年代初頭に幕を閉じた。同プロジェクトに日本の主要電機メーカーは軒並み参加したが、この失敗を境に、彼らは繁栄から衰退の道へと転じた。

ここには二重の意味がある。一つは、いわゆる官民連携の見直しだ。かつて官民連携は日本経済が世界に伍していく上で最大の武器と言われたが、第五世代コンピュータの挫折はその限界を露呈した。これ以降、ソフトウェア開発の生産性を高める「シグマ計画」や国産検索エンジンの開発を目指した「情報大航海プロジェクト」など、巨額の国家予算を投じた官民共同プロジェクトは悉く、大した成果を上げることなく終わっている。

それは今や時代の流れにそぐわないのである。確かに第二次世界大戦直後の日本であれば、荒廃した国土やインフラを立て直すために、石炭産業や鉄鋼など重工業に予算を重点的に配分する傾斜生産方式は誰がどう見ても正解だった。こうした単純明快な政策であれば、中央官僚がリーダーシップをとって産業界を指導するやり方は理にかなっている。

しかし「ウェブ技術」や「AI（人工知能）」など最近の先端技術において、中央官僚が正確に現状を把握し、未来を見通せるかは非常に疑問である。彼らが計画する大型プロジェクトに多数の企業が参加する形の官民連携は、その方向性を誤ったときに非常にリスクなやり方なのだ。

今は違うやり方が求められている。最近では、富士重工業（スバル）の衝突回避システム「アイサイト」が恰好の事例だろう。アイサイトの開発チームは当初、社内での理解が得られず開発がとん挫しかけたことがある。そんな時、チームのメンバーが経済産業省による新規産業育成のための補助金制度があることを知り、これに応募したところ補助金を得られた。これによって当座をしのぎ、ついにはアイサイトの製品化に漕ぎ着けた。要するに技術開発の現場を知る企業側が主体になり、官僚機構はそのサポートに回るというのが、今、求められている官民連携の形なのだ。

9 AIなど高度ソフトウェア技術に産業界はどう取り組むべきか

第五世代コンピュータ計画がもたらした二つ目の影響は、AIのようなソフトウェア開発への消極的な姿勢だ。日本メーカーのソフトに対する苦手意識は、このとき以来のことで、いまだに尾を引いている。日本の製造業は現在まで、ソフトよりもハードを中心とする「モノづくり」を重視してきた。

最近の自動運転車にしても、日本の産業界はそこに搭載されている各種センサーのような部品、つまりハードウェア技術に注目する傾向がある。「モノづくりの得意な日本メーカーは、センサーに活路を見出そう」という姿勢だが、センサーのような部品をいくら改良したところで、それはいずれコモデティ化（均質化）してしま

う。

今のスマートフォン・ビジネスを見れば、それは明らかだ。液晶パネルのような部品をAppleに供給している日本メーカーは、AppleがiPhoneを減産した途端、工場の稼働停止に追い込まれる。完全に下請化してしまったのだ。この姿勢を今後とも続けられれば、パソコンやスマホばかりか自動車やそれ以外の業界まで、米IT企業の下請けと化してしまうだろう。

もちろん日本の「モノづくり」を否定しろ、というのではない。丹精込めた職人芸のような技術は、今後とも一つの強みとして守っていく必要があるだろう。しかし、そこに安住してしまえば、日本の未来はない。本当に重要なのは、自動運転車に搭載されるAIのような高度ソフトウェア、つまり次世代製品の頭脳部を押さえることなのだ。

日本の産業界、特に自動車産業を中心とするメーカーは今後、ソフトへの苦手意識を払しょくして、真正面からAI開発に取り組むべきだ。それは、現在の好機を逃さなければいけないはずなのだ。今、AI開発の最前線は単なる統計・確率的なアプローチを脱し、「ディープラーニング (Deep Learning)」や「ニューロモーフィック・プロセッサ (Neuromorphic Processor)」などと呼ばれる新しい領域へと移行しているからだ。

10 脳科学の最新成果を取り入れたAIの最前線

このうちディープラーニングとは、「機械学習 (Machine Learning)」と呼ばれる手法によって、コンピュータがこの世界の出来事から自力で学ぶための技術だ。これは「ニューラル・ネットワーク (Neural Network)」と呼ばれるAI (人工知能) の一種でもある。

ニューラル・ネットワーク (以下、ニューラル・ネット) とは、生物の脳の神経回路網を工学的に再現したシステムだ。たとえば人間の脳は、約1000億個にも上る「ニューロン (神経細胞)」と、それらが接合する部位である無数の「シナプス」からなる複雑なネットワークだ。脳は「見る」「聞く」「触る」「読む」など外界からの刺激に応じて、異なるニューロン間の接合の強さ (シナプス荷重) を変化させる。これは「ヘップの法則」と呼ばれ、私達の「記憶」や「学習」を司る基本的な仕組みだ。この仕組みを、コンピュータやロボットの内部で工学的に再現したものがニューラル・ネットである。

1950年代に研究開発が着手されたニューラル・ネットは長いこと、「使い物にならない」などと批判され続けたが、2006年頃に脳科学や神経科学の最新成果を本格的に導入し始めてから、ぐんぐん性能が向上し始めた。

もっとも、人間の脳やその認知機構は、現時点で全体像のごく一部しか解明され

ていない。この段階で、そうした脳科学の知見をコンピュータ（ニューラル・ネット）に応用するのは時期尚早との批判もある。ところが、そうした限定的な知見でも構わないから、実際に応用してみたところ、音声・画像認識などニューラル・ネットの性能が大幅に向上した。これが前述の「ディープラーニング」、あるいは「ディープ・ニューラル・ネットワーク（Deep Neural Network）」などと呼ばれる技術なのだ。逆に言うと、脳に関する限定的な知見でも、それほどの成果が上がっているのだから、今後、脳の全貌が明らかになるに連れ、それをどんどんコンピュータに応用していけば、途方もない成果が期待される。

一方、ニューロモーフィック・チップとは、このニューラル・ネットをハードウェア的に実現したものだ。これまでニューラル・ネットはソフトウェアとして実現されてきたが、それをシリコン・ウエハー（半導体）上の集積回路（ハードウェア）として再現したものである。これまでのニューラル・ネットでは、シナプス荷重の変化は単にソフトウェア上の数値計算に過ぎなかったが、これからのニューロモーフィック・チップでは（外界からの刺激に応じて）シナプス荷重が物理的に変化してしまう。驚くべき発明であると同時に、（後々の世代から見れば、非常に幼稚なものに見えるだろうが）黎明期の「人工頭脳」とでも呼ぶべきものだ。

ニューロモーフィック・チップは現在、米DARPA（国防高等研究計画局）がスポンサーとなった次世代プロセッサ開発プロジェクト「SyNAPSE」で研究開発が進められている。同プロジェクトには米IBMのAlmaden研究所やWatson研究所、さらに米Hughes AircraftのHRL研究所などが参加している。彼らは既にニューロモーフィック・チップの試作版を作り上げ、これを搭載したコンピュータに「Pong」のような初歩的ビデオ・ゲームをやらせている。このコンピュータは人間がゲームのルールを教えなくても、自分でルールを学んでプレーするようになったという。

また、このプロジェクトとは別に、米Qualcommは今年中にはニューロモーフィック・チップを製品化する予定と言われる。これら新世代のプロセッサは「哲学的な思索」や「意識を持つ」といった、いわゆる「強いAI（人間と同等の頭脳）」には程遠いが、「見る」「聞く」「触る」といった人間の基本的な知覚能力には相当近づいているようだ。

またビッグデータから自律的に学ぶ能力、いわゆる「機械学習」にも非常に長けている。自身の過ちからさえ学ぶことができるので、これからロボットを開発する科学者やエンジニアは枝葉末節のプログラミングは気にすることなく、ロボットに機械学習の能力さえ授けておけば、ロボットが幼児のように転んだり、色々な失敗を繰り返しながら、自分で自分を鍛えて成長していくことも可能と見られている。

本レポートの序盤で、「DRCで開発中の災害対策ロボットは動作が鈍く、現時点では、とても災害現場では使い物にならない」と指摘したが、今後、ニューロモーフィック・チップなどを搭載するようになれば、かなり短期間で実用的なロボットへと成長する可能性がある。

Microsoft創業者のBill Gates氏はかつて2004年に、「自ら学習するコンピュータを生み出すことは、マイクロソフト10社分の価値がある」と予想した。しかしディー

プラーニングやニューロモーフィック・チップなど、今、実際に起きつつあるのは、恐らくそれ以上のことだ。これらは単なる新技術というより、脳科学とコンピュータ・サイエンスの交わるところに生まれる、新たな科学領域と見ることができる。

1.1 今世紀を代表する科学技術になる

ここにGoogle、Apple、Facebook、IBM、Microsoft、Qualcommなど、米国の主要IT企業は軒並み巨額の資金と優れた人材を傾注している。しかし、この研究開発は最近、スタートしたばかりで、どの企業も事実上は横一線に並んでいる状況。従って日本企業は、今から参戦しても十分間に合うのだ。よく「日本はMS Windows（のような世界的ソフト）が開発できなかったら、高度なソフト開発には向いていない」といった意見が聞かれるが、そんなことを言っている場合ではないだろう。今、進んでいる事態は、パソコン用ソフトなどとは比べ物にならないほど、スケールの大きな科学革命であるからだ。

こうした科学史的な視点から今、振り返れば20世紀は量子物理学の時代だった。それは原子核や電子のようなマイクロ世界を解明するための新たな物理学として、20世紀初頭の欧州を中心に確立された。その将来性を見抜いた日本の科学者達は、早くから、この分野の研究と人材育成に力を注いだ。この結果、日本の量子物理は20世紀中盤を待たずして世界的な水準に達し、その後は素粒子や物性分野を中心に、ノーベル物理学賞・化学賞の受賞者を輩出した。

しかし見逃してはならない点は、そうした頂点を極めた人達のすそ野に形成される、研究者や技術者たちの分厚いレイヤーである。マイクロ世界を解明する量子物理学は、固体中の電子の挙動を（確率的ながらも）かなり正確に記述することができた。この成果をベースに、その後の半導体工学やエレクトロニクス産業が形成されていった。日本のエレクトロニクス産業が20世紀後半に繁栄したのは、20世紀初頭に量子物理学に注目し、この分野の人材育成に力を注いだお蔭だ。

翻って21世紀は、iPS細胞や神経科学、脳科学などライフ・サイエンスの時代になると見られている。これとコンピュータ科学が交わるところに生まれる新しい研究領域は、ちょうど20世紀の量子物理学のように、21世紀を代表する科学技術になるだろう。しかも進歩のスピードは今の方が圧倒的に速いはずだ。量子物理学が半導体工学を生み出すまでに半世紀を要したが、2006年に生まれたディープラーニングは既に、AppleのSiriやGoogle検索の性能を大幅に向上させるなど、目に見える成果を出し始めている。日本のハイテク産業が復活するためには、今すぐ、こうした分野の人材育成を図る必要があるだろう。

【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ス）

『欧米メディア・知日派の日本論』（光文社ペーパーバックス）

ほか多数。