

AIの汎用技術への進化と3つの波



長谷佳明

CONTENTS

- I AIと汎用技術
- II AIの最新動向
- III AIの汎用技術への進化
- IV やがて訪れる「3つの波」

要約

- 1 AIは蒸気機関や電気に並ぶ汎用技術となる兆候を示し始めている。また、既存のインフラの上に構築でき、自ら教師となり得るなど、過去の汎用技術と比べて急速に普及する可能性が高い。しかし、キャリア初期の若年層の雇用の減少やAIの悪用によるサイバー攻撃の高度化など、負の側面への対策が必要になる。
- 2 フロンティアモデル（最先端のAIモデル）は、モデルの巨大化と効率化が進んでいる。一方で技術の裾野は、大規模モデルによる「垂直統合」から小型高性能なオープンモデルを活用しAIと外部システム連携の仕様を標準化するMCPに支えられた「水平分業」へと広がりつつある。AIは公共性の高い「大きなAI」と生物のような多様性を有する「小さなAI」が連携する「AIのネットワーク化」の時代を迎えている。
- 3 AIの近年の進化は、コンピュータやインターネットがたどった歴史に酷似する。現在は、コンピュータがインターネットに接続した瞬間に近しく、AIはインターネットの「新たなユーザー」となり、AIのためのサービスが生まれようとしている。将来的には、フロンティアモデルの性能差は縮まり、コモディティ化が進む。そしてAIは汎用技術となり、電気と同様のユーティリティー事業となっていくだろう。
- 4 AIの汎用技術化の過程で、社会に大きなインパクトを与える「3つの波」が到来する。第1の波（2026～2027年）は「AIのデジタルへの接続」である。「AIのWeb」が誕生し、既存のシステムが「人とAIのためのシステム」へと再定義される。第2の波（2027～2030年）は「AIのフィジカルへの接続」であり、AIが実世界に染み出し、モノを高度化する。そして、第3の波（2030～2035年）は「AIによる動力革命」であり、世界モデルを持つAIが汎用ロボットと融合し、かつての情報革命ではなし得なかった「第2の産業革命」をもたらし、労働力のあり方を抜本的に変革するだろう。

I AIと汎用技術

1 AIは新たな汎用技術か

産業革命の原動力となった蒸気機関、近代化の象徴でもある電気をはじめ、世の中には、人々の生活様式や労働のあり方、そして都市や社会までも一変させた技術がある。このような技術を汎用技術（GPTs：General Purpose Technologies）と呼び、経済学の研究の1テーマともなってきた。代表的な汎用技術には、古くは、農業技術や製鉄技術、文字や印刷技術なども含まれ、現代のコンピュータ、インターネットもその一つに数えられる。

そして、現在、ChatGPTをはじめとした生成AIの急激な進化、関連サービスの登場により、AIが次の汎用技術になるのではないかとする仮説を唱えるものが増えている。たとえば、マサチューセッツ工科大学（MIT）デジタルエコノミーイニシアチブのアンドリュー・マカフィー氏は、2024年4月、「The Economic Impact of Generative AI」と題した論文を公開し、AIの汎用技術化について考察している。マカフィー氏は、スタンフォード大学のティモシー・プレスナハン名誉教授の論文¹を引用し、汎用技術に共通する「3つの特徴」をAIが持ち始めていると指摘し、その可能性に言及している。

具体的には、コールセンターに生成AIを導入した企業において、1時間当たりの対応件数が14%増加するなど、AIがすでに部分的ながらも職業に影響を与え、初期の調査ながら「経済・社会全体への波及」を示し始めていること、また、オープンAIなどが開発

するフロンティアモデル（最先端のAIモデル）の性能が依然として改善され続けるなど「継続的な技術進化」の性質を有していること、そしてAIが、材料開発や医薬品開発に利用され始めるなど、タスクの自動化にとどまらず科学に新たな進歩をもたらす「補完的なイノベーション」を起こし始めていることを主な理由として挙げている。

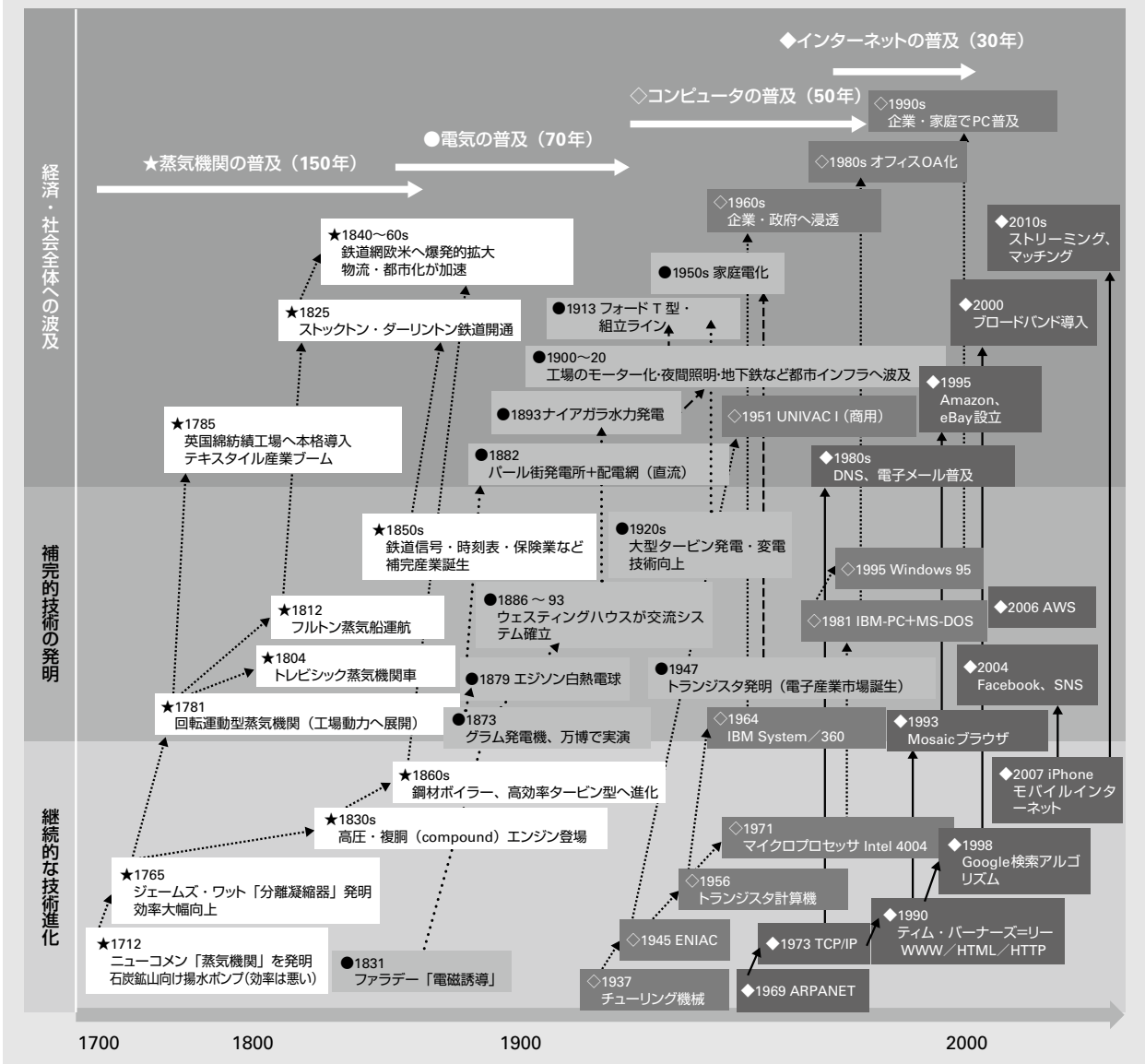
汎用技術への言及は、2001年にノーベル経済学賞を受賞したニューヨーク大学マイケル・スペンス教授、AIによって時代の寵児となったエヌビディアのジェンスン・フアンCEOなど多岐にわたる。

本論考では、汎用技術をキーワードにAIの進化を紐解き、AIの今後の可能性と課題を深掘りする。そして、企業にとってビジネスチャンスがいつどのような形で訪れるのか、「デジタル」「フィジカル」「動力」へと波及する「3つの波」という視点から、その到来シナリオを展望する。

2 AI普及の加速度

汎用技術はその登場から普及まで、一般に数十年の月日が必要であり、場合によっては、100年以上に及ぶものもある（図1）。たとえば蒸気機関は、英国の発明家であったトーマス・ニューコメンによって、1712年に炭鉱に湧水する水を外部に排出するための揚水ポンプとして誕生した。当時は動力の効率も悪く、出力も限定的で炭鉱以外に用途は拡大しなかった。転機となったのは、ジェームズ・ワットによる改良である。1765年、ワットによる分離凝縮器の発明によりシリンダーを常に高温に保てるようになり、取り出せる動力が劇的に増大した。その後、紡績工場の

図1 蒸気機関、電気、コンピュータ、インターネットの普及までの主な道のり



動力や蒸気機関車、鉄道網の整備へと発展、100年を越える改良と発明の繰り返しのよって、最終的に産業革命を引き起こした。

ではAIはどうか。蒸気機関にしても電気にしても、安全にそして効果的に活用するにはその技術の理解が欠かせない。たとえば、電気技術者になるには専門知識を学び、実践を積みねばならず、多くの国では高圧電流を伴

う電気工事には専門の資格が必要になる。汎用技術とは新技術であり、新たに知識を獲得しなければならない点は、電気もAIも変わらない。

しかし、AIが生成AIへと進化したことで、これまでの汎用技術と決定的に異なる特徴を保有するようになった。それは、AI自身がその使い方を教える「教師」にもなれる点で

ある。もちろん、事実ではないことを真実のように説明してしまうハルシネーション（誤情報）が発生し得るため、活用法には注意を要するが、自らが教師にもなれる汎用技術は過去にない。

蒸気機関が鉄道網にまで発展するためには、技術者を養成し、インフラを敷設し、都市や工場などをデザインし直すなど、費用と時間のかかるものであった。一方のAIは、利用者の増加に応じて新たなコンピューティングリソースの確保が必要になると思われるものの、インターネットやスマートフォンなどの既存のインフラを通じて、すぐに利用できる。

AIの普及が、過去の汎用技術のように数十年をかけた緩やかなものではなく、これまでに例のない速さ、数年単位の速さで急激に進む可能性がある点は、社会への影響という観点で懸念材料といえる。

3 AIの負の側面と対策の必要性

AIにもほかの汎用技術と同じく負の側面がある。これらへの対策なくして普及はない。AIが特定のタスクを自動化し、労働の機会を人から奪う点は、AIが現在のように目覚ましい進化を遂げる前から、常々、指摘されてきた。これまでは仮説に過ぎなかった脅威が、現実のものになろうとしている。

AIの汎用技術化も支持する、スタンフォード大学のエリック・ブリニョルフソン教授らは、2025年11月、「Canaries in the Coal Mine? Six Facts about the Recent Employment Effects of Artificial Intelligence」と題した論文²²を公開した。その中で、米国の3人に1人がかかわるとされる米国最大の給

与計算会社ADP（Automatic Data Processing）の2022年末から2025年半ばにかけてのデータを解析したところ、ソフトウェアエンジニアやコールセンターのオペレーターなど、生成AIの導入が先行して進む分野を中心に、22～25歳のキャリア初期にある労働者の雇用が16%減少したと指摘している。

これまでAIの役割は、労働力の代替、つまり労働者の完全な交代要員ではなく能力の補完や強化にあるとされ、雇用の減少はまだ先になると思われてきた。しかし、ブリニョルフソン教授らによると、自動化の流れはエントリーレベルのタスクに集中し、すでに現実のものになり始めている。熟練者の雇用が維持される一方で、若手が雇用の機会を失い、社会的に不利な立場に置かれている。

特に、これまでソフトウェアエンジニアは、あらゆる産業でデジタル化が進む中で、ニーズの高い職種と見られ、高い学費を投じたとしても、安定した雇用とそれを上回る収入が得られる職種と思われてきた。

しかし、AIの進化により状況は激変した。GitHub CopilotのようなAIコーディングツールをはじめ、CursorのようなAIの活用を前提とした統合開発環境が登場し、人手によるソフトウェア開発から、AIを中心に据えたAI駆動型開発にシフトしようとしている。現時点でこれらのツールを使いこなすには、AIの生成するコードに含まれる問題点やミスを瞬時に見抜く、熟練の知識と経験が欠かせない。AIによる最新のソフトウェア開発技術を導入した企業にすでに熟練者が存在していれば、エントリーレベルの雇用はおそらく徐々に失われ始めていると推測される。

まだまだ、AI駆動型開発の導入はごく一

部の先進的な企業にとどまるとされるものの、ソフトウェア開発のあり方が抜本的に変わり始めていることは確実で、今後、デジタル技術を必要とするあらゆる産業に波及する可能性が高い。ソフトウェア開発を産業として持続可能なものとするためにも、AIと若年者の雇用の両立、業界としての長期的なビジョンが求められている。AIとの共存にどう取り組むのか、ソフトウェアエンジニアは、その先行事例として社会的に重要な位置づけとなっていくだろう。

AIの悪用への懸念も根強い。実際、米国のAI開発企業アンソロピックが、2025年11月に公開したレポート「Disrupting the first reported AI-orchestrated cyber espionage campaign」²³によると、同社の技術を用いた大規模なサイバー攻撃が2025年9月に検出され、その対策を余儀なくされたという。

具体的には、Claude CodeというアンソロピックのAIソフトウェア開発環境が悪用され、金融機関や化学メーカー、政府機関をはじめとした推定30の世界中の企業や組織がハッキングのターゲットになった。うち数社では、AIによる不正コードを活用した侵入が成功したと報じられている。アンソロピックによれば、この事件は攻撃者による指示のみで、人為的な作業なしにAIエージェントによって遂行されたことが明らかとなった、世界初の大規模なサイバー攻撃である。問題の確認後、すみやかに対象のアカウントは規約違反として停止されているが、同様の問題は他サービスでも起こり得るし、自由な改変が技術的には可能なオープンモデルを悪用した攻撃は、すでに行われているとも考えられ、事態はエスカレートする可能性もある。

AIによる攻撃にAIで対応するなど、技術的な対策とともに、サイバー攻撃の高度化や高頻度化に対し、社会としてどう立ち向かっていくのか、抜本的な対策が求められている。

4 公共インフラとしてのAI

AIが汎用技術になるとは、電気のような公共性を有するものになることを意味する。電気はほとんどの国家で、安定供給を命題に国家が運営するか、電力価格は市場に委ねるなどしながらも、法規制を通じて直接的、間接的にかかわり、発電事業者、送電事業者など、複数の事業者と協力して運営する公共インフラである。またインターネットは、もともとは、核戦争を想定して戦時下でも安定した通信ができるよう、米国で敷設が始まり、それが研究機関や大学に開放され、その後、通信事業者やGoogle、Metaのようなプラットフォームが互いに投資をするなどして、拡大したものである。

インターネット接続にかかる費用に関しては、各事業者間で通信料に応じて課金したり、互いに通信網を融通し合ったりすることで成り立っている。一度、ネットワークに接続すれば、一般消費者は経路を意識することなく、ある程度の品質と信頼性でやり取りができる。では、AIはどのような公共性を有するものとなるのか。

電力には、太陽光や風力、水力、火力、原子力など、さまざまな発電方法がある。再生可能エネルギーは天候に左右されるものもあるため、安定供給の役割を担うために、火力や原子力などのベース電源が欠かせない。また日本では、電力自由化に伴い、さまざまな

発電事業者から電気を調達できるようになった。電気のアナロジーで考えれば、AIも一社独占ではなく、さまざまな選択肢があることが望ましい。AIは電気とは違い、それぞれ性質や性能が異なる。今はユーザー自身が用途に応じてモデルを使い分けているが、利用がさらに拡大するとそれは難しくなる。将来的には、推論の目的や課題に合わせてユーザーが最適なモデルを選び、後日、その利用量や用途に応じて課金するなどといった適切なAI仲介サービスも必要になるだろう。

アンドリュー・マカフィー氏は、前述のレポートの中で、AIが汎用技術になるためには、政府、企業、教育機関、そして市民の協力がとりわけ欠かせないと強調する。AIは、著名人の肖像権、書籍、音楽などの著作権、アニメキャラクターの商標権など、権利侵害に当たるものを容易につくり出せてしまう。各事案の法的判断は各国の司法の判断に委ねるとしても、その大前提として、市民が何を許し、何を許さないのか、社会としてのコンセンサスなくして普及は困難である。影響が広範囲に及ぶという観点からも、AIが汎用技術となるためには、AIの技術進化だけでなく、それを受け入れる人間社会にも、AI活用のための共通理解の醸成が必要であろう。

II AIの最新動向

1 フロンティアモデル

AIが汎用技術に向けてなおも進化する中で、フロンティアモデル（最先端のAIモデル）の状況はどうなっているのか。オープンAIが2024年9月に公開した「o1プレビュー」の発

表を皮切りに、Googleが2025年3月に「Gemini 2.5」を発表するなど、各社が論理的思考を強化したモデルを発表した。大量の知識をモデルに取り込み、質問に対して反射的に答える非思考型モデルから、推論に時間はかかるとしても、考える深さを重視した思考型モデルに取り組み始めたのである。

しかしその裏で、推論にかかるコストも増大した。いくら深い推論によってよい解が得られるとしても、事実を整理するにすぎないような簡易な質問にまで思考型モデルを用いれば、費用がかさむ。また、知識を問う問題のように、思考型モデルには不向きな質問もある。そこで、アンソロピックが2025年2月に公開したClaude 3.7 Sonnetのように非思考型と思考型の両方に対応したハイブリッド型も登場するなど、費用対効果の両立が課題になっている。

フロンティアモデルを開発するベンダーらは、モデルの改良ばかりでなく推論コストの圧縮に向け、ハードウェアにも注目している。エヌビディア一択の状況を打開すべく、AmazonやGoogleなどのハイパースケーラーらと協力して、推論に特化した安価で高性能なAI専用チップへの移行も視野に入れる。

フロンティアモデルは引き続き、モデルのパラメータ数が増大する傾向が続く。2020年に登場したGPT-3では、1750億パラメータであったが、GPT-4やGPT-5はそれを遥かに凌ぐサイズに巨大化しているといわれる。その詳細は明らかとなっていないが、2024年12月に中国のDeepSeekが公開した「DeepSeek-V3」は、6710億パラメータ、さらに、Metaが2025年4月に発表したLlama4 Behemothは、2兆パラメータに達する。ただし、モデルの巨

大化と併せて効率化も進められており、DeepSeek-V3、Llama4ともに、ニューラルネットワークのすべてが常に活用されるのではなく、推論の内容に合わせてネットワークを制御するようになっており、電力効率や推論時の応答性能の向上が図られている。

このようなアーキテクチャをMixture of Experts (MoE) と呼び、一枚岩の巨大モデルを活用するのではなく、モデルの中に複数の専門モデルの区画を設け、必要に応じて切り替えて活用する仕組みになっている。MoEなどを用いたモデルの効率化は、すでに大規模言語モデルにとっては必須の技術になっている。

モデルが一度に受付可能なデータ量も拡大した。オープンAIを例に挙げると、ChatGPT公開当初、4000トークン程度であったものが、GPT-4では8000に拡大、GPT-4 Turboでは12万8000、GPT-5では40万となった。Googleが2025年11月に公開したGemini3は100万トークンの入力を受付可能であるなど、書籍数冊分の文章を読み込み推論に活用できるサイズまでになった。モデルの進化に伴い、一度に推論で取り扱うことが可能なデータ量も大きくなり、実用性と利便性が増した。

フロンティアモデルはすでに、SOTA (State-of-the-Art) つまり学術的な最高性能を競う段階から、より現実的な利用シーンを想定した課題解決や機能改善へとシフトしている。

2 モデルから、システム、そしてエージェントへ

オープンAIをはじめとしたフロンティア

モデル開発企業らのサービスは、基盤となるモデルの周辺に分析機能を設けたり、サードパーティのためにアプリケーションストアを開設したりといった、システム化を進めてきた。そして、この流れは、エージェント化により、新たな次元に入ろうとしている。

オープンAIは2025年2月、調査分析を代行する「DeepResearch」、2025年10月にはブラウザの作業を代行する「ChatGPT Atlas」を発表するなど、AIとアプリケーションやサービスを連携し、特定の作業を代行するエージェントを始めた。今後、より複雑なアプリケーションを精度高く操作可能となれば、業務アプリケーションの入力をはじめ、既存業務の代行さえも視野に入る。

ただし、現状では、モデルの課題も浮き彫りになっている。Microsoftの研究者らが公開した論文「Magentic Marketplace: An Open-Source Environment for Studying Agentic Markets」^{※4}によると、GPT-5のような最先端のフロンティアモデルであっても、網羅的な選択をしない傾向、「選択のパラドックス」があるという。研究者らは、「マジエンティックマーケットプレイス」という、AIエージェントによる仮想的な取引市場を評価用に開発し、消費者が望む商品やサービスを探索するAIエージェントと、それを提供する企業のAIエージェントとのやり取りをテストした。探索役には、GPT-5やGemini-2.5-Flashのようなプロプライエタリモデルと、GPT-OSS-20b、Qwen3-14bのようなオープンモデルが用いられた。

実験の対象となったいずれのモデルも、候補が3つ程度と少なければ、取引役のAIエージェントとやり取りすることで価格や性能

などを見極め、最適解にたどり着いた。しかし、候補を10、25、50、100と拡大するにつれ、すべてのモデルが比較対象を広げるところか、すぐさま「ある程度よさそうなもの」を受け入れる傾向が見られた。

AIエージェントは人を認知制約から解放し、より優れた解を提供すると思われてきたが、現実はその逆で、パラドックスが起きている。原因をさらに深掘りすると、モデルが最初の提案を受け入れやすい「提案バイアス」を持つことも判明した。つまり、一番最初に提案されたものを回答として挙げる確率が圧倒的に高く、製品やサービスの品質に関する比較検証の手間と時間を避ける傾向があった。

AIエージェントは高い期待を集めるものの、選択のパラドックスや提案バイアスなど、課題も報告されている。人の記憶に相当する長期メモリが弱く、内省などで繰り返し推論すると当初の目的を忘れることなども報告されており、現時点では活用に注意を要する技術である。

3 オープンモデルの小型高性能化

オープンAIが2025年8月にGPT-5を公開するなど、プロプライエタリモデルの性能が向上する一方で、オープンモデルの進化も続いている。

たとえばMicrosoftは、2025年1月、小規模言語モデルPhiシリーズの最新版としてPhi-4^{注5}を公開した。商用利用可能なオープンモデルであり、用途によっては大規模モデルに匹敵する性能を有するなど、小型で実用的なモデルである。Phiは、AIの演算に特化した専用プロセッサであるNPU（Neural Pro-

cessing Unit）を搭載したWindowsパーソナルコンピュータである「Copilot+ PC」にも搭載されている。具体的には、NPUに最適化されたPhi Silicaが、選択したテキストから要約をつくり出す「Click to Do」と呼ぶAI機能や、OutlookのAI機能に活用されている^{注6}。

AIに関する技術調査機関「EPOCH AI」によると、より大規模なモデルでも、最高性能のプロプライエタリモデルとオープンモデルとの間の性能差は、時間にして6カ月から1年にとどまる^{注7}。また、オープンモデルは、モデル蒸留などの技術により、より高品質なデータによって学ぶなどしているため、300億パラメータ程度の規模であっても、使い方次第では一世代前の大規模モデルに匹敵する性能を持つものがある。

オープンAIやアンソロピックのようなフロンティアモデルを研究する企業によって、ハードウェアからモデルまで一貫して組み上げる「垂直統合」で始まったAIシステムは、小型高性能なオープンモデルの登場により、多様なモデルとハードウェアで動作する「水平分業」へと変わり始めている。今後は、オープンモデルを活用した独自モデルの開発、さらには、部品としての流通が活性化するだろう。

4 MCPによる技術の標準化

水平分業を後押しするように、AI技術の標準化も始まっている。2024年11月、アンソロピックはMCP（Model Context Protocol）と呼ぶ技術仕様を公開^{注8}した。MCPとは、AIからほかのシステムのデータを参照したり、外部のサービスを呼び出したりするため

の手順や規約である。図2に、MCPによる独自の仕様による開発とMCPによる開発の概念図を示した。独自の仕様によって「2つのモデル」「3つのシステム」を網の目に連携するには、「モデル（2）×機能（3）×2=12」の開発が必要になる。一方、MCPでは、「モデル（2）+機能（3）=5」の開発で済むなど、かけ算であった開発がたし算になる。仕様の共通化により、AIがほかのシステムと連携したり機能を拡張したりする際の開発の手間が大幅に省ける。

MCPの可能性をいち早く見いだした大手企業を中心にサポートする企業も相次いでいる（表1）。2025年3月には、アンソロピックの競合でもあるオープンAI、2025年4月にはGoogleが、いずれも自社のAIで対応しており、米国のStripe社のように決済サービスでの対応例もある。

2025年7月には、オラクルが同社のデータベースをMCP対応にする「MCP Server for Oracle Database」を発表^{注9}するなど、ミド

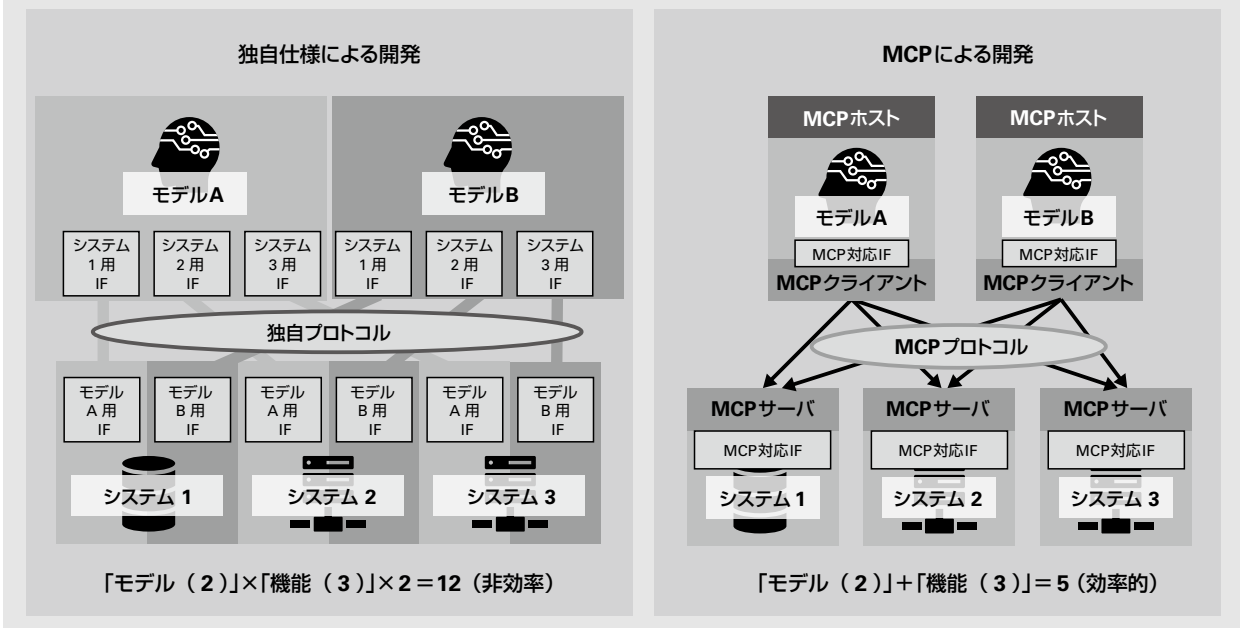
ルウェアのサポートも始まった。さらに、Microsoftは2025年11月、同社のオペレーティングシステムであるWindowsをMCPに対応した「MCP on Windows」のパブリックプレビューを公開^{注10}した。人間が操作するようにAIからオペレーティングシステムやアプリケーションの操作を可能とするもので、AIと既存システムとを隔てていた垣根は、MCPの登場と普及により消えつつある。

MCPによってAIとシステムとの間のインタフェースが標準化され、AI向けシステム開発はオーダーメイドから規格品による組み立てへと近づいた。企業同士の役割分担がさらに進み、水平分業が確立すれば、AIの産業化へと発展していくだろう。

5 AIのネットワーク化： 大きなAIと小さなAI

2025年1月、筆者は今後、AIがより大規模化し、電力インフラのような公共性を有する「大きなAI」と、小型化し生物のような多様

図2 独自の仕様による開発とMCPによる開発の概念図



性を有する「小さなAI」へと進化すると論じた^{注11} (図3)。小さなAIはモノに組み込まれ、ユーザーに寄り添い、その人の状況を最もよく知る存在となる。小さなAIで解決できない問題は、より高度な思考力を持つ大きなAIの知的リソースを利用し、推論能力を拡張して解決する。大きなAIと小さなAIとは補完関係となり、将来的にAIは社会になくてはならない汎用技術になるとの仮説である。

この仮説を現実化するように、2025年4月、Googleは、AIとAIとを連携するプロトコル「A2A (Agent2Agent)」を発表^{注12}した。A2AはAIとシステムとが連携する際のプロトコルであるMCPを補完する技術として位置づけられ、AIエージェント同士が連携し、課題解決するためのやり取りを定義したものである。Googleはその後、A2Aをオープンソース化し、思いを同じくする企業らと利用を後押しする戦略を取った。発展途上ながら、A2AによるAIとAIの連携、そして、対応する製品やサービスが急拡大する

表1 MCP対応した製品やサービスの例

カテゴリ	年月日	ベンダー	名称
OS	2025年11月	Microsoft	MCP on Windows
DB	2025年7月	オラクル	MCP Server for Oracle Database
ソフト開発	2025年4月	GitHub	GitHub Copilot MCP
	2025年6月	Figma	Dev Mode MCP server
Web	2025年6月	Microsoft	Microsoft Learn Docs MCP Server
決済	2025年5月	Stripe	Stripe MCP server
コミュニケーション	不明	Slack	Slack MCP
アプリ	2025年4月	パープレキシティ	Sonar API
コンテンツ	2025年5月	CB Insights	CB Insights MCP Server
その他	2025年4月	Google	Cloud SDKなど
	2025年3月	オープンAI	Agents SDKなど

図3 「大きなAI」と「小さなAI」の連携による実用性と推論能力の両立

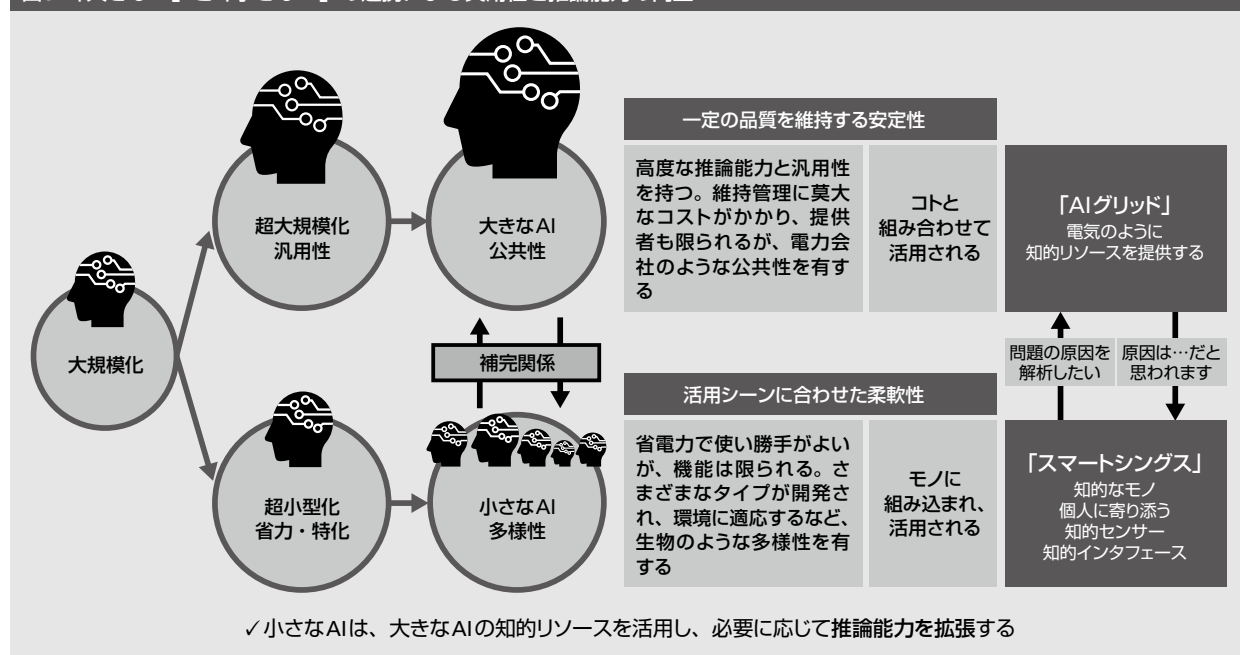
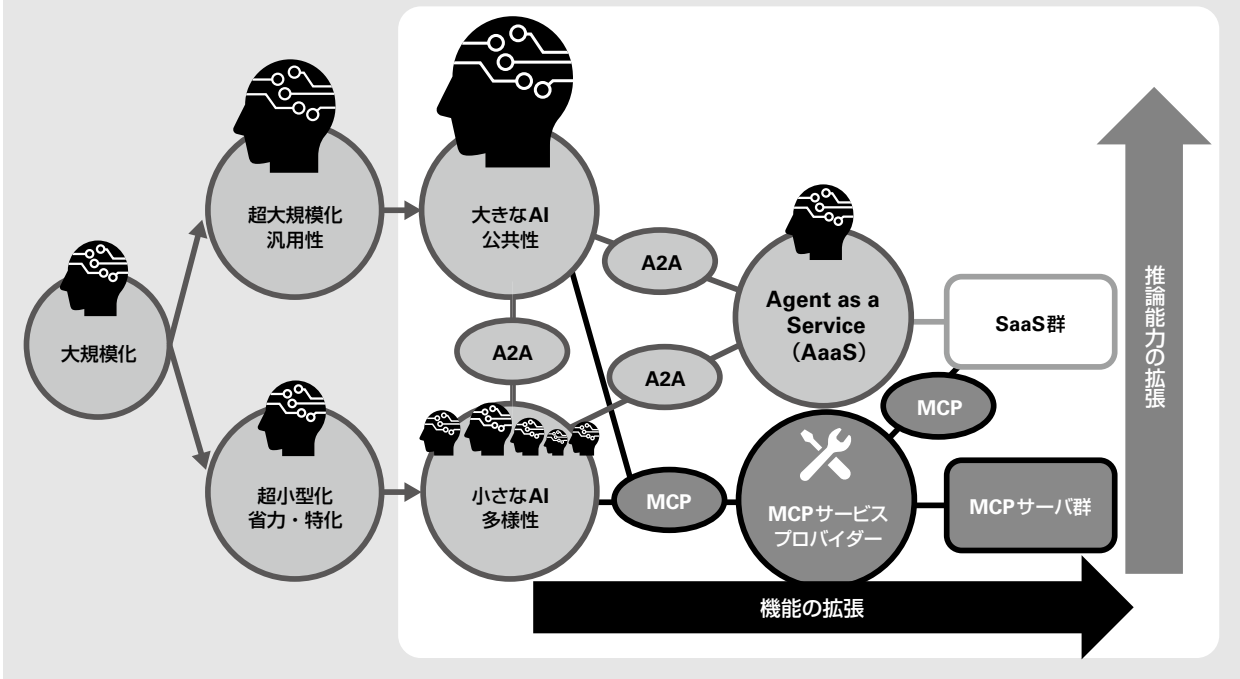


図4 AIのネットワーク化



MCPによるAIとシステムとの連携が具体化したことで、仮説もより詳細なものとなった(図4)。AIはネットワークによって機能を無限に拡張し、AI同士は互いの能力を補完する。

AIの価値はネットワークにこそ宿る。1990年代に提唱された「The Network is the Computer」という理念は、今や「The Network is the AI」へと変わった。AIのネットワーク化時代の到来である。

6 萌芽事例①オーナー

写真の加工や検索をはじめ、スマートフォンはAIを組み込んだ身近な製品である。生成AIの登場により、スマートフォン上で新たなAI活用が始まっている。

たとえば、中国のスマートフォンメーカー、オーナーである。オーナーは2013年にファーウェ

イのサブブランドとして誕生し、中国や欧州を中心に出荷台数を伸ばしてきた(ただし、米国のファーウェイ向け輸出規制の影響を受け、2020年11月に「Shenzhen Zhixin New Information Technology Co., Ltd.」に売却されている)。同社が力を入れるのがAIである。

2024年1月に、小さなAIを彷彿とさせる70億パラメータの小型モデル「MagicLM」を組み込むスマートフォン用オペレーティングシステム(OS)「MagicOS 8.0」をリリースした¹³。MagicLMが、ユーザーの意図を理解し、アプリケーションを操作したりサービスを呼び出したりする。その際に、AIとアプリケーションの橋渡しをするのがMagic Portalである。たとえば、チャットメッセージを長押しするとMagic Portalが呼び出され、テキストがMagicLMに渡り、意図を解析する。レストランの予約に関するものであ

れば、地図アプリや配車アプリを Recommend し、ドラッグ&ドロップで、データを連携し、レストランまでのルートを示したり、タクシーの配車をしたりする。同社は2024年10月、YoYoと呼ぶAIエージェントを組み込んだOS「MagicOS 9.0」を発表した¹⁴。これはユーザーの行動を先読みし代行する、スマートフォンの「自動運転」を目指すものである。

YoYoを支えるのがMagicOS 9.0に組み込まれた4つのモデルである。具体的には、音声認識用モデル、画像認識用モデル、画像とテキストの両方をサポートするマルチモーダルモデル、そして言語モデルである。中でも特徴的なのが言語モデルであり、前モデルのMagicLMと比べ、30億パラメータへと小型化し、消費電力を80%削減、文字生成速度は5倍に向上するなど、省電力化と性能向上を両立させた。また同社は、負荷の高い処理をクラウドの大規模モデルにオフロードするなど、役割分担する仕組みも実装している。

7 萌芽事例②センサー

センサーは1994年設立の、組み込み機器向けの音声認識技術や生体認証技術を開発する米国のソフトウェア企業である。同社の技術を活用した製品には、GoogleやAppleをはじめとしたスマートフォンベンダーや、Amazonのようなスマートデバイスメーカーのボイスコマンド（例：「OK, Google」）などがある。富士フィルムの超音波診断装置「Sonosite」では、同社のボイスコマンド技術が活用され、医療従事者が声で機器を操作できる。これにより、機器への直接接触が減少し、医療現場での感染リスク低減と衛生管

理の向上に寄与している。

同社は、音声認識や操作に特化した組み込みAI技術、つまり、小さなAIを開発する企業であるが、より高度な推論能力を持つ汎用モデルである大きなAIとの連携も計画¹⁵している。同社がハイブリッドソリューションと呼ぶシナリオで、患者の病歴や薬の副作用に関する情報を、医師に代わって小さなAIがボイスコマンドによって指示を受け、大きなAIに高度な作業を依頼するものである。機微な情報を扱う場合は、大きなAIをオンプレミスで運用するなど、用途に応じてモデルを使い分ける。同社では、組み込み機器に搭載し、大きなAIのあるクラウドへの処理を仲介する小さなAIを「スマートゲートウェイ」と表現し、音声データをクラウドに送信する代わりに、AIで音声テキスト化し、意図を抽出することで、伝送量を抑えている。

このように同社は、スマートゲートウェイをユーザーとのやり取りをスムーズにするためのキーテクノロジーと位置づけるなど、小規模モデルと大規模モデルが連携する仕組みを開発している。

8 萌芽事例③ウォルマート

米國小売大手ウォルマートのスレシュ・クマールCTOは、2025年7月、「All in on Agents」と題したブログを公開し¹⁶、同社が4つの「スーパーエージェント」を開発中であることを発表した。具体的には、必要な商品を直感的に見つけられるよう顧客を支援するショッピングエージェントの「スパーキー」、社員のスケジュール管理や営業データの取りまとめをするアソシエイトエージェント（特別な名称は与えられていない）、サプライヤーや広

告主からの注文やキャンペーンの依頼を管理するパートナーエージェントの「マーティ」、そして、ウォルマートのシステムの構築やテスト、リリースなどを支援する開発者エージェント（同じく特別な名称はない）である。

ウォルマートが、これらのエージェントを「スーパー」と呼ぶのには理由がある。同社は生成AIブームの初期から顧客向け、社内向けの生成AIサービスやアプリケーションを開発しており、その数は200以上に及ぶという。しかし、技術先行でさまざまなソリューションを開発した結果、アプリケーション間で仕様が異なり、運用に支障をきたすばかりか、AI間でタスク遂行に必要な共通認識が取れず、うまく連携できないなど、技術的負債が起きていた¹⁷。

そこで同社は仕様を社内で統一し、バラバラに開発されてきたAIを束ねる、いわば、スーパーバイザーの役割として4つのスーパーエージェントに窓口を集約、ユーザーにとって使いやすい環境を整備した。この過程で、AIと既存システムへの連携も独自仕様であったものをアンソロピックのMCPに標準化した。

ウォルマートのスーパーエージェントは、AIのネットワーク化により、機能の拡張と、AI同士の連携を実現した好事例といえる。

III AIの汎用技術への進化

1 AIの現在地

AIは今後、どのようにして汎用技術へと進化するのか。参考となるのが、コンピュータとネットワークがたどった道筋である。2022年以降のAIの進化は、この過程に酷似する（表2）。

コンピュータは1940年代、米国の陸軍弾道研究所に納品された「ENIAC」をはじめ国家プロジェクトとして開発が行われたため、政府や軍の管轄下に置かれるのは当たり前であった。状況が変わり始めたのは、1950年代から1960年代にかけてである。ENIACと同じく大量の真空管からなる大型コンピュータが商用化された（例：UNIVAC）。ただし、真空管の故障が頻発するなど信頼性が低かったことなどから、企業による導入は限定的で、商用化はあまり進まなかった。

転機となったのは、真空管に代わる技術であるトランジスタ式計算機の登場とシステムの汎用化である。1964年、IBMはトランジスタを採用し、性能の異なるコンピュータの間で共通のアーキテクチャを持つ汎用機、「System/360」を発表した。通称、メインフレームと呼ばれ、大型汎用機が普及するきっかけとなった。

1970年代～1980年代になると、コンピュータは垂直統合から水平分業の時代を迎える。1970年代にはDECがより小型の汎用機を開発、企業が部門ごとに導入するなど利用が拡大した。そして1980年代には、IBMがインテルのマイクロプロセッサを採用したパーソナルコンピュータを開発し、OSにはMicrosoftの「MS-DOS」が採用された。こうした企業へのコンピュータの普及が後押しになり、ネットワーク機器やプリンターなどの周辺機器ベンダーやソフトウェアベンダーなどの新産業が勃興した。

1990年代に直感的な操作が可能なMicrosoftのOS「Windows95」が登場すると、インターネットの民間への開放が追い風となり、ついにコンピュータは家庭へと普及し始め

表2 AIの進化とコンピュータとネットワークの進化の比較

トレンド	現在地				
	発明・商用化 研究から産業へ	量産・小型化 費用対効果	標準化 機能の高度化	課題解決 ビジネス創発	ユーティリティ化 社会との融合
コンピュータと ネットワーク	1950～60年代	1970～80年代	1990年代～	2000年代～	2010年代～
	コンピュータ商用化 大型汎用機 垂直統合	ソフトベンダーの誕生 小型汎用機 水平分業	インターネットへの 接続	人のためのビジネス ネットネイティブ	クラウドサービス スマートフォン SaaS
	IBM System/360 トランジスタの発明	MS-DOS IBM-PC マイクロプロセッサ	HTTP Windows95	Google Amazon Facebook	AWS iOS、Android Salesforce
AI	2022～2023年	2024～2025年	2025～2026年	2027～2029年	2030年代
	生成AIの商用化 大規模モデル 垂直統合	AIベンダーの誕生 小規模モデル 水平分業	AIのネットワーク化	AIのためのビジネス AIネイティブ	AIの汎用技術化
	ChatGPT アライメント	パープレキシティ Phi、Llama Azure、GCP、AWS	MCP、A2A AIEージェント	エージェントコマース マルチエージェント	AIグリッド AIアダプタ

た。ティム・バーナーズ＝リーによるHTTPの発明をきっかけに、WWW（World Wide Web、通称Web）は瞬間に世界に拡大し、コンピュータは、ネットに接続すれば無限ともいえる情報にアクセスできる画期的な利器となった。そしてメールの普及をはじめ、ビジネスのコミュニケーションに革命を起こした。

現在のAIは、オープンAIが大規模モデルの商用化を始める一方で、米国のパープレキシティをはじめ、AIを活用したアプリケーションやサービスを手がけるAIベンダーが登場し、小規模モデルの活用など、ダウンサイジングともとれる流れも起きている。

また、Metaが2025年6月に大型出資した米国のスケールAIなどのAI向け学習データの製造と管理を担う企業が大きく成長した。

MicrosoftやAmazonなどのクラウドベンダーがオープンAIやアンソロピックのモデルを自社のAIサービスメニューに追加するなど、AIシステム開発のサプライチェーンが整い、水平分業が実現している。そして、MCP、A2Aの登場により、AIは他システムと容易に連携できるようになり、一部ではAI同士が連携し、課題解決する「AIのネットワーク化」が始まっている。

コンピュータとインターネットの普及には50年以上が費やされたのに対し、AIはその元年を生成AIブームの始まった2022年とすると、わずか3年で、大型汎用機、ダウンサイジング、水平分業、標準化、ネットワーク化を並行して推し進めている。AIの現在地は、1970年代から80年代の量産、小型化による費用対効果の向上、1990年代のHTTPをは

じめとしたネットワークによる機能の拡張という二つの段階を同時に進めているように見える。

2 課題解決・ビジネス創発

インターネットが開放された当時、企業から個人までさまざまな人がWebサイトを持ち、情報を発信し始めた。当初は、電話番号に電話帳があるように、Webアドレスに対してWebディレクトリが整備され始め、Yahoo!はその先駆けであった。ディレクトリを検索し、ユーザーは求める情報のあるサイトにたどり着いた。しかし、次第にネットの成長にディレクトリのメンテナンスが追いつかなくなった。

そこで、アルタビスタのように、ボット(=ソフトウェアプログラム)によって機械的にリンクをたどり、日々、増え続けるWebサイトを収集してインデックスを自動構築する企業も登場した。しかし、現在ほど自然言語処理の技術が成熟しておらず、必ずしも望むようなページがヒットしないため、情報はあったとしても見つけられないことがユーザーにとって大きな障害となった。

これを解決したのがGoogleであった。ページランクという独自のアルゴリズムによって検索精度を飛躍的に高め、検索エンジンのデファクトスタンダードになった。その後、Googleは、検索連動広告というビジネスを発明し、巨万の富を得た。

そして現在、AIは新たなネットのユーザーになろうとしている。その課題は何か。一つは、ネットワークの信頼性だろう。モデルによる差異はあるが、AIは人よりも素直で与えられた情報を信じやすい。AIを現在の

インターネットに置き放ち、何ら特別な条件を与えず、ユーザーの望む商品を探させれば、偽広告や偽ECサイトにまんまとだまされてしまうだろう。そのうえ、悪意のある第三者の口車によって、ユーザーの秘密さえ暴露してしまうかもしれない。実際、AIエージェントとブラウザが一体化したAIブラウザには、攻撃者の指示文を取り込み操作される「プロンプト・インジェクション」と呼ぶ問題があることが分かっている。

たとえば、米国のブレイブ・ソフトウェアの報告¹⁸によると、パープレキシティのAIブラウザ「Comet」は、訪問先のWebサイトにひそかに埋め込まれた「悪意ある指示文」を読み込み、いわれるがまま行動し、機密情報を暴露してしまう脆弱性が確認された。悪意ある指示文は、白地に白い文字のようにして、人間には見えないよう隠されていたり、HTMLファイルの中にコメント文として潜り込ませるなどの手法が想定される。問題は、直ちにパープレキシティに伝えられ、すでに改修済みとされているが、ブレイブ・ソフトウェアによると根本解決には至っていないという。

また、「ハッシュ・ジャック」¹⁹というプロンプト・インジェクションを応用した別の攻撃も確認されている。ハッシュ・ジャックは、正規のサイトのURLに続く形で、「#」に悪意ある命令文を埋め込み、AIブラウザを操る攻撃手法である。ブレイブ・ソフトウェアの報告では、悪意あるコードを埋め込んだWebサイトを用意する必要があったが、ハッシュ・ジャックでは、#以降に操作したい命令文をつけ加えるなど細工したURLをつくり、読み込ませればよく、何ら問題のな

い一般サイトが悪用され得る。

プロンプト・インジェクションに対してはAI自身、つまり、「内」で防ぐにも限界があり、AIの「外」からの防御が必要である。ブラウザやコンピュータにファイアウォールがあるように、AIから外部への接続にもファイアウォールを設け、悪意あるコンテンツをブロックしたり、信頼できるサイトに接続を絞ったりする案が考えられる。

AIエージェントが人に代わって商品を探し、購入まで完結するエージェントコマースが注目を集めている。しかし、AIによる自律的な決済はこれまで想定されておらず、整理すべき論点や課題は多い。人や法人は、購入の契約主体になれるが、AIは少なくとも現在の日本国内では法人格が認められておらず、契約主体になれない。また、一般にクレジットカードの事業者らは、カード会員データの第三者への提供を禁止している。AIはこの第三者に当たるのか、どのような条件であれば、会員に代わってデータを保持したり決済を代行したりしてもよいのか、業界内で統一した方式が定まっていないのが現状である。

このためVISAは2025年4月、エージェントコマースのためのプラットフォーム「Visa Intelligent Commerce」を発表し^{注20}、決済業界として合意形成に向けて動き始めた。Googleが発表したAP2 (Agent Payments Protocol)^{注21}のように決済プロトコルの仕様策定を通じて課題解決を進める動きもある。しかし、決済には法規制や制度面の問題以外にも、新たな課題を生む可能性がある。AIによるシステミックリスクである。システミックリスクとは一般に、特定の金融機関の支

払い不能や一部の市場における決済の目詰まりが加速度的に波及し、金融システム全体が機能不全に陥る現象を指す。

将来的に、AIエージェントのような機械的な決済主体が増えれば、安価な商品、人気の商品を取り扱うサイトにアクセスが集中し、システム停止に追い込まれることが想定される。そしてAIエージェントは、連鎖的に次に安い商品、次に人気のある商品という具合に探し回り、次々にシステムを機能不全に陥らせ、最終的にEC全体に悪影響を及ぼす可能性さえある。AIは人とは比べものにならないほど処理能力が速く、人前提の取引の仕組みをAI前提に変えるなど、システム側にも対策が必要になるだろう。また、AIエージェントにおける取引のガイドラインやルールが必要になるかもしれない。

AIエージェントが真価を発揮するには、既存の仕組みを見直したり、新たなAIのためのサービスを開発したりする必要がある。個人が所有するAIエージェントは、ユーザーに寄り添い、その人を知る最良のパートナーとなるかもしれないが、日々登場する新商品を熟知しているとは限らない。将来的には、AIエージェントのタスクを手分けし、別のAIエージェントが協力して解決するマルチエージェントのサービス、エージェント同士が情報をやり取りするプラットフォームも登場すると予想される。また、既存の商品説明をAIにとって理解しやすいよう、関連する情報を付与するコンテキストサービスなど、AIを支援するサービスも考えられる。

一方で、ダイナミック・プライシングなどの人を前提とした仕組みは、AIエージェントに合わせたアルゴリズムのアップデートが

必然となる。また、AIネイティブでつくられたITサービスを、人にとってなじみのある従来のWebインタフェースに変換するようなサービスも必要になるかもしれない。現在のデジタルの延長線上にある、自動化や効率化にとどまらない、AIの価値を最大化するための新たなサービス（＝イノベーション）が、AIネイティブなビジネスを生む種となるだろう。

3 ユーティリティ化・ 社会との融合

コンピュータがインターネットにつながり、その先に何が起きたか、私たちはすでに体験済みである。コンピュータは先進国を中心に必須の家電の一つになり、企業はもちろん多くの家庭でも所有するようになった。そしてAppleがスマートフォンという手のひらサイズのコンピュータを開発すると、世界中で爆発的に普及し、もはや一人一台の時代となった。

企業には、ERPやCRM、BIなどの基幹系システムの導入が拡大し、インターネットへの対応、取引の電子化も進んだ。システムの高度化に伴い、サーバ数も増えていった。管理のしやすさ、故障時の代替性、データセンターの敷地の有効利用の観点などからサーバの規格も統一された。決定的であったのはAmazonによってクラウドコンピューティングが発明された瞬間である。コンピュータは計算するリソース（資源）へと抽象化され、ネットワークがあればまるで電気のように使えるものになった。

企業ユースでは、ASP（アプリケーション・サービス・プロバイダー）として一部の

サービスには共用方式があったが、かつてほとんどのシステムは自前でサーバを持つ必要があった。しかし、クラウドの登場により、コンピュータは所有から利用へと大きく舵を切ったのである。

マスマーケットを狙ったほとんどの製品が規模の経済を追えば追うほど、規格の標準化は避けられない。コンピュータがコモディティ化の道を歩んだように、最先端の性能を誇るフロンティアモデルも次第に性能が拮抗するようになり、コモディティ化は避けられないだろう。

何がモデルの性能を左右するか。フロンティアモデルは、過去に二つのスケールアップによって性能を飛躍的に向上させた。一つはモデルの巨大化、もう一つは推論時間の延長である。新たな手法が分かるたびに最先端のモデルは一步先に進むものの、まもなくほかのモデルも追いつく、これを繰り返している。

さらに、性能向上を難しくする壁もある。一つはデータの壁であり、インターネットから収集しつくり出される良質なデータのほとんどは、すでに学習し尽くしているか、まもなく学習が終わるといわれる。ただしこれには例外がある。新たな油田が見つければ原油の枯渇時期が後ろ倒しになるように、学習データも、新たな候補が見つかるたびに後へ後へと伸びている。

たとえば数学の問題による学習がそうである。数学の問題はAIの論理的思考を鍛えるのに最適であり、これに気づいた世界中の開発者がAIの学習に取り入れ始めた。これは模倣可能なアイデアであり、モデルの性能を永久に差別化するものではない。

そして、新たな壁といわれ始めているのが電力の壁である。GPUなどのインフラを動かすには電力が欠かせない。最新のGPUを並べたAIスーパーコンピュータの利用契約をし、データセンターを構築しようにも、センターに融通する電力が足りないという状況が散見されている。ただし、今は電力や送電網の容量が足りなくともいずれ時間が解決すると思われるので、これも永久に越えられない壁ではないだろう。

AIの性能を厳密に考えると、特定のベンチマークの結果が同程度になるとしても、モデルの仕組みや学習データは異なるため、それぞれが主義主張を持ち、全く同じものにはならない。メディアを使い分けるように、ユーザーは目的や考えに合わせてモデルを使い分けることになるだろう。また、考えることをAIに委託するには、ユーザーの意図に沿って考えるように調整しなければならない。AIの汎用化には、電気のようにコンセントつなげばすぐ使える仕組みが必要である。たとえば、NTTが2025年7月に発表^{注22}した「ポータブルチューニング」は、この問題を解消するヒントになる。

ポータブルチューニングとは、モデルごとの調整作業を不要にする技術である。まるで歯車のように、モデルに別のモデルを添える技術で、ユーザーの意図に合わせた結果とは何か、学習した報酬モデルを添え、推論を動的に調整する。現時点では目的やタスク、出力形式に合わせて個別に報酬モデルを用意しなければならないなど、煩雑な事前作業が必要であるが、異なるモデル間で汎用的に動作する点は注目に値する。他者と共有するモデル本体に直接手を加えることなく、利用者側

で推論結果（＝出力）を調整するなど、まるで、電圧や電流を機器に応じて調整するアダプタのように、AIの推論を調整する「AIアダプタ」といえるだろう。

モデルの性能差が縮まり、AIアダプタのような技術が実用化され、使い勝手が向上すれば、最先端の知見が必要な特別な用途を除き、日常生活で必要となるモデルの開発競争は事実上の終焉を迎えるだろう。それには、個人や企業の要望に応じたモデルを、リーズナブルなコストで一定品質の「知力」を安定的に供給できることが要件となる。推論性能の質を監視するための評価基準の整備、安定供給対策としてのシステムと伝送路の二重化、三重化など、「AIグリッド」が構築されるだろう。そしてAIは汎用技術となり、現在の電気や水道などと同様のユーティリティ事業（＝公共インフラサービス）として、社会に溶け込んでいくと思われる。

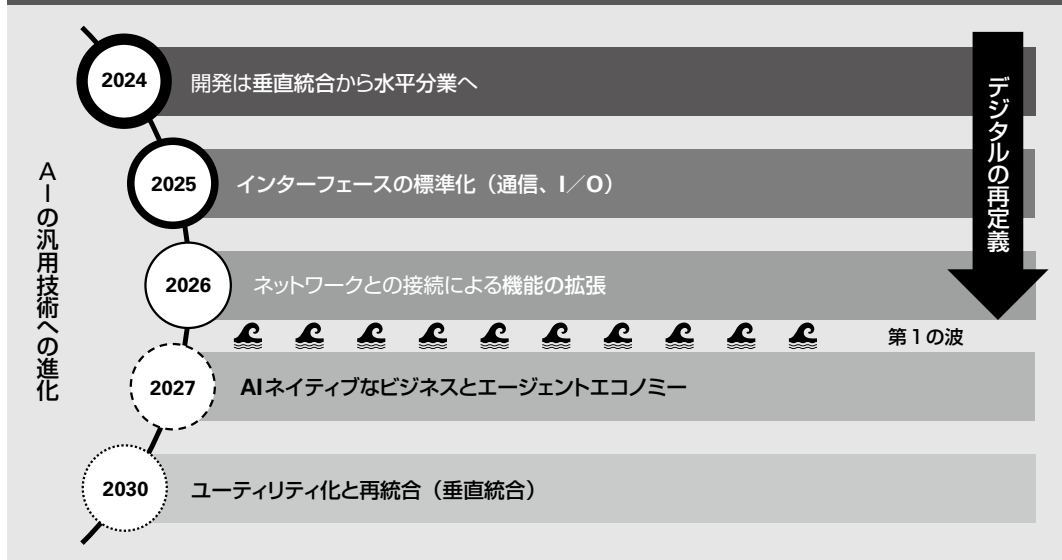
IV やがて訪れる「3つの波」

1 AIのデジタルへの接続とは

AIの汎用技術への進化の過程では、「3つの波」が起きると予想される。壁ではなく波であり、抗いようのない変化である。波は新たなチャンスでもあり、リスクでもある。波にのまれ、淘汰される企業もあるだろう。

第1の波は、「AIのデジタルへの接続」である（図5）。2026年から2027年にかけて、インターネットのあらゆるシステムやサービスがMCPに対応し、A2AなどによってAI同士が自律的にやり取りする時代が到来する。これは、AIが知らなかった本当のデジタルの世界につながることを意味する。かつてコン

図5 第1の波「AIのデジタルへの接続」とデジタルの再定義



コンピュータがインターネットに接続した瞬間に等しい。

AIは、MCPやA2Aが登場する前からネットワークを介して他システムと連携可能であったが、接続できるのは、インタフェースを一つひとつ作り込んだシステムやサービスだけで、オープンな接続とはかけ離れていた。このネットワークは、独自のプロトコルとアプリケーションによるクローズドな通信で、機能の拡張も限られていたのである。

それがMCPとA2Aによって開かれたネットワークが変わる。コンピュータがインターネットに接続し、価値を開花させたように、AIはデジタルに接続し、機能を無限に拡張する。この結果、既存のデジタルの仕組みは抜本的な変化、すなわち「デジタルの再定義」を余儀なくされるだろう。「人のためのシステム」が、「人とAIのためのシステム」に変化するのである。

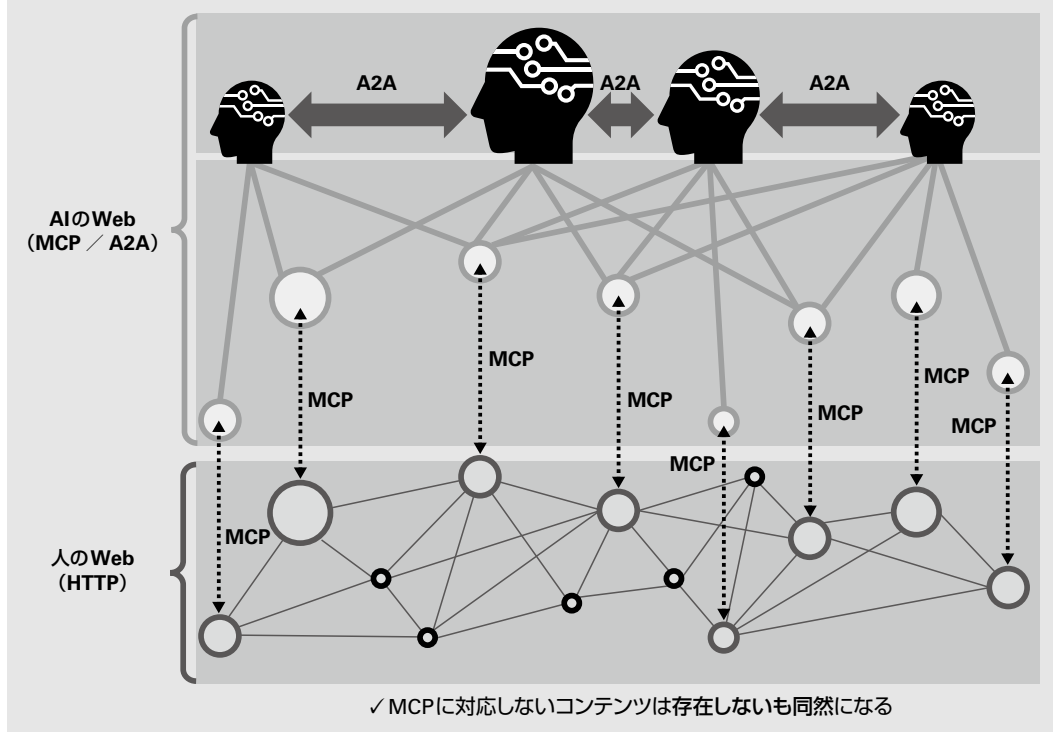
「既存のネットワーク (=人のWeb)」の上に、仮想的に「新たなネットワーク (=AI

のWeb)」が誕生する (図6)。AIのWebには、AIが利用できる無数のアプリケーションやサービスがあり、タスクの遂行に協力するAIが存在するデジタルの世界である。また、AIのWebの誕生については、Microsoftのサティア・ナデラCEOが2025年5月の同社の開発者会議「Build2025」の壇上で「Agentic Web」という同様の概念を唱えるなど、広まりつつある。

アドビの発表^{注23}によると、2025年の米国におけるサイバーマンデー (感謝祭翌週の月曜日) のオンラインの小売売上高は、前年比7.1%増加の142.5億ドルになった。特筆すべきは、AIが与えたと思われる影響である。アドビによると、ChatGPTをはじめとした対話型AIサービス由来のトラフィックが670%増加したという。中でもビデオゲーム、家電、電子機器、おもちゃ、パーソナルケア製品での利用が顕著で、ユーザーは商品の比較検討に生成AIを活用したと推測される。

しかし、AIがECに深くかかわる事態を脅

図6 「AIのWeb」が登場する



威とする動きもある。Amazonは2025年11月、パープレキシティを相手取り、AIブラウザ「Comet」によるAmazonストアへのアクセスの差し止めを求め、米国のカリフォルニア北部地区連邦地方裁判所に提訴した。Amazonの再三にわたる忠告にもかかわらず、パープレキシティのAIが人間に偽装してブラウザを操作し、Amazonの許可なく顧客のアカウントにアクセスするなどしたのは不正アクセスに当たると主張している。また、Amazonとしては、パープレキシティのアクセスが通常と異なっていたためアカウントのブロック、復旧など特別な対応をせざるを得なかったとしている。

一方のパープレキシティはすぐさま「Bullying is Not Innovation」^{注24}と題したブログを公開し、ユーザーの指示に基づく動作であ

り、顧客アカウントへの不正ログインには当たらず、Amazonは自社のレコメンドやサイトに掲載される広告を守るためにCometを排除しようとしていると主張した。実際、Cometのようなブラウザを操作するAIエージェントが増加すると、これまで人間を相手に掲載されてきた広告をスキップするようになり、企業からの出稿が減り、広告収入を失うことにもつながりかねない。プラットフォームが、脅威と思うのは想像に難くない。

Amazonストアをめぐる一件も、広義では人のシステムが人とAIのシステムに代わる影響の一つと考えられる。Amazonも「ルーファス」という生成AIを活用した自社のAIアシスタントサービスを展開しており、顧客の利便性を高めるなど、エンゲージメントを強化している。Amazonに限らず、これまで

ネットの申し子として圧倒的なスケールで時代を制してきたプラットフォームからは、新たなカスタマーであるAIエージェントにどう取り組むのが、今後のビジネスの命運をつかさどるといっても過言ではないだろう。

パープレキシティのような、AIエージェントを活用し新たなサービスを生み出す挑戦者らは、今後も増えるだろう。複数のECサイトを横断的に検索し、価格ばかりか、在庫の有無や納品までのリードタイム、そして、見逃しがちなキャンペーンやポイント制度、ときに配達員の評判までも精査するだろう。そこに情報はあっても、時間的制約や認知制約で知らずに諦めていたことが、AIエージェントが代行すれば諦めなくてもよくなる。

また、AIエージェントは、時間も超える。ユーザーは、横並びの検索だけではなく、価格の時間的推移にも興味があるだろう。サービスによっては、AIエージェントを介して繰り返しユーザーが購入したり興味を持ったりする商品を把握し、人気の高い商品は、価格を定期的にウォッチし、真の買いどきを予測もできる。AIエージェントを通じて収集されるデータは、市場の状況をリアルタイムで把握したり、顧客理解を深めたりするうえで、貴重な示唆を生む資源となる。

インターネットが普及する以前、コンピュータは高価なソフトウェアを購入してもできることは限られ、活用にも専門知識を要するなど、価値を引き出すのは容易ではなかった。しかし、インターネットにより情報のやり取りに革命が起き、ブラウザのように直感的に操作できるアプリケーションが登場することで、コンピュータの価値は飛躍的に高まった。AIにおけるモデルの進化は、知識の

量や推論力の高さにより画期的であったとしても、それだけでは賢いコンピュータの域を出るものではなかった。目を見張るような用途やキラーアプリがないことは、かつてのコンピュータを思わせる一面があったのである。

それが、AIエージェントによって大きな転換点にさしかかっている。AIネイティブなアプリケーションは、AIエージェントから始まる。そして、AIエージェントがデジタルへ接続するとき、既存のビジネスの競争原理が根本から変わるゲームチェンジがもたらされるだろう。

2 AIのフィジカルへの接続

第2の波は、「AIのフィジカルへの接続」である（図7）。2027年から2030年に向け、AIは次第にデジタルからフィジカル（＝実世界）に染み出し、モノや空間を高度化する。AIと実世界のモノが融合してリアルの世界をアップデートする、フィジカルとの融合が始まると予想される。

かつてスマートフォンが登場したとき、フィジカルとデジタルは別のものであった。スマートフォンは、タッチセンサーを持った奇抜な手のひらサイズのガジェットで、用途は既存のコンピュータの延長線上にすぎず、写真やメール、ネットサーフィンを楽しむ程度でフィジカルに大きな影響を与えることはなかった。

しかし、規模がすべてを変えた。誰もが常時ネットワークに接続したコンピュータを持ち歩くようになると、フィジカルはデジタルに飲み込まれていった。店頭価格はオンライン価格と比較される。オンライン販売はいか

図7 第2の波「AIのフィジカルへの接続」、第3の波「AIによる動力革命」と「フィジカルとの融合」



に速く届けられるかが求められ、注文した商品が場合によってはその当日に届くなど、ロジスティクスの仕組みも進化した。

スマートフォンのアプリの効果も絶大であった。新興企業らは自社のアイデアを形にした。配車サービス、デリバリーサービス、QRコード決済サービスなど、アプリの中には生活に必須のサービスまでも登場した。デジタルは、リアル（=フィジカル）を求める。自らを生んだ、本当の世界であるフィジカルを目指すのは、デジタルの「本能」なのかもしれない。そして、新たなデジタルの申し子であるAIもフィジカルを目指すだろう。課題は、AIはどのようにしてフィジカルに染み出すかである。

AIがフィジカルと接続する候補として思い浮かぶのは、スマートフォンである。しかし、スマートフォンは人がデジタルにアクセ

スするための入口であり、AIがフィジカルに染み出す出口にはならない。AIが求めるのは、データ、理想をいえば、解釈に必要なコンテキスト（=文脈）が添えられたAIにとってリッチなデータである。人は、スマートフォンを通じてさまざまなサービスを利用しているため、デジタルでの人の行動を把握するにはスマートフォンは適している。しかしフィジカルとなると状況は異なる。スマートフォンを通じて把握できるのは、特定のアプリを使ったときに限られ、どれも断片的であり、一貫性があるとはいえず、解像度が低い。

AIがフィジカルに染み出すには、スマートフォンとは別のデバイスが必要になる。その有力な候補がAIを搭載したスマートグラス、たとえば、Metaが2023年10月に北米などで発売した「レイバンメタ」などのAIグ

ラスである。共同開発したレイバンの親会社であるフランスのエシロールルックスオティカが2025年2月に発表した2024年第四半期の決算報告²⁵によれば、レイバンメタの出荷台数は200万台に達するなど、ヒット商品になっている。

レイバンメタは、カメラやマイクによって写真や動画を撮影でき、それをSNSにアップしたり、スマートフォンと連携し、電話をかけたり音楽を聴いたりすることができる。そしてメタAIというAIを搭載する。音声コマンドによって操作でき、カメラで撮影したものが何かを答えるような面白い機能から、駐車場の場所を数字で記憶し、どこに車を停めたか答えるような少し役立つ機能、さらには、対象の言語は限られるがリアルタイム音声翻訳機能など、ソフトウェアがアップデートされるたびに新たな機能が追加されている。

現在はちょっと気の利いたデバイスにすぎないAIグラスがAIの染み出す出口になるといえるのは、人の目と耳に近い、「視線」の共有と「聴覚」の共有を可能とするデバイスだからである。スマートフォンでも動画撮影はできるが、一時的にはできても常時となると難しい。だがAIグラスは、ユーザーの見る視界、聞く音をリアルタイムで捉えるデバイスになり得る。特に重要なものが視線の共有だろう。ユーザーは一体何に注目しているのか、その視線の先にあるものは何か、AIはリアルタイムにフィジカルの世界から取得できるようになる。

課題はスマートフォンと比べ、格段に小さい電池の容量である。レイバンメタの容量は154mAh（ミリアンペア時）であり、Google

のPixel 10 Proの4870mAhなどと比べると約30分の1しかない。これは、バッテリーの収納スペースが限られていることが影響している。常時オンにするには、相応の容量が必要になる。また、プライバシーの問題もある。カメラやマイクを特定の場所で自動的にオフにしたり、AIによって機械的に個人を特定できないようマスキングしたりするなどの対策が必要になるだろう。

AIにとってフィジカルは、デジタルと比べ格段に難しい。現在のAIの学習は、人が生み出したデータに依存している。具体的には、書籍や論文、インターネットに蓄積されたテキストや画像、動画などである。これらは、人がフィジカルで体験したことを、データに換えたものである。AIにとって困難と思われた自然言語の理解も大量のテキストや画像があれば、その言葉の持つ概念をモデル化し、捉えられるまでになった。

しかし、現在のAIはフィジカルから入力されたデータを必ずしも理解できず、人並みの理解からは程遠い。道路の白線認識のようにタスクを絞ったり、工場のようにAIが認識しやすい人工的な環境では用をなしても、何ら条件のない空間では難しい。人は視覚や聴覚、触覚など、フィジカルから得られる入力を脳で統合し、今、何に注目すべきか判断している。人や生物は、世界モデルと呼ぶフィジカル（外界）の状況を抽象化するなどして、再現した世界（内界）を持っている。この能力が、大規模言語モデルを基にしたAIには欠けている。

大規模言語モデルは、トランスフォーマーモデルによって、大量のデータから、テキストを理解するうえで、どの単語に注意すべき

かを学習した。AIが適応するには、フィジカルから得られる情報から、今、何に注意すべきかを学び、世界モデルを獲得しなければならない。注意とは、結果的には自らが置かれた環境を理解することであり、フィジカルの抽象化にはかならない。人や生物は、無数にある状況を実体験から学び、この仕組みを学習している。インターネットや書籍などの間接的情報からすべてを学ぶことは困難であり、フィジカルの直接的情報をどのように抽象化するのか、つまり、どのように表現するかを学ばなければならない。

インターネットにあふれるデータは、人が何かに関心を持ち、抽象化した文章や、世界を切り取った画像や動画であり、人が体験するすべてではない。AIが実世界を本当に理解するために適したモデル、欠けたピースを埋めるためのデータが必要である。AIが実世界を学ぶには、AIグラスから収集される「人の体験」は大きな価値があるだろう。何らコンテキストのない、脈絡もない画像や動画の羅列よりも、特定の人、場所、時間、シーンに紐づき、人の注意が表現された目線は、コンテキストにあふれたデータである。

AIがフィジカルを効果的に学ぶには、人の支援が不可欠である。AIが染み出す出口は、AIが実世界の壁を乗り越えるうえで極めて重要な役割を果たすことになるだろう。

真の世界モデルの誕生は、大規模言語モデル一辺倒であったAIの世界に革命を起こす。自然法則や人間社会の基本的な振る舞いを理解するモデルの誕生は、AIに人並みのリアルな想像力をもたらし、内省はより豊かで有益なものになる。世界モデルはデジタルにも活かされ、知識と言葉をつかさどる言語モデ

ルの価値を引き出す、トリガーともなるだろう。

3 AIによる動力革命

第3の波は、「AIによる動力革命」である。AIが、第2の波「AIのフィジカルへの接続」によって世界モデルを獲得できれば、2030年から2035年にかけて、デジタルと同様にフィジカルにも強いAIへと進化するだろう。さらにロボットと融合し、かつての情報革命ではもたらされなかった労働力の革命を起こす。これは、コンピュータが成し得なかった第2の産業革命といえるものであり、AIとモノの融合、「Beyond AI」を社会にもたらすと考えられる。

工場のラインは、蒸気機関からモーターなど、動力が変わるたびに設計を見直し、最適な配置となってきた。そして、新たな動力として汎用ロボットが登場する。現在でも、自動車のフレームの溶接作業や、極めてクリーンで緻密な作業が要求される半導体の製造作業では、ロボットによる自動化が進んでいる。ただし、そのほとんどは、大量生産を前提とした単純な作業の繰り返しで、工場はそのために特別に設計されている。また、高度にカスタマイズされた特化ロボットであり、いわば装置に近い。

汎用ロボットとは、現時点では仮説の域を出ないが、フィジカルを理解するAIにより制御され、工場やオフィス、店舗など労働力を必要とするさまざまな場所で活用できる汎用性を持ち、複数の人の作業を代替するマルチタスクロボットである。従来のロボットのように導入する環境を整えたり、ロボットを特別にカスタマイズしたりする手間がかから

ず、現場に持ち込み、すぐに利用できる点がメリットになるだろう。

代替できる作業は、当初は運搬や簡易な組み立てなどの軽作業から始まるが、次第に経験を積むことで、AIがアップデートし、できるタスクが増えていく。ヒューマノイド型である必要性は必ずしもないが、AIの学習の効率性から、ロボットはいくつかのタイプに標準化され、量産されることになる。

生成AIの登場は、AIに革命をもたらしたが、その核心は特別な技術がなくともAIを自然言語（ことば）で扱える使いやすさにある。ChatGPTが登場した当初、優秀ではあるがどこか現場を知らない大学生のような存在で始まったAIは、その後進化し、できるタスクを増やしていった。AIによる動力革命も、その始まりは、ありふれた作業を代替する小さな一歩となるだろう。しかし、この一歩こそが第2の産業革命へと続く、大きな一歩となるに違いない。

AIの汎用技術への進化の過程で引き起こされる3つの波は、社会に極めて大きなインパクトを与える。既存の社会システムやビジネスの競争環境の変化は、Google、Amazon、Appleなどの巨大企業の成長を横目に眺めてきた世界中の国家や企業にとって、現状を「打破する」、まさに千載一遇の大きなチャンスと考えて間違いない。そして、時代の潮目（＝3つの波）を見るものが、AI時代の真の覇者となるだろう。

注

- 1 General purpose technologies 'Engines of growth'?, Timothy F. Bresnahan, M. Trajtenberg, 1995
- 2 [https://digitaleconomy.stanford.edu/wp-](https://digitaleconomy.stanford.edu/wp-content/uploads/2025/11/CanariesintheCoalMine_Nov25.pdf)

[content/uploads/2025/11/CanariesintheCoalMine_Nov25.pdf](https://digitaleconomy.stanford.edu/wp-content/uploads/2025/11/CanariesintheCoalMine_Nov25.pdf)

- 3 <https://assets.anthropic.com/m/ec212e6566a0d47/original/Disrupting-the-first-reported-AI-orchestrated-cyber-espionage-campaign.pdf>
- 4 <https://arxiv.org/pdf/2510.25779>
- 5 Microsoft Foundry Blog “Introducing Phi-4 : Microsoft’s Newest Small Language Model Specializing in Complex Reasoning”(2024/12/13) <https://techcommunity.microsoft.com/blog/azure-ai-foundry-blog/introducing-phi-4-microsoft%E2%80%99s-newest-small-language-model-specializing-in-comple/4357090>
- 6 Windows Blogs “Phi Silica, small but mighty on-device SLM” (2024/12/6) <https://blogs.windows.com/windowsexperience/2024/12/06/phi-silica-small-but-mighty-on-device-slm/>
- 7 Venkat Somala and Luke Emberson (2025/8/15), “Frontier AI performance becomes accessible on consumer hardware within a year” <https://epoch.ai/data-insights/consumer-gpu-model-gap>
- 8 Introducing the Model Context Protocol (2024/11/26) <https://www.anthropic.com/news/model-context-protocol>
- 9 Oracle Database Insider “Introducing MCP Server for Oracle Database” (2025/7/16) <https://blogs.oracle.com/database/introducing-mcp-server-for-oracle-database>
- 10 Windows Blogs “Ignite 2025: Furthering Windows as the premier platform for developers, governed by security” (2025/11/18) <https://blogs.windows.com/windowsdeveloper/2025/11/18/ignite-2025-furthering-windows-as-the-premier-platform-for-developers-governed-by-security/>
- 11 長谷佳明「AIの技術進化」『知的資産創造』2025年1月号

- 12 Google for Developers “Announcing the Agent2Agent Protocol (A2A)” (2025/4/9)
<https://developers.googleblog.com/en/a2a-a-new-era-of-agent-interopability/>
- 13 HONOR “HONOR Launches MagicOS 8.0, Featuring Industry's First Intent-based UI” (2024/1/10)
<https://www.honor.com/global/news/magicos-launch-2024/>
- 14 HONOR “HONOR Introduces the AI-powered HONOR Magic7 Series in China” (2024/10/30)
<https://www.honor.com/global/news/honor-magic7-china-launch>
- 15 sensory “Medical Voice Assistants : On-Device Speech Recognition for Enhanced Healthcare” (2024/9/4)
<https://www.sensory.com/medical-voice-assistants-on-device-speech-recognition-for-enhanced-healthcare/>
- 16 https://public.walmart.com/content/walmart-global-tech/en_us/blog/post/all-in-on-agents.html
- 17 Walmart “Why solving Agent and RAG Sprawl is essential” (2025/4/10)
https://tech.walmart.com/content/walmart-global-tech/en_us/blog/post/solving-agent-and-rag-sprawl.html
- 18 Brave “Agentic Browser Security : Indirect Prompt Injection in Perplexity Comet” (2025/8/20)
<https://brave.com/blog/comet-prompt-injection/>
- 19 CATO NETWORKS “Cato CTRL™ Threat Research : HashJack - Novel Indirect Prompt Injection Against AI Browser Assistants” (2025/11/25)
[hashjack-first-known-indirect-prompt-injection/](https://www.catonetworks.com/blog/cato-ctrl-hashjack-first-known-indirect-prompt-injection/)
- 20 VISA “Scaling AI commerce with secure transactions, personalized experiences, and global acceptance”
<https://developer.visa.com/use-cases/visa-intelligent-commerce-for-agents>
- 21 Google Cloud 「新しいAgent Payments Protocol (AP2) でAIコマースを強化」 (2025/9/24)
<https://cloud.google.com/blog/ja/products/ai-machine-learning/announcing-agents-to-payments-ap2-protocol>
- 22 NTT 「世界初、生成AIのカスタマイズコストを抜本的に低減し、低コスト運用を持続可能にする『ポータブルチューニング』技術を確立——NTT発「学習転移」の進化によりtsuzumiなど様々な基盤モデル間で学習結果の再利用が可能に」 (2025/7/9)
<https://group.ntt.jp/newsrelease/2025/07/09/250709a.html>
- 23 Adobe “Adobe : Cyber Monday Hits Record \$14.25 Billion in Online Spending with Over \$1 Billion Driven by Buy Now Pay Later” (2025/12/2)
<https://news.adobe.com/news/2025/12/adobe-cyber-monday-hits-record>
- 24 <https://www.perplexity.ai/ja/hub/blog/bullying-is-not-innovation>
- 25 <https://www.essilorluxottica.com/en/cap/content/245090/>

著者

長谷佳明 (ながやよしあき)
 野村総合研究所 (NRI) 未来創発センター 未来社会・
 経済研究室 チーフストラテジスト
 専門は人工知能、ロボティクス、社会課題の分析など