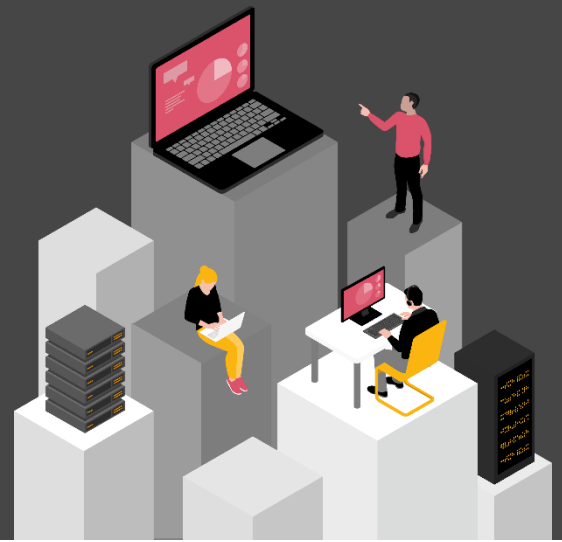


Emerging Technology Insights

Tech Translated: Neuromorphic Computing
ニューロモルフィックコンピューティング

2025年3月

PwC コンサルティング合同会社
PwC Intelligence マネージャー 柳川 素子
Technology Laboratory シニアマネージャー 近藤 芳朗



Tech Translated: Neuromorphic Computing

ニューロモルフィックコンピューティング

s+b a PwC publication

ニューロモルフィックコンピューティングとは何か？

ニューロモルフィックコンピュータシステムは、脳の機能を模倣することを目指している。人間の心の能力に匹敵するか、あるいはそれを超えることが最終目標である。これには、ソフトウェアを使用して生物と同じように情報をモデル化して処理することから、メモrista(ニューロンのように動作し、記憶する機能も持ったトランジスタ)などの新しいコンポーネントを含む革新的なハードウェアアーキテクチャを使用して、低電力と高性能という脳の(今のところ)無敵の特性に匹敵させる試みまで、幅広く含まれる。

どのようなビジネス上の問題に対処できるか？

「AIのとてつもない可能性が日増しに明らかになる中、この分野における大きな懸念の1つは、私たちが理解するような柔軟なインテリジェンスをバイナリコンピューティング¹にマッピングさせることが実際には非常に難しく、結果として非効率であるということだ」とPwC米国法人の製品・テクノロジー部門のマネージングディレクターであるDina Brozzettiは説明する。「AIが人間と同じように、事前のプログラミングなしに、低いエネルギーコストで世界を真に学び理解を進化させることができれば、真空管からトランジスタへの移行以来、コンピューティングにおける最も大きな変革をもたらす分岐点となる可能性がある。人間の脳は、スーパーコンピュータでも実行するのが困難な計算を行うために、20ワットの電球と同程度のエネルギーしか消費しないのだ」。

ニューロモルフィックコンピューティングは、AIや機械学習への直接的な応用にとどまらず、人間と機械のあらゆる知的コラボレーションに影響を与える。特にデータ分析や研究開発、さらにはモノのインターネット(IoT)、スマートシティ、自律走行車、人間拡張(Human Augmentation)、感覚処理、産業管理といった領域にも及ぶ。この幅広い可能性こそが、2023年にPwC米国法人がニューロモルフィックコンピューティングをエッセンシャルエイト(最も重要な8つのテクノロジー)²のひとつに挙げた理由である。

¹ 訳注: 0 か 1 かで処理する従来のコンピューティング

² 訳注: PwC Japan グループでは、米国法人とは一部異なる分野を採用し、エッセンシャルエイトとして AI、AR、ブロックチェーン、ドローン、IoT、ロボティクス、VR、3D プリンティングを取り上げている

どのように価値を生み出すか？

今日のコンピュータは、内部構成によって制限されている。トランジスタはゲートの両側でのみ接続されている。しかし、ニューロンは同時に何千もの他のニューロンに接続されている。さらに、今日のデジタルシステムのような二項式のオン／オフ方式とは異なり、ニューロンは受信信号の量と持続時間の両方に反応する³。そのため、はるかに少ないエネルギー需要で情報処理能力が大幅に向上する。「これにより、ITのオーバーヘッドが大幅に削減されるだけでなく、エネルギー使用量の削減を通じて気候変動に対処するための重要なツールになる」と、PwC 米国法人グローバルAI・イノベーションテクノロジーリーダーのScott Likensは述べている。

そこには障害もある。神経科学者は単純な動物の脳でさえ理解しモデル化するのに未だに苦労している。メモリスタはまだ理論の域を出ていない。しかし、ソフトウェアとハードウェアの両方にニューロモルフィックの原理を適用することで、カリフォルニア大学サンタクルーズ校のSpikeGPT⁴のような目覚ましい進歩がもたらされる。この神経ネットワークの使用エネルギーは、同等のシステムよりも22倍少ない。ニューロモルフィックシステムは、生物と同じように進化を通じて自己改善することができ⁵、多くの研究開発分野で劇的なポジティブフィードバックループを生み出す可能性を秘めている。

「スケーラブルなブレイクスルーが実現すれば、ニューロモルフィックプロセッサは、私たちがまだ想像し始めたばかりの目もくらむほど多くの新しいアプリケーションを生み出し、同時にAIを私たちの生活に真に統合するだろう」とLikensは言う。「スマートフォンほどの大きさのデバイスで、現在はスーパーコンピュータを必要とするようなタスクを実行できるようになるかもしれない。また、比較すると今日の生成AIモデルが明らかに遅くて限界があるように見えてしまうような、新しい形態のAIを実現する可能性もある」。

誰が注意を払うべきか？

ニューロモルフィックコンピューティングが普及すれば、今のところニューロン（人間の脳）による情報処理がシリコン（コンピュータのプロセッサ）を上回っている分野に関わる仕事をしている人々は、最終的に影響を受ける可能性がある。

一般的なテクノロジーと特に医療テクノロジー、運輸・物流、エンジニアリング・建設、自動車、化学、製薬・ライフサイエンスなどの業界におけるイノベーションに重点を置いたチームは、画期的なブレイクスルーに備えて、常に最新の情報を把握しておく必要がある。デジタル技術が広く普及している現代では、業界全体のCTO、CISO、COOなどのリーダーが、ニューロモルフィックコンピューティングがコンピューティングの機能を根本的に変える可能性について認識しておく必要がある。

³ 訳注：受信信号の量＝トランジスタ、持続時間＝メモリと考えるとわかりやすい

⁴ 訳注：Spike GPT とは、生物の脳を模倣したスパイクニューラルネットワーク(SNN)を部分的に言語生成に用いたモデルで、エネルギー効率と計算効率に優れた新しい試みとして注目される：SpikeGPT: researcher releases code for largest-ever spiking neural network for language generation, UC SANTA CRUZ, 2023/3/7: <https://news.ucsc.edu/2023/03/eshraghian-spikegpt.html>

⁵ Breeding neuromorphic networks for fun and profit: The new reproductive science, ZDNET, 2020/12/7: <https://www.zdnet.com/article/breeding-neuromorphic-networks-for-fun-and-profit-the-new-reproductive-science/>

企業はどのように準備すればよいか？

「この分野は、まだ主に学術機関や企業の研究開発ラボに限定されている。そのため、まずはチームの知識を向上させ、業界における応用可能性を調査し、自社で直接研究を進めるべきか、あるいは外部パートナーと協力するかのどちらに投資するのが合理的かを判断する必要がある。研究者と連携してこれらの取り組みを強化し、潜在的なメリットを早期に実現するための協力方法を見つけてほしい」とBrozzettiは言う。その時点で、既存の組み込みIT製品への統合などの潜在的なユースケースを特定し、長期的な製品開発ロードマップに組み込むことが可能になるかもしれない。

本コンテンツの翻訳版部分は、pwc.comに掲載された strategy+business マガジンの記事 [Tech Translated: Neuromorphic Computing](#) の英語テキストを PwC Consulting LLC が翻訳したものです。翻訳には正確を期しておりますが、英語版と解釈の相違がある場合は、英語版に依拠してください。

strategy+business に掲載された記事の転載は、必ずしも PwC ネットワークのメンバー ファームの見解を反映するものではありません。出版物、製品、またはサービスのレビューや言及は、購入の承認または推奨を意味するものではありません。Strategy+business は、PwC ネットワークの特定のメンバー ファームによって発行されています。

日本版解説

■ 幅広い領域での活用が期待されるニューロモルフィックコンピューティング

人間の脳の構造や機能を模倣した計算技術であるニューロモルフィックコンピューティングは、人間のように高度な判断や識別、予測、意思決定などを低消費電力で実施することで、AIや機械学習の効率を高め、幅広い領域における応用可能性が期待されている。具体的には脳の神経細胞(ニューロン)とその接続(シナプス)の働きに類似した動きを再現して、ハードウェア・ソフトウェア上で情報処理を行う方式である。ハードウェアに関しては、デバイス設計の基盤技術、チップやセンサの開発、メモリ技術といった技術開発が必要である。ソフトウェアには、脳の働きを精密に模倣したモデルのネットワーク構造を持つアルゴリズムやプラットフォーム開発などが含まれる。この技術を活用することで、既存のデバイスやサービスの性能や効率を高めるとともに、新たな用途にも適用できると考えられる。関連プレイヤーが新たなビジネスチャンスを見出すきっかけにもつながる可能性がある。

ニューロモルフィックコンピューティングの特性としては、低消費電力(エネルギー効率の高さ)に加え、並列処理能力、自律的学習(学習内容や環境への適応と自己学習)、リアルタイム・非同期処理(ある処理の完了を待たずに次の処理を進め、複数のタスクを同時に実行して効率を向上させる)、といった要素が挙げられる。これらの要素を生かして実現しうる用途や適用領域を検討することは、人間の脳が持つ能力とその可能性を改めて認識する機会にもなる。図表1に、ニューロモルフィックコンピューティングの活用が期待される幅広い領域についてまとめた。

図表1 ニューロモルフィックコンピューティングの活用が期待される領域の代表例

領域	主な用途(例)
自動運転・交通、スマートシティ	・リアルタイムでのセンサデータ処理による迅速な環境認識・意思決定・衝突回避 ・低消費電力での高速な計算による、迅速な車両走行経路の修正 ・スマートシティのインフラに適用し、信号機や監視システムの効率的なデータ処理によって交通制御を最適化
ロボティクス	・動作と知覚のリアルタイム制御によりセンサ処理と胴体操作性を強化し、エネルギー効率がより高い形で自律的意思決定能力を向上 ・医療・産業用ロボットやドローンについて、高速な変化や予測困難な動作、明暗の変化、遮蔽物等の複雑な環境下での物体認識や、作業の正確性・効率を向上
エッジAI・IoTデバイス	・データのローカル処理による帯域幅節約・レイテンシ削減 ・低消費電力設計により、IoTデバイスのバッテリー寿命を延長 ・農業や製造現場など、低消費電力で長時間稼働が求められる場所で環境変化を検知して自己修正を実施
医療	・リアルタイムの脳信号分析による麻痺した四肢の機能回復、自然な義肢制御 ・即時・高速かつ高精度な脳波分析とフィードバックを通じた疾患の早期診断、病気予測、体内の状態変化を感知して薬物を放出する高度な薬物送達システム
セキュリティ	・異常パターンや活動を早く検出し、より迅速なサイバー攻撃対応、侵入阻止 ・エッジデバイスの暗号化処理の消費電力を抑えながら高い演算処理能力を発揮
製造業	・スマート製造システムの高度化(複雑なセンサデータをリアルタイム並列処理) ・パターン認識能力を活用したカスタマイズ製品の設計
金融	・リアルタイムの時系列データ分析を最適化 ・リスク評価システム、詐欺検出等の高度化
環境モニタリング	・スマートグリッド管理におけるリアルタイムデータ分析精度・エネルギー効率の向上 ・発電設備や送配電網の異常早期発見・対策検討
家電・スマートホーム	・スマートデバイスのコントロールに際する音声指示や操作の高度化 ・住居内の複数のデバイスやセンサの協調の高度化

出所 各種公開情報等を基に作成

■ 海外における取り組みの動向

ニューロモルフィックコンピューティングと、それに関連する脳科学領域の大規模プロジェクトや製品の実用化に関しては、欧米が先行している状況だ。米国では、2016年に策定された“The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan”(国家AI研究開発戦略計画)¹に基づき、ニューロモルフィックコンピューティングを含む先進的な計算技術や、チップからシステムまでを含めたエコシステム構築に関する研究開発が進められている。米国の民間プロジェクトでは、Intelが「Loihi」チップの開発を通して、世界最大規模のニューロモルフィックシステムを構築する研究開発を進めている²。2024年には「Hala Point」と名付けた、Loihiベースのニューロモルフィックコンピュータの完成を発表し、従来のCPUおよびGPUアーキテクチャよりも100倍少ないエネルギーで、最大50倍の速度でAI推論を実行できるとしている³。IBMも脳に着想を得たチップの開発を進めており、2014年以前に取り組んでいた「TrueNorth」の拡張版として、より高いエネルギー効率かつ高速でAI推論を実施できる「NorthPole」のリリースを2023年に発表した⁴。米国においては、国家プロジェクトと民間の研究開発の両輪で最先端の技術開発が進んでいる。

一方欧州では、2013年から進められていたEUの「Human Brain Project」が2023年9月に終了した。この取り組みは脳の仕組みを模倣し、コンピューティング技術で脳全体をシミュレートして技術開発を行うことを目指したもので、サブプログラムの中でニューロモルフィックコンピュータやチップの開発が進められていた。欧州を中心に複数の国・地域や大学、研究機関などが参加し、プロジェクト全体では10年間で10億ユーロを超える資金が投入された。当初目指した脳全体のシミュレーションという目標は達成されなかったものの、研究者や関係機関が統合的にアクセスできる脳研究データベースEBRAINS⁵の構築等には一定の成果があったとみられる。ニューロモルフィックコンピューティングの研究に関してもこのプロジェクト下で一定の進捗があったと考えられる。欧州では産学官のコンソーシアムが機能しており、EU域内での国際連携も盛んで、基礎研究と応用研究をつなぐ形で包括的な取り組みを実施できる土壌が整いつつある。

海外における取り組みは先行しているものの、ニューロモルフィックコンピューティングの実用的な利活用はまだこれからの段階である。AIが普及する中で必要となる膨大な演算量と、その際消費されるエネルギーの問題を解決するために、ニューロモルフィック技術を活用したチップやコンピュータが果たす役割が大きくなるとも想定され、今後の動向が注目される。

■ 日本における取り組みとその可能性

日本におけるニューロモルフィックコンピューティング関連の研究開発では、大学や企業を中心に基礎研究で一定の成果を上げている一方、大規模プロジェクトや具体的な商業化については、欧米に比肩する規模のものは見られないという段階にある。省電力・エネルギー効率化技術や材料科学、エッジAIへの適用といった領域においてこれまで培われた強みを土台として生かしつつ、今後日本のプレイヤーが国際連携や産業間協力などを強化して競争力を高めることができるかが注目される。図表2では、日本におけるニューロモルフィックコンピューティング関連の主な取り組みをまとめた。

図表2 日本におけるニューロモルフィックコンピューティング関連の主な取り組み

東京大学・NTT⁶

- ・物理深層学習に適した新たな脳型学習アルゴリズムを開発し、光ニューラルネットワークへの実装を実証
- ・AI向けコンピューティングの消費電力や演算時間の大幅な低減につながることを期待
- ・光ネットワーク上での高速・低電力のコンピューティング基盤を確立し、社会課題解決への適用を目指す

TDK・東北大学⁷

- ・スピントロニクス技術を用いたニューロモルフィック素子をTDKが開発

- ・東北大学の国際集積エレクトロニクス研究開発センターと連携
- ・AI処理に必要な消費電力を従来の100分の1に低減できるデバイスの実用化を目指す
- ・拡大するAIの消費電力の低減、耐環境性と高制御性を活かし、エッジAIなどへの活用が期待される

東芝⁸

- ・ニューロモルフィックコンピューティングを用いた脳型AIハードウェアを開発
- ・脳内の海馬の機能(空間認知をつかさどる)を模倣・再現
- ・ロボットの空間認知機能などに応用

NEDO⁹

- ・「高効率・高速処理を可能とするAIチップ・次世代コンピューティングの技術開発」を2016年度～2027年度の12年間の予定で実施:次世代コンピューティング開発にニューロモルフィック関連の技術開発を含む
- ・大阪大学等複数の研究機関が連携した「未来共生社会にむけたニューロモルフィックダイナミクスのポテンシャルの解明」などのプロジェクトが実施されている
- ・革新的なニューロモルフィックプロセッシングの開発、具体的なアプリケーションに適用した産業化を目指す
- ・脳型処理に見合うロボットの身体開発に向けた、特性・機能の調査・探索などを実施

九州工業大学¹⁰

- ・「ニューロモルフィックAIハードウェア研究センター」を設置
- ・超高効率・高性能なAIシステムを目指し、材料・デバイス・回路・システム・アルゴリズムの各研究分野が連携したニューロモルフィックAIハードウェアの研究開発推進、脳型ハードウェア研究を実施
- ・材料開発からロボティクスまでを対象として脳型AIシステムを具現化し、次世代の産業貢献を目指す

出所 各種公開情報を基に作成

日本のプレイヤーがこの領域で存在感を示し、国際的な競争力を持つ研究開発と実用化を進めていくには、幅広い領域での連携が必要になる。現状では個別の産学連携等は行われているものの、特定領域の研究開発が多様な組織によりそれぞれ実施されている状況にある。ニューロモルフィックコンピューティングの研究開発においては、ユースケースとの紐づけが最も大切になるため、ユーザー不在のままでは開発が進まない。技術を実践につなげるためには、複数分野を融合させ、ユーザー側のニーズも取り入れながらユースケースにつなげる視点を持ち、産学官が連携して取り組む体制の構築が必須になると考えられる。

ニューロモルフィックコンピューティングでは、ソフトウェア・ハードウェアとユースケースの一体開発が重要になると考えられる。そのため関連プレイヤーの連携に際しては、基礎研究をオープン化し、データベースやプラットフォームの共有によって分野全体の発展を促すと同時に人材育成やネットワーク構築に注力する共創の場づくりが必要になるだろう。さらに、実用化の見通しが立ち実装フェーズに入った次の段階では、一定の応用技術や個別の製品開発、特殊な材料技術等に関してはクローズ化して競争力を確保するという施策も有効になると想定される。

また、ニューロモルフィックコンピューティングのデバイスやソフトウェアなどのオープン領域においては、日本の技術を反映させた国際規格の策定を視野に、産学官で戦略的に連携することも有用である¹¹。脳科学分野全体ではすでに、「戦略的国際脳科学研究推進プログラム」が国際脳科学イニシアチブ(IBI)と密接に連携する形で、国際間の協議や意思決定に関与する体制が構築されている¹²。

ニューロモルフィックコンピューティングが人間の脳の学習・適応能力を模した形態の利点を生かす形で実用段階に入ると、多様なデバイスやアプリケーションの機能が飛躍的に高度化する可能性がある。日本のプレイヤーがこの技術を起点にビジネスを発展させるには、海外の事例も参考にしながら、日本ならではの特徴のある領域を創出することがカギとなる。図表1で示したような用途を起点に、従来型ビジネスの効率化や発展に加え、社会課題解決等につながる領域を開発することが有用だと考えられる。技術やサービスの応用・実用化を目指すためには関係プレイヤー間が連携するアライアンスが不可欠となり、エコシステムの形成をはじめとした具体的な環境整備が進められることが期待される。

¹ NATIONAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESEARCH AND DEVELOPMENT STRATEGIC PLAN 2023 UPDATE, The Networking and Information Technology Research and Development (NITRD) Program, 2023/5/23: <https://www.nitrd.gov/national-artificial-intelligence-research-and-development-strategic-plan-2023-update/>

² Intel, “Advancing Neuromorphic Computing with Intel Labs Tools”, 2025/2/26アクセス: <https://www.intel.com/content/www/us/en/research/neuromorphic-computing.html>

³ Intel Builds World's Largest Neuromorphic System to Enable More Sustainable AI, Intel, 2024/4/17: <https://newsroom.intel.com/artificial-intelligence/intel-builds-worlds-largest-neuromorphic-system-to-enable-more-sustainable-ai#gs.84tuhb>

⁴ より高速でエネルギー効率に優れたAIを実現する新しいチップ・アーキテクチャー, IBM, 2023/10/23: <https://www.ibm.com/blogs/solutions/jp-ja/northpole-ibm-ai-chip/>

⁵ EBRAINS, 2025/2/26アクセス: <https://www.ebrains.eu/>

⁶ 物理深層学習のための新たな脳型学習アルゴリズムを開発, 日本電信電話株式会社、国立大学法人東京大学, 2023/1/10: https://www.i.u-tokyo.ac.jp/news/files/ist_pressrelease_20230110_nakajima.pdf

⁷ AIの消費電力を100分の1へ。脳型AIデバイス「ニューロモルフィックデバイス」, TDK, 2024/10/10: https://www.tdk.com/ja/featured_stories/entry_071-neuromorphic-devices.html

⁸ 脳の空間認知機能を小型の脳型AIハードウェアで再現, 東芝, 2019/5/27: <https://www.global.toshiba/jp/technology/corporate/rdc/rd/topics/19/1905-03.html>

⁹ 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), “高効率・高速処理を可能とするAIチップ・次世代コンピューティングの技術開発”, 2025/2/26アクセス: https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100123.html

¹⁰ 九州工業大学, “ニューロモルフィックAIハードウェア研究センター”, 2025/2/26アクセス: <https://www.brain.kyutech.ac.jp/~neuro/>

¹¹ 国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター (CRDS), 「研究開発の俯瞰報告書 ナノテクノロジー・材料分野 (2023年)」2023/3, : https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2022/FR/CRDS-FY2022-FR-05/CRDS-FY2022-FR-05_20302.pdf

¹² 戦略的国際脳科学研究推進プログラム, 2025/2/26アクセス: <https://brainminds-beyond.jp/ja/about/organization.html>

柳川 素子 | Motoko Yanagawa

マネージャー
PwC Intelligence

近藤 芳朗 | Yoshiro Kondo

シニアマネージャー
Technology Laboratory