

インマテリアル AI コンピューティング

開催日時 2022年9月20日

場所 東北大学川内北キャンパス+オンライン

主催 AIエレクトロニクス

世話人 松本卓也(阪大)、丸亀孝生(東芝)

本シンポジウムは、さまざまな物理系の構造や物性そのものを利用したりザバーや最適化計算など、インマテリアル AI コンピューティング研究の現状と課題について議論することを目的に開催された。会期初日の開催であったが、対面で70名を超える参加があり、オンラインを含めると参加者は150名を越え、大変活発な議論が行われた。

機械学習によって実現する人工知能(AI)では、サンプルデータと学習モデルが重要であるが、高い計算性能を得るために大量のデータを用いて大規模な計算を行うと、多くの計算時間と計算資源が必要となる。特にニューラルネットワークの論理構造とフォンノイマン型のデジタル計算機の物理構造には大きな隔りがあるため、AIの普及は多くの資源の消費につながる。このような中で、さまざまな物理系の構造や物性そのものを利用したりザバーや最適化などのインマテリアル AI コンピューティングが近年注目を集めている。物理コンピューティングでは、結合重みを固定する、あるいは保存則を用いるなど、物質内部の調整は行わず、出力の重みのみを操作する点に共通性がある。本シンポジウムでは、原子、イオン、分子、生体神経を用いた分子リザバーやアメーバ回路など、物理系を用いたコンピューティングの最新の成果について議論を行った。さらに、学習法や実装に向けた数理とアーキテクチャの課題、ロボティクスへの適用例などが紹介された。以下に各講演の概要を紹介する。

大阪大学の松本は「分子ネットワークに内在する電子物性を用いた神経型計算」として、ポリアニリンリザバーを用いた音声認識の研究例に続き、分子軌道共鳴トンネル、電気伝導性ポリマーの電導性グレインなど、分子系で神経型非線形特性を含むネットワークを構築する戦略が紹介された。

早稲田大学の長谷川は「マルチダイナミクスを用いた脳型情報処理」として硫化銀ナノアイランドネットワークによるリザバーの試みが紹介された。イオン拡散による固体電解質内部の電荷分布など、これまで活用されてこなかった物性に着目し、さまざまな周波数特性を持つリザバーへの展開の可能性が示された。

北海道大学の福地らは「アモルファス TaO_x が示す抵抗変化現象の確立過程性に対する相構造の影響の観測」と題して、アナログ/確率的ニューラルネットワークで重要な a-TiO_x 薄膜の物性を調べ、確率過程的な抵抗変化は準安定 a-TiO₂ 相の分離に強く影響することを報告した。

大阪大学/北海道大学の赤井は、「イオニクス応答を利用した有機ニューロモルフィックデバイス」について、電解質ドーピングにより制御した導電性ポリマーを用いたニューロモルフィッ

ク素子について報告した。また、水によってリザバー計算が可能であることを紹介した。

東京大学の高橋は、「生体の神経ネットワークを用いるリザバー計算」と題して、神経細胞の分散培養系やげっ歯類の感覚野をリザバーとして用いた研究を紹介した。神経系の可塑性により情報処理容量を変化させる試みを報告した。

北海道大学の葛西は「電子アメーバにみる身体ダイナミクスと計算能力の関係」と題して、粘菌の身体ダイナミクスをはじめとする自然や生物の振る舞いを電子化し、回路の動きから生体の計算能力を理解しようとする野心的な試みを紹介した。

東京大学の中嶋は「物理リザバー計算のための新しい学習手法について」と題して、物理リザバー計算において近年提案されている新しい学習方法を紹介し、さらに最近開発された深層リザバー計算のための学習法を物理リザバーに拡張する際の問題と解決策が示された。

東北大の堀尾は「カオスニューラルネットワークリザバー：ダイナミクス、実装、応用」と題して、リザバーネットワークの漸近的安定性に関する Echo State Property を保持しながら、カオスニューラルネットワークリザバーを用いてリザバーの複雑ダイナミクスと性能との関係を議論した。

九工大の田中は「化学ダイナミクスを持つナノ粒子のランダムネットワークを用いたリザバー演算とロボット応用」と題して、カーボンナノチューブ／ポリオキシメタレートネットワークを用いた波形生成やリザバー動作について報告した。ロボットの把持動作における物体認識に応用して高い正答率で分類可能であることを示した。

以上の講演から、物理リザバー計算はこの数年で大きく進歩し、様々なデモンストレーションが実現してきたことがわかった。しかしながら、物理リザバー動作の要である神経型応答に関する物性学的な裏付けはまだ乏しく、電子状態やナノ構造を制御した物質設計の指針は確立していない。また理論面でも、数理科学的な裏付けはまだ発展途上と言える。さらに、物理ニューラルネットワークは受動素子であることから、ネットワーク中を伝搬する情報の減衰が避けられない。この問題に対して、材料やデバイス構成から何等かの解決を試みるのか、あるいは、理論的な枠組みを構築して小規模なリザバーを多数組み合わせるのが良いのかなど、基本的な問題にも、まだ着手できてはいない。インマテリアル計算の研究は、まだ初期の模索段階にあると言える。

インマテリアル計算ではリザバーが最も取り組みやすく、先行して進んできたが、非線形ネットワークと遺伝的アルゴリズムを組み合わせた計算や、最適化問題への適用など、他にも様々な研究が始まっている。インマテリアル計算は自然計算の工学的展開という見方も含めて、物質、デバイス、数理、アーキテクチャが一体となった分野融合的な研究が期待される。