

鈴木 秀幸

大阪大学大学院情報科学研究科
教授

光ニューラルネットワークの時空間ダイナミクスに基づく計算基盤技術

§ 1. 研究成果の概要

光ニューラルネットワークの計算基盤技術の構築に向けて、鈴木グループによる「光ニューラルネットワークの数理モデル研究」、谷田グループによる「光ニューラルネットワークの実装研究」、橋本グループによる「光ニューラルネットワークのシステム化研究」を並行して進めてきた。2019年度は前年度に実施した調査・検討に基づき、今後の基盤となる具体的な数理モデル構築・基礎技術開発を開始するとともに、システム化に関する調査・検討を開始した。また、2019年度より橋本グループを加えた3グループ体制となり、異分野連携を強めることがさらに重要となったことから、相互の分野の理解を深めることに特に留意して全体の研究活動を進めた。

各グループの研究実施状況は以下の通りである。

鈴木グループ

研究項目「ニューラルネットワークの光実装数理モデル研究」は、FRET現象や空間光変調などの光計算技術による実装を考慮したニューラルネットワークの数理モデルの構築を目的としている。本年度は、今後の研究の基盤として、FRETネットワークの時空間ダイナミクスを記述する数理モデルの構築を開始したほか、空間光変調ニューラルネットワークに用いる数理モデルと実装の可能性を検討した。

研究項目「ニューラルネットワーク計算原理の数理モデル研究」は、ニューラルネットワークの時空間ダイナミクスにより実現される計算原理を、数理モデルにより解析・提案することを目的としている。本年度は、前年度に引き続き、リザーブコンピューティングを中心とする各種のニューラルネットワーク計算原理の理論的・数値的研究を実施した。具体的には、充足可能性問題の連続時間力学系ソルバ、深層強化学習による結合振動子系の劣駆動制御、ニューラル常微分方程式 (Neural ODE) を用いた拡張動的モード分解 (EDMD)、ハイブリッド FORCE 学習、予測符号化の階層的リザーブモデル等に関する研究を進め、その成果は国際会議等で発表した。

谷田グループ

研究項目「ニューラルネットワークの光実装基礎技術研究」は、FRET ネットワークに基づくニューラルネットワークや、空間光変調に基づくイジングマシンを実装するための基礎技術開発を目的としている。本年度は、FRET デバイスにおける時空間ダイナミクスの計測・解析を進め、ニューラルネットワーク実装についての検討を行った。また、光イジングマシン用予備実験システムを新たに設計・構築し、演算アルゴリズムや高速・高効率化に向けた基礎技術の検討を進めた。

特に、国際誌 *Optical Review* にて、量子ドット間により生じるエネルギー移動を用いて、ニューラルネットワーク実装などにおいて重要となる光入出力応答を生成可能であることを報告した。本論文では、FRET ネットワークに基づくニューラルネットワークの実現に向けて、量子ドット間のエネルギー移動に基づく光信号変調手法を提案・実証した。この成果は、微小かつ超低消費エネルギーな演算機構の構成と簡便なデバイス製造法を示唆しており、光ニューラルネットワーク実装の基本原理として重要なものと位置付けられる。

橋本グループ

研究項目「光ニューラルネットワークのシステム機能の研究」は、光ニューラルネットワークの学習方法やシステム機能の研究開発を目的としている。本年度は、リザーバーコンピューティングについて、既報のリザーバーの数理モデルを計算機上で再現し、学習方法を検討した。局所的な計算による省電力リザーバーとして、セルラーオートマトンに注目し、そのハードウェア実装を提案した。スパイキングニューラルネットワークについては、その計算原理を調査した。

【代表的な原著論文】

1. Suguru Shimomura, Takahiro Nishimura, Yuki Miyata, Naoya Tate, Yusuke Ogura, and Jun Tanida, “Spectral and temporal optical signal generation using randomly distributed quantum dots”, *Optical Review*, 2020

§ 2. 研究実施体制

(1) 鈴木グループ

- ① 研究代表者: 鈴木 秀幸 (大阪大学大学院情報科学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・ニューラルネットワークの光実装数理モデル研究
 - ・ニューラルネットワーク計算原理の数理モデル研究

(2) 谷田グループ

- ① 主たる共同研究者: 谷田 純 (大阪大学大学院情報科学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・ニューラルネットワークの光実装基礎技術研究

(3) 橋本グループ

- ① 主たる共同研究者: 橋本 昌宜 (大阪大学大学院情報科学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・光ニューラルネットワークのシステム機能の研究