

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 松田英子

学位論文として提出された松田英子さんの論文は、神経細胞ネットワークのモデルを搭載したロボットと、培養神経細胞の成長に関し、多時間スケールという観点から新しく整理・解析し、考察したものである。本論文では特に、1) 生命現象において時間スケールが自己組織化されること、2) 複数の時間スケールを持つことが適応的な行動に対して効果的なこと、3) 生命現象における、速い時間スケール(神経活動やセンサー情報)がどのように遅い時間スケール(行動)に総合されるか、について報告するものである。

本博士論文は、全4章から成っている。第1章では、生命現象に見られる自己組織化の過程についてレビューし、特に時間スケールの自己組織化について解説している。博士論文の目的として、生物の様々な機能にとって、時間スケールを適切に制御することが不可欠であり、そのことを文献を引きながら説明される。

第2章ではロボット実験を用いた、ある特徴的な振る舞い、ここで、vicarious trial-and-error (VTE) というラットに見られる迷うような行動、が研究される。ロボットはヘッブ則に基いて学習を行い、環境との相互作用から意味のある振る舞いを学習する。遺伝的アルゴリズムで進化させた結果、VTEを示すロボットは、ノイズに対し頑強であることがわかり、結果として適応的な行動が自己組織的に生成出来ることを示した。これを明示的に示した点は非常に評価できる。また、移送エントロピーによって神経ネットワーク内の情報の流れ方を計り、VTEを生成する様々な時間スケールを明らかにし、行為生成において複数の時間スケールを持つことと、それと頑強な振る舞いと関係があることを定量的にも示した。この点も論文提出者のオリジナルな発見である。

第3章では、培養神経細胞の発達を解析した。100個程度の神経細胞がシャーレ上に数週間培養され、自律的に結合の仕方を徐々に変化させる。培養初期においてバースト同期が観察されるが、培養後期になるとバースト同期は消え、一見して複雑な神経活動が見られた。ISI(スパイク間隔)を計ったところ、培養後期において多くのニューロンがべき状分布を示すことが示された。さらに、培養日数毎に移送エントロピーを計った結果として、培養後期では初期に比べて広い時間スケールで、神経活動が見られることがわかった。これらは生理学的にも新しい発見であり、移送エントロピーの新しい応用のひとつを示すものであり、評価できる。

第4章は全体の総括である。2、3章をつなぐ「異なる時間スケールで働くネットワークの振る舞い」という視点がわかりやすく記載されている。2章のロボットの実験からは、重要なVTEにおける頑強性と複数の時間スケールとの関係性が、再び取り上げられて議論されている。また3章の培養神経細胞群に見られる複数の時間スケールの結果を、複数の時間スケール性を機能モジュール性に結びつける、というアイデアが語られており非常に興味深いものである。

まとめると本論文は、多時間スケールという観点から、人工と自然の神経ネットワークの解析を行ったものである。論文は、神経細胞モデルの解析の仕方に関し、移送エントロピーなどを用いた新しい解析法などを示し、さらに人工神経ネットワークはロボットに搭載して、身体性との関係から議論される。これは今後の知覚の新しいアプローチを切り拓くものである。

以上、当博士論文の研究は、多時間スケールからみた神経細胞のモデル化と解析において、独創的な提案をなしていると考えられる。以上の点から本論文は、博士(学術)の学位を与えるのにふさわしい内容であると、審査委員会は全員一致で判定した。