

## 論文審査の結果の要旨

氏名 西本 隆之助

本論文は、力学系の初期値敏感性の特性を利用した人工神経回路網モデルを提案し、そのモデルの教師時系列の学習及び再生成の特性について示している。

具体的には、リカレントニューラルネットワークのコンテキストの初期値の自己組織化を行なう新しい学習モデルを提案し、そのモデルが学習により教示時系列に内包される組み合わせ的構造を獲得でき、また学習時に用いていない未知の時系列パターンも汎化生成可能な事を示した。さらに、提案した学習モデルを連続時間系に拡張し、ロボットの対象物把持行動の学習生成実験において、環境の変化に対しロバストに目的となる行動が行なわれる事を示している。審査委員会はこのような研究は従来にない新規なものであると認識した。

本論文は4章から構成されており、その構成は妥当なものである。第1章では、行動の組合せ合成可能性についての研究背景として、従来の力学系に基づく認知モデルについて紹介し、それらの問題点について論じている。また、電気生理実験や人間の心理実験についての研究結果と、力学系の初期値敏感性の性質との関連性について論じている。これらの議論から、組合せ的な行動の学習生成メカニズムを説明するものとして、決定論力学系に基づく時系列の学習生成モデルを提示している。

第2章では、複数の時系列を学習させる問題において、リカレントニューラルネットワークのコンテキストの初期値を各教示時系列ごとに適応させながら神経結合重みを自己組織化させていく方法を提案している。提案するモデルの検証実験として、有限状態機械で表現される迷路環境内でエージェントが目的の場所へと移動するナビゲーションタスクについて、シミュレーション実験を行なっている。実験結果から、学習により自己組織化されるコンテキストユニットの初期値が、フラクタル状の入れ子構造を獲得する事が判明した。また、ネットワークモデルは、獲得されたフラクタル状の構造を利用する事で、未知の組合せの時系列を生成可能である事が示されている。さらに、本実験では、従来記号力学系の研究で示されてきた、組合せ的な構造のカオスアトラクタへの埋め込みではなく、初期値から生成されるトランジェント上への埋め込みとなる事を示した。以上のシミュレーション実験の結果から、本論文で提案しているコンテキストの初期値を自己組織化する方法が、神経力学系において、記号系の代替となる新たな抽象化表現の可能性について論じ、新しい決定論的な行動プランニングの可能性について議論を行なっている。この章において、筆者の独自の手法の基礎が示されており、またその基礎計算機実験の結果は非凡であると考えられる。

第3章では、第2章で用いたモデルを、さらに連続時間系に拡張した新たなモデルを提案し、実ロボットを用いた対象物把持行動について、学習生成実験を行なっている。実験結果より、実ロボットを用いたノイズの多い実験環境下においても、安定にコンテキスト初期値の自己組織化が行なわれ、対応する各行動を生成可能である事を示している。また、ロボットは環境から入力される知覚情報に適応しながら、初期状態で与えられた目的の行動を安定に達成する事が示されている。このとき、自己組織化されるコンテキスト

の初期値空間は、対象物の位置やロボットのノイズに影響されず、目的となる対象物操作行動が、クラスタ状の構造として表現される事が判明した。また、実験結果の解析において、提案するモデルの時定数パラメータを変化させた場合、ゴール情報を保持したトップダウンの流れと、環境からの入力情報に適応するボトムアップ的な流れとのバランスが変化し、結果として、ロボットの対象物操作行動に影響が現れることが示されている。また、一連の行動が、より細かい行動プリミティブの組合せ時系列から生成されていると見なせることにより、本学習の結果においてあたかも記号的な構造が連続時間力学系上に抽象化表現されているという議論を行なっている。このように、筆者は、独自の基礎モデルを連続時間系に発展させ、さらにロボット実験というより実世界に近い部分での検証を、主要パラメータの広い範囲で行なったことは、評価に値する。ただし、このロボット実験においては、前章の基礎数値実験で見られたような、初期値の入れ子構造の自己組織化による記号の再帰的な組み合わせの生成といった様相までは示されていない。今後の研究において、この部分の進展があることを期待したい。

第4章では、第2章と第3章の結果について簡潔にまとめ、本論文を通して明らかになった問題点について論じ、ロボットの行動学習実験において今後行なうべき課題について検討を行なっている。

本論文で示された、神経回路力学系の初期値を自己組織化する事による時系列構造化学習の手法は、高次認知メカニズムの理解に向けた行動学習の基礎モデルとして興味深く、またロボット行動学習への応用としても有用であると考えられる。また、行動生成のメカニズムについて、力学系の初期値により組合せ的な構造の抽象化を行なうという議論は本論文独自であると考えられる。

したがって、本審査委員会は博士(学術)の学位を授与するにふさわしいものと認定する。