

氏 名	なか じま ひろ ゆき 中 島 弘 之
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論工博第3110号
学位授与の日付	平成8年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	ニューラルネットワークによる力学系の学習過程の非線形解析

論文調査委員 (主査) 教授 上田 院亮 教授 西川 禎一 教授 奥村 浩士

論 文 内 容 の 要 旨

階層型ニューラルネットワーク (NN) による力学系の学習過程は教師信号に駆動されたパラメータ空間上の状態変化である。これは、典型的な高次元非線形ダイナミクスであるため、学習過程の理論的解析は極めて困難となる。しかし、力学系の学習を基本とする時系列予測システムなどの基礎理論として、そのダイナミクスの解明は重要であり、また、非線形力学系の基礎理論の観点からも興味深い問題である。

本論文は、階層型ニューラルネットワークによる力学系の学習に関して、その動的過程と収束性を力学系理論に基づき数理解析的に考察したもので、序論と結論を含む7章、および付録からなっている。

第1章は序論で、階層型ニューラルネットワークの研究の歴史を概観し、その流れにおける本論文の位置付けを明確にしている。

第2章では、本論文で主に対象とする3層階層型リカレントニューラルネットワーク (RNN) の構造とダイナミクス、その学習則を説明している。まず、離散力学系の学習則として関数誤差法と軌道誤差法を、次に連続力学系の学習則として速度誤差法と波形誤差法を導き、それらの特徴を述べている。また、本論文では扱わない他の学習法についても簡単に紹介し、本論文で用いる手法との関連について述べている。

第3章では、確率的降下法の理論をリカレントニューラルネットワークの学習アルゴリズムの解析に適用し、代表的な学習アルゴリズムはすべてバックプロパゲーション法と平均的な意味で等価であることを明らかにしている。また、この考察に基づき代表的な学習アルゴリズムの学習速度の近似評価式を導出している。さらに、確率的降下法に対する学習収束の定理を、連続力学系の適応制御型学習の場合に拡張している。

第4章では、離散および連続力学系の学習の計算機実験結果について述べている。まず、1次元離散力学系の学習実験を行ない、周期軌道および不安定性の小さいカオスの学習においては、バックプロパゲーション法と関数誤差法が平均的には等価であることを示し、確率的降下法の理論に基づく学習速度の評価が妥当であることを示している。また、前記の学習実験において観測されたカオス学習の加速現象について述べ、その原因について詳細な考察を行なっている。次に、教師信号の提示方法が学習に及ぼす影響を、

離散力学系の学習を対象として考察している。

最後に、連続力学系の学習実験結果について述べ、離散系の場合と同様に確率的降下法による解析の正当性を検証している。

第5章では、リカレントニューラルネットワークによる学習を含む、より一般の勾配降下法に基づく力学系の学習を、学習系の結合荷重空間における状態変化、すなわちそれ自身を一つの力学系とみなし、学習の収束条件をこの力学系の不動点の安定性として解析している。この手法により、教師信号である時系列が、周期的、概周期的、カオス的な各場合について、それぞれの学習の収束条件を明らかにし、種々の定理のかたちで証明している。

第6章では、学習の最適点の近傍での収束過程の数値計算を行ない、最適点の固有値、リアプノフ指数と収束速度との関係を考察している。本章では、ニューラルネットワークによる学習における Riddled Basin の発生についても考察を行ない、最適状態が Riddled Basin をもつような逐次的勾配降下法による学習系のモデルの構成を試みている。

第7章は結論であり、本研究の成果をまとめている。

論文審査の結果の要旨

ニューラルネットワークは、パターン認識や適応学習などの柔軟な情報処理を実現可能にするものとして注目され、近年多くの研究が行なわれている。本論文は、ニューラルネットワークの数理的基礎理論研究において、カオス動力学の手法を適用し力学系の学習過程の解析を行なったもので、得られた主な成果は以下の通りである。

(1)層状の構造をもったニューラルネットワークが任意の連続関数を近似しうる関数近似系であることと、非常に複雑な時系列もその生成規制を表わす関数は比較的簡単なものでありうるというカオス理論に着目した、ニューラルネットワークによる時系列の学習・予測システムの定式化を行なった。さらに、時系列学習の計算機シミュレーションにおいて、時系列の学習がカオスの有する揺らぎにより加速される現象を発見し、学習におけるカオスの機能の一端を明らかにした。

(2)時系列の学習を、結合荷重空間上の力学系とみなし、教師信号に駆動された非自律差分方程式で記述されることを明確にした。この手法と不変測度を用いた議論により、従来の統計的学習理論を補完し、計算機実験によりその妥当性を検証した。

(3)カオス時系列を学習する場合は、学習の収束条件がカオスに駆動された非自律系の不動点の安定条件に帰着することに着目し、最適点近傍での学習収束条件を数学的に厳密に解析した。

(4)学習の最適状態の引力圏が、最近発見された Riddled Basin と呼ばれる非常に複雑な構造を持ったものになりうることを厳密に証明した。

以上、要するに、本論文はニューラルネットワークによる情報処理技術をカオス動力学の手法により発展させたもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成8年2月9日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行なった結果、合格と認めた。