



Title	Representations of Dynamical Systems by Recurrent Neural Networks
Author(s)	木村, 昌弘
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3172764">https://doi.org/10.11501/3172764</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	木村 昌弘
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 15643 号
学位授与年月日	平成12年6月29日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	Representations of Dynamical Systems by Recurrent Neural Networks (リカレントニューラルネットワークによる力学系の表現)
論文審査委員	(主査) 教授 坂根 由昌
	(副査) 教授 伊達 悅朗 教授 松村 昭孝 助教授 大和 健二 講師 藤原 彰夫

### 論文内容の要旨

ニューラルネットワーク(NN)とは、元々は生物の脳神経系の計算原理を説明するために構築された、神経細胞のネットワークの数理モデルである。人工知能の実現を目指して、コンピュータ科学の観点から、NN計算の可能性を追求することは重要である。本論文では、アディティブニューラルネットワークとかホップフィールドニューラルネットワーク等と呼ばれ、広く用いられている連続時間リカレントニューラルネットワーク(RNN)を研究する。

近年、RNNに対して、軌道学習の問題、すなわち、「与えられた軌道を近似できるRNNを構成する問題」が注目されている。NNの学習の目標は、与えられたデータのみを学習することではなく、そのデータを生成するプロセスのモデルを構成することにある。すなわち、未知データに対して、高い汎化能力をもつNNモデルを構成することにある。しかしながら、RNNによる軌道学習の研究においては、汎化の問題を論じてこなかった。本論文では、汎化問題を論じることを可能にするために、RNNによる軌道学習の問題の一つの拡張として、RNNによる力学系学習の問題を考察する。すなわち、「観測軌道を訓練データとして、力学系のRNNモデルを構成する問題」を考察する。

近似能力を向上させるためには、RNNに隠れユニットを設ける必要がある。しかしながら、隠れユニットをもつRNNは、可視状態空間から隠れ状態空間への写像をうまく指定しない限り、可視状態空間上に力学系を生成できない。よって、RNNにより生成できる力学系として、アフィン神経力学系(A-NDS)を定義し、RNNによる力学系学習の枠組みとして、A-NDSに基づいた学習というものを提案する。すなわち、学習目標である $\mathbb{R}^n$ 上の力学系をモデル化するために、 $n$ 個の可視ユニットをもつRNNが可視状態空間上に生成する力学系として、 $n$ 次元A-NDSを用いるという枠組みを提案する。さらに、この枠組みの妥当性を示す。

$n$ 次元A-NDSは、 $n$ 個の可視ユニットと $r$ 個の隠れユニットをもつRNNと、 $\mathbb{R}^n$ から $\mathbb{R}^r$ へのアフィン写像との適当なペアにより表現されるが、この表現には冗長性がある。A-NDSに基づいた学習という枠組みの下で、RNNによる効率の良い力学系学習アルゴリズムを構築するための基礎として、学習における非冗長な探索空間の理解は重要である。ところで、フィードフォワードニューラルネットワークに関しては、Sussmannがその写像表現の冗長性を解明している。よって、Sussmannの仕事の拡張として、RNNとアフィン写像による力学系表現の冗長性を解明し、 $n$ 次元A-NDSの一意的なパラメータ表現を構成する。さらに、A-NDSに基づいたRNNによる力学系学習に対して、学習における非冗長な探索空間を構成する。また、A-NDSの一意表現法を応用して、力学系のRNNモ

ルの単純化法を与える。

最後に、汎化問題の研究の一つとして、学習目標の力学系が A-NDS であるという特別な場合を調べ、観測軌道の学習により得られた RNN モデルの汎化性能を、観測軌道に関する幾何学的条件として与える。

### 論文審査の結果の要旨

リカレントニューラルネットワーク (RNN) による軌道学習の研究において汎化の問題を論じるために、RNN により生成できる力学系として、アフィン神経力学系 (A-NDS) を定義した。軌道の近似能力を向上させるためには、RNN に隠れユニットを設ける必要があった。しかしながら、隠れユニットをもつ RNN は、可視状態空間から隠れ状態空間への写像をうまく指定しない限り、可視状態空間上に力学系を生成できない。 $n$  次元 A-NDS は、 $n$  個の可視ユニットと  $r$  個の隠れユニットをもつ RNN と、 $\mathbb{R}^n$  から  $\mathbb{R}^r$  へのアフィン写像との適当なペアにより表現される。さらに、この力学系表現の冗長性を解明することにより、一意的なパラメータ表現を構成し、A-NDS に基づいた RNN による力学系学習に対して、学習における非冗長な探索空間を構成した。本論文はリカレントニューラルネットワークの軌道学習の研究分野に対しての顕著な貢献であり、博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。