

氏名	小澤 和也
学位の種類	博士（工学）
学位の番号	甲 第 2 4 号
学位授与の要件	学位規則（昭和 28 年 4 月 1 日文部省令 9 号） 第 4 条第 1 項該当
学位授与の日付	令和 5 年 3 月 2 1 日
学位論文題目	ある力学系の性質と応用に関する研究
論文審査員	（主査）湘南工科大学教授 岡崎 秀晃 （副査）湘南工科大学教授 二宮 洋 （副査）湘南工科大学教授 中上川 友樹 （副査）湘南工科大学准教授 森 貴彦

## 論文内容の要旨

現在の非線形力学系研究の理解と応用の限界領域：系が大規模かつ非線形であるために極めて困難であり、空間と時間の両面において複雑な振舞いを有し、今後何年にもわたり、私たちが取り組むべき課題として提起されている「現在のフロンティア」と呼ばれる領域が存在する。本論文では、この領域の問題として、非線形末端要素を有する伝送線回路（無限次元の連続系）の問題から発生した、電子回路の 1 次元離散力学系とこの領域のニューラルネットワークの離散力学系を対象にして、これらの力学系の性質と応用について考察し、この領域の研究

の理解と応用の限界を広げることが目的とする。

以下、本研究より得られた結果を示す。

- (1) 直流バイアス電圧源と一方の側端に負荷抵抗、他方の側端に 3 分割の区分線形抵抗を直列に接続した無損失伝送線回路を対象に、1 次元の離散力学系の数学モデルの生成する非線形現象の問題として取り扱うことができることを示した。
- (2) 1 次元の離散力学系に典型的に発生する”形式カオス”の定義を明らかにして、形式カオスの存在条件を与える定理を構築した。
- (3) コンピュータシミュレーションにより、1 次元離散力学系の分岐過程と最大正リアプノフ指数の分布図を求め、形式カオスの工学的な観測可能性についても得られるようにした。
- (4) 多変数多項式関数などの関数近似には、層構造自体に差分を加えるスキップコネクション構造を有する”残差ネットワーク”による近似が有効であることを見出した。
- (5) コルピッツ回路の数学モデルの疑似カオス(不確定)的動的振る舞いの近似に関して、スキップコネクションの構造を持つ”残差ネットワーク型”の LSTM の離散力学系の有効性を示した。
- (6) 既存のメロディをベクトル化して学習させ、”残差ネットワーク型”の LSTM の離散力学系によって、単調でない楽曲のメロディ部分を自動生成させることに成功した。

## 審査の結果の要旨

本論文は、「現在のフロンティア」領域の重要な問題として、電子回路の 1 次元離散力学系とニューラルネットワークの離散力学系を対象にして、これらの力学系の性質と応用について考察し、この領域の研究の理解と応用の限界を広げることが成功している。伝送線回路の問題を、1 次元の離散力学系の数学モデ

ルの生成する非線形現象の問題として取り扱うことができることを示し、1次元の離散力学系に典型的に発生する”形式カオス”の定義を明らかにして、形式カオスの存在条件の定理化を与え、デジタル通信に有用なメガヘルツのカオス発振を起こす不完全電子回路設計のパラメータ推定に寄与できる形式カオスの工学的な観測可能性についても得られるシミュレーション方法を明らかにしている。また、関数近似に対して、層構造自体に差分を加えるスキップコネクション構造を有する”残差ネットワーク”による近似が有効であることを明らかにし、数学モデルの疑似カオス(不確定)的動的振る舞いの近似に関して、スキップコネクションの構造を持つ”残差ネットワーク型”の LSTM の離散力学系の有効性も明らかにしている。さらに、既存のメロディをベクトル化して学習させ、”残差ネットワーク型”の LSTM の離散力学系によって、単調でない楽曲のメロディ部分を自動生成させることも成功させている。

本研究の成果は、査読付き論文2件(Applied Sciences, International Journal of Advanced Research)、国際会議1件、国内会議4件の発表を行っている。また一般社団法人電子情報通信学会の回路とシステム研究会(CAS)において、2020年6月18日に開催された研究会で発表した「LSTMニューラルネットワークを用いた常微分方程式の数値的近似解について」が学生優秀賞を受賞している。提出された学位論文について、4名の審査員による予備審査の結果合格と判定され、本審査に入り、令和5年2月1日論文公開発表会を開催し、博士の学位を与えるに相応しいものと判断された。