九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

超離散法に基づく音響現象と生物リズム現象の研究

儀保，伸吾

https://hdl.handle.net/2324/1543988

出版情報：九州大学，2015，博士（芸術工学），課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

（様式６－２）

氏　　名	儀保　伸吾
論　文　名	超離散法に基づく音響現象と生物リズム現象の研究
論文調査委員	主　査　　九州大学　　准教授　　鏑木時彦 副　査　　九州大学　　教授　　尾本章 副　査　　九州大学　　名誉教授　河辺哲次

論　文　審　査　の　結　果　の　要　旨

本論文は，音波伝播を表す波動方程式や生物リズムにおけるネガティブフィードバックの過程を表す方程式などに対して，差分化や超離散化を施すことを通して，室内等における音響現象や体内時計のメカニズムについて得られた新しい数理的知見を学位論文としてまとめたものである。学位論文の構成と本研究の主要な成果は，以下の通りである。

第１章の序論に続いて，第２章では超離散法の基礎が述べられている。第３章～第６章では，音響現象が取り扱われている。第３章では，線形波動方程式の差分化と超離散化が述べられており，本研究の重要な成果のひとつとして，線形波動方程式の超離散化は，非線形ソリトン方程式である超離散戸田格子方程式と形式的に同一であることが示されている。第４章は本研究と関係の深い幾何音響学の概論であり，第５章では超離散極限と幾何音響学におけるアイコナール近似の関係性が検討されている。その結果，戸田型の差分線形波動方程式から導かれる位相と振幅を記述する方程式において,波長をパラメータとして音波伝播の粒子性,波動性の表れ方が変わることが示された。同様に，戸田型の超離散線形波動方程式においては，超離散極限のパラメータの取り方によって粒子性，波動性の表れ方が変わることが示されている。第６章は，超離散法を用いた残響公式の導出であり，線形波動方程式の超離散化や壁面での反射・吸収を通して得られる残響公式が，超離散極限においてアイリングの公式と一致することが示されている。

第７章～第９章は生物リズムが対象であり，第７章では体内時計の分子機構についての概論が示されている。第８章では，体内時計に関して，差分化や超離散化の操作を通してネガティブフィードバックのモデルを導き，さらに持続的な振動が生じる条件が明らかにされている。重要な成果のひとつとして，振動現象の基本メカニズムがブール代数によって理解できることが明らかにされている。第９章ではさらに，超離散化を用いてタンパク質のリン酸化モデルに関する検討を行い，状態遷移の非線形性が振動現象に必要であることが示されている。特に，分岐現象の発見は超離散化に基づくアプローチの威力と普遍性を示唆するものである。最後に，第１０章は本研究の総括である。

本論文では，波動現象や振動現象の解明において，差分化や超離散化といった数学的操作のもたらす有効性が詳細に論じられている。本研究は，オリジナルで独創性の高い研究であるとともに，広い分野へインパクトをもたらすことが期待される。通常，差分法は連続時間のシステムを表す微分方程式を数値的に計算するための工学的ツールである。従って，差分化で得られる方程式はもとの微分方程式の良好な近似になっていることが重要であり，得られる差分方程式自体の構造や性質を積極的に見出そうとする点に，本研究の重要性がある。また，超離散化法は，可積分系の研究やソリトン・セルオートマトンとの関連で見いだされた手法であり，従来，非線形波動現象の数理的

構造や普遍性を研究するために考案され，開発された数学ツールである。本研究は，波動や振動を表す各種の線形方程式に対して，いかに超離散化法が適用可能かを示し，この数学ツールが現実の物理・工学現象を研究する上でも有力なツールになり得ることを具体的に示したものである。さらに，現象の背後にあるメカニズムの普遍性や個別性を考察することで，超離散法の物理的な意味と意義，その役割，解析手法としての可能性などが明確に述べられている。

以上より，学位審査を厳正に実施した結果，本論文は博士（芸術工学）の学位授与に値するものと認める。