

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 吹野美和

近年の科学技術の発展により、社会活動や生体等から大規模な時系列データの獲得が可能になった。従来の線形時系列解析では、データの定常性を前提にする事が主流であったが、未知のデータから新たに分析を行う際には、そのような前提を仮定しない事が望ましい。これを解決できる非線形解析手法としてリカレンスプロット (RP) が挙げられる。一方、大規模なデータに対し、局所のおよび大域的の両面から情報を捉える事は非常に有用である。しかしながら、RPを含め、これら双方の情報を同時に分析できる非線形時系列解析手法はほとんど無い。本論文は、音楽時系列データの背後にある非線形ダイナミクスを主な対象にして、局所のおよび大域的な規則性を同時に分析する新しい手法を提案し解析することを目的としている。

本論文は「Local and Global Regularity of Musical Time Series」(音楽時系列の局所のおよび大域的規則性)と題し、6章からなる。

第1章「Introduction」(序論)では、研究の背景として、本研究で対象としている音楽の持つ特性について、情動と脳のメカニズムの観点から述べている。まず、音楽聴取により情動を生じる事はよく知られているが、その情動の起こり方は、音楽の持つ要素以外に、聴取者の音楽経験やコンテキストにより動的に変化することを指摘している。次に、神経生理学および数理モデルの多くの先行研究により、脳が外部の知覚刺激のパターンを予測し、かつその情報処理過程は階層構造を有する事を挙げている。そして、そのような脳メカニズムを反映した音楽解析手法として、規則性、階層性、可変性(スケーラビリティ)の3つの視点が重要である事を指摘している。

第2章「Overview of Recurrence Plots」(リカレンスプロット概要)では、提案手法の基盤となっているRPについて解説している。まず、RPの数学的な定義を述べ、RP上に現れるパターンの意味について解説している。次に、そのパターンの定量化指標(RQA: Recurrence Quantification Analysis)の数学的定義を示している。さらに、2つの時系列を比較するクロスRP、ジョイントRP、および離散的な値を扱うためのマーク付き点過程の距離によるRPについて説明している。

第3章「Hierarchical Recurrence Plots」(階層的リカレンスプロット)では、局所のおよび大域的な規則性を同時に分析可能な非線形時系列解析手法「Recurrence Plot of Recurrence Plots (RPofRPs)」を提案している。この手法では、まず、長時間の時系列を一定の短時間の区間に分け、各短時間区間のRPを計算して局所的な規則性を求める。次に、その短時間のRP同士のRPを計算し、マクロな周期的特徴を求める。これらの数学的定義について述べた後、解析データとパラメータ、および、局所、大域双方の規則性を定量化するために、RQAの一つであるDETを用いる事を説明している。解析に用いたデータは、Toy Modelとしてローレンツモデル、実データとして、リニアPCM 44.1kHz 16 bit モノラル形式のクラシックピアノ曲3曲である。

第4章「Results」（結果）では、提案手法での解析結果について述べている。ローレンツモデルでは、局所および大域共にRP上に細かい斜め線が現れ、カオス的な性質が観察される事を示している。また、音楽データでは、周期的な規則性、リズムパターンの違い、異なる音階で演奏された類似フレーズの区間など、音楽の俯瞰的な特徴を捉える事ができる事を示している。さらに、データMozart1とデータBeethoven1の大域的なRPから求めたDETの値は、最初はスコアが高く、途中で大きくばらつき、最後に向かって徐々に高まっていく傾向があり、従来法である局所的なDETの変化とは全く異なるものである事を指摘している。

第5章「Discussion」（考察）では、提案手法を拡張・応用して考察を行っている。まずローレンツモデルのパラメータ r に正弦波で摂動を加えたToy Modelデータ x, y, z のうち x の時系列のみを用いて本手法で解析した結果、上の階層の大域的なRPから大きな摂動を観察できる事を示している。次に、第3章の定義で用いたEuclid距離をL1距離およびCanberra距離に変更し、データBeethoven1を用い分割表で比較を行っている。「Euclid 距離対 L1距離条件」ではaccuracy 97.3%と類似している一方、「Euclid 距離対 Canberra距離+L1距離条件」では93.4%とやや異なり、さらにJazzとPopsのデータでは目視でも大きなパターンの違いが確認できる事から、距離の定義の変更により様々な視点での解析が可能である事を示している。さらに、提案手法を用い、同じ楽曲の波形データと、MIDIデータをマーク付き点過程として解析したものを比較する事で、音色の認知処理の実験ツールとしての利用の可能性を述べている。さらに、局所と大域の各RPから求めたDETの結果は音楽理論との整合性があり、複数の音楽要素を総合した決定論性と情動との関係を分析する新しい手がかりになる可能性を議論している。

最後に第6章「Conclusion」（結論）では、本論文の成果を簡潔にまとめている。

以上を要するに、本論文は、音楽時系列データの背後にある非線形ダイナミクスを主な対象にして、その局所および大域的な規則性を同時に分析する新しい手法を提案して解析したものである。まず、時系列データの背後にある非線形動力学的特性を局所および大局的の両面から同時に視覚化できる解析手法RPOfRPsを提案した。次に、本提案手法とDETを併用する事で、楽曲の局所および大域的な規則性の変化を具体的データを用いて解析してその構造を明らかにした。これは数理情報学分野の研究に貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。