

審査の結果の要旨

氏名 室谷浩平

コンピュータ技術の発展に伴い、3次元形状を精密に表現するデータの取得と利用に対する需要が高まり、そのための基礎としての形状解析手法を確立することが大きな課題となっている。すでに、フーリエ解析やウェーブレット解析の手法を3次元形状へ適用する方法が種々提案されている。しかし、これらの手法は形状表面のパラメータ表現を必要とするが、一般の立体表面を大局的にパラメータ化することは不可能なため、立体表面をいくつかの領域に分割し、そのそれぞれに適用しなければならないという制限がある。そのため、パラメータ表現を必要としないノンパラメトリックな形状解析手法が待望されていた。

本論文は、このような背景のもとで、3次元立体形状のノンパラメトリックなスペクトル分解の新しい方法を構成するとともに、その応用について論じたもので、「3次元形状モデルのスペクトル分解とその応用」と題して、10章からなる。

第1章「はじめに」では、本論文の目的、背景、構成を述べて、全体の導入としている。

第2章は「数学的基本事項」と題し、時系列解析の一手法である **Singular Spectrum Analysis** (以下で **SSA** とよぶ) 法の基本、3次元形状の表面を表すメッシュ表現、自己相関関数のパワースペクトルに関して既知の事項をまとめている。これらは、本論文の以下の章での議論の出発点となるものである。

第3章「ラプラシアン行列を用いた3次元多角形メッシュのスペクトル分解と電子透かしの埋め込み」では、3次元多角形メッシュの接続構造を表すラプラシアン行列に基づいて、形状をスペクトル分解し、その成分へ電子透かしを埋め込む大淵らの方法についてまとめている。これは、ノンパラメトリックな既存手法の代表的なものであり、本論文で提案する手法との比較のために、以下の章ではいくどか参照される。

以上が、今までの技術のまとめで、これらと比較する形で、以下の第4章以降で新しい手法とその応用について提案している。

第4章は、「基本 **SSA** を用いた3次元多角形メッシュのスペクトル分解」と題し、既存の **SSA** 法が3次元形状のスペクトル分解へ適用できることを指摘している。ただし、**SSA** 法は、1次元に並んだデータの解析法であり、それを適用するために、立体の頂点に強制的に順序をつけなければならないという欠点をもつことも指摘している。

第5章「基本 **SSA** を用いた電子透かしの埋め込み」では、頂点の1次元系列を **SSA** 法でスペクトル分解し、その分解構造に秘密情報を付加することによって、電子透かしを埋め込めることを指摘している。特に、埋め込みのための秘密鍵の選び方の任意性を利用して、立体の重心移動をできるだけ小さくすることが、透かしの安定性を著しく向上させることも発見している。

第6章は、「拡張 **SSA** を用いた3次元多角形メッシュのスペクトル分解」と題し、メッ

シユの接続構造を反映できる形に SSA 法を拡張する一般的枠組みを提案するとともに、そのような枠組みの中のすなおな一手法を具体的に構成している。これは、頂点に強制的に順序を与える必要がないという意味で、基本 SSA を用いる場合のような恣意性のない 3 次元形状スペクトル分解のノンパラメトリックな新手法である。この方法の提案は本論文の最も大きな貢献であり、したがって、本章は本論文の中心に位置するものである。

以下の三つの章では、第 6 章で構成した拡張 SSA 法の三つの応用の可能性について検討している。

第 7 章「拡張 SSA を用いた電子透かしの埋め込み」では、拡張 SSA 法を用いた電子透かしの埋め込み法を提案している。この方法の性能を理論的および実験的に検討し、ラプラシアン行列を用いた既存の方法と同じような頑健性をもつことを確認するとともに、既存の方法より計算量の点で大幅な改善が達成できることを示している。

第 8 章「拡張 SSA を用いた空間モデルのスペクトル分解」では、基本 SSA 法を利用した時系列の変化点検出法とのアナロジーから、空間に広がる多次元情報の近さや違いの程度を定量的に測る方法を提案している。そして、それを、日本全国の雨量の観測データに適用し、降水パターンの地域差を解析できることを示している。

第 9 章「拡張 SSA を用いた時空間モデルのスペクトル分解」では、時間と空間の両方に広がりをもつデータに対しても提案手法によるスペクトル分解ができることを示している。そして、その手法を、日本全国の約 40 年に渡る降水量データに適用し、降水パターンの地域差と時間差を同時に検出できることを実証している。

第 10 章「おわりに」では、本論文の成果をまとめるとともに、今後に残された課題を整理している。

以上を要するに、本論文は、3 次元形状をスペクトル分解するノンパラメトリックな手法「拡張 SSA 法」を新たに提案するとともに、それが空間的な広がりをもつ多様なデータの解析に役立つことを示したものであり、数理情報学の発展に大きく貢献するものである。

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。