

審査の結果の要旨

氏名 坂本 浩隆

本論文ではベイズ推定により格子モデルの潜在パラメータを観測データから推定することで、観測データを定量的に評価する手法を提案している。また潜在パラメータのベイズ推定における信頼度に基づいて観測系の評価を行い、実験計画を行う枠組みを構築している。対象としている格子系観測データは、データ点が実空間中に記録され、近接相互作用を持つ格子グラフとして扱うことのできる実空間観測画像データと、データ点がフーリエ空間中に記録され、フーリエ変換に基づいて格子モデルと結びつくフーリエ観測画像データである。潜在パラメータは双方のモデルにおいて格子モデルの相互作用パラメータであり、バネモデルにおけるばね定数として扱うことができる。本論文ではこれらのデータを抽象化したモデルを作成し、数値実験により潜在パラメータ推定と信頼度に基づく観測系評価を行っている。第1章では全体の導入と構成を示し、第2章では関連研究を示している。

第3章、第4章、第5章ではガウスマルコフ確率場 (GMRF) モデルを用いて実空間観測画像のモデル化を行っている。これらの章では、GMRF モデルの潜在パラメータとして、画像の滑らかさを表すハイパーパラメータのベイズ推定に着目している。第3章ではハイパーパラメータの推定分布について期待値の厳密解を計算することで、画像データの信頼度を解析することを可能にした。また、画像データのデータ量の増加に伴って分布が縮小することを示し、データの信頼度を潜在パラメータの分布として厳密に表すことに成功している。第3章の結果は、モデルに基づく潜在パラメータ推定と信頼度評価の手法を提案することで、実空間観測画像データの定量的評価に寄与している。

第4章では実空間観測に伴う空間的解像度の低下がGMRFモデルの潜在パラメータ推定に与える影響評価を行っている。数値実験の結果から空間的解像度の低下が撮像対象の次元に依存するバイアスを生じさせうることを示し、また格子モデルの構造に解像度の低下が与える影響を考察している。

第5章では実空間観測画像の平均処理がベイズ推定に基づく潜在パラメータ推定と画像修復に与える影響を評価している。画像の平均処理は処理後の画像の観測精度を向上させる一方で、画像の枚数を減少させるため、トレードオフの関係にある。本章では3つの主要な結果が示されている。1. 潜在パラメータが予め定まっていた場合の画像修復タスクは平均処理の影響を受けないこと。2. 平均操作は潜在パラメータの推定精度を低下させること。3. 潜在パラメータの推定を伴う場合には、平均操作は画像処理タスクの性能を低下させることである。本章の結果は画像解析に対して画像の平均操作と

いう基本的な前処理が悪影響を与えうるため、観測とモデルを含めた実験計画を行うことで前処理の影響を評価する必要性を示している。

第6章ではフーリエ観測に基づく結晶の格子振動の分散関係を観測した高次元スペクトルデータを扱う。結晶の格子点上に存在する各原子間に働く相互作用の強さを対象の潜在パラメータとしてベイズの枠組みに基づく推定と信頼度評価を行っている。従来目視による分散関係の比較が行われてきた高次元スペクトルデータの解析に対し、本章では2種類のアルゴリズムに基づく潜在パラメータの推定法を提案し、それぞれの手法をベイズ事後確率に基づいて比較している。比較の結果、高次元スペクトルデータを用いたベイズ推定には、従来法と同様にスペクトルを1次元のスライスごとに処理する間接法よりも、高次元スペクトルを一括して取り扱う直接法がより精度に優れることを示している。さらに本章では事後分布の解析によって、格子モデルパラメータのベイズ推定において適切な運動量空間のサンプリング手法を評価する手法を提案している。本手法は今後モデルをより精緻化することで中性子散乱などの高次元スペクトルデータに対しても、潜在パラメータと実験計画のための応用が期待される。

本論文では、従来定量的な評価が困難であった観測画像から格子モデルの潜在パラメータに基づく定量化の手法を示し、推定の信頼度を実験および観測計画に用いている。この枠組を解析と数値実験から検証したことは観測画像の処理を議論する上で重要である。また本論文で議論された枠組みはより複雑なモデルに基づく実データ解析にも拡張可能であり、今後の応用が広く期待できる。

なお本論文の内容は、武藤健介、中西義典、永田賢二、有馬孝尚、岡田真人との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与は十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上 1902 字