

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	非負値行列分解の統計的学習理論と複合データ分析
Title(English)	Statistical Learning Theory of Nonnegative Matrix Factorization and Multiple Data Analysis
著者(和文)	幸島匡宏
Author(English)	Masahiro Kohjima
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11064号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:渡邊 澄夫,樺島 祥介,金森 敬文,山下 真,中野 張
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11064号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	幸島 匡宏		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	渡邊 澄夫	教授	審査員	中野 張	准教授
	審査員	樺島 祥介	教授			
		金森 敬文	教授			
山下 真		准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は Statistical Learning Theory of Nonnegative Matrix Factorization and Multiple Data Analysis (非負値行列分解の統計的学習理論と複合データ分析)と題し、英文 5 章と付録からなっている。

第 1 章 Introduction では、非負値行列分解とは非負値の要素を持つ行列を非負値の要素を持つ二つの行列の積に分解することであると説明し、データ解析においては非負値行列分解を統計的学習の観点から考察する必要があると述べている。また本論文の目的は、異粒度を有するデータの分析に非負値行列分解を適用するための新しいアルゴリズムを構成すること、および非負値行列分解に変分ベイズ法を適用した場合の漸近挙動を解明し事前分布のハイパーパラメータに対する相転移構造を解明することによって、統計的学習としての非負値行列分解の基礎を確立することであると述べている。

第 2 章 Statistical Learning Theory of NMF では非負値行列分解を統計的推測の観点から扱うための枠組みを導入している。非負値行列の集合上の未知の確率分布に従うサンプルから最尤推定を求めるための MM 法、および平均場近似によりベイズ推定を近似する変分ベイズ法のアルゴリズムを記述し、それらがダイバージェンス最小化の観点から説明できると述べている。またアルゴリズムの精度を評価する基準の定義を述べ、統計的推測としての非負値行列分解の従来の研究についてまとめている。

第 3 章 NMF for Inconsistent Resolution Matrices では、非負値行列分解を複合的なデータの分析に用いる場合、粒度の異なるデータを対象とする必要があると述べている。粒度が異なるとは、例えば、あるデータは個人の毎月の購買記録である一方、あるデータは男性の平均的な記録であるというように観測されるデータの詳細さが異なるということであり、実データの解析においては粒度の異なる情報を統合する新しい学習の方法が必要になることがあると述べている。また粒度の異なる情報を扱うための統計的推測が、それぞれの粒度で推定されるパラメータ間の制約式を満たしながら学習を行う方法に帰着できることを理論的に導出し、その方法の局所的な収束性について理論的に検討し、人工的なデータに適用した際の精度を従来法と比較することでその有効性を明らかにしている。

第 4 章 Theoretical Analysis では、非負値行列分解を変分ベイズ法により行う場合を考察し、事前分布のハイパーパラメータがどのような影響を及ぼすかを理論的に調べている。非負値行列分解を変分ベイズ法で行う際には分解する二つの行列の事前分布を定める必要があるが、一般に分解の結果がユニークではないため、それぞれの事前分布のハイパーパラメータが分解結果に及ぼす影響を理論的に解明する必要があると述べている。また、変分ベイズ法においては変分自由エネルギーを最小とする分解が平均場近似の分解を特徴づけていることを利用し、変分自由エネルギーのサンプルサイズが無限大に近づく極限での漸近挙動を解明することで、その値を最小とする分解がハイパーパラメータの二つの領域で異なることを相図の上で明らかにし、および、その領域が切り替わることから相転移点が高パラメータによって定義される直線上にあることを示している。また理論的に得られた漸近挙動と相転移点について計算機による数値計算でも確認されたと述べている。

第 5 章 Summary では本論文を要約し、付録 Appendix では非負値行列分解の学習理論の定義と用語をまとめている。

以上を要するに、本論文は、非負値行列分解を統計的学習から考察するための枠組みの上で、粒度の異なる複合的なデータを扱うための学習アルゴリズムを確立し、また変分ベイズ法における事前分布のハイパーパラメータの影響を相転移構造を明らかにすることで数理的に解明したものであり、理学的上、貢献するところが非常に大きい。よって本論文は、博士 (理学) にふさわしいものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。