

2026年 8月 24日

豊橋技術科学大学長 殿

情報・知能工学専攻
学位審査委員会
委員長 北岡 教英



論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	吉田 司		学籍番号	第 249302 号
申請学位	博士（工学）	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 情報・知能工学 専攻	
博士学位論文名	Empirical Bayes Estimation for Regularization Parameters in Sparse Modeling (スパースモデリングにおける正則化パラメータの経験ベイズ推定)			
論文審査の期間	2026年 7月 16日 ～ 2026年 8月 24日			
公開審査会の日	2026年 8月 7日		最終試験の実施日	2026年 8月 7日
論文審査の結果※	合格		最終試験の結果※	合格
審査委員会(学位規程第6条) 学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。 委員長 北岡 教英 委 員 金澤 靖 渡辺 一帆				

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論文内容の要旨

本論文は、解の疎性をもたらす正則化を利用した機械学習・信号処理において、正則化の度合いを決める正則化パラメータの推定手法を論じたものである。疎性モデリングにおける最も代表的な手法である Lasso 回帰を含む正則化法について、経験ベイズ法による正則化パラメータの推定量の振る舞いを論じている。第2章では、線形回帰モデル、疎性モデリングと正則化、ベイズ推定や経験ベイズ法などの基本事項を概説している。第3章では、一つのパラメータを持つ Lasso 回帰モデルについて、経験ベイズ法における周辺尤度が単峰性を持つことを示し、正則化パラメータの推定量を厳密に導出している。加えて、局所変分法による近似法の推定量を導出し、厳密な推定量と比較した近似精度を明らかにし、経験ベイズ法により推定した正則化パラメータを用いた Lasso 回帰の性質を述べている。第4章では、Group Lasso 回帰モデルについて論じ、周辺尤度の単峰性ととともに正則化パラメータの推定量を厳密に導出し、その性質を述べている。第5章では、Ridge 回帰、Lasso 回帰、Group Lasso 回帰を含む一般の斉次正則化モデルを定義し、周辺尤度が単峰である条件の下、正則化パラメータの推定量が共通した構造を持つことを示し、推定量が発散する条件を一般の入力データ行列の場合に明らかにしている。第6章では、経験ベイズ法により正則化パラメータを推定した Group Lasso 回帰におけるパラメータの一致性を議論し、データ数無限大の極限において、非零成分の検出確率は1に近づく一方、零成分を誤検出する確率は一定値以上となることを明らかにしている。第7章では、本論文の研究内容をまとめ、今後の課題と展望を述べている。

審査結果の要旨

学習・推定の結果得られる解の疎性を利用した機械学習・信号処理手法は、疎性（スパース）モデリングと呼ばれ、幅広い応用を持つ。本論文は、疎性の度合いを制御する正則化パラメータをデータから推定する方法として、経験ベイズ法による推定法を考察し、その統計的性質を論じている。解の疎性をもたらす正則化法においては、ベイズ推論における共役性が成立しないため、経験ベイズ法に基づく正則化パラメータの推定法は、近似法による実装が主であり、その理論的な解析は困難と考えられていた。本論文は、最も代表的な手法であるLasso回帰について、一つのパラメータを持つモデルを詳細に解析し、経験ベイズ法の目的関数である周辺尤度関数の単峰性を示すとともに、経験ベイズ法による正則化パラメータの厳密解を導出している。また、実用的な近似法である局所変分法の推定量を導出し、厳密な推定量と比較することで、近似精度を明らかにしている。詳細な解析は、三つのパラメータを持つGroup Lasso回帰モデルにも展開され、周辺尤度関数の単峰性や推定量が発散する条件などの、厳密解の持つ共通の数理構造を明らかにしている。これらの具体例において厳密に解明された数理構造を持つ一般的な正則化モデルとして、斉次正則化モデルを特徴づけ、周辺尤度関数が単峰であるという仮定の下、任意のパラメータ数に対し、厳密解は共通した数理構造を持つことを示し、推定量が発散する条件を任意の入力データ行列に対して明らかにした。さらに、経験ベイズ法により推定した正則化パラメータを用いたGroup Lasso回帰において、零成分と非零成分の検出確率を解析し、変数選択の一致性が部分的に成立することを示した。このように、本論文は、疎性を利用した機械学習・信号処理手法における経験ベイズ法の統計的性質を詳細に明らかにし、広範な応用を持つ正則化手法の工学的設計の基礎を与えており、博士（工学）の学位に相当すると判定した。

(各要旨は1ページ以上可)