

まえがき

1996年、トロント大学（現在はスタンフォード大学）の Robert Tibshirani 博士は、回帰モデルに対する変数選択手法である lasso (least absolute shrinkage and selection operator) を提案した。lasso は、回帰係数ベクトルに L_1 ノルムの制約を課した正則化法に基づき推定を行うもので、変数選択とパラメータ推定を同時に行うことができるという特徴を持つ。サンプルサイズより変数の数が大きい場合、最尤推定値は求まらないが、lasso は実行可能であることから、lasso は大きな注目を集めるようになった。その後、変数選択だけでなく、データ発生 の疎性構造を抽出するという、より一般的な観点からの研究が進み、たとえば、グラフ構造における辺選択などにも拡張されていった。これらの方法はスパース推定とよばれ、今日では統計解析の基本ツールになりつつある。また、統計学だけでなく情報学の分野にも応用されており、特に圧縮センシングとよばれる画像復元の技術は、脳画像の復元などさまざまな場面で用いられている。

スパース推定を行う上で重要な役割を果たすのが、最適化分野との接近による計算アルゴリズムである。スパース推定では、目的関数にパラメータベクトルの L_1 ノルムが含まれるため、パラメータに関して微分不可能な点が存在する。ゆえに、推定値を解析的に求めることが困難なことが多い。そこで、最適化理論に基づき数値的に推定値を求めるために、スパース推定独自の計算アルゴリズムが発展していった。

本書は、学部3、4年生から大学院生、ならびに企業における実務者、技術者向けに、正則化法に基づくスパース推定の入門的内容から発展的内容までをまとめたものである。実用性を重視するため、スパース推定を用いた統計モデリングを中心にできるだけ数多く解説し、「スパース推定を用いると、こういう統計解析が可能になるのか」といったような、統計解析におけるスパース推定の有用性を実感することができるように

心掛けた。また、実際に推定値がどのように計算されるのかを理解できるように、計算アルゴリズムの説明に多くのページを割いている。さらに、理解の助けとするために、紹介する手法の数値例をできる限り載せるようにした。これらの数値例の結果を読者が各自で確認できるように、統計解析ソフトウェア R のコードを各章末に載せている。これらのコードは <http://www.kyoritsu-pub.co.jp/bookdetail/9784320112575> よりダウンロードすることができる。

本書の構成は次の通りである。まず、第 1 章では、スパース推定の代表格とも言える lasso を紹介する。正則化法に馴染みのない読者にも読み進めることができるよう、その解説からはじめ、lasso の導入へと続く。その後、標準的な計算アルゴリズムと、正則化パラメータの選択方法を紹介する。続く第 2 章と第 3 章では、第 1 章で紹介した lasso の正則化項を拡張する。第 2 章では、変数間の相関性を考慮に入れたエラスティックネットワークと、変数選択の一致性を持つ非凸正則化項を紹介し、第 3 章では、変数間の構造を考慮に入れた構造的スパース正則化法を紹介する。第 4 章では、さまざまな回帰モデル（ロジスティック回帰モデル、ポアソン回帰モデル、多項ロジスティック回帰モデル、コックス回帰モデル）に対するスパース推定法を紹介する。最後に第 5 章では、多変量解析、特にガウシアングラフィカルモデル、主成分分析、因子分析におけるスパース推定法を紹介する。

はじめてスパース推定に触れる読者は、まず第 1 章を読んでいただきたい。その後は、各章がある程度独立しているので、目的に応じて読み進めることが可能である。なお、第 2 章と第 4 章よりも、第 3 章と第 5 章の方が発展的な内容となっている。

本書で扱うトピックは、スパース推定の一部にすぎない。たとえば、推定量の理論解析、近年研究が盛んに行われている行列・テンソル補完や統計的仮説検定については本書では扱っていない。これらの内容については、Bühlmann and van de Geer (2011), Hastie *et al.* (2015), 富岡 (2015) などを参照されたい。

最後に、本書を執筆する機会をくださった九州大学マス・フォア・イン

ダストリ研究所の西井龍映先生ならびに編集委員の方々，原稿を読んでいただきコメントをいただいた大阪大学大学院基礎工学研究科の鈴木讓先生，九州大学共進化社会システム創成拠点の山口尚哉氏，デカスロンデータの情報提供および成形をしていただいた九州大学大学院数理学府の久保幸充君に感謝申し上げます。さらに本書を担当してくださった共立出版編集部の方々に心から感謝申し上げます。

2018年1月

著者一同