

Title	Independent component analysis approach to latent variable modeling : Structural equation models using non-Gaussianity
Author(s)	清水, 昌平
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46769
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	清 水 昌 平
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 20424 号
学位授与年月日	平成18年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科システム創成専攻
学位論文名	Independent component analysis approach to latent variable modeling : Structural equation models using non-Gaussianity (潜在変数モデリングへの独立成分分析によるアプローチ : 非正規性を利用する構造方程式モデリング)
論文審査委員	(主査) 教授 狩野 裕 (副査) 教授 白旗 慎吾 教授 稲垣 宣生

論文内容の要旨

情報工学の分野で生まれた手法である独立成分分析(ICA)は、情報理論のフレームワークにおいて観測変数の非正規性を積極的に利用し非正規独立な潜在変数を同定する。一方、因子分析やパス解析など多くの多変量解析手法を含む構造方程式モデリング(SEM)は、今や社会科学の分野でスタンダードな方法論となった。事前情報をモデルに積極的に取り込み、そしてそのモデルがデータに適合するかを統計的に評価するという検証的アプローチが、実際に観測することのできない構成概念(潜在変数)の検討に威力を発揮したのである。

このように今、有力な統計解析手法となったSEMであるが、そのSEMでも扱えないモデルが当然残されている。その限界の主な理由は、SEMが1次・2次統計量しか(通常は)用いないところにある。そこで、この博士論文では、ICAのアイデアである非正規性(例えば、高次モーメント構造)の積極利用によって、従来の潜在変数モデリングの方法であるSEMを拡張する。この拡張によって、従来法では識別可能でなかったモデルが識別可能になったり、飽和モデルや同値モデルの問題が解消されたりする。

第2章で、この新しいモデリング「線形非正規非巡回モデル(LiNGAM)」について、識別性や、推定方法などについて述べる。第3章から5章では、このモデリングの有用性を説明するための例として、観察研究における因果推論を取り上げる。まず第3章では、非正規性を用いると、パスの向き異なる2つの単回帰モデルを適合度の観点から区別することができることを示す。第4章では、非正規性を利用する未観測交絡変数の検出法を提案する。無相関と独立性を区別することの重要性を指摘する。第5章では、第3章で提案した方法を、多変数に拡張する。変数間の因果関係が線形非正規非巡回モデルで表されていれば、その関係をすべて同定することができる。第6章では、最近盛んに研究されているBlind source separation問題である、分散従属性のある信号の抽出・復元を議論する。

論文審査の結果の要旨

申請者は、学位論文において、主に情報工学(信号処理)において発展してきた独立成分分析(ICA)と調査デー

タの分析手法である構造方程式モデリング (SEM) の統合を目指して研究をまとめた。両手法ともある意味で直接観測できない潜在変数を扱うが、ICA はそれらの非正規性と独立性を本質的に利用するのに対して、SEM は多変量正規分布が基本的な役割を果たす。もちろん SEM も非正規分布に対応しているが、非正規性から推測に本質的に係わる有益な情報を活用しようとはしなかった。

申請者は、まず、SEM に ICA の非正規情報を利用するテクニックを輸入することで、SEM を本質的に拡張した。従来の SEM は 1 次と 2 次のモーメント構造を分析対象としていたことにより、識別不能モデル、同値モデル、飽和モデルの問題が生じ、これらは SEM の限界と認識されていた。しかし、申請者は、非正規情報を積極的に利用することにより、これらの限界を大幅に緩和させることに成功した。申請者は、この成果を回帰分析に適用し因果の方向をモデルの適合度によって決定することを提案した。また、同方法により未観測交絡変数を検出する新しい手順を提案した。

第 2 に、申請者は情報工学の分野に因果推論の議論を持ち込んだ。ICA の最新鋭の推定技法である FastICA を用いて、外生変数に非正規かつ独立を仮定し因果の順序 (causal ordaring) を決定するモデルとその推定アルゴリズムを構築した。

以上のように、申請者は統計科学と情報工学の両分野にインパクトのある業績を挙げたと言え、博士 (工学) の学位論文として価値があるものと認める。