

Title	Statistical Causal Inference with Cyclic Structural Equation Models
Author(s)	長瀬, 真利雄
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/88106
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。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

論文内容の要旨

氏 名 (長瀬 真利雄)	
論文題名	Statistical Causal Inference with Cyclic Structural Equation Models (巡回構造方程式モデルによる統計的因果推論)
論文内容の要旨	
<p>観察データ（実験的な環境下で得られていないデータ）に基づく因果構造の解明は、様々な学術分野において根本的な課題となることが多く、非常に重要である。また、観察データは巡回構造を有したり潜在共通原因が存在したりすることが多く、これらを想定した構造方程式モデルを開発し適用することは因果構造の解明に貢献する。一方で、同モデルは基本的な数学的条件である識別性が成立しないことが多く、実際、変数間に線形的な関係を、誤差に正規分布を仮定した代表的なモデルは識別可能でないことが知られている。本論文では、1) 線形的な関係、正規誤差の仮定の下、道具的変数を用いた場合、また、2) 非線形な関係、正規誤差を仮定した場合、のモデルの識別性について理論的に検討し、それぞれの手法について実データへの適用可能性を議論した。1) については、興味対象の変数の数および潜在共通原因の有無のパターンに応じて、どのような道具的変数が識別のために必要であるかを提示した。一般に、観測変数が道具的変数であるための条件を満たしていることを合理的に示すことが難しく、できるだけ少ない数の道具的変数を用いることが望ましいが、特に分析の計画段階において本結果を用いることで、より効率的な分析計画の立案が可能となる。2) については、まず、正規誤差の下、非線形な関係を仮定することで識別性が成立することを示した。実用上は非線形関数の選択が問題となるが、本研究では三角関数を用いたFourier展開的な関数を用いることで、事前に関係の仮定を設けることなく、自由な関数表現を確保しつつ、既存の最尤法によって計算負荷が低い推定アルゴリズムを提案した。また、Fourier展開の展開次数をAICまたはBIC等により選択することで、データのもつ情報量に応じて関係の複雑度を適切に選択することが可能であることを確認した。当手法を複数の実データに適用し、いずれも合理的な因果関係の抽出に成功している。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (長瀬 真利雄)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	狩野 裕
	副 査	内田 雅之
	副 査	鈴木 讓

論文審査の結果の要旨

因果関係の同定はサイエンスの究極の目的と言ってよい。統計的因果推論において最も有効な方法論は被験対象に介入し結果を観察することであるが、実際は、介入が不適切である、介入が不可能である、介入が許されない、という状況は多い。観察データは対象に介入することなく得られたデータを指し、観察データに基づく因果推論は非常に難しく多くの課題が残されている。その中で、双方向に影響を及ぼしあう循環構造をもつ因果関係はさらに困難で研究成果も少ない。本論文では、相関のある正規誤差を伴う非線形関係を設定することによって、循環構造を推定する統計的因果推論を発展させた。誤差間相関は未観測第三変数（交絡変数）の影響を吸収することを可能とする。

循環構造を推定するにあたって、本論文では、1) 線形的な関係、正規誤差の仮定の下、道具的変数を用いた場合、および、2) 非線形な関係、正規誤差を仮定した場合、を取り上げ、モデルの識別性について理論的に検討し、それぞれの手法について実データへの適用可能性を議論した。特に、1) については、興味対象の変数の数および潜在共通原因の有無のパターンに応じて、どのような道具的変数が識別のために必要であるかを提示した。2) においては、非線形関数の選択が課題となるが、本論文では、三角関数にもとづくFourier展開的な関数を用いることで、関数関係について事前に強い仮定を設けることなく、自由な関数表現を確保しつつ、既存の最尤法によって計算負荷が低い推定アルゴリズムを提案している。提案手法を複数の実データに適用し、いずれも合理的な因果関係の同定に成功している。これらの成果は統計科学における因果推論に関する理論研究として有意義なものであり、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。