



Title	Dependencies in Learning Graphical Models
Author(s)	Islam, Md Ashraful
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/101713
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (Md. Ashraful Islam)	
Title	Dependencies in Learning Graphical Models (グラフィカルモデルにおける変数間の依存性の学習)
<p>Abstract of Thesis</p> <p>This thesis introduces two novel methodologies that significantly advance mutual information estimation for mixed-type variables and the identification of non-linear causal relationships. These contributions address critical challenges in data analysis and causal inference in complex settings, offering powerful tools for researchers across various scientific disciplines.</p> <p>The first part focuses on estimating mutual information in datasets containing both discrete and continuous variables. Extending the Chow-Liu algorithm, our method constructs a forest that captures probabilistic dependencies among mixed-type variables. Using copula-based joint density estimation and the Watanabe Bayesian Information Criterion (WBIC) for computing free energies, our approach enables more accurate mutual information estimation, surpassing conventional likelihood-based methods. This method has been effectively applied to link genomic expression with Single Nucleotide Polymorphism (SNP) data in genome expression studies.</p> <p>The second part introduces a method for learning non-linear causal structures by integrating Generalized Additive Models (GAMs) with the Hilbert-Schmidt Independence Criterion (HSIC). This approach addresses the challenges of estimating additive noise models without prior knowledge of the underlying non-linear relationships. Leveraging the adaptability of GAMs, our method models diverse non-linear dependencies without imposing strict parametric assumptions. We also provide a theoretical analysis demonstrating consistency in causal order identification, and our experimental results highlight the superior performance of the proposed approach in identifying causal relationships compared to existing methods.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　　(Md. Ashraful Islam)		
論文審査担当者	(職)	氏　名
	主　查　　教　授	鈴木 謙
	副　查　　教　授	杉本 知之
	副　查　　教　授	内田 雅之

論文審査の結果の要旨

本博士論文は、**混合型変数を含む相互情報量の推定および非線形因果関係の同定**に関する二つの新たな手法を提案し、これらの問題に対する重要な課題を解決することを目的としている。従来の相互情報量推定および因果推論手法では、データの複雑な構造や非線形関係を適切に捉えることが困難であった。本論文では、これらの問題に対処するため、以下の二つの研究を行い、その有効性を理論的および実験的に検証した。

第一の研究では、**混合型変数を含む相互情報量の推定手法**を提案した。従来の相互情報量推定手法は、離散型変数と連続型変数の組み合わせに対する適用が困難であった。本研究では、Chow-Liu アルゴリズムを拡張し、混合型変数間の確率的依存関係を森林構造で表現する手法を開発した。さらに、コピュラに基づく結合密度推定と、Watanabe Bayesian Information Criterion (WBIC) を用いた自由エネルギー計算を組み合わせることで、より精度の高い相互情報量の推定を可能にした。本手法は、遺伝子発現データと一塩基多型 (SNP) データの関連付けといったゲノム研究に応用され、その有効性が実証された。

第二の研究では、**非線形因果構造の学習手法**を提案した。従来の加法ノイズモデル (ANM) に基づく因果推定手法は、非線形関係の事前情報を必要とするため、適用範囲が制限されていた。本研究では、一般化加法モデル (GAM) とヒルベルト・シュミット独立性基準 (HSIC) を統合することで、事前のパラメトリックな仮定を設げずに多様な非線形依存関係をモデル化する手法を開発した。さらに、因果順序の同定に関する一貫性 (consistency) を理論的に証明し、実験結果においても既存手法と比較して優れた因果関係の同定精度を示した。

本論文は、相互情報量推定および因果推論における重要な課題に対して新たな視点を提供し、理論的貢献と実用的応用の両面において優れた成果を上げている。提案手法は、遺伝学、社会科学、経済学など、様々な学問領域のデータ解析において有用なツールとなることが期待される。

以上のように顕著な業績をあげており、本論文は、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。