

Title	Study on Asymmetries in Causal and Anticausal Predictions
Author(s)	Bloebaum, Patrick
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/73464
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

Abstract of Thesis

Name (BLOEBAUM PATRICK)	
Title	Study on Asymmetries in Causal and Anticausal Predictions (因果的及び逆因果的予測の非対称性に関する研究)
Abstract of Thesis Causality research is becoming an increasingly popular topic in machine learning, since the results are often not only from an interest in predicting the outcome of potential interventions, but also in general statistical and machine learning applications. For instance, is a certain change in the physical state of a patient a symptom or a cause of a certain disease? Or in what manner does a change in an ad campaign affect sales? In our research, we combine causality with predictions in machine learning, i.e. we analyze implications for prediction problems with respect to the data generation process. For this, we provide a framework that combines the underlying causal structure of given data and a prediction model, which contributes to further interpretability and understanding of the behavior of prediction mechanisms under interventions. Based on this, we show that, under the assumption of an independence between data generating mechanism and input (here, formalized as an algorithmic independence), knowledge about the causal relationships between features of a given problem has several implications for the solvability and difficulty of classification and regression tasks. We particularly prove, in the setting of near-deterministic nonlinear relationships, that the expected regression error of predicting in the true causal direction is smaller than the expected error in the anticausal direction. By exploiting this asymmetry, we further provide a novel principle for inferring the causal direction between two variables purely based on observational data, which only requires a simple comparison of regression errors. All outcomes of this research are well supported by evaluations in artificial and real-world datasets.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (BLOEBAUM PATRICK)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 鷲尾 隆 (産業科学研究所)
	副 査	教授 駒谷和範 (産業科学研究所)
	副 査	教授 滝根哲哉
	副 査	教授 丸田章博
	副 査	教授 馬場口登
	副 査	教授 三瓶政一
	副 査	教授 宮地充子
	副 査	教授 井上 恭
	副 査	准教授 河原吉伸 (産業科学研究所)

論文審査の結果の要旨

本論文は、対象において変数値が生成された順序に沿う因果的予測とその逆順序に沿う逆因果的予測の特性の非対称性、その識別条件や識別方法、機械学習性能への影響、それらの応用についての研究成果をまとめたものであり、以下の通りの成果が示されている。

第1章では、本研究の動機、背景、課題、関連研究、問題設定など、全章に共通する研究の論点および論文構成について述べている。本論文の主目的は、因果的予測および逆因果的予測の特性の違い・その特性の違いを生む条件・さらにその違いに基づいて変数間の因果関係を明らかにすることが可能となる条件を数理的に明確化すること、およびその結果を用いて機械学習の性能向上に関する知見を得ると共に、変数間の因果関係を同定する新しい統計的因果推論手法を提案し、それを実データに適用して有効性を検証することである。第1章では、このための全論文に亘る論旨展開の諸準備と、それに基づく目的および問題設定の大枠を述べている。

第2章では、説明変数から目的変数を推定する分類・回帰問題一般について、対象のデータ生成過程において説明変数の値によって目的変数の値が決まる因果的順序に沿う予測と、その逆である逆因果的順序に沿う予測が、どのような数理的特徴の違いを持ち、それが予測性能にどのような影響を与えるかを考察している。さらにこれらの知見に基づいて、予測性能の向上に最適な因果的介入に基づくデータ収集・コントロールの方法について提案している。

第3章では、説明変数からカテゴリカルなラベルである目的変数を推定する分類問題について、対象のデータ生成過程において説明変数の値によって目的変数の値が決まる因果的順序に沿う分類モデルと、その逆である逆因果的順序に沿う分類モデルが、どのような数理的特徴の違いを持つかを考察し、さらにそれに基づいて機械学習における生成モデルと識別モデルによる分類性能の違いを説明変数と目的変数の因果関係の観点から明らかにしている。

第4章では、説明変数から連続値を取る目的変数を推定する回帰問題について、因果的順序に沿う回帰モデルと、その逆である逆因果的順序に沿う回帰モデルが、どのような数理的特徴の違いを持ち、それが回帰性能にどのような影響を与えるかを理論的に考察している。特に、対象のデータ生成過程が非線形である場合には、データ生成過程における外乱の統計的分布がガウス・非ガウスであるにもかかわらず、因果的回帰と逆因果的回帰の間に本質的な予測性能の違いが存在することを明らかにしている。

第5章では、第4章で明らかにされた対象のデータ生成過程が非線形である場合に関する因果的および逆因果的回帰の数理的特徴の違いに基づいて、データから変数間の因果関係を明らかにする手法原理とそれに基づくアルゴリズムを提案している。さらに社会科学などを含む幅広い分野から収集された因果関係ベンチマークデータに提案手法を適用し、実際のデータ生成における変数間の因果関係を推定する性能の妥当性を確認している。

第6章では、全章を通しての考察を加え、本研究で得られた成果を総括すると共に今後の展望を述べている。

以上のように本論文は、因果的予測と逆因果的予測の特性の非対称性、それが生じる数理的条件、その機械学習性能への影響を体系的に明らかにしており、さらにその知見に基づき因果関係の識別方法、それらの応用について独創性の高い研究成果を提示している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。