

( 続紙 1 )

京都大学	博士 (情報学)	氏名	原田 将之介
論文題目	Treatment Effect Estimation from Small Observational Data (小規模観察データからの介入効果推定)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、様々な意思決定において有用である介入効果推定を、少数の観察データから実現するための機械学習アプローチについての研究結果をまとめたものであり、全6章から構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、本論文の目的とその内容を概観している。近年、機械学習による予測モデリングが様々な分野において成功を収めているが、そこから、意思決定の及ぼす効果、すなわち介入効果にまで踏み込んだ予測モデリングは、データに基づく意思決定においてより重要であることを述べている。また、少数の観察データしか得られない、より困難な状況における介入効果の推定を行うにあたって、データの不足や観測バイアス、隠れた交絡変数の存在などの本質的な課題を、近年発展著しい深層学習の立場から解決するという本論文の展望について述べている。</p> <p>第2章では、本論文の主題として扱う介入効果の推定問題の理論的な土台として、潜在アウトカムによる枠組みと、構造方程式による枠組みという因果推論における二つの理論的枠組みを概観するとともに、これらの枠組みにおける介入効果の定義等を与えている。</p> <p>第3章では、介入とその結果が分かっている観察データが少数しかないときに、介入情報が与えられていない、いわゆる教師なしの観察データも活用することで、介入効果推定の効率を高める半教師付き介入効果推定の問題を提案している。そして、介入効果推定で用いられるマッチングの考え方と、機械学習における半教師付き学習の手法のひとつであるラベル伝播の考え方の類似性を指摘し、これらを融合した反事実伝播法を提案している。また、代表的なベンチマークデータを用いて、特に介入情報が与えられるデータが少ないときに提案手法が高い性能を示すことを確認している。</p> <p>第4章では、介入の種類が極めて多数であるときの介入効果推定問題、とくに、薬剤などのグラフ構造で表現できる介入に対する効果推定問題を扱っている。この問題に対して、グラフニューラルネットワークによって介入の潜在表現を抽出し、介入結果を予測する深層学習モデルを提案している。また、介入の表現と対象の表現の分布が独立となるように独立性基準を正則化として加えることによって、観測バイアスを軽減したモデルの学習が行えることを理論的に示すとともに、ベンチマークデータを用いた実験によって提案手法の有効性を示している。</p> <p>第5章では、介入と介入結果に影響を与える交絡変数が与えられないときに、これを推定しながら介入効果推定を行う方法について検討している。近年、交絡変数が未知の場合の対処方法として、変分オートエンコーダによって、交絡変数を潜在変数として推定するアプローチが提案されているが、本論文では、その最適解が必ずしも正しい介入効果の推定値を与えないこと、また、情報量正則化を用いることで、この問題が解決されることを理論的に示している。また、ベンチマークデータを用いた実</p>			

験によってもその有効性が示されている。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。即ち本論文は、データに基づく意思決定において有用な介入効果推定において、これを少数の観測データから行う方法について検討したものであり、特に、介入効果推定における代表的な3つの課題として、データの不足、観測バイアス、未知の交絡変数を挙げ、これらの影響を軽減する機械学習手法を提案し、その有効性を理論と実験の両面から示したものである。本論文では最後に、将来の課題・展望として、できるだけ有用なデータを獲得するための能動学習法との融合や、離散的な潜在交絡変数の扱いなど、さらに効果的な介入効果推定を行うためのアイデアを挙げ、本論文を結んでいる。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、少数の観察データからの介入効果推定を実現するための機械学習アプローチについての研究に取り組んだものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 介入とその結果が分かっている観察データが少数しかない状況において、比較的入手が容易な、介入情報が与えられていない観察データも活用することで、介入効果推定の効率を高める半教師付き介入効果推定の問題に対して、因果推論におけるマッチングの考え方と、機械学習における半教師付き学習の手法を融合した解決法を提案し、その性能を実験的に確認した。

2. 介入の種類が極めて多数であるときの介入効果推定問題、とくにグラフ構造で表現できる介入に対する効果推定の問題に対して、グラフニューラルネットワークによる介入の潜在表現抽出と、介入の表現と対象の表現の分布が独立となるような独立性基準による正則化を組み合わせることによる解決法を提案し、その性能を実験的に確認した。

3. 交絡変数が与えられない状況での介入効果推定において、変分オートエンコーダを用いて交絡変数を潜在変数として推定する既存のアプローチの問題点として、その最適解が必ずしも正しい介入効果の推定値を与えないことを示し、また、情報量正則化を用いることで、この問題が解決されることを理論的に示すとともに、その性能を実験的に確認した。

以上、本論文は、データに基づく意思決定において有用な介入効果推定において、これを少数の観測データから行う方法について検討したものであり、特に、介入効果推定における代表的な3つの課題として、データの不足、観測バイアス、未知の交絡変数を挙げ、これらの影響を軽減する機械学習手法を提案し、その有効性を理論と実験の両面から示したものであり、学術上・実応用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認められる。また、令和5年2月24日に実施した論文内容とそれに関連した口頭試問の結果、合格と認めた。なお、インターネットでの全文公表を行うことについて支障がないことを確認した。

要旨公開可能日： 年 月 日以降