

令和元年6月18日現在

機関番号：34504

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H07277

研究課題名（和文）因果推論における意識的過程と無意識的過程の相互作用

研究課題名（英文）Interaction between conscious and unconscious process in causal reasoning

研究代表者

齋藤 元幸（SAITO, Motoyuki）

関西学院大学・文学部・助手

研究者番号：70801926

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,170,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、密度バイアスなどの不合理な判断に焦点を当て、因果推論における意識的過程と無意識的過程の相互作用を検討することであった。一見相容れない合理的な認知モデルと不合理な判断の関係を調べることで、合理的な判断と不合理な判断がそれぞれどのように生じているか解明することを目指した。一連の実験の結果、(1)連続変数を対象とした因果推論では密度バイアスが生じないこと、(2)同様の知見は抑制的因果関係を扱った因果推論においても見られること、(3)連続変数の分散は因果推論に大きく影響することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、不合理な判断が合理的な認知モデルからどのように生じるかを明らかにしたことにあり、この知見は既存の認知モデルの拡張を強く推進するものであり、理論的にも実験的にも有益なものと考えられる。また、社会的意義については、人間の思考の合理性と不合理性について示唆を含んでおり、不合理な思考の抑制や合理的な思考の促進につながると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of the present study is to explore the interaction between conscious and unconscious process in causal reasoning. I focused on the outcome density bias and investigate how irrational judgments arise from a rational model. The results demonstrate (1) outcome density bias does not occur in causal reasoning with continuous outcomes, (2) similar results are confirmed in causal reasoning about preventive causal relations, and (3) variance in continuous outcomes has a great influence on causal reasoning.

研究分野：認知科学

キーワード：思考 因果推論 バイズモデル 統計的因果推論 因果ベイズネット

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

因果関係をどのように認識するかという問題は、Hume や Kant を初めとする数多くの哲学者の論考を背景に、心理学においても様々なアプローチから解決が試みられてきた。現在、因果ベイズネット (causal Bayes nets) を用いて因果推論を説明するベイズ的アプローチが多くの研究で採用されている (Holyoak & Cheng, 2011; 斎藤, 2017)。

因果ベイズネットとは、既存の情報から因果関係を適切に導き出し、与えられた情報から推測を行うために統計学や計算機科学などの分野で開発された統計的因果推論の手法である (Pearl, 2000)。因果ベイズネットはヒトがどのように判断すべきかを扱う規範的モデルであるが、比較的単純な実験事態ではその予測と一致した合理的な判断が見られることから、ヒトがどのように判断するかを扱う記述的モデルや認知モデルとしても採用されてきた。

しかしながら、ヒトは常に合理的な判断を行うわけではなく、不合理な判断を行うこともある。例えば、実際には因果関係がないにも関わらず自分の行為が結果を引き起こしたと錯覚することが知られており、このことは制御幻想や迷信行動と呼ばれている。このような誤った判断は行為と結果の関係だけでなく、事象間の関係を判断する際にも生じ、事象の生起頻度 (密度) が高まるにつれて強く生じることから“密度バイアス”とも呼ばれている。このような不合理な判断は合理的思考を想定している因果ベイズネットから導かれることはない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、密度バイアスなどの不合理な判断に焦点を当て、因果推論における意識的過程と無意識的過程の相互作用を検討することであった。ベイズ的アプローチでは、思考の合理的側面ばかりが強調され、不合理的側面や無意識的過程の働きは看過されてきた。因果ベイズネットの予測と一致しない不合理な判断については、知覚や記憶プロセスが推論プロセスに影響を及ぼしたと考え、推論プロセス自体は一貫して合理的であることが想定されてきた。本研究では、一見相容れない合理的な認知モデルと不合理な判断の関係を検討し、合理的な判断と不合理な判断がそれぞれどのように生じているか解明することを目指した。

3. 研究の方法

事象間の因果関係は、その有無と方向性を表す因果構造と、関係の強さを表す因果強度に二分される。因果構造の学習では変数間の因果の方向性が未知であり、学習者は様々な手がかりに基づいて因果構造を推測するように求められる。一方、因果強度の学習では、原因事象と結果事象が予め決められており、学習者はそれらの因果関係の強さを判断することが求められる。一般的な実験事態では原因と結果の二値二変数が使用され、学習者は原因事象の有無と結果事象の有無の組み合わせを繰り返し観察し、それらの因果関係の強さを判断することが求められる。本研究では因果強度の学習に焦点を当てて実験的検討を進めた。

因果推論の認知モデルの核の一つは複数の因果効果をどのように統合するかという関数の問題である。ベイズ的アプローチでは複数の関数が使用されることを想定しているが、どのような関数がどのような実験事態で使用されるかは明らかにされていない。二値変数が連続変数かといった変数の性質に応じて異なる関数が選択されると考え、本研究では変数の性質に応じて合理的な因果推論がどのように変化するか理論的検討を行った。因果推論の関数が合理的な判断と不合理的な判断の出現に寄与していると考え、変数の統計的性質を操作した実験を実施した。これらの理論的検討と実験的検討から、因果推論の合理性と不合理性について論じる。

4. 研究成果

(1) 因果推論の一般的な実験事態では投薬の有無と症状の改善の有無といったカバーストーリーを通して二値変数の提示を行い、実験参加者に因果関係についての判断を求める。症状の改善に程度が存在するように現実場面には様々な連続変数が存在するにも関わらず、連続変数を扱った因果推論の研究はほとんど存在しない。二値変数に対する因果推論を扱う因果パワー理論 (Cheng, 1997) を拡張し、連続変数に対する因果推論を定式化した。

因果パワー理論では、ヒトが因果関係を学習する際に以下の4つの信念を抱えていることが仮定されている。背景原因 B と原因候補 C は独立に結果 E に影響する。背景原因によって結果が発生することはあるが、抑制されることはない。背景原因と原因候補の因果パワーはそれらの生起頻度とは無関係である。原因が存在しない時に結果が生じることはない。これらの仮定の下で、二値変数の原因事象が連続変数の結果事象に影響する事態を考える。

背景原因 B と原因候補 C が結果 E に及ぼす影響は linear-sum 関数を用いて計算される。

$$E[e] = P(b) \cdot w_b + P(c) \cdot w_c$$

ここで $P(b)$ と $P(c)$ はそれぞれの原因の生起確率を表しており、 w_b と w_c はそれぞれの因果パワーを表している。原因候補が存在している場合 (i.e., $P(c) = 1$) と存在していない場合 (i.e., $P(c) = 0$) の条件付き期待値は以下の式でそれぞれ算出される。

$$E[e|c] = P(b|c) \cdot w_b + w_c$$

$$E[e|\neg c] = P(b|\neg c) \cdot w_b$$

上記の二つの式から条件付き期待値の差分 (i.e., $\Delta E = E[e|c] - E[e|\neg c]$) が得られる。

$$\Delta E = P(b|c) \cdot w_b + w_c - P(b|\neg c) \cdot w_b$$

背景原因と原因候補は独立に生起することが仮定されているため (i.e., $P(b|c) = P(b|\neg c) = P(b)$)、この式を変形することにより、連続変数の結果に対する因果パワー w_c を求めることができる。

$$w_c = \Delta E - \{P(b|c) - P(b|\neg c)\} w_b = \Delta E$$

(2) 連続変数に対する因果パワー理論は新たな現象を予測する。例えば $E[e|c=1] = 75$, $E[e|c=0] = 25$ となる事態では因果パワー $w_c = 50$ となるが、条件付き期待値が結果事象の最大値を含む場合には同様の推論は成立しない。結果事象の最大値が 100 の事態で $E[e|c=1] = 100$, $E[e|c=0] = 50$ という情報が得られた場合、因果パワーを点推定することは困難になり、 $w_c \geq 50$ という区間推定が生じることが予測される。従来天井効果 (i.e., $E[e|c=1] = 100$, $E[e|c=0] = 100$) とも異なることから、この現象を部分天井効果と命名した。

変数の性質に応じて異なる因果推論を行っているか、また、連続変数の推論において部分天井効果が生じているか否かについて実験的検討を行った。励ましが宿題の遂行量に及ぼす影響を検討するというカバーストーリーを用いて、原因と結果を繰り返し提示し、因果強度の判断を求めた。原因事象の性質を二値変数や連続変数に操作し、結果事象の値を体系的に変更した。

実験の結果、二値変数に対する判断と連続変数に対する判断は大きく異なり、変数の性質に応じた因果推論がなされていることが示された。また、部分天井効果の実験事態では、保守的な推論者と楽観的な推論者に二分されるような二峰性の反応が確認された。さらに、二値変数の場合には密度バイアスが生じるが、連続変数の場合には同様のバイアスは生じないことが明らかになった。これらの結果は因果パワー理論の予測と一致していた。

(3) 原因が結果を引き起こす発生的因果関係と、原因が結果を抑制する抑制的因果関係は、異なる性質を持つことが示唆されている (e.g., Baetu & Baker, 2012)。例えば、Hattori et al. (2017) の二重フレーム理論によると、事象の生起と非生起で構成される共変情報 (i.e., c vs. $\neg c$) から発生的因果関係を考える際はヒューリスティックが機能し、発生的因果関係において異なる原因事象を比較する場合 (i.e., c_1 vs. c_2) や抑制的因果関係の因果強度を判断する場合には分析的プロセスが機能する。

上記の実験結果が抑制的因果関係を対象とした実験事態でも確認されるか検討した。教師の無関心が宿題の遂行量に及ぼす影響を検討するというカバーストーリーを用いて、原因と結果を繰り返し提示し、因果強度の判断を求めた。上記の実験と同様に、原因事象の性質を二値変数や連続変数に操作し、結果事象の値を体系的に変更した。

実験の結果、発生的因果関係と同様に、抑制的因果関係においても変数の性質に応じた因果推論が行われていることが明らかとなった。また、部分天井効果の事態では二峰性の反応が見られ、連続変数の事態では無関係に対するバイアスが消失することが確認された。

(4) 二値変数と連続変数の統計的性質の違いとして変数の分散が挙げられる。連続変数に対する因果パワー理論によると、部分天井効果の実験事態では結果事象の分散が大きくなればなるほど、因果強度の評定値が高くなることが予測される。因果パワー理論の予測と一致した推論が行われているか検討を行った。

励ましが宿題の遂行量に及ぼす影響を検討するというカバーストーリーを用いた実験課題において結果事象の分散を操作したところ、結果事象の分散に応じて因果効果の判断が大きくなることが明らかとなった。これらの一連の実験結果については、計算モデルの精緻化や追加の実験を重ねて、理論と実験の両側面から検討を進めている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2 件)

齋藤 元幸、因果性の学習と推論における因果ベイズネットについて、認知科学、24 巻、1号、pp.79-95、2017、査読有

Saito, M. & Cheng, P. W. Estimating causal power between binary cause and continuous outcome, Proceedings of the 39th Annual Conference of the Cognitive Science Society, pp.3033-3038, 2017, 査読有

[学会発表](計 2 件)

齋藤 元幸、認知科学で読み解くギャンブルの合理性と不合理性、日本アルコール・アディクション医学会、2018

齋藤 元幸、変数の性質が因果推論に及ぼす影響、日本心理学会、2017

[図書](計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。