

因果学習における介入の促進効果

Intervention Facilitates Estimating Causal Strength

齋藤元幸[†], 嶋崎恒雄[‡]
Motoyuki Saito, Tsuneo Shimazaki

[†] 関西学院大学大学院文学研究科, [‡] 関西学院大学文学部

[†] Graduate School of Humanities, Kwansai Gakuin University, [‡] School of Humanities, Kwansai Gakuin University
m-saito@kwansai.ac.jp

Abstract

Previous studies have suggested that learning is improved when people actively intervene rather than when they passively observe in causal structure learning tasks. We investigated whether a facilitative effect will occur in the judgment of causal strength. Participants were asked to learn causal strength in a situation where the target cause and context independently produced the effect. The intervention group could manipulate the state of the cause, which was later presented to the observation group (i.e., yoked-control procedure). The results demonstrated that participants made similar evaluations for the target cause, but not for the context. Specifically, the intervention group estimated the causal strength of the context more accurately than the observation group. These findings suggest that similar processes underlie causal structure learning and causal strength learning.

Keywords — Causal Reasoning, Causal Inference, Intervention, Causal Power, Yoked Control Procedure

1. 序論

科学的探究のみならず、日常生活においても事象間の因果関係を適切に見出すことは重要である。因果の知識によって、事象の予測や制御が可能になるからである。因果関係を学習する方法として、観察と介入という二つの方法が挙げられる。観察とは変数の自動的な振る舞いを観測することであり、介入とは変数に対して何らかの操作を加えることである (Pearl, 2000; Steyvers, Tenenbaum, Wagenmaker, & Blum, 2003)。

観察と介入の差異については様々な検討がなされてきた。事象間の因果の方向性を推測する因果構造の判断課題では、介入による学習の促進効果が一貫して報告されてきた (Lagnado & Sloman, 2004; Steyvers et al., 2003; Sobel & Kushnir, 2006)。例えば、Lagnado and Sloman (2004) の実験では3つ

の事象それぞれが生起するか、生起しないかを見て、その因果構造を推測することが求められた。観察群には事象の生起情報が提示されるだけであったが、介入群は事象の状態を操作することが可能であった。実験の結果、介入群の正答率は観察群よりも有意に高いことが示され、介入による促進効果が認められた。しかしながら、事象間の因果の強さを推定する因果強度の判断課題では、一貫した知見は得られていない。Hattori and Oaksford (2007, Experiment 1) では因果強度の評定値に僅かな違いが見られたのに対して、Kelley and Athy (2009) ではそのような差は確認されていない。

因果強度の判断に関するこれらの研究では単一の原因事象と結果事象が用いられているが、このような実験事象においては原因事象が生起した場合と生起しなかった場合の結果事象について十分な情報が与えられており、変数を操作することはそれほど大きな意味を持たないと考えられる。そこで、本研究では2つの原因事象が共通の結果事象を生起させる共通結果の因果モデルを用いて因果強度の判断課題における観察と介入の差異を検討する。

共通結果の因果モデルでは、2つの原因が共通の結果を独立に生起させる。一方の原因事象は実験参加者が操作可能な標的原因であり、他方の原因事象は標的原因の有無に関わらず常に存在している文脈であった (i.e., $P(\text{context}) = 1$)。したがって、実験参加者が結果事象の生起を観察した時、それが標的原因によるものか、文脈によるものか判断できないようになっていた。共通結果の因果モデルにおいては、標的原因の状態によって異なる情報がもたらされる。

標的原因が存在している場合、実験参加者は標的原因と文脈が合わさった影響に関する情報を受け取る。一方、標的原因が存在しない場合、実験参加者は文脈の影響に関する情報だけを受け取ることになる。標的原因の因果強度を正確に判断するためには、文脈の影響を正しく把握しておく必要がある。

因果効力 (causal power) とは、他の原因が存在しない事態において原因事象が結果事象を発生させる確率である。標的原因と文脈がそれぞれ独立に結果の生起に影響を及ぼすとき、標的原因の因果効力 $q_{(\text{target cause})}$ は以下の式によって算出される。

$$q_{(\text{target cause})} = \frac{P(\text{effect} | \text{cause, context}) - P(\text{effect} | \neg \text{cause, context})}{1 - P(\text{effect} | \neg \text{cause, context})}$$

この式において、 $P(\text{effect} | \text{cause, context})$ は標的原因と文脈が存在する時に結果が生起する条件付き確率を、 $P(\text{effect} | \neg \text{cause, context})$ は標的原因が存在せず、文脈のみが存在している時に結果が生起する条件付き確率を表している。一方、文脈の因果効力は以下の式によって求められる。

$$q_{(\text{context})} = P(\text{effect} | \neg \text{cause, context})$$

これらの指標は提示される情報から容易に算出可能であり、実験参加者には標的原因と文脈の因果効力を推定することが求められた。介入群は獲得する情報を自分で選択できることから、介入を行ったときの方が観察を行うときよりも正確な推定が可能になると予測した。

2. 方法

2.1 実験参加者および実験計画

大学生24名が実験に参加した。実験参加者は介入群か観察群のいずれかに無作為に割り当てられた。

2.2 教示

教示では、軍事施設の研究者になったつもりで新たに開発されたミサイルの性能を判断するように伝

えた。ミサイルは必ずしも戦車に命中するとは限らず、ミサイルが発射されても戦車が爆発しないこともあると知らせた。また、狙撃対象の戦車は地雷原を走行しており、地雷によっても爆発することがあるため、ミサイルを発射している時には爆発の原因がミサイルか地雷か断定できないことを、ミサイルを発射していない時には爆発の原因が地雷であると断定できることを教示した。

2.3 学習フェイズ

学習フェイズは40試行から成り、各試行ではミサイルと戦車の爆発についての情報が与えられた。介入群の実験参加者はミサイルを発射するか否か選択することが求められた。学習フェイズ開始時には画面上に戦車と2つのボタンが表示されていた。一方のボタンはミサイルを発射することと、他方のボタンはミサイルを発射しないことと対応していた。実験参加者がどちらかのボタンを選択した後、ミサイルが画面上に表示された。ミサイルの表示と同時に“NEXT”と書かれたボタンが画面上に提示され、ボタンをクリックすると戦車の爆発の有無が伝えられた。爆発の有無が提示されてから1.5秒後に最初の画面に移行した。

ほぼ同様の手続きが観察群の実験参加者にも適用されたが、ミサイル発射の選択を行わないという点で両者は異なっていた。最初にミサイルの状態と“NEXT”と書かれたボタンが表示され、ボタンをクリックすると爆発の有無が表示された。ミサイル発射の有無とその結果について観察群の各実験参加者が受け取る情報は、介入群の各実験参加者と対応するようになっていた (i.e., ヨークトコントロール手続き)。したがって、両群に提示される共変動情報は同一のものであった。

実験参加者は.25-.25条件・.75-.75条件・.75-0条件・.75-.25条件という随伴性の異なる4つの条件を遂行した。条件名の前半部分の数字はミサイルが発射された時に戦車が爆発する確率 $P(\text{effect} | \text{target cause, context})$ を表しており、後半の部分の数字は

ミサイルが発射されない時に戦車が爆発する確率 $P(\text{effect} | \neg \text{target cause, context})$ を表していた。例えば、.25-.25条件では、ミサイルの発射の有無に関わらず25%の割合で戦車が爆発した。このことは、ミサイルの効果がないこと [$q(\text{target cause}) = 0$] および地雷に弱い効果があること [$q(\text{context}) = .25$] を意味していた。同様に、.75-.75条件でもミサイルは戦車の爆発に影響を及ぼさなかった。ただし、地雷が強い効果を持っていたため [$q(\text{context}) = .75$]、結果の密度は、.25-.25条件よりも高くなっていた。これらの条件とは対照的に、.75-0条件ではミサイルが強い効果を持っており、地雷には効果がなかった [i.e., $q(\text{target cause}) = .75$, $q(\text{context}) = 0$]。また、.75-.25条件では、ミサイルと地雷がともに戦車の爆発を引き起こしていた [i.e., $q(\text{target cause}) = .75$, $q(\text{context}) = .25$]。上記のように、それぞれの随伴性条件ではミサイルの因果強度と地雷の因果強度が異なっていた。随伴性条件の順序は実験参加者間でカウンターバランスを行った。

2.4 テストフェイズ

学習フェイズの40試行終了後、実験参加者には標

的原因であるミサイルの因果強度と文脈として提示された地雷の因果強度を推定することが求められた。「ミサイルはどのくらい戦車を爆発させますか?」という文章とともに、Visual Analog Scale (0: 全く爆発させない~100: 必ず爆発させる) を画面上に表示し、反応を記録した。同様の方法で文脈である地雷についての評定も求めた。テストフェイズ終了後、同様の手順で次の随伴性条件が開始された。

3. 結果および考察

Figure 1に各随伴性条件における標的原因と文脈の平均評定値を示した。標的原因の評定値について学習方法(2)×随伴性条件(4)の混合二要因分散分析を行ったところ、随伴性条件の主効果は有意であったが ($F(3, 66) = 52.12$, $MSE = 252.31$, $p < .001$, $\eta^2_G = .58$)、学習方法の主効果 ($F(1, 22) = 0.67$, $MSE = 516.81$, $p = .420$, $\eta^2_G = .01$) および学習方法と随伴性条件の交互作用 ($F(3, 66) = 0.28$, $MSE = 252.31$, $p = .839$, $\eta^2_G = .01$) は有意でなかった。これらの結果は、標的原因の因果強度の判断において介入の促

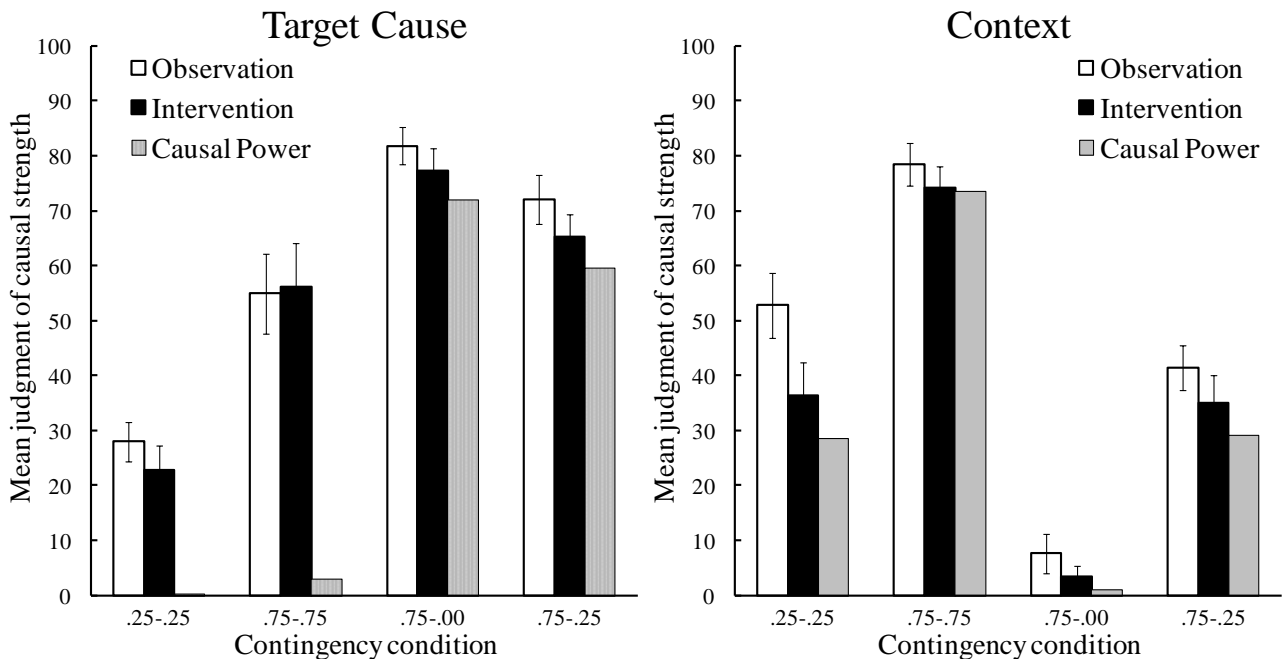


Figure 1. Mean causal ratings of the intervention and observation group and causal powers in each contingency condition of Experiment 1, for target cause (left panel) and context (right panel). The error bars represent standard errors of the mean.

進効果が見られなかったことを示している。随伴性条件の主効果について Shaffer の方法による多重比較を行ったところ、すべての水準間で有意差が見られた ($ps < .026$)。 .25-.25条件と .75-.75条件ではどちらも標的原因の因果効力が無いにも関わらず、 .75-.75条件において標的原因の効果は高く評価されていた。このことは、結果事象の生起確率が上昇するほど因果効力が高く見積られる結果の密度バイアスが生じていることを示唆している。また、 .75-.00条件と .75-.25条件間で評定値に差が見られたことから、実験参加者が標的原因の因果効力 $q(\text{target cause})$ と標的原因および文脈が存在している時に結果事象が生じる条件付き確率 $P(\text{effect} | \text{cause, context})$ を混同しているという可能性は排除される。

同様に、文脈の評定値に関して学習方法(2)×随伴性条件(4)の混合二要因分散分析を行ったところ、学習方法の主効果 ($F(1, 22) = 5.00, MSE = 292.88, p = .035, \eta^2_g = .07$) と随伴性条件の主効果 ($F(3, 66) = 91.88, MSE = 220.24, p < .001, \eta^2_g = .74$) が有意であった。学習方法と随伴性条件の交互作用は有意でなかった ($F(3, 66) = 0.92, MSE = 220.24, p = .435, \eta^2_g = .03$)。観察群よりも介入群の方が因果効力に一致した推定を行っており、介入によって因果強度の学習が促進されたことが示唆された。

介入による促進効果を詳細に検討するため、評定値と因果効力の規範値の平均二乗誤差 (RMSE) を算出した。この値は評定値と因果効力の差を表したものであり、値が小さいほど規範値に近い判断を行っていることを意味する。標的原因に関する判断では、介入群と観察群の間に大きな差は見られなかった (介入群: $RMSE(\text{target cause}) = 31.51$, 観察群: $RMSE(\text{target cause}) = 33.09$)。一方、文脈に関する判断においては、介入群の方が観察群よりも正確な推定を行っていることが明らかとなった (介入群: $RMSE(\text{context}) = 13.19$, 観察群: $RMSE(\text{context}) = 18.90$)。これらの結果は、介入によって文脈の因果強度がより正確に判断されることを示している。

標的原因ではなく、文脈に対する判断でのみ促進効果が確認されたことについては、標的原因に対しては観察群と介入群ともに注意を向けていたが、文脈に対する注意が両群では異なっていたからかもしれない。結果が生じた場合と結果が生じなかった場合とでは前者の情報が重視されることが知られており (e.g., Kao & Wasserman, 1993)、弱い因果強度を正確に判断するためには結果が生じなかった情報を十分に考慮する必要がある。このような情報の重み付けや注意による解釈は、文脈に関する判断の中でも因果強度が弱い時に観察と介入で差が見られたことと一致している。介入による促進効果のプロセスに関しては更なる検討が望まれる。また、因果構造の学習で確認されてきた介入の促進効果が因果強度の学習でも見られたことは両者に共通のメカニズムが存在することを示唆しており、こちらに関しても実験的検討および理論的検討が必要である。

参考文献

- Hattori, M., & Oaksford, M. (2007). Adaptive non-interventional heuristics for covariation detection in causal induction: Model comparison and rational analysis. *Cognitive Science, 31*, 765–814.
- Kao, S.-F., & Wasserman, E. A. (1993). Assessment of an information integration account of contingency judgement with examination of subjective cell importance and method of information presentation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 19*, 1363–1386.
- Kelley, A. M., & Athy, J. R. (2009). *The effects of observation and intervention on the judgment of causal and correlational relationships* (USAARL Report No. 2009-16). Fort Rucker, AL: U. S. Army Aeromedical Research Laboratory.
- Lagnado, D. A., & Sloman, S. A. (2004). The advantage of timely intervention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 30*, 856–876.
- Pearl, J. (2000). *Causality: Models, reasoning and inference*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Sobel, D. M., & Kushnir, T. (2006). The importance of decision making in causal learning from interventions. *Memory & Cognition, 34*, 411–419.
- Steyvers, M., Tenenbaum, J. B., Wagenmakers, E.-J., & Blum, B. (2003). Inferring causal networks from observations and interventions. *Cognitive Science, 27*, 453–489.