

因果学習における手がかり競合の非対称性

Asymmetries of cue competition in causal learning

沼田恵太郎^{1,3}, 嶋崎恒雄²
Keitaro Numata, Tsuneo Shimazaki

¹関西学院大学大学院文学研究科, ²関西学院大学文学部, ³日本学術振興会
Graduate School of Humanities, Kwansai Gakuin Univ., School of Humanities, Kwansai Gakuin Univ., JSPS
k.numata@kwansai.ac.jp

Abstract

Previous studies have addressed the question of whether people are sensitive to causal directionality (as is postulated by causal-model theory) or whether it neglects this important feature of the physical world (as is implied by associative-learning theory). Three experiments using different cue competition paradigms are reported that participants can differentiate between predictive and diagnostic learning. However, these experiments also show limitations of the explanation that uses only causal-model theory. The study provides evidences for the necessity to consider a dual-process model, where higher level (i.e., structural) and lower level (i.e., associative) processes run separately or interactively, for understanding human behavior.

Keywords — Causal Learning, Cue Competition, Forward and Backward Blocking, Unovershadowing

因果関係の知識を獲得することにより、過去に起きた事象の説明や、未来に生じる事象の予測が可能となる。因果関係の知識が獲得される過程については、因果学習 (causal learning) という表題のもとで、これまで盛んに研究が行われてきた。

因果学習には、結果の後に原因候補を観察する「診断学習 (diagnostic learning)」と、原因候補の後に結果を観察する「予測学習 (predictive learning)」の二つの方法が存在する。たとえば、前者は発熱の後にウィルスの存在を知らされること、後者は発熱の後に異常行動が生じること、の様に考えれば理解しやすい。

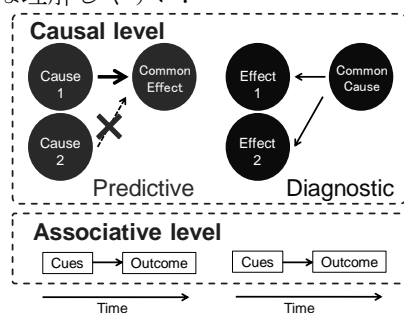


図 1. 予測学習と診断学習の因果構造。

どちらの方法も因果関係を把握するために有用であるが、ここではこれらの状況に依存して、ヒトの行う推論が動的に変化し得ることを見逃してはならない。たとえば、Waldmann & Holyoak (1992) は教示 (i.e., 先行事象が原因候補であるか否か) によって因果の方向性を操作する巧妙な実験を行い、いわゆる「手がかり競合 (cue competition)」の現象は予測学習群のみで生じ、診断学習群では生じないことを報告している。彼らはこの知見から、因果の方向性に関する先行知識がその後の因果学習を導くという因果モデル理論 (causal-model theory) を提唱している (図 1)。

しかしながら、この主張について問題がないとはいえない。なぜなら、手がかり競合の非対称性については、確認が容易であるという報告と (e.g., Waldmann & Walker, 2005), 容易でないという報告 (e.g., Arcediano, Matute, Escobar & Miller, 2005; 沼田・嶋崎, 2010) が混在しているためである。

後者の立場では、因果の方向性に関する教示を施したとしても、ヒトは時間的に先行する事象を一貫して原因候補と知覚することを示唆する結果が得られている。このような知見は因果モデル理論よりも、むしろ因果の枠組みを仮定しない連合学習理論 (associative-learning theory) を援用することによって上手く説明することができる。

上記から、手がかり競合の非対称性がみられるか否かという問題は、ヒトの因果学習の過程を検討するうえで重要な役割を担っていると考えられる。

本研究の目的は、再現性が疑問視されている Waldmann & Holyoak (1992) の追試と拡張を行い、予測学習群と診断学習群において手がかり競合がみられるか否かを検討することであった。

実験 1

実験 1 では Waldmann & Holyoak (1992) の単純追試を行った。具体的には、手がかり競合の一種である順行ブロッキングが、因果の方向性に関する教示によって群間で異なるか否かを検証した。順行ブロッキング (forward blocking) とは、ある原因候補 (i.e., P) に対する信念によって、別の原因候補 (i.e., R) に対する信念の獲得が妨げられる現象である (e.g., Shanks, 1985)。

方法

実験参加者 参加者は大学生 24 名 (男性 12 名, 女性 12 名) であった。平均年齢は 20.6 歳 (19 歳から 22 歳) であり, 参加者は予測学習群と診断学習群に無作為に割り当てられた。

実験課題 実験 1 の課題は Waldmann & Holyoak (1992) の実験 3 と同様であった。予測学習群の参加者は「ボタンの操作 (原因候補) が警報機の作動 (結果) を引き起こすか否か」について観察するように求められた。課題において参加者は, PC ディスプレイに表示されるボタンの操作と, 警報機作動との関係を観察した。他方, 診断学習群の参加者は「ボタンの点灯 (結果) が警報機の作動 (原因候補) によって引き起こされたか否か」を観察するよう要請された。予測学習群と同様に, 診断学習群ではボタンのいずれかが呈示された後に, 警報機作動の有無が呈示された (図 2)。

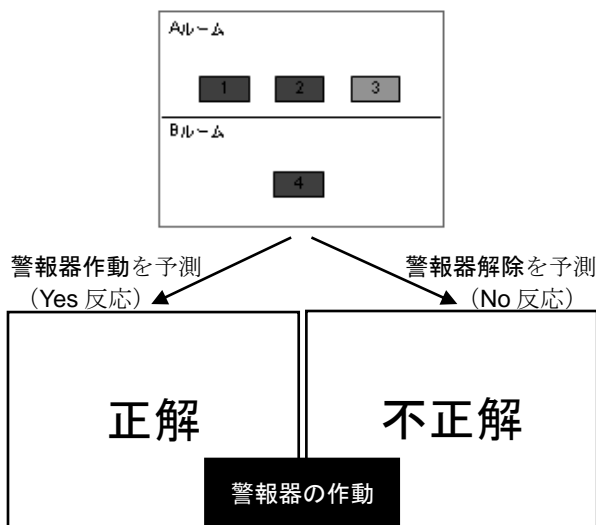


図 2. 実験課題の一例 (実験 1~3 で共通)。先行事象と後続事象は予測群と診断群で共通している。参加者は課題実施前に, あらかじめ因果の方向性を教示される。

実験手続き 教示を反復した後に課題を行った。課題は, 表 1 に示された実験デザインに基づいて構成された。Phase 1 では先行事象である \overline{PCU} と \overline{PCU} が後続事象と対提示され, \overline{PCU} と \overline{PCU} は後続事象と非対提示された (各 12 試行)。Phase 2 では \overline{PRCU} と \overline{PRCU} が後続事象と対提示され, \overline{PRCU} と \overline{PRCU} が後続事象と非対提示された (各 12 試行)。実験 1 では, P (perfect predictor) は比較刺激, R (redundant predictor) は標的的刺激となる。なお, C (constant off) と U (uncorrelated) は後続事象とは無関係な刺激であり, P と R の対照条件となる。

表 1 実験デザイン

Experiment	Phase 1	Rating 1	Phase 2	Rating 2
	12 \overline{PCU} +		12 \overline{PRCU} +	
1 (FB)	12 \overline{PCU} +	P? C? U?	12 \overline{PRCU} +	P? R? C? U?
	12 \overline{PCU} -		12 \overline{PRCU} -	
	12 \overline{PCU} -		12 \overline{PRCU} -	

Note. Letters indicate names of the cues. Numerals indicate numbers of the trials. “+” and “-” signs indicate presence and absence of the outcome, respectively.

実験 1 における先行事象は, 1・2・3・4 と印字された 4 種のボタンであり, 後続事象は警報機の作動と対応した (群間で共通)。各先行事象のボタンへの割り当ては参加者間で平衡され, 各試行の提示順序は無作為化された。Rating 1 と Rating 2 では, 参加者はそれぞれのボタンの状態が警報機の作動を予測する程度について評定を求められた (群間で共通)。評定は 0 (全く予測しない) から 10 (完全に予測する) までの数に丸をつけることで行われ, ボタン 1 から 4 の順序で行われた。

結果 図 3 に示されているように, 予測学習群の Rating 2 では, R に対する評定値は P に対する評定値よりも低くなった ($t(11) = 2.74, p < .001$)。さらに, このような傾向は, 診断群ではまったくみられなかった ($t(11) < 1.5$)。これらの事実は, 予測学習群のみでブロッキングが生じたこと, および実験 1 で手がかり競合の非対称性がみられたことを示している。なお, この結果は Waldmann & Holyoak (1992) と同様であり, 因果モデル理論による予測とほぼ一致するものであった。

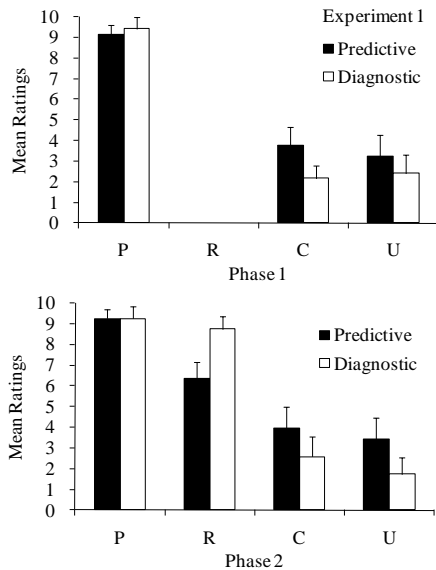


図3. 上段は Rating 1, 下段は Rating 2 の平均評定値を, それぞれ表す. また, エラーバーは標準誤差を表す.

考察 実験 1 で Waldmann & Holyoak (1992) と同様の結果が得られたという事実は, 先行研究の再現性, および実験 1 で用いた追試方法の妥当性を示している. なお, 実験 1 と同様に Waldmann & Holyoak (1992) の追試を行った沼田・嶋崎 (2010) では, 手がかり競合の非対称性はみられなかったが, これらの知見の相異は因果の方向性に関する教示方法 (i.e., 反復の有無) や実験手続き (i.e., Yes/No 判断の有無) の差異によると考えられた.

実験 2

実験 2 では Waldmann & Holyoak (1992) の拡張を行った. 具体的には, 手がかり競合の一種である逆行ブロッキングが, 因果の方向性に関する教示によって群間で異なるか否かを検証した. 逆行ブロッキング (backward blocking) とは, ある原因候補 (i.e., P) に対する信念を新たに獲得することによって, 別の原因候補 (i.e., R) に対する信念が減少する現象である (e.g., Shanks, 1985).

方法

実験参加者 参加者は大学生 24 名 (男性 12 名, 女性 12 名) であった. 平均年齢は 20.3 歳 (19 歳から 23 歳) であり, 参加者は予測学習群と診断学習群に無作為に割り当てられた.

実験課題 課題は実験 1 のものと同様であった.

実験手続き 教示を反復した後に課題を行った. 課題は, 表 2 に示された実験デザインに基づいて構成された. 実験 1 との相違は, 二つの Phase の時間順序を逆転させた点であった. 具体的には, Phase 1 では $\overline{PRC}U$ と $\overline{PRC}U$ が後続事象と対提示され, $\overline{PRC}U$ と $\overline{PRC}U$ は後続事象と非対提示された (各 12 試行). Phase 2 では $\overline{PC}U$ と $\overline{PC}U$ が後続事象と対提示され, $\overline{PC}U$ と $\overline{PC}U$ が後続事象と非対提示された (各 12 試行). 実験 2 における各先行事象の役割や評定手続きは, 実験 1 と同様であった.

表2 実験デザイン

Experiment	Phase 1	Rating 1	Phase 2	Rating 2
2 (BB)	$12\overline{PRC}U+$	P? R? C? U?	$12\overline{PC}U+$	P? R? C? U?
	$12\overline{PRC}U-$		$12\overline{PC}U-$	
	$12\overline{PRC}U-$		$12\overline{PC}U-$	
	$12\overline{PRC}U-$		$12\overline{PC}U-$	

Note. Letters indicate names of the cues. Numerals indicate numbers of the trials. “+” and “-” signs indicate presence and absence of the outcome, respectively.

結果 図 4 に示されているように, 予測学習群の R に対する評定値は Rating 1 よりも Rating 2 で低くなった ($t(11) = 3.75, p < .001$). しかし, 予測学習群よりは小さいものの, このような傾向は診断学習群でもみうけられた ($t(11) = 2.28, p < .05$). これらの事実は, 両群で逆行ブロッキングが生じたこと, および実験 2 で手がかり競合の非対称性がみられたことを, それぞれ示している.

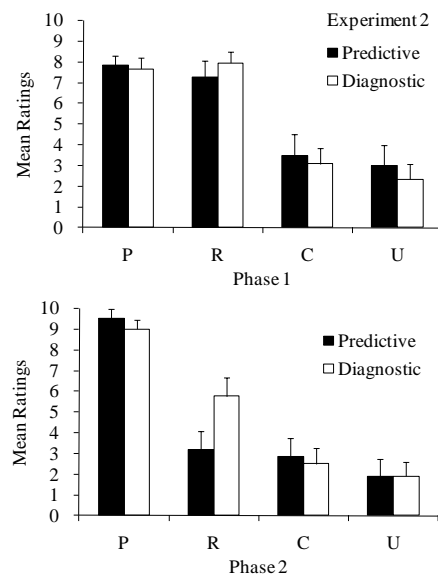


図4. 上段は Rating 1, 下段は Rating 2 の平均評定値を, それぞれ表す. また, エラーバーは標準誤差を表す.

考察 実験2では実験1とは異なり、診断学習群においても逆行ブロッキングがみられた。また、予測学習群でみられた逆行ブロッキングの強度は、非常に大きいものであった (i.e., R の評定値は C と U に近似していた)。群間の非対称性がみられたという事実は因果モデル理論による予測と一致するが、診断学習群で逆行ブロッキングが生じたことは、むしろ連合学習理論 (e.g., Van Hamme & Wasserman, 1994) による予測と一致していた。これらの点を考慮すると、巨視的には因果モデル理論が有力と思われるが、微視的には連合学習理論の方が有力な点も存在することになる。なお、これらの考察は最新の知見である Booth & Buehner (2007) と一致していた。

しかし、実験2において実験1と異なる結果が得られた背景には、Phase 2では観察していないはずの R に対して、回顧的推論を求めたことが関与しているのかも知れない。この考えを検証するため、実験3では実験2とは異なる手がかり競合事態を用いて再度検討を行う必要がある。

実験3

実験3では実験2に続き、Waldmann & Holyoak (1992) の拡張を行った。具体的には、手がかり競合の一種である隠蔽解除が、因果の方向性に関する教示によって群間で異なるか否かを検証した。隠蔽解除 (unovershadowing) とは、ある原因候補 (i.e., P) に対する信念が失われることによって、別の原因候補 (i.e., R) に対する信念が増加する現象である (e.g., Wasserman & Berglan, 1998)。

方法

実験参加者 参加者は大学生24名(男性12名, 女性12名)であった。平均年齢は20.9歳(18歳から23歳)であり、参加者は予測学習群と診断学習群に無作為に割り当てられた。

実験課題 課題は実験1と同様であった。

実験手続き 教示を反復した後に課題を行った。課題は、表3に示された実験デザインに基づいて構成された。実験2との相違はPhase 2の正号 (i.e., +) と負号 (i.e., -) を、逆転させた点であった。

具体的には、Phase 1ではPRC \bar{U} とPRC \bar{U} が後続事象と対提示され、 $\bar{P}R\bar{C}U$ と $\bar{P}R\bar{C}U$ は後続事象と非対提示された(各12試行)。Phase 2ではPC \bar{U} とPC \bar{U} が後続事象と非対提示され、 $\bar{P}C\bar{U}$ と $\bar{P}C\bar{U}$ が後続事象と対提示された(各12試行)。なお、実験3では実験1・2とは異なり、Pは比較刺激ではあるものの、Phase 2以降は後続事象をまったく予測しない刺激となる。その他の役割については実験1・2と同様であった。

表3 実験デザイン

Experiment	Phase 1	Rating 1	Phase 2	Rating 2
3 (UOV)	12PRC \bar{U} +		12PC \bar{U} -	
	12PRC \bar{U} +	P? R? C? U?	12PC \bar{U} -	P? R? C? U?
	12 $\bar{P}R\bar{C}U$ -		12 $\bar{P}C\bar{U}$ +	
	12 $\bar{P}R\bar{C}U$ -		12 $\bar{P}C\bar{U}$ +	

Note. Letters indicate names of the cues. Numerals indicate numbers of the trials. "+" and "-" signs indicate presence and absence of the outcome, respectively.

結果 図5に示されているように、予測学習群のRに対する評定値はRating 1よりもRating 2で高くなった ($t(11) = 2.23, p < .05$)。しかし、このような傾向は診断学習群でもわずかにみうけられた ($t(11) < 1.9$)。これらの事実は、二つの群で隠蔽解除が生じたこと、および手がかり競合の非対称性がみられたことを示している。なお、これらは先行研究 (i.e., Booth & Buehner, 2007) にはない、新しい知見であった。

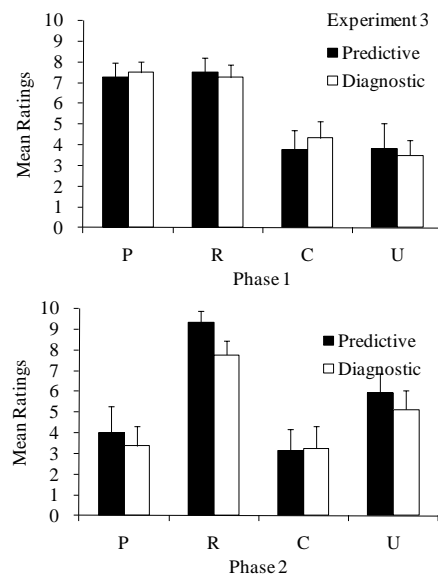


図5. 上段はRating 1, 下段はRating 2の平均評定値を、それぞれ表す。また、エラーバーは標準誤差を表す。

考察 実験3では実験2と同様に、診断学習群においても隠蔽解除の傾向がみられた。また、予測学習群でみられた隠蔽解除の強度は大きいものであった (i.e., R の評定値は最大値である 10 に近似していた)。これらの事実は実験2の知見を補強するものであり、因果モデル理論のみでは説明することが困難であった

また、実験3において実験2を支持する結果が得られたことは、試行の提示順序 (i.e., Phase 1 と Phase 2 の時間的布置) が因果学習の過程を調整することを示唆している。たとえば、回顧的推論の事態では、ブロッキングなどの一般的な手がかり競合の事態とは異なる情報処理が働くのかも知れない。この点については、今後さらに実証的データを収集する必要があると考えられる。

論議

本研究で実施した三つの実験から、(1) 手がかり競合の非対称性が頑健な現象であること、(2) 因果モデル理論のみではこれらの結果を包括的に説明できないこと、(3) 試行の提示順序が因果学習の過程を調整すること、がそれぞれ示された。これらの事実は因果モデル理論だけでなく、その他の学習理論 (e.g., 連合学習理論) を考慮する必要性、あるいはこれらの過程が相互に関連する二重過程モデルを考慮する必要性を示している (e.g., Collins & Shanks, 2002)。この領域での研究論文は、単一理論の検証についてのものが多いが、上で述べたように既に確立された理論やモデルの統合を図ることもまた、人間行動を理解するために重要な視点だと考えられる。

参考文献

- [1] Arcediano, F., Matute, H., Miller, R. R., Escobar, M., & Miller, R. R. (2005). Competition between antecedent and between subsequent stimuli in causal judgments. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, Cognition*, **31**, 228-237.
- [2] Booth, S. L. & Buehner, M. J. (2007).

Asymmetries in cue competition in forward and backward blocking designs: Further evidence for causal model theory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **60**, 387-399.

- [3] Collins, J. D. & Shanks, D. (2002). Momentary and integrative response strategies in causal judgment. *Memory and Cognition*, **30**, 1138-1147.
- [4] 沼田恵太郎・嶋崎恒雄 (2010). 因果学習における手がかり競合の非対称性について. 日本認知科学会第27回大会発表論文集, P3-33.
- [5] Shanks, D. R. (1985). Forward and backward blocking in human contingency judgement. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **37B**, 1-21.
- [6] Van Hamme, L. J., & Wasserman, E. A. (1994). Cue competition in causality judgments: The role of nonpresentation of compound stimulus elements. *Learning and Motivation*, **25**, 125-151.
- [7] Waldmann, M. R., & Holyoak, K. J. (1992). Predictive and diagnostic learning within causal models: Asymmetries in cue competition. *Journal of Experimental Psychology: General*, **121**, 222-236.
- [8] Waldmann, M. R., & Walker, J. M. (2005). Competence and performance in causal learning. *Learning & Behavior*, **33**, 211-229.
- [9] Wasserman, E. A., & Berglan, L. R. (1998). Backward blocking and recovery from overshadowing in human causal judgement: The role of within-compound associations. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **51B**, 121-138.

謝辞

初期原稿において、2名の査読者の方から貴重なご意見を頂き、感謝致します。また、本研究の一部は森恵氏の2010年度卒業論文(関西学院大学文学部)にもとづきます。ここに記して、感謝致します。