

報酬駆動的な注意と内発的注意の相互作用

峯 知里
齋 木 潤

京都大学大学院人間・環境学研究科／日本学術振興会

京都大学大学院人間・環境学研究科

報酬を伴う履歴は、観察者の目標や刺激の物理特性とともに、視覚的注意の選択に影響を及ぼすことが知られている。従来の研究では、目標と刺激の物理特性に基づく注意制御の間で相互作用が示されているが、報酬に基づく注意制御が注意の優先マップ内でどのように影響を及ぼしているのかは良く理解されていない。本研究では、報酬に基づく注意が内発的な注意制御に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。そのため、空間手がかり課題を用いた二つの実験において、手がかりの有効性と報酬の大きさの連合を操作した。その結果、報酬と手がかりの有効性の連合が内発の手がかり効果の大きさをモデレートした（実験1）。さらに、実験2では、実験1で観察された効果が、期待値の違いにより生じたモチベーションの違いではないことを確認した。以上の結果は、目標に基づく注意制御と報酬に基づく注意制御が、注意の優先マップ内で相互に作用していることを示唆する。

Keywords: reward-based attention, endogenous attention, spatial cueing

問題・目的

外界には膨大な量の情報が存在している。我々は行動目標と一致する対象に対して意図的に注意を向け、あるいは顕著な対象に自動的に注意が駆動されることで、効率よく情報を選択している（Corbetta & Shulman, 2002）。近年の研究では、目標や刺激の物理特性に基づく注意制御に加えて、（特に報酬に関する）履歴に基づく注意制御の存在が明らかにされてきた（e.g., Failing & Theeuwes, 2018）。この報酬の履歴に基づく制御は、刺激の物理特性に基づく注意制御のように、急速に自動的に生じることが報告されている（e.g., Hickey et al., 2010）。

先行研究では、目標に基づく注意制御と刺激の物理特性に基づく制御は、相互に作用していることが示されてきた（e.g., Folk et al., 1992）。しかし、履歴に基づく注意の制御が、これら二つの制御とどのように関連しているのかについては未解明な点が多い。

本研究では、目標に基づく制御と報酬の履歴に基づく制御の相互作用に着目し、報酬に基づく制御が内発的な注意制御に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。そのため、空間手がかり課題を用いて（e.g., Posner et al., 1978）、手がかりの有効性と各試行で得られる報酬の大きさの関係性を操作した。内発的な注意制御と報酬に基づく制御が独立して注意制御に影響を及ぼすなら、内発手がかりの効果は、手がかりと報酬の連合に関わらず一定であると予想される。一方、両者が相互に作用し注意に影響する場合は、手がかりと報酬の連合が手がかり効果をモデレートすると予想される。

方法

実験参加者 京都大学に所属する大学生または大学院生 24 名が実験 1、他の 24 名が実験 2 に参加した。

刺激・手続き 実験は、先行研究の内発の手がかり課題をもとに作成された（e.g., Posner et al., 1978）。各試行の流れを図1に示す。はじめに注視点および Placeholder が呈示され、その後、内発の手がかり（左右いずれかを指す矢印）が出現した。その後、一定の遅延時間を挟み、左右両方のボックス内に線分が短時間出現した。いずれかの線分は垂直または水平（ターゲット）、もう一方の線分は左または右に 45° 傾いていた（ディストラクタ）。参加者はターゲットの線分の方位（垂直/水平）を判断し、できるだけ速く正確にキーボードで回答した。その後、正答試行のみ、各試行のフィードバック画面で報酬が呈示された。

本研究では、手がかりの有効性（valid / invalid）と報酬の大きさ（高 / 低）の連合に基づく二つの条件を設けた。一つは congruent 条件であり、矢印が指し示した位置にターゲットが出現する valid 試行で高報酬（+ 10 points）、矢印と逆の位置にターゲットが出現する invalid 試行で低報酬（+ 1 point）が呈示された。一方、incongruent 条件では、手がかりの有効性と報酬の対応が逆転された。手がかりの有効性は 75% であった。参加者には、正答試行のみ高報酬または低報酬が得られることを伝え、手がかりの有効性と報酬の大きさの連合については明示しなかった。

実験課題は 48 試行、10 ブロック、計 480 試行で構成された。ブロックは前半 5 ブロックと後半 5 ブロックに分類され、前半が congruent 条件、後半が incongruent 条件、あるいはその逆であった。条件の呈示順は参加者間でカウンターバランスがとられた。また、ブロック内の試行はランダムに呈示された。

実験 2 では、congruent 条件と incongruent 条件の期待値の違いの影響を検証するため、congruent 条件の高報酬（valid 試行）を 16 points、低報酬（invalid 試行）を 2 points、incongruent 条件の高報酬（invalid 試行）を 32 points、低報酬（valid 試行）を 6 points とし、条件間の期待値をそろえた。

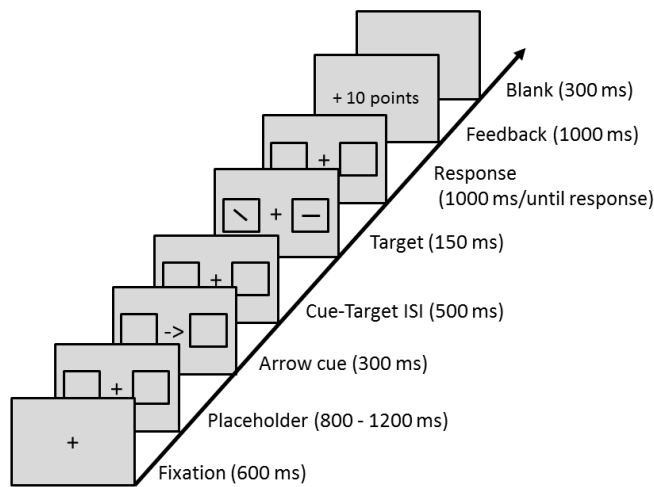


図 1. 空間手がかり課題 1 試行の流れ (実験 1, congruent 条件, 正答試行の一例)

結果

実験 1 はじめに、反応時間について、trial type (congruent / incongruent) と手がかりの有効性 (valid / invalid) を要因とする参加者内 2 要因分散分析を行った。その結果、手がかりの有効性の主効果 ($F[1, 23] = 0.17, p = .688, \eta^2 = .007$)、および交互作用がみられた ($F[1, 23] = 5.77, p = .025, \eta^2 = .201$)。valid 試行の反応時間は、incongruent 条件と比較して congruent 条件で短かった ($F[1, 23] = 7.70, p = .011, \eta^2 = .251$)。次に、報酬と手がかりの連合が内発的注意の制御に影響するか否かを検討するため、valid 試行と invalid 試行の反応時間の差分 (validity effect) を算出し、congruent 条件と incongruent 条件で比較した。対応のある t 検定を行った結果、条件間に有意な差が認められ ($t[23] = 2.40, p = .025, 95\% \text{ CI } [6.07, 81.45]$)、congruent 条件でより大きな効果が示された。一方、正答率には有意な差が認められなかった ($t[23] = -1.30, p = .205, 95\% \text{ CI } [-6.77, 1.54]$)。

実験 2 実験 2 の結果は、実験 1 の主な結果を再現した。実験 1 と同様に、trial type (congruent / incongruent) と手がかりの有効性 (valid / invalid) を要因とする参加者内 2 要因分散分析を行った結果、手がかりの有効性の主効果がみられた ($F[1, 23] = 37.09, p < .001, \eta^2 = .617$)。さらに、trial type と手がかりの有効性の間に交互作用がみられた ($F[1, 23] = 11.35, p = .003, \eta^2 = .330$)。valid 試行について、congruent 条件と congruent 条件の反応時間の差は有意傾向であった ($F[1, 23] = 3.77, p = .064, \eta^2 = .141$)。さらに、congruent 条件と incongruent 条件の validity effect について対応のある t 検定を行った。その結果、条件間に有意な差が認められ ($t[23] = 3.37, p = .003, 95\% \text{ CI } [10.87, 45.48]$)、congruent 条件は incongruent 条件に比べてより大きな効果が示された。また、正答率には

有意な差が確認されなかった ($t[23] = -0.60, p = .552, 95\% \text{ CI } [-4.82, 2.64]$)。

考察

本研究では、空間 (内発) 手がかり課題を用いて、目標に基づく制御と報酬の履歴に基づく制御の相互作用に焦点を当て、報酬に基づく制御が内発的な注意制御に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。そのため、手がかりの有効性と報酬の大きさの連合が操作された二つの実験を行った。その結果、先行研究と一貫して、両方の実験で内発手がかり効果が確認された (e.g., Posner et al., 1978)。また、この内発手がかり効果の大きさは、手がかりと報酬の連合によってモデュレートされることが分かった。手がかりの有効性は 75% であったが、手がかりの位置と反対側にターゲットが出現する試行で高報酬が得られる場合は、参加者が手がかり位置とは反対側にも注意を分散させていた可能性がある。その結果、incongruent 条件の valid 試行で反応時間が遅延したと考えられる。また、実験 2 の結果は、この手がかりと報酬の連合による内発手がかり効果のモデュレーションが、congruent 条件と incongruent 条件で操作された報酬の期待値によるモチベーションの違いでは説明できないことを示した。以上の結果は、目標に基づく注意制御と報酬に基づく注意制御が、注意の優先マップ内で相互に作用していることを示唆する。

引用文献

- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 201–215.
- Failing, M. & Theeuwes, J. (2018). Selection history: How reward modulates selectivity of visual attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(2), 514–553.
- Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 1030–1044.
- Hickey, C., Chelazzi, L., & Theeuwes, J. (2010a). Reward changes salience in human vision via the anterior cingulate. *The Journal of Neuroscience*, 30, 11096–11103.
- Posner, M. I., Nissen, M. J., & Ogden, W. C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. *Modes of Perceiving and Processing Information*, 137, 158.