

遡及的推測に基づく運動知覚における環境光レベルの影響

吉本 早苗***・竹内 龍人*

*日本女子大学 大学院人間社会研究科

〒214-8565 神奈川県川崎市多摩区西生田1-1-1

**日本学術振興会 特別研究員

〒102-0083 東京都千代田区麹町5-3-1

1. はじめに

ある瞬間に入力された視覚パターンに対して知覚判断を行う際、それと時間的に前後する他の視覚パターンが利用される。時間的に先行する視覚パターン（先行刺激）の情報を利用し、それに後続する視覚パターンの知覚判断を行うことを予測(prediction)と呼ぶ¹⁾。一方で、時間的に後で入力される視覚パターン（後行刺激）を利用し、それ以前に入力された視覚パターンの知覚判断を行うことを遡及的推測(postdiction)と呼ぶ²⁾。私たちの知覚世界は、予測や遡及的推測といった方略に基づいて構築されている。

ただし、視知覚における予測や遡及的推測が常に正しく機能するわけではない。筆者らの先行研究^{3,4)}から、視覚運動プライミング(visual motion priming)と呼ばれる現象が明所視下や暗所視下では生じる一方で、薄明視下では消失することがわかった。視覚運動プライミングとは、先行する運動刺激により後続の運動方向が曖昧な多義運動刺激（テスト刺激）が先行刺激と同方向の運動として知覚される現象であり、予測に基づく運動情報統合を反映していると考えられている¹⁾。薄明視におけるプライミングの消失は、薄明視では予測に基づく運動統合が成立しないことを示唆する。このように予測が機能しない場合、他の方略が機能することで運動の統合が生じるであろうか。そこで本研究で

は、他の方略として遡及的推測に着目し、薄明視において予測に基づく運動統合が成立しない場合、遡及的推測に基づく運動統合が成立するか、視覚運動プライミングにより検討した。

薄明視下で予測に基づく視覚運動プライミングの効果が消失する理由として、時間応答特性の異なる錐体系と桿体系が同時に機能することにより、錐体系を介した運動情報と桿体系を介した運動情報の統合が不完全となることが考えられる^{3,4)}。予測が機能しない場合に遡及的推測といった他の方略が補償的に機能するのであれば、視覚運動プライミングが消失する薄明視下では、遡及的推測に基づいて視覚運動プライミングが観察されるようになると考えられる。本研究では、予測に基づくプライミングと、遡及的推測に基づくプライミングについて、明所視から暗所視までの様々な網膜照度下で検討した。また、薄明視下では網膜偏心度により錐体と桿体の活性化率が異なるため⁵⁾、刺激を提示する偏心度を操作した。

2. 実験 1

2.1 方法

実験参加者 成人4名が実験に参加した。内1名は著者であり、その他の3名は実験の目的を知らなかった。全員が矯正視力を含む正常な視力を有していた。

装置 視覚刺激はコンピュータ(MacPro)で制御し、CRT モニタ (SONY GDM-F520, 時間解像度 120 Hz, 空間解像度 1024×768 pixel) に提示した。画面は無彩色（灰色）とし、その平

均輝度は $42 \sim 0.0024 \text{ cd/m}^2$ の8条件とした。最も明るい 42 cd/m^2 以外の条件では、CRTモニタの前にNDフィルターを設置することにより画面の平均輝度を減じた。眼球運動計測器(Arrington ViewPoint EyeTracker 220 fps USB system)により計測した各参加者の瞳孔径値に基づいて算出した網膜照度(troland, Td)から、各平均輝度の内、 42 cd/m^2 ($2.9 \log \text{ Td}$)は明所視、 0.78 cd/m^2 ($1.4 \log \text{ Td}$) $\sim 0.0065 \text{ cd/m}^2$ ($-0.56 \log \text{ Td}$)の6条件は薄明視、 0.0024 cd/m^2 ($-0.97 \log \text{ Td}$)は暗所視と推定された⁶⁾。視距離は57cmとし、右目単眼で観察した。

視覚刺激 刺激の模式図と一試行の流れを図1aに示す。先行刺激あるいは後行刺激としては、水平方向に運動する垂直正弦波格子($6.0H^\circ \times 3.3V^\circ$, $0.75c/^\circ$, $\sigma=0.8^\circ$)を用いた。本実験で用いた正弦波格子は輝度変調刺激であり、その平均輝度は背景の平均輝度と同じであった。先行刺激・後行刺激の持続時間は167msとし、速度は $6.0^\circ/\text{s}$ とした。輝度コントラストは100%とした。テスト刺激としては、フレームごとに位相が 180° 変化することで見かけの運動方向が曖昧となる垂直正弦波格子を2フレーム提示した。速度と輝度コントラストは先行刺激・後行刺激と同じとした。先行刺激・後行刺激とテスト刺激の間にISIは挟まなかった。

先行刺激・後行刺激とテスト刺激は、凝視点より 3.3° 上方の同じ位置に提示された。予測条

件としては、先行刺激のオフセット後すぐにテスト刺激が提示された。一方で、遡及的推測条件としては、テスト刺激のオフセット後すぐに後行刺激が提示された。

手続き 試行開始時に凝視点が1.5s提示された。予測条件では、凝視点のオフセット後すぐに先行刺激が提示され、ISIを挟まずにテスト刺激が提示された。遡及的推測条件では、凝視点のオフセット後すぐにテスト刺激が提示され、ISIを挟まずに後行刺激が提示された。参加者は、テスト刺激の見かけの運動方向が左右どちらであったかを矢印キーにより回答した。いずれの条件においても、回答は最後に提示された刺激のオフセット後に行った。1セッションは32試行(先行刺激・後行刺激の運動方向2条件 \times 繰り返し数16回)で構成されていた。各参加者とも、8通りの網膜照度において、予測条件と遡及的推測条件でそれぞれ1セッションずつ行った(計16セッション)。実験は最も暗い網膜照度から最も明るい網膜照度まで順に実施し、各参加者とも事前に30分の暗順応を行った。瞳孔径の測定はこの実験に先立って行った。各参加者とも、輝度ごとに瞳孔径を5秒間測定し、その平均を網膜照度の算出に用いた。瞳孔径測定時には一様の灰色画面を提示した。

2.2 結果

実験1の結果を図1bに示す。横軸は網膜照

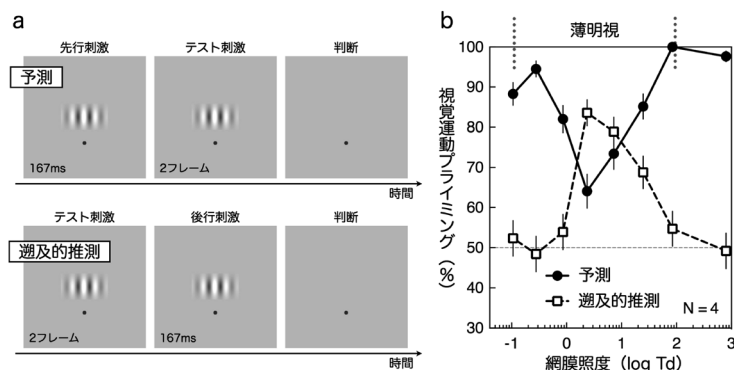


図1 実験1の刺激の模式図と結果。(a)刺激の模式図と1試行の流れ、(b)参加者4名の結果の平均。エラーバーは標準誤差($\pm 1 \text{ SEM}$)を示す。

度を示し、縦軸はプライミングの知覚確率を示す。したがって、50%を上回る反応はテスト刺激が先行刺激・後行刺激と同方向の運動として知覚されたことを示し、それを下回る反応はテスト刺激が先行刺激・後行刺激と逆方向の運動として知覚されたことを示す。50%は、テスト刺激の見かけの運動方向が先行刺激・後行刺激により一義に定まらず、プライミングがロバストに観察されなかったことを示す。

明所視(2.9log Td)において、予測条件ではプライミングが観察された。これは、先行研究^{3,4)}と一貫している。一方で、遡及的推測条件ではプライミングが生じず、50%に収束した。薄明視(1.4～-0.56log Td)においては、網膜照度の低下に伴い徐々にプライミングの知覚頻度が減少し、0.86log Tdと0.37log Tdでは60～70%程度にまで低下した。一方で、遡及的推測条件ではプライミングの知覚頻度が徐々に増加し、約80%にまで及んだ。それよりも暗い薄明視下や暗所視下(-0.97log Td)では、明所視と同様に予測条件でのみプライミングが生じた。以上の結果は、薄明視において予測に基づく運動統合が成立しない場合には、遡及的推測に基づく運動統合が成立することを意味する。

3. 実験 2

実験1において、薄明視下では予測条件でプライミングが弱まる場合に遡及的推測条件でプ

ライミングが観察されるようになった。ただし、明所視に近い高薄明視下や暗所視に近い低薄明視下ではこのような傾向はみられなかった。これは、薄明視であっても、錐体と桿体いずれか一方の活性化率が高い場合には、明所視下や暗所視下と同様に予測が成立し、遡及的推測は成立しないことを示唆する。実験2では、刺激を提示する偏心度を操作することでこの可能性について検討した。薄明視においては、中心視野では主に錐体が機能し、偏心度が増加するにつれ徐々に桿体の貢献度が高まる⁵⁾。そのため、薄明視であっても、錐体がほぼ単独で機能する中心視野や、桿体がほぼ単独で機能する周辺視野に刺激が提示される場合には、予測条件でプライミングが観察され、遡及的推測条件ではプライミングがみられなくなると考えられる。

3.1 方法

実験1と同様の装置、刺激を用いた。ただし、実験1とは異なり、網膜照度は2.9log Td(明所視)、0.37log Td(薄明視)、-0.97log Td(暗所視)の3条件とした。また、刺激を提示する偏心度は0°～10°の7条件とした。偏心度が0°の時は、先行刺激・後行刺激とテスト刺激がともに中心視野に提示された。偏心度が3.3°の時は実験1と同じ条件となる。その他のパラメータは実験1と同じであった。実験1と同様に、参加者はテスト刺激の見かけの運動方向を判断した。参加者は実験1と同じであった。

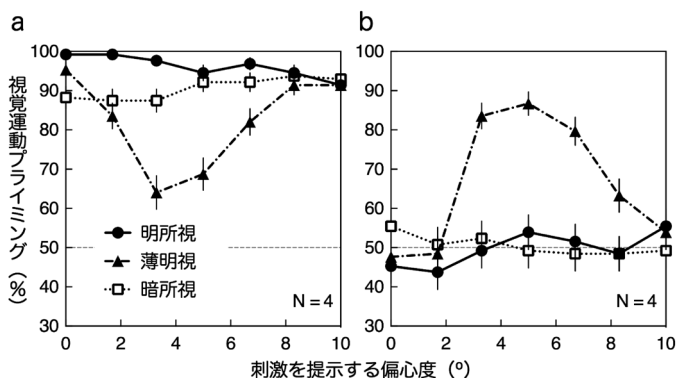


図2 実験2の結果。(a)予測条件、(b)遡及的推測条件。エラーバーは標準誤差(±1 SEM)を示す。

3.2 結果

実験2の結果を図2に示す。図2aは予測条件における結果を示し、図2bは遡及的推測条件における結果を示す。横軸は刺激を提示した偏心度を示し、縦軸はプライミングの知覚確率を示す。偏心度0°の中心視野や偏心度10°の周辺視野では、薄明視であっても予測条件でプライミングがみられ、遡及的推測条件ではみられなかった。一方で、偏心度3.3°~6.7°の条件では、薄明視においては予測条件でプライミングが消失し、遡及的推測条件で観察された。明所視下や暗所視下では偏心度に依存せず予測条件でのみプライミングが観察された。以上の結果は、薄明視下では錐体と桿体の活性化率が同程度となる場合に予測に基づく運動統合が成立しなくなり、そのような条件では、遡及的推測に基づく運動統合が成立することを示唆する。

4. 考 察

本研究の結果、網膜照度や偏心度に依存して予測条件でプライミングがみられなくなった場合には、遡及的推測条件でプライミングが生じた。一方で、予測条件でプライミングが生じた場合には、遡及的推測条件ではプライミングは生じなかった。以上から、予測に基づく運動統合が成立しない場合には、遡及的推測に基づく運動統合が成立すると結論づけられる。

なお、遡及的推測条件においては、後行刺激のオフセット後にテスト刺激の見かけの運動方向を判断するため、その直前に観察した後行刺激の運動方向を回答しやすくなるという反応バイアスがかかる可能性がある。しかしながら、遡及的推測条件においてプライミングが観察された条件は限られていた(図1b, 図2b)。遡及的推測条件で得られた結果が反応バイアスによるものであれば、網膜照度や偏心度に依存せず

プライミングの観察頻度が高まると考えられるが、実際にはそうはならなかった。したがって、遡及的推測条件で網膜照度や偏心度に依存して観察されたプライミングは、反応バイアスではなく遡及的推測に基づいて生じたものと言える。

本研究では、薄明視下で運動統合における予測が機能しない場合に、遡及的推測が補償的に機能することを示した。これが薄明視や運動視に限定されず、人間の視覚情報処理の基本原則として予測が成立しない時に遡及的推測といった他の方略により視知覚が補償されると言えるか、今後さらなる検討が必要である。

文 献

- 1) D. Burr and G. M. Cicchini: Vision: Efficient adaptive coding. *Current Biology*, **24**, R1096–R1098, 2014.
- 2) S. Shimojo: Postdiction: Its implications on visual awareness, hindsight, and sense of agency. *Frontiers in Psychology*, **5**, 1–19, 2014.
- 3) S. Yoshimoto and T. Takeuchi: Visual motion priming reveals why motion perception deteriorates during mesopic vision. *Journal of Vision*, **13**, 1–21, 2013.
- 4) S. Yoshimoto, M. Uchida-Ota and T. Takeuchi: Effect of light level on the reference frames of visual motion processing. *Journal of Vision*, **14**, 1–28, 2014.
- 5) S. Raphael and D. I. A. MacLeod: Mesopic luminance assessed with minimum motion photometry. *Journal of Vision*, **11**, 1–21, 2011.
- 6) D. C. Hood and M. A. Finkelstein: Visual sensitivity. K. Boff, L. Kaufman and J. P. Thomas (Eds.): *Handbook of perception and human performance*. Wiley, New York, 1–66, 1986.