

## 運動検出機構における網膜座標および環境座標依存性

吉本 早苗\*\*\*・内田 (太田) 真理子\*・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

物体の動きを捉える時、視対象そのものの運動だけでなく、眼球運動など自己の身体運動を伴うことがほとんどである。そのため、網膜に投射される像の動きは非常に複雑なものとなるが、多くの場合、私たちは対象の運動を正しく知覚することができる。これは、初期視覚野において網膜座標系 (retinotopic coordinates) で符号化された視覚情報を実世界の環境座標系 (spatiotopic coordinates) に変換するなど、視覚系がさまざまな座標系に基づく処理を行っているためであると考えられている。本研究では、視覚運動プライミングという現象を利用し、機能する運動検出機構が座標系により異なるかを検討した。

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) の見かけの運動方向が変調する現象である。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ことを「正のプライミング」と呼び、逆方向の運動として知覚されることを「負のプライミング」と呼ぶ<sup>1)</sup>。正負いずれのプライミングが生じるかは、先行刺激の持続時間、速度、および輝度コントラストといった刺激のパラメータに依存する。負のプライミングは低次の運動検出機構 (e.g., 一次運動検出機構) により誘発され、正のプライミングはより高次の運動検出機構 (e.g., 特徴追跡機構)

により誘発されることが示唆されている<sup>2,3)</sup>。本研究では、この特徴を利用し、プライミングの効果を網膜座標と環境座標で測定することによって運動検出機構が機能する座標系を推定した。

Turi and Burr<sup>4)</sup>によると、視覚系の初期の段階で処理されると考えられている運動残効は網膜座標で生じる一方で、視対象の空間上の位置関係に関する運動残効 (positional MAE) といった高次の処理段階が関与する現象は環境座標で生じる。このことから、低次運動検出機構は網膜座標系で機能し、高次運動検出機構は環境座標系で機能すると考えられる。そうであるとすれば、低次運動検出機構により誘発されると考えられる負のプライミングは網膜座標で生じ、高次運動検出機構により誘発されると考えられる正のプライミングは環境座標で生じると予測される。本研究では、視覚運動プライミングの効果に影響を及ぼし得るパラメータを操作することにより、この予測について検討した。また、環境座標系における視覚運動情報の処理に関する時間特性を調べるため、先行刺激とテスト刺激の刺激間隔 (ISI) を操作した。

### 2. 実験 1

#### 2.1 方法

**被験者** 成人4名が実験に参加した。内2名は著者であり、その他の2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

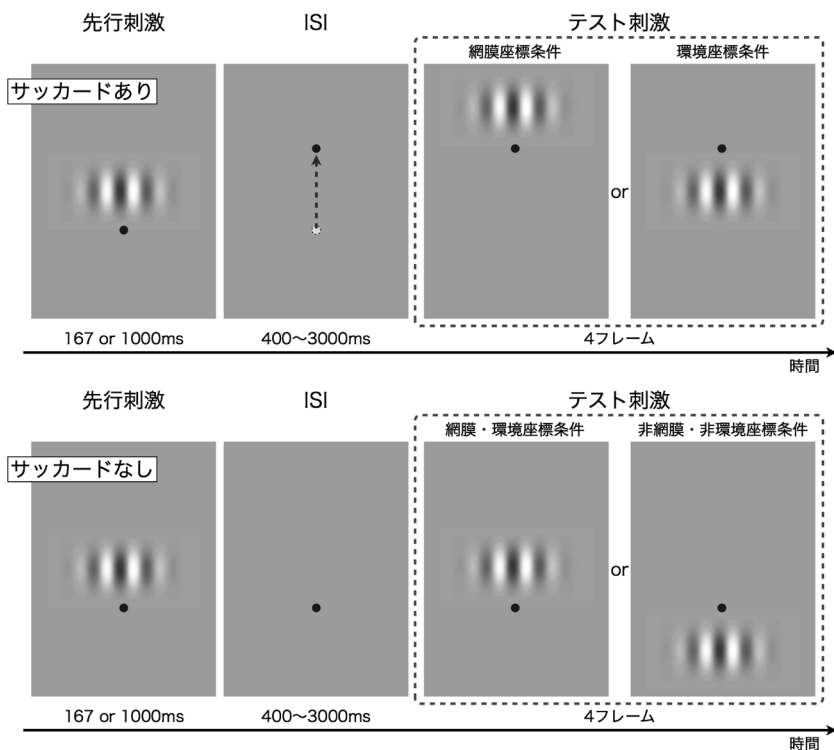


図1 刺激の模式図と一試行の流れ。

制御し、CRT モニタ (SONY GDM-F520, 時間解像度 120Hz, 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  $46.8 \text{ cd/m}^2$  とした。視距離は 57 cm であった。

**視覚刺激** 刺激の模式図と一試行の流れを図 1 に示す。先行刺激としては、水平方向に運動する垂直正弦波格子 ( $10.0 \text{ H}^\circ \times 3.3 \text{ V}^\circ$ ,  $0.5 \text{ c/}^\circ$ ,  $\sigma=1.0^\circ$ ) 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。先行刺激のパラメータ (持続時間, 速度, 輝度コントラスト) の値の組み合わせは、先行研究<sup>2,3)</sup> から正のプライミングが観察されると予測される 2 条件 (167 ms, 3 Hz, 50%; 1000 ms, 2 Hz, 50%) と負のプライミングが観察されると予測される 3 条件 (167 ms, 3 Hz, 5%; 167 ms, 4 Hz, 50%; 1000 ms, 3 Hz, 50%) の計 5 条件とした。テスト刺激としては、フレームごとに位相が  $180^\circ$  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

4 フレーム提示した。速度と輝度コントラストは先行刺激と同じとした。先行刺激とテスト刺激の ISI は 400 ~ 3000 ms で操作した。

先行刺激は常に画面中央に提示し、凝視点とテスト刺激の提示位置を操作した。サッカードを行う条件では、先行刺激提示後すぐに凝視点が垂直上方に  $6.7^\circ$  移動し、テスト刺激が先行刺激と凝視点を基準に網膜上同じ位置に提示されるか (網膜座標条件)、画面上同じ位置に提示された (環境座標条件)。サッカードを行わない条件では、凝視点の位置は一定であり、テスト刺激が先行刺激と網膜上も画面上も同じ位置に提示されるか (網膜・環境座標条件)、網膜上も画面上も異なる位置に提示された (非網膜・非環境座標条件)。

**手続き** 試行開始時に凝視点が提示され、その 1.5 s 後に先行刺激が提示された。先行刺激提示後、網膜座標条件と環境座標条件では、被験者は凝視点の移動に伴いサッカードにより注視位置を変えた。ISI を挟んだ後、テスト刺激

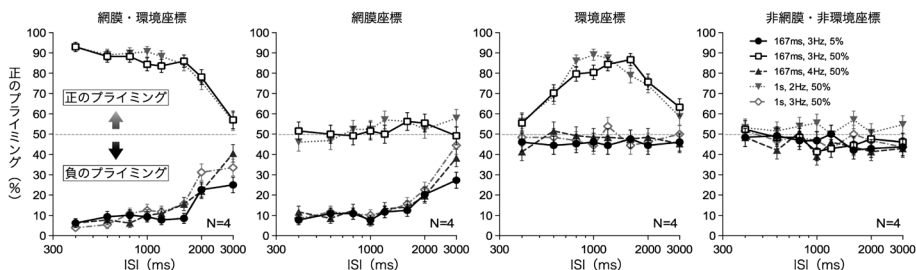


図2 実験1の結果.

が提示された。被験者は、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。サッカードを行う条件と行わない条件は異なるセッションで実施した。1セッションは128試行（先行刺激の運動方向2条件×ISI8条件×テスト刺激の提示位置2条件×繰り返し数4回）で構成され、各被験者は計40セッションの実験を行った。

## 2.2 結果

各実験条件における被験者4名の結果の平均を図2に示す。横軸は先行刺激とテスト刺激のISIを示し、縦軸は正のプライミングの知覚頻度を示す。したがって、50%を上回る反応は正のプライミングが知覚されたことを示し、下回る反応は負のプライミングが知覚されたことを示す。

網膜・環境座標条件において、5条件の刺激パラメータの組み合わせの内、2条件(167ms, 3Hz, 50%; 1000ms, 2Hz, 50%)で正のプライミングが観察され、その他3条件(167ms, 3Hz, 5%; 167ms, 4Hz, 50%; 1000ms, 3Hz, 50%)で負のプライミングが観察された( $p < .0001$ )。これは、先行研究<sup>2,3)</sup>から予測された通りの結果である。また、予測したように、網膜座標条件においては、網膜・環境座標条件で負のプライミングが観察された3条件と同様に負のプライミングが観察された( $p < .0001$ )。その他の条件では、プライミングの効果は消失し、50%に収束した。一方、環境座標条件においては、網膜・環境座標条件で正のプライミングが観察された2条件と同様に正のプライミングが観察され( $p < .0001$ )、その他の条件では、プライミング

の効果は消失した。また、網膜・環境座標条件や網膜座標条件とは異なり、ISIが400msの時にはプライミングの効果はみられず、ISIが600ms以上の時に正のプライミングが生じるようになった( $p < .0001$ )。非網膜・環境座標条件においては、いずれの条件でもプライミングの効果はみられなかった。全ての条件において、ISIが3000msと長い時にはプライミングの効果は消失した。

## 3. 実験 2

実験1において、網膜・環境座標条件で正のプライミングが観察された刺激パラメータの組み合わせでは、環境座標条件においても正のプライミングが観察された。しかしながら、網膜・環境座標条件とは異なり、環境座標条件ではISIが短い時にはプライミングの効果はみられなかった。この原因として、一つにはサッカードの影響が考えられる。実験2では、網膜・環境座標条件でサッカードを行うことにより、ISIが短い時にプライミングの効果が弱まるか検討した。

### 3.1 方法

実験1における網膜・環境座標条件と同様に、テスト刺激は凝視点を基準に先行刺激と網膜上も画面上も同じ位置に提示した。ただし、実験1とは異なり、先行刺激提示後すぐに凝視点が画面上方に移動し、その200ms後にまた元の位置に戻り、テスト刺激が提示された。そのため、被験者は2回サッカードを行った。実験1と同様に、被験者はテスト刺激の見かけの運動方向を判断した。刺激パラメータは、実験

1で正のプライミングが観察された組み合わせとした。装置、被験者は実験1と同じであった。

### 3.2 結果

実験1の網膜・環境座標条件の結果とほぼ同じであり、ISIが400msの時から正のプライミングが顕著に観察された。そのため、実験1の環境座標条件でISIが短い時にプライミングが生じなかったのは、サッカードによるものではなかったと言える。

## 4. 考 察

本研究の結果、負のプライミングは網膜座標条件でのみ生じ、正のプライミングは環境座標条件でのみ生じた。先行研究<sup>2,3)</sup>から、負のプライミングの誘発には一次運動検出機構といった低次運動検出機構が関与し、正のプライミングには特徴追跡機構といった高次運動検出機構が関与することが示唆されている。以上から、低次運動検出機構は網膜座標系で機能し、一方で高次運動検出機構は環境座標系で機能すると結論づけられる<sup>5)</sup>。なお、環境座標条件では、先行刺激とテスト刺激がそれぞれ視野上部と下部に提示されるため、網膜（網膜・環境）座標条件よりも広い視野領域に刺激が提示されたが、同様に先行刺激とテスト刺激が離れて提示される非網膜・非環境座標条件では、プライミングの効果は消失した。したがって、環境座標系で正のプライミングが観察されたことは、単に空間的に広い領域に提示された視覚情報が統合されたことによるものではないと言える。

また、環境座標系で生じた正のプライミングは、ISIが400msと短い時には観察されなかった。これは、サッカードによるものではなかった。以上の結果は、環境座標系における視覚運動の表象の構築には時間が掛かることを示唆する。視覚系がなぜこのような時間の掛かる情報処理機構を持つのか、その機能や意義については、今後さらなる検討が必要である。

## 文 献

- 1) A. J. Pantle, D. P. Gallogly and O. C. Piehler: Direction biasing by brief apparent motion stimuli. *Vision Research*, **40**, 1979–1991, 2000.
- 2) T. Takeuchi, A. Tuladhar and S. Yoshimoto: The effect of retinal illuminance on visual motion priming. *Vision Research*, **51**, 1137–1145, 2011.
- 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) M. Turi and D. Burr: Spatiotopic perceptual maps in humans: Evidence from motion adaptation. *Proceedings of the Royal Society B*, **279**, 3091–3097, 2012.
- 5) S. Yoshimoto, M. Uchida-Ota and T. Takeuchi: The reference frame of visual motion priming depends on underlying motion mechanisms. *Journal of Vision*, **14**, 1–19, 2014.