

視覚運動順応の両眼間転移における刺激の 座標依存性に関する検討

本居快¹⁾・鈴木萌葉²⁾・高橋啓介³⁾

A study of coordinate dependency on visual motion adaptation with interocular transfer

Kai MOTOORI, Moeha SUZUKI, and Keisuke TAKAHASHI

要約

比較的短時間呈示される運動刺激への順応について、先行刺激と位相反転 flicker 刺激であるテスト刺激との位置関係、先行刺激の速度、先行刺激とテスト刺激との ISI について組織的に操作し、先行刺激に誘導される残効の運動方向とその出現度について、その座標依存性を両眼間転移の成否時について検討した。その結果、flicker 運動残効と視覚運動プライミングとは異なる現象である可能性、また、一般的な flicker 運動残効と異なり、高速運動残効には、速度選択性との交互作用を示す形で座標依存性を有する可能性が示唆された。

Key Word 視覚運動順応 flicker 運動残効 座標依存性 両眼間転移
visual motion adaptation flicker motion aftereffect coordinate dependency interocular transfer

1 問題

視覚パターンに対する人間の知覚は、時空間的に異なる他の視覚パターンの影響を受ける。視覚系が絶えず入力される視覚パターンをどのように統合しているかを理解することは、人間の視覚情報処理の解明に向けた重要な課題の一つである。運動知覚は視覚情報の時空間的な変化によりもたらされるが、局所的な運動情報のみには依存するのではなく、時空間的に近傍に存在する視覚運動の影響を強く受ける(西田・竹内・蘆田, 2000)。運動知覚の時間的特性の一つとして、位相反転 flicker 刺激を用いて特定の運動方向をもたない多義的運動刺激を呈示したとき、知覚される運動方向はそれに先行する運動刺激の方向に依存するという現象がある。これは静止刺激が動いて見える運動残効(motion aftereffect: MAE)である static MAE に対して flicker MAE と呼ばれる。flicker MAE は通常、先行刺激の運動方向と逆方向の運動が知覚される。この現象については多くの研究知見が蓄積されている(Mather, Verstraten, & Anstis, 1998)。先行する運動刺激の持続時間が充分短い場合には、後続する多義刺激が先行刺激と同じ方向に知覚される視覚運動プライミング (visual motion priming) が生じる (Takeuchi, Tuladhar, & Yoshimoto, 2011)。視覚運動プライミングには多義運動刺激が先行刺激とは反対方向に見える場合もあるため、本稿では多義的運動刺激が先行刺激と同方向に運動して見えるプライミング現象を「正のプライミング」、多義的運動刺激が逆方向に運動して見える現象を「負のプライミング」と呼ぶ。負のプライミングは上述の flicker MAE との関係が問題となる。

正負の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などの刺

1) 愛知淑徳大学大学院心理医療科学研究科博士前期課程視覚科学領域

2) 愛知淑徳大学健康医療科学部医療貢献学科視覚科学専攻 学部生

3) 愛知淑徳大学健康医療科学部医療貢献学科視覚科学専攻

激の変数に依存する。負のプライミングは低次の一次運動検出機構により誘発され、正のプライミングは高次の特徴追跡機構により誘発されることが示唆されている。Pantle, Gallogly, & Piehler(2000)は、先行刺激の持続時間が短い場合に正のプライミングが観察される一方で、先行刺激の呈示時間が一定の長さを超えた場合にはテスト刺激は先行刺激と逆方向に運動して知覚されることを示した。Kanai & Verstraten (2005)においても同様の現象が観察され、先行刺激の持続時間がごく短い時間から相対的に長くなるに従って正のプライミングの強さは徐々に弱まり、先行刺激の呈示時間が640msに達すると知覚される運動方向は反転した。彼らは負のプライミングを通常の運動残効よりもはるかに短い順応により生じる運動残効 (e.g.: Mather *et al.*, 1998) として「高速運動残効」と呼んだ。このように、視覚運動プライミングの知覚は先行刺激の持続時間に依存することが知られている。しかし正のプライミングの強度と先行刺激の持続時間との関係は、刺激の他の変数との関係で決定されると考えられ、一義的には決定できないと考えられる。他方、負のプライミングが flicker MAE と同様の現象であるとする、flicker MAE については、低次、高次、両段階の処理が関与し、且つ、主に高次の特性が反映されやすく、低次処理の影響は少ないことが示唆されており(蘆田, 1994)、先行刺激の持続時間が短い場合に生じる負のプライミングと負の flicker MAE とでは異なるメカニズムが関与している可能性がある。

吉本・内田(太田)・竹内(2014)は、視覚の低次過程で処理される MAE は網膜座標(retinotopic)依存性を示し、視覚の高次過程で処理される MAE は空間座標(spatiotopic)依存性を示すとの Turi & Burr(2012)を参考に、正のプライミングを示す刺激は空間座標依存性の特性を、負のプライミングを示す刺激は網膜座標依存性の特性を示すとの仮説を検証し、網膜・空間座標が保存されている呈示条件において正のプライミングを示した刺激は空間座標依存的呈示条件においてのみ正のプライミングを示し、網膜・空間座標において負のプライミングを示した刺激は網膜座標依存的呈示条件においてのみ負のプライミングを示すことを確認し、正のプライミングは特徴追跡機構で、負のプライミングは一次運動検出機構で処理されるとした。

負のプライミングである MAE については、その両眼間転移について検討することで、運動検出機構の特性を解明する試みがなされている。左右それぞれの眼の情報には、網膜の段階では全く独立しているが、大脳皮質に伝えられた左右眼の入力情報は、V1(一次視覚野)で処理される前に両眼間転移し、左右眼それぞれの情報がある程度統合された状態で処理され、最終的に MT 野では両眼の情報は統合され、どちらの眼から情報が入力されたかは区別されなくなる。両眼の情報が、末梢から中枢へと処理段階が上がるにしたがって統合されることを活用すると、両眼情報の統合地点を境に、処理機構がどの段階に存在するかを推定することができる(蘆田,1997)。このように両眼間転移は両眼それぞれへの視覚入力がどのように統合されるかを検討し、視覚機構の階層性を論じる上で有効な現象であり、MAE の両眼間転移を検討することで処理水準について考えることができる。

Wade, Swanston, & De-Weert(1993) は、片方の眼に順応刺激を、もう一方の眼にテスト刺激を呈示した場合でも MAE が観察されるが両眼間転移は約 50%で不完全であることを示した。運動検出機構の高次処理過程が関与していることが明らかとなっているコントラストの移動による運動である高次の 2 次運動(Nishida&Ashida, 1994)や順応刺激とテスト刺激とが空間的に離れている運動(遠隔運動)によっては static MAE はほとんど誘導されず(von Grünau & Dubé, 1992)、主に一次運動検出機構の働きを反映している可能性が高い。しかし動的に変化するが明確な運動は見えないテスト刺激において、一方向への運動刺激への順応の後に逆方向の運動が明瞭に見えることがある。位相反転する閾上コントラスト縞刺激など、両方向に同じ強さの運動情報を含む多義的的刺激は、一方向への運動刺激に順応した後、明確に反対方向へ動いて見える。このような flicker MAE (Nishida, Ashida, & Sato, 1994)は古典的な static MAE と区別される。flicker- MAE は、①空間周波数選択的でない(Ashida & Osaka, 1995a)、②順応速度依存性を示す(Ashida & Osaka, 1995b)、③両眼間転移が完全 (Nishida *et al.*, 1994)、④順応刺激とテスト刺激とが空間的に離れている場合にも、残

効が誘導される(von Grünau & Dubé, 1992), ⑤輝度の移動による運動である低次の一次運動のみならず二次運動や高次運動によっても誘導されるというような性質(Nishida & Ashida, 1994)をもっており, 比較的高次の運動情報統合過程の働きを反映している可能性が高い。

また, 運動視処理過程を検討する手段として, 連続フラッシュ抑制(continuous flash suppression: CFS)と両眼間転移の関係を考察することが有効である。CFSとは, 機能的優位眼にモザイク用の複雑な構造をもつ刺激を高頻度点滅させて呈示すると強度の高い両眼視野闘争が生じ, 非優位眼に呈示された刺激の知覚を完全に抑制する現象である。Maruya, Watanabe, & Watanabe(2008)は, CFSを用いて, 意識上にはない運動情報の処理過程について検討し, static MAEではCFSによる抑制下, 非抑制下いずれにおいても優位眼に呈示された運動刺激の非優位眼への転移は生じず, flicker MAEでは, CFSによる非抑制下で認められた転移がCFSによる抑制下では生じないことを示した。static MAEは運動処理系の低次段階で, flicker MAEは低次と高次段階で処理されているが, 高次段階の抑制が示唆されているCFSによってflicker MAEの両眼間転移が完全に抑制されることが確認されたことは, flicker MAEには主に高次段階の処理が反映される可能性が示唆され, Nishida & Ashida(2000)の視覚運動の段階処理モデルが妥当であることを検証した。これに対し本居(2018)は, CFSによって抑制される運動順応の両眼間転移にも刺激の空間周波数選択性や時間周波数特性が関与している可能性を報告しており, 意識されないの運動情報処理で低次段階処理が反映されやすいことを示唆した。このように, 運動順応の両眼間転移について検討することによっても運動処理機構の特性について理解を深めることが可能であると考えられる。

従来のMAEの検討では, 先行刺激の持続時間は通常十分な長さで設定されるが, 本研究では視覚プライミングで用いられるごく短時間の先行刺激の持続時間を用い, 意識上に短時間だけのぼる視覚運動処理が, 低次と高次のいずれの段階で処理されているのかを考察するために, 先行刺激への順応の両眼間転移について検討することで, 運動処理機構の特性について検討する。吉本ら(2014)を参考とし, 刺激の持続時間や速度, 輝度コントラスト, 呈示する配置座標は同様にして, 吉本ら(2014)では検討されていない視覚運動プライミングが両眼間転移によってどのような性質を示すのかを検討することを通して, 運動処理機構の特性をさらに詳細に考察することができるだろう。Turi & Burr(2012)に基づけば, 高次の特徴追跡機構によって誘発される正のプライミングは空間座標依存性を保ちつつ両眼間転移し, 低次の一次運動検出機構によって誘発される負のプライミングは両眼間転移しないと仮定できる。本研究では, この点について検討した。

また, 視覚運動プライミングの検討では, 実験参加者の反応は, 「正/負」の2肢強制選択によって取得されることが一般的であるが, これでは測定する現象が運動の印象などを含めた運動方向の認知的判断を測定しているのか, 運動の知覚を測定しているのか, あるいはその両者を測定しているのかが不明確である。そこで本研究では, 実験参加者の反応を「正/負/不明」の3件法で取得することによって, 運動の知覚を測定することとした。これによって, 視覚運動プライミングとflicker MAEとの関係を明らかにすることができると思われる。

加えて, プライミング現象で使用している刺激は, flicker MAEと同様の多義運動刺激を使用していることから, Turi & Burr(2012)が示唆した一次運動検出機構だけでなく, 高次処理過程の特性が反映される可能性がある。この点について, 両眼間転移を用いて検討することにより, 短時間呈示された運動情報が運動視処理過程の低次, 高次いずれの段階の処理を反映するのかについて検討した。

II 方法

1 実験参加者

視力1.0以上(矯正視力を含む)である22歳大学生女子3名と22歳大学生男子1名。内1名は著者であり, その他3名は実験内容の詳細は知らなかった。

2 装置

視覚刺激はマイクロコンピュータ Elite Desk 800 G1 SFF (HP) を用いて, PsychoPy ver1.82.02 で制御し, 17inch CRT ディスプレイ DiamondtroBM² RDF223H (MITSUBISHI)(時間解像度 90Hz, 空間解像度 1024×768pixel)に, 図1に示した両眼分離器を用いて呈示した。



図1 実験で用いた両眼分離器

3 刺激

刺激の例と一試行の流れを図2に示した。

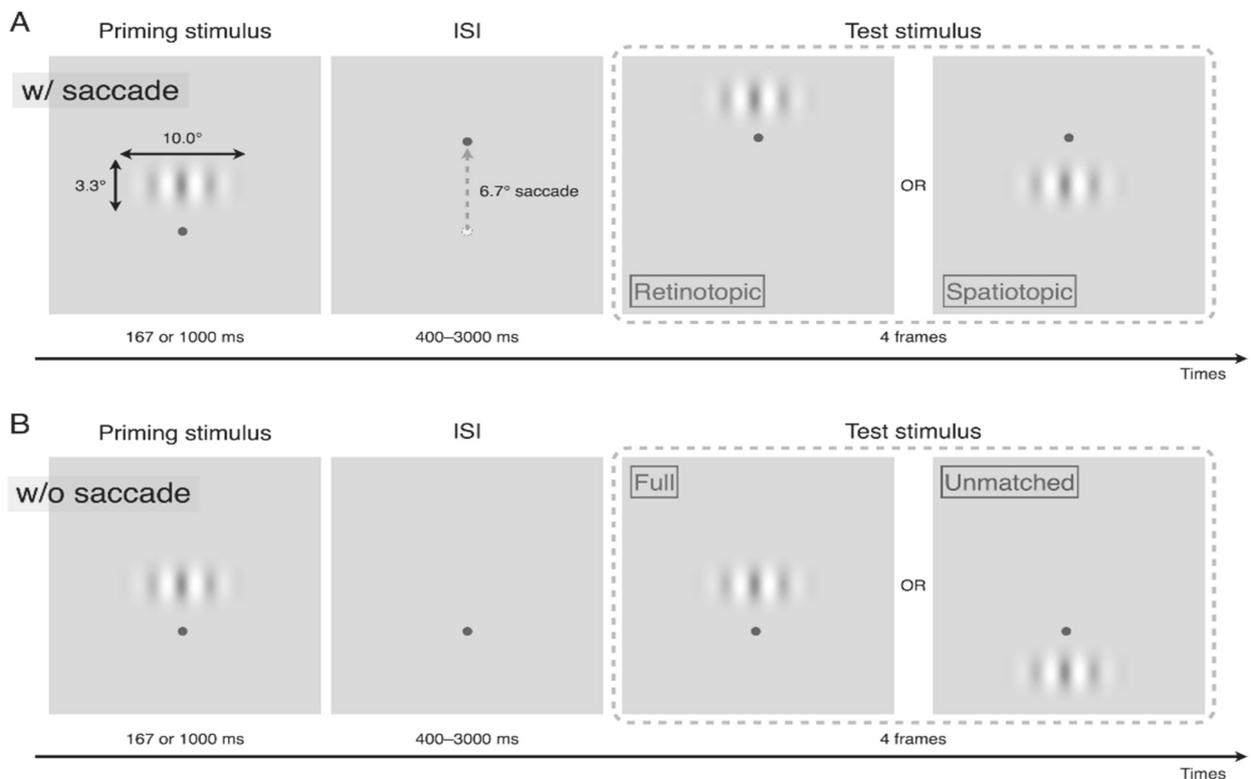


図2 刺激の例と一試行の流れ

先行刺激としては、水平方向に運動する垂直正弦波格子($10^\circ \text{ H} \times 3.3^\circ \text{ V} \times 0.5 \text{c/deg}$, $\sigma = 1.0^\circ$)を用いた。運動方向は左右の2方向で、全ての実験条件において各方向を1回ずつ測定した。左右の順序はランダムとした。本実験で用いた垂直正弦波格子は輝度変調であり、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、Takeuchi *et al.* (2011), Yoshimoto & Takeuchi (2013)から正のプライミングが予想される1条件(1000ms, 2Hz, 50%)と負のプライミングが予想される1条件(1000ms, 3Hz, 50%)の計2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° 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フレーム呈示した。速度と輝度コントラストは先行刺激と同じ、2Hz, 50%もしくは3Hz, 50%とした。

4 実験条件

独立変数として刺激の配置座標条件, 刺激の呈示眼条件, 先行刺激の運動速度, 先行刺激とテスト刺激との刺激間隔(ISI)の4要因を設定した。以下に詳細を説明する。

(1) 配置座標条件: 以下の4水準を設定した。

- ① 網膜・環境座標(Full): 凝視点の位置は変化せず(cf: 図2 w/0 saccade), テスト刺激が先行刺激と網膜上もディスプレイ上も同じ位置に呈示される。
- ② 網膜座標(Retinotopic): 先行刺激呈示直後に凝視点を垂直上方に 6.7° 移動させる(cf: 図2 w/ saccade)が, テスト刺激と先行刺激との位置関係は, 凝視点を中心として変化しない。
- ③ 環境座標(Spatiotopic): 先行刺激呈示直後に凝視点が垂直上方に 6.7° 移動させ(cf: 図2 w/ saccade), テスト刺激は先行刺激と同じ位置に呈示される。
- ④ 非網膜・非環境座標(Unmatched): 凝視点の位置は変化せず(cf: 図2 w/0 saccade), テスト刺激が先行刺激と凝視点を中心として異なる位置に呈示される。

(2) 呈示眼条件: 以下の2水準を設定した。

- ① NOIOT(両眼間転移なし): 先行刺激, テスト刺激ともに優位眼に呈示する。
- ② IOT(両眼間転移あり): 先行刺激を優位眼に呈示し, テスト刺激を非優位眼に呈示する。

なお, 優位眼は大型弱視鏡を用いた両眼視野闘争状況下で, 機能的優位眼を決定した。

(3) 先行刺激の速度条件: Takeuchi *et al.* (2011), Yoshimoto & Takeuchi (2013)に基づいて, 以下の2水準を設定した。

- ① 2Hz: 持続時間 1000ms, 速度 2Hz, 輝度コントラスト 50%で, 正のプライミングが生じると予測される。
- ② 3Hz: 持続時間 1000ms, 速度 3Hz, 輝度コントラスト 50%で, 負のプライミングが生じると予測される。

(4) 先行刺激とテスト刺激との刺激間隔時間 (ISI): 吉本ら (2014) と同様に, 400ms, 600ms, 800ms, 1000ms, 1200ms, 1800ms, 2000ms, 3000ms の8水準設定した。

5 手続き

試行開始時に凝視点を呈示し, その1500ms後に優位眼に先行刺激を呈示し, 各ISIの後に各配置座標条件に従った位置に, 且つ, 各呈示眼条件に従った眼にテスト刺激を呈示した。先行刺激呈示後, 網膜座標条件と環境座標条件では, 被験者には凝視点の移動に伴いサッカードさせた (cf: 図2 w/ saccade)。

実験参加者には, 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させた。運動方向が左右どちらであったか判断できない場合はスペースキーで反応するよう教示した。サッカードを行わない条件(cf: 図2 w/0 saccade)である網膜・環境座標条件, および非網膜・非環境座標条件と, サッカード

を行う条件(cf: 図2 w/ saccade)である網膜座標条件, および環境座標条件とは異なるセッションで実施した。

1セッションは128試行(配置座標条件: 2水準×ISI: 8水準×繰り返し: 8回)で構成され, 各実験参加者はこのセッションを呈示眼条件(2水準)×速度条件(2水準)×サッカードの有無(2水準)の計8セッションでの測定を行った。条件ごとの組み合わせは実験参加者間でランダム化した。

Ⅲ 結果と考察

各実験条件における実験参加者の反応について, 正反応の場合には「+1」, 負反応の場合には「-1」, スペースキー反応の場合には「0」を与え, それらを各実験参加者のプライミング(あるいはMAE)の出現得点とした。したがって正反応が100%の場合には出現得点は「1.0」, 負反応が100%の場合には出現得点は「-1.0」, 明確な運動が全く知覚されなかった場合には出現得点は「0.0」となる。

以下の分析は, 各実験条件における出現得点の実験参加者間平均に対する配置座標, 呈示眼, 速度, ISIの4要因の効果について, 全ての要因に対応がある場合の4元配置分散分析実験計画に基づくものである。

まず, 先行刺激への順応の両眼間転移と速度, 座標依存性, ISIとの関係を中心に分析, 検討を行う。図3に各呈示眼条件における各配置座標条件での出現得点の速度に伴う変化を示した。また図4にNOIOT条件における各配置座標条件での出現得点のISIに伴う変化を, 図5にIOT条件における各配置条件での出現得点のISIに伴う変化を示した。

分散分析の結果, 出現得点に対する配置座標条件, 呈示眼条件, 速度, ISIの要因の効果については, 2次, 3次の交互作用はいずれも有意ではなかった。

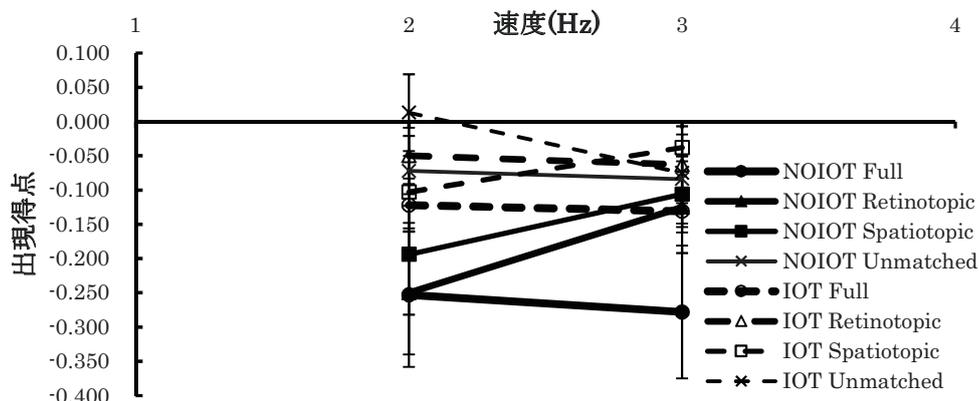


図3 各呈示眼条件における各配置座標条件での出現得点の速度に伴う変化

図3によるといずれの実験条件においても正反応は認められず, 先行刺激への順応の効果が生じた場合は全て負反応であった。統計的な証明は得られなかったものの, NOIOT条件とIOT条件とでは, 速度の効果が配置座標条件によって異なる傾向が認められた。NOIOT条件ではFull条件は速度に関わらず負反応の出現得点が相対的に高く, Unmatched条件では速度にかかわらず負反応の出現得点は相対的に低かった。いずれも速度による出現得点の変動は認められなかった。他方Retinotopic条件, Spatiotopic条件では, 2Hzで相対的に負反応の出現得点が高かったが, 3Hzで低下する傾向が認められた。

IOT条件では全体に出現得点は低く, Full条件, Retinotopic条件では速度による変動は認められず, Spatiotopic条件では, 2Hzに比べ3Hzで負反応の出現得点が相対的に高くなり, Unmatched条件ではSpatiopic条件とは逆に3Hzに比べ2Hzで負反応の出現得点が相対的に高くなる傾向が認められた。

吉本ら(2014)によれば, 2Hzの刺激は低次の一次運動検出機構に誘発され負のプライミングを生じ網膜座

標依存性を示し、3Hz の刺激は高次の特徴追跡機構によって誘発されて正のプライミングを生じ空間座標依存性を示すとされている。上記の結果では Retinotopic 条件で 2Hz に比べ 3Hz で負反応の出現率が低くなっていることから、吉本ら (2014) を支持することができるように考えられるが、Spatiotopic 条件でも同様の傾向が認められ、また、いずれの配置座標条件、速度条件においても正反応の出現得点が認められない。これらのことから、本研究において測定されている現象は吉本ら (2014) で検討されている視覚運動プライミングではなく、flicker MAE であると考えられる。またこのことは、視覚運動プライミングと flicker MAE とでは、処理機構が異なっている可能性を示唆していると考えられる。

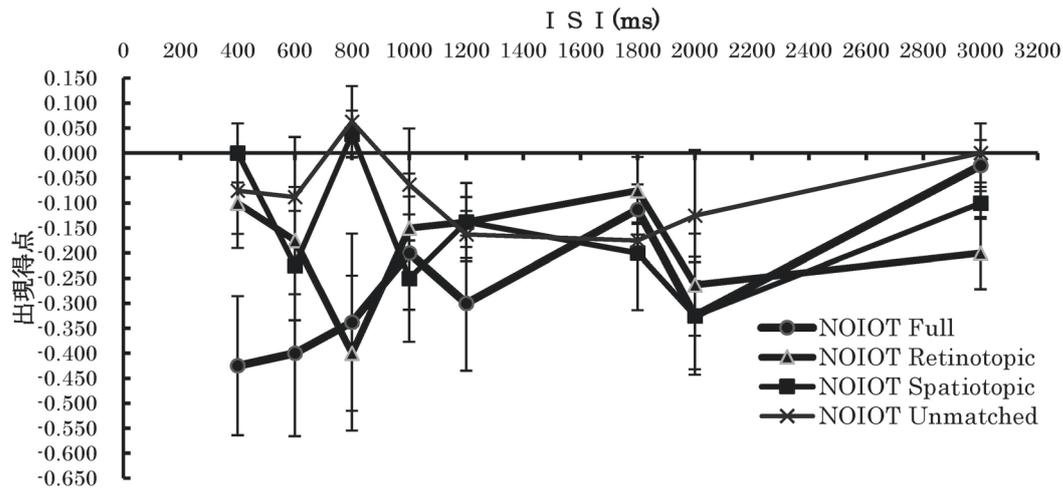


図4 NOIOT 条件における各配置座標条件での出現得点の ISI に伴う変化

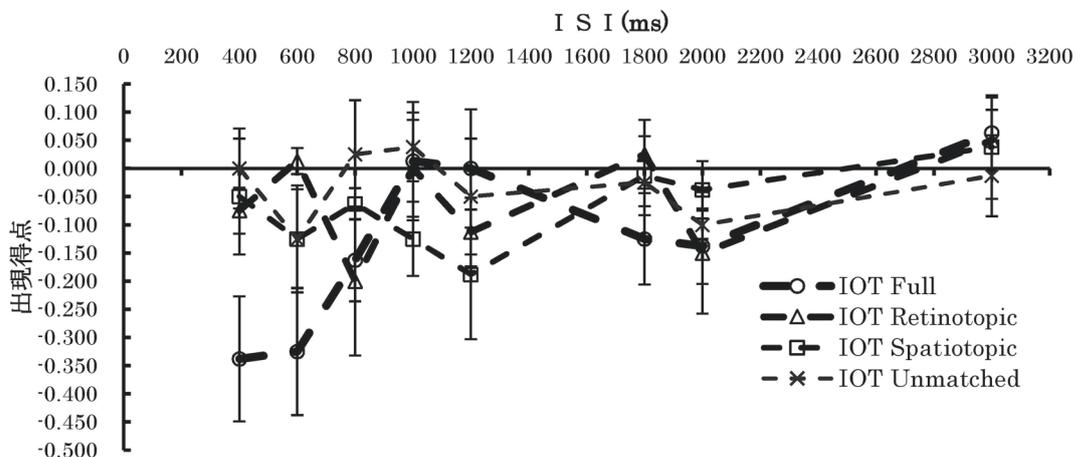


図5 IOT 条件における各配置座標条件での出現得点の ISI に伴う変化

他方、図3の IOT 条件において、負反応の出現得点が低く、負反応が負の flicker MAE の出現を示していると考えれば、IOT 条件における負の flicker MAE の出現確率は平均して 10%以下であり、NOIOT 条件での flicker MAE より低い水準にとどまっていることは、Nishida *et al.* (1994)の flicker MAE は完全な両眼間転移を生じるとの所見とも矛盾しており、また、わずかではあるが配置座標条件によって出現得点異なり、速度によるその変動が異なることは、flicker MAE には座標依存性がないとする von Grünau & Dubé (1992) との所見とも矛盾している。これらについては、本研究における先行刺激の呈示時間が 1000ms と、従来の

MAE 研究で用いられる順応刺激と比較して短時間であったことが影響している可能性が考えられる。

次に図 4, 図 5 との比較によって, 配置座標条件, 呈示眼条件, ISI の効果について検討する。図 4 および図 5 によると, ISI 400ms~2000ms では, NOIOT 条件, IOT 条件とも同様の傾向を示しており, 400ms, 600ms では Full 条件で負反応の出現得点が相対的に高く, 他の配置座標条件では負反応の出現得点が低かった。800ms で NOIOT では Full 条件と Retinotopic 条件で負反応の出現得点が高く, Spatiotopic 条件と Nomatched 条件で正反応の出現得点がわずかに認められた。全体的傾向としては IOT 条件は NOIOT 条件とほぼ同傾向であると見なせるだろう。600ms 以下の ISI 条件では, Full 条件と Retinotopic 条件, Spatiotopic 条件, Nomatched 条件の負反応の出現得点に相対的な差が認められ, Retinotopic 条件, Spatiotopic 条件, Unmatched 条件での負反応の出現得点が低下した。800ms では Full 条件, Retinotopic 条件と Spatiotopic 条件, Unmatched 条件とがそれぞれ同程度の負反応の出現得点を示した。800ms 条件におけるこの傾向は, 網膜座標依存性が確保されないと負の flicker MAE の出現が相対的に生じ難くなる可能性を示していると考えられるが, 吉本ら(2014)が報告しているような一貫した座標依存性は認められなかった。ISI 3000ms では, IOT 条件, NOIOT 条件いずれも flicker MAE 自体の出現が低下する傾向があり, 本研究におけるような比較的短時間持続される先行刺激による flicker MAE では ISI が先行刺激の持続時間よりも長くなると MAE の出現が減衰する可能性を示唆すると考えられる。

上記の検討から, 特に, NOIOT 条件における出現得点と配置座標条件との関連性を見る限り, 本研究において生じた現象は少なくとも吉本ら(2014)の報告している視覚運動プライミングと同じ現象とは考え難い。実験方法において, 位相反転 Flicker 刺激の運動方向の判断に「不明」との回答を許したことで, 正負の判断は, 運動の認知ではなく, 運動の知覚に基づくものであったと考えられる。そこで以下では, 本研究における現象は flicker MAE であるとし, それに対する各実験要因の効果から, MAE に関与する運動検出機構の特性について検討する。

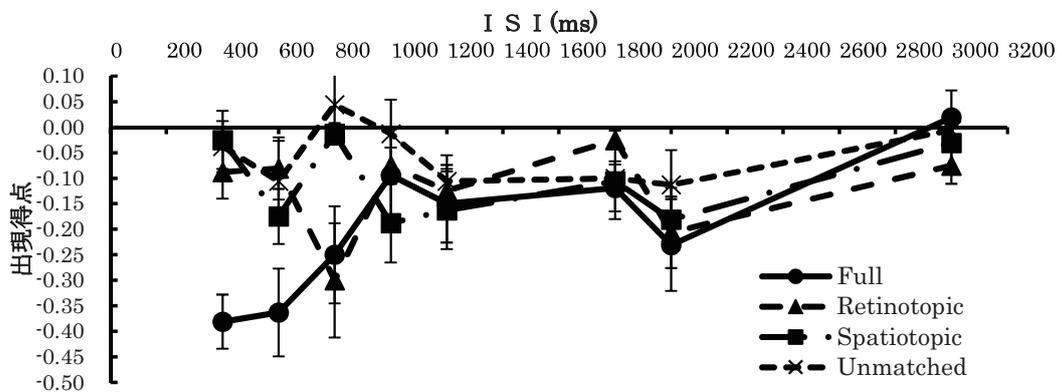


図 6 各配置座標条件における出現得点の ISI に伴う変化

分散分析の結果, 出現得点に及ぼす各実験要因の 1 次の交互作用については, 配置座標条件と ISI の交互作用($F(821,84)=3.316, p<.001$)が有意であった。また, 配置座標条件と速度の交互作用($F(3,12)=2.884, p<.10$), 速度と ISI の交互作用($F(7,28)=2.139, p<.10$)に有意傾向が認められた。他の 1 次の交互作用はすべて有意ではなかった。この統計検定結果に基づいて効果が有意あるいは有意傾向を示した要因について検討する。

図 6 に各配置座標条件における出現得点の ISI に伴う変化を示した。図 6 によると, ISI 400ms, 600ms では Full 条件で有意に負反応の出現得点が高かったが, 800ms で Full 条件, Retinotopic 条件の負反応の出現得点が高かった。2000ms では, Unmatched 条件に比べ他の配置座標

条件において相対的に負反応の出現得点が高くなる傾向があり、3000ms でいずれの配置座標条件でも出現得点が低くなった。

図 7 に各速度条件における出現得点の ISI に伴う変化を示した。

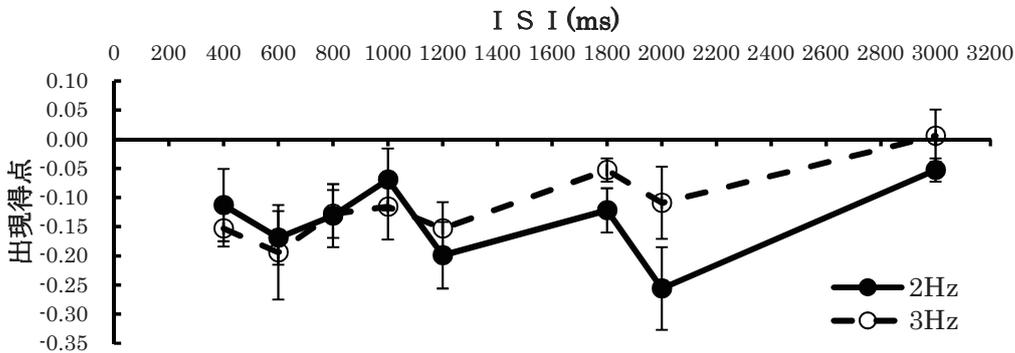


図 7 各速度条件における出現得点の ISI に伴う変化

図 7 によると、ISI 400ms~1200ms では、2Hz、3Hz 条件ともにほぼ同様の負反応の出現得点を示した。1800ms 以上になると、3Hz 条件に比べて 2Hz 条件において有意に負反応の出現得点が高くなった。しかし、3000ms になると、いずれの速度条件でも負反応の出現得点は低くなった。

分散分析の結果、出現得点に対する ISI の主効果が有意であった($F(7,28)=3.591, p<.01$)。図 8 に出現得点の ISI に伴う変化を示した。

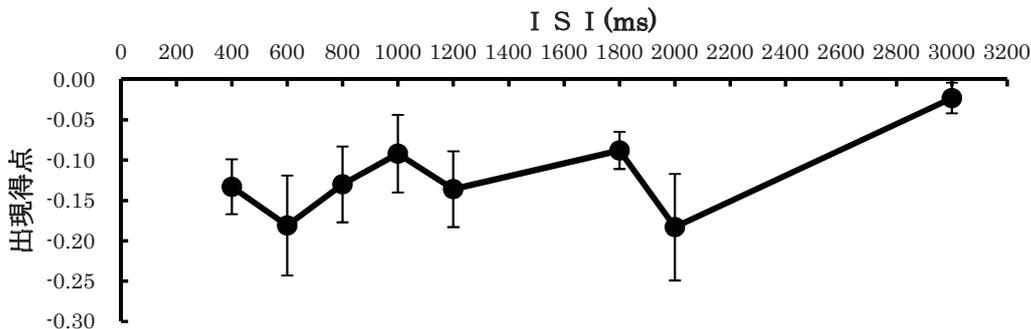


図 8 出現得点の ISI に伴う変化

図 8 によれば、負反応の出現得点は、ISI 400ms~2000ms の間では ISI に伴う一貫した明確な変動はないことが認められ、3000ms では有意に出現得点が低くなることが示された。

図 9 に各配置座標条件における出現得点の速度に伴う変化を示した。

図 9 によると、2Hz 条件では Unmatched 条件で負反応の出現得点が高い他の配置座標条件に比べて有意に低く、3Hz 条件では Full 条件で負反応の出現得点が高い。Full 条件、Unmatched 条件では、2Hz 条件に比べ 3Hz 条件で負反応の出現得点が増加する傾向が認められたのに対して、Retinotopic 条件、Spatiotopic 条件では 2Hz 条件に比べ 3Hz 条件で負反応の出現得点が低下する傾向が認められた。

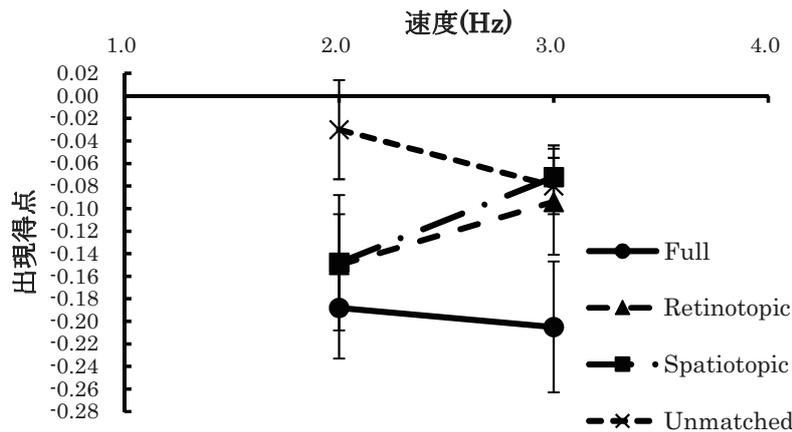


図9 各配置座標条件における出現得点の速度に伴う変化

上記の結果から、吉川ら(2014)の示すような運動処理機構の段階に対応した MAE の座標依存性は認められなかった。しかし、Full 条件の場合には、負の flicker MAE の出現が安定しているが、Unmatched 条件ではほとんど flicker MAE は生じず、Retinotopic 条件、Spatiotopic 条件の場合は速度が高くなると flicker MAE の出現率が低下する傾向が認められた。flicker MAE は速度選択性があることが知られているが(Ashida & Osaka, 1995b)、Full 条件で速度による flicker MAE の出現の程度に変化が認められなかったことは、手がかかりとなる座標が十分に与えられている時には flicker MAE の速度選択性の変調幅は本実験における速度変化よりも広い可能性がある。また依存できる座標情報が制限されると、図6、図9に示されたように、flicker MAE の出現は抑制される傾向にあり、また図6、図8から、座標情報にかかわらず、ISI が長くなると flicker MAE は抑制される傾向にあると考えられる。

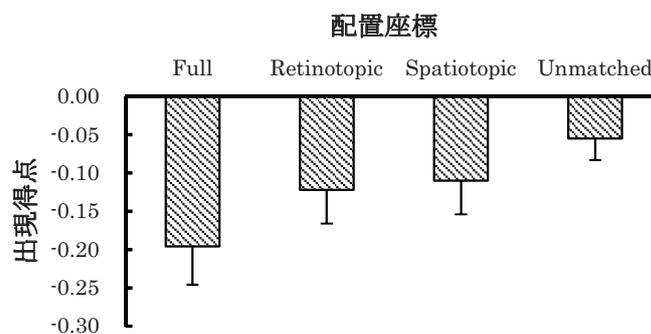


図10 各配置座標条件における出現得点

配置座標条件と flicker MAE との関連性に関するこれらの傾向は、出現得点に対する配置座標条件の主効果によってより明らかにできる。分散分析の結果、出現得点に対する配置座標の効果は有意であった ($F(3,12)=7.396, p<.01$)。図10に各配置座標条件における出現得点を示した。

図10によると、Full 条件の負反応の出現得点が有意に最も高く、Unmatched 条件の負反応の出現得点が有意に最も低く、Retinotopic 条件、Spatiotopic 条件の負反応の出現得点はこれらの2配置座標条件の中間的な負反応の出現得点を示した。このことは、上述の、座標手がかかりが欠落すると flicker MAE の出現度が有

意に低下するとその所見を補強するものである。すなわち、MAEの転移の有無にかかわらず、短時間呈示される先行刺激に対する flicker MAE には、座標手がかりが欠けると現象の出現度が低下するという形での座標依存性があると考えられる。MAE が主として運動検出機構の飽和による現象と考えれば、ごく短時間の順応では、網膜全域にわたる飽和が生じないこと、また、座標が維持されていても眼球運動すると、順応が短時間の場合には、順応の強度を低下させる可能性があることを上記の所見は示唆していると考えられる。

IV 総合的考察

本研究の所見を要約すると以下の通りである。

① 先行刺激への順応の両眼間転移と先行刺激の運動速度、座標依存性、先行刺激とテスト刺激との ISI の各要因の効果を総合的に検討すると、図 3、図 4、図 5 に示されたように、本研究ではいずれの要因下でも正反応はほとんど出現せず負反応ばかりが出現した。また Unmatched 条件を除く全ての配置座標条件、先行刺激の運動速度条件において運動順応の両眼間転移が認められ、両眼間転移の有無による残効の出現度の際は認められなかった。これは吉本ら(2014)の視覚運動プライミングにおいて認められた速度選択性や座標依存性とは異なる結果であり、本研究で検討された現象は視覚運動プライミングではなく、一種の flicker MAE であったと捉えるべきことを示唆する。

flicker MAE の運動方向判断は、比較的困難であり、実験参加者の現象判断に対する習熟が必要であると考えられる。吉本ら(2014)は、プライミングの方向判断として 2 肢強制選択法を用いたのに対し、本研究では「不明」の選択肢を加えた。その結果、ほぼすべての独立変数の組み合わせにおいて正のプライミングの出現は認められなかった。つまり、吉本ら(2014)における正のプライミングの出現は、実験参加者の反応の取得方法に大きく依存した可能性があるのではないだろうか。他方、正のプライミングは先行刺激の持続時間が短い場合に生じることが知られているが(Pantle *et al.*, 2000; Kanai & Verstranten, 2005)、短い持続時間の先行刺激では運動検出機構の順応はごく低い水準であると考えられ、実験参加者の MAE の判断が困難であったことは十分に理解できる。flicker MAE は主に負の MAE であり、それは運動検出機構の神経反応の飽和によって説明できる明確な知覚現象である。短時間だけ呈示される先行刺激によってのみ誘導される 負のプライミングは、こうした負の flicker MAE とは異なる神経機構の反応に基づくものであると考えられ、現象的にも異なる特性を有するものと考えられる。

② 図 7、図 8 に基づく考察から、ISI 400ms~2000ms の間では負の flicker MAE が出現し、この傾向は先行刺激の運動速度 3Hz に比べて 2Hz で有意に高くなることを見いだされた。また図 6 から ISI 800ms 以下で座標依存性が認められた。すなわち、400ms、600ms では、Full 条件では他の配置座標条件に比べて負の flicker MAE の出現度が有意に高く、800ms では Full 条件、Retinotopic 条件で Spatiotopic 条件、Unmatched 条件に比べて有意に負の flicker MAE の出現度が高かった。このことは 800ms 以下で認められる flicker MAE の座標依存性が ISI が長くなると消失することを示唆する。ISI が長くなると、先行刺激に対する順応の強度の低下をもたらすと考えられるので、flicker MAE の座標依存性は先行刺激への順応の強度がある水準で保たれる場合に生じるのではないかと考えられる。また先行刺激の持続時間との関係で ISI の効果も異なることが予測される。これらの点については、順応刺激の持続時間を組織的に操作してさらなる検討を行う必要がある。

③ flicker MAE は、運動検出機構の段階処理モデル(Nishida & Ashida, 2000)では低次と高次の両処理系の関与が示唆されており、速度選択性を示し(Ashida & Osaka, 1995b)、座標依存性を示さない(Grünau & Dubé, 1992)。しかし図 9 に示されたように、本研究では、配置座標 Full 条件で速度による flicker MAE の出現度に差は認められなかったこと、また、図 10 から配置座標 Unmatched 条件で flicker MAE の出現度が有意に低下していることは、従来の flicker MAE の特性と矛盾している。これは本研究で検討した MAE が

Mather *et al.*(1998)の述べる「高速運動残効」であった可能性を示唆するもの考えると、先行刺激の持続時間が相対的に短い場合の flicker MAE には網膜座標、空間座標の両方が手がかりとなる場合には速度選択性がなく、手がかりとなる座標がいずれか一方になると、速度が高い場合には flicker MAE の出現度が低下し、手がかりとなる座標が与えられないと flicker MAE は生じなくなる、といった速度と配置座標との交互作用による速度選択性、座標依存性があるのではないかと考えられる。さらに、Mather *et al.* (1998)の見解とは異なり、高速運動残効と視覚運動ブライミングとは視覚運動検出機構の振る舞いが異なる、別の現象であると考えられる。座標依存性は運動検出機構の段階処理モデルでは低次処理の特性であり(von Grünau & Dubé, 1992)、速度依存性は高次処理の特性である(Ashida & Osaka, 1995b)と考えられる。蘆田(1994)の flicker MAE は低次と高次の両段階が処理に関与しているが、主に高次が反映されるという報告に対して、高速運動残効の場合には、低次の運動処理の影響が反映されやすくなるのではないだろうか。

V 引用文献

- 蘆田宏 (1994) 2種類の運動残効と運動視機構. 心理学評論,37,No2,141-163.
- 蘆田宏 (1997) 両眼間転移による運動残効の解析. ATR 人間情報通信研究所.
- Ashida, H. & Osaka, N. (1995a) Difference of spatial frequency selectivity between static and flicker motion aftereffects. *Perception*, 23, 1313-1320.
- Ashida, H. & Osaka, N. (1995 b) Motion Aftereffect with Flickering Test Stimuli Depends on Adapting Velocity. *Vision Research*, 35, 1825-1833.
- Kanai, R. & Verstraten, F. A. (2005) Perceptual manifestations of fast neural plasticity: Motion priming, rapid motion aftereffect and perceptual sensitization. *Vision Research*, 45, 3109-3116.
- Lu, Z. L. & Sperling, G. (1995) The functional architecture of human visual-motion perception. *Vision Research*, 35, 2697-2722.
- Maruya, K., Watanabe, H., & Watanabe, M. (2008) Adaptation to invisible motion results in low-level but high-level aftereffects. *Journal of Vision*, 8(11): 7, 1-11.
- Mather, G., Verstraten, F., & Anstis, S. (1998) The motion aftereffect: *A Modern Perspective*. Cambridge MIT Press.
- 本居快 (2018) 連続フラッシュ抑制を用いた運動残効の両眼間転移における刺激特性の検討. *Vision*, 30(3), 131.
- Nishida, S. & Ashida, H. (2000) A hierarchical structure of motion system revealed by interocular transfer of flicker motion aftereffects. *Vision Research*, 40, 265-278.
- Nishida, S., Ashida, H. & Sato, T. (1994) Complete interocular transfer of motion aftereffect with flickering test. *Vision research*, 34, 1149-1155.
- 西田真也・竹内龍人・蘆田宏 (2000) 8 運動の知覚. 日本視覚学会 (編) 視覚情報処理ハンドブック. 朝倉書店.
- Pantle, A. J., Gallogly, D. P., & Piehler, O. C. (2000) Direction biasing by brief apparent motion stimuli. *Vision Research*, 40, 1979-1991.
- Takeuchi, T., Tuladhar, A., & Yoshimoto, S. (2011) The effect of retinal illuminance on visual motion priming. *Vision Research*, 51, 1137-1145.
- Turi, M. & Burr, D. (2012) Spatiotopic perceptual maps in humans: Evidence from motion adaptation. *Proceedings of the Royal Society, B*, 279, 3091-3097.
- von Grünau, M. & Dubé, S. (1992) Comparing local and remote motion aftereffects. *Vision*, 6, 303-314.

Wade, N. J., Swanston, M. T., & De-Weert, C. M. M. (1993) On interocular transfer of motion aftereffects. *Perception*, 22, 1365-1380.

Yoshimoto, S. & Takeuchi, T. (2013) Visual motion priming reveals why motion perception deteriorates during mesopic vision. *Journal of Vision*, 13, 1-21.

吉本早苗・内田(太田)真理子・竹内龍人(2014) 運動検出機構における網膜座標および環境座標依存性. *Vision*, 26(3), 127-130.