

## 輝度・色刺激に対する運動残効における参照刺激の効果

猪熊 顕之\*・丸谷 和史\*\*\*\*・佐藤 隆夫\*

\* 東京大学大学院 人文社会系研究科

〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

\*\* 東京大学インテリジェントモデリングラボラトリー

〒 113-8656 東京都文京区弥生 2-11-16

\*\*\* 東京慈恵会医科大学眼科学教室

〒 105-8461 東京都港区西新橋 3-25-8

### Effect of Reference Stimuli on Motion Aftereffects with Luminance and Chromatic Stimuli

Akiyuki INOKUMA\*, Kazushi MARUYA\*\*\*\* and Takao SATO\*

\*Department of Psychology, Graduate School of Humanity and Sociologies, University of Tokyo, Japan

\*\*Jikei University School of Medicine, Tokyo, Japan

\*\*\*Intelligent Modeling Laboratory, University of Tokyo, Japan

#### 1. はじめに

一定方向に運動する刺激を見続けた後では、静止した刺激が逆方向に動いて見える。この現象を運動残効とよぶ。運動残効は運動視機構の選択的な順応を反映する現象であると考えられている。特に古典的には、運動残効は局所的な運動検出器の順応によって説明される。ところが、輝度で定義された運動刺激を用いて調べられている運動残効には、局所運動検出器の順応だけでは説明ができないものもある。たとえば、広視野の運動刺激に順応した場合や、運動刺激の背景が一様であるときには、運動残効はほとんど生じないとされる<sup>1,2)</sup>。逆に、運動刺激の周辺に静止した刺激があるときには強い運動残効が誘導されることが報告されている<sup>3)</sup>。これらの結果は、運動残効が運動刺激のみではなく、運動刺激周辺の刺激にも依存することを示している。

運動残効は輝度以外の視覚属性で定義された刺激によって誘導することもできる。特に、等輝度色運動刺激は運動残効を生じることが知られている<sup>3)</sup>。また、色運動刺激に順応して輝度刺激でテストしたときや、輝度運動刺激に順応して色刺激でテストしたときにも運動残効が生じることが報告されている<sup>3)</sup>。このことは輝度運動刺激と等輝度色運動刺激の処理に、少なくとも部分的には共通した機構が介在することを示している。その一方で、輝度運動刺激と色運動刺激の処理には異なる機構が介在するとする報告もある<sup>4)</sup>。

等輝度色運動刺激と輝度運動刺激の処理の類似性については見解が分かれている。もし色運動刺激が輝度運動刺激と同じ処理を受けているのであれば、色運動刺激に対する運動残効においても、運動刺激周辺の参照刺激の存在によって残効量が大きくなるはずである。逆に、もし色運動刺激への運動残効において参照刺激の効果が見られなければ、色運動刺激と輝度運動刺激の処理が何らかの点で異なっていることを示

す証拠となる。そこで、本実験では、色刺激によって生じる運動残効においても、参照刺激の呈示によって残効量が変化するかどうかを検じた。

## 2. 実験 1

順応刺激・テスト刺激として輝度刺激あるいは等輝度色刺激を用い、参照刺激の有無ごとに運動残効量を測定した。

### 2.1 方法

刺激は ViSaGe (Cambridge Research Systems) により生成し、CRT モニタ (Sony, Multiscan17seII) を用いて呈示した。モニタの空間解像度は 1024×768 pixel とし、垂直同期周波数は 100 Hz とした。モニタの赤色光  $r$ 、緑色光  $g$ 、青色光  $b$  の色度座標は、 $r$  ( $x=0.610, y=0.340$ ),  $g$  ( $x=0.280, y=0.594$ ),  $b$  ( $x=0.142, y=0.072$ ) であった。輝度計 (トプコン, BM-5A) を用いてガンマ補正を行なった。観察距離は 48.13 cm とした。このとき視角 1 deg はモニタ上で 30 pixel に相当した。モニタの大きさは 34.1(V)×25.6 (H)deg に相当した。

中間灰色 ( $x=0.293, y=0.346, 50.0 \text{ cd/m}^2$ ) に対して輝度・色変調を施して刺激を作成した。すべての変調は MBDKL 空間<sup>6,7)</sup>内の 2 点間での変調とし、等色度輝度変調、等輝度平面上で L-M 軸方向の変調 (赤緑変調)、等輝度平面上で S 軸方向の変調 (黄青変調) の 3 種類を用いた。輝度変調は、Michelson コントラストが 30.0% となるようにした。色変調は Smith & Pokorny (1975)<sup>8)</sup> による錐体の分光感度特性に基づいて、錐体コントラストを計算した。錐体コントラストの最大値は、赤緑変調のとき L 錐体が 5.6%, M 錐体が 10.0% となった。黄青変調のとき S 錐体が 75.0% となった。

順応刺激・テスト刺激として、輝度変調・等輝度赤緑変調・等輝度黄青変調のいずれかの変調を施した正弦波縞刺激を用いた。正弦波縞の空間周波数は 0.75 c/d とした。順応刺激は水平方向右向きに 1 フレーム (10 msec) 毎に 1 pixel ずつ移動した。このときグレーティングの移動

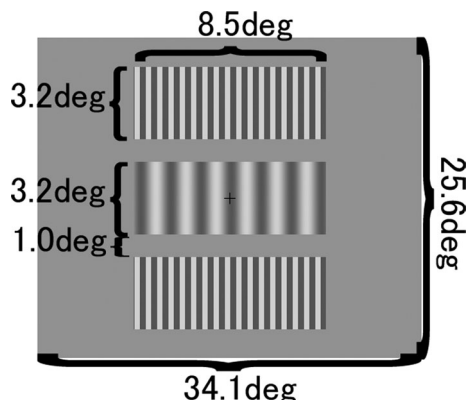


図 1 刺激の概略。

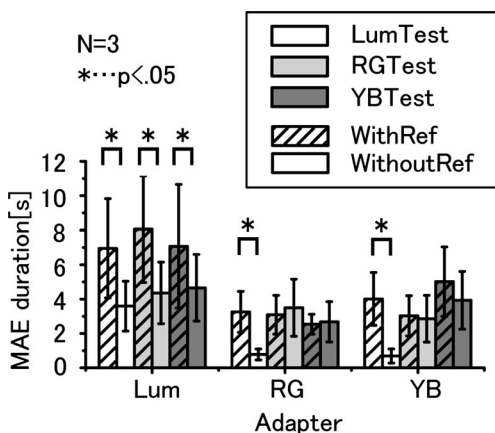


図 2 実験 1 の結果。

速度は 3.33 deg/sec であり、時間周波数は 2.5 Hz に相当した。テスト刺激は静止していた。順応刺激とテスト刺激の位相は、試行ごとにそれぞれランダムに変化させた。参照刺激として輝度定義方形波縞刺激を用いた。方形波の空間周波数は 2.0 c/d であり、Michelson コントラストが 30.0% であった。位相は試行ごとにランダムに変化させた。順応刺激およびテスト刺激は画面中央に呈示し、参照刺激を呈示する条件では参照刺激を上下に呈示した (図 1)。

実験は完全暗室下において実施した。被験者の頭部をあご台で固定した。被験者は刺激を単眼で観察した。等輝度刺激を作成するため、交照法により被験者ごとに等輝度点を設定した。各実験ブロック内では順応刺激の種類、参照刺

激の呈示の有無は固定し、単一の順応刺激のみを用いた。テスト刺激はランダムな順序で、それぞれ10回ずつ呈示した。したがって1ブロックは30試行より構成され、全部で6ブロックの実験を行なった。実験ブロックの順序は被験者ごとにランダムに変化させた。順応刺激は、各ブロックの開始時のみ60秒間呈示し、その他のときは10秒間呈示した。順応時にのみ注視点を呈示した。被験者は、テスト刺激が呈示されてから運動残効が見えているあいだだけ、キー押しで反応した。キー押しの持続時間を運動残効量として記録した。

## 2.2 結果と考察

実験の結果、輝度・赤緑・黄青刺激を順応刺激・テスト刺激として用いた場合のすべての組み合わせにおいて、統計的に有意な静的運動残効が生じた(図2)。さらに、順応刺激かテスト刺激が輝度刺激であったときには、参照刺激を用いることで残効量が有意に大きくなったが、順応刺激とテスト刺激がともに色刺激であった場合には、参照刺激の効果は認められなかった。

順応刺激とテスト刺激が異なる場合でも運動残効が生じたことは、輝度・赤緑・黄青刺激からの運動情報が部分的には共通した機構による処理を受けていることを示している。順応刺激かテスト刺激の一方のみが輝度刺激であるときにも参照刺激の呈示により残効量が増加したことから、参照刺激の効果は順応時とテスト時で独立に生じていると考えられる。この結果は、輝度刺激を用いて順応時かテスト時の一方のみに参照刺激を呈示したときにも残効量が増加するとする報告と一致する<sup>5)</sup>。したがって、輝度刺激を用いた運動残効は運動刺激周辺の刺激による影響を受けるが、色刺激を用いた運動残効は運動刺激周辺の刺激に影響されないと考えられる。

## 3. 実験 2

実験1で生じた参照刺激の効果がどの段階の処理過程で生じたのかを検討するために、実験2では動的なテスト刺激を用い、実験1と同様

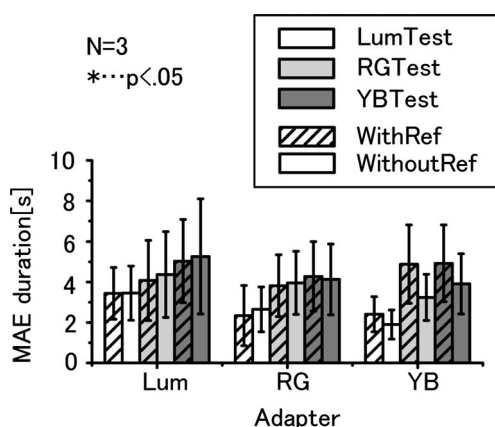


図3 実験2の結果。

の実験を行った。動的なテスト刺激に対する動的運動残効は、静的なテスト刺激に対する静的運動残効に比べ、より高次の処理過程の順応を反映した現象であると考えられている<sup>9)</sup>。

### 3.1 方法

2 Hz の方形波で時間変調した位相反転するテスト刺激を用いた。その他の点は実験1と同様とした。

### 3.2 結果と考察

実験の結果、すべての条件で運動残効が有意に生じた(図3)。参照刺激の有無による残効量の違いはみられなかった。

動的な運動残効において参照刺激の効果が認められないという本実験の結果は、参照刺激が比較的低次の運動機構に対して効果を持つことを示しているものと解釈でき、参照刺激の効果が単眼性のものに限られるという従来<sup>10,11)</sup>の知見とも整合性を持つ。さらに、この結果は、相対運動成分が動的運動残効を誘導しにくいという知見<sup>12)</sup>とともに、参照刺激の効果が相対運動と関連づけられることを示唆する。

## 4. 総合的考察

今回の実験では、順応刺激、テスト刺激の両方、もしくはどちらか一方に輝度刺激を用いた場合、参照刺激が運動残効を増大させるが、両刺激が色刺激である場合には、参照刺激の効果は認められなかった。また、動的な運動残効に

おいては参照刺激の効果が認められなかったことから、参照刺激の効果は、比較的低次の運動処理機構に起因するものと考えられる。さらに、この結果は、参照刺激の効果に相対運動が関与している可能性を示唆している。

順応、テスト、いずれか一方が輝度刺激であれば参照刺激の効果が認められることは、順応時とテスト時の参照刺激の効果が独立に生じていることを示唆する。順応時における効果は、上述のように、相対運動検出器の順応を反映している可能性が高い。したがって、色刺激では参照刺激の効果が生じないことは、相対運動の検出は輝度刺激に対してのみ成立することを示唆する。輝度刺激に対しては、相対輝度運動検出器の順応を反映すると考えられる運動残効が報告されている<sup>13)</sup>が、今後、色刺激に対して同様の検討を行う必要があるだろう。テスト時における参照刺激の効果は、運動視機構の順応強度そのものに対する効果を持つとは考えられない。したがって、テスト時の参照刺激提示は、順応の結果として生じる内部的な運動信号の検出効率に影響を与えているものと考えられる。輝度刺激に対しても、テスト時にだけ参照刺激を呈示した場合にも残効量が増大することが報告されている<sup>5)</sup>。

## 文 献

- 1) N. J. Wade, L. Spillmann and M. T. Swanston: Visual motion aftereffects: critical adaptation and test conditions. *Vision Research*, **36**, 2167–2175, 1996.
- 2) N. J. Wade and V. Salvanso-Pardieu: Visual motion aftereffects: differential adaptation and test stimulation. *Vision Research*, **38**, 573–578, 1998.
- 3) P. Cavanagh and O. E. Favreau: Color and luminance share a common motion pathway. *Vision Research*, **25**, 1595–1601, 1985.
- 4) Z.-L. Lu, L. A. Lesmes and G. Sperling: The mechanism of isoluminant chromatic motion perception. *The Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **96**, 8289–8294, 1999.
- 5) R. H. Day and E. Strelow: Reduction or disappearance of visual after effect of movement in the absence of patterned surround. *Nature*, **230**, 55–56, 1971.
- 6) D. I. MacLeod and R. M. Boynton: Chromaticity diagram showing cone excitation by stimuli of equal luminance. *Journal of the Optical Society of America*, **69**, 1183–1186, 1979.
- 7) A. M. Derrington, J. Krauskopf and P. Lennie: Chromatic mechanisms in lateral geniculate nucleus of macaque. *Journal of Physiology (London)*, **357**, 241–265, 1984.
- 8) V. C. Smith and J. Pokorny: Spectral sensitivity of the foveal cone photopigments between 400 and 500 nm. *Vision Research*, **15**, 161–171, 1975.
- 9) S. Nishida and T. Sato: Motion aftereffect with flickering test patterns reveals higher stage of motion processings. *Vision Research*, **35**, 477–490, 1995.
- 10) N. J. Wade, M. T. Swanston and C. M. M. de Weert: On interocular transfer of motion aftereffects. *Perception*, **22**, 1365–1380, 1993.
- 11) L. A. Symons, P. M. Pearson and B. Timney: The aftereffect to relative motion does not show interocular transfer. *Perception*, **25**, 651–660, 1996.
- 12) S. Nishida and H. Ashida: The role of relative motion in two types of motion aftereffect. *Vision*, **9**, 100, 1997.
- 13) H. Ashida and K. Susami: Linear motion aftereffect induced by pure relative motion. *Perception*, **26**, 7–16, 1997.