

平成 21 年 4 月 22 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18330153

研究課題名（和文）視覚認識経路と視覚行動経路の運動情報処理機構の解明

研究課題名（英文）Motion pathways for visual perception and for action

研究代表者

塩入 諭（SHIOIRI SATOSHI）

東北大学・電気通信研究所・教授

研究者番号：70226091

研究成果の概要：

人間の視覚系における運動検出処理過程の基礎的な研究を行った。代表者の見いだした静止運動残効の高周波優位，フリッカー運動残効の低周波優位という現象を利用して，遅い運動刺激の処理メカニズムと速い運動の処理メカニズムを分離することに成功した。それにより，それぞれの運動検出器の特性の相違を検討し，両者が質的に異なる処理系によることを強く示唆する結論を得た。今後それぞれの運動処理の特性と機能的相違を検討することで，映像コンテンツなどの視覚情報の評価や交通安全や景観などに関連する視環境の評価における運動情報有効利用が期待できる。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	9,600,000	0	9,600,000
2007 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2008 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	15,400,000	1,740,000	17,140,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・感覚・知覚

キーワード：運動視，運動残効，運動検出器，視覚，心理物理，視覚経路，fMRI，脳科学

## 1. 研究開始当初の背景

研究代表者らの発見した，静止運動残効の高周波優位について，いわゆる大細胞経路の特性を示す運動機構と異なる運動視機構の反映と思われた。静止運動残効の高周波優位とは，低周波数縞と高周波数縞を重ねて逆方向に運動した後の残効は，高周波縞の残効が優位となる現象である。そこで，「運動視＝大細胞経路」との認識に対しての修正が必要と考えた。遅い速度に感度を持つ運動検出器の存在

を示唆する研究はいくつかの研究グループから報告されていたが，それらは時間特性に関するものが主で，一部に色選択性の議論があった。静止運動残効の高周波優位は，空間特性に関する現象であり，遅い運動検出器の時空間周波数特性として捉えることで，その処理経路の違いを明確にできる可能性があった。

## 2. 研究の目的

本研究では，遅い運動検出器が小細胞—認識

経路の処理であると考えを提案し、検証することを目的とした。運動視と2つの視覚経路の関係を明らかにするために、遅い運動の知覚と速い運動の知覚を比較し、それぞれの特性、行動との関連、関連する脳の領野について検討することを目的とする。従来の運動知覚が、網膜上の時間変化で数 Hz の速度を対象としているのに対して、1Hz 以下の遅い運動刺激を用いた実験を行う。研究は心理物理実験による運動検出の時空間周波数特性の測定、追従眼球運動への影響、脳活動記録による運動検出部位の検討の3つの実験からなる。

### 3. 研究の方法

(1) 心理物理実験では、順応実験により、想定される速い運動検出器と遅い運動検出器の時空間周波数特性を心理物理学的に測定する。特に、2つの運動検出器を明確に分離するために、逆方向に運動する低周波縞と高周波縞を重畳した刺激の運動残効を測定する方法を利用した。運動残効の方向からいずれの縞に感度を持つ検出器の特性が得られるかが明確になる。この手法を用いて、時間周波数特性、方位選択性、相対運動への感度特性、大域運動への感度特性を測定し、両者の処理機能の相違点を確認した。時間特性の異なる検出器を調べる方法として、静止テスト刺激（遅い運動検出器が感度を持つと想定される）と時間的に変調するテスト刺激（4Hz フリッカー、速い運動検出器が感度を持つと想定される）を用いて、運動残効の方向と時間を測定した。

(2) 追従眼球運動への影響は、心理物理実験と同様の刺激を用いて、追従眼球運動への運動残効を測定した。ただし、追従眼球運動への運動残効の影響は大きくないため、顕著に検出できる方法として、運動残効の方位を測定する方法を開発した。その手法では、2つの縞を逆方向に動かす代わりに、90度直交する方向に動かした。運動残効の方向から、それぞれの縞の残効の強さを推測することができる。眼球運動を利用する理由は、行動経路の特性であると考えからであり、運動残効の知覚と比較するためである。

(3) 脳活動記録に関しては、fMRI によって2つの運動検出器に関連する部位をそれぞれ同定することが目的であった。脳活動の記録のためには、一般に強い運動刺激が必要であり、心理物理実験の手法をそのまま適応することが困難であることが見いだされた。そのため、別の刺激手法について行うこととし、その手法の開発を行った。

### 4. 研究成果

(1) 心理物理実験から以下の事柄が明らかになった。

① 静止運動残効の高周波優位は、0.1 c/deg

– 2 c/deg の範囲で常に成立する。また、フリッカーテストでは、同じ周波数領域で低周波優位の運動残効が得られる。

- ② 静止運動残効は相対運動がある場合に強調されることから、遅い運動検出器は相対運動に感度を持つと考えられる。一方フリッカー運動残効は相対運動成分の有無に影響されないことから、速い運動検出器は局所的な速度にのみ感度を持つと考えられる。
- ③ 静止運動残効は順応刺激とテスト刺激の方位の違いに敏感で、方位が変わると効果が減少することから、遅い運動検出器は高い方位選択性があると考えられる。一方フリッカー運動残効は順応刺激とテスト刺激の方位の違いに影響されないことから、速い運動検出器は方位選択性は低いと考えられる。
- ④ 静止運動残効は回転や拡大/縮小などの大域的運動によって強調されることから、遅い運動検出器は大域運動処理に信号を送っていると考えられる。一方フリッカー運動残効は大域運動成分の有無に影響されないことから、大域運動とは別の運動処理の信号限となっていると考えられる。
- ⑤ 静止運動残効、フリッカー運動残効時間周波数特性は、いずれも 1 Hz から 10 Hz の間に感度を持つが、静止運動残効はより時間的に低周波（遅い刺激）に、フリッカー運動残効はより高周波（速い刺激）で高い感度を持つという違いがある。
- ⑥ 静止運動残効、フリッカー運動残効時間周波数特性は、いずれも注意の影響を顕著に受ける（刺激から注意が外れることで、残効が弱くなる）が、時間特性の違いは、注意によって変化しない。
- ⑦ 静止運動残効、フリッカー運動残効時間周波数特性は、いずれも速度の変化によって大きな影響は受けない。

以上から、遅い運動検出器と速い運動検出器は、時間空間周波数特性の違いのみではなく、空間的統合過程に質的な差があるといえ、処理過程の違いを反映するものと考えられる。しかし、大域運動の影響は、行動経路の特性と見なされるなど、大細胞経路と小細胞経路の差異で説明することは妥当ではない。

(2) 追従眼球運動の実験から以下の事柄が明らかになった。

- ① 静止運動残効の方向は、高周波縞の反対方向に近く、フリッカー運動残効の方向は、低周波縞の反対方向に近い。反対方向でない重畳刺激の組み合わせでも静止運動残効の高周波優位とフリッカー運動残効の低周波優位があることを意

- 味する。
- ② 縞のコントラストを調整することで、運動残効の方向を調節することができる。高周波縞のコントラストを徐々に下げると、静止運動残効の方向は、高周波縞の反対方向から、低周波縞の反対方向へと変化する。この結果から、運動残効の方向によって 2 つの運動検出器の影響を比較することができるが示されたことになる。
  - ③ 静止刺激、フリッカー刺激において、運動残効は、追従眼球運動を生じ、被験者が積極的に縞をように指示された場合も、画面中央を注視するように指示された場合も、同様の効果が得られた。これは、運動残効で追従眼球運動によって行動経路の指標を得ることができることを意味する。
  - ④ 追従眼球運動の方向は、それぞれの縞のコントラストに依存して変化し、その変化の仕方は知覚された運動残効方向とよく一致した。これは、行動指標が認識（知覚）と一致することを意味し、両者が同一の処理過程の影響を受けることを示唆する。

以上は、遅い運動検出器と速い運動検出器の影響が、認識と行動に同様に影響することを意味し、遅い運動検出器と速い運動検出器の区別は、行動経路と認識経路の 2 分とは異なるものと考えられる。

### (3) 脳活動測定

脳活動測定は、予備実験によって当初予定した方法では、十分な成果が得られないことを確認したため、計画を変更して実験手法の開発を行った。問題としたのは、十分な脳の活性化を生起する刺激条件の設定である。明確な脳活動が期待できる運動刺激（一定の速度を持ち高いコントラストの刺激）を利用する方法として、応答時間による運動残効の測定手法について検討し、以下の結果を得た。

- ① 運動方向判断に対する応答時間は、縞刺激の運動条件に依存して変化した。その変化は、運動残効から予想されるものと一致し、応答時間によって運動残効を測定できることを示すことができることを明らかにした。
- ② 運動刺激の方向に依存した応答時間の差分から、運動残効量を評価すると、低周波縞と高周波縞のコントラスト比に依存して変化した。この結果から、応答時間により速い運動検出器と遅い運動検出器の特性を評価できることが示唆される。
- ③ 従来の方法（残効時間の測定）と応答時間による方法を比較した結果、両者はよく一致することから、応答時間によって運動残効を評価することが可能であり、しかもそれが従来法と同じ処理過程を調べることができるといえる。

以上から、一定の速度で運動する高いコントラストの縞刺激を用いた、運動残効実験方法が確立できたとする。この手法を利用して、fMRI や視覚誘発電位による脳活動を記録することが今後の課題である。

### (4) その他

その他、関連する研究として、以下の成果を得た。

- ① 奥行き運動知覚への速度情報の影響について検討し、運動情報の重要性を見いだした。
- ② 両眼立体視への速度情報の影響について検討し、運動刺激と静止刺激の間で空間周波数特性、視差依存性に大きな違いがあることを見いだした。
- ③ 小細胞経路の特徴として、色覚と明暗処理の関連についての検討を行い、色覚処理が明暗に影響することを示した。
- ④ 小細胞経路の特徴として、色覚とその両眼性についての検討もを行い、色覚処理が単一経路ではないことも明らかにした。
- ⑤ 行動経路の特徴として、眼球運動とそれに関連する視覚的注意について検討し、両者相違点として、空間的広がりや時間特性があることを示した。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

1. Shioiri S & Matsumiya K: Motion mechanisms with different spatiotemporal characteristics identified by an MAE technique with superimposed gratings. *Journal of Vision* (in press) (査読有)。
2. Matsumiya, K., Sugiyama H, Shioiri, S. & Kuriki I: Influence of auditory information on reading speed and eye movement control in reading. *Kansei Engineering International* (in press)(査読有)
3. Shimono K., Shioiri S. & Yaguchi H., Psychophysical evidence for a purely binocular color system, *Vision Research* **49**, (2009), 202-210 (査読有)
4. Shioiri S., Nakajima T., Kakehi D., & Yaguchi H., Differences in temporal frequency tuning between the two binocular mechanisms for seeing motion in depth, *J. Opt. Soc. Am. A* **25**, (2008), 1574-1585 (査読有)
5. Watanabe Y., Kezuka T., Harasawa K., Usui M., Shioiri S. & Yaguchi H, A new method for assessing motion-in-depth perception in strabismic patients, *British Journal of Ophthalmology*, **92**,(2008), pp. 47-50(査読有)
6. Lee, S., Shioiri, S. & Yaguchi H., (2007)

- Stereo channels with different temporal frequency tunings, *Vision Research* 47 pp. 258-297(査読有)
7. Tujimura, S., Shioiri, S. & Nuruki, A., (2007) Two distinct cone-opponent processes in the L+M luminance pathway, *Vision Research* 47 pp. 1839-1854(査読有)
  8. Matsubara, K., Shioiri, S. & Yaguchi H., (2007) Spatial Spread of Visual Attention while Tracking a Moving Object, *Optical Review* 14, pp.57-63(査読有)
  9. 松原和也、塩入諭、矢口博久 (2006) サッカーで眼球運動と先行注意移動, *光学*, 20, 156-164 (査読有)

[学会発表] (計 14 件)

1. Harasawa M, and Shioiri S., Hemifield and hemisphere asymmetries in endogenous spatial attention: fNIRS study, *Perception*, 37 (2008), 2008, August 26, Utrecht, the Netherlands
2. Shioiri, S., Matsumiya, K., & Tamura, H. (2008). Static and flicker MAE for global motion, *Journal of Vision*, 8(6), 2008, May 10, Naples, FL, USA
3. Matsumiya, K. & Shioiri, S. (2008) Haptic movements enhance visual motion aftereffect, *Journal of Vision*, 8(6), 2008, May 10, Naples, FL, USA
4. Mano, T., Fujita, K, Shioiri, S., Matsumiya, K. & Kuriki, I. (2007) Implicit and explicit learning in visual search—the influence of eye movements—, KEER2007 CD-ROM Proceedings, 2007, October 12, 札幌
5. Shioiri, S. & Matsumiya, K. (2007) Interocular transfer of motion aftereffect with stimuli moving in different directions, KEER2007 CD-ROM Proceedings, 2007, October 12, 札幌
6. Nagata, H., Matsumiya, K., Shioiri, S. & Kuriki, I. (2007) Investigating the differences between explicit and implicit learning in a visuo-motor task, KEER2007 CD-ROM Proceedings, 2007, October 11, 札幌
7. Harasawa, M, Hiruma, N. and Shioiri S., Spatial attention to the left visual hemifield induced larger attention-driven hemodynamic responses in the posterior cortex: fNIRS study, *Perception*, 36 (2007) 2007, August 30, Arezzo, Italy
8. Shioiri, S. (2007) Temporal factors of human depth perception. *7th International Meeting on Information Display* 2007, August 29, Daegu, Korea (招待講演)
9. Shioiri, S. & Matsumiya, K. (2007) High spatial frequency superiority of MAE for

- global motion, *Journal of Vision*, 7(6), 2007, May 14, Sarasota, FL, USA
10. Matsumiya, K. & Shioiri, S. (2007) Motion aftereffects of a plaid stimuli for smooth pursuits, *Journal of Vision*, 7(6), 2007, May 14, Sarasota, FL, USA
  11. Shioiri, S., Ogawa, M., Matsubara, K., & Yaguchi, H. (2006) Facilitation of temporal integration by visual attention. Proceedings of The Fourth Asian Conference on Vision, 2006, July 29, 松江
  12. 塩入 諭, 「両眼間速度差に基づく奥行き運動知覚」生理学研究所研究会「視知覚への多角的アプローチ-生理、心理物理、計算論 3」2006年6月8日, 岡崎 (招待講演)
  13. Shioiri, S. & Matsumiya, K. (2006) High spatial frequency superiority of motion aftereffect, *Journal of Vision*, 6(6), 1086, 2006, May 10, Sarasota, FL, USA
  14. Matsumiya, K. & Shioiri, S. (2006) High spatial frequency superiority of motion aftereffect for smooth pursuit eye movements, *Journal of Vision*, 6(6), 6, 2006, May 5, Sarasota, FL, USA

[図書] (計 3 件)

1. 塩入 諭(2009)注意と視覚探索, オーム社, 視覚心理入門 内川恵二監修 映像情報メディア学会編
2. 塩入 諭(2008)知覚の恒常性 朝倉書店, 感覚知覚心理学 8章 海保博之 監修・菊地 正編集
3. 塩入 諭(2007)視覚II 朝倉書店, 内川恵二 総編集,(8. 9章執筆および編集)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

塩入 諭 (SHIOIRI SATOSHI)  
 東北大学・電気通信研究所・教授  
 研究者番号：70226091

##### (2) 研究分担者

栗木 一郎 (KURIKI ICHIRO)  
 東北大学・電気通信研究所・准教授  
 研究者番号：80282838

松宮 一道 (MATSUMIYA KAZUMICHI)  
 東北大学・電気通信研究所・助教  
 研究者番号：90395103

##### (3) 連携研究者

なし