

3次元空間内の表面知覚に及ぼす自発的自己運動の効果

織田達美・岡嶋克典・高橋純夫

防衛大学校 応用物理学教室

〒239 横須賀市走水 1-10-20

1. はじめに

運動には、外界運動と自己運動の2種が存在する。自発的な自己運動によって生じた網膜上の運動情報は、固定された空間の中を移動しているという視点運動に変換されており、その機能は自己運動中の視野の安定を保持するためにも重要である。自発的自己運動は、運動視差による奥行き情報や、視点の違いによる他面的画像情報の取得にも役立っていると考えられるが、他の視覚情報の知覚特性にどのような影響を及ぼしているのかは明らかではない。そこで本研究では、特に視点変化に伴う運動の効果(運動視差)に注目し、表面の奥行き関係によって影響を受けるネオンカラー拡散効果の知覚が、自発的自己運動、及び刺激の運動の種類によって影響を受けるかを調べた。

2. 方法

2.1 実験原理

コンピュータ内に仮想空間を生成し、その中にネオンカラー拡散効果の起こる刺激物体を3次元的に配置する。その刺激物体をある視点位置から見た映像をリアルタイムにシミュレートできるようにし、実際の視点の変化に追従させることで、視点及び物体の運動情報がネオンカラー拡散知覚に対してどのように影響するのかを調べる。図1は本実験で用いた刺激パターンとその空間的配置関係を

示す。刺激の黒い横線と黄色のパッチとの間同時に黒い横線部分にも黄色が滲み出てきて1本の黄色い縦線が宙に浮いているように知覚される。被験者が頭を水平方向に動かし、各視点位置から見えるであろう像をリアルタイムにシミュレートすると、静止している物体を視点を変えて観察しているように感じ、運動視差によって黄色のパッチが奥行き的に手前にあるように知覚される。もし、運動視差による奥行き知覚が両眼立体視と同様な効果をネオンカラー拡散効果の発生に対して与えるならば、自己運動しながら観察した場合の方が自己運動しない場合よりも、ネオンカラー拡散効果の生じる確率が高くなることが期待される。網膜上の運動情報による効果と

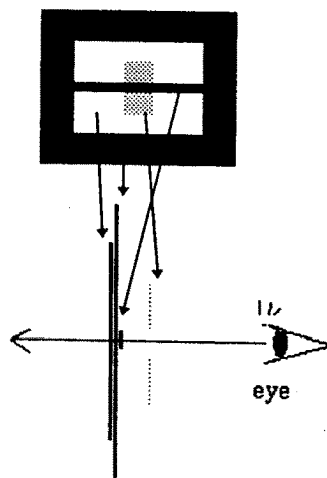


図1 刺激パターンの奥行き配置関係

自己運動そのものの効果を分離するためには、自己運動時と同じ網膜運動情報を被験者が静止状態で観察する条件を入れて、結果を比較すればよい。また、刺激パターンが2次元的に運動する条件（黄色パッチが左右に振れるだけの動き）と、3次元的に運動する条件（視点の変化によってパターン全体の形状が歪んで見える様子も忠実にシミュレートする）でネオンカラー拡散知覚の発生確率を比較し、形状変化による運動・奥行き情報（motion/depth from shape transformation）の影響も調べることにした。

2.2 実験装置

グラフィックス・ワークステーション（Onyx: Silicon Graphics 製）上で OpenGL を使い、仮想空間を作成した。3管式プロジェクター（VPH-1272QJ: Sony 製）で大型スクリーン（130 inch）上に投影された刺激パターンを、被験者はスクリーンから 170 cm の距離で観察した。また、磁気測定方式の位置検出センサー（Fastrak: Polhemus 製）を被験者の頭部に装着し、リアルタイムに検出した被験者の視点位置をコンピュータにフィードバックすることで刺激の運動を同期させた。頭部位置検出と画像描画のタイミングのずれは最大で 1/60 秒であった。

2.3 刺激と被験者

用いた刺激パターン（静止状態）を図2に示す。黄色パッチの xy 色度値は (0.447, 0.478) で、他の部分の色は白色（または灰か黒色）である。黄色パッチの白背景部の輝度は 17.7 (cd/m²)、黒い部分の輝度はほぼ 0 (cd/m²) で、その背景の灰色部の輝度は 1.74 (cd/m²) である。ネオンカラー拡散効果の出現確率は誘導刺激の輝度条件によって異なる³⁾ことから、黄色パッチ（誘導刺激）の輝度は5レベル (12.7, 14.7, 17.1, Leq, 22.0 cd/m²) 設定した。このうち1つの輝度レベル (Leq) は、各被験者にとって背景の白色部分と等輝度になる値を事前に M D B 法で測定した値(測光値で Leq=19.0 cd/m² (KO), Leq=18.2 cd/m² (TO))を設定した。被験者

の視点運動及び刺激の運動は、t を時間 (s)、X を中心を 0 とした水平位置 (m) とした単振動 $X(t) = A \cdot \sin(\omega t)$ で規定し、今回は振幅 $A = 0.5$ (m)、角速度 $\omega = \pi$ (rad/s) とした。被験者は、色覚正常な男性 KO, TO の 2 名である。

2.4 実験条件

本実験では、次の 5 つの運動条件を設定した（図 3 参照）。各条件を記号を表す。例えば "SsOm3" は "Subject is stationary and Object is moving in 3D" であることを示す。

- (1): 被験者が静止刺激物体を視点を変えて観察する条件。3次元運動をする (SmOs3 条件)
- (2): 被験者は静止し、刺激物体が3次元運動（全体が運動）をする (SsOm3 条件)
- (3): 被験者が静止刺激物体を視点を変えて観察する。ただし運動は2次元運動 (SmOs2 条件)
- (4): 被験者は静止し、刺激のみ2次元運動（黄色パッチの水平運動）する (SsOm2 条件)
- (5): 被験者も刺激も静止 (SsOs 条件)

空間中に図1のような物体が固定されると仮定し、それを実際に頭（すなわち視点）を左右に振って観察する様子を忠実にシミュレートしたのが (1) の SmOs3 条件であり、視点を固定して網膜上の情報をそれと同じにしたのが (2) の SsOm3 条件である。また、通常の運動視差実験等で用いられる平面的運動のみをシミュレートしたのが (3) の SmOs2 条件であり、それと同じ網膜情報を頭

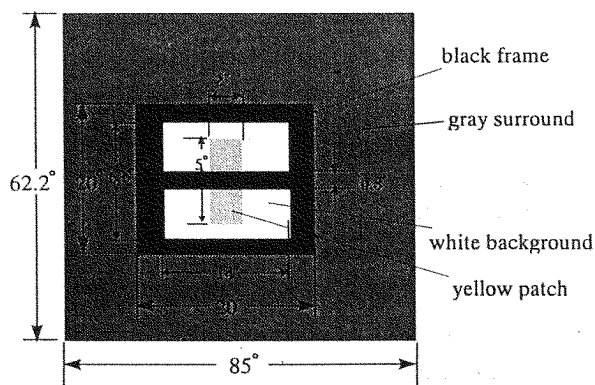


図2 刺激と刺激の各部のサイズ

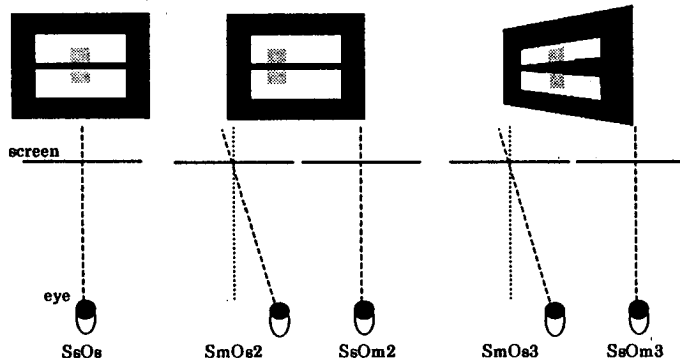


図3 各運動条件での $t=0.5$ 秒後の状態と描画パターンの模式図

部固定で観察するのが(4)の SsOm2 である。それぞれの運動条件に対して先に示した5つの輝度条件が1つずつ含まれており、これを1セッションとした。

2.5 実験手順

被験者は、スクリーン前の椅子に座り、両眼自然視でスクリーンの刺激を観察した。自己運動を伴う条件 (SmOs2 と SmOs3) の場合、各テスト刺激が呈示される前に参照運動刺激がまず呈示され、その運動をキャンセルするように被験者が頭を左右に動かす。被験者が刺激の運動に同期してボタンを押すと、テスト刺激が呈示される。このようにして、常に自己運動の条件を統制した。テスト刺激は5秒間呈示され、被験者はネオンカラー拡散効果が知覚されたか否か(すなわち黄色い1本の縦線が見えたかどうか)をマウスのボタンで2AFC法で応答した。両被験者とも、各条件に対して20回の実験を行い、結果は

Yes 応答の確率で示す。

3. 結果と考察

図4に結果を示す。横軸は誘導刺激(黄色パッチ)の輝度で、縦軸にネオンカラー拡散効果が知覚された確率である。シンボルの違いで各運動条件を区別している。まず、全体的傾向として、誘導刺激の輝度が高くなると、ネオンカラー拡散効果が知覚される確率が減少することが分かる。これは、色の拡散が生じる部分が今回は黒色(ほぼ 0 cd/m^2)であったためであると考えられる。また、背景白色との等輝度点(図中の右から2番目のデータ点)は、結果に対して特異点とはならないことも示している。

次に、各運動条件による違いを比較する。まず SsOs 条件の結果から、今回の刺激条件(形状、輝度、呈示時間)では刺激も被験者も静止しているとネオンカラー拡散効果がほ

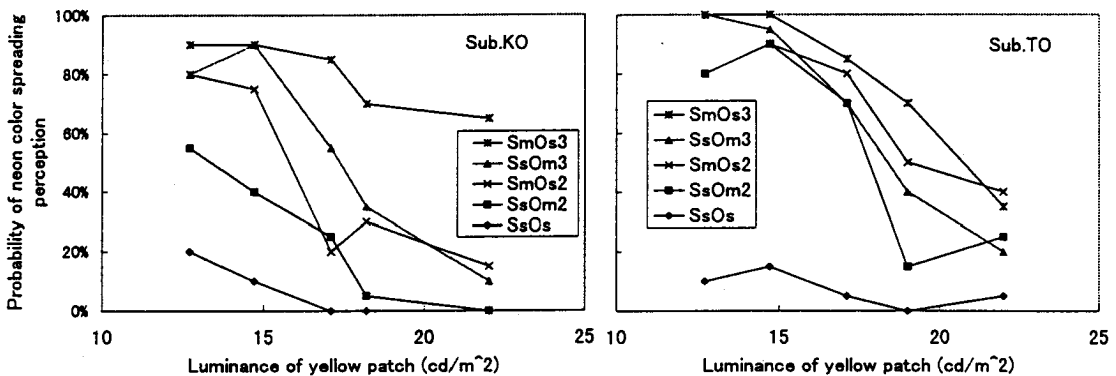


図4 各運動条件における実験結果(右:Sub.KO, 左:Sub.TO)

とんど生じないことが示されている。SmOs3条件は、視点の動きを忠実にシミュレートした条件であるが、他の運動条件に比べて最も高いネオンカラー拡散効果の知覚確率を与える。一方、SmOs3条件と網膜情報は同じであるが自己運動は伴わないSsOm3条件でも、静止条件に比べてネオンカラー拡散効果の知覚確率が上昇することを示している。しかし、SmOs3条件の方がSsOm3条件の場合よりも確率は大きいことから、自己運動そのものの情報が空間内の表面知覚の際に活用されており、自発的自己運動によって生じる運動視差情報が両眼視差を与えた時と同様な効果を与えていることを示す結果が得られたといえる。

自己運動を伴わず刺激のみが運動している場合でも、ネオンカラー拡散効果が大きく促進されることが示された。これは、刺激の運動によって主観的輪郭の形成が促進されたか、あるいはフィルイン効果が促進されたことが原因であると考えられる⁹⁾。また、2次元運動と3次元運動条件どうしの結果を比較すると、3次元運動条件の方が全体的に知覚確率が高い。このことは、刺激の形状変化(歪み)の情報が、運動または奥行き知覚を経由してネオンカラー拡散知覚を促進させるのに有効であり、視点に依存する形状変化情報の重要性を示唆している。

また、詳細はここでは述べないが、SmOs3条件を上下方向の自己運動にして同様の実験を行った結果、左右方向の場合とほとんど同じデータが得られた。これは、表面知覚に対

する頭部(視点)運動の効果は、水平運動でも上下運動でも違いがないことを示している。

4. 結論

ネオンカラー拡散効果は、静止した刺激よりも運動している刺激を観察した場合の方が出現しやすいことが明らかとなった。また、網膜上の運動情報を同じにしても、被験者の自己運動によって得られる運動情報の方が、ネオンカラー拡散効果に対して有効であることを示した。さらに、視点変化に伴う形状の歪みも考慮した3次元的運動情報が、平面的な運動情報よりもネオンカラー拡散効果の知覚確率を上昇させることも示した。今後は、ネオンカラー拡散等の表面知覚に対する運動情報の具体的な関与とメカニズムを検討していく必要があると考えられる。

文 献

- 1) W. J. M. van Damme and W. A. van de Grind: Non-visual information in structure-from-motion. *Vision Research*, 19, 3119-3127, 1996.
- 2) K. Nakayama, S. Shimojo and V. S. Ramachandran: Transparency: relation to depth, subjective contours, luminance and neon color spreading. *Perception*, 19, 497-513, 1990.
- 3) N. Goda and Y. Ejima: Additive effect of luminance and color cues in generation of neon color spreading. *Vision Research*, 37, 291-305, 1997.
- 4) C. M. Cicerone, D. D. Hoffman, P. D. Gowdy and J. S. Kim: The perception of color from motion. *Perception and Psychophysics*, 57, 761-777, 1995.