

Chevreul 錯視の視覚メカニズム

斎藤 真広・栗木 一郎・内川 恵二

東京工業大学 工学部 像情報工学研究施設

〒226 横浜市緑区長津田町 4259

1. はじめに

図1のような刺激を見ると、我々の眼は実際の輝度分布とは異なった見えを知覚する。この視覚現象はシュブルール錯視と呼ばれ、マッハ・バンドと同様に網膜における側抑制メカニズムによって生じるものであると考えられている¹⁾。

しかし、網膜は異なる輝度レベルに対して絶えず視物質の順応と再生を繰り返す。その結果網膜上での順応状態の違いが明るさに対する感度の違いとして知覚される。

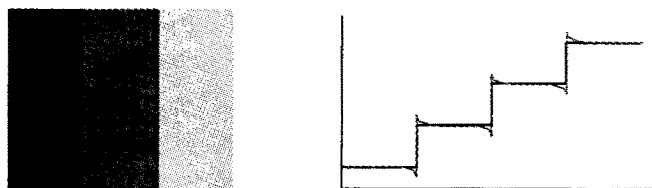
一方、人間の眼は絶えず動いている。自然視の状態では固視と跳躍的な眼球運動を繰り返しているが、固視している間にも不随意眼球運動によって眼は動いている²⁾。

本研究はシュブルール錯視に対して網膜上での順応状態の違いと眼球運動の影響を調べることを目的とする。

2. 実験

2.1 実験原理

図2のような単一のステップ状の輝度分布



物理的な輝度分布 (—)
知覚される明るさの分布 (- - -)

図1 階段状輝度分布パターンと知覚される明るさ分布

を持つ刺激の境界部分 O 点を固視し、続いて図中の A 点へ視線を移動させると、A 点を境に右側よりも左側の領域の方がより明るく感じられる。また B 点へ移動した場合にもやはり右側よりも左側の方がより明るく感じられる。この現象は網膜上で2つの順応状態が生成されることによって生じる。

階段状の輝度分布をもつ刺激でも同様の考え方によって、見えの変化を生むことが説明できる。

本実験では眼球運動を制御する代わりに、固視状態で刺激を移動させることによって同様の効果を実現させた。刺激の移動に伴い予想される明るさ分布を図3に示す。

2.2 刺激と装置

刺激は図4に示すように固視点、テスト刺激、マッチング刺激からなる画面Aと、テスト刺激の残像による効果を消すための画面Bからなる。テスト刺激の大きさは $7.7 \text{ deg} \times 3.9 \text{ deg}$ で、それぞれの領域の輝度は左から 7.6, 22.5, 37.6, 53.0 cd/m^2 である。マッチング刺激の大きさは $0.1 \text{ deg} \times 3.6 \text{ deg}$ で、その背景と画

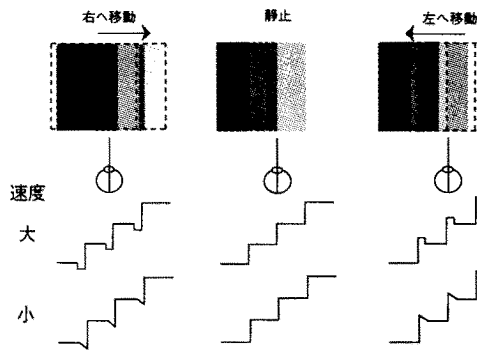


図2 単一ステップ刺激での順応と眼球運動による見え

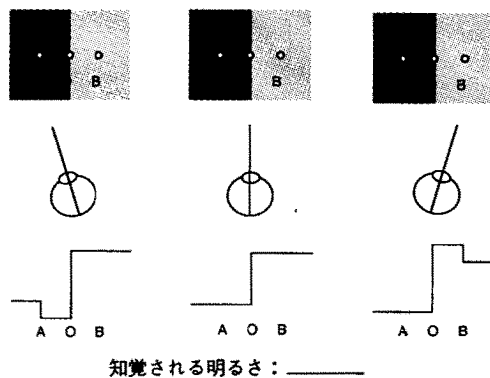


図3 順応と刺激の移動によって知覚されると予想される明るさ分布

画面Bにはテスト刺激の平均輝度 (30.2 cd/m^2) を用いた。固視点の大きさは $0.1 \text{ deg} \times 0.1 \text{ deg}$ で固視点の上下 0.3 deg にテスト刺激とマッチング刺激が位置する。テスト刺激の背景の輝度は 1.2 cd/m^2 である。

また刺激は CRT ディスプレイ上に呈示され、被験者は左眼による単眼視で実験を行った。実験ブース内は暗順応を防ぐために上部が D_{65} 蛍光灯で照明されている。

2.3 手続き

実験はテスト刺激が移動しない静止条件と移動する移動条件で行った。被験者はまず実験ブースに入り3分間順応する。このときモニターには 30.2 cd/m^2 の様な画面が呈示されている。

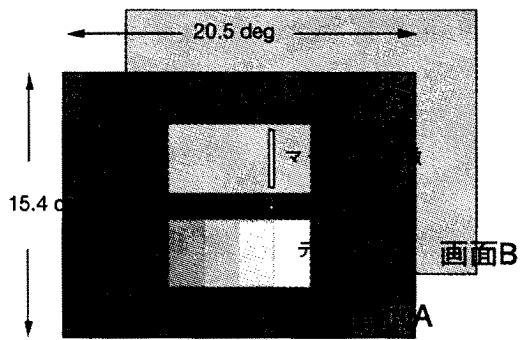


図4 実験で用いた刺激

(1) 静止条件

マッチングが完了するまで画面Aが提示される条件と、画面Aと画面Bが一定の呈示時間で交互に呈示される条件で行った。またその呈示時間は1, 2, 4秒に設定した。画面Bの呈示時間は予備実験により決定し、1, 2, 4秒の呈示時間で、被験者 MS では4, 6, 8秒、TN では4, 5, 6秒である。被験者のタスクは画面Aが呈示されている間に、固視点を固視した状態で、固視点の下方に位置するテスト刺激の明るさが上方にあるマッチング刺激の明るさと等しくなるようにトラックボールによって調整することである。固視点とマッチング刺激はある位置でのマッチングが完了すると次の位置へと移動する。テスト刺激の境界付近を中心に28点について行った。

(2) 移動条件

右方向、左方向へ移動する条件でそれぞれ実験を行った。右方向へ移動する条件では画面Aでのテスト刺激の初期位置が(1)の時よりも 0.95 deg 左側へずれておりその位置で0.3秒静止する。つぎに一定の速度で右方向に移動する。テスト刺激が(1)の場合と同じ位置にきたところで0.3秒静止する。後に画面Bが呈示される。画面Aの呈示時間が1, 2, 4秒となるように速度を設定し、それぞれ2.5, 0.7, 0.3 deg/s である。被験者は固視点を固視し画面Aでテスト刺激が最後に静止している時の明るさをマッチングする。左方向についても同様である。境界付近を中心に36点について行った。

また、マッチング刺激の初期位置、初期明るさはともにランダムに選ばれた。心理物理実験の経験のある2名の被験者 MS, TN について実験を行った。

3. 結果と考察

3.1 刺激の移動に伴う見えの変化

図5は(1)静止条件の結果を表す。被験者 MS は刺激の呈示時間によらず、エッジ付近で明るさの変化が知覚された。その領域は視覚にして約0.2度である。しかし、その他の領域ではほぼ一定の明るさを知覚している。被験者 TN は一部で強い明るさの減少がみられたが、それ以外はほぼ一定の明るさを知覚した。

図6は(2)移動条件の結果を表す。移動条件で順応のみから予想される明るさの分布

は図3のようになる。被験者 MS では知覚された明るさの分布が順応から予想される方向に変化したことがわかる。しかし、順応のみからは予想されないような明るさの変化も同時に観察された。また、速度の変化による顕著な違いは現れなかった。左方向へ移動する条件においても同様の結果が得られた。いずれにしても、テスト刺激の移動により、見えの明るさ分布が変化した。順応のみからは予想されない方向へ明るさが増加したことから、空間的な相互作用である側抑制メカニズムが働いていることがわかる。

3.2 順応による見えの変化

静止条件の結果を側抑制によるものであると考えると、移動条件の結果は側抑制に順応の効果を加えたものであると考えることができる。したがって、移動条件の結果から静止

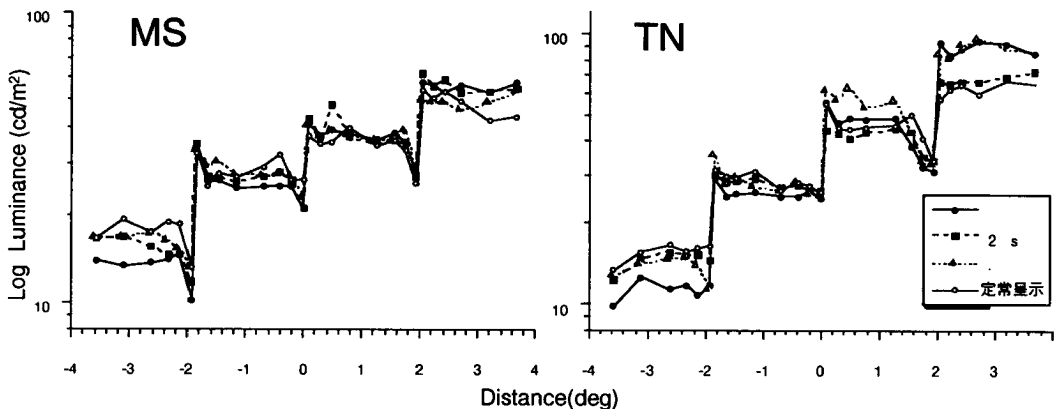


図5 静止条件でのマッチング結果

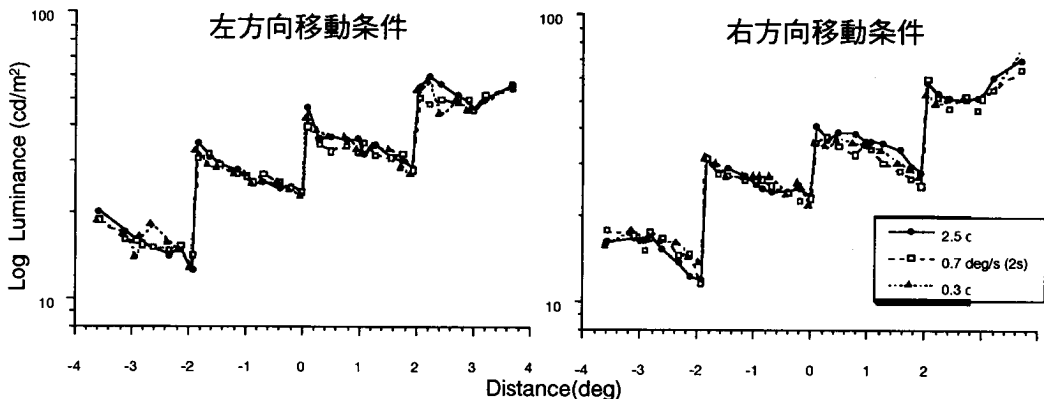


図6 移動条件でのマッチング結果 (MSの結果のみ)

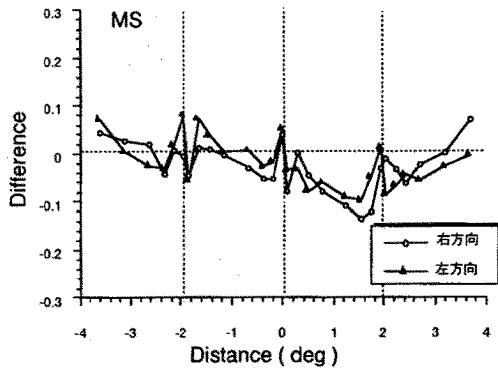


図7 移動条件から静止条件の結果を引いたグラフ

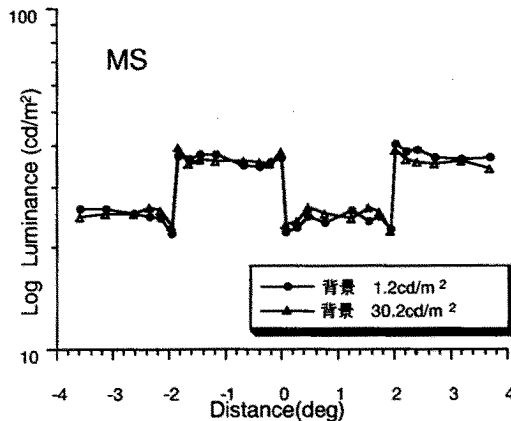


図8 矩形波によるマッチング結果

条件の結果を引いたものは順応のみによる見えの変化分であると考えることができる。図7はそれらの差を取った結果を表している。呈示時間によって傾向が類似していたことから呈示時間2秒のみの結果を示した。

順応のみによる見えの効果である場合には、移動方向によって分布に差が現れるはずであるが、この結果から左右でほとんど変化がない様子が分かる。したがって単純に順応による見えの量であると断定することはできない。

3.3 矩形波によるエッジ強調効果

側抑制メカニズムによると単一のステップ

において最大のマッハバンドが現れるはずであるが、単一のステップや矩形波ではマッハバンドは現れないという過去の研究により、矩形波での見えとシュブルーール錯視とは区別されている³⁾。それを検証するために、1,2サイクルの矩形波を用いて静止条件(呈示時間2秒)で実験を行った(図8)。被験者MSはエッジ部での明るさ変化を知覚したが、シュブルーール錯視よりも強調効果は小さかった。TNはエッジ部での強調効果は見られなかった。MSで強調効果が見られたもの特に固視をしない観察ではシュブルーール錯視のような明るさの変化は全く感じられなかったと報告している。

4. まとめと課題

移動条件で順応から予想される方向に見えが変化したことから、シュブルーール錯視の知覚に網膜上の局所的な順応と眼球運動が影響している可能性が考えられる。しかし同時に側抑制メカニズムのような空間的な相互作用が働いていることもわかった。

実験はすべて固視条件で行ったが、画面が替わった直後には十分な固視ができていなかった可能性もある。また、テスト刺激の移動距離をより自然な眼球運動の幅に近づけた方がとよいことも考えられる。これらの点に留意し、順応と側抑制の相互の影響についてさらに検討する必要がある。

文 献

- 1) T. N. Cornsweet: Visual Perception. Academic Press, New York, 1970.
- 2) 池田光男: 視覚の心理物理学. 森北出版, 1975.
- 3) L. Pessoa: Mach Bands: How many models are possible? Recent experimental findings and modeling attempts. *Vision Research*, 36, 3205-3227, 1995.