

細密画線の地色への誘導効果

増田 修***・内川 恵二**

* 大蔵省印刷局 研究所

〒256-0816 神奈川県小田原市酒匂 6-4-20

** 東京工業大学 工学部 像情報工学研究施設

〒226-8503 横浜市緑区長津田町 4259

1. はじめに

各種証券類の模様，地紋においては，細かな画線を密に配置することにより，階調を表現している．これらの画線のうち，特に精細なものは光学的に融合し，並置加法混色を生じる．しかし，それ以外のほとんどの画線は，通常の観察条件では，個々の画線を際やかに知覚できる．このような画線構成においては，隣接する視野間で同化や対比など，色の誘導現象が起きる．そのため，その知覚的な見えを，単純な測色的平均によっては，予測できない．

対比も同化も，いずれも古くからよく知られている一方で，これまでの研究の量には著しい格差がある．従来，対比に関しては，明暗・色ともによく調べられている．一方，同化に関しては，明暗についての研究は散見されるものの，色についてはよく分かっていない¹⁾．

本研究では，空間パターンおよび反対色応答に関して統制された誘導画線を用いて，画線色が地色（背景色）に与える影響を色みに関して定量的に測定した．互いに補色となる等輝度の誘導色（赤／緑および黄／青）を，それぞれ一定の部分視野に配置し，無彩色の地色にどのような誘導効果が起きるかを調べた．

2. 実験

2.1 装置

コンピュータによって制御されたビデオボード VSG2/3F Issue4a (Cambridge Research Systems 製) によって作成した視覚刺激を，CRT ディスプレイ GDM-2000TC (Sony 製) 上に呈示した．被験者は，CRT 管面から 1 m 離れた顎台の上に頭部を固定しながら刺激を観察した．実験は，暗幕で覆われたブース内で行われ，被験者は，CRT 以外からの視覚刺激を受けなかった．被験者は，コンピュータに接続されたマウスのローラーを回転することにより，マッチング視野の純度を調整した．

2.2 刺激

2.2.1 空間条件

刺激の構成は，図 1 の通りである．視角 20 deg × 15 deg の背景の上に，直径 4 deg のテスト刺激と，直径 2 deg のマッチング刺激が併置されている．テスト刺激には，一定の線数とランダムな位相を持つ網状の画線が重ね合わされている．テスト刺激の空間構成には，図 2 (a) Disk+Annulus 条件と図 2 (b) Dart Board 条件の 2 通りがあり，隣り合うブロック同士の画線の色が互いに補色となっている．画線の密度は，3.2, 4.8, 6.4, 8.0, 9.6, 11.2, 12.8 (lines/deg) である．これは，それぞれ，1.6, 2.4, 3.2, 4.0, 4.8, 5.6, 6.4 (cycles/deg) を中心とするごく

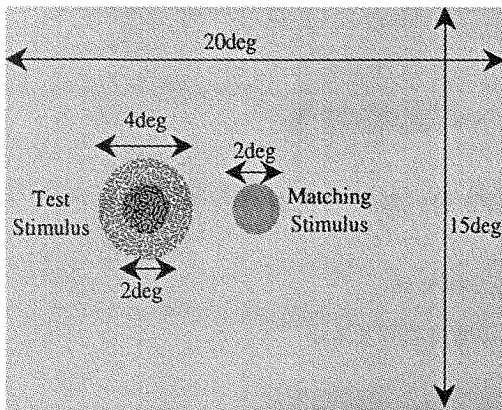
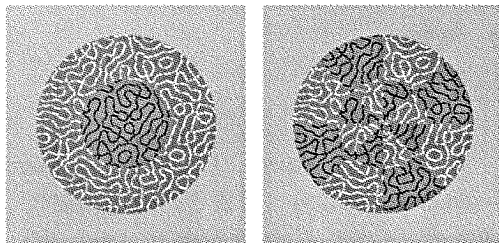


図1 刺激構成



(a) Disk+Annulus

(b) Dart Board

図2 テスト刺激

狭帯域の振幅成分と白色雑音の位相成分からなる画像の零交差を取ったものである。一本の画線の幅は、CRTの1画素に相当し、視角にして0.02 degである。

2.2.2 色度条件

背景色 (15 cd/m²) とテスト刺激 (30 cd/m²) の色度は、いずれも白色 (D65) である。テスト刺激の画線、およびマッチング刺激は、それぞれ 25 cd/m²、および 30 cd/m² の白色点から、等輝度を保ったまま特定の色相方向に純度のみを変調した色度を持つ。その色相方向とは、図3(a)のように、L錐体応答とM錐体応答を等量ずつ交換しながら変化する方向 (LM錐体変調条件) と、図3(b)のように、S錐体応答のみを変化する方向 (S錐体変調条件) の2通りである。この錐体応答は、Smith-Pokornyの錐体分光感度を基に求めた。この色の見えは、LM錐体変調条件の場合、マゼンタとシアン、S錐体変調の場合、黄緑と薄紫になる。画線の色の変調量は、LM錐

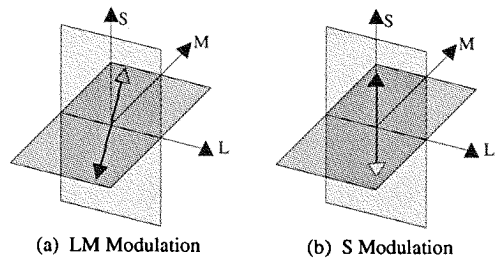


図3 純度変調

体変調条件では、L錐体コントラストにして、 ± 0.07 、S錐体変調条件では、S錐体コントラストにして ± 0.7 とした。

2.3 手続き

被験者は、5分間暗順応した後、一様な背景色に2分間明順応し、28回 (色度4条件×画線密度7条件) のマッチングをランダムな順序で行い、これを1セッションとした。これを5回繰り返す、その平均を測定値とした。

Disk+Annulus条件では、被験者は、中心の円の部分の地色に、マッチングした。Dart Board条件では、矢印で指示されたブロックと同じ画線の乗ったブロック全体の地色にマッチングした。

2.4 被験者

被験者は、色覚正常な、20代の男性4名である。OM、TU、YSは近視であり、KYは正視である。OM、TUは眼鏡により、YSはコンタクトレンズにより近視を矯正している。

3. 結果

以下、地色が、直接隣接する画線と同じ色相に誘導される場合を同化、画線の補色の色相に誘導される場合を対比と呼ぶことにする。

Disk+Annulus条件での結果を図4に示す。横軸は、画線の密度 (lines/deg) である。縦軸は、地色に生じた色誘導の強さであり、正の値は同化、負の値は対比を表す。これは、マッチング視野のコントラストを、画線色のコントラストで除して正規化したものであ

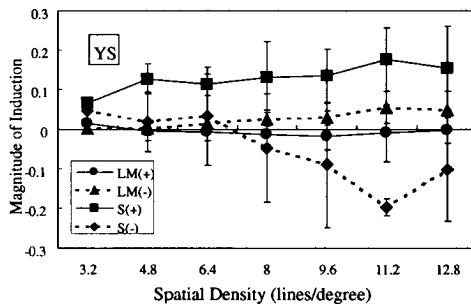
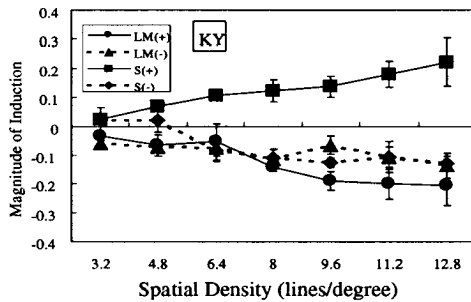
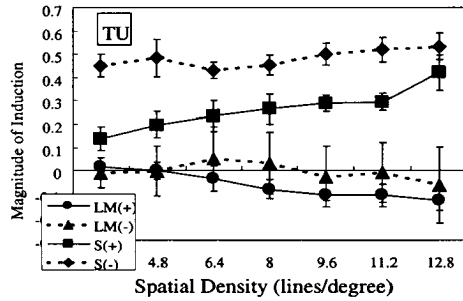
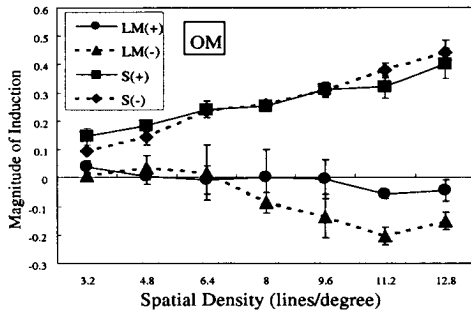


図4 実験結果

る。パネルの違いは、被験者の違いである。Dart Board 条件でも結果の傾向は同様だった。ただし、KY は、Dart Board 条件には参加していない。

どの被験者にも一貫して、S 変調条件で画線コントラストが +0.7 のとき (図中 S(+) 条件), 同化が起きた。3 人の被験者では、LM

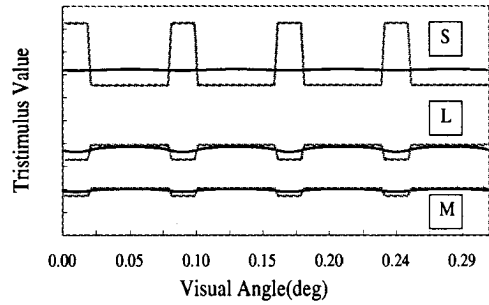


図5 収差による像のボケ

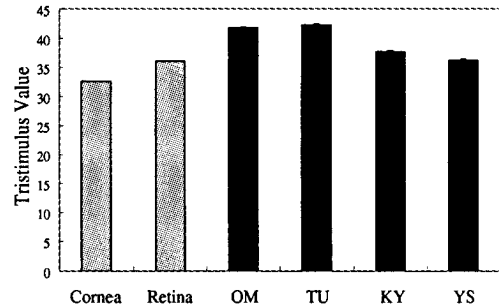


図6 物理的同化とマッチング結果

変調条件において、画線コントラストの正負にかかわらず対比が起こる傾向があった。誘導は、画線密度が増大するにつれて強くなる傾向が見られた。S(-) 条件の時には、被験者によって、同化がおきる群と、対比が起こる群に分かれた。

4. 考察

4.1 収差の影響

同化には、眼球光学系の収差が大きく関与している。今回、得られた結果に、どの程度収差が関与しているか推定するために、Marimont and Wandell (1994)²⁾の収差モデルを用いて、S 錐体変調 +0.7、画線密度 12.8 (lines/deg) の刺激の、網膜上での結像の様子を推定したものが、図5である。簡単のため、1次元モデルを用い、瞳孔径は、3 mm とし、波長 580 nm の光に調節が合っているものと仮定した。灰色の線は、角膜上に届いている光であり、黒い線は、眼球光学系の収差を受けた

後、網膜上に結像している光である。縦軸は、この光をLMS空間で表したときの三刺激値であり、横軸は、空間位置である。どの錐体応答に関しても、強くボケているが、特にSについては、ほとんどコントラストがなくなっている。

物理的にボケた像を、地の領域に関して平均した色と、被験者のマッチング結果を比較したものが、図6である。縦軸は、光をLMS色空間で表したときの三刺激値Sである。最も左の棒は、角膜上に届いている光であり、その右隣は、網膜上に届いた光を地色の部分に関して平均したものである。更にその右4つの被験者のマッチング結果は、物理的に予想される色よりもさらに強い純度になっている。本実験で見出された同化には、もちろん物理的な色収差によるボケも影響しているが、それとともに網膜以降の神経過程が影響していることを示唆する。

どの刺激条件であっても、収差によって刺激の像はボケる。このため、物理的には必ず同化が起き、地色には、画線の色が滲み出す。それにもかかわらず、LM変調条件では、対比が起きた。つまり、物理的な色とは逆の色相に誘導が起きたことになる。これも、網膜以降の神経過程によるものと考えられる。

4.2 大域的対比

今回、画線をS錐体変調することによって、同化が起きた。つまり、地色に画線と同じ色相の色が誘導された。今回の刺激構成では、互いに補色となる画線同士を隣接するブロックに交互に配置した。各ブロックを、これを測色的に平均したような視野と等価であると見なせば、この等価視野同士の大域的な対比によって、この同化を説明できる可能性がある。しかし、実際に同化が起きたのはS錐体変調の場合だけであり、このような説明は成り立たない。

4.3 空間周波数同調の違い

今回のLM変調条件は、赤/緑の反対色過程のみに関する変調であり、黄/青の反対色過程に対してはサイレントである。逆に、S錐体変調条件は、黄/青の反対色過程のみに関する変調であり、赤/緑の反対色過程に対してはサイレントである。そこで、今回のLM変調とS変調での結果の違いは、この2つの反対色過程の空間周波数特性の違いが現れたものと解釈できる可能性がある。したがって、LM変調条件の空間密度を上げることにより、S変調と同様の同化が起きる可能性がある。

4.4 被験者間の違い

今回のS変調条件では、変調方向の正負によって被験者が2群に分かれた。同化が起きた被験者は、眼鏡を装着しており、対比が起きた被験者は、裸眼とコンタクトレンズであった。詳細な機序は不明であるが、眼鏡の収差が関与している可能性がある。

被験者YSの内観報告によれば、テスト刺激で透明視が生じ、テスト視野内に2枚の面が重なって見えたために、そのどちらにマッチングして良いかで混乱した、とのことである。また、今回の刺激構成では、テスト視野とマッチング視野が非対称であり、特に、Disk+Annulus条件では、テスト視野の中心2degと、マッチング視野の見えの明るさが合っていなかった可能性がある。YSのマッチング結果において、分散が他の被験者と比べて著しく大きいことは、これらが影響していると考えられる。

文 献

- 1) 三星宗雄：色対比と色同化。大山 正、今井省吾、和気典二（編）：新編感覚・知覚心理学ハンドブック。誠信書房、476-480、1994。
- 2) D. H. Marimont and B. A. Wandell: Matching color images: the effects of axial chromatic aberration. *Journal of the Optical Society of America A*, 11, 3113-3122, 1994.