

運動知覚における色彩・明暗コントラスト情報の寄与

— 往復仮現運動の消失現象の解析 —

大谷芳夫・竹本篤史*

(工学部・一般教育学科 *京都大学大学院文学研究科)

序 論

外界の対象物の動きを検出する能力は、生体の生存・適応にとって基本的な機能の一つである。ヒトの運動知覚に関する実験心理学的研究は、静止した複数の視覚刺激を適当な時空間間隔で提示した場合に観察される仮現運動現象を対象として行われてきた¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。従来の研究の多くは、暗黒背景上の小光点など明暗コントラストによって定義された刺激を用いて、刺激提示時間、時間間隔、距離等の要因が仮現運動知覚を規定することを示し、運動情報処理機構の時空間特性を明らかにしてきた。これに対し色彩要因については、Kolers and von Grunau⁵⁾、Kolers and Green⁶⁾などに見られるように、刺激の色彩の変化は運動知覚にほとんど影響しないとされてきた。しかし、従来研究では、色彩・明暗コントラストの両次元で背景と異なる刺激が用いられており、色彩の効果のみを検討したものは言い難い。色彩要因の寄与については、時空間的に変動する刺激の色彩と明暗コントラストを同時にかつ正確に制御することが従来は困難であったという装置上の制約から、最近になってようやく本格的な実験的検討が行われるようになったばかりである。

一方、最近の神経生理学的研究の急速な進展によって、ヒトを含む霊長類の視覚系を構成する網膜、外側膝状体、第1次視覚野、第2次視覚野以降の高次視覚野の各段階で、特定の刺激属性に選択的に反応する神経細胞の存在が示され、ヒトの視覚系は、少なくともその初期過程においては、異なる知覚次元の処理に特殊化された複数の下位系から構成される並列型情報処理システムであると考えられるようになった。Livingstone and Hubel⁷⁾⁸⁾は、これら下位系を、大細胞系、小細胞-ブロップ系、インターブロップ系の3つに分類し、それぞれが運動・奥行き情報、色彩情報、形態情報の処理に特殊化したシステムであるとしている。この分類は神経細胞が示す反応の刺激依存性及び神経連絡に関する知見をもとに提案されたものであるが、彼らは同時に心理学的実験でもこの分類を支持する結果が得られたと主張している。Livingstone and Hubel⁷⁾

では、刺激・背景間に明暗コントラストがなく色彩の違いによってのみ刺激が背景から分離されるような場合(このような刺激を等輝度刺激と呼ぶ)、運動知覚が著しく損なわれるか全く消失するという結果が得られている。彼らによればこの等輝度近傍における運動知覚の消失は、運動情報処理に主として関与する大細胞系の神経細胞が明暗コントラストとその時間的変動に対して感度が高い一方、色彩に対する選択性がほとんど見られないことに対応するもので、運動知覚はそのほとんどが明暗コントラストとその時間的変化情報を基盤としており、色彩情報はほとんど関与しないことを示唆するものであると言う。Livingstone and Hubel⁷⁾⁸⁾の提唱した枠組みは明解であり重要な主張を含んでいる。しかし、他方Cavanagh et al⁹⁾、Green¹⁰⁾、Cavanagh et al¹¹⁾らはいずれも等輝度近傍において仮現運動が知覚されることを示すデータを報告しており、Livingstone and Hubel⁷⁾とは対照的な結果となっている。

このような諸研究間の相違を説明するものとして、Ohtani et al¹²⁾は往復仮現運動の消失現象に着目し実験的検討を行った。2刺激間の往復仮現運動は観察を継続すると消失し、各位置で刺激がそれぞれ点滅を繰り返すフリッカー知覚にとってかわられることが知られている¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。Ohtani et al¹²⁾は色彩刺激を用いて往復仮現運動が消失するまでの時間を刺激・背景間の明暗コントラスト(以下コントラストと略す)の関数として測定した。彼らの結果では刺激と背景が同色の条件では、等輝度近傍で仮現運動は知覚されない(消失までの時間が0となる)が、刺激と背景の色彩が異なる条件では等輝度近傍でも消失までの時間は数秒程度の値を示した。この結果は刺激が色彩によってのみ定義される場合にも仮現運動は知覚されることを示すもので、視覚系が色彩情報のみに基づいて運動信号を生成しうることを示唆するものである。このような結果に基づきOhtani et al¹²⁾は、Livingstone and Hubel⁷⁾が報告した仮現運動の消失は彼らの実験事態でとられた測定手続きに起因するもので、色彩情報が運動知覚に関与しないことを直接示すものではないと主張している。

運動信号が色彩情報のみに基づいて生成され得るか、生成され得るとするならば色彩情報に基づく運動知覚の時空間的特性はどのようなものか、と言った点は運動視系の情報処理機構を解明する上で重要な問題である。本研究では、Ohtani et al¹²⁾で報告された色彩刺激による仮現運動消失までの時間 (Time-till-break-down; 以下TTBと略す)のコントラスト依存性が、時間周波数、距離などの刺激要因によってどのように変化するかを実験的に測定し、色彩要因及びコントラスト要因が運動知覚に及ぼす影響をさらに詳細に検討する。また、仮現運動の消失に関するAnstis et al¹⁴⁾の解釈が色彩刺激についても適用可能かどうかを順応実験によって検討する。

実験1：TTB vs コントラスト関数に対する時間周波数の効果

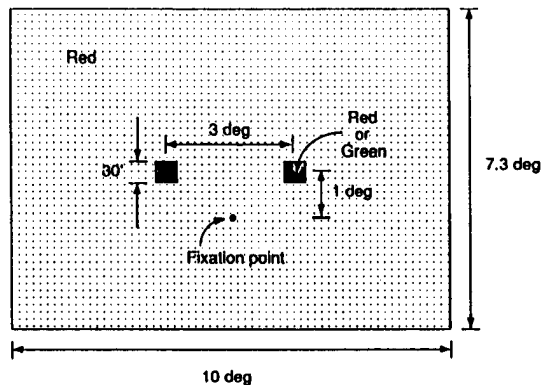
Ohtani et al¹²⁾では被験者毎に時間周波数 (刺激の交替頻度) を調整してTTBのコントラスト依存性が最も顕著に現れる領域で測定を行っている。本実験では時間周波数を操作してTTB vs コントラスト関数を測定し、彼らの報告した結果が他の時間周波数条件下でも得られるかどうかを検討する。

刺激

ターゲット及び背景はパーソナルコンピュータ (NEC PC9801VM) とRGB各8bitのカラーグラフィックシステム (YDK Image Maker; Videotron IM-9800 AN) を用いて作成保存し、フレーム周波数60Hzのカラー CRT (Shibasoku CM09A1) 画面上に提示した。刺激パターンの空間配置を第1図に示す。ターゲットは画面中央から左右1.5°の位置に提示される30'x30'の正方形である。背景は10°x7.3°の赤色一様画面 (CIE座標: x=0.619, y=0.347) で、画面中央での測定で輝度値は20cd/m²である。また画面中央から1°下方に凝視点として小黒点を常時提示した。ターゲットの色彩は背景と同色 (同色条件) 或いは緑色 (異色条件: x=0.315, y=0.589) である。ターゲットの輝度は左右各位置の測定で10cd/m²から40cd/m²までの範囲で2cd/m²ステップで変化させた (誤差は0.2cd/m²以下)。従ってターゲット、背景の輝度をそれぞれL_T、L_Bとした時、 $(L_T - L_B) / L_B \times 100$ (%)

で定義されるターゲット・背景間のコントラストは-50%から+100%まで10%ステップで変化することになる。刺激提示の時間周波数 (左右ターゲットの交替頻度) は、1.00Hzから3.33Hzまでの範囲で6種類の値を

設定した。左右ターゲットの提示時間間隔は0 msecとした。



第1図 刺激の空間布置

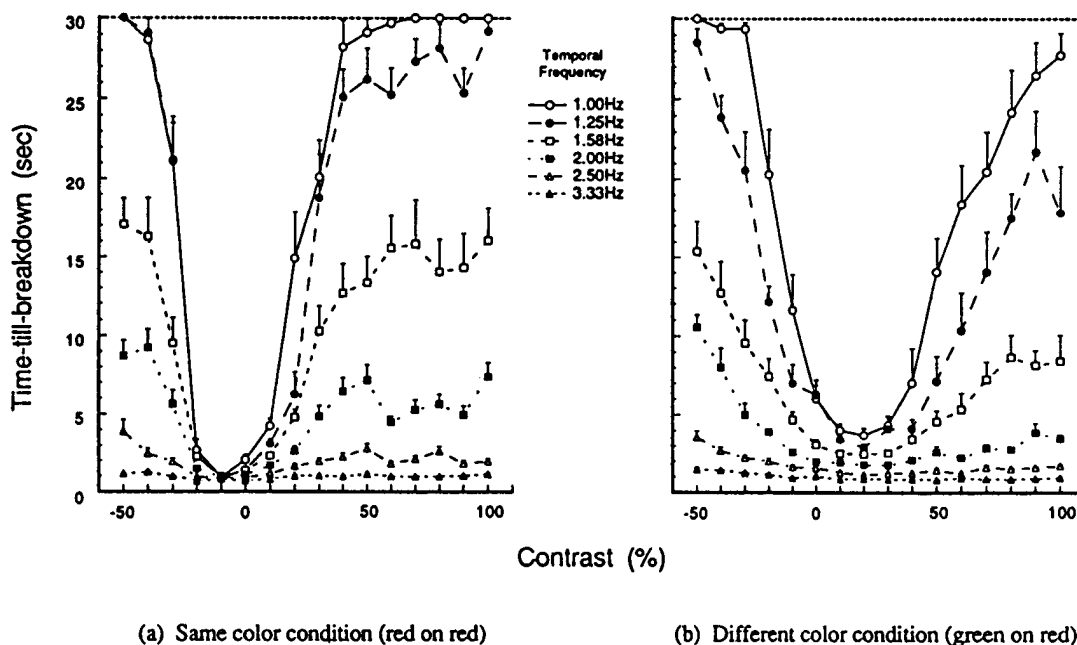
手続き

被験者は暗順応・明順応各6分間の後、手元の反応ボタンを押すことにより試行を開始した。被験者は各試行で刺激を観察し、ターゲット間の往復仮現運動が消失した時点でボタンを離すことにより反応するよう教示された。また、同色条件では、等輝度 (コントラスト0%) 近傍でターゲットが検出できない場合、できるだけ早くボタンを離すよう求められた。ターゲット提示開始から反応までの時間 (TTB) を16.7msecの精度で測定・記録した。ターゲット提示開始から30秒以内に反応がない場合、TTBを30秒として当該試行を打ち切った。各セッションは試行毎にコントラスト (16種)、最初の運動方向 (第1ターゲットの提示位置: 2種)、及び時間周波数 (6種) がランダムに変化する192試行からなり、合計5セッションが実施された。被験者は視力、色覚ともに正常な男性1名である。観察は87cmの距離から右眼単眼視で行った。

結果と考察

同色条件、異色条件の結果を第2図(a), (b)に示す。図の横軸はターゲット・背景間のコントラスト、縦軸はTTBである。図中の6種のシンボルは各時間周波数条件の結果で10試行の平均値である。またシンボルに付された縦棒は1SEを示している。

同色条件、異色条件ともに時間周波数が高い条件 (2.50Hz, 3.33Hz) ではTTB vs コントラスト関数は平坦で、コントラストに関わらず1秒から2秒程度の小さな値を示している。これは、仮現運動が知覚され



第 2 図 時間周波数条件別のTTB vs コントラスト関数
(a)同色条件 : (b)異色条件

る時間周波数範囲は限定されており、それよりも高い領域ではフリッカーが知覚されるという従来の結果と一致するものである。今回の被験者の場合、コントラストが十分な領域でも時間周波数が2.00Hz以上でフリッカー知覚が優勢となっている。これに対し、時間周波数が低くなるにつれてコントラストの絶対値が大きい領域(図の両端の部分)での値が増加し、TTB関数はU字形の特性を示している。

TTB関数がU字形を示す時間周波数条件(同色条件、異色条件ともに2.00Hz以下)で、関数の最低部にあたる等輝度近傍の結果に注目すると、同色条件ではいずれの時間周波数条件においてもTTBは1秒以下の値を示している。被験者の報告によると、これらの条件ではターゲットが検出できないことを確認して直ちに反応しており、仮現運動の消失までの時間というよりも今回の刺激布置、課題状況での単純反応時間を示していると思われる。これに対し、異色条件では関数の最低部でもTTBは2.5秒以上の値を示しており、同色条件での1秒以下よりも大きな値となっている。従って異色条件では等輝度近傍でもターゲット提示開始後少なくとも数サイクル間は仮現運動が知覚され、その後消失すると考えられる。このことは被験者の内観報告でも支持されている。

今回の結果ではTTB関数の最低部がコントラスト0%に必ずしも対応しておらず、同色条件では-10%、

異色条件では+20%の点が最低部となっている。また、異色条件での最低部の値が5秒程度であったOhtani et al¹²⁾の結果よりもやや小さくなっている。これらの原因としては、知覚的等輝度点は刺激布置、色彩、順応レベル、提示時間などの要因により変化するもので一般には測光上の等輝度点とは対応しないこと、一様な背景上の一様なターゲットを用いた今回の刺激布置では色収差の効果が排除されておらず、上記2要因の影響も比較的大きくなり得ること、などが考えられる。いずれにせよ今回の結果は、仮現運動が知覚される時間周波数領域内ではTTBがコントラストに大きく依存すること、異色条件では等輝度近傍でも仮現運動が知覚されることを示すものであり、ランダムドットパターンを用いて被験者毎に時間周波数を調整したOhtani et al¹²⁾の結果をほぼ確認するものといえる。

実験 2 : 提示サイクル数と仮現運動知覚確率の関係

実験 1 ではターゲットと背景の色彩が異なる場合、時間周波数条件が適切であればコントラストに関わらず仮現運動が知覚されることが示された。実験 2 では仮現運動の知覚確率をターゲット提示サイクル数の関数として測定し、等輝度近傍における仮現運動消失の時間的推移をより詳細に検討する。

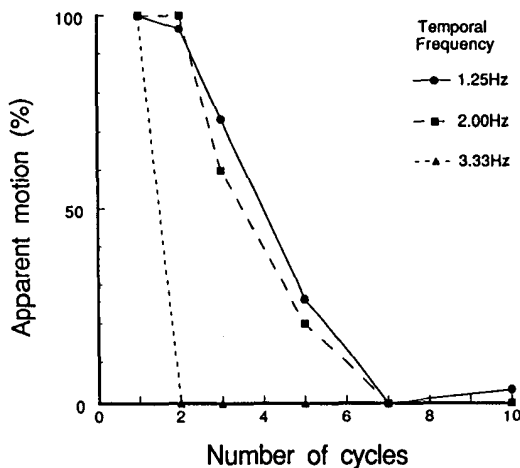
刺激及び手続き

本実験でのコントラストは実験1の異色条件でTTBがもっとも小さくなった+20%を用いた。ターゲット提示サイクル数は1サイクルから10サイクルの範囲で6種を設定した。時間周波数は1.25Hz、2.00Hz、3.33Hzの3種とした。被験者は刺激提示終了までに仮現運動が消失したかどうかを判断し、対応するボタンを押すことにより反応した。各セッションは提示サイクル数(6種)、時間周波数(3種)及び最初の運動方向(2種)が試行毎にランダムに変化し、提示サイクル数・時間周波数・運動方向の各条件が5回反復される180試行からなり、合計3セッションが実施された。その他の刺激布置、手続きは実験1と同様である。

結果と考察

各時間周波数条件におけるターゲット提示サイクル数と仮現運動の知覚確率の関係を第3図に示す。図中の3種のシンボルは各時間周波数条件の結果で30試行中刺激提示終了まで仮現運動が持続した試行の割合を示している。

図から明らかなように時間周波数が高い条件(3.33Hz)では提示サイクル数が2サイクルを越えるとフリッカー知覚が優勢となり、仮現運動は全く知覚されなくなる。一方、時間周波数が中程度及び低い条件(2.00Hz、1.25Hz)では3~5サイクル程度までは仮現運動がある程度知覚されており、7サイクル以上ではほぼ完全に消失するという経過が得られている。2.00Hz及び1.25Hz条件の結果は、TTBを用いた実験1の結果が知覚確率を指標としても支持されることを示すものであ



第3図 提示サイクル数と仮現運動知覚確率の関係

る。

本実験中、提示サイクル数が1の条件は各ターゲットが1回のみ提示される、いわゆる1shotの実験事態である。この条件では仮現運動の知覚確率はターゲットの提示時間が短い場合には、その立ち上がり時間間隔(SOA)に、長い場合には第1ターゲットの立ち下がり及び第2ターゲットの立ち上がりの時間間隔(ISI)に規定されることが知られている¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾。これまでの諸研究で得られた傾向としては、提示時間が100~200msec程度まではSOA法則が成立し、SOA=100msec近傍をピークに知覚確率が逆U字形関数を示す。それ以上の領域では、提示時間の増加にともない次第にISI法則が成立するようになり、知覚確率の関数はほぼISI=0 msecを中心とした比較的広い範囲でピークを示し、その両側で減少するという特性を示す。今回の実験ではISIはいずれの時間周波数条件でも0 msecであり、従って刺激提示時間とSOAは同一で3.33Hzで150msec、2.00Hzで250msec、1.25Hzで400msecとなっている。このうち3.33Hz条件はほぼSOA法則が、その他の条件はISI法則が成立する時間領域でありこれらの条件の1shot事態で100%仮現運動が知覚されたことは、従来の結果と一致するものである。今回の結果は1shot事態で明瞭に知覚される等輝度近傍での仮現運動が提示サイクルの増加とともに急速に消失することを示している。

実験3：TTB vs コントラスト関数に対する距離の効果

仮現運動知覚の基本的特性として、運動印象はターゲット間の距離の増大とともに減衰することが知られている。これは仮現運動知覚確率の減少、仮現運動が知覚される時間間隔・周波数領域の縮小などの指標を用いて確認されている¹⁾²⁾³⁾。仮現運動の消失現象を指標とした研究では、Anstis et al¹⁴⁾が明暗刺激を用いて、距離の増大にともない運動の消失がより早く起こることを示している。本実験では、色彩刺激についてTTB vs コントラスト関数に対するターゲット間距離の効果を検討する。

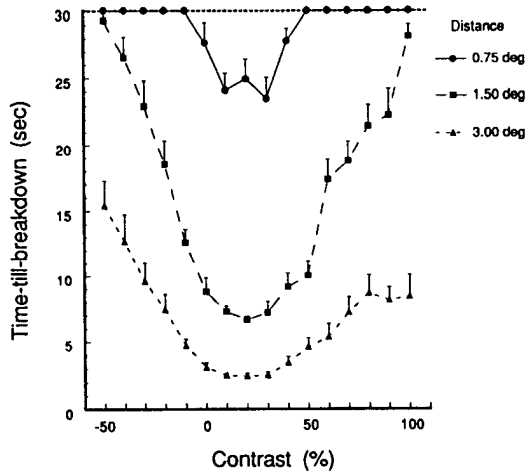
刺激及び手続き

ターゲット間距離は0.75°、1.50°の2種とし、時間周波数は1.58Hzとした。その他の条件は実験1の異色条件と同様である。各セッションではターゲット間距離を一定として、コントラスト(16種)及び最初の運動方向(2種)が試行毎にランダムに変化する32試行が行われた。ターゲット間距離はセッション間で変化さ

せ各距離条件について合計 5 セッションが実施された。

結果と考察

距離条件別の TTB vs コントラスト関数を第 4 図に示す。図中のシンボルのうち、●及び■はそれぞれ 0.75°、1.50°条件の結果で 10 試行の平均値である。また▲は距離を 3.00°として行った実験 1 の 1.58Hz 条件の結果を再プロットしたものである。図に示した 3 つの関数は、ターゲット間の距離の減少にともない上方に移動している。関数の形状についてみると、1.50 条件では典型的な U 字形関数が得られている。一方、0.75 条件ではコントラストが -10% 以下及び +50% 以上の領域で測定の上限 (30 秒) までに運動の消失が全く起こらないために、また 3.00°条件ではコントラストの絶対値が大きい領域で TTB があまり増加しないために、いずれも U 字形の特性は顕著には現れていない。0.75°条件の結果は測定条件の制約によるものであるが、その他の 2 条件の結果は TTB 関数の形状がターゲット間の距離に依存して変化することを示している。今回設定したコントラストのほぼ全域にわたって距離の減少にともない TTB が増加することは、運動印象が距離の減少とともに強くなることを示唆するもので、知覚確率を指標とした Anstis et al¹⁴⁾の結論と一致するものである。



第 4 図 ターゲット間距離の TTB vs コントラスト関数に対する影響

実験 4：仮現運動消失に対する局所的順応の効果

Anstis et al¹⁴⁾は往復仮現運動の消失の原因として、持続的観察による順応に起因する運動視系の感度低下、及びターゲットの提示される網膜位置における局所的順応などの過程を想定した。明暗刺激を用いた彼らの検討では運動視系の感度低下という要因の寄与が最も大きいことを示唆する結果が得られている。本実験では色彩刺激についても類似の結果が得られるか否かを検討する。

刺激及び手続き

本実験では TTB 測定に先立ち、静止刺激、フリッカー刺激、運動刺激のいずれかに順応する条件を設定した。静止条件では左右のターゲットを持続的に提示した後にターゲットを交互に提示し TTB 測定を行った。フリッカー条件では左右のターゲットを同期した状態で点滅させ (duty cycle は 50%)、その後 TTB 測定に入った。運動条件では左右のターゲットを交互に提示した後に TTB 測定を行った。従ってこの条件は実験 1 及び 3 で行った測定と同一である。各条件の順応時間は、(ディスプレイのフレーム周波数の制約の範囲内で) 左右ターゲットの提示網膜位置におけるターゲット提示時間の総和が順応無しの状態での TTB から算出される値のほぼ半分となるように設定した。ターゲット間距離は 3.00°、時間周波数は 1.25Hz とした。またコントラストは ±20% の 2 種である。各セッションではまず基準となる順応無しの状態での TTB を連続して 4 回測定し、順応時間を決定した。次に 3 種の順応条件毎に順応刺激提示、TTB 測定を 5 回反復した。従って 1 セッションは順応条件 (3 種) が試行毎にランダムに変化する 15 試行から構成される。コントラスト条件の実施順序はセッション間で変化させ、コントラスト毎に合計 2 セッションを行った。その他の刺激布置、手続きは実験 1 と同様である。

結果と考察

順応なしの条件における TTB (8 試行の平均) は、コントラスト -20% で 11.6 秒、+20% で 4.1 秒であり、実験 1 の同一条件とほぼ同じ値を示した。この値をもとに設定された順応時間は、コントラスト -20% の静止条件で 2.8 秒、フリッカー、運動条件で 5.6 秒、コントラスト +20% の静止条件で 1.2 秒、フリッカー、運動条件で 2.4 秒であった。これにより、各コントラスト条

件内では順応条件に関わらずTTB測定開始までに左右ターゲットの提示網膜位置におけるターゲット提示時間の総和は同一となる。コントラスト・順応条件別に、順応なしの場合のTTBに対する順応後のTTBの割合を第5図に示す。図では順応の効果が全くない場合結果は100%となる。

運動条件の結果は順応なしの場合のTTBのほぼ中間の時点から測定を開始するという手続きであり、この条件で2つのコントラストともにほぼ50%程度の値が得られたことは、実験手続きの妥当性を示すものである。

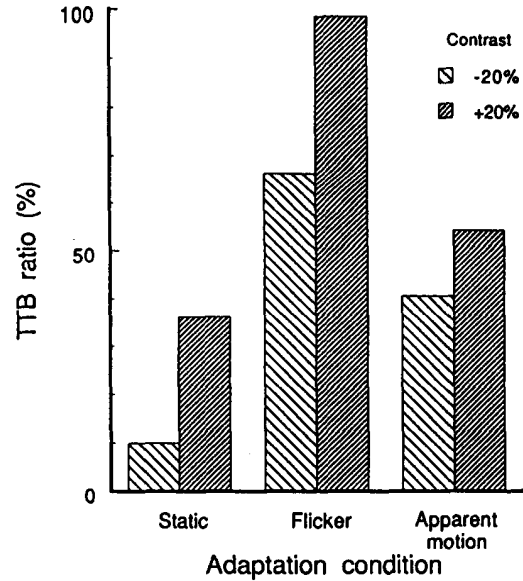
今回の結果では、静止条件で大きな順応効果が得られた点が注目される。明暗刺激を用いたAnstis et al¹⁴⁾では静止刺激に対する順応によって仮現運動の消失はほとんど影響を受けないことから、局所的順応の効果はないとされている。今回の刺激布置でも背景を暗黒にして観察した場合、彼らの報告と同様静止刺激に順応した後でもターゲット間の運動は安定して知覚される。ところが、赤色の背景上に提示される緑色の静止ターゲットに順応した後では、ターゲット位置に明瞭な補色残像が観察され、ターゲットが交互に提示されるTTB測定事態において各位置でターゲットの色彩が変化するというフリッカー知覚が優勢となる。今回の結果から補色残像が運動の消失にどのように関与するかについて結論を出すことはできないが、少なくとも両者が随伴して生起することは明らかである。残像が殆ど観察されないAnstis et al¹⁴⁾の実験状況と今回の状況での運動消失のメカニズムが同一かどうかについてさらに検討する必要がある。

順応刺激が間欠的に提示されるフリッカー条件ではコントラスト-20%条件で30%程度のTTBの減少が見られるが、+20%条件では殆ど減少が見られない。また、いずれのコントラストでも静止条件に比べて減少の程度は小さくなっている。この結果を静止条件での大きな順応効果と比較すると、ターゲット提示位置での局所的順応は比較的早く回復するものと考えられる。

今回の結果は、色彩刺激による仮現運動の消失にはAnstis et al¹⁴⁾が指摘した運動視系自体の順応に加え、ターゲット提示位置における局所的順応もかなりの程度関与していることを示唆するものである。

まとめ

本研究では往復仮現運動の消失現象についてその時空間特性を分析し、運動知覚における色彩・明暗コントラスト要因の寄与について検討した。



第5図 静止、フリッカー、運動刺激順応後のTTBの、順応がない場合のTTBに対する割合

まず時間周波数を操作し、TTBをコントラストの関数として測定した。その結果時間周波数が適切な範囲内では同色条件、異色条件ともに等輝度(コントラスト=0)近傍を最低部とするU字形の関数が得られ、コントラスト情報が運動知覚の持続に大きく寄与していることが示された。また異色条件では等輝度近傍でもTTBは0にはならないと言うOhtani et al¹²⁾の結果が確認され、色彩情報のみでも仮現運動は知覚され得ることが示された。後者の点についてさらに検討するため、異色条件の等輝度近傍でターゲット提示サイクル数を変数として運動知覚確率を測定し、色彩情報に基づいて生起する仮現運動が消失する時間的経過の詳細を明らかにした。

次にターゲット間の距離を操作してTTB vs コントラスト関数を測定した。その結果関数の形状は距離に依存して変化することが示され、運動知覚に対する色彩・コントラスト要因の寄与はターゲット間の距離によって制約を受けることが明らかになった。

さらに仮現運動の消失に関与する過程として、運動視系自体の順応及びターゲット提示位置における局所的順応の効果を検討した。その結果、局所的順応の効果が大きく寄与していることが示されたが、これは明暗刺激による仮現運動の消失とは異なるものである。色彩刺激による仮現運動の消失には固有の過程が存在するものと考えられる。

今回の検討も含めた最近の運動視研究では、従来の

研究で検討の対象とされてきた刺激の提示時間、時間間隔、サイズ、距離といった刺激要因に加え、色彩要因を考慮に入れた解析が広く行われつつある。このような試みを組織的に展開することは、これまで比較的独立に検討されてきた明暗知覚、色彩知覚、運動知覚と言った様々な研究分野の知見を統合し、ヒトの視覚情報処理機構の全体像を解明する上で有効なアプローチであると考えられる。本研究がその基礎資料となることが期待される。

本研究は平成4年度文部省科学研究費(課題番号04236213)の補助を受けて行われたものの一部である。

引用文献

- 1) Wertheimer M. (1912) Experimental studies on the seeing of motion. In T. Shipley (Ed. & Trans.) 1961 *Classics in Psychology*. New York: Philosophical Library, 1032-1089.
- 2) Neuhaus W. (1930) Experimentelle Untersuchung der Scheinbewegung. *Archiv für die gesamte Psychologie*, 75, 315-458.
- 3) Kolers P.A. (1972) *Aspects of motion perception*. New York: Pergamon Press.
- 4) Nakayama K. (1985) Biological image motion processing: A review. *Vision Research*, 25, 625-660.
- 5) Kolers P. A. and von Grunau M. (1976) Shape and color in apparent motion. *Vision Research*, 16, 329-335.
- 6) Kolers P. A. and Green M. (1984) Color logic in apparent motion. *Perception*, 13, 249-254.
- 7) Livingstone M. S. and Hubel D.H. (1987) Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *Journal of Neurosciences*, 7, 3416-3468.
- 8) Livingstone M. S. and Hubel D.H. (1988) Segregation of form, color, movement, and depth: Anatomy, physiology and perception. *Science*, 240, 740-749.
- 9) Cavanagh P., Boeglin J., and Favreau O.E. (1985) Perception of motion in equiluminous kinematograms. *Perception*, 14, 151-162.
- 10) Green M. (1989) Color correspondence in apparent motion. *Perception & Psychophysics*, 45, 15-20.
- 11) Cavanagh P., Arguin M., and von Grunau M. (1989) Interattribute apparent motion. *Vision Research*, 29, 1197-1204.
- 12) Ohtani Y., Takemoto A., Kaihara T., and Ejima Y. (1992) On the loss of apparent motion between isolated chromatic stimuli near isoluminance. *Vision Research*, in press.
- 13) Tyler C. W. (1973) Temporal characteristics in apparent movement: Omega movement vs. phi movement. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 25, 182-192.
- 14) Anstis S. M., Giaschi D., and Cogan A. I. (1985) Adaptation to apparent motion. *Vision Research*, 25, 1051-1062.
- 15) Finlay D. and von Grunau M. (1987) Some experiments on the breakdown effect in apparent motion. *Perception & Psychophysics*, 42, 526-534.
- 16) Sgro F. J. (1963) Beta motion thresholds. *Journal of Experimental Psychology*, 66, 281-285.
- 17) Kahneman D. (1967) An onset-onset law for one case of apparent motion and metacontrast. *Perception & Psychophysics*, 2, 577-584.
- 18) Kahneman D. and Wolman R. E. (1970) Stroboscopic motion: Effects of duration and interval. *Perception & Psychophysics*, 8, 161-164.
- 19) Ohtani Y., Ejima Y., and Nishida S. (1991) Contribution of transient and sustained responses to the perception of apparent motion. *Vision Research*, 31, 999-1012.

The Role of Chromatic- and Achromatic-Contrast in the Perception of Apparent Motion

— Analysis of Breakdown Effect in Reciprocating Apparent Motion —

Yoshio OHTANI and Atsushi TAKEMOTO*

(Department of Libral Arts and Sciences, Faculty of Engineering
*Department of Psychology, Faculty of Letters, Kyoto University)