

仮現運動における刺激の色と形の効果

外山智子¹⁾・高橋啓介²⁾

Effects of color and shape on the perception of apparent motion in visual stimuli

Satoko TOYAMA and Keiusuke TAKAHASHI

Abstract: The purpose of this study was to examine how the color and shape of visual stimuli affect the frequency in which apparent motion is perceived. We systematically manipulated combinations of colors (red or green) and shapes (a circle or an equilateral triangle) of visual stimuli, and measured the frequency of perception of an apparent motion induced by those visual stimuli. The results were as follows: (1) In conditions where the attributes of the visual stimuli were kept similar, apparent motion was most frequently perceived. (2) Regardless of the shape of the stimuli, apparent motion was perceived more frequently in conditions where the colors were the same than in conditions where the colors were different. (3) In conditions where the colors were different, apparent motion was perceived more frequently in conditions where the shapes were the same, than in conditions where the shapes were different. These results suggest that the color of the stimuli is more dominant in the perception of apparent motion than the shape of the stimuli.

keyword: 仮現運動、仮現運動の知覚頻度、視覚刺激、色、形
apparent motion, frequency of perception of an apparent motion, visual stimuli,
color, shape

I 問題

仮現運動における刺激属性の効果について、今日までに主に形の効果と色の効果について検討されている。形の要因については多くの実験的研究がみられるが、その効果については研究者によって異なる結果が得られている。

Kolers & Pomerantz(1971)は刺激図形が同一の場合と異なる場合とで仮現運動の出現率を比較し、図形が同一の場合の方がわずかではあるが運動の高い出現率が得られたことを報告している。この結果は Orlandsky(1940)の結果と一致している。また、Chen(1985)は刺激図形のトポロジカルな特徴の効果について検討し、二つの刺激図形がトポロジカルに等価な特徴をもつ場合に運動が相対的に生じやすいことを報告している。また、Waren(1977)は刺激図形の類似性と変換可能性(transformability)の効果について検討し、変換可能性は仮現運動の生起に影響を及ぼし、二つの刺激図形が互いに変換可能な場合の方が滑らかな運動の出現率は高いが、図形の類似性は運動の生起自体には影響しないとしている。同様に、Hirata(1983)、Navon(1976)、Ohmura & Saigo(1982)、

1) 愛知淑徳大学 健康医療科学部 医療貢献学科 視覚科学専攻 学部生

2) 愛知淑徳大学 健康医療科学部 医療貢献学科 視覚科学専攻

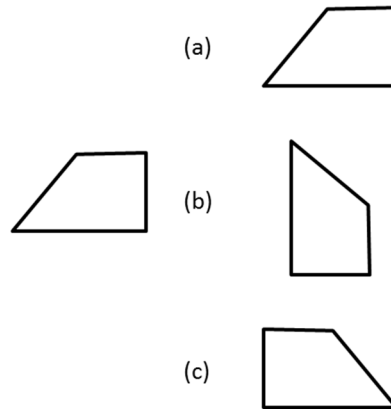


図1 異なる軌道の運動を生じる刺激図形の組み合わせ (平田, 2013 より)

Burt & Sperling(1981)などの研究でも、刺激の形の異同は仮現運動の出現率には影響を及ぼさないとする結果が報告されている。

一方、知覚される運動のタイプについては、刺激の形態的特徴が影響を与えることが知られており、台形を刺激図形とした場合、異なる向きの台形の組み合わせによって、いくつかの異なるタイプの運動が生じる。図1のような台形の組み合わせを刺激とした場合、(a)、(b)、(c)でそれぞれ、平面的平行移動、平面的回転、立体的回転というように、2つの刺激図形の間で異なる軌道の仮現運動が見られる。このような刺激の形と見えの運動軌道との関係は、刺激間の時間間隔に大きく影響を受け、時間間隔が長いときには刺激の組み合わせによって異なる軌道の運動が得られるが、時間間隔が短いときには刺激の組み合わせに関わらず図形の塑性的な変形を伴う平面的な運動がみられる(Hirata, 1983; Kolers, 1972; Kolers & Pomerantz, 1971; Ohmura & Saigo, 1982)。

Ramachandran, Ginsburg, & Anstis(1983)は刺激図形に含まれる空間周波数成分の効果について検討している。彼らは正方形を第1刺激とし、この正方形から特定の範囲の空間周波数成分を除き、高周波成分(第15次高調波以上)や低周波成分(第7次高調波以下)しか含まないもののそれぞれを第2刺激として、第1刺激の両側に呈示し、いずれの第2刺激方向への仮現運動の知覚が優位であるかを検討した。その結果、刺激間の時間間隔が短い時には第1刺激と低周波成分を含む第2刺激との間でのみ仮現運動が知覚されること、また時間間隔が長い時にはスプリット・モーションもみられるが、低周波成分を含む第2刺激との間での仮現運動の印象の方が優位であることを見出し、第1刺激と第2刺激の刺激図形が低周波成分を共通にもっている方が仮現運動の印象が生じやすいとしている。

刺激の色の要因については、第1、第2刺激の色が異なっても、仮現運動は得られることが知られている(Wertheimer, 1912; Squires, 1931)。Kolers & von Grunau(1976)は仮現運動する刺激の見えの色の変化について検討し、第1、第2刺激に異なる色の刺激が呈示された場合、図形の色は運動の途中で突然変化し、2つの色の中間色は生じないことを報告している(平田, 2013)。

このように、刺激属性のうち、形の要因に関してはその効果について研究者によって見解が異なっており、一方、色の要因に関しては研究が少なく、両要因の仮現運動の知覚への効果や両要因間の関係について、明確な結論は得られていない。

近年の研究では、仮現運動の表象は時空間だけではなく、仮現運動刺激の属性が組み込まれていることが示唆されている(Hidaka, Nagai, Sekuler, Bennett, & Gyoba, 2011)。Hidaka et al.(2011)は、図2に例示したような指向 Gabors を用いて、仮現運動の軌道上に呈示されるターゲットの

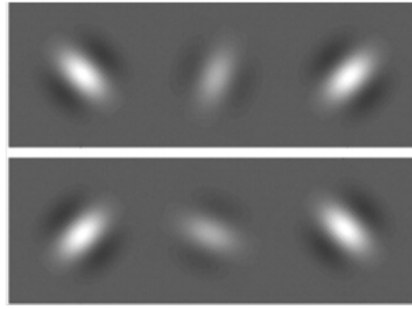


図2 Gabors 刺激の例(Hidaka et al., 2011)

Gabor の方位が仮現運動誘導刺激の Gabor の方位に類似しているときには、ターゲットを検出が相対的に困難になることを示した。さらに、仮現運動誘導刺激の Gabor の方位が仮現運動の始点と終点とで変化する場合には、運動刺激が回転しているように知覚され、回転の途中に相当する方位の Gabor をもつターゲットを仮現運動の軌道上に呈示すると、その検出が損なわれることを示した。これは、2 つの異なる仮現運動誘発刺激の中間の属性をもつ刺激が、仮現運動を補完することを示唆している。しかし、Kolers & von Grunau(1976)によると、仮現運動誘発刺激の始点と終点の色が、赤-緑もしくは青-黄の仮現運動の場合、仮現運動の軌道に中間色の知覚がなくとも、初めの刺激色から次の刺激色へ急激に変化するように見える。すなわち、仮現運動の始点と終点で色が変わる場合では、仮現運動の軌道上の色の補完はなされなかった。これらの知見に基づいて、形の移行は連続的、色の移行は離散的という異なる機序によって生じていることが提案されていた(Kolers & von Grunau, 1976)。しかし、Chong, Hong, & Shim(2014)は、Kolers & von Grunau(1976)では心理物理的に存在する色と仮現運動間に知覚された虚像としての色とを直接比較することが困難である点、誘発刺激の色の組み合わせが反対色での検討が行われていない点などから、中間色が仮現運動の軌道の途中で表象され得るかどうか未だ不確定のままであるとし、始点と終点とで色の異なる仮現運動について検討した。Chong et al.(2014)は仮現運動の始点と終点との中間地点に、誘発因子の始点の色、終点の色、中間色と推定される色、色調を整える色(コントロールカラー)の 4 種類の刺激を呈示し、それらの刺激を検出できるかどうかで、その刺激に用いられた色が仮現運動の軌道を補完できるかどうかを検討した。その結果、始点と終点の色が異なる仮現運動において、その組み合わせの色による錐体の興奮レベルの違いが 1 種類(S 錐体もしくは L 錐体)の条件であれば、色についても中間の刺激属性をもつ刺激は仮現運動の軌道を補完できることを示した。このことは仮現運動では色と運動とは同じ処理過程によって説明することができる可能性を示唆している。これらの先行研究から、刺激の色、形といった刺激属性が始点と終点とで異なるとき、仮現運動の軌道上では中間図形もしくは中間色が補完され、刺激属性の変化を知覚する。この知覚のプロセスが形と色という刺激属性で同じであると論じられている。

視覚情報処理系では、時空間特性の異なる 2 つの経路で情報伝達が行われている。1 つは大細胞系(magnocellular pathway)と呼ばれる時間解像度が高く、空間解像度が低い経路、もう 1 つは小細胞系(parvocellular pathway)と呼ばれる空間解像度が高く、時間解像度が低い経路である。大脳皮質においては小細胞系の信号は主に高い空間解像度が必要な動きの検出に、大細胞系の信号は高い時間解像度が必要な形や物体認識のために用いられる(花沢, 2008)。形、色という刺激属性はともに小細胞系であるが、視覚情報が脳皮質に到達する最初の領域である 1 次視覚野(V1)では、それらの刺激属性が局所的に検出されている。

先行研究では仮現運動で操作した刺激属性は、多くの場合色のみもしくは形のみであり、どの刺激条件で仮現運動の知覚の成立頻度が高いかに関する検討は行われているが、その両要因間の比較はなされていない。そこで、本研究では、仮現運動誘発刺激の形、色という2種類の刺激属性を組織的に操作し、形、色の刺激属性が仮現運動に与える効果を検討した。仮現運動の知覚への影響が刺激属性条件間で同一であれば、Chong et al.(2014)が述べた、色と形は同じ処理過程により説明できる可能性を支持する結果となるが、逆に刺激属性によって仮現運動の知覚への影響に差異が認められた場合は、仮現運動の知覚処理において、刺激属性はそれぞれ異なる処理がなされるという可能性を示すことができるのではないかと考えた。本研究では、刺激属性による仮現運動の知覚への効果を明らかにすることと、運動と形、色という、本来は脳内で別々の処理がなされる刺激属性について、その情報処理の関係性を明らかにすることを目的とした。

これまでの先行研究ではどのような刺激の組み合わせで仮現運動の軌道の補完がなされるかを検討するために、誘発刺激の様々な形の組み合わせ、誘発刺激の様々な色の組み合わせがそれぞれ用いられているが、本実験では、仮現運動の軌道を補完できない刺激属性の組み合わせを、形、色の属性についてそれぞれ設け、本来、補完の必要のない short range の仮現運動事象において、刺激の形、色の組み合わせ条件における仮現運動の知覚の変化を比較することで、形、色といった刺激属性が仮現運動の知覚におよぼす効果がより明らかになると考えた。そこで、刺激は、Hidaka et al.(2011)、Chong et al.(2014)で示されたような、仮現運動刺激間を補完できる誘発刺激の属性の組み合わせではなく、刺激の形は連続性のない正円と正三角形、刺激の色は興奮レベルの違いが単独の錐体系に限定されていない赤色、緑色の反対色の関係にある色を組み合わせた4種類の刺激を用いた。運動の視点は固視点を重心とする正立の正方形の4つの頂角の位置のいずれかをランダムに設定した。

これらを誘発刺激とする異なる刺激条件の仮現運動2パターンを同時に呈示し、どちらの条件で仮現運動を知覚したか、二肢強制選択法で答えさせ、各条件の反応回数を測定することで、形、色の両条件による仮現運動の知覚への影響の検討を試みた。

II 方法

1. 実験参加者

矯正視力 1.0 以上、石原色覚検査表（国際版 38 表, 2005 ; 半田屋商店）で確認した正常 3 色覚者と推認される大学生(平均年齢 21.2 歳、SD=0.45 : 女 4 名、男 1 名)。

2. 刺激・装置

PsychoPy ver.1.841 によって作成、制御した刺激を、刺激呈示モニター(Flex Scan SX2762W:

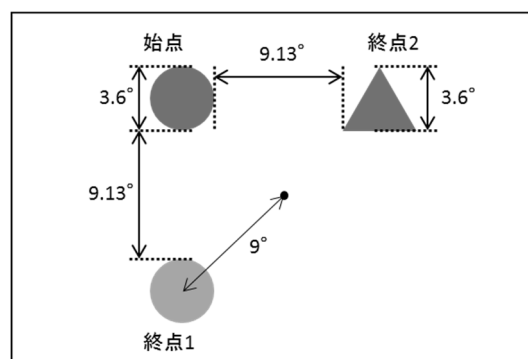


図3 実験で用いた刺激

EIZO)の中央に固視点を常時呈示した。図3に示したように、視角 $12.73^{\circ} \times 12.73^{\circ}$ の正立正方形の頂角(偏心度視角 9°)のいずれか1点を始点とし、その垂直方向および水平方向に位置する2つの頂角の位置を終点とした。始点の呈示位置はランダム化した。

3. 実験条件

操作した独立変数を以下に示す。

- 1) 仮現運動誘発刺激の色条件：赤、緑の2水準。
- 2) 仮現運動誘発刺激の形条件：正円、正三角形の2水準。
- 3) 仮現運動誘発刺激の呈示条件：固視点を重心とする視角 $12.73^{\circ} \times 12.73^{\circ}$ の正立正方形の頂角の4水準。

上記の形と色の各2水準を総当りにした4パターンの刺激図形を組み合わせて、10種類の誘発刺激条件の仮現運動が設定でき、その刺激条件の異なる仮現運動を2パターン同時に呈示し、それらに対する実験参加者の反応を比較するためにPsychoPyで制御し以下の刺激の形の組み合わせに対応させて刺激を作成した。

刺激の形の組み合わせは図4に例示した以下の6条件とした。

- 1) trial1:始点も終点も全て正円。
- 2) trial2:始点と終点2が正円で終点1が正三角形。
- 3) trial3:始点と終点1が正円で終点2が正三角形。
- 4) trial4:始点も終点も全て正三角形。
- 5) trial5:始点と終点2が正三角形で終点1が正円。
- 6) trial6:始点と終点1が正円で終点2が正三角形。

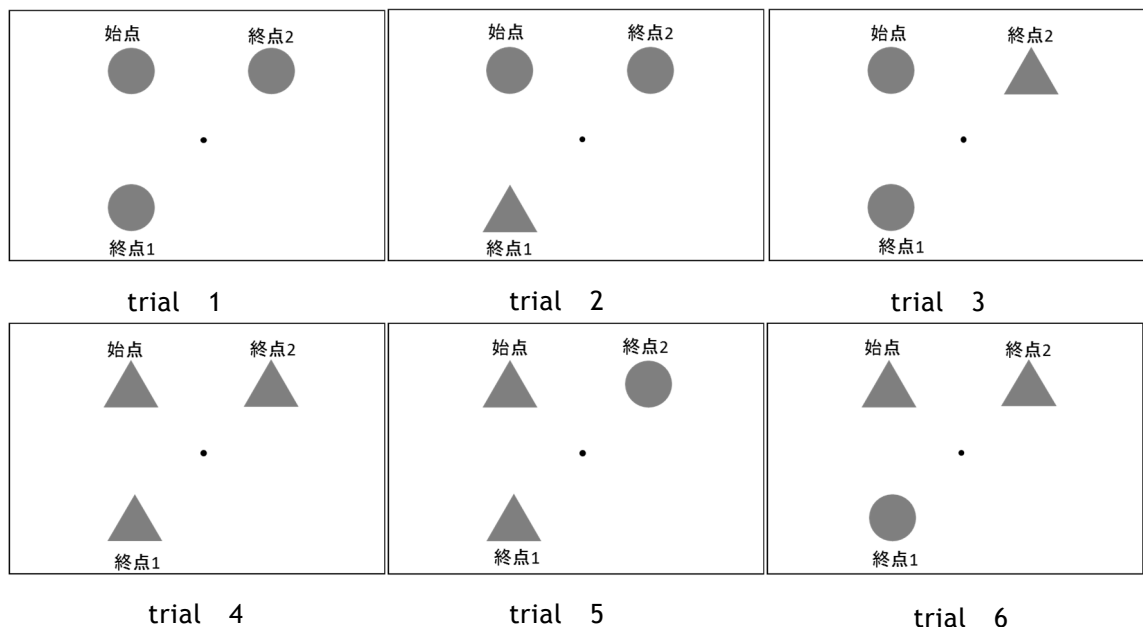


図4 本実験で使用した刺激呈示位置と刺激形の組み合わせの例

刺激の色については、実験参加者ごとにほぼ同じ強度に主観的に感じられる赤色、緑色を決定した。各実験参加者の設定輝度を表1に示した。

表1 実験で用いた実験参加者ごとに設定した刺激の輝度とSRGB値

実験参加者	赤色刺激輝度(cd/m ²)・(SRGB)	緑色刺激輝度(cd/m ²)・(SRGB)
1	47.07・(201,0,0)	67.33・(0,181,0)
2	38.03・(181,0,0)	74.60・(0,191,0)
3	51.17・(212,0,0)	74.60・(0,171,0)
4	26.42・(150,0,0)	39.18・(0,191,0)
5	33.65・(171,0,0)	67.33・(0,181,0)

実験的に呈示した刺激色の組み合わせは以下の8条件とした。

- 1) 始点・終点ともに赤色、
- 2) 始点・終点ともに緑色、
- 3) 始点のみ赤色
- 4) 始点のみ緑色
- 5) 終点1のみ緑色、
- 6) 終点1のみ赤色
- 7) 終点2のみ緑色、
- 8) 終点2のみ赤色、

上記の刺激の形と色の条件を総当たりにした48条件に始点の呈示位置の4条件を乗じた計192条件で測定を行った。

4. 手続き

まず、刺激色の赤および緑とほぼ同じ強度と各実験参加者において主観的に感じられた灰色の正円の刺激のみを用いて、実験参加者が縦、横の仮現運動を等しい確率で知覚できるようになるまで練習試行を行わせた。

観察距離は57.3 cmで、モニター中央の固視点が実験参加者の眼の高さに合うように椅子の高さを調整した。実験参加者には刺激1cycle呈示ごとに二肢強制選択法で仮現運動を知覚できた方向を、縦であればキーボードの「下キー」か「上キー」、横であればキーボードの「右キー」か「左キー」で反応させた。実験は刺激の形、色、呈示位置の異なる192条件を2回ずつ繰り返し測定を行い、計384試行測定した。刺激の呈示順序はランダムとし、色条件、呈示位置条件についてもランダムマイズした。

実験参加者にはあらかじめ、固視点から視線をずらさないこと、故意に刺激の図形や色を意識した反応はしないこと、反応時間は測定していませんので、焦らず反応することを教示した。

III 結果

取得したデータを反応の向きと、その時の刺激図形の組み合わせによって以下の9条件に分けて集計した。

縦と横で刺激の色、形条件が同じで、運動の方向の効果のみを検討する条件

- 1) 方向のみ条件

仮現運動を知覚した方向の刺激の色、形の組み合わせとその時の反応方向による条件

- 2) 同色・同形・たて
- 3) 同色・同形・よこ

- 4) 同色・異形・たて
- 5) 同色・異形・よこ
- 6) 異色・同形・たて
- 7) 異色・同形・よこ
- 8) 異色・異形・たて
- 9) 異色・異形・よこ

まず、操作チェックとして「1) 方向のみ条件」について検討した。図 5 に仮現運動誘発刺激の属性組み合わせが同じ場合の仮現運動の各方向における平均反応回数と標準偏差を示した。

図 5 によると、横方向より縦方向の反応が有意に多かった($\chi^2(4)=11.998, p<.05$)。刺激属性に変化がない場合、横方向より縦方向の仮現運動を知覚しやすい傾向があることが示された。上方向の運動の知覚頻度が高かったことについて、実験参加者の内省報告によると「三角形に上向きのイメージを得た」可能性があったため、始点図形が三角形で、始点が刺激呈示面の正方形の上辺に位置する条件での運動方向の知覚頻度について χ^2 を行ったところ、知覚された運動方向について有意な差は認められなかった($\chi^2(4)=8.796, n.s.$)。このことは、本実験における縦方向の運動知覚頻度の高さは、本実験で用いた刺激の図形特性によるものであり、仮現運動の成立機序とは独立したものであることを示唆している。

次に仮現運動を知覚した方向の刺激の色、形の組み合わせとその時の反応方向による条件 2)~9) について検討するために、図 6 に刺激の色、形、反応方向の各組み合わせ条件における仮現運動の平均反応回数と標準偏差とを示した。

図 6 によると、同色同形の縦方向に対する反応回数が最も多く、異色異形の横方向に対する反応回数が最も少なかった。また、色、形のどの条件においても「よこ」より「たて」の反応回数が多かった。

結果の傾向を明確にするため、平均反応回数に対する、刺激の色、形、運動方向の 3 要因について、すべての要因に対応がある場合の 3 元配置分散分析を行い、その結果を表 2 まとめた。

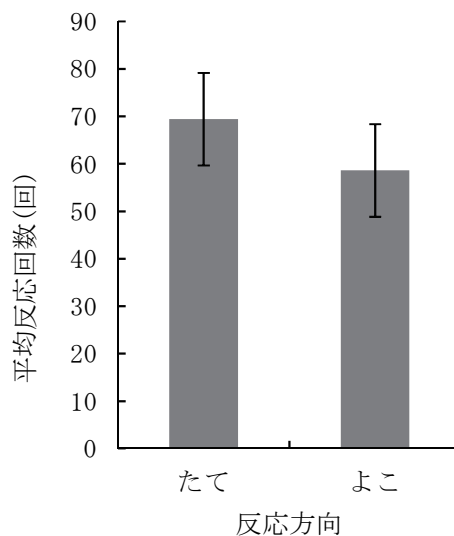


図 5 仮現運動誘発刺激の属性組み合わせが同じ場合の仮現運動の各方向における平均反応回数と標準偏差

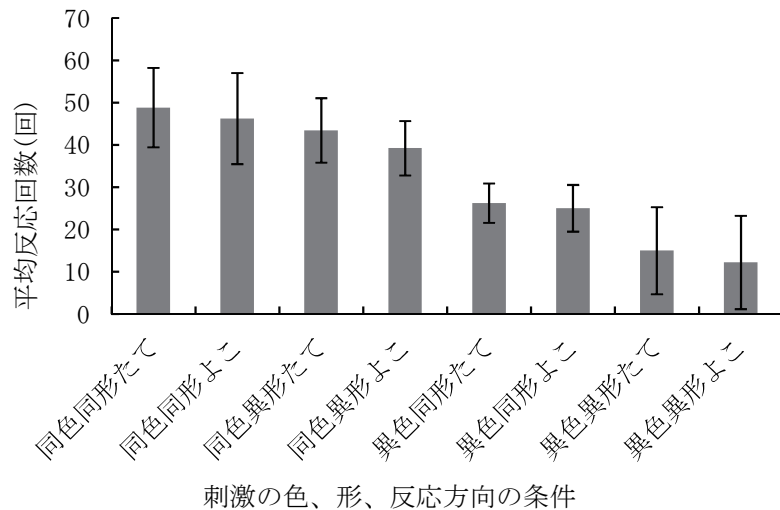


図6 刺激の色、形、反応方向の各組み合わせ条件における仮現運動の平均反応回数と標準偏差

表2より刺激の色と形の交互作用が有意であることが確認されたので、単純主効果検定と多重比較とを実行し、これら2要因の効果を明示するために、図7に仮現運動誘発刺激の始点、終点の各色の組み合わせ条件ごとの各形組み合わせ条件における平均反応回数と標準偏差とを示した。

図7および単純主効果検定、多重比較の結果によると、刺激の組み合わせが同形の場合、刺激の組み合わせが異形の場合のいずれにおいても、異色に較べて同色の仮現運動知覚頻度が有意に高いことが示された(いずれも $p < .01$)。一方、形の単純主効果については、刺激の色の組み合わせが異色の場合においてのみ、異形に較べて同形での仮現運動知覚頻度が有意に高いことが示され ($p < .05$)、刺激の色の組み合わせが同色の場合には、刺激の形の組み合わせの主効果は認められなかった。つまり、刺激の色の組み合わせが同色の場合、刺激の形の組み合わせにかかわらず、仮現運動の知覚が成立しやすく、他方、刺激の色の組み合わせが異色の場合にのみ、刺激の形の組

表2 平均反応回数に対する刺激の色、形、運動方向の3要因分散分析表

変動因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
色	6150.400	1	6150.400	19.485	$p < .05$
誤差	1262.600	4	315.650		
形	828.100	1	828.100	8.013	$p < .05$
誤差	413.400	4	103.350		
向き	72.900	1	72.900	0.493	n.s.
誤差	591.600	4	147.900		
色×形	84.100	1	84.100	25.104	$p < .01$
誤差	13.400	4	3.350		
色×運動方向	4.900	1	4.9600	4.261	n.s.
誤差	4.600	4	1.150		
形×運動方向	6.400	1	6.400	0.631	n.s.
誤差	40.600	4	10.150		
色×形×運動方向	0.000	1	0.000	0.000	n.s.
誤差	7.000	4	1.750		
全体	7146.800	5			

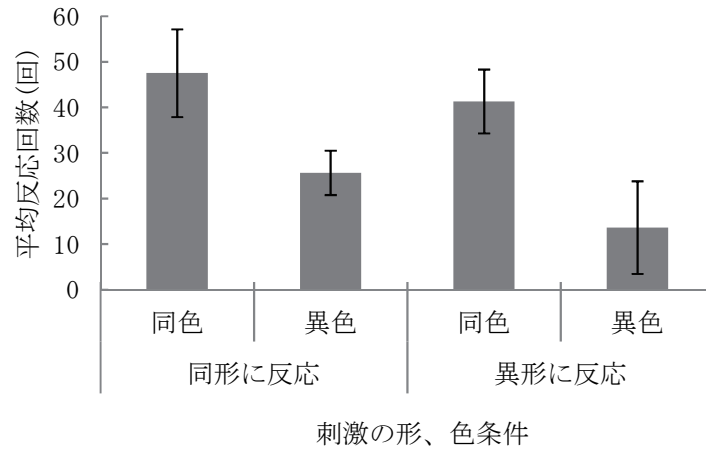


図 7 仮現運動誘発刺激の始点、終点の各色の組み合わせ条件ごとの各形組み合わせ条件における平均反応回数と標準偏差

み合わせが同形であることが、仮現運動の知覚の成立に寄与することが示された。

IV 討論

まず、仮現運動の始点、終点刺激の刺激属性が同一の条件における仮現運動の方向による効果の検討では、「たて」、「よこ」で反応回数に差はなく、運動方向による知覚への影響がないことが示された。また、始点、終点刺激の刺激属性が同色同形である条件において、仮現運動の知覚頻度が最も高く、仮現運動の始点、終点刺激の属性が同一である場合に仮現運動が知覚されやすくなることが示された。さらに、始点、終点の刺激が色に関わらず、同形である場合に比べて、始点、終点の刺激が形に関わらず、同色である場合に仮現運動の知覚頻度が高かった。以上の結果から、仮現運動の知覚は、誘発刺激の形、色の刺激属性の影響を受け、さらには形よりも色が強く関与することが示唆され、刺激図形の異同は仮現運動の出現率には影響を及ぼさないとする Hirata(1983)、Navon (1976)、Ohmura & Saigo (1982)、Burt&Sperling(1981)などの所見とは異なる結果を得た。

仮現運動誘発刺激の形の要因について、誘発刺激の始点、終点が異形である条件に比べ、同形である条件において反応回数が有意に多かったことから、誘発刺激の形という刺激属性が仮現運動の知覚に影響を及ぼすことが示された。また、操作チェックにおいて、本実験で刺激図形として用いた三角形のような、方向性のイメージをもつ図形を誘発刺激とした場合、そのイメージの方向の仮現運動が知覚されやすくなるという傾向もみられた。

研究者によって様々な報告がなされていたが、本実験では、Kolars&Pomerantz(1971)、Orlansky(1940)、Chen(1985)などの報告と同様に、誘発刺激の始点、終点の図形が類似している場合に仮現運動の知覚頻度がより高いとの所見を得た。また、三角形という図形のもつイメージが知覚される運動の方向に影響を与えたという結果は、知覚される運動のタイプについては、刺激の形態的特徴の影響を受けるとの Hirata(1983)、Kolars(1972)、Kolars & Pomerantz(1971)、Ohmura & Saigo(1982)の報告と同様に、図形のもつ特徴が運動の知覚に関与する可能性を示唆していると考えられる。

運動誘発刺激の色の要因についても、形の要因と同様、異色条件に比べ、同色条件において仮現運動の知覚頻度が有意に高かったことから、誘発刺激の色も仮現運動の知覚に影響を及ぼすことが示された。Wertheimer(1912)、Squires(1931)の報告では、始点、終点刺激の色が異なっても仮現

運動は得られるとされており、本実験でも異色条件において運動の知覚反応が認められた。本実験では、中間色を補完できない刺激色の組み合わせを用いて、運動軌跡の中間に刺激を呈示しない、**short range** の仮現運動を用いたが、異色条件においても仮現運動が知覚されたことから、仮現運動の知覚に中間色の知覚が必要条件ではない可能性が指摘できる。しかし、本実験では、「たて」か「よこ」か、必ずどちらかを答えさせるという強制選択法を用いたため、2条件を比較し「より運動印象が得られた」に過ぎず、異色条件において明確で顕著な仮現運動が知覚されていたかどうかは定かではなく、応答方式によるアーチファクトが含まれている可能性があり、これについては再度検討が必要であろう。

仮現運動誘発刺激の形属性の要因と色属性の要因との関係性について、誘発刺激の始点、終点が同色条件の場合、刺激の形の同異に関わらず仮現運動の知覚頻度が高かったことから、仮現運動の知覚において形の要因よりも色の要因による影響が強いことが示めされた。このことは運動情報の処理過程において、形情報よりも色情報が強く影響を与えることを示唆している。これまで運動情報と色情報の処理はそれぞれにのみ応答する細胞で行われていると考えられていたが、中村(2010)は、色情報と運動情報の組み合わせに対し、選択的に応答する細胞の存在を示唆している。また、その細胞は、必ずしも V1 付近に集中しておらず、視覚情報処理系の背側経路および腹側経路にも分布が認められ、色と運動の情報が結合した刺激に対して異なる活動を生じる神経細胞が初期視覚野にも存在する可能性が示唆されている。このことから、運動情報と色情報は結合された情報として初期に処理されるため、色という刺激属性が運動に対して強く影響を及ぼすという仮説が立てられる。しかし、運動情報と形情報や、その他の刺激属性情報との組み合わせにおける検討は不十分であり、これらの問題を解明するには、誘発刺激の色、形属性だけではなく、他の刺激属性と運動情報との結合した情報に反応する細胞の有無、存在する位置、また、運動知覚への影響を検討することが必要であろう。

本研究では、これまでに様々な報告がなされていた仮現運動における誘発刺激の形の要因について、仮現運動の知覚に影響を及ぼすことが示され、色の要因と同様に、誘発刺激の始点と終点が同一の属性をもつ場合、より運動を知覚しやすいことが示された。また、仮現運動の知覚において、形の要因より、色の要因が強く影響することが示されたが、仮現運動の知覚処理過程における刺激属性の処理の機序について明らかにするにはさらに多くの検討が必要である。

References

- Burt,P.&Sperling,G. (1981) Time,distance,and feature trade-offs in visual apparent motion. *Psychological Review*,**88**,171-195.
- Chen,L. (1985) Topological structure in the perception of apparent motion. *Perception*, **14**,197-208.
- Chong,E.,Hong,S.W.,&Shim,W.M. (2014) Color updating on the apparent motion path. *Journal of Vision*,**14(14):8**,1-12.
- Hidaka,S.,Nagai,M.,Sekuler,A.B.,Bennett,P.J.,&Gyoba,J. (2011) Inhibition of target detection in apparent motion trajectory. *Journal of Vision*,**11(10):2**,1-12.
- Hirata,T. (1983) Figural factor and split motion in apparent movement. *Tohoku Psychologia Folia*,**42**,34-41.
- Kolers,P.A.&Pomerantz,J.R. (1971) Figural change in apparent motion. *Journal of Experimental Psychology*,**87**,99-108.

- Kolers,P.A. (1972) *Aspects of motion perception*, New York : Pergamon Press.
- Kolers,P.A.&von Grünau,M. (1976) Shape and color in apparent motion. *Vision Research*,**16**,329-335.
- 中村慎吾,栗木一郎,松宮一道,徳永留美,塩入輸 (2010) fMRI を用いた視覚的運動情報と色情報の知覚的結合に関する研究. 電子情報通信学会技術研究報告.HIP, ヒューマン情報処理, **110(228)**,25-29.
- Navon,D. (1976) Irrelevance of figural identity for resolving ambiguities in apparent motion. *Journal of Experimental Psychology :Human Perception and Performance*, **1**,130-138.
- Ohmura,H.&Saigo,K. (1982) The types of stroboscopic motion as determined by geometric transformations and temporal factors in stimulus presentation. *Japanese Psychological Research*,**24**,68-77.
- 平田忠 (2013) 大山正,今井省吾,和気典二 (編)(2013) 『新編 感覚・知覚心理学ハンドブック』 誠信書房, 815-820.
- Orlansky,J. (1940) The effects of similarity and difference in form on apparent movement. *Archives of Psychology*,**246**,1-85.
- Ramachandran,V.S.,Ginsburg,A.P.,&Anstis,S.M. (1983) Low spatial frequencies dominate apparent motion.*Perception*,**12**,457-462.
- 花沢明俊 (2008) 神経生理 I - 網膜から V1 まで - 篠森敬三,内川恵二(編) (2008) 『講座<感覚・知覚の科学>1 視覚 I - 視覚系の構造と初期機能 -』 . 朝倉書店, 23-44.
- Squires,P.C. (1931) The influence of hue on apparent visual movement. *American Journal of Psychology*,**43**,49-64.
- Warren,W.H.1977 Visual information for object identity in apparent movement. *Perception and Psychophysics*,**21**,264-268.
- Wertheimer,M. (1912) Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung. *Zeitschrift für Psychophysics*,**21**,264-268.