

円環運動する古典的仮現運動はその軌跡上に に提示された静止図形を捕捉するか？

中 村 浩
川 部 大 輔
藤 木 晶 子

円環運動する古典的仮現運動はその軌跡上に提示された 静止図形を捕捉するか？

中 村 浩 川 部 大 輔 藤 木 晶 子
Ko NAKAMURA Daisuke KAWABE Akiko FUJIKI

目次

1. 序論
2. 実験刺激作成方法
3. 実験観察 1 : 円環上の仮現運動に同期して上下左右に別の刺激を提示した場合
4. 実験観察 2 : 仮現運動による捕捉現象がより顕著に観察される条件設定について
5. 実験観察 3 : 捕捉現象がさらに明瞭に知覚される条件設定
6. 実験観察 4 : 影の運動および仮現運動による捕捉現象が同時に観察される条件
7. 結論

[Abstract]

Does the Classical Apparent Movement Capture those Stimuli Presented along its Trajectory?

Sixteen black disks were arranged in a circle at intervals of 22.5° on a gray background, and the red disk was presented on those black disks one after another in a clockwise direction. The duration of presentation of the red disks is 67-ms each. Under these conditions, a clockwise classical apparent movement of the red disk, which runs circularly along with those black disks, was observed. In this situation, when colored disks are presented at four places among the 16 black disks synchronized with the circular motion of the red disk, at the 12 o'clock, 3 o'clock, 6 o'clock, and 9 o'clock positions, a colored disk running circularly in a clockwise direction was observed, even though colored disks are presented only at four places. This study aims to examine if the apparent classical movement captures those stimuli presented on its trajectory. Thus, this study showed that those capturing phenomena by v-movement, as proven by Hayashi (1990), are unclear; however, under the appropriate condition, the clear capturing phenomenon was observed. Also, the capturing phenomenon by v-phenomenon and classical apparent movement, which runs in the opposite direction, were observed simultaneously.

1. 序論

日常生活において我々が対象の動きを知覚する場合、いくつかの例外を除いて、殆どの場合、「エネルギー変化に基づく運動検知

器 energy-based motion detector」と「特徴を持った対象の位置変化に基づく運動検知器 feature-based motion detector」が同時に働いている (Smith and Ledgeway, 2001)。例えば特定の対象が A の位置から B の位置

キーワード：v 現象, 古典的仮現運動, 特徴捕捉運動錯視

Key words: v-phenomenon, Classical apparent movement, Feature Captured Motion Illusion

に移動した際に、時間をおいて別の位置に定位される対象が同一のものであるという認識をもとに運動知覚を可能にするのが feature-based motion detector の役割である。この際、同一であると認識するための情報として輪郭に囲まれた形や色を手がかりとしている (Adelson & Bergen, 1985)。このような同一対象の位置変化に伴って第一の地点と第二の地点、あるいはその中間点において輝度が増加する。この輝度の変化およびその方向を検出して運動知覚を可能にするのが energy-based motion detector である。

我々の日常生活における運動知覚においてこの二つの検知機構は切っても切り離せない関係にあり、二つの検知機構がそれぞれ単独で働く場合は稀で、両方が互いに補う形で運動知覚が生じていると言えよう。従って影の運動のように energy-based motion detector だけが機能している場合、feature-based motion detector の働きを補うためにその運動軌跡上に提示された色刺激が捕捉され、影の運動と一緒に運動するという現象が知覚されるようになるものと考えられる (中村・川部・藤木, 2021b)。

もし上記の考えが正しいのであれば、古典的仮現運動のように energy-based motion detector と feature-based motion detector が同時に働いている状況において、運動刺激とは異なる特徴を持つ刺激を運動軌跡上あるいはその近傍にタイミングを合わせて間歇的に提示すると影の運動によるものと同様の捕捉現象が生じることが予測される。本研究はこの点を検証することを目的とするものである。

2. 実験刺激作成方法

実験観察に用いた全ての動画刺激は Adobe Director ver.11 を用いて作成した。本研究における基本的刺激においてはまずパソコンの液晶モニター上 (背景は灰色: #888888) に

直径468ピクセルの正円を描きその円周を最上段 (0度) の位置から16等分 (22.5度) に分けてそれぞれの位置に直径58ピクセルの黒丸 (#000000) を最上段の位置から時計回りに順次67ms 提示し、一つが消失した直後に次の位置 (22.5度の位置) への提示を繰り返した。一つの刺激提示から次の刺激提示の ISI は 0 (※注 1)、SOA は 67ms である。この条件 (SOA は 67ms) においては各刺激間でスムーズな仮現運動が生じ、黒丸は円環運動を示す。黒丸が円環上を仮現運動によって一周するのに要する時間は 1067ms となる。ただしこの条件における円環仮現運動は前に提示された刺激の残像が残るため、黒丸が 2、3 個の尾を引いて運動している様子が観察される。

上に示した仮現運動が観察される条件において、上下左右 (時計の 12 時、3 時、6 時、9 時) の位置に仮現運動に同期して同じサイズのライトブルー (#33FFFF) の丸を 67ms 提示する。すなわち色刺激が提示された時は仮現運動する黒刺激に置き換わることになる。この刺激条件を基本刺激として、さまざまなバリエーションを加えることによって、明瞭な捕捉現象が観察される刺激条件について検討し、仮現運動によって色刺激が捕捉されるか否かについて検証する。

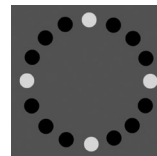


Fig.1 灰色を背景として円環の最上段から黒丸を時計回りに順次67ms ずつ提示すると黒丸の円環仮現運動が観察される。その状況下で黒丸が円環の上下左右に提示される時にそれによって色刺激 (ライトブルー: #33FFFF) を 67ms 提示すると、残像のためにいくつかの尾を引いて円環仮現運動する黒の跡を追って同様に円環運動する色刺激が観察される。

3. 実験観察 1 : 円環上の仮現運動に同期して上下左右に別の刺激を提示した場合

誘導刺激と捕捉刺激の配置については Fig.1 に示す通りであるが、影の運動による捕捉錯視における刺激条件とは全く異なるものである。図では円周上の16等分されたそれぞれの位置に黒丸が提示されているが、実際は最初に12時の位置に67ms 提示され、それが消えた直後に時計回りに隣の黒刺激が67ms 提示される。それを円環に沿って順次繰り返すというものである。黒刺激は順次位置を変えて提示されるだけなので、影の運動が生じることはなく、その代わり仮現運動によって円周上を円環運動する黒丸が知覚される。黒丸が円周上を一周するのに要する時間は1067ms である。この場合、各黒丸の提示時間が短いため、それ以前に提示された黒丸の正の残像が残り、知覚される仮現運動は数個の尾を引くような黒丸の円環運動となる。この条件下で、黒丸の仮現運動に同期して円環上の上下左右の4箇所に色刺激（ライトブルー：#33FFFF）を67ms 提示する。その結果、円環上を時計回りで仮現運動している黒刺激と色刺激がこの4箇所で入れ替わることになる。観察の結果、この条件において色刺激の捕捉現象が認められた。ただし影の運動による捕捉錯視において観察される現象に比較すると、その現象は若干異なるものであった。尾を引いて仮現円環運動する黒丸の後ろを色刺激が追従するような円環運動が観察されたのである。しかし四つの地点に間歇的に提示された色刺激の円環運動が観察されることから、色刺激が捕捉されたと言える。また次の点も大きく異なる場所であった。黒丸それぞれの提示時間を半分の33ms にした場合、すなわち仮現運動の速度を2倍に速くした場合、円周上に黒丸及び捕捉刺激全体がほぼ同時に観察され、全体の円環運動そのものは観

察されるが、捕捉されていた色刺激についてみると、その円環運動に捕捉されることはなく、133ms の SOA で提示された4箇所の色刺激をつなぐ直線的仮現運動の繰り返しが観察された。更に提示時間を短くすると、全体が同じ位置で点滅を繰り返すだけであるが、円環運動だけは観察されるという現象も観察された。この現象は energy-based motion detector と feature-based motion detector それぞれの働きが乖離した状態と考えられる。

この現象に類似した代表的なものとして運動残効（motion after effect : MAE）を挙げることができる。運動残効は一定の方向を持つ運動事象をしばらく見続けた後でそれを停止すると、それまで見ていた運動とは反対方向の運動は観察されるが、対象そのものの位置変化は知覚されないという現象である（蘆田, 1994）。このような現象が生じる理由としては、MT 野では運動自体は処理するが、運動対象の同定およびそれらの位置変化を検出する機能を有していないことによるものと考えられる。

Livingston & Hubel(1988) は、視覚の情報処理系が網膜と第一次視覚野の中間に位置する外側膝状体（LGN : lateral geniculate nucleus）に存在する二つの大細胞層と四つの小細胞層の機能の違いを基に、視覚処理系を大細胞系と小細胞系に分け、前者は主に運動知覚や空間定位、後者は色や形の知覚に関与していることを示した。Fig.2はこの外側膝状体から運動を処理する MT 野（middle temporal）、MST 野（medial superior temporal）への伝達経路、ならびに色と形の知覚に寄与する第二次視覚野から第四次視覚野、そして下部側頭葉皮質（IT : inferior temporal）への伝達経路とそれぞれの潜時を示したものである（Mather, 2009）。この図からわかるように、運動知覚に関しては潜時が短く、その分速い動きの処理が可能であるが、色（V4）や形（IT）の知覚は潜時

が長い (Newsome, Mikami & Wurtz, 1986; Levitt, Kiper & Movshon, 1994; Schmolesky et al. 1998)。そのため動きが速い刺激に対する形や色の知覚が追いつかず、運動処理と形・色の処理が乖離するという現象が生じるものと考えられる。

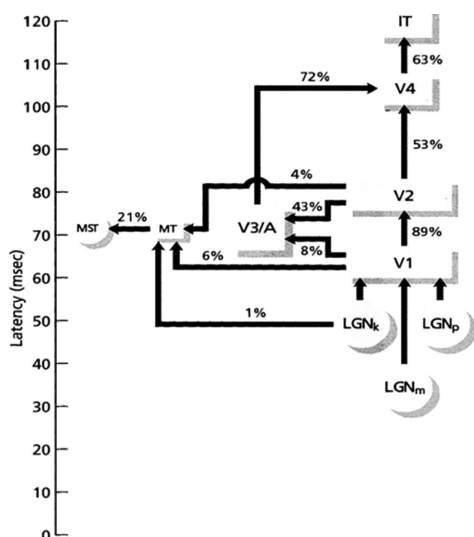


Fig.2 網膜から外側膝状体(LGN)を介して形を処理する下部側頭葉皮質(IT)、色の処理を担う第4次視覚野(V4)、運動処理を担うMT野、オプティカルフローを含めた運動処理を担うMST野までの潜時を示しており、運動処理が形や色の処理よりも速いことがわかる(Mather, 2009)。

4. 実験観察2 : 仮現運動による捕捉現象がより顕著に観察される条件設定について

上に述べた刺激条件においても仮現運動による捕捉現象は観察されたが、いくつかの尾を引くような仮現運動が観察されたため、さらに明瞭な仮現運動及びそれによる捕捉現象が観察される条件について検討した。

より明瞭な仮現運動が観察される条件として Fig.3に示すように、円環上に常時提示されている黒丸の上を緑の丸が仮現運動する刺激を用いて観察した。この条件においては緑

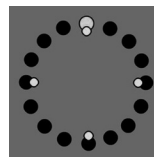


Fig.3 実験観察2における刺激布置。実験観察1とは異なり、円環状に配置された黒丸は常に提示されており、その上を黒丸と同じサイズの緑丸が時計回りに円環仮現運動し、その動きに同期して円環の内側にある小さい丸(ライトブルー)が上下左右の4点で提示される。

丸(#00FF00)が円環仮現運動し、上下左右の4箇所に緑の丸から30ピクセル内側に離れた位置にライトブルー(#33FFFF)の小円(直径36ピクセル)を仮現運動に同期して提示した。円環状に配置された黒丸が平面状に開けられた窓として知覚され、黒丸が提示されている面の向こう側(窓の向こう側)を緑丸が動いているという印象が生じ、尾を引くような印象が弱められた滑らかな仮現運動が観察される。これは配置された黒丸の存在が、緑丸の仮現運動に伴う残像を抑制する働きをするものとも考えられる。

また仮現運動は形や色の属性を有する対象の運動知覚であるが、全体16点の内4点ではあれ、その対象の一部にそれとは異なる対象が提示されることによって仮現運動の知覚を阻害することが考えられるため、仮現運動する緑の丸の近傍、円環の内側にそれと重ならないように捕捉刺激を提示することとした。これは影の運動による捕捉現象において、捕捉刺激を影の運動の軌跡から空間的にずらしても捕捉現象が観察されることを基に設定した条件である。観察の結果、緑丸による円環仮現運動によってライトブルーの小円が捕捉される現象が観察されることがわかった。ただし、先の刺激と同じように仮現運動の速さを倍にしたところ、同じように捕捉現象は減衰した。円環運動する仮現運動の印象は残ってはいるものの、捕捉刺激4点が見えるという現象も多く観察された。

これに対して影の運動による捕捉錯視においては、刺激の提示時間をかなり短くしても影の運動の速度が増すだけで、色刺激の捕捉現象が損なわれることはない。これは影の運動の性質によるものと言える。すなわち影の運動では energy-based motion detector だけが働いて検出された運動であるため、運動している対象の形や色が知覚されることはなく、従って SOA(stimulus onset asynchrony) がいくら短くなっても、すなわちいくら速く運動しても残像が生じることがないからである。

5. 実験観察3 : 捕捉現象がさらに明瞭に知覚される条件設定

この実験観察においてはさらに明瞭な捕捉現象が観察される条件について検討した。Fig.4は仮現運動による捕捉現象としては最適と考えられる条件設定を示したものである。先の条件では捕捉刺激を円環仮現運動する刺激の内側にずらして提示したが、この実験観察においては Fig.4のように仮現運動の軌跡上ではあるが、仮現運動する赤丸と赤丸の中間に提示した。Fig.4に示した刺激条件において赤丸は反時計回りに仮現運動し、黄丸は図示された赤丸に同期してそれよりも左側、すなわち移動方向に先行した位置に提示した。この条件下では円環上に4点提示される黄丸がそれに前後する仮現運動図形(赤丸)に挟まれて一緒に円環運動するという捕捉現象が観察された。

仮現運動している対象の軌道の近傍にその対象に同期させて刺激をフラッシュ提示するとフラッシュ提示された刺激は仮現運動している対象の後方にずれて知覚されるフラッシュラグ効果という現象が Nijhawan(1994) によって報告されている。当初 Nijhawan(1994) は運動している対象の

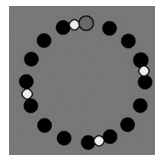


Fig.4 実験観察3における刺激布置。実験観察2とは捕捉刺激の提示位置が円環仮現運動の軌跡上に提示される点が異なる。また赤丸の円環仮現運動は反時計回りに回転し、捕捉刺激の小さい黄丸は同期する赤の提示と同時に赤よりも回転方向の先の方に提示される。

運動を外挿 (Extrapolation) することで運動がフラッシュ刺激よりも先の方に知覚されると考えていたが、現在ではフラッシュ刺激が提示された直後の一定時間内 (およそ 80ms) の平均の位置に運動刺激が知覚されるという仮説と運動刺激に対する潜時に比較してフラッシュ刺激に対する潜時の方が長いという要因が二重に働いてフラッシュラグ効果が生じるという考えが支持されるようになっている。このフラッシュラグ効果の本実験観察における捕捉現象に対する影響について考察してみると、運動が影の運動ではなく仮現運動であり、円環上の4点に提示される捕捉刺激がフラッシュ刺激であることを考慮すると当然このフラッシュラグ効果が捕捉現象に対して影響を与えていることが考えられる。

本実験観察においては捕捉される刺激は仮現運動する赤丸と同時に提示されるが、その提示位置は進行方向寄りにずれて提示されており、そのために捕捉刺激が運動対象に取り残されることなく二つの対象に挟まれて円環運動する様子が観察される。これはフラッシュラグによってフラッシュ提示された刺激が後ろに取り残されることを考えるとその遅れを相殺する働きがあるものと考えられる。現に捕捉刺激を仮現運動刺激と同位置に提示した場合は仮現運動する赤およびその残像の後方に後を追うように円環運動する様子が観察される。これは円環上に配置された16個の黒丸を排除して仮現運動刺激に同期して同じ位置

に捕捉刺激を提示した時は捕捉刺激が後を引いて円環仮現運動する刺激の後をついていくような形で捕捉されることは先に述べたとおりである。また赤丸の後方に同時提示されると捕捉刺激は若干取り残されたような動きが観察される。

以上に述べた実験観察から、影の運動による捕捉現象との間に違いはあるものの、条件設定が適切であるならば、従来の古典的仮現運動によっても捕捉現象が生じることは明らかである。

6. 実験観察 4 : 影の運動および仮現運動による捕捉現象が同時に観察される条件

影の運動による捕捉現象においては、反対方向に円環運動する二つの影の運動に色が異なる捕捉刺激が同時に反対方向へ捕捉されることを報告したが(中村・川部・藤木, 2022b)、影の運動による捕捉現象とそれとは反対方向へ動く仮現運動による捕捉現象が同時に観察されるか否かについて検討するために Fig.5 に示すような刺激を作成し、観察した。すなわち図では最上段に提示された青丸が黒丸によって誘導された時計回りの影の運動に同期して円環の上下左右の 4 カ所に提示され、反時計回りにする赤丸の仮現運動に同期してその軌道の進行方向へ少しずれた位置で上下左右の 4 カ所に小さい黄丸が提示された。

観察の結果、これまで同様各刺激の提示時間を 67ms とした条件下で、時計回りに円環運動する影の運動に捕捉された青丸が同方向の円環運動を示し、それと同時に反時計回りに仮現運動する赤丸に捕捉されて黄丸が円環運動する様子が観察された。仮現運動する赤丸は残像が残るため、黄丸を前後で挟んで円環運動している様子が観察される場合もあるが、赤丸と黄丸の位置関係は定かではなく、

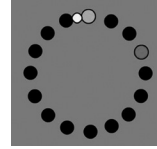


Fig.5 実験観察 4 における刺激布置。黒丸は時計回りの影の運動を誘導し、円環の最上段に提示されている青丸が影の運動に同期して円環上の 4 地点に提示され、影の運動によって捕捉される。また右上の赤丸は 16 個の黒丸の上を反時計回りに円環仮現運動を示し、その動きに同期して提示される小さい丸が仮現運動によって捕捉されるのであるが、この 2 種類の捕捉現象が同時に観察される。

観察者によっては赤丸の後ろを黄丸が追随するように見える場合もあった。(※注 2)

7. 結論

このように影の運動によって捕捉された円環運動と仮現運動によって捕捉された円環運動が同時に観察されることから、両者は energy-based motion detector によって知覚された運動現象に捕捉されるという同じメカニズムによって説明できることが示唆される。

※注 1 : 液晶モニターにおいては一つの画面から次の画面が生じるまでの時間間隔はほぼ 0ms となるため、仮現運動の条件設定で用いられる ISI (前の刺激が消失して次の刺激が提示されるまでの時間) ではなく、SOA (前の刺激が提示されて次の刺激が提示されるまでの時間間隔) をここでは時間設定条件の指標として用いる。

※注 2 : この錯視現象は 2021 年度第 13 回錯視・錯聴コンテストにおいて入賞した。
(<http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/sakkon/sakkon2021.html>)

引用文献

- Adelson, E.H. and Bergen, J.R. (1985). Spatiotemporal energy models for the perception of motion, *J. Opt. Soc. Am. A*, **2**(2), 284-299.

- Hayashi, K. (1990). The new apparent movement: v-movement. *Gestalt Theory*, **12**, 3-32.
- Mather, G. (2009). *Foundations of Sensation and Perception*. 2nd ed. Psychology Press.
- 中村浩・川部大輔・藤木晶子 (2022b) . 「影の運動による色の捕捉現象」の紹介, 解釈, および実験観察によるその検証. *北星論集 (短)*. **第19巻 (通巻第57号)**, 47-56.
- Newsome, W. T., Mikami, A. & Wurtz, R.H. (1986). Motion selectivity in macaque visual cortex. III. Psychophysics and physiology of apparent motion. *Journal of Neurophysiology*, **55**, 1340-1351.
- Nijhawan, R. (1994). Motion extrapolation in catching. *Nature*, **370**, 256-257.
- Schmolesky, M.T., Wang, Y., Hanes, D. P., Thompson, K. G., Leutgeb, S., Schall, J. D., & Leventhol, A.G. (1998). Signal Timing Across the Macaque Visual System. *Journal of Neurophysiology*, **79(6)**, 3272-3278.
- 蘆田宏 (1994) .2種類の運動残効と運動視機構. *心理学評論*, **37(2)**, 141-163.
- Levitt, J. B., Kiper, D. C., & Movshon, J. A. (1994). Receptive fields and functional architecture of macaque V2. *Journal of Neurophysiology*, **71**, 2517-2542.
- Smith, A. T. and Ledgeway, T. (2001) .Motion Detection in Human Vision: A Unifying Approach Based on Energy and Features. *Biological Sciences*, **268(1479)**, 1889-1899.

