

フラッシュと運動の時間的關係が フラッシュラグ効果に及ぼす影響

井上真依¹⁾・高橋伸子²⁾

Effects of the flash timing on the flash lag effect Mai INOUE and Nobuko TAKAHASHI

連続的に運動する刺激と一直線上の位置に点滅刺激を呈示すると、運動刺激が点滅刺激よりも運動方向にずれて知覚される現象を、フラッシュラグ効果 (flash lag Effect) という (Nijhawan, 1994)。本研究では、時計回り・反時計回り・反転の3条件の回転運動方向を用いて、点滅前の運動時間と点滅後の運動時間を変化させることにより、点滅と運動の時間的關係がフラッシュラグ効果に及ぼす影響について検討した。その結果、(1) どの回転条件においても、ずれ量は点滅後時間の影響を受け、点滅後時間が長い場合には、ずれ量も増大すること、(2) 点滅後時間が長い場合には、点滅前時間もずれ量に影響することが明らかになった。また、(3) 点滅位置による効果も認められ、斜めに比べて垂直の点滅位置からのずれ量が少ないことが明らかになった。

Keywords : フラッシュラグ効果, フラッシュGrab効果, 点滅後時間, 点滅位置
flash lag effect, flash grab effect, time following the flash, flash position

1. はじめに

フラッシュラグ効果 (flash lag effect) とは、連続的に運動する刺激と一直線上の位置に点滅刺激を呈示すると、運動刺激が点滅刺激よりも運動方向にずれて知覚される現象である (Nijhawan, 1994)。

Nijhawan (1994) は、中点を中心に一定速度で回転する1本のスリット (長さ 3.9°) の中央部の 1.3° は常に呈示し、両側の外側 1.3° の領域は 5ms のみ点滅させ、回転速度が点滅刺激からの物理的な呈示位置からのずれ量にどのような影響を及ぼすのか検討した。図1は Nijhawan (1994) が用いた刺激例で、回転速度は 15rpm・25rpm・35rpm・45rpm の4条件であった。実験の結果、回転速度が速くなると点滅刺激のずれ量は大きくなることが示された。また、点滅刺激の空間的ずれ量を時間的なずれに換算すると約 82ms であることが報告された。

円の回転方向が反転する場合には、運動の軌道が実際より短く知覚される現象が知られており (Cavanagh & Anstis, 2013)、軌道の終点で点滅させると、点滅間の軌道が短縮されて知覚される。この現象をフラッシュGrab効果 (flash grab effect) という。Cavanagh & Anstis (2013) は反転する回転運動におけるフラッシュGrab効果を測定し、回転角度 90° の場合、それぞれの終点において約 15° ずれが生じ、移動した軌道が約 30° 短縮されて知覚されることを示した。この空間的なずれ量を、時間的なずれに換算すると約 111ms になると考えられる。Cavanagh & Anstis (2013) は、さらに運動刺激呈示中の点滅タイミングを変化させてずれ量を測定した結果、点滅後の運動時間が短いとずれ量が減少し、点滅と同時に運動刺激呈示が終了する条件ではずれが生じないことを示した。Cavanagh &

※本研究は愛知淑徳大学健康医療科学部視覚科学専攻研究倫理委員会研究倫理審査の承認を得て実施された (承認番号 健視倫理 2021-17 号)。

- 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

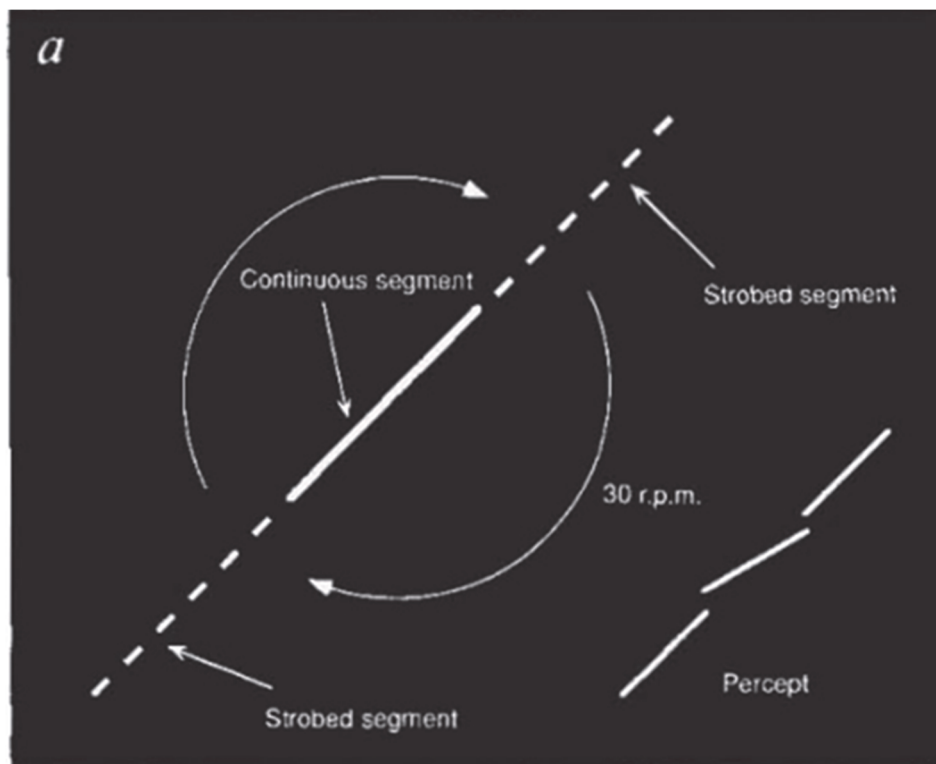


図1 Nijhawan (1994)の実験で使用した刺激の例

Anstis (2013) の運動刺激呈示時間は一定 (660ms) であったため、この結果は点滅前の運動時間が長いとずれ量が減少し、660ms でずれが生じないとも考えられる。点滅前の運動時間が0ms のとき、すなわち、2つの刺激の一方の運動開始と、もう一方の点滅が同時である場合のフラッシュラグ効果は、フローリッヒ効果 (Fröhlich effect) として古くから知られており、一定方向に運動している刺激が運動方向にずれて知覚される現象である (Fröhlich,1923)。

Cavanagh & Anstis (2013) は、運動方向が反転する瞬間に軌道の終点上で点滅刺激が呈示されると、実際には回転していない点滅刺激が、円環の反転運動方向にずれて知覚されるフラッシュラグ効果について示したが、この効果をフラッシュラグ効果と比較するため、実験1では、回転運動方向として反転運動条件に運動方向が反転しない時計回り・反時計回りの条件を加え、回転方向の違いにより点滅刺激のずれ量に違いがあるのか検討する。また、Cavanagh & Anstis (2013) は、回転運動中の点滅のタイミングを変化させることにより、点滅によるずれ量が点滅後の時間に影響されていることを示したが、Cavanagh & Anstis (2013) の実験では運動刺激の呈示時間が固定されていたため、点滅前の時間により点滅後の時間も変化した。そこで実験2では、点滅前の時間と点滅後の時間を独立して変化させ、点滅と運動の時間的關係がずれ量に及ぼす効果について検討する。

2. 実験1 運動方向がずれ量に及ぼす影響

2.1 目的

Cavanagh & Anstis (2013) は、フラッシュラグ効果により軌道の短縮が認められることを報告した。そこで実験1では、反転に加えて、時計回り・反時計回りの反転しない条件を追加し、時計回り・反時計回り・反転の3条件の回転方向における知覚された2つの点滅領域の物理的な点滅位置からのずれと知覚された移動量を測定し、フラッシュラグ効果における軌道の短縮とフラッシュラグ効果によるずれとの関係について検討する。

2.2 方法

i 被験者

視力または矯正視力が正常な女子大学生 4 名 (平均年齢 21.5 ± 0.58 歳)とした。

ii 装置・刺激

刺激はリフレッシュレート 60Hz, $1,920 \times 1,200$ pixel の解像度の液晶ディスプレイ (EIZO, FlexScanSX2462W) に, PsychoPy3.0.3 によって表示した。視距離は 57.3cm であった。

標準刺激は Cavanagh & Anstis (2013) と同様の回転する円環であり, 外円の直径が 10° , 内円の直径が 7.5° , 点滅領域の幅は 2.5° であった。回転方向は時計回り・反時計回り・反転の 3 条件で, 回転速度はすべての条件において 1 秒あたり 135° (22.5 rpm) であった。円環刺激は, 図 2 に示すように白色 (55.91cd/m^2) と灰色 (22.02cd/m^2) の 2 領域の半円により構成され, 点滅領域は緑 (25.20cd/m^2) で白色と灰色の半円の境界線上に配置した。円環刺激の白色と灰色のコントラストは 43% で, 回転方向が時計回り・反時計回り条件では連続して一方向に回転し, 反転条件では 660ms (90° 回転) ごとに回転の向きを反転させた。点滅刺激は 660ms ごとに白色と灰色の半円の境界線が 90° (上下・垂直) と 180° (左右・水平) を通過する前後 25ms , 合わせて 50ms 呈示され, 反転条件では反転するタイミングと一致した。比較刺激は標準刺激と同じ円環刺激で, マウスの操作により回転するものであった。標準刺激と比較刺激は図 3 に示すように左右に並べて呈示した。

iii 実験条件

円環刺激の回転方向について時計・反時計・反転の 3 条件, 標準刺激呈示位置について右・左の 2 条件, 回答方向について上 (90°)・左 (180°) の 2 条件を設定した。

iv 手続き

被験者は教示文を読み, マウスをクリックして実験を開始した。各試行において, 上 (90°) 方向と左 (180°) 方向の教示文と反応画面が続けて呈示された。上方向・左方向の反応画面では, 左右のどちらかにランダムに標準刺激が呈示され, もう一方には被験者が調節する比較刺激が呈示された。1 試行の中で, 上方向と左方向の反応画面では同一の刺激呈示位置・回転条件で標準刺激が呈示された。被験者には標準刺激の 2 つの点滅領域の見えの傾きと同じ傾きになるように, マウスを動かすことにより比較刺激の円環刺激の傾きを調整させ, 2 つの点滅領域の傾きの角度を求めた。回転 3 条件, 刺激呈示

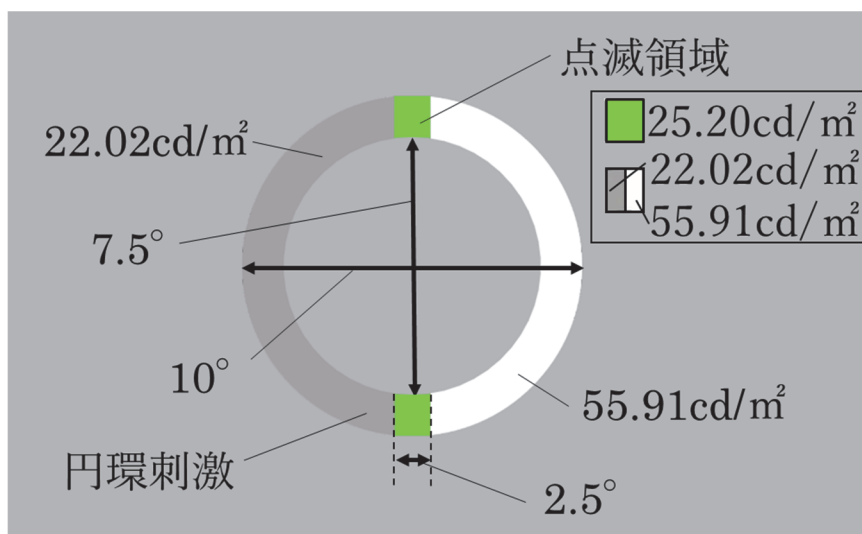


図 2 実験 1 で使用した刺激の例

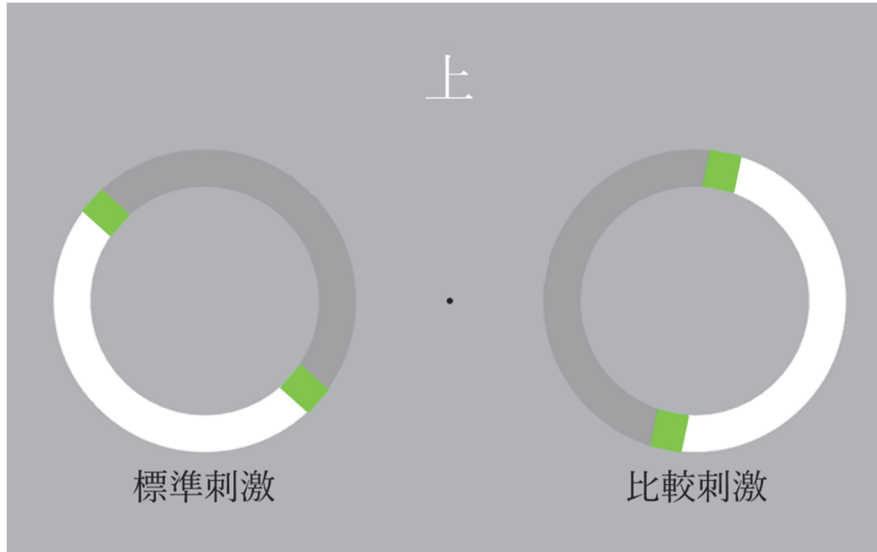


図3 実験1で使した刺激の配置例(標準刺激呈示位置が左・回答方向が上するとき)

位置2条件, 回答方向2条件の計12条件を15回繰り返して, 上方向と左方向について反応するまでを合わせて1試行として計90試行を行った。

2.3 結果と考察

2.3.1 知覚された移動量

同一の回転条件・刺激提示位置条件で呈示された刺激の, 回答方向条件の90°で回答した角度から180°で回答した角度を引くことにより点滅間の知覚された移動量を算出した。4名の被験者の知覚された移動量について回転×刺激呈示位置の2要因分散分析を行った結果, 回転の主効果が認められた ($F(2,359) = 172.06, p < .001$)。図4に4名の被験者の回転条件ごとの知覚された移動量を示す。Bonferroni法による多重比較の結果, 時計・反時計・反転の順に知覚された移動量が有意に短くなることがわかった(時計と反時計間は $p < .05$, 時計・反時計と反転間は $p < .001$)。反転条件が時計・反時計より有意に短いのは, 反転においては点滅後の運動方向が反対方向であるため, ずれ量が2倍になったためであると考えられる。

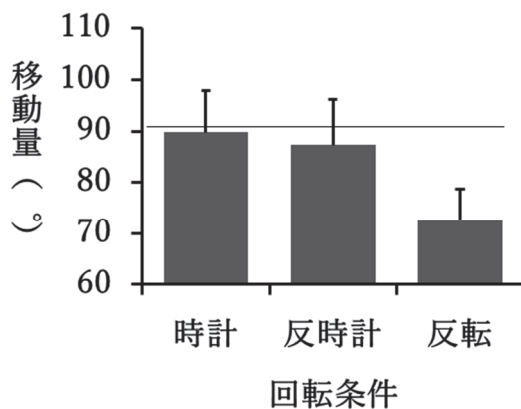


図4 実験1における回転条件ごとの知覚された移動量(エラーバーは標準偏差)

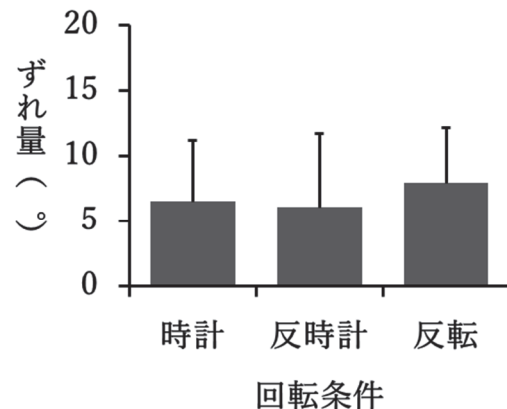


図5 実験1における回転条件ごとのずれ量(エラーバーは標準偏差)

2.3.2 物理的な点滅位置からのずれ量

各試行で回答した角度から物理的な点滅位置を引くことによりずれ量を求めた。点滅後の運動方向へのずれ量を+の値、反対方向へのずれ量を-の値とした。4名の被験者の物理的な点滅位置からのずれ量について回転×刺激呈示位置×回答方向の3要因分散分析を行った結果、回転の主効果 ($F(2,719) = 9.80, p < .001$)、回答方向の主効果 ($F(1,719) = 6.83, p < .01$) および回転と回答方向の交互作用 ($F(2,719) = 4.12, p < .05$) が認められた。

図5に回転条件ごとのずれ量を示した。Bonferroni法による多重比較の結果、時計・反時計条件よりも反転条件でずれ量が有意に大きくなることがわかった(いずれも $p < .01$)。時計と反時計間に有意差は認められなかった。空間的なずれ量から時間的なずれ量を算出したところ平均約51msで、時計回りのとき約48ms、反時計回りのとき約45ms、反転のとき約58msであった。反転条件のときの時間的なずれ量が時計・反時計条件に比べて約10ms長いことがわかる。時間的なずれ量については、フラッシュラグ効果を測定したNijhawan(1994)では約82ms、フラッシュラグ効果を測定したCavanagh & Anstis(2013)では約111msと考えられるため、反転運動刺激の方が時間的なずれ量が長いと考えられ、実験1はこれらの結果を支持する。先行研究に比べて時間的なずれ量が小さくなったが、Cavanagh & Anstis(2013)は、知覚された点滅刺激の位置が垂直になるよう回転運動刺激の回転角度を調整してずれ量を求めたが、実験1では点滅刺激の回転角度を求めたため、測定方法の違いによる可能性がある。

図6に回答方向条件ごとのずれ量を示した。分散分析の結果から90°の方が180°より有意にずれ量が大きいことが示された。Cavanagh & Anstis(2013)の実験1aでは垂直方向の点滅刺激の呈示により平均約15°、実験2では水平方向の点滅刺激の呈示により平均約12°のずれ量が報告されているため、垂直(90°)の方が水平(180°)よりもずれ量が大きい可能性があり、実験1はこの結果と同様の傾向であると解釈できる。

回転条件と回答方向条件の交互作用が認められたため、図7に回答方向条件別の回転条件ごとのずれ量を示した。単純主効果検定による多重比較の結果、時計・反時計条件では回答方向によるずれ量に有意差が認められなかったが、反時計回りで90°の方が180°より有意にずれ量が大きいことがわかった。被験者ごとに分析した結果、反時計回りで90°の方が180°より有意にずれ量が大きいのは1名のみで、他3名には有意差が認められなかった。1名の被験者の反時計・180°条件のずれ量が極端に少なかったことが全体の結果に影響していることから、一般的な傾向とは言えないと考えられる。

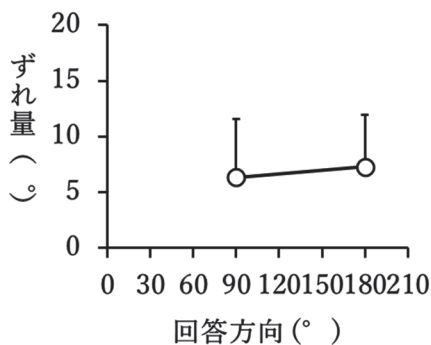


図6 実験1における回答方向条件ごとのずれ量(エラーバーは標準偏差)

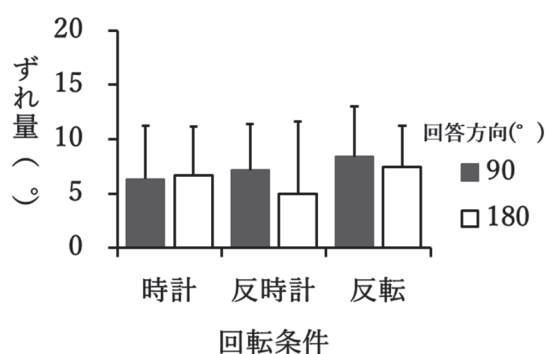


図7 実験1における回答方向条件別の回転条件ごとのずれ量(エラーバーは標準偏差)

3. 実験2 フラッシュの提示タイミングがずれ量に及ぼす影響

3.1 目的

Cavanagh & Anstis (2013) の研究から、ずれ量が点滅後の運動時間に影響されていることが報告されたが、提示時間が一定であったため、点滅後時間と点滅前時間が連動していた。そこで実験2では、刺激の提示時間を変化させ、点滅前の運動時間と点滅後の運動時間を独立に変化させ、点滅と運動の時間的關係がフラッシュラグ効果によるずれ量に及ぼす影響について検討する。

3.2 方法

i 被験者

視力または矯正視力が正常な女子大学生4名(平均年齢 21.75±0.50 歳)とした。

ii 装置・刺激

刺激は、実験1と同じ回転する円環刺激を用いた。点滅前時間は 0ms・100ms・300ms・600ms の4条件、点滅後時間条件は 0ms・50ms・100ms・150ms・300ms・600ms の6条件とし、回転方向は時計回り・反時計回り・反転で、いずれの回転条件でも点滅前時間と点滅後時間への影響をなくするため、点滅時、回転は停止させた。刺激の提示時間は点滅前時間と点滅後時間と点滅時間(50ms)の合計時間とした。また、点滅領域の提示位置を点滅角度条件とし、90°(垂直)、180°(水平)に135°の条件を加えた3条件とした。また、実験2では標準刺激の提示後に比較刺激の反応画面を提示した。

iii 実験条件

回転は、時計・反時計・反転の3条件、点滅前時間は 0ms・100ms・300ms・600ms の4条件、点滅後時間条件は 0ms・50ms・100ms・150ms・300ms・600ms の6条件、点滅角度条件は 90°(垂直)、135°、180°(水平)の3条件を設定した。

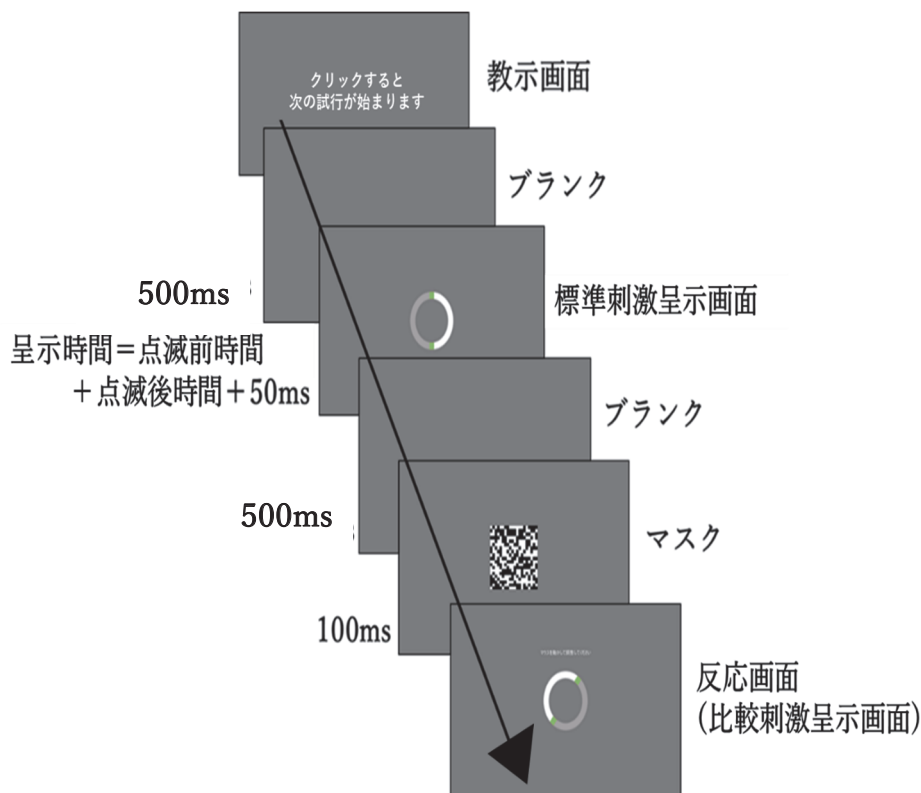


図8 実験2の流れ

iv 手続き

実験 2 の流れを図 8 に示した。被験者は教示文を読み、準備ができたらマウスをクリックして実験を開始した。各試行において、500ms のブランク画面、標準刺激呈示画面、500ms のブランク画面、100ms のランダムドットマスク画面、反応画面（比較刺激呈示画面）の順に呈示された。反応画面では、被験者には標準刺激の 2 つの点滅領域の見える傾きと同じ傾きになるように、マウスを動かすことにより比較刺激の円環刺激の傾きを調整させ、物理的な点滅位置からのずれ量を求めた。回転 3 条件、点滅前時間 4 条件、点滅後時間 6 条件、点滅角度 3 条件の合計 216 条件を 8 回繰り返す、計 1728 試行を行った。

3.3 結果と考察

4 名の被験者の物理的な点滅位置からのずれ量に対して、回転×点滅前時間×点滅後時間×点滅角度の 4 要因分散分析を行った。回転の主効果 ($F(2,6911) = 7.12, p < .01$) が認められたため、図 9 に回転条件ごとのずれ量を示した。Bonferroni 法による多重比較の結果、反転が反時計よりも有意に物理的な点滅位置からのずれ量が少ないことがわかった ($p < .01$)。空間的なずれ量から時間的なずれ量を算出したところ、平均約 41ms で、時計回りのとき約 41ms、反時計回りのとき約 45ms、反転のとき約 38ms であった。反時計条件の時間的なずれ量が反転条件に比べて約 7ms 長い結果であり、実験 1 の反転条件が時計・反時計条件に比べて約 10ms 長い結果とは異なる。

点滅後時間の主効果 ($F(5,6911) = 146.43, p < .001$) が認められたため、図 10 に点滅後時間条件ごとのずれ量を示した。Bonferroni 法による多重比較の結果、0ms・50ms・100ms の順に、物理的な点滅位置からのずれ量が有意に大きくなった (0ms と 50ms ではすべて $p < .001$, 100ms と 150ms 間は $p < .05$, 100ms と 300ms 間は $p < .01$, 100ms と 600ms 間では $p < .001$)。しかし、150ms 以降では有意な差は認められなかった。このことから、点滅後時間が 150ms 未満のときは点滅後時間が長くなるとずれ量も増大するが、150ms 以上になるとずれ量への影響は一定になると考えられる。空間的なずれ量を時間的なずれに換算すると、点滅後時間 0ms では時間的なずれ量は 2ms, 150ms では約 54ms, 600ms では約 56ms であった。

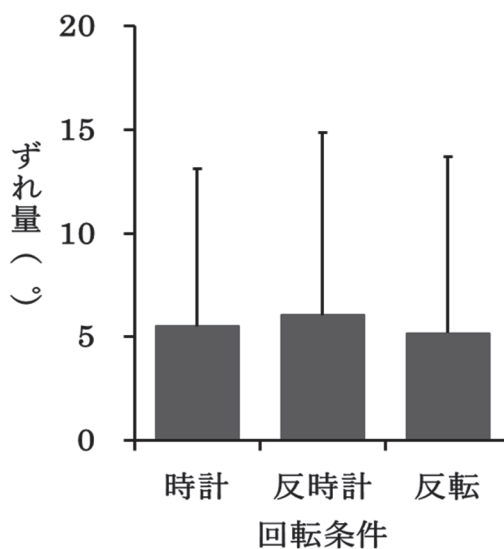


図 9 実験 2 における回転条件ごとのずれ量 (エラーバーは標準偏差)

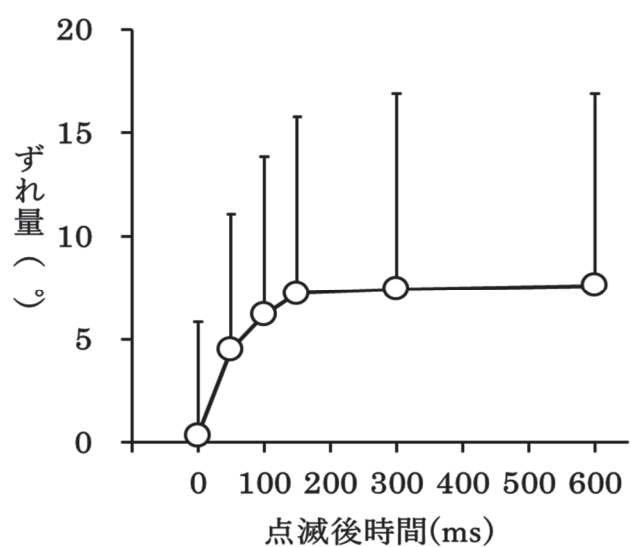


図 10 実験 2 における点滅後時間条件ごとのずれ量 (エラーバーは標準偏差)

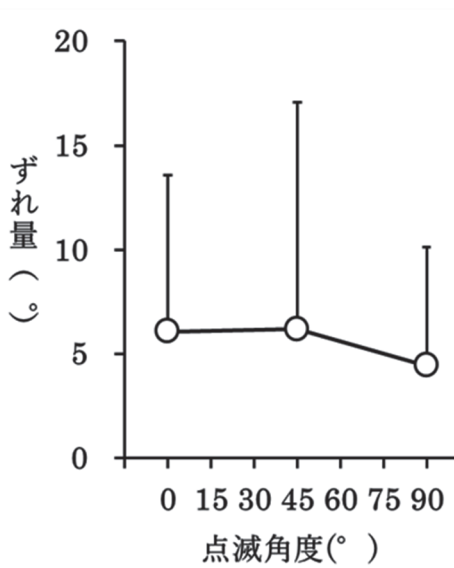


図 11 実験 2 における点滅角度条件ごとのずれ量(エラーバーは標準偏差)

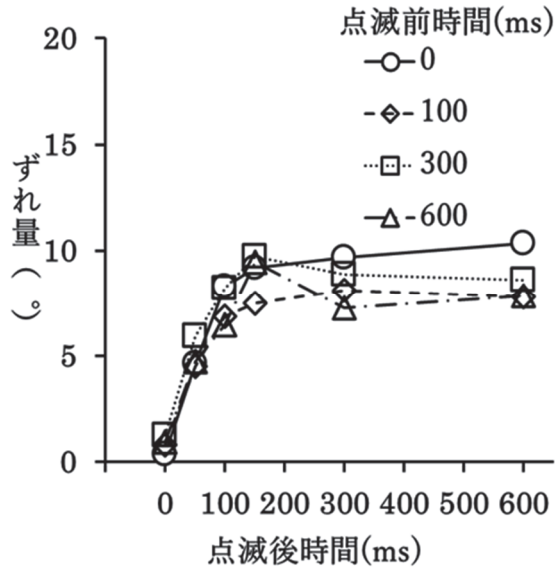


図 12 実験 2 における点滅前時間・点滅後時間条件ごとのずれ量 (エラーバーは標準偏差)

点滅角度の主効果 ($F(2,6911) = 34.90, p < .001$) が認められたため、図 11 に点滅角度条件ごとのずれ量を示した。Bonferroni 法による多重比較の結果、90°条件のとき物理的な点滅位置からのずれ量が、他の条件に比べて有意に小さくなり (すべて $p < .001$)、135°と 180°の間には有意差が認められないことがわかった。このため、点滅角度が垂直のとき水平や斜めよりも、ずれ量が小さくなったと考えられるが、実験 1 では水平 (180°) が垂直 (90°) よりもずれ量が小さくなっているため、2 つの条件間で点滅角度効果については一貫した傾向は認められないことがわかった。

点滅前時間の主効果は認められなかったが、点滅前時間と点滅後時間の交互作用 ($F(15,6911) = 2.04, p < .01$) が認められたため、図 12 に点滅前時間・点滅後時間別のずれ量を示した。単純主効果検定による多重比較の結果、点滅後時間が 600ms では点滅前時間 0ms の条件のずれ量が他の条件に比べて有意に大きいことが認められた ($p < .05$)。しかし、点滅後時間が 600ms より短いすべての条件で、点滅前条件間に有意な差は認められず、点滅前時間の効果が限定的であることが示唆された。

4. 総合考察

知覚された移動量に関しては、実験 1 から回転条件で有意な差が認められ、一方向に回転する時計・反時計条件の軌道に比べ、反転条件の軌道が短いことが示された。この結果は、Cavanagh & Anstis (2013) によって報告された反転条件で運動軌道が短縮して知覚されるフラッシュラグ効果によるものと考えられ、フラッシュラグ効果による二方向の運動方向へのずれが加算されて生じたものと考えられる。フラッシュラグ効果によるずれは、時計・反時計条件ともに+方向へのずれ、すなわち、運動方向へのずれで、約 6°のずれ量が測定された。時計・反時計条件は、点滅後の運動方向が点滅前と同じ一定の方向であり、上下 (垂直) と左右 (水平) のどちらの位置での点滅においても同じ運動方向に同程度のずれが生じたため、知覚された移動量は実際の移動量である 90°に近い約 88°であったが、反転条件では、点滅の前後で運動方向が反対の方向であるため、点滅により運動方向へのずれ、すなわち、+方向への約 8°のずれ量が測定されたが、時計・反時計条件とは異なり、反転位置での点滅はお互いに近づく方向に同量のずれを生じたため、知覚された移動量は実際の移動量よりも約 17°短縮し

た約 73° となったと考えられる。このことから、フラッシュラグ効果による軌道の短縮量はフラッシュラグ効果によるずれ量の約 2 倍になったと解釈できる。

ずれ量については実験 1・実験 2 より、回転条件による有意差が認められ、実験 1 では反転のとき物理的な点滅位置からのずれ量が有意に大きくなった。一方、実験 2 では、反転が反時計よりも有意にずれ量が少なくなり、実験 1 とは異なる傾向であった。そのため、ずれ量に対する回転方向の一貫した影響は認められず、時計・反時計回りの回転によるずれ量と反転によるずれ量に差はないことが示唆された。

時間的なずれ量については、実験 1 の結果、物理的な点滅位置からのずれ量の平均は点滅後の方向に約 7° であったため、点滅刺激のずれ量を回転速度で割った時間的なずれは平均約 51ms であった。一方、実験 2 では点滅後時間が 150ms より短い条件ではずれ量が少なかったため、実験全体での時間的なずれ量の平均は約 41ms であったが、点滅後時間が 150ms 以上の条件では平均約 55ms、点滅後時間が実験 1 (660ms) と同等の 600ms の条件でも平均約 56ms であり、実験 1 と同等の時間的なずれ量であったと考えられる。

点滅位置によるずれ量の違いについては実験 1 の方向条件に有意差が認められ、水平 (180°) のとき垂直 (90°) より有意にずれ量が小さくなり、Cavanagh & Anstis (2013) を支持する結果と考えられたが、実験 2 の点滅角度条件においては、垂直 (90°) が水平 (180°)・斜め (135°) に比べて有意にずれ量が小さくなり、一貫した傾向は認められなかった。また、斜めの条件で垂直の条件よりずれ量が大きくなったが、斜めの条件と水平の条件との間に有意差が認められなかったため、斜めの条件が水平・垂直の条件に比べてずれ量が多いとは言えない結果となった。

フラッシュと運動の時間的關係の効果については実験 2 の結果から、点滅後時間が長くなると有意にずれ量が増える傾向が認められた。Cavanagh & Anstis (2013) による運動刺激の呈示時間が一定で点滅タイミングが異なる実験から、点滅後時間が長くなるとずれ量が増大する、または点滅前時間が短くなるとずれ量が増大することが示されたが、点滅後時間と点滅前時間を独立に操作した実験 2 の結果、150ms までは点滅後時間が長くなるとずれ量が増大すること、点滅前時間の効果は点滅後時間が 600ms より短い条件では認められないが、点滅後時間が 600ms では点滅前時間が短い (0ms) ときずれ量が増大することが示された。これらの結果は、ずれ量に対して点滅後時間の影響の方が大きく、点滅後時間が長くなるとずれ量が増大するが、点滅後時間が長い場合には点滅前時間も影響し、点滅前時間が短いとずれ量が増大することを示し、フラッシュラグ効果においてフラッシュと運動の時間的關係により運動方向へのずれ量が異なることを示す。

引用文献

- Cavanagh, P., & Anstis, S. (2013). The flash grab effect. *Vision Research*, 91, 8–20.
- Fröhlich, F. W. (1924). Über die Messung der Empfindungszeit. *Pflügers Archiv für die Gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, 202 (1), 566–572.
- Müsseler, J., Stork, S., & Kerzel, D. (2002). Comparing mislocalizations with moving stimuli: The Fröhlich effect, the flash-lag, and representational momentum. *Visual Cognition*, 9 (1/2), 120–138.
- Nijhawan, R. (1994). Motion extrapolation in catching. *Nature*, 370, 256–257.

(2022年 2月 7日 受付)
(2022年 3月 30日 受理)