

## フラッシュラグ効果における見かけの速度の影響

岡田美鈴<sup>1)</sup>・高橋伸子<sup>2)</sup>

### Effects of apparent velocity on Flash lag effect

Misuzu OKADA and Nobuko TAKAHASHI

フラッシュラグ効果とは、連続的に運動する光点と隣り合う位置で別の光点が点滅すると、実際には2つの光点が隣り合う位置にあるにもかかわらず、運動する光点が運動方向にずれて知覚される現象で、物理的に運動刺激の速度を速くするとずれ量が大きくなることが知られている(Nijhawan, 1994)。本研究では、フラッシュラグ効果における速度の影響が見かけの速度においても生じるのかを明らかにするため、ターゲット速度・背景速度・背景運動方向を変化させ、ターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件と、知覚的に等しく物理的に異なる条件のずれ量を比較した。実験の結果、フラッシュラグ効果によるずれ量には、ターゲットの物理的速度による影響が大きく、ターゲットの見かけの速度にかかわらず、ターゲットと逆方向の背景の物理的速度や、背景との相対速度がずれ量に抑制的な影響を及ぼすことが明らかになった。

**Keywords** : フラッシュラグ効果, 見かけの速度, 相対速度  
flash lag effect, apparent velocity, relative motion

#### 1. はじめに

フラッシュラグ効果とは、連続的に運動する光点と隣り合う位置で別の光点が点滅すると、実際には2つの光点が隣り合う位置にあるにもかかわらず、運動する光点が運動方向にずれた位置に知覚される現象である(Nijhawan, 1994)。Nijhawan (1994) によれば、視覚対象が網膜に投影されてから脳で処理されて知覚されるまでに100msの伝達遅延があるために、その伝達遅延分、時間的に遅れた世界しか認知できないが、運動している刺激の処理において、遅れを相殺するようなつじつま合わせが行われるために、運動する光点と運動を伴わない光点との間の位置のずれが知覚されると考えられる。Nijhawan (1994)は、回転する運動刺激と点滅刺激を用いて運動刺激の速度とずれ量の関係を検討し、速度が速くなるにつれて、ずれ量が増大することを示した。フラッシュした静止点滅刺激の知覚の遅れは、運動刺激の速度が増加すると大きくなり、逆に運動刺激の速度が減少すると、点滅刺激の知覚の遅れも小さくなる。点滅刺激のずれ量を時間的なずれに換算すると約82msであることがわかった。Nijhawan (1994)によれば、運動対象は脳内で補正された位置にずれて知覚されているのに対し、点滅刺激は一瞬だけ出現するために、外挿することができず、出現した位置のまま知覚されるという運動外挿モデルによってフラッシュラグ効果が説明できる。

このようにフラッシュラグ効果は、運動刺激と静止している点滅刺激との時間ずれにより説明されており、物理的に運動刺激の速度を変化させ、位置ずれを測定すると、運動刺激の速度が速いほど、位

---

※ 本研究は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研究倫理委員会の研究倫理審査の承認を得て実施された(健視倫理 2021-12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

置ずれが大きくなると考えられる。物理的速度が増加すると見かけの速度も増加するが、見かけの速度は周辺や背景の運動との相対運動によっても変化する。そこで本研究では、フラッシュラグ効果によるずれが物理的な速度によるものなのか、見かけの速度によるものなのかを調べるために、背景刺激の運動方向や背景速度が異なるターゲットの見かけの速度を測定し、ターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件と、ターゲット速度が知覚的に等しく物理的に異なる条件を設定し、それぞれの速度条件でフラッシュラグ効果によるずれ量を測定して、フラッシュラグ効果における物理的速度の影響と見かけの速度の影響について検討する。

## 2. 準備実験：マグニチュード推定法による見かけの速度の測定

### 2.1. 目的

フラッシュラグ効果におけるターゲットの物理的な速度と見かけの速度の影響を比較するために、マグニチュード推定法を用いてターゲット速度・背景速度・背景運動方向を変化させてターゲットの見かけの速度を測定し、実験のためのターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件と、知覚的に等しく、物理的に異なる条件を設定することを目的とした。

### 2.2. 方法

#### i 被験者

視力または矯正視力が正常で、矯正視力 1.0 以上の女子大学生 4 名 (21.75±0.43 歳)。

#### ii 装置・刺激

刺激作成に Psychopy3.03 を用いた。刺激は解像度 1920×1080pixel, リフレッシュレート 60Hz の液晶モニター (DELL AW2518 HF) に呈示され、57cm の視距離で観察させた。実験で使用した刺激の模式図を図 1 に示す。標準刺激・比較刺激は、灰色の背景 (20cd/m<sup>2</sup>) 上の白黒の縞の背景刺激 (白: 50cd/m<sup>2</sup>, 黒: 5cd/m<sup>2</sup>), 赤色のターゲット (5cd/m<sup>2</sup>) で構成された。背景刺激は Murai & Murakami (2016)を参考にして作成した縦 20°, 横 2.5°で 8cpd の矩形波縞刺激であり、ターゲットの大きさは縦 1.25°, 横 2.5°で背景刺激と重ねて呈示された。標準刺激のターゲット速度は 15°/s, 背景速度は 15°/s で背景運動方向をターゲットと同方向とした。比較刺激はターゲット速度 (5°/s・10°/s・15°/s・20°/s・25°/s) 5 条件, 背景速度 (-25°/s・-20°/s・-15°/s・-10°/s・-5°/s・0°/s・5°/s・10°/s・15°/s・20°/s・25°/s) 11 条件で、背景運動方向はターゲットと同方向を+, ターゲットと逆方向を-とし、合計 55 条件を設定した。

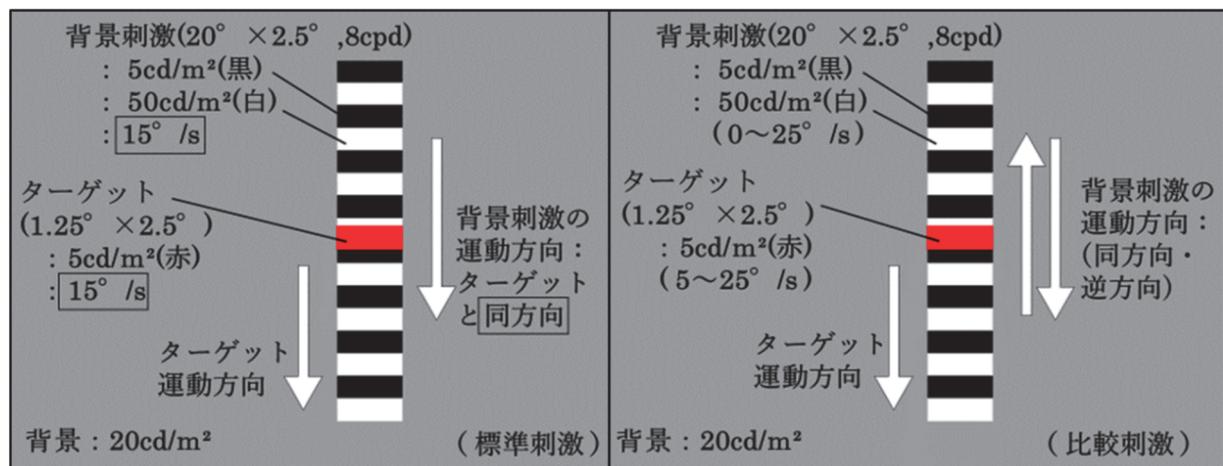


図 1 準備実験で使用した刺激の模式図 (左: 標準刺激 右: 比較刺激)

iii 手続き

被験者は実験開始前に実験についての説明を受けた上で研究参加の同意を得た。実験は暗室で行い、実験開始後、教示文が呈示され、マウスのクリックにより刺激呈示が開始された。各試行においては、標準刺激が 1600ms 呈示された後に比較刺激が呈示され、被験者はマグニチュード推定法により標準刺激を 100 としたときの、比較刺激の見かけの速度を回答した。

2.3. 結果

図 2 に背景運動方向がターゲットの運動方向と同方向、図 3 に逆方向の条件における 4 名の被験者のターゲット速度と見かけの速度の平均値の関係および背景速度別の回帰直線と回帰式を示す。ターゲット速度・見かけの速度の両方を対数変換し、回帰直線・決定係数 ( $R^2$ ) を算出したが、決定係数がローデータとほとんど変わりがなかったため ( $R^2=0.90\sim 0.98$ )、ローデータの回帰直線を用いた。図 2、図 3 から、どの背景速度条件においても、ターゲット速度が増加すると見かけの速度も増加する傾向がみられ、正の相関があることが読み取れた。背景速度条件ごとにターゲット速度と見かけの速度

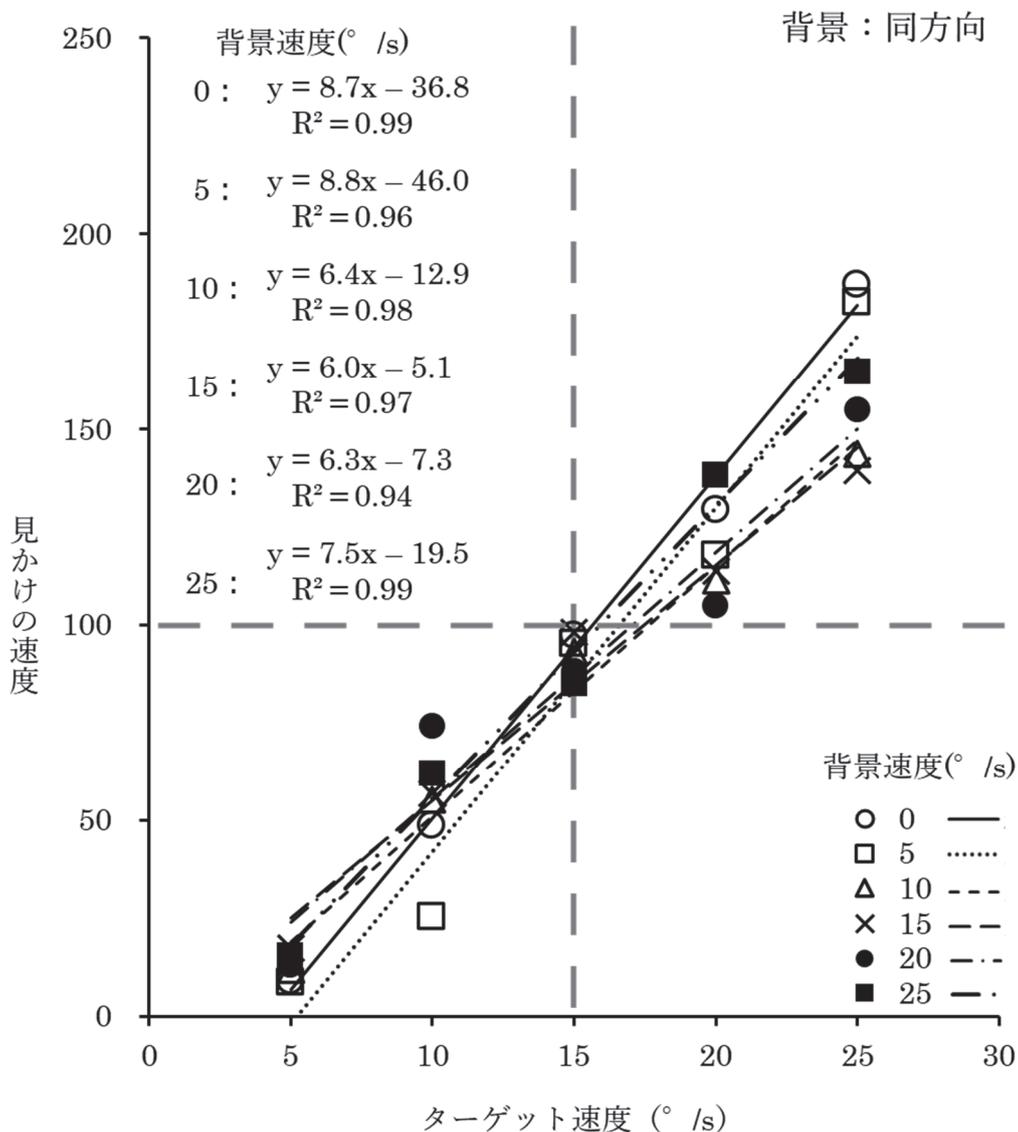


図 2 背景速度別のターゲット速度と見かけの速度の関係(背景運動方向：ターゲットと同方向)

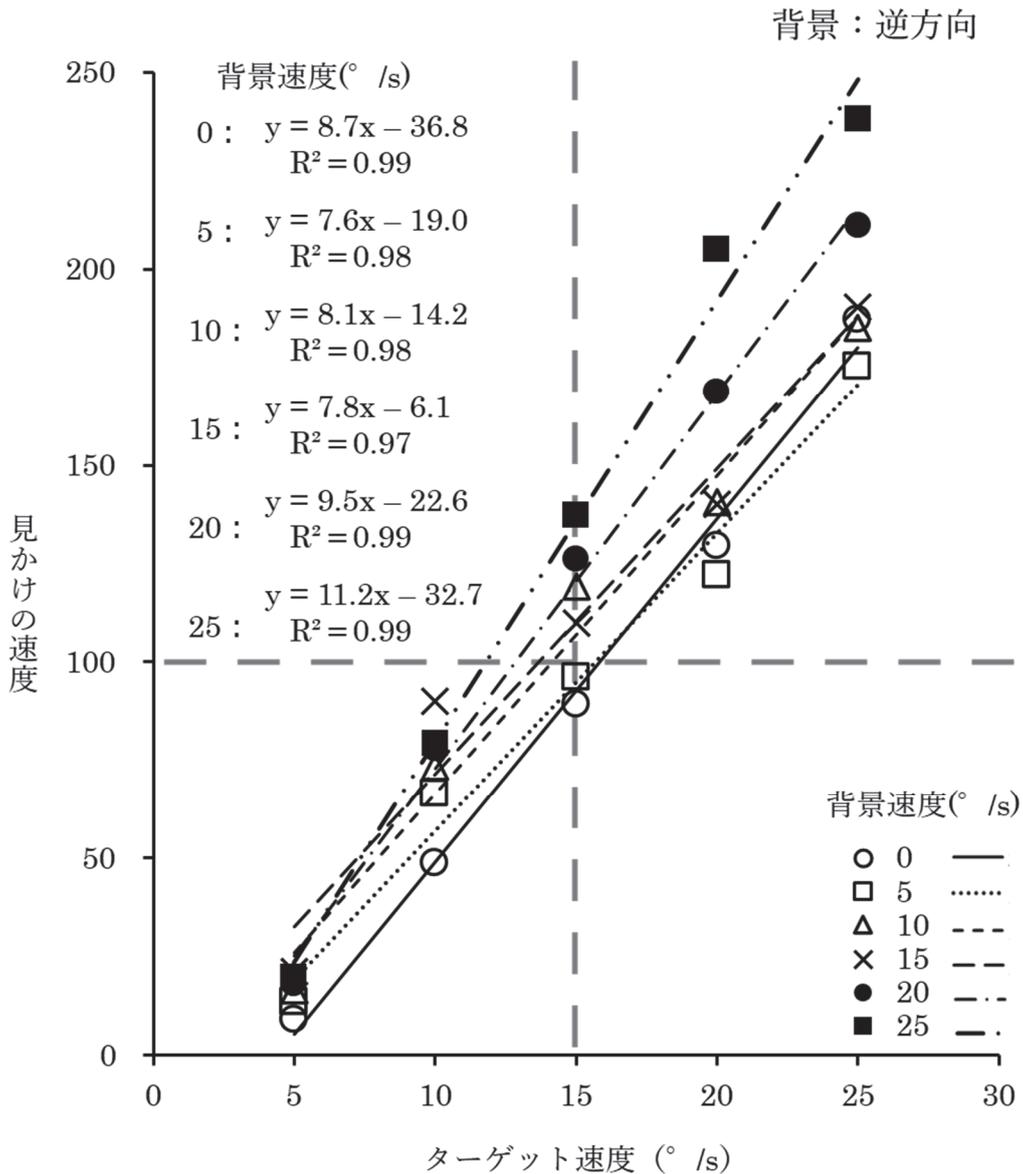


図3 背景速度別のターゲット速度と見かけの速度の関係(背景運動方向：ターゲットと逆方向)

から回帰直線を求めたところ、背景の運動方向にかかわらずすべての背景速度条件で決定係数 (R<sup>2</sup>) は 0.94 以上であることがわかり、高い線形性が認められた。

また、図2・図3から、背景の運動方向が逆方向では背景速度が速いとき見かけの速度は速くなり、回帰直線の傾きが大きくなったが、同方向では背景速度による一定の影響はなかった。また、背景刺激の運動方向がターゲットと同方向に運動するより、逆方向に運動する方が回帰直線の傾きが大きく、背景刺激がターゲットと逆方向に速く運動する条件で見かけの速度が速くなることがわかった。

### 3. 実験：フラッシュラグ効果における見かけの速度の影響

#### 3.1. 目的

見かけの速度の違いによるフラッシュラグ効果の違いを検討するために、ターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件と、ターゲット速度が知覚的に等しく物理的に異なる条件を設定し、フラッシュラグ効果によるずれ量を測定した。

### 3.2. 方法

#### i 被験者

視力または矯正視力が正常で、矯正視力 1.0 以上の女子大学生 4 名 ( $21.75 \pm 0.43$  歳)。準備実験の被験者と同一。

#### ii 装置・刺激

刺激は、準備実験と同様の灰色の背景 ( $20 \text{cd/m}^2$ ) 上の白黒の背景刺激 (白:  $50 \text{cd/m}^2$ , 黒:  $5 \text{cd/m}^2$ )、赤色のターゲット ( $5 \text{cd/m}^2$ ) に点滅刺激 (点灯時:  $50 \text{cd/m}^2$ ) を加えて構成された。ターゲットの大きさは、縦  $1.25^\circ$ 、横  $2.5^\circ$ 、背景刺激の大きさは縦  $20^\circ$ 、横  $2.5^\circ$  で  $8 \text{cpd}$  の縞刺激であり、点滅刺激の大きさは縦  $1.25^\circ$ 、横  $1.25^\circ$  で背景刺激の上端と下端の中央に位置し、背景刺激の右端から  $0.6^\circ$  右に呈示された。刺激の模式図を図 4 に示す。ターゲットは、同方向 (F: forward direction) または逆方向 (B: backward direction) に運動する背景刺激の上端にセットされ、背景刺激の上端から下端まで運動した。運動刺激の呈示時間はターゲット速度により  $1127 \text{ms} \sim 1693 \text{ms}$  で、点滅刺激はターゲットと点滅刺激が物理的に水平位置にあるタイミングで  $50 \text{ms}$  呈示された。

準備実験で求めた回帰式から、背景速度  $0^\circ/\text{s}$ 、 $15^\circ/\text{s}$ 、 $25^\circ/\text{s}$  における見かけの速度 100 のときのターゲット速度を算出し、ターゲット速度が知覚的に等しく物理的に異なる条件 (A: apparent speed が等しい条件) を設定した。また、ターゲット速度  $15^\circ/\text{s}$  で背景速度  $0^\circ/\text{s}$ 、 $15^\circ/\text{s}$ 、 $25^\circ/\text{s}$  をターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件 (P: physical speed が等しい条件) として設定した。表 1 に実験で用いた 10 速度条件における条件名、背景運動方向、背景速度、ターゲットの物理的速度、ターゲットの見かけの速度、ターゲットの相対速度を示した。各速度条件の相対速度はターゲットの物理的速度と背景速度から算出し、条件名はターゲット速度 (P · A)、運動方向 (F · B)、背景速度 ( $0 \cdot 15 \cdot 25$ ) を組み合わせたものを用いた。

#### iii 手続き

実験は暗室で行い、観察距離を  $57 \text{cm}$  に固定した。実験を開始すると教示文が呈示され、マウスのクリックにより刺激呈示が開始された。画面中央に、垂直下方向に運動するターゲットと、同方向または逆方向に運動する背景刺激の縞が呈示され、ターゲットと点滅刺激が物理的に水平の位置にあるタイミングで点滅刺激が呈示された。刺激呈示後、回答画面に切り替わり、被験者は点滅刺激が呈示された瞬間のターゲットの位置をマウスの操作によって報告した。報告後、休憩画面となり、被験者の任意なタイミングで、次の試行が開始された。速度 10 条件をランダム順に 8 回繰り返す、合計 80 試行を行った。

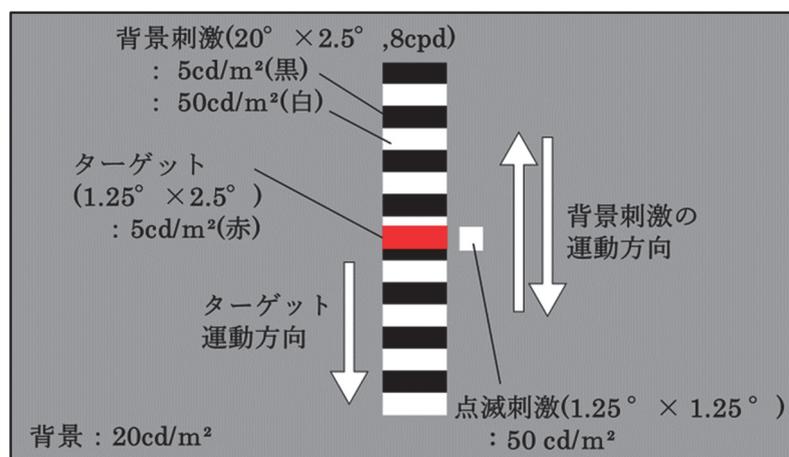


図 4 実験 2 で使用した刺激の模式図

表 1 ターゲット速度と見かけの速度の関係から算出した速度条件

ターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件 (P)

条件名※	背景		ターゲット		
	運動方向	速度	物理的速度	見かけの速度	相対速度
PF25	同方向	25°/s	15°/s	85	-10°/s
PF15	同方向	15°/s	15°/s	98	0°/s
P0		0°/s	15°/s	97	15°/s
PB15	逆方向	-15°/s	15°/s	110	30°/s
PB25	逆方向	-25°/s	15°/s	137	40°/s

ターゲット速度が知覚的に等しく物理的に異なる条件 (A)

条件名※	背景		ターゲット		
	運動方向	速度	物理的速度	見かけの速度	相対速度
AF25	同方向	25°/s	15.33°/s	100	-9.67°/s
AF15	同方向	15°/s	17.74°/s	100	2.74°/s
A0		0°/s	15.83°/s	100	15.83°/s
AB15	逆方向	-15°/s	13.67°/s	100	28.67°/s
AB25	逆方向	-25°/s	11.81°/s	100	36.81°/s

※ 条件名については P (physical speed), A (apparent speed), F (forward direction), B (backward direction), 数値は背景速度。

3.3. 結果

準備実験で測定したターゲットの見かけの速度にもとづいて算出した速度条件により、フラッシュラグ効果によるずれ量を測定した。速度条件についての一元配置分散分析を行った結果、速度条件の主効果が認められた ( $F(9,319) = 5.495, p < .001$ )。

図 5 に 4 名の被験者のターゲットの物理的速度とずれ量の平均値の関係を示した。図 5 から、ターゲット速度が知覚的に等しく物理的に異なる条件 (A) では、ターゲット速度が物理的に速くなるとずれ量が大きくなる傾向が読み取れた。多重比較の結果、ターゲット速度が知覚的に等しい条件 (A) では、ターゲットの物理的速度 11.81°/s (AB25) と 17.74°/s (AF15) と間に有意な差が認められ ( $p < .01$ )、ターゲットの物理的速度が速くなると、ずれ量が増加することがわかった。

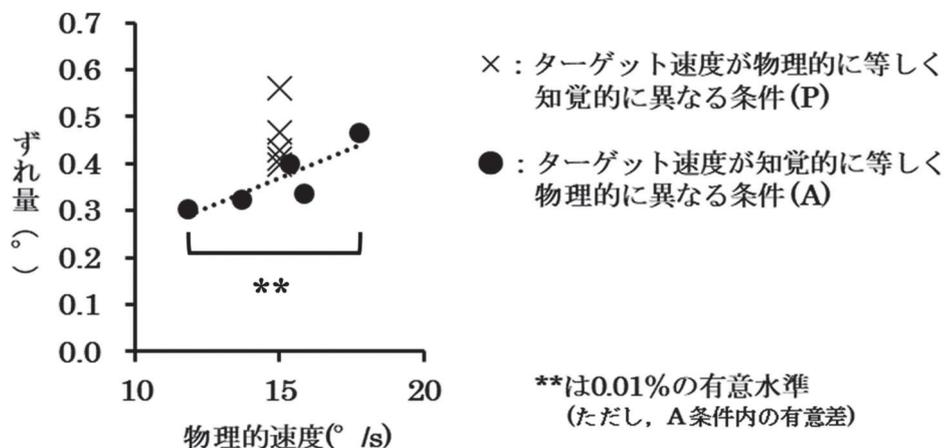


図 5 ターゲットの物理的速度におけるずれ量

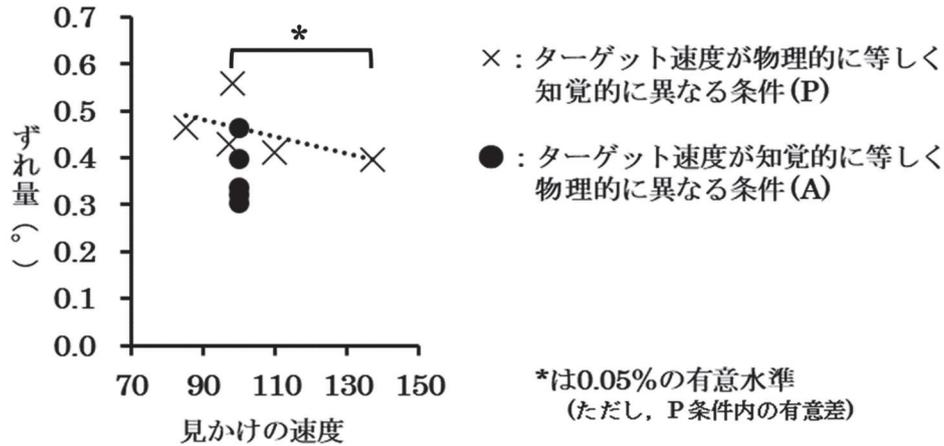


図 6 ターゲットの見かけの速度におけるずれ量

図 6 は図 5 と同じデータをターゲットの見かけの速度とずれ量の関係として示したものである。図 6 から、ターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件 (P) では、ターゲットの見かけの速度が速くなると、ずれ量が減少することが読み取れた。多重比較の結果、ターゲット速度が物理的に等しい条件 (P) では、見かけの速度 98 (PF15) と 137 (PB25) の間に有意差が認められ ( $p < .05$ )、ターゲットの見かけの速度が速くなると、ずれ量が減少することがわかった。

図 7 は図 5 と同じデータをターゲットの物理的速度と背景速度の相対速度とずれ量との関係として示したものである。図 7 から、ターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件 (P) より、ターゲットの速度が知覚的に等しく物理的に異なる条件 (A) の方がずれ量が大きいことが読み取れた。また、ターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件 (P) と、ターゲット速度が知覚的に等しく物理的に異なる条件 (A) とともに、相対速度 0°/s 付近 (PF15, AF15) でずれ量が大きいことが読み取れた。すでに述べたように多重比較の結果、ターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件 (P) では相対速度 0°/s (PF15) と 40°/s (PB25) 間 ( $p < .05$ )、ターゲット速度が知覚的に等しく物理的に異なる条件 (A) では相対速度 2.74°/s (AF15) と 36.81°/s (AB25) 間 ( $p < .01$ ) に有意差が認められ、いずれ条件でも相対速度 0°/s 付近 (PF15, AF15) が相対速度が速い条件 (PB25, AB25) に比べ有意にずれ量が大きいことがわかった。さらにターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件 (P) とターゲット速度が知覚的に等しく物理的に異なる条件 (A) の条件間でも有意差が認められ、相対速度

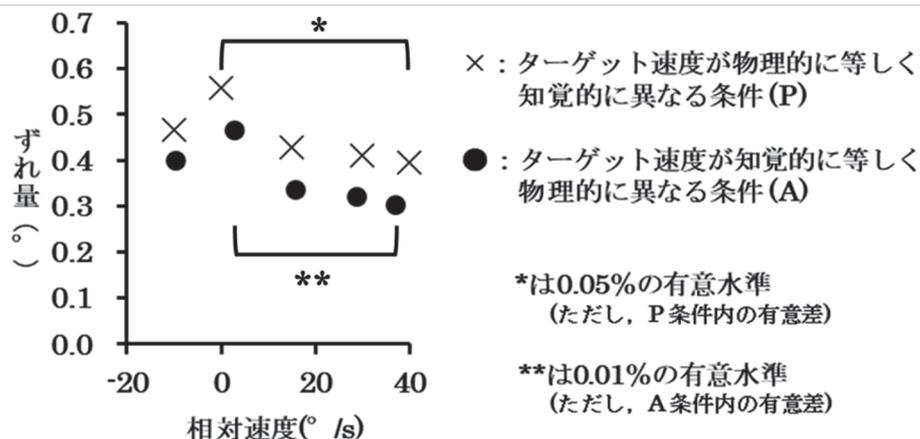


図 7 ターゲットの相対速度におけるずれ量

0°/s の PF15 と相対速度 0°/s 付近を除く AF25・A0・AB15・AB25 間、相対速度がマイナスで背景速度の方が同方向で速い PF25 と相対速度が速い AB25 間に有意差が認められ、いずれもターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件 (P) のずれ量が多いことが示された。

### 3.4. 考察

本研究では、背景刺激の速度の違いにもとづくターゲットの見かけの速度を測定し、ターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件 (P) と、ターゲット速度が知覚的に等しく物理的に異なる条件 (A) を設定し、見かけの速度の違いによるフラッシュラグ効果の違いを検討した。

各速度条件におけるずれ量をターゲットの物理的速度別にみると、ターゲット速度を物理的に速くすると、ずれ量は大きくなる傾向が認められ (図 5)、見かけの速度はいずれも 100 で知覚的に等しいターゲット間でも、ターゲットの物理的速度 11.81°/s で背景刺激が逆方向に動く条件 (AB25) とターゲットの物理的速度 17.74°/s で背景刺激が同方向に動く条件 (AF15) の間に有意差が認められたため、ターゲットの知覚的速度が等しくても、ターゲットの物理的速度によってずれ量が異なり、物理的速度が速くなるとずれ量が増加することが示された。これは Nijhawan (1994) と同様の結果で、フラッシュラグ効果によるずれが物理的運動速度に依存していることを示す。

次に見かけの速度別にみると、ターゲットの見かけの速度が速くなると、ずれ量が減少する傾向が認められ (図 6)、物理的なターゲット速度はいずれも 15°/s で物理的に等しいターゲット間でもターゲットの見かけの速度 98 で背景刺激がターゲットと同方向に同じ速度で運動する条件 (PF15) とターゲットの見かけの速度 137 で背景刺激がターゲットと逆方向に速く運動する条件 (PB25) の間に有意差が認められたため、ターゲットの物理的速度が等しくても、ターゲットの見かけの速度によってずれ量が異なり、見かけの速度が速くなるとずれ量が減少することが示された。物理的速度とは異なり、見かけの速度が速くなることによって、逆にずれ量が減少した結果は、背景刺激とターゲットそれぞれの物理的速度そのものがフラッシュラグ効果によるずれ量に影響している可能性を示す。ターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件 (P) では、背景刺激の運動方向や速度が異なり、見かけの速度の速い条件では背景刺激が逆方向に速い速度で運動している。本研究の結果は、フラッシュラグ効果がより高次の見かけの速度のレベルではなく、刺激の低次の物理的属性に依存して減少したことを示し、フラッシュラグ効果が生じるメカニズムが脳内の比較的低次の処理レベルであることを示唆する。

さらに相対速度別にみると、相対速度 0°/s すなわちターゲットが背景刺激と同じ方向に同じ速度で運動している条件 (PF15) では、背景刺激がターゲットと逆方向に運動している相対速度が速い条件 (PB25, AB15, AB25)・背景刺激がターゲットと同方向に速く運動している相対速度が遅い条件 (AF25) よりずれ量が有意に多く (図 7)、相対速度が 0°/s より速い条件でも遅い条件でもずれ量が減少することが示された。相対速度が遅い条件では、背景刺激の速度は速く同方向であるため、低次の物理的速度にフラッシュラグ効果によるずれ量が依存するなら、背景速度が速い条件のずれ量は増大すると考えられる。相対速度 0°/s 以外の条件でずれ量が減少したのは、背景の物理的速度そのものではなく、背景速度とターゲット速度による相対速度がターゲットの運動検出に抑制的な影響を与えたためだと考えられる。Kuldkepp, Kreegipuu, Raidvee, & Allik (2011) は、対象の運動オンセット検出や速度評価において、背景の運動が運動方向にかかわらず対象の運動検出に抑制的な影響を与え、運動速度評価も減少することを示し、ターゲットの運動と同方向・逆方向いずれの場合でもターゲットと背景が別の運動をすることで、ターゲット検出に抑制的に影響を与えたことにより、相対速度 0°/s 以外の条件でフラッシュラグ効果によるずれ量が減少した可能性がある。これらの結果から物理的速度、見かけの速度および相対速度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した結果、

ずれ量は運動刺激の物理的速度に依存し、見かけの速度には依存しないこと、ただし運動刺激の物理的速度が同じでも相対速度にも影響を受け、背景の物理的速度が速くても相対速度が遅ければ、ずれ量は減少することが示された。

ターゲット速度が物理的に等しく知覚的に異なる条件 (P) と、知覚的に等しく物理的に異なる条件 (A) でずれ量を比較すると、ずれ量に違いが見られ、相対速度が同じ条件ではターゲット速度が物理的に等しい条件 (P) の方が知覚的に等しい条件 (A) よりもずれ量が多いことが示された (図 7)。これは、本研究で物理的に等しい条件 (P) を設定する際に、マグニチュード推定法で得られた見かけの速度 100 のときのターゲットの物理的な速度を用い、知覚的に等しい条件 (A) を設定する際に、物理的な速度を 15°/s のときのターゲットの見かけの速度を用いたため、見かけの速度 100 のときのターゲットの物理的な速度の平均が 15°/s よりも速く、物理的な速度を 15°/s のときの見かけの速度は、100 よりも遅くなってしまい、物理的速度と知覚的速度を揃えていなかったことによると考えられる。物理的速度と知覚的速度を等しく設定することで、フラッシュラグ効果における物理的な速度と見かけの速度の影響を直接比較することができ、見かけの速度における影響を示すことができたかもしれない。

#### 4. 引用文献

- Kuldkepp, N., Kreegipuu, K., Raidvee, A., & Allik, J. (2011). Reaction time to motion onset and magnitude estimation of velocity in the presence of background motion *Vision Research*, 51(11), 1254–1261
- Murai, Y. & Murakami, I. (2016). The flash-lag effect and the flash-drag effect in the same display *journal of vision*, 16(11), 1–14
- Nijhawan, R. (1994). Motion extrapolation in catching *Nature*, 370, 256–257.

(2022年 2月 7日 受付)  
(2022年 3月 16日 受理)