

# 視野下方で捉える物体の運動は視野上方に比べて正確に推定される Enhanced estimation of object motion in the lower visual field compared the upper visual field

平田 貴士<sup>1, 2, a</sup> 川合 伸幸<sup>1, 3, 4, b</sup>  
Takashi Hirata and Nobuyuki Kawai

1. 名古屋大学大学院 情報学研究科 心理・認知科学専攻, 2. 日本学術振興会,  
3. 中部大学 創発学術院, 4. 科学技術振興機構 CREST

1. Cognitive and Psychological Sciences, Graduate School of Informatics, Nagoya University

2. JSPS Research Fellowships for Young Scientists,

3. Academy of Emerging Sciences, Chubu University, 4. CREST, Japan Science and Technology Agency

<sup>a</sup> hirata.t@cog.human.nagoya-u.ac.jp, <sup>b</sup> kawai@is.nagoya-u.ac.jp

## 概要

ヒトは上昇物体よりも下降物体の運動を正確に推定することが知られてきた。これは、上昇する物体は稀にしか見ないが、下降（落下）する物体は頻繁に目にするために生じる知覚学習の結果と考えられてきた。しかし、視野上方に比べて視野下方で捉えた物体を正確に知覚することから、下降物体は下降するからではなく、単に視野下方で捉えるから運動の推定が正確だと考えることも可能である。本研究では、視野の上下で上昇・下降するボールを提示し、ボールがゴールに到達する時刻の推定精度を評価した。その結果、視野下方で下降するボールの到達時刻の推定は、上方で上昇するボールよりも正確であったが、視野上方で下降するボールと下方で上昇するボールの到達時刻の推定精度は同じであった。この結果から、従来考えられていたように移動方向だけでなく、それが視野のどこ（上下）にあるかも物体の運動推定の精度に影響することが示された。

キーワード：物体の運動推定, 周辺視, 視野

## 1. 背景

我々が視覚を通じて認識する世界には、走行する車、落下するリングやボールなどの移動する物体が存在する。我々は移動する物体を認識するだけでなく、その物体の速度や軌道などの運動情報から物体が特定の場所に到達する時刻を推定する。到達時刻を正確に推定することで、移動する物体との衝突を回避したり、適切なタイミングで物体を捕捉したりできる。しかしながら、到達時刻の推定精度は物体の移動方向によって異なり、ヒトは上昇する物体に比べて下降する物体の到達時刻をより正確に推定することが知られている[1, 2]。

到達時刻を推定する際には、物体を追跡するための眼球運動が発生する[3]。眼球運動を発生させることに

より、視野内でもっとも視力が高い網膜中心窩の領域で物体を常に捉え、物体を正確に知覚することができ[4]。そのため、物体を追跡したときの物体の軌道予測[5]や到達時刻の推定[6]は、追跡しないときに比べて精度が高い。

しかし、我々は常に物体を中心窩で捉えて到達時刻を推定しているわけではない。物体を追跡せずとも、周辺視野で捉えた情報から物体の移動方向や速度を認識できる。上昇・下降する視覚刺激の速度弁別の精度を評価した研究では、視覚刺激を追跡させず画面中央の点を見続けた状態で実験を行った。実験の結果、上昇する物体に比べて、下降する物体の速度弁別の精度は良いことが示された[7, 8]。

周辺視野で物体を捉える場合、上昇する物体は視野下方から上方へ、下降する物体は視野上方から下方へ移動する。ヒトは視野上方に比べ、視野下方で捉える物体の認識、移動方向の識別の精度が高いことが知られている[9, 10]。また、視野下方で水平移動する視覚刺激へのリーチング精度は、視野上方に比べて高いことも示されている[11]。このことから、下降する物体は下降するからではなく、視野の下方で捉えているため到達時刻の推定精度が高い可能性が考えられる。

上昇する物体に比べて下降する物体の到達時刻の推定が正確であることは、さまざまな先行研究で示されてきた[1, 2, 12, 13]。しかし、視野の上方と下方に分けて上昇・下降する物体の到達時刻の推定精度を評価した研究は存在しない。そのため、下降する物体の到達時刻の推定精度が良いのか、それとも単に視野下方で移動する物体の到達時刻の推定精度が良いのかは不明である。そこで本研究では、上昇・下降する視覚刺激を視野の上方と下方に提示し、到達時刻の推定精度を評価した。

## 2. 方法

### 2.1. 参加者

本実験の趣旨を十分に説明し、インフォームドコンセントが得られた43名（男性22人、女性21人、 $29.5 \pm 10.25$  mean  $\pm$  SD）が実験に参加した。

### 2.2. 実験環境

実験では、座位の姿勢で Virtual Reality (VR) 映像を Head Mount Display (VIVE Pro Eye, HTC VIVE) に提示した。頭部動揺を抑制するために顎台を用いた。物体の到達時刻の推定精度を評価するためのテンキーを参加者の利き手側に設置した。到達時刻の推定時において、刺激の追跡有無を確認するために、参加者の眼球運動（視線位置の変化）をサンプリング周波数 250 Hz で記録した。

### 2.3. 視覚刺激映像

HMD に投影する VR 映像を図 1A に示す。映像は、リアルタイム 3D 開発プラットフォーム Unity (Unity Technologies) を用いて作成した。参加者には、暗闇の中、視覚刺激（ボール）が視野上方で下降する「上視野-下降」と上昇する「上視野-上昇」、視野下方で下降する「下視野-下降」と上昇する「下視野-上昇」の4種類の映像を提示した。上視野-下降で提示されるボールは、参加者の前方 13 m の地点に正面を基準（視野角 0 deg）として、4 m (17.1 deg) の位置に直径 0.2 m のボール (0.8 deg)、2 m (8.7 deg) の位置にリング状の目標地点（ゴール）を設置した。上視野-上昇では、上視野-下降のボールとゴールの位置を入れ替えて提示した。下視野-下降では、-2 m (-8.7 deg) の位置にボール、-4 m (-17.1 deg) の位置にゴールを設置した。下視野-上昇では、下視野-下降のボールとゴールの位置を入れ替えて提示した。4種類のすべての映像の中央に直径 0.1 m の点 (0.44 deg) を固視点として設置した。映像に提示され

るボールは 1 G（加速度  $9.81 \text{ m/s}^2$ ）の等加速度でゴールに向かって上昇および落下運動するよう設定した。すべての映像において、ボールは運動開始から 0.67 秒後にゴールに到達した。

### 2.4. 実験構成

図 1B に実験構成の図を示す。上視野と下視野の条件において、上昇と下降のブロックに分けて VR 映像を提示した。上視野と下視野の順序および VR 映像の提示順序は、参加者ごとにランダムに設定した。ただし、同一参加者では、上視野と下視野における上昇と下降の提示順序は揃えた。ボールがゴールに 1 回移動することを 1 試行とし、1つのブロックにつき 20 試行繰り返した。実験全体を通じて参加者 1 人あたり 80 試行経験した。

本研究では、ボールの移動方向（上昇・下降） $\times$  ボールの提示位置（上視野・下視野）の4条件が存在する。各条件において、参加者はボールがゴールを通過するタイミングを見計らってテンキーの「0」を押し下げよう指示された。また、参加者は刺激を追跡せず VR 映像の固視点を常に見続け、刺激の移動中は極力瞬きをしないよう指示された。ゴール通過後に刺激が消失している区間は瞬きが許可された。計測中は頭部を動かさないよう指示された。

### 2.5. 実験解析

テンキーの入力のデータおよび眼球運動のデータは、MATLAB (Mathworks, USA) に読み込み、オフラインで解析した。各参加者から得られる 80 標本数（2 運動方向  $\times$  2 提示位置  $\times$  20 試行）の眼球位置データから、垂直および水平方向の眼球位置が  $\pm 3 \text{ deg}$  を超えているデータをすべて解析から除外した。

テンキーが押された時刻からボールがゴールを通過するまでに要する時刻 (0.67 sec) を引いた値を時刻誤

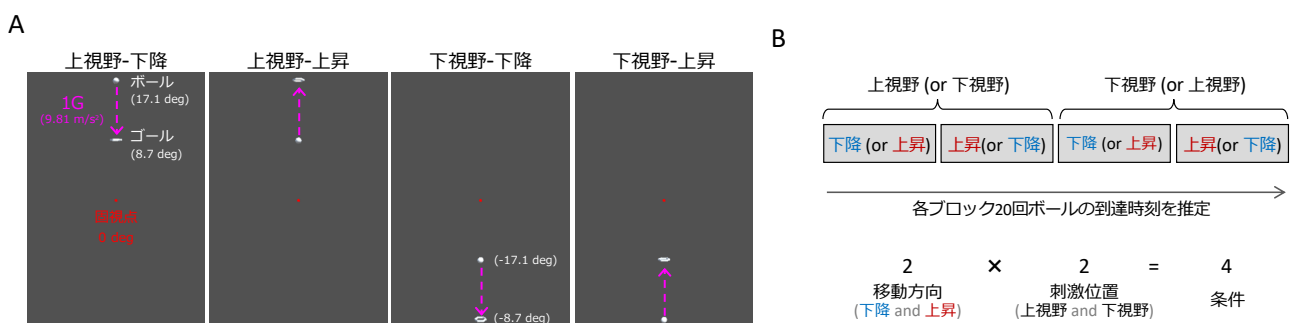


図 1. A: 視覚刺激映像, B: 実験構成図

差として算出した。時刻誤差が 0 のとき、ボールがゴールと一致したタイミングでテンキーが押されたことになり、正の場合は入力タイミングが遅いことを表す。各 4 条件において、参加者ごとに平均時刻誤差を算出した。その後、これらの参加者ごとの平均時刻誤差を平均し、参加者全体の平均時刻誤差を算出した。ボールの運動方向および提示位置による影響の有無を確認するため、移動方向条件（上昇・下降）×提示位置条件（上視野・下視野）の 2 要因で分散分析を行った。

### 3. 結果

図 2 に条件ごとの参加者全体の平均時刻誤差の結果を示す。上視野-下降 (0.005 sec) の平均時刻誤差は、上昇 (0.065 sec) に比べて小さかった。また、下視野-下降 (0.014 sec) の平均時刻誤差においても、下視野-上昇 (0.022 sec) に比べて小さかった。移動方向条件 × 提示位置条件の 2 要因で分散分析を行った結果、移動方向条件に主効果が認められ ( $F(1, 163) = 7.7, p < .01, n < 0.04$ )、交互作用も認められた ( $F(1, 163) = 4.86, p < .05, n < 0.02$ )。提示位置条件では主効果が認められなかった ( $F(1, 163) = 2.39, p = .12, n < 0.01$ )。移動方向条件の主効果について多重比較を行った結果、上視野-下降と上視野-上昇において有意差が認められた。また、上視野-上昇と下視野-下降においても有意差が認められた。

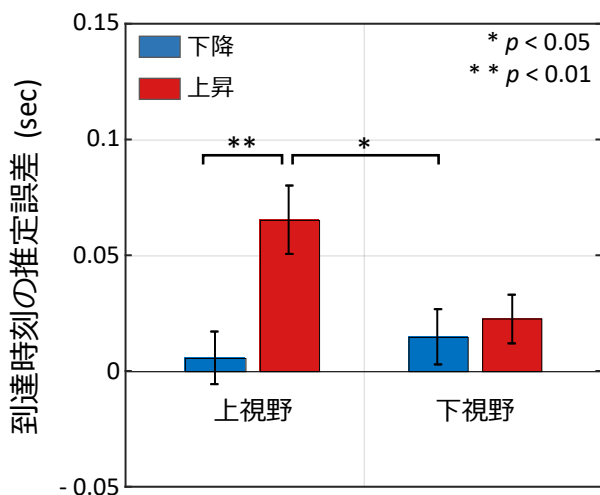


図 2. 条件ごとの全実験参加者の平均推定誤差の結果  
青色棒グラフは下降、赤色棒グラフは上昇の結果を表す。各グラフ内の error bar は±SE を表す。\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ 。

### 4. 考察

本研究では、視野の上方と下方において、上昇・下降するボールがゴールに到達する時刻の推定精度を評価した。その結果、ボールの移動位置（上視野・下視野）と移動方向（上昇・下降）に交互作用が認められ、到達時刻の推定精度は上昇・下降だけでなく上視野・下視野によっても異なることが示された。

下視野-下降の平均時刻誤差は上視野-上昇に比べて有意に低く、視野下方で下降するボールの到達時刻の推定精度は、視野上方で上昇するボールに比べて良い。この結果は、上昇する物体よりも下降する物体の到達時刻の推定精度が良いことを示した先行研究の結果と一致している[1, 2]。一方で、上視野-下降と下視野-上昇の平均到達時刻は有意な差が見られず、上昇と下降するボールの到達時刻の推定精度に違いはなかった。これらの結果から、従来の下降する物体の到達時刻の推定精度が上昇する物体の精度よりも良いという結果は[1, 2]、単に運動する方向の違いだけによって生じているのではなく、視野上方で上昇する物体の到達時刻を推定する精度が悪いことに起因することが示唆された。

霊長類は視野上方に比べて視野下方の視覚が優れており[14, 15, 16]、我々は視野上方に比べて視野下方で捉える物体や物体の移動方向を正確に認識する[9, 10, 11]。この知見から、実験参加者は、物体の速度や軌道を正確に知覚できる下視野で物体を捉えたことで、下視野-上昇と下視野-下降の到達時刻を正確に推定した可能性が考えられる。物体の到達時刻の推定精度には、上昇・下降という移動方向に依存した非対称性があると考えられてきた[1, 2]。しかし本研究により、移動方向のみならず物体を捉える視野上方と下方に非対称性がある可能性が示された。視野上方と下方で非対称性があることが、上昇・下降する物体の到達時刻の推定誤差として検出されていただけかもしれない。

視野-上昇の到達時刻の推定は他の条件と比べて最も精度が低い結果となった。この結果は、物体の知覚精度が低い視野上方で物体を捉えただけでなく、地上での経験も影響している可能性がある。重力環境下において、我々は上昇する物体に比べて下降する物体をよく目にし、下降する物体の到達時刻を推定することも多い。一方で、上昇する物体を目にする機会はあるが、到達時刻を推定することは少ない。参加者は、到達時刻の推定経験の少ない上昇する物体を視野上方で捉えたことで、視野-上昇の到達時刻を正確に推定できなかった。

た可能性も考えられる。

上視野-下方と下視野-上昇の到達時刻の推定精度は変わらなかった。上視野-下方と下視野-上昇におけるボールは、参加者が常に見ている固視点に向かう。網膜上の視力は中心窩に近づくほど良くなる[17]ことから、両条件のボールは正確に知覚され、到達時刻の推定精度は変わらなかったことが考えられる。

これまでの研究においても、上昇する物体に比べて、下降する物体の到達時刻推定[1, 2, 12, 13]や速度弁別[7, 8]の精度は良いことが示されている。これらの研究から、我々は上昇する物体よりも下降する物体の運動を正確に推定できることが考えられる。しかし、本研究では、むしろ上昇する物体を視野上方で、下降する物体を視野下方で捉えた場合において、先行研究と同様に非対称性が示されることをあきらかにした。ただし、捕捉位置のみが物体の運動推定の精度に影響したのか、それとも運動方向と捕捉位置の両方が影響しているのかは不明である。今後の課題として、運動推定の精度に非対称性がない水平移動する物体を視野上方と下方に提示し、物体の運動方向に関係なく視野上方に比べて視野下方の物体の運動推定の精度が良いかを検討する。

## 文献

- [1] M. Zago, B. La Scaleia & W. L. Miller, Coherence of structural visual cues and pictorial gravity paves the way for interceptive actions, *Journal of vision* 11, 13-13 (2011)
- [2] T. Hirata, Y. Hirata & N. Kawai, Humans track the falling object more accurately than the rising objects irrespective of acceleration conditions and vestibular gravity information, *Society for Neuroscience*, 2022, Nov.
- [3] Dorr, M., Martinetz, T., Gegenfurtner, K. R. & Barth, E. Variability of eye movements when viewing dynamic natural scenes. *Journal of vision* 10, 28-28 (2010)
- [4] C. A. Schütz, I. D. Braun & R. K. Gegenfurtner, Object recognition during foveating eye movements, *Vision research*, 49(18), 2241-2252 (2009)
- [5] M. Spering, C. A. Schütz, I. D. Braun & R. K. Gegenfurtner, Keep your eyes on the ball: smooth pursuit eye movements enhance prediction of visual motion, *Journal of Neurophysiology*, 105(4), 1745-1767 (2011)
- [6] J. Fookien, H. S. Yeo, K. D. Pai & M. Spering, Eye movement accuracy determines natural interceptoin strategies, *Journal of vision*, 16(14), 1-1, (2016)
- [7] M. Gallagher, A. Torok, J. Klass & E. R. Ferré, Gravity prior in human behaviour: a perceptual or semantic phenomenon? *Experimental Brain Research*, 238, 1957-1962, (2020)
- [8] A. Torok, M. Gallagher, C. Lasbareilles & ER. Ferré,

- Getting ready for Mars: how the brain perceives new simulated gravitational environments, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 72(9), 2342-2349, (2019)
- [9] D. Regan, C.J. Erkelens & H. Collewijn, Visual field defects for vergence eye movements and for stereomotion perception, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 27, 806-819, (1986)
  - [10] MA. Khan & GP. Lawrence, Differences in visuomotor control between the upper and lower visual fields, *Experimental Brain Research*, 164, 395-398, (2005)
  - [11] J. Danckert & MA. Goodale, Superior performance for visually guided pointing in the lower visual field, *Experimental Brain Research*, 137, 303-308, (2001)
  - [12] P. Senot, M. Zago, F. Lacquaniti & J. McIntyre, Anticipating the Effects of Gravity When Intercepting Moving Objects: Differentiating Up and Down Based on Nonvisual Cues, *Journal of Neurophysiology*, 94, 4471-4480 (2005)
  - [13] E. Brenner, B. Driesen & J. B. J. Smeets, Precise timing when hitting falling balls, *frontiers in Human Neuroscience*, 22, (2014)
  - [14] R. A. Barton, Binocularity and brain evolution in primates, *PNAS*, 101 (27), 10113-10115, (2004)
  - [15] L. A. Isbell, *The Fruit, the Tree, and the Serpent: Why We See So Well*, Harvard University Press, (2009)
  - [16] D. Rosenbluth & J. M. Allman, The effect of gaze angle and fixation distance on the responses of neurons in V1, V2, and V4, *Neuron*, 33(1), 143-149, (2002)
  - [17] D. R. Kandel, J. D. Koester, S. H. Mack & S. A. Siegelbaum, *Principles of Neural Science Sixth Edition*, McGraw-Hill, (2021)