

別刷

日本バーチャルリアリティ学会 論文誌

日本バーチャルリアリティ学会

基礎論文

遮蔽後物体の移動距離の過小評価に 注意配分の低減が影響する可能性

新井 健之^{*1*2} 藤田 欣也^{*2} 竹市 勝^{*3}

The Possibility That Attention Distribution Influences Underestimate Of The Movement
Distance Of Occluded Moving Object

Takeyuki Arai^{*1*2} Kinya Fujita^{*2} and Masaru Takeichi^{*3}

Abstract — The purpose of this study is to discuss the cause of distance underestimation in distance anticipation task of occluded moving object. We displayed moving stripes at random velocities after the occlusion, and let 10 subjects compare those with the representational velocity of the occluded object. The results supported the accurately preserved representational velocity after the object occlusion. The cause of the distance underestimation appears not the representational velocity slowdown of the occluded moving object. The eye movement during the task was also measured. The answer request substantially slowed the eye moving velocity after the occlusion, compared to the non-answer-request condition. The cause of the distance underestimation is likely the answer request of the anticipated movement distance. The distance anticipation task requires the subjects to answer the anticipated object movement distance using a scale on the stationary board when a visual stimulus is applied. It requires the subjects pay attention to the stationary scale and the virtually moving object simultaneously. This divided attention is the probable cause of the distance underestimation in distance anticipation task of occluded moving object.

Keywords: attention, eye movement, occluded moving object, movement distance anticipation, velocity representation

1 はじめに

日常生活やスポーツ活動の中で、運動物体の動きを知覚する場面は、多く見られる。人混みや交通量が多い道路などを渡るときに、人間や車の動きを正しく知覚しなければ事故につながる可能性がある。また、テニスや野球などの球技では、適切なボールの運動知覚、および、知覚結果に基づく適切な運動制御がなされなければ、高いパフォーマンスは期待できない。

物体運動の知覚特性に関する先行研究には、衝突位置を規定して運動物体が衝突するまでの時間を知覚させる研究(Time To Contact:以下 TTC)[1]や、遮蔽後に一定距離を通過し、再出現する時刻を回答させる速度見越反応検査[2]などがあり、いずれも比較的高い精度で到達時刻の知覚が可能であることが知られている。

一方、これらの研究とは逆に、時間を統制して運動物体の位置を見越す研究は少なく、その特性には不明な

点が多かった。そこで、我々は、VR 環境において物体を運動途中で板により遮蔽し、トリガ刺激呈示時刻までの見越した移動距離(以下見越距離)を回答させる課題(以下遮蔽後移動距離見越課題)を行わせたところ、物体の移動距離を実際よりも大幅に短く見越す現象(以下見越距離過小評価)が観察された[3]。見越距離過小評価は、実物体を用いた実験においても観察され、様々な運動速度において生じた[4]。さらに、駐車大型車両の背後を小型車が通過する現実の交通状況を、模擬した環境においても発生する[5]など、様々な条件で観察された。

運動物体の位置錯覚としては、Representational Momentum (以下 RM)[6]や Flash-lag effect[7] などが広く知られているが、いずれも見越距離過小評価とは逆の運動方向への位置錯覚であることから、過小評価の発生原因とは考えにくい。そこで筆者らは、板への心理的衝突や、視覚を介したトリガ刺激の位置見越との競合の可能性などを実験的に検討してきたが、いずれも見越距離過小評価の発生原因としての可能性は棄却された[3,4]。

ここで、追視している運動物体が遮蔽されると追跡眼

*1 高千穂大学 商学部

*2 東京農工大学大学院

*3 国士館大学 政経学部

*1 Department of Commercial Science, Takachiho University

*2 Graduate School of Tokyo University of Agriculture and Technology

*3 Faculty of Political Science and Economics, Kokushikan University

球運動速度が低下すると報告がある[8]ことから、運動物体の遮蔽によって眼球運動速度が低下し、眼球運動速度の低下によって予測速度が低下した可能性や、遮蔽によって速度表象が低下した可能性が考えられる。また、視覚刺激が呈示される板への注意が影響した可能性も考えられる[9]。そこで本研究では、遮蔽後物体の見越距離過小評価の原因解明を目的に、遮蔽後物体の速度表象を評価するとともに、見越距離過小評価と眼球運動の関係、さらに板への注意の影響を、実験的に検討したので報告する。

2 見越距離過小評価における各種要因の可能性

移動距離は、2 点の位置により規定出来ることから、まず、開始位置(本研究では遮蔽開始位置)または終了位置(本研究ではトリガ刺激呈示時刻の位置)の錯覚が考えられる。次に、何らかの要因により移動距離を錯覚した可能性が考えられる。本研究では、その要因として、遮蔽後物体の速度表象の過小評価の可能性、眼球運動の影響の可能性、注意の影響の可能性を先行研究から導き出した。以下に関連を述べる。

2.1 遮蔽開始時刻の位置錯覚により移動距離が過小評価された可能性

まず、移動距離の開始位置である、遮蔽開始時刻の位置錯覚により移動距離が過小評価された可能性が考えられる。遮蔽や消失によって生じる位置錯覚の一つに、消失時の運動物体の位置を、運動方向にずれて錯覚する RM[6]が知られている。また、遮蔽・消失とは異なるが、RMと同様に運動方向に位置を錯覚する現象として、運動物体観察中に短いフラッシュをあたえる事で、その時刻の運動物体位置を運動方向にずれて認知する Flash-lag effect が報告されている[7]。しかし、これらの位置錯覚は、何れも遮蔽後物体の移動距離を過大評価する現象であり、遮蔽後見越距離過小評価とは逆の錯覚である。また、遮蔽後の経過時間と見越距離の間に比例関係があり、その傾きが大きく低下していた。遮蔽による位置のずれでは、この傾きの変化を説明できないことから、RM や Flash-lag effect などの位置錯覚により遮蔽後の見越距離が過小評価された可能性は棄却されている[4]。

2.2 トリガ刺激呈示時刻の位置錯覚により移動距離が過小評価された可能性

次に、遮蔽後の移動距離の終了位置であるトリガ刺激呈示時刻の位置錯覚には、知覚時刻のずれの可能性が考えられるが、トリガ刺激呈示時刻の知覚遅延は、見越距離を過大評価する方向に作用するため、トリガ刺激呈示時刻の知覚遅延が影響したとは考えにくい。また、トリガ刺激呈示が何らかの物体位置錯覚を誘発した可能性も考えられるが、位置錯覚では、遮蔽後の物

体速度が低下しているかに見える見越距離過小評価を説明できないことから、トリガ刺激呈示による位置錯覚が原因である可能性は棄却されている[4]。

2.3 速度表象の過小評価により移動距離が過小評価された可能性

遮蔽後の移動距離の見越を誤る原因として、位置錯覚の次に想定されるものは、遮蔽後物体の速度の錯覚である。しかし、運動の知覚課題の一種である TTC の弁別閾値は 0.05 s、相対量にして 1.6 %との報告があり[1]、速度見越反応検査では、ほぼ正確な時間を回答する被験者が最も多い[2]など、到達時刻見越課題の精度は、比較的高いことが知られている。すなわち、運動物体を単に遮蔽するだけで物体の速度表象が低下するとは考えにくい。

その一方で、Runeson は等速の運動物体を追跡眼球運動により追視すると、運動物体が最初は素早く、その後は緩やかな動きへと変化する様に見える、等速運動の知覚をさせるためには、緩やかな動きから素早い動きへ加速させなくてはならないと報告している[10]。また、本田は、Aubert-Fleischl paradox について、一点を固視させて、物体の運動を観察させると、物体を追視させたときよりも、1.3~2 倍に感じたと報告している[11]。以上のように、物体の速度表象は追視などの条件によっては大きな誤差を持つ場合がある。特に、消失物体の仮想的追視を指示すると、追跡眼球運動速度が、消失後には 60 % から 39 % に低下した[8]との報告があることから、追視条件など、遮蔽後移動距離見越課題における何らかの要因によって物体の速度表象が低下し、その結果として見越距離過小評価が生じた可能性の検証が必要である。

2.4 眼球運動の影響により移動距離が過小評価された可能性

上記の遮蔽後の眼球運動速度の低下以外にも、眼球運動が物体の運動の知覚へ影響する先行研究として、Flash-lag effect の位置知覚のずれが、追跡眼球運動で追視すると生じない事[12]が報告されている。そして、移動距離錯覚と眼球運動の関係として Honda は、サッカーによる追視ではほぼ実距離に近い移動距離を回答したが、追跡眼球運動で追視すると、移動距離を約 10 %~20 %過小評価したと報告している[13,14]。これらの知見から、追跡眼球運動によって、遮蔽後物体の移動距離が短く見越された可能性がある。よって、眼球運動条件を統制した上で、遮蔽後移動距離見越課題を実施し、可能性を検証する必要がある。

2.5 注意の影響により移動距離が過小評価された可能性

注意を用いて運動刺激あるいは刺激中の特定の特

徴点を追従していくことを一般に「注意による追従 (attentive tracking)」と呼ぶ[15]ことから、遮蔽後移動距離見越課題では、物体の運動に注意を向けて追従していると考えられる。物体の遮蔽後は、視覚情報が無いことから、遮蔽後物体の見越距離過小評価は、物体の運動に向けている注意が、何からの影響を受けて生じた可能性がある。例えば、遮蔽後のトリガ刺激呈示時刻は事前に知ることは出来ず、物体の運動に注意を向けて追従しながら、同時に不定のトリガ刺激の呈示場所に対し注意を向ける必要があり、上記の2つに注意が分割されている可能性がある。Zakay は非時間的課題に注意が配分されると、時間情報処理に対する注意が低減し、時間情報処理が断続的に行われるようになって、時程がより短く評価される理論モデル (dual-process contingency model) を提唱している[16]。この知見から、非時間的課題である不定のトリガ刺激の呈示場所に対して注意が配分され、遮蔽後物体への注意が低減し、時間情報処理である物体の移動時間が過小評価され、結果として見越距離が過小評価された可能性がある。上記の見越距離過小評価に注意の分割が影響した可能性は一例であるが、不定のトリガ刺激の呈示場所に対して注意を向けることを統制し、見越距離過小評価との関係を検討する必要がある。

以上のように、先行研究やこれまでの実験結果から、想定される遮蔽後物体の見越距離過小評価の発生要因は、開始および終了の位置錯覚と、移動距離の錯覚の二つに大別され、さらに、移動距離の錯覚の発生要因としては、速度表象の過小評価や眼球運動、板への注意の影響などの要因が挙げられる。

3 共通実験方法

上記のように、見越距離過小評価の原因として想定された、遮蔽後物体の速度表象が過小評価された可能性、トリガ刺激が呈示される板への注意が影響した可能性、遮蔽による眼球運動速度の低下が影響した可能性、を検証するために、後述の3実験を行った。

3.1 実験装置

3 実験すべてにおいて、以下の実験装置を使用した。コンピュータ (Intel Celeron 1.40 GHz, Windows XP, OpenGL, Visual C++) により視覚刺激を生成・制御し、22 インチ CRT ディスプレイ (HM204DA, Iiyama, 1024 × 768 ピクセル) に描画した。描画レートは 100 frames/s、ディスプレイのリフレッシュレートは 100 Hz とした。観察距離は、0.55m とし、頭部の位置がずれないように、固定装置に顎と額を接触させ固定した (図 1)。

ただし、実験 2 のみ、眼球運動計測装置 (Eye Link II, SR Research) を用い、仮想環境呈示用 PC と同期して、左右それぞれの視線を測定した。サンプルレートは 250

data/s とした。統計処理には SPSS 11.5J for Windows (SPSS Japan Inc.) を使用した。

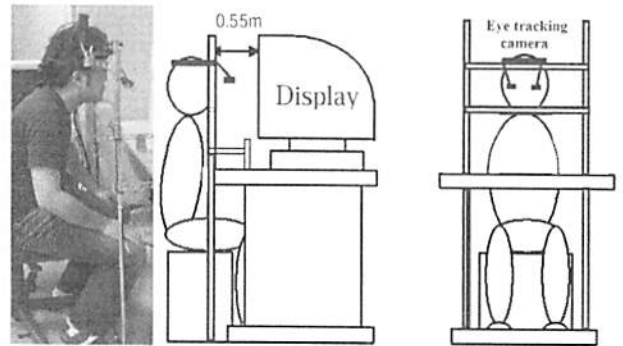


図1 仮想環境呈示実験セットアップ

Fig.1 Experimental setup in the virtual environment

3.2 遮蔽後移動距離見越課題と予測速度の算出

3 実験すべてにおいて、運動物体を板により遮蔽し、遮蔽開始時刻からトリガ刺激呈示時刻までの移動距離を見越し、回答させる課題である。遮蔽後移動距離見越課題を行わせ、予測速度を算出した。CRT ディスプレイに描画した視覚刺激は、図 2 のように、仮想環境において、左から右へ運動物体の水平方向等速直線運動を再現した。背景は黒とした。ボールの直径は 0.65 deg とし、色は黄色とした。運動物体のスタート位置は、画面中央から左へ 19.4 deg とした。板は画面中央から右側に配置し、横幅 17.7 deg、縦幅 6.45 deg の水色とした。トリガ刺激呈示は、板全体を水色から紫色へと変色させた。板には左端から、1.35 deg 間隔で 12 個の目盛りを表示した。

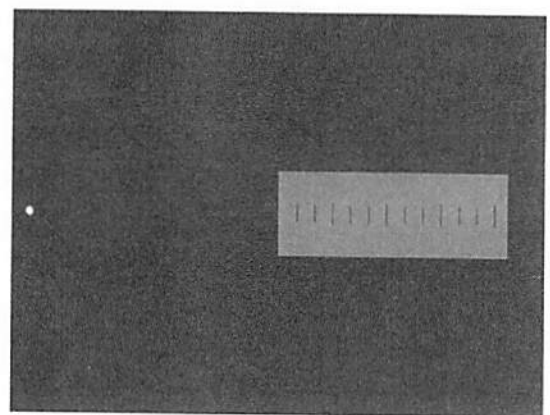


図2 遮蔽後位置予測課題の初期画面

Fig.2 Virtual environment image on initial-screen

被験者には、実験者の合図後、運動物体のスタート位置を固視するよう指示した。先行研究[3]では、眼球運動の統制は行っていないが、追視方法により知覚する移動距離が変化するとの報告[13,14]があることから、

運動物体のスタート後は、頭部を固定し、運動物体を追跡眼球運動で追視するよう指示した。遮蔽後は、運動物体が存在すると見越した位置を、追視(仮想的追視)するよう指示した。遮蔽開始時刻からトリガ刺激呈示時刻までの運動物体の移動距離を見越させ、板の目盛りを基準に板左端からの距離で回答させた。統制している実験条件に合わせて、遮蔽後位置予測課題を、実験1では遮蔽条件、実験2では回答要求有条件、実験3では追視条件と表記している。

予測速度の算出は、これまでの報告[3]と同様の手順で行った。まず、実験条件と被験者ごとに、運動物体が、板の左端を通過してからトリガ刺激呈示時刻までの時間(以下トリガ刺激呈示時間)を横軸、見越距離を縦軸とする散布図を作成し、得られた回帰直線の傾きと、実速度をかけた値を、予測速度として算出した[3]。本論文では、予測速度を、遮蔽後の見越距離の指標として使用する。

4 遮蔽後速度表象評価実験(実験1)

4.1 遮蔽後速度表象評価実験方法(実験1)

実験1では、運動物体の速度表象が、遮蔽により影響を受けた可能性を検討するために、板により物体を遮蔽する条件(以下遮蔽条件)と、遮蔽しない条件(以下可視条件)の2条件で、遮蔽後移動距離見越課題と同時に、ストライプフローを用いて遮蔽後の速度表象を評価した。被験者は、健康な成人男性10名(18~22歳)とした。被験者の視力は、裸眼または矯正視力で0.7以上であった。同様の実験に4名は経験者、6名は初参加であった。

物体の運動速度は10 deg/sとした。ストライプフローは、図3のように、板の上下に配置し、板から0.48 deg離れた縦幅0.65 deg、横幅17.7 degのエリアに表示した。ストライプは、横幅0.08 degの黄色(運動物体と同色)と1.27 degの黒色(背景と同色)の連続とした。ストライプフローは、運動物体のスタートから、トリガ刺激呈示時刻まで表示した。ストライプフローは、運動物体が板の右端を通過した時点から、トリガ刺激呈示時刻まで、左から右へ等速で動かした。その速度は、2 deg/sから18 deg/sまで2 deg/s毎に9種類を設定した。

可視条件では、被験者に、板左端通過時刻からトリガ刺激呈示時刻までの、運動物体の移動距離を回答させた。可視条件では、見越距離に代えて知覚された移動距離から、同様の方法で速度を算出した。これは、知覚された物体の移動速度であるが、ストライプフローから求める速度表象と区別するために、可視条件での予測速度と表記する。

実験1の被験者に行わせた運動物体の速度表象の評価は、移動距離の回答直後に、物体の速度と比較して、ストライプフローの速度が「速い・同じ・遅い」の3件

法で回答させた。その回答から2重上下法により、同条件次回試行のストライプフローの速度を調整した。被験者には実験前に十分な練習を行わせたが、移動距離と速度比較の正答をフィードバックしなかった。

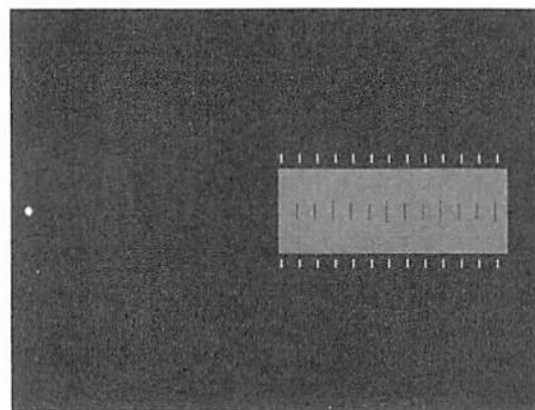


図3 遮蔽後速度表象評価実験の初期画面

Fig.3 Virtual environment image on initial-screen: Exp.1

トリガ刺激呈示時間は、0.27 sから1.35 sまで0.27 s毎に5種類とした。ストライプフローの速度は、速い速度から呈示する条件では16 deg/sから、遅い速度から呈示する条件では4 deg/sから呈示を開始し、2 deg/s毎にストライプフローの速度を上下させた。トリガ刺激呈示時間の条件5種類と、ストライプフローの速度の条件2種類をかけ合わせた、計10種類の視覚刺激をランダムに呈示した。各条件のストライプフローの速度の転換点で、5点出現するまで呈示し、2点目から5点目までの、4つの転換点の平均を求め速度表象とした。

4.2 遮蔽後速度表象評価実験結果(実験1)

被験者10名が回答した見越距離と実移動距離と関係を図4に示す。見越距離を、実移動距離に対する割合で平均すると、可視条件が $101.9 \pm 10.8\%$ (以下、平均±標準偏差と表記する)、遮蔽条件が $52.4 \pm 14.5\%$ であった。多重比較検定の結果、見越距離は可視条件よりも遮蔽条件の方が有意に過小評価した。

被験者10名の予測速度の平均は、可視条件が 8.77 ± 0.69 deg/s、遮蔽条件が 3.05 ± 0.97 deg/sであった(図6)。視覚刺激の運動物体の速度は10 deg/sであり、遮蔽条件では、見越距離過小評価が認められた。

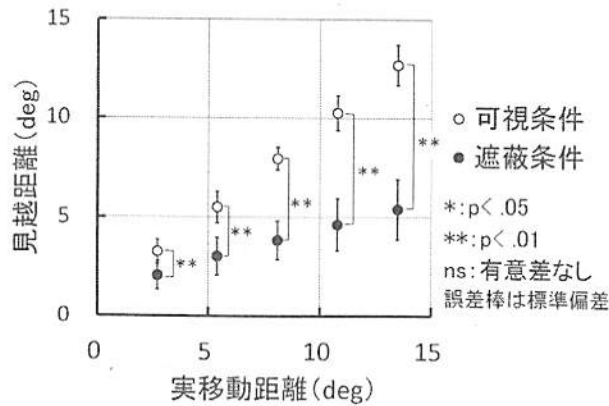


図4 見越距離に対する遮蔽の影響(実験1)

Fig.4 Effect of the occlusion to the answer distance: Exp. 1

運動物体の遮蔽後速度表象評価実験の結果の例を図5に示す。この例は、実験方法の手順に示した10種類の視覚刺激の1種類で、トリガ刺激呈示時間が0.81s、ストライプフローの速度を4 deg/sから呈示し始めた条件の結果をグラフ化したものである。縦軸はストライプフローの速度を、横軸は試行を表す。視覚刺激が10種類あるため、この例の視覚刺激は、10試行に1回のペースで被験者に呈示される。図中の $\circ$ ・ $\pm$ ・ $+$ は、運動物体速度に対するストライプフローの速度を比較回答した結果を表し、 $-$ が「遅い」、 $\pm$ が「同じ」、 $+$ が「速い」と回答した結果を表す。

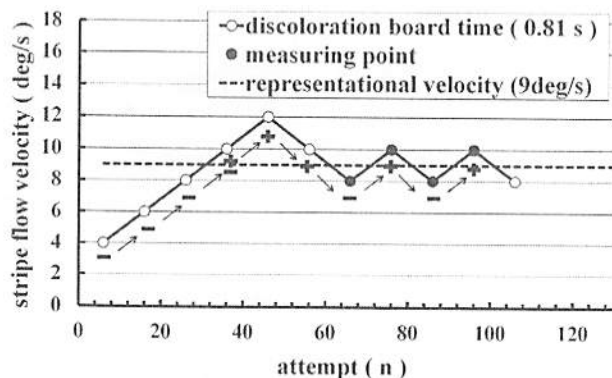


図5 遮蔽後速度表象評価実験の結果の例:被験者 K

Fig.5 Example of the representational velocity evaluation experiment: Subject K

速度表象は、可視条件で 9.13 ± 1.04 deg/s、遮蔽条件で 8.38 ± 0.76 deg/sであった(図6)。速度表象は、いずれの条件でも、運動物体の実速度(10 deg/s)に近い値を示した。多重比較検定の結果、遮蔽条件のみ速度表象に対して予測速度が有意に低下した。また、何れの測定方法でも、遮蔽により速度が有意に低下した。

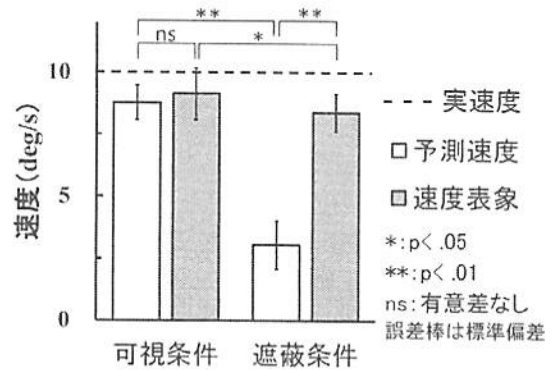


図6 予測速度と速度表象に対する遮蔽の影響

Fig.6 Effect of the occlusion to the anticipation velocity and representational velocity.

5 注意の影響検討実験(実験2)

5.1 注意の影響検討実験方法(実験2)

実験2では、遮蔽後物体の運動に注意を向けて追従することと同時に、不定のトリガ刺激呈示に注意を向けることが、見越距離の過小評価へ影響を与えた可能性を検証する。不定のトリガ刺激呈示に注意を向けることは、見越距離回答の要求を行うことにより生じていると考え、見越距離の回答要求の有無を統制し、回答要求有条件と回答要求無条件を設定した。被験者は、健康な成人男性8名(21~31歳)とした。被験者の視力は、裸眼または矯正視力で0.7以上であった。全員、同様の実験に初参加であった。

物体の運動速度は15 deg/sとした。回答要求無条件では、運動物体遮蔽後はトリガ刺激を意識せず、板右端まで仮想的追視をするように指示した。回答要求条件では、見越距離に関する正答はフィードバックしなかった。トリガ刺激呈示時間は、0.09sから0.90sまで0.09s毎に10種類とした。回答要求有条件では、10種類の条件がランダムに3回出現するように30試行を行い、回答要求無条件では、ランダムに1回出現するように10試行を行った。

ここで、回答要求無条件では、被験者の見越距離が不明であるため、平均視線移動速度から推定した。遮蔽前の平均視線移動速度は、物体の運動開始時から遮蔽開始時までの、時間と水平方向の視線移動距離から求めた。遮蔽後の平均視線移動速度は、運動物体遮蔽開始時から0.9s後(最大のトリガ刺激呈示時間)までの、時間と水平方向の視線移動距離から求めた。ただし、回答要求有条件の場合、トリガ刺激呈示後は、回答する目盛りを、注視するために仮想的追視を終了してしまう。そのため、トリガ刺激呈示時間と水平方向の視線移動距離から求めた。

5.2 注意の影響検討実験結果(実験 2)

回答要求有条件の予測速度は、呈示したボール速度 (15 deg/s) に対する百分率で $43.7 \pm 11.2\%$ であった。回答要求無条件では、予測位置の回答が無い場合、予測速度は不明である。回答要求有条件では、遮蔽後の見越距離過小評価が生じていた。

眼球運動計測装置にて測定した、左右それぞれの視線の水平方向座標の平均を、被験者の視線の水平方向座標とした。先行研究[17]同様に遮蔽後は、追跡眼球運動での仮想的追視が出来ず、停止とサッカードを繰り返していた。結果の例を図 7 に示す。この例は、両条件共にトリガ刺激呈示時間が 0.63 s である。縦軸は、視線の位置を表し、0 が画面中央、下が左方向、上が右方向を表す。横軸は、遮蔽開始時を 0 とした時間を表す。実線が回答要求有条件、点線が回答要求無条件、破線が運動物体の実位置を表す。この例では、回答要求条件の視線は、遮蔽前に、運動物体より先行し、板へ移動しているが、その後は実際の運動物体よりも低速で動かし、運動物体の実位置よりも大幅に遅れる。しかし、回答要求無条件の視線は、遮蔽後も運動物体の実位置付近に位置し、運動物体の実位置よりも大幅に遅れない。

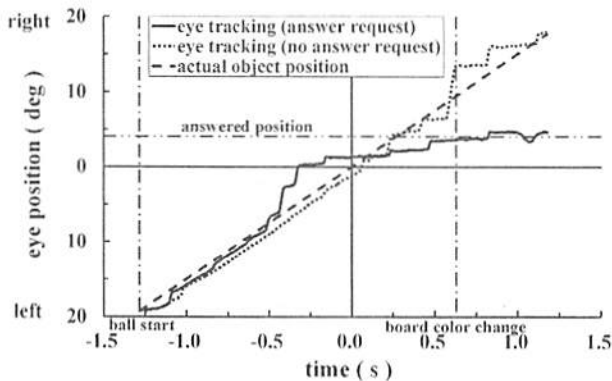


図7 水平方向視線運動の例: 被験者 T

Fig.7 Example of horizontal eye movement : Subject T

被験者 8 名の遮蔽後の視線移動距離を図 8 に示す。各トリガ刺激呈示時刻における両条件の差の検定を行った。結果、遮蔽後物体の移動距離が長くなるにつれて、可視条件よりも遮蔽条件の遮蔽後物体の見越距離が過小評価された。

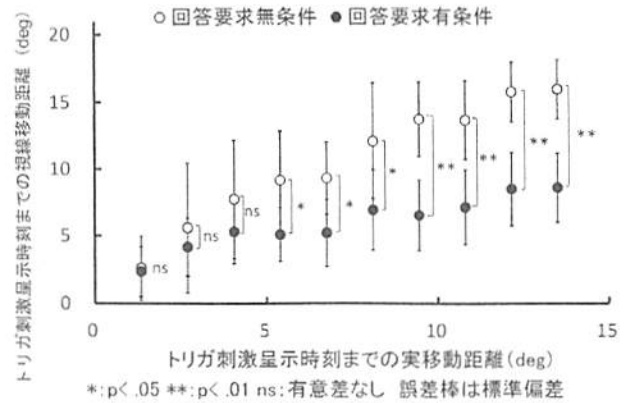
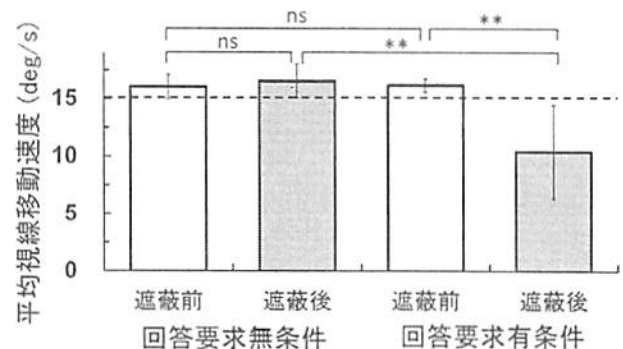


図8 トリガ刺激呈示時刻までの視線移動距離

Fig.8 Eye tracking distance of trigger time

運動物体を板により遮蔽した前後の、被験者の平均視線移動速度を図 9 に示す。回答要求無条件では平均視線移動速度が遮蔽前 16.04 ± 1.06 deg/s、遮蔽後 16.55 ± 1.49 deg/s となった。回答要求有条件では平均視線移動速度が遮蔽前 16.18 ± 0.58 deg/s、遮蔽後 10.41 ± 4.08 deg/s となった。多重比較検定の結果、回答要求有条件のみ、遮蔽後の平均視線移動速度が有意に低下した。つまり、不定のトリガ刺激呈示に注意を向けることにより遮蔽後の平均視線移動速度が低下した。また、回答要求有条件の予測速度と平均視線移動速度の相関関係を検定した結果、有意な正の相関関係 ($r=.844$, $p>.01$) が認められた。



——は実速度 **: $p < .01$ ns: 有意差なし 誤差棒は標準偏差

図9 運動物体が遮蔽する前後の平均視線移動速度

Fig.9 Average eye movement velocity before and after the occlusions.

6 眼球運動条件統制実験(実験 3)

6.1 眼球運動条件統制実験方法(実験 3)

実験 3 では、見越距離過小評価と眼球運動の因果関係を検討するために、眼球運動を統制し、追跡眼球運動による追視を指示した追視条件と、眼球運動による追視を制限した固視条件を設定した。固視点は、運動物体の遮蔽開始位置(板左端中央)である。

被験者は、健康な男子大学生 7 名 (19~20 歳) とした。被験者の視力は、裸眼または矯正視力で 1.0 以上であった。全員、同様の実験に初参加であった。被験者には、位置に関する正答をフィードバックしなかった。トリガ刺激呈示時間は、0.27 s から 0.90 s まで 0.09 s 毎に 8 種類とした。8 種類の条件がランダムに 3 回出現するように 24 試行を行った。

6.2 眼球運動条件統制実験結果 (実験 3)

被験者 7 名が回答した見越距離から求めた予測速度は、呈示した実速度 (15 deg/s) に対する百分率で、追視条件では $27.6 \pm 8.2\%$ 、固視条件 $37.7 \pm 12.9\%$ であった。何れの条件でも見越距離過小評価が見られた。多重比較検定の結果、追視条件に比べて固視条件は予測速度が有意に上昇した。また、両条件共に実速度に対して予測速度が有意に低下し、遮蔽後物体の見越距離過小評価が生じた (図 10)。

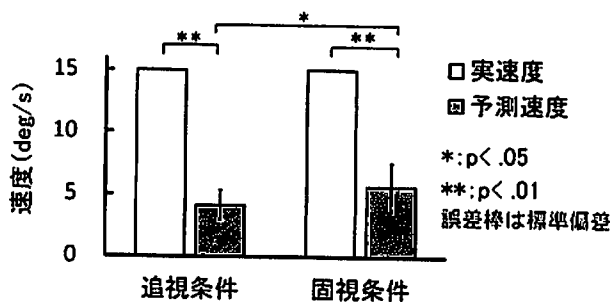


図10 眼球運動条件が予測速度に与える影響

Fig.10 Effect of the eye movement to the anticipation velocity.

7 考察

7.1 見越距離過小評価の発生要因

実験 1 の可視条件と遮蔽条件の結果を比較すると、速度表象は遮蔽により、9.13 deg/s から、8.38 deg/s へと低下したものの、その低下率は 8.2 % であった。速度表象の低下率が、見越距離の指標としている予測速度 (8.77 deg/s から 3.05 deg/s) の低下率 65.2 % を大きく下回ったことから、見越距離過小評価を、遮蔽後の速度表象の低下によって説明する事は困難である。この実験結果は、TTC 等の遮蔽後物体における時間知覚精度が高いこと [1,2] から予想される、遮蔽後の速度表象の維持の可能性を支持する。

また、眼球運動を統制した実験 3 において、追視条件より固視条件の方が、予測速度が約 1.4 倍に上昇した。これは、先行研究 [12-14] により予測された、追跡眼球運動による距離の過小評価を支持する。しかし、何れの条件でも見越距離過小評価が生じたことから、その追跡眼球運動による錯覚のみで見越距離過小評価を説明するには不十分であった。つまり、実験 2 での視線の

移動速度の低下により、見越距離過小評価が生じたとは考えにくく、見越距離が過小評価されたことにより、平均視線移動速度が低下したと考える方が妥当である。

実験 2 において、回答要求無条件の平均視線移動速度は、実速度にほぼ近い値を示したのに対し、回答要求有条件では、有意に低下した。一方、見越距離の指標としている予測速度は、回答要求有条件では大幅に低下していたものの、回答要求無条件ではデータが存在しないために不明である。しかし、回答要求有条件での平均視線移動速度と予測速度は有意な相関関係が認められたことから、回答要求無条件では予測速度が低下していない。つまり、見越距離は過小評価されていないと考えられる。これらのことから、回答要求をすることにより、不定のトリガ刺激を呈示する場所、つまり、板へ注意を向けることが、遮蔽後物体の、注意による追従に影響を及ぼし、見越距離過小評価が生じたと考えられる。

ここで、我々の先行研究で、トリガ刺激が聴覚刺激でも見越距離過小評価が生じた [4,18] ことから、単に板に注意が向けられることが影響しているのではない。つまり、遮蔽後運動物体に注意を向けて追従しながら、同時に不定のトリガ刺激の情報源に対し注意を向けることが、遮蔽後物体の見越距離過小評価の発生要因であることが強く示唆された。

7.2 見越距離過小評価のメカニズム仮説と今後の課題

見越距離過小評価に注意の分割が影響したメカニズムの例として、Zakay の dual-process contingency model [16] を先記した。Zakay の実験では、呈示時間が 12 s から 15 s と、本実験における遮蔽後時間の 0.09 s から 0.9 s と比較して短い。同様のメカニズムにより時程短縮が生じた可能性が考えられ、今後の検討課題としたい。

8 まとめ

本研究では、遮蔽後物体の移動距離の見越しが過小評価される現象の原因解明を目的とし、遮蔽後物体の移動距離の見越しに対する、速度表象の過小評価の影響、注意配分の低減の影響、そして、眼球運動の影響を検討した。

実験の結果、遮蔽後物体の速度表象は維持され、眼球運動の影響は少なかった。また、遮蔽後物体への注意による追従と同時に、不定のトリガ刺激の情報源に注意を向けることにより、移動距離の見越しを過小評価した可能性が強く示唆された。そのメカニズム仮説として、注意の分割による注意配分の低減が過小評価に影響している可能性が考えられた。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費(課題番号 22500589, 22500588)ならびに特別教育研究費共生情報工学研究推進経費の助成を受けたものである。ここに記して感謝する。

参考文献

- [1] Todd JT: Visual information about moving objects, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7(4), 795-810 (1981)
- [2] 吉田信彌: 速度見越反応検査の代替検査作製の試み, *東北学院大学論集一般教養*, 70, 1-15 (1980)
- [3] 竹市勝, 藤田欣也, 田中秀幸: 仮想環境を利用した自由落下物体の位置予測特性の解析, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 9(3), 299-308 (2004)
- [4] 竹市勝: 運動物体の位置予測課題における予測速度低下に関する研究, *東京農工大学大学院工学府電気情報工学専攻学位(博士)論文*, 1-103 (2008)
- [5] 藤田欣也, 竹市勝, 新井健之: 仮想環境を用いた走行物体の遮蔽後位置予測機構の解析, *自動車技術会学会術講演会前刷集*, 111(08), 1-4 (2008)
- [6] Freyd JJ, Finke RA: Representational momentum, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10(1), 126-132 (1984)
- [7] Nijhawan R: Motion extrapolation in catching, *Nature*, 370, 256-257 (1994)
- [8] Becker W, Fuchs AF: Prediction in the oculomotor system: smooth pursuit during transient disappearance of a visual target, *Experimental Brain Research*, 57(3), 562-575 (1985)
- [9] 新井健之, 藤田欣也, 竹市勝: 運動物体の遮蔽後位置予測における注意の影響, *日本バーチャルリアリティ学会第14回大会論文誌*, 193pdf, 1-4 (2009)
- [10] Runeson S: Constant velocity — Not perceived as such, *Psychological Research*, 37(1), 3-23 (1974)
- [11] 本田仁視: 眼球運動と知覚現象, 大山 正・今井省吾・和氣典二(編)新編 感覚・知覚ハンドブック, 誠信書房, 886-871 (1994)
- [12] Nijhawan R: The flash-lag phenomenon: object motion and eye movements, *Perception*, 30, 263-282 (2001)
- [13] Honda H: Spatial localization in saccade and pursuit-eye-movement conditions: a comparison of perceptual and motor measures, *Perception & Psychophysics*, 38(1), 41-46 (1985)
- [14] Honda H: The extraretinal signal from the pursuit-eye-movement system: its role in the perceptual and the egocentric localization systems, *Perception & Psychophysics*, 48(5), 509-515 (1990)
- [15] 蘆田宏, 苅坂直行: 注意による運動の追従と高次運動知覚, *心理学評論*, 44(1), 85-94 (2000)
- [16] Zakay D: Relative and absolute duration judgments under prospective and retrospective paradigms, *Perception & Psychophysics*, 54(5), 656-664 (1993)
- [17] 本田仁視: 眼球運動と空間定位, 風間書房, 東京 (1994)
- [18] 竹市 勝, 藤田 欣也, 田中 秀幸: 自由落下物体の位置予測におけるトリガー刺激感覚の影響, *電子情報通信*

学会技術研究報告, 105(165), 93-96 (2005)

(2010年8月17日)

[著者紹介]

新井 健之 (学生会員)



1992 年横浜国立大学大学院教育学研究科修了, 現在東京農工大学博士後期課程在学中, 高千穂大学商学部准教授. 運動物体の知覚と身体運動パフォーマンスのトレーニング方法に関する研究に従事 (教育学修士).

藤田 欣也 (正会員)



1988 年慶應義塾大学大学院理工学研究科修了, 相模工業大学, 東北大学医学部, 岩手大学を経て, 現在東京農工大学大学院教授. 共有仮想空間コミュニケーション, VRシステムや感覚の遠隔共有など, 人と共生する情報システムのためのヒューマンインタフェースの研究に従事 (工学博士).

竹市 勝 (正会員)



1988 年筑波大学大学院体育研究科修了, 2008 年東京農工大学博士後期課程修了, 国士舘大学政経学部教授. 運動物体の認知および位置予測と運動パフォーマンスに関する研究に従事 (体育学修士)・博士(工学).