

運動物体の遮蔽後位置予測における速度表象学習について

新井 健之***・藤田 欣也*・竹市 勝***

* 東京農工大学大学院 工学府

〒 184-8588 東京都東小金井市中町 2-24-16

** 日本工学院八王子専門学校 スポーツカレッジ

〒 192-0983 東京都八王子市片倉町 1404-1

*** 国士舘大学 政経学部

〒 154-8515 世田谷区世田谷 4-28-1

1. はじめに

テニスや野球・アメリカンフットボールなど活動中は、様々な場面で運動物体を認知・捕捉することにより活動が成り立っている。その中でも、野球やアメリカンフットボールのランニングキャッチなどは一時的に運動物体の視覚情報を断ち進行方向を向いて走った方が、後ろ向きで走るよりもキャッチできる範囲が広がる。つまり、より高いパフォーマンスを得ることが期待できる。その為には視覚情報が断たれた後のボールの到達位置・時間を予測できる能力が必要となる。先行研究によると落下物体における遮蔽後の位置予測実験では、被験者が頭の中で想像する遮蔽物体の運動速度は、実際の落下運動速度と比較して、1/6 から 1/5 程度と大幅に低下する予測速度低下現象が報告されている¹⁾。つまり、運動物体の視覚情報が断たれた後の運動物体の速度を遅く見積もり、実際の位置よりも手前にあるように錯覚することが分かっている。しかし、予測速度低下現象の原因解明には至っていない²⁻⁶⁾。

水平運動物体においても遮蔽後位置予測課題では、約 1/3 の予測速度低下現象が見られた。しかし、運動物体の遮蔽後再出現時刻予測課題を同一被験者で行ったところ、個人差はあるがほぼ正しい時刻を予測出来ることが報告されている⁷⁾。

他の運動物体の消失や衝突後の認知に関する

先行研究では、消失位置を運動方向に誤る表象的慣性 (representational momentum; RM) や、因果関係の知覚 (launching effect; LE) などが知られている^{8,9)}。TTC (time to contact) における先行研究では、知覚される TTC は実際の TTC に比べて過少評価される、すなわち速度を速く見積もる傾向があり、その過少評価の量は実際の TTC が増加するほど、また対象の速度が減少するほど増加する¹⁰⁾。TTC の弁別閾値は、絶対量で 50 ms, 相対量では 1.6% であることが示されている¹¹⁾。また、追跡眼球運動速度は減速をするが消失後の定速視標を追視することが出来ることが報告されている¹²⁾。

遮蔽後位置予測課題における眼球運動測定では遮蔽後の平均視点移動速度が低下していることから速度表象そのものが失われている可能性が指摘されている¹³⁾。

本研究では、遮蔽によって失われた可能性のある運動物体の速度表象を学習で正しく再形成 (維持) することが出来るのか否かについて検討を行った。すでに、水平運動物体の遮蔽後位置予測課題における実位置を予想位置回答直後にフィードバックして、運動物体の速度と到達時刻の関係を教示する学習実験において、学習試行回数が 100 回ではあるが、運動物体の遮蔽後位置予測における学習の可能性について検討を行った。結果、学習の可能性が見られたが、学習途中と考えられるデータが多く見受けられたことは発表している¹⁴⁾。

2. 方 法

2.1 被験者

本研究の被験者は、健康な学生7名およびプロテニスプレーヤー1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。被験者は全員、運動物体の遮蔽後位置予測課題学習実験に今回初めての参加であった。Buizza et al. (1984)¹⁵⁾は、追跡眼球運動の追跡可能速度は20~40 deg/sと報告しており、設定速度15 deg/sは十分に追跡が可能な速度と考えられる。

2.2 セットアップ

コンピュータとディスプレイのシステムで、自作ソフトウェアにより仮想環境を構築した。描画速度とリフレッシュレートは、ともに100 frames/sとした。被験者とディスプレイの位置は、ディスプレイに描画された仮想環境と現実環境の視野角が45 degになるようにディスプレイ上の遮蔽板を基準にディスプレイまでの距離(0.50 m)を決定した。さらに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状態で、ディスプレイ上の仮想環境を観察させた(Fig. 1)。

2.3 実験要領

ディスプレイ上に表示された仮想環境において、運動物体(ボール; 前方2.5 m, 直径40 mm・0.73 deg)の左から右への水平等速運動を再現した。被験者には、水平運動物体の遮蔽後、色の変化による視覚刺激を与え、一定時刻後における位置を判断させる実験を行った。Fig. 2のように仮想環境において被験者の前方2.5 mの位置で、物体を等速で水平運動させ、画面中央から板で遮蔽し一定時間後に板を変色させて視覚刺激を与え、そのときのボールの位置を目盛りにて回答させた。ボール速度は学習課題では15 deg/s, 測定課題では7.5 deg/s, 15 deg/s, 30 deg/sの3種類とした。遮蔽板の長さは1.1 m・19.3 degとし、遮蔽から視覚刺激までの視野角は3.5, 5.0, 6.5, 8.0, 9.5, 11.0, 13.5, 15.0 degの8種類とした。

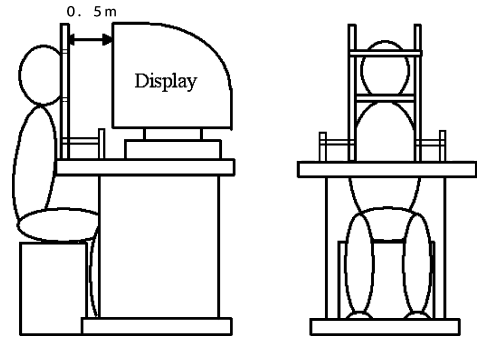


Fig. 1. 実験セットアップ

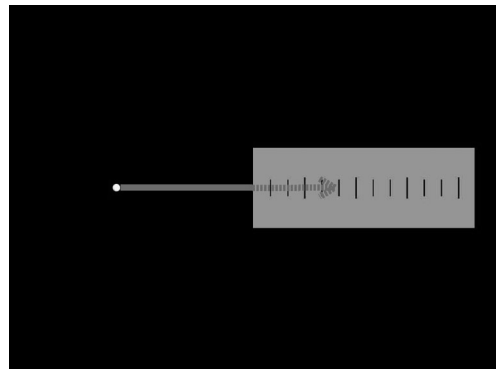


Fig. 2. 運動物体の遮蔽後位置予測実験および学習実験

学習課題としてランダムに25 試行×16 セット, 合計400 試行を行った。学習方法は運動物体遮蔽後予測位置を被験者が回答直後、実位置を口頭で提示することによるフィードバック学習を行った。被験者に学習中は無理に正解を答えようとはせず、直感的に予測した位置を答えるように指示をした。

学習の効果および学習過程を比較するために学習前, 100 試行学習後, 200 試行学習後, 300 試行学習後, 400 試行学習後に測定を行った。測定課題は学習課題と同様のものをランダムに25 試行, 口頭による実位置のフィードバックを行わずに行った。また, 学習速度以外への汎化を評価するために, 今回の被験者8名中6名を対象に, 学習前, 100 試行学習後, 400 試行学習後に7.5 deg/s(学習速度の1/2)および, 30 deg/s(学習速度の2倍)にて測定課題を

行った。

また、学習効果の維持を見るために、今回の被験者 8 名中 4 名を対象に学習停止後 29 から 105 日の間に再び測定課題を行った。被験者は学習停止後測定までの期間に再学習を行ってはいない。

2.4 分析

平均回答位置と表象速度の 2 項目を分析し、平均回答位置および表象速度の変化から速度表象の学習可能性と学習過程を検討した。

2.4.1 平均回答位置

測定課題 25 試行それぞれの遮蔽後運動物体予測回答位置（以下回答位置）の遮蔽後運動物体位置（以下実位置）に対する比率を求め、その平均値を平均回答位置とした。

2.4.2 表象速度

横軸に実位置、縦軸に回答位置をとり、測定課題 25 試行全てのデータから回帰直線の傾きを求めた (Fig. 3)。得られた回帰直線の傾きは、被験者が遮蔽後運動物体の位置を予測した際の速度表象を表していると考え、これを表象速度と定義した。

3. 結果

3.1 学習前の平均回答位置と表象速度

学習前の平均回答位置は $63.0 \pm 17.5\%$ と低下が見られ、表象速度は $48.7 \pm 14.9\%$ と今までの先行研究同様に運動物体の遮蔽後に著しく低下した (Table 1, Fig. 4)。

3.2 学習過程における平均回答位置と表象速度の変化

100 試行学習後における平均回答位置は学習前の $63.0 \pm 17.5\%$ から $93.9 \pm 7.8\%$ とほぼ実位置に近い値まで示すようになったが、表象速度は学習前の $48.7 \pm 14.9\%$ から $57.8 \pm 8.5\%$ とあまり上昇をしていない。その後、200 試行、300 試行、400 試行と学習が進むにつれて平均回答位置は $97.5 \pm 7.3\%$ 、 $96.8 \pm 8.7\%$ 、 $98.9 \pm 8.6\%$ と頭打ちになる一般的な学習曲線を示したが、表象速度は $61.2 \pm 13.6\%$ 、 $63.7 \pm 12.7\%$ 、 $75.6 \pm 14.3\%$ とほぼ直線的に上昇した (Table 1, Fig. 4)。

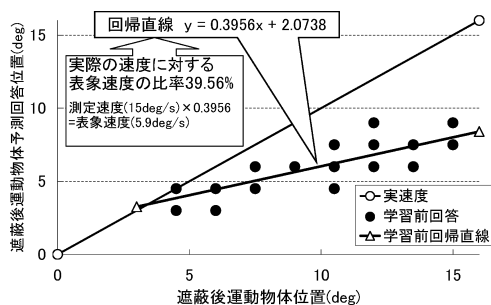


Fig. 3. 表象速度算出例 (被験者 I・学習前)

Table 1. 運動物体遮蔽後速度表象学習結果 ($n=8$)

	学習前	100試行学習後	200試行学習後	300試行学習後	400試行学習後
平均回答位置	$63.0 \pm 17.5\%$	$93.9 \pm 7.8\%$	$97.5 \pm 7.3\%$	$96.8 \pm 8.7\%$	$98.9 \pm 8.6\%$
表象速度	$48.7 \pm 14.9\%$	$57.8 \pm 8.5\%$	$61.2 \pm 13.6\%$	$63.7 \pm 12.7\%$	$75.6 \pm 14.3\%$

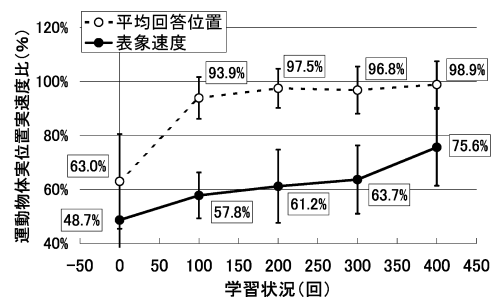


Fig. 4. 運動物体遮蔽後速度表象学習曲線 ($n=8$, 学習速度 15 deg/s, 縦線は標準偏差を表す)

3.3 速度表象学習の汎化の評価

表象速度の変化は 7.5 deg/s (学習速度の $1/2$) で $46.8 \pm 11.9\%$ (学習前), $61.0 \pm 12.8\%$ (100 試行学習後), $77.0 \pm 8.8\%$ (400 試行学習後), 30 deg/s (学習速度の 2 倍) で $46.4 \pm 9.1\%$ (学習前), $51.9 \pm 8.7\%$ (100 試行学習後), $63.5 \pm 10.3\%$ (400 試行学習後) と学習速度以外のボール速度への学習の汎化が見られた (Table 2, Fig. 5)。また、学習過程において平均回答位置は $1/2$ (7.5 deg/s) と 2 倍 (30 deg/s) 共に学習速度 (15 deg/s) 同様の一般的な学習曲線を示した (Fig. 5)。表象速度の変化も学習速度 (15 deg/s) 同様に直線的な学習曲線を示した (Fig. 5)。そして、先行研究同様に学習前には遮蔽後の表象速度の低下現象が見られた (Table 2)。

Table 2. 学習効果の汎化 ($n=6$, 学習速度 15 deg/s)

測定速度	学習前	100試行学習後	200試行学習後	300試行学習後	400試行学習後
平均回答位置	15deg/s 63.0±17.5%	93.9±7.8%	97.5±7.3%	96.8±8.7%	98.9±8.6%
学習15deg/s	7.5deg/s 68.6±16.5%	90.8±14.2%		102.9±13.5%	
	30deg/s 65.0±10.6%	89.8±14.1%		99.0±13.4%	
表象速度	15deg/s 48.7±14.9%	57.8±8.9%	61.2±13.6%	63.7±12.7%	75.6±14.3%
学習15deg/s	7.5deg/s 46.4±9.1%	51.9±8.7%		63.5±10.3%	
	30deg/s 46.4±9.1%	51.9±8.7%		63.5±10.3%	

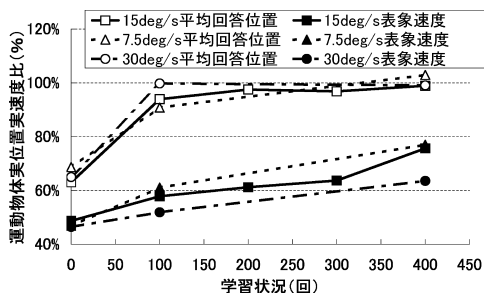


Fig. 5. 学習効果の汎化 ($n=6$, 学習速度 15 deg/s)

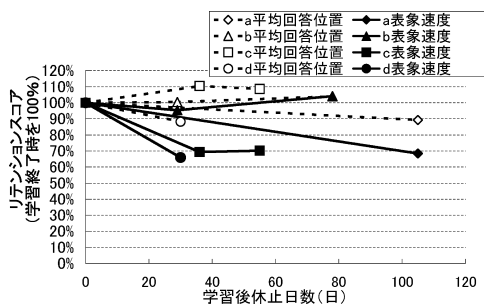


Fig. 6. 学習効果の忘却曲線 ($n=4$, 学習速度 15 deg/s)

3.4 速度学習効果の維持の評価

学習効果がどの程度維持されているのかを評価するために、400 試行学習後の値を 100% とした忘却曲線を Fig. 6 に示す。被験者の人数は少ないが、表象速度のリテンションスコアは約 1 ヶ月後に 95.4%, 69.4%, 65.9%, 約 3 ヶ月後に 68.4% と、学習効果が維持されている様子が確認できる。

4. 考 察

運動物体遮蔽後速度表象学習曲線に見られるように、学習初期（学習前から 100 試行学習後）において、平均回答位置が $63.0 \pm 17.5\%$ から $93.9 \pm 7.8\%$ へと実位置に大きく近づいたのに対し、表象速度は $48.7 \pm 14.9\%$ から $57.8 \pm 8.5\%$

と平均回答位置に比較して変化が小さかった。学習前の平均回答位置が実位置の約 6 割と大幅に小さいことから、学習実験で被験者は自らが回答した位置に対して、約 1.6 倍の位置を正しい位置としてフィードバックされることになる。被験者には、学習中は無理に正解を答えようとせず、直感的に予測した位置を答えるように指示を行い、実験中も毎セット間に正解を予想して答えず、直感的に予測位置を答えていることを口頭で確認している。それにもかかわらず、学習初期において、平均回答位置は大きく変化した表象速度は変化が小さかった。学習初期において被験者は無意識のうちに、回答位置と実位置との位置誤差を修正する学習がなされたと考えられる。しかし、物体の運動速度の学習がなされるわけではなく、結果、表象速度の変化は小さくなったと考えられる。つまり、学習初期には速度よりも先に回答位置と実位置との位置誤差学習が進行すると考えられる。その後、学習が進むにつれて平均回答位置は徐々に実位置に近づいてくる。表象速度の変化はほぼ直線的に上昇している。このことは位置誤差学習の後に速度表象の学習が起きる可能性を示唆していると考えられる。

また、学習課題において、物体運動速度の 1/2 や 2 倍の速度に対する学習の汎化が見られた。さらに、数か月に渡り学習効果が維持されたことから、今回の学習効果は学習速度に固有の現象とは考えにくく、遮蔽後運動物体の予測において一般的に生じる可能性が高いと予想される。

5. ま と め

運動物体の遮蔽後速度表象低下は学習により改善できる可能性があるが、学習初期から速度表象の学習が進むのではなく、まず位置誤差が学習され、その後に速度表象の学習が起きる可能性が示唆された。学習効果は学習課題における物体運動速度の 1/2 や 2 倍の速度へも学習の汎化が見られることや、数か月に渡り学習効果が維持されることから、今回と同様の学習過程

が、他の条件でも生じる可能性が高いと予想される。

今回は、表象速度を回答位置の正規化により求めたが、今後は遮蔽後の運動物体の速度表象を眼球運動速度から推定するなど、より詳細な速度表象の変化の解析を行っていきたい。

謝辞 本研究の一部は科研費(19500548)および立石財団科学研究助成金によって行われた。ここに記して感謝の意を表す。

文 献

- 1) 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), 299–307, 2004.
- 2) 竹市 勝, 藤田欣也, 田中秀幸: 落下物体の位置予測における予測速度低下現象に関する検討. *日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集*, Sep., 2004.
- 3) M. Takeichi, K. Fujita and H. Tanaka: Human anticipation property of free-falling object position in virtual environment. *The 14th International Conference on Artificial Reality and Telexistence*, 526–529, Seoul, Korea, Dec. 2004.
- 4) 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.
- 5) 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予測速度の低下に関する検討. *BPES2004 第19回生体・生理工学シンポジウム論文集*, 83–84, 2004.
- 6) 竹市 勝, 藤田欣也, 田中秀幸: 自由落下物体の位置認知における認知限界速度仮説. *BPES2005 第20回生体・生理工学シンポジウム論文集*, 257–258, 2005.
- 7) 新井健之, 藤田欣也, 竹市 勝: 運動物体の遮蔽後位置予測と再出現時刻予測に関する研究. *日本バーチャルリアリティ学会第12回大会論文誌*, 466–469, 2007.
- 8) J. J. Freyd and R. A. Finke: Representational momentum. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, & Cognition*, **10**, 126–132, 1984.
- 9) A. Michotte: The perception of causality, Translated by T. R. Miles and E. Miles, Methuen, 1963.
- 10) W. Schiff and M. L. Detwiler: Information used in judging impending collision. *Perception*, **8**, 647–658, 1979.
- 11) J. T. Todd: Visual information about moving objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **7**, 795–810, 1981.
- 12) W. Becker and A. F. Fuchs: Prediction in the oculomotor system: smooth pursuit during transient disappearance of a visual target. *Experimental Brain Research*, **57**, 562–575, 1985.
- 13) 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.
- 14) 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学習可能性の検討. *日本バーチャルリアリティ学会研究報告VR心理学研究会第10回研究会資料集*, 19–22, 2007.
- 15) A. Buizza, R. Schmid and M. R. Gigi: The range of linearity of the smooth pursuit control system. *A. G. Gale and F. Johnson (eds): Theoretical and applied aspects of eye movement research*, North-Holland, 473–480, 1984.