

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：22604

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18562

研究課題名（和文）移動視標の将来を予測する視覚～表象的慣性～のヒト・動物間比較認知科学的解明

研究課題名（英文）Human-rat comparative examinations on representational momentum as anticipatory visual perception

研究代表者

今中 國泰（Imanaka, Kuniyasu）

東京都立大学・人間健康科学研究科・客員教授

研究者番号：90100891

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、移動視標の数ミリ秒先を予測する視覚機能としての表象的慣性、Representational Momentum (RM)、がヒト・動物共通の機能か否かを検討するため、ヒトと動物（ラット）共通のRM実験を行った。実験では、視標をタッチパネル上で水平移動・停止・停留（500、1000ms）・消失させ、その消失位置へのタッチ反応を行わせ、500-1000msタッチ誤差の差分をRMとした。ラット実験では7匹が有意な500-1000ms差分RMを示し、ヒト実験でも有意な500-1000ms差分RMが得られたことから、RMがヒト・ラット共通機能である可能性が示され、その行動的相違点も示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

予測的視覚機能としての表象的慣性RMは、その知覚特性、熟練者特性、発育発達特性などの知見が多数報告されてきたが、いずれもヒトを対象としており動物に関する知見はほとんどない。RMが視覚の予測的機能であることから、視覚を有する動物にも備わる機能である可能性が高い。そこで本研究では、RMがヒト・動物共通の視覚機能であるか否かを検討するため、ヒト・動物（ラット）共通の実験系によるRM実験を実施した。その結果、ヒト同様にラットもRM機能を有すること、また行動的相違点があることもわかり、従来ヒトRMの知見に加え、RMがヒト・動物に共通する視覚機能であるという新知見を示し、RMの新たな展望を提起した。

研究成果の概要（英文）：This study compared humans and rats, using identical experimental procedures, on the representational momentum (RM), known as an anticipatory visual behavioral function in which the memory representation of vanishing point of a moving object tends to be displaced forward in the direction of its motion. In our experiments, a visual stimulus moved horizontally on a touch-screen display, followed by stationary presentation of it for 500 or 1000 ms, then vanished. Both human and rat participants were asked (trained) to touch the perceived vanishing point of the stimulus after its vanishing. Seven out of 14 rats successfully performed the touch tasks with significantly larger positive errors appearing in 500 ms than 1000 ms conditions, resulting in a significant RM. Human participants significantly replicated the larger positive touch errors in 500 ms than in 1000 ms, indicating a significant RM. Our findings showed that RM could exist in both humans and rats with similar characteristics.

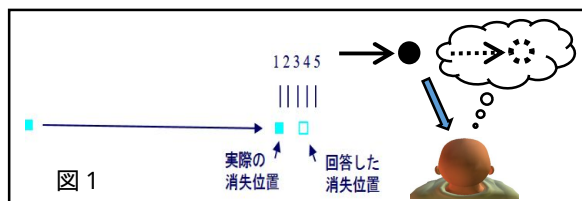
研究分野：知覚と行為

キーワード：比較認知行動科学 表象的慣性 視覚的予測 ヒト ラット

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究のキー概念である表象的慣性(Representational Momentum, RM, Freyd & Finke, 1984)とは、移動視標の数百ミリ秒将来が見えるという視覚特性である。RM は、一種の視覚的錯覚ともいえるが、一方向に動く物体・視標を突然消失させると、その消失位置が実際の消失位置より数百ミリ秒先の将来の到達位置に知覚され、表象が将来方向に偏倚する(Hubbard & Bharucha, 1988、図1)。Freyd & Finke(1984)によれば、移動視標の消失点知覚の将来方向偏倚は、移動物体のある時点の視覚入力 of 記憶表象が静止した表象ではなく(環境事象と同様)移動し続ける動的表象であることを意味し、それを表象的慣性(RM)と呼んだ。表象的慣性 RM の知覚・認知特性は多数の先行研究により検証されてきている(Hubbard, 2005, 2015)。



本研究代表者はこれまで、表象的慣性RMの熟練者特性と発育発達特性に関する問題を検討してきた(基盤研究A、2013-2016、2017-2021)。野球熟練者のRM研究(Nakamoto et al. 2015)、テコンドー熟練者のRM研究(Imanaka et al., 2023)から、表象的慣性RMは熟練者で大きく、RMが時間的・空間的予測能力に關与していることが示唆された。表象的慣性RMの発育発達特性については、表象的慣性は幼児・小学低学年で最も大きく、成長・加齢に伴い減弱していくことから(Mori et al., 2022; Shirai et al. 2018)、表象的慣性機能は既に幼少期に獲得されていると推察された。これらのことから、表象的慣性RMには熟練性(可塑性)と早期形成(生得性)の2面性があることが明らかとなった。

移動物体への視覚的予測行動は、ヒトに限らず、視覚を有する動物にもみられるはずである。例えば天敵からの逃避行動や捕食行動では動く視対象の予測的視覚が必須となる。したがって動物も予測的視覚機能・表象的慣性RMを有している可能性が高い。もしそうであれば、表象的慣性RMは生物学的・進化的基盤と捉えられ、それは表象的慣性が幼少期に既に獲得されているという事実にも符合する。

2. 研究の目的

本研究では、動く物体の予測的視覚機能、表象的慣性RMが、ヒト特有の高次認知機能なのか動物にも備わる生物学的基盤なのかを比較認知科学的に明らかにすること、すなわち、ヒトのみならず動物も予測的視覚機能としての表象的慣性RMを有するの否かを検討することを目的とした。そのため、ヒト(成人)と動物(ラット)共通の視覚反応実験系を構築し、表象的慣性の知覚認知特性をヒト・動物間で比較認知行動科学的に検討した。もしヒト・動物の表象的慣性RMの共通性が明らかになれば、従来、高次認知機能と考えられてきたヒトの視覚的予測機能を、視覚を有する動物と共通の生物学的基盤の一機能として位置づけることが可能となる。本研究は、ヒト動物比較研究により、ヒトの主観的経験を支える予測機能を進化と認知科学の視点から展望するとともに、ヒトの認知・思考の特性、心の創発・発達の基盤となる知覚認知機能の起源とメカニズムなど、それらの広域的解明に繋がる挑戦的研究といえる。

3. 研究の方法

これまでの我々のヒト RM 実験研究と同様、移動刺激消失位置に対するタッチ反応課題を用い、ヒト(成人)・動物(ラット)共通の視覚反応実験を行った。

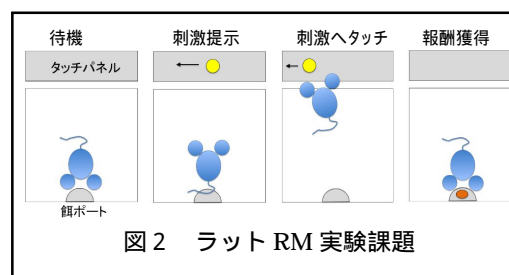
(1) ラット RM 実験

ラット RM 実験には、10 週齢のウィスター系雄ラット 14 匹を用い、実験課題学習及び RM 実験開始

時に、自由摂食時体重の 85%に至るように摂食制限を行った。実験装置には、タッチパネル装置を含むオペラント実験装置を用い、水平移動刺激(100 x 250 pixel)の呈示・消失位置へのタッチ反応を容易に行わせるため、タッチパネル上に 3 か所の刺激呈示窓(刺激と同サイズ)を設けたアクリル板を設置し、刺激呈示位置 3 か所以外へのタッチ反応を不可能とした。実験課題実施中、正反応には報酬餌を、誤反応には 5 秒間の室内ランプ点灯による罰を与えた。実験は、実験課題学習及び最終的な RM 実験いずれも、暗期(午後 4 時 午前 4 時)に暗室条件下で 1 セッション 30 分を上限として実施した。

移動刺激消失後のタッチ反応の学習のため、トレーニングセッションを順次実施し、a) 静止刺激へのタッチ反応、b) 静止刺激消失後のタッチ反応、c) 移動刺激-1000ms 静止刺激停留-その消失後タッチ反応、の段階的トレーニングを行った。各トレーニング段階は、正反応率が 70%前後に達した場合に順次進めた。これらトレーニング 3 段階を経た 7 匹のラットを対象に、最終的な RM 実験課題を実施した。

RM 実験では、タッチパネル上で左右いずれか一方に等速(300 pixel/s, 9 cm/s)水平移動する視覚刺激をタッチパネル上の 3 か所のタッチ窓のいずれかで消失させ、ラットが移動刺激呈示窓のタッチパネル上をタッチしたら報酬餌を与えることとした(図 2)。



刺激呈示・消失に関する実験条件は、従来からのヒト実験の RM 差分法(Mori et al., 2022)を一部変更し、移動刺激停止後 500ms あるいは 1000ms の時間で静止刺激を停留させた後に消失させる、という 2 つの刺激停留時間条件を設定した。RM 成分は静止刺激の停留時間が長くなるほど減衰していくことから、500ms 条件のタッチ誤差には 1000ms 条件より大きな RM 成分が含まれていると仮定できる。これに基づき、500ms 条件と 1000ms 条件のタッチ誤差の差分を RM として算出・推定した。

(2)ヒト RM 実験

ヒト RM 実験では、35 名の成人参加者を用いた。実験課題は従来の我々(Mori et al., 2022; Shirai et al., 2018)のヒト実験課題を踏襲し、タッチパネル上を水平移動する視覚刺激を任意の位置で消失させ、その消失位置をタッチさせる実験課題とし、実際の刺激消失位置とタッチ反応位置の水平方向誤差を RM サイズとした。刺激消失前の静止刺激停留条件については、ラット実験に準じ、500ms、1000ms を含む 7 条件(0, 167, 333, 500, 667, 833, 1000ms)を設定し、ブロック化デザインにより実施した。各静止刺激停留条件の実施順序はラテン方格により設定し、参加者間で順序効果を相殺した。各参加者は各条件下で 40 試行、計 280 試行を行った。RM サイズをそれぞれの静止刺激停留時間条件ごとに算出するとともに、ラット RM との直接比較のため、500ms と 1000ms 条件の差分による RM も求めた。

4. 研究成果

(1)ラット RM 実験の結果と考察

500、1000ms 条件下の反応の分類と正反応率

タッチ反応の段階的トレーニングを経た 7 匹に対し、最終的な RM 実験を繰り返し実施した(30 分セッションを週数日、3-4 ヶ月継続)。RM 実験では、トレーニング段階で習得した 1000ms 条件の試行を 90%、RM 算出のための 500ms 条件を 10%の割合でランダムに実施した。ラット 7 匹の平均試行数は 6744.6(SD = 561.6)試行であった。それらの試行は、無反応、刺激移動中タッチ反応、静止刺激停留中タッチ反応、刺激消失後タッチ反応に分類され、さらに刺激停留中タッチ反応、刺激消失後タッチ反応については、刺激呈示窓・非呈示窓それぞれへのタッチ反応が相当数含まれていた。なお、タッチ反応には刺激消失後 5 秒の制限時間を設け、5 秒以上経過した場合には無反応試行として取り扱った。

RM 算出にかかわる正反応は、刺激消失後の刺激呈示窓へのタッチ反応で、それ以外は誤反応となる。正反応率は、刺激消失後のタッチ反応中、刺激呈示窓への反応の率である。500ms 条件の正反応率は43.2%(SD=3.0)で、残り56.8%は刺激非呈示窓への反応だったことから、ラットのタッチ反応は必ずしも呈示刺激をターゲットとしたものではなく、呈示刺激はタッチ反応のターゲットというより背景刺激に過ぎなかった可能性が高い。他方、1000ms 条件の正反応率は 68.7%(SD=3.2)と比較的高く、刺激呈示窓への反応が多数を占めていたことから、呈示刺激をターゲットとしたタッチ反応だったといえる。

表象的慣性 RM

RM は、刺激消失前の静止刺激停留時間が長いほど減衰するため、RM を 500-1000ms 条件下で得られたタッチ反応誤差間の差分として求めた。500ms 条件のタッチ誤差は 1000ms 条件より刺激移動方向(将来方向)により大きく偏倚している傾向が強(図3A)、有意な差分 RM(図3B)を示す結果が得られた($p=0.018$)。

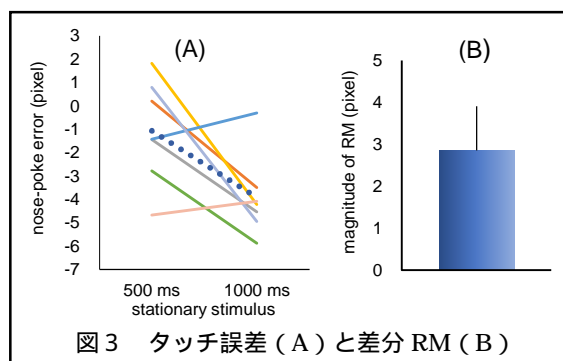


図3 タッチ誤差 (A) と差分 RM (B)

この RM は刺激消失後 5 秒以内のタッチ反応から求めたものであるが、RM は刺激消失後の時間経過に伴い急速に減衰する(Freyd & Johnson, 1987)ため、刺激消失後のタッチ反応時間区別に RM を再分析した。その結果、1000ms 以内のタッチ反応時間にのみ有意な RM が生じていることがわかり、さらに 200ms ごとの反応時間区分で分析したところ、0-200ms、200-400ms、600-800ms で有意($p<0.05$)な RM が生じ、短い反応時間での RM 生起が顕著だった(図4)。なお、このような RM

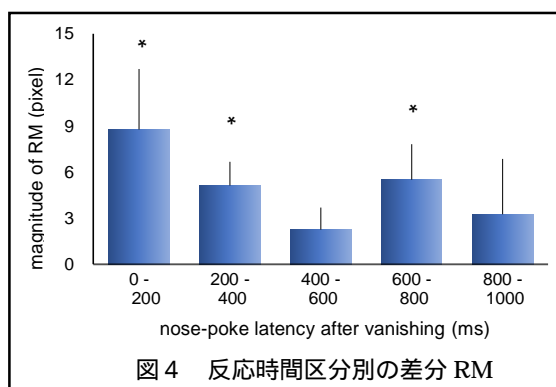


図4 反応時間区別の差分 RM

の結果は、刺激消失前(すなわち刺激停留中)に生じたタッチ反応では全くみられなかったことから、RM は刺激消失後タッチ反応にのみ有意に生じていたといえる。

以上、ラット RM 実験の結果、500ms 条件では刺激は必ずしもタッチ反応の明確なターゲットではなかったにもかかわらず有意な RM がみられた点は、ラット特有の特徴といえる。また刺激消失後 0-800ms の短いタッチ反応時間内で RM が顕著に生じていた点は、従来のヒト RM との類似点といえる。

(2)ヒト RM 実験の結果と考察

各参加者の平均タッチ誤差から 2SD 以上離れたタッチ反応(40 試行中 3-5 試行)を異常値として除外し、各参加者の代表値を算出した。また、0ms の RM が平均値から 2SD 以上離れていた参加者(35 名中 2 名)の結果を異常値とし、その後の分析から除外した。

各停留時間条件におけるタッチ誤差 (RM)

刺激停留時間条件ごとのタッチ誤差 RM(図5)は、0ms 条件では 56.8pixel (SD=24.6)、167ms で 2.3pixel (SD=7.9)、その他は 3.7~5.8 pixel (SD= 2.6~4.5)であった。これらタッチ誤差 RM は、167ms 条件($p=0.053$)以外のすべての条件で 0 よりも有意に大きかった($p<0.001$)。

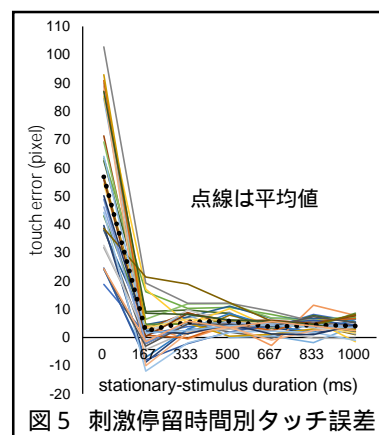


図5 刺激停留時間別タッチ誤差

500-1000ms 条件間の差分 RM

ラット RM と同様、500ms と 1000ms 条件のタッチ反応を分析した結果、500ms 条件のタッチ誤差が 1000ms より有意に将来方向に偏倚しており($p=0.004$)、有意な差分 RM が認められた(図6)。

(3) 結論 ラットとヒトの表象的慣性 RM の比較

本研究では、ラットとヒトいずれも、ほぼ同一の実験条件下で RM が有意に生じることが認められた。移動刺激停止後、500ms 及び 1000ms の静止刺激停留・消失後の消失位置へのタッチ反応から、ヒト、ラットともに、500ms 条件のタッチ誤差が 1000ms 条件のタッチ

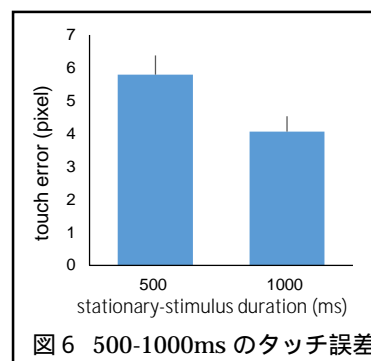


図6 500-1000ms のタッチ誤差

誤差よりも有意に刺激移動方向(将来方向)に偏倚し、RM が有意に生起することが明らかとなった。また、比較的短いタッチ反応時間に大きな RM が生じた点は、ラットとヒトに類似する RM 特性といえる。

ラットとヒトの RM 生起には相違点も認められた。ラットでは、500ms 条件下のタッチ反応が刺激呈示窓よりも非呈示窓に高い頻度で生じており、移動・消失刺激がタッチ反応の明確なターゲットではなくむしろ背景刺激であった可能性が高い。すなわち、ラットでは、視覚刺激を注視する状況下で RM が生じたのではなく、背景刺激によってタッチ反応が将来方向に非注意的・自動的に偏倚した結果であると推察された。他方、ヒト RM 実験では、参加者のタッチ反応にほとんど誤反応がなく、移動・消失刺激を明確な反応ターゲットとして注意的にタッチ反応が行われていたと考えられる。したがって、ヒトでは移動刺激・消失に対する注意的知覚が RM を生起させたと推察できる。おそらく、ヒトとラットの RM 生起の視知覚上のメカニズムは、ヒトでは注意的過程、ラットでは非注意的過程という違いがありそうであるが、ヒトとラットにおける RM 生起のメカニズムについては、今後さらに検討すべき研究課題として残された。

<引用文献>

- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1984). Representational momentum. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 10(1), 126-132.
- Freyd, J. J., & Johnson, J. Q. (1987). Probing the time course of representational momentum. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 13(2), 259-268. doi:10.1037//0278-7393.13.2.259
- Hubbard, T. L. (2005). Representational momentum and related displacements in spatial memory: A review of the findings. *Psychon Bull Rev*, 12(5), 822-851. doi:10.3758/bf03196775
- Hubbard, T. L. (2015). The varieties of momentum-like experience. *Psychol Bull*, 141(6), 1081-1119. doi:10.1037/bul0000016
- Hubbard, T. L., & Bharucha, J. J. (1988). Judged displacement in apparent vertical and horizontal motion. *Percept Psychophys*, 44(3), 211-221.
- Imanaka, K., Sugi, T., & Nakamoto, H. (2023). Relationships between the magnitude of representational momentum and the spatial and temporal anticipatory judgments of opponent's kicks in taekwondo. *Front Psychol*, 14. doi:10.3389/fpsyg.2023.1193116
- Mori, S., Nakamoto, H., Shirai, N., & Imanaka, K. (2022). Developmental changes in the magnitude of representational momentum among nursery school children: A longitudinal study. *Front Psychol*, 13, 882913. doi:10.3389/fpsyg.2022.882913
- Nakamoto, H., Mori, S., Ikudome, S., Unenaka, S., & Imanaka, K. (2015). Effects of sport expertise on representational momentum during timing control. *Atten Percept Psychophys*, 77(3), 961-971. doi:10.3758/s13414-014-0818-9
- Shirai, N., Izumi, E., Imura, T., Ishihara, M., & Imanaka, K. (2018). Differences in the Magnitude of Representational Momentum Between School-Aged Children and Adults as a Function of Experimental Task. *Iperception*, 9(4), 2041669518791191. doi:10.1177/2041669518791191

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Imanaka Kuniyasu, Sugi Takahiro, Nakamoto Hiroki	4. 巻 14
2. 論文標題 Relationships between the magnitude of representational momentum and the spatial and temporal anticipatory judgments of opponent's kicks in taekwondo	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpsyg.2023.1193116	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Mori Shiro, Nakamoto Hiroki, Shirai Nobu, Imanaka Kuniyasu	4. 巻 13
2. 論文標題 Developmental Changes in the Magnitude of Representational Momentum Among Nursery School Children: A Longitudinal Study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 882913
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpsyg.2022.882913	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 雨宮誠一郎・久保田夏子・北一郎・今中國泰
2. 発表標題 ラットにおける移動物体の予測的視知覚機能～表象的慣性～の検討
3. 学会等名 第32回日本運動生理学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 久保田夏子・雨宮誠一郎・北一郎・今中國泰
2. 発表標題 表象的慣性の動物モデルに関する予備検討：移動刺激消失に対するタッチ課題に向けた学習プログラムの構築
3. 学会等名 第29回日本運動生理学会大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	北 一郎 (Kita Ichiro) (10186223)	東京都立大学・人間健康科学研究科・教授 (22604)	
研究分担者	雨宮 誠一郎 (Amemiya Seiichiro) (20796015)	国立研究開発法人理化学研究所・脳神経科学研究センター・ 研究員 (82401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------