

再認課題時の干渉と新旧項目処理および直感性が瞳孔径に与える影響：主成分分析を用いた実験的検討

Effects of Interference, Old/New Item Processing, and Intuitiveness on Pupil Dilation during Recognition Task : An Experimental Investigation Focusing on Principal Component Analysis

大石 充希[†], 林 勇吾[‡]
Mitsuki Oishi, Yugo Hayashi

[†]立命館大学大学院人間科学研究科, [‡]立命館大学総合心理学部

[†]Graduate School of Human Science, Ritsumeikan University

[‡]College of Comprehensive Psychology, Ritsumeikan University

[†]cp0095pf@ed.ritsumei.ac.jp [‡]yhayashi@fc.ritsumei.ac.jp

概要

再認課題において実験条件がどの認知過程に影響を与えるかについて議論がなされている。本研究は定着度の高い再認課題を、実験条件(干渉・新旧性・直感性)に対する瞳孔反応の主成分分析(PCA)がこの議論に新たな視点を与えると考えた。PCAの結果、どの成分でも干渉の効果は示されなかった。また、新旧性は主効果と直感性との交互作用が確認された。以上の結果に対して定着度の高さが関連していることが考えられるため、今後は定着度の変化から原因を明らかにしていく。キーワード：瞳孔計測, fan 課題, 主成分分析(PCA)

1. はじめに

経験の有無に対する判断(新旧判断)や新旧判断に必要な個別の情報処理は日常の中で行われる適応的な能力[1]である。また、上記のような記憶に関する内的な処理を簡易に示すことが出来る点で瞳孔が注目を集めている。その中には、[2]は再認判断における難易度(単語間の意味的類似度)と新旧性が反応時間・瞳孔へ及ぼす影響を調べ、瞳孔データへの主成分分析(PCA : principal component analysis)から難易度と新旧性が影響を与える認知過程の抽出を試みた。しかし、これは従来の再認実験による検討であり知識の定着度が比較的浅いものであることから、日常的な記憶検索の観点のみでより定着度が深い題材での検討も必要である。加えて、再認判断における難易度が、再認反応時間・瞳孔に及ぼす影響については、まだ明瞭な結果が得られていないという現状がある。そこで本研究では、難易度と新旧性という複数の性質を明確に持つ記憶課題に着目し、再認判断時における瞳孔への影響を明らかにして

いく。

本研究では反応時間や脳波で難易度と新旧性の影響が十分に確認されている fan 課題[3][4]を用いる。また、二重過程モデル[5]や fan 課題におけるモデル研究[6]では、熟知性(familiarity)・回想性(recollection)から再認処理が説明されている。熟知性と回想性は刺激毎に異なっており、本研究では上記の刺激毎の違いを直感性として分析に取り入れた。具体的には直感を刺激に対する判断過程の主観的な確信度を捉えるために導入した。直感とは「ほとんど努力や意識することなく反応に到達する」性質を持つとされている[7]。また確信度と瞳孔径は関連していることが分かっている[8]ため、直感性が及ぼす新旧処理、および難易度処理への影響を瞳孔を用いて探索的に明らかにしていく。

以上を踏まえ本研究の目的は2点ある。一つ目は瞳孔へのPCAが[2]と同じ3つの成分を抽出できるかを確認することである。二つ目はPCAで得られた成分と難易度・新旧性・直感性との関係を探索的に明らかにすることである。

本研究の仮説として難易度と新旧性、直感性が与える瞳孔への影響は以下の4つである。知識間の干渉に伴う瞳孔散大[9]が考えられる(H1)。親近性と回想性の総体とされる記憶強度の高い学習項目に対する瞳孔散大[10]が考えられる(H2)。直感性の低さが認知負荷を増加させ瞳孔を散大させる[8]と考える(H3)。上記の交互作用、に直感性の高さが難易度や新旧性の影響の減少や消滅につながると考える(H4)

2. 方法

2.1. 実験参加者

立命館大学生 18 人（男性：9 名，女性：9 名）が実験に参加した（平均年齢 21.3 歳，標準偏差 1.10）。

2.2. 装置

30Hz で動作する Tobii Pro X2-30（トビー・テクノロジー株式会社）を用いて、瞳孔の大きさを計測した。

2.3. 刺激

「人が場所にいる。」という 28 の学習文が 17 の人単語と場所単語をランダムに組み合わせて作成された。また同じ単語を用いて同数の非学習文を作成した。上記の学習文・非学習文では[3]に従って文間における単語の重複度が設定されており、この重複度が本実験の再認難易度に対応している。

2.4. 手続き

実験は学習セッションと語彙判断課題、再認記憶課題を行った。学習セッションでは実験参加者に 28 の文に対して確認テストに通過できるような暗記を求めた。確認テストは学習項目で使われていた 17 の人単語と 17 の場所単語に関する計 34 個の手がかり再生テストを行った。語彙判断課題では、画面上に提示された単語が有意味語かどうかを判断することを実験参加者に求めた。再認記憶課題では、画面中央部に 1 つずつ提示される 56 個の単語組が学習項目か非学習項目かをキー押しで判断させた。各試行で再認判断後にその判断の直感性の程度を 6 件法（1：とてもあてはまる～6：まったくあてはまらない）で尋ねた。直感を何も考えずに行われる判断であると教示し、直感的な判断の練習のため語彙判断課題[11]を利用した。また、瞳孔径を個人で比較できるようにベースラインの瞳孔径からの変化率(PDR)を算出した。ベースラインは刺激が提示される前の 200ms 間の平均瞳孔径とした。

2.5. 実験計画

独立変数は被験者内要因である難易度と新旧性、直感性であり、従属変数は PCA の主成分スコアとした。

2.6. 分析

まず、PCA の分析手順を説明する。PCA を行うにあたり、R の関数 `principal` を利用した。この関数は入力データが標準化(平均が 0, 標準偏差が 1)される。関数の引数には、行が各実験参加ごとの条件数、列が時間を表す行列を設定した。行数に関しては 17(実験参加者) \times 3(難易度) \times 2(新旧性) \times 2(直感性)である。時間に関しては分析に利用した時間が 2400ms であり、視線計測器のサンプリングレートが 30Hz であるため、列数は 80 である。この行列に対して PCA を行った結果、試行ごと(各行ごと)に主成分スコアが 1 つ得られる。抽出する主成分の数は先行研究を参考にして、3 つとした。また、この主成分スコアの意味を解釈するにあたり、主成分負荷量(主成分スコアと瞳孔データの相関係数)を 80 の時間点に対して算出した(Figure 1)。PCA で得られた主成分スコアに対しては 3 要因分散分析を行った。ただ、誤再認、欠損値が 30%を超える試行、瞳孔データを適切に得ることが出来なかった実験参加者 1 名は分析から外した。また、刺激提示後 2400ms~3000ms においては欠損値の割合が一貫して高かったため同様に分析から外した。

3. 結果

PCA の結果を示す。まず、全体の分散の 72%を説明する 3 つの成分を抽出した。PC1 は全分散の 31%、PC2 は全分散の 29%、そして PC3 は全分散の 12%を説明した。また、PC1 は再認判断における終盤で、PC2 は中盤で、PC3 は序盤で主成分負荷量がピークとなった(Figure 1)。

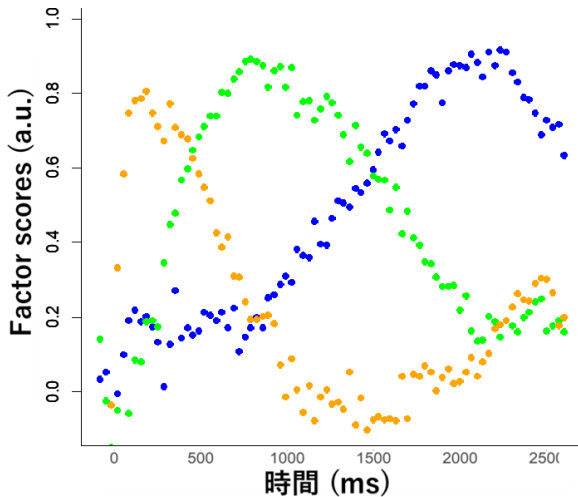


Figure 1. PCA から得られた主成分負荷量。縦軸が主成分負荷量、横軸が時間を表している。

また、全試行の平均反応時間(1447ms)が PC1 と PC2 の交点付近であった。次に各主成分スコアに対して 3 要因分散分析を行った結果、PC1 では直感性の主効果が有意であり ($F(1,16) = 5.40, p < .05, partial h^2 = 0.252$) と新旧性の主効果が有意傾向であった ($F(1,16) = 3.93, p < .1, partial h^2 = 0.197$)。また交互作用については直感性 × 新旧性が有意であった ($F(1,16) = 5.15, p < .05, partial h^2 = 0.243$)。有意性を示した一次の交互作用について単純主効果検定 ($\alpha = 0.15$) を行った。単純主効果検定の結果、直感性の単純主効果(Figure 2)は、学習項目において有意であり ($F(1,16) = 6.54, adjusted p < .05, partial h^2 = 0.290$)、新旧性の単純主効果は、非直感において有意であった ($F(1,16) = 7.20, adjusted p < .05, partial h^2 = 0.310$)。

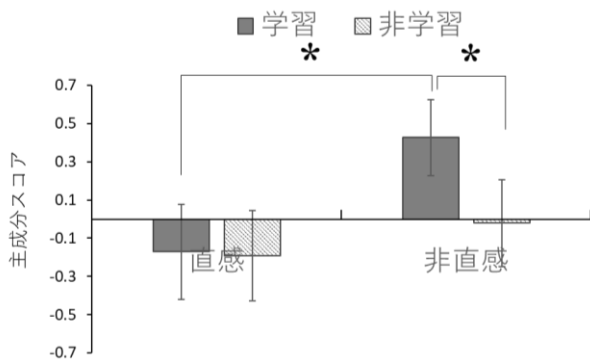


Figure 2. PC1 における新旧性・直感性の主成分スコアの平均。エラーバーは標準誤差を示す。*は $p < .05$ を示す。

PC2 では新旧性の主効果が有意 ($F(1,16) = 4.510, p < .05, partial h^2 = 0.232$) で直感性による主効果 ($F(1,16) = 5.420, p < .05, partial h^2 = 0.258$) が有意であった(Figure 3)。

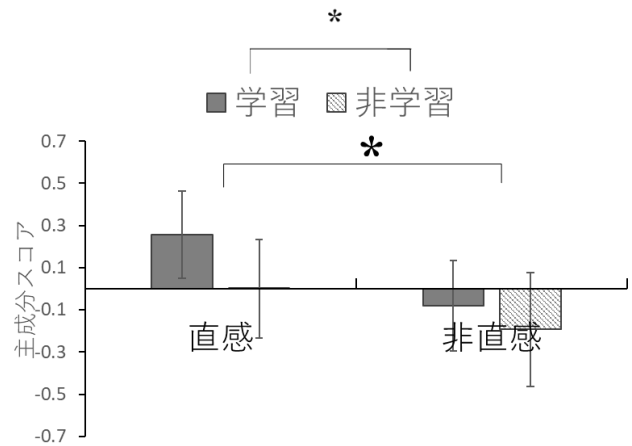


Figure 3. PC2 における新旧性・直感性の主成分スコアの平均。エラーバーは標準誤差を示す。*は $p < .05$ を示す。

PC3 ではどの要因間でも差が見られなかった。

4. 考察

本研究は複数要因が再認判断の認知過程に与える影響を主成分スコアに着目して検討した。PCA の結果は先行研究と同じ 3 つの成分を獲得し、分散分析の結果 PC1 では非直感 > 直感、PC2 で直感 > 非直感がみられた。H1 に関して瞳孔の変化率の時間的変化(Figure 4)を踏まえると直感性の高い判断はすばやく記憶の検索段階に移行していることが考えられる。

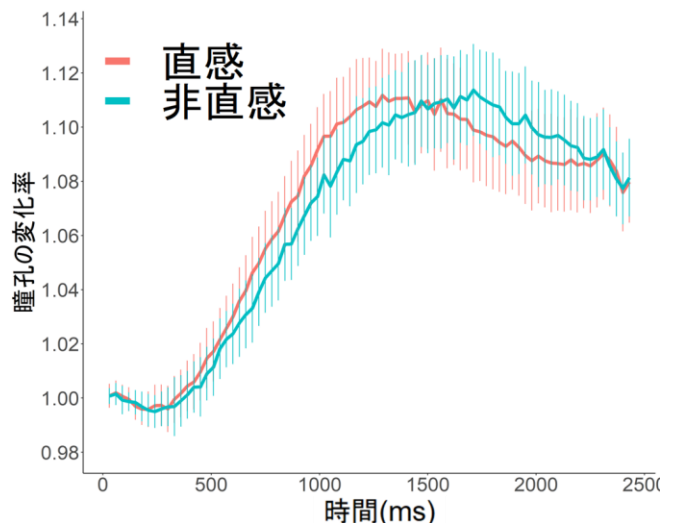


Figure 4. 直感性における瞳孔の変化率に対する時間変化。

H2 に関しては PC1 では新旧性で有意、PC2 では新旧性の有意傾向が確認され、仮説通りであった。H3 に関しては難易度の影響は確認されなかったが PC1 にお

いて難易度順でスコアが大きくなった。難易度の瞳孔への影響がみられなかった原因に、定着度が高く、再認判断が他の課題に比べて簡単であるためだと考える。H4に関して仮説通り PC1 で直感性と新旧性の交互作用が確認された(Figure 2)。また、学習文では PC1 の主成分スコアにおける直感性の影響が確認された一方で非学習文では確認されなかった。この結果は、直感性から受ける影響が学習・非学習で異なることが示唆されたと考える。実際、期待と新旧性の関係を瞳孔から調べた研究[12]でも、予想と異なる状況下では学習項目が提示された場合のみ瞳孔の散大が確認されている。本研究では定着度が高く、他の再認研究よりも直感性が高いことが想定される。そのため、実験参加者が「正しい判断が出来る」という予想がある場合は、先行研究と同様の結果が得られる可能性もある。

5. まとめ

本研究では再認判断における認知過程の抽出、および新旧性・難易度・直感性が及ぼす認知過程への影響を探索的に明らかにすることを目的とした。先行研究と比較すると後者の目的を明らかにする分析において異なる結果が得られた。それは難易度処理の影響が見られなかったことである。特に PC2 においては傾向すら確認が出来なかった。また、PC1 では非学習項目が及ぼす影響は直感性に依存しないことが示唆された。今後は難易度がもたらす瞳孔への影響を明確にし、新旧処理が直感性や期待といった他要因から受ける認知プロセスを、定着度を変化させることで明らかにしていく。

謝辞

本研究は一部、立命館大学グローバルイノベーション機構(R-GIRO)による助成を受けた。ここに感謝の意を記したい。

引用文献

- [1] Anderson J. R. (2007). How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe?, *Advances in Cognitive Models and Architectures*. New York: Oxford Academic. (アンダーソン, J. R. 林 勇吾 (訳) (2021). 認知モデリング-ACT-R に基づく心の解明-)
- [2] Montefinese, M., Vinson, D., & Ambrosini, E. (2018). Recognition memory and featural similarity between concepts: The pupil's point of view. *Biological Psychology*, 135, 159–169.

- [3] Anderson, J. R. (1974). Retrieval of propositional information from long-term memory. *Cognitive Psychology*, 6, 451–474.
- [4] Borst, J. P., Schneider, D. W., Walsh, M. M., & Anderson, J. R. (2013). Stages of Processing in Associative Recognition: Evidence from Behavior, EEG, and Classification. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25, 2151–2166.
- [5] Yonelinas, A. P., Aly, M., Wang, W. C., & Koen, J. D. (2010). Recollection and familiarity: examining controversial assumptions and new directions. *Hippocampus*, 20, 1178–1194.
- [6] Anderson, J. R., Zhang, Q., Borst, J. P., & Walsh, M. M. (2016). The Discovery of Processing Stages: Extension of Sternberg's Method. *Psychological review*, 123, 481–509.
- [7] Glöckner, A., & Witteman, C. (2010). Beyond dual-process models: A categorization of processes underlying intuitive judgement and decision making. *Thinking & Reasoning*, 16, 1–25.
- [8] Mill, R. D., O'Connor, A. R., & Dobbins, I. G. (2016). Pupil dilation during recognition memory: Isolating unexpected recognition from judgment uncertainty. *Cognition*, 154, 81–94.
- [9] Johansson, R., Pärnamets, P., Bjernstedt, A., & Johansson, M. (2018). Pupil dilation tracks the dynamics of mnemonic interference resolution. *Scientific Reports*, 8.
- [10] Otero, S. C., Weekes, B. S., & Hutton, S. B. (2011). Pupil size changes during recognition memory. *Psychophysiology*, 48, 1346–1353.
- [11] 楠瀬 悠・吉原 将大・井田 佳祐・薛 俊毅・伊集院 睦雄・日野 泰志 (2014) 語彙判断課題における仮名・漢字表記語の語長効果 *認知心理学研究*, 11, 105-115.
- [12] Lempert, K.M., Chen, Y.L., & Fleming, S.M. (2015) Relating Pupil Dilation and Metacognitive Confidence during Auditory Decision-Making. *PLoS ONE* 10.