

認知パラメータに表現される行動傾向と感情特性
Behavioral tendencies and emotional characteristics expressed in
cognitive parameters

新堀 耕平[†], 白砂 大[†], 森田 純哉[†]
Kohei Shimbori, Masaru Shirasuna, Junya Morita

[†] 静岡大学
Shizuoka University
shimbori.kohei.21@shizuoka.ac.jp

概要

本研究では、単純な数列再生課題における人間の行動データと認知アーキテクチャによるモデルの出力を対応づけることにより、認知モデルにおける個人のパラメータを推定した。推定されたパラメータと個人の課題成績および感情評定値の関連性を検討した結果、課題成績を最大化するパラメータの存在、および不安・ネガティブ傾向とパラメータの最適値が対応づけられる可能性が示唆された。本研究の知見は、不安特性の高い個人の認知プロセスのモデル化に貢献する可能性がある。

キーワード：ACT-R、感情、認知モデリング

1. 背景

人間の記憶検索は、単なる情報の再生ではなく、注意や判断といった認知的要因によって大きく左右される動的な過程である。近年の研究では、こうした検索過程に、感情などと関係した内的特性が関与していることが示唆されている。特に不安傾向の高い人では、情報の選択や抑制の過程において特徴的な偏りが見られることが指摘されている (Derakshan & Eysenck, 2009)。

本研究では、このような内的特性と記憶検索の関係を検討する。その際、感情状態を操作した記憶課題、および認知アーキテクチャ ACT-R (Anderson, 2007) に基づく記憶モデルを導入した。ACT-R は記憶、注意、意思決定などに関わるさまざまな認知モデルに広く使用されており、個人に適合するパラメータセットを定義することができる。本研究では、記憶検索の厳格さや柔軟性を定める ACT-R 上の制御パラメータと不安傾向などの感情特性との関連を検討する。

過去、このような個人の傾向を計算論的な認知モデルのパラメータとして推定する研究は、強化学習やベイズネットなどを手法としてきた (真隅・佐藤, 2019; 鮫島他, 2016)。本研究は、従来の手法に対して、統合的な認知アーキテクチャを用いる点に特徴がある。多

様な課題に共通して適用されるグローバルパラメータと感情や認知の傾向を対応付けることで、他の課題への転用が可能な個人のモデルを構築することができる。

2. 関連研究

記憶プロセスと感情特性との関係について、不安やネガティブな感情が認知資源の配分や記憶検索の精度に影響を及ぼすことが指摘されている (Derakshan & Eysenck, 2009; Joormann & Gotlib, 2008; Kensinger, 2009)。

こうした記憶と感情特性との関係を定量的に分析するためには、個人差を体系的に捉えられる認知モデルを用いることが有効である。モデルの構築にあたり、本研究では認知プロセスを統一的に説明できる認知アーキテクチャ ACT-R を用いている。ACT-R は記憶、注意、意思決定など様々なモデルの構築に使用されている。本研究では ACT-R の記憶検索メカニズムを用いて個人の記憶傾向を示すパラメータを推定する。

ACT-R のパラメータと個人を対応づける研究は、それほど多くはないものの複数存在する (Ueda et al., 2022; Xianyin, 2024)。それらの既存研究のなかでも、著者らのこれまでの研究では、認知モデルにより推定された個人ごとのパラメータと、主観的な感情を対応づけることに特徴を持つ (新堀他, 2023; 2024)。これらの研究では、記憶検索の厳密さや閾値の設定に関わるモデルパラメータが、不安傾向やポジティブ感情と系統的に関連することが示されている。

一方で、著者らの過去の研究は、ACT-R 上のパラメータと課題成績の関係を検討していなかった。記憶に関するパラメータは、個別の課題ごとに最適値が存在すると考えられる。個別の感情特性との関係についても、そのような課題ごとの最適値との関係を踏まえたうえで解釈されるべきである。このような考えから、本研究では、推定されたパラメータと個人ごとの

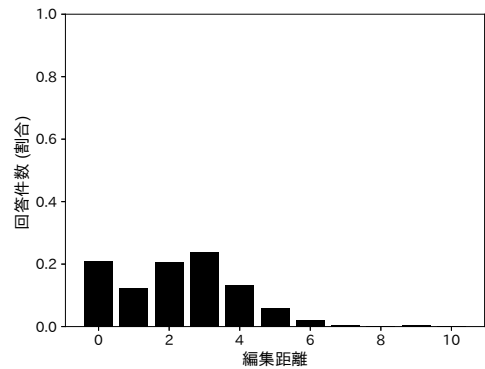


図 1: 全体の回答データから構築されたヒストグラム

課題成績の関係の中で特徴的な個人に注目し、その個人の感情的傾向を検討する。これにより、パラメータの心理学的解釈に対する新たな知見をもたらすことが期待される。

以下のセクションでは新堀他 (2024) において既発表のモデルおよび実験の概略を示し、その後上記の目的のもとに実施した分析の結果を示す。

3. モデル

人間の記憶エラーは、主にコミッションエラー（虚偽の記憶が再生されるエラー）とオMISSIONエラー（思い出すべき記憶が思い出されないエラー）に分けられるとされる (Schacter, 1999)。本研究では、この2種類のエラーをシミュレーションするモデルを使用し、モデル出力と人間の課題データとを対応づける。

本研究では、2種類のエラーを観察する課題として数列再生課題を採用し、そこでの記憶検索過程を、ACT-R の Grouped モデル (Bothell & Daniel, 2022) を用いてシミュレーションした。数列再生課題では、ランダムに生成された9桁の数列が参加者に提示され、一定時間後に再生が求められる。

モデルは、提示された数列を3桁ごとに分割し、グループ内およびグループ間の系列位置に基づいて再生を行う構造を持つ。再生時には記憶内の各数字に対して活性値が計算され、最も高い活性を持つ数字が選択される。活性値には位置情報との類似度にかかる重み (mp : mismatch penalty) が影響し、再生の成功は活性値が検索閾値 (rt : retrieval threshold) を超えるかどうかで決定される。前者はコミッションエラーと、後者はオMISSIONエラー、オMISSIONエラーの両者と関連する。

パラメータのフィッティングは、提示された数字列と再生された数字列との編集距離に基づく。編集距離をもとに、図1のようなヒストグラムを各参加者ご

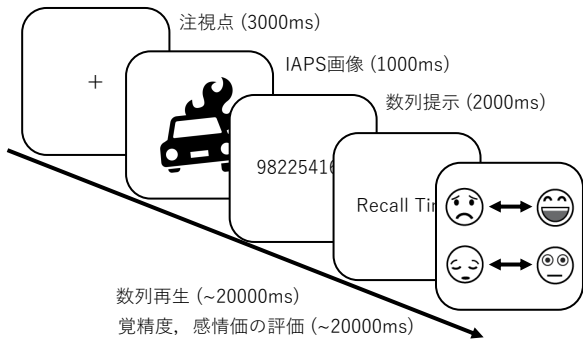


図 2: 数列再生課題

とに構築し、それらと一致するモデルパラメータを探索した。ヒストグラム間での一致の指標としては、ヒストグラムの類似度を示すヒストグラムインターセクション (HI) を用いた。

4. 実験

実験には、クラウドソーシングサービス (Lancers.jp) を通じて集められた100名が参加した (謝金400円)。参加者は、9桁の数列が提示される単純な再生課題に40試行取り組んだ。1試行ごとの流れを図2に示す。各試行では、数列提示の直前に、ポジティブあるいはネガティブな高覚醒度情動を喚起する画像 (IAPS; Lang et al., 2008) が提示された。この提示は、課題において得られるデータにおける感情特性の影響を高めるために実施した。数列提示の直後に、参加者は記憶した数列を20秒以内にキーボードで再生することが求められた。再生後には Affective Slider (Betella & Vershure, 2016) により、主観的な覚醒度、感情価の評価が求められた。

また、課題前後には PANAS (佐藤・安田, 2001; 川人他, 2011) および STAI (中里・水口, 1982) を含むアンケートを実施し、ポジティブ/ネガティブ感情、状態/特性不安について測定した。アンケートにおいて、ダミー項目への誤回答が見られた28名を除外し、72名 (男性52名、女性20名、 $M_{age} = 45.42$, $SD_{age} = 10.26$) のデータを分析に使用した。

5. 結果

5.1 記憶パラメータと課題成績との関係

2節で述べた先行研究の欠点を改善するために、記憶課題成績 (各試行における編集距離の平均値) とモデルパラメータとの関係を検討した。図3に2つの記憶パラメータと編集距離の散布図を示す。図より、 mp と記憶成績との間に有意な負の相関 ($r = -0.51$, $p < .001$) が観察される。これは、 mp が高い、すなわち記憶の一致性に敏感である参加者ほど再生の誤りが少ない傾向

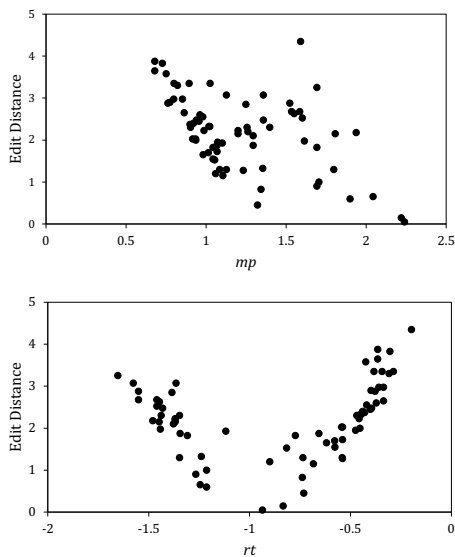


図 3: 編集距離と各パラメータの対応関係

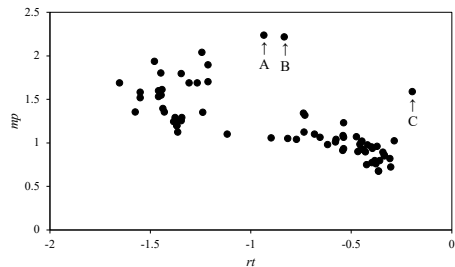


図 4: 各パラメータ同士の対応関係

にあったことを意味する。一方、 rt と記憶成績には、 $rt \approx -1.0$ を境目とする V 字型の分布が確認される。このことは、本研究の課題において最適な検索閾値が存在することを示唆する。

5.2 特異なパラメータを有する参加者の特性

mp と rt の分布は、図 4 に示されるように、負の相関関係 ($r = -0.701, p < .001$) にある。つまり、検索される記憶の不一致に敏感な参加者ほど、検索閾値は低い傾向にある（低活性値の記憶が検索される）。両方のパラメータはコミッションエラーの抑制に働くため、両者に相関があることは設定上自明である。逆に言えば、このトレードオフの関係から外れた参加者には何らかの注目すべき個人特性があると推測できる。

上記の考えから、図 4 中 A, B, C の 3 名に注目した。A と B は、記憶の不一致に敏感かつ適度な検索閾値を有する。一方で C は記憶の不一致に対する敏感性は中程度でありつつ、厳しい検索閾値を有する。3 名の参加者の回答データのヒストグラムを図 5 に示す。参加者 A, B は完全一致である編集距離ゼロの割合が高く、高い課題成績であることがわかる、参加者 C のヒストグラムは尖度が低く、ピークの位置も右側に偏っ

ている。参加者 A と B は mp を高めつつ、適切な rt を設定することで、記憶課題の成績を高めたと解釈できる。また、参加者 C は、 rt の高さより、オMISSIONエラーの傾向が高く、正解系列と編集距離の大きい数列を生成したと解釈できる。

上記の傾向が、どのような感情特性と関連するのかを検討した。図 6 は、実験前後の感情評定および不安特性のヒストグラムを示している。これらのヒストグラムにおいて、参加者 A と B は、C に比べ、右側（よりネガティブあるいは不安）に位置する傾向が高いことがわかる。これは、本研究の課題において有利な記憶パラメータの設定（不一致に敏感で適度な検索閾値）を有する参加者は、不安特性を有し、ネガティブな気分を抱く傾向が高いことを示している。この結果は、不安傾向が慎重な情報処理を促したものと解釈できる。

6. 結論

本研究では、数列再生課題において得られた人間のデータを利用し、認知アーキテクチャ ACT-R 上の記憶パラメータを個人ごとに推定した。特に、新堀他 (2024) において未実施であった課題成績と記憶パラメータの関係を検討し、特異なパラメータを有する個人を抽出した。結果、記憶の不一致に対する敏感性が高く、適度な検索閾値を有する個人は、高い不安特性と対応付けられることが示唆された。

上記の結果より、本研究は、特定の感情特性を有する個人の記憶・認知プロセスのモデル化に貢献する可能性があると考ええる。特に、グローバルなパラメータとして設定されるパラメータと不安特性の関係が明らかになったことは、その個人の別の状況における振る舞いを予測するうえで有益である。

しかしながら、本研究の結果には説明が困難な点も存在する。検索閾値が最大となった参加者 C に関して、その原因を感情特性から説明することは困難である。また、参加者 A や B は平均より高いネガティブ得点や特性不安を有するとはいえ、不安特性の高い参加者が参加者 A や B と類似した記憶パラメータを有するわけではなかった。つまり、感情特性と記憶パラメータは一对一に対応せず、両者を媒介するパラメータを検討する必要がある。

文 献

Anderson, J. R. (2007). *How can the human mind occur in the physical universe?:* Oxford University Press.
Betella, A., & Verschure, P. F. M. J. (2016). “The affective slider: A digital self-assessment scale for the measurement

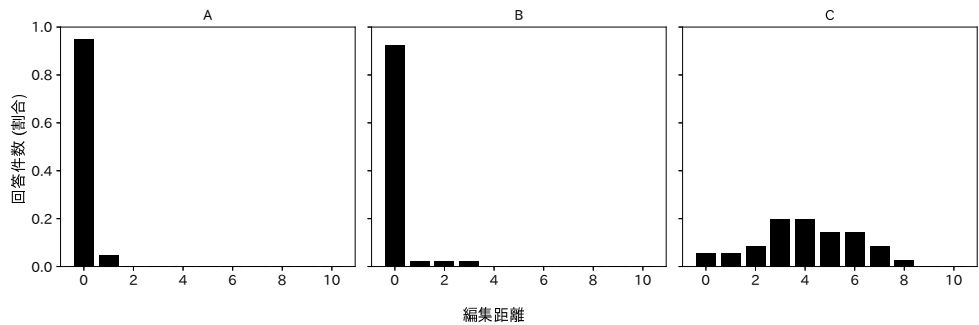


図 5: 参加者 A, B, C の回答分布

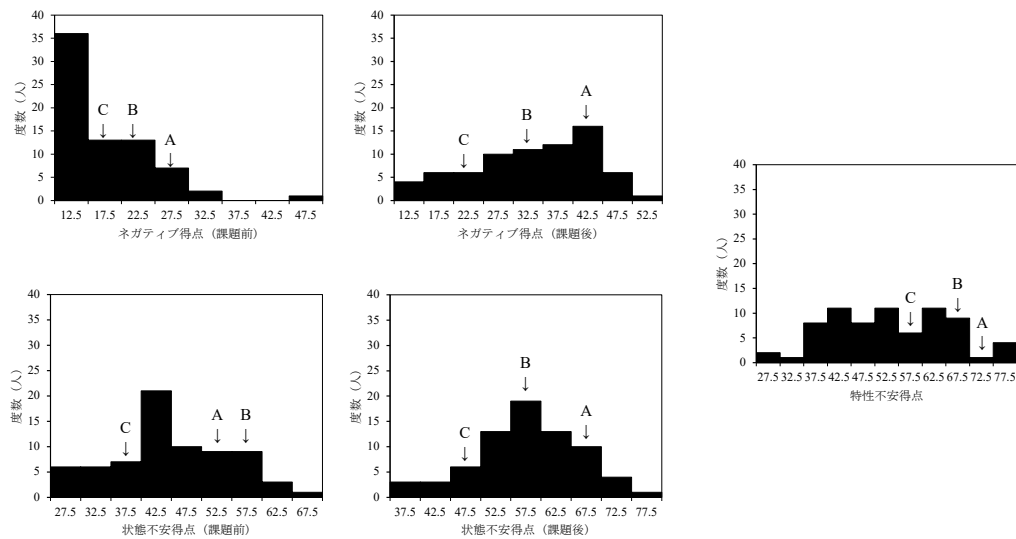


図 6: ネガティブ, 不安得点分布

of human emotions,” *PLOS ONE*, 11(2), 1–11, 02, DOI: 10.1371/journal.pone.0148037.

Bothell, D. (2022). *Unit 5: Activation and Context, ACT-R tutorial*.

Derakshan, N., & Eysenck, M. W. (2009). “Anxiety, processing efficiency, and cognitive performance,” *European Psychologist*, 14(2), 168–176, DOI: 10.1027/1016-9040.14.2.168.

Joormann, J., & Gotlib, I. H. (2008). “Updating the contents of working memory in depression: Interference from irrelevant negative material,” *Journal of Abnormal Psychology*, 117(1), 182–192, DOI: 10.1037/0021-843X.117.1.182.

川人潤子・大塚泰正・甲斐田幸佐・中田光紀 (2011). 日本語版 The Positive and Negative Affect Schedule (PANAS) 20 項目の信頼性と妥当性の検討, 広島大学心理学研究 (11), 225–240, DOI: 10.15027/32396.

Kensinger, E. A. (2009). “Remembering the details: Effects of emotion,” *Emotion Review*, 1(2), 99–113, DOI: 10.1177/1754073908100432.

Lang, P., Bradley, M., & Cuthbert, B. (2008). “International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual,” Technical Report A-8, University of Florida, Gainesville, FL.

真隅暁・佐藤尚 (2019). 認知的柔軟性の基盤としての潜在構造の学習: 行動指標と計算モデリングによる分析, 日本認知科学会第 36 回大会論文集, 558–561.

中里克治・水口公信 (1982). 新しい不安尺度 STAI 日本版の作成: 女性を対象とした成績, 心身医学, 22(2), 107–112.

鯨島和行・金野武司・李冠宏・奥田次郎・森田純哉・橋本敬 (2016). コーディネーションゲームにおける記号生成確率モデルと「意味」の推定, 研究報告数理モデル化と問題解決 (MPS), 2016-MPS-111(5), 1–6.

佐藤徳・安田朝子 (2001). 日本語版 PANAS の作成, 性格心理学研究, 9(2), 138–139, DOI: 10.2132/jipjspp.9.2_138.

Schacter, D. L. (1999). “The seven sins of memory: Insights from psychology and cognitive neuroscience,” *American Psychologist*, 54(3), 182–203, DOI: 10.1037/0003-066X.54.3.182.

新堀耕平・西川純平・長島一真・森田純哉 (2023). ACT-R を用いた記憶エラーのモデル化による人間の内部状態推定, 日本認知科学会第 40 回大会論文集, 558–561.

—— (2024). 記憶に関する推定パラメータと個人特性・内部状態との関係, 情報処理学会研究報告, 2024-ICS-214(13), 1–5, 3 月.

Ueda, K., Sakamoto, R., Ishii, H., Shimoda, H., Obayashi, F., & Morita, J. (2022). “Examining the mechanism of concentration on intellectual works by simulation using cognitive architecture,” in *Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2022): Integrating People and Intelligent Systems*.

Xianyin, H. (2024). 認知モデリングと生体情報の統合による動的な認知状態予測手法, 博士論文, 東京大学.