

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（特設分野研究）

研究期間：2018～2020

課題番号：18KT0021

研究課題名（和文）計算論モデルを用いた動的行動特性の縮約による精神疾患の評価と予測

研究課題名（英文）Evaluating and predicting psychiatric disorders by reduction of dynamic behavioral characteristics using computational models

研究代表者

片平 健太郎（Katahira, Kentaro）

名古屋大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：60569218

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,200,000円

研究成果の概要（和文）：近年、行動の背後にある計算過程を数理モデルで表現した計算論モデルを用いることで、各種の精神疾患の特徴が行動データから検討されている。しかしそれまでの研究では、疾患の傾向とその時点の行動の特徴の相関関係を記述することにとどまっており、それが予後や治療反応性の予測に役立つか否かは十分に検討されていない。そこで本研究では、計算論モデルでとらえられる特徴が、そのときの病態を直接的に反映しているものか、予後を予測する上で有用なものであるかを検討した。その結果、一部の計算論モデルのパラメータは症状スコアの変動とは連動しなかったものの、将来の精神疾患症状の予測に有用なものであることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

うつ病、統合失調症などの精神疾患には、発症を未然に予測することが有効な場合もあると考えられている。計算論的精神医学と呼ばれる新しい分野では、計算論モデルを用いて精神疾患との関連が検討されてきたが、そこでとらえられた行動の特徴が精神疾患の予測に役立つか否かは十分に検討されてこなかった。本研究はそれを検討し、簡便な行動課題のデータから推定した計算論モデルのパラメータが抑うつ傾向の変化の予測に役立つ可能性を示した。本研究の意義はこれまでの計算論的精神医学の研究を精神疾患における予測につなげるという応用の可能性を示したこと、その可能性をさらに検討するための研究の枠組みを提示したという意義がある。

研究成果の概要（英文）：The characteristics of various psychiatric disorders have been investigated from behavioral data by using computational models that represent the computational processes behind behavior. However, previous studies have only described the correlation between the tendency of the symptoms and the characteristics of the behavior at that time, and have not sufficiently investigated whether the computational models are useful for predicting prognosis and treatment response. In the present study, we examined whether the features captured by computational models directly reflect the current state of the disease and whether they are useful in predicting prognosis. As a result, it was shown that parameters of some computational models were useful for predicting future symptoms of psychiatric disorders.

研究分野：行動の計算論モデリング，実験心理学

キーワード：計算論モデリング 精神疾患 オンライン実験・調査 予測

1. 研究開始当初の背景

うつ病、統合失調症などの精神疾患は人間の生活に大きな影響を及ぼす重要な課題である。その中には発症を未然に予測して予防的に介入をすることが有効なものも多いと考えられている。一方で、精神疾患は遺伝的要因や神経機能障害、環境要因等の多様な要因が関係する複雑な疾患であり、その予測は容易ではない。

近年、精神疾患を脳内の計算過程の変容としてとらえる「計算論的精神医学」が新たな精神疾患へのアプローチとして注目を集めている (Redish & Gordon, 2016)。計算論的精神医学の枠組みの一つに、脳内の計算過程を数理的に表現した計算論モデルを行動データに対しフィットし、推定されたモデルのパラメータと精神疾患を関連づける計算論モデリングがある (図1)。計算論モデリングにより、精神疾患に関連する計算過程の特徴の多くが明らかにされてきている (例えば

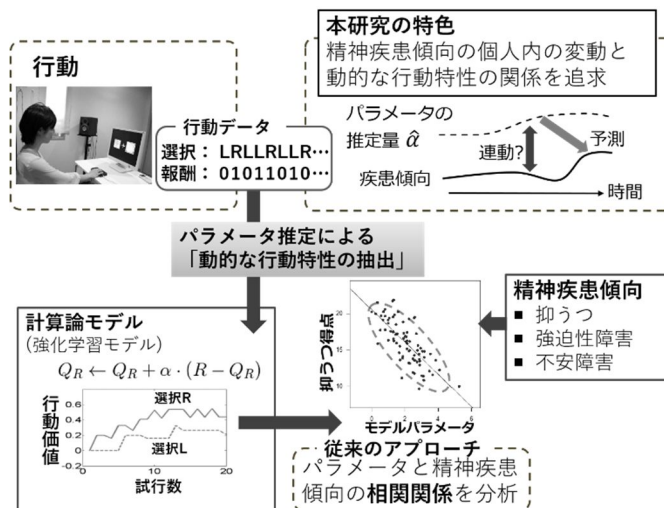


図1 研究背景・本研究の目的

Gillan et al., 2016)。計算論モデリングには、計算過程の変容に着目することで、精神疾患の複雑な要素を比較的少数のパラメータに縮約してとらえることができるという利点がある。しかしながら、計算論モデルでとらえられた行動特性が、精神疾患とどのように関連しているかは十分に検討されていなかった。これまでの多くの計算論モデリング研究は行動の特徴とその時点における症状の程度の間に関連関係を調べるものであり (図1右下)、推定された計算論モデルのパラメータが、個人のその時の病態を直接的に反映しているのか、あるいは、精神疾患の発症脆弱性と関係する遺伝的要因などの個人特性と関連しているだけなのか、という点は重要な未解決問題であった。後者のように計算論モデルのパラメータが個人内では変動の少ない個人特性と関係しているだけであれば、それは症状の直接的な指標とはならない。しかしその場合でも、ストレスなどの外的要因への反応等の予測には有用な情報を与えるかもしれない。このような背景から、計算論モデルのパラメータと精神疾患の関係についての理解が求められているといえる。

2. 研究の目的

本研究では一般集団を対象とし、計算論モデルでとらえられる動的な行動特性が精神疾患傾向の評価や変化に関する予測に有用なものであるか否かを検討することを目的とした。そのため、同一参加者から2回に分けて行動データおよび精神疾患関連の症状スコアを収集する大規模なオンライン実験・調査と、そのデータの計算論モデリングを実施し、以下を明らかにすることを目的とした：

- (1) 計算論モデルでとらえられる動的な行動特性は個人内の精神疾患傾向の変動と運動する
- (2) その行動特性はその後の精神疾患傾向の変化を予測するか。(例えばあるパラメータ値が高い個人は精神疾患傾向が増加しやすい、という関係があるか)

3. 研究の方法

役1か月半の間隔をあけて2回にわたり、同一参加者に対して行動実験・調査への参加を求めた(図2)。行動実験は選択に伴って一定の確率で報酬や罰としてのポイントが呈示される選択課題(情報バイアス学習課題: Pulcu, & Browning, 2017)を用いた。精神疾患傾向の評価は強迫性障害傾向、抑うつ傾向、不安傾向等の精神疾患に関する質問項目をウェブ画面上で呈示し、回答してもらうことで行った。また、2回の調査の間のライフイベント(就職、転職、結婚、離婚、出産、近親者との死別等)の有無を選択してもらった。

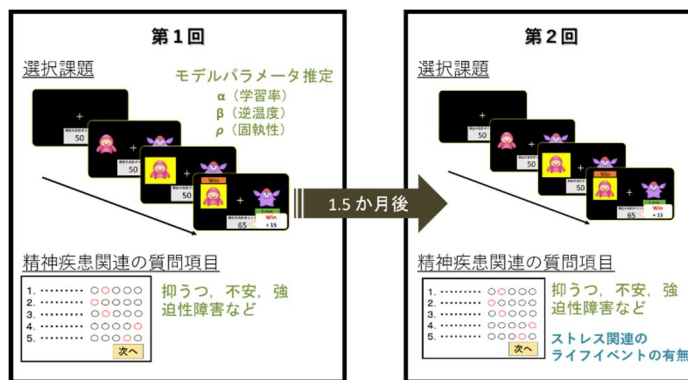


図2 オンライン実験・調査の概要

また、2回の調査の間のライフイベント(就職、転職、結婚、離婚、出産、近親者との死別等)の有無を選択してもらった。

実験・調査は民間のクラウドソーシングサービスを利用して一般母集団を対象として募集し、オンラインで実施した。2回目まで完了した516名のデータのうち、課題や調査に誠実に取り組んでいないことが疑われる不適切な振る舞いが認められた参加者のデータを分析から除外し、計453名分のデータを分析対象とした。

分析では、選択行動データから計算論モデルのパラメータ推定を行い、参加者ごとの行動特性を抽出した。モデルのパラメータとしては、1回の経験につき選択肢の価値をどの程度更新するかを調整する学習率、選択肢の価値の差をどの程度選択確率の差に反映させるかを決定する逆温度パラメータ(低いほど選択はランダムになる)、および同じ選択肢を選ぶ傾向を決定する固執性パラメータの3種類のパラメータに注目した(図2)。先行研究により、抑うつ傾向の高い個人は逆温度パラメータが減少する(選択が価値の差によらずランダムになりやすい)ことが示されている(例: Kunisato et al., 2012; Ogishima et al., 2020)。モデルのパラメータ推定値を説明変数、精神疾患傾向の主観評定やその変化を予測変数として使い、交差遅延モデルを用いて分析することで、1回目の課題から推定されたモデルのパラメータが2回目の精神疾患傾向を予測するか否かを検討した。また、ストレスフルなライフイベントが精神疾患傾向の変化に及ぼす効果も検討した。

4. 研究成果

分析の結果、強化学習のパラメータにはその推定値と精神疾患傾向が連動しているものは認められなかった。この結果は、それらのパラメータは状態としての精神疾患傾向を直接的に反映していない可能性を示唆する。一方で、1回目の実験時の逆温度パラメータが高い(ランダム性が低い)個人は2回目の調査時の抑うつ得点が有意に低くなるという結果が得られた(図3)。このことから、逆温度パラメータは抑うつ傾向を直接反映したものではないものの、その予後についての情報を与えるような個人の特性を反映したものであることが示唆される。

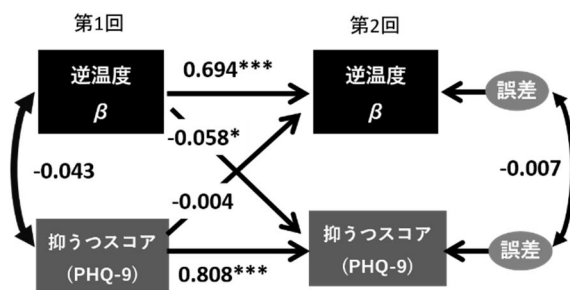


図3 交差遅延モデルによる分析の結果
* $p < .05$, *** $p < .001$

また、ストレスフルなライフイベントがあると2回目で精神疾患傾向のスコアは全般的に高くなる傾向がみられたが、そこにはモデルのパラメータとの関連は認められなかった。

本研究の結果は、強化学習モデルのパラメータとしてとらえられる一部の個人の特性が、精神疾患傾向の予測に有用なものであることを示している。ただし、本研究はあくまで一般母集団を対象としたものであり、実際の精神疾患の患者にまで本研究の結果が適用できるか否かを確認するには臨床群を対象としたさらなる研究が必要である。また、本研究で用いた行動課題や計算論モデルは数ある研究パラダイムの一部であり、これまでの計算論モデリングを用いて得られた知見がどの程度予測につながるかについては今後さらなる研究が必要である。本研究で構築した実験・調査・分析の枠組みは、今後そのような研究を行う際の基盤となることが期待される。

<引用文献>

- Redish, A. D., & Gordon, J. A. (Eds.). (2016). *Computational psychiatry: New perspectives on mental illness* (Vol. 20). MIT Press.
- Gillan, C. M., Kosinski, M., Whelan, R., Phelps, E. A., & Daw, N. D. (2016). Characterizing a psychiatric symptom dimension related to deficits in goal-directed control. *eLife*, 5, e11305.
- Pulcu, E., & Browning, M. (2017). Affective bias as a rational response to the statistics of rewards and punishments. *eLife*, 6, e27879.
- Kunisato, Y., Okamoto, Y., Ueda, K., Onoda, K., Okada, G., Yoshimura, S., ... & Yamawaki, S. (2012). Effects of depression on reward-based decision making and variability of action in probabilistic learning. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 43(4), 1088-1094.
- Ogishima, H., Maeda, S., Tanaka, Y., & Shimada, H. (2020). Effects of Depressive Symptoms, Feelings, and Interoception on Reward-Based Decision-Making: Investigation Using Reinforcement Learning Model. *Brain Sciences*, 10(8), 508.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Katahira Kentaro, Toyama Asako	4. 巻 17
2. 論文標題 Revisiting the importance of model fitting for model-based fMRI: It does matter in computational psychiatry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS Computational Biology	6. 最初と最後の頁 e1008738
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pcbi.1008738	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 Sugawara Michiyo, Katahira Kentaro	4. 巻 11
2. 論文標題 Dissociation between asymmetric value updating and perseverance in human reinforcement learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 3574
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-80593-7	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 Sumiya Motofumi, Katahira Kentaro	4. 巻 14
2. 論文標題 Commentary: Altered learning under uncertainty in unmedicated mood and anxiety disorders	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 561770
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnhum.2020.561770	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 Sumiya Motofumi, Katahira Kentaro	4. 巻 14
2. 論文標題 Surprise Acts as a Reducer of Outcome Value in Human Reinforcement Learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 852
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnins.2020.00852	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 Katahira Kentaro, Kunisato Yoshihiko, Okimura Tsukasa, Yamashita Yuichi	4. 巻 96
2. 論文標題 Retrospective surprise: A computational component for active inference	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Psychology	6. 最初と最後の頁 102347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmp.2020.102347	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Oba Takeyuki, Katahira Kentaro, Ohira Hideki	4. 巻 10
2. 論文標題 The Effect of Reduced Learning Ability on Avoidance in Psychopathy: A Computational Approach	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 2432
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpsyg.2019.02432	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 菅原 通代、片平 健太郎	4. 巻 38
2. 論文標題 強化学習における認知バイアスと固執性 選択行動を決めているのは過去の“選択の結果”か“選択そのもの”か?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 基礎心理学研究	6. 最初と最後の頁 48 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14947/psychono.38.5	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 Katahira Kentaro	4. 巻 87
2. 論文標題 The statistical structures of reinforcement learning with asymmetric value updates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Psychology	6. 最初と最後の頁 31 ~ 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmp.2018.09.002	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 Toyama Asako, Katahira Kentaro, Ohira Hideki	4. 巻 91
2. 論文標題 Biases in estimating the balance between model-free and model-based learning systems due to model misspecification	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Psychology	6. 最初と最後の頁 88 ~ 102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmp.2019.03.007	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 Toyama Asako, Katahira Kentaro, Ohira Hideki	4. 巻 13
2. 論文標題 Reinforcement learning with parsimonious computation and a forgetting process	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnhum.2019.00153	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5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Toyama, A., Katahira, K., & Ohira, H.
2. 発表標題 Attention bias to affective outcomes
3. 学会等名 The 2020 SAS (The Society for Affective Science) Annual Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Oba, T., Katahira, K., & Ohira, H.
2. 発表標題 The learning mechanism of shaping risk preference and relations with psychopathic traits
3. 学会等名 The Multi-disciplinary Conference on Reinforcement Learning and Decision Making (RLDM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toyama, A., Katahira, K., & Ohira, H.
2. 発表標題 Forgetting Process in Model-Free and Model-Based Reinforcement Learning
3. 学会等名 The Multi-disciplinary Conference on Reinforcement Learning and Decision Making (RLDM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sugawara, M. & Katahira, K.
2. 発表標題 Validation of cognitive bias represented by reinforcement learning with asymmetric value updates
3. 学会等名 The Multi-disciplinary Conference on Reinforcement Learning and Decision Making (RLDM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Oshima, S. & Katahira, K.
2. 発表標題 Pseudo-Learning Rate Modulation by the Forgetting of Action Value when Environmental Volatility Changes
3. 学会等名 The Multi-disciplinary Conference on Reinforcement Learning and Decision Making (RLDM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 国里 愛彦、片平 健太郎、沖村 宰、山下 祐一	4. 発行年 2019年
2. 出版社 勁草書房	5. 総ページ数 328
3. 書名 計算論的精神医学	

1. 著者名 片平健太郎	4. 発行年 2018年
2. 出版社 株式会社オーム社	5. 総ページ数 224
3. 書名 行動データの計算論モデリング	

〔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	国里 愛彦 (Kunisato Yoshihiko) (30613856)	専修大学・人間科学部・准教授 (32634)	
研究分担者	山下 祐一 (Yamashita Yuichi) (40584131)	国立研究開発法人国立精神・神経医療研究センター・神経研究所 疾病研究第七部・室長 (82611)	

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
---------	---------