

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：32634

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13366

研究課題名（和文）意思決定における価値計算過程と選択過程を分離して評価する計算論的アプローチ

研究課題名（英文）A computational approach that evaluates the value calculation process and the choice process in decision making

研究代表者

遠山 朝子（Toyama, Asako）

専修大学・文学研究科・特別研究員

研究者番号：10816549

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：選択を伴う意思決定は、選択肢の価値を計算する価値計算過程と、選択肢に選好をつける選択過程で構成される。近年、各過程における諸機能が選択に及ぼす影響を計算論モデルのパラメータ値として推定する研究が盛んに行われている。本研究では、従来使われてきた強化学習モデルでの問題点を挙げ、モデル誤設定によってモデルパラメータの推定にバイアスが生じ、研究の結論に影響を及ぼしていた可能性を計算機シミュレーションにより明らかにした。さらに、クラウドソーシングを利用した実験で大規模なデータを収集し、提案する新しいモデルによって精神疾患を新たに特徴づけた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は従来使われてきた強化学習モデルのパラメータが、意思決定過程に関して誤った結論を導いていた可能性を指摘した。そのため、本研究の中で提案している新しいモデルを使うことで、これまでの理解が覆り、新たな人間像が浮かび上がってくる可能性がある。さらに、新しく提案したモデルのパラメータが抑うつや不安などの程度と対応していることが示唆された。そのため、近年世界的に推進されている計算論的精神医学に貢献し、精神疾患の診断や予測に役立つことが期待される。

研究成果の概要（英文）：Decision-making is composed of a value calculation process that calculates the value of available options and a choice process that favors an option. In recent years, studies have characterized mental illness and personalities using model parameters. In this study, we pointed out the problems with the conventionally used reinforcement learning models and clarified the possibility that the model parameter estimation was biased due to model misspecification, which affected the conclusion of studies. In addition, we collected large-scale data using crowdsourcing and newly characterized mental illness with the proposed model.

研究分野：実験心理学

キーワード：計算論モデル 強化学習モデル 忘却過程 固執性 精神疾患

## 1. 研究開始当初の背景

意思決定は、選択肢の価値を計算する価値計算過程と、選択肢に選好をつける選択過程で構成される。価値計算過程で計算された価値は、選択過程へと渡され、価値に基づいて選択をする程度が調整される。価値に基づかない程度が強いと、ランダムな選択による探索や、自分の過去の選択を繰り返す傾向（固執性）が増す。

これらの価値計算過程や選択過程の中での機能バランスは、意思決定過程を数理的に表現する計算論モデルのひとつである強化学習モデルを用いて、パラメータ値として量的に推定できる（図1）。Dawら（2011）の開発した選択行動課題と強化学習モデルは、価値計算過程の2種類の学習

（モデルフリー学習・モデルベース学習）のバランスが推定できるため、広く研究で使われている。特に、衝動性や強迫性障害などの個人特性や精神疾患の特徴をうまく捉えることができる（Gillan et al., 2016）ため、臨床場面における病予予測や診断への応用が期待されている。

しかし、そうしたモデルを用いた研究の多くが、モデルをツールとしてのみ使い、モデル自体の検証が疎かになっているという現状があった。そのため、モデルパラメータが実際に実験者の想定している役割に対応しているのか、また、ヒトに特有の認知過程がモデルに組み込まれているのかを検討する必要がある。これは、計算論的精神医学が目指すモデルの臨床応用に向けても必須の課題である。

## 2. 研究の目的

本研究では、強化学習モデルにおける価値計算過程と選択過程について見直し、モデルの誤設定が研究の結論に及ぼす影響を明らかにしつつ、新しく提案するモデルで精神疾患を改めてとらえ直すことを目的とする。具体的には下記の2点について取り組んだ。

1. 計算論モデルの中で、価値計算過程と選択過程のそれぞれで、誤ったアルゴリズムを使った場合に生じるパラメータ推定のバイアスについて明らかにする。
2. 提案する新しいモデルを用いて、精神疾患を特徴づける。

なお、提案する新しいモデルでは、ヒトに特有の認知過程がモデルに組み込んでいる。具体的には、選択していない選択肢の価値の変化を許容するアルゴリズム（：忘却過程，Toyama et al., 2017）を価値計算過程に導入、さらに、価値とは無関係に自身が過去に選んだ選択を繰り返す固執性を選択過程に導入した。

## 3. 研究の方法

本研究では複数の実験を行っているが、行動課題（選択課題）としては、Dawら（2011）の二段階意思決定課題、もしくはPulcu & Browning（2017）の情報処理バイアス課題を用いている。

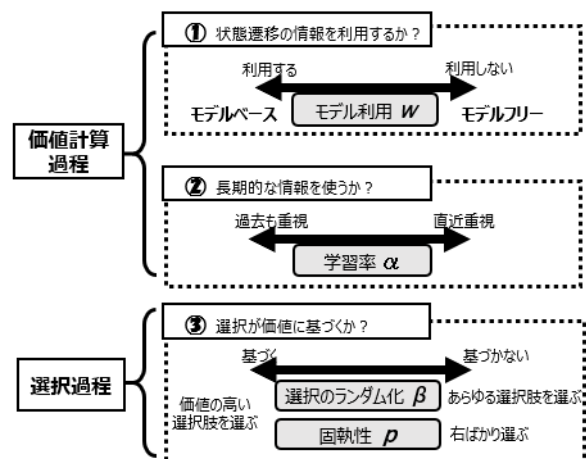


図1 意思決定過程

どちらも簡単な選択課題であり，前者は主にモデルフリー学習とモデルベース学習のバランスを推定するのに特化した課題，後者はポジティブな結果とネガティブな結果に対する学習の違いをみるのに特化した課題である。研究目的に応じて，これらの課題を用いて計算機シミュレーションをする場合と，実際に参加者をとってデータを取得する場合とがあった。下記にそのそれぞれを記す。

#### (1) モデルの誤設定により生じうるバイアスの推定に関する研究( 計算機シミュレーションによる研究)

モデルの誤設定により生じうる問題を明らかにするために，計算機シミュレーションを行った。具体的には，まず，ヒトの行動をよりよく説明する計算論モデル( 忘却過程を含むモデルや固執性を含むモデル)を用いて，人工的な選択データを生成した。次に，それに対して従来使われてきたモデル( 忘却過程や固執性を含まないモデル)を当てはめてパラメータ推定を行い，真のモデルパラメータ値からのズレを検討し，モデルの誤設定の影響を調べた。

#### (2) モデルを用いて精神疾患を特徴づけるための研究( 実データを用いた研究)

新しく提案する計算論モデルを用いて精神疾患との関係の特徴づけるためには，大量の行動データが必要である。そこで，クラウドソーシングサービスを用いて参加者を募集し，行動課題と精神疾患に関する種々の質問紙をオンライン上で実施した。得られた行動課題のデータに提案モデルをあてはめてパラメータ推定を行い，精神疾患関連の質問紙スコアとの関係を検討した。なお，実験対象者は一般母集団であった。本研究では複数の実験を行っているが，毎回 250 名～500 名程度の参加者が集まった。

## 4. 研究成果

### (1) モデルの誤設定により生じうるパラメータ推定のバイアス

意思決定の背後にある学習メカニズムについて計算論モデルで表現するとき，大きく分けて，「価値計算過程」と「選択過程」について考える必要がある。本研究では，両過程のそれぞれで，誤ったアルゴリズムを使った場合に生じうるパラメータ推定のバイアスについて，二段階意思決定課題を用いて検討した。その結果下記の知見が得られた。

忘却過程の影響を受けている人工的な選択データを生成し，忘却過程を想定しない従来のモデルを用いた場合に，パラメータ推定がどれほど歪められるかを検討した。モデルフリー学習とモデルベース学習のバランスパラメータである  $w$  についての結果を図 2 に示す。忘却ありモデルを使うと真値に近い値が推定されるが，忘却過程を含まないモデルを使うと， $w$  の推定値が大きく真値からずれることが分かった。

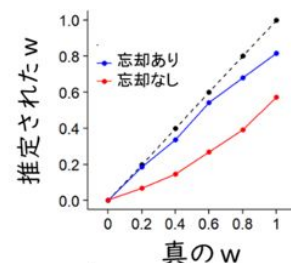


図2 シミュレーション結果

ヒトの選択行動を確認すると，複数前の選択からも影響を受けていることが分かる。そこで，複数前の選択の影響を受けている人工的な選択データを生成し，1つ前の選択しか考慮しない従来の計算論モデルを用いてパラメータ推定を行って，推定が歪められる可能性を計算機シミュレーションで検討した。その結果，パラメータの推定値がシステムティックに歪められる現象を確認された。これは，「選択過程」のアルゴリズムに不足があるために，そこで表現できなかったデータの特徴が「価値計算過程」のパラメータで補われたためであると考えられる。

これらの成果については，国際紙 Journal of Mathematical Psychology にて発表している。

## (2) モデルパラメータで特徴づける精神疾患

Daw ら (2011) の二段階意思決定課題を用いて、忘却過程を含むモデルを用いて参加者の選択過程の特徴をみた。その結果、自分が選択をしていない選択肢の価値が初期値に回帰する傾向を表す忘却率の大きさが、うつ傾向や自己報告のストレスの大きさと正の相関を示すことが分かった (図3)。これは、抑うつ状態や高ストレス状態にあると、外界の情報で価値を更新しても、すぐに個人のデフォルトの価値に回帰しやすいことを示唆している。これは忘却過程をモデルに取り入れることではじめて明らかになったことである。

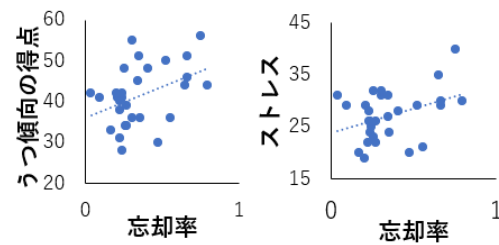


図3 忘却率と質問紙スコアの関係

この成果に関しては、国際紙 *Frontiers in Human Neuroscience* にて発表している。

Pulcu & Browning (2017) の情報処理バイアス課題を用いて、学習過程のモデルパラメータで精神疾患が特徴づけられるか検討した。その結果、不安、うつ、不眠症が、ポジティブな結果に対する学習率の違いから差別化できることが確認された。具体的には、健常者の不眠のレベルが高いほど、ポジティブな結果に敏感になる。一方、不安レベルが高いほど、ポジティブな結果に対する敏感さが減少する。

また、この研究では、固執性を入れたモデルを使用したが、従来の固執性を使わないモデルで報告されていた知見は再現されず、それらの知見はモデルの誤設定によるものであった可能性が示唆された。これについては複数回同じ課題を用いて実験を実施し、確認している。

これらの成果は現在、論文としてまとめているところである。

以上、本研究では、モデルの誤設定により研究結果が歪められるメカニズムを明らかにし、妥当性の高い提案モデルを用いることで精神疾患の意思決定過程に新たな視点を与えた。今後、さらに研究を重ねることで、精神疾患のみならず、人の意思決定過程に対する新しい理解が得られることが期待される。

### <引用文献>

Daw, N. D., Gershman, S. J., Seymour, B., Dayan, P., & Dolan, R. J. (2011). Model-based influences on humans' choices and striatal prediction errors. *Neuron*, 69(6), 1204-1215.

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

Pulcu, E., & Browning, M. (2017). Affective bias as a rational response to the statistics of rewards and punishments. *Elife*, 6.

Toyama, A., Katahira, K., & Ohira, H. (2017). A simple computational algorithm of model-based choice preference. *Cogn Affect Behav Neurosci*.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

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 -

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 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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

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 4th Multi-disciplinary Conference on Reinforcement Learning and Decision Making (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠山朝子
2. 発表標題 モデルベース意思決定を特徴づける計算論モデルの 提案 モデルパラメータを用いた個人差の検討
3. 学会等名 日本心理学会第81回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠山朝子
2. 発表標題 忘却過程のある強化学習モデルの提案
3. 学会等名 第18回東海若手実験心理学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠山朝子
2. 発表標題 忘却過程を含む強化学習モデルを用いたモデルフリー・モデルベースシステム比重の推定
3. 学会等名 第22回計算論的精神医学コロキウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Asako Toyama, Kentaro Katahira Hideki Ohira
2. 発表標題 ATTENTION BIAS TO AFFECTIVE OUTCOMES
3. 学会等名 The 2020 SAS Annual Conference (国際学会)
4. 発表年 2020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
--	---------------------------	-----------------------	----

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