

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：94301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2016

課題番号：25540057

研究課題名（和文）時間選好モデルの学際的アプローチによる評価と脳機構の解明

研究課題名（英文）Evaluation of Time Preference Model by Interdisciplinary Approach and Elucidation of Neural Mechanism

研究代表者

川脇 沙織（田中沙織）（TANAKA, Saori）

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・研究室長

研究者番号：00505985

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：割引モデルの中の時間の表現を調べるために、時間割引実験を実施し、報酬と時間の脳内表現が分離されていることを示した。またこの表現が個人特性によって異なることを示した。次に時間割引における主観的時間の影響を調べるために、脳活動から主観時間を推定するための実験プロトコルを開発した。そして、主観時間を組み込んだ時間割引モデルの構築のために、前向き・後ろ向きの時間要素を組み込んだ学習課題の実施とモデルの検証を行った。

研究成果の概要（英文）：To investigate the neural representation of time in the delay discount model, we conducted a time discount experiment to show that the neural representation of reward and time was separated. We found that these representations depend on individual characteristics. Next, to investigate the influence of subjective time in delay discounting, we developed an experimental protocol to estimate subjective time from brain activity. In order to construct a delay discount model incorporating subjective time, we developed a learning task incorporating prospective and retrospective temporal perspectives and verified the model.

研究分野：行動神経科学

キーワード：時間割引 主観時間 異時点間選択問題

1. 研究開始当初の背景

我々の日常において、目先と将来の報酬(利益)のどちらかを選択する場面は多くある。行動心理学や経済学において、ヒトを含む動物はより近い報酬を好むという「時間選好」を持っており、それを説明するモデルとして将来の報酬を割り引いて評価するという「時間割引」モデルが提唱されている(Ainslie, 1975; Ho et al., 1999; Mobini et al., 2000)。このモデルは、パラメータの「時間割引率」の値が大きいと、将来の報酬を大きく割り引いてしまい、目先の報酬にとらわれた行動を取ってしまうこと、一方時間割引率が小さいと、将来の報酬を見据えた行動が可能となることを説明する。

しかし特定の割引モデルと割引率のみで意思決定における時間の影響を説明することには、かねてから疑問が示されていた。たとえば、割引モデルにも指数割引、双曲割引、準双曲割引など複数の割引モデルが提唱されている。心理学の分野では、実際のデータをよく説明するという理由から、双曲割引が主に採用されているが、双曲関数が指数関数の重み付き和で表現できること、割引モデルに「主観的時間」を取り入れることで、双曲関数よりも指数関数の方が説明力が高くなったという報告からも、ヒトを含む動物の時間選好モデルに関しては、いまだ不明な点が多い。また、強化学習をはじめとする学習理論の分野では、時間割引という概念そのものに対する疑問も生じている(Sutton, 2011, JNNS)。つまり、時間割引モデルで説明できるようなヒトの時間選好の行動も、実は見かけ上そう見えているだけで、その行動を生み出すシステム、具体的には脳機構のシステムとしては、別のモデル(Schwartz, 1993; Mahadevan, 1996)が採用されているかもしれないのである。

我々は非侵襲的脳活動計測の手法を用いた先行研究において、脳の基底関数としては指数割引が採用されていること(Tanaka et al., 2004; 2007)さらに見かけ上の割引率の差は脳における「主観的時間」の表現の差が原因で起きていること(Tanaka et al., 2012)を示唆する結果を得ている。

2. 研究の目的

本研究では、これらの先行研究での知見をもとに、時間選好に関する要素を行動実験及び機能的磁気共鳴画像法(fMRI)の実験から明らかにし、脳機構のシステムとして採用されている真の時間選好モデルの解明を目指す。

3. 研究の方法

割引モデルの中の時間の表現を調べるため

に、時間割引実験を実施し、報酬と時間の脳内表現が分離されていることを示した。またこの表現が個人特性によって異なることを示した。次に時間割引における主観的時間の影響を調べるために、脳活動から主観時間を推定するための実験プロトコルを開発した。そして、主観時間を組み込んだ時間割引モデルの構築のために、前向き・後ろ向きの時間要素を組み込んだ学習課題の実施とモデルの検証を行った。

4. 研究成果

報酬と時間の表現

すぐにもらえる小さい報酬と、時間がかかるが大きな報酬の二択を行う「異時点間選択課題」を、利得及び損失に対して実施し、参加者の利得及び損失に対する時間割引率を推定した。そして、損失の割引率が報酬よりも小さい(「符号効果」の見られた)群と符号効果の見られなかった群の脳活動を比較したところ、報酬と時間の表現に対する脳活動に、利得と損失の間で差が見られた(図1)。具体的には、符号効果の見られなかった群では、損失までの時間遅れに対する線条体の活動および、損失の大きさに対する島皮質の活動が、符号効果の見られた群と逆のパターンだったことがわかった。一方、利得に対する脳活動には、両群で差は見られなかった。また、各群での利得と損失に対する脳活動のパターンを比較すると、符号効果の見られた群では、利得よりも損失において時間遅れや大きさに対してより大きく活動しているのに対して、符号効果の見られなかった群ではその活動パターンは見られなかった。この実験手法により、報酬と時間の脳内表現を分離して評価することが可能となった。また、「符号効果」という個人特性によってこの表現が異なることを示した(Tanaka et al., 2014)。

主観時間を推定するための実験プロトコルの開発

時間割引における主観時間の影響を調べるために、主観時間の個人特性を実験的に求めるための実験プロトコルを開発した。主観時間を実験的に求める手法として、Peak Interval Procedureが広く用いられている(Meck et al., 2005)。この課題では、被験者は一定のインターバルが経過したと思うタイミングでボタンを押す。インターバル(客観時間)とボタン押し(主観時間)のずれによって、主観時間の評価が可能となる。行動のみでなく、脳活動から主観時間を推定するために、動物実験の先行研究での知見を元に(Mello et al., 2015)、インターバルの間のfMRIデータから主観時間のデコードを試みた。インターバルの前半と後半の判別では、線条体のBOLD信号から6名中2名が有意に判別できたが、課題の改良が必要である。

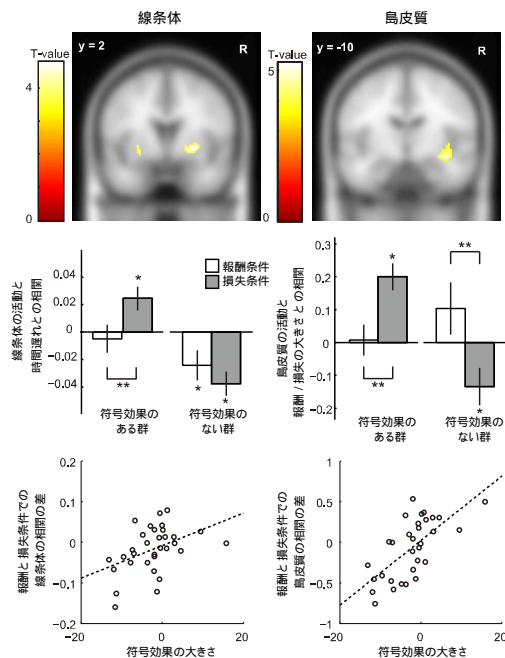


図 1 符号効果の見られた群と見られなかった群では、損失に対してのみ、線条体（左上図）と島皮質（右上図）に異なる活動が見られた。

時間割引モデルの構築

主観時間を組み込んだ時間割引モデルの構築のために、前向き・後ろ向きの時間要素を組み込んだ学習課題の実施とモデルの検証を行った。具体的には、強化学習の TD()をベースに、の結果から利得と損失（厳密には正と負の予測誤差）で異なるパラメータを用意し、Tanaka et al., 2009 で開発した行動課題を用いて、モデルの検証を行った。その結果、時間割引パラメータである と eligibility trace パラメータである の値によって学習行動が異なることがわかり、そのパラメータの変動が、脳内物質であるセロトニンの変動 (Tanaka et al., 2009) と対応していることを示した。この結果は現在論文にまとめている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Fermin AS, Yoshida T, Yoshimoto J, Ito M, Tanaka SC, Doya K. Model-based action planning involves cortico-cerebellar and basal ganglia networks. *Scientific Reports* 6, 31378 (2016). doi: 10.1038/srep31378

Tanaka SC, Yamada K, Kitada R, Tanaka S, Sugawara SK, Ohtake F, Sadato N. Overstatement in happiness reporting with ordinal, bounded scale. *Scientific Reports* 6, 21321 (2016). doi: 10.1038/srep21321

田中沙織, 【神経経済学】経済行動の意思決定メカニズムを解明する新分野. 経済セミナー. 2015年増刊号, 日本評論社.

田中沙織, 酒井 雄希, 成木 迅. 衝動性と強迫性 ~計算論的アプローチによる疾患研究. *分子精神医学* 15(1), 15-22 (2015)

Tanaka SC, Yamada K, Yoneda H, Ohtake F: Neural mechanisms of gain-loss asymmetry in temporal discounting. *The Journal of Neuroscience* 34(16), 5595-5602 (2014). doi: 10.1523/JNEUROSCI.5169-12.2014

〔学会発表〕(計 6 件)

Tanaka SC, Sakai Y, Sakai Y: Neural mechanisms for delay discounting in psychiatric disorders., *Neuroscience2016*, 2016年7月, パシフィコ横浜(神奈川県)

Tanaka SC, Neurocomputational model for reward prediction and decision making in psychiatric disorders, *CINP2016*, 2016年7月, Seoul(韓国)

Tanaka SC, Sakai Y, Sakai Y, Computational model of impulsive reaction to anxiety in Obsessive-Compulsive Disorder, *Neuroscience 2015*, 2015年7月, 神戸国際会議場、神戸国際展示場(兵庫県)

Sakai Y, Tanaka SC, Abe Y, Nishida S, Nakamae T, Yamada K, Doya K, Fukui K, Narumoto J. Reinforcement learning based on impulsively biased time scale and its neural substrate in OCD, *RLDM 2015*, 2015年6月, Edmonton (Canada)

Tanaka SC, Sakai Y, Sakai Y, Computational model of impulsive reaction to anxiety in Obsessive-Compulsive Disorder, *RLDM 2015*, 2015年6月, Edmonton (Canada)

Tanaka SC. Application of computational model of decision-making to psychiatric disorders, *International Symposium Adolescent brain & mind and self-regulation*, 2014年7月, 東京大学医学部附属病院(東京都)

〔図書〕(計 1 件)

田中沙織, 経済学的意思決定にかかわる脳のしくみ, pp. 99-120, クバプロ (2014)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.cns.atr.jp/ncd/member/s-tanaka/>

6．研究組織

(1)研究代表者

川脇 沙織 (田中沙織) (TANAKA, Saori)
株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・研究室長
研究者番号：00505985

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

高木優 (TAKAGI, Yu)
株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・連携実習生