

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：82636

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2017～2021

課題番号：17H06314

研究課題名（和文）ヒト意思決定における大脳皮質・皮質下領域の脳情報動態の解明と利用

研究課題名（英文）Neural information dynamics in the cerebral cortex and subcortical regions in human decision-making

研究代表者

春野 雅彦（Haruno, Masahiko）

国立研究開発法人情報通信研究機構・未来ICT研究所脳情報通信融合研究センター・室長

研究者番号：40395124

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 101,660,000円

研究成果の概要（和文）：日常の社会行動の多くの場合において、向社会行動より向自己行動の方が反応時間が長くなるのは、自己と他者の利得差に対する（主に）扁桃体の情動反応を背側前帯状回皮質が抑制することに時間を要するためであることを示した。この発見は、行動選択と反応時間の両方を説明するDrift Diffusion Modelのパラメータを用いることで初めて可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日常の社会行動の多くの場合において、向社会行動より向自己行動の方が反応時間が長くなるのは、自己と他者の利得差に対する（主に）扁桃体の情動反応を背側前帯状回皮質が抑制することに時間を要するためであることを示した。この発見は、行動選択と反応時間の両方を説明するDrift Diffusion Modelのパラメータを用いることで初めて可能となった。この結果は第一に、向自己行動は従来考えられてきたほど単純な行動ではなく、ストレスを伴うものがあること、第二に、意思決定の神経機構を同定する際に選択された行動とともにその反応時間を考慮することの重要性を示唆する。

研究成果の概要（英文）：In many instances of everyday social behavior, it is known that the response time for self-oriented behavior is longer than for pro-social behavior. However, underlying neural mechanism was unaddressed. We found the key component to be the time needed for the pregenual anterior cingulate cortex to suppress the emotional responses of the amygdala to the difference in gain between self and others. This finding was made possible by using the parameters of the Drift Diffusion Model, which explains both behavioral choices and response times.

研究分野：計算論的社会脳科学

キーワード：脳情報 計算理論 7テスラfMRI ダイナミクス

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、ヒトの社会的協力行動に直感的意思決定と(相手の意図に基づく)熟慮的意思決定があり、それぞれにおける扁桃体・側坐核と、背外側前頭前野の重要な働きを示してきた。しかしこれら研究においても各要素がどう統合され最終行動に至るかという脳情報動態は依然未知であり、その解明には新たな情報論と詳細な計測が必要となった。特に協力行動、より一般的に向社会行動については多くの研究が行われるようになっていたが、向自己行動については単純な報酬最大化であると考えられていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、

- (1) ヒトの情動や記憶に基づく意思決定と深い推論に基づく意思決定の統合モデル(強化学習とベイズ推論システムによる行動レベルモデル)を構築し、各要素が脳のどの領域で計算/統合され自己と他者の状態を表現し、意思決定に使われるのかを明らかにする。
- (2) 興奮性ニューロンと抑制性ニューロンの相互結合を階層的に結合した回路モデルに基づき、意思決定における異なる脳部位間の抑制関係をモデル化し、検証する。

の2項目からなる。

3. 研究の方法

本研究は、第一にヒトが情動、記憶、深い推論といった異なるレベルの情報をどう統合し意思決定するかという未解決問題に行動レベルの計算モデルと高磁場 MRI を用いて取り組んだ。特に統合の座としての帯状回の機能理解を目指した。第二に興奮性ニューロンと抑制性ニューロンの相互結合を階層的に結合した回路モデルを土台として、帯状回から皮質下領域への抑制回路が意思決定にどのように貢献するのかを検討した。具体的には、一般性のある設定のもとでは向社会行動の方が多くの場合、向自己行動より反応時間が速いことが知られている。本研究ではこれがなぜなのかを、帯状回から皮質下領域への抑制回路の視点から明らかにした。

行動課題としては、最後通牒ゲームを用いた。最後通牒ゲームは提案者と返答者と呼ばれる二人のプレイヤーからなる。提案者が自分の取り分と被験者の取り分に関し様々な割合の提案を行う。返答者が提案を拒否すればどちらの取り分も0、一方、返答者が提案を受け入れれば、提案通りにお金は分配される。通常、返答者は自分の取り分が2割より少ないと提案を拒否することが多いことが知られているが、同時に個人差も大きい。本研究では意思決定の反応時間が重要や役割を果たすため、通常より長い提案の提示後、10秒以内に受理、拒否の判断をすることとした。最後通牒ゲーム中に撮像した fMRI 画像を用いて、帯状回-皮質下領域間の脳情報動態を明らかにする。

4. 研究成果

被験者の行動を反応時間と行動選択の両面から解析可能な Drift Diffusion Model (DDM) を用いて分析した。DDM の drift 項としては、自己報酬、envy(相手の取り分が自分よりどれだけ多いか)、guilt(自分の取り分が相手よりどれだけ多いか)、定数の線形結合をフルモデルとして、BIC と予測対数尤度の両方でモデル選択を行った。その結果、両方の基準ともにフルモデルが最適モデルとして選択された。フルモデルを用いて cross validation を行い、行動選択と反応時間の予測を行ったところ高い予測精度を示した。以降はフルモデルを用いて解析を行う。

DDM モデルによる fMRI 解析(n=65)の前に envy 条件での活動部位を確認した。その結果、島皮質前部、背測前帯状回皮質、背外側前頭前野といった先行研究で繰り返し報告されている部位の活動を見出した。このことから本実験においても被験者は先行研究と類似の認知プロセスを行っているものと考えられる。

次にパラメトリックな fMRI 解析を行った。本研究の主要な目標は向自己的な行動はなぜ向社会行動よりの反応時間が長くなることが多いのかを明らかにすることである。最後通牒ゲームにおいて、向自己行動とは envy が多い不公平な提案に対し、自分の報酬の大小のみを考えて受理することである。我々はこのような一見自分の報酬のことのみ考えて行動している被験者が実は、envy のことを考える、つまり envy に対する強い脳の反応を示し、そのような活動を抑制するために、かえって向社会行動よりも反応時間が掛かるという仮説を設定した。

このような活動を見つけるために最初に行うことは、向自己的な被験者、つまり drift 項の envy の係数 (envy) が小さい被験者ほど envy に対し大きな活動を示す脳部位を同定することである。具体的には、first level の被験者毎の解析として envy に対するパラメトリックモジュレーターで行い、続く second level のグループ解析を - (envy) で重み付けした。その結果、極めて強い背測前帯状回皮質の活動を見出した。繰り返しなるがこの結果は、意思決定の際に envy を考慮した拒否をしない被験者ほど、envy に対し背測前帯状回皮質が活動することを示す。

次に、この背測前帯状回皮質の活動は envy に対する皮質下の活動を抑制しているという仮説を設定した。この仮説を検証するため背測前帯状回皮質の活動時系列 x envy の説明変数を作成

し Psychophysiological Interaction (PPI)解析を実施した。いま抑制回路を同定したいので second level では-1での重み付けを行った。

その結果、扁桃体の活動を見出した。この結果は、意思決定の際に envy を考慮した拒否をしない被験者ほど、envy に対し背測前帯状回皮質が活動し、扁桃体の活動を抑制することを示唆する。さらに詳細に分析したところ、背測前帯状回皮質が抑制するのは BLA が中心であり、向社会的な被験者が envy に対して活動を示す CeA とは一部重なりを示すものの大部分は重ならない。したがって、BLA と CeA の間のダイナミクスが働いて向自己行動が実現されているものと考えられる。

次に、背測前帯状回皮質と扁桃体 BLA の間の結合強度が向自己行動の反応時間を説明することを確認する必要がある。実際、背測前帯状回皮質と扁桃体 BLA の間の結合強度は高 envy 条件の受理の反応時間と有意に相関し、一方で、高 guilt 条件の受理の反応時間とは無相関であった。このことは背測前帯状回皮質と扁桃体 BLA の間の結合強度が向自己行動の反応時間を説明することを示す。

これらの結果は行動選択と反応時間の両者を考慮して価値関数を構築する DDM を用いることで得られた。最後に反応時間を考慮しない通常の value-based decision making model の推定パラメータを用いて同様の解析を実施した。その結果、背測前帯状回皮質の活動は $p < 0.001$ uncorrected でのみ同定され、明示的なでの同定は難しくなった。この結果は、意思決定の神経機構を同定する際に選択された行動とともにその反応時間を考慮することの重要性を示唆している。

以上より、日常の社会行動の多くの場合において、向社会行動より向自己行動の方が反応時間が長くなるのは、自己と他者の利得差に対する(主に)扁桃体の情動反応を背測前帯状回皮質が抑制することに時間を要するためであることを示した。この発見は、行動選択と反応時間の両方を説明する Drift Diffusion Model のパラメータを用いることで初めて可能となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11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 Takami K, Haruno M	4. 巻 -
2. 論文標題 Dissociable Behavioral and Neural Correlates for Target-Changing and Conforming Behaviors in Interpersonal Aggression	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 eNeuro	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/ENEURO.0273-19.2020	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 Kazuma Mori, Masahiko Haruno	4. 巻 -
2. 論文標題 Differential ability of network and natural language information on social media to predict interpersonal and mental health traits Journal of Personality	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Personality	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jopy.12578	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 Fukuda Haruaki, Ma Ning, Suzuki Shinsuke, Harasawa Norihiro, Ueno Kenichi, Gardner Justin L., Ichinohe Noritaka, Haruno Masahiko, Cheng Kang, Nakahara Hiroyuki	4. 巻 39
2. 論文標題 Computing Social Value Conversion in the Human Brain	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Neuroscience	6. 最初と最後の頁 5153 ~ 5172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/JNEUROSCI.3117-18.2019	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 Pulcu Erdem, Haruno Masahiko	4. 巻 149
2. 論文標題 Value computations underlying human proposer behavior in the ultimatum game.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Psychology: General	6. 最初と最後の頁 125 ~ 137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1037/xge0000621	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 Ganesh Gowrishankar, Minamoto Takehiro, Haruno Masahiko	4. 巻 10
2. 論文標題 Activity in the dorsal ACC causes deterioration of sequential motor performance due to anxiety	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-12205-6	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 Tanaka Toshiko, Nishimura Fumichika, Kakiuchi Chihiro, Kasai Kiyoto, Kimura Minoru, Haruno Masahiko	4. 巻 14
2. 論文標題 Interactive effects of OXTR and GAD1 on envy-associated behaviors and neural responses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 0210493-0210493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0210493	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 Takami Kyosuke, Haruno Masahiko	4. 巻 14
2. 論文標題 Behavioral and functional connectivity basis for peer-influenced bystander participation in bullying	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Social Cognitive and Affective Neuroscience	6. 最初と最後の頁 23 ~ 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/scan/nsy109	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 Toshiko Tanaka, Takao Yamamoto, Masahiko Haruno	4. 巻 1
2. 論文標題 Brain response patterns to economic inequity predict present and future depression indices	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Human Behavior	6. 最初と最後の頁 748-756
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41562-017-0207-1	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 Nihonsugi Tsuyoshi、Tanaka Toshiko、Haruno Masahiko	4. 巻 12
2. 論文標題 Gender differences in guilt aversion in Korea and the United Kingdom	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-12163-y	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 Mori Kazuma、Hadjur Hugo、Haruno Masahiko	4. 巻 25
2. 論文標題 Natural Language Content Mediates the Association Between Active Interactions on Social Network Services and Subjective Well-Being	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking	6. 最初と最後の頁 678 ~ 685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/cyber.2021.0340	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 Tanaka Toshiko、Okamoto Naohiro、Kida Ikuhiro、Haruno Masahiko	4. 巻 262
2. 論文標題 The initial decrease in 7T-BOLD signals detected by hyperalignment contains information to decode facial expressions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 NeuroImage	6. 最初と最後の頁 119537 ~ 119537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroimage.2022.119537	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4件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 春野雅彦
2. 発表標題 Activity in the dorsal ACC causes motor performance deterioration due to anxiety
3. 学会等名 Experimental Psychology Seminar (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 春野雅彦
2. 発表標題 Activity in the dorsal ACC causes deterioration of sequential motor performance due to anxiety
3. 学会等名 Events _ Max Planck Institute for Biological Cybernetics Tübing (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 春野雅彦
2. 発表標題 ヒトの向社会性を実現する大脳皮質と皮質下領域のインタラクション
3. 学会等名 次世代脳プロジェクト冬のシンポジウム2017 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 春野雅彦
2. 発表標題 Amygdala and dorsolateral prefrontal cortex in human prosocial behavior
3. 学会等名 International symposium on Brain Information Dynamics 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 脳活動刺激システム、および脳活動刺激装置	発明者 春野雅彦	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-169022	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

脳情報通信融合研究センター
<https://cinet.jp/japanese/people/2014279/>
 Computational Social Neuroscience Group
<https://cinet-decision-lab.nict.go.jp/>

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	吉田 和子 (Yoshida Wako) (30379599)	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・主任研究員 (94301)	
研究分担者	田村 弘 (Tamura Hiroshi) (80304038)	大阪大学・生命機能研究科・准教授 (14401)	

	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
研究協力者	榎本 一紀 (Enomoto Kazuki)		
研究協力者	赤石 れい (Akaishi Rei)		
研究協力者	サンケ プラナヴ (Sankhe Pranav)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	岡本 直宏 (Okamoto Naohiro)		
研究協力者	沼野 正太郎 (Numano Shotaro)		
研究協力者	スコウロウ エレーニ (Skoullou Eleni)		

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