

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：34415

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00634

研究課題名（和文）身体イメージを基礎とする社会的認知過程の自由エネルギー原理による統一的理解

研究課題名（英文）Towards a unified understanding of social cognitive processes based on body image under the free energy principle

研究代表者

乾 敏郎（INUI, Toshio）

追手門学院大学・名誉教授

研究者番号：30107015

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 29,800,000 円

研究成果の概要（和文）：視点取得機能（PT）が前庭機能と深い関係をもつことが実験的に示された。また手の左右判断において内受容感覚感度と相関が見られ、内受容感覚精度が高い参加者ほど、左TPJおよび小脳の体積が大きかった。さらに身体イメージ変換における外・内受容感覚統合に背側前帯状皮質が重要な役割を担っていることが示唆された。またPTと心の理論課題に共通して両側のTPJの活動増加が見られたが、それぞれTPJ内の位置は異なった。以上の知見を踏まえ、自由エネルギー原理に基づき、PTと内受容感覚の関係を明確にするモデルを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会的認知機能の脳内メカニズムを多面的に検討し、計算論的な視点からそのモデルを提案した。さらに、これまで十分に検討されてこなかった社会的認知機能の個人差を生み出す要因として、内受容感覚の感度や正確さが重要であることを明らかにした。本研究成果を踏まえて、コミュニケーション機能の基礎過程をモデル化することにより、認知心理学や認知科学のみならず、社会認知神経科学や発達科学の分野の進展に大きく寄与することが期待できる。そして、コミュニケーション障害などの疾患を理解する上での基盤となる重要な情報を提供できると確信する。

研究成果の概要（英文）：It was shown that the vestibular system plays an important role in visual perspective-taking function (PT). In addition, interoceptive sensitivity was correlated with performance in left/right hand judgment, and participants with higher interoceptive accuracy showed greater volumes of left temporo-parietal junction (TPJ) and cerebellum. It was suggested that the dorsal anterior cingulate cortex plays an important role in the integration of exteroceptive and interoceptive signals during body image transformation. Furthermore, activation of bilateral TPJ was found in both PT and theory of mind tasks, but the location of activations was different in TPJ. Based on these findings, we proposed a neural network model based on the free energy principle to clarify the relationship between PT and interoceptive sensations.

研究分野：認知神経科学，認知科学，計算論的神経科学，発達神経科学

キーワード：身体イメージ 視点取得 内受容感覚 個人差 自由エネルギー原理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

コミュニケーションを円滑に進めるためには、自他同一視し他者を理解する like-me システムと自他分離で他者を理解する different-from-me システムを適切に切り替えることが重要であると提案してきた(乾, 2013)。前者は主にミラーニューロンシステムから構成される。他方、自他分離し、他者の視点に立つこと(視点取得)はコミュニケーションをとる上できわめて必要である。他者の心を読む機能の発達に関して実験データに基づきベイズモデルを提案した(Asakura and Inui, 2016)。さらに Friston (2006) によって、自由エネルギー原理と呼ばれる脳の統一理論が提唱された。しかしこれらの社会的認知機能の脳内機構は明らかではなかった。

2. 研究の目的

これまで社会的認知過程における対象の脳内表現について詳細に検討されてきた。しかし本来、まず感覚を持つ自己を基礎として他者を理解し、他者との相互作用を行う。自己イメージは、自己の外受容感覚と内受容感覚が統合されて形成される。一方、2006年に Friston によって提案された自由エネルギー原理は、多くの機能を神経回路レベルで説明可能な統一原理である。そこで本研究では、自己身体イメージを基礎とする社会的認知過程について、行動実験、脳イメージング実験を通じてその詳細を明らかにし、自由エネルギー原理に基づき脳内ネットワークモデルを提案する。具体的には、自己身体イメージの形成過程、1人称的・3人称的自己イメージの主観的自己評価、他者行動と他者感情理解過程について個人差を重視した検討を行い、これらの間の関係を統一的に理解する理論を構築する。

3. 研究の方法

自己身体イメージの形成過程および他者行動と他者感情理解過程についてその脳内メカニズムを検討し、これら2つの過程がどのように関係しているかを明確にし、モデル化を行う。自己身体イメージの形成過程については、身体イメージと行動制御やホメオスタシス制御との関係、ならびに3人称的自己イメージの形成と主観的自己評価の関係について、行動実験とfMRI実験を行い、特に外受容信号と内受容信号の統合過程を中心に個人差を含めて検討する。他者行動の理解と他者感情理解過程については、両者が自己身体イメージ形成といかなる関係にあるかを行動実験とfMRI実験を通じて検討する。自己身体イメージ形成のネットワークが、どのように社会的認知の脳内ネットワークを支えているか、関係しているかを明確にする。また、得られたデータを踏まえて、自由エネルギー原理に基づく脳内ネットワークのモデル化を行う。

4. 研究成果

(1) 視点取得機能と社会性機能に関わるネットワークモデルの構築

我々はこれまで視点取得機能(PT)が前庭機能と深い関係をもつことを実験的に示してきた(乾ら, 2018)。実験結果を説明するために視点取得機能の脳内ネットワークモデルIを構築した。モデルIでは下前頭回のミラーニューロンによって他者の対象中心表現と姿勢が決定され、その情報がTPJと頭頂前庭皮質に伝えられ、移動の内的シミュレーションが実行される。その後の実験結果から、人間(人形)に対しては課題と無関係に自動的にPTが実行されるが、物(の左右判断)に対しては自動的にPTは行わないことが示され、頭頂側頭接合部(TPJ)機能の重要性が示唆された。

また、心拍弁別感度と多次元共感性尺度 (MES) の下位概念である PT 機能 (の自己評価) の間に有意な正の相関がみられた。PT 機能と内受容感覚、共感性の間にはそれぞれ相関が見られた。以上の結果を基礎に、PT 機能の新たなモデルであるモデル を提案した。モデル は、自由エネルギー原理に基づき、視点取得機能と内受容感覚の関係を明確にするものである。

(2) 視点取得と心の理論の神経基盤の検討

自己の身体イメージを 3 人称的にとらえる能力、および他者に対する PT 機能に関して fMRI 実験を行い、特に社会的認知に関わるとされる TPJ の機能的役割および左右差について検討を行った。全脳分析の結果、PT と心の理論課題に共通して、両側の TPJ の活動増加が見られた。また TPJ の中でも PT と心の理論では近接するが異なる神経基盤を持つことが示唆された。PT が視覚的かつ即時的な処理であるが、心の理論は (言語を含む) 多種モダリティかつワーキングメモリの処理が必要となるため、TPJ 内で機能的差異が存在する可能性が考えられる (Ogawa & Matsuyama, 2022)。

(3) 自己身体イメージに基づくイメージ変換と内受容感覚の個人差の関係

身体の線画の心的回転課題 (Arm Laterality Judgment task; ALJ 課題) における反応時間の個人差と、内受容感覚の精度と感度の個人差を測定する心拍弁別課題 (Maekawa et al., 2021) の成績や質問紙スコアとの関係を調べることで、自己身体イメージ変換と内受容感覚の個人差との関連について検討した。また、実験前に MRI によって脳構造画像を撮像し、voxel based morphometry (VBM) 解析した結果、90° 回転における正面像と背面像との間の反応時間の差が小さい参加者ほど小脳の体積が大きく、さらに、内受容感覚精度が高い参加者ほど、左頭頂側頭接合部および小脳の体積が大きかった (笹岡・廣瀬, 2020)。また手の左右判断において内受容感覚感度との相関が見られたが、文字の心的回転課題では内受容感覚の個人差との相関は見られなかった (廣瀬・笹岡, 2022)。精度の高い内受容感覚の予測ができる身体の内部モデルが小脳に存在している可能性も示唆された。

(4) 3 人称的自己イメージに基づくイメージ変換とその個人差の検討

ALJ 課題を遂行中の参加者の脳活動を fMRI によって測定した。脳活動解析の結果、背側前部帯状回 (dACC)、左前部島皮質、左頭頂間溝、左背側運動前野が回転角度、正面 / 背面の要因の交互作用を示し、これらは反応時間の変動と類似した活動を示した。この内、dACC の活動クラスターは背面像と比較した正面像の活動が内受容感覚感度と正の相関を示した脳領域とオーバーラップした。このことは、運動イメージを伴う身体イメージ変換における外・内受容感覚統合に dACC が重要な役割を担っていることを示唆している。さらに、dACC の活動クラスターを含む左前部帯状回膝前部 (pgACC) をシードとした心理生理相互作用解析の結果、正面像を提示したとき、左 pgACC と右感覚運動野および左側頭頭頂接合部 (TPJ) との機能的結合が内受容感覚感度と正の相関を示した (図 1) (笹岡・廣瀬, 2022)。特に、TPJ は多感覚統合に重要な領域であることから、内受容感覚感度の高い個人ほど内受容感覚感度に関わる ACC との結合が強くなることで、内受容感覚と身体イメージ変換に関わる視覚、触覚、自己受容感覚との統合が促進されていることが示唆された。

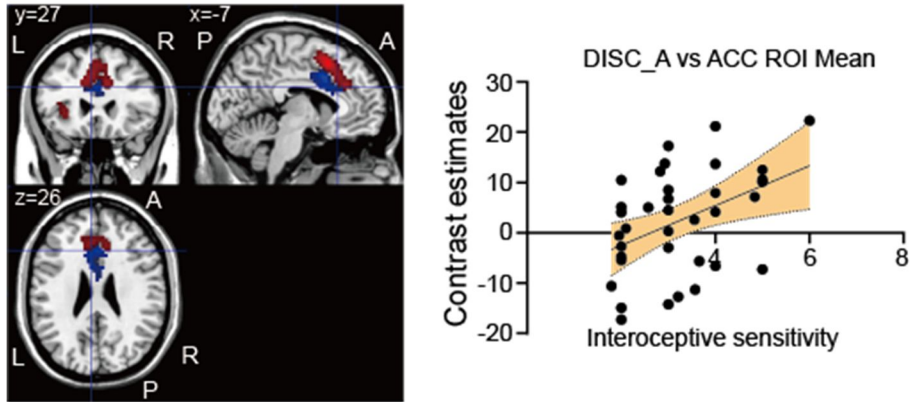


図 1. (左) 反応時間の変動と類似した脳活動を示した dACC (赤) と正面像提示時の活動が内受容感覚感度と正の相関を示した脳領域 (青) (右) これらの領域を含む両側の背側前部帯状回膝前部 (pgACC) の正面像を提示した際の活動と内受容感覚感度との散布図

(5) ラバーハンド錯覚を用いた身体所有感覚の神経基盤と内受容感覚との関連

多感覚を統合した身体所有感の形成過程について検討するために、触覚刺激を用いた手法 (触覚条件) と、自己運動をともなう手法 (運動条件) の二つを使ったラバーハンド錯覚 (RHI) 実験を fMRI 内で実施し、脳活動を分析した。RHI 実験では、被験者の手の映像が、画面上に同期して提示される条件 (実験条件) と、映像に遅延を導入して非同期に提示される条件 (統制条件) を設けた。触覚と運動に共通する身体所有感に関わる神経基盤を検討した結果、両側運動前野 (PMv)、両側頭頂間溝、左有線外皮質身体領域 (EBA) で、触覚と運動に共通して身体所有感に関与する神経表象の存在が示唆された。さらに、左 PMv の神経表象が身体所有感の感受性の個人差の基盤となっている可能性が示唆された。このことは、条件に依らない身体所有感がこれらの領域で表象されている点を示唆する (Sonobe et al., 2023)。

つぎに、RHI における手に対する所有感の錯覚 (IHO) と、心拍関連の内受容感覚の正確性 (CIA) との関係の頑健性を検討した。その結果、IHO 感受性が CIA によって負に影響されることを支持する証拠は得られなかった。本研究から IHO は、心拍の感覚情報が関与しないより低次の脳内処理階層に生起機序をもつ可能性が示唆された (山縣ら, 2021; 2022)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 乾敏郎	4. 巻 73
2. 論文標題 自由エネルギー原理 内受容感覚に基づく意識の神経基盤	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 生体の科学	6. 最初と最後の頁 70 ~ 74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11477/mf.2425201468	査読の有無 無
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 乾敏郎	4. 巻 91
2. 論文標題 ベイズ推論を超えた先のシンプルさ 脳のネットワークの統一理論・自由エネルギー原理	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 科学	6. 最初と最後の頁 346 ~ 348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 乾敏郎	4. 巻 26
2. 論文標題 自由エネルギー原理 環境との相即不離の主観理論	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 認知科学	6. 最初と最後の頁 366 ~ 386
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11225/jcss.26.366	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 乾敏郎	4. 巻 32
2. 論文標題 感情とはそもそも何なのか - 現代科学で読み解く感情のしくみと障害 -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 催眠と科学	6. 最初と最後の頁 6 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 乾敏郎	4. 巻 45
2. 論文標題 知覚・行動・コミュニケーションの計算理論 自由エネルギー原理とは何か	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会技術報告	6. 最初と最後の頁 25 ~ 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 乾敏郎	4. 巻 40
2. 論文標題 自由エネルギー原理 離散系と連続系の統合	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	6. 最初と最後の頁 766 ~ 771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.40.766	査読の有無 無
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 Sonobe Yusuke, Yamagata Toyoki, Yang Huixiang, Haruki Yusuke, Ogawa Kenji	4. 巻 10
2. 論文標題 Supramodal representation of the sense of body ownership in the human parieto-premotor and extrastriate cortices	5. 発行年 2023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.0332-22.2023	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 Yang Huixiang, Ogawa Kenji	4. 巻 501
2. 論文標題 Decoding of motor imagery involving whole-body coordination	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Neuroscience	6. 最初と最後の頁 131 ~ 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroscience.2022.07.029	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 Ogawa Kenji, Matsuyama Yuiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Heterogeneity of social cognition in temporo-parietal junction: Overlapping yet distinct representation between visual perspective-taking and theory of mind	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 bioRxiv	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) 10.1101/2022.01.04.474884	査読の有無 無
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 乾敏郎、笹岡貴史	4. 巻 39
2. 論文標題 視覚視点取得の神経機構	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 神経心理学	6. 最初と最後の頁 150 ~ 164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20584/neuropsychology.17173	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16件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 山縣豊樹, 水鳥翔伍, 市川加伊斗, 小川健二
2. 発表標題 ラバーハンド錯覚の主観的強度における個人差を定量化する試み 階層的順序プロビット回帰モデルの適用による錯覚誘導「無反応者」の推定
3. 学会等名 日本行動計量学会第49回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yang Y., Yang H., Imai F., & Ogawa K.
2. 発表標題 Plasticity of the premotor cortex for fMRI neurofeedback using motor execution
3. 学会等名 27th annual meeting of The Organization for Human Brain Mapping (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 笹岡貴史, 廣瀬健司
2. 発表標題 内受容感覚の個人差が身体イメージ変換過程に与える影響
3. 学会等名 日本認知心理学会第18回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前川亮, 吉岡大輝, 乾敏郎
2. 発表標題 内受容感覚による表情推定の個人差
3. 学会等名 電子情報通信学会ヒューマン情報処理(HIP)研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前川亮, 菅井愛琴, 乾敏郎
2. 発表標題 webカメラによる表情筋活動推定を用いた体現的シミュレーション仮説の検討
3. 学会等名 日本心理学会第83回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前川亮, 片淵一徳, 乾敏郎
2. 発表標題 アイオワ・ギャンプル課題における認知の切り替えに内受容感覚が与える影響
3. 学会等名 日本認知心理学会第17回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 乾敏郎
2. 発表標題 何が非定型なのか 根本原理から考える自閉症の神経機構
3. 学会等名 日本心理学会第86回大会シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川健二
2. 発表標題 ヒトの運動や身体意識に関わる神経表象の解読
3. 学会等名 第20回北海道大学脳科学研究教育センターシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山縣豊樹, 市川加伊斗, 水鳥翔伍, 晴木祐助, 小川健二
2. 発表標題 ラバーハンド錯覚の主観的強度と心拍知覚の正確性との関係性を再考する
3. 学会等名 日本生理心理学会第40回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今井史, 篠崎淳, 齊藤秀和, 長濱宏史, 櫻井佑樹, 長峯隆, 小川健二
2. 発表標題 運動の実技とイメージに共通した一次運動野の神経表象 表象類似性分析を用いた検討
3. 学会等名 日本イメージ心理学会第23回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前川亮, 笹岡貴史
2. 発表標題 自覚ストレスと内受容感覚精度の関係 心拍弁別課題を用いた検討
3. 学会等名 日本心理学会第86回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 廣瀬健司, 笹岡貴史
2. 発表標題 内受容感覚の個人差が手のイメージ変換過程に及ぼす影響
3. 学会等名 日本心理学会第86回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 笹岡貴史, 廣瀬健司
2. 発表標題 Arm laterality判断課題による身体イメージ変換の神経基盤の検討
3. 学会等名 日本認知心理学会第20回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 廣瀬健司, 笹岡貴史
2. 発表標題 内受容感覚の個人差が身体イメージの変換過程に及ぼす影響 自身の身体の参照の有無による効果
3. 学会等名 北海道心理学会・東北心理学会 第13会合同大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 廣瀬健司, 笹岡貴史
2. 発表標題 内受容感覚の個人差が手の左右判断課題に及ぼす影響 自身の身体の参照の有無による効果
3. 学会等名 日本イメージ心理学会第23回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Asakura N.
2. 発表標題 A Kalman filter model for adaptation for delayed auditory feedback in adults who stutter
3. 学会等名 The 4th Symposium on Perception and Cognition Systems for Nature of Plausibility (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 乾敏郎、阪口豊	4. 発行年 2021年
2. 出版社 岩波書店	5. 総ページ数 162
3. 書名 自由エネルギー原理入門 知覚・行動・コミュニケーションの計算理論	

1. 著者名 乾敏郎、阪口豊	4. 発行年 2020年
2. 出版社 岩波書店	5. 総ページ数 150
3. 書名 脳の大統一理論 自由エネルギー原理とはなにか	

1. 著者名 横澤一彦、鈴木宏昭、大平英樹、乾敏郎、布山美慕、西郷甲矢人、谷口忠大、山川宏	4. 発行年 2022年
2. 出版社 東京大学出版会	5. 総ページ数 272
3. 書名 認知科学講座4 心をとらえるフレームワークの展開	

1. 著者名 トーマス・パー(著)、ジョバンニ・ペッツェロ(著)、カール・フリストン(著)、乾敏郎(訳)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 ミネルヴァ書房	5. 総ページ数 352
3. 書名 能動的推論 心、脳、行動の自由エネルギー原理	

1. 著者名 Tatsuya Yoshizawa, Nicholas E. Scott-Samuel, Haruyuki Kojima, Goro Maehara, Ute Leonards, Kentaro Ono, Rie Matsunaga, Haruka Shoda, Nobuhiko Asakura	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Asakura Publishing	5. 総ページ数 118
3. 書名 A Sense of Plausibility in Vision and Music Perception	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>【授賞】 2022年度公益社団法人日本心理学会学術大会優秀発表賞「自覚ストレスと内受容感覚精度の関係 心拍弁別課題を用いた検討」 (受賞者: 前川亮, 笹岡貴史) 2022年10月26日</p> <p>【招待講演】 乾敏郎(2019)脳型処理の基本原則と個性を生み出すメカニズム. けいはんなR&Dイノベーションコンソーシアム総会. 乾敏郎(2019)感情生成の設計図: 自由エネルギー原理を基礎に. シンギュラリティサロン. 小川健二(2019)他人の立場に立って考えることの脳科学. 日本心理学会認定心理士の会オンライン交流会講演. 小川健二(2019)他者の立場に立って考えることの神経基盤. 京都大学こころの未来研究センター 認知科学セミナー.</p> <p>【講演】 朝倉暢彦(2022)計算論的認知科学とデータサイエンス. 機械学習・データ科学 金沢ミニキャンプ.</p>

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	小川 健二 (OGAWA Kenji) (50586021)	北海道大学・文学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	笹岡 貴史 (SASAOKA Takafumi) (60367456)	広島大学・脳・こころ・感性科学研究センター・准教授 (15401)	
研究分担者	朝倉 暢彦 (ASAKURA Nobuhiko) (70308584)	大阪大学・数理・データ科学教育研究センター・特任准教授 (常勤) (14401)	

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