

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：13901

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2023

課題番号：19KK0062

研究課題名（和文）予測的符号化に基づく計算論的心身医学—過敏性腸症候群を対象とした基礎的検討—

研究課題名（英文）Computational somatic medicine based on predictive coding: A basic study on Irritable Bowel Syndrome

研究代表者

大平 英樹 (Ohira, Hideki)

名古屋大学・情報学研究科・教授

研究者番号：90221837

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,300,000円

研究成果の概要（和文）：過敏性腸症候群（IBS）は内受容感覚の不全によって認知や意思決定の変容をもたらすという仮説を、クロアチアのリエカ大学と共同して実証的に検討した。IBS患者50名、統制群64名を対象とし、心理指標、認知機能、意思決定、を測定した。IBS患者群は身体感受性や不安が高いが認知機能は正常に保たれており、意思決定においては報酬に敏感でむしろ合理的な傾向を示した。仮説に反してIBS患者における内受容感覚の異常や、それによる不適応的な意思決定の変容は見られなかった。この原因は未知であるが、IBS患者は、慢性的な身体症状を補償するために、認知機能や合理的意思決定の能力を維持している可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

過敏性腸症候群（IBS）は難治性の機能的消化器疾患であり、この症状に苦しむ患者は増加している。その病理やその背景となる生理学的メカニズムの解明は進んでいるが、IBS患者の性格特性、認知機能や行動の特性などの理解は未知の部分が多い。本研究は、IBSに伴う心理行動的特性を網羅的に調査し、その特性を明らかにした点、さらにその背景メカニズムとして強化学習モデルという計算論モデルを想定して実証的に検討したことで計算論的心身医学とも言うべき新しい研究分野の1事例を提出した点で、高い学術的意義がある。また、患者数が増え社会的関心が高まっているIBSの心理学的理解を深化させたことで社会的意義もあると言える。

研究成果の概要（英文）：In collaboration with the University of Rijeka in Croatia, we empirically examined the hypothesis that irritable bowel syndrome (IBS) leads to alterations in cognition and decision-making due to impaired interoception. We measured psychological indices, cognitive functions, and decision-making in 50 IBS patients and 64 healthy controls. The IBS patient group had higher visceral sensitivity and anxiety, but their cognitive functions were normal, and they were sensitive to rewards and tended to be rational in decision-making. Contrary to the hypothesis, we found no abnormalities in interoception or associated alterations in maladaptive decision-making in IBS patients. Although the cause of this result is unknown, it is suggested that IBS patients may maintain their cognitive functions and ability to make rational decisions in order to compensate for their chronic physical symptoms.

研究分野：生理心理学

キーワード：生理 計算論的心身医学 過敏性腸症候群 意思決定 予測

1. 研究開始当初の背景

心身症は、ストレスや緊張などの心理的要因により、腹痛、頭痛、慢性疼痛などの身体症状が生じる疾患である。脳と身体の機能は密接に関連しており、その機能不全が心身症の原因であると考えられているが、心身症の発症メカニズムを統一的に説明する理論ははまだ存在しない。この問題に示唆を与えるのが、認知神経科学で有力になりつつある脳の予測符号化 (predictive coding) の原理である (Friston, 2010)。この理論では、脳は、経験に基づいて内的モデルを形成し、入力される視覚や聴覚などの感覚信号の予測を行うと主張される。予測と感覚信号との差異 (予測誤差: prediction error) が生じると、予測誤差を小さくするように制御が行われる。近年、予測的符号化の原理は身体内部の知覚である内受容感覚 (interoception) にも拡張されている (Feldman-Barrett & Simmons, 2015)。そこでは、うつ病などの精神疾患や心身症は、この身体の予測的符号化メカニズムの不全に原因があると考えられている。

過敏性腸症候群 (irritable bowel syndrome: IBS) は、腸自体には病変はないのに、腹痛、下痢、便秘などの症状を示す疾患であり、代表的な心身症のひとつである (Camilleri & Di Lorenzo, 2012)。本研究は、IBS を対象とし、予測的符号化の原理に基づき、心身症の背後にある内受容感覚の内的モデルの機能不全を検討することを試みた。そのために、内受容感覚の正確さ、報酬の予測に基づく意思決定とそのメカニズムを記述する計算論モデル、さらにそれらに関連すると思われるさまざまな認知機能について、IBS 患者と健常者を比較した。本研究は、こうした方法により、IBS の背後にある脳における内受容感覚の内的モデルの特性を明らかにすることを目的とする。さらに本研究では、こうした IBS に関する研究を、計算論的心身医学とも呼ぶべき新しい研究領域を拓くための基礎研究として位置付けようとした。

こうした研究は、精神医学の分野では既に発展しており、計算論的精神医学 (computational psychiatry) と呼ばれる新たな研究領域が成立しつつある (Montague et al. 2012)。研究開始当初において、うつ病患者では意思決定における探索傾向が低いこと、強迫性障害患者では環境構造を俯瞰的に理解して意思決定する能力が低いことなどが報告され、そうした傾向が強化学習モデル (reinforcement learning model) と呼ばれる計算論モデルにおけるいくつかのパラメータの値として表現できる可能性が示されていた。こうした萌芽はあったものの、計算論モデルを心身症に適用した実証的研究は世界的にも皆無であった。

2. 研究の目的

本研究は、IBS を対象とし、予測的符号化の原理に基づき、心身症の背後にある内受容感覚の内的モデルにおける不全を検証することを目指した。内的モデルは仮説的な概念であり、その働きを客観的に測定することはできない。しかし、報酬や正答が確率的に与えられる状態で選択を行う意思決定課題を参加者に課し、計算論モデルによりその背後にある内的モデルの動きを推定することができる。こうした研究を計算論的神経科学 (computational neuroscience) と呼ぶ。この研究領域は近年飛躍的に発展している。

本研究では、IBS の一因は、内受容感覚の内的モデルの精度が低いために不安定な身体知覚を経験するか、内的モデルの精度が高すぎるために痛みなどの誤った身体知覚を経験することであると想定した。またこうした内受容感覚の内的モデルの制御は、脳の報酬系により影響されていると考えた。内受容感覚の予測誤差を低減することは、食物や金銭などの報酬と直接的に結びつくわけではないが、生命の維持という大目的により広義の報酬として働くと考えられるためである。本研究では、この仮説を、内受容感覚の正確さ、報酬の予測に基づく意思決定とそのメカニズムを記述する計算論モデル、さらにそれらに関連すると思われるさまざまな心理指標と認知機能について、IBS 患者と健常者を比較することで検証することを目的とした。

3. 研究の方法

1) 研究の概要とスケジュール

本研究は、日本 (代表機関: 名古屋大学) とクロアチア (代表機関: リエカ大学) の共同研究として行われた。2019 年度、研究計画を日本とクロアチアの研究者の合議により決定し、2020 ~ 2022 年度前半にクロアチア (リエカ市・ザグレブ市) においてデータ収集を行った。2022 ~ 2023 年度、日本とクロアチアにおいて分担して統計的解析を行い、オンライン会議及びリエカ大学における会議で結果を議論・解釈した。最終的な研究成果を 2024 年 3 月にイギリス・ブライトンで開催されたアメリカ心身医学会において発表した。

本研究は、国際共同研究加速基金 (国際共同研究強化(B)) としての趣旨に鑑み、上記の研究を遂行することと並行して、各年度に日本とクロアチアの研究者が相互に訪問を行って研究交流を深めることを企図していた。しかし、2020 ~ 2022 年度に発生した新型コロナウイルスのパンデミックにより、対面での交流が不可能になった。そこで各年度に 2 回オンライン会議による交流を継続した。2023 年 11 月と 2024 年 3 月には、代表研究者 (大平) と連携研究者 (斎藤) がリエカ大学を訪問し、研究成果を検討する会議と合同シンポジウムを開催した。

2) 参加者

国際的な診断基準である RomeIV を満たす IBS 患者 50 名 (年齢 M=45,38; SD=13,55 女性 86%) と統制群としての健常者 64 名 (年齢 M=44,72; SD=14,83 女性 77%) が研究に参加した。参加者はいずれも、リエカ市あるいはザグレブ市に在住するクロアチア国籍を有する者であった。参加者は、研究内容について説明を受けた上で自由意志により書面で研究参加への同意を表明した。

3) 測定項目

・心理指標：参加者は、状態及び特性不安 (state-trait Anxiety Inventory (STAI))、内臓感受性指標 (Visceral Sensitivity Index (VSI))、不安感受性指標 (Anxiety Sensitivity Index (ASI)) にそれぞれ回答した。

・内受容感覚：内受容感覚の正確さを評価する方法として一般的に用いられる心拍カウント課題を使用した。25、35、45 秒の各期間において参加者は自らの身体に触れることなく心拍回数を数えた (各期間はランダム順で施行)。同時に心電図により実際の心拍を計測し、その差分が小さいほど内受容感覚の正確さが高いと評価した。

・認知機能：参加者は、ワーキング・メモリ・スパンを評価する逆転数列スパン・テスト (次第に増える 3 - 10 桁の数列が提示され、逆からの復唱を求める) と、前頭葉機能の 1 つである計画能力を評価するロンドン塔課題 (ペグ付きの 2 枚のボードと、複数の 3 色の円盤から構成されており、参加者は提示された目標をできるだけ少ない移動回数で実現する：図 1) のコンピュータ版を行った。さらに、色文字で表示された不愉快動語・中性語の文字色を呼称する情動スルー課題を行った。

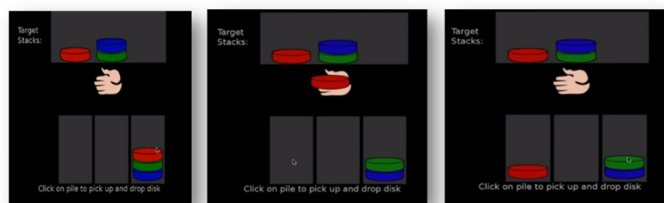


図1 ロンドン塔課題

・意思決定：参加者は、コンピュータ上に提示される 2 つの選択肢からの選択に伴い金銭的な報酬あるいは損失が確率的に与えられる課題を 2 ブロック (各 80 試行) 行った。報酬情報ブロックでは、どちらかの選択肢が 85% の確率で報酬をもたらし、その随伴性はブロック中 3 回逆転された。損失は両方の選択肢でランダムに与えられた。損失情報ブロックでは、どちらかの選択肢が 85% の確率で損失をもたらし、その随伴性はブロック中 3 回逆転された。報酬は両方の選択肢でランダムに与えられた。この課題における報酬獲得の総額が課題成績として評価された。

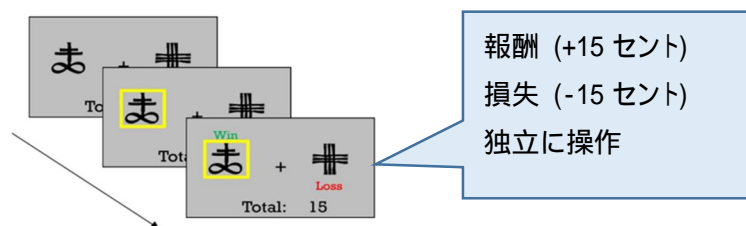


図2 意思決定課題

この課題中の選択行動を、強化学習モデル (reinforcement learning model) によりモデリングした。強化学習モデルは、各選択肢の価値の予測を実際に得られた報酬や損失により試行ごとに更新し、次の試行では選択肢間の価値差に基づきシグモイド関数で選択を決定するアルゴリズムである。本研究では、報酬と損失における学習率 (α_r , α_l)、価値差への敏感性を示す逆温度 (β)、前試行における選択を繰り返す傾向を表す固執性 (ϕ) を、それぞれパラメータとして参加者個人ごとに推定した。

4. 研究成果

1) IBS 患者群と統制群の比較

測定した心理指標、内受容感覚、認知機能について IBS 群と統制群の比較を行うために、ロジスティック解析を行った (表 1)。その結果、IBS 群では内臓感受性と状態-特性不安は統制群よりも有意に高いが、不安感受性はむしろ低いことが明らかになった。また、内受容感覚の正確さには両群の差はないが、IBS 群は逆転数列スパン・テストに要する時間はより短い、ロンドン塔課題に要する時間はむしろ長いことが示された。これらの心理指標・内受容感覚・認知機能の全ての項目を用いた場合、90% の確率で IBS 群と統制群を分類することができ、IBS 患者における特徴が反映されていることが示唆された。

さらに、IBS 群においてはロンドン塔課題の最初の移動に要する時間と損失情報ブロックにおける固執性に負の相関がみられた。ロンドン塔課題の最初の移動に時間をかけるのは計画を熟慮する傾向だと考えることができるので、そうした個人ほど固執性が低く合理的な意思決定ができることが示唆された。

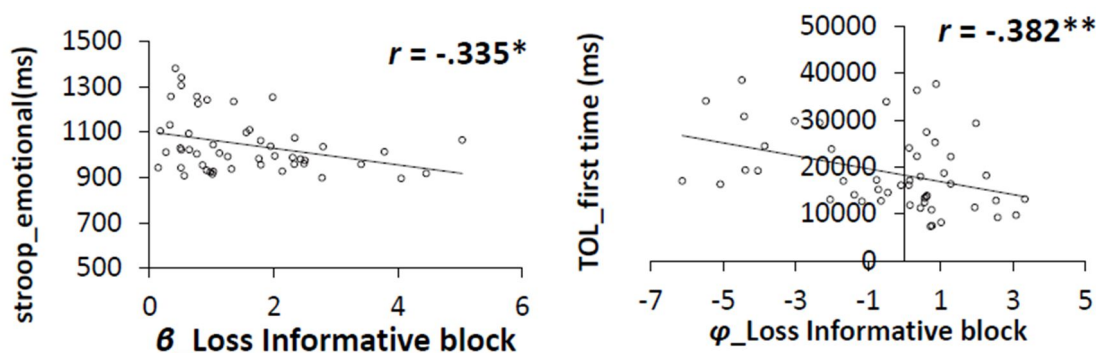


図4 逆温度・固執性と認知機能との相関

これらの結果を総合的に理解するために、探索的にいくつかの因果関係を表現するモデルを考えて構造方程式モデリングによりそれらの妥当性を検討した。その結果、不安傾向が低いことが認知機能を向上させ、結果として損失を被る事態でより合理的に損失を回避する意思決定が可能になることが示唆された（図5）。この関連において、内受容感覚は直接的な影響を示さなかった。

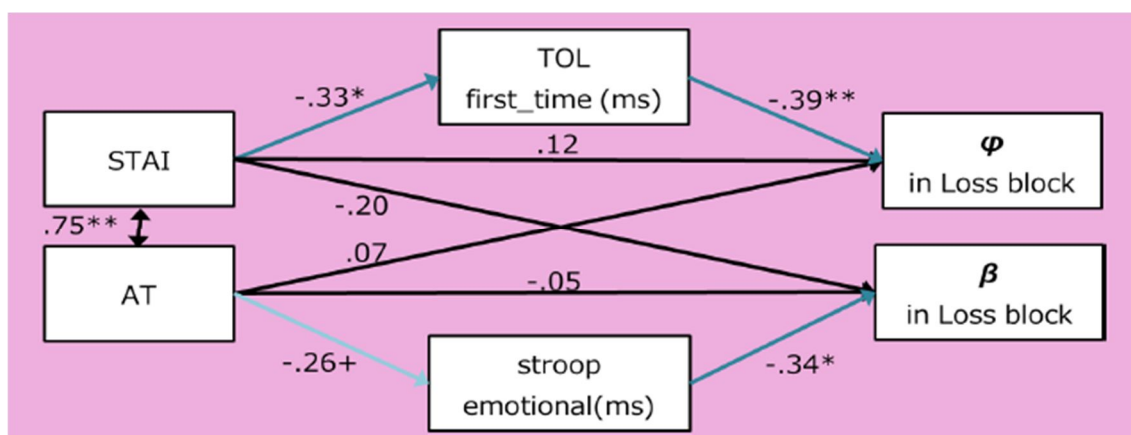


図5 強化学習パラメータを規定する心理認知的特性

5 . 結論

本研究により、IBS 患者の心理・認知・行動的特性の一端が明らかになった。IBS 患者は、自身の身体状態に敏感で不安が高いが、内受容感覚が顕著に異常を示しているわけではなく、その結果として不安感受性は高くない。認知機能は正常に保たれ、むしろ真面目さや誠実性が高い傾向が見られた。意思決定においては、特に報酬には敏感で報酬を最適化するような方略を採っていた。損失を被る場面でも、不安が高過ぎず、結果として認知機能が保たれている個人では最適な意思決定が可能であることが示唆された。

これらの結果は、当初の仮説とは異なるものであった。IBS は腹痛や便通異常を症状とする心身症であることから、内受容感覚の異常とそれによる報酬関連の意思決定の不適応な方向への変容が想定されたが、上記の結果から描出された患者像はむしろそれとは逆に合理的で耐性がある姿であったと言えよう。この原因は今のところ未知であるが、IBS 患者では、慢性的な身体症状を補償するために、認知機能や合理的意思決定を維持するような機構が働いているのかもしれない。この問題に関しては、さらなる研究が必要である。

6 . 文献

- Camilleri & Di Lorenzo, 2012 *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 54, 446-453.
 Feldman-Barrett & Simmons, 2015. *Nature Review Neuroscience*, 16, 419-429.
 Friston, 2010. *Nature Review Neuroscience*, 11, 127-138.
 Montague et al. 2012. *Trends in Cognitive Sciences*, 16, 72-80.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Suga Ayami, Naruto Yosuke, Maulina Venie Viktoria Rondang, Uraguchi Maki, Ozaki Yuka, Ohira Hideki	4. 巻 12
2. 論文標題 Mothers' interoceptive sensibility mediates affective interaction between mother and infant	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-09988-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 該当する
1. 著者名 Tamura Kaho, Kobayashi Yoshinari, Ohira Hideki	4. 巻 12
2. 論文標題 Interoceptive Accuracy Did Not Affect Moral Decision-Making, but Affect Regret Rating for One's Moral Choices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpsyg.2021.746897	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 Ueno Daisuke, Ohira Hideki, Narumoto Jin	4. 巻 16
2. 論文標題 Editorial: Interoception and the autonomic nervous system: Investigating affect, decision-making, and mental health	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnins.2022.1130324	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 Uraguchi Maki, Maulina Venie Viktoria Rondang, Ohira Hideki	4. 巻 16
2. 論文標題 Interoceptive accuracy correlates with precision of time perception in the millisecond range	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnins.2022.993491	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 Oba T, Katahira K, Ohira H.	4. 巻 11
2. 論文標題 A learning mechanism shaping risk preferences and a preliminary test of its relationship with psychopathic traits	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-00358-8	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 Maulina VVR, Yogo M, Ohira H.	4. 巻 13
2. 論文標題 Somatic symptoms: Association among affective state, subjective body perception, and spiritual belief in Japan and Indonesia.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 851888-851888
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpsyg.2022.851888	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 該当する

1. 著者名 Imai Kazunori, Masuda Michihito, Watanabe Hirohisa, Ogura Aya, Ohdake Reiko, Tanaka Yasuhiro, Kato Toshiyasu, Kawabata Kazuya, Riku Yuichi, Hara Kazuhiro, Nakamura Ryoichi, Atsuta Naoki, Bagarinao Epifanio, Katahira Kentaro, Ohira Hideki, Katsuno Masahisa, Sobue Gen	4. 巻 7
2. 論文標題 The neural network basis of altered decision making in patients with amyotrophic lateral sclerosis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Annals of Clinical and Translational Neurology	6. 最初と最後の頁 2115 ~ 2126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/acn3.51185	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 Ohira Hideki	4. 巻 29
2. 論文標題 Predictive processing of interoception, decision-making, and allostasis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Psychological Topics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.31820/pt.29.1.1	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 大平英樹	4. 巻 36
2. 論文標題 感情と意思決定を創発する予測的処理	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 人工知能	6. 最初と最後の頁 21~27
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 Toyama, A., Katahira, K., Ohira, H	4. 巻 91
2. 論文標題 Biases in estimation 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, A., Katahira, K., Ohira, H	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 大平英樹	4. 巻 62
2. 論文標題 脳と身体の予測的符号化とその不全：一守谷・国里・杉浦論文へのコメントー	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 心理学評論	6. 最初と最後の頁 132-141
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 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 大平英樹
2. 発表標題 計算論的精神医学と内受容感覚
3. 学会等名 第20回日本認知療法学会・認知行動療法学会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大平英樹
2. 発表標題 内受容感覚の予測的処理と感情と意思決定の創発
3. 学会等名 第34回人工知能学会全国大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sazuka, N., Katsumata, K., Komoriya, Y., Ezaki, T., & Ohira, H.
2. 発表標題 Slow EEG fluctuation reflecting behavioral changes by cognitive load.
3. 学会等名 42nd Annual International Conferences of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Suga, A., Naruto, Y., Venie Viktoria Rondang Maulina, Uraguchi, M., Sasaki, T., Ozaki, Y., & Ohira, H.
2. 発表標題 Effects of increased interoceptive awareness on postpartum depression and emotional states: An experience sampling study using smartphone photoplethysmography.
3. 学会等名 2020 Annual conference of the Society for Affective Science（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sazuka, N., Komoriya, Y., Ezaki, T., Oba, T., & Ohira, H.
2. 発表標題 Human affective-states estimation by a model of meta-level patterns of EEG.
3. 学会等名 2020 Annual conference of the Society for Affective Science
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大平英樹
2. 発表標題 予兆にもとづく意思決定
3. 学会等名 名古屋大学予兆学シンポジウム YOCHOU2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大平英樹
2. 発表標題 脳と身体の計算メカニズムによる感情と意思決定の創発
3. 学会等名 名古屋大学情報学シンポジウム2020
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 横澤一彦（編）	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 中村靖子 (編)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 春風社	5. 総ページ数 450
3. 書名 予測と創発	

1. 著者名 Hideki Ohira, Mladenka Tkalcic, Marko Tonic	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Sveuciliste u Rijeci, Filozofski fakultet	5. 総ページ数 515
3. 書名 Razgovor između mozga i crijeva: Sto se događa kad crijeva postanu nervozna? - Pogled na sindrom iritabilnoga crijeva iz biopsihosocijalne perspektive	

〔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	片平 健太郎 (Katahira Kentaro) (60569218)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員 (82626)	
研究分担者	木村 健太 (Kimura Kenta) (40589272)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員 (82626)	
研究分担者	遠山 朝子 (Toyama Asako) (10816549)	一橋・社会科学・講師 (32634)	

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 分 担 者	齋藤 菜月 (Saito Natsuki) (60844834)	名古屋大学・情報学研究科・研究員 (13901)	

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