

令和 5 年 6 月 18 日現在

機関番号：82502

研究種目：学術変革領域研究(B)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H05711

研究課題名（和文）クオリア構造に関する脳活動測定と因果関係解明のための薬理負荷操作

研究課題名（英文）Measurement of brain activity related to qualia structure and pharmacological load manipulation to elucidate causal relationships

研究代表者

山田 真希子（Yamada, Makiko）

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・量子生命科学研究所・上席研究員

研究者番号：50557444

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 27,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、脳活動パターンの類似度から、クオリア構造に対応する脳部位を同定することを目的とした。まず、色クオリア類似度報告を全視野（視野角180度）で実施し、主観報告に基づく色クオリア構造の評価を行った。主観報告に基づく色クオリアは、中心視野も周辺視野も同等の構造を持つことを明らかにした。さらに、色クオリア類似度報告課題をfMRI撮像中に実施し、脳活動データからクオリア構造を抽出することに成功し、色クオリア構造の脳活動との対応づけを可能にする方法論を確立した。さらに、モノアミン神経伝達機能をターゲットにしたPET計測を実施し、ドーパミンとセロトニンと主観との関係性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

クオリアの構造がわかると、他の感覚意識（痛み、匂い、感情）への手法の一般化や、他人のクオリアとの比較、人間以外の生物が持っているかもしれないクオリアの理解など、意識研究の重要な基盤構築に繋がる。社会的還元としては、例えば、盲人に触覚・聴覚を通して視覚入力を行う「感覚代行」の技術の洗練化や、言語コミュニケーションの取れない脳損傷患者や未熟児などとのコミュニケーションを可能にする技術にもつながり、臨床・工学・社会への応用が期待できる。意識の質を明らかにする測定技術とデータ解析法の開発は、情報表現やネットワーク解析などの他分野へ広く波及すると期待できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to identify brain regions corresponding to qualia structures based on the similarity of their brain activity patterns. First, color-qualia similarity reports were conducted in all visual fields, and then color-qualia structures based on subjective reports were evaluated. We found that color qualia based on subjective reports had equivalent structures in both central and peripheral visual fields. Furthermore, we successfully extracted qualia structures from brain activity data by performing a color-qualia similarity reporting task during fMRI imaging, and established a methodology that enables the mapping of color qualia structures to brain activity. Furthermore, we conducted PET measurements targeting monoamine neurotransmitters and clarified the relationship between dopamine and serotonin and subjectivity.

研究分野：認知神経科学

キーワード：クオリア 意識 脳イメージング

1. 研究開始当初の背景

意識の質、クオリアについてのこれまでの主要な脳科学研究は、錯視・錯覚を利用したものが多く、例えば、ルビンの壺のような多義図形や両眼視野闘争では、2つの視覚像のどちらか一方のみが意識にのぼり、一定の間隔で切り替わる。このような錯視・錯覚を利用することで、外界の刺激が一定であるにも関わらず、意識内容と相関して変化する脳活動が、空間解像度の高い(ミリメートルスケール) fMRI を使った研究や、時間解像度の高い(ミリ秒スケール) EEG を用いた研究により、特定されてきた (Mashour et al 2020 Neuron, Koch et al 2016 Nat Rev Neuro)。しかし、従来の研究では、意識の質を、特定の視覚像が見えたか見えなかったかといった二値的な問題に矮小化し、それに対応する脳活動を検討するというものがほとんどであり、クオリアそのもの(例えば主観的に感じるりんごの赤さ)を脳活動で捉えることはできていなかった。本学術変革提案のコアとなるアイデアは、「米田の補題」の考え方を応用して、クオリアをその周りとの関係性から特徴づけるというものである。本研究は、類似度判断から視覚クオリアを特徴づけている最中の脳活動を測定し、その脳活動パターンの類似度から、クオリア構造に対応する脳部位を同定することが目的である。

2. 研究の目的

脳活動パターンの類似度から、クオリア構造に対応する脳部位を同定することが目的である。

3. 研究の方法

上記の目標達成に向けて、以下の2点に取り組んだ。

- (1) fMRI を用いた脳活動パターン計測方法の確立と脳領域の特定
- (2) 薬理負荷操作のための PET と fMRI を用いた計測

(1) 健常被験者を対象に、A01 土谷が既に予備データを得ている色クオリア類似度報告課題を用いて、被験者が MRI 内で類似度判断を行っている最中の、fMRI 計測を実施する。fMRI データから得られるクオリア間の脳活動パターン類似性と、主観評価から得られるクオリアの類似度構造が最も相関する脳部位を同定する。

に取り組んだ。

(2) モノアミン薬理負荷操作に関して、健常被験者を対象に、ラクロプライド薬剤とアルタンセリン薬剤を用いて PET 計測を実施し、ドーパミン量、セロトニン量と、主観との対応関係を検証する。また、fMRI ニューロフィードバック訓練を行い、脳活動操作の効果評価を行う。

4. 研究成果

(1) 色クオリア類似度報告を全視野(視野角 180 度)で実施し、主観報告に基づく色クオリア構造を評価した。周辺視野の色クオリア構造は、中心視野と同等の構造を持つことを発見した(図1、Zeleznikow-Johnston et al., 2023)。

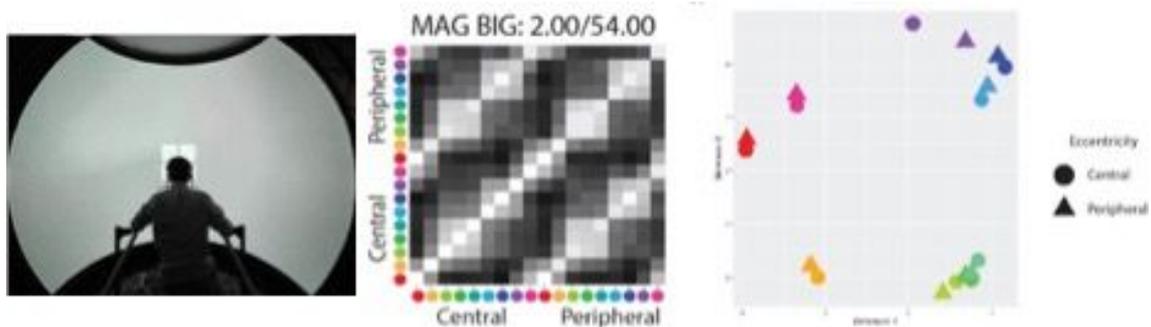


図1. 主観報告に基づく色クオリア構造

(2) 色クオリア類似度報告課題を fMRI 用に改変し、クオリア類似度報告課題中の実験参加者の脳活動測定を実施・完了した(図2)。クオリア類似度報告課題では、9 色の色を連続して 2 つ提示しそれらの類似度を回答させた。各色に対応する脳活動パターンの表象類似度解析を行い、脳活動から全ての色の組み合わせに対する類似度マトリックスを算出し、主観報告から得られる類似度マトリックスと一致する脳部位を探索した。色知覚 fMRI のメタ分析との対応関係を確認し、主観報告に基づくクオリアが対応する脳領域同定のための方法論の確立に成功した(図3、Hirao et al., 投稿準備中)。さらに、C01 大泉が導入した数理的な手法を用いて、fMRI データから得る脳活動の構造とクオリア構造との対応関係をより精度をあげて検討し、クオリア構造との対応関係が強い脳部位の探索などの解析を現在進めている。

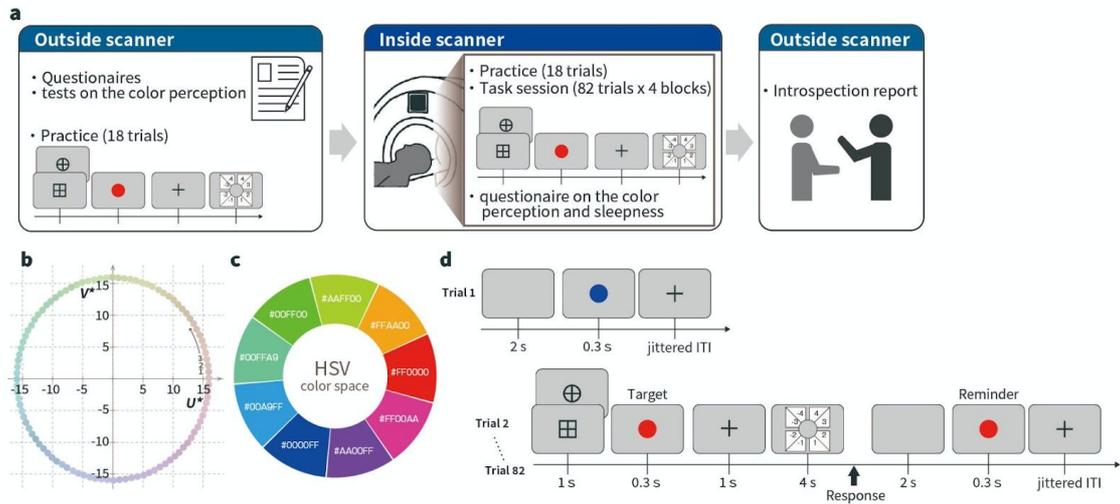


図 2. 色クオリア類似度報告課題の実験手続き

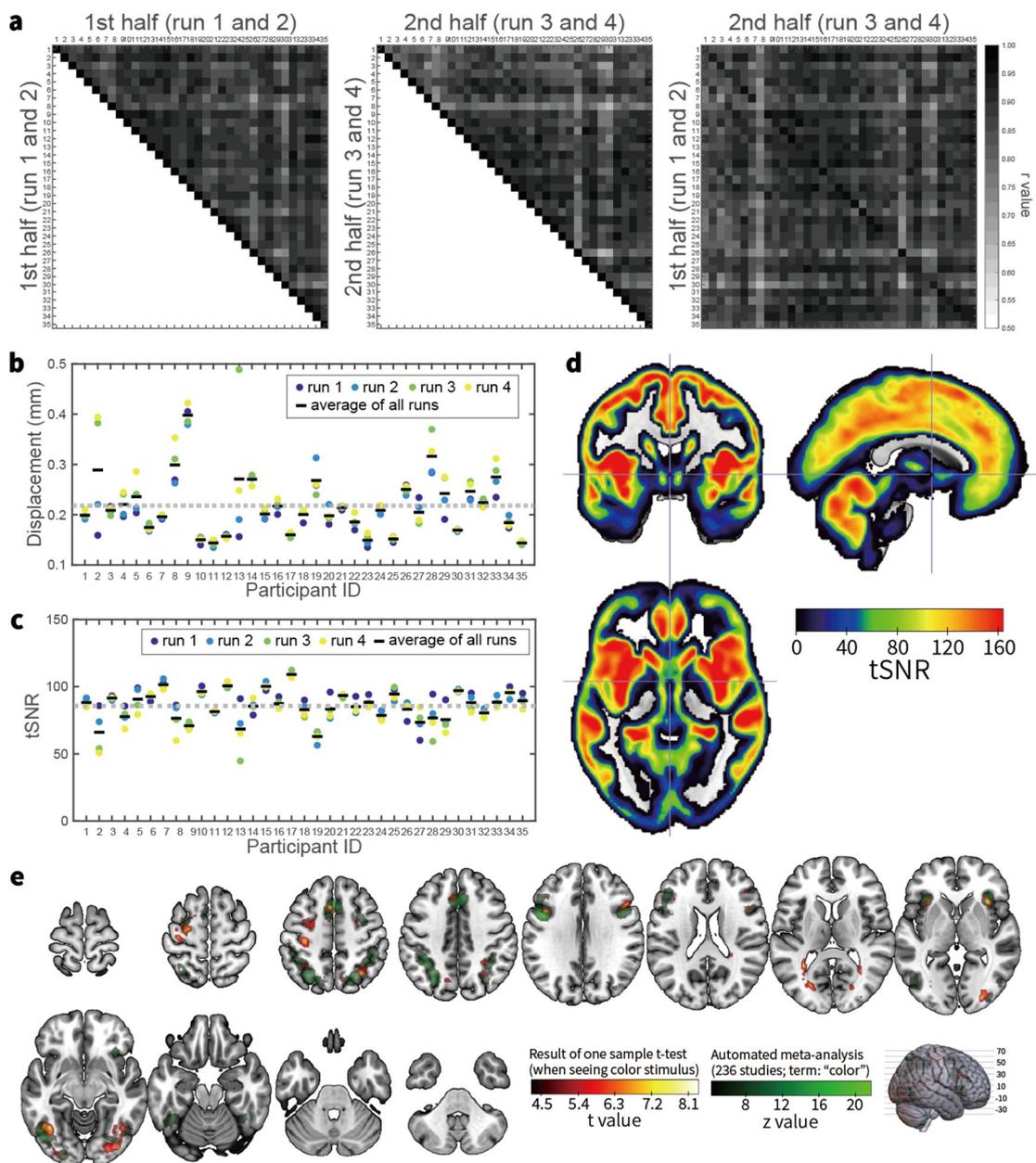


図 3. a 主観報告結果と b-e. fMRI 結果

(3) モノアミン神経伝達機能に関して、PET 計測により、ラクロプライド薬剤を用いた

ドーパミン (図 4、Ikoma et al., 2022)、アルタンセリン薬剤を用いたセロトニン (図 5、Kojima et al., 2022) と、主観との対応関係を明らかにした。

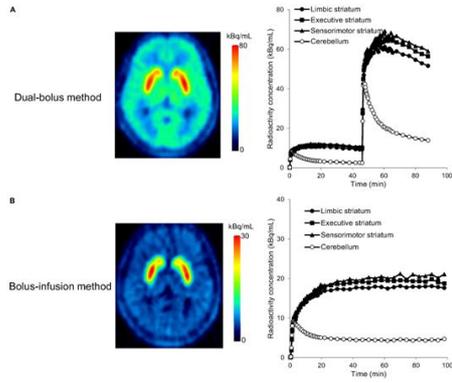


図 4. ドーパミン PET 計測

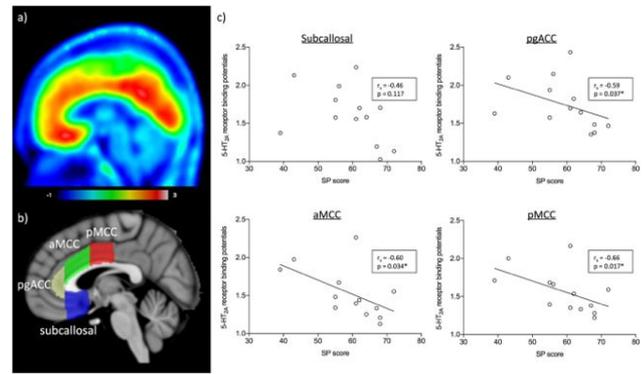


図 5 . セロトニン PET 計測

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Isato Ayako, Yokokawa Keita, Higuchi Makoto, Suhara Tetsuya, Yamada Makiko	4. 巻 419
2. 論文標題 Resting-state functional connectivity relates to interindividual variations in positive memory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Behavioural Brain Research	6. 最初と最後の頁 113663 ~ 113663
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbr.2021.113663	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 Kojima Kazuho, Hirano Shigeki, Kimura Yasuyuki, Seki Chie, Ikoma Yoko, Takahata Keisuke, Ito Takehito, Yokokawa Keita, Hashimoto Hiroki, Kawamura Kazunori, Zhang Ming-Rong, Ito Hiroshi, Higuchi Makoto, Kuwabara Satoshi, Suhara Tetsuya, Yamada Makiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Brain 5-HT2A receptor binding and its neural network related to behavioral inhibition system	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Brain Imaging and Behavior	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) 10.1007/s11682-021-00609-2	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 Nakano Takashi, Takamura Masahiro, Nishimura Haruki, Machizawa Maro G., Ichikawa Naho, Yoshino Atsuo, Okada Go, Okamoto Yasumasa, Yamawaki Shigeto, Yamada Makiko, Suhara Tetsuya, Yoshimoto Junichiro	4. 巻 245
2. 論文標題 Resting-state brain activity can predict target-independent aptitude in fMRI-neurofeedback training	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 NeuroImage	6. 最初と最後の頁 118733 ~ 118733
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroimage.2021.118733	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 Kimura Yasuyuki, Takahata Keisuke, Shimazaki Toshiharu, Kitamura Soichiro, Seki Chie, Ikoma Yoko, Ichise Masanori, Kawamura Kazunori, Yamada Makiko, Zhang Ming-Rong, Higuchi Makoto, Nishino Izumi, Suhara Tetsuya	4. 巻 49
2. 論文標題 Pharmacokinetic and pharmacodynamic assessment of histamine H3 receptor occupancy by enersant: a human PET study with a novel H3 binding ligand, [11C]TASP457	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging	6. 最初と最後の頁 1127 ~ 1135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00259-021-05571-1	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 Yahata N, Isato A, Kimura Y, Yokokawa K, Zhang MR, Ito H, Suhara T, Higuchi M, Yamada M.	4. 巻 -
2. 論文標題 Neural network of superiority illusion predicts the level of dopamine in striatum.	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) 10.1101/2022.02.01.478593.	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 山田 真希子, 伊里 綾子	4. 巻 50(5)
2. 論文標題 無意識の優越感が抑うつ症状に果たす役割.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 臨床精神医学	6. 最初と最後の頁 475-481
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 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 山田 真希子	4. 巻 73
2. 論文標題 意識していることへの意識：意識の再帰性を考える	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 生体の科学	6. 最初と最後の頁 7-12
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 Nakano Takashi, Takamura Masahiro, Ichikawa Naho, Okada Go, Okamoto Yasumasa, Yamada Makiko, Suhara Tetsuya, Yamawaki Shigeto, Yoshimoto Junichiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Enhancing Multi-Center Generalization of Machine Learning-Based Depression Diagnosis From Resting-State fMRI	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychiatry	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) 10.3389/fpsyt.2020.00400	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 Ikoma Yoko、Kimura Yasuyuki、Yamada Makiko、Obata Takayuki、Suhara Tetsuya、Ito Hiroshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Measurement of Striatal Dopamine Release Induced by Neuropsychological Stimulation in Positron Emission Tomography With Dual Injections of [11C]Raclopride	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychiatry	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) 10.3389/fpsy.2022.811136	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 Matsuyoshi Daisuke、Isato Ayako、Yamada Makiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Overlapping Yet Dissociable Contributions of Superiority Illusion Features to Ponzo Illusion Strength and Metacognitive Performance	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 SSRN	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) 10.2139/ssrn.4427049	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 Tsuchiya Naotsugu、Bruza Peter D、Yamada Makiko、Saigo Hayato、Pothos Emmanuel	4. 巻 -
2. 論文標題 A Quantum Qualia hypothesis: from Quantum Cognition to Quantum Perception	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PsyArXiv	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) 10.31234/osf.io/9m5yp	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 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 山田 真希子
2. 発表標題 クオリア構造の脳活動
3. 学会等名 CBI学会2021年大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makiko Yamada
2. 発表標題 Brain activity measurements on qualia structure
3. 学会等名 Neuro2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田 真希子
2. 発表標題 思考の癖の脳メカニズム-認知バイアスの脳科学-
3. 学会等名 日本サイコオンコロジー総会 大会長企画 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田 真希子
2. 発表標題 痛み共感と向社会行動
3. 学会等名 日本サイコオンコロジー総会 WG企画 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田 真希子
2. 発表標題 量子確率論の認知神経科学への応用に向けて
3. 学会等名 認知科学学会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aizawa Y, Tsuchiya N, Pothos E, Busemeyer J, Bruza P, Yamada M.
2. 発表標題 Empirical verification of the violation of temporal Bell inequality in bistable perception.
3. 学会等名 Quantum Innovation 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hirao T, Tsuchiya N, Pothos E, Busemeyer J, Bruza P, Yamada M.
2. 発表標題 Do neural activities of binocular rivalry follow a quantum probability model? A test of temporal bell inequalities.
3. 学会等名 Quantum Innovation 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田真希子
2. 発表標題 量子確率論の脳科学への応用 ~脳と心の生成原理解明に向けて~
3. 学会等名 バイオインダストリー協会企画講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田真希子
2. 発表標題 認知バイアスから見た 脳とこころのメカニズム
3. 学会等名 2020年度応用脳科学アカデミー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田真希子
2. 発表標題 認知バイアスの脳科学; 思考の癖の脳メカニズム
3. 学会等名 第14回 行動科学セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田真希子
2. 発表標題 脳イメージングが映し出す心の世界
3. 学会等名 GTRセミナー / 第8回NLSセミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Makiko Yamada
2. 発表標題 How can we measure the quality of consciousness?
3. 学会等名 Quantum Innovation 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Makiko Yamada
2. 発表標題 Neural bases of color qualia structure
3. 学会等名 人工知能と脳科学国際シンポジウム2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022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			
英国	City University of London			
オーストラリア	Monash University	Queensland University of Technology		