
クオリア構造と
脳活動から得られる情報構造の
関係性理解

領域番号：20B101

令和2年度～令和4年度
科学研究費助成事業（科学研究費補助金）
学術変革領域B研究（研究領域提案型）
研究成果報告書

令和5年5月

領域代表者 土谷尚嗣
（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・客員研究員）

はしがき

全体:

本領域の目的は、意識の質(クオリア)について、

- 1)クオリア間の関係性(クオリア構造)に着目した新しい特徴付け手法を確立し、
 - 2)その脳内神経基盤、さらにそこから抽出する情報構造を得る手法も確立し、
 - 3)クオリア構造と情報構造の間関係性を明らかにする、
- という新奇なパラダイムを、成人の被験者における視覚クオリア(特に色クオリア)に集中することで、確立することであった。以下に各計画班と総括班の実績を短くまとめた。

計画班A01:クオリア構造を解明するための大規模心理物理実験と数理現象学モデル

A01班では、視覚的類似度を用いて、

- 1)クオリア構造を明らかにするための新しい心理物理学手法の確立、
 - 2)その手法に対して数学的な根拠を与えること
- を目指した。

2021年度から、京都大学の森口祐介氏を研究分担者に迎え、新たに提案した大規模報告課題をこども(5歳から12歳まで)に適用することで、大人の被験者相手に得られるクオリア構造の知見がどれだけ発達過程に一般化できるのかを検証する可能性を探った。この結果をもとに、2023年度から開始する学術変革Aクオリア構造では、森口氏を独立の計画班A03の代表として迎え、定型・非定型発達のこどもにおけるクオリア構造の発達を捉える、というプロジェクトに繋がった。

また、2021年度から、長浜バイオ大学の西郷甲矢人氏と、産業総合研究所のSteven Phillips氏も研究分担者に迎えた。西郷氏とは2021年に圏論の「米田の補題」を意識研究に応用し、それによりクオリアを構造として捉えるという新奇なアイデアに数学的基盤を与えた。また、Phillipsとのさらなる共同研究において、クオリア同士の関係性を、ある・ない、の二値的なものでなく、連続的なものとしてとらえる「豊穡圏」において応用する、という理論論文も発表した。これらの理論論文は、2023年度から開始する学術変革Aクオリア構造の中心となる理論的基盤をなす。学術変革Aでは、土谷がA01班の代表となり、西郷・Phillipsが続けて分担をおこない、さらなる共同研究を進めていく。

計画班B01: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

B01班の目的は、クオリアと脳活動パターンとの関係性を明らかにすることであった。そのために、

- 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)fMRIとPETを用いた脳活動操作
- に取り組んだ。

fMRIで用いる色クオリア類似度報告課題を設計し、クオリア類似度報告課題中の実験参加者の脳活動を測定を実施・完了した。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、クオリアと脳活動パターンの一一致の程度と脳領域を明らかにし、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(Hirao et al., 投稿準備中)。さらに、C01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。

脳活動操作においては、fMRIニューロフィードバック訓練を行い、脳活動操作効果の事前予測に寄与する脳領域の同定に成功した(Nakano et al., 2022)。モノアミン神経伝達機能

に関しては、PET計測により、ラクロプライド薬剤を用いたドーパミン負荷量や (Ikoma et al., 2022)、アルタンセリン薬剤を用いたセロトニン (Kojima et al., 2022) と、主観との対応関係を明らかにした。

計画班C01:クオリア構造と対応する情報構造の脳活動からの抽出
C01班は、以下の3つに取り組んだ。

- 1) クオリア構造が異なる個人間でどれくらい対応するかを調べる。
 - 2) クオリア構造と脳活動の構造との間にある数理的な関係性を明らかにする。
- さらに、目的(1)(2)を達成するために必要な共通の方法として、
- 3) クオリア構造同士の対応関係を定量化する新しい数学的手法を開発する。

目的(3)に対して、クオリア構造同士を教師なしでアラインさせる方法として、Gromov-Wasserstein最適輸送法を使う方法論を確立させた(Kawakita et al., 2023)。教師なしのアラインメントによってクオリア構造を比較するとは、例えば、ある被験者が感じる「赤」と別の被験者が感じる「赤」が同じものであると仮定せずに、構造同士を関係性のみの情報だけから比較することに対応する。この方法論によってはじめて、関係性の意味から自分の「赤」のクオリアと他人の「赤」のクオリアとが同じと言えるのかといった問題や、自分の「赤」のクオリアが他人の「青」のクオリアと対応している可能性がないのかといった問題(逆転クオリア)に関係性の意味から定量的に取り組むことが可能となる。この方法は、現在pythonのtoolboxとして公開する準備を進めている。

目的(1)に関しては、A01土谷班が大規模心理物理実験によって抽出した、色のクオリア構造のデータに適用して、異なる被験者間でクオリア構造の対応が取れることを示した。具体的には全被験者を5グループの被験者群に分け、クオリア構造が色の類似度関係という情報のみからアラインできるかどうかを調べた。結果、定型色覚を持つ被験者群では、異なる被験者群の間で色の類似度構造が、色のラベル情報なしで正確にアラインできることを示した(Kawakita et al., 2023)。この結果は異なる被験者間で、色の類似度構造が本質的に同じものであるということを示唆する。一方、定型色覚を持つ被験者群の色の類似度構造と、非定型色覚を持つ被験者群の色の類似度構造は、教師なしでアラインすることはできなかった。

この手法の汎用性を確かめるために、我々は色のクオリア構造だけでなく、一般の物体のクオリア構造にも適用した。用いたデータはTHINGSと呼ばれる公開データセットで (<https://things-initiative.org/>)、大規模な心理物理実験によって1854種類の物体に対する類似度判断のデータを記録したものである。色の類似度行列の解析と同様に、我々はまずすべての被験者を4グループの被験者群に分け、それぞれの被験者群で、心理物理実験の主観報告から埋め込みを推定した。次に、推定した埋め込みから、それぞれの被験者群の1854種類の物体の類似度行列作成した。それらの類似度行列が対応するかを教師なしアラインメントの手法を使って調べた。結果、このTHINGSのデータにおいても、異なる被験者間で物体の類似度構造同士が教師なしで、極めて高い精度でアラインできることを示した(Kawakita et al., 2023)。これは、物体の類似度構造が異なる被験者間で本質的に同じ関係性を持つことを示唆する。

目的(2)に関しては、同じ数理的な手法を用いて、B01山田班が記録した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調べた。クオリア構造との対応関係が強い脳領域の探索などの解析を現在進めている。

活動報告

X01総括班:クオリア構造と脳活動から得られる情報構造の関係性理解

総括班での活動は、これまでに5回発行した領域ニューズレターに詳細を報じた。リンクは以下の通り

領域ニューズレター

1. 2021 June 7
https://docs.google.com/document/d/1XUVUxtvKPebnR2LLtojHbUtpW2WDW8e1cWqSrEqXJgU/edit?usp=share_link
2. 2022 Jan 7
https://docs.google.com/document/d/1pxqg3fulfDDXd_rXcXM3yU6qv3U9yFuHbucv1WbUKBU/edit?usp=share_link
3. 2022 Aug 1
https://docs.google.com/document/d/1g5CifbOWbPkqggegoqU0nhBFlovo_kMm5czDBOORb5M/edit?usp=share_link
4. 2023 Jan 20
https://docs.google.com/document/d/14BcRpVpW5Ebh_dbGuxgLkByUuJwk3GawkxBTdx3Oy0w/edit?usp=share_link
5. 2023 Apr 8
https://docs.google.com/document/d/1bJS-2na_sSq4lxZF0H8bCF2M3Wf1dhNWgcltYPjKLbg/edit?usp=share_link

特に特筆すべき成果としては、以下があげられる。

1. 2022.12.2-4 Qualia Structure Grant Meeting Nara Kasugano Hall
2. 2022.07.05 AI & Brain Speakers: **Yamada**, Taniguchi, Suzuki, Shimazaki (2022) Youtube, International Symposium on Artificial Intelligence and Brain Science (AIBS2022) hosted by **Tsuchiya**
3. 2022.07.07-08 PI only Qualia week meeting at Kyoto University and Ritsumeikan University (**Tsuchiya**, **Yamada**, **Oizumi**, **Phillips**, **Saigo**, **Moriguchi** and other PIs joining from Qualia Structure A)
4. 2022.03.7-11 Qualia Week Zoom & Gather (members of the laboratories in **Tsuchiya**, **Yamada**, **Oizumi**)
5. 2021.11.30 [Event] Qualia Structure Symposium on Development of Consciousness. Organizer: **Moriguchi** (Kyoto U, Japan) and Qualia Structure
6. 2021.07.30 [Event] Qualia Structure Symposium at the Japan Neuroscience Society (qualia structure) Speaker: **Tsuchiya**, **Yamada**, **Oizumi**, **Saigo**
7. 2021.07.01-02 [Event] The 1st research area meeting was held by Zoom and Gather. (members of the laboratories in **Tsuchiya**, **Yamada**, **Oizumi**)
8. 2021.05.12 [Event] Information Structure of Brain and Qualia Symposium YouTube in English organized by **Oizumi**
9. 2021.03.17 [Event] Color qualia symposium was organized by **Tsuchiya**
<https://youtu.be/-3b26eFBf5k>

10. 2020.11.10 [Event] A kick-off meeting was held at Zoom. (**Tsuchiya, Yamada, Oizumi**)
<https://youtu.be/cAb0WpS--7Q>

11. 2020.10.02 Our project was launched.

研究組織

領域代表者 土谷 尚嗣

(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・客員研究員)

総括班

研究代表者 土谷 尚嗣

研究分担者 山田 真希子

(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・量子生命科学領域・
ク `ルーフ `リター `ー(定常)

研究分担者 大泉 匡史 (東京大学・大学院総合文化研究科・准教授)

計画研究A01

研究代表者 土谷 尚嗣

研究分担者 森口 佑介(京都大学・文学研究科・准教授)

研究分担者 西郷 甲矢人(長浜バイオ大学・バイオサイエンス学部・教授)

研究分担者 Steven Phillips(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・上級主任研究員)

計画研究B01

研究代表者 山田 真希子

計画研究C01

研究代表者 大泉 匡史

交付決定額(配分額)
総括

	合計	直接経費	間接経費
令和2年度	2,080,000円	1,600,000円	480,000円
令和3年度	2,080,000円	1,600,000円	480,000円
令和4年度	2,080,000円	1,600,000円	480,000円
総計	6,240,000円	4,800,000円	1,440,000円

A01

交付決定額(配分額)

	合計	直接経費	間接経費
2020年度	4,160,000円	3,200,000円	960,000円
2021年度	7,540,000円	5,800,000円	1,740,000円
2022年度	7,810,000円	6,070,000円	1,740,000円
調整金	(270,000円)	(270,000円)	(0円)
総計	19,240,000円	14,800,000円	4,440,000円

B01

交付決定額(配分額)

	合計	直接経費	間接経費
2020年度	7,800,000円	6,000,000円	1,800,000円
2021年度	14,690,000円	11,300,000円	3,390,000円
2022年度	13,390,000円	10,300,000円	3,090,000円
総計	35,880,000円	27,600,000円	8,280,000円

C01

交付決定額(配分額)

	合計	直接経費	間接経費
2020年度	5,200,000円	4,000,000円	1,200,000円
2021年度	8,970,000円	6,900,000円	2,070,000円
2022年度	8,970,000円	6,900,000円	2,070,000円
総計	23,140,000円	17,800,000円	5,340,000円

主な研究発表
特になし

産業財産権
特になし

その他
特になし