

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：94301

研究種目：学術変革領域研究(B)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H05710

研究課題名(和文)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

研究課題名(英文)Understanding qualia structures through massive psychophysics and mathematical phenomenology

研究代表者

土谷 尚嗣(Tsuchiya, Naotsugu)

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

研究者番号：80517128

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,070,000円

研究成果の概要(和文)：本研究領域の目的は、意識の質(クオリア)について、クオリア間の関係性に着目し、その特徴付けに関して数学的基礎を確立し、また実験パラダイムを構築することであった。具体的には、1) 数学の圏論における「米田の補題」を意識研究に導入し、多数のクオリア同士の間の大規模な類似性関係性からクオリア構造を得るというアイデアに数理的基礎を与えた。2) これを基に、大規模報告課題を確立し、長い間哲学・心理学で議論が続いていた周辺視野における色クオリアについて、色クオリア間の類似性を基にしたクオリア構造に基づき、中心窩(fovea)と周辺視野では、色のクオリア構造が同じ(equivalent)であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、クオリアというこれまで定量化ができなかったと考えられていた主観の質に関して、それらの間の関係性を大規模に計測することで、クオリア間の類似度構造を比較する、という定量的科学手法に、数学的な基盤を与えたことである。さらにそれを実験的に利用可能な具体的手法として実現したことが大きい。これらのアイデアは学術的に大きなインパクトを残し、国際的に注目され、海外からの学会のキーノートスピーカー招待などにつながった。社会的にも色のクオリア構造を定型発達と色覚異常の方々で比較するという具体的な方法を提供し、今後の相互理解なども含めた活動につながっていく。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this group was to establish a mathematical foundation and an experimental paradigm for the characterization of the quality of consciousness (qualia), focusing on the relationships among qualia. Specifically, 1) we introduced "Yoneda's lemma" in category theory into consciousness research, providing a mathematical basis for the idea of obtaining qualia structure from large-scale similarity relations among many qualia. 2) On this basis, we established a Massive Report Paradigm. We applied this to color qualia in peripheral vision, which has long been debated among philosophers and psychologists. We showed that color qualia in periphery and fovea are essentially the same (equivalent) in terms of similarity structures.

研究分野：実験心理学・数理現象学

キーワード：意識 クオリア 情報 構造 圏論

1. 研究開始当初の背景

本研究の目的は、**意識の質・クオリアを特徴付ける新しい心理物理学手法を確立**することであった。クオリアを単体で直接特徴付けることは難しいが、あるクオリアと他のクオリアとの類似性・関係性を定量化することは可能である。このようなクオリアと他のクオリアの関係性を**クオリア構造**と呼ぶ。単純な二つの視覚クオリアの間の類似性を測るだけでなく、土谷が開発した、**大規模報告課題**を基に、ある視覚クオリアとその周辺のたくさんのクオリアとの関係性を特徴づけるため**大規模類似度報告課題**という新しい意識研究手法の確立を試みた。また、関係性をもとにクオリアを特徴づけるために必要な数学的根拠を圏論の枠組みとして提案する(図1はこのアイデアの概念図)。これらの研究目的が達成することで、これまで不可能と考えられていたクオリアの特徴付け問題に大きな変革をもたらすことを目指した。

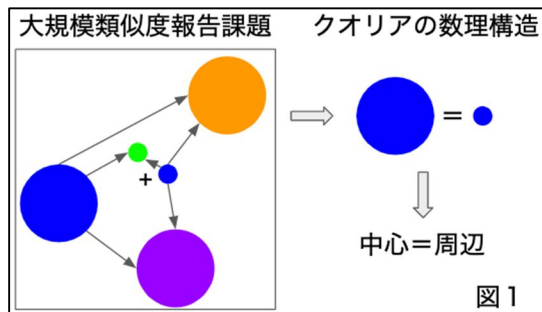


図1

1990年以降、脳科学の計測精度の向上とデータ解析手法の洗練化により、意識と脳の関係性をめぐる研究は大きな進展があった。有力な意識研究のパラダイムとしては、意識の神経相関同定を目指すパラダイム(Koch et al 2016 Nat Rev Neuro)や、意識・無意識・注意のモデル化(Mashour et al 2020 Neuron)、また情報理論を取り入れた数学的取り組み(Tononi et al 2016 Nat Rev Neuro)などが挙げられる。しかし、これら従来の枠組みにおいて、**意識の質、すなわちクオリアを特徴づけたり、定義したりすることの困難に立ち向かうための手立ては、その困難さ故に意図的に無視されてきた**。確かに、意識の質を直接的に詳細に記述し、他人に伝えることは不可能に感じられる。昨日食べたあの大トロの味と食感、首のコリの痛み、目の前にあるりんごの赤さ。これらを他人に伝えようとする、自分にとって似たような経験の質を指して「夕日のような赤」とか「ワインのような赤」などといったような類似性・比喩に頼った説明や、「青とは違うがオレンジに似ている」などの、他の主観的に感じる色との比較が必要になる。すなわち、我々は日常的に、**私秘的な意識の質を、何かと比較したり類似点を見つ**けたりすることによって、間接的に表現・定義している。この関係性による間接的定義こそが、本研究が着目する意識の性質である。この関係性を用いなければ、科学はいつまでも意識を特徴づけることはできない。

意識研究以外の分野に目を向けると、研究対象の特徴づけや定義が難しいという状況は珍しいものではなく、**対象とその周辺の関係性に注目することで学問が進歩してきた経緯**がある。言語学のソシュールは、それ自体を定義することが難しい単語の意味は、様々な文脈におけるその語の使い方や他の単語の意味の関係性の記述で理解されると提案した。生態学において何らかの「木」の特徴を正確に捉えようとするれば、それ自身の定義の中に、どのような気候・環境で育ち、どのような動植物と関わっているのかの記述が不可欠になる。宇宙物理学でブラックホールを研究しようとする場合には、ブラックホールそのものの測定や特徴づけは不可能であっても、ブラックホールとその周辺との関係性を正確に測定することでブラックホールの特徴づけが可能になっている。数学においては各種の無限が存在するが、それぞれの無限がどのように他の数と関係するのかを特徴づけることによって、無限にも様々な種類がありそれらを正確に区別することが可能になっている。

従来の意識研究においては、我々が主観的に感じる味・痛み・視覚・思考などをすべて含んだ意識の質・クオリアそのものを特徴づける手段が確立されていない。本研究によって、クオリアとその周辺の関係性から、クオリアの特徴づけができるようになれば、

我々が日常的に学習や行動を行う際に、意識的な経験がどのような役割を果たしているかを理解できるようになる。クオリアの理解を目指す手法が確立しないと、意識研究が哲学的にも科学的にも納得の行く答えを提供することはありえない。

そこで、本計画研究では、核心をなす学術的「問い」として、以下を立てた。  
従来不可能と考えられてきた意識の質・クオリアの特徴づけは、クオリアとその周辺との関係性を特徴づけすることで可能になるか？

## 2．研究の目的

本研究では、これまで定義することが難しいとされてきた意識の質・クオリアにアプローチするために、様々な意識の質の中でも、比較的神経科学的な研究が進んでいる、視覚クオリアに焦点を当てた研究を行う。

具体的には、

- 1)クオリア特徴づけのための心理物理課題を確立し、クオリア構造を定量化すること、
- 2)視覚的類似性という関係性をもとにして、数学的にクオリアを「圏」としてモデル化し、周辺からクオリアを特徴づけるといふ本研究手法に数学的な根拠を与えること、

を目的として研究をおこなった。

## 3．研究の方法

A01 土谷は、**視覚クオリアの構造を特徴づける**ことを目的として、**心理物理実験と数理現象学モデルの構成**を用いた。心理物理実験では、新たに**大規模報告課題**を提案した。大規模報告課題では、1)大量の自然画像を用いて、同じ刺激は各被験者に見せない、2)各試行において一瞬に感じられたクオリアについて、被験者に大量の質問に対して答えてもらう、3)オンラインでの実験プラットフォームを用いて大量の被験者からデータを得る。これにより、**一瞬に感じるクオリアの構造**を、クオリアと視覚刺激の関係性や、あるクオリアと他のクオリアの類似度判断を通じて明らかにした。数理現象学モデルとしては、クオリア同士の類似度判断行列を基にして、高次のクオリア空間を推定し、クオリア同士の関係性を記述した数学的な構造(クオリア圏)が構成できるかを検討・モデル化した。

## 4．研究成果

### 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

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。

また、当初の予定通り大規模報告課題を自然画像用いたバージョン(Qianchen ... Tsuchiya 2022, Chuyin ... Tsuchiya 2022, Watanabe, ... Tsuchiya, Moriguchi 2023), 色のパッチを用いたバージョン(Zeleznikow-Johnston, Aizawa, Yamada, Tsuchiya 2023, Kawakita, Zeleznikow-Johnston, Tsuchiya, Oizumi, 2023)で確立し、それぞれピアレビューのある国際雑誌に掲載・レビュー中となっている。

圏論についても、Tsuchiya & Saigo 2021, Tsuchiya, Phillips, Saigo 2022, Tsuchiya, Saigo, Phillips 2022, 森口、土谷、西郷 2023 などの理論研究論文が国際・国内の雑誌に掲載・レビュー中となっている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
研究分担者	森口 佑介  (Moriguchi Yusuke)  (80546581)	京都大学・文学研究科・准教授   (14301)	
研究分担者	西郷 甲矢人  (Hayato Saigo)  (80615154)	長浜バイオ大学・バイオサイエンス学部・教授   (34204)	
研究分担者	Steven Phillips  (Steven Phillips)  (90344209)	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   (82626)	

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