領域計画書の概要

本欄には、領域計画書に記載した「（ａ）研究領域の目的、背景など」「（ｃ）領域推進の計画・方法」「（ｄ）研究領域の波及効果」について、その概要を簡潔にまとめて記述すること（３頁以内）。

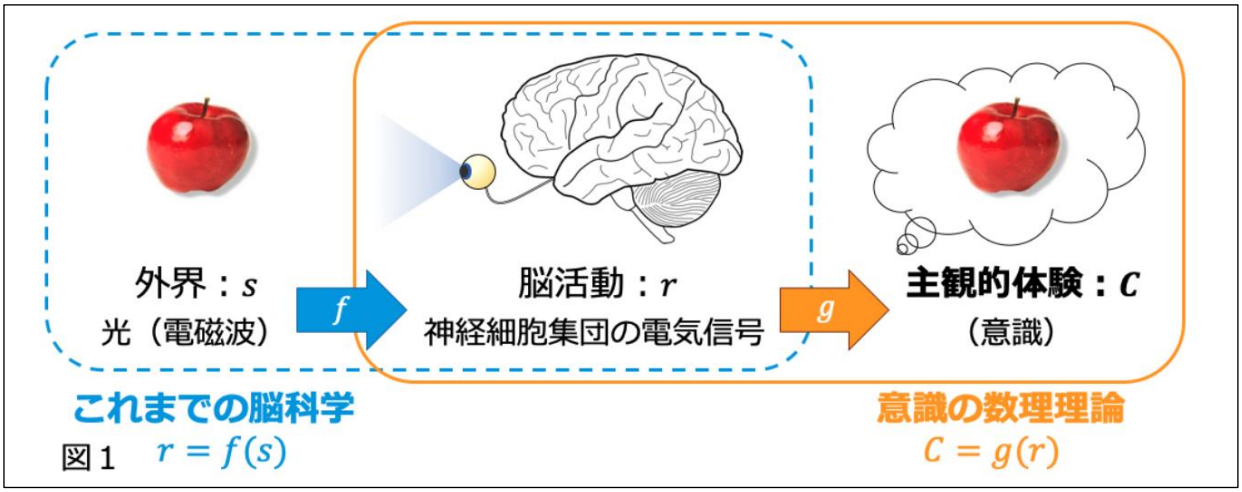

図１

(a)研究領域の目的、背景など

従来の脳科学では、外界の刺激s(例えばリンゴという視覚刺激)に対して、どのような脳活動 r が生じるかという関係性を研究してきた。この数学的な関係性を関数 f を用いて r = f (s) と書くとすると、関数 f を明らかにすることが、従来の脳科学が主にやってきた研究であると言える（図1の点線で囲った部分）。こうした研究によって、外界の刺激という情報を脳がどのように処理しているかという、情報処理のメカニズムに関しては多くのことが明らかになってきている。一方で我々の脳は、単に外界の情報を処理するだけでなく、「リンゴが見えた」という主観的な体験も生み出している。この主観的な体験のことを**意識**と呼ぶ。本研究では、従来の脳科学が取り組んできた外界の刺激と脳活動との関係ではなく、脳活動 r から生み出される意識を C とした時、r と C との関係性を明らかにすることを試みる(図1の実線で囲った部分)。具体的には、r から C への数学的な変換 C = g (r) を明らかにすることが究極の目標である。

1990年代ごろからCrickとKochによって始まった、意識の神経相関を見出す研究パラダイムは、まさに意識と脳活動の関係性を明らかにしようという試みであった。しかし、主なリサーチクエスチョンは、例えば、「意識的に視覚刺激が見えたか見えないか」や「２つの視覚刺激の内、どちらが意識にのぼるか」であった。これらは二値的な質を検討したものであり（見えたor見えない、視覚刺激AorB）、私たちの視覚体験の質の豊かさに直接的に迫ったものではない。これまで**意識の質、すなわちクオリアそのもの**を対象とする研究がほとんど行われていない理由は、**クオリアを定量化するすべを持たなかったことによる**。意識的に見えたか見えないかを報告させることはできたとしても、「赤いリンゴ」を見ている時の**見えた感じ・視覚クオリア**を報告させるということは極めて難しいだろう。クオリアは言語で表現しつくすことのできないものである、ということが、クオリアの大きな特徴の一つとして捉えられており(Ramachandran & Hirstein 1997 J Conscious Stud)、意識の質そのものに迫る研究は、もはや原理的に不可能ではないかと考えられてきた。（クオリアとはテクスチャ（物の質感）という言葉と同義ではなく、意識の中身・質を指すより幅広い意味を持った言葉である）。

こうした状況を打破するために、**領域代表者の土谷**は、ある特定のクオリア（例えば「赤」）そのものを特徴づけようとするのではなく、複数のクオリアを考え（「赤」「青」「黄」）、これらの**クオリアの間の関係性を明らかにするという研究のパラダイム**を提唱した（**土谷,** 西郷 2019 認知科学）。これは数学における**圏論の中の米田の補題**と呼ばれる定理からインスピレーションを得たパラダイムである。圏論で扱われる圏という概念は、モノとモノがどういう関係を持っているか、それらの関係がどう相互作用しているかを扱うためのものである。そして、米田の補題は、２つのモノAとBがある時、「モノAと他のモノとの関係」と「モノBと他のモノとの関係」が同一の時、２つのモノAとBは本質的に同じであるということ

【領域計画書の概要（つづき）】

を主張する。すなわち、**モノが何であるかを規定することが難しい場合、そのモノと周囲のものとの関係性を規定することで同じ結果が得られる**ということである。例えて言うなら、「木」を特徴づけるのに、木の定義を行うことと、木と芝生や土、雑草、空気などとの関係性を特徴づけることは本質的に同じことになる、ことを意味する。この米田の補題をクオリアに応用すると、クオリアAとクオリアBを直接特徴づけることは難しいとしても、**「クオリアAとその他のクオリアとの関係性」が「クオリアBとその他のクオリアとの関係性」と同じであるならば、周囲との関係性から定義したクオリアAとBは本質的に同じ**と見なせるということになる。

本領域の出発点は、この米田の補題の考え方を意識の質、すなわちクオリアの理解に応用するというアイデアである。もしも、クオリアの構造を、周囲との関係性によって余すことなく特徴づけられるならば、私が感じている赤とあなたが感じている赤の同じさを数学的に検証できる可能性が出てくる。そしてこの論理は、個々人の間だけでなく、原理的には動植物・人工物を問わず応用できる可能性がある。以上のような野心的なプロジェクトを、3年後に学術変革領域Aに展開することを念頭においた上で、本提案では、精密な意識経験の報告が可能な成人を対象とした新しい実験課題を用いて視覚クオリアの構造を明らかにし、それに伴う脳活動との対応関係を明らかにする。

（c）領域推進の計画・方法

本領域では、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、**1）クオリアとその他のクオリアとの関係性の総体（クオリア構造）を探ることで視覚クオリアの特徴づけを行い、2）クオリア構造に対応する脳活動部位を明確にし、**そして、**3）脳活動から抽出した情報構造（C01大泉の頁を参照）とクオリア構造の間の関係性を評価する**、というアプローチを確立することを目的とする。この目的を達成するために、本領域は**心理物理学・数理現象学**を用いて**クオリア構造**を明らかにする**A01土谷**、イメージングによる**脳活動の測定**と**薬理負荷操作**を用いてクオリアと脳活動の**因果関係**を明らかにする**B01山田**、そして脳活動から**情報構造**を抽出し、クオリア構造との対応を検証する**C01大泉**、という３つの班からなる構成で研究をすすめる（図２）。毎月のオンラインミーティングと、二年目以降に行う年二回の領域会議における議論を通して、各研究班の間で概念・開発されたツール・結果を共有し、最終的に視覚クオリア構造と脳活動から抽出した情報構造を繋ぐ、これまでにない意識の研究手法を確立する。

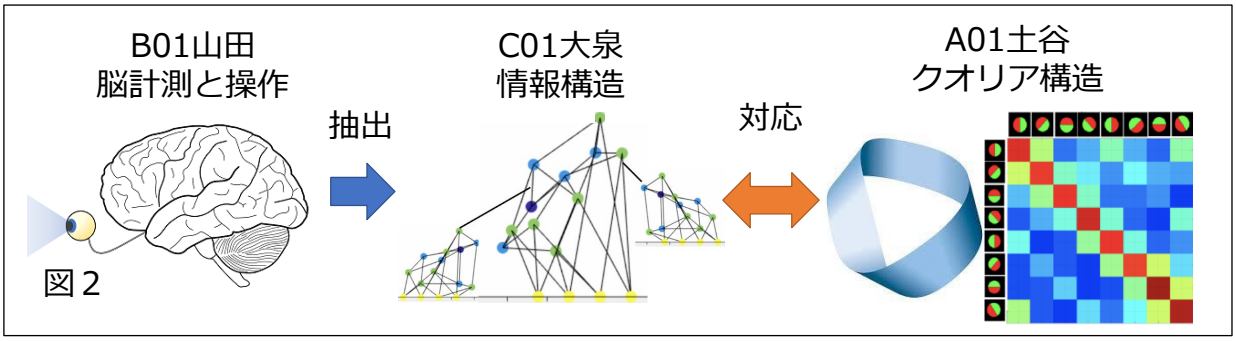

図２

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**を行う。心理物理実験では、新たに**大規模類似度報告課題**を提案する。大規模類似度報告課題では、様々な自然画像を用いて、各画像において一瞬に感じられたクオリアについて、多数の類似度判断を行ってもらう。この課題では、オンライン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、クオリアと他のクオリアの大規模な類似度判断を通じて明らかにする。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、高次元空間におけるクオリア同士の距離を推定し、クオリア同士の関係性を記述した数学的な構造が構成できるかを検討し、モデル化す

る。

B01山田は、土谷と類似度報告課題を共有し、被験者が**クオリアの類似度**判断をしているときの脳活動を、機能的脳イメージング（**fMRI**）を用いて測定する。これらのデータはC01の大泉と共有し、共同で解析を行う。第一のステップとして、fMRIデータを用いて、**表象類似度解析**（Kriegeskorte ＆Kievit 2013 Trends Cog Sci）を行うことで、クオリア類似度判断と相関する脳活動を示す**脳部位**を明らかにする。また、モノアミン再取り込み阻害薬を用いると脳内の**ドーパミン**濃度が変化し、意識変容が生じることから（Kimura et al 2017 Psychopharmachology）、この**薬理負荷操作法**によって、類似度判断中の**脳活動がどのように変化するか**を明らかにし、その結果、どのように**クオリア構造が変化するか**を調べることで、クオリアと脳活動の**因果関係**を明らかにする。

C01大泉はB01で行う解析の第二のステップとして、fMRIの脳活動パターンrそのものとクオリアCとの関係だけではなく、脳活動パターンrに数学的な変換g(r)を加えて、クオリアCをより良く説明する数学的な変換gは何かという問題を考える。具体的には特に、クオリアの形成に重要と考えられる脳部位間の情報のやりとりのパターン、**情報構造**（Oizumi et al 2014 PLoS Comp）に着目する。本研究では山田の取得する脳活動データから抽出した情報構造と、土谷が心理物理実験によって取得するクオリア構造との間の関係性を明らかにする。クオリアは局所的な個々の脳部位における情報処理だけでなく、部位間の情報のやりとりによって形成されている可能性が高い。その可能性を検証するために、低次や高次の脳領野間の情報構造を定量化することによって、クオリアとより対応がつくかどうか、情報構造とクオリア構造の相関関係を検証する。これによって、クオリアを形成する神経メカニズムが明らかになる。

（ｄ）研究領域の波及効果

クオリアの構造がわかる＝他者・他種の主観的経験をより良く理解できるようになる。

本領域は、それ自体としては捉えるのが難しい意識の質・クオリアを、クオリアとその他のクオリアの間の関係性の網として捉える。関係性を大規模に計測する新しい心理実験を脳活動の測定と操作、そして情報構造解析と組み合わせることで、今まで捉えることができなかった視覚クオリア構造と脳活動との対応関係を明らかにするという新しい方法論を確立する。この方法論を言語報告可能な成人の視覚意識経験で確立できれば、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。社会的な還元としては、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」の技術の洗練化などが期待される。

意識と脳の因果関係を理解するための操作技術が確立される。

本領域は、意識と脳を操作する技術を確立する。これにより、意識と脳の関係性を、相関関係から因果関係に押し上げる。また、薬理操作によるクオリア構造変容メカニズムの理解は、幻覚・せん妄などの意識変容を伴う精神疾患患者の意識内容の理解とその治療にもつながる。さらに、この薬理操作技術は、将来、動物の脳と意識を検討する際の共通操作技術となる。

意識の質が可視化できるようになる。

本領域は、意識が変化するときの脳活動を全脳から測定し、数理的に解析する手法を開発する。波及効果として、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。また、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。

研究計画調書の概要（総括班）

研究項目番号	研究代表者氏名	研究課題名
X00	土谷尚嗣	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
本欄には、領域計画書に記載した「（b）領域マネジメント体制」、研究計画調書に記載した「総括班の目的、計画など」）について、その概要を簡潔にまとめて記述すること（１頁以内）。		

領域マネジメント体制と総括班の役割

本領域は、領域終了後の2023年度から、学術変革領域Aにおいて、意識と脳をつなぐ法則の包括的理解を目指した大プロジェクトの提案を念頭においている。その前段階のプロジェクトとして、本領域では、成人における視覚クオリアの基本構造を理解し、そしてその構造を脳活動から得られる情報構造と結びつけるための方法論を確立することを目的とする。

学術変革領域 A を視野に入れた長期的な目的に向けて領域を推進するのが総括班の役割である。領域会議、領域成果の発表と広報の意味も含めた各学会におけるシンポジウム、若手育成のためのチュートリアルなどを積極的に企画・運営する。特に、三年後の学術変革領域 A 提案時には、研究対象を、意識と脳をつなぐ法則を包括的に理解することを目指すため、進化や発達によって、意識がどのように変容をしていくかを捉えようとする発達・比較認知心理学の研究者、動物やロボットにおける意識の問題を扱う研究者、麻酔や脳障害患者など意識レベルを扱う医学研究者らとのコンタクトを取り、準備を整える。昨年まで新学術領域提案に関わったメンバーを中心とした候補者は既にリストアップ可能であるが、より領域のビジョンに合致した最適なメンバーを長期的な視点で考え、若手のリクルートも含めた戦略的な活動を行う。

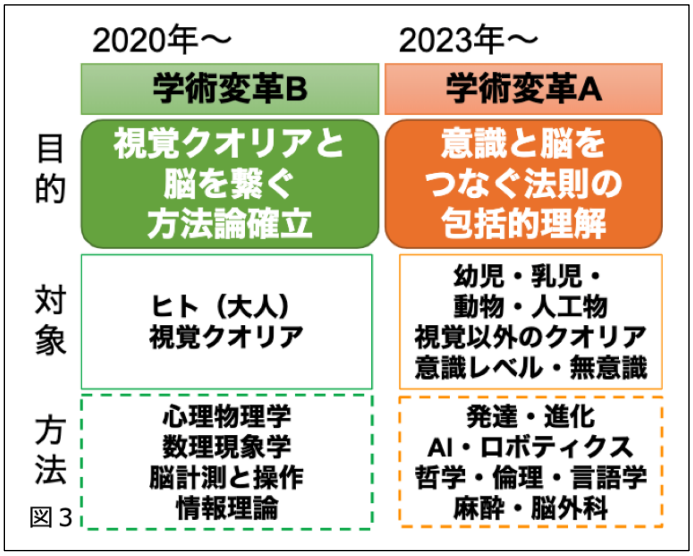

図３

総括班の体制と計画

A01 土谷が総括班の代表として領域会議を含むミーティングなどを通した領域促進を担当し、研究分担者として B01 山田が領域会議の企画・実行を担当し、C01 大泉が広報を担当する。代表土谷はオーストラリア・モナシュ大学がメインの所属であるが、日本とは時差がないため、これまで山田・大泉を始めとした日本の研究者と綿密なオンライン会議を行ってきており、コミュニケーションには問題がない。海外在住の強みを活かし、海外研究者との連携を強力に推し進めることができる。

土谷・山田・大泉は、昨年・一昨年と提案してきた意識に関する新学術領域の代表とその中心メンバーであり、これまでに領域発足準備と共同研究を続けてきたためチームワークにも問題がない。

領域に対しての評価・助言を受ける体制

過去二年間の新学術領域提案を行う過程で、心理学・脳科学・情報数理などの様々な分野で豊富な経験をもち、過去・現在進行中の新学術領域でアドバイザーを務めてこられた方々や、過去の新学術領域で領域代表を経験された方々から助言を頂ける体制が整っている。