

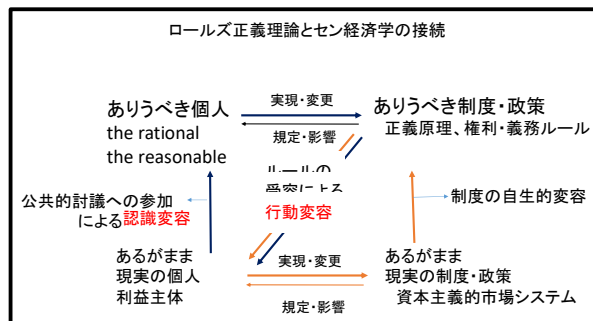
研究開発テーマ名

社会における福祉と主体性の特定と更新

2022年度までの進捗状況

1. 概要

本課題の役割は、事実解明的研究（調査・実験）を導くブレ理論を構想することです。具体的には、福祉・主体性にかかるリストと仮説を構築し、「シティ・ケイパビリティ」という概念の定義を行います（課題 1-1）。また、国立国会図書館の全文デジタルデータを活用し、福祉・主体性概念に関わるデータの解析を進めます（課題 1-2）。



本年度は、(1) 主要文献の解釈を基に、個人の「幸福へのケイパビリティ」を抽出する方法的枠組みを構想しました。

(2) 大規模テキストデータの収集・整理作業と並行して、文化の幾何学アプローチと単語埋め込みモデルを用いて、福祉・主体性の主要軸を特定するための予備的な分析を行いました。

2. 2022年度までの成果

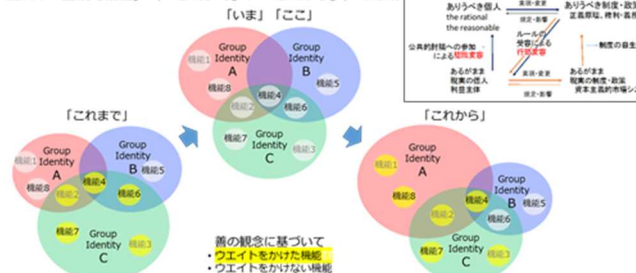
(1) 個人間関係性に根差す福祉の捕捉：福祉は個人間関係性に根差す場合が少なくなく、かならずしも個人別に分解できないにもかかわらず、これまでのほとんどの幸福研究が提示するリストは、他者との関係性において顕れるケ

ースを十分とらえていません。他者との関係性要因が個人にもたらす快苦と、それを上回るはずの正の関係性要因がもたらす快苦が、個人の中で統御されていく作用機序を明らかにする文献を広くサーベイ・吟味した結果、セン、パーフィットらの「理性とアイデンティティ」論が有力な参考文献として残されました。

(2) 個人の中の公共的判断あるいは市民としての意見の捕捉：個人の選好・評価・判断・意見の情報的基礎、ならびに、それらの送り先・宛て先、目的、文脈の相違などに十分留意しつつ、多元的かつ多段階的な個人の評価構造をとらえることのできる「ケイパビリティ・ユニバース」を構想しました。要点は、本人が属するさまざまな次元（カテゴリ）のグループに対する本人のウェイトを考慮しつつ、個人のケイパビリティを規範的に構築する点にあります。

「福祉」および「主体」の概念を再構成

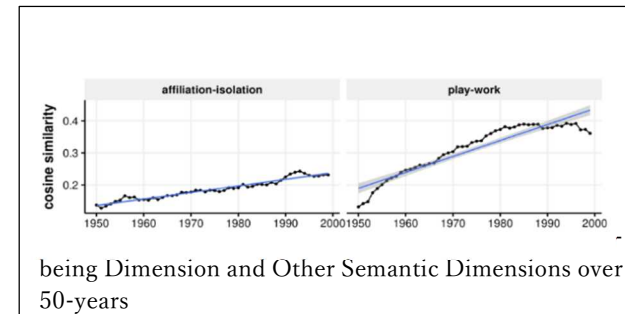
個人の「主観的福祉」（「これまで」、「これから」）の形成



(3) 福祉・主体性概念に関わるデータ収集と整理の実施
当該年度は 2023 年度以降に分析する大規模テキストデータの収集と整理を行いました。大規模テキストデータに関しては入手可能性と福祉、主体性の主要軸の特定という目的をとっての適合性という点から検討を進めた結果、国会図書館全文データ（国会図書館が所蔵する明治から 1968 年

までに出版されたすべての図書、1989 年までに出版されたすべての雑誌のデジタルテキストが含まれている）を用いることとしました。

当該年度は、データを出版年ごとに整理するとともに、メタデータ（出版年、著者、ジャンルなどが含まれる）の構築、本文データのクリーニング（旧字体→新字体変換、英数字削除、MeCab を用いた形態素解析、形態素ごとに区切られたテキストファイル変換）を行いました。その上で、福祉・主体性の主要軸を特定するために文化の幾何学アプローチを採用、単語埋め込みモデルを用いた予備的な分析を行い、数理学会大会にて報告しました。



being Dimension and Other Semantic Dimensions over 50-years

3. 今後の展開

(1) 多次元のグループから構成される「シティ・ケイパビリティ」の概念を明晰化します。(2) 脳神経科学・動物心理学等との協同により、「幸福へのケイパビリティ」を高めるための医療的介入と社会的支援を結ぶ論理を解明します。(3) 文化の幾何学アプローチに基づく国会図書館全文データの分析を行い、哲学的・規範的に提案された福祉と主体性の概念を現実の人々の思考や態度に即して検討します。（後藤玲子：帝京大学、瀧川裕貴：東京大学）

研究開発テーマ名

社会における喜びと志の発見システムの開発と更新

2022年度までの進捗状況

1. 概要

福祉と主体性の観点から個人の主観的な喜びや志を最大化するための方策として、バーチャルリアリティ (VR) 技術を活用した仮想体験の創出システムの実現を目指します。モビリティ体験における志と喜びの相互関係のモデリング、個人の福祉・主体性に結びつくような喜び・志を発見するための数理的方法論を、VR 内の体験実験を通じて確立します。これにより、個人の体験の最適化からスマートシティで暮らすグループ全体の体験の最適化手法を確立すると同時に、リアルな生活環境における脳指標計測の場を提供します。最終的に、ユーザが AI システムや他者によるサービスに過剰に依存するのではなく、自らの意志で主体的に社会活動を営む喜びの支援システムの実現を目指します。

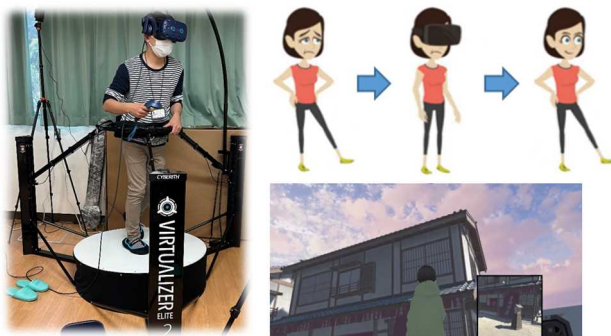


図 1: 構築した VR 体験の提示と行動記録システム

2. 2022年度までの成果

志と喜びの相互関係モデリングのためのモビリティ体験記録システムとデータベース構築
VR 空間における仮想体験をデザインする際には、ユーザの

心理的な状態 (志や喜び) を数理的に捉え、システムがどのようなコンテンツ (映像や音声など) を提供するべきか、というシステム設計論が必要となります。この設計論確立のための基盤として、VR コンテンツの映像、音声・ユーザの生体信号 (視線・瞳孔径・皮膚電位・心拍・心電位・脳計測データ)・ユーザの全身の運動データ、を统一的に記録できるシステムを構築しました (図 1)。

また、上記のプラットフォームを用いて、研究開発課題 3-2 のメンバーと連携し、VR 空間での旅行を通じて志と喜びに関するモビリティ体験の分析を行う実験システムを構築しました。具体的には、実際の歩行動作によって VR 空間を移動するためのデバイス (Cyberith 社の Virtualizer Elite 2; 図 1) を用いて、6 種類の観光地を巡る VR アプリケーションを作成しました (図 2)。モビリティ体験が記憶に与える影響を調査するために、VR 旅行中にスマートフォンで写真撮影をする機能を構築し、後から記憶を振り返り、主体的な行動を評価するためのシステム基盤を構築しました。



図 2: VR 旅行コンテンツで提供される体験の様子

3. 今後の展開

VR 旅行コンテンツの実験を実施し、VR 空間の中での視覚映像、歩行行動や対話行動、主体的な行動が現れる条件の記録、生体信号・脳活動データの収集などを行います。これらのデータを解析し、ユーザ全体として共通としてみられる傾向と、ユーザ個人がもつマインドセットに相当する傾向を分離し、各マインドセットにおける提示データと行動データの関係性をモデリングします。これによりユーザ個人が主体的に感じる喜びや志を数理的に表現可能とし、VR コンテンツを動的にカスタマイズして行く事のできるシステム構築を目指します。

VR による行動変容技術の研究は世界的にも広がりつつあるものの、スポーツにおける運動スキル学習や、認知科学的な行動分析という観点に留まっており、心への影響については未解明な点が多く、理論体系化できていない状況です。今後、構築したプラットフォームを用いて収集したデータセットを活用し、自由エネルギー原理(*)を用いて志と喜びの相互関係を個人レベルでモデリングすることで、どのような VR 体験を提示すると、ユーザ個人にとって相応しい体験となるのか、ということの数理的に議論する枠組みの構築を目指します。

そのような取り組みを通じて、2050 年におけるウェルビーイング社会を支えるために、ユーザ個人にとって相応しい喜びと志の発見を支援する VR 経験を提供できるアシストシステムの実現を目指していきます。

(※自由エネルギー原理：神経科学者の Karl Friston が提唱している脳の情報処理モデル。自由エネルギーという物理量を最小化させるように脳は推論を行うという仮説で、well-being を数理的に説明可能と期待されています。)

(稲邑 哲也：玉川大学)

研究開発テーマ名

ヒト脳指標による喜びと志の個人間比較技術開発

2022年度までの進捗状況

1. 概要

私たちの住む社会を自由で公正なものにしていくためには、行政がとりうる各政策の集団・社会レベルでの「良さ」を測る必要があります。しかしこのような指標は、異なる人びとのウェルビーイング（効用）を個人間で比較する方法がないと、うまく作れないことが知られています（Arrowの不可能性定理；Arrow, 1963）。効用の個人間比較は、行動データのみに基づく古典



効用の個人間比較

貧乏な人の方が1万円もらった時の喜びは大きいと考えられますが、異なる人びとの喜びを科学的に比較する手法は未だ存在していません。

的な手法では原理的にできないとされています。本研究開発テーマでは、多様な生理指標の計測を組み合わせ、効用を個人間比較可能な方法で測定する手法を構築します。本研究開発テーマの達成により、現在使われている金銭ベースの政策評価指標をウェルビーイングベースの指標に改良できると考えられます（課題3-1）。

また、ヒトの喜びと志の神経回路ダイナミクスを明らかにするMEG研究体制強化を進め、「自己主体感」についてのヒトMEG実験とマーモセット ECoG 実験、そして「物語

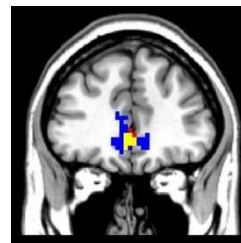
的自己」についてのMEG実験を進行中です（課題3-2）。

2. 2022年度までの成果

(1) 喜びの強さの脳指標による定量化

●既存の喜びの強さに関する神経科学、経済学、哲学文献を収集・整理し、高精度での効用の読み取り技術開発への方向性（multi-echo fMRI 撮像、生成モデルを用いた解析）を確定しました。

●効用の予測誤差に相関することを特定した脳部位（Matsumori et al., 2021）の活動を、独立なデータベース（ABCD study）を用いて解析しています。



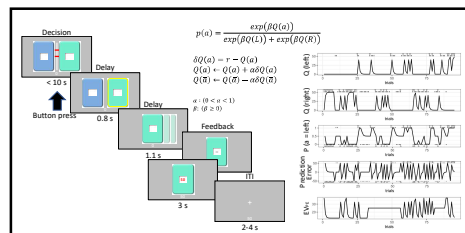
効用の神経相関

●効用が脳内で計算される動的プロセスを高時間分解能で明らかにするため、MEG 実験のための効用課題のデザインを決定しました。

(2) 志の強さの脳指標による定量化

●志の強さの脳指標を構築するために、既存文献を収集・整理して、自由意志との関係が議論されてきた「二階の欲求（ある欲求を持ちたいという欲求を持つこと）」（Frankfurt, 1971）に注目した実験課題作成の方向性を決定させました。

●環境との相互作用による外界モデルの構築と「自己主体



感」の獲得過程の神経ダイナミクスを明らかにするため、健常者を対象として、探索課題を用いたMEG計測を実施しました。

●発声における「自己主体感」の神経回路ダイナミクスを詳細に明らかにするため、マーモセットに他個体の声との鳴きかわしを行わせ、前頭葉と側頭葉をカバーする電極（96ch）から取得した皮質脳波（ECoG）データの解析を行い、発声時の聴覚野活動抑制や片側半球における活動抑制の時間変化を確認するとともに、そこにおける前頭葉-側頭葉の機能的結合性について検討しました（日本神経科学学会および北米神経科学学会で発表）。

●「物語的自己」の核となる自伝的記憶とその評価の神経回路ダイナミクスを明らかにするため、MEG 実験のための自伝的記憶課題の詳細を、課題2-1とも連携して決定しました。

3. 今後の展開

今後は、カメラなどから簡易に取得可能なデータを利用した効用推定技術の開発に挑戦します。これを実施することにより、スマートシティにおけるモビリティ政策の評価への応用に繋がります。

光ポンピング原子磁気センサー（Optically pumped atomic magnetometer: OPM）によるMEGを用いて、Virtual Reality (VR) 空間の街（スマートシティ、都市、地方など）を自由かつ探索的に行動している最中の脳活動を調べ、モビリティに関連した「喜び」と「志」の発見に関わる神経回路ダイナミクスを明らかにします。

（松森嘉織好：玉川大学、松元 まどか：NCNP

Ralph Adolphs: California Institute of Technology）

研究開発テーマ名

個体間比較可能な報酬の効用表現の霊長類神経システムの包括的理解

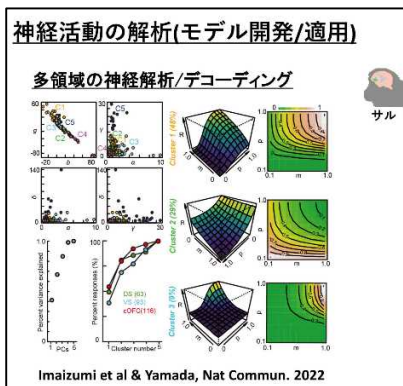
2022年度までの進捗状況

1. 概要

主観的な価値を生み出す情報を報酬系の諸領域の神経細胞が分散符号化して処理していることを明らかにし、一流国際誌に論文として発表し、当プロジェクトの足掛かりとなる重要な科学的基礎を世界に示しました。また、欲求の強さの神経細胞活動による情報表現を調べ、摂食後の有意な浸透圧上昇で確認しました(課題4-1)。さらに、報酬の主観的価値や欲求、そして階層的認知の神経表現をサルで調べるための実験ブースを整え、それぞれの行動課題でのサルの訓練を開始しました。また、階層的認知と社会的意思決定の関係性をヒトで調べる実験を行い、結果を国際誌に論文として発表しました。(課題4-2)。

2. 2022年度までの成果

(1) 効用の神経表現の同定における研究開発
報酬の価値表現に関わる脳領域(前頭眼窩野内側、前頭眼窩野中央、腹側線条体、背側線条体)の



個々の神経細胞が、期待主観価値を表現する際に持つパラメータを推定し、最適なモデルを選択しました。結果を論文としてまとめ、報告しました(A neuronal prospect theory model in the brain reward circuitry. Imaizumi Y, et al. and Yamada H. Nat

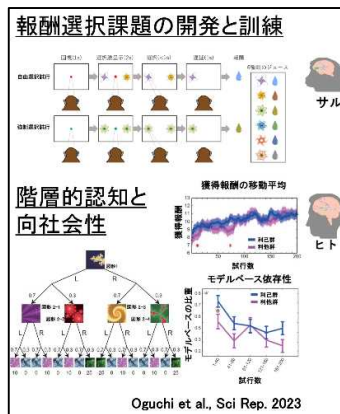
Commun. 2022, 13(1):5855) (課題4-1)。

(2) 欲求の客観的評価法の確立に向けた研究開発
4頭の飲水調節を施したサルから一頭当たり食前と食後に、給餌中は吸水を行わない条件で採血、浸透圧の計測を行ったところ、浸透圧の有意な上昇が観察されました(課題4-1)。

(1) 報酬の主観的価値の神経基盤解明のための行動課題の開発と訓練
皮質および皮質下の多領域から多点電極を用いた同時計測を行うため、新たな実験ブースの構築を行いました。サル1頭にヘッドホルダーおよび記録用チャンバーの設置手術を行い、ターゲット領域の一つである海馬からの神経活動記録を行い、海馬にアプローチする手順を構築しました(海馬に記録用電極跡が残っていることも確認)。報酬の主観的価値の神経基盤を調べるため、複数種類のジュースに対応する図形の選択課題を構築し、1頭のサルに訓練を開始しました。

また、階層的認知の神経基盤を調べるためのカテゴリ推論課題を開発し、2頭のサルに訓練を開始しています。

加えて、階層的認知と社会的意決定の関係性に関するヒト行動実験およびfMRI実験を行いました。行動実験では、利己的な人ほど熟慮的なモデルベース学習を用いる傾向があることを明らかにしました(Proselfs depend more on model-based than model-free learning in a non-social



probabilistic state-transition task. Oguchi M, et al. Sci Rep. 2023, 13(1), 1419)。fMRI実験では、寄付行動を用いたゲーム課題を構築して大学生参加者からの撮像を行い、得られたデータについて解析を進めています。(課題4-2)

3. 今後の展開

本研究開発課題においては、脳の神経細胞活動が個体の効用を表現する仕組みを、ヒトに最も近い実験動物のマカクザルを用いて明らかにすることで、ヒトの脳指標による喜びや志の個人間比較の生物学的妥当性を確立することを目指しています。この検討を加速するために、**効用の神経表現に係わる複数の脳領域の集団活動解析の同定技術の確立**、及び、**ヒトとサルの主観比較を可能とする行動データ解析の確立**を目指します。また、欲求の客観的評価法の確立に向けて、空腹の指標となる血中グレリン濃度の測定を目指す。これらの検証を進めることで、ヒトの喜びと志を生み出す生物学的な原理を同定し、ヒトの幸せを生み出す仕組みの理解に繋がります。(課題4-1)

本研究開発課題では、マカクザルを用いて報酬の主観的価値を表現する精細な脳内メカニズムを明らかにするために、**自由選択および強制選択を織り交ぜた報酬課題を遂行中のサルから、皮質および皮質下の多領域多細胞同時記録**を行います。ここでは、**強制選択課題での報酬操作による価値低下法や、化学遺伝学による経路選択的な神経活動操作**を活用し、主観的価値を表現する脳内の階層的なダイナミズムに迫ります。本研究で得られた知見は、直接ヒトの理解へと適用されるだけでなく、げっ歯類での報酬価値の神経表現に関する個体間比較から得られた知見をヒトの理解へ翻訳するための媒介となることも企図されています。(課題4-2)

(山田洋：筑波大学、小口峰樹：玉川大学)

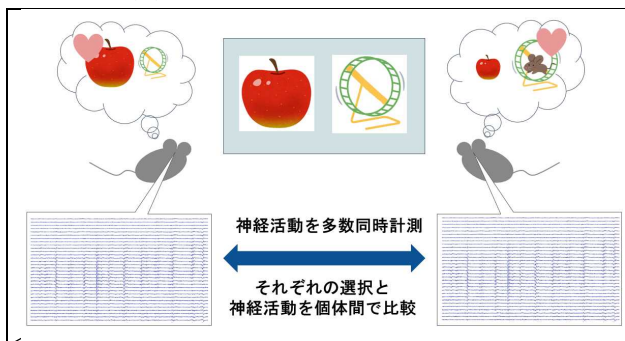
研究開発テーマ名

個体間比較可能な報酬の主観的価値表現の齧歯類神経システムの包括的理解

2022年度までの進捗状況

1. 概要

齧歯類を用いて、ヒトやサルよりもさらに詳細な神経メカニズムを調べるための準備を進めながら、課題実行中のラット（10頭）の前頭前皮質から高密度集積電極（ニューロピクセル）を用いて同時に多数記録した神経活動の解析を進めています。



2. 2022年度までの成果

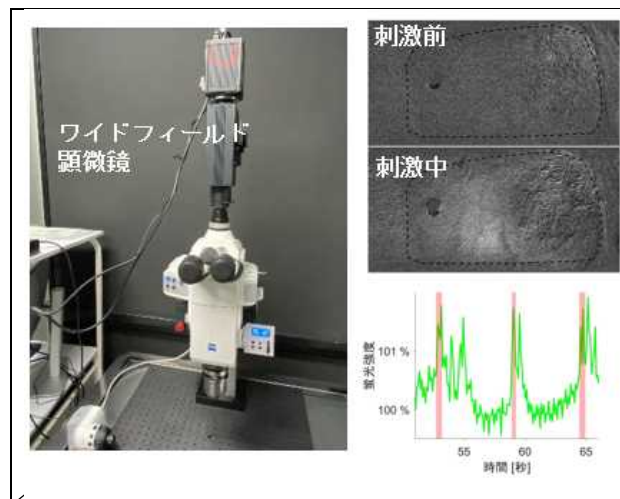
（1）古典的条件付けにおける報酬の主観的価値表現に関する脳指標計測のための機器導入及び、人員の配置と計測最適化の開始

①「脳皮質と脳深部の同時計測のための機器の導入」：脳深部用のニューロピクセルに加え、脳皮質計測機器としてワイドフィールド顕微鏡の導入を完了しました。

②「計測最適化のための予備実験の開始」：神経活動計測のための蛍光タンパク質である GCaMP6 を発現するアデノ随伴ウイルスベクターを大脳皮質に打ち込み、GCaMP6 の

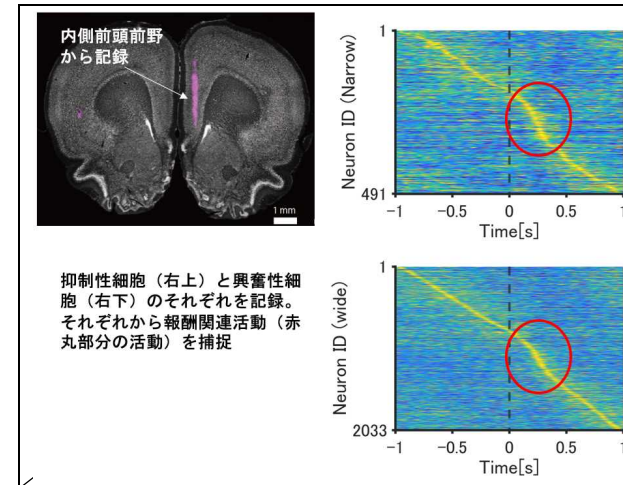
輝度変化を開窓部から観察することに成功しました。

③「人員配置（研究員1名）の完了」：マウスを用いた視覚心理学的実験、光学装置を用いた測定実験、動物行動の課題設計などの経験豊富な博士研究員を、令和5年3月1日付で雇用しました。



（2）オペラント条件付けにおける行動や報酬への欲求に関する生理学的データ計測

ボタン押しによって即時に報酬を得られる FR1 課題遂行中に内側前頭前野からの神経活動記録を行いました。十分な訓練→ボタンを押しても報酬が出ない「消去」→もう一度報酬が出る条件に戻すという、全タイムコースを通じて報酬の主観的価値が変化するような記録セッションを10頭のラットに対して行い、解析を継続しています。



3. 今後の展開

報酬の主観的価値がどのように脳内で表現されているかをラット脳において高密度・高解像度に計測します。課題としては古典的条件付けなどラットでも実装可能な課題を用います。このために、遺伝的に導入可能な各種蛍光プローブ導入手法の確立を行います。また、オペラント条件付けで得られたデータの解析を引き続き進めます。さらに、仮想現実システムを利用してヒト研究と比較可能な確率探索課題を開発していきます。

（田中康裕：玉川大学）