



ムーンショット目標 9

2050年までに、こころの安らぎや活力を増大することで、
精神的に豊かで躍動的な社会を実現

実施状況報告書

2023年度版

脳指標の個人間比較に基づく

福祉と主体性の最大化

松元 健二

玉川大学 脳科学研究所



1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

(1) 研究開発プロジェクトの概要

当研究開発プログラムでは、人びとに「心の安らぎ」を提供するとともに、「心の活力」を生み出すことで、精神的に豊かで躍動的な社会の実現を目指している。

さまざまな政策の評価が、主には費用便益分析によってなされており、人びとの満足度など、それ以外の要素の考慮には科学的な基礎を欠いているのが現状である。本研究開発プロジェクトは、そのような現状を乗り越え、それぞれの政策によって実現される人びとの幸福を科学的に集約可能にすることで、さまざまな政策が時代に即した人びとの幸福の増大に真に繋がる社会を実現することで、精神的に豊かで躍動的な社会の実現に近づこうとするものである。

特に、少子高齢化や過疎化への対応として国内各地はもちろん、世界的にも多くの試みがなされているスマートシティにまず着目し、その一丁目1番地とも言われるモビリティ政策の評価に、人びとの幸福の度合いが用いられるようになる未来の社会像を思い描いている。

人びとの幸福については、古今東西の哲学者が繰り返し議論してきたが、本プロジェクトでは、著明な規範経済学者であるアマルティア・セン教授の提案する福祉と主体性の両側面に注目する。これらは、人びとの幸福に繋がる客観的な基準として注目されている一方で、その理論的追求は未だ道半ばである。

本プロジェクトでは、この福祉と主体性を、規範経済学と計算論的社会科学との連携により、時代に即した形で特定するとともに、VR技術を活用することで人びとの主観的な幸福感、すなわち喜びと志とに反映させる。そしてそれらを、最先端の神経科学や計算科学のアプローチを駆使することで脳活動から、個人間比較可能な、したがって社会的に集約可能な形で読み出し、定量化する技術を開発する。これにより、開発中のスマートシティのモビリティをどのような形で実現すれば、そこにさまざまな役割を持って生活する人びとが、それぞれどのくらいの喜び・志を見出すことができるかを正確に知ることができるようになる。これらをスマートシティのデジタルツインを用いて、予め定量化することもできるようになり、誰も取りこぼされることなく喜びと志を最大化できるスマートシティが実現するはずである。加えてその過程では、人びとが未来のスマートシティに希望を見出すことを促す体験型のVR/ARシステムやアプリケーションソフトの開発にも繋がることが期待され、ひいてはモビリティ革命に関連するさまざまな産業の発展を促す波及効果も期待される。

(2) 研究開発プロジェクトの実施状況

① 福祉・主体性のデータ収集・解析と概念の明確化

「外出」と「在宅」という特定の文脈で双対的にとらえられるケイパビリティ指標、OICI (OUT-IN Capability Index) の適用法を検討して外出/在宅ケイパビリティ調査に適用、センの定式化を拡張するとともに、一定の諸公理を満たす「グループ構成ルール」によって、「代表的個人のケイパビリティ」を同定することができるとする仮説を発表した。また、ケイパビリティの社会的集約を可能にする「シティ・ケイパビリティ」の2つの同定法も提案した (課題 1-1)。

そして、国立国会図書館が所蔵する書籍の全文デジタルデータを活用し、主観的ウェルビーイングと関連する「遊び」や「民主主義」などの意味次元を抽出、幸福を構成する意味次元の構

造と変化を分析した（課題 1-2）。これらの成果を項目 2 で開発するモビリティに伴う喜びと志の発見システムに活用して脳指標計測を実現するために、課題 2-1 と課題 3-2 が連携することにより作成した、散策・撮影 VR アプリケーションの各種機能拡張、充実を図った。

② 喜び・志の個人間比較を可能とする脳指標開発およびその神経回路ダイナミクス解明ための脳・行動データの取得

喜びと志の基礎として効用の 2 概念（経験効用と決定効用）の関係を明らかにした fMRI 実験の論文を執筆しつつ、志について扱う“二階の欲求”の神経回路モデルを考案した。また、数千規模の効用の脳表現の univariate 及び multivariate 解析を今年度中に完了予定であり、fMRI データに基づく価値表象の個人間比較の精度を高めるための fMRI データ分析法も開発した（課題 3-1）。課題 3-1、3-2、4-1 の連携により決定した決定効用課題遂行中の MEG データを健常者 28 名から取得し、個人ごとに効用関数を算出した。そして、昨年度得られた探索課題の MEG データ（健常者約 40 名）を用いて、「二階の欲求」を支えたと考えられる「自己主体感」に関わる行為結果予測や予測誤差、自己選択についてのデコーディングをおこない、それらの情報の信号源解析を進めつつ、非ヒト霊長類や齧歯類における「自己主体感」の神経回路ダイナミクスにアプローチできる実験デザインを項目 5 との連携により考案した。発声行動の自己主体感の神経回路ダイナミクスの詳細を調べたマーモセット ECoG 実験の論文も執筆中である。さらに、項目 2 との連携により、自伝的記憶課題のための VR コンテンツを拡張しつつ、モビリティ由来の「喜び」と「志」の発見システムを開発するためのヒト MEG 実験用課題を項目 1、2 との共同で検討した（課題 3-2）。喜びと志の神経細胞レベルでの情報表現を調べ、サルや齧歯類の効用・欲求・報酬価値の情報表現と比較・検討するための課題 3-3（Adolphs PI（カリフォルニア工科大学）を正式に追加し、てんかん患者の神経細胞活動データの解析を開始し、海馬が抽象的な文脈を表現していることを明らかにした（課題 3-3）。

③ 効用、報酬の主観的価値、報酬への欲求の多領域・多細胞による神経表現の詳細解明に向けたデータ取得およびその解析法の開発

個体間比較可能な効用表現をサルで明らかにする項目 4 では、神経集団の活動から動的な情報を抽出する解析技術を開発し、前頭眼窩野の活動と海馬の活動で比較をおこなった。また、行動から報酬の効用を推定する数理モデルを新規に開発し、ヒトとサルが同じモデルで説明されることも示した。いずれも著名な国際誌に論文発表した。さらに 4 頭のサルで、摂食後に有意な血中グレリンの低下および血液浸透圧の上昇を確認し、論文原稿を作成した（課題 4-1）。2 頭のサルに対して報酬選択課題を訓練し、ほぼ完了した。1 頭では〈自由選択＋強制選択試行〉で、報酬となる 5 種類のジュースに対してセッション間でおおむね一貫した選択傾向を確認した。今年度中には 2 頭とも行動および神経活動記録を開始する予定である。志の基礎となる階層的認知の神経メカニズム解明に向けては、2 頭のサルでカテゴリー推論課題の訓練をおこなっている（課題 4-2）。齧歯類では、多くのニューロンで GCaMP を発現する動物の開発に成功し、既に確立している Neuropixels を用いた計測と組み合わせて、報酬価値の脳表現を調べる古典的条件付け課題実行下でのパイロット実験を今年度中におこなう予定である。欲求の脳表現を調べるためのオペラント実験も、単純なレバー押しから 2 肢選択課題へと、今年度中のパイロット実験へ着実に歩を進めている。（課題 5-1）。

④ 人文・社会科学と神経科学を融合するための VR コンテンツの検討・作成

モビリティ由来の「喜び」と「志」の発見システムを開発するための実験デザインをプロジェクト会議で検討した。注目する「機能」リストの選択は、Well-being との関わりが戦後に上昇もしくは下降した「遊び」と「安全」（課題 1-2 により特定）に限定して始めつつ、探索も継続し、将来的に拡張を図ることとした。脳計測のタイミングは、最低限、VR 体験の前後、OPM-MEG の導入が実現すれば、Cave タイプの VR 体験中の脳計測も視野に入れることとした。他者と相互作用できる社会的 VR 環境も、「喜び」と「志」にアプローチするためには不可欠であり、内匠プロジェクト、筒井プロジェクトとの連携により加速して作成する予定である。

(3) プロジェクトマネジメントの実施状況

PM 支援チームは昨年度の体制を基本的に踏襲しているが、学術研究所の組織改編により、研究推進事業部を新設し、研究促進室と知的財産本部をそれぞれ研究推進課と知財戦略部に改称した。これにより、「研究成果の活用」、「産学連携の推進」、「社会実装の促進」、「研究コンプライアンス」の機能を強化している。PM 補佐に田中康裕 PI を加えて学術的な側面を考慮した支援も強化し、研究推進課専属の事務支援者を雇用し、資金の公正かつ効率的な運用をサポートしている。また、広報や学内外の連携促進を担当する事務支援者も雇用している。

国際シンポジウム「福祉と主体性」運営のための会議を 2023 年 8 月から 9 月にかけて 4 回実施し、事前の宿泊施設や交通状況の確認、ライブ配信および録画の手配、シンポジウム当日の詳細なスケジュール確認を行った。また、Slack と Box を活用し、事務的な連絡やファイル管理を効率化している。

プロジェクトの促進と進捗状況の把握のため、2023 年 5 月に NCNP をサイトビジットし、研究開発項目 2 と課題 3-2 との連携強化のため、散策 VR 環境を歩行型コントローラーにインストールし、動作確認を行うとともに、今後の方向性について多角的な議論を行った。加えて日常的にもプロジェクト内でのコミュニケーションを円滑にするために Slack を活用し、Box でのファイル共有も行っている。これにより、研究手法や事務連絡、産業界の動向やイベント情報の交換を円滑に行っている。各 PI も積極的なコミュニケーションに努めている。

2023 年度の年次評価では、利益相反を避けるため、外部評価委員として花川隆教授と隠岐さや香教授を依頼し、公正な評価に努めた。

研究開発体制の協働と競争を促すため、随時、プロジェクト会議（2023 年 8 月@東京大学、2021 年 1 月@Zoom）やワークショップ（2024 年 2 月@玉川大学&Zoom）を開催して課題間連携を強化しているほか、広範囲の研究分野間の情報交換を円滑にすることで Slack と Box を積極的に活用し、抽象的な学術的概念理解の擦り合わせから具体的な研究手法や事務連絡、産業界の動向やイベント情報などの情報交換も含め、プロジェクト内のさまざまなコミュニケーションに最大限活用している。

当プロジェクト含め、MS9 全体の成果と意義を高めるために、先進的な脳計測技術である OPM-MEG の導入・利用に向けて、2023 年 7 月に Nottingham University の Brookes 研究室を視察し、現場でしか得られない情報を収集したほか、OPM-MEG の設置準備委員会を発足し、具体的な設置準備を中心的に進めた。

内匠プロジェクト、筒井プロジェクトと連携し、齧歯類とサル VR システムの現状を把握し、社会的 VR の方向性について議論を進め、2024 年 3 月には第 1 回連携プロジェクトワ

ークショップを開催し、合意形成した。

遅れていた研究開発課題 3-3「メカニズムデザインおよびヒト神経細胞活動による喜びと志の計測」の契約が完了、開始された。脳デジタルツインの開発がプロジェクトの発展に重要と考えられたため、新規研究開発課題「喜びと志をシミュレートする高精度パーソナル脳デジタルツインの開発」の追加を求めたが、必要性や関連性が不明確とのことで追加には至らなかった。

知財戦略としては、心の神経基盤やその介入に関わる成果を **Open Access** 可能な学術論文として公開する必要があると考え、当該年度に出版した査読付き原著論文はいずれも **Open Access** とした。

スマートシティにおけるモビリティ政策の評価指標に関連する最新の技術動向や市場調査を、PM が中心となり関連の課題推進者と協力して実施している。今年度は、神経科学大会の産学連携シンポジウムを共催し、脳のデジタルツインなどについての現状と未来、そしてそれを受容できる条件についての議論を主導したほか、モビリティ・データや脳のデジタルツインの活用に向けた NTT データ社の取り組みを調査したほか、全国各地で展開する 284 ものスマートシティ・プロジェクトを特定した。

国際的なコミュニティも視野に入れた広報・アウトリーチ活動も積極的に進めた。NCNP 国際セミナー (2023.8.28) では、五十嵐啓博士 (カリフォルニア大学アーバイン校・准教授) を招き、齧歯類における嗅内皮質や海馬、前頭前野のメカニズムについての詳細な研究成果について活発な議論を交わした。2023 年 9 月 29 日から 30 日にかけては国際シンポジウム「福祉と主体性」を開催 (京都大学と Zoom ライブ配信のハイブリッド形式) した。世界をリードする 8 名の研究者を招き、プロジェクトの課題推進者 9 名とともに、8 セッションにわたるプログラムで各研究の背景や現状、ビジョンについて発表、活発に議論し、プロジェクトの国際的認知度を高めるとともに国際的展開を促進する機会となった。また、招待講演者をプロジェクト代表機関である玉川大学脳科学研究所ラボツアー (2023.10.2) に招いて、更に交流を深めたほか、2 名の招待講演者は筑波大学 (研究開発課題 4-1 山田洋 PI) でも、Neuroeconomics symposium 「How does our valuation system operate in the economic sense?」で講演 (2023.10.3) を行い、連携を強化した。これらの様子はニュースレター (日本語版+英語版) を発行し、プロジェクトのホームページや SNS を通じて周知を図った。

2. 当該年度の研究開発プロジェクトの実施内容

(1) 研究開発項目 1: 社会における福祉と主体性の特定と更新

研究開発課題 1-1: 規範経済学手法による福祉と主体性関連ワード絞り込み

当該年度実施内容:

本研究開発課題の目的は、多様な個人の「福祉と主体性」の等しき尊重の実現という難題に、研究開発課題 1-2 と密接に連携し、人文学・社会科学・自然科学の確かな協同をもとに取り組むことにある。本年度は前年度から継続する「福祉と主体性リスト」の妥当性についての先行研究の批判的精査を基に、「個人のケイパビリティの定式化」と「福祉と主体性リストの構想」についてオールタナティブを提示した。また、必ずしも個人別に分解することのできない個人間関係性に根差す福祉を捕捉するとともに、個人の中の公共的判断あるいは市民としての意見を捕捉するため、新たに「シティ・ケイパビリティ」構想に着手した。

(1) 「社会における福祉と主体性」の構想に関する先行研究の批判的展開とリストの構築
ICECAP-Oのような抽象度の高い幸福リストが帯びてしまいがちな指令的な性格を抑えるために、特定の文脈に関係づけることで解釈の余地を狭める OICI を併用することを提案、外出/在宅ケイパビリティ調査に適用して、センの定式化を「資源→利用能力による変換→独立かつ排反な活動機能の機会集合としての潜在能力→外出比率 $p \in [0,1]$ の選択→一定の機能値の実現」と拡張した。「グループ」の相違に起因する達成機能の格差をケイパビリティの「大きさ」の違い、「タイプ」に起因する達成機能の格差を「不自由さ」の違いと捉え、個人のケイパビリティを構成・捕捉することで、外出/在宅の個人の自由の視点からタイプ間格差を是正する論理を提供した。

(2) 規範経済学的手法にもとづく「社会における福祉と主体性」の描写（定式化）

OICI を手がかりとして、ケイパビリティ・アプローチの適用法を理論的・実証的に検討した。OICI の機能リストは「安心、得（経済的効用を含む）、喜び、自分らしさ」という 4 項目・10 機能、利用能力リストは「対環境、対人、対个体」の 3 項目 12 利用能力で構成した。資源は、所得（交通支出額）・付添い・介助サービスなどで捕捉、個人の「達成値」は 10 機能を等ウェイトで加算した集計値とし、グループ内でタイプ別平均値をとったうえで、すべてのタイプに同ウェイトをつけて集計した。OICI は、「外出」と「在宅」とを双対的にとらえることで、一定の諸公理を満たす「グループ構成ルール」によって、「代表的個人のケイパビリティ」を同定することができるとする仮説をまとめた。

(3) 実用可能なモデルとワードによる「社会における福祉と主体性」の新たな構想の表象

「シティ・ケイパビリティ」を、「シティがいま実現している状態の背後にあって、シティが実現しようと思えば実現することのできる選択肢の集合」と定義し、2つの同定法（(1) 社会的選好の形成手続きに一定の条件を課すことにより、論理的に導出されるさまざまな相対評価のもとで実現可能となる状態を集積する方法、(2) 資源と利用能力が同様である複数のシティを同一グループとみなし、それらがいま実現している状態を集積して、代表的シティ・ケイパビリティを理論的に構成する方法）を提案し、より脆弱性の高い個人の立場に身を置いて福祉交通政策の改善を志す可能性を探った。

課題推進者：後藤玲子(帝京大学)

研究開発課題 1-2: 計算社会科学手法による福祉と主体性の主要軸の特定

当該年度実施内容:

(1) テキスト分析による福祉・主体性概念の第一次定量化

本年度は、前年度までに集めた福祉と主体性についての国会図書館所蔵のデジタルデータの解析を進めるとともに、ヴィネット調査に向けた各種パイロット調査、を実施した。福祉（以下ウェルビーイングとする）に関わる概念は、哲学者や科学者が定義する専門的概念であるとともに、人々が日常生活で自らや他者の生、状況を評価するために用いる日常的概念でもある。最終的にウェルビーイングに関する科学的概念を構築する場合でも、人々が日常的に用いる概念をまず明らかにし、そこから科学的概念をボトムアップに積み上げる必要がある。本研究では、人々の実践的概念の使用がエンコードされている書かれたテキストデータを分析し、ウェルビーイングの概念を特定することを目的とし、概念空間フレームワークに基づく文化の幾何学アプローチ (Kozlowski et al. 2019) を用いて、ウェルビーイングに関わる概念の構

造を特定しその時系列変化を分析した。具体的には、哲学、心理学、社会科学の広範な先行研究を徹底的にレビューし、Subjective well-being を中心とした Affluence, Education, Health, Safety, Affiliation, Play, Nature, Freedom, Peace, Democracy の 11 の概念次元を、ウェルビーイングの仮説的理論構造として特定した。その上で、これら概念が実際に人々のウェルビーイングに関する日常的な使用法を反映しているか、また概念システムの内的構造がどのようになっているか、歴史的にどのように推移したのか、を国会図書館所蔵のデジタルデータの計量的手法を用いたテキスト分析に基づいて明らかにした。これらの成果は複数の査読付き国際会議で発表し、論文執筆中である。

また、連想法に基づくサーベイを実施し、幸福・不幸に関するセマンティックネットワークを得た。得られたネットワークをコミュニティディテクションという手法でグループ化することで、幸福についての概念グループとして、Food, Peacefulness, Free/Leisure, Health, Wealth, Income/Pleasure, Family/Friends, Achievement などボトムアップに得た。これらの概念グループを構成する諸概念の内実や社会経済的地位に基づく差異なども解析し、その成果は国内学会で報告済みで、現在論文にまとめている。

2種類のビネット実験も実施した。実験1では、快楽、人間関係、仕事、道徳の4つの要因を含む架空の人物の生活について、a)善き生、b)幸福、c)意味ある生の観点から評価をしてもらい、a)善き生、b)幸福、c)意味ある生などのアウトカムを因果的に説明するウェルビーイング因子（快楽、人間関係、仕事、道徳）とそれらの間の相対的強さについて、現在データ解析中である。実験2では、人々のウェルビーイング評価の因果的規定要因を、言語に潜在するトピックという形でボトムアップに発見することを目的として、生成AIを用いて作成した約1000通り人生年表に対して、a)善き生、b)幸福、c)意味ある生の観点から評価をしてもらい、現在、確率的言語モデルの一種であるトピックモデルを用いて解析を進めている。

課題推進者: 瀧川裕貴(東京大学)

(2) 研究開発項目 2: 社会における喜びと志の発見システムの開発と更新

研究開発課題 2-1: 福祉と主体性の仮想体験による喜びと志の発見支援

当該年度実施内容:

本研究開発の目標は、モビリティの喜びと志の発見システムの完成である。研究開発課題 1-1 のケイパビリティアプローチから得られた知見を活用し、研究開発課題 3-2 と連携してシステム構築を推進した。令和5年度では、以下の2つの研究項目を実施した。

(1) 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

研究開発課題 3-2 との議論を通じて昨年度までに作成した公園や観光地を散策し記念写真を撮る VR 旅行アプリケーションのたたき台を、今年度は拡充し、NCNP に設置されている歩行型仮想体験デバイス (Elite-II) でも同じ実験を遂行可能な基盤を構築した。また、VR 旅行の最中の主体性を評価するための実験系を研究開発課題 3-2 と共同で策定した。複数の旅行エリア間を移動する仕組みを導入し、各エリア内でも三叉路で自ら選択をする機会を設けた。その際に同一地点で停留する時間や、視線方向、瞳孔径を計測するシステムを構築した。さらに、散策中にスマートフォンで記念撮影ができる機能を拡張し、各写真が撮影された位置と時刻の情報がデータベースに追記されるシステムも構築した。これにより、自己選択行動と生体信号の関係を分析するシステムとデータセット基盤の準備はほぼ完了した。また、

研究開発項目 1-1 と議論を行い、ケイパビリティアプローチに基づいて得られた社会的行動経験における喜びと志に重要な関係を持つと考えられる要因（散策中に他者と挨拶などする社会的行動条件とそうしない非社会的な行動条件など）を制御できるようにし、その仮想空間の中での体験に基づく喜びと志への影響を調査する基盤を整えた。

(2) モビリティ体験における現実と仮想の差および個人とグループの差のモデリング

HTC Vive Pro と呼ばれる VR ヘッドマウントディスプレイ式を用いて、歩行や荷物の持ち運びなどのモビリティ体験を、現実世界・仮想世界どちらでも同様に計測できるシステムを構築した。また、NGO (NetCode for Game Object) と呼ばれるパッケージに変更を行い、実装を進め、グループでの VR 体験を実施する体制も概ね整った。さらに、プロジェクト間連携提案「種を超えた社会的 VR 環境の構築」を新たに開始することとなり、仮想空間における2者間の対話の状況をリアルタイムに改変する（表情・しぐさ・身体の大きさなどを自由に変動させる）ことのできるシステム開発の構想を追加で計画し、変動させるパラメータとリアクションの関係の分析を目指す方向性を確定した。

課題推進者: 稲邑哲也(玉川大学)

(3) 研究開発項目 3: ヒト脳指標による喜びと志の個人間比較技術開発

研究開発課題 3-1: ヒト MRI による喜びと志の脳指標取得と個人間比較

当該年度実施内容:

ヒト MRI を用いて喜びや志の強さの行動指標と相関する脳活動部位を同定し、さらにそれぞれについて個人間比較可能な脳指標として定量化するために以下の事をおこなった。脳血管反応の個人差を考慮して fMRI ノイズを軽減できる撮像プロトコルを特定した。経済学における welfare (効用) の個人間比較の研究をおこない、実験参加者の経済状態に応じて、個人間で「貨幣の限界効用」が所得水準に応じて逡減していることを定量的に示すデータを得た。喜びの個人間比較に使用できる多変量解析手法を開発した。また、喜びと志（二階の欲求）との関係を明らかにするために、それぞれの基礎と考えられる効用の2概念（経験効用と決定効用）の関係を明らかにした。そして階層的構造と再帰的構造を基に、二階の欲求の神経回路モデルを考案した。

(1) 喜びの強さの脳指標による定量化

喜びの強さの脳指標による定量化を実現するためには、個人差をうまく扱える SN 比の大きな fMRI 撮像法が必要である。今年度は、頭蓋構造による fMRI ノイズの軽減法の効果を調べる実験をおこない、Multi-band multi-echo プロトコルが既存のプロトコルよりも SN 比が大きいことが明らかになった。また、脳血管反応の個人差の考慮法を開発し、金銭報酬に伴う前頭前野腹内側部の賦活の大きさの個人差のうち、(金銭報酬と無関係な) 脳血管反応の個人差によって説明される成分は 3%程度にとどまることを示唆した。また、効用の脳表現の多変量解析を数千人規模の fMRI データベース (ABCD study) を活用しておこない、実験参加者の経済状態に応じて、個人間で「貨幣の限界効用」が所得水準に応じて逡減していることを定量的に示すデータを得た。これにより既存の費用便益分析における $Social\ welfare = \sum Money$ という金銭的ウェルビーイング指標の代わりに $Social\ welfare = \sum Utility$ という倫理学においても支持されやすいウェルビーイング指標を利用できるようになったが、社会科学の観点からの責任を伴うため、さらに validation の作業を進めている。

(2) 志の強さの脳指標による定量化

脳活動から志の強さを読み取る技術を開発するために、人間に特徴的な自律性を支える重要な心的機能であり、自由意志や責任を基礎づけるとされる「二階の欲求」（ある欲求を持ちたいという欲求）(Frankfurt, 1971)に着目し、二階の欲求を測定するための実験課題を今年度は一つ作成して行動実験をおこなった。また、喜びと志との関係を明らかにするために、それぞれの基礎と考えられる効用の2概念（経験効用と決定効用）の関係を調べる行動実験の結果を解析し、経験効用を統合することによって決定効用が構築されることを示唆した。さらに、階層的構造と再帰的構造をもつ二階の欲求の神経回路モデルを考案した。

課題推進者:松森嘉織好(玉川大学)

研究開発課題 3-2:ヒト MEG による喜びと志の神経回路ダイナミクス

当該年度実施内容:

MEG を用いて「喜び」と「志」の強さに関わる脳活動の計測および解析を実施した。「喜び」の神経回路ダイナミクスの研究プロジェクトでは、研究開発課題 4-1 との連携により、効用に関連する脳活動を計測し解析を行った。「志」の神経回路ダイナミクスの研究プロジェクトにおいては、「自己」をメタな視点から俯瞰することによって得られる「自己主体感」に関連する脳活動の解析を行った。また、マーモセット ECoG を用いた発声における「自己主体感」神経回路ダイナミクスについてとりまとめた。さらに、選択行動における「自己主体感」に伴う「制御の幻想」の神経回路ダイナミクスの詳細を、非ヒト霊長類や齧歯類とも比較しながら明らかにする「制御の幻想」課題を研究開発課題 4-2 および 5-1 と連携してデザインし、「喜び」と「志」の脳活動計測を目的としたバーチャルリアリティ (VR) のコンテンツを作成および MEG 実験課題についても研究開発項目 1 および 2 と検討した。

(1)「喜び」の神経回路ダイナミクス

「喜び」の基礎と考えられる「効用」は様々な価値を比較する共通の尺度を提供するため、研究開発課題 4-1 と連携してヒト MEG 実験用の効用測定課題をデザインし、課題遂行中の脳活動を MEG により計測した (約 40 名)。行動データから個々人の効用関数を算出したところ多くの被験者はリスク嫌悪的であった。MEG データから期待効用 ($\text{Mean}(\text{EU}_{\text{risk}}, \text{EU}_{\text{sure}})$) のデコーディングに成功しその信号源を後部帯状皮質に同定した。

(2)「志」の神経回路ダイナミクス

2種類のカードの報酬確率を推定する探索課題を用いて、「自身の行為の結果を制御できている」という「自己主体感」についての MEG 計測・解析を行い (約 40 名)、「自己主体感」の形成に関わる行為結果の予測誤差 (PE) およびその期待 (EV_{PE}) の推移を MEG データからデコーディングし、その信号源を、PE は島皮質、 EV_{PE} は上側頭回に同定した。「自己主体感」に必要な自己選択に関わる脳活動のデコーディングにも成功し、信号源を前補足運動野に同定した。さらに「自己主体感」に伴う「制御の幻想」の神経回路ダイナミクスの詳細を解明し、非ヒト霊長類や齧歯類とも比較するための「制御の幻想」課題を、研究開発課題 4-2、5-1 と連携してデザインした。また、発声における「自己主体感」の表象の神経基盤を解明するため、鳴きかわしを行っているマーモセット (4 個体) から取得した皮質脳波 (ECoG) データを解析し、自ら発声しているときに聴覚野におけるハイガンマ周波数帯域のパワーが抑制されること、その際にアルファ周波数帯域において前頭葉→側頭葉のグレンジャー因果が大きいことを明らかにした。

自伝的記憶課題の VR コンテンツも研究開発項目 2 との連携により作成した。

(3) モビリティ仮想体験による「喜び」と「志」の MEG 指標の変容

研究開発項目 1、2 との共同で、モビリティ由来の「喜び」と「志」の発見システムを開発するためのヒト MEG 実験用課題を検討した。

課題推進者: 松元まどか(京都大学)

研究開発課題 3-3: メカニズムデザインおよびヒト神経細胞活動による喜びと志の計測

当該年度実施内容:

喜び・志の脳指標生成に関わるどのような情報がどこまで分解されて表現されているかを明らかにするため、てんかん患者からの神経細胞活動記録実験の準備を完了し、データ収集を開始した。

(1) fMRI と単一ユニット記録による脳計測

1. 既存の倫理書類に本研究を加えることについて倫理審査委員会による承認を完了し、既に研究対象となることに同意しているてんかん患者について、術前の構造 MRI データをもとに個々の患者の脳を再構成し、術後の MRI/CT スキャンを術前のスキャンに位置合わせして電極位置を同定した。同一人物で単一ユニット記録と fMRI データを比較するために、まず単一神経細胞活動が実際に記録される場所を調べ、その結果に基づいて、内側側頭葉(扁桃核、海馬、嗅内皮質、海馬傍皮質)、内側前頭皮質 (dACC、pre-SMA)、腹内側前頭前皮質 (vmPFC) に焦点を当て、上記 3 領域からのデータを持つてんかん患者を決定した。fMRI 信号解析の ROI は、上記 3 領域に記録された神経活動領域の同定に基づいて決定する。これらの患者の性別・年齢等の属性を考慮して、2024 年度に募集する対照として健常被験者の条件を決定した。2024 年度以降の実験に用いる行動課題について、2023 年 9 月より、研究開発課題 3-1 (松森嘉織好 PI (玉川大学))、3-2 (松元まどか PI (NCNP→京都大学)) および松元健二 PM との間で議論を開始した。既存の現在進行中のてんかん患者 17 名の脳から単一神経細胞活動を記録し、データ解析を行った。刺激、行動、報酬の組み合わせが文脈によって切り替わる課題において、報酬に基づいた意思決定に関する抽象的な変数がどのように表現されるかを表現幾何学的手法を用いて調べたところ、文脈を推論できているときにのみ、海馬の神経細胞集団が、複数の課題変数を分離された形式で同時に符号化することで抽象的な文脈を表現していることがわかった (国際シンポジウム「福祉と主体性」; Courellis et al. 2023 bioRxiv)。

課題推進者: Ralph Adolphs (California Institute of Technology)

(4) 研究開発項目 4: 個体間比較可能な効用表現の霊長類神経システムの包括的理解

研究開発課題 4-1: 効用の神経活動表現と報酬の主観的価値の神経活動表現の照合

当該年度実施内容:

報酬の価値表現に関わる脳領域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ーを多角的に検討するため、複数の脳領域の集団活動を比較検討するためのポピュレーションデータ解析を検討し、げっ歯類で用いられるのと同様の次元圧縮を用いたデコーディング手法を開発・適用した。また、研究開発項目 3 で得られたヒトの脳活動に関する知見を生物学的に補強するため、行動から報酬の効用を推定する新たな数理モデル構築し、これを検証する行動実験をヒトとサルで行い、種間比較を積極的に進めたところ、両種とも同じモデ

ルで説明されることが明らかになった。さらに、欲求の客観的評価法の確立に向けて、飲水状態を調節した状態で血中グレリン濃度を測定する技術を確立し、摂食後の有意な血中グレリンの低下を確認した。

(1) 効用の神経表現の同定

報酬の価値表現に関わる脳領域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ーが高い推定精度を備えていることを確認し、神経集団活動の次元圧縮による価値表現に関わる主要な活動の同定・可視化を行う解析技術の開発を達成した。これを、ギャンブル課題遂行中のサルの前頭眼窩野および記憶課題遂行中のサルの海馬から記録した神経細胞活動の解析に適用し、それぞれの脳部位の神経細胞活動集団が処理する情報が時々刻々と変化もしくは保持される状態を可視化することに成功した (Chen et al and Yamada, 2023)。また、価値表現におけるバイアスを精度良く説明するプロスペクト理論と、価値の学習に基づく意思決定を精度良く説明する強化学習理論を統合した新たな数理モデル「動的プロスペクト理論」を新規に構築し、ヒトとサルいずれの行動も同じモデルで説明されることを示した (Tymula et al and Yamada, 2023)。これらの成果は、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ために、神経細胞レベルでの脳内効用表現をサルを用いて明らかにする研究が有効であることを示す。

(2) 欲求の客観的評価法の確立

摂食の前後で摂食ホルモン (グレリン) をおよび血液浸透圧をサルで測定し、摂食後の有意な血中グレリンの低下および浸透圧の上昇を確認した。

課題推進者:山田洋(筑波大学)

研究開発課題 4-2: 報酬の主観的価値の神経活動表現の霊長類-齧歯類間比較と個体間比較

当該年度実施内容:

脳内における報酬の主観的価値の神経基盤を明らかにするために、複数種類の報酬を用いた選択課題のトレーニングをサルに行い、行動および神経活動記録を開始した。また、志の基礎となる階層的認知の神経メカニズムを調べるために、階層的な連合学習を必要とするカテゴリ推論課題のトレーニングをサルに行った。

(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

複数種類のジュースに対応する図形から選択を行う自由+強制選択課題を用いてサルのトレーニングを行った。当初のデザインは、モニター中心の注視点を見ている間に、2個の選択刺激が視野周辺に呈示され、一定時間注視を続けた後、注視点の消失をGo信号としてサケットードでの選択を行うというものだったが、注視中に注視点と重なる形で選択刺激が逐次的に呈示された後に周辺視野への選択刺激の呈示と注視点の消失とが同時に生じる、より習得の容易なデザインに修正し、2頭のサルのトレーニングが完了し、セッション間で比較的安定したジュース選好が得られている。加えて、志の基礎となる階層的認知の神経メカニズムを調べるために、階層的な連合学習を必要とするカテゴリ推論課題のトレーニングをサルに行った。当初のデザインは、一方のカテゴリの刺激が左、他方のカテゴリの刺激が右と結びついており、この左右の関係が文脈によって逆転するというものだったが、一方のカテゴリの刺激が報酬と、他方のカテゴリの刺激が無報酬と結びつき、この報酬/無報酬の関係が文脈によって逆転する、より習得の容易なデザインに修正するとともに、比較的長時間(700ms)の標的注視で選択させ、その時間内には選び直しを可としたところ、目的志向的行動

動を自然に引き出すことができるようになり、1セッション中に十数回の文脈切り替えが可能になった。

(2) 多領域同時記録による報酬の主観的価値の神経基盤解明

報酬選択課題のトレーニングが完了したサルに対して、左右半球に多領域からの記録を可能とする記録用チャンバーの設置手術を行い、微小電気刺激を用いた前頭眼野等の脳部位のマッピング作業を進め、行動および神経活動記録を開始した。加えて、階層的認知と向社会性（利他/利己）との関係を明らかにするために、「寄付ゲーム課題」を開発し、ヒト fMRI 実験を行った。利他群と利己群の行動および神経メカニズムの差異を検討した結果、社会的直観システム（モデルフリー）と熟慮システム（モデルベース）に関わる脳領域が異なる仕方で利他群および利己群の慈善的意思決定に関与していることを示唆する結果が得られた（「脳と心のメカニズム 冬のワークショップ 2023」ポスター発表賞）。

課題推進者:小口峰樹(玉川大学)

(5) 研究開発項目 5: 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

研究開発課題 5-1: 神経細胞活動の網羅的計測による報酬の主観的価値表現の神経システム解明

当該年度実施内容:

ヒトの喜びの理解につながる、齧歯類での報酬の主観的価値表現のシステムの理解を目指し、ラット及びマウスの新生仔脳ウイルス注入による外来遺伝子導入を行い、広視野顕微鏡による蛍光計測とニューロピクセル電極による電気生理計測を組み合わせる古典的条件付けの行動計測と脳指標計測を開始した。また、ヒトの志の理解につながる、齧歯類での報酬への欲求のシステムの理解を目指し、オペラント条件付け課題で欲求を計測できる行動課題の開発のため 2 肢選択課題の改良を進めただけでなく、研究開発課題 3-2, 4-2 と連携し、計画を前倒しして「制御の幻想」課題の開発も開始した。

(1) 齧歯類への外来遺伝子導入の検討、顕微鏡技術・電気生理技術を融合した古典的条件付けでの行動計測・脳指標計測の開始

報酬の主観的価値を見るため、音が鳴ると水が出るという古典的条件付け課題を給水制限したラットに行わせ、予測的な舌舐め行動を伴う典型的な古典的条件付けの成立を確認した。ラットおよびマウスの新生仔へのウイルス注入によって、神経活動の蛍光観察を行うためのカルシウムインディケーターターやドーパミン濃度インディケーターターを脳の広範囲に発現させ、広域蛍光観察システムを用いて、報酬刺激に非常に強く反応してカルシウム上昇やドーパミン濃度上昇を起こす皮質領野として大脳皮質後部内側領域を見出した。同じ個体の当該領域にニューロピクセル電極を刺入し、その反応性の確認もした。

(2) ヒトの志の理解につながる、齧歯類での報酬への欲求のシステムの理解を目指した、オペラント条件付けで欲求を計測できる行動課題の開発

欲求のシステムの理解のため、動物モデルとして行動選択課題の確立が必要である。昨年度、ボタンを押せば報酬が出るという簡単なオペラント条件づけ課題実行中の内側前頭前野の神経活動を、ビデオベースの行動と組み合わせる継続的に解析した。頭部固定下での行動選択課題も確立した（学習には 2 か月程度かかる）ので、その報酬や欲求との関連性を調べる。ラット VR システムの開発については、浮き球を用いて行動選択課題を行わせるのは姿勢の保持などに問題があったため、研究開発課題 3-2, 4-2 と行動課題の要件を検討し、頭部固定

下で動物が自身の選択にどれほどの自信を持つことができるかを計測できる「制御の幻想」課題を、上記行動選択課題を改変することにより開発した。

課題推進者：田中康裕（玉川大学）

3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

(1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

進捗状況の把握

○ 代表機関のPM支援体制チーム

当該年度も基本的には同じ体制のPM支援チーム構成となるが、学術研究所の下に配置されていた研究促進室および知的財産本部は、玉川大学の組織改編により、研究所と同格に位置づけられる新組織、研究推進事業部の下に配されることとなった。これに伴い、研究促進室は研究推進課、知的財産本部は知財戦略部と改称され、代表機関における「研究成果の活用」、「産学連携の推進」、「社会実装の促進」、「研究コンプライアンス」の諸機能が強化された。PM支援チームは、玉川大学の研究関連事務を一括して担っている研究推進事業部の研究推進課と知財戦略課、および玉川大学脳科学研究所のリエゾン担当教員である奥村哲教授にPM補佐から構成し、学術的な側面に重きを置いたPM補佐として田中康裕PIを2024年1月より加えた。プロジェクト推進経費を活用し、研究推進課では、本プロジェクト専属での事務支援者1名を週4日勤務で雇用し、資金の公正かつ効率的な運用をサポートして貰っている他、本プロジェクトのホームページ管理を含む広報、学内外の諸部署・機関との連携促進を担当する事務支援者1名を週5日勤務で雇用した。知財戦略課には知財運用会議の運営を担ってもらうことになっている。PM補佐には、当プロジェクトに関連する国内外の学术界・産業界における研究開発動向を踏まえたプロジェクト広報の実務を主に担当して貰っている。

○ 重要事項の連絡・調整(運営会議の実施等)

- ・ 国際シンポジウム「福祉と主体性」—脳科学と社会科学の統合—（2023.9.29-30, 京都大学吉田キャンパス）の運営会議（2023.8.21, 9.15, 25, 28）：（8.21）国際シンポジウムの運営を円滑に進めるため、事前に公式宿泊施設と交通状況をPMおよび運営事務担当で確認するとともに、ライブ配信および録画を依頼したAE企画の担当者も合流して現地会場を視察し、会場の京都大学内で打合せをおこなった。（9.15）PM、運営事務担当、そしてAE企画担当者間で、国際シンポジウム当日の運営等について具体的な相談をおこなった。（9.21）PM、運営事務担当に加えて、当日の運営を手伝ってくれる田中PIと田中研究室のメンバーも一緒に、当日の詳細な動きとスケジュールについて打合せ、確認をおこなった。（9.28）PM、運営事務担当、全PI（2名はオンライン）が公式宿泊施設内の会議室に集合し、公式宿泊施設—現地会場間の移動やスケジュール、そしてシンポジウム自体での手順について、本番前夜の最終打合せをおこなった。
- ・ SlackとBoxを活用：各種マネジメントについてSlackとBoxを日常的に活用し、事務的な連絡やファイル管理について効率化を図っている。

○ 研究開発機関における研究の進捗状況の把握(サイトビジット、課題推進者会議等)

- ・ NCNPサイトビジット（2023.5.15 14:30-17:00）：研究開発項目2と研究開発課題3-2との間の連携のため、項目2で作成作業を行った散策VR環境を、課題3-2が保有する歩行型コ

ントローラーで動作するようにインストール作業をおこない、動作確認するとともに、今後の方向性についても多角的な議論をおこなった。

- **Slack** と **Box** における日常的交流：当プロジェクトは、多様な人びとの福祉と主体性の個人間比較と集約を可能にすることでそれらの最大化を図るための技術を開発するという目標を掲げており、そのために社会科学から最先端工学技術、そして多様なスケールの神経科学まで、非常に広範囲の研究を有機的に繋げる。これら異なる学問分野間では用いられる術語も異なるため、自由闊達な情報交換を頻繁に行うことが必須である。そのような場として、**slack** を活用し、抽象的な学術的概念理解の擦り合わせから具体的な研究手法や事務連絡はもちろん、産業界の動向やイベント情報などの情報交換も含め、プロジェクト内のさまざまなコミュニケーションに最大限活用している。各 **PI** もこの狙いを理解し、積極的なコミュニケーションに努めている。

また、さまざまなファイルを、プロジェクト内で自由に共有したり、必要に応じて外部に発信したりするために、セキュリティ管理の整った **Box** を導入し、マニュアルを作成・共有して活用している。**Box** の特定フォルダや特定ファイルへのリンクを **Slack** で共有し、**Slack** と **Box** の両方を有効活用することで、プロジェクトマネジメントの迅速化・有効化を図っている。

- 外部評価委員の依頼：2022年度の年次評価において、課題推進者が **PM** と同じ研究機関に所属もしくは **PM** の親族であるなどの利益相反を伴う場合に該当する研究開発課題の評価は、**PM** 補佐が代替したが、2023年度からは外部評価委員に依頼するよう要請があった。その直後に2023年度の外部評価委員を花川隆教授（神経科学、京都大学大学院医学研究科）と隠岐さや香教授（科学史、東京大学大学院教育学研究科）に公式に依頼し、就任して頂いた。外部評価委員には2023年9月に開催した上記の国際シンポジウムにオンサイトないしオンラインでご参加頂き、各課題推進者の研究内容と進捗状況についても把握して頂き、玉川大学で動物実験をおこなっている課題 4-1、5-1 の評価を花川委員に、玉川大学もしくは **NCNP** でヒトを用いた実験をおこなっている課題 2-1, 3-1, 3-2 の評価を隠岐委員におこなって頂いた。

研究開発プロジェクトの展開

○ 研究開発体制における競争と協働

- **Slack** と **Box** の活用：当プロジェクトは、多様な人びとの福祉と主体性の個人間比較と集約を可能にすることでそれらの最大化を図るための技術を開発するという目標を掲げており、そのために社会科学から最先端工学技術、そして多様なスケールの神経科学まで、非常に広範囲の研究を有機的に繋げる。これが可能な視野の広い研究を進めている研究者を課題推進者 (**PI**) として集めた。これら異なる学問分野間では用いられる術語も異なるため、自由闊達な情報交換を頻繁に行うことが必須である。そのような場として、産業界でも学术界でも急速に活用が広まっているコミュニケーションツール (**slack**) を、プロジェクト発足と同時に導入、利用開始した。現在まで、抽象的な学術的概念理解の擦り合わせから具体的な研究手法や事務連絡はもちろん、産業界の動向やイベント情報などの情報交換も含め、プロジェクト内のさまざまなコミュニケーションに最大限活用している。各 **PI** もこの狙いを理解し、積極的なコミュニケーションに努めてくれている。
- プロジェクト会議 (2023.8.31 10:00-18:00, 東京大学弥生キャンパス)：国内研究機関から

の 8 名の PI 全員および PM が集結し、2023 年度前半の進捗状況の確認、情報共有、課題間連携促進、および今後の方向性に関する議論をおこなった。特に、研究開発項目 1（社会科学）と研究開発項目 3-5（脳科学）とを、研究開発項目 2（VR）を媒介にしながら統合していく際の、解析を意識した実験デザインについて議論した。

- 課題間連携のためのプロジェクト会議（2024.1.16-17, Zoom）：各 PI が進めてきた研究成果を互いに共有しつつ、それらに基づいて課題間連携を強化することでプロジェクト全体の創造性を高めるためのプロジェクト会議を 2 日間にわたって開催し、深く議論した。その結果、研究開発項目 3-4-5 連携による複数の「制御の幻想」実験を、それまでの「自己主体感」実験の発展形と位置づけて実施し、項目 3 で準備を進めている「志」の基盤となる「二階の欲求」実験の神経科学的基礎を固めることとなった。また、8 月のプロジェクト会議で決めた方向性のさらなる具体化として、研究開発項目 1-2-3 連携による、喜びと志の社会科学的ヴィネット実験を、VR 技術も援用したヒト脳計測実験と繋いでいくこととなった。こうした連携は、プロジェクト全体の新たな展開を生み出すとともに、各研究開発課題の部分的な遅れが全体を律速することになるため競争と協働を促すことにもなる。
- プロジェクト内ワークショップの開催（2024.2.7 13:00-15:00、玉川大学&Zoom のハイブリッド）：当プロジェクト全体を貫く「脳指標の個人間比較」技術について、概念から具体的な手法に至るまで項目間で創造的な議論の積み上げが必要な段階に至ったとの認識から、田中 PI（兼 PM 補佐）と松森 PI が中心となって「個人間比較ワークショップ」を継続的に開催することを決めた。その第 1 回を開催し、PM と PIs だけでなく、課題参加者の研究員や大学院生も加わり、まずは「効用の個人間比較」の意味と重要性、その脳表象空間の可能性について議論、理解の拡大を図った。
- OPM-MEG 設置検討・準備：2022 年度年次評価における「菊知プロジェクトと連携し、先進的なデバイスの活用により世界をリードする MEG 研究を進めることの示唆を受け、代表的な先進的 MEG である、光ポンピング原子磁力計（Optically pumped magnetometers, OPM）を用いた MEG (OPM-MEG) 研究の現状と未来についての情報交換の場として「第 1 回 MEG の会」を開催した（2023.4.25 於）金沢大学）。生態学的に妥当な条件でのヒト脳機能計測に OPM-MEG を活用することが、心の安らぎと活力を増大することによって精神的に豊かで躍動的な社会の実現を目指す MS9 において重要であるという認識を広めた。

その後、菊知 PM が事務局の一端を担って開催された国際学会 ISACM（2023.5.24-27, Osaka）に、MEG を用いた研究開発課題 3-2 の PI および PM が参加し、MEG 研究の最先端を把握した。続く日程で開催された MS9 リトリート（2023.5.27-29, 葉山）における議論を通じて、「生態学的に妥当な条件」を整える際に重要な、動作中の脳機能計測を、OPM-MEG で世界を初めて実現して注目されている Nottingham University の Brookes 研究室に視察に行くことが西田 SPD および熊谷 PD より提案され、Brookes と交流のあった松元 PI が中心となって Nottingham 視察の準備を進め、MS9 側からのデモ実験課題プログラムも作成、送付したうえで実施した（2023.7.10-12；当プロジェクトから松元 PM、松元 PI、廣永研究員、菊知プロジェクトから森瀬 PI、三坂研究員、筒井プロジェクトから北城 PI、岡崎助教が参加）。現場でしか得られない多くの情報を得て、その報告会（2023.8.9）を受けて、OPM-MEG とその重要性の更なる周知および導入した際の利活用の促進を図るため、

「第2回 MEG の会」を開催（2023.9.11 Zoom）した。続いて、具体的な設置準備を進めるための MS9 OPM-MEG 設置準備委員会を発足、第1回委員会を開催した（委員長：松元健二 PM；委員：菊知充 PM、内匠透 PM、筒井健一郎 PM、細田千尋 PM、山脇成人 PM、北城圭一 PI、松元まどか PI、明和政子 PI、森瀬博史 PI；出席者：熊谷誠慈 PD、銅谷賢治 AD、吉岡資郎 JST）（2023.10.21 Zoom）。その後、適宜議論を重ねつつ、「OPM-MEG 設置場所選定について」の合意文書作成（2023.10.28）、「OPM-MEG ニーズ調査およびその結果のとりまとめ」（2024.2.9）、「OPM-MEG を用いた研究開発課題（全体取りまとめ）」作成（2024.3.23）を進めた。

- ・ プロジェクト間連携：内匠プロジェクト（代表）、筒井プロジェクトと連携して、「種を超えた社会的 VR 環境の構築」の準備を進めた。当プロジェクトではヒトの社会的 VR を担当し、齧歯類の社会的 VR を担当する内匠プロジェクト、サル（サルの社会的 VR を担当する筒井プロジェクト）との相補的な関係構築によるシナジー効果を狙い、本格化に向けて進行中であり、第1回_連携プロジェクト「種を超えた社会的 VR 環境の構築」ワークショップを開催し（2024.3.4 神戸大学）、齧歯類の VR システムの現状を把握するとともに、種を超えた社会的 VR の方向性について議論・合意を形成した。

- 研究開発の進捗、成果を踏まえた時機を逸しない研究開発プロジェクトの大幅な方向転換や研究開発課題の廃止・追加

契約が遅れていた研究開発課題 3-3「メカニズムデザインおよびヒト神経細胞活動による喜びと志の計測」（課題推進者：Ralph Adolphs）が当該年度初めより開始した。

当プロジェクトで開発を目指す Well-being 指標として、「脳指標“喜び”」と「脳指標“志”」、およびそれらを社会的に集約した指標、「社会における福祉」と「社会における主体性」を掲げた。これを実現、社会実装に繋げるためには、多様な人びとの脳指標を大量に取得する方向だけでなく、近年、急速に研究・開発が進んでいる脳デジタルツインの開発も進める必要があることが判った。この旨を PD、SPD にプロジェクト進捗会議（2023.9.15）とその後のフォローアップ説明会（2023.10.12, 17）、そして 2023 年度年次報告会（2023.11.27）で説明し、「喜びと志をシミュレートする高精度パーソナル脳デジタルツインの開発」という新規研究開発課題の追加を求めた。しかし、必要性やこれまでの研究成果との関連性が不明確ということで追加には至らなかった。

- 研究開発プログラム計画の実現のための研究開発プロジェクト全体の再構築

研究開発プログラム計画の実現のための課題間連携の強化（「課題間連携のためのプロジェクト会議」参照）やそれに伴う新たなマイルストーンの追加はあったが、「プロジェクト全体の再構築」までは要しなかった。

- 世界中から研究者の英知を結集するための国際連携に関する取組み

- ・ 研究開発課題 3-3 の追加（2023.4.1～）：当プロジェクトでは、人間の「幸せ」に関わる脳指標をヒト脳機能イメージングにより取得するとともに、それを脳情報の本体である神経活動により科学的に基礎づける。そのためには、ヒトの神経細胞活動計測も必要となるが、このデータ取得は国内では極めて困難である。そこで、ヒト神経細胞活動計測により脳内の価値表現や意思決定の神経メカニズムの研究で世界をリードしている Adolphs 教授（米カリフォルニア工科大学（Caltech））に、当プロジェクトの PI の 1 人として参加して貰う形で国際連携を、2023 年 4 月より実現した。

- ・ NCNP 国際セミナー (2023.8.28 13:00-17:00) : 喜びや志にアプローチする上で、海馬や前頭前野を含む脳内回路が自己形成を支えるメカニズムを理解することは非常に重要である。このセミナーでは、課題 3-2 の松元 PI の所属する NCNP の神経研究所との共催で、五十嵐啓博士 (カリフォルニア大学アーバイン校・准教授) を招き、「嗅内皮質での記憶形成と、そのアルツハイマー病における破綻」というタイトルで、齧歯類において嗅内皮質や海馬、前頭前野がどのようなメカニズムで自己の位置や来歴を記憶に刻んでいくのかについての詳細でインパクトの大きい研究成果を話して貰い、活発な議論を交わした。
- ・ 国際シンポジウム「福祉と主体性」—脳科学と社会科学の統合—(International Symposium for Well-being and Agency -Integration of Brain Science and Social Science-) の開催 (2023.9.29-30) : 当プロジェクトに関わるさまざまな学術研究で世界をリードしている研究者 8 名を招聘し、当プロジェクトの全ての課題推進者 9 名と合わせて、8 セッションのプログラムでそれぞれの研究の背景や現状、そしてヴィジョンなどを発表し、多領域にわたる議論を繰り広げた。その様子は会場 (京都大学国際科学イノベーション棟) だけでなく、オンラインでもライブ配信し視聴可能とし、当プロジェクトの国際的認知度を高めるとともに国際的展開を促すきっかけとなった。
- ・ 国際シンポジウム招待講演者の代表機関ラボツアー (2023.10.2) : 上記国際シンポジウムの招待講演者をプロジェクト代表機関である玉川大学の脳科学研究所に招いてラボツアーを実施、更なる交流を深めた。
- ・ Neuroeconomics symposium “How does our valuation system operate in the economic sense?” の開催 (2023.10.3) : 2 名の招待講演者はさらに、研究開発課題 4-1 の課題推進者 (山田洋) の研究開発機関、筑波大学に移動して講演を行い、連携を強化した (<https://sites.google.com/view/neuroecon/>ホーム)。
- 研究開発の加速や社会実装に向けた ELSI/数理科学等に関する取組み
 - ・ MS9 ELSI ワーキンググループへの貢献 : 倫理学および経済学を専門とする後藤 PI が参加し、発達障害教育支援の実践と、心の哲学、正義論・福祉国家論を結び付けることを提案するなど、議論に貢献している。
 - ・ 日本神経科学学会産学連携シンポジウム「信頼される脳科学技術による社会への貢献を考える」を共催 (2023.8.2) : 第 46 回日本神経科学大会の産学連携企画として日本神経科学学会と共催した。昨今のブレインテックのビジネス展開の隆盛は、脳への介入技術の飛躍的な進展に繋がると予想されるが、この流れをさらに加速するであろう「脳オルガノイド」「Neuromodulation」、そして「脳のデジタルツイン」を第一線で研究している研究者に、それぞれの研究分野の現在と未来について紹介して頂いた。さらに、これらの技術が国民に信頼される形で社会に受け容れられるために必要な倫理的課題についても、脳神経倫理を専門とする第一線の研究者に論点を提供して頂き、脳科学技術の潜在的リスクを脳科学の専門家が積極的に採り上げて一般市民も含めて議論することの倫理的な重要性 (道徳的責任と役割責任) を明示した (<https://wellbeing-agency.jp/neuro2023-産学連携企画シンポジウム「信頼される脳科学」/>)。

(2) 研究成果の展開

- 研究開発プロジェクトにおける知財戦略等
 - 心の神経基盤やその介入に関わる部分があるため、その成果は原則として Open Access 可能

な学術論文やその解説論文として公開していく計画であり、当該年度に出版した査読付き原著論文はいずれも **Open Access** とした。

○ 技術動向調査、市場調査等

本研究開発プロジェクトの主な出口として、スマートシティにおけるモビリティ政策の新たな評価指標の提案を考えているため、これに関連した最新の技術動向や市場調査を、PM が中心となり、関連の課題推進者と協力して実施する。また、喜びと志の発見を促す VR システムの開発を進めるため、最新の VR 関連技術についての調査も PM が中心となり、関連の課題推進者と協力して実施する必要がある。また、こうしたシステムを神経科学研究にも導入することで、喜びと志の脳内メカニズムの解明を因果性を担保しながら進めるということは、脳への介入技術にも繋がるため、その産業応用を含めた新技術展開の倫理的課題についても深く正しい認識を獲得し、広める必要がある。そこで当該年度は第46回日本神経科学大会における産学連携シンポジウム「信頼される脳科学技術による社会への貢献を考える」を日本神経科学学会産学連携推進委員会と共催し、脳のデジタルツインや脳オルガノイド、そして **Neuromodulation** といった最先端の脳操作技術についての現状と未来、そしてそれを受容できる条件についての議論を主導、周知した。

○ 事業化戦略、グローバル展開戦略等の立案等

本研究開発プロジェクトは、スマートシティにおけるモビリティ政策の新たな評価指標の提案を主な目標として設定しているが、着目する福祉と主体性は、あらゆる政策に係る人びとの満足度の指標として、汎用性が高い。したがって、スマートシティのモビリティ政策の評価指標としての有用性が確認されたのちには、他の政策の評価指標の提案へと広く展開していく。そのために今年度は、全国各地で展開する 284 ものスマートシティ・プロジェクトをまずは特定した。

○ 技術移転先、将来的な顧客開拓に向けた対応（試作品頒布、実機デモや展示会への出展等）

本研究開発プロジェクトによる開発技術を社会実装するにあたり、企業等との知財の移転が必要と判断された場合、当プロジェクトの実施規約に則り、JST の承認のもと適切な移転手続きを行う。また、本研究開発プロジェクトでは、人びとが福祉や主体性を発見するためのシステムを応用したアプリケーションソフトの開発も想定している。この有用性を確認することは、その原型である発見システム技術の信頼性を高めることになる。当該年度は、主に NTT データ社が、モビリティ・データや脳のデジタルツインをどのように活用しようとしているかについて調査を進め、認知症の早期検出による国民の健康維持や、アンケートに依らないより正確なマーケティング手法開発に取り組んでいることが分かった。

(3) 広報、アウトリーチ

○ シンポジウム等の開催による国民との対話

- ・ 日本神経科学学会産学連携シンポジウム「信頼される脳科学技術による社会への貢献を考える」を公開・アーカイブ化：ハイブリッド形式で一般市民にもライブ配信もしながら開催し、現地参加者約 100 名、オンライン参加者約 80 名を得た。また、脳科学技術の潜在的リスクを脳科学の専門家が積極的に採り上げて一般市民も含めて議論することの倫理的な重要性（道徳的責任と役割責任）を明示した当シンポジウムを一般市民にも広く公開、いつでも参照して議論を深められる機会とするためにアーカイブ化した。

(https://www.youtube.com/playlist?list=PLjgLIRZPRk0LCAJr6pVcV3Ok1_qqC0GkE)

○ ホームページ、リーフレット等による積極的な広報、アウトリーチ活動

- ・ プロジェクトホームページを通じた広報：2023年3月に開設したプロジェクトのHPを通じて、プロジェクトの活動や成果に関する最新情報を発信し続けている (<https://wellbeing-agency.jp>)。
- ・ SNSを通じた広報：プロジェクトのアカウントを活用し、成果や活動内容について情報発信を続けている。

facebook: <https://www.facebook.com/ms9.matsumoto>

X (旧 twitter): https://x.com/MS9_Matsumoto

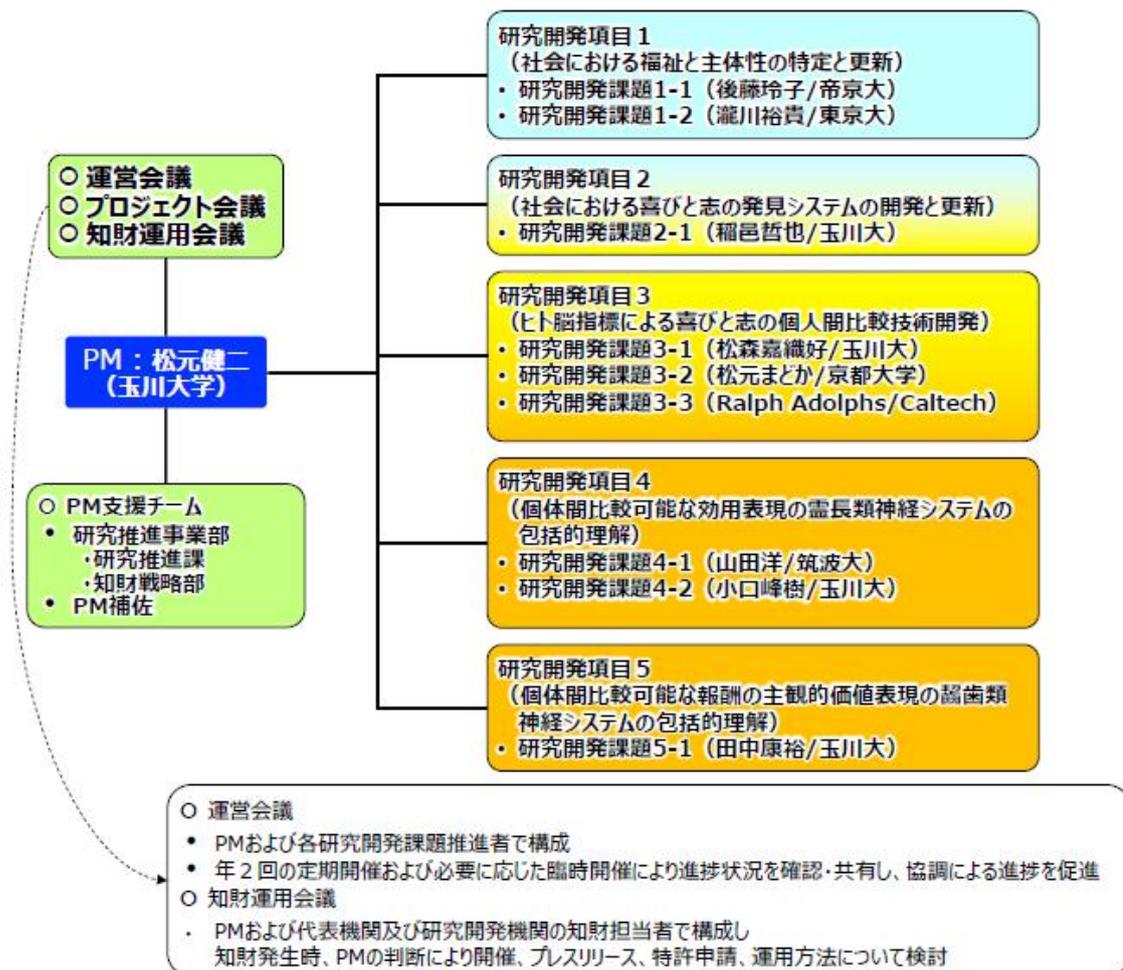
Instagram: https://www.instagram.com/ms9_matsumoto/

- ・ ニュースレターによる広報：ニュースレターvol.2を、日本語版 (<https://wellbeing-agency.jp/site/wp-content/uploads/2024/03/newsletter2-jp.pdf>) および英語版 (<https://wellbeing-agency.jp/site/wp-content/uploads/2024/03/newsletter2-en.pdf>) で発行・公開し、国際シンポジウムの内容や主な研究成果等についての周知を図った。

(4) データマネジメントに関する取り組み

本研究開発プロジェクトは、各研究開発項目が有機的に連携することによりはじめて研究が進展する相互補完的な関係にある。また、複数の研究開発課題が含まれる研究開発項目においても、各課題が連携することによりはじめて研究が進展する相互補完的な関係にある。したがって、各研究開発課題において取得されたデータは、連携する項目間・課題間で積極的に共有することにより、研究開発プロジェクト全体の進展を促す。ヒトを対象とした研究については、研究代表者および共同研究者が当該研究に関わる研究機関においてそれぞれ倫理申請し、その承認内容に従って、連携の必要に応じて、プロジェクト内で、個人情報を除いたデータのみを共有する体制をとっている。ヒトを対象とした研究開発（項目1～3）では、実験参加者の多くの個人情報を含むため、インターネットから切り離された記録媒体に保存し厳重に管理する、もしくは当該年度開始と共に導入したセキュリティ対策万全な有料サービス（box business plus プラン）を活用することで、個人情報保護には最大限のセキュリティ対策を施している。

4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



5. 当該年度の成果データ集計

知的財産権件数				
	特許		その他産業財産権	
	国内	国際(PCT含む)	国内	国際
未登録件数	0	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	0	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	9	12	21
口頭発表	4	5	9
ポスター発表	12	6	18
合計	25	23	48

原著論文数(※proceedingsを含む)			
	国内	国際	総数
件数	1	5	6
(うち、査読有)	1	5	6

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	0	0	0
書籍	4	1	5
その他	0	0	0
合計	4	1	5

受賞件数		
国内	国際	総数
1	1	2

プレスリリース件数
2

報道件数
8

ワークショップ等、アウトリーチ件数
11