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

2023年度までの進捗状況

1. 概要

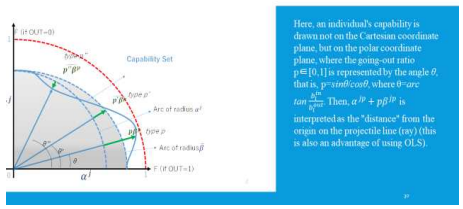
本課題の役割は、事実解明的研究（調査・実験）を導くプレ理論を構想することです。福祉・主体性にかかわるリストと定式化理論を構築し、「シティ・ケイパビリティ」という概念の定義を行います（課題 1-1）。また、国立国会図書館の全文デジタルデータを活用し、福祉・主体性概念に関わるデータの解析を進めます（課題１－２）。

本年度は、（１）主要文献の解読を基に、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分析を行いました。

2. これまでの主な成果

（１）センのオリジナルな定式化を拡張し、「グループ」（資源と利用能力が同様な個々人の集まり）と「タイプ（独立かつ排反的行動の組合せの違い；行動特性）」という 2 つの概念を用いて、一定のグループにおいて、タイプの異なる個々人の達成機能を集積することにより、（代表的）個人のケイパビリティを近似する方法を提示しました。

Figure 2: Type-dependent Definition of Capability Set



タイプ依存的ケイパビリティ集合（概念図）

（２）先行研究を比較精査した結果、行為や状況との対応関係が弱く抽象度の高いリストは、指令的な（prescriptive：処方箋的な）性格を帯びること、善さに関する暗黙の価値前提が回答に影響を与える可能性が示唆されました。そこで、本研究では、外出/在宅活動という体験と、遭遇した困難や実現した諸機能を紐づけ、個人は外出比率の選択を通して一定の機能値を実現するモデルを提示しました。

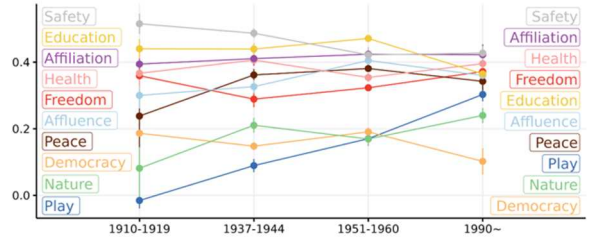
安心	おおむね**安心**してくつろいでいられた
得	**金銭**などの負担が大きすぎなかった
	外出で**したかったこと**がそこそこ実現できた
	身体・精神などの**健康に良い**感じがした
	自分で**コントロール**している感覚を保てた
交流・喜び	経験や視野を広げる適度な**刺激**があった
	予期せぬ**出会い**や発見があった（人・景色・飾りなど）
	気晴らしができた・**楽しんだ**・笑った
	周囲の人と会話や**交流**ができた
自分らしさ	ふだんの**自分らしい感じ**でいられた

4 項目 10 機能リスト

環境	**段差**がきつかった（階段、車の乗り降り、しきいなど）
	設備が利用しづらかった（扉、エレベーター、トイレ、エアコンなど）
	手荷物や**器具**が運びづらかった
	おいしく食事をとったり、**ひと息入れ**づらかった
対人	ちょっとした**会話**がしづらかった
	大事な案内や**説明**がわかりづらかった
	人の**まなざし**や態度、言葉づかいが気にかかった
	まわりの人の理解や**手助け**を受けづらかった
個体	急な疲れや**痛み**がでて、少しあわてた
	予定外の**出費**をしてしまった
	予定外の**時間**をつかってしまった
	自分の**こころ**やからだの調整がむずかしかった

3 項目 12 利用能力リスト

（３）福祉概念に関する計算テキスト分析の実施
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）をデータとして、福祉・主体性の主要軸を特定するために計算テキスト分析の方法によって分析しました。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 Affluence, Education, Health, Safety, Affiliation, Play, Nature, Freedom, Peace, Democracy の 11 の概念次元を、ウェルビーングの仮説的理論構造として特定しました。その上で、これら概念が実際に人々のウェルビー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、文化の幾何学アプローチを応用した単語埋め込みモデルによる分析によって検討しました。この成果は査読付き国際会議で発表しました。



主観的ウェルビーングと他のウェルビーング次元との関連とその歴史的変化

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

2023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。

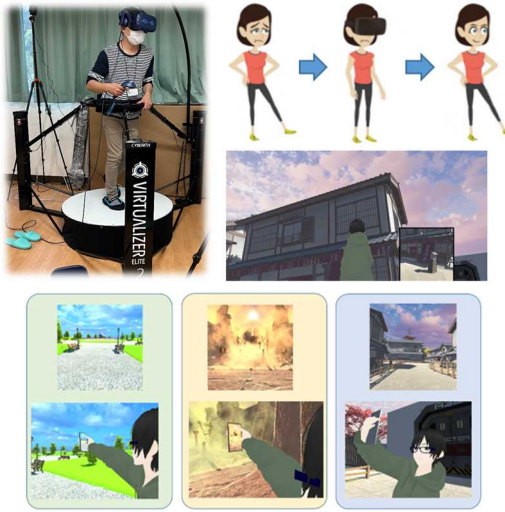


図 1:構築した VR 体験の呈示と行動記録システム

2. 2023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。そのための実験基盤として、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、を統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。モビリティ体験が主体性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、自分が撮影した写真なのか否かを判定するタスクを通じて、VR 体験の主体的を評価するシステム基盤を構築しました。

社会学との連携による VR コンテンツの作成

社会学におけるケイパビリティーアプローチと呼ばれる研究手法では、喜びや志に影響を与える要因を、日常生活での典型的な「できる·できない」の要素から明らかにしようとしています。研究開発課題 1 のメンバーと連携し、その「できる・できない」の経験を VR 空間でリアルに体感することにより、ユーザの喜びと志への影響を定量的に分析する基盤を整えました。具体的には、図 2 に示すように「すれ違う相手と社交的な挨拶をする vs 相手から無視され素通りされる」というような条件の体験を比較することで、ユーザー個人それぞれが持っている、喜びと志を歓喜する要因を調査することが可能になります。

図 2:　左：他者から無視される条件
　　右：社会的コミュニケーションを取る条件

3. 今後の展開

今後は、VR 環境内での社会的行動が脳活動に与える影響をより深く解明するために、VR 空間の中で様々な体験をする実験系を人だけではなく、サルやラットなどへ展開することを検討しています。プロジェクト間連携課題として、松元 PM、内匠 PM、筒井 PM、の協力の下、ラットやサルでの社会的行動実験を進める予定です。相手の行動や見た目が通常とは異なる状況を VR 環境で再現し、その際の脳活動を計測することで、喜びや志を相当する脳活動領域や、それらを評価する指標を明確にします。最終的にその成果を用いて、ヒトにおける喜びと志の発見と支援を行うための方法論を確立する予定です。

こ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。

（稲邑 哲也：玉川大学）

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

2023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「幸せ」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（アローの不可能性定理; Arrow, 1963）。

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。

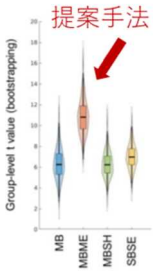
豊かな幸せ（「喜び」や「志」）は、自由に移動（＝モビリティ）したり、自由に選択したりすることが保障されることで生まれます。そのような空間にヒトは自身の「居場所」を感じ、精神的、社会的に良好な状態（一般にウェルビーイングと表現される）になるため、規範経済学では、「本人が価値をおく理由のある生を生きられること」、すなわち個々人の実質的な自由を保証することを社会の目標に据えています（Sen, 1999）。

本研究開発項目では、「幸せ」の個人レベルでの向上だけでなく、その社会レベルでの集約や平等性の実現を目指し、個人間で比較可能な「幸せ」の指標を脳活動から測定する革新的技術の開発を行なっています。**本研究開発項目の達成により、個々人の実感としての「喜び」や「志」の脳指標を解明する詳細な神経科学研究の知見を、スマートシティにおけるモビリティ政策の評価など、実社会の活動へと橋渡し、脳指標により「ウェルビーイング」を高める社会技術の創出に貢献します。**

2. これまでの主な成果

（１）「喜び」の強さの脳指標による定量化

●個人間比較に不可欠な頭蓋構造による fMRI ノイズの軽減法の効果を調べる実験をおこない、提案手法である Multi-band multi-echo プロトコルが既存のものよりもノイズを軽減できることが明らかになりました。



●効用の脳内表現の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、個人間で「貨幣の限界効用」が所得水準に応じて逓減していることを定量的に示すデータが得られました。

●効用がヒトの脳内で計算される動的プロセスについて、MEG（脳磁図）を用いて高時間分解能で調べました。報酬予測誤差のデコーディングと社会経済的地位（socio-economic status）についての関係性を調べ、MEG 信号に基づいて「喜び」の脳指標による個人間比較が可能であるか検討しました。

（２）「志」の強さの脳指標による定量化

●「喜び」と「志」の基礎と考えられる効用の２概念（経験効用と決定効用）の関係を調べて、報酬のもたらす「喜び」（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する結果が得られました。

●「志」の基礎となる、自身の行為およびその結果を自分で制御できている感覚（「自己主体感」）について、その脳内動的プロセスを MEG により高時間分解能で調べました。強化学習の一種である Q 学習を用いて、行為結果の予測誤差およびその期待の推移を算出し、脳活動データを用いてデコーディングを行いました。

●「自己主体感」の神経回路動作を詳細に明らかにするために、マーモセットを用いて、自らが発声する際の皮質脳波（ECoG）を調べました。前頭葉ー側頭葉の機能的結合性に着目して解析を行い、発声時に特定の周波数の帯域においてトップダウン方向（前頭葉→側頭葉）の因果性を観察しました。

●「志」の原動力となる、「自伝的記憶」について、その脳内動的プロセスを MEG により調べるため、バーチャルリアリティ（VR）空間を活用した、モビリティ仮想体験のための実験系を構築しました。

●「志」を支える抽象的な文脈を海馬の神経細胞集団が表現していることを、てんかん患者の単一神経細胞活動記録から明らかにしました。

3. 今後の展開

多様な人びとの「喜び」と「志」を定量化、社会的に集約することに成功すれば、OECD や国際連合が目指す「GDP を補完する」（“Beyond GDP”）有力な幸福度指標になることが期待されます。今後は、現代社会における「幸せ」に重要な「豊かな環境」と「自由な行動」とは何かを科学的に特定し、それらを再現した豊かな実験環境を VR 技術などを用いて適切に制御しつつ、脳活動を計測し、さまざまなアプローチで調べることで正当性を担保した開発を進めていきます。

（松森嘉織好: 玉川大学、松元 まどか: 京都大学、Ralph Adolphs: California Institute of Technology）

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

2023年度までの進捗状況

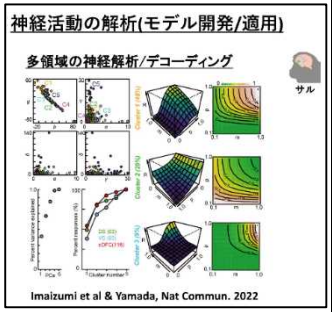
1. 概要

喜びと志を脳が生み出す仕組みの理解を目指し、研究成果をあげてきました。具体的には、ギャンブルの大当たりを経験すると、ヒトもサルもともに、また当たるかもと感じてしまう良く似た行動特徴を持つ事を報告しました。一流国際誌にこれらの成果を発表することにより、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（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行動課題を開発し、訓練の完了したサルから神経活動記録を開始しました。また、階層的認知と社会的選好のインタラクションをヒトで調べる fMRI 実験を行い、利己的な人と利他的な人が異なる脳の使い方をしていることを明らかにしました。（課題 4-2）。

2. これまでの主な成果

（1）効用の神経表現の同定における研究開発

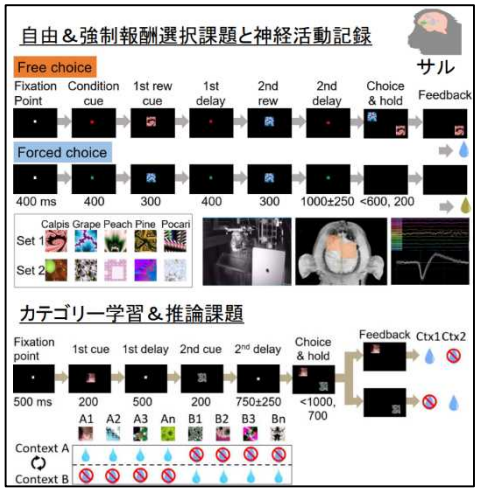
報酬の価値表現に関わる脳領域の個々の神経細胞が、期待主観価値を表現する際に持つパラメーターを推定し、最適なモデルを選択しました。結果を論文としてまとめ、報告しました（Imaizumi Y, et al. and Yamada H. Nat Commun. 2022, 13(1):5855）（課題 4-1）。



（2）行動から推定される効用のサル－ヒトの種間比較に向けた研究開発

サルとヒトで良く似た行動測定実験を行うことで、直接的にサルとヒトのギャンブル行動を比較し、両者の価値判断が良く似ている事を示しました(Tymula A et al, and Yamada H. Sci Adv. 2023, 9(20):eade7972.)（課題 4-1）。

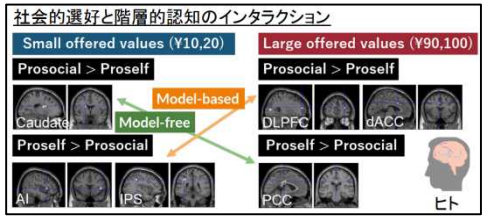
（3）報酬の主観的価値の脳指標解明のための研究開発



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自由＆強制選択課題を開発・改良し、2 頭のサルへの訓練を行い、訓練の完了したサルから神経活動記録を開始しました。

（4）欲求の階層的表現の脳指標解明のため研究開発

また、階層的認知の神経基盤を調べるためのカテゴリー推論課題を開発・改良し、2 頭のサルへの訓練を進めています。加えて、階層的認知と社会的選好のインタラクション



を調べるため、寄付ゲーム課題を開発して fMRI 実験を行い、利他群と利己群では対照的な行動傾向および神経活動表現が見られることを明らかにしました。この結果を国際シンポジウムで発表し、発表賞を受賞しました（Excellent poster award,「脳と心のメカニズム」第 23 回冬のワークショップ）。（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。今後、志の元となる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進めます。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げます。（課題 4-1）

本研究開発課題では、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＆強制報酬選択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**します。また、ヒトの志の基礎となる階層的認知を調べるカテゴリー推論課題での神経活動記録も行います。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）

国立研究開発法人 科学技術振興機構 Japan Science and Technology Agency

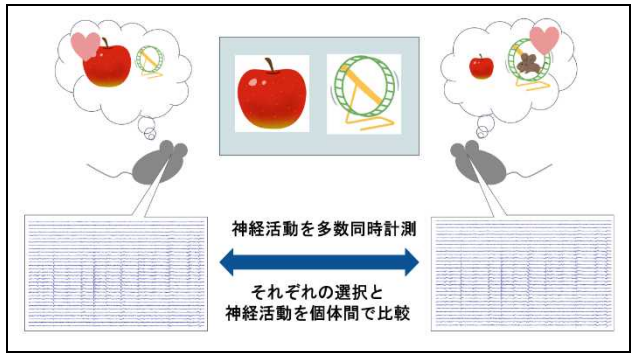
研究開発項目

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

2023年度までの進捗状況

1. 概要

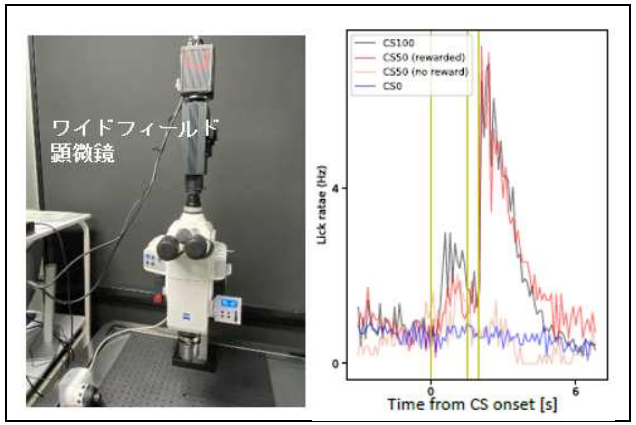
広範囲を観察できる顕微鏡や集積度の高い特殊な電極を使って、脳の活動を測定しています。顕微鏡による観察では、ラットやマウスの脳に特別なウイルスベクターを注入して、蛍光物質を発現させることで、脳の中で起きている現象を調べています。そうすることで、動物たちがどんな報酬や欲求を感じているのかを理解しようとしています。また、人間の意思決定の理解につながるような行動課題の開発を進めています。



2. これまでの主な成果

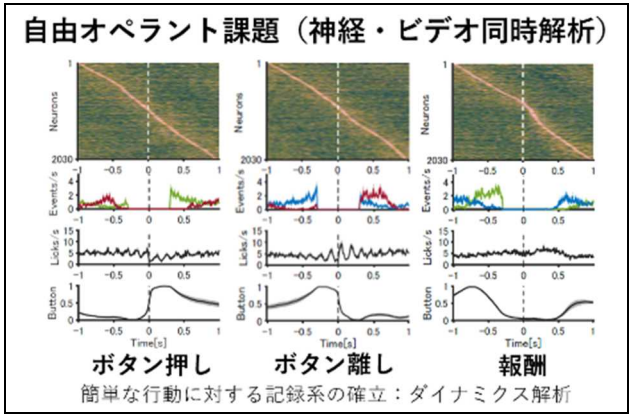
（１）齧歯類への外来遺伝子導入の検討、顕微鏡技術・電気生理技術を融合した古典的条件付けでの行動計測・脳指標計測の開始

報酬の主観的な価値を調べるための研究で、古典的条件付けという実験を行いました。すなわち、音を鳴らすと水が出るような課題をラットに与えました。すると、ラットは音に対して予測的に舐める行動を示すようになりました。その後、ラットの脳の活動を見るために、特殊なウイルスベクターを使って脳の中で特定の物質が光るようにしました。そして、広い範囲を観察できる特殊な顕微鏡を使って、脳の中で報酬に反応する部位を見つけました。その後、同じ部位に集積度の高い電極を使って神経活動を調べると、顕微鏡による観察と同じような反応を示す神経細胞が見つかりました。広範囲な観察と特定の領域の解析を同じ動物で行い、脳の中での活動を詳しく調べることができました。これらについてより詳しく解析していく予定です。



（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的理解を目指した、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

ヒトの研究と同様の枠組みで欲求の仕組みを理解するためには、動物モデルで行動選択の課題を確立する必要があります。昨年、動物がボタンを１回押すと報酬が得られるという単純な課題を行いながら、内側前頭前野の神経活動を分析しました。２０２３年度に、ビデオベースの行動解析と組み合わせた解析を進めることができました。また、行動選択課題については、従来までにも学習をさせることはできていましたが、２０２３年度に、訓練法を改善してより短い期間で学習を進めることができるようになりました。このような改善により、さらに難しい課題を組むことができ、ヒトで行われるような課題に近づけることができます。この課題を使って、再学習時の神経活動の変化と報酬や欲求との関係を調べます。



3. 今後の展開

報酬の主観的価値の脳内表現をラット脳において高密度・高解像度に計測し検討します。多数の個体に対して、報酬の価値を変化させるような処置を加え、報酬に対する脳の活動の変化を見ます。また、欲求についての考察を深める上で役立つような課題を構築します。個体間で価値に関する神経表現を比較するための理論的検討を進めます。

（田中康裕：玉川大学）