

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

## 2024年度までの進捗状況

### 1. 概要

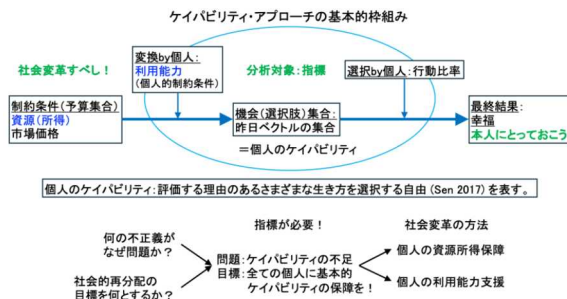
本課題の役割は、事実解明的研究（調査・実験）を導くプレ理論を構想することです。福祉・主体性にかかわるリストと定式化理論を構築し、「シティ・ケイパビリティ」の測定方法を開発します（課題1-1）。また、国立国会図書館の全文デジタルデータを活用し、福祉・主体性概念に関わるデータの解析を進めます（課題1-2）。

本年度は（1）個人のケイパビリティを推定する手続き（規範的公理・統計的基準）をプログラム化し、福祉交通政策に関する住民の合意形成、ならびに、日本とバングラデシュの視覚障害者調査に応用しました。（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を行いました。

### 2. これまでの主な成果

#### （1）ケイパビリティ推定手続きの概要

グループ j に属する個人の達成関数値を T 期間にわたって観察し、個人間の比較可能性や自由・平等の規範といった評価基準を満たす集計ルールに基づいて統合することにより、グループ j のケイパビリティ、すなわち特定のアイデンティティを持つ個人のケイパビリティを特定する。



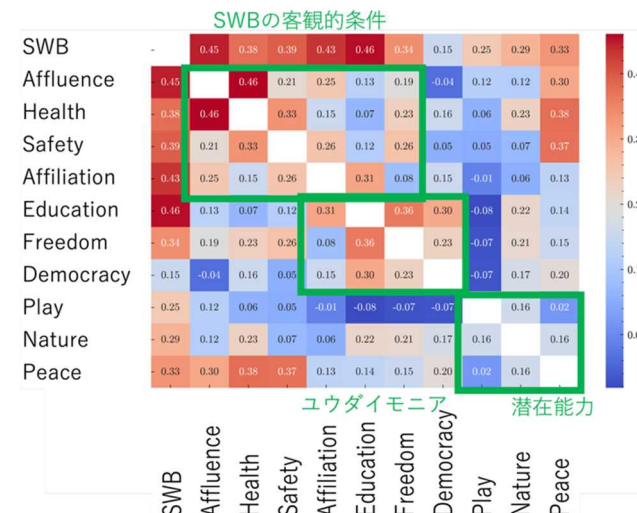
本研究が開発した Out-In 指標は次の機能リストです。

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
	外出でしかな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

他に詳細は省きますが、「対環境、対人、対個体」の3項目12 利用能力リストがあります。

（2）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、ウェルビーイ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、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。これらの概念どうしの相関関係を解析し、主観的ウェルビーイングの客観的条件、ユウダイモニア、潜在能力の3 カテゴリに分類できることも分かりました。この成果は査読付き国際会議で発表

しました。



主観的ウェルビーイングと他のウェルビーイング次元との相関

### 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

### 2024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。

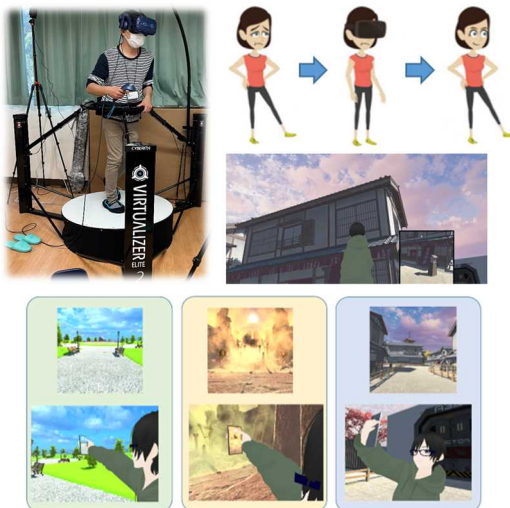


図 1: 構築した VR 体験の呈示と行動記録システム

#### 2. これまでの主な成果

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、を統合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 環境内での主体的な行動や社会的な行動が脳活動に与える影響をより深く解明するために、研究開発課題 3-2 のチームと連携し、仮想体験の後におこる脳活動の変化を脳磁計を用いて計測し、喜びと志の二種類の主観がどのように脳活動の中に反映されるかを分析して行きます。また、仮想空間の中での主体的な移動行動が、脳の中の位置や方位を表現するニューロン活動にどのような影響をうけるのかについても分析を行い、リアルな空間における経験と仮想空間の中での経験にどのような差があるのか？についての分析を行います。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)



### 3. ヒト脳指標による喜びと志の個人間比較技術開発

#### 2024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）。また、近年、国内総生産（GDP）に代表される物質的な豊かさを超えて、精神的な豊かさが重視されてきています。2022年の国連のハイレベル計画委員会ではBeyond GDPに関する報告書が作成され、アマルティア・センのケイパビリティアプローチにおけるwell-beingとagencyが成果要素（outcome elements）の一つとして挙げられました。私たちの豊かな「幸せ」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。そのような空間に私たちは自身の「居場所」を感じ、精神的、社会的に良好な状態になると考えられます（Sen 1999 Development as Freedom）。

本研究開発項目では、今まで客観的な計測が困難であった個々人の主観的な「幸せ」を脳指標（脳活動）により計測し、個人間で比較可能な革新的技術を開発します。また、食や金銭などの報酬がもたらす快楽的な「幸せ」だけでなく、agency（自由な選択の機会）が保障され善い人生を送ることができることによって生まれる、エウダイモニア的な「幸せ」に関わる脳指標の開発も行います。そして、個人間で比較可能な脳指標（脳活動）による「幸せ」の社会レベルでの集約を行い、社会選択理論にもとづいた平等性の実現を目指します。本研究開発項目の目標達成により、個々人の実感としての「幸せ」の脳指標（脳活動）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



の活動へと橋渡しし、集団・社会レベルでの幸福を促進する社会技術の創出に貢献します。

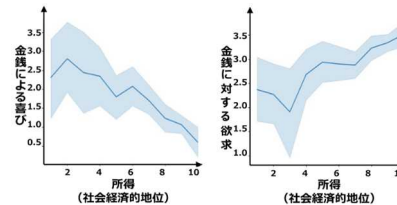
##### 2. これまでの主な成果

(1)「幸せ」を脳指標（脳活動）により個人間で比較可能にする技術開発

●数千人規模の多様な人びとのfMRI（機能的磁気共鳴画像）データを用いて、金銭などの報酬がもたらす主観的な「幸せ」が、脳指標（脳活動）

により個人間比較可能であることを明らかにしました。金銭に対する欲求と金銭を獲得した際の喜びの脳活動を、異なる社会経済的地位（SES）の人びとの間で比較したところ、経済的に恵まれない人ほど金銭から得られる喜びは大きい一方で、金銭への欲求が小さいという結果が得られました。さらに、金銭などの報酬がもたらす主観的な「幸せ」の脳指標（脳活動）が、前頭葉や大脳基底核を含む広範な脳領域の重みベクトルと脳活動ベクトルとの内積として構築できることを見いだしました。加えて、行動経済学理論にもとづく数理モデル（prospect theory model）により算出された効用（金銭報酬の主観的価値）の個人間比較についても、脳指標（脳活動）により可能であることをfMRIにより確認しました。そして、MEG（脳磁図）により、前頭葉を中心とする脳の広範囲にわたる脳活動のパターンが効用（金銭報酬の主観的価値）に依存して変動するということ、ミリ秒スケールの高時間分解能で明らかにしました。

このことは、人びとの主観的な「幸せ」を脳指標（脳活動）によりリアルタイムに社会レベルで集約できる可能性を示唆するものです。公共政策の評価に用いられている費用便益分析が前提としている、「人々の一円あたりの価値は等しい」とする仮定に再考を促すものであり、脳指標にも



とづく政策評価システムの社会実装に向けた道を切り開くものとして期待されます。

(2) 豊かな「幸せ」に関わる脳活動を計測する技術開発  
●MEGにより、幸福感や人生の満足度において重要な要素であると広く認識されている「自分の人生を自分で選び、コントロールしている」という感覚の神経ダイナミクスを強化学習モデルと脳活動との比較検証によりミリ秒スケールの高時間分解能で明らかにしました。ケイパビリティアプローチが重要視するagencyの本質を考えたときに最もシンプルな形態である自由選択課題を用いて、自由選択時に強制選択時よりも脳活動が増大する（「自由選択プレミアム」）という知見を得ました。このことは、自由な選択の機会が保障されることで生まれる「幸せ」を脳活動により計測することが可能であることを示唆しています。

●世界の規則性を活用して一般化を可能にする、高次で抽象的な表現を形成する能力には、海馬の神経細胞集団の抽象的かつ分離された形式での符号化が重要であることを、ヒトの単一神経細胞活動記録から明らかにしました（Courellis et al. 2024 Nature）。このことは、リアルな現実世界の中で生まれる豊かな「幸せ」が脳内でいかに表現されているのかに示唆を与えるものです。

##### 3. 今後の展開

多様な人びとの豊かな「幸せ」を脳指標により定量化し、社会的に集約することに成功すれば、OECDや国連が目指すGDPを補完する有力な幸福度指標になることが期待されます。今後は、より自然な条件下の神経科学的研究開発を行い、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ていきます。また、それらを再現した豊かな実験環境をVR技術などにより適切に制御し、さまざまな脳活動計測技術を用いて精度の向上を図ることで、正当性を担保した開発を進めていきます。（松森嘉織好：一橋大学、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

### 2024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階層的認知の神経表現をサルで調べるための実験を行い、前頭前野や扁桃体、海馬の機能的差異を示唆する解析結果を得ました。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

これまでの研究により、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)

##### (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)。

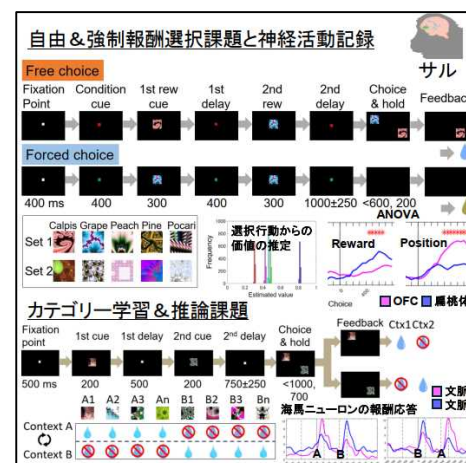
(3) 空腹や喉の乾きの程度の推定法を確立しました (Suwa et al & Yamada, 2024)。また、脳活動の解析技術を開発し、脳の広範な領域の活動に適用しました(Chen et al & Yamada, 2024, 2025)。(課題 4-1)。

(4) 報酬の主観的価値の脳指標解明のための研究開発

新たに開発した自由 & 強制報酬選択課題をサルに訓練し、サルの複数脳領域から課題遂行中の神経活動記録を行い、眼窩前頭前野と扁桃体の機能的差異を示唆する結果を得ました。

##### (5) 欲求の階層的表現の脳指標解明のため研究開発

階層的処理を必要とするカテゴリー逆転推論課題を開発し、サルの外側前頭前野と海馬から報酬予測やカテゴリー符号化に関連するニューロンを同定しました。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



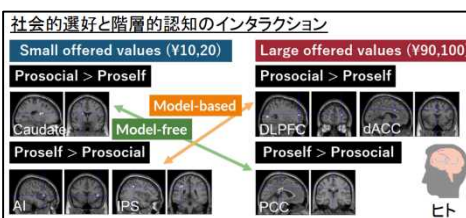
を開発して fMRI 実験を行い、利他群と利己群では対照的な行動傾向および神経活動表現が見られることを明らかにしました。この結果を国際シンポジウムで発表し、発表賞を受賞しました(Excellent poster award, 「脳と心のメカニズム」第 23 回冬のワークショップ)。(課題 4-2)

#### 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がります。(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、得られたデータを元に複数領域の機能的ネットワーク解析を行い、さらに、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、志の基礎となる階層的認知を調べるため、カテゴリー推論における前頭前野-海馬の機能的差異や協働を明らかにします。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)





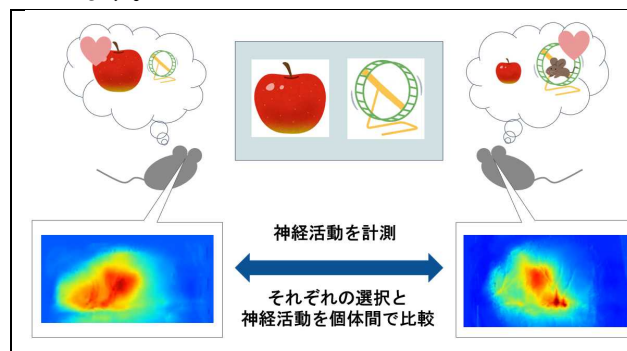
研究開発項目

## 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

### 2024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。

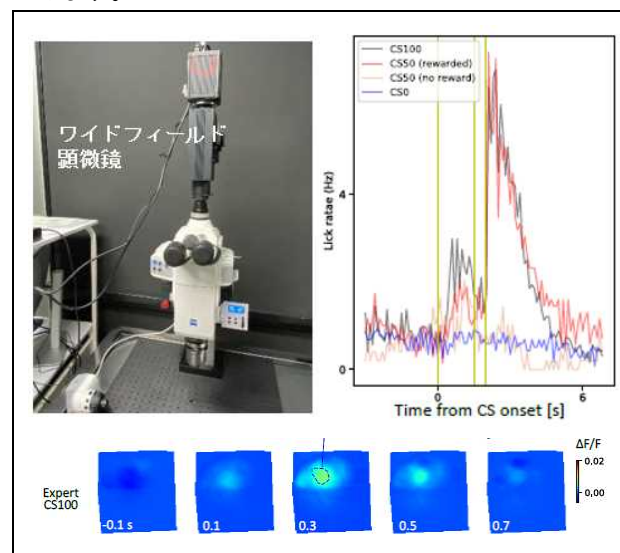


#### 2. これまでの主な成果

(1) ヒトの喜びの理解につながる、齧歯類での古典的条件づけにおける報酬の主観的価値表現に関する脳指標の計測

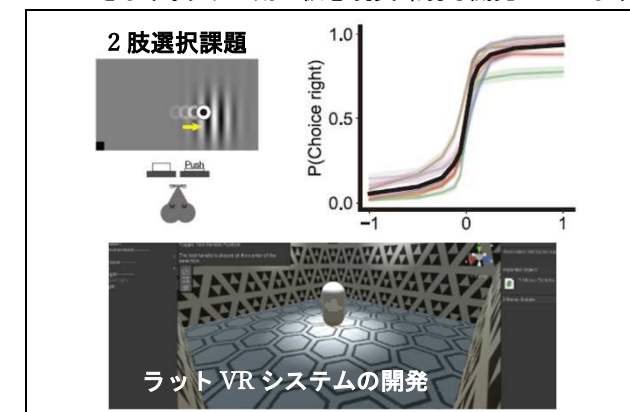
報酬の主観的な価値を調べるための研究で、古典的条件づけという実験を行いました。すなわち、音を鳴らすと水が出るような課題をラットやマウス（以下ネズミ）に与えました。すると、ネズミは音に対して予測的に舐める行動

を示すようになりました。ネズミの脳の活動を見るために、特殊な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と、集積度の高い電極を使ってたくさんの神経活動を同時に調べると、水報酬やそれを期待させる刺激に対して様々な神経活動が見つかりました。また、ネズミの喉が渇いている時と乾いていない時でどれほど神経活動が違ってくるのかについても調べています。これにより、動物にとっての水の価値が違ってくる時に神経活動がどのように違っているかを明らかにします。



(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及び脳指標の計測  
ラットを用いて、報酬が欲しいために行動を起こす欲求

の神経メカニズムについて調べています。ラットは人間と違って言葉で自分の状態を報告できないため、行動課題という形で、報告させることになります。動物の欲求を観察するための行動課題として、2つの選択肢のうち、どちらを選ぶか、という課題をラットに効率よく覚えさせることができるようになりました。この課題も古典的条件付けと同じように顕微鏡や電極での神経活動記録と組み合わせることができるので、報酬を目にした時に動物がおかれている文脈が行動に影響を与える神経メカニズムが、今後、分かってきます。ラット用の仮想現実環境も開発しています。



#### 3. 今後の展開

報酬の主観的価値の脳内表現を高密度・高解像度に計測し検討します。報酬の価値を一時的に変化、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)