

文部科学省科学研究費補助金

学術変革領域研究（A）「実世界の奥深い質感情報の分析と生成」

深奥質感

深奥質感

News Letter No.1

2022.11.01

目 次

領域代表挨拶	vi
計画研究 A01-1 実体・非実体深奥質感の計算機視覚の実現	2
西野 恒(京都大学大学院情報学研究科・教授)	
延原 章平(京都大学大学院情報学研究科・准教授)	
鄭 銀強(東京大学大学院情報理工学系研究科・准教授)	
計画研究 A01-2 深奥質感のマルチモーダル深層モデルの確立	3
岡谷 貴之(東北大学・教授)	
鈴木 潤(東北大学・教授)	
菅沼 雅徳(東北大学・助教)	
計画研究 A01-3 アートに含まれる質感情報の情報学的解析	4
佐藤 いまり(国立情報学研究所・教授)	
日浦 慎作(兵庫県立大学・教授)	
佐藤 洋一(東京大学・教授)	
平 諭一郎(東京藝術大学・特任准教授)	
計画研究 B01-1 3次元質感の脳内表現の解明	6
神谷 之康(国際電気通信基礎技術研究所・客員室長)	
土橋 宜典(北海道大学情報科学研究院・教授)	
計画研究 B01-2 質感から価値への脳内変換機構の解明	7
南本 敬史(量子科学技術研究開発機構・脳機能イメージング・グループリーダー)	
小松 英彦(玉川大学脳科学研究所・特別研究員)	
網田 英敏(京都大学ヒト行動進化研究センター・特定助教)	
計画研究 B01-3 脳損傷患者における深奥質感認識の解明と質感技術の臨床応用	8
鈴木 匡子(東北大学大学院医学系研究科・教授)	
中内 茂樹(豊橋技術科学大学大学院工学研究科・教授)	
計画研究 B01-4 視覚・聴覚・触覚・言語情報からの深奥質感認識の統一的理解	9
西田 眞也(京都大学大学院情報学研究科・教授)	
堀内 隆彦(千葉大学大学院工学研究科・教授)	
梶本 裕之(電気通信大学院情報理工学研究科・教授)	
坂本 真樹(電気通信大学院情報理工学研究科・教授)	
上村 卓也(NTTコミュニケーション科学基礎研究所・研究員)	
計画研究 C01-1 人間機械融合視覚による質感認識能力拡張	11
岩井 大輔(大阪大学大学院基礎工学研究科・准教授)	
伊藤 勇太(東京大学大学院情報学環・特任准教授)	

計画研究 C01-2	深奥質感がもたらす現実と虚構の融合 渡辺 義浩(東京工業大学工学院・准教授)	12
計画研究 C01-3	実体の質感情報を引き出すフィジカルメディアの設計と表現実践 笥 康明(東京大学大学院情報学環・教授) 仲谷 正史(慶應義塾大学環境情報学部・准教授)	13
公募研究 D01-1	外界を定位させる高臨場立体振動ディスプレイの実現 昆陽 雅司(東北大学大学院情報科学研究科・准教授)	15
公募研究 D01-2	投影光を用いた実物体の形状・反射特性制御による現実拡張型質感操作技術 平木 剛史(筑波大学図書館情報メディア系・助教)	
公募研究 D01-3	ものづくり現場の非破壊検査における匠の技の科学的理解と視覚増強への 応用展開 河野 行雄(中央大学理工学部・教授)	16
公募研究 D01-4	質感と形状の分離による奥深質感画像分析・生成のためのマルチモーダル 深層学習モデル 柳井 啓司(電気通信大学大学院情報理工学研究科・教授)	17
公募研究 D01-5	肌と肌が合うときの特異的な接触現象が生む心地よい触感の解明 岡本 正吾(東京都立大学大学院システムデザイン研究科・准教授)	
公募研究 D01-7	光線場の計測と投影による現実を超える質感への操作 天野 敏之(和歌山大学大学院システム工学研究科・教授)	18
公募研究 D01-8	コンピュータグラフィクスによる質感表現の深化 岩崎 慶(和歌山大学・准教授)	
公募研究 D01-9	食品風味の深奥質感を解き明かす呈味・香気・食感の可視化・デジタル化 技術の構築 田中 充(九州大学大学院農学研究院・准教授)	19
公募研究 D01-10	視覚障害者・晴眼者が質感体験を共有できるインクルーシブ質感提示法の解明 三浦 貴大(産業技術総合研究所・主任研究員)	
公募研究 D02-1	物体の実在感(リアリティ)と知覚的ノイズの関係 栗木 一郎(埼玉大学大学院理工学研究科・教授)	20
公募研究 D02-2	呼吸による認知の揺らぎが与える質感への影響 國松 淳(筑波大学医学医療系・助教)	21
公募研究 D02-3	国際比較による顔の色・質感認識メカニズムの探究 溝上 陽子(千葉大学大学院工学研究院・教授)	
公募研究 D02-4	身体運動の誘発に関わる音楽の質感とその神経基盤 白松 知世(東京大学大学院情報理工学系研究科・助教)	22

公募研究 D02-5	ヒトの脳における多様な匂いの表象の時空間的解明	23
	岡本 雅子(東京大学大学院農学生命科学研究科・特任准教授)	
公募研究 D02-6	心理物理学・生理学的時間特性に基づく物質的/感性的質感間の階層構造モデリング	
	永井 岳大(東京工業大学工学院情報通信系・准教授)	
公募研究 D02-7	選好注視と脳活動に基づく深奥質感の研究	24
	川崎 圭祐(新潟大学大学院医歯学研究科・准教授)	
公募研究 D02-8	アンビエント音響としての謡曲における幽玄の理解	25
	木谷 俊介(北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科・助教)	
公募研究 D02-9	おいしさから紐解く快情動への身体反応とその神経機構	
	村田 航志(福井大学学術研究院医学系研究科・助教)	
公募研究 D02-10	分光計算に基づく色素濃度による色変化と色覚特性	26
	鯉田 孝和(豊橋技術科学大学・准教授)	
公募研究 D02-11	モノの性質を深く知る身体動作:工芸における身体技法の現場計測による検討	
	野中 哲士(神戸大学大学院人間発達環境学研究科・教授)	
公募研究 D02-12	心地よい触感を生み出すヒトの多階層な脳内神経機構の解明	27
	楊 家家(岡山大学ヘルスシステム統合科学学域・研究准教授)	
公募研究 D02-13	質感運動知覚に寄与する神経基盤の解明	
	眞田 尚久(岩手県立大学ソフトウェア情報学部・准教授)	
公募研究 D02-14	目視できない末梢静脈血管路を選定する熟練看護師の触診技術の解明	28
	渡邊 順子(静岡県立大学大学院看護学研究科・特任教授)	
公募研究 D02-15	視覚質感から海馬空間表象への脳内変換機構の解明	29
	北西 卓磨(東京大学大学院総合文化研究科・准教授)	
公募研究 D02-16	多次元感覚情報から価値への変換様式と神経機構	
	鮫島 和行(玉川大学大学院脳科学研究科・教授)	
公募研究 D02-17	匂いが多次元的価値を獲得する神経回路機構の解明	30
	眞部 寛之(同志社大学研究開発推進機構・准教授)	
公募研究 D02-18	内受容感覚依存的な情動を伴う質感の神経メカニズムの解明	
	安田 正治(関西医科大学医学部生理学講座・講師)	
公募研究 D02-20	自閉スペクトラム症児の感覚処理特性評価研究から探る深奥質感認識個人差の解明	31
	熊崎 博一(長崎大学大学院医歯薬学総合研究科未来メンタルヘルス学分野・教授)	

領域代表挨拶

2020年度より2025年度までの5年の計画で、学術変革領域研究「実世界の奥深い質感情報の分析と生成」を進めています。2010-2014年度新学術領域研究「質感脳情報学」、2015-2019年度新学術領域研究「多元質感知」の後継プロジェクトとなります。これらの前領域では、情報学・心理学・神経科学を融合して、さまざまな角度から質感の研究を行って来ました。今回の「深奥質感」もこの流れを引継ぎながら、質感をより深掘りすることに挑戦しています。領域のスタートから二年近くが経過し、第一期の公募班にとってはすでに最終年度を迎えています。遅くなりましたが、現在の領域の研究活動をより広い方に知っていただくために、ニュースレター第一号をお届けします。

まず、我々の考える深奥質感とはどのようなものを説明したいと思います。

認知科学において質感研究の出発点は、物体の持つ材質に関わる特性（鏡面反射強度や柔らかさなど）を、感覚情報からどのように推定するのかというものでした。しかし、人間にとっての物体の質感は、光沢感があるとかフワフワしているという言葉で記述しつくせない複雑なものです。深奥質感の一つの特徴は、簡単に言語化できないということだと考えています。

また、深奥質感は質感認識のもつさまざまな生態学的な機能を包含した概念です。我々が感じるものの質感には、物理的な質感特徴だけではなく、美味しそうといった感性的な質感特徴も含まれます。つまり、質感認識はものの価値の判断に基づいて意思決定する過程に直結しています。感じた質感によっては、喜びや苛立ちなどの感情も誘発されます。質感の違いによって、その物体をどのように触るか、といった身体制御の仕方も変わってきます。自分を取り巻く世界を認識し、適切な行為を行うためには、行為の結果を適切に予測するための世界モデルを脳内に作り出す必要がありますが、質感は世界モデルの構築にとって不可欠な要素です。同じものでもその質感の捉え方は、年齢や性別、個人的な経験、文化的な背景、障害の有無などによって変わってくるはずです。このような問題を深奥質感として考えたいと思っています。

さらに、実物の持つ究極の質感であるリアリティ（本物らしさ）は深奥質感の重要課題です。実物と仮想物体の質感の違いを考えるには、本物の質感を感じさせる情報の特性や、異なる感覚モダリティの情報統合様式の解明が必要です。芸術や匠が生み出す作品のもつ質感を理解し、偽物との違いがどこにあるのかを見出すことも我々の重要なテーマです。

我々の領域では、このような深奥質感を科学的に理解し、人間のように深奥質感を認識し、人間の感じる深奥質感を思いのままに生成・制御するような革新的な質感技術の開発に結び付けることを目指しています。アートを積極的に取り込んだことも、新しい領域の特徴になっています。計画班はA01「質感機械認識」、B01「質感生体認識」、C01「質感生成」の3つの項目（計10班）からなっています。これに加えて、多くの公募班が令和3

年秋から加わって研究を進めています。各班で実際にどのような研究が行われているかについては、このニュースレターや、領域ホームページ (<https://shitsukan.jp/deep/>) を御覧ください。

「実世界の奥深い質感情報の分析と生成」領域代表
京都大学 情報学研究科 教授 西田真也

研究計画

A01 質感機械認識



実体・非実体深奥質感の計算機視覚の実現

研究代表者 西野 恒（京都大学大学院情報学研究科・教授）
研究分担者 延原 章平（京都大学大学院情報学研究科・准教授）
鄭 銀強（東京大学大学院情報理工学系研究科・准教授）



○ 研究の背景と目的

非実体深奥質感の視覚情報処理に向け、自由行動下の人物の視線推定に特に注力して研究を進めました。「目は口ほどに物を言う」と言うように、視線はその人の心的状態を明確に反映します。人の注視の変遷を追うことにより、その人の意図・感情・興味などの内面をより深く推し量ることができ、その人やその場の状況や雰囲気なども含めた非実体深奥質感を視覚情報だけから獲得するための重要な手掛かりとすることができます。

既存の視線推定手法の多くは、眼球が明確に撮像されていることを根本的に仮定しています。ノートパソコン使用時のウェブカメラなど、比較的近接した視点から目を撮像し、虹彩などを含めた目の見え方を深層ニューラルネットワークなどを用いて視線方向に回帰することにより、視線推定をおこなっています。これでは、目がはっきりと高解像度に写っていないと視線推定をおこなうことができず、自由行動下での人物の視線行動変容解析に向きません。

視線推定の技術を監視カメラ映像などの環境に固定されたパッシブな視点から撮像された映像にも適用できれば、視線推定の有用性を高める上で大きな価値があります。そのような固定視点カメラからの視線推定が実現すれば、店舗や公共施設に設置された監視カメラなどの既存のカメラを視線推定器として活用することが可能になり、マーケティング・防犯・生活補助に適用できるようになります。このためには、定点視点から撮像される、遮蔽や低解像度映像を扱う必要があり、目の見えに依存しない視線推定を実現する必要があります。

○ 研究成果

本研究では、自由に行動する人物の三次元視線方向を監視カメラ映像から推定する手法を導出しました。本手法は、視線・頭部・胸部方向の時系列的な依存関係を利用して視線を推定する点に独創性があります。眼球の高解像度画像の代わりに低解像度画像でも頑健に推定することが可能な頭部・胸部方向を手がかりとし、推定された頭部・胸部方向の時系列から視線方向を推定します。提案手法では、頭部・胸部方向推定と頭部・胸部方向の時系列を利用した視線推定を行うニューラルネットワークをそれぞれ導入し、その出力を確率的に組み合わせることで画像からの視線推定を実現しました。

また、提案手法を実際の監視カメラに近い映像で評価するため、日常的な5つのシーン（リビング・図書室・キッチン・研究室・中庭）で撮影した監視カメラ映像に三次元視線方向をアノテーションしたデータセット（Gaze from Afar; GAFA データセット）を作成しました。このデータセットは自由に行動する人物の映像と、その人物のフレーム単位での視線方向を記録しており、5つのシーンのそれぞれにおける自然な視線運動を含んでいます。人物の映像は同期された7から9台のカメラで撮影されており、多視点環境における視線推定手法の評価をすることが可能です。本データセットは監視カメラ映像に対する三次元視線推定のデータセットとしては初めてのものです。

GAFA データセットにおける評価の結果、提案手法は既存手法と比べて高い精度で三次元視線方向を推定できることを示しました。また、複数のデータセット間の汎化性能を評価し、提案手法は既存手法に対して高い汎化性能を持つことを示しました。本手法とデータセットの導出により、より自由な環境で、固定カメラで観察するだけで様々な人の視線行動が捉えられるようになり、視覚情報からの人物の内面状態のより深い理解が可能となります。

○ 関連する研究発表

Nonaka S, Nobuhara S, Nishino K: Dynamic 3D Gaze from Afar: Deep Gaze Estimation from Temporal Eye-Head-Body Coordination. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June, 2020.

深奥質感のマルチモーダル深層モデルの確立

研究代表者 岡谷 貴之 (東北大学・教授)
 研究分担者 鈴木 潤 (東北大学・教授)
 菅沼 雅徳 (東北大学・助教)

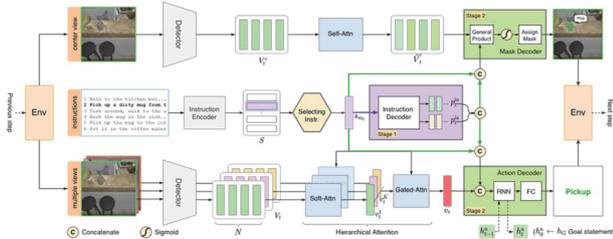
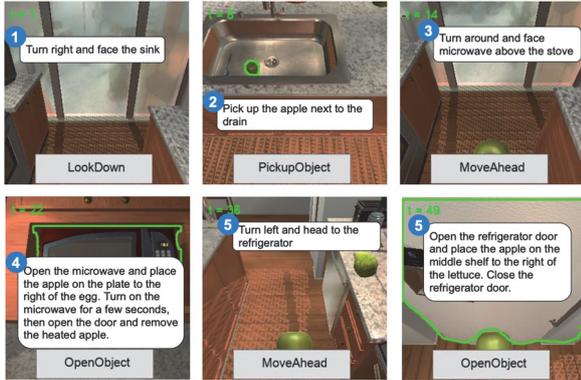


図. 家事を指示に基づいて実行する AI エージェント。
 上段: 実際の作業の様子。下段: システム構成図。

○ 研究の背景と目的

本計画班の目標は、人と同じように画像からモノや情景の質感を認識できる AI を実現することです。AI は深層学習の発展とともに劇的に進歩しましたが、AI が質感を認識することは、今でも大変難しい問題です。最大の壁は、「人は何を認識しているか」が明確でないことです。

今のメインストリームの AI は「人の認知過程の自動化」に過ぎません。すなわち人が、対象とする過程の入力と出力を見極め、そのような入出力ペアの事例を大量に集め、深層ニューラルネットワークを訓練し、あるべき入出力間の写像を獲得させます。例えば物体認識の場合、認識すべきは椅子や机といった物体カテゴリであり、それが目標とする出力です。一方で質感の場合、認識(出力)すべきものが何であるかがよくわかりません。人による認知の内容が、脳内で何らかの形で表現されているとして、認識しているその人本人にさえ、簡単に言語化できない場合が多くあります。そのような質感を AI で扱うには、どうすればよいでしょうか。

われわれは、「人に近い水準で画像に写る情景を理解できる AI (ニューラルネットワーク) は、その内部に、多様な質感概念の表現を自動的に獲得してい

るはずであると仮説を立て、研究を進めています。この考えに従い、質感とは直接関係ないように見えても、画像理解につながる様々なタスクを人に近い水準で実行できる AI の実現を一歩ずつ進めています。

この記事では、その一つの成果として、目の前の環境とその状況を理解し、与えられた指示にしたがって行動を選択し作業を行うことのできる AI エージェントの研究を紹介します。

○ 研究成果

AI エージェントが、自然言語で与えられた作業指示に基づき、家事をこなす問題を考えます。研究では、Alfred というデータセットを用いました。Alfred では、フォトリアルなシミュレータ上で AI エージェントが作業を実行します。なお、このような身体性を有する AI (Embodied-AI) の研究は、近年盛んになってきています。

AI エージェントは、目の前の情景とその状況を正しく理解した上で、与えられた作業指示に基づき、正しい行動を選択することが求められます。Alfred では、作業指示はステップバイステップで与えられますが、それに基づいて必要な種類の作業を必要な回数実行します。時間軸に沿ってこれを繰り返し、最終目的とする作業(家事)を完遂します。

われわれは、このタスクを行う AI エージェントを新たに設計しました(図の下段)。鍵となる工夫は、AI エージェントに広い視野を持たせることと、与えられた作業指示を 2 度解釈することです。これらの工夫により、大幅な性能向上を達成しました。特に、従来研究ではほとんどの場合、一度学習した環境でしか作業を行えませんでした。われわれの AI エージェントは、未知環境でも作業をある程度行えるようになりました。図の上段は、「温めたリンゴを冷蔵庫の中段にあるレタスの隣に置く」という作業を実行中のスナップショットです。

○ 関連する研究発表 論文

1. Nguyen VQ, Suganuma M, Okatani T: Look Wide and Interpret Twice: Improving Performance on Interactive Instruction-following Tasks, Proceedings of the Thirtieth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), 923-930, 2021

アートに含まれる質感情報の情報学的解析

研究代表者 佐藤 いまり (国立情報学研究所・教授)

研究分担者 日浦 慎作 (兵庫県立大学・教授)

佐藤 洋一 (東京大学・教授)

平 諭一郎 (東京藝術大学・特任准教授)

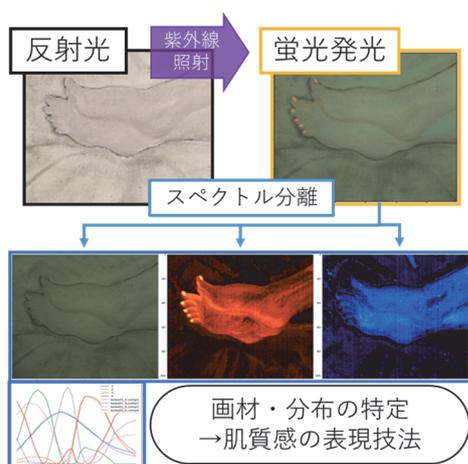


○ レオナルド・ダ・ヴィンチの肌質感表現技法の解明

藤田嗣治 (レオナルド・ダ・ヴィンチ) は、1920 年代にエコール・ド・パリの作家として、「乳白色の下地」「乳白色の肌」と称される独特な絵肌 (マチエール) の表現で、世界的評価を得ています。同時代の作家としてルノワールなどが挙げられますが、藤田が肌を描く際に利用されていた白色は透明感のある、独自の表現技法を持っていました。

近年の組成分析により、藤田がどのような画材を使って絵肌をつくったか、ある程度明らかになっています。本研究では、藤田の絵肌がどのような光学特性を持っているのか、最新の光学機器と画像処理技術を用いて分析し、実際の肌や同年代の作家の作品とも比較しながらその特徴と狙いを明らかにすることを研究目標としています。

その一環として、識別が困難な白色画材の特定を目標に、画材の蛍光発光に着目したハイパースペクトル画像解析を用いて、絵画に含まれる画材の分布及び成分の同定を行う手法を研究開発しています。



蛍光発光成分の分離による絵画解析: 絵画に含まれる画材の蛍光発光の分光スペクトルを観察、数理計算によって画材ごとの成分に分離し、分布を特定。

協力研究者: 中本翔太 (東京大学), 石原慎 (国立情報学研究所), 三木学 (株式会社ビジョナリスト), 内呂博之 (ポーラ美術館)

○ EpiScope: 反射成分を分離する光学的装置

シーンからの反射光には、光源からの光が物体表面で一度だけ反射した直接反射成分と、物体間を 2 回以上反射する相互反射や、物体内への光のにじみ

である表面下散乱などの間接反射成分が含まれます。これらを分離することで物体の形状計測の高精度化や内部構造の解析が可能となりますが、従来の手法は全て計算機内の画像処理により行うものでした。それらに対し、研究分担者の日浦とそのグループの前田は、鏡やレンズなどの光学部品のみにより、反射成分分離結果を肉眼で観測できる装置 EpiScope を開発しました[1]。図 1 左は EpiScope の外観で、この装置を通して物体を観察すると、相互反射 (図 1 中央でミラーボールの右に見られる多数の斑点) が除去されていることがわかります (図 1 右)。

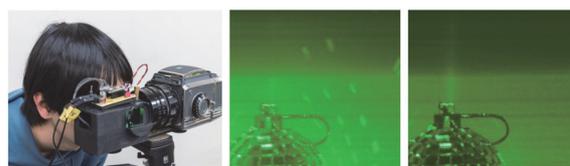


図 1 開発した EpiScope の外観と結果例

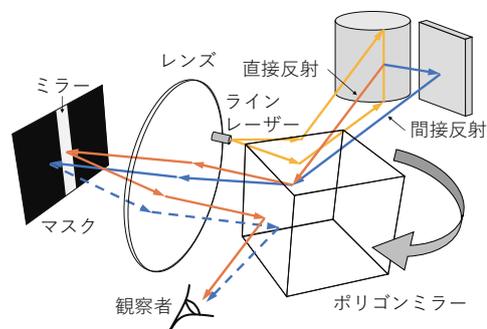


図 2 EpiScope の構造

この装置の構造は図 2 のようになっています。直接反射成分には照射したスリット光と同一面上を通過する成分がありますが、間接反射成分にはないため、レンズとミラー、マスクにより直接反射成分のみを残し、間接反射成分を遮断します。しかしそれではシーンの一部しか観察できないため、ポリゴンミラーを回転させることでシーン全体を走査します。ポリゴンミラー上の 3 回目の反射で再び射出光が走査され、観察者に 2 次元像が提示される仕組みです。

○ 学会発表など

1. Ryota Maeda and Shinsaku Hiura, EpiScope: Optical Separation of Reflected Components by Rotation of Polygonal Mirror, SIGGRAPH Asia 2021 Technical Communications, Article No. 12, pp. 1-4, 2021.

研究計画

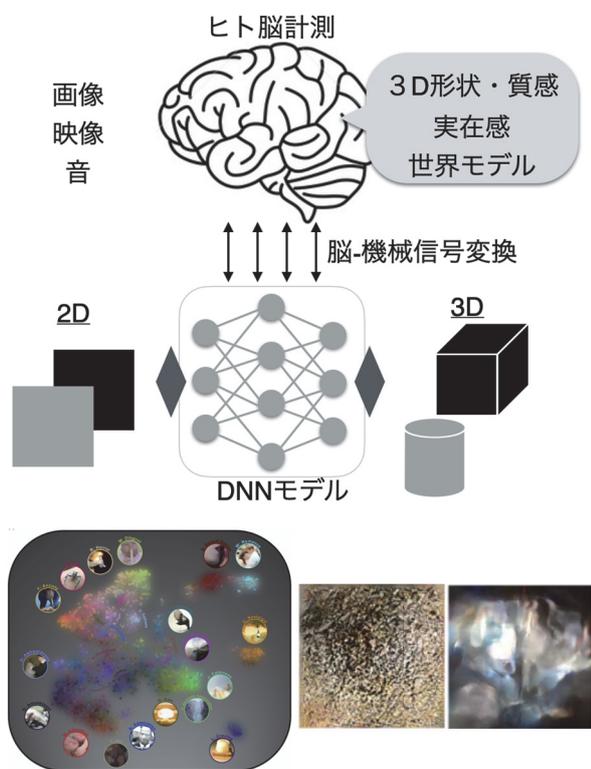
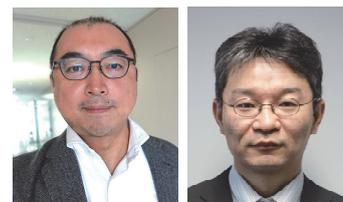
B01 質感生体認識



3次元質感の脳内表現の解明

研究代表者 神谷 之康 (国際電気通信基礎技術研究所・客員室長)

研究分担者 土橋 宜典 (北海道大学情報科学研究院・教授)



脳計測とDNN情報表現を対応づけることで、外界の
実在感や感情を脳活動から解読・再構成する。

○ 研究の背景と目的

リアルな外界の認識は、物体表面の見えだけではなく、その背後にある3次元世界の実在感や感情を伴う。脳は、知識や身体状態と組合せて外的世界をモデル化することで、リアルな質感を生み出していると考えられる。本課題では、大規模データで訓練した深層ニューラルネットワーク (DNN) モデルと脳の情報表現の相同性を利用して、脳内モデルの情報表現を理解する。また、脳活動から解読した情報とコンピュータグラフィックス技術を融合した可視化技術を開発する。

○ 研究成果

DNNと脳の階層的類似性の定量化

DNNモデルをヒトの脳との階層的類似性の観点から評価するため、脳活動から個々のDNNユニットの活性度を予測し、階層的対応関係を定量化する指標 Brain hierarchy (BH) score を提案した。さまざまなアーキテクチャを持つ29個の事前学習済みDNNのBHスコアは画像認識性能と負の相関があ

り、最近開発された高性能DNNは必ずしも「brain-like」ではないことがわかった。また、比較的単純なフィードフォワードアーキテクチャと幅広い空間統合が脳の階層構造に重要であることが示唆された。この結果は、脳内モデルに対応するDNNモデルを構築する指針となるものである (Nonaka et al., 2021)。

脳からの3次元構造の再構成

これまでの2次元画像再構成手法を3次元に拡張するため、画像から立体を出力するDNNモデルの中間層と脳活動の対応関係を調べた。一部のDNNについて、脳活動から中間層をよく予測できることがわかった。画像を見ている時の脳活動から3次元知覚像を再構成する可能性が拓かれた。

感情と表情の意味空間

感情と表情の関係についてのこれまでの研究では、6つの基本感情と典型的な顔のポーズに焦点が当てられており、その限界が議論されてきた。われわれは、2,185本のビデオに対する45,231人の表情反応をウェブカメラで取得し、感情体験の自己報告と対応づけた。その結果、感情と表情に共通する多数の次元が存在し、文化間で共通性があることがわかった。

流体の質感表現

流体の質感表現に関して、低解像度の流れ場から高解像度の流れ場を合成する手法を開発した。提案法では、入力された流れ場を流れ関数に変換し、高解像度の流れ関数を生成する。これにより、問題の次元を小さくすることができ、低コストで高解像度の流れ場を生成できる。また、低解像度の流れ場は必ずしも物理的に妥当な流れ場である必要はなく、提案法によって生成された高解像度の流れ場は非圧縮性を満たしたそれらしい流れ場を生成できる。

○ 関連する研究発表

論文

1. Nonaka, S., Majima, K., Aoki, S.C., and Kamitani, Y. (2021). Brain hierarchy score: Which deep neural networks are hierarchically brain-like? *iScience* 24, 103013. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103013>.

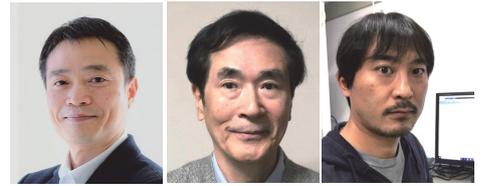
学会発表など

1. Sato, S., Dobashi, Y., and Kim, T. (2021) Stream-Guided Smoke Simulations. *ACM Trans. on Graphics*, 40, 161 (Proc. ACM SIGGRAPH 2021).

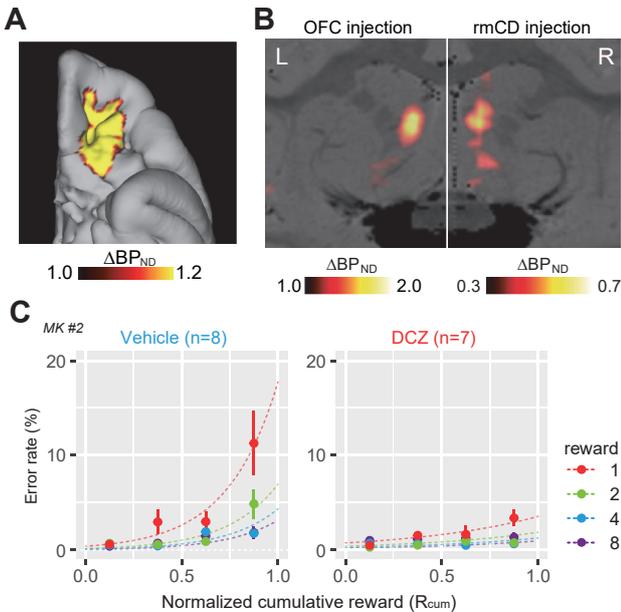
質感から価値への脳内変換機構の解明

研究代表者 南本 敬史 (量子科学技術研究開発機構・
脳機能イメージング・グループリーダー)

研究分担者 小松英彦 (玉川大学 脳科学研究所・特別研究員)
網田英敏 (京都大学 ヒト行動進化研究センター・特定助教)



pp



「満足したので、もう好きじゃない」の神経回路の特定。(A)サル OFC における人工受容体 (DREADD) 発現の PET イメージング。(B) DREADD 陽性 OFC 細胞の投射先である rmCD での発現 (左) と rmCD に注入したベクターによる発現 (右)。(C) 報酬獲得量に依存した拒否率の関係の変化を報酬量ごとに示したもの。コントロールでは報酬を十分もらおうとエラーが増えるが、その変化が人工薬剤投与で大きく損なわれる。

○ 研究の背景と目的

好きなリンゴでもたくさん食べると別の果物の方が好きになることがあります。このように私たちが日常行っている事物・事象の好みや良し悪しの判断は一定ではなく、生理的な欲求、学習・経験、環境、文脈、感情などに左右されます。それは脳内で事物・事象の情報が自分自身にどのような結果をもたらすのか？を状況依存的に予測し価値に変換しているからだと考えられますが、その仕組みについてはまだ詳しくわかっていません。

当研究班では、「脳内で複数の価値システムが並列して変換処理を行い、その多面的な価値が統合されている」という考えに基づき、その仕組みを脳科学的に理解することを目的として研究を進めています。そのために、ヒトに最も近い脳の構造・機能をもつニホンザルなどを実験対象とし、最新の遺伝子導入技術による神経活動操作 (南本) や、ドーパ

ミン計測法 (網田) などを駆使し、腹側視覚皮質などにおける質感情報処理の解釈 (小松) とあわせて、高次感覚野と複数の価値変調システムとの相互情報処理の仕組みを明らかにしたいと考えています。

○ 研究成果

好きなリンゴをたくさん食べるとしばらくは好きではなくなります。このような視覚刺激の価値が生理的な欲求の変化に伴って変化する神経機構を明らかにすることを目指しました。腹側視覚皮質から入力を受け取る前頭眼窩皮質 (OFC) は、食べ物に反応する神経細胞の活動が生理的な欲求の変化にしたがって変わることが知られています。そこで OFC とその投射先の一つである吻内側尾状核 (rmCD) との神経連絡に着目し、DERADDs と呼ばれる手法を用いてこの 2 領域間の連絡を一時的に遮断する実験を行いました。サルの OFC に抑制性の DREADD 受容体を発現させるウイルスベクターを注入し、OFC と投射先である rmCD で DREADD が発現することを PET と呼ばれるイメージング法で確認できました (図 AB)。さらに対側の同部位 (rmCD) にも同じベクターを注入して DREADDs を発現させることで、人工薬剤投与により OFC-rmCD 間の機能連絡を遮断できる 2 頭のサルが作出できました。これらサルにジュース 1, 2, 4, 8 を意味する 4 種類の視覚刺激の価値判断を行わせました。通常はもらったジュースの総量が増え満足するにつれて、いらないと判断する試行の割合が増大しますが (図 C 左)、人工薬剤投与により、この変化が消失しました (図 C 右)。視覚刺激の価値を内的需要に基づいて正しく判断・行動するために、OFC と rmCD の神経連絡が必須の情報処理をしていると考えられます。

○ 関連する研究発表

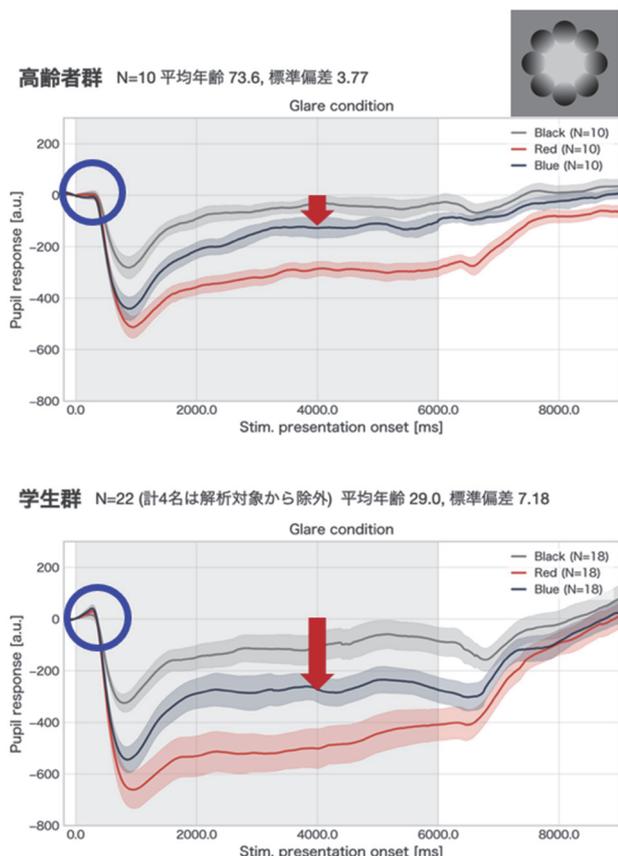
論文

1. Oyama K, Hori Y, Mimura K, Nagai Y, Eldridge MAG, Saunders RC, Miyakawa N, Hirabayashi T, Hori Y, Inoue KI, Suhara T, Takada M, Higuchi M, Richmond BJ, Minamimoto T. Chemogenetic Disconnection between the Orbitofrontal Cortex and the Rostromedial Caudate Nucleus Disrupts Motivational Control of Goal-Directed Action. *J Neurosci*. 42(32):6267-6275, 2022.

脳損傷患者における深奥質感認識の解明と 質感技術の臨床応用

研究代表者 鈴木 匡子（東北大学大学院医学系研究科・教授）

研究分担者 中内 茂樹（豊橋技術科学大学大学院工学研究科・教授）



図：Glare 錯視による瞳孔反応の年齢による違い
反応の大きさ、定位反応(青丸)、青刺激に対する post
illuminant pupillary response(赤矢印)とも高齢者
群で小さい。また、高齢者群は反応の個人差が少ない。

○ 研究の背景と目的

高齢者や認知症が増えている超高齢社会では、加齢や脳損傷により質感認識がどう変化するかを知ることは重要である。これまでの研究で脳の腹側視覚路の損傷や加齢により、意識的に刺激の材質を認知し、カテゴリー分けする機能（表層質感）が変化することが明らかになった。本研究では、意識されない質感認識（深奥質感）が、脳損傷患者および高齢者においてどう変化するかを知ることを目的とした。

ものの質感の一つとして、対象が光輝いて見える明るさや光沢に関する質感がある。グレア錯視は、グラデーションで囲まれた白色領域が、一樣な灰色で囲まれた白色領域より明るく輝いて感じられる現象である(図)。瞳孔は周囲の明るさにより大きさが変化し、光が強くなると瞳孔は小さくなる(縮瞳)。

ところが、グレア錯視では光の強さが変化しなくても縮瞳がみられ、縮瞳の程度はどれだけ明るく感じたかという自覚的な明るさに関連する。すなわち、瞳孔反応という客観的指標で、本人の明るさの感じ方の変化を観察することができる。我々はこのグレア錯視による瞳孔反応を計測することにより、意識的判断を要しない質感認識を検討することにした。

○ 研究成果

神経疾患の既往のない高齢者群 (n=10, 73.6 歳 ± 3.77) と若年成人群 (n=22, 29.0 歳 ± 7.18) を対象とし、Glare 錯視に対する瞳孔反応を測定した。両群を比較すると、高齢者群では縮瞳の程度、定位反応、青刺激に対する post illuminant pupillary response ともに小さいことが分かった。また、高齢者群では個人間での反応のばらつきが少ないことが観察された。

グレア錯視に対する瞳孔反応は、明るさに応じた単純な脳幹経由の縮瞳ではなく、大脳からの top-down の修飾を受ける反応と考えられる。今後、この反応が加齢だけでなく、認知症を含む脳損傷患者においてどのように変化するかを検討することで、深奥質感認識の変化やそれに影響する要因を明らかにすることができ、多様な個性に適した質感環境の構築に繋がるものと考えられる。

○ 関連する研究発表

1. Oishi Y, Nagasawa H, Hirayama K, Suzuki K. Neural bases of color-specific semantic loss: Two cases of object-color knowledge impairment. *Cortex* 141:211-223 (2021)
2. Ishioka T, Hirayama K, Hosokai Y, Takeda A, Suzuki K, Nishio Y, Sawada Y, Abe N, Mori E. Impaired perception of illusory contours and cortical hypometabolism in patients with Parkinson's disease. *Neuroimage Clin.* 32:102779 (2021).
3. Istiqomah N, Suzuki Y, Kinzuka Y, Minami T, Nakauchi S. Anisotropy in the peripheral visual field based on pupil response to the glare illusion. *Heliyon* 8, e09772 (2022).
4. Nakauchi S, Kondo T, Kinzuka Y, Taniyama Y, Tamura H, Higashi H, Hine K, Minami T, Linhares JMM, Nascimento SMC. Universality and superiority in preference for chromatic composition of art paintings. *Sci Rep* 12, 4294 (2022).

視覚・聴覚・触覚・言語情報からの深奥質感認識の統一的理解

研究代表者 西田 眞也（京都大学大学院情報学研究科・教授）
 研究分担者 堀内 隆彦（千葉大学大学院工学研究科・教授）
 梶本 裕之（電気通信大学院情報理工学研究科・教授）
 坂本 真樹（電気通信大学院情報理工学研究科・教授）
 上村 卓也（NTT コミュニケーション科学基礎研究所・研究員）

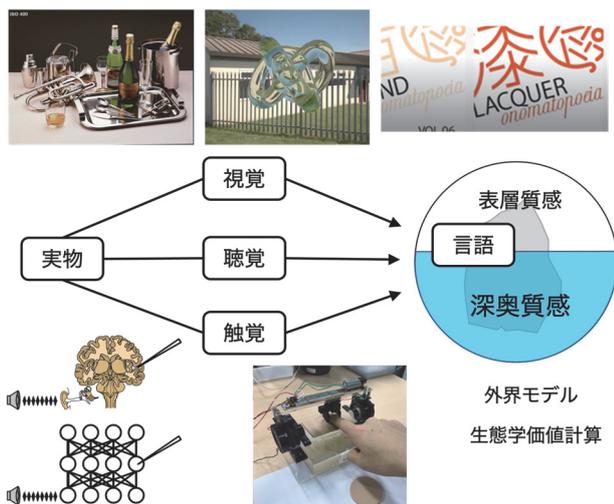


図 1：当班の研究の枠組み

○ 研究の背景と目的

実世界の事物や事象のもつ質感情報は、物理的な光や振動を通して人間に伝えられ、視覚・聴覚・触覚などの感覚モダリティで処理され、一部は言語に変換されます。このようにして得られる質感の認識は、外界モデルの構築や生態学的価値への変換にも寄与します。この質感情報処理全体を統一的な視点で解析することにより、人間の深奥質感処理に迫るのが当班の目的です。

○ 研究成果

光沢感や透明度といった光学的な特性の違いは、材質特有の視覚的な質感を生み出すだけでなく、その物体が動いたときの動きのパターンにも複雑に影響します。たとえば、物体表面上の模様と鏡面反射の映り込みと透明物体の屈折パターンは、物体の運動によって違った動きをします。人間が物体の動きを判断する際に、このような材質依存の動き方を正しく考慮に入れることができるのでしょうか。これは、質感情報に基づいてどのような外界モデルが脳内で形成されるかを分析する上で重要な問題です。西田らは、コンピュータグラフィックスと心理物理実験を組み合わせた手法でこの問題に取り組んでおり、人間は材質の運動知覚への影響をうまく除外していることを見出しています[1]。

堀内らは、視覚情報を中心として、触覚や嗅覚情報から得られる質感知覚や、それらの相互作用による影響に対して、理解やモデル化を進めました[2]。

梶本らは、人工人肌の質感再現のために 3 次元形状から振動をレンダリングする手法を高精度化、実証するとともに[3]、化学物質を用いた新たな触覚提示手法を検討しています。

坂本らは、坂本らは合成皮革素材についてヒトの視覚・触覚により質感を評価する被験者実験を行い、回答に用いられた質感を表現するオノマトペとそれぞれの皮革素材の硬さ、粗さ、摩擦や熱伝導特性との関係性についての分析を進めています。

上村らは、音の質感知覚に重要な特徴である振幅変調に着目した研究を行っています。自然な音を認識するための計算機モデルにおいて、人間と類似した振幅変調への感度が発現することがわかりました[4]。

○ 関連する研究発表

1. van Zuijlen MJP, van Assen JJR, Nishida S: Effects of optical material properties on detection of deformation of non-rigid rotating objects, Annual Meeting of Vision Sciences Society, St Pete Beach, 5.17, 2022.
2. Watanabe S, Horiuchi T: Perception modeling based on vision and touch: "authenticity" of leather defined through observational experience", Textile Research Journal, 91(17-18), 2106-24, 2021.
3. Zhang J., Kajimoto H.: Approaches for Reproducing the Haptic Sensation of Sandpaper with Different Roughness During Bare Fingertip Interaction, Frontiers in Virtual Reality, 3, 829946, 2022.
4. 上村卓也, 寺島裕貴, 古川茂人: Psychophysical detection sensitivity in a neural network trained for sound classification, 日本神経回路学会全国大会, オンライン, 9.21-23, 2021.

研究計画

C01 質感生成



人間機械融合視覚による質感認識能力拡張

研究代表者 岩井 大輔 (大阪大学 大学院基礎工学研究科・准教授)

研究分担者 伊藤 勇太 (東京大学 大学院情報学環・特任准教授)

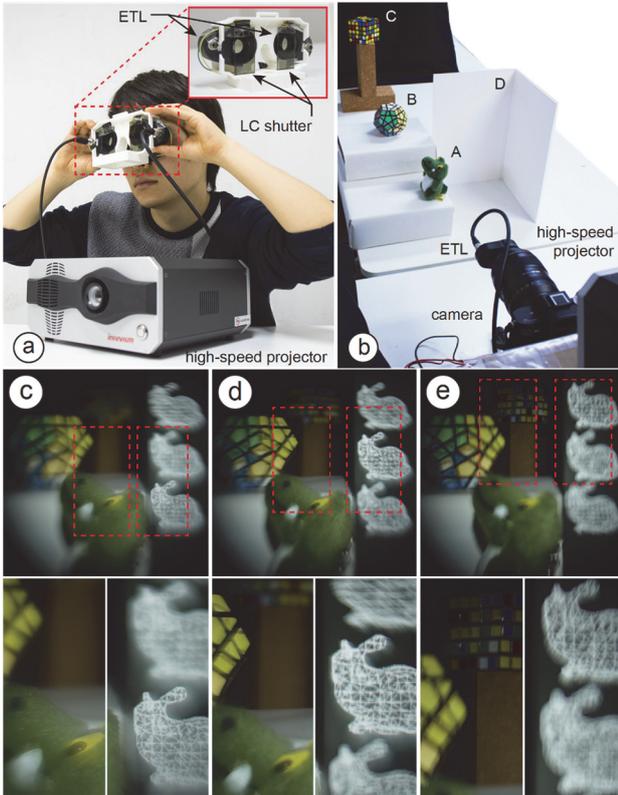
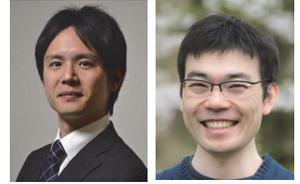


図1：両眼視差と焦点位置の両方を正しく表現できるARディスプレイ (詳細は[1]を参照ください)



図2：遮蔽関係を正しく表現できるARディスプレイ (左：一般的なARディスプレイ、右：提案ARディスプレイ、詳細は[2]を参照ください)

○ 研究の背景と目的

日常生活において、私たちは身の回りの様々な質感を無意識に認識し、活用しています。当班では、人の質感認識能力を機械による視覚（カメラで撮影した画像をコンピュータ処理すること）によって補助・拡張する技術を生み、更にこれらによって質感認識能力がどのように変わるかを科学しています。

例えば、ある実物と、その質感を精巧に似せて作られた人工物は、ときに人間の目では見分けがつかせませんが、機械視覚は容易く見分けられます。

特に当班では、「質感変調眼鏡」という、実物から出る光を、人間の目に届く直前で直接操作する装置を開発しています。この眼鏡は目に届く光の中から特定の質感に関する情報を機械視覚によって抽出し、それを強調・抑制して人間の目に提示することができます。質感認識能力への影響を調べることができます。

○ 研究成果

質感変調眼鏡を実現するための基盤として、コンピュータグラフィクス (CG) を実物と違和感なく重ね合わせて人間の目に提示する技術の開発を行いました。以下では特に、実物との3次元的な関係を正しく表現する研究成果をご紹介します。

一般的なARディスプレイでは、CGを所望の奥行きに配置するため、奥行きに応じて位置をずらした異なる映像を両眼に提示します。一方、焦点が合う位置は固定となってしまうため、CGが所望の奥行きにあるように知覚されない、という問題がありました。この問題に対して私達は、電気信号で焦点位置を切り替え可能な焦点可変レンズを用いることで、焦点位置も正しく表現する技術を開発しました (図1) [1]。この研究は、ARに関する主要国際会議 IEEE ISMAR 2021にて最優秀論文賞 (Best Journal Paper) を受賞しました。

CGを実物と違和感なく重ね合わせるためには、遮蔽関係を正しく表現する必要もあります。一般的なARディスプレイでは、CGを実世界に足し合わせることはできず、CGと背景の実物の色が混ざってしまうため、実物との遮蔽関係を正しく表現できません。そこで私達は、CGを重ね合わせる領域のみ実世界からの光を遮蔽して色の混ざり合わせを解消する技術を開発しました (図2) [2]。これにより、CGと実物との遮蔽関係を正しく表現でき、さらにはそれらの中で生じる影も正しく表現することで、違和感のない重ね合わせを可能としました。

○ 関連する研究発表

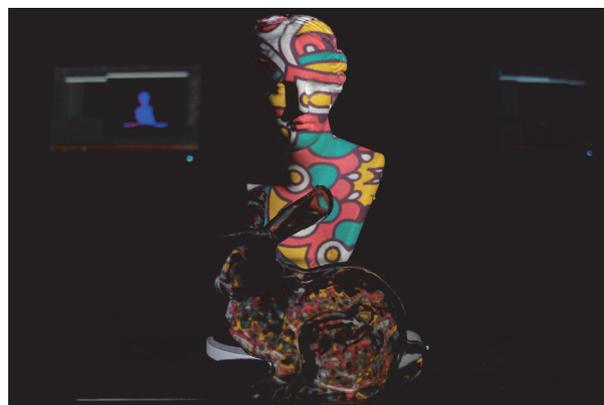
1. Kimura S., Iwai D., Punpongsanon P., Sato K.: Multifocal Stereoscopic Projection Mapping. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 27(11):4256-4266, 2021.
2. Someya K., Itoh Y.: Blending Shadows: Casting Shadows in Virtual and Real using Occlusion-Capable Augmented Reality Near-Eye Displays. IEEE Int. Symposium on Mixed and Augmented Reality, 422-430, 2021.

深奥質感がもたらす現実と虚構の融合

研究代表者 渡辺 義浩 (東京工業大学 工学院・准教授)



周期運動する実素材を用いたリアリスティックな3次元ディスプレイ



並列協調制御に基づく複数台の高速プロジェクタによるダイナミックプロジェクションマッピング

○ 研究の背景と目的

深奥質感は、人の価値判断・情動・行動に作用します。本研究では、このような深奥質感を変容するレベルのリアリティを、実世界の目の前の実体上に創造することを目指します。特にこの目標を、人に接触することなく、環境側に設置された投影技術のみによって達成します。

これまでの関連研究では、虚実融合によって再現される質感の限界が低く、人の生活様式を変えるほどのリアリティは生まれていませんでした。そこで本研究では、まず質感再現の限界を超えることから着手します。また、生来の視覚機能では捉えられない質感世界を実体上に可視化することで、人の認識行動の強化を図ります。さらに、モノから場へと範囲を広げることで、人の行動と協調する質感操作を明らかにします。以上3つのかつてないレベルの質感操作技術によって、最終的に深奥質感の変容に挑みます。

○ 研究成果

主に質感再現の限界克服に取り組みました。まず、再現したい実素材を直接用いて、高いリアリティの3次元像を生成する新たなディスプレイを実現しました。このディスプレイでは、人間の視覚における残像効果を利用しています。具体的には、周期的に運動する実素材に対して、高速プロジェクタによってパターンを投影しています。これによって、毛糸などで作られた立体像を人間に知覚させることができるものです。リアリティを高めるために、毛糸は粗く、フェルトは細かくするなど、素材に応じて提示像の解像度を変える工夫や、観測者の視点に応じてパターンを適応的に変えることで隠面を消去する

工夫などが組み込まれています。

次に、運動する対象表面の全方位へダイナミックプロジェクションマッピングするために、複数台の高速プロジェクタを協調制御する手法を提案しました。従来は複数台の投影画像を同時に生成するため、長い計算時間を要していましたが、提案する手法は複数台の投影画像をそれぞれ独立に、さらには画素並列に計算することで瞬時に生成することが可能です。また、複数台の高速プロジェクタをそれぞれ別の計算機にネットワークで接続して、分散制御可能なシステム構成も実現しました。10台以上の高速プロジェクタを組み込んだ場合にも、運動物体に遅れず投影できることが分かっています。本技術によって、一部の表面にしか投影できない欠点や、遮蔽によって影が生じる欠点を克服することができるため、ダイナミックプロジェクションマッピングのリアリティを大幅に向上することができます。

○ 関連する研究発表

1. Nomoto T, Li W, Peng H, Watanabe Y: Dynamic Multi-projection Mapping Based on Parallel Intensity Control, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 28(5): 2125-2134, 2022.
2. Asahina R, Nomoto T, Yoshida T, and Watanabe Y: Realistic 3D Swept-Volume Display with Hidden-Surface Removal Using Physical Materials, IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, Virtual, 113-121, 2021.

実体の質感情報を引き出すフィジカルメディアの設計と表現実践

研究代表者 笥 康明 (東京大学 大学院情報学環・教授)

研究分担者 仲谷 正史 (慶應義塾大学 環境情報学部・准教授)

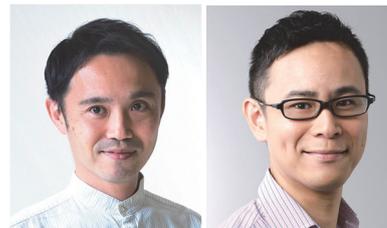


図 1: 本計画研究の概要

○ 研究の背景と目的

本研究では、実素材およびそれらを多数集めた群(実素材群)の特性や振る舞いを制御し、素材性を活かした情報提示やインタラクションを行うフィジカルメディアの創出に取り組みます。さらに、コンピュータ的に制御される動的な実素材群の形状・色彩・触感などが人間にもたらす質感および行動変容に関する研究を進め、その知見を設計に取り込むことを目的とします。本研究を通して、ヒューマンインタフェース、アートなどへの応用を展開し、環境に溶け込みながら、人間とのインタラクションを誘引するデザイン方略を導く考えです(図1)。

○ 研究成果

これまでの成果を、実素材(群)のマルチモーダルな制御手法の創出、実体質感の評価手法の創出、および応用・質感表現ツール開発の3つに分けて述べます。

(1) 実素材群のマルチモーダル制御とインタラクション

近年形状ディスプレイとして一般的に用いられるピンアレイに対し、先端に層毎に色の異なるスプリング状パーツを取り付け、ピンの高さ制御による形状変化と同時に、2本のピンの傾き制御による色彩変化を表現可能な実体ディスプレイを開発しました。取り付けるパーツによりさらに多様な質感表現を目指しています。

また、導電性素材のフィラメントを3Dプリントすることにより、柔軟な変形センサを開発し、国際会議CHI2022にて発表を行いました[2]。柔らかさや変形の具合を制御して多様な触感と形状を持つ

インタフェースの実現および企業連携を通じた応用を目指します。このほか、造形物の形状やテクスチャの繰り返しの変更と固定が可能なファブリケーション手法や、大型の形状変化インタフェースなどに関して、動作原理および制御手法の開発を進めています。

(2) 実体質感を評価するフレームワーク構築

多様な実体物の深奥質感評価手法の開発を行ってきました。これまでに4つの実体質感を表現する30の感性ワードと、4つの潜在因子を抽出しました。また、これらの感性ワードを利用して、舞台衣装の審美的な要素の評価研究や人間の肌の深奥質感を明らかにする研究を推進しています。中でも、料理の魅せ方が想起させる五感イメージ(心的イメージ)に着目した研究では、色/乾湿(水分量)/味(酸味や香辛料)を想起させる視覚情報が料理の判断に関わることが分かり、加えて主菜の隣に配された付け合わせが、主菜の食べたさと好ましさに影響を与え、温かさの想起も共起することを明らかにしました[1]。

(3) インタフェース、アートへの応用と質感表現ツールの開発

実素材上で起こる現象に注目したアート展開の一つとして、光合成時に生じる気泡発音に注目し、海藻とのインタラクションを行うオンライン参加作品AlgaphonをArs Electronica Festival2021およびISEA2022にて発表しました。また、新しい絵画や造形表現、メディアアートとしてのアウトプットに向けた取り組みも進めています。今後、深奥質感表現を可能にする技術を提案するだけでなく、それを評価する手法も同時に構築することで、本研究領域の成果物が広く一般社会でも利用できるような道具立てを用意する考えで、本研究班は活動しています。

○ 関連する研究発表

論文

[1] [Kokaji N, Nakatani M](#): With a Hint of Sudachi: Food Plating Can Facilitate the Fondness of Food. *Front Psychol* 2021._

学会発表など

[2] [Sakura R](#), Han C, Watanabe K, Yamamura R, [Kakehi Y](#): Design of 3D-Printed Soft Sensors for Wire Management and Customized Softness. In CHI EA '22. Article 192, 1-5.

公 募 研 究



公募研究 D01-1

外界を定位させる高臨場立体振動ディスプレイの実現

研究代表者 昆陽 雅司（東北大学大学院情報科学研究科・准教授）



○ 研究の背景と目的

バーチャルリアリティの没入体験を向上させるためには、視覚や聴覚だけでなく、体に伝わる触覚による対象物の気配も重要な情報になります。本研究では、外界の物体やキャラクタから伝わる振動を全身に伝わる振動で定位させる「立体振動」技術の実現をめざしています。これまで触覚では、複数の振動刺激により、振動子の間に振動源が存在しているかのように感じるファントムセンセーション(PS)という現象が知られていました。本研究では、従来のPSを拡張し、任意の振動波形、任意の位置で体感させる技術を開発します。



a) 立体振動ディスプレイのイメージ



b) 装着デバイスによる放出感の提示



c) 開発した床面2次元振動提示装置



d) 床面振動音をリアルタイムに立体振動に変換するアプリケーション

○ 研究成果

図 a)のイメージのように、床面でボールが跳ねたり、身体に伝わる振動の方向が感じられる「立体振動」の提示手法を提案しました。本手法ではヒトの振動知覚特性を考慮した知覚インテンシティにより振動源の体感量を算出し、その総量を保ちながら、複数の振動子に知覚インテンシティを分配することにより、特定の方位に振動源があるように感じさせることができます。実験では、図 b)のような装着型デバイスや、c)床面振動装置を用いて、特定の方位に振動源を感じさせることができるか評価しました。床面の2次元平面では、 ± 22.5 度の範囲に対して72%程度の正答率で識別できました。また、振動源の移動経路を識別できることも確認しています。図 d)のように床面を跳ねるボールの振動音からリアルタイムで立体振動に変換するVRシステムも開発しています。

公募研究 D01-2

投影光を用いた実物体の形状・反射特性制御による現実拡張型質感操作技術

研究代表者 平木 剛史（筑波大学図書館情報メディア系・助教）



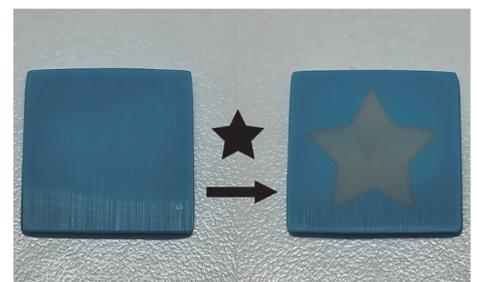
○ 研究の背景と目的

拡張現実感(AR)技術を用いた質感操作技術はエンタテインメントやデザイン支援などに広く利用されています。一方で、その表現はほぼ映像のみに依存しているため、実物体の性質は変化せず、また暗い環境でしか質感操作ができないという課題がありました。

そこで本研究では、映像の重畳と同時に、その投影光によって実物体の反射特性・形状を協調して制御することで、人が現実世界とバーチャル世界の境界面を意識せずに利用できる現実拡張型の質感操作技術を構築することを目的としています。具体的には、反射特性や形状の変化が可能な投影対象の実物体と、これを投影光で制御可能なプロジェクタの双方の設計論を構築し開発することで、従来の映像に依存した視覚的質感表現から脱却した、映像と投影対象の実物体が相補的に機能する質感操作技術を開拓します。

○ 研究成果

実物体の反射特性を制御するアプローチについては、映像+紫外線の重畳投影が可能なプロジェクタを開発しました。RGB光源と紫外線光源を同軸光学系に追加した高速DLPプロジェクタを実装し、これを用いて



双安定性サーモクロミックインクを含む構造への赤外線投影によるパターン描画

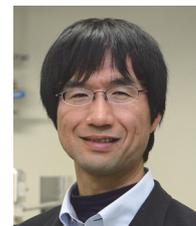
映像と紫外線パターンを同時、同位置に投影することでカラー映像の表示とフォトクロミック素材の発色制御を同時に実現できることを確認しました。また、双安定性サーモクロミックインクを含む構造を3Dプリンタによって造形し、赤外線投影プロジェクタによる非接触加熱でその色・模様を制御する手法を構築しました。

実物体の形状を制御するアプローチについては、柔軟な液晶エラストマー素材を赤外線投影プロジェクタによる加熱で変形させることで、やわらかい構造をさまざまな表面形状へと変形させることができる手法を構築しました。

公募研究 D01-3

ものづくり現場の非破壊検査における匠の技の科学的理解と視覚増強への応用展開

研究代表者 河野 行雄（中央大学理工学部・教授）



○ 研究の背景と目的

有限温度の物体・生体からは熱放射（熱輻射）と呼ばれる電磁波が発生します。この現象を用いた応用例として、非接触温度計がよく知られています。温度計を直接接触させなくても人の体温が測定できるため、近年、街の至る所で見かけるようになりました。この手法は、観測対象に対して外部から光源で光を照射する必要がないため、対象に優しい測定という利点があります。

本研究は、この技術や特徴を、単なる温度測定だけでなく、流れる液体中に溶け込んだ化学物質を分析するための“新しい目”として活用することができないだろうかという着想で始めました。流れる液体から発せられる熱放射の強度や分布が、化学物質の溶解によって受ける変化について、当研究グループ独自の高感度センサでモニタリングすることを目指しました。

○ 研究成果

まず、流れのある液体を全面から画像検査するのに適したシート状光撮像センサを開発しました。これにより、配管中を流れる液体からの熱放射分布を画像化することができました。さらに、上記の液体に様々な化学物質を溶かしたところ、その種類や濃度に応じた光検出信号の変化を見出し、熱放射画像から化学物質の混入を視覚的に捉えることができました（右上図に概念図）。

以上の成果は、サンプル非採集・ラベルフリー・オンサイト測定可能・外部光照射不要という自然のままの状態での新しい非破壊水質検査が可能になったことを示しています。シート状のセンサであるため、塩化ビニールパイプ、ゴムチューブ、蛇腹管など柔らかな素材や複雑な形状の液体配管に貼り付け可能です。化学合成プラントや飲料品製造現場などへの応用が見込まれ、ものづくり現場での匠の技を科学的に理解するための基盤技術としても期待できます。

【発表論文】

K. Li, T. Araki, R. Utaki, Y. Tokumoto, M. Sun, S. Yasui, N. Kurihira, Y. Kasai, D. Suzuki, R. Marteiijn, J. D. Toonder, T. Sekitani, and Y. Kawano, “Stretchable broadband photo-sensor sheets for non-sampling, source and label-free chemical monitoring by simple deformable wrapping”, *Science Advances* **8**, eabm4349 (2022).

日刊工業新聞（2022年5月13日）、日刊産業新聞（2022年6月6日）、日経産業新聞（2022年7月8日）で紹介



公募研究 D01-4

質感と形状の分離による奥深質感画像分析・生成のためのマルチモーダル深層学習モデル

研究代表者 柳井 啓司（電気通信大学大学院情報理工学研究科・教授）



○ 研究の背景と目的

大量の画像と言語のペアデータから、画像の質感部分と言語の質感表現の対応付けを自動的に学習し、それを質感画像認識と質感画像生成変換に利用することで、多様な言語表現に対応した画像認識と生成変換を実現することが本研究の目的です。

○ 研究成果

研究開始の昨年 9 月からこれまでに主に(1) マルチモーダルレシピデータを用いた画像検索・生成、(2) 大規模マルチモーダルモデル CLIP を用いた画像変換、について研究を行いました。

レシピデータを用いたマルチモーダル画像生成では、言語データであるレシピテキストからの食事画像生成を実現しました。「ピーマン」をレシピテキストから削除すると、生成画像からも緑色の要素がなくなりました（図 1）。

大規模マルチモーダルモデルを利用した画像変換では、個別の変換について学習することなしに言語で指示を与えることで、自動車のタイヤの大きさを自由に変えたり（図 2）、食事画像にトッピングを追加したりすること（図 3）を実現しました。



図1. ピーマンの除去



図2. タイヤサイズの連続変化



図3. ご飯への seafood, ham の追加

公募研究 D01-5

肌と肌が合うときの特異的な接触現象が生む心地よい触感の解明

研究代表者 岡本 正吾（東京都立大学大学院システムデザイン研究科・准教授）

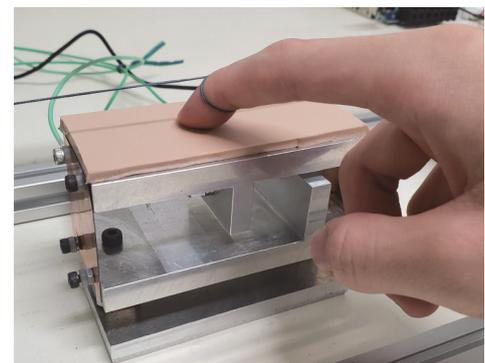


○ 研究の背景と目的

肌と肌が触れあうときの、あの触り心地の良さは何だろうか？この研究は、その疑問に答えようとするものです。一体、どのような条件が揃った時に肌が心地よく感じられるのかを、摩擦および硬さ／やわらかさを初めとする接触現象と機械特性の計測、官能評価実験を駆使して調査します。究極には、一番触り心地がよい肌を何かを調査します。同時に、人がやわらかさを知覚する原理が完全に明らかでない点も追究します。わたしたち人間は、機械式の計測器とはまったく異なる原理でやわらかさを知覚していますが、その解明はまだです。

○ 研究成果

写真にあるのは、指で物の表面を擦ったときの接触力と指の運動を精緻に計測する装置です。この装置の上に乗っているのは、触り心地が本物に近い人工肌です。人工肌の硬さは複数段階で変化させます。表面には潤滑剤を施して、摩擦の条件を操作しました。実験参加者に指でこの人工肌を擦ってもらい、接触現象を計測しました。これまでの結果から、摩擦が小さくて、かつ自分の指と硬さが近い肌を触り心地が良いと感じることがわかってきました。すなわち、自分の肌に近い肌を好むという相性があるということです。本研究の成果は、触り心地の良さの理解に基づいたものづくりへと還元されていきます。



人工肌を擦るときの接触力の精緻な計測

公募研究 D01-7

光線場の計測と投影による現実を超える質感への操作

研究代表者 天野 敏之（和歌山大学大学院システム工学研究科・教授）

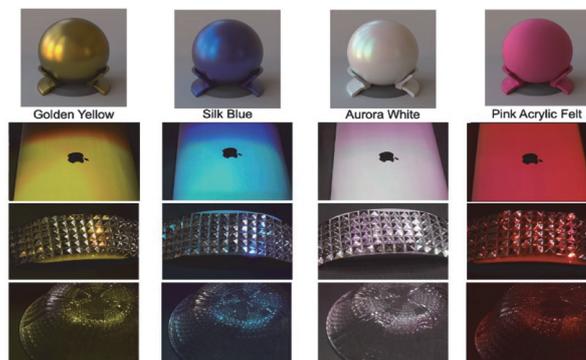


○ 研究の背景と目的

プロジェクションマッピングで光学的に現実を超える質感を作り出すことを目的としています。この際、反射モデルに基づく方法では、物理法則に矛盾せずに現実を超える質感を作り出すパラメータは明らかではありませんし、反射モデルで表すことができない質感の提示はできません。そこで、本研究は質感をもたらす要因（深奥質感）を質感のない中性的な無質感との偏差から抽出し、質感を有する物体への光線場投影で現実を超える質感の創出を試みます。

○ 研究成果

複数のプロジェクタと鏡を用いてさまざまな方向から映像が投影できる装置を製作し、この装置を用いた光線場投影で、BRDFで表される質感の付与に成功しました。この手法は鏡面反射を含む身の回りの物体へ適用することができます。今後はモデル記述が困難な深奥質感の抽出とその提示を行う予定です。



光線場投影による光沢物体へのBRDFの付与

○ 学会発表など

K. Kimura, T. Amano, "Perceptual BRDF manipulation by 4-Degree of Freedom Light Field Projection using Multiple Mirrors and Projectors," EuroXR 2022, Stuttgart, Germany.

公募研究 D01-8

コンピュータグラフィックスによる質感表現の深化

研究代表者 岩崎 慶（和歌山大学・准教授）



○ 研究の背景と目的

本研究は、コンピュータグラフィックス（CG）による質感表現をさらに深化させるための基盤技術の開発を目的としています。従来の映像制作などでは、RGB三成分を用いた画像生成が主流でしたが、近年ではRGBからスペクトル（波長）を考慮した画像生成へとシフトし始めています。しかしながら、物体表面の外観を表現する際に重要となる、光の反射率分布のスペクトルデータが少なく、表現力に乏しいという問題があります。

そこで本研究では、反射率分布データを解析し、パラメータを用いてモデル化することで、スペクトルを考慮した反射率分布の表現力を向上することを目的としています。また、画像から質感に関連するパラメータを推定する研究も行っています。

○ 研究成果

以下の図は、スペクトルを考慮した反射率分布を用いて生成した画像例です。スペクトルを考慮することによって、見る方向によって色が変わる構造色なども表現することが可能になります。



公募研究 D01-9

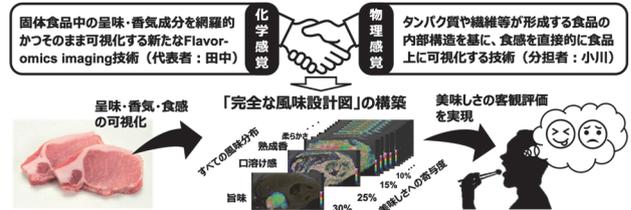
食品風味の深奥質感を解き明かす呈味・香気・食感の可視化・デジタル化技術の構築

研究代表者 田中 充（九州大学大学院農学研究院・准教授）



○ 研究の背景と目的

ヒトは食品を咀嚼・嚥下する際に、口腔内に放出される呈味・香気成分を味覚・嗅覚（化学感覚）情報として検知するとともに、歯ごたえや舌触りといった食感を触覚（物理感覚）情報として検知しており、これらの感覚から食品の風味を認知して美味しさを評価しています。しかしながら、現在の機器計測ではすべての風味成分と食感を一元化して捉えることはできず、風味が美味しさを決める機構は多くが不明のままになっています。そこで本研究では、食品の風味・食感を完全にデジタル記録するための次世代技術を開発することで、呈味・香気成分の空間的な分布、ならびに食感を網羅的に可視化した「完全な風味設計図」の構築を目指します。本研究により、感覚情報の客観的表現が可能となり、「美味しさ」という五感をフル活用した深奥質感の理解に大いに貢献できると期待されます。



○ 研究成果

本研究ではこれまでに、従来は不可能とされた味成分とにおい成分の一斉同時検出法の構築を達成しました。現状の計測技術では、不揮発性成分である味成分は液相分析系（LC-MS）、揮発性成分であるにおい成分は気相分析系（GC-MS）を用いてそれぞれ別々に測定する必要があり、食品からそれぞれの成分群を抽出する必要がありました。対して、今回開発した方法は、グラファイトカーボンブラックというナノ粒子に味成分とにおい成分の両者を吸着させ、その粒子をレーザー照射することで直接計測することが可能です。すなわち、味成分とにおい成分を同時に分析できるだけでなく、固体の食品試料の直接分析にも適応可能です。この方法を用いて、食品中の味とにおいの成分マッピングを達成し、研究協力者である小川剛伸先生（京大院農）の食品構造から食感を可視化する技術と融合することで、風味設計図の構築が可能になると期待されます。

公募研究 D01-10

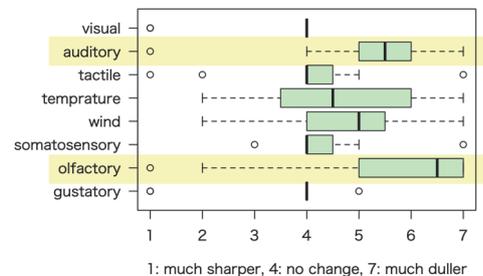
視覚障害者・晴眼者が質感体験を共有できるインクルーシブ質感提示法の解明

研究代表者 三浦 貴大（産業技術総合研究所・主任研究員）



○ 研究の背景と目的

視覚障害のある方への情報保障のため、聴覚・触覚に情報伝達する感覚代行手法が多く開発されてきました。一方で、視覚障害のある方は、晴眼の方とは異なる感覚経験を経て独特の感覚・知覚・認識系を獲得しうするため、晴眼の方への情報提示方法がそのまま使えるとは限りません。特に、視覚障害のある方の質感知覚には不明点があり、晴眼の方の質感知覚との共通性も未解明な点が多く残っています。これらが解明されれば、視覚障害のある方が多彩な質感を体験できるだけでなく、晴眼の方と感覚体験を共有できる可能性があります。このため、本研究の目的を、視覚障害のある方と晴眼の方と同じ質感体験を共有できる「インクルーシブな質感」の提示方策を明らかにすることとしました。具体的には、オノマトペを用いて視覚障害・晴眼の方における質感の捉え方の共通性・固有性を捉える他、視覚障害のある方がテキスト・画像情報



や空間印象を聴覚・触覚的に理解するための手法構築に取り組んでいます。

○ 研究成果

まず、視覚障害のある方において、生活状況で利用する聴覚・触覚的な質感を手がかりにする度合いと、その際の質感をオノマトペで回答するアンケート調査を実施しました (151 名分)。結果より、全盲の方がより生活上の場面で聴覚・触覚情報をより手がかりにすると回答しました。また、触覚では一貫してツルツル・ザラザラ・サラサラが多く確認された一方、聴覚では一貫した表現はあまり確認できませんでした。次に、視覚障害のある方の情報機器利用時に体験する質感について調べるため、アクセシブルゲーム Wiki の情報を分析しました[1]。結果より、視覚情報に対応して付与された音声・効果音からゲーム内情報を理解している点が示されました。また、COVID-19 の流行によるマスク着用に伴い、一部の視覚障害の方から、環境音が知覚しづらいとの報告があったため、その実態をアンケートで調べました (134 名分)。結果より、先天性の全盲の方で、特に聴覚・嗅覚で感覚がより鈍くなったと回答がありました (図 1)。

[1] 松尾, 熊澤, 諸熊, 蔵田, 三浦. 視覚障害ゲーマーのためのアクセシブルゲームの現況 ～まとめ Wiki の分析を例に～. 情報処理学会 第 18 回アクセシビリティ研究会, 2022-AAC-18-16, 7 pages, 2022.3.

公募研究 D02-1

物体の実在感 (リアリティ) と知覚的ノイズの関係

研究代表者 栗木 一郎 (埼玉大学 大学院 理工学研究科・教授)



○ 研究の背景と目的

白黒写真に彩色するとリアリティが向上するのはなぜでしょうか？一方、過剰な彩色がリアリティを損なうことも知られています。適度な「ノイズ」の付与からリアリティを感じる視覚のメカニズムを調べるのが目的です。

○ 研究成果

1) ヘッドマウントディスプレイ (HMD) によるリアルな照明環境の呈示に関する研究を行いました。実物を使うと正しい照明の認識が与えられ、正確な明度知覚に繋がることが知られていますが、実物は実験変数の制御が難しい課題があります。我々は没入感の高い HMD によって照明環境を呈示し、明度を評価する実験を被験者に行ってもらいました。その正確さの指標を評価したところ、約 75～85%となりました。この値は通常の PC 画面を使った実験 (グラフ破線; 平均約 65%) より高く、実物 (約 85%) に近い正確さで明度知覚 (明度恒常性) が得られることを明らかにしました。

一方で、頭部運動に画像が追従する機能を止めると指数は顕著に低下し、

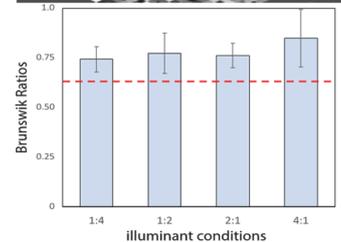
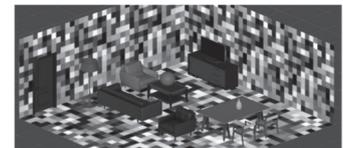
HMD の空間知覚のリアリティの向上は、頭部に追従する視野画像に起因することを示しました[1,2]。

2) 彩色の鮮やかさをどんどん上げると、物体が自ら発光するように見えてリアリティが損なわれます。彩色によるリアリティの限界が、脳内でどのように決まっているのかを調べる研究に着手しています。

[1] 佐藤, 羽鳥, 塩入, 栗木. ヘッドマウントディスプレイを用いた仮想空間内での明度恒常性の評価. 日本視覚学会 2021 年夏季大会.

[2] Kuriki I., Sato K., Shoiri S. Testing lightness constancy in a virtual environment presented by a head-mounted display (HMD). *Asia Color Association 2022*.

HMD に呈示した 3D VR空間の例



公募研究 D02-2

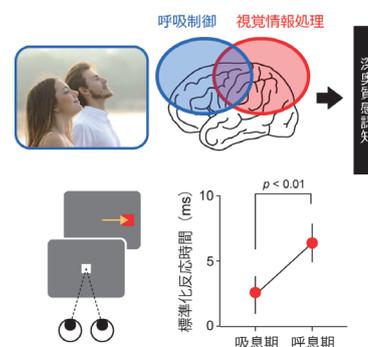
呼吸による認知の揺らぎが与える質感への影響

研究代表者 國松 淳（筑波大学医学医療系・助教）



スポーツ選手が大切な場面で「息を整える」ように、私たちは呼吸を操作することで無意識に感覚を操作しているのかもしれませんが、これまで感覚系が自律神経やホルモンを通じて呼吸に影響を及ぼす機構はよく研究されてきましたが、その逆の呼吸が感覚系にもたらす効果についてはほとんどわかっていません。そこで、本研究ではヒトとニホンザルを対象とした実験によって、呼吸と質感認知の関係とその神経メカニズムを解明することを目的とします。

これまでにサルを用いて呼吸の研究を行った例はほとんどなく、呼吸の計測法は確立されていません。手が器用なサルたちは測定装置を外してしまうため、ヒトと同じ方法で呼吸を計測することは困難です。そこで、私たちは非接触に鼻腔の温度を測定することで、安定して呼吸位相を計測することに成功しました。この方法は、動物の行動を制限することなく自然な呼吸を記録できるという点でも他の方法を比べて優れています。次に、ヒトとサルを対象として、行動課題を用いて呼吸の位相による行動の変化を調べました。手の運動などの負荷の大きい動作を繰り返すと呼吸頻度に影響が生じるため、負荷の少ない眼球運動を行動指標としています。これまでに、吸息期に眼球運動のターゲットが提示された場合に、呼息期と比べて反応潜時が短縮するという結果が得られています。この結果は、吸息期において視覚情報処理が促進されていることを示唆しています。また、ヒトとサルで類似した結果が得られていることから、種間で共通の脳メカニズムが存在していると考えられます。

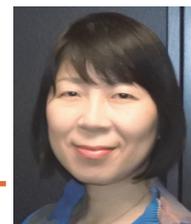


Akiyama Y, Matsumoto M, Kunimatsu J. 'The effect of respiration on the voluntary control of movements in primates', Tsukuba conference, 2021.

公募研究 D02-3

国際比較による顔の色・質感認識メカニズムの探究

研究代表者 溝上 陽子（千葉大学大学院工学研究院・教授）



○ 研究の背景と目的

この研究を顔の色や質感は、健康状態や顔の印象など、重要な判断やコミュニケーションに大きく関わっています。その見えは複雑で、一般的な物体の見えとは異なる特性を持っています。さらに、国や環境、文化によって顔認識の仕方が異なる可能性があります。そこで私たちは、顔の色が顔の明るさ認識に与える影響、顔の色が情動認識に与える影響、顔の質感が顔印象に与える影響について国際比較することにより、顔の色・質感認識メカニズムに対する環境的要因、社会的要因、文化的要因の寄与を検証しています。



○ 研究成果

顔の平均明度が等しい場合でも、赤みを帯びた顔は黄みを帯びた顔より明るく見えることが分かりました。しかし、この現象は日本人特有であり他の国では異なる傾向になったことから、環境や文化の影響が考えられます。また、肌の色素であるヘモグロビンの増減により、顔の赤みが強くなると怒りの表情を促進し、赤みが減り明るくなると悲しみや幸せの表情を促進することを明らかにしました。これにより、血流等

による顔色の変化が表情認識に寄与していると考えられます。その他、シミの目立ちには肌の色や色ムラが影響するなど、顔に特徴的な見えの特性が明らかになってきています。

公募研究 D02-4

身体運動の誘発に関わる音楽の質感とその神経基盤

研究代表者 白松 知世（東京大学大学院情報理工学系研究科・助教）



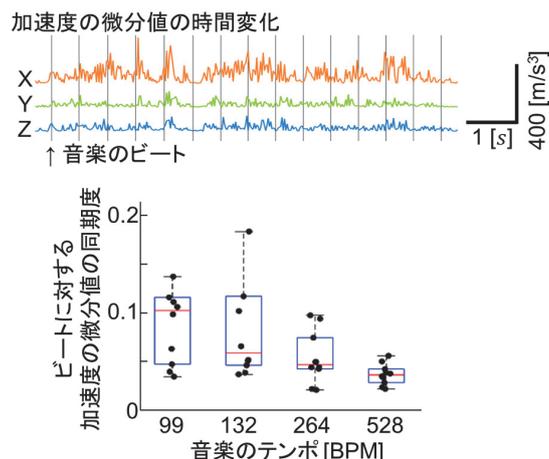
○ 研究の背景と目的

本研究は、音の質感として、音楽のリズムに注目しています。我々は、音楽に対して身体運動を容易に同期させることができますが、同じことができる動物は多くありません。こうした違いは、ヒトと動物との、身体の大きさや構造の違いに基づくのでしょうか、それとも、リズム知覚に関わる脳の情報処理の違いによるのでしょうか。

本研究は、音楽に対するラットの身体運動と、聴覚野の活動計測を通して、この問いを探ります。具体的には、どのようなリズムが最も強く音楽への同期運動を誘起するか、また、強い同期運動を誘起するリズムが、聴覚野でどのような神経活動を誘発するかを調べ、両者の関係性を探ります。

○ 研究成果

これまでに、頭部運動の解析を通して、ラットもヒトと同様に、120 BPM 程度の音楽のビートに対して強く運動同期することを明らかにしました。このことは、動物でも、ヒトとの身体のサイズの違いに関わらず、音楽に対する同期運動が誘起されることを示しています。同時に、今回の結果は、音楽に対する同期運動が、ヒトと動物で共通したメカニズムに起因する可能性も示しています。また、脳の聴覚野の神経活動の解析を通して、運動同期に関わる神経活動も調べています。



公募研究 D02-5

ヒトの脳における多様な匂いの表象の時空間的解明

研究代表者 岡本 雅子 (東京大学大学院農学生命科学研究科・特任准教授)

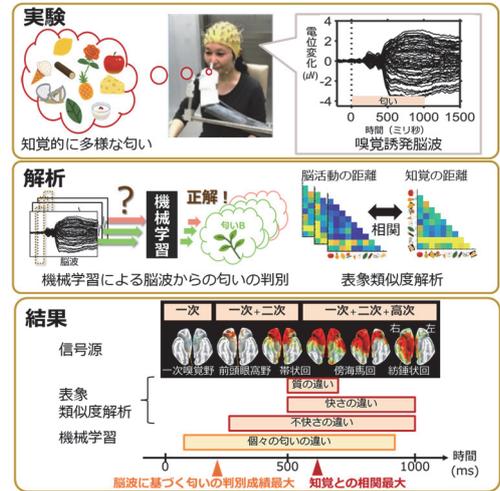


○ 背景と目的

匂いのもとには化学物質ですが、フルーティー、甘いなど様々な「匂い」として感じることができます。このような匂いの知覚は脳の中で生まれると考えられますが、匂い物質の情報が知覚に変換される経過は、あまり分かっていません。私たちは、脳における嗅覚処理のいつ、どこで、匂いの知覚が生まれるのかを明らかにすることを目指しました。

○ 研究成果

参加者に様々な匂いを嗅いでもらい、高い時間分解能で脳活動を解析することのできる脳波を測りました。匂いを嗅いでから1.5秒間の脳波を50ミリ秒ごとに解析し、脳活動パターンと匂いの知覚の関係の経時的な変化を調べると共に、その脳波が脳のどここの活動を反映しているのかを調べました。その結果、まず、匂い呈示後100ミリ秒以降の脳波から、その時嗅いでいた匂いの種別を判別できることが分かりました。その判別のしやすさは、初期には知覚と関係しませんでした。匂い呈示後約600ミリ秒で知覚との相関が高くなり、この時間に脳において匂いの知覚の情報が生じていることが示唆されました。また匂いの情報は、嗅覚に特化した脳領域から、記憶や感情、意味などに関わる脳領域へと広がっていくことが示され、これらの領域が、匂いの知覚の生成に関与している可能性も示唆されました。匂いは私たちの生活に彩りをもたらすと共に、神経疾患と匂い知覚の変化に関わりがあることが指摘されており、医療においても関心もたれています。今後、他の実験条件や被験者群において同様の解析を導入することで、嗅覚の神経基盤への理解がさらに深まることが期待されます。論文発表：Kato et al., PNAS 119 (21) 2022.



公募研究 D02-6

心理物理学・生理学的時間特性に基づく物質的/感性的質感間の階層構造モデリング

研究代表者 永井 岳大 (東京工業大学 工学院 情報通信系・准教授)



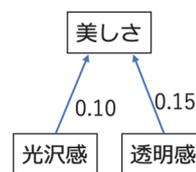
○ 研究の背景と目的

「質感」といっても、光沢感や透明感といった素材的なものから、美しさや高級感といった感性的なものまで、多種多様です。これらの「質感」は脳内においてお互いに関係性があるのでしょうか？ある質感（例えば光沢感）は他の質感（例えば美しさ）を生起するための情報源になるのでしょうか？あるいは、脳内では直接的結びつきはなく、別々に処理されるのでしょうか？本研究では、このような多様な質感が脳内でどのように結びついているかを明らかにすることを目的としています。

○ 研究成果

本研究では、心理実験と脳波計測から、質感同士の関係性を見出そうとしています。これまでは、主に心理実験を進めてきました。この心理実験では、様々な素材から作られた物体の画像を2枚被験者に見せ、被験者はどちらの方が様々な質感について大きく感じるか（例：どちらの光沢感が大きい、どちらが美しい）をできるだけ早く応答して、被験者が感じる質感の強さと応答の速さを計測しました。この実験結果が

関連性の例



心理実験から質感の間で関連性の順序を追うと・・・



ら、脳内処理として異なる質感同士が関連しうるデータのみを抽出すると、例えば美しさは光沢感と透明感を元に判断されるという関連性が見えてきました。今後は、同じような質感の間の関連性が脳波における時間的特性においても観察されるかを検討していきます。

公募研究 D02-7

選好注視と脳活動に基づく深奥質感の研究

研究代表者 川崎 圭祐（新潟大学大学院医歯学研究科・准教授）

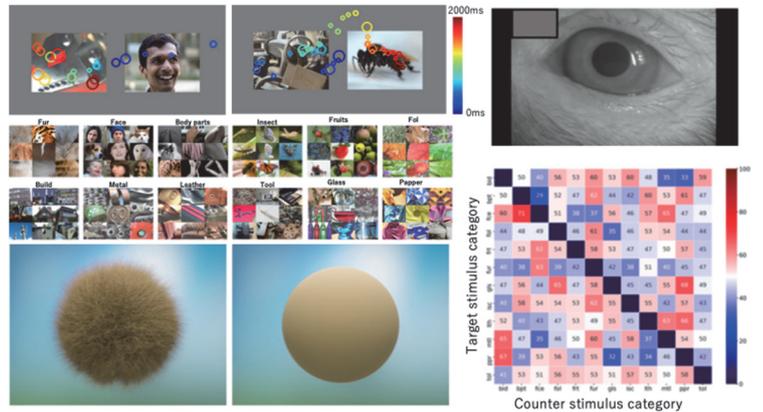


○ 研究の背景と目的

質感の認知は、物体の素材や状態の推定や、物体に価値や感情を帰属させることを可能にして、外界に豊かなリアリティーを生み出します。これまで視覚的質感においては、質感属性を変化させた物体を呈示し、得られた行動や神経応答から質感認知の特徴が明らかにされてきました。しかし、動物モデルの研究においては、質感認知の行動評価が難しかったため、個体の認知状態の変化について検討が不十分でした。本研究では動物の自然な認知状態を評価することができる選好注視法を、サルの質感認知に適用して深奥質感の神経メカニズムの解明に取り組んでいます。多様な自然画像や光学物理パラメータを制御したフォトリアスティックなコンピュータグラフィックス（CG）を用いて、質感によって果たしてモデル動物の認知状態、心の状態は変化するか？ 質感認知に決定的な影響を与える脳活動とはどのようなものか？ 脳活動を操作することによって質感認知は変容するのか？ について検証しています。

○ 研究成果

多数の自然画像から構成されたカテゴリ刺激セット（12 カテゴリ x1000 刺激）に対する注視行動を調べたところ、カテゴリカルな選好性が見られました。この結果は、サルの注視行動が高次のカテゴリ認知を反映している可能性を示しています。また生物学的な重要性が示唆されている毛の刺激については、他のカテゴリの刺激に比べて選好性は低いことがわかりました。一方、フォトリアスティックな毛の CG を用いて、同一物体について、毛の有無で選好性を調べたところ、毛の生えた物体に選好性が高いことがわかりました。質感の豊かさが注視行動の選好性に現れているのかもしれませんが、今後は毛の質感にさまざまな操作を加えた時の選好性、さらに同時に計測した脳活動の変化について検討していく予定です。



カテゴリと毛質感によるサルの選好注視：（左上）サルの注視行動の2例（金属と顔、道具と虫）。刺激呈示後0から2000msの注視点の推移を色で示している。（左中）カテゴリ選好注視テストに用いられた刺激の例。（左下）毛質感選好注視テストに用いられた刺激の例。（右上）自由注視課題遂行中のサルの眼球映像。（右下）カテゴリ選好注視、First lookの結果。縦軸にターゲット刺激のカテゴリ、横軸に同時に呈示した対照刺激のカテゴリを示している。ターゲット刺激を最初に注視した割合（%）を数値および色で示している。

公募研究 D02-8

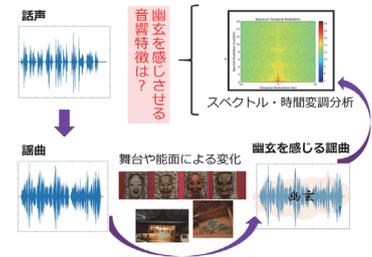
アンビエント音響としての謡曲における幽玄の理解

研究代表者 木谷 俊介（北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科・助教）



○ 研究の背景と目的

日本の伝統芸能である能楽は、現存する世界最古の舞台芸術です。能の良さや美しさは『幽玄』と表現されます。幽玄は、奥深くはかり知れない様のことです。能を大成した世阿弥は、その著書「花鏡」の中で「能では幽玄であることが第一に大事である」と述べています。しかし、鑑賞者に幽玄を感じさせるものがどのようなものであるかは分かっていません。本研究では、能の歌唱である謡を対象に、謡の持つ幽玄が何であるか、その音響特徴を明らかにします。



本研究では、能が固定された舞台で行われることや仮面劇であることに着目し、それらアンビエント（環境）の違いによって、謡にどのような変化が生じているのかを明らかにします。また、これらの変化がプロと素人でどのように異なるのかを音響分析と聴取実験によって明らかにします。

○ 研究方法

舞台環境によって謡にどのような変化が生じるのかを、複数の能楽堂と防音室でプロの能楽師の謡を計測しています。さらに、能面によって謡に違いが生じるのかを、複数の能面を変えて計測しています。計測した謡を音響分析することで、アンビエントによって生じる謡の物理的な変化を明らかにします。

音響分析では、従来行われている時間・周波数分析だけでなく、周波数構造の変化（スペクトル変調）、時間による音の大きさの変化（時間変調）の特徴を捉えることができるスペクトル・時間変調分析を行います。

音響分析の結果から得られた音響特徴を変化させた音を作成し、聴取実験を行うことで、幽玄と感じさせる音響特徴を明らかにします。

公募研究 D02-9

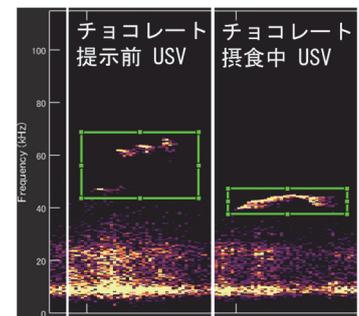
おいしさから紐解く快情動への身体反応とその神経機構

研究代表者 村田 航志（福井大学学術研究院医学系研究科・助教）



○ 研究の背景と目的

おいしい食べ物や優れた芸術は、私達に喜びや多幸感をもたらします。どちらも生活を豊かにする大事な質感ですが、喜びや多幸感などの快情動が生じる脳内メカニズムはまだよくわかっていません。近年の質感の神経機構の研究は動物を用いた実験で飛躍的に進んできました。本研究では、まず動物の快情動を測定する指標の確立を目指します。ラットもヒトと同じように甘いものが好きですが、ラットがおいしいものを食べているときに特有の生理学的・行動学的な身体反応を評価します。そして、ラットがおいしいものを食べているときに脳のどの神経細胞が活動するかを評価し、その神経細胞の活動を操作すると身体反応がどう変化するかを明らかにします。



○ 研究成果

チョコレート摂食時に生じる特徴的な超音波発声の発見

ラットは痛みを感じたり、仲間と楽しく遊んだりすると超音波域で発声します。超音波発声（ultrasonic vocalization, USV）はラットの情動状態を表すと考えられています。ラットがおいしいもの（チョコレート）を食べたときの USV を測定すると、40kHz 帯に数十ミリ秒持続する USV が生じました。この USV がラットのおいしさ体験を表す指標となるか、またどの脳領域が USV 生成に関わるか、検討を進めて参ります。

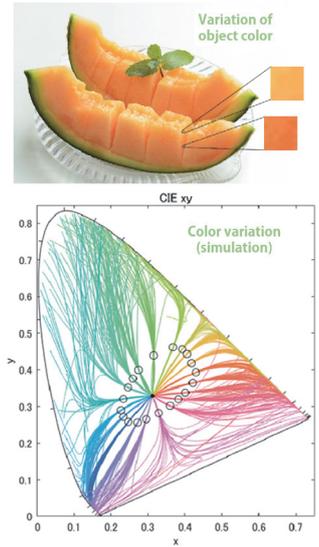
公募研究 D02-10

分光計算に基づく色素濃度による色変化と色覚特性

研究代表者 鯉田 孝和 (豊橋技術科学大学・准教授)



私たちが自然界で目にする色は均質ではありません。それが緑色の葉やオレンジの果肉といった単色で構成されているように見える物体であってもです（写真）。その色分布には何か傾向があるのでしょうか？ 画像を撮って調べたところ、概して白から有彩色までのグラデーションを持っており、同時にその分布は色度図上で直線ではなく特定の曲線を描くことが分かってきました。この色変化は、色素濃度によって分光吸収率がべき乗で濃くなるランベルト・ベールの法則で良く説明されます。そこで本研究では、より大規模に調査するために、色変化をシミュレーションによって調査しました。仮想的な分光吸収特性をもつ色素を無数にランダム生成し、べき乗で生じる色度の変化を求めて全体の傾向を調査しました。その結果、低彩度領域ではあらゆる色相に放射状に伸びる軌跡が、途中から曲線を描き、赤、緑、青のいずれかの領域に終始する曲線を描くことが分かりました（図）。この特性は色彩心理学で古くから知られる等色相知覚についての現象（アブニー効果）とよく一致していました。これは色覚の3属性の一つである色相知覚が、自然界で頻繁に生じている色グラデーションによって培われてきた可能性を示唆します。本研究は視覚経験によって色覚の基準が構成されるという仮説を、分光計測とシミュレーションによって探索する方法論を確立した点でも価値があります。



公募研究 D02-11

モノの性質を深く知る身体動作： 工芸における身体技法の現場計測による検討

研究代表者 野中 哲士 (神戸大学大学院人間発達環境学研究科・教授)

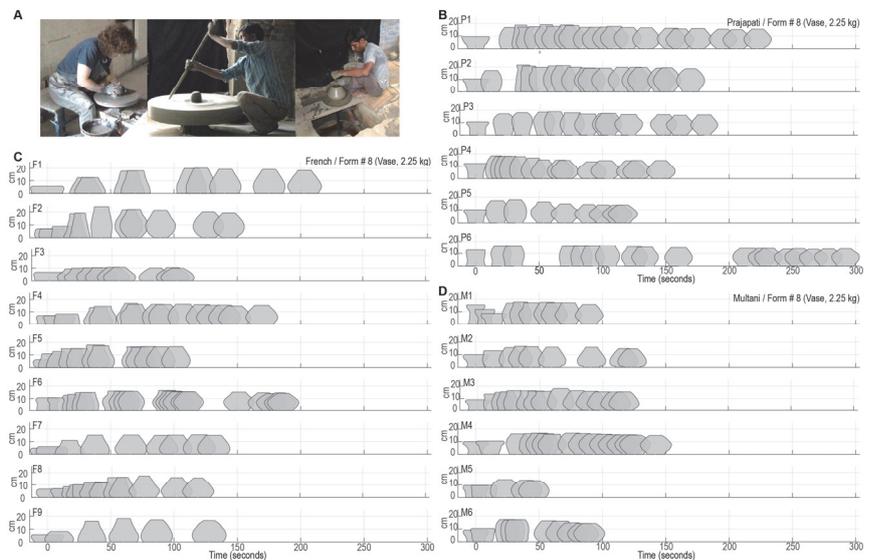


○ 研究の背景と目的

モノを深く知る身体知の実証研究から、「つくること」の文化伝達を新たに理解することを目的とする。

○ 研究成果

インド（ムスリムとヒンドゥ）およびフランスの3つの共同体の陶工が、提示された未知の形態を成形する実験を行った。その結果、非伝統的な形態をつくる際にも陶工の個性と文化差が現れ、特に完成形よりも形態発生過程に強く現れることがわかった (Nonaka et al., in prep). この結果は、文化伝達における変異に、個々の作り手がモノと切り結ぶ質感とその習慣が見逃せない影響をもつことを示唆している。



公募研究 D02-12

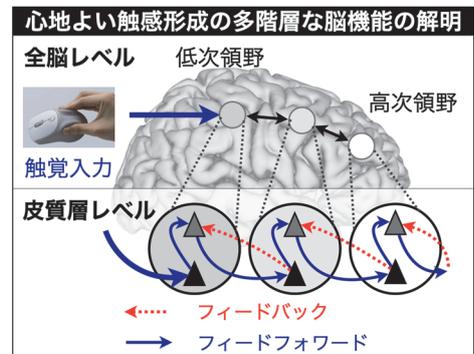
心地よい触感を生み出すヒトの多階層な脳内神経機構の解明

研究代表者 楊 家家（岡山大学ヘルスシステム統合科学学域・研究准教授）



○ 研究の背景と目的

触り心地を制御することで、心を満たす上質な製品の設計が可能だと考えられます。今、ヒトの「心地よい触感」を生み出すメカニズムの解明が望まれています。しかし、触り心地は触対象の表面粗さ、摩擦や硬さなどの複雑な物性とヒトの感覚が相互作用によって形成されるもので、我々がどのようなメカニズムで「心地よい触感」を感じるかは未だ謎に包まれています。機能的磁気共鳴画像法（fMRI）はヒトの脳機能を可視化するツールとして広く応用されています。本研究では、対象の表面粗さと柔らかさに焦点を当てて、fMRI 技術を用いて「心地よい触感」を生み出すヒトの多階層な脳内神経機構を明らかにすることを目指しています。



○ 研究成果

これまでの研究では、対象の表面粗さと柔らかさが異なる刺激を作成した上で、被験者に対象の手触り感と心地良さを評価してもらう実験を行いました。その結果、対象の触り方が表面粗さの知覚に影響を与えることが明らかにしました[1]。また対象の柔らかさ知覚実験では、指の柔らかさ付近の刺激において柔らかさと心地良さの判断ともに触り方の影響を受けることをわかりました。今、前述の結果を元に fMRI 実験の設計を完了し、ヒトの大脳皮質層と全脳のそれぞれのレベルの脳機能データを収集しています。

[1] Li H., et al. (2022) Global surface features contribute to human haptic roughness estimations. *Experimental Brain Research*. 240, 773–789.

公募研究 D02-13

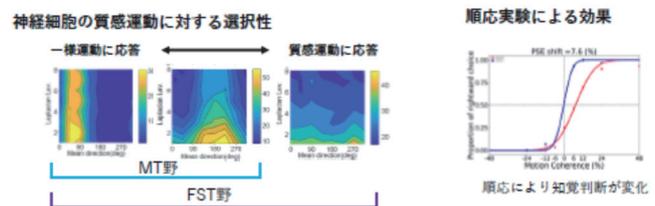
質感運動知覚に寄与する神経基盤の解明

研究代表者 眞田 尚久（岩手県立大学ソフトウェア情報学部・准教授）



○ 研究の背景と目的

「質感」というと物体表面の滑らかさやザラつきといった静的なものを連想しますが、炎のゆらぎや川のせせらぎのような動きを伴う質感も不可欠な情報です。私たちはこれまで、動的な質感である質感運動知覚が、脳内でどのように作りだされているかを調べるために、大脳皮質神経細胞の応答特性を調べてきました。その結果、視覚運動情報が大脳皮質 MT 野で処理されたのち、FST 野で空間情報の統合されることで質感運動情報の符号化が行われる可能性を見出しました。



本研究では、FST 野神経細胞で符号化された質感運動情報が知覚と因果的な関係があるかどうかを検証します。その為に、質感運動刺激によって順応効果が起こることをヒトの心理物理実験によって示し、知覚変化が脳活動に現れるかの検証を試みます。また、大脳視覚情報処理経路と似た特性を持つ深層学習モデルを解析することで、質感知覚の神経回路を理解することを目指しています。

○ 研究成果

これまで視覚順応実験を行ってきました。まず従来から知られている視覚運動刺激による順応実験を行い、順応効果により知覚判断が変化することを確認しました。順応の効果が質感運動によってどの程度生じ

るかを調べています。また深層学習モデルの内部構造の解析を行い、大脳視覚システムと、深層学習モデルの類似性と相違点を検証しています。まず視覚腹側経路と類似性の高い物体認識用の深層学習モデルを用い、内部の情報表現が視覚野神経細胞とどの程度似ているかを検証しています。この実験手法を今後視覚運動検出が可能な深層学習モデルに応用していきます。

公募研究 D02-14

目視できない末梢静脈血管路を選定する熟練看護師の触診技術の解明

研究代表者 渡邊 順子（静岡県立大学大学院看護学研究科・特任教授）



○ 研究の背景と目的

看護師が採血や点滴などで静脈に針を刺す「末梢静脈穿刺」は、目に見えない静脈血管への穿刺技術は失敗率が高く、患者に身体的な苦痛を与えてしまいます。静脈血管を探り当てる熟練看護師の触診技術は、言葉で表現することが難しい「暗黙知」のため、新人看護師に技術を伝えづらいことが課題です。

○ 研究の目標と作戦

目視できない静脈を選定する熟練看護師の触診技術を実験的に計測・分析し、静脈触診技術に潜む深奥質感の数値的な解明を目的としています。熟練看護師と新人看護師と、目視できない末梢静脈を持つ患者役を3人一組とし、触診圧と触診動作、手指の加速度、血管の深さ、血管断面積をほぼ同時に計測する試験を実施します。

○ 研究成果

看護師が触診する非利き手の人差し指の幅に個体差（男女差）があり、静脈触知センサの安定性を確保するための反復試験した結果、センサ幅は 11mm～16mm で可能と判明しました。静脈穿刺部位を選定する時間は、熟練看護師は数秒から 1 分以内と短時間で終了するため、触診圧、触診動作、加速度の解析と穿刺予定部位の血管の深さと血管断面積をほぼ同時に計測できるよう事前試験を繰り返し、試験手順を作成しました。



図 1. 熟練看護師の触診技術



図 2. 試験の様子

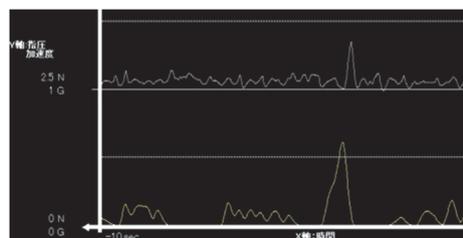


図 3. 計測した触診圧と手指の加速度

公募研究 D02-15

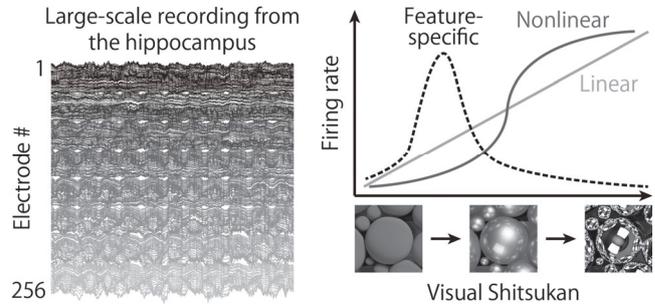
視覚質感から海馬空間表象への脳内変換機構の解明

研究代表者 北西 卓磨 (東京大学大学院総合文化研究科・准教授)



○ 研究の背景と目的

「いま自分がどこにいるのか」という空間認識は、動物の生存に重要な脳機能です。ヒトを含む多くの動物は視覚を頼りに自己位置の推定をおこなう一方で、推定により生成された空間情報は高次脳領域である海馬に存在します。ところが、視覚に含まれる情報—とりわけ質感の情報—が、海馬の空間情報表現にどのように反映されるかは良く分かっていません。そこで本研究は、空間探索行動中の動物に対して、複合現実環境を用いてさまざまな質感の視覚情報を与えつつ、海馬と関連領域において大規模な神経活動計測を実施します。これにより、視覚野から海馬にいたる脳領域における視覚質感の処理過程、および、視覚質感の海馬における符号化の様式を明らかにします(図)。



○ 研究成果

本研究は、視覚質感が海馬空間表象へと変換される深奥質感処理の実態を解明します。現在、各種の実験系(視覚提示・視線計測・神経活動計測など)のセットアップを行い、実験を進めています。また関連して、複雑に配線された脳回路のなかで、2か所の上流脳領域からの入力を統合する神経細胞に選択的にターゲットングする技術を新規に開発しました(Kitanishi et al., Commun Biol, 2022)。この手法も活用しつつ、質感の脳内変換機構の解明に取り組んでいます。

公募研究 D02-16

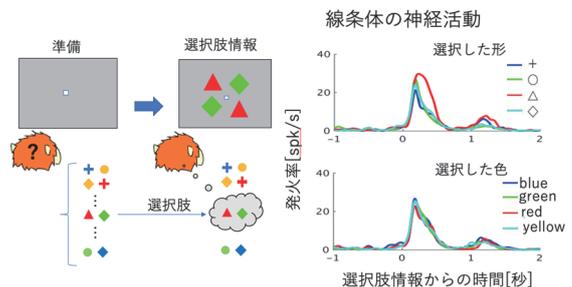
多次元感覚情報から価値への変換様式と神経機構

研究代表者 鮫島 和行 (玉川大学大学院脳科学研究科・教授)



○ 研究の背景と目的

価値判断は適切な意思決定のために欠かせない機能です。脳が経験する経験には多くの情報が詰め込まれていて、その中から価値に関する情報をどうやって脳は取り出しているのでしょうか？私は、経験に基づいて学習され、習慣となっていく情報の抽出能力と、その神経回路について研究しています。動物実験によって価値とその学習を行なっている大脳基底核の神経情報表現を調べることでこの謎にせまっています。



意思決定課題と線条体のニューロン活動

○ 研究成果

意思決定は、価値を判断し、行動を選択する、という2段階のプロセスに分けることができます。マカクサルに、価値を判断する段階、行動を選択する段階の2つが分離できる課題を訓練しておき、その時の大脳基底核・線条体の神経活動を調べました。これまで、行動選択や運動に重要と思われていた背側線条体は、価値の判断を認知的に(頭の中だけで)決めることに重要であることがわかりました。この時、選択する対象に複数の情報(ここでは色と形)があり、その一方だけが価値の情報にようにしておいたところ、大脳基底核は、選択に関係のある情報のみでなくそれ以外の情報も継続して学習しようとしていることがわかりました。これは将来価値に関する可能性のある情報も含めて大脳基底核が課題の構造を知り予測することに関係があるのではないかと考えています。

公募研究 D02-17

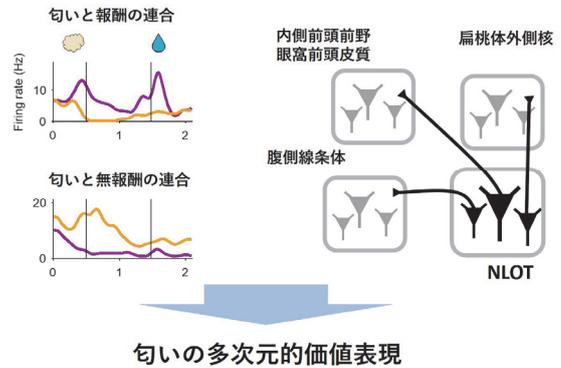
匂いが多元的価値を獲得する神経回路機構の解明

研究代表者 眞部 寛之 (同志社大学研究開発推進機構・准教授)



嗅覚は、匂い情報と様々な価値情報を結び付け、外界の匂いモデルを脳内に構築します。しかし、その神経回路機構は不明です。これまで申請者は、嗅皮質の一領域である外側嗅索核 (NLOT) が、匂い情報を分類し、それに報酬情報を連合することを発見しました。この結果から、NLOT は匂い情報に様々な価値情報を付加する機能があると仮定し、また NLOT が様々な価値回路へ並行出力することから、NLOT は、各々の価値回路への情報分配を調整することで、複雑な匂いの質感を生み出すのではないかと考えました。本研究は、最新の電気生理学的手法などを用いて、この仮説を検証することを目的とします。これまでに、匂いと様々な価値を結び付ける学習行動実験系を開発し、現在、この行動中の NLOT ニューロンの活動記録を行っています。加えて、光遺伝学的手法も組み合わせ、各価値回路に出力する NLOT ニューロンを選別し、それらの応答特性について調べています。また、NLOT のすぐ隣の前部扁桃皮質核のニューロンが匂いとそれに紐づく報酬を期待する時に応答することが分かり、嗅皮質における匂いと価値を結び付ける複雑な神経回路機構が見えてきました。

匂い情報と価値情報の連合 様々な価値回路へ並行出力



匂いの多元的価値表現

公募研究 D02-18

内受容感覚依存的な情動を伴う質感の神経メカニズムの解明

研究代表者 安田 正治 (関西医科大学医学部生理学講座・講師)

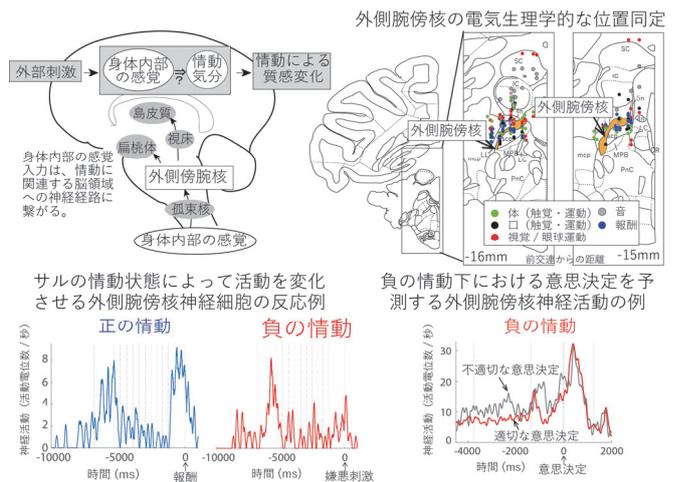


○ 研究の背景と目的

私達は日々様々な感情の変化を経験し、それは外部のものや環境への感じ方 (質感) に強い影響を与えます。こうした感情の変化は、周囲との関わり合いの中で生じると考えられます。実際これまでの多くの神経科学研究では、情動を五感に起因する反応として捉え、その神経回路が調べられてきました。しかしその一方で、私達の感情には心臓の拍動や消化管の収縮などによる、身体内部の感覚 (内受容感覚) が伴います。こうした身体内部の感覚が、どのような仕組みで情動に関わる脳領域に影響を与えるのか、詳しいことはまだ分かっていません。今回の研究ではサルを用い、身体内部からの入力を強く受け取る脳幹の外側腕傍核の神経細胞がサルの情動状態によって活動をどのように変化させるのかを調べています。

○ 研究成果

サルの脳幹領域において、視覚、音、触角などの感覚刺激に対する神経活動を一つ一つの神経細胞について調べ、外側腕傍核の位置を電気生理学的に同定しました。次にサルの情動状態を示す指標として心拍、瞳孔径、顔温度などの自律神経応答を計測しつつ外側腕傍核での神経活動を調べると、個々の神経細胞はサルの情動状態に応じてその神経活動を変化させることが明らかとなりました。さらにそれぞれの情動状態でサ



ルに意思決定を行わせると、外側腕傍核細胞はサルの意味決定に応じてその活動を変化させ、その中には情動状態依存的、かつ意思決定予測的なものが観察されました。これらの結果は、身体内部から脳への入力信号が、情動のみでなく、情動下で行われる意思決定においても利用される可能性を示唆しています。今後、代表的な身体内部の感覚である内臓感覚を脳に伝える迷走神経に電気刺激をさらに施すことにより、情動の神経表現を持つ外側腕傍核細胞への、身体内部からの信号入力の有無を明確にした実験を行っていく予定です。

公募研究 D02-20

自閉スペクトラム症児の感覚処理特性評価研究から探る 深奥質感認識個人差の解明

研究代表者 熊崎 博一（長崎大学大学院医歯薬学総合研究科
未来メンタルヘルス学分野・教授）



○ 研究の背景と目的

自閉スペクトラム症（ASD）は社会性、相互コミュニケーションの発達に障害を持ち、限局的・反復的な行動パターンを示す発達障害です。ASD 児のほとんどは、感覚過敏や感覚鈍麻といった感覚処理の特異性を示すことが明らかになっており、背景には質感認識における特異性の存在が推測されます。同一の感覚入力であっても、ASD 児内で個人によって快不快は多様であり、感覚入力から受ける情動には個人差があることが明らかになっており、背景には質感認識における多様性の存在が推測できます。本研究では視覚入力刺激と刺激提示後の情動の関係から、ASD 児の深奥質感認識の個人差に影響する因子を同定します。深奥質感認識の特異性・多様性がある ASD 児を対象とすることで、深奥質感認識の個人差の仕組みを解明することが目的となります。

○ 研究成果

6～18 歳の ASD 児 50 名、健常児 50 名を対象とし、エビの画像をご覧になっていただいた。全く同じ感覚入力であっても、ASD 児の中で個人差があり、ある個人は過敏に反応し、他の個人にとっては反応が乏しく、ASD 児の中でも感覚入力から受ける反応には多様性があることを明らかにしました。また感覚入力から受ける情動は、性別、認知機能、物事をどの程度細かく見るか（カテゴリー分解能）、自閉症特性の影響を受けること、また当日の不安症状、年齢、発達段階、過去の経験、言語能力などといった個人因子の影響も関与することが示唆されました。

