

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：国際共同研究加速基金（国際活動支援班）

研究期間：2015～2022

課題番号：15K21742

研究課題名（和文）多様な質感認識の科学的解明と革新的質感技術の創出

研究課題名（英文）Understanding human recognition of material properties for innovation in SHITSUKAN science and technology

研究代表者

西田 眞也（Nishida, Shin'ya）

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：20396162

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 56,000,000円

研究成果の概要（和文）：人間は五感を通じた多様な質感の知覚を通して、外界に存在する事物や事象の物理的な性質・素材・状態、さらには感性的価値など、生存に不可欠な情報を得ている。多元質感知領域では、このような質感を認識する人間および機械の情報処理を、心理物理学・脳神経科学・情報工学の密接な連携により、多角的に解明した。また、さまざまな革新的な質感の再生・編集技術を開発し、産業応用も視野に入れた質感の学際的な学問領域を確立した。国際活動支援班では、国際共同研究のサポートや国際シンポジウムの開催を通じて、領域の研究の進捗を支えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

質感認識とは脳による物体の本性の解釈である。多くの場合、質感を生み出す情報は複雑な高次元情報として感覚入力に埋め込まれている。それを読み解く素晴らしい人間の能力の解明は、人間の感覚情報処理の科学的理解のみならず、情報工学技術の発展にとっても不可欠な課題である。本領域では、実世界の多様な質感を認識する人間の情報処理の計算原理や神経機構を明らかにした。さらに、質感認識の科学的理解に基づき、革新的な質感の再生・編集技術を数多く生み出した。国際的な質研研究コミュニティの醸成にも貢献した。

研究成果の概要（英文）：Through the perception of various SHITSUKAN through the five senses, humans obtain information essential for survival, such as the physical properties, materials, and states of objects and events existing in the outside world, as well as their emotional value. In our project, Innovative SHITSUKAN Science and Technology, the information processing of humans and machines that perceive such SHITSUKAN has been elucidated from multiple perspectives through close collaboration among psychophysics, brain neuroscience, and informatics. Our project also developed various innovative SHITSUKAN reproduction and editing technologies and established an interdisciplinary academic field of SHITSUKAN research including industrial application studies. This group supported the progress of project research by promoting international collaboration and organizing an international symposium.

研究分野：認知情報学

キーワード：質感 情報工学 認知科学 神経科学 感性情報学

1. 研究開始当初の背景

質感認識とは脳による物体の本性の解読である。人間は五感を通じた多様な質感の知覚を通して、外界に存在する事物の物理的な性質・素材・状態、さらには美醜・好み・快不快といった感性的価値など、生存に不可欠な情報を得ている。このような質感を生み出す情報は複雑な高次元情報として感覚入力に埋め込まれており、人間は容易にその情報を読み解くことができるが、その仕組みの科学的解明は未だ端緒にいたばかりである。さらに質感の理解は、感覚情報の表現と認識の技術に革新を生むことが期待され、産業界からの注目も高まっている。平成22-26年度新学術領域研究「質感脳情報学」によって世界に先駆けて生まれた学際的な質感研究を更に発展させる必要がある。

2. 研究の目的

「質感脳情報学」において未解明であった実世界の多様な質感を認識する人間の情報処理の仕組みを明らかにする。従来の理論検証型アプローチにデータ駆動型アプローチを組み合わせ、視覚以外の感覚モダリティや言語にも視野を広げる。さらに、質感認識の科学的理解に基づき、革新的な質感の再生・編集技術を生み出し、産業応用も視野に入れた質感の学際的な学問領域を確立する。

3. 研究の方法

心理物理学・脳神経科学・情報工学の密接な連携により、研究を進めた。

- 項目A「質感メカニズム」は、理論検証型アプローチを基本に、視覚・聴覚・触覚の様々な質感認識に関して、理論的な考察に基づいた機械認識手法を考案するとともに、質感に対する人間や動物の反応を心理学や脳神経科学的手法を用いて分析し、質感の脳内情報処理を明らかにした。
- 項目B「質感マイニング」は、データ駆動型アプローチを用いて、統計的機械学習と高度な脳情報解析技術を融合した新しい質感研究パラダイムを確立し、実社会の多様な質感情報の掘り起こし(マイニング)を行った。
- 項目C「質感イノベーション」では、人工現実、コンピュータグラフィックス、触覚工学、色彩工学などの多彩な技術分野を集結し、多様で高度な質感を人工的に再現し、編集する技術を開発した。
- これらの計画班を補強するさまざまな研究を項目Dの公募班で行った。
- 総括班では、班会議やシンポジウムの開催、共有資産の管理などを通じて、領域内の連携を図り、研究を推進した。

4. 研究成果

【2015年度】

- 佐藤いまり(佐藤班)と共同研究を行うため、M.I.T.の大学院生 ZHANG Zhengdong 氏が2015年12月～2016年1月に、Drexel大学の西野恒准教授が2016年2月に、それぞれ国立情報学研究所に滞在した。
- 富永(堀内班)らが2016年2月米国サンフランシスコで行われた国際会議 IS&T Electronic Imaging 2016 出席し、Measuring, Modeling, and Reproducing Material

Appearance (MMRMA)において発表・討議を行い、本領域との関連が深いMMRMAとの交流を深めた。また、渡米期間中3回にわたりスタンフォード大のWandell教授を訪問し、絵画塗料等の光伝播、光源推定、蛍光と反射の同時推定の研究課題について意見を交換した。

【2016年度】

- 西田領域代表と中内計画班代表らが、2016年5月に、質感に関する画像データベースOpenSurfacesプロジェクトを総括するコーネル大学のKavita Bala教授の研究室を訪問し、研究協力について議論した。その後、この連携はBala教授らが開発した刺激操作アルゴリズムを菅生班(公募)の動物実験に利用するという研究にも発展した。
- Bala教授の博士学生が佐藤いまり(佐藤班)の研究室で実習生として滞在し、布の物理レンダリングに関する共同研究を行った。
- 南本(南本班)は、DREADD法で情動・価値判断に重要な脳部位を操作することを計画し、米国国立衛生研究所(NIH)のBarry Richmond氏とRichard Saunders氏を招聘し、技術指導を受けてサル2頭に外科手術を施した。
- 岡嶋(岡嶋班)は、食品の質感認知に関するクロスモーダル研究を英国Oxford大学のCharles Spence教授らと進めた。
- 佐藤いまり(佐藤班)は、米国Drexler大の西野教授と、水の光学特性の解析、wet/dryによる質感の変化、反射特性に頑健な形状推定手法について共同研究を進めた。本共同研究では、水による吸収の影響が近赤外で顕著にあらわれることに着目し、これまで困難であった反射特性が複雑な物体の形状推定を実現した。さらに、wet/dryといった状態変化に基づく質感の変化のモデル化に取り組み、その成果はコンピュータビジョン分野のトップ会議であるECCV2016、CVPR2017に採録された。

【2017年度】

- 土橋(土橋班)は、屋外における音波伝搬のリアルタイムシミュレーションおよび流体の効率的な乱流表現に関する共同研究を、米国Stanford大学およびPixarと開始した。また、CG分野における米国のトップクラスの研究機関を訪問し、国際的なネットワークを構築した。
- 南本(南本班)はNIHのBarry Richmond氏ら3名を招聘し、DREADDを用いたサル局所脳活動の制御法、多点電極留置手術に関する技術支援を受けると共に、価値判断や情動の神経回路基盤の解明に取り組んだ。
- 梶本(梶本班)は英国University of LondonのVincent Hayward教授の元に大学院生を派遣し、指先における動的な刺激に対する指先機械受容器の神経活動計測、および前腕で確認された皮膚上を移動する触覚刺激の空間的補完現象を指先において再現する研究を進めた。
- 佐藤いまり(佐藤班)は、状態の変化(乾く/濡れる)による物体表面の分光特性の変化と散乱特性のモデル化手法の開発をDrexler大と共同で進めた。
- 富永(堀内班)は、米国の国際会議Electronic Imagingで開催されている質感関連のセッションであるMMRMA会議やPhotonics West Exhibitionに出席し、人的ネットワークの構築および最新のイメージング装置や表面計測装置の調査を行った。また、スタンフォード大学のWandell教授を訪問し議論を行った。
- 坂本(坂本班)は、音象徴語を用いた質感評価に対する国際比較研究を遂行するために、英国University of LincolnのNicola Bellotto准教授の研究室で実験を行った。日本、

韓国およびイギリス実験を行った結果、質感評価において文化に依存しない普遍的な音象徴語が存在する可能性が確認された。

【2018年度】

- 澤山研究員（西田班）が仏国 INRIA の Barla 研究室に短期滞在して、固有画像分解に関する共同研究を進めた。また、独国 Giessen 大学からの実習生と弾性物体知覚の研究を立ち上げた。このような活動を通して、欧州 質感プロジェクトである DyViTo との連携も深めた。
- 南本（南本班）は、米国 NIH の Richmond 博士ら 3 名を招聘し、サル局所脳活動の DREADD 制御法、多点電極留置手術に関する技術支援を受け、価値判断や情動の神経回路基盤、側頭葉における質感情報処理機構についての共同研究を推進した。
- 土橋（土橋班）は、米国ノーザンプリア大学と羽虫の動きのシミュレーションに関する共同研究を実施した。Nelson Max (UC Davis)、Theodore Kim (Pixar) との共同研究も進めた。
- 梶本（梶本班）は、米国 MIT の Jones 研究室に滞在し、電熱ワイヤに熱を加えることによる高速な振動を触覚提示に利用する手法についてハードウェアの作成および評価を行った。
- 坂本（坂本班）は、音象徴語を用いた質感評価に対する国際比較研究の一環として、上海交通大学の呂研究室と中国語話者を対象とする実験を行った。
- Punpongsanon 研究員（岩井班）は、米国 MIT CSAIL の Mueller 研究室に短期滞在し、食べ物を出力する 3D プリンタを用いて、様々な食質感を生成する方法について議論し、内部構造や表面微細構造が食質感に与える影響を調査するための予備的な実験を進めた。
- 佐藤いまり（佐藤班）は、米国 Simon Fraser 大などとの共同研究を進めた。
- 岡嶋（岡嶋班）は、英国 Oxford 大学 Spence 研究室を訪問し、食品のクロスモーダル研究に関する研究打合せと予備実験を行なった。
- 富永（堀内班）は、米国の国際会議 Electronic Imaging の質感関連のセッションに出席し、会議チェアの Ingeborg 博士らと意見交換した。また、Stanford 大学の Wandell 教授を訪問し蛍光物体の蛍光と反射の分光推定などについて議論をした。

【2019年度】

- 国際活動支援班の成果を総括するため、2019年12月に京都で国際シンポジウム "Past, Present and Future of Shitsukan Science and Technologies" を開催した。Richmond 博士 (NIH, 南本班と共同研究)、Barla 博士 (コーネル大, 西田班などと連携)、Spence 博士 (Oxford 大, 岡嶋班と共同研究)、Jones 博士 (M.I.T., 梶本班と共同研究)、Bickel 博士 (IST Australia, 岩井班と連携)、Jacob 博士 (EPFL, 土橋班と連携)、Shi 博士 (北京大学, 佐藤班と共同研究) などが招待講演を行い、質感研究のこれまでとこれからについて領域メンバーと議論を深めた。
- 佐藤いまり（佐藤班）は、米国 Simon Fraser University と共同研究を進め、機械学習を用いた物体形状、陰影、照明条件の推定手法の開発を進めた。Australian National University との共同研究では、物体の素材に頑健な形状推定手法を開発した。
- 土橋（土橋班）は、ノーザンプリア大学の Hubert Shum 博士の研究室を訪問して共同研究について議論した。
- 永井研究員（南本班）が米国 NIH に短期滞在しサル類の脳外科手術のトレーニングを受けた。

- 岡嶋（岡嶋班）は、英国 Oxford 大学 Spence 研究室において AR を用いた予備実験を実施した。
- 岩井班では、Punpongsanon 研究員が米国 M.I.T.に短期滞在して食質感を制御する食品 3D 印刷に関する共同研究を進め、平木研究員が Microsoft Research Asia に短期滞在して身の回りの実物体への接触検出技術に関する共同研究を進めた。
- 坂本班は、渡辺亮研究員を英国に派遣し、音象徴語を用いた質感評価に対する国際比較研究の一環として、University of Lincoln と共同で、英語話者を対象とする実験を行った。
- 年度末に新型コロナウイルス感染症のパンデミックが始まり、2019 年度に計画していた際共同研究が完了せず、計画を延長し、予算を翌年度に繰り越した。

【2020 年度】

- 新型コロナウイルス感染症のパンデミックの中、リモートで一部の共同研究を進め、佐藤班と Australian National University との共同研究では、物体の素材に頑健な形状推定手法を開発し、当該分野のトップの国際会議 CVPR に採択された。
- しかし、パンデミックによる国際的な移動制限により事業完了まで至らない国際共同研究があったため、計画を延長し予算を翌度に繰り越した。

【2021 年度】

- 新型コロナウイルス感染症のパンデミックが続き、事業完了まで至らない国際共同研究があったため、計画を延長し予算を翌度に繰り越した。

【2022 年度】

- 岡嶋（岡嶋班）は、2023 年 3 月に Oxford 大学において、Charles Spence 教授らと双方の大学でそれぞれ実施してきた食知覚のクロスモーダル研究に関する情報交換を行うとともに、食品認知における湯気の視覚効果に関するオンライン実験の最終打ち合わせとプログラムの改良、ならびに今後のクロスモーダル研究の展望について議論し、計画された研究を完了した。
- 佐藤いまり（佐藤班）は、本基金を使って海外共同研究先の Australian National University との共同研究をリモート作業中心で完了し、その成果を難関国際会議 SIGGRAPH にて発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ueda Junya, Spence Charles, Okajima Katsunori	4. 巻 10
2. 論文標題 Effects of varying the standard deviation of the luminance on the appearance of food, flavour expectations, and taste/flavour perception	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 16175
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-73189-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Lixiong Chen, Yinqiang Zheng, Boxin Shi, Art Subpa-asa, Imari Sato	4. 巻 -
2. 論文標題 A Microfacet-based Model for Photometric Stereo with General Isotropic Reflectance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TPAMI.2019.29279091	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Hiroyuki Kajimoto, Lynette Jones	4. 巻 12
2. 論文標題 Wearable Tactile Display Based on Thermal Expansion of Nichrome Wire	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Haptics	6. 最初と最後の頁 257 - 268
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TOH.2019.2912960	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Sato Syuhei, Dobashi Yoshinori, Kim Theodore, Nishita Tomoyuki	4. 巻 37
2. 論文標題 Example-based turbulence style transfer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACM Transactions on Graphics	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3197517.3201398	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Oyama Kei, Hori Yukiko, Mimura Koki, Nagai Yuji, Eldridge Mark A. G., Saunders Richard C., Miyakawa Naohisa, Hirabayashi Toshiyuki, Hori Yuki, Inoue Ken-ichi, Suhara Tetsuya, Takada Masahiko, Higuchi Makoto, Richmond Barry J., Minamimoto Takafumi	4. 巻 42
2. 論文標題 Chemogenetic Disconnection between the Orbitofrontal Cortex and the Rostromedial Caudate Nucleus Disrupts Motivational Control of Goal-Directed Action	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Neuroscience	6. 最初と最後の頁 6267 ~ 6275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/JNEUROSCI.0229-22.2022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Asano Yuta, Zheng Yinqiang, Nishino Ko, Sato Imari	4. 巻 43
2. 論文標題 Depth Sensing by Near-Infrared Light Absorption in Water	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence	6. 最初と最後の頁 2611 ~ 2622
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TPAMI.2020.2973986	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Okawa Hiroki, Shimano Mihoko, Asano Yuta, Bise Ryoma, Nishino Ko, Sato Imari	4. 巻 44
2. 論文標題 Estimation of Wetness and Color from a Single Multispectral Image	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence	6. 最初と最後の頁 8740 ~ 8753
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TPAMI.2019.2903496	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Z. Cheng, H. Li, Y. Asano, Y. Zheng, I.Sato
2. 発表標題 Multi-view 3D Reconstruction of a Texture-less Smooth Surface of Unknown Reflectance
3. 学会等名 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ying-Ju Lin, Parinya Punpongsonon, Xin Wen, Daisuke Iwai, Kosuke Sato, Marianna Obrist, and Stefanie Mueller
2. 発表標題 FoodFab: Creating Food Perception Tricks using Food 3D Printing
3. 学会等名 ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Z. Cheng, Y. Zheng, S. You, I. Sato
2. 発表標題 Non-Local Intrinsic Decomposition with Near Infrared Priors
3. 学会等名 International Conference on Computer Vision (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaneko S, Kajimoto, H, Hayward V
2. 発表標題 A Case of Perceptual Completion in Spatio-Temporal Tactile Space
3. 学会等名 Euro Haptics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wakamatsu K, Kwon J, Sakamoto M, Nakauchi S
2. 発表標題 Sound symbolism expressing visual texture on different linguistic backgrounds
3. 学会等名 Annual Meeting of VSS 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shimano M, Sato I, Nishino K, Bise R, Okawa H, Asano Y
2. 発表標題 Wetness and Color from A Single Multispectral Image
3. 学会等名 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katsunuma T, Hirai K, Horiuchi T.
2. 発表標題 Perceptual Dependencies between Texture and Color in Fabric Appearance
3. 学会等名 IS&T Electronic Imaging, Measuring, Modeling, and Reproducing Material Appearance 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tominaga S, Dozaki S, Kuma Y, Hirai K, Horiuchi T.
2. 発表標題 Modeling and Estimation for Surface-Spectral Reflectance of Watercolor Paintings
3. 学会等名 IS&T Electronic Imaging, Measuring, Modeling, and Reproducing Material Appearance 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Z Cheng, Hongdong Li, R. Hartley, Y. Zheng, I. Sato
2. 発表標題 Diffeomorphic Neural Surface Parameterization for 3D and Reflectance Acquisition
3. 学会等名 SIGGRAPH
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

多元質感知 http://www.shitsukan.jp/ISST/ 新学術領域研究「多元質感知」国際シンポジウム http://shitsukan.jp/ISST/activity/2019.html#a330

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	岩井 大輔 (IWAI DAISUKE) (90504837)	大阪大学・基礎工学研究科・准教授 (14401)	
研究分担者	堀内 隆彦 (HORIUCHI TAKAHIRO) (30272181)	千葉大学・大学院工学研究院・教授 (12501)	
研究分担者	佐藤 いまり (SATO IMARI) (50413927)	国立情報学研究所・大学共同利用機関等の部局等・教授 (62615)	
研究分担者	中内 茂樹 (NAKAUCHI SHIGEKI) (00252320)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授 (13904)	
研究分担者	岡嶋 克典 (OKAJIMA KATSUNORI) (60377108)	横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授 (12701)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	南本 敬史 (MINAMIMOTO TAKAFUMI) (50506813)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所 脳機能イメージング研究部・チームリーダー（定常） (82502)	
研究分担者	土橋 宜典 (DOBASI YOSHINORI) (00295841)	北海道大学・情報科学研究科・教授 (10101)	
研究分担者	神谷 之康 (KAMITANI YUKIYASU) (50418513)	株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・研究室長 (94301)	
研究分担者	佐藤 洋一 (SATO YOICHI) (70302627)	東京大学・生産技術研究所・教授 (12601)	
研究分担者	梶本 裕之 (KAJIMOTO HIROYUKI) (80361541)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授 (12612)	
研究分担者	坂本 真樹 (SAKAMOTO MAKI) (80302826)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授 (12612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------

中国	北京大学	Microsoft Asia	上海交通大学	
フランス	INRIA			
オーストラリア	ANU			
米国	National Institute of Health	Massachusetts Institute of Technology	Stanford University	他5機関
英国	Oxford University	University of London	Lincoln University	
ドイツ	Giessen University			