

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：63905

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2010～2014

課題番号：22135001

研究課題名（和文）質感認知の脳神経メカニズムと高度質感情報処理技術の融合的研究

研究課題名（英文）Integrative studies of neural mechanisms and advanced information technologies for perception of material and surface qualities

研究代表者

小松 英彦（KOMATSU, Hidehiko）

生理学研究所・生体情報研究系・教授

研究者番号：00153669

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 49,000,000円

研究成果の概要（和文）：人間は多様な質感の知覚を通して、現実世界の豊かさを感じ、物体の素材や状態など、生存に不可欠な情報を得ている。しかしヒトがどのような情報を使って質感を認識しているのかはよく分かっていない。本領域では、質感の計測と合成を実現する工学、人間の知覚・認知特性を解明する心理物理学、神経情報処理を解明する脳科学が連携して、質感認知のメカニズムの解明を進めると共に質感情報工学の発展を推進した。その結果、質感の計測や解析についての工学技術の開発が進み、光沢、半透明、液体粘性、鮮度などのさまざまな質感の手がかりの解明が進んだ。また光沢や素材を見分ける脳の仕組みについての理解が進み、質感認知の理解が大いに進んだ。

研究成果の概要（英文）：We realize the richness of the real world through 'Shitsukan' perception, namely, perception of materials and surface qualities of objects. Shitsukan provides information which is vital in daily life. However, little is known about what features in sensory stimuli are used for Shitsukan perception. Our group aimed to understand the mechanisms of Shitsukan and to advance information technologies about Shitsukan by multi-disciplinary interaction across researchers of engineering science, psychophysics and brain science. Many researches have been conducted and technologies for measuring and analyzing Shitsukan information has been developed. Psychophysical studies have revealed cues related to various kinds of Shitsukan perception such as gloss, translucency, viscosity of liquid and freshness of foods. In addition, studies in brain science have made significance advancement on our understanding on neural mechanisms to discriminate surface gloss and materials of objects.

研究分野：視覚と質感の認知神経科学

キーワード：質感科学 脳・神経 心理物理学 コンピュータビジョン 認知科学

1. 研究開始当初の背景

我々は物体を見ただけで、その素材や触感、さらに摩擦、温度、新鮮さ、濡れて滑りやすいといった複雑な状態も瞬時に判断できる。しかし質感認知がどのような脳内情報処理によって実現されているかは未だに謎である。1990年代後半からCGを利用した人間の質感知覚の研究が国内外で始まり、物体表面の形状や照明環境の構造の質感認知への影響が研究されるようになった。また質感研究のためのデータベースがいくつか作られ研究に用いることが可能になった。質感知覚の照明依存性の研究の結果、視覚系は照明の影響を除去して物理的な反射特性を純粋に推定しているのではなく、むしろそれらの相互作用が直接的に影響する画像特徴量から質感知覚が得られることが示唆された。2007年には本領域メンバーの西田らが米国MITと共同で光沢知覚に関する統計的画像特徴についての心理物理学的研究をNatureに発表し、世界的に大きな反響をよんだ。一方、工学においても、人間の質感認知の特性を理解することによって、より効率的にCGを生成することができる可能性が注目され研究が進められるようになった。質感提示において人間の質感認知の特性を正しく理解すれば、画期的な情報記録・提示技術が生まれる可能性が高い。このように質感認知の研究は心理物理学と工学をまたぐ分野においてその重要性が国際的に認識される状況が生み出された。一方、質感認知に関わる脳内処理についてはごく少数の生理学的研究が発表されているだけであった。視覚情報の脳内表現に関しては、色、動き、両眼視差や形といったさまざまな特徴が、並列階層的に構成された大脳視覚野においてどのように検出されているかが数多くの研究により示されてきた。更にそのような情報がどのように知覚と関係し、行動の選択に用いられているかが心理物理学の方法も駆使して明らかにされている。また機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を中心とする非侵襲計測技術が発達し、動物実験だけではなく健常なヒトにおいても知覚に関わる脳活動の研究が活発に進められるようになった。このような状況をふまえて、工学、心理物理学、脳科学分野が連携して、質感認知という今後極めて重要な問題の理解に画期的な進展を図ることとした。質感認知に関してこのような分野横断的な研究グループは国際的に見ても領域開始時点においてこれまでに例がなく、極めて先端的な取り組みであると言えた。

2. 研究の目的

本研究領域の目的は、質感認知に関わる高次元情報を系統的に明らかにすること、その脳内処理過程を解明すること、そしてそれらの成果を工学的研究の発展につなげること、である。そして、質感に関わるあらゆる分野の発展の基礎となる知識を提供することにより社会に研究成果を還元して、最終的には

質感の科学とよぶべき新しい学際的な学問領域を生み出す契機を作ることを目的としている。

3. 研究の方法

本領域では工学、心理物理学、脳科学という三つの異なる分野の研究者集団の力を結集して研究を推進するために、各分野に対応した以下の三つの研究項目を設定した。

A01 質感の計測と表示に関わる工学的解析と技術

A01項目は、工学の最新の理論と技術を駆使して実物体が有する豊かな質感を入力・計測し、それを再び提示デバイス等により再現し、またそれらの質感の持つ諸特性を様々な情報処理的技法により解析するための研究を進める。

B01 質感認知に関わる感覚情報の特徴と処理様式

B01項目は心理物理学的手法を駆使して質感知覚に関わる感覚刺激特徴を解明し、また特定の対象物の質感におけるエキスパートがもつ質感識別能力の特性やその獲得の仕組みを実験的に解明するための研究を進める。

C01 質感情報の脳内表現と利用のメカニズム

C01項目は、生理学的手法を駆使して、質感知覚に関わる情報が脳のどこでどのように表現されているのか、それらの情報が質感知覚にどのように用いられているか、また情動や価値判断とどのように結びついているのかを解明するための研究を進める。

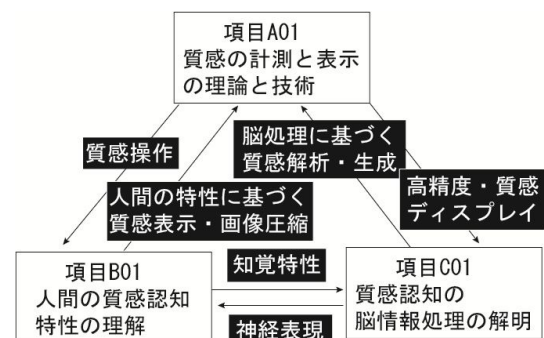


図1 項目間の相関図

本領域は平成22年度に異なる分野をカバーする7つの計画班(A01:2, B01:2, C01:3)を置いてスタートし、当初は計画班代表者7名、研究分担者11名に連携研究者を加えて21名の体制であった。平成23年度に第1期の公募班員34名(A01:8, B01:10, C01:16)が加わり、55名のコアになる研究者に多数の研究協力者が参画して研究が進められた。また平成25年度には第2期の公募班員33名(A01:9, B01:11, C01:13)が加わり54名のコアになる研究者を中心に研究を行った。また領域全体の活動を活発に効率よく進めるために計画班メンバー計1

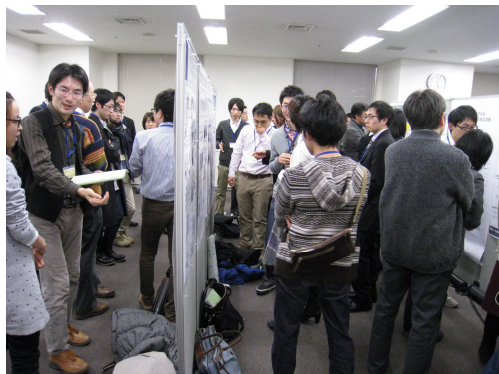
0名で構成された総括班を置いて領域全体のマネジメントを行い、年2回程度の総括班会議を開いて領域全体の運営方針を策定した。また総括班員のうち計画代表者7名による総括班連絡会議をウェブ会議システムを利用して毎月行い、領域の運営がスムーズに行えるように努めた。

各班員や分野間で有機的な連携が進むよう、領域の共有リソースとして移動可能な心理物理実験施設(モバイルラボ)を導入した。



図2 モバイルラボを利用して行われた真珠鑑定士による真珠質感評価実験の様子

またレンタルした外部サーバにデータベースを構築し、質感研究関連の情報や班員の研究情報を資料として収集し班員が研究のために利用可能にした。各班員の研究の進捗を報告し議論を行うと共に、班員間で交流を深め共同研究を促進するために領域全体の班会議を夏と冬に年2回実施し、合計9回開催した。また特定のテーマについて、研究会



を

図3 班会議のポスターセッションの風景

合計18回行い研究の発展に生かした。平成26年7月には、夏の班会議に合わせて海外から質感に関連の深い分野で最先端の研究を行っている9名の研究者を招聘して国際シンポジウムを行い、国際的な交流を深めた。また領域外へのアウトリーチ活動として、公開シンポジウムを6回(うち1回が上述の国際シンポジウム)とサイエンスカフェ3回行った。また領域の活動を紹介するニュースレターを冊子体とオンライン版の両方でこれまでに3回発行している。

4. 研究成果

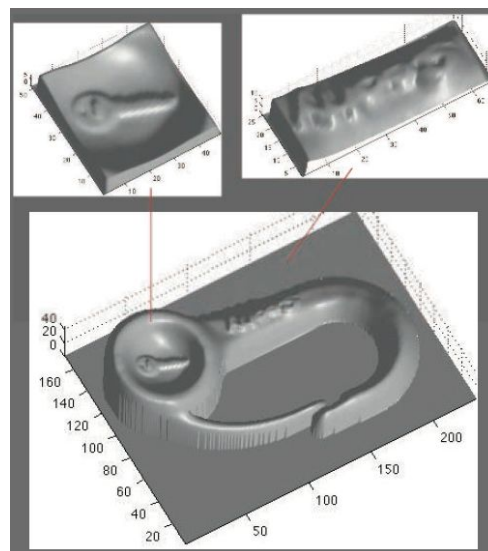
領域全体として研究資源の共有化を進め班員間の連携を促進するために、標準化された素材刺激セットが開発され複数の班での研究に供せられると共に、共同開発した企業から市販された。A01項目では実物体が有する豊かな質感を入力・計測し、それを再び提示デバイス等によって再現する手法、および



その質感の持つ諸特性を情報处理的に解

図4 さまざまな照明光を用いて物体の質感を詳細に計測するために開発された装置

析することに関する成果が得られた。まず「入力・計測」については、様々な照明条件下における対象物体の見えを計測する装置や、半透明物体の微細な形状を精密に計測する手法の開発を行った。特に蛍光を利用すると通常の物体反射光では得られない様々な情報が得られることが示され、この特性を利



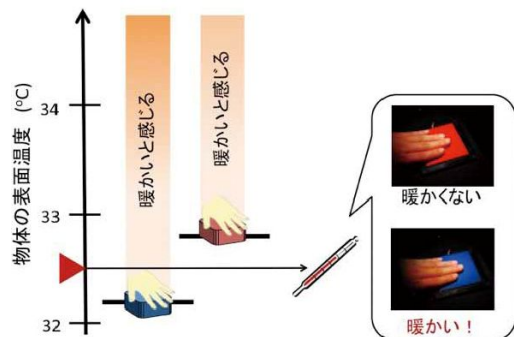
用した計測技術の開発が進んだ。また対象物

図5 蛍光を利用することで反射光では不可能な詳細な形状計測が可能になった

体の正確な色味を再現するために必要な分光画像を効率よく取得する複数の手法を開発した。次に「表示・再現」においては立体物上に高ダイナミックレンジ表示を実現す

る手法や、プロジェクタから投影した画像をカメラで取り込み輝度値をさまざまな仕方でオンラインで変更することで、光沢感や透明感など所望の質感を投影物体に与える技術の開発が行われた。この技術開発は領域内の心理物理グループの研究成果をとりこんで行われた。また観察者の視線方向に適応的に表示内容を変化させる立体ディスプレイなどについても成果が得られた。「解析・分析」については、蛍光と反射光、鏡面反射と拡散反射など、物体の見えの構成要素を成分ごとに分離する手法や、分光画像をもとに素材の判別や色材分布の推定を行う手法を開発した。これらにより質感を構成する様々な要素について表示・提示および解析するための理論的・技術的素地の整備が大きく進展した。

B01項目では、光沢感、物体色、半透明感、細かさ、液体粘性などの多様な視覚的質感特徴について、それらそれぞれを生じることに関わる画像手がかりの分析が進んだ。質感認知における多感覚統合に関しては、視覚、聴覚、触覚のそれぞれの情報に基づいた素材識別や温度感覚に関する心理実験、及びそれらを組み合わせることによる影響がどのような原理に基づいて生じるかについての知見が得られた。これらの実験の一部は工学グループとの共同研究でプロジェクションマッ

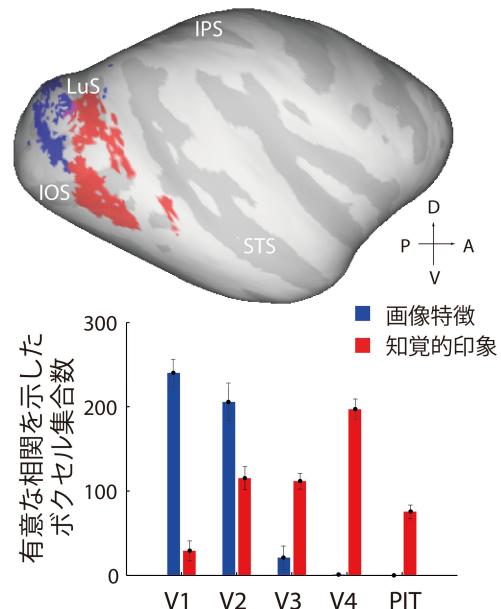


ピング技術を用いることで行われた。素材識

図6 プロジェクションマッピングを利用して明らかになった色と温度感覚の相互作用

別に関する実験刺激の作成には、本領域で素材識別用の標準刺激を用いて素材特性によって時間特性が異なることが明らかにされた。感性的質感認知に関してはヒトの被験者を対象に食物の鮮度認知に関わる特徴が明らかにされた。またチンパンジーでも類似の実験を行い、鮮度知覚の存在が示された。食品鮮度の識別に関しては、C01項目との共同研究が行われ臨床的な重要性も示された。また真珠や漆の美しさに関わる物理的な特徴が解析されると共に、熟練者と一般人の差異が示された。真珠質感評価の実験にはモバイルラボが威力を発揮した。また画素の分光発光特性を単色光レベルで制御できる新カラーディスプレイが企業と共同で開発され、二次元画像の提示に成功した。

C01項目では表面質感のもっとも重要な特徴の一つである光沢に関して、サルの下側頭皮質から光沢に選択性を持つニューロンが同定され、それらのニューロンが光沢に関するどのような情報を表現しているかが明らかになった。また質感情報処理に関係すると考えられる空間周波数チャンネル間の相互作用の様式を初期視覚野において明らかにした。素材識別に関しては、ヒトとサルのいずれにおいても腹側視覚経路に沿って素材の識別が行われ、特に腹側高次視覚野において触覚印象とも相関する活動が見られること



が示された。更にヒト脳損傷患者の検討から

図7 サルの脳で素材識別に関わる部位と、表現していた情報

腹側高次視覚野がたしかに素材の視覚的識別に重要であることが確認された。感性的質感認知に関しては可聴域上限をこえる超高周波空気振動が報酬系の活動上昇を引き起こすために必要な条件の同定が進んだ。また被験者に拘束感を与えずに非侵襲脳活動計測を行うための装置や、さまざまな実物をMRI装置内で呈示できる装置の開発が進み、感性的質感認知の研究の技術面での基盤が充実した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計116件)

Nagai T, Matsushima T, Koida K, Tani Y, Kitazaki M, Nakauchi S: Temporal properties of material categorization and material rating: visual vs non-visual material features. Vision Res: in press. 査読有

Kawabe T, Maruya K, Fleming RW, Nishida S: Seeing liquids from visual motion.

Vision Research, 109, 125-138. 2015. 査読有

Okazawa G, Tajima T, Komatsu H: Image statistics underlying natural texture selectivity of neurons in macaque V4. Proc Natl Acad Sci USA: 112(4):E351-360. 2015. 査読有

Fukushima A, Yagi R, Kawai N, Honda M, Nishina E, Oohashi T: Frequencies of inaudible high-frequency sounds differentially affect brain activity: positive and negative hypersonic effects. PLoS One, 9: e95464, 2014. 査読有

Ho HN, Iwai D, Yoshikawa Y, Watanabe J, Nishida S: Combining colour and temperature: A blue object is more likely to be judged as warm than a red object. Scientific Reports. 4: 5527, 2014. 査読有

Fujisaki W, Goda N, Motoyoshi I, Komatsu H, Nishida S: Audiovisual integration in the human perception of materials, Journal of Vision 14(4):1-20, 2014. 査読有

Tani Y, Nagai T, Koida K, Kitazaki M, Nakauchi S: Experts and novices use the same factors-but differently-to evaluate pearl quality. PLoS ONE, 9(1): e86400, 2014 査読有

Tanaka H, Tamura H, Ohzawa I. Spatial range and laminar structures of neuronal correlations in the cat primary visual cortex. J Neurophysiol, 112(3):705-718, 2014 査読有

Goda N, Tachibana A, Okazawa G, Komatsu H: Representation of the material properties of objects in the visual cortex of non-human primates. J Neurosci, 34: 2660-2673, 2014. 査読有

Nishio A, Shimokawa T, Goda N, Komatsu H: Perceptual gloss parameters are encoded by population responses in the monkey inferior temporal cortex. J Neurosci, 34(33):11143-11151, 2014. 査読有

A. Lam and I. Sato: Spectral Modeling and Relighting of Reflective-Fluorescent Scenes, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2013), 1452-1459, 2013. 査読有

Toyota, T., Nakauchi, S.: Optical measurement of interference color of pearls and its relation to subjective quality, Optical Review, 20(1): 50-58, 2013 査読有

Tani Y, Araki K, Nagai T, Koida K, Nakauchi S, Kitazaki M, Enhancement of glossiness perception by retinal-image motion: Additional effect of head-yoked

motion parallax, PLoS ONE, 8(1): e54549, 2013 査読有

Nagai T, Ono Y, Tani Y, Koida K, Kitazaki M, Nakauchi S, Image regions contributing to perceptual translucency: A psychophysical reverse-correlation study, i-Perception, 4(6): 407-428, 2013 査読有

Omata K, Hanakawa T, Morimoto M, Honda M: Spontaneous slow fluctuation of EEG alpha rhythm reflects activity in deep-brain structures: A Simultaneous EEG-fMRI study. PLoS ONE, 8: e66869, doi 10.1371/journal.pone.0066869, 2013. 査読有

I. Sato, T. Okabe, Y. Sato: Bispectral Photometric Stereo based on Fluorescence, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2012), 270-277, 2012. 査読有

Nishio A, Goda N, Komatsu H: Neural selectivity and representation of gloss in the monkey inferior temporal cortex. J Neurosci, 32: 10780-10793, 2012. 査読有

Okazawa G, Goda N, Komatsu H: Selective responses to specular surface in the macaque visual cortex revealed by fMRI. Neuroimage, 63: 1321-1333, 2012. 査読有

Hiramatsu C, Goda N, Komatsu H: Transformation from image-based to perceptual representation of materials along the human ventral visual pathway. Neuroimage 57: 482-494, 2011. 査読有

[学会発表](計 338 件)

Baba M, Ishimaru K, Hiura S, Furukawa R, Miyazaki D, Aoyama M, Estimation of Scattering Properties of Participating Media Using Multiple-Scattering Renderer, IEVC2014, 2014 年 10 月 9 日, サムイ島(タイ)

Punpongson P, Iwai D, Sato K, A Preliminary Study on Altering Surface Softness Perception in Spatial Augmented Reality, ISMAR 2014, 2014 年 9 月 10 日, ミュンヘン(ドイツ)

Fu Y, Lam A, Matsushita Y, Sato I, Sato Y, Interreflection Removal Using Fluorescence, European Conference on Computer Vision (ECCV2014), 2014 年 9 月 10 日, チューリッヒ(スイス)

Zheng Y, Sato I, Sato Y, Spectra Estimation of Fluorescent and Reflective Scenes by Using Ordinary Illuminants, European Conference on Computer Vision (ECCV2014), 2014 年 9 月 10 日, チューリッヒ(スイス).

Baba M, Sasaki KS, Ohzawa I. Integration of multiple spatial frequency channels in V1 disparity detectors. Asia-Pacific Conference on Vision (APCV2014), 2014年7月21日, かがわ国際会議場(香川県高松市)

Kawabe T, Maruya K, Nishida S. (2014) Image deformation as a perceptual cue to a transparent layer, Asia-Pacific Conference on Vision, 7月20日, かがわ国際会議場(香川県高松市)

Sawayama M, Nishida S. Shape and material from intensity gradient: A hypothesis. Asia-Pacific Conference on Vision, 2014年7月20日, かがわ国際会議場(香川県高松市)

Tani Y, Nishijima R, Nagai T, Koida K, Kitazaki M, Nakauchi S. The difference of visual ability between experts and novices in visual art, The 10th Asia-Pacific Conference on Vision, 2014年7月19日, かがわ国際会議場(香川県高松市)

Ueda S, Tani Y, Nagai T, Koida K, Nakauchi S. Kitazaki M, Effect of object motion on perceiving a thick transparent object. The 10th Asia-Pacific Conference on Vision, 2014年7月19日, かがわ国際会議場(香川県高松市)

Fu Y, Lam A, Kobashi Y, Sato I, Okabe T, Sato Y, Reflectance and Fluorescent Spectra Recovery based on Fluorescent Chromaticity Invariance under Varying Illumination, IEEE Conference on Computer Vision (CVPR 2014) 2014年6月26日, コロンバス(アメリカ合衆国).

Yoshimoto S, Kuroda Y, Uranishi Y, Imura M, Oshiro O: Roughness Modulation of Real Materials using Electrotactile Augmentation. Eurohaptics, 2014年6月24日, ベルサイユ(フランス)

Matsumoto T, Fukuda K, Uchikawa K. Correlation of gold appearance with surface metallicity and glossiness. Journal of Vision, 14(10), 455, VSS 2014, 2014年5月18日, フロリダ州セントピートビーチ市(アメリカ合衆国)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計11件)

取得状況(計9件)

〔その他〕
ホームページ等
<http://shitsukan.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小松 英彦(KOMATSU, Hidehiko)
生理学研究所・生体情報研究系・教授
研究者番号: 00153669

(2) 研究分担者

中内 茂樹(NAKAUCHI, Shigeki)
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 00252320

(3) 連携研究者

佐藤 いまり(SATO, Imari)
国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・准教授
研究者番号: 50413927

日浦 慎作(HIURA, Shinsaku)
広島市立大学・大学院情報科学研究科教授
研究者番号: 40314405

西田 眞也(NISHIDA, Shin'ya)
日本電信電話株式会社NTTコミュニケーション科学基礎研究所・人間情報研究部GL/主幹研究員/上席特別研究員
研究者番号: 20396162

大澤 五住(OHZAWA, Izumi)
大阪大学・大学院生命機能研究科・教授
研究者番号: 20324824

本田 学(HONDA, Manabu)
独立行政法人 国立精神・神経医療研究センター神経研究所・疾病研究第七部・部長
研究者番号: 40321608

佐藤 洋一(SATO, Yoichi)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号: 70302627

内川 恵二(UCHIKAWA, Keiji)
東京工業大学・大学院総合理工学研究科教授
研究者番号: 00158776

一戸 紀孝(ICHINOHE, Noritaka)
独立行政法人 国立精神・神経医療研究センター神経研究所・微細構造研究部・部長
研究者番号: 00250598