

文部科学省科学研究費補助金
新学術領域研究

質感脳情報学



News Letter No. 1

2011.11.7

目次

領域代表挨拶	3
A01 質感の計測と表示に関わる工学的解析と技術	4
A01-1 質感認知に関わるコンピュータビジョンと情報論的解析	
佐藤 いまり（国立情報学研究所・准教授）	5
佐藤 洋一（東京大学生産技術研究所・教授）	
岡部 孝弘（東京大学生産技術研究所・助教）	
A01-2 質感認知に関わる記録・合成と表示	
日浦 慎作（広島市立大学大学院情報科学研究科・教授）	7
岩井 大輔（大阪大学大学院基礎工学研究科・助教）	9
B01 質感認知に関わる感覚情報の特徴と処理様式	10
B01-1 質感認知に関わる視聴触覚情報の心理物理的分析	
西田 真也（NTT コミュニケーション科学基礎研究所・主幹研究員）	11
内川 恵二（東京工業大学総合理工学研究科・教授）	13
本吉 勇（NTT コミュニケーション科学基礎研究所・主任研究員）	15
藤崎 和香（産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門・研究員）	16
B01-2 質感認知の環境依存性および学習依存性	
中内 茂樹（豊橋技術科学大学大学院工学研究科・教授）	17
北崎 充晃（豊橋技術科学大学大学院工学研究科・准教授）	19
永井 岳大（豊橋技術科学大学大学院工学研究科・助教）	20
C01 質感情報の脳内表現と利用のメカニズム	21
C01-1 質感認知の初期脳メカニズム	
大澤 五住（大阪大学大学院生命機能研究科・教授）	22
佐々木 耕太（大阪大学大学院生命機能研究科・特任助教）	25
C01-2 質感認知の高次脳メカニズム	
小松 英彦（自然科学研究機構 生理学研究所・教授）	26
一戸 紀孝（国立精神・神経医療研究センター神経研究所・部長）	29
C01-3 質感認知に関わる感性・情動脳活動	
本田 学（国立精神・神経医療研究センター神経研究所・部長）	30

領域代表挨拶

本領域「質感脳情報学」が発足して1年あまりが経ちました。ニュースレターの第1号をお届けします。このニュースレターでお届けする内容は、私たちの領域メンバーが昨年度に行った研究の内容を、研究計画全体や今後の展望との関係も含めてまとめたものです。今年の4月からは新たに公募班員の方も加わってますます活発に活動を進めていますが、昨年度は発足時の計画班員を中心として7つのグループに約50人の共同研究者が参加して研究を進めました。今回のニュースレターは、私たちの領域の中核をなす計画研究のメンバーが、どのような観点から質感認知の研究に取り組んでいるのか、またどのような研究を行ったかを広く知っていただきたいと考え作成いたしました。

本領域は工学、心理物理学、脳科学の緊密な連携によって、質感認知に関わる人間の情報処理の特性を客観的に明らかにしながら、その基盤となる脳神経メカニズムの解明を進めることを目的にしています。また、質感認知の科学的基礎の理解に基づいて、質感情報の獲得や生成に関する工学技術の発展を推進することも重要な目標です。領域発足間もない昨年9月25日に東大山上会館でキックオフシンポジウムを行いました。その時の資料は領域のホームページで公開しています (<http://shitsukan.jp/content/11>)。このシンポジウムには多くの方のご参加をいただき、満員の会場から本領域によせていただく期待と関心を実感しました。その後も驚くほど多くの大学関係者のみならず企業の方からコンタクトをいただいています。このニュースレターがそれらの方々の関心に少しでも応えることができることを願っています。

ニュースレターを読んでいただくと分かるように、質感の科学的理解の歴史はまだ浅く、研究の推進には解決していかないとはいけない様々な問題が存在します。しかし同時に、この分野はこれまで誰も気が付かなかった重要な問題の宝庫でもあるのです。一人でも多くの方に質感の研究の大切さと面白さを知っていただき、この領域の推進をご支援いただければ幸いです。

「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」領域代表

自然科学研究機構・生理学研究所・感覚認知情報研究部門

教授 小松 英彦

A01 質感の計測と表示に関わる工学的解析と技術

質感認知に関わるコンピュータビジョンと情報論的解析

研究代表者 佐藤 いまり

(国立情報学研究所 准教授)

研究分担者 佐藤 洋一、岡部 孝弘

(東京大学生産技術研究所)

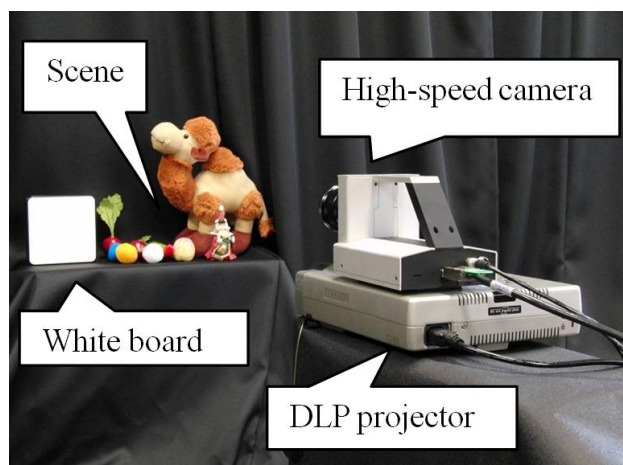


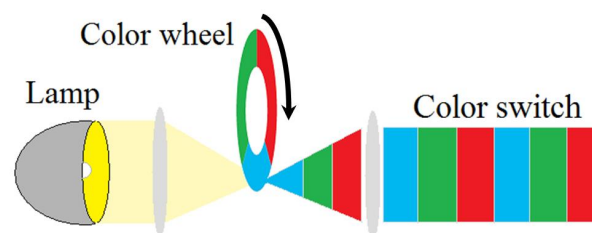
図1：動的なシーンに適用可能な分光計測技術の開発を進めました。

○研究の背景

精度の高い測色及び表色を目的として、マルチスペクトルカメラを用いた測色・表色技術や液晶チューナブルフィルタなどの狭帯域フィルタを用いてシーンの高分解能のマルチスペクトル画像を獲得する技術が提案されています。

しかしながら、これらのアプローチはカラーフィルタなどの帯域フィルタを変化させて画像を撮像する必要があるため、光源環境の変化などのシーン変動に対応することが難しいという問題を抱えています。また、帯域フィルタの利用により入射光のスペクトル幅を狭めて高分解能化を図れば図るほど透過光の強度が落ちてしまいノイズの影響が大きくなってしまいます。

一方、撮像デバイスのスペクトル特性を変化させるのではなく、シーンの光源のスペクトル分布を変化させることで物体の分光分布を獲得する手法が提案され、様々なスペクトル分布を持つ光源の構築方法なども提案されています。様々なスペクトル分布を持った光源を高速に点灯させることにより、ビデオレートで物体の分光反射率を獲得できることが示されています。しかしながら、これらの手法では自作の光源装置が用いられており、カメラとの同期も必要なため、動的なシーンを扱う簡便な光学測定技術とは言えません。



図：DLPのカラースイッチ機能に基づく光源色の変化を利用

○この研究の目指すもの

我々は、後者のアプローチに基づき、光源のスペクトルを変化させて物体の分光反射率を推定する技術の開発に取り組んでいます。実在シーンのマルチスペクトル画像を獲得し、任意光源環境下で精度の高い色の再現は、質感再現に欠かせない要素の一つであると考えます。特に、時間とともに刻々と変化する広範囲の分光情報を高い時間分解能で正確に計測できる技術の開発を目指しています。

○これまでに得られた成果

従来研究は、どのような分光パターンを持つ光源が分光反射率の推定に効果的であるかということを示してきませんでした。これに対し我々の研究では、一般的な物体の分光反射率の統計量に基づき物体の分光反射率を推定するために適した光源の分光パターンを明らかにしています。提案する4～8の分光パターンを持つ光源下において、モノクロカメラを用いてシーンの明るさを観察することにより、安定に精度良くシーンの分光反射特性を推定できることを確認しました。

さらに、動的なシーンに対応するため、プロジェクタによる照射と高速カメラの利用に基づき、動的に変化するシーンの分光反射率を推定する技術を提案しました。システムの概要を図1に示します。汎用DLPプロジェクタ、高速カメラを用いたシステムとなっています。DLPプロジェクタの特性(図2：高速にカラーホイールが回転することで照射光の色が変化する)を効果的に利用することにより、刻々と変化するようなシーンの分光反射特性率を高速に獲得できるようになりました。

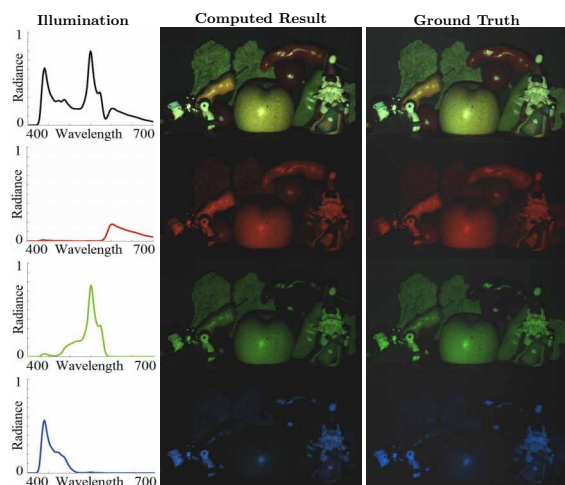


図3：推定された分光反射率に基づく再現されたシーンの見え。（左）光源分布、（中央）提案手法により計測された分光反射率に基づき再現された見え、（右）それぞれの光源下で撮像された実画像。

現在、100Hz の時間分解能で動的に変化する実在シーンの分光反射率が計測できるようになっています。これまで、従来手法により 30Hz の時間分解能での計測は実現されていますが、そのような技術に比べて、本手法は遥かに高い時間分解能で計測できる技術となっています。

図3に提案手法により推定された分光反射率に基づき様々な光源下で生成された見えを示します。この図において、様々な光源下において真値である実画像と同じ見えが再現できている様子が分かります。このことは推定された分光反射率の精度の高さを示しています。

○研究成果一覧

学会発表など

1. H. Shuai, I. Sato, T. Okabe, and Y. Sato, “Fast spectral reflectance recovery using DLP projector,” *Proceedings of Asian Conference on Computer Vision (ACCV2010)*, November 2010, Best Student paper Award.

研究代表者 日浦 慎作

(広島市立大学大学院情報科学研究科・教授)

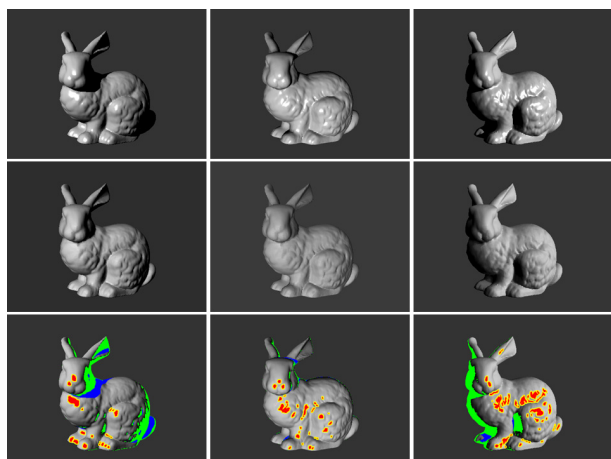


図1 様々な照明条件の画像から、つや(鏡面反射)や影を取り除く処理を施した結果。最上段が入力画像のうちの3枚で、2段目がその画像からつやと影の影響を取り除いたもの。3段目は入力画像に生じている現象を解析した結果で、緑と青が影、赤と黄色がつやの生じた部分の検出結果です。

○研究の背景

この研究では、画像に関する技術を用いて、多様な物体の質感を余すことなく記録し、そして表示デバイス上に再現することを目指しています。

はるか昔のことのように思いますが、実はほんの10年ほど前までは、カメラといえばフィルムを装填し、撮影したあとそのフィルムを写真屋さんで現像してもらうことが常識でした。しかしそれから10年でデジタルカメラ技術は長足の進歩を遂げ、消費者のうち多くは、現在のカメラで十分な画質があると思うようになっていっていると言われています。しかしこと質感となると、果たして十分と言えるでしょうか。宝飾品や衣服などについては、現在でもまだ、間近に見なければ質感が把握できないと思われているのが現状です。ますます市場を拡大するネット販売の壁となり、またこの壁を打破する鍵の1つが質感と言えます。

これは、日本が得意とする、ものづくりの分野でより顕著です。現在は製品を構成する部品を世界中から調達することが当たり前になっています。例えばある製品の外装を部分ごとに分けて製作する場合、ある部分の色味や質感を他の部分と合わせるためには写真では不十分で、未だに実物を用いた「現物合わせ」が広く用いられています。貴重な文化財の現在の姿を後世に伝えることもまた、質感の記録が果

たすべき大きな役割の1つと言えるでしょう。

○この研究の目指すもの

世の中には磨かれた金属のように鋭い反射を持つものや、反対に石膏や紙のようにつやのないもの、さらには皮膚やろうそくのように光が滲むもの、サテンの布のように見る方向によって複雑に色味が変わるものなど、様々な物体が存在します。そして、それらの物体の何が「質感」に影響するのかは、まだ十分分かっていません。しかし、こと「光の記録」という立場に立って考えると、話は少し単純となります。物体を照明がどちらから照らしているのか、その光は物体のどこへ差し込んでいるのか。そして、その物体をどの方法から観察するのか、という風に考えていくと、実は物体そのものが何であれ、その物体への「入力」としての光と、物体により反射してカメラに届く「出力」としての光の関係を余すことなく記録することで、物体の見た目の質感を表すことができることになります。このように考えると、質感の記録については、カメラの性能と同じぐらい照明の性能が重要になります。高度な照明技術により物体表面の反射の様相を詳しく調べ、記録することが、この研究の1つの目的です。

さて、このように画像入力の技術は飛躍的に進歩していますが、それではディスプレイはどうでしょうか。デジタルカメラの画素数は1000万画素程度のもものが多くなっていますが、ディスプレイは依然として200万画素程度のもものが広く使われていて、それよりも画素数が多いものはほとんど利用されていません。これにはパソコンのソフトウェアの都合や、事務作業で求められるレベルも関係していますが、一部で1000万画素に迫るディスプレイも作られています。しかしこのような画素数以上に、質感の再現に重要な要素があると我々は考えています。それは解像度(画素の密度)と、ダイナミックレンジです。

普通我々が画像をディスプレイに表示して鑑賞するとき、そのディスプレイが大型であると臨場感が失われるとはあまり考えません。しかしこと質感となると、ある布地のきめを大きなディスプレイに拡大して表示したときと、その布地を間近に観察したときの印象は大きく異なります。肌のきめや布の織り目、ヘアライン加工された金属の反射などが再現できるディスプレイとしては、画素数以上に、一定の範囲内の画素の個数(画素密度、解像度)が必要であると考えています。

もう一つは、ディスプレイが再現できる明暗の幅です。明るい照明で磨かれた金属を観察すると、その鋭いつやが眩しいぐらいに感じられるはずです。しかしこの眩しさを再現できるディスプレイはほとんど存在しません。さらには、この眩しさの周囲の暗い部分の階調も再現できるものとなると、より難しい要求となります。

○これまでに得られた成果

質感の記録の面について、この研究では非常に自由度の高い照明装置を開発しています。現在開発しているのは、屋外用電光掲示板を内向きに丸く曲げたような装置です。この装置の中に物体を置くと、電光掲示板に様々な風景の画像を表示するだけで、日本に居ながらヨーロッパの大聖堂の中にその物体を置いたような画像を得ることが出来ます。同様に、電光掲示板の上に縞模様などの様々なパターンを表示させ、物体のつやの鋭さを計測するようなことが可能になります。

物体を様々な方向から照明すると、さらに高度な解析を行うこともできるようになります。図1は計算機シミュレーションの結果ですが、20通りの方向から照明した画像を解析することで、つやのある物体から影やつやを検出し、取り除くことができることを示しています。この成果は、様々な方位から照明した画像群のデータ量を圧縮する技術の基礎となります。また、質感の認知に関する研究を行う研究者が、被験者や動物への刺激として使うことが期待されています。

質感の提示については、我々は電子ペーパーとプロジェクタを組み合わせたディスプレイを開発しています。最近プロジェクタが小型、高輝度化しています。スクリーンを小さく分割し、多数並べたプロジェクタで分担して投影することで、画素の密度を向上させ、かつ輝度を高くすることが可能となります。一般のプレゼンテーション用のプロジェクタの光を数 cm の幅に凝縮することで、驚くほどの明るさの画像の表示を実現することが出来ます。

しかしこれだけでは、暗い部分の再現が困難となります。プロジェクタでは、黒を表示しようとしても、少し光が漏れ出してしまうという特性があります。また、プロジェクタのスクリーンは通常白色ですが、これは、環境の光によって照らされることでコントラストを下げてしまいます。もともと白色のスクリーンを黒く見せようというところに無理があるというわけです。そこでスクリーンに電子ペーパーを用い、黒を表示したいところにはプロジェクタと電子ペーパーで共に黒を、輝く部分へは共に白を出すことで、二者が協力して明暗のコントラストを向上させる方法に基づくディスプレイを開発しています。図2はこのディスプレイの表示結果で、明部と暗部がともに再現されていることが分かります。

○今後の計画

先に述べたように、究極の目標は、実物のかわりとして使うことができるような質感の記録と再現です。色味の一致などの基盤技術とともに、社会的にニーズがある物体の質感の記録と再現に挑戦し、日本が得意とするものづくりのさらなる高度化や文化の発展、さらには質感認知に関する知見を深める研究に寄与できるよう、取り込んだデータや開発した装置の提供を進めていくことを計画しています。



低露出での撮影

高露出での撮影

図2 電子ペーパーと複数プロジェクタを組み合わせた高精細ハイダイナミックレンジディスプレイの表示結果を、カメラで撮影したもの。カメラの露出を下げて撮影すると、つやや背景部分などの高輝度部の階調が現れており、一方、露出を上げて撮影すると、文字盤などの暗部も再現されていることが分かります。

○研究成果一覧

論文発表

1. 古瀬達彦, 日浦慎作, 佐藤宏介: スリット光の変調による相互反射と表面下散乱に頑健な三次元形状計測, 計測自動制御学会論文集 46(10):589-597, 2010.

学会発表など

1. 森隆浩, 日浦慎作, 佐藤宏介, 鏡面・拡散反射成分分離のための照明パターンの最適化, MIRU2010 画像の認識・理解シンポジウム論文集 232-238, 2010.

2. 立川雄大, 日浦慎作, 佐藤宏介, 屋外環境における光源方位と拡散反射率の同時推定, MIRU2010 画像の認識・理解シンポジウム論文集, 945-952, 2010.

3. 古瀬達彦, 日浦慎作, 佐藤宏介, 投影光の2次元符号化による間接反射にロバストな三次元形状計測, MIRU2010 画像の認識・理解シンポジウム論文集, 1428-1435, 2010.

研究分担者 岩井 大輔

(大阪大学大学院基礎工学研究科・講師)

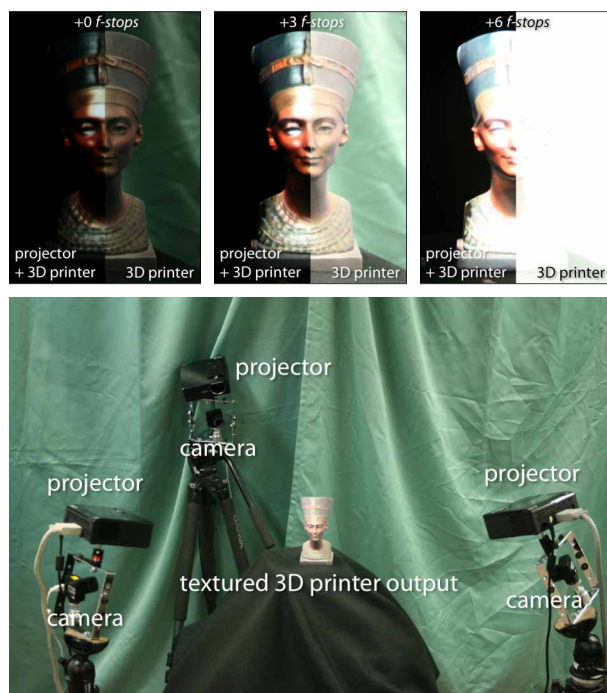


図1：カラー3次元プリンタから出力された模型に複数台のプロジェクタを使って映像を投影して、文化財を高いコントラストで再現します（上段：映像を投影した場合としない場合でのコントラストを比較するため異なる露光時間で撮影した画像、下段：実験風景）。

○研究の背景

ツタンカーメンの黄金のマスクやインカ帝国の黄金の彫刻のような貴重な文化遺産を、世界中どこにいても目の前で鑑賞する。私たちはこのような未来を目指し、必要となる技術の研究を行っています。これまで、計測されてデジタル保存された文化財の形・色・材質を忠実にディスプレイ上に再現する技術が数多く研究されてきました。しかしながら、これまでの研究の多くは、立体の文化財を平面のディスプレイ上に再現することに注力しており、立体のまま表現することは研究されてきませんでした。

○この研究の目指すもの

私たちは、文化財を立体的かつ忠実に再現するための表示技術の研究を行っています。近年カラー出力が可能となってきた3Dプリンタを使うことで、デジタル保存された文化財を立体模型として再現できるようになってきました。しかしながら、印刷された立体模型はコントラストが低く、文化財の見え

を忠実に再現しているとは言えません。そこで、私たちは複数台のプロジェクタを利用してその周囲から立体模型に模様を投影し、立体かつ高いコントラストでの文化財の再現を目指しています。

○これまでに得られた成果

コントラストを向上させつつ、立体模型の全周を照らすようにプロジェクタを配置させるための技術について研究しました。計算した配置にプロジェクタを設置して投影実験を行った結果、図1に示すように、立体模型を環境光下に置いたときに比べて、高いコントラスト（理論上1,000倍）での表示が可能となりました。また、複数のプロジェクタからの投影光が重なる部分では、それらのプロジェクタの内、最も高画質で画像を投影できるものを決定する技術を提案しました。

○今後の計画

立体模型の模様は一度印刷されてしまうと変更できません。しかしながら、より忠実に文化遺産を再現しようとする場合、光の当たり具合によって変化する表面の見えを忠実に再現する必要があります。そこで、H23年度は紫外線を当てると発色するフォトクロミック材料を利用して、立体模型の模様を変化させるダイナミックな表示技術の研究を行っています。

○研究成果一覧

論文発表

1. Nagase M, Iwai D, Sato K: Dynamic Defocus and Occlusion Compensation of Projected Imagery by Model-Based Optimal Projector Selection in Multi-projection Environment, Virtual Reality, Springer-Verlag London Limited, Vol.15, No.2, pp.119-132, 2011. (Online First, 2010)

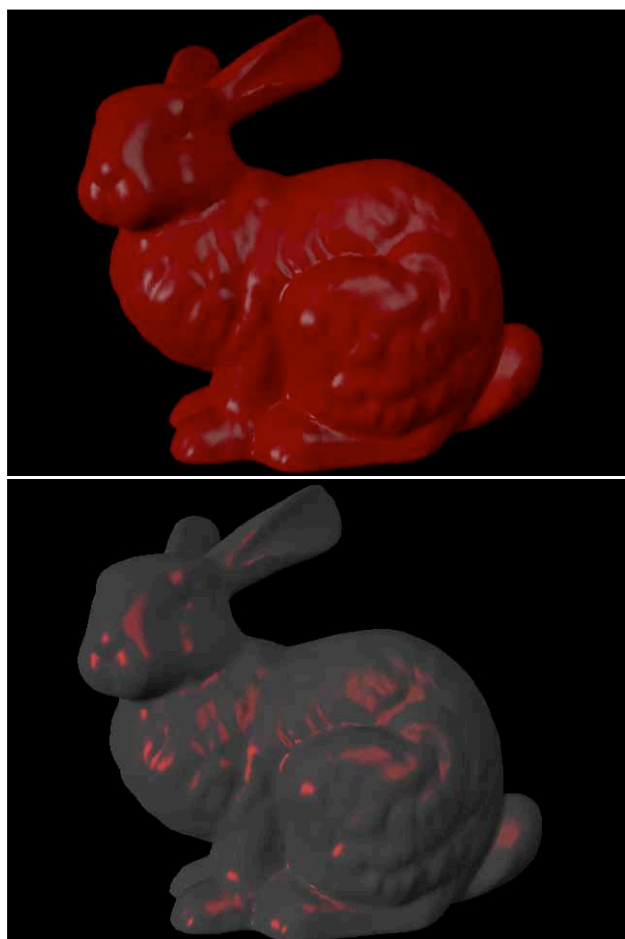
学会発表など

1. 日野直登, 岩井大輔, 佐藤宏介：フォトクロミズムを利用した投影面の反射率変調による高コントラスト投影表示, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, p.238, 2011.
2. 島津冴子, 岩井大輔, 佐藤宏介：3次元カラー迅速造形物へのマルチプロジェクション重畳による高コントラスト立体ディスプレイ, 第15回日本バーチャルリアリティ学会大会, pp.332-335, 2010.

B01 質感認知に関わる感覚情報の特長と処理様式

研究代表者 西田 真也

(NTT コミュニケーション科学基礎研究所・主幹研究員)



図の説明：光沢知覚に対する色の効果。物体表面の拡散反射（ボディ）と鏡面反射（ハイライト）の色を別々に変化させて作った画像です。（上）赤い拡散反射、白い鏡面反射の場合。この状況は物理的に正しく、感じられる光沢感も強くなります。（下）白い拡散反射、赤い鏡面の場合。これは物理的にほとんどあり得ない状況で、知覚的にも光沢感の広がりを感じられません。このように、人間の光沢知覚は色の情報を正しく利用しているのです。

○研究の背景

人間の脳は網膜に映った画像を色・形・運動といった基本的な属性に分解して分析する、というのが、これまでの視覚研究の常識でした。しかし、現実にはわれわれが見ている世界は基本属性の単純な寄せ集めではありません。人間は視覚を通して世界の複雑な有り様を理解しているのです。その中でも、複雑な表面の光の反射パターンから質感を読み取る人間の能力は驚くべきものです。

質感は古くから芸術などの分野では強い関心を持たれてきましたが、科学的な視覚研究の対象にはほとんどなってきませんでした。その状況に変化を引き起こしたのが近年のコンピュータグラフィックスの発展です。コンピュータグラフィックスは、複雑な光の反射のプロセスを精緻にシミュレーションすることによって、形と色を組み合わせたような単純なシーンの画像が現実的な質感を持った映像へとドラマティックに変貌する、という事実をわれわれに教えてくれました。技術の進歩によって、質感画像の生成原理の理解と実際の生成手段を、視覚科学は手に入れたことになります。

しかし、画像生成の光学プロセスを理解したからといって、画像から質感を理解する人間の脳の仕組みが簡単に分かる訳ではありません。なぜなら、この光学プロセスが非常に複雑で、画像から逆に辿って質感を生み出している表面反射特性を推定することが理論的に非常に難しいからです。また、「理論的に」というのは「コンピュータビジョンの問題として」という意味でもあります。人間と機械とでは質感認識の方法も大きく異なると考えられます。たとえばコンピュータビジョンにおいて表面反射特性を推定するインバースレンダリングでは、特定の条件においてBRDF（双方向反射率関数）がどのように推定されるかを真面目に考えます。一方、人間の質感知覚においては、BRDFまたはそれに類する高次元の反射特性が推定されていることは考えにくく、にもかかわらず人間は一瞬にしてものの質感を適切なレベルで推定できているように思えます。その謎を解き明かすことは、視覚科学にとっても、工学にとっても、大きな挑戦です。

○この研究の目指すもの

画像を見て質感が得られるのですから、質感の手がかりは画像に含まれているはず。その手がかりは、おそらく統計的のものだとわれわれは考えています。物体表面の画像は、表面の反射特性、形状、そして照明環境の複雑な相互作用によって決まっています。全く同じ物体であっても、照明環境が変わると画像も大きく全く変わってしまいます。しかし、照明環境の統計的な性質にはある種の法則性があります。そして、表面反射特性としての質感は、環境の映り込みのパターンが物体表面というフィルターによってどのような変形を受けるのか、というところに反映されます。ですから、表面に映り込んだ画像の統計的な性質が、照明環境本来の統計的な性質

からどのように歪んでいるのかを調べることで、表面形状や照明環境を正確に知らないでも、質感の推定がある程度できる可能性があります。

このような考えに基づき、われわれが質感の画像手がかりを検討してきました。これまでの研究から、輝度やその周波数サブバンドのヒストグラムに含まれる統計的な特徴、たとえば歪度が、アルベドや光沢といった表面反射特性の知覚に関係あることが明らかになりました。また、拡散反射と鏡面反射の特殊な関係が、半透明感の重要な手がかりとなっていることも分かりました。さらに、このような画像手がかりを操作することによって、質感を編集する方法も考えてきました。

いまわれわれは、このような過去の研究を進展させ、質感を生み出すより多様な刺激手がかりを特定することを目指した研究を行っています。視覚はもちろん、聴覚・触覚・温度感覚や、多感覚の相互作用による質感知覚も研究の対象とします。研究には主に心理物理的な手法を用い、特に訓練を受けていない一般人の質感知覚を分析しています。

広範囲の質感を対象とするため、多くの方の協力を受けて研究を行っています。視覚のうち特に照明環境の影響については、分担研究者の本吉さんが中心となって研究を行っています。分担研究者の内川さんには、色情報の質感に対する影響を分析していただくとともに、画像の各画素の分光発光特性を単色光にまで自由に变化させることができる新しいタイプの新カラーディスプレイの試作を進めていただいています。研究分担者の藤崎さんには、聴覚および多感覚の質感知覚の分析をお願いしています。また、私の所属する NTT の若手研究者の皆さんにも、多方面で研究協力をいただいています。

○これまでに得られた成果

光沢感は代表的な視覚的質感です。光沢感は、拡散反射成分に対する鏡面反射成分の強さが重要な要因です。しかし、人間がどのような仕組みで鏡面反射成分を拡散反射成分と分離しているのかよく分かっていません。この分離の手がかりとして色の情報が利用できることがコンピュータビジョンでは知られていました。人間も色の情報を利用して鏡面反射成分の特定を行っているかどうかを調べるために、次のような実験を行いました。

コンピュータグラフィックスで作った物体画像を拡散反射と鏡面反射に分解し、それぞれの成分の色を独立に操作して再合成しました。その画像を観察して、光沢感の広がり判断しました。その結果、鏡面反射のスペクトルが拡散反射のスペクトルを含むような場合（たとえば、赤い拡散反射に白い鏡面反射、左図上）では正しい光沢感広がりが得られるのに、反対の場合（白い拡散反射に赤い鏡面反射、左図下）には光沢感の広がりが得られないことが分

かりました。自然界においてはたいていの場合、鏡面反射は照明の色スペクトルをそのまま反映しますから、この結果は人間が物理的なスペクトル関係を正しく考慮に入れて光沢感知覚を行っていることを示唆しています。

ただし、さらに詳細な分析の結果、人間の視覚系が色情報と輝度情報の分解を正しく行っていないために、物理的には不整合な状況でも光沢感が得られるケースがあることも分かりました。また、カラー画像を複数の狭帯域バンドに分解して、それぞれのバンドで画像の強度に基づいた光沢処理が行われているというモデルを提案しました。

分担者の担当部分の成果については、そちらのページを参考にしてください。

○今後の計画

光沢知覚について、ハイライトの位置や方向、形状といった空間的な要因の影響を調べ、その背後にあるメカニズムを探ります。その後、研究成果を統合して。画像から人間が受ける光沢感を正しく予測するモデルを作りたいと考えています。また、静止画像に含まれる質感情報だけではなく、視覚的な動きの情報が粘性などの材質感に与える影響の検討を進めています。

触覚質感に関しては、ものを触ったときの指の状態を測定して、感じとられる質感との関係を分析します。さらに、視覚と聴覚、視覚と温感の相互作用の分析を通じて、モダリティを超えた質感知覚の仕組みを明らかにしたいと思っています。

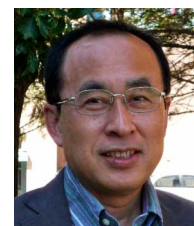
○研究成果一覧

学会発表など

1. Nishida, S.: Perception of colorful natural scene. Asia Pacific Conference on Vision, Taipei, Taiwan, July 23-26, 2010.

研究分担者 内川 恵二

(東京工業大学大学院総合理工学研究科・教授)



1. 光沢感を伴う表面の色の見え

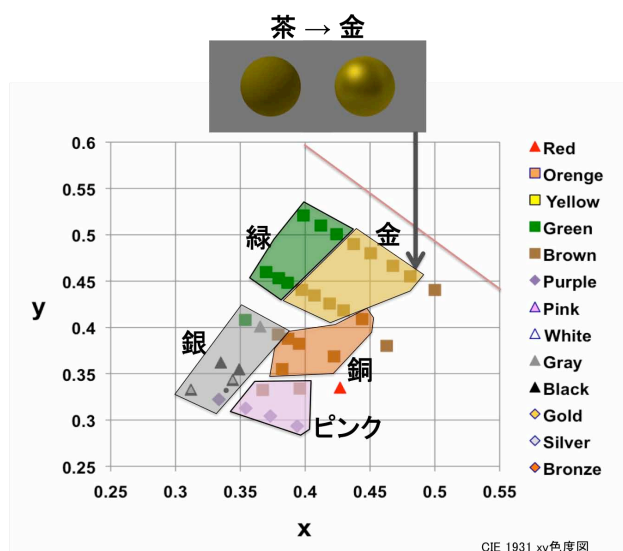


図: 光沢感変化に伴う金銀銅色の色度範囲の変化。光沢レベル最小の条件でのカテゴリカルカラーネーミングの結果に対して、光沢レベル最大の条件で金銀銅色と評価された色度点が囲み線で示されています。

○研究の背景

質感を伴う表面の色の見えは、例えば、黄色の表面に光沢を与えると金色に見えが変化することから明らかなように均質な刺激とは異なります。しかし、その変化に必要な色度や光沢感の条件の詳細は明らかになっていません。また表面の明度も色の見えに影響する可能性があります。このような光沢感を伴う色の見えの変化条件や質感との関係を明らかにすることは、色知覚メカニズムの解明のために重要であると考えられます。

○この研究の目指すもの

本研究では、まず様々な視覚刺激の作成が容易なCGを用いて色度、光沢、表面明度の異なる視覚刺激を作成します。その刺激を用いて、金銀銅色を生起する色度範囲を明らかにする事、金銀銅色の見えと光沢感の関係、及び表面明度との関係を明らかにする事を目的として心理物理実験を行います。CGをモニターで表示する場合、モニターの輝度値制限があるために現実世界に存在するような高い輝度コントラストを実現することは困難です。そのような条件においてCGで調べた事が成り立つかどうかは不明であるため、次のステップとして実物体を視覚刺激

として同様な実験を行います。そして全体の結果を考察し、色知覚のメカニズムの解明を目指します。

○これまでに得られた成果

我々はこれまでに、金銀銅色の色度範囲、及び金銀銅色の見えと光沢感の関係を明らかにする事を目的とした心理物理実験を行いました。

【方法】

視覚刺激は表面の光沢、色度の異なる球をCGにより作成しました。実験刺激の作成では、表面の拡散反射強度を一定に保ちながら、鏡面反射強度を6段階に変化させ光沢感の異なる画像を作成しました。また拡散反射の色度を36点選択し、表面色度の異なる画像を作成しました。被験者はこれらの視覚刺激に対して下記の3種類の課題を行いました。(1) 金銀銅色の色度範囲を求めるためのカテゴリカルカラーネーミング (2) 光沢感のマグニチュード評価 (3) 金銀銅色の見えのマグニチュード評価。

【結果】

刺激の光沢感が小さい場合、金銀銅色とネーミングされる色度点は存在していませんでしたが、光沢感の増加に伴い、金銀銅色とネーミングされる色度点が現れ、さらに光沢感が増加すると、金銀銅色の色度範囲は拡大する傾向を示しました。また、刺激の光沢感の増加に伴い、金銀銅色の強さも増加しました。これらの結果は、我々が金銀銅色を知覚する時、光沢感を生起する視覚情報を利用していることを示唆します。

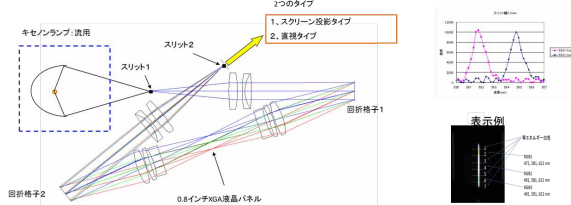
一方、同程度の光沢感と評価された表面であっても、表面の色度によって金銀銅色強さが異なるという結果が得られました。光沢感を生起する視覚情報が金銀銅色知覚に寄与する度合いは、表面の色度に依存する事をこの実験結果は示唆します。

○今後の計画

今後は表面の明度が金銀銅色の見えに与える影響を調べる実験や、実物体を視覚刺激として同様な実験を行う計画です。

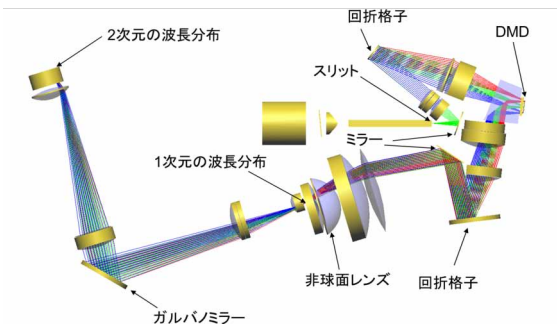
2. ハイパースペクトルディスプレイ

ハイパースペクトルディスプレイ (1次元表示タイプ) : 光学原理と表示例



我々のハイパースペクトルディスプレイは既に市販されているプログラマブル光源の自然な拡張です。一度分光された光を空間変調器で波長ごとにチューニングして再度合成することで、任意の波長分布の光を1次元のスリット状に並べることができます。

ハイパースペクトルディスプレイ (2次元表示タイプ) : 光学構想図



任意の1次元波長分布ができたので、それを高速にMEMSミラーで書き換えながらスキャナで走査することにより2次元画像を作ります。シンプルな発想でハイパースペクトルの2次元表示を実現します。

○研究の背景

人の色覚は3色型であることから、世の中の色々の表示は3原色による混色が基本となっています。しかし、3原色による表示では、存在する色がすべて表現できるわけではありません。また、3色で作られた色は、元の分光分布を再現していないので、標準的な色覚からずれた観察者が見ると、元の色と再現された色が異なるという問題が生じます。

技術的な面では、最近、プログラマブル光源という装置が使われ始めています。プログラマブル光源は、任意の波長分布を作れる光源で、照明の実験、色覚研究、顕微鏡など照明などの用途が考えられています。

我々は、2次元画像の各画素において、波長分布が自由に選べる表示装置を作ることができれば、すべての色が再現でき、観察者の色覚にも依存しない、夢の表示装置＝ハイパースペクトルディスプレイが実現できると考えました。

○この研究の目指すもの

世界的にも新しい試みであるので、小さくても良いので2次元のハイパースペクトル画像を実際に見ることのできる表示装置を実現することが目標です。

プログラマブル光源の技術は既に確立されており、1次元ディスプレイはその比較的簡単な拡張で実現できることは分かっていました。我々は1次元装置を確実に使えるものにしながら、その開発過程で出てきた問題点とその解決策を2次元装置の設計に折り込み、さらに高速化のためにMEMSミラーを使った光学系を設計することにしました。

○これまでに得られた成果

ハイパースペクトル1次元ディスプレイに関しては先行研究で原理はできていましたので、その問題点を検討し、さらに2次元ディスプレイの検討、その実現可能性を明らかにしました。

特に光量が足りないと像が見えないので、まったく意味がありません。光量については実像を直接見るタイプだけでなく、小さいですがスクリーンに写して観察できることを確認しました。

○今後の計画

ハイパースペクトル2次元ディスプレイの光学設計を行い、実現可能性を再検討します。さらに、部品の製作、組み立てなどの試作を行います。試作機が出来上がった後は、性能評価のために心理物理的な実験を行います。

○研究成果一覧

学会発表など

(光沢感を伴う表面の色の見え)

1. Matsumoto T, Fukuda K, Uchikawa K: 金色知覚に必要な色度範囲と光沢感の程度, 映像情報メディア学会 ヒューマンインフォメーション研究会, 10.14-15, 2010.

2. Matsumoto T, Fukuda K, Uchikawa K: 金銀銅色知覚を生起する刺激の色度範囲と光沢感, 日本視覚学会 2011年冬季大会, 1.19-21, 2011.

(ハイパースペクトルディスプレイ)

3. OSA Fall Vision Meeting Poster: T. Mihashi, N. Nakamura, Y. Yamauchi, K. Uchikawa, K. Sakata, Hyperspectral one dimensional visual stimulus generator, J Vis December 22, 2010 10(15): 68.
4. 日本視覚学会冬季大会(2011): 三橋俊文, 中村直樹, 吉田圭祐, 山口達夫, 福田一帆, 山内泰樹, 坂田勝亮, 内川恵二, ハイパースペクトル1次元表示装置の試作

研究分担者 本吉 勇

(NTT コミュニケーション科学基礎研究所・主任研究員)

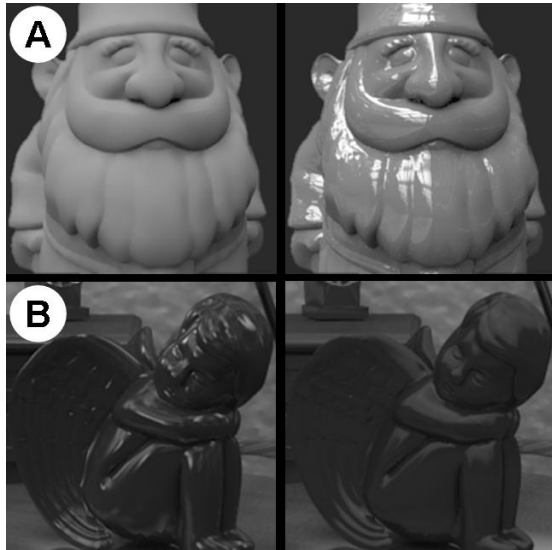


図 (A)光沢知覚の生後発達を調べるために用いた刺激。(B)異なる照明環境におかれた同じ反射率の物体。

〇はじめに

質感知覚のメカニズムはまだ謎に満ちています。だからこそ、そこには素朴で重要な疑問があるとも言えます。わたしたちは、そうした疑問に対する最初の答えを見出すことを目指しています。

〇質感を知覚できるのは生まれつきか？

質感知覚の能力は生まれつきのもののでしょうか、それとも経験により獲得されたものなのでしょうか？ほとんどの視覚能力は経験によるといわれるので、答えは後者である可能性が大です。問題は、その能力がいつどのように発達するかです。

わたしたちは光沢の知覚を例に、表面の質感を見わける能力がいつごろどのように獲得されるのかを、生後 5～8 ヶ月の赤ちゃんを対象に調べました。

実験では「選好注視」と呼ばれる方法を用いました。同じ形をした光沢のある物体と光沢のない物体を赤ちゃんに同時に見せて、二つのうちどちらを長く注視するかを調べたのです(図 A)。

その結果、光沢のある表面を注視するようになるのは生後 7-8 ヶ月であることがわかりました。この傾向は画像の統計量を揃えても同じでした。つまり、

生後 7-8 ヶ月の赤ちゃんは画像の特徴(コントラストなど)ではなく光沢のある表面と光沢のない表面をきちんと見わけることができるらしいのです。

視覚の発達に関する様々な実験の結果から、赤ちゃんは生後 7-8 ヶ月になると映像そのものではなく、その向こうにある外界の「面」を知覚できるようになるといわれています。光沢の知覚が同時期に発達することは、その能力が「面」の把握能力と密接に関わっていることを示しているようにみえます。

〇人間は正しく質感を知覚しているのか？

では大人は質感をそんなに正確に見わけているのでしょうか？ 視覚科学の教科書には「脳は照明によらず物体の正しい反射率を推定できる(恒常性)」と書かれています。しかし工芸家や写真家は質感を見極めるため照明にとっても気を使います。もし照明によらず反射率を正しく知覚できるなら、そんな必要はないはずです。恒常性は誤りなののでしょうか？

この問題を検証するため、わたしたちは様々な方向からの照明光(light field)で照らされた物体を CG で再現し、照明の違いによって物体の見かけの反射率(光沢や明るさ)が変化するかどうかを調べました(図 B)。ある統計的性質をもつ照明環境におかれた物体の反射率を、別の照明環境におかれた物体と同じに見えるよう、観察者に調整してもらいました。

その結果、見かけの反射率は照明環境の平均照度が変わっても一定でしたが、それ以外の性質が変化すると(例えば晴天が曇天に変化)劇的に変化することがわかりました。恒常性は非常に限定された条件でしか成立しません。質感の知覚は照明と切り離せないのです。これは実のところ人間が外界の表面の状態を正しく推定できないことを示しています。

〇今後の展開

今後の研究でも、質感知覚にまつわる素朴な問いに心理物理学のアプローチで迫ってゆきます。

〇研究成果一覧

1. Yang, J., Otsuka, Y., Kanazawa, S., Yamaguchi, M.K. & Motoyoshi, I. (in press) Perception of surface glossiness in 5- to 8- month old infants. Perception.
2. Motoyoshi, I. & Matoba, H. (2010). No reflectance constancy even with rich surrounding information. Perception, 39, 165a.

研究分担者 藤崎 和香

(産業技術総合研究所 ヒューマンライフテクノロジー研究部門・研究員)

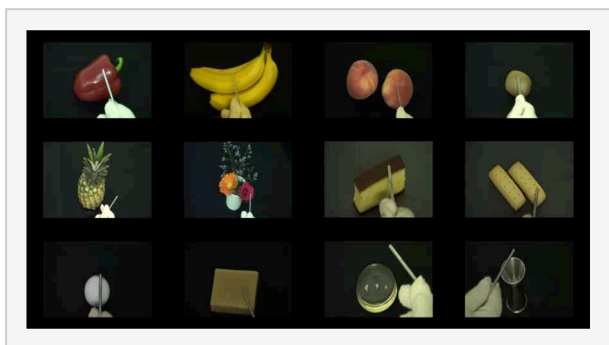


図1. マルチモーダルな質感デモの作成に用いた素材例 (実画像)

身近にある様々な物体を棒で叩いた映像ファイルと音ファイルを作成し、映像と音の組み合わせをさまざまに入れ替えたマルチモーダルな質感知覚デモを作成しました。

○研究の背景

視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚などのことを感覚モダリティとよび、多くの感覚が合わさった状態のことをマルチモーダルとよびます。私たちが日常生活で経験するイベントの多くは、元来、マルチモーダルなものです。しかしながら、マルチモーダルなイベントについての情報は、我々の知覚系において、目から入力される情報は視覚系、耳から入力される情報は聴覚系、手や指から入力される情報は触覚系によってというように、いったんばらばらに処理されます。したがって我々の脳が一体感のある知覚世界を作り上げるためには、入力段階でいったんばらばらに処理した各感覚モダリティの情報を適切に統合する必要が生じます。

感覚系が運ぶ情報には、各モダリティに固有の情報と、モダリティに共通した情報とがあります。例えば色（視覚系でのみ伝達可能）や、音高（聴覚系でのみ伝達可能）は、各モダリティに固有の情報です。一方で、質感は、時間や空間と同様に、さまざまなモダリティに共通した情報です。物体の材質感の知覚は、視覚のみならず聴覚や触覚といったモダリティでも成立します。例えば「金属らしさ」や「木らしさ」といった材質感の知覚は、視覚によっても、聴覚によっても触覚によってもたらされます。「つるつる」「ざらざら」といった触覚的な情報もまた、視覚や聴覚からも感じ取ることができます。このように異種モダリティを横断するように存在することが質感知覚の大きな特徴です。

しかしながら質感知覚のマルチモーダルな側面についてはこれまで殆ど明らかにされていません。そこで聴覚や触覚、多感覚情報統合における質感知覚を研究し、マルチモーダルな質感知覚のメカニズムを解明するために、本分担研究を開始しました。

○この研究の目指すもの

本分担研究においては、聴覚や触覚、多感覚情報統合における質感知覚を研究し、マルチモーダルな質感知覚メカニズムを解明することを目的とします。マルチモーダルな質感知覚メカニズム研究という全く新しい一歩を踏み出すにあたり、H22年度は、まずは身近にある様々な物体のもつマルチモーダルな材質感知覚の観察から始めることにしました。具体的には、野菜（パプリカ）や石鹸、陶器、樹脂など身近にある様々なものを棒で叩いて映像ファイルと音ファイルを作成し、映像と音の組み合わせをさまざまに入れ替えて、マルチモーダルな質感知覚がどのように変化するかを、デモレベルで観察しました。（図1）

○これまでに得られた成果および今後の計画

H22年度は、上記の刺激作成、および効果の出そうな視覚、聴覚刺激の組み合わせについての絞り込みを行いました。H23年度は、引き続き、強い効果をもつ視聴覚刺激の組み合わせについての絞り込みを行うとともに、視覚刺激、聴覚刺激を実験に耐えうるレベルに洗練させ、また、実画像だけではなくCGを用いて、パラメーターをシステムティックに変化させて実験を行うことを計画しています。本研究の実施にあたっては、C01班と協力して、心理物理とfMRIを組み合わせで検討することを予定しています。

○研究成果一覧

H22年度は、マルチモーダルな情報統合を支える視聴覚同時性知覚メカニズムについて、以下の成果を得ました。

論文発表

1. Roseboom W, Nishida S, Fujisaki W, & Arnold D, (2011) Audio-visual speech timing sensitivity is enhanced in cluttered conditions., PLoS ONE 6(4): e18309. doi:10.1371/journal.pone.00183.

研究代表者 中内 茂樹

(豊橋技術科学大学大学院工学研究科・教授)

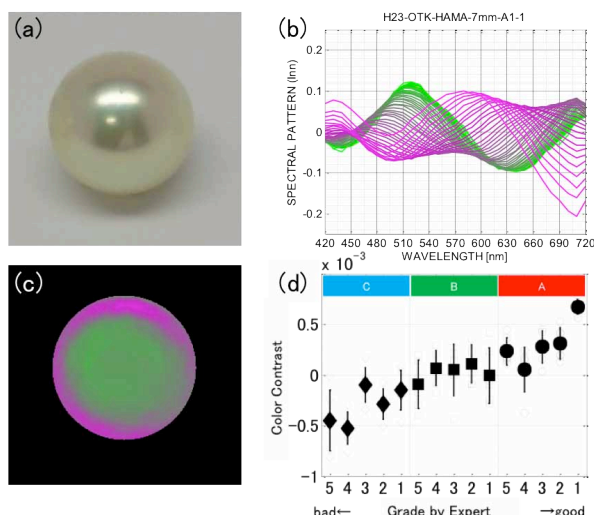


図1：真珠の光学特性と熟練者評定の関係。(a)真珠像、(b)真珠に見られる干渉色スペクトルの偏角依存性、(c)干渉色の可視化結果、(d)熟練者評定（横軸）と干渉色の空間コントラスト（縦軸）との関係。

○研究の背景

外界認知、すなわち、物体の形状、色、動きや場所など、「何がどこにあるか」という問題を解決することが視覚の目的です。こうした視覚機能の詳細はこれまで、心理物理学や神経科学的な観点から次々に明らかにされ、例えばロボットビジョンや画像計測など、視覚情報処理技術として応用されています。こうした技術によって自動車などの組み立てラインはかなりの部分が自動化されていますが、これとは対照的に工業製品や工芸品の検査工程は、その多くが人手（目視）により行われているのが現状です。目視工程の自動化は産業界の最大の要望の一つですが、特に光沢感や素材感など、質感に関わる検査に関しては、未だ解決の糸口さえ見えていないと言わざるを得ません。つまり、形状や重さなどとは違い、質感が本質的に認知的な存在であること、さらには質感に関する科学が未だ発展途上であることを象徴しているものと言えます。

本研究課題では、工芸品のなかでも光沢、多層膜構造による干渉などによって複雑な見えを呈する真珠を例に、質感認知のメカニズムについて検討を進めています。特に、以下に示すように、熟練鑑定士が真珠鑑定を行っている状況に、質感認知を解くヒントが隠されていると考えています。

・ 視覚情報を手がかりとして品質評定

明らかに熟練鑑定士は、真珠の X 線像や破壊計測による断面像ではなく、網膜に映った真珠像から質感を認知していて、視覚情報に質感認知を解く手がかりがあることは明らかです。また鑑定速度は 10 秒に 3～5 個と極めて早いことも特徴です。

・ 観察環境

真珠の鑑定は直射日光の入らない北窓光が用いられています（図2）。ただし、実際には北窓ということだけが決められているだけで、照度も写り込みの画像的要素も、実際にはほとんどコントロールされてはいません。ただ、こうした「自然な照明場」が真珠らしい質感にとっては重要とされています。



図2：真珠鑑定の環境

・ 能動的視覚行為

熟練鑑定士は頻繁に真珠を転がし、視点を変えながら観察しています。こうした能動的な視覚行為が質感認知に重要な役割を担っているに可能性があります。

このような真珠鑑定における熟練鑑定士の特異性、すなわち質感認知の環境・学習依存性は、質感認知の脳内機序を明らかにするための重要なヒントを与えるものと考えています。

○ この研究の目指すもの

真珠の形状はシンプルな球状ですが、真珠層と呼ばれる多層膜構造により、光沢だけでなく干渉色を含む複雑な質感を呈し、熟練者が評定する際に特に重要視する質感要素です。本研究では、まず真珠特有の質感を生み出している多層膜における光散乱や干渉などの光学特性、そしてそれらに起因する真珠像の画像的特徴と鑑定士の真珠質感評定との関係を明らかにするところから始めます。そのために、標準的な真珠の観察環境において鑑定士によって評定された真珠品質（光沢感および色沢感：真珠鑑定士はそれぞれ「照り」、「巻き」と呼びます）の光学特

性と真珠像を分析します。

続いて、熟練鑑定士の有する「照り」と「巻き」を弁別・評定する高い能力と観察環境の関係を明らかにします。具体的には、形状（大きさ、3次元手がかりなど）、照明条件（照明場の特徴、色温度など）、能動的視覚行為（視点移動など）について、標準的な真珠環境観察から逸脱させた場合の真珠質感の弁別・評定を、熟練鑑定士と非熟練者（素人）の双方について調べることで明らかにします。

熟練鑑定士と非熟練者のいずれの質感認知に対しても影響を与える観察条件は、いわば視覚系の一般的な方略と関係していると考えられます。一方、熟練鑑定士が特に大きな影響を受ける観察条件は、経験によって獲得した固有の質感認知の手がかりである可能性が高いと言えます。こうした考えに基づいて質感認知の環境依存性と学習依存性を明らかにしようとしています。

○これまでに得られた成果

これまで、真珠の光学特性と熟練鑑定士の評定との関係について調査してきました。具体的には、鑑定士によって15段階にランク分けされた合計90個の真珠を対象に、干渉色の計測を行いました。真珠の計測技術はこれまでX線や超音波による多層膜の物理構造計測が主でしたが、今回初めて干渉色の直接的な光学計測を試みました。

真珠下部から420～720nmにわたって波長を変化させながら単色光を照射し、上部からモノクロカメラにより真珠像を計測しました。計測された分光画像から、真珠中心部から周辺部に至る透過光のスペクトルを抽出したところ、図1(b)に示すような真珠の多層膜構造に起因する干渉および光路長の変化に伴う偏心度依存性が確認され、その様子を可視化することができました(図1(c))。様々なランクの真珠についてその干渉色パターンを分析した結果、鑑定士が高い評価を示す真珠は中央が緑、周辺が赤い干渉色パターンを、逆に評価の低い真珠はそのパターンが逆転し、中央が赤、周辺が緑、あるいはそのコントラストが低い傾向を示すことが分かりました。

こうした干渉色の空間コントラストと鑑定士のランクとの間には、図1(d)に示すように高い相関が見られることから、熟練者は複雑な真珠像に存在する映り込みやハイライトなどから干渉色を瞬時に見分け、その特徴に基づいて品質を分類する能力があることが推察されます。

真珠質感の分析と並行して、基本的な質感カテゴリーの判別パフォーマンスや、質感弁別感度について、幅広い（熟練／非熟練、発達）対象者について計測するための標準刺激として質感サンプルを開発しました(図3)。これは、マンセル色見本の質感版、あるいはCURETやFMDなど質感研究に用いられている画像データベースの実物体版として位置づけることができます。形状や色などがある程度コント

ロールされた、様々なカテゴリーの材質サンプルはこれまでに無く、対象を共通化することで今後様々な質感認知に関する知見の共有化が進むものと期待しています。



図3：質感サンプル

○今後の計画

熟練鑑定士および非熟練者の質感認知の環境依存性、学習依存性を明らかにするために、モバイル・ラボ（移動型視覚心理物理実験室：図4）による視覚心理物理実験を行う予定です。これにより、真珠鑑定における標準観測条件の意味、熟練鑑定士と非熟練者の質感認知特性の共通点と相違点を明らかにすることができると考えています。



図4：モバイル・ラボ

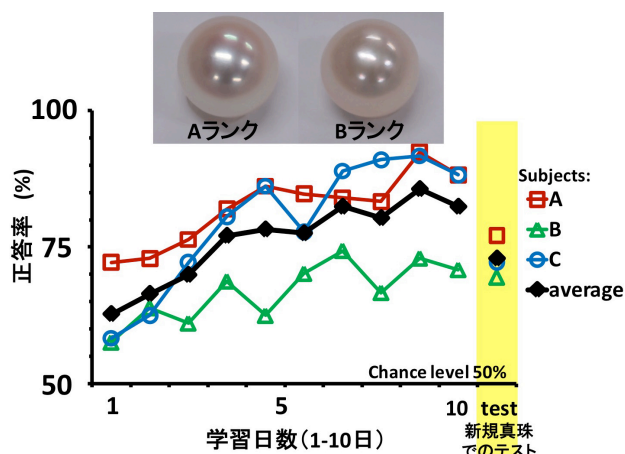
○研究成果一覧 学会発表など

1. 豊田敏裕, 青木秀夫, 中内茂樹, 質感知覚の視覚機序に基づく真珠の品質計測, 日本光学会年次学術講演会講演集, pp.498-499, 2011.
2. 佐藤智治, 永井岳大, 中内茂樹, 多色刺激における色検出特性の個人差—CI法による解析—, 日本視覚学会 2011 年冬季大会, p.70, 2011.
3. 中村幸生, 永井岳大, 北崎充晃, 鯉田孝和, 中内茂樹, 材質分類課題に伴う知覚学習効果, 日本視覚学会 2011 年冬季大会, p.81, 2011.

質感認知の環境依存性および学習依存性： 素人による真珠鑑定の学習

研究分担者 北崎 充晃

(豊橋技術科学大学大学院工学研究科・准教授)



上：A、B ランクの真珠の例。下：10 日間の学習による正答率の変化と最後に実施した新しい真珠での鑑定正答率。

○研究の背景

真珠やダイヤモンドなどの宝石は多くの人が美しいと感じます。そして、その美しさの度合いに応じてランクがあり、値段も異なります。このランクや値段はどうやって決まるのでしょうか？そして、それは私たちが誰でも感じ、普遍的に了解される「美しさ」と関係があるのでしょうか？本研究の大きな目的は、「美しさ」の科学的解明にあります。その最初のステップとして、真珠に着目し、その鑑定における知覚心理学的解明を行うことにしました。

○この研究の目指すもの

一般に宝石として扱われる真珠は、アコヤ貝の中で作られる生体鉱物です。1つ1つ異なる真珠ができます。真珠の養殖が盛んな伊勢志摩での真珠の鑑定は、熟練した鑑定士が、一定の条件下（午後、北窓）で、特定のスタイル（1つ1つ転がしながら素早く）で行われています。鑑定において注目される要素は、形や傷、光沢（照り）、干渉色（巻き）です。なお、干渉色は、真珠の多層膜構造に光が入ることによって生じる知覚現象です。良い真珠は光が当たることによって味わい深い色変化を起こします。この研究では、真珠に対してほとんど知識を持たない素人（大学生、大学院生）が、真珠品質の高さの単純なフィードバックのみで鑑定を学習できるかを調べることを目的としました。

○これまでに得られた成果

A ランクと B ランクの真珠それぞれ 12 個を用意し、それぞれ半分を白い紙と黒い紙の上に置きました。被験者は、半分の試行では、これを静止したまま、残りの試行では左右に頭を動かしながら 4 秒間観察し、それが A ランクか B ランクかを判断しました。その直後に正解をフィードバックし、次の試行に進みました。一日に 144 試行を行い、10 日間学習をしました。その結果、背景色の違いや頭部運動のありなしに関係なく、真珠鑑定の正答率は上がり、学習が成立しました。10 日間の学習の後、新しい 12 個の真珠を用意したところ、3 人中 2 名の被験者は新しい真珠に関しても学習前よりも高い正答率を得ることができました。また、研究代表者中内教授の開発した方法で光沢と干渉色を計測したところ、干渉色が強い真珠ほど被験者は品質が良いと判断したことが示されました。

つまり、素人であっても、品質が高いか低いかのフィードバックのみで真珠の品質鑑定を学習することが可能であり、それは干渉色の強さに基づいているらしいことがわかりました。

○今後の計画

今後は、照明環境の影響と真珠自体の運動の影響を調べていく予定です。真珠鑑定士は真珠を転がしながら鑑定をしていますので、頭部運動（自己運動）よりも物体運動の方が効果的なのかもしれません。

○研究成果一覧

学会発表など

1. Araki, K., Kato, M., Nagai, T., Koida, K., Nakauchi, S., and Kitazaki, M.: Glossiness perception enhanced by retinal-image motion from object-motion and self-motion, APCV (Asia-Pacific Conference on Vision), Hong Kong, China, July 18th 2011.
2. Kato M, Nagai T, Koida K, Nakauchi S, Kitazaki M: Perceiving quality of pearls: Novice observers discriminate pearls by interfering colour, ECVP (European Conference on Visual Perception), Toulouse, France, August 29th 2011.

研究分担者 永井 岳大

(豊橋技術科学大学大学院工学研究科・助教)

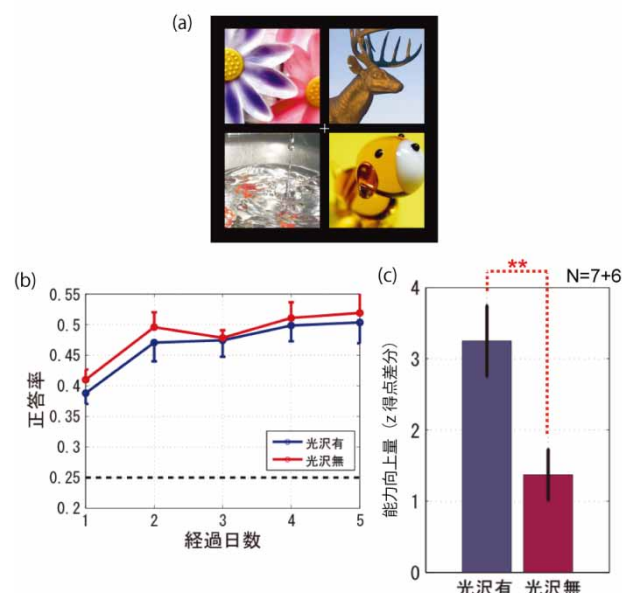


図1 : (a)実験に用いた視覚刺激。(b)材質分類の学習効果。(c)学習前後のプロープ課題(テクスチャ弁別)に対する遂行能力の差分。

○研究の背景

真珠鑑定士のような質感認知の熟練者は、非熟練者と比較して、非常に容易かつ詳細に物体質感の判断が可能です。この例は、ヒトの質感認知に学習過程が非常に重要である可能性を示すものです。しかし、学習がどの程度ヒトの質感認知にとって重要なのか、また質感認知学習においてヒトがどのような情報を学び取るのか、これまで全く検討されていませんでした。この質感認知の学習依存性には、ヒトが質感を認知する際に用いる視覚情報の手がかりが隠されているかもしれません。

○この研究の目指すもの

そこで本研究では、この質感認知における学習依存性に焦点を当てます。質感には様々なものがありますが、ここでは、材質分類を考えます。ヒトは、60 ms という極めて短時間のみ呈示される写真中の物体材質を答えることができ (Sharan et al., 2008)、材質分類はヒトの優れた質感認知能力を反映する課題の一つといえます。そこで、心理物理実験により、1. 学習により材質分類能力は向上するか、2. 材質分類学習により他のどんな視覚機能の能力が向上するのか、を調べます。このアプローチにより、材質分類に寄与する視覚情報の解明を目指します。

○これまでに得られた成果

実験では、図1(a)に示すような、木、硝子、石等の8種類の材質の4枚の写真を被験者に呈示しました。被験者は、あらかじめ教示された材質が呈示された位置を4肢強制選択で応答しました。これを繰り返すことで、材質分類を学習させます。そして、他の視覚機能への学習効果波及量を測定するプロープ課題として、色弁別やテクスチャ弁別等の単純課題を学習前後に行わせました。この際、被験者群を2群用意し、それぞれ異なる材質群のみで学習を行わせることにより、材質分類対象と視覚情報との関連性を検討しました。

はじめに、材質分類課題の正答率(図1(b))をみると、材質分類能力が学習により向上することが確認できます。次に、プロープ課題の学習前後の能力差(図1(c))をみると、学習に用いる材質群により、プロープ課題の能力向上量が異なる、すなわち、分類学習する材質群によりプロープ課題への影響量が異なることがわかります。この結果は、分類すべき材質により有効な視覚情報が異なり、学習効果によりその視覚情報を検討できる可能性を示すものです。

○今後の計画

上述した知見をベースとし、実験を拡張していきます。第一に、プロープ課題数を、これまでの3種類から10種類程度まで増やします。これにより、材質分類に寄与する視覚情報をより詳しく検討できると考えています。第二に、材質分類の学習機序について詳しく検討していきます。上述した実験では、材質群間で写真そのものが異なるため、写真に含まれる画像情報を繰り返し見るだけで学習が進んだのか、被験者が材質分類する際に特定の視覚情報に注目したから学習が進んだのか、切り分けができませんでした。そこで、同じ画像群に対し分類軸(例: 光沢感で分類、透明感で分類)のみが異なる被験者群間で学習効果を比較することにより、材質分類の学習機序を詳しく検討していきます。

○研究成果一覧

学会発表など

1. Nakamura Y, Nagai T, Kitazaki M, Koida K, & Nakauchi S: Perceptual learning effect underlying material categorization tasks, Vision Sciences Society 2011 Annual Meeting, Florida, U.S.A., 5.11-16, 2011.

C01 質感情報の脳内表現と利用のメカニズム

研究代表者 大澤 五住

(大阪大学大学院生命機能研究科・教授)

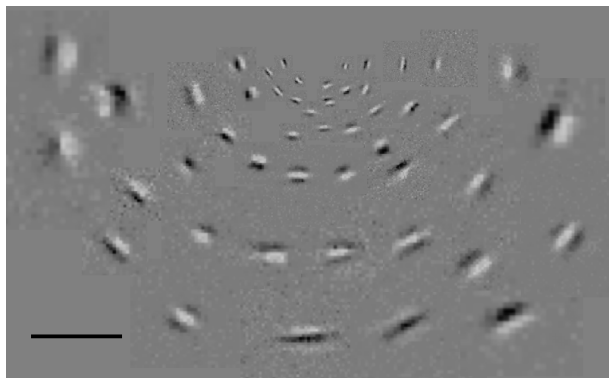


図1：当研究室が開発したシステムにより逆相関法で求めた多くの一次視覚野(V1)単純型細胞の詳細な受容野。高次視覚野の細胞の刺激選択特性は、これらの単純な形の複雑な組み合わせで構築されています。スケールバー：視角 10 度

○研究の背景

新学術領域研究の申請準備段階で、「質感を研究しませんか」と領域代表者となる小松さんに声をかけられた時、実は迷いました。質感という、ちょっと捉えどころの無い、しかし重要な感覚の一面を、意味のある視覚野の神経細胞レベルの実験として行うことができるのだろうかという疑問が、自分でもあったからです。

ヒトであれば、物体が光沢を持ってツルツルしているのかテクスチャーが付いたザラザラした表面なのかどうか、さらに光沢を持つ物体の中でも金属なのかそうで無いか等はすぐわかります。したがって、心理物理学的なテストを行うことが可能です。しかし、細胞の反応として研究する事の難しさは、個々の細胞がごく一部の情報しか担っていないことに由来します。さらに、視覚経路の各領野の神経細胞は、既に形や色、運動などの、様々な視覚特徴に選択的に反応することが知られています。例えば一次視覚野(V1)単純型細胞のそれぞれは、図1のように明暗の縞模様の小さな切れ端(wavelet)の様な形の成分に選択的に反応します。私たちが見る全ての画像や情景は、このような様々な角度(方位)と細かさを担当する、非常に数多くの細胞の活動を総合することで表現されています。しかし、個々の細胞の反応を見た時は、ある細胞は小さな wavelet に反応しているようにしか見えません。質感の情報もこれらの細胞の活動に隠されているのでしょうか？

また、V1 より高次の領野にある細胞が、光沢やテクスチャーの変化に対応して反応を変化させる可能性も小松らの研究により示唆されています。下側頭皮質などの高次領野においても、wavelet より複雑な形にも感受性を持つ細胞が存在します。

したがって、細胞レベルでの研究の最大の問題点は、質感の変化に感受性を持つ神経細胞は形状や照明の変化にも感受性を持つ可能性が高いことだと言えるでしょう。これらの細胞の反応には、物体形状に関する情報だけでなく、光沢感等の質感に関連する情報も埋め込まれていることになります。どのように質感情報が埋め込まれているかは、ほとんど分かっていません。

○この研究の目指すもの

上記のように、形の変化にも感受性を持つ細胞について、質感情報の埋め込まれ方のような細胞の「未知の特性」を実験的に推定することはできるでしょうか？ できればさらに、形状に関する情報も、質感に関する情報も一括して、短時間で計測することはできるでしょうか？ 私たちは、それが可能だと考えています。

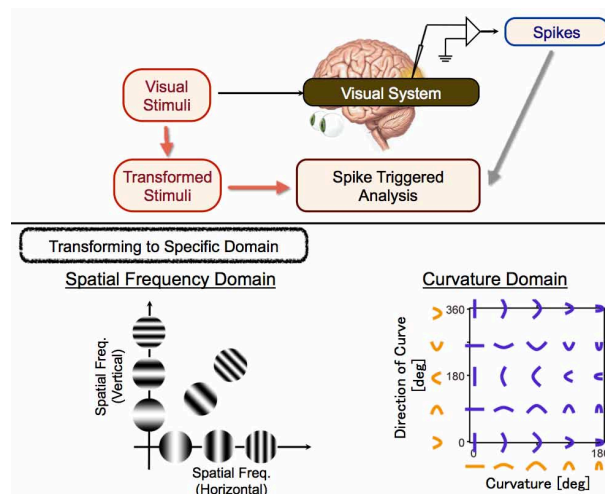


図2：変換領域逆相関法：神経細胞の持つ「未知の特性」を実験終了後に試行錯誤的に推定するための新手法

もちろん、様々な視覚刺激に対する反応を調べる事で、実験を行うわけですが、個々の細胞から記録できる時間は長くても数時間です。無数にある全ての視覚刺激を提示して、しらみつぶしに反応を調べる

ことはできません。また、通常の方法では例えば光沢を変化させて反応の変化を見た実験のデータから、全く異なる次元の特性、例えば形状やテクスチャーの変化に対する感受性を調べる事はできません。

神経細胞の持つ「未知の特性」の探索を効率的に実験で行うため、私たちは変換領域逆相関法 (transform-domain reverse correlation; TDRC) という新手法を開発しました。これは以前に開発し V1 以降の形状に関する感受性の研究で成果を上げた、局所周波数領域逆相関法 (local spectral reverse correlation; LSRC; Nishimoto et al. 2006) を周波数領域から任意の変換された空間に拡張したものです。図 2 に示すように、刺激が発生させるスパイクの時系列データと変換された空間における視覚刺激との相関を求める事で、ブラックボックスである神経細胞までの神経回路を同定しようとする手法です。この手法の意図は、未知の特性や選択性の候補メカニズムを具体的に変換として解析に組み込むことで、その変換領域で細胞が選択性を持つかどうかを検討することにあります。候補メカニズム、すなわち仮説モデルは無数に考えられますが、計算さえ高速にできれば、特定の実験データに関して、何度でも試行錯誤を繰り返す事ができます。これまでの研究では、仮説モデルを変更する毎に、新規に刺激を作り直して実験を繰り返す必要がありましたが、新手法では、既存のデータに対して、何度でも仮説モデルを差し替えて妥当性を検証する事ができます。

視覚刺激は、神経細胞を発火させる事ができる、統計的な性質が適切な刺激であれば、特に制限はありません。これまでは、ダイナミックランダムドット刺激、あるいはそれらをフィルタリングした刺激時系列を使ってきました。

○これまでに得られた成果

平成 22 年度には、主として上で述べた変換領域逆相関法を実証する研究をネコ初期視覚野およびサル V2 細胞について実施しました。サル V2 からの記録実験は生理学研究所の伊藤南准教授との共同研究として行っています。この研究で使用した変換領域は図 2 右下に示すような曲率空間です。

視覚刺激はダイナミックランダムドット刺激で、単に私たちが見る限り、曲率が陽に刺激画像中の特定の場所にあると認識できるわけではありませんが、ランダムドットには全ての空間周波数と方位の成分が統計的に含まれています。さらに、それらの成分の組み合わせを考慮すれば、全ての曲率が統計的に含まれている刺激であると考えられます。この変換空間において、ランダムドット刺激に対する反応データとの相関を求めることで、ネコ初期視覚野とサル V2 細胞の曲率選択性を求めることができました。この研究の成果は、手法的部分の一部は特許出願 1 として、また実験結果については、学会発表 1, 2, 5, 7, 9, 12 として国内および国際会議において発表し、

論文として投稿準備中です。

○今後の計画

平成 23 年度以降には、視覚刺激に使用するランダム刺激に光沢やテクスチャー成分を配合あるいは強調した刺激を使用して、実験に利用する計画です。さらに、比較のために、変換領域逆相関法によって推定された細胞の感受性にマッチした、陽に光沢やテクスチャーを含む刺激が実際に強く細胞を興奮させるかどうかを実験的に検討する計画です。

これらの実験と並行して、実験を効率的に行うため、32-64 チャンネルの多点電極を使用して実験を開始しています。多チャンネル化による、実験システムと解析ソフトウェアのアップデートも進めており、当研究室のシステムと同型のシステムを 1 式、可搬型として構築中です。上述のようなシステムを利用したいという要望があれば、お知らせ下さい。

このニューズレターで紹介した研究以外にも、現在「フェーディング錯視」と呼ばれる知覚現象の神経基盤に関する研究を、心理物理学および電気生理学的手法を用いて研究しています。

○研究成果一覧

論文発表

1. Sasaki KS, Tabuchi Y, Ohzawa I: Complex cells in the cat striate cortex have multiple disparity detectors in the three-dimensional binocular receptive fields. J Neurosci. 30:13826-37, 2010.

2. Inui-Yamamoto C, Yoshioka Y, Inui T, Sasaki KS, Ooi Y, Ueda K, Seiyama A, Ohzawa I: The brain mapping of the retrieval of conditioned taste aversion memory using manganese-enhanced magnetic resonance imaging in rats. Neurosci 167:199-204, 2010.

特許出願

1. 「画像特徴抽出装置、画像特徴抽出方法、画像認識装置、及び画像認識方法」、大澤五住、新井稔也、眞田尚久、出願人：大阪大学、出願日：2010 年 10 月 26 日、出願番号：PCT/JP2010/68983、出願国：PCT 出願

学会発表など

1. Ohzawa I: Recent advances in the functional analysis of high-order visual neurons, (Keynote Lecture), 6-th Asia Pacific Conference on Vision (APCV), Taipei, Taiwan, 7.23-26, 2010.

2. 新井稔也, 大澤五住: 位置不変性を持つ視覚野神経細胞モデルによる変換領域逆相関法の有用性の検討, 日本神経科学大会, 神戸, 2010.9.2-4

3. 佐々木耕太, 大澤五住: ネコ PMLS 野細胞の機能

的特性, 日本神経科学大会, 神戸, 2010.9.2-4

4. 田中宏喜, 朝田雄介, 溝口倫太郎, 大澤五住, 藤田一郎, 田村弘: 視覚野単一細胞からの入力は局所結合する細胞の発火タイミングに影響するが発火頻度や感覚チューニング曲線には影響しない, 日本神経科学大会, 神戸, 2010.9.2-4

5. 中園貴之, 伊藤南, 浅川晋宏, 大澤五住: A17,18, V2 野細胞の 2 つの空間周波数の組み合わせに対する応答特性, 日本神経科学大会, 神戸, 2010.9.2-4

6. K.S. Sasaki, M. Aoyama, S. Nishimoto, I. Ohzawa: Neurons in the early visual cortex show the peak response faster when two eyes are used than one, Society for Neuroscience, San Diego, USA, 2010.11.17

7. T. Arai, I. Ohzawa: Simulation analysis of transform domain reverse correlation in model neurons with position invariance in the visual cortex, Society for Neuroscience, San Diego, USA, 2010.11.17

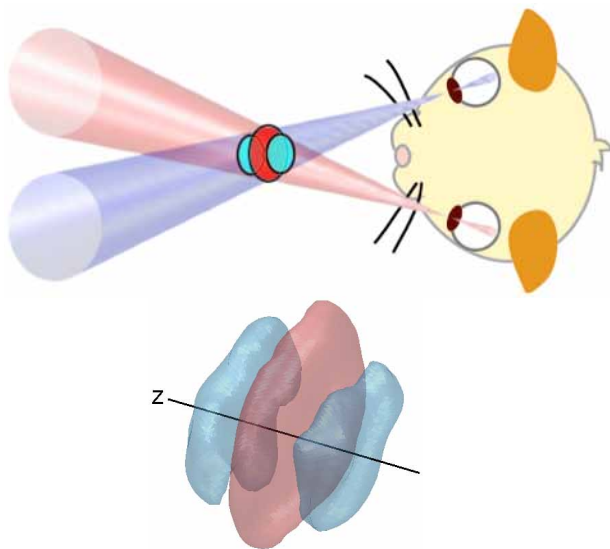
8. H.Tanaka, Y. Asasa, R. Mizoguchi, I. Ohzawa, I. Fujita, H. Tamura: Inputs from single neurons in the visual cortex affect spike-timing of locally connected neurons but do not modulate their firing rate and sensory tuning curves, Society for Neuroscience, San Diego, USA, 2010.11.13-17

9. B. Zhang, X. Tao, E. Smith, I. Ohzawa, S. Nishimoto, Y. Chino: Local sensitivity to stimulus orientation and spatial frequency within the receptive fields of neurons in visual area 2 of macaque monkeys, Society for Neuroscience, San Diego, USA, 2010.11.13-17

10. Y. Asada, S. Nishimoto, T.M. Sanada, I. Ohzawa: Does functional columnar organization extend across hemispheric boundaries?, Society for Neuroscience, San Diego, USA, 2010.11.15

11. M. Fukui, I. Ohzawa: Internal structure of receptive fields of nonlinear visual neurons revealed by Volterra analysis, Society for Neuroscience, San Diego, USA, 2010.11.13-17

12. T. Nakazono, M. Ito, K. Asakawa, I. Ohzawa: Response properties to combination of two spectral components in A17,18 and V2 neurons, Society for Neuroscience, San Diego, USA, 2010.11.15



上図 大脳視覚皮質神経細胞の3次元空間における受容野の模式図。下図 実際に計測した、ネコ初期視覚野細胞の3次元空間受容野の例。赤は興奮性領域、青は抑制性領域を表します。Z軸は動物の前方へ遠ざかる向きを示します。

○研究の背景

私たちは、両眼の網膜に映る2枚の平面的な2次元画像から、奥行き感のある立体的な3次元世界を知覚しています。こうした奥行き感、ものの素材を見極めたり、「つるつるしている」、あるいは「ざらざらしている」といった、ものの表面の状態を判断するようになるときに、有用な手がかりになると考えられます。そこで、脳のひとつひとつの神経細胞において奥行きの情報がどのように表現されているのか検討しました。

○この研究の目指すもの

私たちの豊かな質感認知の中でも、とりわけ視覚によって生じる知覚の、基本的な要素を明らかにすることをこの研究は目指します。そのため、脳における多段階の視覚情報処理のなかでも、特に初期の段階に焦点を当て、ひとつひとつの神経細胞が伝える情報を解明します。

○これまでに得られた成果

両眼にランダムノイズ刺激を呈示しながら、ネコ初期視覚野の単一神経細胞から活動電位を記録しました。神経細胞の応答と呈示したノイズ刺激との関係を調べると、記録を行った神経細胞は図に示すよ

うな、3次元的な応答領域（受容野と呼びます）を持っていることがわかりました。例に示している神経細胞では、赤い場所にもものがあるときには興奮性の応答を示し、それよりも遠方あるいは近くにもものがあるときには逆に抑制される、受容野を持っていました。

○今後の計画

この研究でわかった、初期視覚野神経細胞の3次元空間受容野は、私たちの奥行き知覚のもととなる最も基本的な要素だと考えられます。こうした要素をどのように組み合わせたら私たちの豊かな質感認知につながるのか、今後探っていこうと思います。

○研究成果一覧

論文発表

1. Sasaki KS, Tabuchi Y, Ohzawa I: Complex cells in the cat striate cortex have multiple disparity detectors in the three-dimensional binocular receptive fields. *J Neurosci* 30(41):13826-37, 2010.

2. Inui-Yamamoto C, Yoshioka Y, Inui T, Sasaki KS, Ooi Y, Ueda K, Seiyama A, Ohzawa I: The brain mapping of the retrieval of conditioned taste aversion memory using manganese-enhanced magnetic resonance imaging in rats. *Neurosci* 167:199-204, 2010.

学会発表など

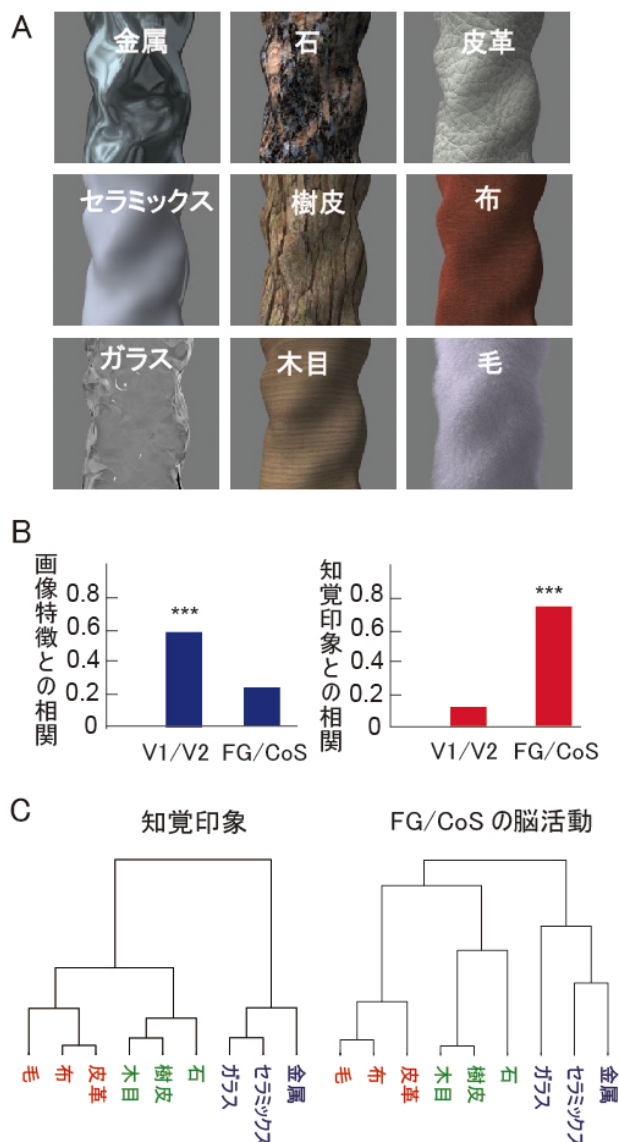
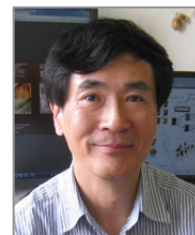
1. Sasaki KS, Aoyama M, Nishimoto S, Ohzawa I: Neurons in the early visual cortex show the peak response faster when two eyes are used than one, *Soc Neurosci Abstr*, San Diego, USA, 776.2, 2010.

2. Sasaki KS, Ohzawa I: Functional properties of neurons in the cat posterior, medial lateral-suprasylvian area, *Neurosci Res* 68 Suppl 1, Kobe, Japan, P3-h27, 2010.

3. Ohzawa I, Sasaki K, Nakazono T: Educational and research tools for vision science on Visiome Platform, *Neuroinformatics 2010*, *Frontiers in Neurosci*, Kobe, Japan, doi:10.3389/conf.fnins.2010.13.00120, 2010.

研究代表者 小松 英彦

(自然科学研究機構 生理学研究所・教授)



図の説明：さまざまな素材を識別している時のヒト脳活動を fMRI で調べた。Aは用いた9種類の素材カテゴリの画像例。Bは脳活動パターンと画像特徴、知覚印象との相関。初期視覚野 (V1, V2 野) の活動パターンは画像特徴と相関が高いが、腹側高次視覚野 (FG, CoS) の活動パターンは知覚的印象と相関が高かった。Cは素材カテゴリの知覚印象の階層的カテゴリ構造 (左) と腹側高次視覚野の活動から求めたカテゴリ構造 (右)。どちらも同じ三つのグループに分けられる。

○研究の背景

我々はある物体を見ただけで、その素材について、金属、プラスチック、ゴム、木、ガラス、布、あるいは皮でできている、といったことを瞬時に認知することができます。更にその物体の手触りや柔らかさ、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することが可能です。我々は事物が生み出すそれらさまざまな質感から、世界の豊かさを実感すると共に、食品の鮮度を判断したり嗜好に適う物を選び出したり身体運動を制御するなど、生存にとって不可欠な情報を得て環境に適応した行動に役立てています。

このような質感認知は、物体認識やその価値判断といった生体にとって重要な機能において大事な役割を果たしていると考えられますが、脳内のどのような部位が関わっているのか、あるいはどのような脳内情報処理によって実現されているのかについてはまだほとんど分かっていません。

視覚における質感認知は物体表面の光の反射や透過の仕方に大きく影響を受けることが知られています。物体表面の反射が関係する情報でこれまでよく研究されてきたテーマに色情報処理のメカニズムの研究があります。色の識別には大脳皮質の腹側視覚経路が関係しており、損傷実験からこの経路の最終段階にある下側頭皮質が重要な役割を果たしていることが知られています。我々のグループは下側頭皮質において色情報がどのように表現され、ニューロン活動が色知覚とどのように関係しているかをこれまで調べてきました。その研究のバックグラウンドを生かして発展させることにより、未解決の重要な問題である視覚における質感認知の仕組みにアプローチすることが可能であると考えました。

○この研究の目指すもの

質感認知の仕組みを脳科学的に研究する時に生じる困難の一つは、性質のよく分からない高次元空間をどのように扱うかということです。質感認知には恐らく非常に多くの刺激変数が関わっていると考えられ、情報を記述するためには高次元でかつ複雑な構造を持つ空間が必要になると考えられます。このような状況で我々が採っている戦略は、大きく二つの問題に研究対象を分けてアプローチするというものです。第一のアプローチでは、質感認知に関わる高次元空間の表現を探索的に明らかにしていくことを試みています。具体的な問題として、様々な素材は自然な質感のカテゴリを作っているの、素材

の種類の識別が脳内でどのように行われているかを調べることで、質感の脳内表現の全体像が見えてくると期待しています。第二のアプローチでは、性質が比較的良好に明らかにされている限られた質感の問題に局限し、定量的に特定の質感の表現を調べるというものです。この方向の研究としては、比較的良好に性質の調べられている光沢を取り上げて、その脳内表現を探る研究を進めています。

高次の視覚連合野では初期視覚野で処理された視覚特徴が統合されて、さまざまな質感が表現されていることが期待されます。またそこからの出力は情動や報酬の情報と統合されて感性的質感認知に用いられると考えられます。この研究では上で述べた二つの側面からのアプローチをうまく組み合わせて、高次視覚連合野における質感に関わる情報の表現を解明していくことを目指しています。

また分担者の一戸グループでは蛍光を発するトレーサーを使って脳の表面から線維連絡を可視化する独自の手法を開発しており、この手法を多点からのニューロン活動記録と組み合わせて、脳溝の少ないマーモセットの利点を生かして生体にとって意味のある質感情報の脳内表現の研究を進めています。

○これまでに得られた成果

素材の種類の視覚的な識別が脳内でどのように行われているかを調べる目的で、ヒトに9種類の素材のコンピュータグラフィックス(CG)画像を見せた時の視覚野の活動を機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を用いて解析しました。9種類の素材は金属、セラミックス、ガラス、石、樹皮、木目、皮革、布、毛で、それぞれの素材について8種類の異なるシリンダー形状にレンダリングした画像を用意しました。5人の被験者にはあらかじめ、画像を見て素材を高い正答率で識別できることは確認しました。また(柔らかい-硬い)などの対照的な12の形容詞対を用いて印象を点数で評価してもらい、それぞれの素材に対してどのような感性的な印象を持っているかも調べました。

fMRIで脳活動を調べると、一次視覚野(V1)からV2野、V4野などの視覚前野、その前方に広がる腹側の高次視覚野にわたって活動が認められました。またパターン識別手法のサポートベクターマシンを用いてこれらの活動が素材を識別できるかどうかを定量的に解析したところ、それぞれの領域で有意に識別していることが分かりました。つまり、物体認識に関係すると考えられている腹側視覚経路に含まれる初期視覚野から高次視覚野の広い範囲で、素材の識別に関わる情報が表現されているということです。

次に、そのような活動が素材識別に関わる画像の特徴と知覚的な印象のどちらにより深く関わっているかを調べました。そのために異なる素材カテゴリの間に各部位毎の脳活動パターンの違いを表す距

離と、画像特徴の距離と印象評価の距離を求め、脳活動における素材間の距離が、画像特徴の距離と知覚印象の距離のいずれと対応しているかを距離のパターンの相関係数を求めることで調べました。その結果、初期視覚野の活動パターンは画像特徴と相関が高いのに対して、腹側高次視覚野の活動パターンは知覚印象と相関が高いことが分かりました。知覚印象を調べる時に用いた形容詞には触覚に関係が深いものも含まれていますが、そのような形容詞についても腹側高次視覚野の活動パターンと知覚印象は相関が高く、腹側高次視覚野での素材の表現は視覚のみならず触覚的な印象も含んだ表現になっていると考えられることが分かりました。

さらにクラスター解析を行った結果、腹側高次視覚野が素材カテゴリを階層的に分類する仕方は、知覚印象における階層的な分類の仕方とよく対応していることも分かりました。これらの結果から脳内情報処理の過程で素材の識別に関係する情報表現が大きく変化し、腹側高次視覚野で心理的な印象に対応する素材のカテゴリ的表現が形成されることが示されました。

○今後の計画

これまでの研究で質感認知の重要な一つの側面である素材識別に関わる情報の変換が視覚野で行われることが明らかになりました。これは質感認知に関わる高次元空間の探索的アプローチによる成果です。もう一方の特定の質感について定量的に表現を調べる研究に関しては光沢の脳内表現の研究を継続して進めています。素材識別に関しては画像に含まれるどのような視覚特徴が異なる素材を識別するのに用いられているかは明らかになっていません。そこで今後の研究ではさまざまな質感の識別に関わる画像特徴を解明していく方向の研究を進めたいと考えています。また腹側高次視覚野では知覚的な印象と対応する表現が行われていると考えられますが、このような表現は非視覚的な情報とも関係が深く、例えば見ただけで触った感じが分かるといった質感認知の重要な性質を反映していると考えられます。そのような異種感覚を統合した知覚の形成に経験や学習がどのように関わっているのかといった問題も今後調べていく予定です。

○研究成果一覧

論文発表

1. Banno T, Ichinohe N, Rockland KS, Komatsu H: Reciprocal connectivity of identified color-processing modules in the monkey inferior temporal cortex. *Cerebral Cortex*, doi: 10.1093/cercor/bhq211, 2010.

2. Ogawa T, Komatsu H: Differential temporal storage capacity in the baseline activity of neurons in macaque frontal eye field and area V4.

J Neurophysiology 103: 2433-2445, 2010.

3. Yokoi I, Komatsu H: Putative pyramidal neurons and interneurons in the monkey parietal cortex make different contributions to the performance of a visual grouping task. J Neurophysiology, 104: 1603-1611, 2010.

4. 鯉田孝和, 小松英彦: サル下側頭皮質（TE野）の色選択性ニューロンの応答特性と認知コントロールによる影響, 日本神経回路学会誌 17(3): 93-100, 2010

学会発表など

1. Goda N, Hiramatsu C, Komatsu H: Representation of surface materials in human visual cortex, The 6th Asia-Pacific Conference on Vision(APCV2010), Taipei, Taiwan, 7.25, 2010

2. 郷田直一, 平松千尋, 小松英彦: 素材カテゴリ識別に関わるヒト視覚関連領野, 第14回視覚科学フォーラム, 筑波, 8.27, 2010

3. 平松千尋, 郷田直一, 小松英彦: ヒト視覚野腹側経路に沿った素材質感の物理的表現から知覚的表現への変化, 第33回日本神経科学大会 (Neuro2010), 神戸, 9.3, 2010

4. 西尾亜希子, 郷田直一, 小松英彦: サル下側頭葉皮質ニューロンの光沢刺激に対する選択性, 第33回日本神経科学大会 (Neuro2010), 神戸, 9.3, 2010

5. 坂野 拓, 一戸紀孝, Rockland KS, 小松英彦: サル下側頭皮質における色処理モジュール間の解剖学的結合, 第33回日本神経科学大会 (Neuro2010), 神戸, 9.3, 2010

6. 平松千尋, 郷田直一, 小松英彦: 素材質感の脳内表現, 日本基礎心理学会・第29回大会, 西宮, 11.27, 2010

7. Goda N, Hiramatsu C, Komatsu H: Transformation from image-based to perceptual category representation of surface materials in human visual cortex, Neuroscience 2010, sfn's 40th annual meeting, San Diego, USA, 11.16, 2010.

研究分担者 一戸 紀孝

(国立精神・神経医療研究センター・部長)



図1：刺激の画像

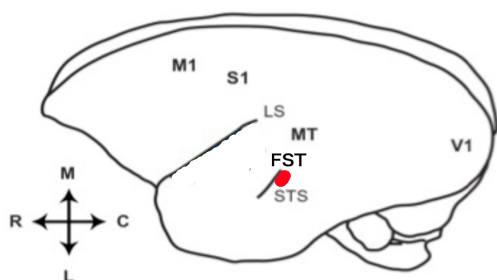


図2：毛の画像に反応したエリアの場所

○研究の背景

私たちは蛍光を発するトレーサーを使って脳の表面から生体で線維連絡を可視化する手法を霊長類で開発しました。この方法で見つけた結合のある多数の脳皮質上のスポットから、多点電極をつかって電気活動を記録することにより、特殊な脳内ネットワークの中での神経活動（情報を運ぶ）のやり取りを観察することが出来ます。この方法により、情報が組み合わされ新しい情報が形成されて行くメカニズムの解明の糸口を開くことが期待されます。この方法は、マカクザルのような溝の多い霊長類より溝のほとんどないマーモセットを用いると、見える脳の表面が大きいために、特殊な脳内ネットワークの脳皮質上のスポットを効率よく見いだすことが出来ます。我々は、この方法を用いて毛の質感認知の脳内メカニズムを解明しようと考えています。毛という素材は、ヒトにおいては暖かさ、やすらぎのイメージを与え、また、社会性の高いマーモセットにとって、毛皮の擦り合わせなどは、同胞との大事なコミュニケーションであり、マーモセットの脳内の広い領域での情報処理が行なわれていることが期待されるからです。

○この研究の目指すもの

この研究に関して、大きく二つのことを明らかにしようと考えています。(1) 動物行動学的研究により、マーモセットが毛という素材をどのように見ているのか明らかにすること、(2) 脳のネットワークの中で、どのようにして、毛の質感の認知が行なわれているのかを明らかにすること、の2つです。

○ これまでに得られた成果

(1) の動物行動学的研究に関しては、言葉を使うことの出来ないマーモセットでは、統制された行動から推論していくしかありません。私たちは、抽象的な3次元形態を3つ作り(図1)、それにレンダリングソフトを用いて、それぞれの形態を3色(青、赤、黄色)の毛、ガラス、メタル、石の素材で被ったイメージが回転する動画を作り、これらのうち2つを同時にマーモセットに提示して、どの素材で被われたイメージをより長く見るかについて観察しました。その結果、毛に被われたものを見る時間は、ガラス、メタル、石よりも、統計的に有意に高く2倍程度の違いがあることがみいだされ、マーモセットは毛の質感を認知しているものと考えられました。(2)の毛の質感認知の脳内ネットワークによるメカニズムの解明に関しては、本年度、上側頭溝を中心にしたいろいろな部位で、毛に反応する領域の探索をしました。その結果、上側頭溝腹側堤の尾側の端に(図2)、形や色を問わず毛に対して、他の素材を超えて有為に強く反応する細胞の存在する場所があることを見いだしました。この部位のより吻側は、最初に一過性に毛に対する強い反応をしますが、尾側の細胞は、回転している間に持続的に反応する傾向が見られました。

○ 今後の計画

動物行動学に関しては、さらに毛の質(密に生えている、つやつやである、湿気がある)などの特性に関して、マーモセットがどちらを長く見るか検討し、マーモセットの細やかな毛の質感能力を検討します。また、毛への愛着は子どもの方が、毛のある親に依存しているので、毛への選好性の生後発達も検討してみる予定です。

電気生理学的な毛に反応する領域のいろいろなマッピング方法(剣山型電極、光計測等)をテストしつつ、毛に反応する領域の確立をより強固にしていきます。その上で、生体内線維連絡を用いた毛の質感認知のネットワークレベルの情報処理の研究を強く押し進めて行きたいと考えています。

○研究成果一覧

論文発表

1. Banno T, Ichinohe N, Rockland KS, . Reciprocal connectivity of identified color-processing modules in the monkey inferior temporal cortex. *Cereb Cortex*. 2011. 20:2114-2121.

2. Ichinohe N, Matsushita A, Ohta K, Rockland KS. Pathway-specific utilization of synaptic zinc in the macaque ventral visual cortical areas. *Cereb Cortex*. 2010. 20:2818-2831.

3. Miyashita T, Wintzer M, Kurotani T, Konishi T, Ichinohe N, Rockland KS. Neurotrophin-3 is involved in the formation of apical dendritic bundles in cortical layer 2 of the rat. *Cereb Cortex*. 2010. 20:229-240.

4. Borra E, Ichinohe N, Sato T, Tanifuji M, Rockland KS. Cortical connections to area TE in monkey: hybrid modular and distributed organization. *Cereb Cortex*. 2010. 20:257-270.

学会発表など

1. Ichinohe N, Sato T, Tanifuji M. In vivo connection imaging and its application to monkey temporal face system. 2010 Neuroscience Meeting Planner. San Diego, CA: Society for Neuroscience, 2010.

2. Suzuki S, Harasawa N, Ueno K, Kaveriis, Gardner JL, Ichinohe N, Haruno M, Cheng K, Nakahara H. Emulation of other's reward prediction error in social value-based decision making. 2010 Neuroscience Meeting Planner. San Diego, CA: Society for Neuroscience, 2010.

3. 一戸紀孝「生体内線維連絡可視化法と線維連絡に基づいた脳機能解明への試み」第 59 回生命機能研究科研究交流会, 大阪, 5. 28, 2010.

4. 一戸紀孝「脳の複雑な回路からどうやって脳の機能が現れるのか？」第 4 回質感研究会, 軽井沢, 9. 12, 2010.

5. 一戸紀孝「Anatomy-based face processing system in monkey temporal cortex, examined by in vivo connection imaging」第 88 回日本生理学会大会／第 116 回日本解剖学会総会・学術集会合同大会, 横浜, 3. 29, 2011.

6. 一戸紀孝「Application of in vivo connection imaging to marmoset monkey」第 3 回最先端マーモセットセミナー, 和光, 2. 7, 2011.

7. 一戸 紀孝, 佐藤 多加之, ロックランド キャサ

リン, 谷藤 学. 「生体内線維連絡可視化法の顔認知サル下側頭葉システムへの適応」第 33 回日本神経科学大会／第 53 回日本神経化学学会大会／第 20 回日本神経回路学会大会合同大会, 神戸, 9. 2-4, 2010.

8. 坂野 拓, 一戸 紀孝, Kathleen S. Rockland, 小松 英彦「サル下側頭皮質における色処理モジュール間の解剖学的結合」第 33 回日本神経科学大会／第 53 回日本神経化学学会大会／第 20 回日本神経回路学会大会合同大会, 神戸, 9. 2-4, 2010.

研究代表者 本田 学

(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・部長)

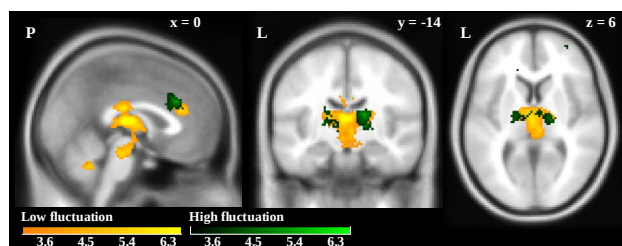


図 脳波とファンクショナル MRI との同時計測により明らかになった脳波アルファ波パワーの変動と相関する脳活動。オレンジは、周期 25 秒以上で緩やかに変動するアルファ波パワーと相関する脳の部位を示しており、視床内側核、中脳腹側部、前帯状回などの報酬系神経回路が含まれています。緑は、周期 25 秒以下の速い成分と相関する脳の部位で、同じ視床でも皮質と強い線維連絡をもつ外側部が含まれています。感性的質感認知の評価に、脳波アルファ波の緩やかな変動成分が利用できる可能性を示しました。

○研究の背景

脳に入力される感覚情報は、視覚・聴覚といった感覚モダリティごとに固有の分析が行われる一方で、全ての感覚モダリティの情報が感性・情動神経系で統合されて、快・不快や美醜などの価値判断が行われます。その中で質感認知の感性的な側面は極めて重要な働きをしています。質感認知と感性・情動反応との間には密接な関係が存在するにもかかわらず、現在急速に拓かれつつある質感認知研究の大部分は、それぞれの感覚モダリティに固有の情報処理を対象としていて、質感認知に対する感性・情動神経系からのアプローチは大きな空白地帯となっています。

ヒトの感性的質感認知の神経基盤に関する研究を進めるにあたっての大きな壁として、現在開発されている脳機能計測手法の限界が挙げられます。現在利用可能な大部分の脳機能計測手法が、病理所見の検出を主目的として開発されたものであるため、被験者を強く拘束する計測環境や計測手法そのものが大きなストレスとなって、微妙な感性反応がマスクされてしまう可能性があります。したがって、ヒトの感性的質感認知研究にあたっては、美しさや快さに伴う脳活動を計測する目的にあわせて、脳機能計測手法そのものを最適化する必要があります。

私たちの研究グループはこれまでに、人類の遺伝子が形成された有力な候補である熱帯雨林の自然環

境音や、さまざまな文化圏の楽器演奏音などが、人間の可聴域上限の 20 kHz をはるかにこえミリ秒単位で複雑に変化する超高周波成分を豊富に含むことを見出しました。加えて、こうした超高周波成分を含む音は、同じ音から超高周波成分を除外した音と比較して、音響情報の質感認知に伴う感性反応(感性的質感認知)を統計的に有意に向上させることを発見しました。また、被験者に与えるストレスをできるだけ低いレベルに抑えるよう可能な範囲で最適化した脳血流計測手法を用いて、音を聴取しているときの脳活動を評価してみると、超高周波成分を含む音を聴いている時には、同じ音から超高周波成分のみを除外した音を聴いている時に比較して、脳幹、視床、視床下部から前帯状回および前頭前野に伸びる神経ネットワークが活性化されることを見出し、報酬系神経ネットワークが関与する可能性を示唆しました。以上の現象をハイパーソニック・エフェクトと名付けました。同時に、視覚情報についても、視覚弁別能を超えた高精細映像は、それよりも精細度の低い映像と比較して、感性的質感認知を有意に向上させることを示しました。

○この研究の目指すもの

本研究では、ヒトの感性的質感認知に関わる神経基盤を明らかにするため、以下の研究を推進します。

①感性的質感認知研究に最適化した脳機能計測システムと手法の構築

超小型ポジトロン断層撮像装置 PET-Hat を用いて、人間にあわせて装置が動く低拘束型の脳機能計測手法を構築します。また、感性的な侵襲性の低い脳波をもちいて、報酬系神経系の活性を反映するパラメータについて検討します。

②感覚情報の信号構造のパラメータと感性的質感認知に関わる感性・情動神経系との関連

私たちが発見したハイパーソニック・エフェクトを対象として、音の感性的質感認知を向上させ、報酬系の神経活動を活性化するために必要な信号構造のパラメータを明らかにします。

③各感覚モダリティに固有の感覚野と報酬系神経系との間の双方向的関連

音の感性的質感認知は、たとえば視覚など他の感覚モダリティに関する質感認知に影響を及ぼすことが知られています。報酬系の活動が、個別の感覚モダリティの情報処理に及ぼす影響を脳機能イメージングであきらかにします。

○これまでに得られた成果

①感性的質感認知研究に最適化した脳機能計測システムと手法の構築

被験者を拘束することなく、低ストレス状態で計測することが可能な脳波は、感性的質感認知研究の強力なツールになり得ることが期待されます。一方、脳波の短所として、空間的解像力が弱いことがあげられます。そこで、自発脳波とファンクショナルMRIとの同時計測を行い、快適性の指標として用いられることの多い脳波アルファ波パワーの変動と相関する脳活動部位を明らかにしました。周期 25 秒以上の緩やかなアルファ波パワーの変動成分は、視床内側核、中脳腹側部、前帯状回などの報酬系神経回路の活動と相関するのに対して、周期 25 秒以下の速い変動成分は、同じ視床でも皮質と強い線維連絡をもつ外側部の活動と相関することを明らかにしました。感性的質感認知の評価に、脳波アルファ波の緩やかな変動成分が利用できる可能性を示すものです。

②感覚情報の信号構造のパラメータと感性的質感認知に関わる感性・情動神経系との関連

定常的で変化に乏しい超高周波成分をホワイトノイズから人工的に造成し、非定常的で複雑に変化する天然のガムラン音楽の超高周波成分と置きかえて、効果に違いが見られるどうか調べました。その結果、定常的な超高周波成分を含む音は報酬系神経ネットワークの活性化を十分に導くことができず、単に超高周波成分が存在すればよいというものではなく、非定常で複雑な構造変化が重要であることが明らかになりました。次に、音響情報の周波数構造の変化を可視化する手法として、<最大エントロピースペクトルアレイ法(MESAM)>、その変化を定量化する<最大エントロピースペクトル微分累積変化量(SDVM)>を開発しました。これらの指標を用いることにより、報酬系神経ネットワークの活性化を導く音は、そうでない音に比較して、周波数構造の変化がより大きく、複雑性が高いことを明らかにしました。しかし、これらの指標は相対的比較しかできないという限界があるため、信号構造の複雑性を絶対値で評価できる指標を検討し、周波数構造の複雑性を評価する<フラクタル次元局所指数>、ならびに時間構造の複雑性を評価する<情報エントロピー密度>とその変動指標 EV-index を開発しました。これらの指標を用いることにより、報酬系神経ネットワークの活性化を導く音は、フラクタル次元局所指数ならびに情報エントロピー密度とその変動指標が特定範囲の値をとることを見出しました。

○今後の計画

PET-Hat をもちいた計測システムを整備するとともに、今回見いだした報酬系神経ネットワークの活動を反映する脳波指標とをもちいて、周波数や複雑性といった信号構造のさまざまなパラメータと報酬系神経ネットワークとの関連を明らかにしていきます。

ます。

○研究成果一覧

論文発表

1. Yamamoto S, Honda M, Oohashi T, Shimizu K, Senda M: Development of a brain PET system, PET-Hat: A wearable PET system for brain research. IEEE Transactions on Nuclear Science 58(3):668-673, 2011.

著書

1. 本田 学: 脳と情報環境-脳科学から見た環境の安全・安心, NP0 法人脳の世紀推進会議編「脳の発達と育ち・環境」, pp. 9-45, クバプロ, 東京, 2010.

学会発表など

1. Kawai N, Morimoto M, Honda M, Onodera E, Nishina E, Oohashi T: Study on the Sound Structure of Georgian Traditional Polyphony (1): Analysis of the Temperament Structure, The 5th International Symposium of Traditional Polyphony, Tbilisi, Georgia, 10,6, 2010.
2. Morimoto M, Honda M, Nishina E, Kawai N, Oohashi T: Study on the Sound Structure of Georgian Traditional Polyphony (2): Quantitative Analysis of Fluctuation Structure, The 5th International Symposium of Traditional Polyphony, Tbilisi, Georgia, 10,6, 2010.
3. Omata K, Hanakawa T, Morimoto M, Honda M: Influence of cardiac and respiratory artifacts on the relationship between EEG and fMRI signals, The 29th International Congress of Clinical Neurophysiology ICCN2010, Kobe, Japan, 10.30, 2010.
4. Omata K, Morimoto M, Hanakawa T, Honda M: Brain activities related to vigilance judgment based on spontaneous EEG: A simultaneous EEG-fMRI study, The Society for Neuroscience 40th Annual Meeting. San Diego, USA, 11.13, 2010.

特許出願

1. 大橋 力, 河合徳枝, 仁科エミ, 本田 学, 前川督雄, 森本雅子, 八木玲子, 上野 修: 振動発生装置及び方法. 特願 2010-524295, 2010 年 11 月 24 日.

特許取得

1. 山本誠一, 大橋 力, 本田 学, 前川督雄: PET 支持装置. 特許第 4642143 号, 2010 年 12 月 10 日.