

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19700254

研究課題名(和文) 表面材質知覚の神経基盤

研究課題名(英文) Neural basis of surface material perception

研究代表者

郷田 直一 (GODA NAOKAZU)

生理学研究所・生体情報研究系・助教

研究者番号: 30373195

研究成果の概要：

物体表面の材質についての情報が脳においてどのように表現されているのかを明らかにするため、材質画像データベースの作成及び脳イメージング解析を行った。材質表現の基礎となる形状・テクスチャ・色情報の表現についてサルを用いた機能的磁気共鳴画像法により解析し、形状・テクスチャに関する情報と色彩に関する情報がサル下側頭皮質内で非均一的に分布していること、また下側頭皮質の一部は形状・テクスチャ・色彩の組み合わせに依存した反応を示すことを明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2007年度 | 1,800,000 | 0 | 1,800,000 |
| 2008年度 | 1,400,000 | 420,000 | 1,820,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,200,000 | 420,000 | 3,620,000 |

研究分野：認知神経科学

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：視覚 形 色 テクスチャ fMRI 下側頭皮質

1. 研究開始当初の背景

我々は、日常的に、複雑な視覚入力から物体やシーンの情報を瞬時に抽出し理解している。このとき、多くの場合、物体の色や形状だけでなく、金属、プラスチック、木など、その物体の材質についても瞬時に認識することができる。我々の多様な材質感、どのような刺激特徴をもとにどのような過程で生み出されているのであろうか？材質は、物体表面での光の反射特性や3次元の微細構造(テクスチャ)において違っており、画像的には、複雑な輝度、色彩、局所方位・空間

周波数などの特徴(要素特徴)の統計的分布・構成で特徴付けられる。画像工学の分野では、これらの手がかりを利用して様々な材質を判別する技術も開発されている。同様に、生体においても、これらの統計的手がかりを利用して物体の材質についての情報を瞬時に抽出し、物体の認識に用いている可能性が考えられる。しかしながら、このような材質の知覚・判別において、どのような視覚特徴が重要なのか、また、脳におけるさまざまな視覚領野・領域がどのように関わっているかは明らかにされていない。

2. 研究の目的

ヒト・サルの様々な視覚領野・領域が、材質知覚にどのように関わっているのかを機能的磁気共鳴画像法による脳イメージング実験を用いて明らかにする。第一に、材質知覚の基礎となるテクスチャや輝度・色彩の情報が脳においてどのように表現されているかについて明らかにする。第二に、金属・木・プラスチックなどの自然な材質の情報が脳においてどのように表現されているかを明らかにする。このため、画像工学的技術を利用して、自然画像を基に種々の画像特徴・画像統計量を統制・操作してさまざまな材質刺激を合成する。合成された材質刺激を用いて、画像特徴・画像統計量と材質知覚との関係を心理実験によって定量化し、材質知覚における重要な視覚特徴（材質特徴）を明らかにする。さらに、材質画像刺激に対するヒト・サルの様々な皮質領域の活動を計測し、材質特徴との関係を解析することにより、材質知覚に関わる皮質領域の同定、ならびにそれら各領域の役割の違いを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 材質情報の表現に関わる脳領域は、色・形状・テクスチャのいずれか、またはそれらの組み合わせに対する選択性を備えていると考えられる。そこで、これら選択性がサルの視覚皮質においてどのように分布しており、それらがどう相互に関係するのかを明らかにするため、サルを用いて以下の fMRI 実験を行った。

① 視覚皮質における形状・テクスチャ選択性の分布の計測：形状・テクスチャ選択性は様々な形状・テクスチャを有する物体自然画像とそれらの空間位相スクランブル画像（空間周波数成分は同一だが自然な形状・テクスチャを持たない画像）を呈示し、それらに対する反応を比較することで求めた。

② 視覚皮質における色選択性の計測：色選択性は有彩色刺激と無彩色刺激に対する反応とを比較することにより求めた。また、色選択性が形状情報等にどのように依存するのかを検討するため、色選択性の計測はモザイク状のパターン、特定の時空間周波数を有する正弦波パターン（グレーティング）、色が一樣な単純パターン、様々な自然テクスチャを有する自然画像の4種類のパターンを用いて行った。

(2) さまざまな材質の画像刺激（材質画像データベース）を三次元コンピュータグラフィックス技術・画像工学的技術を利用して作成した。金属・プラスチック・ガラス・セラミックの画像は、表面反射特性や照明環境を適切に設定することにより任意の形状のもの

を作成した。他の材質画像（石・木・樹皮・毛・皮・肌・布）は、種々の材質の表面サンプルを収集し、それらをテクスチャマッピング技術を用いて合成することで、照明環境や形状が同一で表面材質のみが異なるものを作成した。このような手法を用いれば、自然画像を基に、刺激の要素特徴を定量的に制御することも可能である。

4. 研究成果

(1) 材質情報表現の基礎となる形状・テクスチャ・色情報の脳における表現について以下のことが明らかになった。

① 形状・テクスチャ選択的な反応は、V2-V4野や下側頭皮質(IT)外側面を中心に広い領域に観察され、一方、強い色選択的反応は、V1-V4野、及びIT外側面前部及び後部の非常に限局した小領域において観察された（図1）。

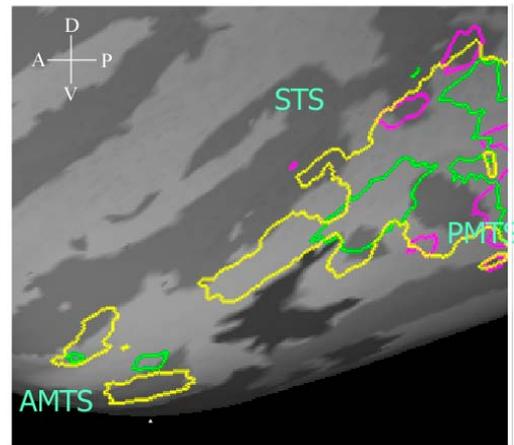
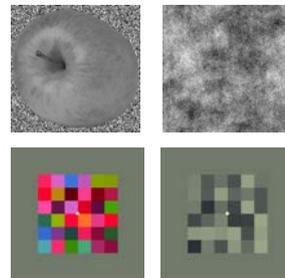


図1（上段）形状・テクスチャ選択性（上）及び色選択性（下）の計測に用いた視覚刺激。（下段）脳活動の計測結果（左半球）。脳溝（暗灰色部）を広げて表示している。黄：自然物体の形状・テクスチャに強い反応を示す脳領域。緑：有彩色のモザイク状パターンに強い反応を示す領域。赤：有彩色のグレーティングパターンに強い反応を示す領域。

IT 野における色選択的な領域は、テクスチャ選択的な反応を示す領域とは後部外側面の一部を除き大きな重なりは見られなかった。形状情報と色彩情報は IT 野内で非均一的に分布しており、特に色彩情報は比較的限局した領域に集中していることが示唆される。

② 形状などが異なるパターンの刺激を用いると、IT 野における色選択的な活動の分布が変化することも明らかになった。すなわち、色選択的小領域は複数あり、それらは形状等に対する選択性において異なっている可能性がある。

③ IT 外側面の一部には形状・テクスチャ選択的な反応を示し、かつ自然画像刺激を用いた場合に特に強い色選択的反応を示す領域が見出された(図2)。すなわち、この領域は、自然な形状・テクスチャ・色彩分布をもつ画像に対して強い反応を示す。以上の実験の結果はサル IT 野が形状・テクスチャ・色彩に関する選択性の異なる複数の小領域で構成されているということを示唆している。サル IT 野の広範囲に渡って形状・テクスチャ・色彩選択性の分布を示した研究は国内外において始めてである。

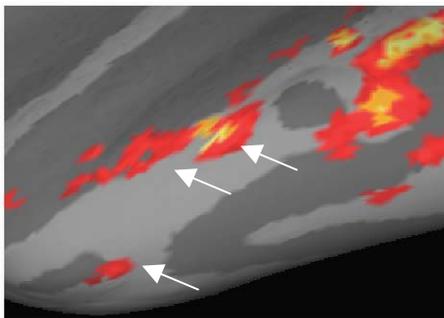
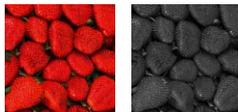


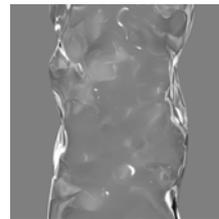
図2 有彩色の自然画像に強い活動を示す脳領域(左半球)。IT 外側面の一部及び上側頭溝の一部に強い活動が見られる(矢印)。またこの領域は形状・テクスチャ選択性が見られた領域と重なる。上段は刺激例。

(2) 作成した材質画像データベースの一部を図3に示す。現在11種類の材質カテゴリ(金属・プラスチック・皮・肌・毛・ガラス・石・木・樹皮・布・セラミック)を含んでおり、また、各カテゴリは16以上の異なる画

像で構成されている。さらに、紙、土など他の材質カテゴリの画像の作成も進めている。このように多くの種類の材質で構成され、照明環境や3次元形状などの特徴が制御可能な視覚実験用の画像データベースは国内外においてこれまでに例がなく、心理物理学的・生理学的研究において非常に有用であると考えられる。今後、これら各材質カテゴリ画像間の心理的類似度及び画像特徴の類似度を求め、それらの関係、さらにそれらとヒト・サルのさまざまな脳領域の活動との関係を解析することにより、材質知覚の神経的基盤の解明を進めていくことができると考えられる。



左上：石
右上：樹皮
左下：毛



左上：金属
右上：布
左下：ガラス

図3 材質画像例。上段：凹凸のある平面的形状の材質画像。下段：凹凸のある円筒状形状の材質画像。

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 1 件）

① Shibata K, Yamagishi N, Goda N, Yoshioka T, Yamashita O, Sato M & Kawato M, The effects of feature attention on prestimulus cortical activity in the human visual system Cerebral Cortex, 18, 2008, 1664-1675 査読有

〔学会発表〕（計 3 件）

① Goda N, Harada T, Ogawa T, Ito M, Toyoda H, Sadato N, Komatsu H, Influence of visual saliency on cortical activities: a functional MRI study in awake monkeys, The Society for Neuroscience annual meeting, 2007年11月6日, San Diego, U.S.A.

② Harada T, Goda N, Ogawa T, Ito M, Toyoda H, Sadato N, Komatsu H, Color-related subregions in the monkey inferior temporal cortex revealed by functional MRI, The Society for Neuroscience annual meeting, 2007年11月4日 San Diego, U.S.A.

③ 郷田直一、原田卓弥、小川正、伊藤南、豊田浩士、定藤規弘、小松英彦、ポップアウト刺激によるサル視覚皮質活動：fMRI 研究, Neuro2007, 2007年9月10日, 横浜

〔図書〕（計 2 件）

① Goda N, Koiwa K & Komatsu H, Springer-Verlag, CCIW2009 (Tremeau A et al., eds) Lecture Notes in Computer Science 5646, 2009, 23-30

② Ejima Y, Takahashi S, Yamamoto H, Goda N Springer-Verlag, Representation and Brain (Funahashi S, ed), 2007, 3-20

6. 研究組織

(1) 研究代表者

郷田 直一 (GODA NAOKAZU)

生理学研究所・生体情報研究系・助教

研究者番号：30373195

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者