

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 21 日現在

機関番号：63905

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500248

研究課題名（和文）ヒト・サル視覚系における表面材質情報の表現と変換過程

 研究課題名（英文）Representation and transformation of surface material information  
in the human and monkey visual systems

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（和文）：我々の優れた視覚的な材質認識の能力が脳のどのようなネットワークによって実現されているのかを明らかにするため、ヒト及びサルを対象として核磁気共鳴画像（fMRI）による脳活動計測を行った。その結果、金属や布などの様々な材質を観察している時、ヒト及びサルの腹側高次視覚野において生じる活動は、それら材質が与える知覚的な印象（硬さ、滑らかさなど）を反映していることが明らかになった。本結果は、ヒト・サルの腹側高次視覚野が材質知覚において重要な働きをしていることを示す新しい知見である。

研究成果の概要（英文）：We can easily recognize materials of which an object is made (wood, metal, fabric etc.) at a glance. We investigated what neural mechanisms in human and monkey brains underlie the material perception by using functional magnetic resonance imaging. Our results provided the first evidences that the ventral higher order visual areas in humans and monkeys represent visuotactile material properties such as hardness and roughness. We suggest that these areas play important roles on material perception.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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の情報を瞬時に抽出し理解している。このとき、物体の色や形状だけでなく、金属、プラスチック、木など、その多様な材質についても瞬時に認識することができる。更にその物体の手触りや冷たさや柔らかさ、また材質だけではなく新鮮さなどといった物体の状

態や、濡れていて滑りやすいといった複雑な事物の状態もその物体を見ただけで瞬時に認識できる。

このような我々の多様な材質の視覚認識は脳においてどのような過程で生み出されているのであろうか？様々な材質は、物体表面での光の吸収・反射特性、表面の3次元の微細構造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・空間周波数などの画像特徴の構成、統計量において異なっている。画像工学の分野では、実際にこれらの手がかりを利用して様々な材質の画像を人工的に合成したり、自動的に材質を判別したりする技術も開発されている。生体においても、これら画像特徴の統計的手がかりを利用して物体の材質についての視覚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であろう。しかしながら、材質知覚の基礎となるこれら画像特徴量が脳の視覚情報処理経路においてどのように抽出され、表現されているのか、また、それら画像特徴量としての情報から、“硬い”“柔らかい”といった材質の物理的性状を反映した知覚的な表現への変換に脳のどのようなネットワークが関わっているかについてはいまだ明らかでない。

## 2. 研究の目的

本研究では、ヒトとサルのような様々な脳領域が、画像特徴についての情報表現から、“硬い”“柔らかい”といった材質の物理的性状を反映した知覚的な表現への変換にどのように関わっているのかという問題を機能的核磁気共鳴画像 (fMRI) を用いた脳活動計測実験と心理実験によって明らかにする。これにより、これまでほとんど検討されて来なかった材質の知覚・認識の神経基盤についての知見を得るとともに、ヒト・サル間での類似性と差異を明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) 3次元CGを用いて作成した材質画像データベース(図1)を用い、ヒト・サルの脳において、多様なカテゴリの材質(布、木、金属など)の知覚・認識に関わっているネットワークをfMRIを用いて明らかにする。もし、ある領域の脳活動が材質カテゴリ毎に異なった特徴的な空間的パターンを示していれば、それら脳活動のパターンから材質カテゴリを判別することが可能であろう。そこで、画像工学等の分野で用いられてきた機械学習の手法をfMRIデータ解析に適用し、様々な材質画像を観察しているときの各脳領域の活動から材質カテゴリを判別することができるかを調べ、材質に関する情報を保持していると考えられる脳のネットワークを明らかにする。

(2) ヒト・サルの各脳領域における材質情報の表現がどのような特徴を持っているかを明らかにする。このため、各脳領域における材質情報間の類似性の解析を行う。知覚における材質カテゴリは階層的・多次元的な構造を構成していると考えられる。たとえば、各カテゴリは高い空間周波数成分を多く含む“細かい”カテゴリ群と低い空間周波数成分



図1 材質画像例。

を含む“粗い”カテゴリ群などというように主として画像特徴のレベルの違いでグループに分けられるかもしれない。一方、各カテゴリは“硬い”材質のカテゴリ群と“柔らかい”材質のカテゴリ群などというように、それら材質カテゴリの物理的性状を反映したグループに大きく分けられる可能性も考えられるであろう。このような材質カテゴリ間の関係をみることにより、各脳領域における材質情報の表現様式を明らかにする。

(3) 材質知覚において重要と考えられる特定の知覚手がかりを取り上げ、ヒト・サルの各脳領域の活動と材質の知覚・認識過程との関わりをより詳細に調べる。視覚刺激には、自然なCG画像を元に、特定の画像操作を加えたものを用いる。この画像操作は画像特徴量を変化させる一方、材質感には影響を与えない。このような場合の脳活動を測定することで、各脳領域の活動が画像特徴量を反映しているか、画像特徴量操作が生み出す材質の知覚の変化を反映しているかを区別することができると思われる。

## 4. 研究成果

(1) CGを用いて作成した材質画像データベース(図1)を用い、ヒトが様々な材質画像を観察しているときの各脳領域の活動をfMRIにより計測し、以下のことを明らかにした〔雑誌論文⑤〕。

① 多様なカテゴリの材質(布、木、金属な

ど)の知覚に関わる脳内ネットワークを明らかにした。機械学習の手法を適用して、各脳領域の活動の空間的パターンから材質カテゴリを判別することが可能であることを調べたところ(研究の方法(1))、低次・高次視覚野のさまざまな脳領域の活動パターンを用いて材質判別が可能であることが明らかになった。この結果は、素材を区別しうる情報は低次・高次視覚野に広く存在することを示唆する。

② 様々な脳領域の活動について、各材質カテゴリ間の関係(類似度)を調べたところ(研究の方法(2))、低次視覚野の活動は材質カテゴリ間の画像特徴の類似度を反映しており、腹側高次視覚野の活動が材質カテゴリ間の知覚的・心理的な類似度を反映していることが明らかになった(図2)。これらの結果から、低次視覚野から腹側高次視覚野へ至る経路において、物体表面の多様な材質についての情報が抽出・変換されていることが示唆される。

本成果(①②)はヒトの脳(視覚野)において材質の情報がどのように表現されているのかを世界で始めて明らかにしたものであり、複数の新聞等のメディアにより報道された(2011/5/26 毎日・読売・中日新聞、2011/6/10 科学新聞、2011/6/12 朝日新聞)。

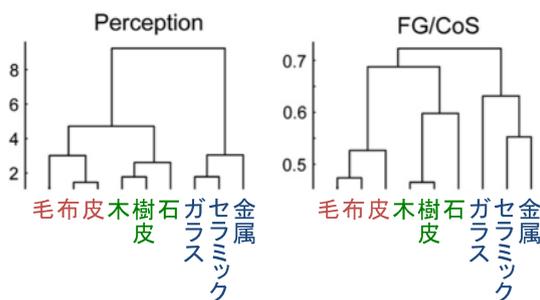


図2 (左) 知覚的な類似度から求めたカテゴリ構造。(右) ヒト脳活動(FG/CoS: 腹側高次視覚野)の活動から求めたカテゴリ構造。両者が類似している。

(2) ヒトと同様のfMRI実験を2頭のサルについて行い、以下について明らかにした[学会発表①]。

① 脳活動から材質カテゴリの判別が可能であるか調べたところ、(研究の方法(1))、ヒトの場合と同様に、低次・高次視覚野のさまざまな脳領域の活動パターンを用いて材質判別が可能であることが明らかになった。

② 材質カテゴリ間の類似度を調べたところ(研究の方法(2))、サルV4野及び後部下側頭皮質(PIT)領域の活動における下側頭皮質(PIT)領域の活動における材質カテゴリ

間の関係が、材質カテゴリ間の知覚的な関係と対応していることを見出した(図3)。これら領域が材質の情報処理において重要な働きをしていることを示す新しい知見である。

③ サル視覚野の活動とヒト視覚野の活動を比較したところ、サルPITの活動はヒト腹側高次視覚野とも類似していることが確認された(図3)。一方、いくつかの素材の知覚的性質に関しては、ヒトとサルの間で異なっていることを示唆する結果も得られた。本成果は、材質情報処理という問題のみならず、ヒト・サル脳活動計測データを繋いで脳の情報処理を統合的に理解するための、重要な知見ともなるであろう。

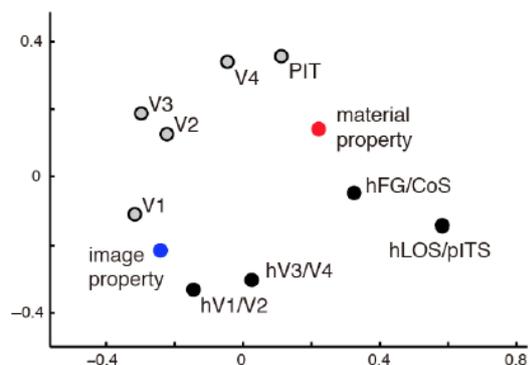


図3 ヒト・サル視覚野における材質表現の関係(黒丸:ヒト、灰色:サル)。図で近接している視覚野は材質情報の表現様式が類似していることを示す。サルV4野とPIT(後部下側頭皮質)、及びヒトFG/CoS(腹側高次視覚野)は知覚的な材質表現(赤丸)と近い表現を有する。

(3) 材質知覚の重要な手がかりの一つである表面光沢の知覚について明らかにすることを目的とし、2頭のサルを用いてfMRI実験を行った(研究の方法(3))。実験の結果、光沢刺激に対する強い活動はサルの低次視覚野から高次視覚野にかけて広くみられること、特に高次視覚野の中ではPITの比較的限局した位置に強い活動がみられることが明らかになった(図4)。これらの脳領域を含むネットワークにおいて光沢に関する視覚情報が処理されると考えられる。光沢に関する情報が脳のどのようなネットワークにおいて処理されるかは国内外においてこれまで報告されておらず、本成果は世界で初めての知見である[雑誌論文②]。

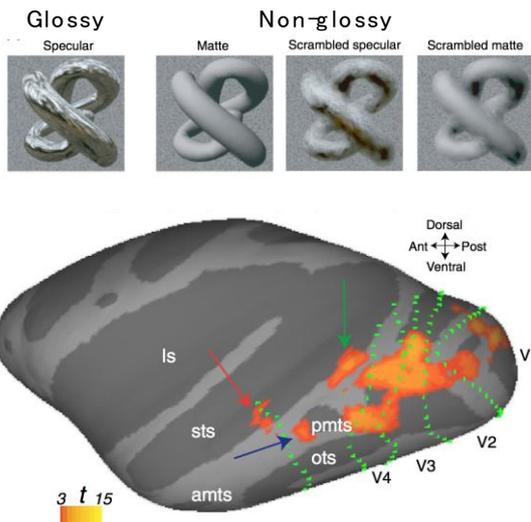


図4 光沢刺激により強く活動するサル脳領域 (左半球の例)。

## 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6件)

① 郷田直一,

光沢を伝える脳内機構. 脳 21, 15, 137-140, 2012. 査読無

<http://www.kinpodo-pub.co.jp/shosai/o0159-vol15-4.html>

② Okazawa G, Goda N, Komatsu H.

Selective responses to specular surfaces in the macaque visual cortex revealed by fMRI. NeuroImage, 63, 1321-1333, 2012. 査読有

DOI:10.1016/j.neuroimage.2012.07.052

③ Nishio A, Goda N, Komatsu H.

Neural selectivity and representation of gloss in the monkey inferior temporal cortex. The Journal of Neuroscience, 32, 10780-10793, 2012. 査読有

DOI:10.1523/JNEUROSCI.1095-12.2012

④ Hiramatsu C, Goda N, Komatsu H.

Representation of materials in the human visual cortex. The Japanese Journal of Psychonomic Science, 30, 135-136, 2011. 査読無

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110008790340>

⑤ 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

DOI:10.1016/j.neuroimage.2011.04.056

⑥ Ito M, Goda N.

Mechanisms underlying the representation of angles embedded within contour stimuli in area V2 of macaque monkeys. European Journal of Neuroscience, 33, 130-142, 2011. 査読有

DOI:10.1111/j.1460-9568.2010.07489.x

[学会発表] (計21件)

① 郷田直一 橘篤導 岡澤剛起 小松英彦.

サル視覚野における素材情報処理過程: fMRI 研究. 第36回日本神経科学大会, 2013年6月20日 京都

② Komatsu H, Nishio A, Okazawa G, Goda N. 'Yellow' or 'Gold'? : Neural processing of gloss information. The 4th Computational Color Imaging Workshop, 2013年3月4日 千葉

③ Goda N, Komatsu H.

Relationship between visuotactile and affective/aesthetic qualities of natural materials. The 35th European Conference on Visual Perception, 2012年9月3日 Alghero (Italy)

④ Okazawa G, Goda N, Komatsu H.

Localizing regions activated by surface gloss in macaque visual cortex by fMRI. The 8th Asia-Pacific Conference on Vision, 2012年7月13日 Incheon (Korea)

⑤ Okazawa G, Goda N, Komatsu H.

Cortical regions activated by surface gloss in the macaque visual cortex localized using fMRI. Society for Neuroscience 41th Annual Meeting, 2011年11月14日 Washington, DC (USA)

⑥ 岡澤剛起 郷田直一 小松英彦.

サル視覚野における物体表面光沢への選択的活動: fMRI 研究. 第34回日本神経科学大会 2011年9月17日 横浜

⑦ Hiramatsu C, Goda N, Komatsu H.

Image-based and perceptual representation of materials. The 15th Annual Meeting of the ASSC, 2011年6月11日 京都

⑧ Goda N, Hiramatsu C, Komatsu H.

Neural representation of material categories in human visual cortex. 2nd Perception of Material Properties Workshop, 2011年6月2日 Ebsdorfergrund (Germany)

⑨ 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, 2010年11月27日 西宮

⑩ Goda N, Hiramatsu C, Komatsu H.

Transformation from image-based to perceptual category representation of surface materials in human visual cortex. Society for Neuroscience 40th Annual

Meeting, 2010年11月16日 San Diego (USA)

⑪ 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, 2010年9月3日 神戸

⑫ 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領野. 第14回視覚科学フォーラム, 2010年8月27日 筑波

⑬ Goda N, Hiramatsu C, Komatsu H.  
Representation of surface materials in human visual cortex. The 6th Asia-Pacific Conference on Vision, 2010年7月25日台北 (台湾)

[図書] (計4件)

① Komatsu H, Nishio A, Okazawa G, Goda N.  
‘Yellow’ or ‘Gold’?: Neural processing of gloss information. Lecture Notes in Computer Science 7786: Computational Color Imaging (Tominaga S et al., eds) 1-12, 2013. Berlin: Springer Berlin Heidelberg.

## 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