



## 質感認知についてのいくつかの素朴な疑問

- 何故物の質感が生まれるのだろうか？

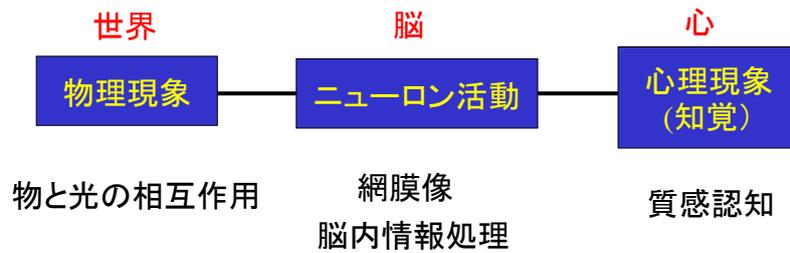
物質  
光  
観察者

が必要



## 質感認知についてのいくつかの素朴な疑問

●何故物の質感が生まれるのだろうか？



## 質感認知についてのいくつかの素朴な疑問

more specific question

●質感の違う物が存在する  
それらの間では何が違うのだろうか？



by Nishida and Motoyoshi

## 質感認知についてのいくつかの素朴な疑問

more specific question

### ● 質感の違う物が存在する それらの間では何が違うのだろうか？

1. 物理的な特性が違うために、光と物の相互作用の仕方が違う
2. その結果、相互作用して生じる光線のパターンが違う
3. その結果、生じる網膜画像が違う
4. その結果、生じる脳内の神経の活動が違う

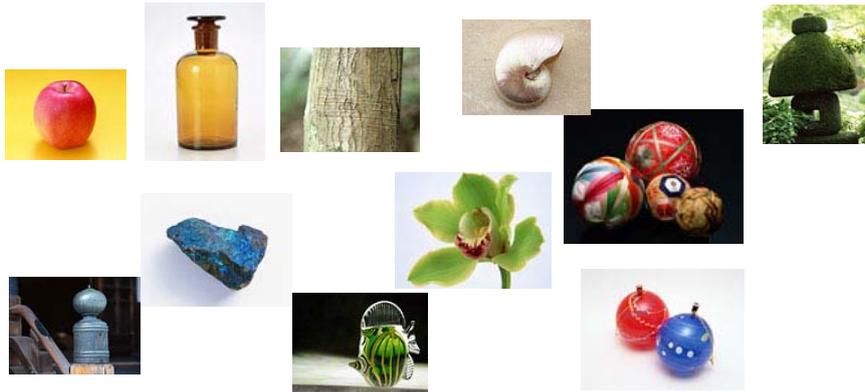
では、それぞれはどのように違うのだろうか？

## 質感認知に関係するさまざまな疑問

- 我々は質感をどの程度区別できるのだろうか？
- 質感にはどれくらいの次元があるのだろうか？
- 網膜画像に含まれるどのような情報が  
質感の違いを感じる上で有効なのだろうか？
- 何故見ただけで触った感じや温度が分かるのだろうか？
- 何故ある質感には心惹かれ、別の質感には  
嫌悪を感じるのだろうか？
- 質感の識別は生得的な能力だろうか？

## 質感認知を研究することの重要性

●多様な質感が現実世界の豊かさを生み出す



## すぐれた質感の追求は常に人類の強い欲求だった



古代中国の玉 5500年前

Science 325:935 (2009)



青いターバンの少女

ヨハネス・フェルメール 1665年頃

## 質感認知を研究することの重要性

- 多様な質感が現実世界の豊かさを生み出す
- 質感は事物の**素材**や**状態**など重要な情報を与える
- 質感認知は感覚種を超えて**クロスモーダル**におこる

素材

手触り

固さ

粘性

摩擦

温度



容易に瞬時に  
判断可能

Flickr Material Database <http://people.csail.mit.edu/celiu/CVPR2010/FMD/>

## 質感認知を研究することの重要性

- 多様な質感が現実世界の豊かさを生み出す
- 質感は事物の**素材**や**状態**など重要な情報を与える
- 質感認知は感覚種を超えて**クロスモーダル**におこる
- 質感認知は**価値判断**と直結:**ものづくり**に極めて重要



材質

肌触り

鮮度

高級感

## 質感認知を研究することの重要性

- 多様な質感が現実世界の豊かさを生み出す
- 質感は事物の素材や状態など重要な情報を与える
- 質感認知は感覚種を超えてクロスモーダルにおこる
- 質感認知は価値判断と直結:ものづくりに極めて重要

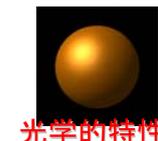
しかし何故質感認知が可能なのかは謎である



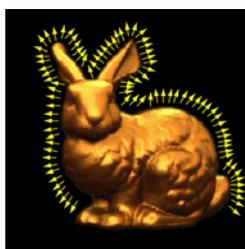
## 視覚質感認知研究の課題

外界の物理的な要因

網膜画像の生成過程



光線パターン



質感  
つるつる  
きらきら

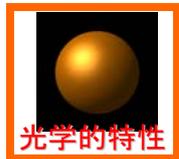
網膜画像

- ・外界の形、照明、光学的特性が相互作用して光線パターンが決まる
- ・光線パターンから網膜画像が作られる

## 視覚質感認知研究の課題

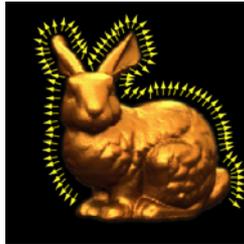
さまざまな光学的特性

- ・反射
- ・吸収
- ・透過
- ・屈折
- ・干渉
- ・散乱 など
- ・それらの波長依存性

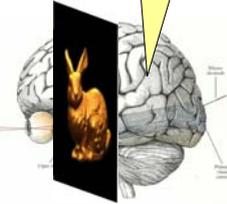


網膜画像の生成過程

光線パターン



質感  
つるつる  
きらきら



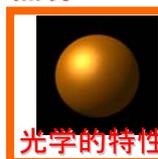
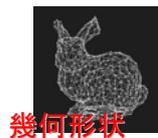
網膜画像

- ・光学的特性が質感に重要
- ・多様で複雑な質感には物体固有のさまざまな光学的特性が関係

## 視覚質感認知研究の課題

外界の物理的な要因

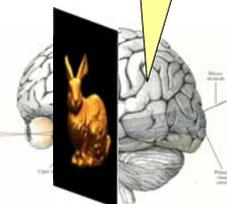
インバースレンダリング



光線パターン



質感  
つるつる  
きらきら



網膜画像

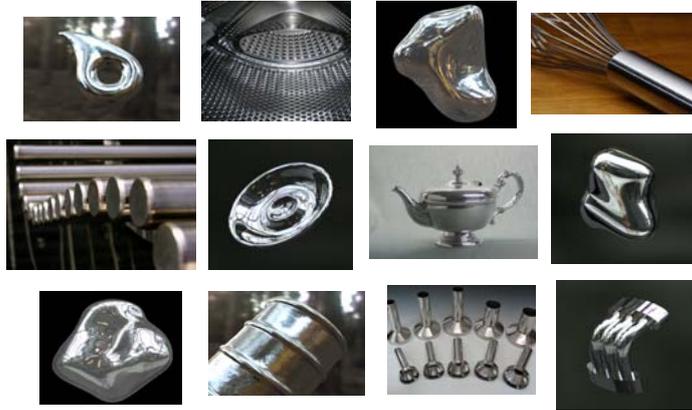
視覚質感認知

- ・網膜画像から光学的特性の情報を取り出す問題
- ・形や照明の事前知識がなければ解けないはず

そのような知識がなくても人間は質感認知が可能

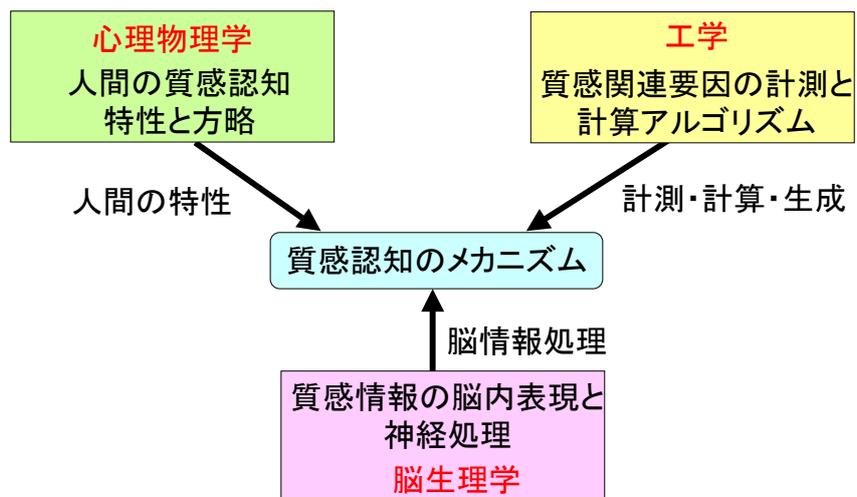
## 視覚質感認知研究の課題

物体の形や照明環境が変わっても同じ質感



コンピュータは同じと判断できない

## 異分野連携による質感研究



## 文部科学省科研費新学術領域研究

### 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

「質感脳情報学」として発足

H22年度～26年度

領域ウェブサイト <http://shitsukan.jp>  
<http://質感.jp>

### 新学術領域「質感脳情報学」総括班の構成

小松 英彦 (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
中内 茂樹 (事務局)	豊橋技術科学大学 大学院工学研究科 情報・知能工学系 教授
佐藤 いまり	国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系 准教授
日浦 慎作	広島市立大学 大学院情報科学研究科 知能工学専攻 知能メディア分野 教授
西田 眞也	NTTコミュニケーション科学基礎研究所 人間情報部 主幹研究員
大澤 五住	大阪大学 大学院生命機能研究科 脳神経工学講座 視覚神経科学研究室 教授
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 疾病研究第七部 部長
佐藤 洋一	東京大学 生産技術研究所 教授
内川 恵二	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 物理情報システム専攻 教授
一戸 紀孝	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

## 新学術領域「質感脳情報学」の構成

### 研究項目 A01 質感の計測と表示に関わる工学的解析と技術

- A01-1<計画研究1> 佐藤いまり 国立情報学研究所  
「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」  
A01-2<計画研究2> 日浦慎作 広島市立大学大学院情報科学研究科  
「質感認知に関わる記録・合成と表示」

### 研究項目 B01 質感認知に関わる感覚情報の特徴と処理様式

- B01-1<計画研究3> 西田真也 NTTコミュニケーション科学基礎研究所  
「質感認知に関わる視聴触覚情報の心理物理的分析」  
B01-2<計画研究4> 中内茂樹 豊橋技術科学大学工学部  
「質感認知の環境依存性および学習依存性」

### 研究項目 C01 質感認知に関わる感覚情報の特徴と処理様式

- C01-1<計画研究5> 大澤五住 大阪大学大学院生命機能研究科  
「質感認知の初期脳メカニズム」  
C01-2<計画研究6> 小松英彦 生理学研究所  
「質感認知の高次脳メカニズム」  
C01-3<計画研究7> 本田学 国立精神・神経医療研究センター  
「質感認知に関わる感性・情動脳活動」

## 項目A01 質感の計測と表示に関わる工学的解析と技術

質感を工学的に定量化する解析手法と、質感を提示・記録する装置・技術を開発する

**A01-1 佐藤いまり班** 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

### 質感の解析と合成

光源・形状・反射特性相互作用の解明  
知覚に基づく刺激合成, 分光レンダリング

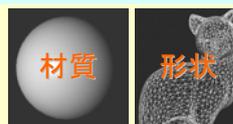
高ダイナミックレンジディスプレイ  
照明制御による反射光成分分離

### 質感の計測と提示

**A01-2 日浦慎作班** 質感認知に関わる記録・合成と表示

### 質感パラメータ

(表面反射特性,  
微細構造, 透過率など)



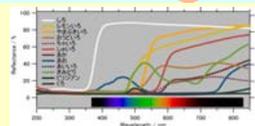
### 解析

レンダリング  
インパースレンダリング

### 合成

### 光線パラメータ

(光線の分布や分類,  
スペクトル特性など)



### 計測

### 実世界・実環境

(実物体, 照明環境,  
ディスプレイ表示など)



### 提示

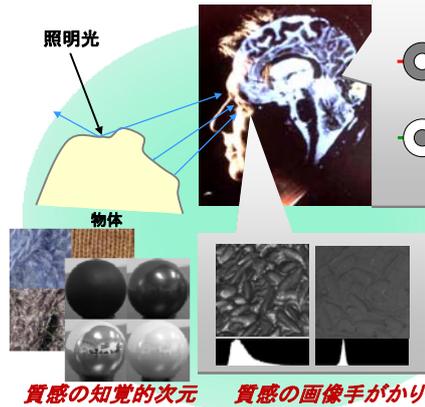
## 項目B01 質感認知に関わる感覚情報の特徴と処理様式

質感に関わるどのような感覚情報が取り出され、いかにして処理されているかを明らかにする

### B01-1 西田真也 班 質感次元の抽出と その手がかりの解明

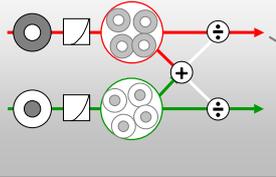
実験室から

心理物理学  
現象とメカニズム



質感情報の脳内表現と  
計算アルゴリズム

熟練した質感弁別・認知



現場から

### B01-2 中内茂樹 班 質感認知における 環境・学習依存性の解明

## 項目C01 質感情報の脳内表現と利用のメカニズム

質感認知の仕組みをさまざまなレベルの脳情報処理システムの働きとして理解する

さまざまな質感の表現

### C01-2 小松英彦 班

高次視覚野における質感  
の識別と学習のメカニズム

### C01-3 本田学 班

感性的質感認知に関  
わる報酬系神経ネット  
ワークの解明

感性的判断

高次視覚野

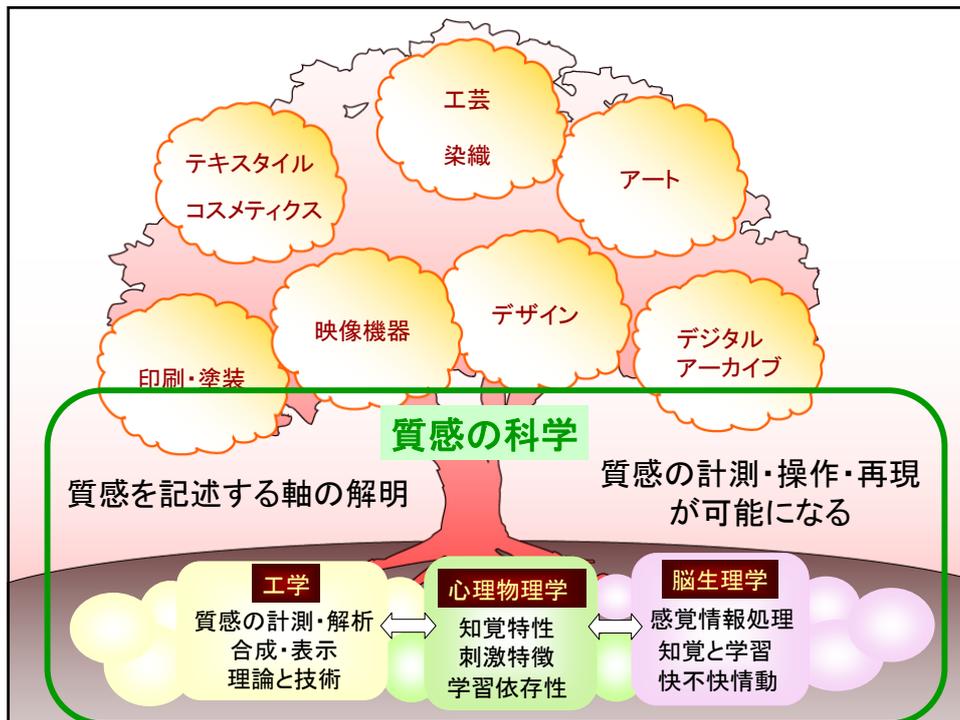
初期視覚野

脳幹、辺縁系

受容野特性

### C01-1 大澤五住 班

初期視覚野における質感  
パラメータの表現と情報処  
理機構の解明



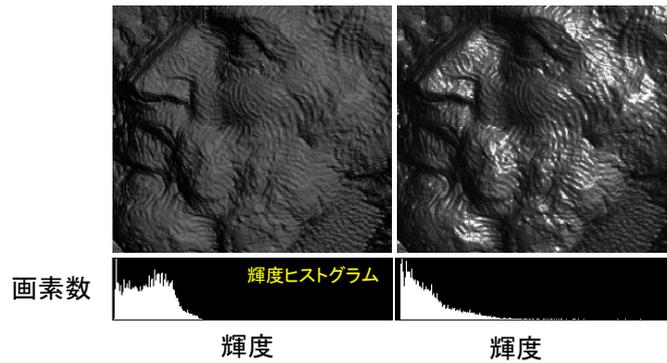
## 質感認知に関するさまざまな疑問

- 我々は質感をどの程度区別できるのだろうか？
- 質感にはどれくらいの次元があるのだろうか？
- 網膜画像に含まれるどのような情報が  
質感の違いを感じる上で有効なのだろうか？
- 何故見ただけで触った感じや温度が分かるのだろうか？
- 何故ある質感には心惹かれ、別の質感には  
嫌悪を感じるのだろうか？
- 質感の識別は生得的な能力だろうか？
- 質感には個人差や文化の影響はあるのだろうか？

## 質感認知に関わるさまざまな問題のいくつかの例

- 網膜画像に含まれるどのような情報が  
質感の違いを感じる上で有効なのだろう？

輝度ヒストグラムの統計量が重要：歪度 (skewness)



Motoyoshi et al. Nature (2007)

色の研究から質感の研究へ

*my personal story*

我々は三色性の色覚を持つ

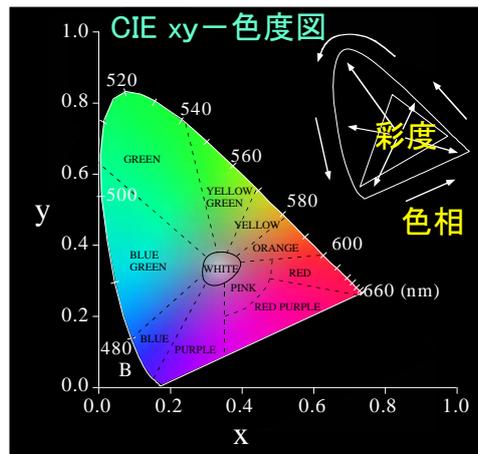
- 色相
- 彩度
- 明度

色覚は三次元

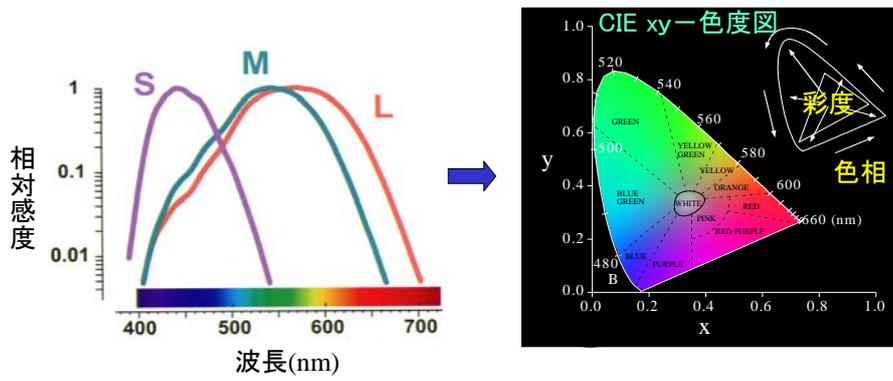
我々は三色性の色覚を持つ

- 色相
- 彩度
- 明度

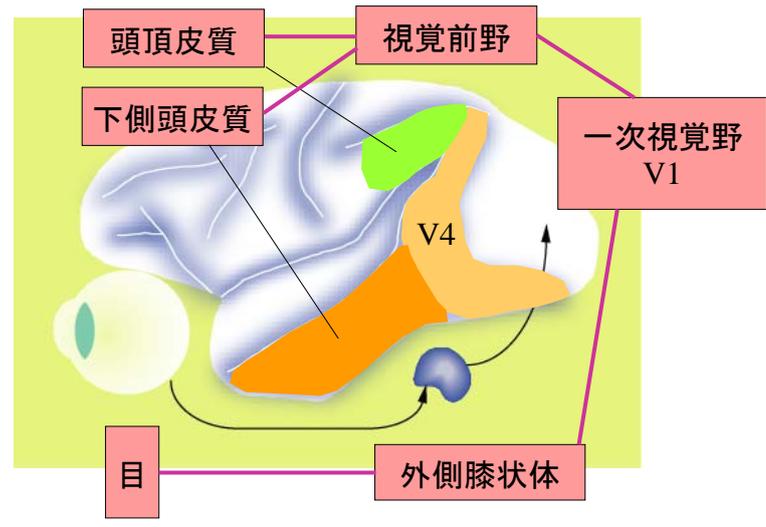
色覚は三次元



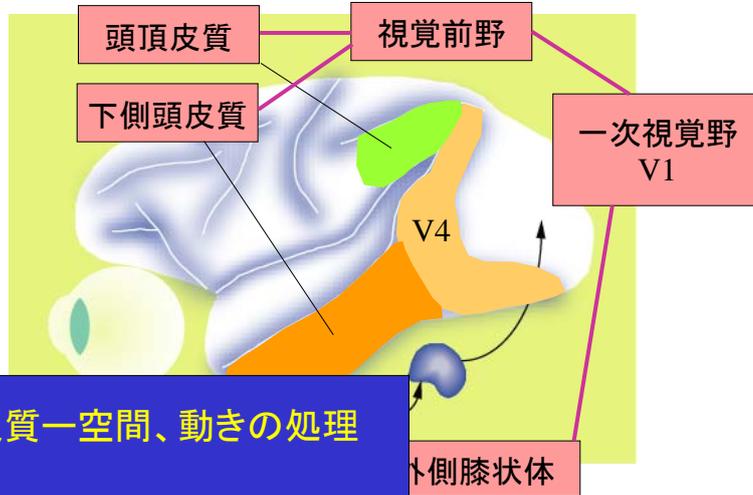
脳内のどのような情報処理で  
錐体信号から色知覚が生み出されるのか？



中枢視覚神経系の構成



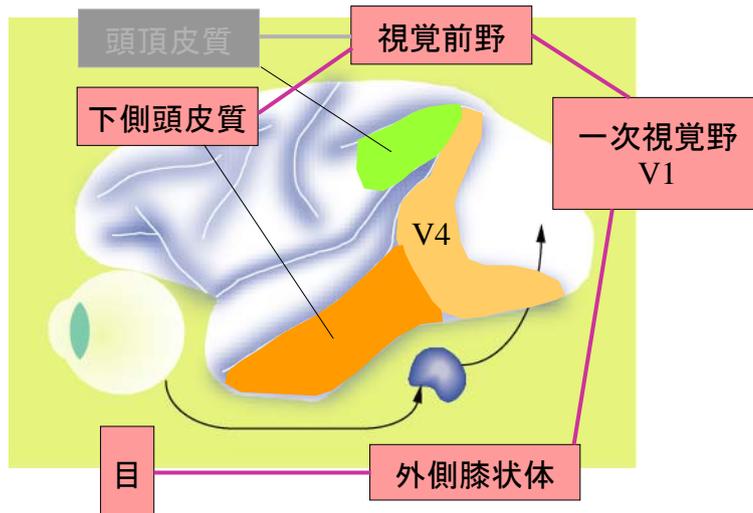
## 中枢視覚神経系の構成



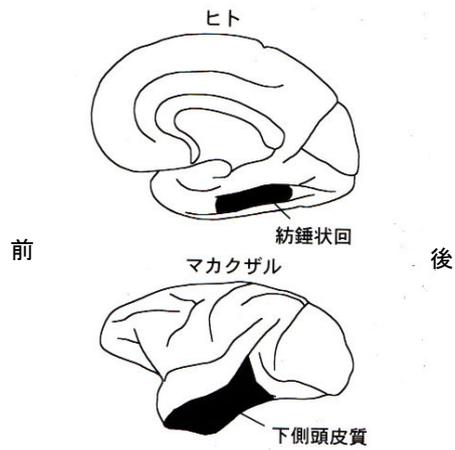
頭頂皮質—空間、動きの処理

下側頭皮質—物体識別

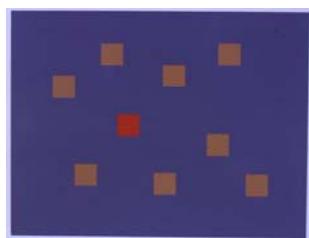
## 色覚情報処理の経路



## ヒトとサルの色覚中枢

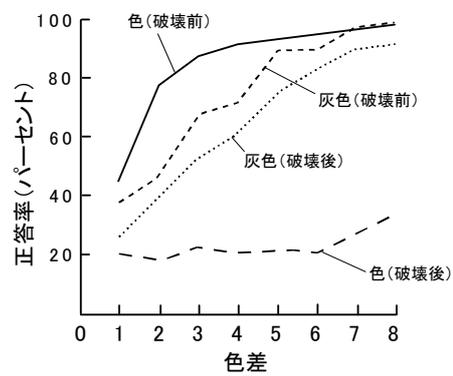


## 下側頭皮質破壊で色弁別が障害される

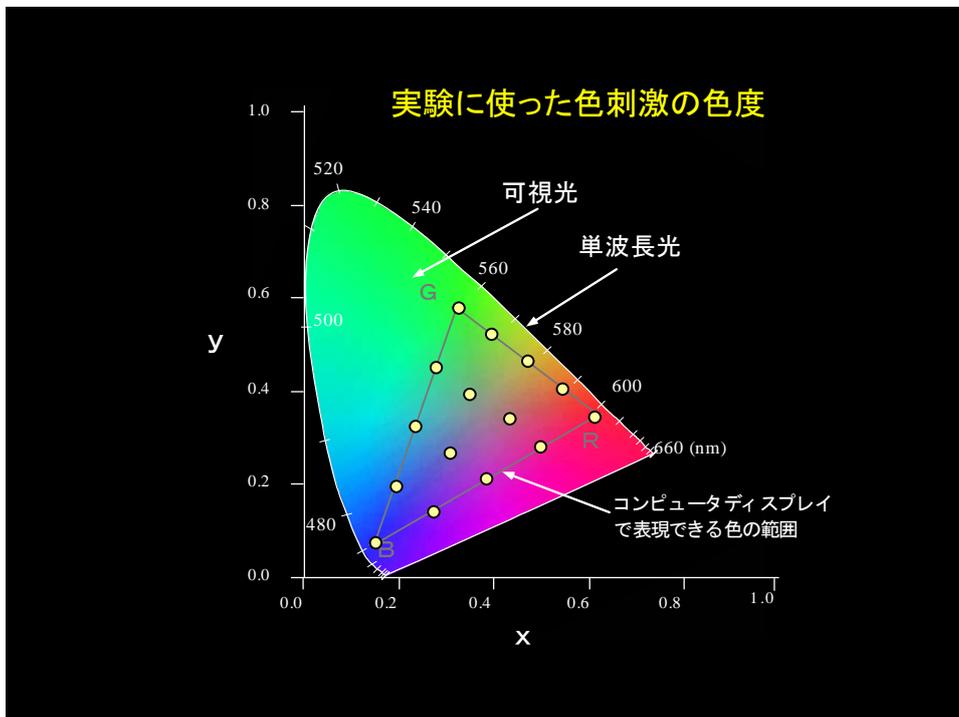
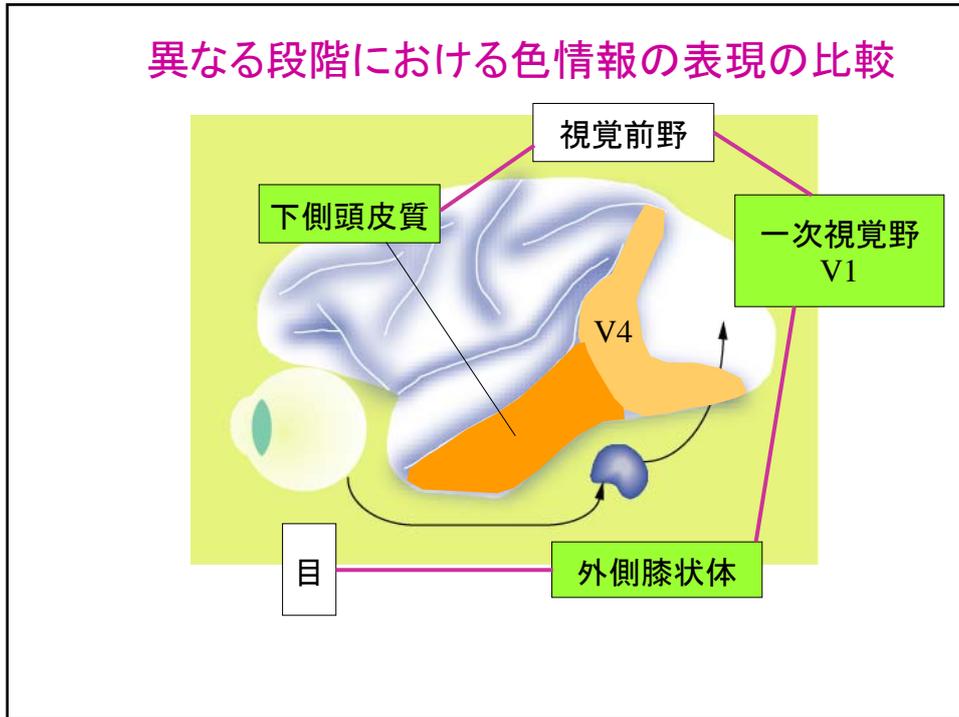


視覚刺激

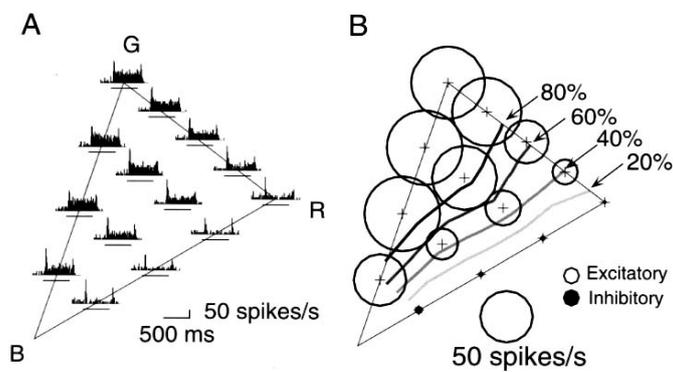
(Heywood et al. 1995)



## 異なる段階における色情報の表現の比較

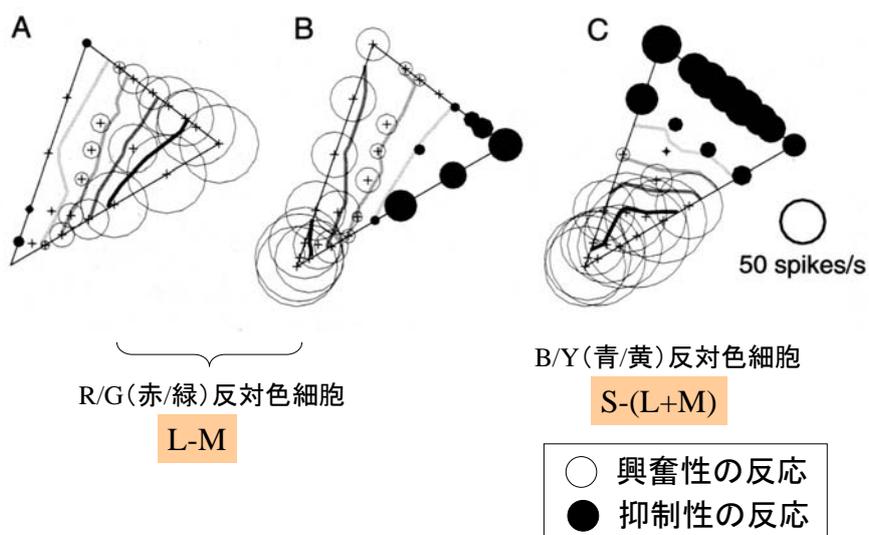


## 色選択ニューロン: 色の情報を伝えるニューロン 一つのニューロンの例



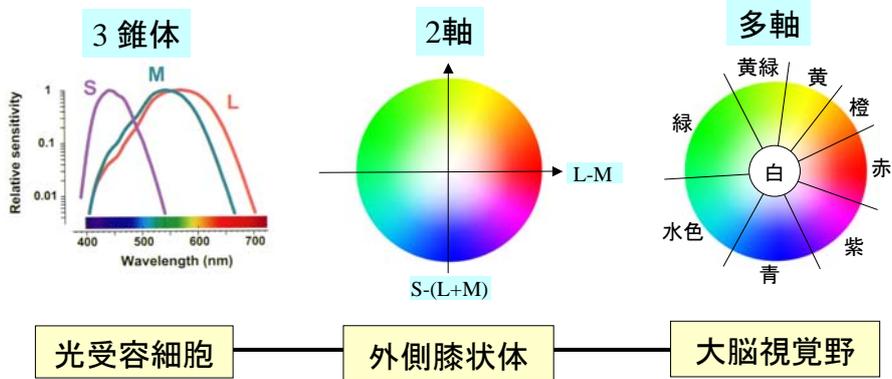
(Hanazawa et al. Eur J Neurosci 2000)

## 外側膝状体色選択ニューロンの例

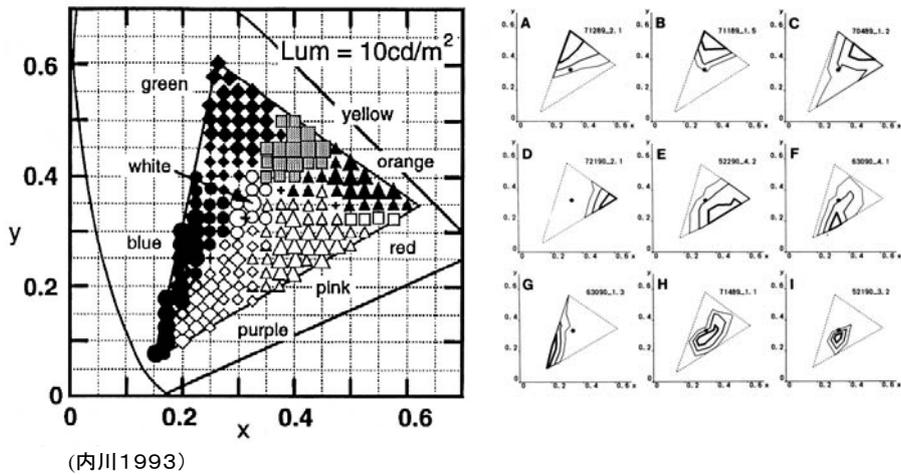




## 処理の段階による色の表現の仕方の変化

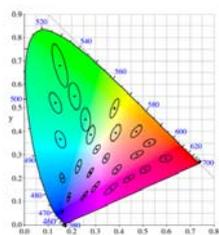


## ヒトの色カテゴリー ← 類似性 → 下側頭皮質色選択性

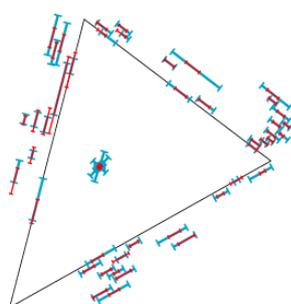


## 下側頭皮質のニューロン活動と色知覚には高い相関がある

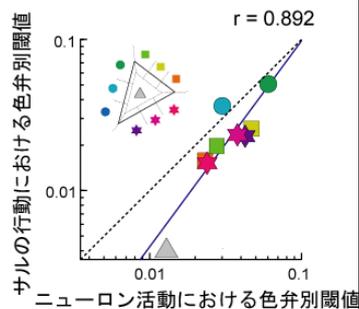
### ニューロンと行動の色弁別閾値の比較



MacAdam's ellipse

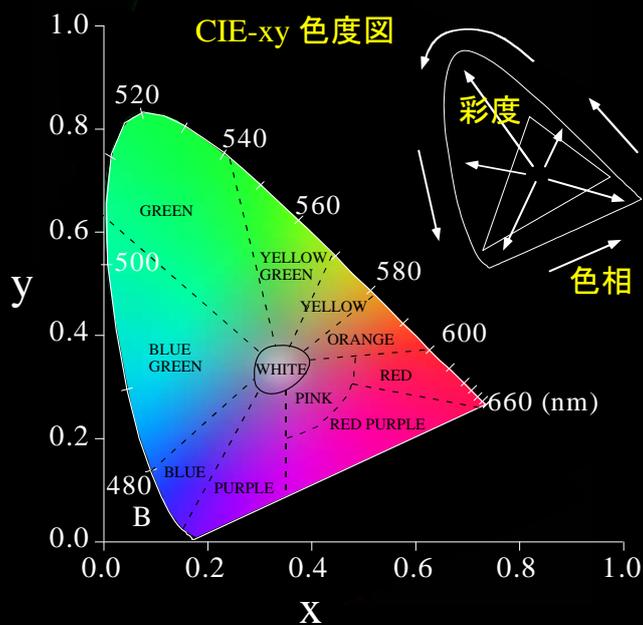


— ニューロン  
— 行動



Matsumora et al. J Neurophysiol 2008

## 色覚の基本的な処理様式は分かった？



新たな問題

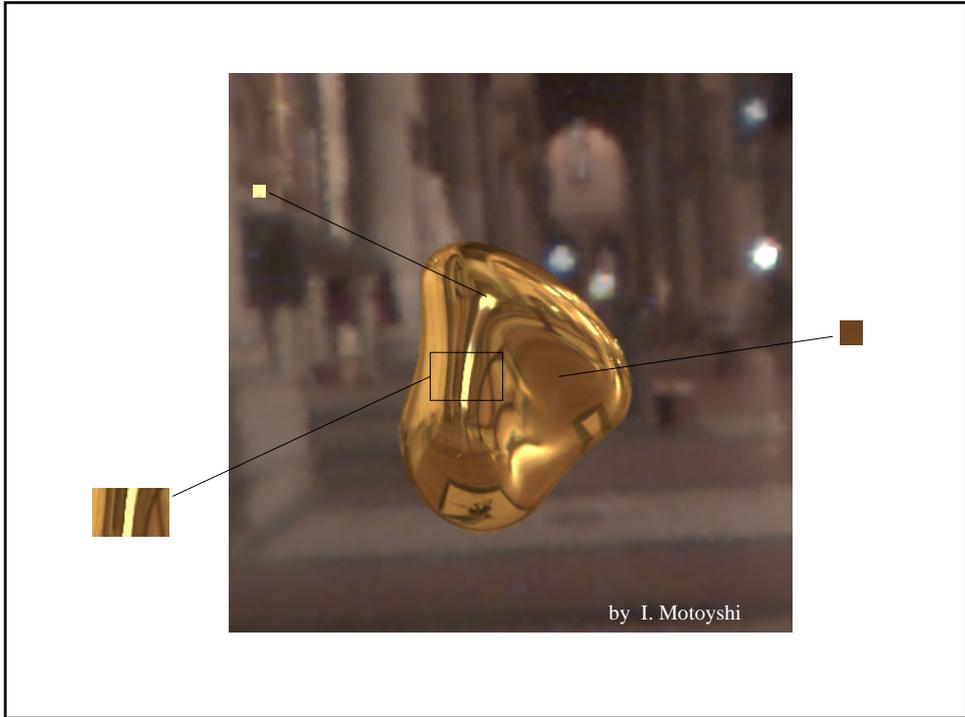
これは何色か？



答え: 金色

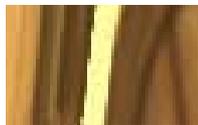


by I. Motoyshi



これまでの色覚研究:ローカルな処理

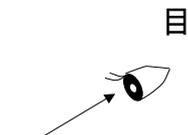
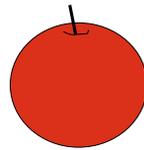
金色 — グローバルな処理



物に固有の素材や表面の特性の知覚

色覚の重要な機能: 物体の識別  
物体固有の表面反射特性の情報の獲得

照明



りんご

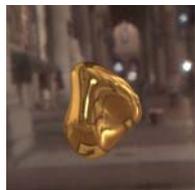
「りんごは赤い」とはどういう意味か？

1. りんごから目に入る光が長波長成分を多く含む
2. りんごは長波長成分を多く反射する固有の性質を持つ

物体色の認知

異なる素材は固有の表面反射特性をもつ

金



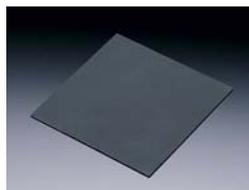
鉄



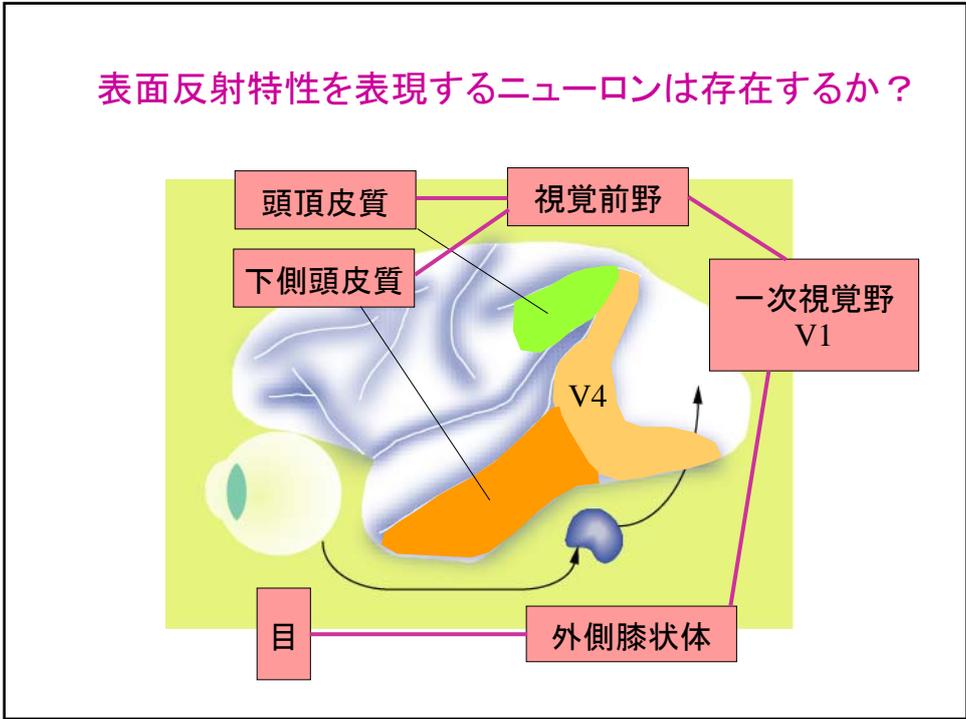
真珠



プラスチック

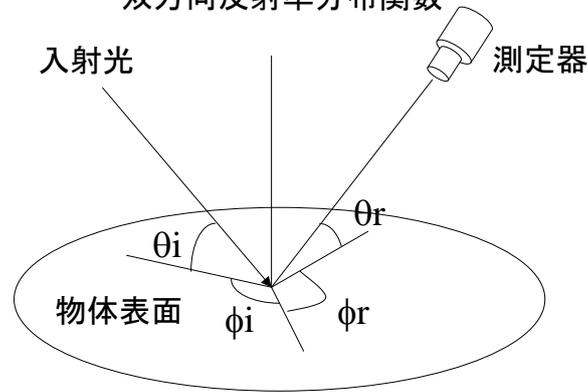


ゴム



## 表面反射特性の記述方法

BRDF (bidirectional-reflectance distribution function)  
双方向反射率分布関数

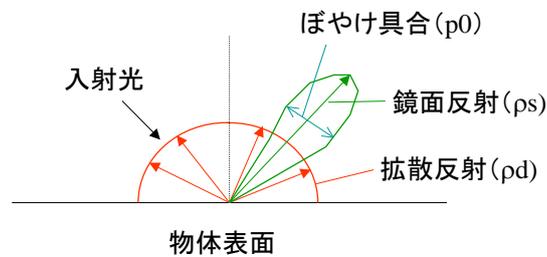


$$f(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r, I)$$

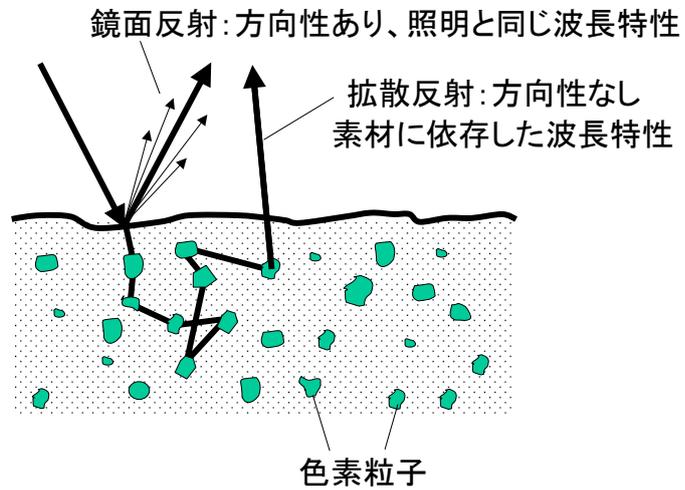
## BRDFの近似モデル

Ward-Duerモデル

- ・  $\rho_s$  (鏡面反射率)
  - ・  $\rho_d$  (拡散反射率)
  - ・  $p_0$  (ぼやけ具合: 面の粗さに関係)
- } 三つの変数で反射特性を記述

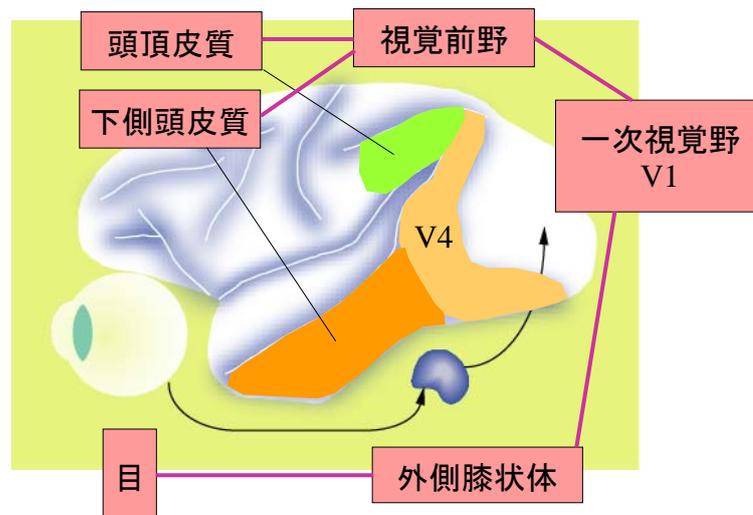


## 拡散反射と鏡面反射:二色性反射モデルの考え方



## 表面反射特性を表現するニューロンは存在するか？

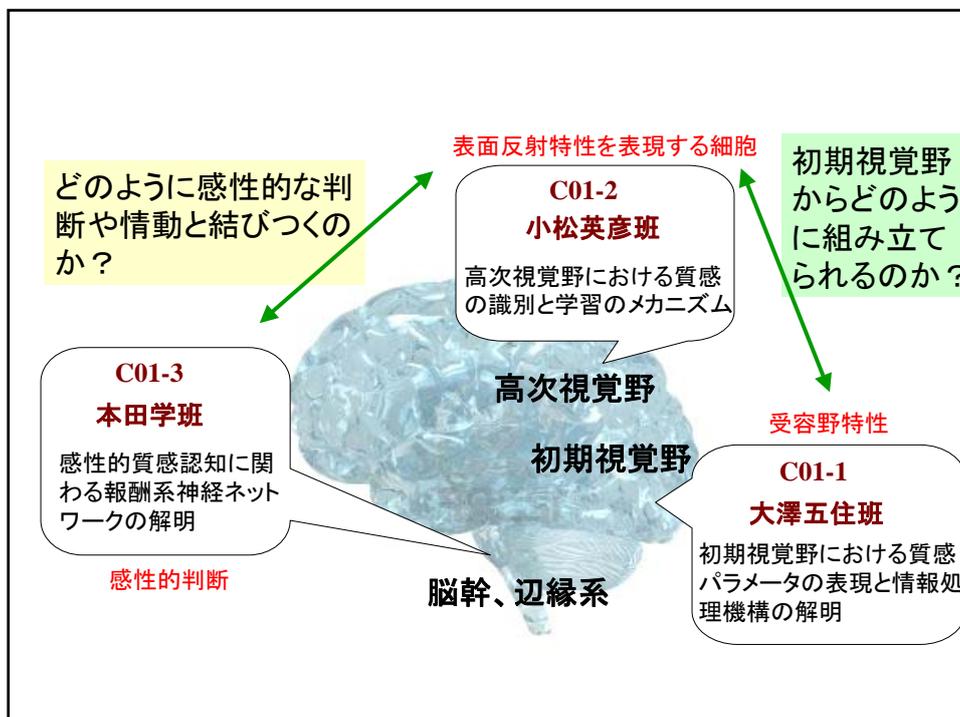
Yes:下側頭皮質に存在する



## 表面反射特性を表現するニューロンは存在する

### 次の問題

- どのような視覚特徴に反応しているのか？
- どのような質感知覚の特性と関係するのか？
- どのような脳内情報処理で実現されているのか？
- 形状や照明の情報の表現とどのように関係するか？
- それらの細胞は脳内でどのように分布するのか？
- 光沢感以外の質感はどのように表現されているか？
- 快・不快の情動とどのように結びつくのか？



## 光沢感に関するニューロン、素材を識別する脳活動

### 質感認知に関わるさまざまな問題の入り口

- 我々は質感をどの程度区別できるのだろうか？
- 質感にはどれくらいの次元があるのだろうか？
- 網膜画像に含まれるどのような情報が質感の違いを感じる上で有効なのだろうか？
- 何故見ただけで触った感じや温度が分かるのだろうか？
- 何故ある質感には心惹かれ、別の質感には嫌悪を感じるのだろうか？
- 質感の識別は生得的な能力だろうか？
- 質感には個人差や文化の影響はあるのだろうか？

### 小松班共同研究者

一戸紀孝: 国立精神・神経医療研究センター・部長

鯉田孝和: 豊橋技術科学大学・特任准教授

郷田直一: 生理学研究所・助教

西尾亜希子: 生理学研究所、総研大・大学院生

岡澤剛起: 生理学研究所、総研大・大学院生