

表面の色と質感の知覚：脳研究の展開

山本 洋紀
YAMAMOTO Hiroki

京都大学大学院人間・環境学研究科

表面の色と質感の知覚：脳研究の展開

山本洋紀 YAMAMOTO Hiroki
京都大学大学院人間・環境学研究科

1. はじめに

本稿は日本繊維機械学会の講演会「感性解析の新機軸」の内容を紹介したものです。読者の大半が異分野の技術者の方々だと思いますので、参考文献は最小限にして、色と質感の知覚に関する重要な知見をかいつまんでわかりやすくお伝えできればと思っています。詳細については、適宜、解説論文を引用しましたので、参考してください。なお、紙面の都合上、講演内容を網羅することはできませんでしたが、講演で使用したプレゼン資料はインターネットからダウンロードできますので参照してください¹⁾。本稿にある図のカラー版も同様に取得できます²⁾。

今回は「色知覚について脳の話をして」ということで依頼を受けましたので、直前まで色覚に話題を絞るつもりで準備をしていましたが、講演のパンフレットで“風合い”という言葉を目にしたとき、“ぜひ質感の話も”という思いが生まれました。その後、日本繊維機械学会のホームページや検索サイトを通じて、繊維機械学の分野では1970年前後から布の風合いについて緻密な研究が進められていること、風合いを触覚的に評価する標準機器も開発され、工業分野で実際に利用されていることを知りました。

風合いという言葉は主に布に使われると思うのですが、布に限らず、ものを目にすると、その表面の色だけでなく、光沢、艶、透明等の材質に関連した繊細で豊かな質的な感覚—質感 (material perception; *sitsukan*)—が私たちの心に生じます。風合い評価の技術的な研究から30年たった今、質感の研究は視覚科学の中で最もホットな分野のひとつになっています。色も質感も、端的に言えば、ものの表面反射特性に関する知覚です。ここで大事なのは、あくまで知覚であって表面特性そのものではないということです。色や光沢は私たちとは無関係に外の世界に存在するように思いがちですが、それは間違いで、痛みの感覚と同じように、脳が感覚情報を処理した結果はじめて生まれるものです³⁾。そして、脳が作り出した知覚世界は物理世界を忠実に再現したのではなく、あくまで推測にすぎず、そこには独特の癖 (省

略、誇張、変形) があります⁴⁾。表面の分光反射率と色の関係、また、表面反射の物理と質感の関係はともに単純ではありません。ここに科学的、工学的な興味が生れます。

昨年度から、質感脳情報学 (文科省新学術領域研究) という名の下で、神経科学、心理学、工学をはじめとする様々な分野の研究者が集まって、質感を巡る学際的な研究プロジェクトが始まっています⁵⁾。私もこのプロジェクトに今年度から参画する機会に恵まれました。そんな折に講演のお話を頂き、これは質感制御のエキスパートの方々から貴重なご意見が伺える絶好の機会、という思いが生じて、質感知覚の話題を慌てて加えた次第です。以下、私の主な研究手段である脳機能イメージング法について簡単に触れた後、色知覚、質感知覚の順に研究の概況を解説します。

2. 脳機能イメージング

私は脳機能イメージング^{6,7)}という実験手法で視覚の脳過程を調べています。装置は少々大がかりですが、実験は単純です。被験者に映像 (視覚刺激) を見てもらって、その時の脳活動をMRI (磁気共鳴画像) スキャナーで測定します (図1)。MRIは臨床では主に脳の解剖構造の断層写真をとる装置ですが、撮像の仕方を工夫すれば脳の活動を反映した写真をとることができます。例えば、単純な視覚刺激 (縞模様など) を1秒間呈示して、脳の断層写真をしばらくとり続けてみます。すると、呈示から2秒程遅れて脳の後頭部の広い領域で写真がわずかに明るくなり、10数秒後に最も明るくなります。こ

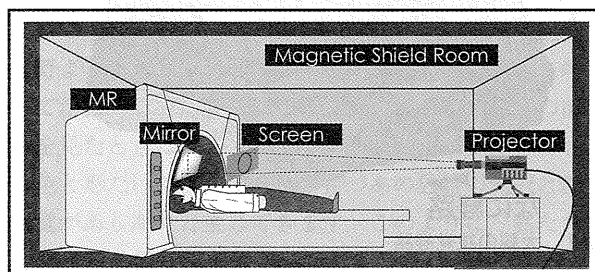


図1 fMRI実験の様子 (イラスト：山本謙一郎)

れは BOLD (blood oxygen level dependent) 効果と呼ばれるもので、神経活動に伴う脳血流の変化を反映しています。信号変化にするとわずか数%ですが、この変化は明確に観察できます。BOLD 効果に基づく MRI は、脳の機能を反映した画像が測定できることから、機能的 MRI (functional MRI ; fMRI) と呼ばれています。空間的には数 mm、時間的には数秒の解像度で神経活動を非侵襲的に捉えることができます。fMRI は 1990 年初頭に発明されたのですが⁸⁾、それ以来、脳の視覚過程の理解は急速に進展しています⁹⁾。

3. 色知覚

3.1 脳の視覚経路

視覚機能の多くは大脳の後頭葉に位置する視覚皮質と呼ばれる領域で行われています。後頭部の最も出っ張った部分(後頭極)に両手のひらを横向きに同時に当ててみてください。大雑把に言って、手のひらの下に当たる部分にある脳の表層部が視覚皮質に相当します。視覚皮質は構造的にも機能的にも一様ではなく、さらに細分化された多数の視覚野の集合体であることがわかっています。視覚野の内部に目を移すと、ここでは皮質上の位置とそこが処理する視野の位置が綺麗に対応しています。例えば、光点を視野の中心から周辺へ動かすと、脳活動も視覚野のある場所からある場所へと連続的に移動しま

す。これが網膜部位再現性(レチノトピー)と呼ばれる性質で、各々の視覚野は視野の4分の1(左上, 左下, 右上, 右下)または2分の1(左, 右)の視覚情報の処理を担っています。視覚皮質のレチノトピー構造をfMRIで測定することで、現在までに10数個の視覚野が見つかっています^{10,11)}(図2A)。

網膜からの視覚情報は、まず、後頭極に位置する1次視覚野に入力され、その後、後ろから前に段階的に視覚処理が進んでいきます。この段階的な処理は一本道ではなく、少なくとも2つの道筋で同時に進みます(図2B)。ひとつは、後頭葉から頭頂葉へと向かう「どこ経路」と呼ばれる道で、ものの位置や運動に関する視覚処理を行っています。もうひとつは、後頭葉から脳の下側を通して側頭葉へと向かう「なに経路」でものの認識に関する処理を行っています。表面の色や質感はものを認識する上で強力な手がかりとなることから、色や質感の知覚は「なに経路」の働きによると予想されます。サルにも人とよく似た色覚がありますが、この経路で様々なタイプの色選択的な神経細胞が見つかっています¹²⁾。

過去の脳イメージング研究で報告された色に関連する脳活動の位置を大脳表面上に集積してみると、予想通り、「なに経路」に集中しています(図2C, 小点群)¹³⁾。色知覚に関する多くの研究は白黒の幾何学的模様を着色した時、脳のどこで脳活動が増加するかを調べたものです。特に報告が多い部位は大脳下面にある紡錘状回の後

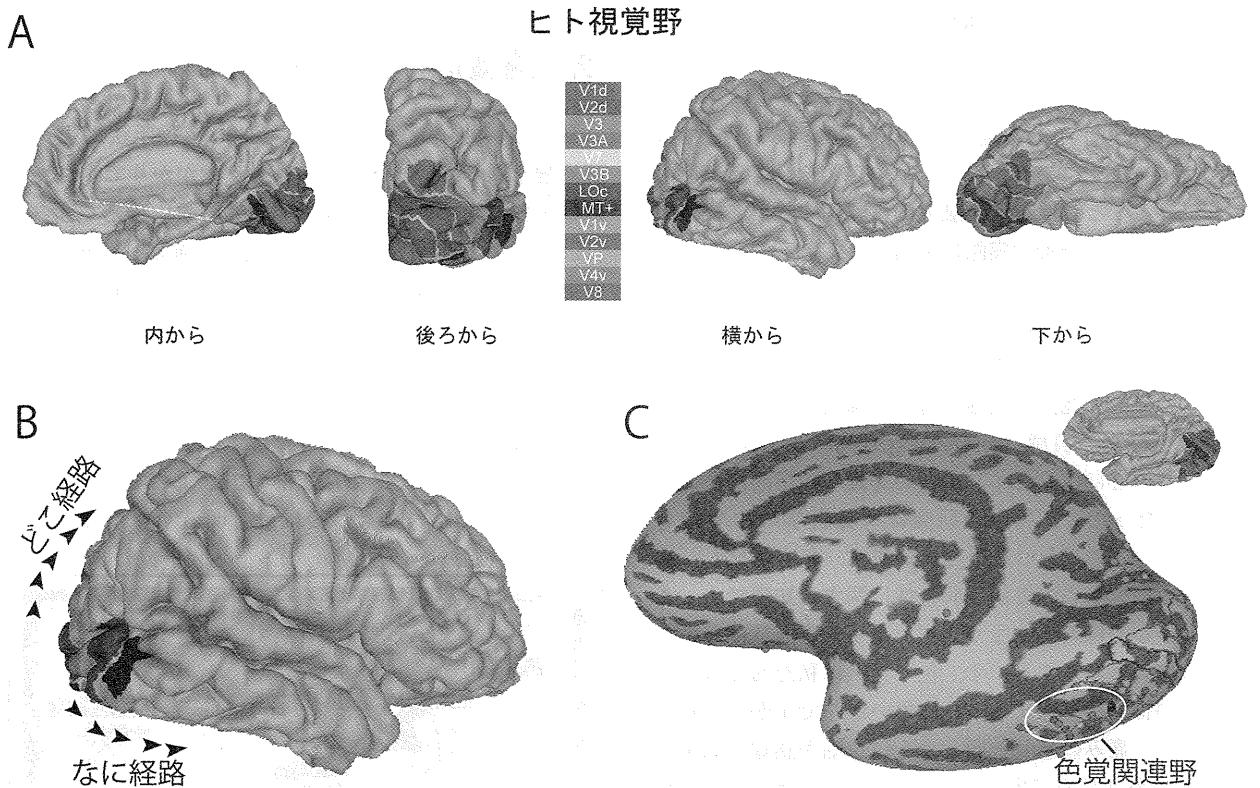


図2 大脳の視覚経路
 A: 視覚野 B: 「なに経路」と「どこ経路」 C: 色覚関連野(図中白丸の部分)。膨張させた脳表面上(濃い灰色が脳溝、薄い灰色が脳回)に表示したもの。

部の領域です(図2C, 白線付近; 以下, この場所を色覚関連野と呼ぶことにします)。この場所が色覚の中核であると言いたいところですが, これには少々無理があります。実は, よく調べてみると, 白黒より色に対してよく応答する領域はここに限らず, 例えば, 1次視覚野でも色の優位性ははっきりと観察されるからです。また, そもそも, 白黒との比較でよいのかという問題もあります。白も黒も色的一种と考えると, この比較の意味がわからなくなります。色知覚は脳のどこで生じているのか? この疑問に答えるためには別の研究方略が必要です。

3.2 色の錯視と色覚中枢

かたちや長さなど様々な知覚の中で, 色は物理世界との対応という点で特別に思えます。物理的に丸いものは丸く知覚されますが, 物理的にどんなものが赤く知覚されるのでしょうか? この種の問いに答える心理物理学という学問があります。心理物理学では, 刺激の物理的特性と心理応答との対応関係を実験的に調べることで, 入出力の間にある脳の仕組みを推察します^{14,15)}。色覚の心理物理学¹⁶⁾によると, 赤く知覚されるのは長波長の光です, という答えは必ずしも成立しません。例えば, 緑色の光をしばらく見続けた後では白い光でも赤色に見えます(色残像)。白の周りを緑で囲むと白が少しピンク色をおびます(色対比)。このように光の波長と色との関係は常に虹のスペクトルの関係になるとは限りません。

色刺激と色知覚の関係を整理したのが図3のマトリクスです。注目したいのは, 左下の“あるべき色が見えない”場合と右上の“ないはずの色が見える”場合, つまり, 色刺激と色知覚が乖離する錯視の状況です。色残像や色対比以外にも多くの興味深い色の錯視が知られています¹⁷⁾。もし, ある脳部位が色覚中枢であれば色に対して錯視的な応答を示すはずで, つまり, 色刺激の有無にかかわらず, 常に, 色の知覚に相関した脳活動を示すと予想されます。錯視は視覚系の持つ癖の最たるものであり, その仕組みを知るための格好の研究ツールとして色知覚に限らず広く脳研究に応用されています¹⁸⁾。以下, 色の錯視に注目した研究をいくつか紹介します。

目や網膜には何ら異常がないのに, 脳梗塞や外傷に

よって色が見えなくなる場合があります¹⁹⁾。つまり, あるべき色が見えないわけです。これは大脳性色覚異常と呼ばれる障害で, 多くの場合, 左右どちらかの視野の色が失われて外界が白黒写真のように見えます。多数の大脳性色覚異常者の大脳のCTまたはMRI画像を集めて損傷部位を重ねてみると, 前述の色覚関連野とよく一致しています²⁰⁾。健常者でも色が消えて見えなくなる場合が実験的に作り出せます。ある色を呈示しても, その直後によく似た色が近くに呈示されると, 見えなくなってしまいます。これは色選択的なメタコントラストという錯視です²¹⁾。この錯視が生じているときの視覚皮質の活動をfMRIで測定したところ, 色が消えると初期の視覚野も脳活動が低下しますが²²⁾, 最も脳活動が低下するのは, やはり, 色覚関連野であることがわかりました²³⁾。

逆に, ないはずの色が見える場合があります。驚くことに, 文字や数字に色がついて見える色字共感覚者と呼ばれる方々が数%いることが知られています^{24,25)}。例えば, Aは赤色, 0は白色など, 日本人の場合, 漢字にも色がつく人も多くいます。色字共感覚者が字に色を感じている時にも色覚関連野がよく活動することが知られています²⁶⁾。また, 色字共感覚者の色覚関連野には一般の方より多くの神経細胞が詰まっているようです²⁷⁾。ふつうの人を対象にしたfMRI研究では, 色残像や色対比によって色が生じる時, 色覚関連野の応答が最も増加することがわかっています^{28,29)}。

4. 質感知覚

「暗い赤」と「黒い赤」は同じ種類の概念ではない。ルビーは透かしてみると暗い赤に見えることがある。だが, そのルビーが澄んだものであれば, 黒い赤に見えることはない。画家はそのルビーを黒い赤の点で描くかもしれないが, しかしその絵の中でこの点が黒い赤の印象を与えることはないだろう。その平面が立体的に見えてくるやいなや, その点は深みを帯びて見えはじめる。

ウィトゲンシュタイン [30]

4.1 スケールと質感

ものは遠くで見ると近くで見るとはまるで違って見えます。例えば, 苺の木を遠くから見ている時, 苺は赤色で丸みを帯びた形に見えます。この時, 私たちの視覚皮質では前述の色覚関連野は赤色に呼応して活動するはずで, 加えて, ものの形態を処理する場所(色覚関連野より少し側頭よりにあります)が丸いかたちに対応して活動するでしょう。では, 苺に顔を寄せて目の前で苺を見たときはどうでしょうか? 今度は私たちの心には色と形だけではなく, 苺の持つあの独特の光沢と艶の感覚がありありと生じてきます。このように, 私たちの視覚体験は視対象のスケールによって様変わりします。中程度のスケール(meso-scale)でものを見ると, 光沢

		色刺激	
		あり	なし
色知覚	あり		●
	なし	●	

図3 色: 知覚と物理刺激の対応マトリクス

感、透明感、金属感、風合いといった素材に関する感覚、質感が新たに生まれてきます。

質感が生まれるとき、脳の中では何が起きているのでしょうか？ 視覚皮質では質感に関わる領域が活動し始めるかもしれません。あるいはまた、視覚皮質の広い範囲で活動の様相が変わるのかもしれません。では、その質感に関連した活動は一体どのような視覚処理を反映しているのでしょうか？ 今、質感に関する研究がコンピュータグラフィックス（CG）と心理物理学の分野で国際的に注目を集めています³¹⁾。神経科学的な研究も始まっています⁵⁾。質感の科学は黎明期で、色知覚のようにまとまった知見はまだ得られていません。以下では、光沢感を中心に興味深い話題をいくつか紹介したいと思います。他の質感も含め、さらに興味のある方は解説論文^{32,33)}を参照して下さい。

4.2 色と質感

アンドリュー・ワイエスというとても精緻な絵を描く画家がいます³⁴⁾。図4は彼の作品で、原画はカラーなのですがモノクロで表示したものです。まず、画面の静けさに息をのみますが、同時に、女性の髪や肌、セーターの異常なまでに細密な描写、そして、それらが醸し出す圧倒的な質感—髪の艶、肌の透明感、セーターの毛羽立ち—toに感嘆します。原画と並べてみるとよくわかるのですが、モノクロで得られる質感はカラーと比べても遜色のないものです。この例は質感の知覚にとっては色よりも明暗の方が重要であることを示唆しています。色はもっと情動的な側面への寄与が大きいように思えます。料理写真をモノクロにすると、素材の質感はあまり変わらないのですが、なんだか不味そうに感じます³⁰⁾。興味深いことに、色と質感が渾然一体となり、全く新

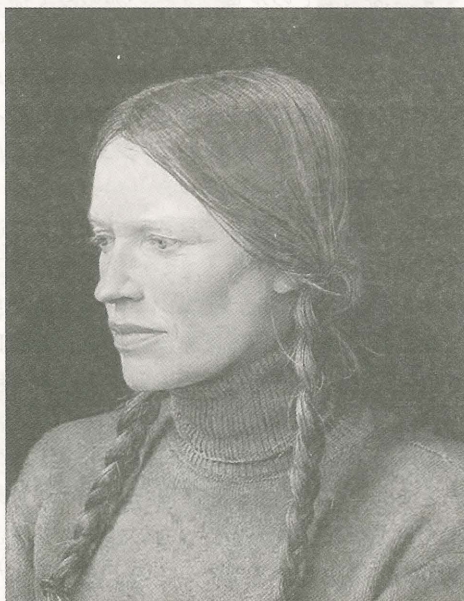


図4 色と質感（アンドリュー・ワイエス、ワイエス画集3 ベルガより）

しい印象を帯びる場合があります。苺の場合もそのような気がしますが、金色の方がわかりやすいかもしれません。トランペットは黄色い金属というより金色に見えます。金色は色と質感という2つの知覚属性が一体化したのと言えます。色と質感の関係はこの点で色と形の関係と大きく異なっています。ある特定の色と形が融合して、ウィトゲンシュタインが言うところの別種の概念を生むことはないように思います。近くでものを見るときには、色も含め表面に関する様々な情報が統合されて新たな感覚、あるいは印象と呼ぶべきものが生まれているように思えます。この意味で使う質感は単なる素材感（material perception）の枠を超えたものになります。

4.3 画像特徴と質感

上述のように質感には画像の明暗情報が大事ですが、具体的にはどういった種類の情報が大事なのでしょう。ひとつ確実に言えることは、点ではなく面、ある広がりを持った領域としての情報であるということです。ウィトゲンシュタインの言うように、黒い赤色の点にすぎないものが、広がりのある絵としてみると、透き通って見えることがあります。では、面の中のどんな情報が質感を左右しているのでしょうか？

ここでは、光沢感について考えてみたいと思います。光沢感の強いものと言えば、鏡や金属が思い浮かびます。逆に弱いものだと、石膏や小麦粉などが浮かびます。両者の光学特性の違いは何か問われれば、光学の素養がある人ならば、前者の表面は鏡面反射の成分が高く、後者は拡散反射の成分が高いと即答されると思います。鏡面反射とは光線がひとつの方向（入射角＝反射角）だけに反射する性質です（図5A）。これに対し、

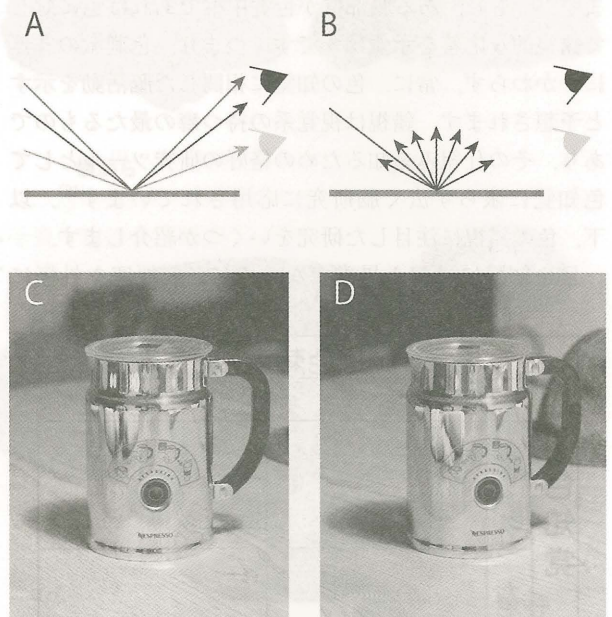


図5 反射の物理と光沢感

A：鏡面反射 B：拡散反射 C：映り込み（正面から）
D：映り込み（少し横から）

拡散反射とは全ての方向に反射する性質です (図 5 B)。では鏡面反射と拡散反射では目に入ってくる光にどのような違いが生じるのでしょうか？ これを考えるために、視点から逆に光線を辿ってみます。鏡面反射の場合、目に届く各々の光線は別々の場所から来ていて、別の場所からの光が混じることはありません (図 5 A, 上方にある黒線 vs. 灰色線)。よって、目にはシャープな像が映ります (図 5 C)。また、視点が移動したら、それに伴って光線が由来する場所が変わるので (図 5 A, 上方の黒線 vs. 下方の薄灰色線)、目に映る像も移動します (図 5 D)。これらは鏡の性質そのものです。逆に、拡散反射が強くなると、像はぼやけて視点を変えても変化しなくなります。以上の考察から、映り込みのシャープさと視点移動に伴う運動は物理的な光沢 (鏡面反射率) に直結する画像特徴であることがわかります。

けれども、私たちは普段スプーンを見ても単に金属的な光沢を感じるだけで映り込みを意識することはまれです。この頁を開いて最初に図 5 を見た時、ポットに映ったテーブルの木目を意識した人はまずいなかったと思います。映り込みの特徴は脳の中で無意識的に処理され光沢感を生んでいるようです。常に意識している人もいます。画家や写真家です。商品撮影を専門にする写真家にとって、映り込みの操作は商品の質感を表現するための基本的な撮影テクニックのひとつです³⁵⁾。例えば、光沢感を強調するために、白紙や黒紙を組み合わせ高コントラストでシャープな映り込みを作ったりします。映り込みの運動に関して、CG を使った面白いデモンストレーションがあります³⁶⁾。止まっている時には光沢感のある金属製のポット (図 6) を、その映り込みを変えないまわくるくる回すと、ポットの金属感は完全になくなってしまいます。同時に、映り込みはポットの模様のように見えてきます。私の 4 歳の娘でもこの矛盾にすぐに気づきました。学校で習わなくても、彼女の脳は反射の物理法則を知っているようです。

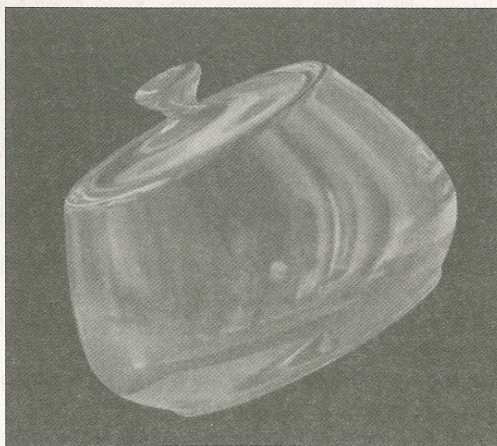


図 6 映り込みの運動と質感
(<http://vision.psych.umn.edu/users/kersten/kersten-lab/demos/MatteOrShiny.html> より)

図 7 の左右の画像を見比べて下さい。左右の質感の違いは一目瞭然で、左は光沢のない表面に見えますが、右は強い光沢を持つように見えます。この例には映り込みの画像特徴は見て取れません。静止画ですから当然運動情報はありません。金属の場合は映り込みは明るく鮮明ですが、プラスチックなど多くの材質では鏡面反射の程度はこの図のように弱く、反射光は少し広がりを持ちます。このせいで、映り込みは小さく暗くはっきりしていません。この場合、人はどうやって光沢感の違いを見分けているのでしょうか？ すぐに気がつくのは、右の画像に散在しているとても明るい部分、すなわち、ハイライトです。ハイライトというのは照明の反射光です。自然な環境では照明が少数なので (太陽や室内灯など)、斑々明るい部分、ハイライトが生じるわけです。このハイライトの存在が光沢感につながることは間違いのないように思えます。視覚系は反射の物理に加えて自身が暮らす自然環境も理解しているようです。だとすると、今度はハイライトをどうやって見分けているのか？ という問題が生じます。ハイライトの様相は照明の強さや方向、そして表面の 3 次元形状によって千差万別です。様々な視覚属性を総合した複雑な処理が必須のように思われます。

ところが、人はそんな難しいことはせずに、単純な画像特徴をもとに物理的な光沢 (鏡面反射率) を推測している可能性が示されています^{37,38)}。その特徴というのは画像の輝度ヒストグラムのかたちです。画像は光点の集まりで、各々の光点は様々な輝度を持っています。輝度ヒストグラムとは、暗いものから明るいものまで、ある輝度の光点がいくつあるのかを数え上げたものです。図 7 の 2 つの画像で輝度ヒストグラムを比べてみると (図 7 下部)、左のマットな感じがする画像では暗い方に尾がのびているのに対して、右の強い光沢を感じる画像では明るい方に尾が伸びています。この違いは統計学の歪度 (skewness) という概念でうまく捉えることができます。歪度はマットな左ではマイナスに、光沢を感じる

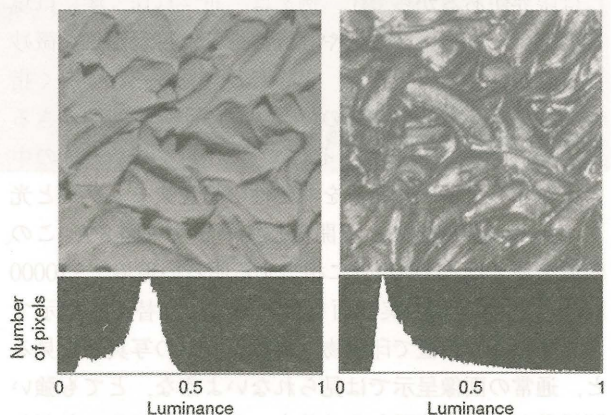


図 7 輝度のヒストグラムと光沢感
(文献 33 より転載)

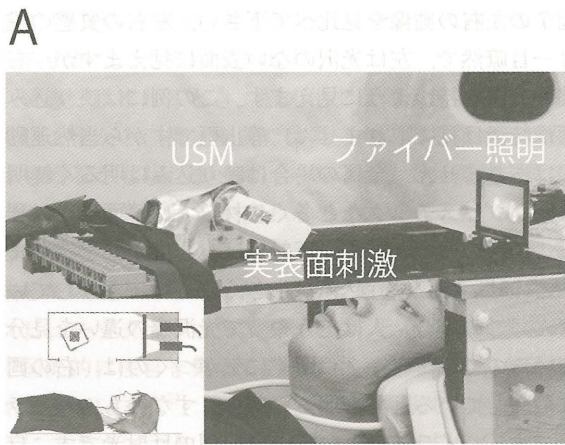


図8 fMRI実験のための実物体呈示装置
A: 試作機 (イラスト: 大橋彩子) B: 実験中の様子

右ではプラスになります。この歪度と人の光沢感がよく対応することが示され、歪度の計算に基づく光沢感の神経モデルが提案されています³⁸⁾。

4.4 質感の脳研究

最近、fMRIを使った質感の研究が始まり、色だけでなく質感の知覚でも“なに経路”が重要であることがわかってきました。人がものを形ではなく質感（金属、木目、大理石模様など）に注意して見分けるときには、色覚関連野よりやや前方の領域で活動が増すことが報告されています^{39,40)}。さらに、この領域の脳活動の空間的なパターンが質感の知覚的なカテゴリー（金属、石、木、皮等）に呼応して変化することがわかってきました⁴¹⁾。サルの研究でも、上記の人で見つかった領域の相同部位と思われる下部側頭葉皮質で光沢感に選択的なニューロンが見つかっています⁴²⁾。今後、色の錯視と同じように、あるはずの光沢感が見えなくなったり、ないはずの光沢が見えるといった質感の錯視に着目した脳研究も進むと思います。

従来の脳研究ではCGを使って質感刺激を生成・呈示しています。私は今CGではなく実際の物体を刺激としてfMRIの実験を行う準備をしています。それはCGを使って液晶モニターやプロジェクターで再現できる質感には限界があるからです。例えば、布、真珠、漆には現在のグラフィックス技術や写真技術では再現困難な微妙な質感があります。また、実物だと、見るだけでなく指先で触れることもできるので、触覚の研究に展開できるという利点もあります。そこで、MRIスキャナーの中で実物体を呈示する装置を非磁性の超音波モーターと光ファイバー照明を使って開発しています(図8)。この装置を使えば、日中戸外に相当する明るい環境(～10000 lux)で、数種類の実表面を自動的に切り替えて呈示できます。この装置で印刷物(自然シーンの写真)を見ると、通常の画像呈示では見られないような、とても強い脳活動が色覚関連野とその前方にかけて生じることがわかりました⁴³⁾。今後は布地などの質感刺激へ展開してい

く予定です。

参考文献

- 1) <http://dl.dropbox.com/u/24681440/sk1101.pdf>
- 2) <http://dl.dropbox.com/u/24681440/cfig.pdf>
- 3) 藤田一郎 (2007) 「見る」とはということか—脳と心の関係をさぐる。化学同人。
- 4) 蘆田宏・山本洋紀・番浩志・酒井博之・須佐見憲史 (2011) 感覚と知覚。心理学概論, 第3章, 48-72, ナカニシヤ出版。
- 5) <http://shitsukan.jp/>
- 6) 江島義道・山本洋紀 (2002) ブレインイメージング 光学, 31, 4, 296-298.
- 7) 宮内哲・三崎将也 (2007) 非侵襲脳機能計測と感覚知覚研究 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック, Part 2, 第I部, 総論7. 151-170, 誠信書房。
- 8) S. Ogawa, T. M. Lee, A. R. Kay and D. W. Tank (1990) Brain Magnetic Resonance Imaging with Contrast Dependent on Blood Oxygenation. Proc. Natl. Acad. Sci. (USA), 87, 9868-9872.
- 9) 山本洋紀・大谷芳夫 (2004) 脳機能画像計測と視覚心理物理学 光学, 33, 2, 80-88.
- 10) Yamamoto H., Ban H., Fukunaga M., Umeda M., Tanaka C. and Ejima Y. (2008) Large- and Small-Scale Functional Organization of Visual Field Representation in the Human Visual Cortex. In: Portocello T. A. and Velloti R. B. editors. Visual Cortex: New Research. New York: Nova Science Publisher, pp.195-226.
- 11) Yamamoto H., Fukunaga M., Takahashi S., Mano H., Tanaka C., Umeda M., and Ejima Y. (in press) Inconsistency and Uncertainty of the Human Visual Area Loci following Surface-based Registration: Probability and Entropy Maps. Human Brain Mapping. doi: 10.1002/hbm.21200.
- 12) 小松英彦 (2006) 色覚の神経生理学 日本色彩学会誌, 30, 4, 212-216.
- 13) 山本洋紀・江島義道 (2006) 色の知覚と認知の脳機能イメージング 日本色彩学会誌, 30, 4, 204-211.
- 14) 佐藤隆夫 (1995) 脳研究における心理物理学的手法 光学, 24, 14-20.
- 15) 西田真也 (2005) 実験心理学 (視覚心理物理) の今日的意義 基礎心理学研究, 24, 56-62.
- 16) 江島義道, 山本洋紀 (2000) 明るさと色の知覚形成過程 脳科学大辞典, 外山・甘利編, 7.4節, 403-413, 朝倉書店。
- 17) 栗木一郎 (2010) 色の錯視とは何か 光学, 39(3), 89-95.

- 18) 村上郁也 (2008) 錯視から分かる脳の情報処理 電子情報通信学会誌 91(9), 809-815.
- 19) オリヴァー・サックス (2001) 火星の人類学者—脳神経科医と7人の奇妙な患者. 吉田利子 訳, 早川書房.
- 20) Bouvier S. E., Engel S. A. (2006). Behavioral deficits and cortical damage loci in cerebral achromatopsia. *Cerebral Cortex*, 16, 183-191.
- 21) 前田青広・山本洋紀・江島義道 (in press) メタコントラストにおける色選択性の一対比較法による解析 *VISION*.
- 22) Maeda K., Yamamoto H., Fukunaga M., Tanaka C., Umeda M., and Ejima Y. (2010) Neural correlates of color-selective metacontrast in human early retinotopic areas. *Journal of Neurophysiology*, 104, 2291-2301.
- 23) 前田青広 (2011) 大脳視覚野の色情報処理機構と色アウェアネスに関する研究—心理物理学的測定法および脳イメージング法による解析—, 京都大学大学院人間・環境学研究科博士論文.
- 24) ジョン・ハリソン (2006) 共感覚—もつとも奇妙な知覚世界 松尾香弥子 訳, 新曜社.
- 25) ダニエル・タメット (2007) ぼくには数字が風景に見える 古屋美登里 訳, 講談社.
- 26) V・S・ラマチャンドラン (2005) 脳のなかの幽霊, ふたたび 見えてきた心のしくみ 山下篤子 (翻訳), 角川書店.
- 27) Weiss PH, Fink GR (2009) Grapheme-colour synaesthetes show increased grey matter volumes of parietal and fusiform cortex. *Brain* 132: 65-70.
- 28) Sakai K., Watanabe E., Onodera Y., Uchida I., Kato H., Yamamoto E., Koizumi H., Miyashita Y. (1995) Functional mapping of the human colour centre with echo-planar magnetic resonance imaging. *Proceedings of the Royal Society, Series B, Biological Sciences*, 261(1360), 89-98.
- 29) 阿津川智洋・福永雅喜・山本洋紀・高橋成子・田中忠蔵・恵飛須俊彦・梅田雅宏・江島義道 (1999) ヒト腹側視覚経路における色知覚形成過程. 信学術報, NC99-21, 69-76.
- 30) ルードウィヒ・ワイトゲンシュタイン (1997) 色彩について 中村 昇 (訳), 瀬嶋貞徳 (訳), 新書館.
- 31) Maloney, L. T. & Brainard, D. H. (2010) Color and material perception: Achievements and challenges. *Journal of Vision*, 10(9): 19).
- 32) 西田真也 (2008) 人間の視覚系による映像情報の処理 映像情報メディア, 62(1), 1-6.
- 33) 本吉勇 (2008) 質感知覚の心理学 心理学評論, 51(2), 235-249.
- 34) 結城昌子 (2005) 原寸美術館 画家の手もとに迫る 小学館.
- 35) 基礎から始めるプロのためのスチルライフライティング 2009, 玄光社.
- 36) Hartung, B., & Kersten, D. (2002) Distinguishing shiny from matte [Abstract]. *Journal of Vision*, 2(7), 551a (<http://vision.psych.umn.edu/users/kersten/kersten-lab/demos/MatteOrShiny.html>).
- 37) S. Nishida and M. Shinya (1998) "Use of Image-Based Information in Judgments of Surface-Reflectance Properties", *J Opt Soc Am a Opt Image Sci Vis*, 15, 2951-65.
- 38) I. Motoyoshi, S. Nishida, L. Sharan and E. H. Adelson (2007) "Image Statistics and the Perception of Surface Qualities", *Nature*, 447, 206-9.
- 39) Cant JS, Goodale MA (2007) Attention to form or surface properties modulates different regions of human occipitotemporal cortex. *Cereb Cortex* 17: 713-731.
- 40) Cant, J.S., Arnott, S.R. & Goodale, M.A. (2009) fMRI-adaptation reveals separate processing regions for the perception of form and texture in the human ventral stream. *Exp. Brain Res.*, 192, 391-405.
- 41) C. Hiramatsu, N. Goda, H. Komatsu (2010) Shift from physical to perceptual representation of materials along human ventral visual cortex. *Neuroscience Research*, Volume 68, Supplement 1, Page e266.
- 42) A. Nishio, N. Goda, H. Komatsu (2010) Selectivity of neurons in the monkey inferior temporal cortex to glossiness. *Neuroscience Research*, Volume 68, Supplement 1, Page e268.
- 43) 山本洋紀・山城博幸・川島康裕・市村好克・村瀬智一・梅田雅宏・樋口敏宏 (2010) カラー印刷物知覚時のヒト視覚野におけるfMRI応答, 日本視覚学会 2010年夏季大会, 2010/8/2, 横浜.

山本洋紀 (やまもと ひろき)

1990年, 京都大学農学部農業工学科卒業, (株)山武ハネウエル, 京都大学大学院人間・環境学研究科博士課程, 日本学術振興会特別研究員を経て, 現在, 京都大学大学院人間・環境学研究科助教. 専門分野は視覚科学. 心理学的手法と脳機能イメージングを用いて人の視覚情報処理の研究を行っている.

