

1 質感の科学への展望

小松英彦[†]

キーワード 質感, 素材, 表面反射特性, 知覚, 脳情報処理

1 ま え が き

1.1 「質感」の定義

最初に「質感」という言葉の定義について述べておきたい。それはこの言葉がさまざまな場面で使われており、必ずしも同じ意味で使われていないからである。「質感」を広辞苑で引くと、①材料の性質の違いから受ける感じ、②その材料が本来もっている感じ、という二つの意味が書かれている。つまり物を作る材料あるいは素材の性質と、それによって生じる印象が「質感」であるという定義である。私が質感という言葉で意味している内容もほぼそれに近いものと考えていただいて良い。つまり「素材」がキーワードである。ただし物から受ける印象は素材だけでなく、その加工の仕方、特に表面加工の状態に大きく影響される。例えば同じ石の素材でも、磨き上げた石とざらざらの表面とでは受ける感じは非常に変わる。だから質感という言葉で「物体の素材や表面の状態の違いから受ける感じ」と定義して使うことにしたい。私たちは日常的にさまざまな感覚を通して入ってくる外界の事物の情報から、それらの事物の質感を認知している。そのような質感認知の機能は、上の定義から「視覚や聴覚や触覚の刺激から物体の素材や表面の状態を推定する機能」と位置づけることができる。このような質感認知の機能は、感覚入力を通して物が何でできているかを知るといふ、人間や動物の外界認識の基本的な働きの一つであると考えられる。また単に入ってくる情報を受け止めるだけでなく、われわれはそのような情報を行動に利用している。例えば、物体の表面がつるつるして滑りやすいことを視覚入力から判断して、しっかり滑らないように物体を把持するのもその一例である。

一方、質感認知のもう一つの重要な側面は、嗜好や情動と密接に関わっていることである。例えば、食品の鮮度を判断して熟れておいしそうな果物と判断したり、肉の色が悪くて古くなっていると判断する。また、漆器の持つ美し

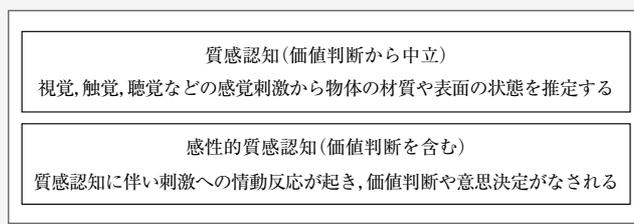


図1 質感認知と感性的質感認知

い光沢や陶器の釉薬が作る微妙な色合いは、素材や表面の状態の判断が快・不快の情動を生み出し、その物の価値判断や意思決定にまで影響することを示している。このような側面も、質感認知に関わる重要な機能と考えられる。最初に定義した質感および質感認知という言葉が価値判断からは中立な情報処理を指すのに対し、このような嗜好や情動、価値判断と関係する部分を「感性的質感認知」と呼ぶことにしよう。

1.2 「質感認知」と「感性的質感認知」

価値判断に中立な意味での「質感認知」と、価値判断と密接に関わる「感性的質感認知」を区別しておくことは、議論の混乱を避ける上でも、また、情報処理のメカニズムを考えていく上でも重要である(図1)。両者の区別をディスプレイを例にしてあげてみよう。画像呈示用ディスプレイの高度化は、高解像度化・高ダイナミックレンジ化を目指して進められてきた。また近年は、多原色ディスプレイの開発も進められている。確かにハイビジョンに移行して、より鮮明な画像を楽しむことが可能になった。高解像度・高ダイナミックレンジの画像は、感性的質感認知においては従来より高い価値判断を生み出すことが期待され、ディスプレイの高度化と感性評価への影響の関係が検討されている¹⁾。一方、素材の認識や表面特性の判断という質感認知の基本的な部分に関して、高解像度化・高ダイナミックレンジ化がどのように影響するかは、価値判断とは別の客観的な指標で検討されるべき問題である。例えばFerwerdaたちは、正確に光線を追跡して作成した映り込みを持つ物体画像と、周辺のシーンを単にテクスチャマッピングしただけの環境マップとよばれる方法でレンダリングした物体画像の間で、光沢の印象があまり変わらないことを例にあ

[†]自然科学研究機構 生理学研究所

"A Perspective Toward the Science of Shitsukan: Perception of material and surface quality" by Hidehiko Komatsu (National Institute for Physiological Sciences, Okazaki)

げて、画像の違いがヒトの認知判断に生じる違いの尺度を、Functional Difference Predictor (FDP)と呼んで、ヒトが画像自体の違いを認識する尺度であるVisible Difference Predictor (VDP)と区別すべきであることを提唱している²⁾。ここで彼らは画像のレンダリング方法の違いを問題にしているのであるが、画像の解像度やダイナミックレンジの効果についても、同様な視点から分析していくことが、質感認知との関係を問題にする上では重要であると思われる。そのような分析は、ヒトの質感認知の特性を生かした新しい画像圧縮技術にもつながっていくことが期待される。

2 質感についての研究の発展

2.1 心理物理学と工学分野での発展

ここ数年、質感についての研究が目につくようになった。例えば、視覚の心理物理学分野の重要な国際学術誌であるJournal of Visionは、2004年と2010年の2回、質感認知に関係する特集号を組んでいる³⁾。心理物理学分野では、それまでは明るさや色の恒常性の問題について多くの研究がなされてきた。それらの研究の大部分は、一様な色や明るさの艶消しの色紙がさまざまな照明条件や周辺の刺激との関係でどのように見えが変化するか、ということの問題にしていた。しかし近年、そのような実験室的に単純化された条件ではなく、より複雑で日常的な3次元シーンにおかれたさまざまな表面反射特性を持つ物体の見えについての関心が増大した。そのような状況が生じた背景はいろいろ考えられるが、研究面ではまず心理物理学において先行する研究の蓄積が、より複雑な問題へ関心を向かわせたことが挙げられる。またそれに並行するように、複雑な刺激を比較的容易に作成することが可能なコンピュータグラフィックス (CG) のプラットフォームが整えられてきたことが挙げられる。複雑なシーンや反射特性における光線の振る舞いの再現を可能にするCGアルゴリズムの開発は1980年代からさかんに行われてきたが、近年のパーソナルコンピュータの処理能力の向上やグラフィックス用ハードウェアの進歩が、複雑でコントロールされた刺激の作成を容易なものとして、複雑な光線の振る舞いを扱う研究の発展を促進したと考えられる。また高度なCGを作成するためには、描画対象である物体をどのようにモデルとして準備して、微妙な質感の表現を可能にするかという観点からの研究が必要であるが、コンピュータビジョンの分野でそのような研究が進められた。同時に忘れてはならないことは、明るさや色の恒常性に関して心理物理実験研究とともに計算論的な研究が進められ、そこでの問題の定式化が、より複雑な問題へのアプローチにも適用されるようになったことであろう。この点に関しても、コンピュータビジョンの分野での研究の発展が密接に関係していると考えられる。コンピュータビジョンの分野では、画像をもとにその原因となる物体の幾何形状、反射特性、光源分布を推定する研究が、インバースレンダリングの名の下に1990年代後半から活発に進められた⁴⁾。また2008年と2011年には、心理物

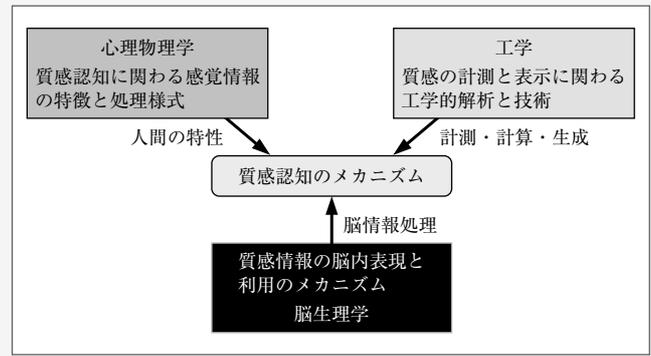


図2 質感認知の理解に必要な分野間連携

理学分野の研究者を中心として、コンピュータビジョンの研究者や脳科学者が参加した質感認知に係る学際的なワークショップも行われている⁵⁾。

2.2 分野横断的な連携の必要性

脳科学の分野では、工学や心理物理学に比べて質感そのものに関する研究は遅れていた。しかし、動物実験による単一ニューロンレベルでの精緻な実験により、物体認識に関わる脳内情報処理についての知見が蓄積するとともに、機能的磁気共鳴画像法 (functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI法) によるヒトの脳活動研究の飛躍的な発展により、複雑な質感認知の仕組みにアプローチする環境は整ったと思われる。そのような状況の中で、質感認知に係る興味深い研究が現れつつある現状である。

そのような現状を踏まえて、国内で質感認知に関連した研究を行っている異分野の研究者が連携して、質感認知および感性的質感認知の研究を進めるプロジェクトが平成22年度に始まっている。文部科学省の科学研究費補助金新学術領域研究の「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」(略称: 質感脳情報学)である⁶⁾。工学、心理物理学、脳生理学の研究者が協力して、それぞれの分野単独では困難な研究の発展を可能にして、この分野で世界をリードすることを目指している(図2)。

以下では、視覚における質感認知の研究が対象としている基本的な問題である素材の認知と表面特性の認知の問題について概観したい。

3 素材の認知

3.1 テクスチャの識別

われわれは物の写真を見ただけで、それがどのような素材でできているか、金属か、ガラスか、木か、石か、革か、といったことを実にかつ正確に判断できる。なぜそのようなことができるのか、という問題は質感認知研究が対象とする一つの基本的な問題である。異なる素材は特有の光学的特性を持ち、特有の仕方で光を反射したり透過したりする。その結果網膜画像に何らかの特徴が生じると考えられる。また、素材の多くは樹皮や皮革や布のように表面に固有の3次元構造を持ち、それによって素材固有の陰影テクスチャが生じる。また、複雑な組成を持つ石や粗密

のある構造を持つ木目のように、素材固有の模様の特キスチャを持つ場合もある。表面反射特性については次項で論ずることとして、このようなテクスチャの識別がどのように行われているかを考えてみよう。

テクスチャ識別の仕組みについては、Juleszによってテクスチャを構成する画像要素の統計的な性質の観点からの分析が1960年代から始められている。またJuleszは、テクスチャ識別が視覚情報処理の早い段階で、選択的な注意によって画面を精査する以前の前注意過程の段階ですでに起こることを示した。自然素材の画像に関しても、40msという短時間呈示でも対象とする素材が呈示されたかどうか、チャンスレベルより有意に高い成績で答えられることが示されており⁷⁾、視覚神経系のかなり早い段階の処理が重要であることが示唆される。

3.2 合成による分析

Juleszが用いたテクスチャ刺激は人工的なテクスチャであったが、その後、自然な素材のテクスチャの識別にも関心が向けられるようになった。しかし、自然な素材の持つテクスチャには、非常に多くの画像パラメータが関わることもあり、識別に関係する統計量の同定は十分に成功しているとは言えないようである。近年機械学習の方法を用いて、一般物体認識の分野で成功を収めているさまざまな画像特徴の組合せにより、自然な素材カテゴリーの識別を行う研究が行われており、興味深い方向として注目される⁸⁾。一方、これとは逆のテクスチャ合成の方向については、さまざまなテクスチャ合成アルゴリズムの開発が進められ、自然素材の画像と極めて良く似たテクスチャ画像を人工的に作り出す試みが成功を収めている。それらのアルゴリズムにはヒトの視覚神経系の処理にヒントを得たものも含まれているが、PortillaとSimoncelliのアルゴリズムもその一つである⁹⁾。彼らのアルゴリズムは、複数の方位と空間スケールを持つ線形なフィルタで画像を分解した後、それらのフィルタの出力から得られる統計量を再現するようにテクスチャを合成することによって、リアルな素材テクスチャの合成に成功している。後でも少し触れるが、このようなテクスチャ合成の研究から、逆に脳内でのテクスチャ画像の処理にヒントが得られる可能性がある。これらのテクスチャ合成の研究や識別の心理物理実験では、テクスチャ画像データベースが重要な役割を果たす。次項で触れる反射特性についてもあてはまることであるが、そのようなデータベースは、欧米の研究者あるいは研究グループが構築してネット上に公開して世界的に利用されているものが多い¹⁰⁾。情報の共有によってお互いの研究の発展につなげることは、質感研究だけの問題ではないが、日本の研究者がもっと注意を向けるべき問題であるように思われる。

3.3 素材識別に関わる脳内処理

素材の識別に関わる脳活動を調べる研究が最近いくつか行われている。目から入った視覚情報は、大脳皮質の最も後部に位置する第1次視覚野(V1)に伝わり、V1で処理された後二つの異なる経路で前方の視覚領野に伝えられる¹¹⁾

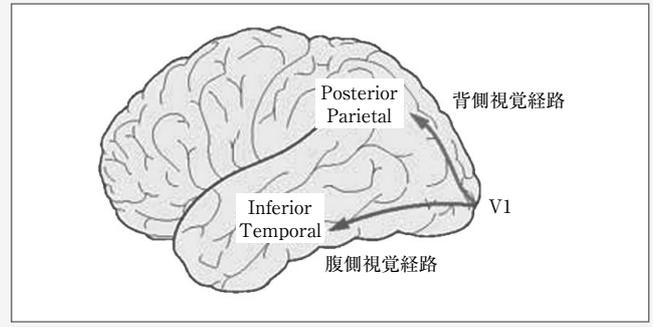


図3 ヒトの大脳における視覚経路

(図3)。これらのうち背側視覚経路は視覚情報を頭頂葉に送り、空間知覚や物体の操作に関係する処理を行う。一方、腹側視覚経路は視覚情報を下部側頭葉に送り、物体認識に関係する処理を行う。ヒトのfMRI実験の結果は共通して腹側視覚経路において素材の識別に関係した活動が見られることを示している。最近、V1と腹側高次視覚野のそれぞれにおいて素材の識別に関わるどのような情報が表現されているかを比較した研究では、V1の活動は、素材による低次画像特徴の差を反映しているのに対し、腹側高次視覚野の活動は、素材の知覚的な印象の違い(例えば光沢の有無、透明感、規則性など)を反映していることが示されている¹²⁾。興味深いことに素材の硬さや温かさといった非視覚的な印象の違いも反映しており、感覚種を超えたマルチモーダルな質感が脳内でどのように形成されているかについても少しずつ手掛かりが得られ始めている。サルを用いた脳生理学の研究においても、素材の違いを反映した活動がやはり腹側視覚経路の高次領野である下側頭皮質で報告されており¹³⁾、ヒトと一致した結果である。

V1で個々の神経細胞が取出す情報は、ごく限られた視野の領域に含まれる画像の局所的な方位や空間周波数、あるいは色や輝度の情報である。V1以降いくつかの段階を経て、腹側高次領野に伝えられる過程で、それらの低次画像特徴が空間的に統合されることによって、より複雑な特徴が検出されて素材の識別が可能になり、最終的には知覚的な印象の形成につながると考えられる。その過程でどのような神経情報処理が行われているのかという問題は、素材識別の仕組みを理解する鍵になる重要な問題である。そのような方向の研究も始まっている。最近の研究では、V1の神経細胞の活動は局所の方位と空間周波数だけで説明できるのに対し、その次の段階であるV2野の神経細胞の活動は、局所の方位と空間周波数に加えて上で触れたPortillaとSimoncelliがテクスチャ合成に用いた統計量も合わせて使った刺激に対して、より強い応答を示した¹⁴⁾。このことは素材のもつテクスチャの識別に関わる処理がこの段階で始まっていることを示唆している。

4 表面反射特性の推定

4.1 表面反射特性とは

反射率の推定は、視覚心理物理の分野ではこれまで明る

さ知覚との関係(lightnessの推定)および色恒常性のメカニズムの研究として多くの研究が行われてきた。これらの研究では、刺激は一様なつや消しの色紙をさまざまな照明環境やあるいは色や明るさの異なる色紙を回りに配置したり、あるいは、異なる3次元的なシーンの構造においた時にどのように見えが変化するか、という形で調べられてきた。しかしリアルなシーンでは、一様なつや消しの色紙よりずっと多様な反射特性を持った表面が存在し、われわれはシーンの画像からその中に含まれる表面がどのような反射特性をもっているかを推定して知覚している。なぜそのようなことができるのか、という問題は視覚質感認知研究が対象とするもう一つの基本的な問題である。

この問題に入る前にそもそも反射特性とは何で、どのように表すことができるかを考える必要がある。物体表面の光の反射特性を記述する一般的な方法は、双方向反射率分布関数(BRDF: Bidirectional Reflectance Distribution Function)を用いることである¹⁵⁾。BRDFは、ある物体表面の点にあらゆる方向から入射する光強度(放射輝度)と、あらゆる方向に反射する光強度の組合せを表現する関数であり、6次元の関数になる。BRDFでは、入った光は同じ点から出て行くという前提で、光の入射と反射の関係を記述するという簡単化がなされているが、多くの素材においてかなり正確に反射特性を記述できるため、広く用いられている。さまざまな素材がどのようなBRDFを持つかは、反射特性の性質を知る上で基本的な重要性を持つとともに、照明環境と形状を与えれば、リアルなCG画像の作成が可能になる。

4.2 表面反射特性の推定

さて画像から物体の表面反射特性をどのようにしてわれわれが知覚しているかという問題を考えるためには、まず物体の網膜画像が形成される過程をおさえておくことが必要である。この過程に関わる物理的な要因は、物体の幾何形状(3次元形状)と、物体の表面反射特性と照明環境(光源分布)の三つである(図4)。これらの要因が相互作用して、物体表面から反射される光線のパターンが決まり、目に入った光線により網膜像が形成される。網膜像の情報が脳内の視覚神経系で処理されることによって、最終的に質感の知覚が生じる訳である。三つの物理的要因のうち、特に質感に密接に関わるのは表面反射特性である。質感認知のプロセスでは、網膜画像に入り混じった物体の幾何形状と反射特性と照明環境の要因から、反射特性の情報を推定しているということになる。これは原理的には解が一意に決まらない逆問題を解くことになるが、われわれは何かうまい仕組みでそれをやり遂げているらしい。どうしてそのような表面反射特性の推定ができるのか、あるいはそもそも本当に表面反射特性をどの程度正確にわれわれは推定しているのか、ということが問題になる。

そもそも表面反射特性を正確に推定しているのかということについては、幾何形状と反射特性が共に未知の場合にはヒトは両者を正しく分離することはできず、物体表面の

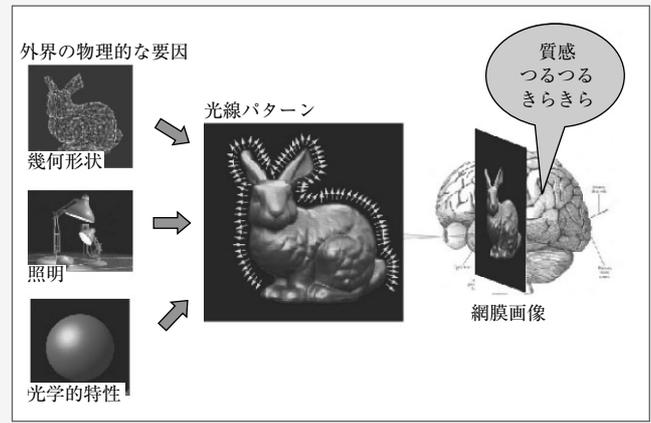


図4 網膜像形成に関わる三つの物理的要因

光沢感は輝度ヒストグラムに依存するということが報告されている¹⁶⁾。またその後の研究で、輝度ヒストグラムの3次統計量である歪度(Skewness)が、光沢知覚に重要であることも報告されている。一方、光沢知覚と物体の3次元形状の推定は密接に関係しているという報告もある¹⁷⁾。光沢知覚には、物体表面のハイライトが重要であることは古くから認識されているが、ハイライトのつき方は物体の3次元形状と密接に関係しており、物体表面の曲率が低い方向に沿ってつく傾向がある。これと矛盾した場所にハイライトを人工的に移動させた場合には、物体の光沢感が著しく低下する¹⁸⁾。このことは、表面反射特性の推定と物体の3次元形状の推定の間に相互依存性が存在することを示している。

4.3 インバースレンダリングとヒトの知覚

一方、工学分野では、画像をもとにその原因となる物体の幾何形状、反射特性、光源分布を推定する研究が、上で述べたインバースレンダリングの名のもとに研究されてきた。すべての要因が未知では解けないので、このうちの二つを既知として残りの一つを推定する形で多くの研究が行われ、さまざまな状況に対応した手法が開発されてきた。しかし近年、物体の形状のみが既知の条件で未知の照明環境下での単一の画像から、自然な照明環境の基底表現とさまざまなBRDFの基底表現を用いることで、物体のBRDFを精度よく推定できることが報告されている¹⁹⁾。ここで興味深いことは、単に最も画像を良く説明できる照明を推定するというやり方ではなく、自然な照明環境の性質についての情報とその分布を推定に用いていることである。もし物体表面が完全な鏡面であり、照明環境が写り込みそのままの複雑なパターンであると仮定すれば、画像を最も良く説明できることになる。しかし、このやり方では例えばぼやけた輪郭からなる照明環境といったものを仮定したり、画像ごとに性質の異なる照明環境を仮定するなど、一般にはありえない仮定をおくことが必要になる。自然な照明環境の性質を推定に用いることは、そのような不自然な仮定を除外できるとともに、反射特性の推定を可能にしている。ぼやけた光沢の画像を見た時に、ヒトはシーンがぼやけているとは感じず、物体の表面反射の特性の側に理由がある

と普通は判断するが、そのような知覚の特性とも良く符合している²⁰⁾。また単純な照明環境や不自然な照明環境では、ヒトはうまく表面反射特性を推定できないことが心理物理学的に示されているが、自然な照明環境の特性を計算に取り込むとうまく表面反射特性が推定できることも知覚の特性と一致している。

このようなコンピュータビジョンの分野での研究は、ヒトにおける反射率の推定や、もっと広く画像から形と反射特性と照明環境の情報をどのように取出して知覚しているか、という重要な問題の解明につながるものと思われる。

4.5 表面反射特性の脳内処理

物体の表面反射特性が脳内でどのように取出されているかについてはまだほとんど研究が行われていないが、最近われわれの研究で物体認識に重要な役割を果たすサルの下側頭皮質に、さまざまな光沢に選択的に反応する細胞が存在することがわかってきた²¹⁾。興味深いことに、これらの細胞が存在する場所は、物体の3次元形状を表現する細胞が報告されている場所とも位置的に近い。網膜画像からその原因になる物理的な要因の分離がどのように行われているかという重要な問題の理解が、今後これらの細胞の詳細な解析によって進むことが期待される。

4.6 複雑な光学特性による質感

この節では表面反射特性について触れてきたが、いうまでもなく反射特性は物体の光学的な特性の一つに過ぎない。現実世界でわれわれが遭遇する物体は透過、半透明、散乱、干渉といった他の光学特性についてもさまざまに異なっており、それにより複雑な質感が生み出されている。例えば人の肌はその典型であり、赤ちゃんのつやつやとした美しい肌は皮膚の持つ光の透過特性に依存している。表面反射の特性はBRDFにより定量的に計測できるが、光の透過についての特性は、双方向散乱面反射率分布関数 (BSSRDF: Bidirectional Scattering Surface Reflectance Distribution Function) によって表現される¹⁵⁾。これは光が表面に入る場所と出る場所を含む8次元の関数であり、CG作成においては非常に負荷が高い。しかし、実測されたBSSRDFを用いてレンダリングすることにより、肌のような複雑な質感も高度に再現することが可能である²²⁾。しかしここでもわれわれが網膜画像に含まれるどのような特徴を使って、肌の微妙な質感を見分けているかということが、質感認知を理解する上では重要な問題である。例えば、透明感の知覚に関してMotoyoshiは最近の研究で、物体のハイライト部分のコントラストとそれ以外のシェーディングの部分のコントラストの関係が重要であることを示している²³⁾。複雑な光学特性を持つ素材や物は、これ以外にもいろいろ考えることができる。また、金属がさびていく過程、食品が変質していく過程、粘性を持つ流体の動きなど、時間変化を伴う質感もさまざま考えることができる。しかしそれらのどの場合においても基本的な考え方の枠組みは同じであり、それらの現象に関わる物理的な特性の理解と、画像レベルでの特徴の理解の両方の側面から攻めていくことが、

質感認知の仕組みの理解への王道であると考えられるべきであろう。

質感認知についてももう一つの重要な問題は経験依存性の問題である。例えば、真珠は独特の質感を持つが、これには真珠内部が多層薄膜の構造を持ちそこで光の干渉が生じて独特の色パターンを生じることが関係しているとされる。中内らは、真珠のもつ微妙な干渉色を鑑定の専門家がどのような画像特徴によって見分けて真珠の品位の判定を行っているかを分析した²⁴⁾。その結果、特定の特徴が関係していることを示し、この特徴を自動的に識別する機械の実用化も行われている。工芸品や食品、あるいは医療診断などさまざまな分野において、訓練を受け経験を積んだ専門家は特定の質感を鋭く見分ける能力をもつが、このような研究は識別の対象となる特徴が何であるかを明らかにすることによって、訓練や学習がその特徴の識別にどのように影響するかを客観的に明らかにできる可能性があり、質感認知研究の一つの重要な方向を示すものである。

5 自然科学としての質感研究

5.1 質感の科学を構成する四つのレベル

質感認知および感性的質感認知の研究は、上で述べたようにきわめて学際性の高い分野である。しかし関係する分野を問わず必要とされることは、データの測定や評価における客観性と再現性である。その意味で、われわれが目指すべき質感認知の研究は、客観的な科学の新しい分野であり、「質感の科学」とよぶべきものである。この小論では、価値判断に中立な意味での質感認知の問題を主にとりあげた。しかし最初に述べたように、情動反応や価値判断を含む感性的質感認知の問題も、これらに劣らず重要な問題である。感性的質感認知を対象として研究を行う場合も、客観的な指標ととらえられるように方法論を工夫することが重要であり、それにより質感の科学の一つの領域として取り扱うことが可能になる。

質感の科学では常に四つの異なるレベルの関係をとりえていくという視点が重要である(図5)。質感認知は心理的な現象として起こるが、それを理解するためには、物理的なプロセスの理解と脳情報処理の理解が切り離せない。四つのレベルの第1は素材固有の物性や物体表面の状態という物理的な特性を扱うレベルである。物体から反射する光線のパターンはこのレベルによって決まる。第2のレベルは外界から生体に入った情報がセンサで受け取られて生じ

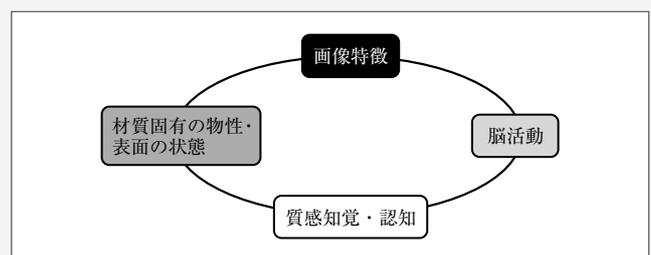


図5 質感の科学が問題にすべき四つのレベル

る感覚情報のレベルである。視覚の場合は、物体から反射した光線は目のレンズで網膜に結像して網膜画像を作る。網膜画像の中に質感を生み出す情報が埋め込まれている訳だが、生体は隠れた情報から質感に関わる特徴を取出して解読していく。これが第3の脳の活動のレベルである。脳の活動によって読み出された情報が最終的に質感の知覚や認知を生じる。これが第4のレベルであり、心理物理学的に測定される内容はこのレベルにあたる。これら四つのレベルはお互いに密接に関係しており、その関係を意識することは重要である。触覚や聴覚など他の感覚の関わる質感についても同様に、四つのレベルの関係として考えるべきであることは言うまでもない。

5.2 四つのレベルの相互依存性

これら四つのレベルのそれぞれを結ぶ線を引くことができる。そのそれぞれの線は、二つのレベルの関係を対象にした研究ということになる。それぞれの関係は独自の問題を抱えているので、個別の研究分野で研究が進められてきた。例えば、物理的な特性のレベルからどのように画像が生成されるかという問題は、コンピュータグラフィックスやコンピュータシミュレーションフォトグラフィの分野が対象としているし、逆に画像から物理特性を推定する問題は、コンピュータビジョンが対象としている。また、網膜画像から生じる知覚の特性やその生成の神経メカニズムは心理物理学や脳生理学が対象としている。しかしそれらの分野の研究は、工学分野の研究が生み出す技術や理論的解析の結果を利用することで新しい発展が可能になる。また工学分野が取り扱う質感は、結局ヒトの持つ機能を対象にしている以上、ヒトの情報処理についての事実をよりどころにせざるを得ない。そのため、これら四つのレベルをつなぐ研究分野は、本質的に相互依存的な構造を持っていると考えるべきである。

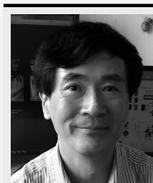
6 む す び

質感を対象として研究を行う動機の基本にあるのは、世界を構成するさまざまな事物の持つ多様な質感が、われわれの心を豊かにしてくれることにある。質感認知の仕組みの解明に取り組むことによって、そのような豊かさの源泉に少しでも迫ることができることを私は期待している。そのような研究が、質感に関わる産業や工芸や芸術などの分野の活動ともつながっていき精神的に豊かな社会を作っていくことに貢献できることを願っている。(2012年1月27日受付)

〔文 献〕

- 1) 高質感映像に関する調査研究報告書, 日本機械工業連合会 (2008)
- 2) J. Ferwerda and F. Pellacini: "Functional difference predictors (FDPs): Measuring meaningful image differences", Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 1388-1392 (2003)
- 3) J Vision special issue: "Perception of color and material properties in complex scenes" ed. By H. Brainard and L.T. Maloney, 4, 9 (2004), および, J Vision special issue: "Perception of color and material in complex scenes" ed. By L.T. Maloney and H. Brainard, 10, 9 (2010)

- 4) 佐藤洋一, 向川康博: "インパースレンダリング", 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), 91, 65-76, (2004), <http://www.mtl.t.u-tokyo.ac.jp/~katsu-t/ssii05-ysato.pdf>
- 5) Perception of Material Properties in 3D scenes Workshop, Philadelphia, USA, 2008年10月17-19日, <http://color.psych.upenn.edu/workshop08/>, および, Perception of Material Properties Workshop, Giesen Germany, 2011年6月, <http://www.allpsych.uni-giessen.de/matprop/>
- 6) 新学術領域研究質感脳情報学領域ホームページ, <http://shitsukan.jp/>
- 7) L. Sharan, R. Rosenholtz and E. Adelson: "Material perception: What can you see in a brief glance?", J. Vision, 9, 8, 784 (2009)
- 8) C. Liu, L. Sharan, E.H. Adelson and R. Rosenholtz: "Exploring features in a bayesian framework for material recognition", CVPR2010 (2010)
- 9) J. Protilla and E.P. Simoncelli: "A parametric texture model based on joint statistics of complex wavelet coefficients", Int. J. Comp. Vision, 40, 49-71 (2000)
- 10) 素材画像データベースの例, Brodatz Textures, <http://www.ux.uis.no/~tranden/brodatz.html>, Flickr Material Database, <http://people.csail.mit.edu/celiu/CVPR2010/FMD/>, BRDFデータベースの例, CURET Database, <http://www.cs.columbia.edu/CAVE/software/curet/>, MERL BRDF Database, <http://www.merl.com/brdf/>
- 11) 大脳皮質視覚野における情報処理の概説, <http://www.nips.ac.jp/scinfo/kaisetsu.htm>
- 12) C. Hiramatsu, N. Goda and H. Komatsu: "Transformation from image-based to perceptual representation of materials along the human ventral visual pathway", NeuroImage, 57, 482-494 (2011)
- 13) K. Koteles et. al: "Coding of images of materials by macaque inferior temporal cortical neurons", Eur. J. Neurosci, 27, 466-482 (2008)
- 14) C.M. Ziemba, J. Freeman, J.A. Movshon and E.P. Simoncelli: "Sensitivity to naturalistic texture differentiates V1 and V2", Society for Neuroscience Meeting (2011)
- 15) H.W. Jensen著, 苗村健一訳: "フォトンマッピング-写真に迫るコンピュータグラフィックス", Ohmsha (2002)
- 16) S. Nishida and M. Shinya: "Use of image-based information in judgments of surface-reflectance properties", J. Opt. Soc. America A, 15, 2951-2965 (1998)
- 17) I. Motoyoshi, S. Nishida, L. Sharan and E.H. Adelson: "Image statistics and the perception of surface qualities", Nature, 447, 206-209 (2007)
- 18) J.T. Todd, J.F. Norman and E. Mingolla: "Lightness constancy in the presence of specular highlights. Psychological Science", 15, 33-39 (2004)
- 19) F. Romeiro and T. Zickler: "Blind Reflectometry", ECCV2010 (2010)
- 20) R.W. Fleming, R.O. Dror and E.H. Adelson: "Real-world illumination and the perception of surface reflectance properties", J. Vision, 3, 347-368 (2003)
- 21) A. Nishio, N. Goda and H. Komatsu: "Neural selectivity and representation of gloss in the monkey inferior temporal cortex", Society for Neuroscience Meeting (2011)
- 22) T. Weyrich et al: "Analysis of human faces Using a measurement-based skin reflectance model", SIGGRAPH2006 (2006)
- 23) I. Motoyoshi: "Highlight-shading relationship as a cue for the perception of translucent and transparent materials", J. Vision 10, 9, 6, 1-11 (2010)
- 24) 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", Optics & Photonics Japan 2010, pp.498-499 (2010)



こまつ ひでひろ
小松 英彦 1976年, 静岡大学理学部物理学科卒業, 1982年, 大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了(生物工学), 1982年~1988年, 弘前大学医学部第二生理学講座助手, 1985年~1988年, 米国国立衛生研究所 Visiting Associate, 1988年~1995年, 工業技術院電子技術総合研究所脳機能研究室主任研究官, 1995年, 生理学研究所教授, 総合研究大学院大学生命科学研究科教授(併任)となり, 現在に至る。工学博士。