研究紹介 B01 質感認知に関わる感覚情報の特長と処理様式 計画研究

計画研究 B01-1

# 質感認知に関わる視聴触覚情報の心理物理的分析

研究代表者 西田 眞也 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所・ 上席特別研究員)

研究分担者 内川 惠二 (東京工業大学大学院総合理工学研究科・教授)

本吉 勇 (東京大学大学院総合文化研究科・准教授)

藤崎 和香 (産業技術総合研究所・主任研究員)









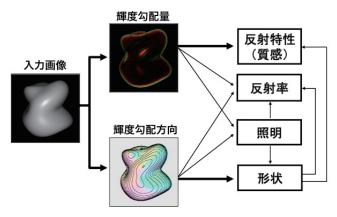


図1:表面画像から質感や形状などの成分を推定するスキーム。輝度勾配量の分布から光沢などの質感を推定し、輝度勾配方向の分布から形状を推定する。

#### 〇研究の背景と目的

私たちの班では、人間の質感認識のメカニズムを、 心理物理学的手法を用いて研究してきました。質感 認識とは、物体そのものがもつ性質、すなわち物性 を、視覚や聴覚、触覚から得られる感覚情報を通し て読み取る能力のことをいいます。物体のもつ光学 的な特性が光沢感や透明感などの質感を生み出し、 幾何的な特性が粘性や柔らかさなどの質感を生み出 します。さらに、その物体がどのような材質からで きているかという素材判断も、質感認識です。

一般的な知覚認識の発想からすると、ある質感の認識は、その素になる物理現象(たとえば表面の光の反射特性)のパラメータを、感覚情報を介して推定することと考えることができます。しかし、この物理パラメータは(双方向反射率関数のように)複雑で、その推定に必要な計算も複雑です。正攻法で正確に推定することは理論的にほとんど不可能です。にもかかわらず、われわれ人間が質感を認識できるのはどうしてでしょうか。おそらく、100%妥当性が保証される訳ではないけれど多くの場面で質感に関するだいたいの推論ができるような質感の手がかり

を利用して、比較的簡単な方法で質感を推定している可能性が高いと思います。たとえば、光沢感に関しては、輝度ヒストグラムの歪度を含む単純な画像統計量だけで、人間の光沢知覚をある程度説明できることが分かっています。この考えを押し進めて、質感認識の理解を広げようということに私たちは挑戦してきました。

私たちの班では、代表者の西田が中心となったサブグループが視覚と触覚の質感認識の研究を、分担者の内川のサブグループが色覚に関わる視覚的質感認識の研究を、分担者の本吉のサブグループが空間視に関わる視覚的質感認識の研究を、そして分担者の藤崎のサブグループが質感情報の多感覚統合に関する研究を、それぞれ進めてきました。これらの研究は密接につながっていますが、ここではサブグループごとにその成果を紹介したいと思います。

#### 〇研究成果 (西田)

【光沢感】光沢感の認識の仕組みの解明を深めま した。光沢感は輝度ヒストグラムの歪度などの単純 な画像統計量である程度説明できますが、それに加 えて、ハイライトとシェーディングの位置関係が空 間的に整合していることも重要だと言われています。 この点を分析した結果、光沢に関する空間情報処理 は高次の視覚野で行われる複雑なものであることが 分かりました。また、鏡面反射成分を操作すること で画像の光沢感を変化させても輝度の順序関係はほ とんど変化しないという点に、空間的整合性の本質 があることを指摘しました。さらに、輝度順序に影 響しない輝度勾配量の分布が光学的質感判断の情報 のソースであり、一方、輝度勾配方向が決定する輝 度順序マップが表面形状の情報ソースとなっている という考え方を導きました(図1)。現在、この仮説 の妥当性を検討しています。

【色・輝度相互作用】光沢に関しては輝度情報だけではなく色も影響します。たとえば灰色の物体に赤いハイライトがついていると、自然な光沢感が得られません。これは、ハイライトが照明の色をそのまま反映するという物理的性質を持っているために、

赤いハイライトは赤い照明を意味するはずだけれど、 それは物体本体が無彩色であることとは矛盾すると いうことに関係していると考えられます。このよう な反射光の色の制約を脳が計算するには、輝度と色 を分解して処理するのでは無く、複数の色バンドに 輝度情報を分解して処理するのが良いのでは無いか という仮説を提案しています。

同じ仮説は、ハイダイナミックレンジ画像をローダイナミックレンジの画像にトーンマッピングする際に色の彩度が高く見えすぎるという輝度と色の相互作用を考える上でも有効です。

また、最近、乾いた物体を濡れているように見せるウェットフィルタを開発しましたが、これは輝度のヒストグラムの操作とともに、色の彩度を操作することがポイントになっています。

【液体質感】動きの情報に基づいて液体の質感を認識する仕組みを明らかにしました。一つの研究では、不透明な液体が動いているシーンの動画かりまべクトル場の情報を取りだし、形の情報を取りだし、形の情報を取りだし、形の情報を取りだした。そして、動きいて提示する方法を開発しました。その液体の動きであることが分かりました。さらに、液体の動物があることが分かりは運動速度にある(速いほど粘性が低く感じられる)ことを明らかにしました[8]。ここでも、比較的単純な画像特徴に基づいて、質感がにも形の情報だけから液体の粘性を判断することも分かりました。

別の研究では、透明液体の屈折が生み出す背景パタンの動的な変形だけから、液体感のある透明層が知覚されることを明らかにしました。歪んでいても、それが静止したものだと、あまり透明層に見えません。動いていることが重要なのです。また、動的な変形が透明液体に知覚されるためには、液体が物理的に作り出す変形と一致する必要はありません。特

定の時空間周波数帯にランダムな変調があるだけで、 人間は液体を見てしまうことが分かりました。

この透明液体の研究成果を利用すると、簡単なアルゴリズムで人間に液体らしく見える映像を生成することができます。デジタル処理で画像を歪めることは簡単にできますし、最近私たちが開発した「変幻灯」を利用すると、現実世界にある静止画像を動的に歪まして、液体質感を与えることができます(図2)。これは、プロジェクションマッピングを利用した手法で、静止画像の動き映像の輝度の運動成の感覚を生み出します。多少のずれがあっても動きの情報を色や形の情報と統合してしまう人間の視覚系の付組みを応用した方法です。「変幻灯」は、質感脳情報を色や形の情報と統合してしまう人間の視覚系の情報を色や形の情報と統合してしまう人間の視覚系の情報を色や形の情報と流です。「変幻灯」は、質感脳情報が最よいる研究を流です。「変幻灯」は、質感脳情報が最大端の知識に接することではじめて実現した革新的な技術開発です。

【触覚】触覚的な質感に関しては、指先の振動を符合化する機械受容器の出力が、異種受容器間や別の身体部位間で、どのように比較され、どのように統合されるのかを研究しています。また、温度感覚に関しては、赤いものは温かく青いものは冷たいという常識を覆して、赤いものに触ったときの方が青い物に触ったときよりも温かいと言いにくい、ということを発見しました[6]。

#### 〇研究成果 (内川)

【色の恒常性】私たち人間は、物の色や質感を照明環境によらず安定して見ることができます。たとえば、黒い紙を薄暗い室内から晴天の屋外に持ち出すと、紙から眼に入る反射光の強さは10<sup>8</sup>~10<sup>10</sup>倍にもなりますが、黒い紙は黒く見え、白色や発光する材質には見えません。また照明光の色がある程度変わっても、物の材質や色は同じように見ることができます。これは、人の視覚システムに、照明光の影響を差し引いて安定した色や質感の見えを実現する

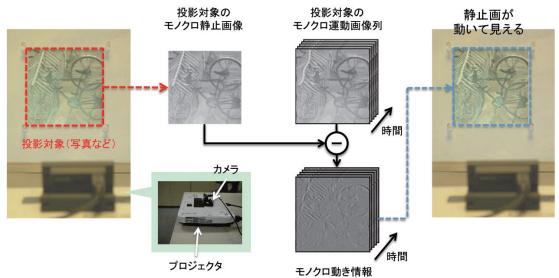


図2:変幻灯システム。静止画をカメラで撮影し、動き成分を計算して投影すると動いて見える。

しくみ(色や明るさの恒常性)が備わっているためです。物体からの反射光が示す色度と輝度の分布範囲の物理的制限(オプティマルカラー)が照明光ごとに異なることに着目して、この適用により、精度の高い色恒常性における照明光推定モデル実現を目指しています。

研究期間中に、(1) 色や明るさの見えを調べる心理物理実験、(2) 照明光推定モデルの作成(3) モデルの評価を実施しました[3]。実験では、色や明るさの見えがオプティマルカラーの分布に基づき知覚されていることを示す結果が得られました。また、モデルの作成では、シーンの色度輝度の情報とオプティマルカラーの差分を指標として照明光を推定する手法を提案しました。更にその評価として、実験結果とモデルによる予測値との相関を求めたところ、従来法と比較して照明色の推定は同程度、照明強度の推定は上回る優れた予測結果が得られました(図3)。

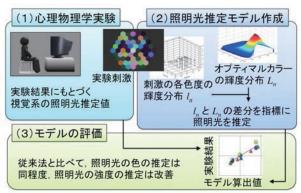


図3 物体色知覚の実験結果にもとづく照明光推定モデルの作成とその評価

今後は、より一般的なシーンを用いた実験をおこない、自然風景を含む様々な条件下に適用できるようにモデルの更なる改良、そして人の視覚特性を考慮した自然な色や質感表現のための工学的応用を目指しています。

【金色知覚】金色知覚メカニズムの解明を目指し、金、銀、銅色知覚を生起する色度、明度、光沢度等の条件を詳細に調べました。また金、銀、銅色知覚と光沢感や金属感との関係、および金色知覚と輝度とストグラムの画像統計量との関係を調べました。その結果、金色、銀色知覚は対比光沢度に領域に表れぞれ、高彩度、無彩色、中~高彩度の領知地で最も増加すること、また、明度は金色・銀色知覚に影響しないが、銅色が知覚されるためには低い明度(マンセル明度 4.6 以下)が必要であることが明らかとなりました。さらに、金色知覚は光沢感よりも金属感とより相関することが明らかとなりました。ことを示します。また対比光沢度が10以上の刺激において、金色知覚と金属感は輝度ヒストグ

ラムの標準偏差と相関することが明らかとなりました。この結果は、画像の輝度ヒストグラムの標準偏差が高い事が金色知覚の要因の1つである可能性を示します。

【ハイパースペクトルディスプレイ】多くの色覚の研究者が、分光情報を再現できるディスプレイを手に入れたい、と夢見ていると思います。ハイパースペクトルディスプレイ(HSD)は「色」という心理物理的な難しい性質を考えずに元の色を再現できる、と言う意味で「簡単」で「完璧」なディスプレイです。具体的な効果としては、個人間で異なる色覚特性を考慮しなくても正確な色再現ができること、さらにどんな色でも再現できる、ということが挙げられます。

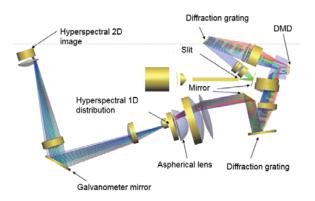


図4 ハイパースペクトルディスプレイのバージョン1の光学系。偏心を多用した光学系であった。バージョン2では偏心光学系を用いず、また2台あった分光素子を1台にした。

HSD のアイデアの元となったプログラマブル光源 は、分光器に空間変調素子(つまりディスプレイパ ネル)を組み合わせた装置で、分光された光を波長 ごとに強度を変化させた後、再合成して思い通りの 分光分布を作る「光源」です。しかし、このままで は一種類の分光分布しか作れず「ディスプレイ」に はなりません。単にラスタースキャンをしたのでは、 技術的に実現不可能な超高速空間変調素子が必要と なってしまいます。そこで、分光器と空間変調素子 の光学的構造に着目して、プログラマブル光源では 使っていなかったもう一つの空間次元を活用し、ア レイ状のスペクトル分布を一気に作ってしまうこと にしました。走査は2次元ラスターでなく1次元に なりますので、この走査系に負担のかからない方法 により、2次元画像を構築できることが分かり、装 置の試作を行いました[1] (図4)。

実際の光学系を製作した(㈱トプコンの努力もあって  $HSD(ver\ 2)$ では、32 原色で、画素数 120 x 160、リフレッシュレート 48 画像/秒での表示が可能になりました。白色での最高輝度は90 cd/m² となり、色覚の研究や工業的な評価などでは実用的と言えるディスプレイが完成しました。

#### 〇研究成果 (本吉)

【ものの質感】食べ物や人の肌などの表面がもつ 半透明感をもたらす原因となる画像の特徴を分析し、 ハイライトと陰影のあいだのコントラストやボケの 不一致が重要な手がかりであることを明らかにしま した。同様に、さまざまな色の透明層をもつ多重表 面の知覚も分析しました。

物体の表面反射率の知覚は、全体的な照明の強さが変わっても一定であるが、コントラストなど照明の構造が変わると激変することを見出しました(質感の非恒常性)。この結果は物体の画像のサブバンド・ヒストグラムの変化から正確に予測され、質感知覚における画像統計量の重要性を支持しています[4]。

公募班の山口真美研究室と共同で、乳児を対象とした実験により、光沢を見わける能力は生後 6-8 ヶ月齢ころに発達することを明らかにしました[2]。また、この能力が獲得される以前の 3-4 ヶ月齢の乳児はハイライトの違いなど大人が知覚しない瑣末な画像の差異を知覚することを見出しました。

【物体残効】特定の質感や凹凸や形をもつ物体の 画像に順応すると、その後に観察する物体の質感や 形、カテゴリーが大きく変わって見える新錯視を発 見しました。この物体残効を分析することにより、 三次元の形状や質感などの知覚が、高次の視覚過程 における低次の画像特徴量の表現に部分的に支えら れている可能性が示唆されました。

【画像の質感】物体表面の質感の知覚を越えて、「画像の質感」の知覚に関してもいくつかの検討を進めました。例えば、画像のボケの知覚において、高空間周波数帯域のオフ信号がオン信号よりも大きな貢献をしていていることを明らかにしました。また、西洋・東洋の古典絵画の様式の違いを画像統計学の視点から分析し、両者が低次の画像統計量において大きく異なることを明らかにしました。また、気象学データやCGシミュレーションを用いて、この違いが地中海性気候(西洋)とモンスーン気候(東洋)における照明環境の差異に起源をもつとする「絵画様式の生態光学説」を提唱しました。

#### 〇研究成果 (藤崎)

【多感覚統合の論理】ガラス、プラスティックといった素材カテゴリー判断と、ざらざらした、やわらかいといった素材特性判断とでは、視聴覚統合の論理が異なるということを発見しました[5]。素材カテゴリー判断は視覚と聴覚の掛け算的に決まる(AND-typeの情報統合になる)のに対して、素材特性判断は、重みづけ平均になることが判りました。これらはベイズ最尤推定でうまく説明できると考えられます。すなわち、素材カテゴリー判断では視覚と聴覚の尤度の掛け算によって視聴覚統合が行われますが、素材特性判断では尤度では無く推定した属性値の評定なので重み付け平均で視聴覚統合が行われますが、

どちらも最適な統合であると考えられます。

【多感覚の効き木】木をターゲットオブジェクト として、全く同じ被験者、全く同じ質問、全く同じ 試験片を用いて、視覚、聴覚、触覚および視聴覚に ついての、大規模なデータセット(視、聴、触覚に ついては50名、視聴覚については22名)を取得し、 さまざまな観点からの分析を行っています。まず同 じ対象物についての高次質感認知は、どの感覚で訊 いても同じになるのかという問題については、高次 質感認知の評価パタン自体は、視、聴、触のどのモ ダリティでもほぼ共通になるということが判りまし た。さらに低次質感知覚と高次質感認知の紐付がで きるか、という問題につきましては、重回帰分析等 の多変量解析によって、対象を絞ればある程度でき そうだということが判りました[7]。また、本物とよ くできた偽物がどれくらい区別できるかという問題 については、直接本物かどうかを聞くと答えられな い場合でも、潜在的には本物と偽物が区別できてい る可能性が示唆されました。

#### 〇代表的な研究発表

- 1 <u>Mihashi T</u>, Nakamura N, Yoshida K, Yamaguchi T, Yamauchi Y, Sakata K, Fukuda K, <u>Uchikawa K</u>: Optical design of hyperspectral two-dimensional display and its application, Optical Society of America Fall Vision Meeting, Seattle, USA, 2011.
- 2. Yang J, Otsuka Y, Kanazawa S, <u>Yamaguchi MK</u>, <u>Motoyoshi I</u>, Perception of surface glossiness by infants aged 5 to 8 months. Perception, 40, 1491-1502, 2011.
- 3. <u>Uchikawa K, Fukuda K,</u> Kitazawa Y, MacLeod DIA: Estimating illuminant color based on luminance balance of surfaces, Journal of the Optical Society of America A, Optics and image science, 29(2), 133-143, 2012.
- 4. <u>Motoyoshi I</u>, Matoba H. Variability in constancy of the perceived surface reflectance across different illumination statistics. Vision Research, 53, 30-39, 2012.
- 5. <u>Fujisaki W</u>, <u>Goda N</u>, <u>Motoyoshi I</u>, <u>Komatsu H</u>, <u>Nishida S</u>: Audiovisual integration in the human perception of materials, Journal of Vision 14(4):1-20, 2014.
- 6. <u>Ho HN</u>, <u>Iwai D</u>, Yoshikawa Y, <u>Watanabe J</u>, <u>Nishida S</u>: Combining colour and temperature: A blue object is more likely to be judged as warm than a red object. Scientific Reports. 4: 5527, 2014.
- 7. <u>Fujisaki W</u>, Tokita M, & Kariya K: Perception of the material properties of wood based on vision, audition, and touch. Vision Research, 109, 185-200, 2015.
- 8. <u>Kawabe T, Maruya K</u>, Fleming RW, <u>Nishida S</u>: Seeing liquids from visual motion. Vision Research, 109, 125–138. 2015.

#### 計画研究 B01-2

## 質感認知の環境依存性および学習依存性

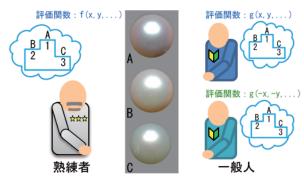
研究代表者 中内 茂樹 (豊橋技術科学大学大学院工学研究科・教授) 研究分担者 北崎 充晃 (豊橋技術科学大学大学院工学研究科・准教授) 永井 岳大 (山形大学大学院理工学研究科・准教授)







材質判断にかかる時間と質感の違いの関係



一般人の真珠評価特性の解明(心理実験)

質感研究用に開発された様々な材質の質感サンプルを用いて、ヒトが材質を見分けるのに必要な時間と、見分けるためにどのような質感属性が関わっているかを明らかにしました。すぐに異なる材質だとわかるペアは主に視覚的な質感属性の違いが大きく、異なる材質だとわかるのに時間を要するペアの間では、ざらざら感などの非視覚的な質感属性の違いが大きいことがわかりました。

実物の真珠を用いて、熟練者による真珠評価と真 珠の評価基準を知らない一般人による真珠の評価を 比較する実験を行いました。一般人の評価の安定性 は熟練者には劣りましたが、十分高いもので、何ら かの基準によって評価していたことを示唆するもの でした。また、一般人の半数は熟練者と同じように 評価しましたが、半数はほぼ真逆の評価をすること がわかりました。このことは、どちらも同じ要素に 基づいて評価している可能性を示しています。この 研究では、熟練者の方々の職場までお邪魔して実験 に協力していただきました。

#### 〇研究の背景と目的

視覚機能の目的は物体の形や色、動きや場所など 「何がどこにあるのか」という問題を解決すること です。これまでにも視覚心理学や神経生理学の研究 によってこうした視覚機能の詳細は次々と明らかにされており、ロボットビジョンなどの技術応用も試みられています。その一方で、対象物の材質や状態、品質といった質感も、視覚機能によってもたらされるのですが、その情報処理の詳細はほとんど明らかになっていません。そこで私たちは、ヒトの視覚による質感認知特性のうち、対象物を見るときの環境がもたらす効果を明らかにすることを主な目的として研究を開始しました。

また、私たちは「実物」にこだわり、真珠や質感サンプルといった実際の物質を用いて研究を行ったほか、職人さんやプロフェッショナルの方々の現場に実験施設を持ち込んで実験を行ったことが、このグループの大きな特徴だと言えるでしょう。

#### ・実物体実験刺激「質感サンプル」

私たちの身の回りには様々な材質のものがあふれています。材料が違えばもちろんのこと、同じ材料でも形や加工が違えば、見た目の印象、質感が異なります。異なる材料でも似た質感を持つものはありますが、たいていの場合、私たちは見ればその質感や材質がわかります。この手がかりとなっている情報について検討する上で、コンピュータグラフィックス(CG)はとても便利かつ強力な手段です。技術さえあれば、任意の材質、形状の物体画像を作り出すことができます。

しかし、いかに優れていても、CG はあくまで「それらしく見せる技術」であり、「そのもの」ではありません。実物を使わないとわからないことがあるかも知れないのです。このような観点から質感サンプルを開発しました。質感サンプルはガラス、金属、樹脂(プラスチック)、石材、布、皮革、木材の7種類の材質それぞれに20種類の素材(石材のみ11種類)で構成されており、大きさ(一辺が10cmの正方形)と形(波形と平面)はすべて同じセットです。

#### ・移動型視覚心理物理実験室「モバイルラボ」

トラックを改造した移動型視覚心理物理実験室 (通称モバイルラボ) は遠隔地の実験協力者に対し て実験を行うために導入されました。トラックの荷 室部分が約 2m 四方の実験用暗室となっており、た いていの心理物理実験に対応可能です。エアコンも 装備されており、天候に左右されることなく短期間 でまとまった量のデータを得ることが可能になりました。



質感サンプルセット



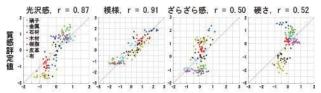
移動型視覚心理物理実験室(モバイルラボ)

#### 〇研究成果

#### ・材質識別と質感認知の関係

質感サンプルを一つずつ撮影し、それぞれについて質感を評定する実験を行いました(その結果は実物を見ながら評定した結果と異なるものもありましたが、多くはほぼ同じでした)。評定した質感は光沢感、透明感など視覚的な質感特徴だけでなく、ざら感や硬さなど、非視覚的な質感も含めた9つの質感特徴で、それぞれを7段階で評価しました。その結果、明るさと色鮮やかさ、硬さと重さの間に正の相関関係が、光沢感とざらざら感、光沢感と冷たさの間に負の相関関係があるなど、異なる質感の間にある関係性が明らかになりました。

さらに各質感サンプル画像について、明るさの平均や分散など、比較的簡単な画像情報(統計量)を調べ、各質感評定値との関係を調べました。正準相関分析という手法により、視覚的な質感については、画像統計量からその評定値をかなりの精度で推定できることが示されました。一方、非視覚的な質感の推定精度は低く、画像統計量よりも材質との関連が強いことがうかがえました。

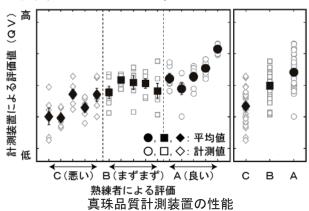


画像情報と質感特徴の関係(正準相関分析)

次に、画面に2つの質感サンプル画像を同時に提示し、それらが同じ材質であるかどうかを判断する実験を行い、材質判断と質感特徴の関係性について調べました。正しく異なる材質であると回答できた試行のうち、材質判断に要した時間が短かった刺激対においては、光沢感や模様の強さなど視覚的な質感の差が大きいことがわかりました。一方、材質判断に要した時間が長かった刺激対においては、ざらざら感や硬さなど非視覚的な質感の差が大きいことが明らかになりました<sup>[1]</sup>。

#### • 真珠品質評価実験

真珠は光沢だけでなく、干渉色と呼ばれる複雑な 色艶を持つ美しい宝石です。その品質は熟練した鑑 定者の目視によって判断されます。私たちは熟練者 が真珠の干渉色をどのように評価しているのかを調 べるために、真珠に波長の限られた光を透過させ、 それを計測することで干渉色の波長特性と空間分布 をデータ化し、熟練者による干渉色の評価と関連す ると思われる成分を探しました。その結果、干渉色 のうち緑に見える波長成分の空間分布が高い相関を 示すことを明らかにし、この原理を用いた真珠品質 評価装置を開発しました<sup>[2]</sup>。



熟練者による評価方法を知らない一般人は真珠を どのように見るのでしょうか。もし、熟練者と問題 ように真珠を評価するならば、真珠の美しさが普遍 的なものであると言えるでしょうし、熟練者とは なる評価をする、あるいはまったく評価できないは、 するならば、真珠の美しさは熟練しなければわからない深遠なるものであると言えるでしょう。しかし、もし一般人が熟練者と同じように真珠の養したシー般人が割けていたであれば、かさな真珠を積んだ熟まさは何を学習したのであれば、かさな真珠を対してなくてはないお金を払うことの意味を考え直に してはなりません。そこで、真珠評価の熟練者に協力していただき、同じ真珠を熟練者と一般人が評価した結果を比較する実験を行いました[3]。

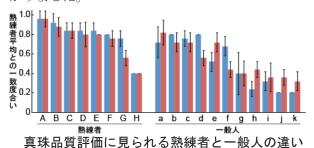
実験に協力してくださった熟練者の方々は、アコヤ真珠養殖が盛んな三重県の鳥羽、志摩地方の真珠

の養殖業者、加工業者など 8 名(すべて男性、平均年齢 43.6歳)と、一般人として真珠を目にする機会がほとんど無く、その評価方法についてまったく知らない成人男性 11 名(すべて男性、平均年齢 41.7歳)でした。すべての協力者は実験の目的を知らない状態で実験に参加し、終了後に目的をお知らせしました。

実験はモバイルラボの暗室内で行いました。暗室 内の照明は、太陽光を模したものを用いました。こ れは、熟練者が真珠を評価する際には部屋の北側の 窓際で自然光を照明として行うのですが、これに環 境を似せるためです。乱反射を防ぐ暗幕を貼った作 業台の上に10個の真珠を置き、協力者はそれらを観 察しながら、良いと思う順番に並べるという課題を 行いました。実験室内には協力者の他、実験者と助 手がいましたが、実験中は邪魔にならないよう無言 でじっとしていました。協力者が課題を終えると、 実験者が並べた真珠を受け取り、その結果を記録し ている間に助手が次の真珠を作業台の上に並べまし た。実験者および助手は各試行の結果について、協 力者に知られないようにしました。実験者も真珠に ついて熟練していませんでしたので、実験に使用し た真珠には、裏に識別番号を記入した小さな台紙が 貼付けてありました。真珠は2組用意し、それらを 交互に繰り返し使用しましたが、そのことは協力者 には知らせませんでした。協力者は各組に対して 5 回ずつ、合計10回の評価を行いました。

同じ真珠の組に対して5回ずつ評価していますので、その評価がどれくらい同じであるかを見れば、その人の評価の安定性を知ることができます。評価の安定性を熟練者と一般人で比較すると、当然と言えば当然ですが、熟練者の方が高いという結果が得られました。しかし、一般人の安定性も低いものではなく、真珠の評価方法を知らなかった彼らも何らかの基準に従って評価していたことを示唆するものでした。

次に、それぞれの協力者がどのような評価をしていたのかについて調べました。熟練者の方々がそれぞれの真珠に対して付けた順位を平均し、高い順番に並べたものを基準として、各協力者の付けた順位の一致度合いを評価しました。すると、一般人協力者の半数は熟練者と同じ方向の評価をしていましたが、残りの半数は逆方向の評価をしていたことがわかりました。



すなわち、熟練者が良いと見なした真珠に対して低 い順位をつけ、熟練者からすると良くない真珠が良 いと感じた一般人が半分もいたということです。こ れは一見残念な結果ですが、逆方向の評価をしたと 言うことは、同じ要素に着目して順位をつけていた 可能性があることを意味しています。つまり、同じ 要素を同じように見分けることはできたが、どちら が良いかと言う判断だけが逆だったということです。 この可能性について検討するために、先述の装置を 使って、実験に使用した真珠の光沢と干渉色を数値 化し、真珠につけられた順位がどれくらいこれらの 数値から予測できるかを調べました。すると、評価 の方向によらず、一般人協力者の試行の4~6割で予 測できるという結果が得られました。つまり、真珠 の評価方法について知らない一般人も、熟練者が評 価に用いる光沢と干渉色に基づいて真珠を評価して いたということです。

熟練者の順位はどうだったかと言いますと、残念ながら装置による光沢と干渉色からほとんど予測できませんでした。これは、予測するモデル(数式)が単純なものであったことが原因であったと私たちは考えています。つまり、熟練者はもっと複雑な様式で光沢と干渉色を用いて真珠を評価しているのだろうと言うことです<sup>[3]</sup>。

#### その他の成果

光沢感に対する観察者の動作の影響について調べました。光沢のある物体の表面にできるハイライトは、観察者、物体、照明のいずれかが動くとその位置を変えます。観察者が動くとハイライトも動き、そのことが光沢感を増強することと、その効果は同じ動きを観察者が静止して観察した時よりも強い傾向にあることを明らかにしました。また、物体を動かす手の動作には同様の効果が無いことを発見しました<sup>[4]</sup>。

透明感に関しても実験を行い[5] [6]、衝立に埋め込んだ半透明物体の後ろから光を当てると、透明感が若干増すことを発見しました。透過した後方からの光を、前方からの照明による反射と拡散によるのと知覚されるからです。物体のハイライトを除いた拡散反射成分のコントラスト(明暗の差)と透明感の間に負の相関があることを発見しましたが、単純にコントラストから透明感を予測することがは出来ないこともわかりました。このことがない、恒常性があることを示しています。また、この実験手法は発光感や蛍光感を操作することにも使える可能性があります。

環境光を照射する照明装置を開発しました。環境 光とは光源だけでなく他の物体に当たって反射して 間接的に物体を照らす光も含みます。全方位カメラ で撮影した環境を加工して、箱形に組まれた 4 つの 高輝度液晶モニタに表示し、所定の位置に置いた物 体を照らすという仕組みです。

#### 〇今後の展望

#### ・質感に関する学習

真珠の質感に関する学習の効果について検討しま したが、これをより一般的な質感へと拡張する予定 です。具体的には物体の光沢感に関する学習の効果 を明らかにしたいと考えています。そのために、光 沢感に関する学習をした人として、画家やデザイナ ーなど、デッサンの訓練経験を有する人に協力いた だきます。デッサンとは、物体の形状や表面の材質、 光の反射などを線分や濃淡だけで正確に表現するも のであり、基本的な訓練とされています。光沢感を 表現するためにはハイライトを描く必要があります が、ハイライトは陰影と適切な位置関係に置かなく てなりません。そのためには、ハイライトと陰影の 傾きに対して高い感度を持っているか、ハイライト がずれることによる光沢感の変化に対する高い感度 を持っていることが必要だと考えられます。したが って、適切にハイライトを描くことができる画家や デザイナーはいずれか、あるいは両方の能力におい て、一般人より優れていることが期待できます。現 在、この仮説を検証する実験を行っています。

具体的には、CGで作った光沢を持つ凹凸面の画像と、ハイライトのみ回転させた合成画像を見比べて、1)明るい部分と暗い部分のずれ具合を判断させる課題と、2)光沢の強さを判断させる課題をデッサンの訓練経験がある人と無い人に行ってもらい、その結果を比較します。そのことで、デッサンの訓練を通して、質感に関するどのような学習が起こるのかを明らかにしたいと考えています。

#### ・質感を生じさせる画像統計量

私たちの研究でも画像統計量からいくつかの質感の強度を予測することに成功しましたが、具体的にどのような画像情報が質感を生じさせるのかを明らかにすることはできませんでした。そこで、ヒトの視覚系の特性を反映する画像統計量(PS 統計量)と画像合成アルゴリズムを用いてさらに検討する研究を進めています。PS 統計量とはヒトの視覚系の初期段階で処理されていると考えられている情報で、700以上の種類があります。レンガや砂利道などの画像に対して、この PS 統計量が変わらないように画像を合成すると、元画像と一見区別がつかないような画像を作ることができます(テクスチャ合成)。

私たちは物体表面の明るい部分がハイライトなのか、それとも着色された部分なのかを見分けることができます。この能力を PS 統計量が支えているかどうかを次のような方法で検討しています。CG を用いて、ハイライトがある無地の面、ハイライトの無い着色面の4種類の画像を大量に生成し、それらの PS 統計量を求めます。正準判別分析という手法を

用いて、PS 統計量を組み合わせて 4 種類の画像を最も分離することができる変数を作ります。7200 枚の画像を用いた結果、PS 統計量の一部を組み合わせることで 4 種類の画像を分類できることがわかりました。つまり、ヒトの視覚系が初期の段階で処理している情報の中に、光沢と着色を区別するのに有用な情報が含まれている可能性があることがわかりました。今後はヒトに同様の分類課題を行わせ、その結果と比較する予定です。

#### 〇代表的な研究発表

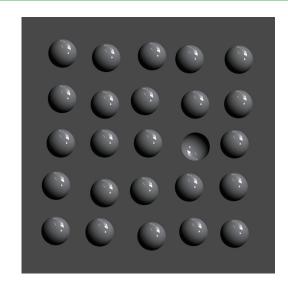
- 1. <u>Nagai T</u>, Matsushima T, Koida K, <u>Tani Y</u>, <u>Kitazaki M</u>, <u>Nakauchi S</u>: Temporal properties of material categorization and material rating: visual vs non-visual material features. Vision Res: in press.
- Toyota, T., <u>Nakauchi, S.</u>: Optical measurement of interference color of pearls and its relation to subjective quality, Optical Review, 20(1): 50-58, 2013
- 3. <u>Tani Y, Nagai T</u>, Koida K, <u>Kitazaki M, Nakauchi S</u>: Experts and novices use the same factors—but differently—to evaluate pearl quality. PLoS ONE, 9(1): e86400, 2014
- 4. Tani Y, Araki K, Nagai T, Koida K, Nakauchi S, Kitazaki M, Enhancement of glossiness perception by retinal-image motion: Additional effect of head-yoked motion parallax, PLoS ONE, 8(1): e54549, 2013
- Nagai T, Ono Y, Tani Y, Koida K, <u>Kitazaki M</u>, <u>Nakauchi S</u>, Image regions contributing to perceptual translucency: A psychophysical reverse-correlation study, i-Perception, 4(6): 407-428, 2013
- 6. <u>谿雄祐</u>, 西島遼, <u>永井岳大</u>, 鯉田孝和, <u>北崎充晃</u>, <u>中内茂樹</u>, 前方・後方照明強度比による透明感知 覚の変化, 映像情報メディア学会誌, 68(12): J534-J536, 2014

研究紹介 B01 質感認知に関わる感覚情報の特長と処理様式 公募研究・前期

# 公募研究 B01 質感からの3次元形状知覚

## 研究代表者 酒井 宏 (筑波大学 システム情報系・教授)





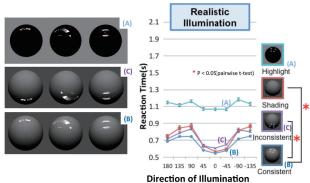


図1:(上図)内部に陰影とハイライトをつけた 球を配置する。上側が明るい球達の中に,下側が 明るい球がひとつ混じっている。下側が明るい球 は,一瞬(1秒以下)で見つけられる。(下右図)探 索に掛かる時間を示す。横軸は照明の方向であ る。上(0°)または左上(+45°)に光源がある場合に 探索時間は短くなる。このことは、我々の脳内で は光源が左上方にあることを前提にして, 陰影か ら3次元形状を計算していることを示す。(下左 図) ハイライトだけで陰影が無い球, 陰影とハイ ライトが矛盾する球(いずれも自然界ではあり得 ない)を作って実験すると、陰影・ハイライトそ れぞれの効果と相互作用が判る。(下右図) ハイ ライトと陰影を同時に付けると、陰影だけの場合 よりも速くなり、「ひ」の字型も見られた。この 効果は, ハイライトと陰影の位置を矛盾させて も、観察された(C)。このことは、視覚系はハイ ライトの位置を正確には計算していないことを 示す。

#### 〇研究の背景

白黒写真やデッサンでも、陰影から3次元的な形を見て取ることができます。陰影は、単なる白黒の濃淡です。しかし私達は、白黒写真でもデッサンでも、迷うことなく、精緻な形状を正しく見ることができます。単なる濃淡という限られた情報から、私達の脳は3次元形状を計算する能力をもっているのです。

濃淡だけから形状が判るというのは、驚くべきことです。物の表面の明るさ(濃淡)は、照明、表面の反射の仕方、物の形、の3つ(の変数)から決まります。しかし、白黒写真やデッサンでは、普通はこの3つ全てが判りません。つまり、数学的には解けない問題なのです。たとえば、同じ物でも、照明のあて方を逆にすれば濃淡は逆転し、表面がツルツルならハイライトができて明るくなります。また、出っ張っていれば明るく、引っ込んでいれば暗くなります。ある場所が明るい(暗い)理由が、決められないのです。でも、私達の脳はこの問題を解いています。

私達の研究グループでは、陰影からの3次元形状知覚を中心に据えて、質感を特徴づけるハイライトがどのように作用するかを研究しています。現実世界の物体には、様々な質感があり、陰影やハイライトの付き方を複雑にしています。実は、陰影だけでは問題が単純すぎて(ヒントが足りなくて)かえって難しくなっています。そこで、質感をヒントにして、様々な質感を持つ物の陰影から、どのように3次元形状が計算されているかに、心理物理実験と計算理論を使ってアプローチしています。

#### 〇研究成果

これまでの実験から、ハイライトは陰影からの3次元形状を助けるように働いて、知覚を速くすることが判りました。一方、不自然なハイライトを人工的に付けても、知覚は阻害されませんでした。このように、ハイライトは陰影に対して強い非線形をもって促進的に作用することが判りました。

実験では、図1(上)に示す様に、内部に陰影とハイライトをつけた球を配置します。上側が明るい球 達の中に、下側が明るい球がひとつ混じっています。下側が明るい球は、一瞬(0.5~0.9秒)で見つけらます。見つけるのに掛かる時間(反応時間/探索時間)は、照明の方向によって約2倍にも変わります。図1(下右図)は、探索に掛かった時間を、照明方向ごとにプロットしたものです。照明が上(0)または左上(+45の)

の時に最も速く、真横(±90°)の時に最も遅くなることが判ります。このように「ひ」の字型になることは、我々の脳内では光源が左上方にあることを前提にして、陰影から3次元形状を計算していることの証左となります。

図1(上)では、球の中に陰影とハイライトの両方があります。ここからコンピュータグラフィックスを使って、ハイライトだけで陰影が無い球、陰影とハイライトが矛盾する球(いずれも自然界ではあり得ない)を作って実験すると、陰影・ハイライトそれぞれの効果と相互作用が判ります。図1(下左)にそれらの例を示します。

測定した探索時間は,(A)ハイライトだけの場合は, 陰影だけの時よりも2倍程長くなり、「ひ」の字型も 見られなくなります。このことから、ハイライト自 体では3次元知覚には役立たないことが判ります。 (B)ハイライトと陰影を同時に付けると、陰影だけの 場合よりも速くなり、「ひ」の字型も見られます。こ のことから、ハイライトは、陰影からの3次元形状 を助け、3次元知覚を速くしていることが判かりま す。(C)では、ハイライトを作る光源の方向と、陰影 を作る光源が別々になっていて(自然界ではあり得 ない),本来あるべき位置にハイライトがありません。 しかし、探索時間は(B)の矛盾が無い場合と変わりま せんでした。このことは、視覚系はハイライトの位 置を正確には斟酌(計算)していないことを示します [1]。つまり、形状に矛盾さえしなければ、いい加減 な(ありえない)ハイライトでも、3次元知覚を助 けるのです。これは、絵を描くときに、いい加減で も良いからハイライト (油絵でいうポアンティエ) を入れるとリアルになる原因と考えられます。

球の探索実験では、形状は常に一定で、奥行きも同一でした。そこで、不規則に凸凹した表面を使った実験をしています。凹凸面に陰影、陰影とハイライト、陰影と矛盾するハイライト、をつけて、その奥行き感がどのように変化するかを測定してみました。図2にその例を示します。

そうすると、陰影とハイライトの両方があるときには、両者が矛盾していても、奥行き知覚が促進することが判りました。これは、球の探索実験の結果と同様です。これらの結果は、視覚系はハイライトの位置を正確には計算していないことを示します。図2では、陰影を作る光源は左上にあります。図2では、ハイライトの光源も左上です(自然な明)、図2(下中)では、ハイライトの光源も左上です(自然界ではありえない)。でも、この二つを見分けるのは困難です。図2(右)は、陰影だけの場合です。ハイライトの光源方向が矛盾していても、同じ様に奥行き促進がされている様子が判ります。

この様に、よくコントールしたコンピュータグラ

フィックスを使って、自然界には存在しない(物理的にあり得ない)画像がどう見えるかをテストしてきました。これによって、私達の視覚系がどのように質感から3次元形状を知覚しているのか、特にその計算のアルゴリズムが判ってきました。

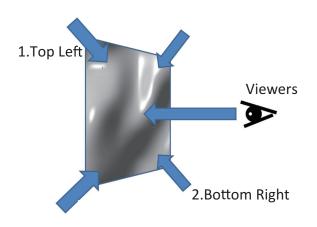
#### 〇今後の展望

ここに示した心理物理実験からは、人間の視覚系がもつ計算アルゴリズムが判ってきました。これを発展させて、皮質でどのように計算が行われているかを、皮質のモデルを作って、コンピューターで実際に計算をすることができます。例えば、スーパーコンピュータの上に、皮質の神経回路を作り、そこで計算をすることができます[2]。このようにして、私達の大脳が、どのように画像から外界を理解しているかが判ってくると期待されます。

## ○関連する研究発表

- 1. Perceptual integration of specular highlight and shading. <u>K. Sakai</u>, R. Meiji, T. Abe (2012) Vision Sciences Society, Annual Meeting 2012
- 2. Spatial and Feature-Based Attention in a Layered Cortical Microcircuit Model.

  N. Wagatsuma, T. C. Potjans, M. Diesmann, <u>K. Sakai</u>, T. Fukai (2013) *PLoS ONE*, 06 Dec 2013, doi: 10.1371/journal.pone.008078









1.Top Left

2.Bottom Right

3.No Highlight

図2:(上図)不規則な凹凸をもつ面に、陰影とハイライトを付ける。陰影の照明は常に左上にする。ハイライトの光源は、 陰影と同じ左上(下左図)、または陰影と逆の右下(下中図)とする。いずれの場合も陰影だけの場合(下右図)よりも奥行き感が増す。

# 漆黒の質感 一黒うるしの表面特性とその感性評価一

研究代表者 阿山 みよし (宇都宮大学大学院工学研究科・教授)



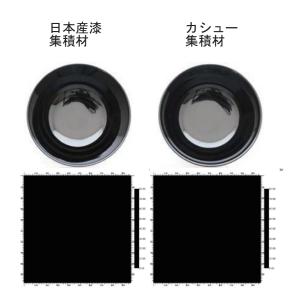


図1. 上段:材質は木材の集積材で、形状は同じお 椀に日本漆を塗布したもの(左)とカシューを塗布 したもの(右)を真上から撮影した写真。下段:各々 の輝度分布。漆芸経験者は微妙な相違を判別できる が、非経験者には見分けられない。

#### 〇研究の背景と目的

先行研究では、光学計測、漆工芸、感性工学、視 覚心理物理を専門とする分野横断的研究グループに より、黒漆表面の物理特性と漆黒の質感の関係を解 明することを目的としました。

漆製品の製作には、塗るだけでも多数の工程があります。そこで、最後の塗り工程が進むにつれてどのように表面特性が変化し、また各々の段階で光沢感や黒みといった感性評価がどのように変わっていくのかを検討しました。

また、黒みや光沢の評価に関心が高いと思われる 美術系の学生群とあまり興味を持たないと思われる 工学系の学生群での評価を比較してみました。と

小さな木片(手板)に黒漆を塗っただけのもの、 表面仕上げ工程の途中で止めたもの、そして最後まで仕上げたものの3種類を評価刺激とし、日本産と ミャンマー産の漆を塗布したので合計6枚の評価用 刺激を用いました。

評価実験としては、以下の2つを行いました。 1) 黒漆手板の知覚的黒みを定量的に評価する知覚 的黒み評価 2)「光沢感」「滑らかさ」「好ましさ」「深み感」を 評価する感性評価

物理計測としては、以下の4種を測定しました。

- 1)表面粗さ、
- 2)被験者の観察位置から測定した輝度、
- 3) BRDF(Bidirectional reflectance Distribution Function).
- 4) 分光透過率を測定しました。

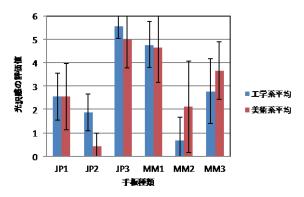


図2. 光沢感の主観評価

図 2 は光沢感評価の実験結果で、横軸は手板の種類、縦軸は評価の平均値、棒線は被験者間のばらつきを表す標準偏差です。評価値が大きいほど光沢感が強いことを示します。ピーク値が低い JP1 の評価が JP2 より高いのが面白い結果です。工学系と美術系で目立った相違はありませんでした。

これらの主観評価値と物理計測値との関係を精査したところ、見た目の光沢感が以下に示す BRDF のピーク値と半値幅の線形和でほぼ説明できることが示されました。

$$G = 6.00 \cdot PR_{500} + 3.91 \cdot HBW_{500} - 1.54$$

上式で、G は光沢感の主観評価値、 $PR_{500}$  は 500nm での反射率のピーク値を反映する値、 $HBW_{500}$  は半値幅を反映する値です。

先行研究では美術系と工学系の被験者群間で有意 差はありませんでした。しかし、熟練職人は完成し た漆器を手に取ってみれば、工業漆と天然漆の判別、 木地の種類、塗布技術の優劣を判別出来ると言われ ています。しかしどのような情報を駆使して判別し ているのかは明らかにされていません。 そこで,本研究では、同じ形状の黒漆器椀を準備し、 主として漆職人から成る被験者群(経験者群と呼ぶ) と、工学部と農学部の学生(非経験者群と呼ぶ)から成る被験者群において、塗料や木地の判別力を比較してみました。同時に物理的特性の計測も行い、 漆器判別に関係する物理特性を明らかにすることを 目的とします。

#### 〇研究成果

実験刺激として同じ形の黒い漆器椀を 8 個用意しました。それらを表1に示します。

表1. 判別実験に用いたお椀

塗料	艶の有無	木地	
天然漆	艶あり(磨き)	欅(ろくろ)	
天然漆	艶消し(塗り立て)	欅(ろくろ)	
天然漆	艶あり(磨き)	集積材(圧縮材)	
天然漆	艶消し(塗り立て)	集積材(圧縮材)	
カシュー	艶あり(磨き)	集積材(圧縮材)	
カシュー	艶消し(塗り立て)	集積材(圧縮材)	
カシュー	艶あり(磨き)	プラスチック	
カシュー	艶消し(塗り立て)	プラスチック	

最初に実験刺激を見るだけで判断する「見るだけ 条件」を行い、次に実験刺激を自由に観察できる「見 て触る条件」を行いました。その後、どのお椀がど れかを被験者に教える学習時間を設け、さらに学習 後「見るだけ条件」と「見て触る条件」で実験を行 いました。実験の被験者は経験者群 8 名,非経験者 群 20 名です。

図3に、「見るだけ条件」での様子を示します。被験者は、表1に示されるお椀の性質が書かれた紙片を、それだと思うお椀の前に置いて行きます。制限時間は設けませんでした。被験者1名に対して、同じ実験は1セッション行いました。



図3. 判別実験の様子

図1には、一番判別の難しい木地は同じ集積材で 塗りが天然漆とカシューの写真を載せてあります。 下段は観察者の目線に近い角度から2次元色彩輝度 計で測定した各々の輝度分布です。漆芸経験者は「見 て触る条件」だとこれらも判別できました。判別実 験の全体の結果を図4に示します。

8種のお椀について、図1に示したような輝度分布を詳しく分析しました。その結果と内観報告から、

経験者は、視覚情報としては、お椀の底と側面の輝度コントラストの僅かな相違や窓のブラインドの映り込みの違いを天然漆とカシュー塗りの判別に用いていたようです。

お椀の重量はできるだけ揃えるようにしましたが、 平均して集積材>木地>プラスチックの順で、側面 の厚みも完全に等しくはできず、木地の底面に近い 部分は縁より 4mm 程度厚くなってました。

経験者の一人が漆器に触れるときは五感を総動員 すると言ってましたが、まさに視覚・触覚・嗅覚を 駆使して判別したと考えられます。

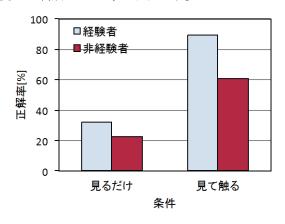


図4. 判別実験の結果

#### 〇今後の展望

先行研究からは BRDF が光沢感や深み感と関係することが、今回の研究では、経験者は表面の輝度コントラストや輝度分布を判別手がかりとしていることが分かりました。どちらの実験でも、漆塗布面の質感をきちんと被験者に見せるキーポイントは照明光でした。そこで今後は、どのような照明光にしたら黒漆面の感性的特性を最大限に引き立たせることができるのか、照明工学的視点からの研究に発展させて行きたいです。

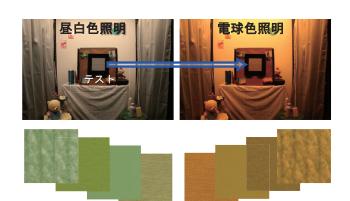
#### ○関連する研究発表

- 1. <u>阿山みよし</u>, 坂上雄軌, 河野哲也, 石川智治: 黒漆の表面特性とその感性評価, 塗装工学, Vol. 49, No. 1, pp. 5-11 (2014).
- 2. Sakaue Y, Takahashi Y, Ishikawa T,
  Matsushima S, <u>Ayama M</u>: Blackness judgment
  of lacquer ware by expert and naïve groups,
  Proceedings of the ACA2013 Thanyaburi,
  Thailand, pp.163-166, 2013.

## 実環境での安定した色認識における質感の役割

# 研究代表者 溝上 陽子 (千葉大学大学院融合科学研究科・准教授)





色恒常性の実験。色恒常性が成立していれば、照明の色が変化しても物体表面の色の見えは変化しない。

#### 〇研究の背景と目的

私たちは、照明条件等の環境が変化しても、物体の色や明度を正確に判断できる能力を備えています。この色認識の安定性は「色の恒常性」と呼ばれており、私たちが生きていく上で大切な能力です。

これまでの研究で、色の恒常性は実空間と比べて 画像やアニメーション風の図柄、シンプルな色パタ ーンでは低下することを示してきました。また、実 空間であっても、不自然な照明や室内環境では恒常 性は低下します。これは、空間の認識・照明の認識、 物体の認識に必要な手がかりが減った分、見えが不 安定になることが原因と考えられます。

この手がかりとして、質感が深く関わる可能性があります。画像において、あるいは特殊な物体表面や照明によりテクスチャーや陰影などの質感が分からなくなると、環境の自然さが損なわれ、正確な照明や物の認識ができなくなり、結果として色認識とその安定性に影響を与えると考えられます。

人間の基本的で重要な特性である色認識の安定性に対して、質感がどのような役割を果たすかについては明らかではありません。質感を含む、視覚系の高次レベルにおける色認識メカニズムを解明することが必要と考え、本研究に取り組み始めました。

本研究では、質感が視環境の照明・空間認識に与える影響、視環境が質感に与える影響、物体の質感がその色認識に与える影響を調べました。色評価実験により色の見えを調べ、質感と空間認識、周囲環境の色分布特性等の統計的性質との関係を分析することで、視環境と質感、質感と見えの安定性の相互関係を総合的に明らかにすることを目指しています。

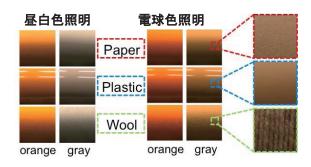
#### 〇研究成果

研究期間中には、色知覚実験と明るさ知覚実験の 2つを主として行いました。

色知覚実験では、実環境を用いて、視対象とする 物体の質感がその色認識に与える影響について調べ ました 1)。実際の部屋を模した実験ブースに、異な る素材(画用紙、プラスチック、毛糸、等)のテス トサンプルを置き、色評価実験を行いました。テス トサンプルの形は平面と湾曲形の2種類、色は、紫、 橙、緑、灰色の4種類を用意しました。照明条件は 昼白色光(白い光)と電球色光(赤っぽい光)の2 種類、観察条件は通常両眼視とテストサンプルのみ を観察する視野制限両眼視の2種類です。被験者は、 それぞれの条件の下で、テストサンプルの色を答え ました。評価には、エレメンタリーカラーネーミング という手法を用いました。まず、白み・黒み・色み 成分の割合を答え、その後、色みのうち、赤緑黄青 の割合を答えるというものです。この色評価実験を 繰り返し行い、データの分析を行いました。

その結果、通常観察条件ではどの色でも色みの変化量は比較的小さくなりました。照明が変わっても色の見えの変化が小さいことから、色の恒常性がよく成り立っていたと言えます。このとき、素材による明確な違いは見られませんでした。視野制限条件では、全体的に変化量は大きい、つまり色の恒常性は低下しました。このとき、平面よりも曲面サンプルニの方が色の恒常性が良い傾向にありました。

これらの結果から、通常の環境では質感の違いが 色恒常性の成立度に与える影響は小さいと考えられ ます。ただし、限定された条件の下で他の照明の手 がかりが使えない場合は、物体の陰影などの三次元 的情報や質感の違いが色恒常性に寄与する可能性が 示唆されました。



実験に用いたテストサンプルの例。

研究期間終了後にも継続して研究を行っています。 光沢の異なる紙や布を用いた実験では、様々な照明 の手がかりが存在する通常の環境では、光沢による 鏡面反射成分が色恒常性に与える影響はほとんど見 られませんが、視野制限といった特殊な条件では、 色恒常性が向上する可能性が示されています。ここ でも、観察条件によっては、立体的な構造(曲面) が、表面の光沢やテクスチャーを認識しやすくし、 色恒常性に寄与することが示唆されました。

明るさ知覚実験では、室内の構成要素が明るさ知覚に与える影響を調べました<sup>2)</sup>。実験では、照度は同一ですが、室内の壁や家具を明度が異なる無彩色のマット(低光沢)紙で構成した室内模型を用いました。テスト室の明度は、N3(低明度)、N6(中明度)、N9(高明度)、またその混合条件(N3-N6、N6-N9の各組み合せ)も行いました。被験者は、6色のテスト色票に対して、評価室にあるマンセルカラーチャートを用いてそれぞれマッチングすることにより色評価をしました。さらに、室内物体の明度判定、室内照明の明るさ判定の実験も、別のセッションで行いました。

その結果、テスト色票の明度と彩度知覚は、室内 構成物体の明度が高くなるほど低下しました。また、 実際の照明は等しいにも関わらず照明の明るさ知覚 は、室内の明度が高くなるほど、上昇しました。つ まり、室内の明度構成が物体の明度知覚や部屋の明 るさ感に与える影響は大きいと言えます。



明度統一条件

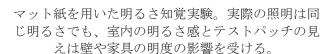




N9





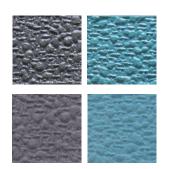


今回の条件では、室内模型をマット紙で構成していたため、明度知覚や明るさ感の安定性が低くなったと推定されます。様々な質感で構成されている場合は、照明の手がかりが増えるため、より安定した明度知覚、明るさ感を得られると予測できます。質感が照明情報・陰影情報の取得にどの程度寄与するかについては、多様な素材・観察条件を用いて検討が必要と考えられます。

この他に、室内模型と画像を用いた色恒常性の実験も行いました。その結果では、色の構成が同じ場合でも、室内の壁や家具がマット紙で構成されている場合より、様々な質感で構成された場合の方が、色恒常性が高いという結果が得られました。これは、対象とする物体だけでなく、周囲の質感が色知覚に影響することを示唆しています。

#### 〇今後の展望

LED や有機 ELといった新固体光源がますます普及し、これまでになかったような分光分布特性や配光特性を持った照明が出現すると考えられます。拡散光では光沢を感じにくいなど、質感は照明の特性によっても大きく影響を受けます。異なる質感を持つ物体の色認識だけでなく、照明の特性により同じ物体の質感認識がどのように変化するか、それに伴って色知覚や形状知覚がどのように影響を受けるかについて検討していく予定です。



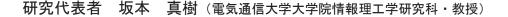
指向性のある照明(上)と拡散照明(下)の下での 見え方の違いの例。印象は大きく異なる。

#### ○関連する研究発表

- 1. <u>Mizokami Y</u>, Tsukano T, Yaguchi H: Effect of material perception on color constancy, Vision Sciences Society, Journal of Vision 12, 58, Naples, USA, 5.11-16, 2012.
- 2. 丸山明華, <u>溝上陽子</u>, 矢口博久:周囲環境の明度 構成が物体の明度と彩度知覚に与える影響.日本色 彩学会誌 37(2): 93-102, 2013.

#### 公募研究 B01

# オノマトペの音象徴性を利用した触質感認知メカニズムの解明 とその工学的応用





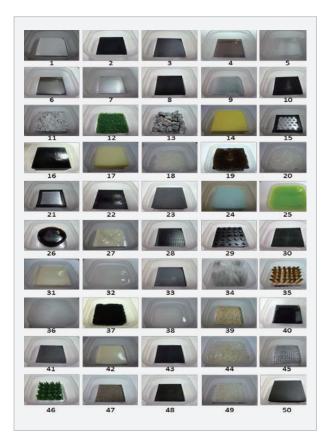


図1:触感サンプルセット(基本的な触感を表すオノマトペをもとに企業に依頼し規格化したサンプル)

#### ○研究の背景と目的

人間の感覚は、言葉で表現され、記憶・共有されています.特に、オノマトペ(擬音語・擬態語の総称)は、単純な構成ながら、その言葉の響きを聴いただけである共通の感覚イメージを呼び起こす「感覚の物差し」として使用されています.本研究では、触覚における質感認知を研究する上で、「さらさら」「ざらざら」といった手触りのオノマトペに着目し、その音韻の音象徴性(音韻とそれが生み出す共通の感覚イメージの関係)を利用して、触質感認知の主要因を特定することを目指しています.

近年,3D テレビや立体音響をはじめ,視聴覚を通じて臨場感ある情報提示を行う技術が急速に実用化されてきました.一方で,触覚に対する情報提示技術は,視聴覚に比べると立ち遅れ,豊かな質感を持つ触覚情報を提示するための方法論は未だ確立されていません.触覚情報提示技術の設計指針及び触知

覚メカニズム解明のための基礎研究として、触覚を 通じた材質感認知の主要因(どんな基準で物体の性 質を知覚,カテゴリ化しているか)を特定する研究が 行われ,表面凹凸,硬軟,乾湿,熱伝導等が重要な 要因であることが明らかになってきました. 従来研 究の多くは、形容詞を用いた複数の評価尺度で主観 的な触感を定量化し、因子分析により分類基準を抽 出する手法 (Semantic Differential 法) や, 言語 を用いず任意のグループに分類する手法(多次元尺 度構成法)が用いられています. これらの手法では, 形容詞評価尺度の種類に抽出される因子やその意味 づけが依存するのに加え、素材の好・嫌や快・不快 といった感性的判断(感性的質感認知)について体系 的に論じることは難しいといった課題がありました. そこで本研究では、触素材の触感を直感的に表す際 に人が直感的に用いるオノマトペ(「さらさら」等の 擬音語・擬熊語の総称でその響きに材質感と感性的 印象の両方を含む)を分析し、オノマトペとそれが表 す触感の関係性から材質感の認知メカニズムとその 感性的判断の主要因を統一的に研究することを試み ています. この手法は、言葉という触素材の評価基 準自体を分析するメタ的研究手法で、 触素材の主観 的な印象の関係性を容易に可視化、分析することが 可能です.

オノマトペの重要な性質として, オノマトペを構 成する音韻自体が対象の性質を内包し、ある共通の 感覚イメージと結びつく音象徴性があります. 言語 学の研究によって、日本語のオノマトペを構成する 音が、その語中での位置によって固有に生じる音象 徴的意味は体系化されていました (Hamano, 1998). このオノマトペの音象徴性は個人差の少ない一般性 を持つものとされていますが,一方で,触覚をはじ めとする内観が重要な感覚(他には味覚,痛みなど) は、その質感認知は個人差が大きく、共通のカテゴ リを定量的に観察することが難しいという課題があ りました。そこで本研究では、主観表現でありつつ 音象徴という汎用性を持つオノマトペをひとつの柔 軟な指標として利用し、その音韻論的分析と、材質 感認知の特性や質感の価値判断の傾向を組み合わせ ることで, 触質感認知の主要因を特定することを行 いました. さらに、オノマトペの音韻と触質感の関 係性の体系化を行い、オノマトペの音韻を入力する だけでそのオノマトペが表象するであろう質感を出 力する質感評価システムを構築することも目的とし ました.

#### 〇研究成果

人が触素材に触れたときに用いるオノマトペの音韻を分析することにより、触素材の質感認知がどのように脳の中でカテゴリ化されているのかを調べるために、実際の触素材を触り、触素材のカテゴリ化の傾向(材質の質感認知)と、それらを表象するオノマトペが含む音韻との関係を調べるための被験者実験を行うこととしました。被験者実験を行うにあたり、人の触感を網羅する標準化された触素材が開発されていないことが判明し、素材作りから行うこととしました。

「A した手触り」(A は「さらさら」など 312 語のオノマトペ)で Web 検索を行い、検索件数 1000 件以上の上位のオノマトペ 43 語を基本触覚オノマトペとして選定しました。このオノマトペを基準とし、図1と表1に示す 50 個の触素材サンプルを企業に依頼し規格化しました(関連する研究発表1).

			_		
No.	素材名	対応オノマトペ		素材名	対応オノマトペ
1	紙	サラサラ	26	ジェル	プニプニ
2	生地綿麻	サラサラ	27	ゲル球入り	コリコリ
3	黒アルマイト	サラサラ	28	ドットシート	ブツブツ
4	アクリル板	ツルツル	29	防振パッド	ボコボコ
5	ガラス	ツルツル	30	乾燥革	パサパサ
6	黒二ッケル	ツルツル	31	人肌ゲルシート	フニフニ
7	アルミ	スベスベ	32	スライム硬	プリプリ
8	生地シルク	スベスベ	33	ペーパー#600	キシキシ
9	生地ムートン	フワフワ	34	生地ファー	フサフサ
10	ペーパー#80	ザラザラ	35	ワイヤブラシ	チクチク
11	石	ザラザラ	36	手芸わた	モフモフ
12	人工芝	ゴワゴワ	37	革スペインムート	ホワホワ
13	砂利	ゴツゴツ	3/	ン	1,101,110
14	トランスイエ	モチモチ	38	スライム軟	プルプル
			39	ヘチマたわし	シャリシャリ
15	金網φ6	ポコポコ	40	ゲルシート	ペタペタ
16	粘着テープ	ベタベタ	41	ペーパー#240	ギシギシ
17	低反発ウレタン	モコモコ	42	ゲルシート軟	ベトベト
18	生地シープボア	フカフカ	43	マジックテープ	ジョリジョリ
19	たわし	ガサガサ	44	糊	ヌメヌメ
20	ワセリン	ヌルヌル	45	ビーズ	ツブツブ
21	金網φ1	スルスル	46	ユニットターフ	ザクザク
22	革蛇	スルスル	47	和紙	ショリショリ
23	断熱スポンジ	カサカサ	48	スエード (裏)	サワサワ
24	スタイロフォー	シャカシャカ	49	カーペット	モサモサ
	<b>A</b>		50	ブレーンゴム	フニャフニャ
25	スライム	グニャグニャ			

表1:触感サンプルとオノマトペの対応表

本研究の連携研究者である渡邊らは、触覚のオノ マトペーつ一つがそれぞれ別の質感カテゴリを表現 すると考え, それらの関係性を表したオノマトペの 二次元分布図(以下、「オノマトペ分布図」)を作成 しています. このオノマトペ分布図は、複数の触覚 オノマトペに対して、それぞれの語が持つ「大きさ 感」「摩擦感」「粘性感」という材質感に関するイメ ージを被験者に数値で回答してもらい、その数値を 分析することで作成されています. この分布図は, 日本語がどのように触覚の材質感を分類・構造化し ているのかを二次元平面上に可視化したものといえ ます. そして、触素材をその触感に基づいてオノマ トペ分布図上に配置すると, 近い触感の素材が分布 図上でも空間的に近く分布することになり、素材と 触感の関係性を二次元平面上で可視化することが可 能になります. 本研究では、この手法を応用し、新 たに触素材の快不快の評価を行うとともに, 触素材 をオノマトペ分布図上に配置することで、触素材の 快不快(感性的質感)と触覚の材質感の関係性を二 次元平面上に可視化しました. オノマトペ分布図上 に触素材を配置し、触素材に抱く感性的な違いを平 面上の関係性として視覚化する手法は、人の感性的 質感認知について論じるための新たな方法論である といえます. 可視化された快不快の傾向をまとめる と、分布図上の粘性の触感を表すオノマトペ周辺に 定位される素材群と,分布図左の粗さの触感を表す オノマトペ周辺に定位される素材群は両者とも不快 と評価されることがわかりました. 一方, 細やかな 触感や滑らかな触感を表すオノマトペ周辺に定位さ れる素材群は快と評価されていることもわかりまし た(詳細は関連する研究発表2を参照ください).こ のように、オノマトペと触素材の関係性を可視化す ることで, 触覚の感性的質感をその材質感と合わせ て体系的に議論することが可能になると考えられま す.

#### 〇今後の展望

本稿では紹介できませんでしたが、オノマトペの 音韻を入力するだけでそのオノマトペが表象するで あろう質感を出力する質感評価システムも構築しま した (関連する研究発表 3). 日本語の全音韻の組み 合わせから2モーラの繰返しオノマトペ(ABAB型) 11,075 語とオノマトペ特有の標識のついたオノマト ペ3,509 語を作成し、予備実験によって触覚を表す 全音韻を網羅するオノマトペ312語を抽出しました. この 312 語について、 質感評価に関連する 43 対の 形容詞評価尺度ごとに、被験者に7段階での印象評 価を求める調査を実施しました. 得られたデータを 用いて数量化理論I類による分析を行い、全音韻の カテゴリ数量を算出し、任意のオノマトペ表現の印 象予測値を算出できるようにしました. このシステ ムを質感研究に活用することを今後行っていきたい と考えています.

#### ○関連する研究発表

- 1. <u>Maki Sakamoto</u>, Junya Yoshino, and Juni Watanabe: Development of Tactile Materials Representing Human Basic Tactile Sensations, Proceedings of the 5th International Congress of International Association of Societies of Design Research (IASDR 2013), 1068-1074. (2013)
- 2. 渡邊淳司,加納有梨紗,<u>坂本真樹</u>:オノマトペ分布図を利用した触素材感性評価傾向の可視化,日本感性工学会論文誌,13(2),353-359 (2014)
- 3. 清水祐一郎, 土斐崎龍一, <u>坂本真樹</u>: オノマトペ ごとの微細な印象を推定するシステム, 人工知能学 会論文誌, 29(1), 41-52 (2014)

公募研究 B01

# 視覚情報から物体の経時変化を推定する高次質感認知メカニズム の解明

研究代表者 岡嶋 克典 (横浜国立大学大学院環境情報研究院・教授)

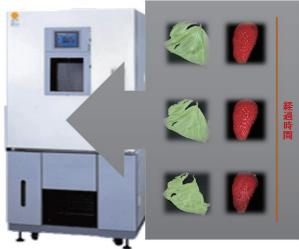


#### 2次元色彩計



2次元画像測色値データ





恒温恒湿槽

恒温恒湿槽内で劣化する野菜の測色値画像情報を 2次元色彩計で取得し鮮度評価実験用画像を作成

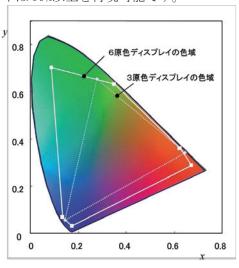
#### 〇研究の背景と目的

私たちは食品を見るだけで、その種類だけでなく、 鮮度や熟度等も一瞬にして認知することができます。 これは、私たちの視覚系に、鮮度情報を処理するメカニズムが存在することを示唆しています。しかし、 視覚の高次質感認知(例えば鮮度感や瑞々しさ感等)に関する研究はあまり行われていません。一方、食品の分野でも生鮮食品の鮮度の測定法は確立されていません。そのため、視覚情報から自然物の経時変化を推定するメカニズムの解明は、様々な産業分野における応用の観点からも重要な課題といえます。

#### 〇研究成果

生鮮食品(コマツナ・キャベツ・イチゴ・ニンジン)を恒温恒湿槽によって系統的に腐敗劣化させ、 その途中経過を2次元色彩計で画像情報として記録

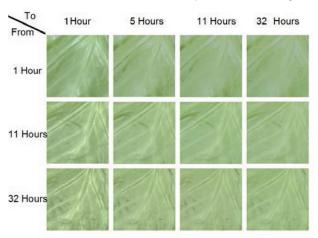
し、視覚刺激を作成しました。この画像は、デバイ スに依存する通常の RGB ではなく、測色値の2次元 データで構成されていますので、較正された適切な モニタで表示することで、実際の野菜と同じ色・明 るさでいつでもどこでも表示することが可能です。 この視覚刺激を使用して、鮮度評価実験をまずは健 常者で行いました。その際、刺激画像の表示デバイ スとして、色再現領域が広く忠実な色再現が可能な 液晶モニタを使用しましたが、イチゴだけはこの液 晶モニタでも表示できない鮮やかさを有していたた め、山口ら (A班) が開発した多原色プロジェクタ システムを導入し、イチゴ刺激を表示しました。こ のシステムは、RGB3原色の特性を変更する色フィル タが装着された2台の液晶プロジェクタを用い、投 影像をスクリーン上で重ね合わせることで映像を表 示します。2台のプロジェクタの3原色は互いに異 なり、また通常の RGB よりも色純度が高いため、6 原色表示により広い色域の表現が可能です。従来の 標準的な RGB モニタが表示できるのは自然界の反射 物体の色域の 85%程度であるのに対し、6原色ディ スプレイは99%以上を再現可能です。



6原色ディスプレイの色再現領域

鮮度評価実験の結果から、知覚鮮度と画像内の輝度分布統計量との間に高い相関があることを明らかにしました。また色は食品において重要な情報の1つですが、今回の実験から鮮度の評価において、色情報は主要な手がかりではないことがわかりました。次に、画像処理技術を用いて各輝度分布統計量を独立に変化させたキャベツ画像を作成して同様な実験

を行いました。通常、輝度分布を変えると、その中の様々な統計量が同時に変化してしまいますが、今回特殊な変換方法を開発することで、各統計量を独立に可変することが可能となりました。その結果、輝度分布統計量の1つである歪度(skewness)が重要な手がかりになっていることを突き止めました。



輝度分布のみ置換して作成した人エキャベツ画像 横列はオリジナル画像が同じ人工画像 "時間"は恒温恒湿槽内で経過した時間

そして、4種類の野菜の鮮度知覚の変化は、輝度分布統計量と輝度空間周波数で定式化できることを示しました。これは、画像処理による定量的な鮮度評価が可能であることを示しています。また以上の知見に加え、鮮度評価が短時間呈示(0.1s以内)で可能なことから、視覚系に鮮度評価のためのメカニズムが存在することが示唆されます。

以上の結果は視覚および脳機能が正常な被験者に よる結果ですが、初期の変性性認知症患者において 鈴木ら(C班)と鮮度評価機能を検討しました。脳 に損傷のある患者では傷んだ食物を食べたり、人に 勧めたりする行動変化がみられることがあり、鮮度 評価機能の低下が関与している可能性があります。 今回はアルツハイマー病などの変性性認知症および その予備軍とされる軽度認知障害の患者にご協力い ただき、2つの課題を施行しました。鮮度の異なる2 枚の野菜の画像からより新鮮な方を選択させる鮮度 判断課題と、鮮度は同じで輝度のみ異なる 2 枚の野 菜の画像から明るい方を選択させる輝度判断課題で す。その結果、健常人に比較して患者群では鮮度判 断課題でのみ成績が低下していることが分かりまし た。鮮度判断課題の成績低下は、視力やコントラス ト感度の低下、全般性認知機能低下とかならずしも 関連せず、変性性認知症においては早期から鮮度評 価に関わる機能が低下する可能性が示唆されました。 ここまで、ヒトの鮮度評価に関する研究について 紹介してきました。食べる前に、見るだけで鮮度を 評価できれば、古い食べ物の摂取を避けることがで きます。これは、生存において必要不可欠な機能と 考えられます。そのため、ヒトに限らず、他の動物

にも視覚による鮮度評価ができるはずです。そこで チンパンジーによる鮮度評価実験を伊村ら(B班) と行いました。まず、鮮度の異なる2枚のキャベツ の葉の画像をモニタに提示して、チンパンジーが「鮮 度」の高い方を選択するように訓練しました。その 後、新奇なキャベツの葉やホウレンソウの葉の画像 を用いて鮮度評価実験を行なったところ、チンパン ジーも鮮度の違いを区別できることがわかりました。 画像に含まれるピクセルの配置をランダムに並び替 えた場合には鮮度評価の成績が低下したことから、 空間的な情報も鮮度を区別する手がかりとして重要 であることが示されました。また、ヒトと同様に、 チンパンジーにおいても、色情報が鮮度知覚に関す る主要因ではないことを明らかにしました。以上の 結果から、ヒト以外の動物の視覚系にも鮮度を評価 するメカニズムが備わっている可能性が示唆されま した。



チンパンジーの鮮度評価実験の様子

以上のように、分野や背景が異なるA、B、C班のメンバーとも協力し合い、様々な角度から食品鮮度の認知メカニズムの解明に取り組みました。その結果、通常では得られない食品鮮度の認知メカニズムに関する広範な知見が得られました。

#### 〇今後の展望

他の野菜や食品の鮮度認知に関する検討や、今回得られた知見を用いた画像処理による鮮度判定システムの開発が期待されます。また、自然食品のみならず人工物の経時変化認知メカニズムの解明や、食品質感が味覚等に及ぼすクロスモーダル効果の解明ならびに応用に関する研究の進展が期待されます。

# ○関連する研究発表

1. Arce-Lopera C, Masuda T, Kimura A, Wada Y, Okajima K: Luminance distribution as a determinant for visual freshness perception: Evidence from image analysis of a cabbage leaf. Food Quality and Preference 27(2):202–7, 2013.

2. Okajima K, Arce-Lopera, C, Masuda T, Kimura A, Wada Y: Luminance distribution asymmetry modifies vegetable freshness perception. 10th Pangborn Sensory Science Symposium, Rio de Janeiro, Brazil, O12.2, 2013.

公募研究 B01

皮膚変形レベルでの質感解明:質感を際立たせる

触覚テクスチャ合成法の確立



研究代表者 岡本 正吾(名古屋大学大学院工学研究科・助教)



木材らしさのエキス (木材の特徴となる皮膚変形)

触感ディスプレイ装置. 指の腹に機械的な変形を与えることで人工的に触感を生成します. 触感ディスプレイは、わずか数マイクロ・メートルですが、高速に移動することで、人の指に触感を生成します. この例では、木材らしさを決める特徴を用いて、綿の触感を加工しようとしています. また、カメラで手の運動を観察し、手の動きに応じた変形を生成しますが、これも重要な技術です.

#### 〇研究の背景と目的

人は物の表面に触れたときに、その物特有の質感を 感じます。例えば、木材らしさ・絹らしさ・紙らし さなどがこれに該当します。では、これらの「素材 らしさ」はどのように決まるのでしょうか?この研 究では、このような触感(触の質感)を決めるもの が何であるのかを理解し、それを触感ディスプレイ に利用しようということを目的としています。専門 的な言葉で、特定の感覚器官に情報を提示する装置をディスプレイと言います. 触感ディスプレイとは、物の触り心地を仮想的に生成する装置のことです. ちなみに、テレビのことを視覚ディスプレイ、オーディオ機器のことを聴覚ディスプレイと言います.

# 〇研究成果 1: 触感と皮膚変形の関係を調査し、皮膚変形レベルで質感を理解する

人が感じる触感(粗さ感、摩擦感、硬軟感など)と 指腹の皮膚変形との関係を調査しました.人が物に 触れると、指の皮膚が変形します.この変形によっ て、物の触り心地が生じます.したがって、皮膚の 変形こそが、触感の源です.しかしながら、どのよ うな皮膚変形が、粗さ感、摩擦感、硬軟感などを決 定しているかは分かっていませんでした.また、そ れらがどのように組み合わさることで、布らしさが 決定しているのかも不明でした.そこ で、色々な素材を擦ったときの皮膚変形と、それら の触感の関係を統計的に結びつけました.

色々な素材を擦った時の触感は、官能評価と呼ばれる方法を用いて調査しました。官能評価では、典型的には、粗い-滑らかな、硬い-柔らかい、などの意味的に対になった形容詞を用いて、物の触り心地に点数をつけていきます。多くの人に共通の触感を議論するため、点数は実験の参加者の間で平均化しました。

次に様々な物を擦った時の皮膚変形を計測しなければなりませんでした.しかしながら,物を擦っている最中の指腹の変形を計測することは簡単ではありません.そこで,二次的な方法として,先端が指腹のように丸い金属棒(プローブと呼ばれます)で物を擦り,その棒の振動的な振舞いをレーザーを用いたセンサで計測しました.この棒の挙動を,皮膚変形に類する情報としました.専門的な用語で,このような情報を,振動触刺激と言います.

以上の過程で獲得された、物の触感と皮膚変形の 関係を、統計的に結びつける計算方法を開発しました。この結びつけのポイントは、触感には、粗さ感、 摩擦感、硬軟感などの複数の要素があり、物の触感 はこれら複数の要素からなる多次元の情報空間に位 置づけられるということです。一方で、皮膚変形に も、様々な周波数の成分が含まれます。したがって、 触感と皮膚変形の多次元の空間同士を結びつけました。 両方の空間がもっとも良く一致するような、皮 膚変形の形状を特定するという問題を解いたわけです.このような計算方法が物の触り心地で試みられたことはなく,初めて,多次元的な触感と皮膚変形の関係が調査されました.

# 〇研究成果 2: 物の触り心地を仮想的・人工的に生成する触感ディスプレイの開発とそれを用いた触感合成

人が指で物体の表面をなぞると、表面の起伏に併せて指の皮膚が変形し、触感が生じます.この皮膚変形を人工的に生じさせることによって触感を擬似的に生成するのが触感ディスプレイです.様々な種類の触感ディスプレイがこれまでに提案されていますが、もっとも実績があるのが、振動触感ディスプレイと呼ばれるものです.これは、液晶画面のタッチパネルなどを機械的に変形させ、それを振れる指腹の皮膚の変形を引き起こすというものです.例えば、カー・ナビゲーション・システムや銀行のATMシステムに、既に実装されているものがあり、ボタンを押した感覚などを仮想的に生成し、使用者の操作入力を補助します.

この研究では、物の触り心地に適した振動触感ディスプレイを新たに開発しました。図の写真の装置がそれです。この装置は、主に、変形を生成する部分、手の運動を観察するカメラ部、それらを高速(5kHz)で制御するマイクロ・コンピュータから成ります。手もしくは指の運動に応じて、指腹に変形を提示することで触感を操作することができます。

この装置を用いて、木材をなぞったときの皮膚の変形を模擬すれば、木材をなぞったような触感を生成できます(というのが理想です). さて、木材をなぞったときの皮膚変形の中から一部を取り出して、それを例えば布らしい仮想素材と合わせたら何が起こるでしょうか?もし、布の触感が木材らしく変化したとすれば、それは、木材らしさを決めるものが

何かを特定したことにならないでしょうか. それがこの研究のアプローチです. これまでに, 実際に木材の触感を木綿らしく変化させることに成功しており, われわれのアプローチの可能性が示されています. 振動触感ディスプレイによって生成される触感は, まだまだ原始的なところがありますが, 今後, スマートフォンやタブレット PC の普及によって, 確実に技術は向上していきます.

#### 〇今後の展望

これまでの研究により、本研究の進め方が、触感と皮膚変形の関係を特定するための正しい方法で優多ことが支持されました. 仮説を検証することを優先し、早歩きでやってきた部分があります. 例えば、本来であれば、皮膚の変形を計測するべきところを、プローブによって代用しました. また、開発した触感ディスプレイを用いた仮説の検証も限定的です. 今後は、これらを補強しながら、より強力な証拠を伴って、触感とは何かを明らかにしていきます. をで元対応を用いた質的表現からの触感生成技術」へと引き継がれ、皮膚変形の計測技術はそこで開発されます.

#### ○関連する研究発表

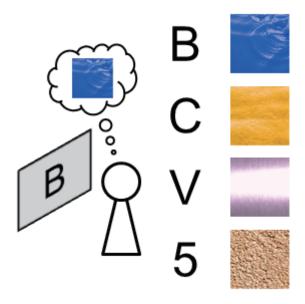
- 1. Matsuura Y, <u>Okamoto S</u>, Nagano H, Yamada Y: Multidimensional matching of tactile sensations of materials and vibrotactile spectra, Information and Media Technologies , 9(4):505-516, 2014.
- 2. Matsuura Y, <u>Okamoto S</u>, Asano S, Nagano H, Yamada Y: A method for altering vibrotactile textures based on specified materials, IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Paris, France, 9.9-13, 2012.

公募研究 B01

# 物理刺激を伴わない質感認知: 共感覚における質感認知の神経基盤の解明

研究代表者 齋木 潤 (京都大学大学院人間・環境学研究科・教授)





文字―質感共感覚者は、文字からそこに存在しない はずの質感を主観的に経験する(図左)。本研究の対 象である共感覚者 TH は、異なる文字に対して多様 な色・質感を知覚する(図右)。

#### 〇研究の背景と目的

共感覚とは、「文字を見ると、色が見える/感じられる」ような、物理刺激に対応しない知覚が生じる現象で約100人に1人が持つと言われています。物理刺激に伴う知覚と共感覚を比較検討することで、高次視覚領野で生じていると考えられる色を含む質感の認知の特性や神経機構の解明が期待できます。

本研究は、文字を見ると色が見える色字共感覚に 焦点を当て、以下の2つの問題を取り上げました。 (1)物理的色認識と色字共感覚における文字と色 の結びつき方の機能的差異:

物理的な色認識においては、色知覚を誘発する物理刺激が必ず空間上のある位置を占めています。これに対し、色字共感覚の場合は、色知覚を誘発する物理刺激自体は不在である一方で、共感覚を誘発発っる文字は物理刺激としてやはり空間上のある位置を当めることになります。この時、共感覚に強く制約のでしょうか。一つの可能性は、物理的色認知を含めて共感覚色認知が物理的色認知とその初期過程を含めて共通性を持つことが理的とれます。一方、共感覚色認知は誘発刺激の物理的

位置の制約を受けない可能性もあります。この場合、 共感覚色認知は物理的色認知よりもより抽象度の高 いレベルで生じていることが示唆されます。

(2) 文字に対して色とテクスチャを感じる共感覚 (以下、質感共感覚と呼ぶ) における色情報とテク スチャ情報の相互作用:

机の木目や柱の金属光沢などの物体から感じ取れる質感は、当たり前のように私達の意識に浮かび上がってきます。しかしながら、そうした質感のなす模様は、考えてみれば物体の各点でばらつく明るさの集まりでしかありません。私達がこの明るさのもっきを質感として主観的に感じるとはどういうことなのでしょうか?これに対し、共感覚者の特性を調べることは有力なアプローチと言えます。彼らの持つ感覚の諸特性を調べることは、主観的な質感とはどういうものかを知るための手がかりとなります。しかしながら、この種の共感覚はその希少性(それを持つ人が少ない)のために、今まで科学的な報告が殆どなされていませんでした。

我々は今回、文字に対して色および質感を感じる共感覚者、THを発見することに成功しました。TH氏への事例研究を通じ、心理学実験を通じて主観的質感の心理特性を明らかにすることを目的としました。

#### 〇研究成果

(1) 文字―色結合の機能的差異:我々が色付き文字の色を知覚する場合、色の知覚は文字の位置に依

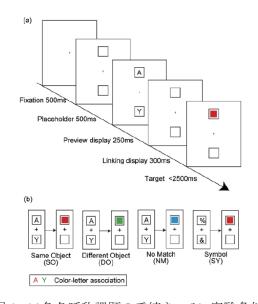


図1.(a)色名呼称課題の手続き。(b) 実験条件。

存します。共感覚色認知でも同様かどうかを調べる ために、色なし文字を先行呈示して後続の色刺激に 対する反応を2つの刺激の位置関係を変動させて観 測しました。具体的には、図1のように、画面の上 下に2つのアルファベット (例、A と Y) を同時に 短時間呈示し、その後、上下いずれかに色パッチを 呈示してその色名呼称課題を行いました。この時、 例えば、ある共感覚者が A を赤、Y を緑に感じてい るとすると、A のあった位置に赤色パッチが出る場 合が同物体条件、A のあった位置に緑色パッチが出 る場合が異物体条件、A のあった位置に青色パッチ (つまり、A,Y いずれの共感覚色ではない色)が出 る場合が対応なし条件となります。この時、文字に 誘発される共感覚色が文字位置に依存するならば、 色名呼称速度は同物体<異物体<対応なしとなるこ とが予測されるのに対し、共感覚色が文字位置に依 存しなければ、同物体=異物体<対応なしとなるこ とが予測されます。実験の結果、物理刺激の知覚と は異なり、共感覚者では、同物体条件と異物体条件 の間に明確な差が認められず、共感覚色知覚はそれ を誘発する文字刺激の位置とは無関係に生じている ことがわかりました。非共感覚者に対して、文字と 色の関係を明示的に学習させてこの実験を行った場 合は、物理色知覚の場合と同様、同物体条件でより 反応が早くなることもわかりました。つまり、共感 覚者における共感覚色認知に見られる特性は、共感 覚者に固有なものであって、単なる一般的な連想関 係の効果ではないことも示されました。この結果は、 色字共感覚が、位置に依存しない抽象的な認知のレ ベルで生じている可能性を示唆します。

#### (2) 質感共感覚における色情報とテクスチャ情報 の相互作用

研究は大きく2つの段階に分かれていました。第一に、THがどのような文字に対しどのような感覚を生起しているかを特定する必要がありました。事前に用意した476枚のテクスチャ画像を元に、各々の文字から生じる共感覚に良く似た画像を特定しました。このことにより、文字と質感共感覚の対応関係は、THが言葉で報告するよりも多様な関係を持つことが明らかとなりました。また、冒頭の図にあるような、文字とある特定のテクスチャの間に強い、安定した関係があることが明らかになりました。

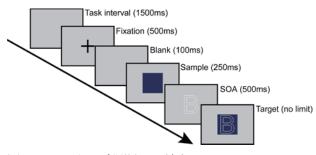


図2. マッチング課題の手続き

第二に、質感共感覚の持つ心理特性を、物理的な テクスチャとの干渉効果を測ることで検討しました。 干渉効果は、図2のように物理的なテクスチャ刺激 の継時的マッチング課題中に文字を呈示し、文字か ら生じる共感覚がマッチング過程をどのように遅ら せるかを測ることで確かめられました。はじめに呈 示された物理的テクスチャ刺激と文字から誘発され る質感共感覚が不適合である場合、それらが適合的 である場合と比較して、マッチング反応が阻害され ることが予測されます。実験の結果、確かにそのよ うな干渉効果が生じることが確認されました。さら なる解析から、質感共感覚は随意的にその生起を抑 えこめないこと、干渉効果は非共感覚者が模倣でき るものでないことも分かりました。これらは、質感 共感覚を当人の主観報告ではなく、客観的指標から 捉えた初めての知見です。

もう一つ着目したのは、THが感じている共感覚色と共感覚質感の関係です。それらは独立に生じているのか、或いは、一つに統合された形で生じているのかを様々な刺激条件に対する干渉効果のパターンを分析することによって検討しました。その結果、それらの異なる共感覚的特徴はバラバラではなく、1つに統合された形で TH の頭の中に存在することを示唆する結果を得ました。すなわち、B という文字に対する青という共感覚色と波のような共感覚質感は一つのまとまりとして生じているらしいということです。

#### 〇今後の展望

本研究から、共感覚色認知は、物理的色認知とは異なり、物理刺激からの制約が弱いこと、とはいえ、全く無制約に生起するのではなく、共感覚特徴間の相互作用には強い制約があることが示されました。今までの共感覚研究は単一の特徴のみを研究対象としていたものが多く、共感覚的特徴間の相互作用を示した本研究は意義深いものであると言えます。今後、統合的な共感覚の神経基盤について、機能的MRIなどの脳機能測定技術を使い、突き詰めていくことが重要と考えています。

#### ○関連する研究発表

#### 論文

1. <u>Saiki, J.</u>, Yoshioka, A., & Yamamoto, H: Type-based associations in grapheme-color synaesthesia revealed by response time distribution analyses. Consciousness and Cognition, 20, 1548-1557, 2011.

#### 学会発表など

1. <u>Saiki, J.</u>, Koga, H., Banno, H., & Yamamoto, H. (2013). Grapheme-Shitsukan synesthesia: Interaction of concurrent colour and shitsukan in synesthetic experiences. 9th International Conference on Cognitive Science (ICCS 2013). Kuching, Sarawak, Malaysia, 8.27-30, 2013

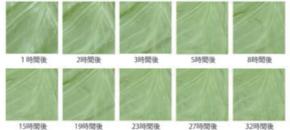
#### 公募研究 B01

# チンパンジーにおける食物の質感知覚



#### 研究代表者 伊村 知子 (新潟国際情報大学情報文化学部・准教授)





上図. 実験に取り組むチンパンジー、アイ。画面上に提示される2枚のキャベツの葉の写真のうち、新鮮な方に触れると正解となる。

下図. 本実験で使用したキャベツの葉の写真。写真は、一定の温度や湿度に保たれた室内で撮影されたキャベツの葉の同一部位を256ピクセル四方の大きさになるように作成された。

#### ○研究の背景と目的

ものの素材や状態などから感じられる質感は、人間だけでなく、人間以外の動物にとっても生息環境や食物などを選択する上で重要な情報といえるかもしれません。たとえば色覚は、昼行性の霊長類にとって、果実の熟し具合や若葉を見分けるための重を手がかりの1つとして考えられてきました。とろが、最近の研究から、人間は、野菜や果物の写にとが、最近の研究から、人間は、野菜や果物の写に関する情報(輝度の分布の広がりやかたより具合など)を手がかりにしていることが示されました。一方で、そのような輝度の分布についての情報が、人間以外の霊長類にとっても食物の状態を区別するすがりとなっているかについては十分に検討されていません。

そこで、本研究では、チンパンジーを対象に、 野菜や果物の写真から鮮度の違いを区別できるかについて調べました。また、人間の鮮度知覚の進化的な基盤を明らかにするため、チンパンジーがどのような情報を手がかりに鮮度の違いを判断しているかについても分析しました。

#### 〇研究成果

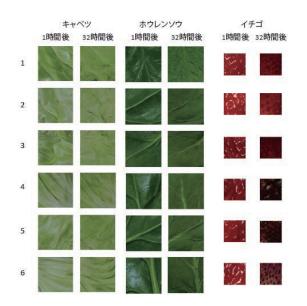
京都大学霊長類研究所の 3 個体のチンパンジー (Ai: 35 歳, Ayumu: 11 歳, Chloe: 31 歳) が 4 つ の実験に参加しました。

最初の実験では、チンパンジーが毎日食べている キャベツの写真を用いて、視覚手がかりのみから鮮 度の違いを区別できる否かについて調べました(上 図)。

まず、図(下図)のように、キャベツの葉の表面 が時間経過とともに劣化していく様子を撮影した10 枚の写真(購入後 1 時間後, 2時間後, 3時間後, 5 時間後, 8時間後, 15時間後, 19時間後, 23時間後, 27 時間後, 32 時間後に撮影したもの) を用意し、そ のうちの2枚(1時間後と32時間後、2時間後と27 時間後、3時間後と23時間後、5時間後と19時間後、 8時間後と15時間後の組み合わせ)を画面上に提示 して、鮮度の高い写真の方を選択するように訓練し ました。その後、訓練で使用していない新奇な組み 合わせの写真でテストをおこなったところ、チンパ ンジーは初めての組み合わせでも、より鮮度の高い キャベツの写真の方を選択することができました。 このことから、チンパンジーも、人間にとっての鮮 度に対応する写真の違いを区別できることがわかり ました。

2つ目の実験では、1つ目の実験で使用した写真を モノクロに変換することによって、色の情報が鮮度 の違いの判断に及ぼす効果について調べました。そ の結果、チンパンジーは、モノクロの写真からでも、 キャベツの葉の鮮度の違いを見分けられることがわ かりました。したがって、チンパンジーも、輝度の 情報を手がかりに、鮮度の違いを区別している可能 性が示唆されました。

3 つ目の実験では、キャベツの葉の表面の凹凸のような形態を手がかりとして利用できないように、写真をピクセルごとにランダムな順序に並び替えた写真を用いて、キャベツの葉の表面の形態の情報が鮮度の違いの判断に及ぼす効果について調べました。



実験 4 で用いたキャベツ、ホウレンソウ、イチゴの写真の例。実験 1,2,3 で用いたキャベツと同様の条件で撮影された購入後1時間後と32時間後の写真を用いた。写真のサイズは、キャベツとホウレンソウが256ピクセル四方、イチゴが128ピクセル四方であった。

その結果、このような写真を用いた場合には、鮮 度判断の正答率が著しく低下したことから、チンパ ンジーは、葉の表面の形態情報を手がかりに鮮度を 判断している可能性が示されました。

実験 4 では、これまでの実験で示された結果が、 鮮度に基づく判断といえるか否かについて、さらに 検討しました。

実験1から実験3で用いたキャベツの写真とは異なるキャベツやホウレンソウの葉、イチゴを、購入後1時間後と32時間後に撮影した写真を、それぞれ6枚ずつ使用しました。チンパンジーは、1時間後と32時間後の2枚の写真のうち、新鮮な野菜、あるいは果実の写真に触れれば、正解となりました。もし、これまでの実験でチンパンジーが鮮度に基づいて写真を区別していたのであれば、新奇なキャベツやホウレンソウ、イチゴの写真を用いた場合でも、より鮮度の高い写真を選択することができると予想されます。

その結果、3個体中1個体のチンパンジーは、ほぼ全ての野菜、果物の写真で、より鮮度の高い方を選択することができました。一方、その他の2個体のチンパンジーでは、一部の写真のみ、鮮度の高い方を選択する傾向が見られました。

そこで、写真の平均輝度や低い輝度から高い輝度 までの広がり具合(標準偏差)、かたより具合(歪度、 尖度)といった統計情報と鮮度判断の正答率との関 係について、さらに分析しました。その結果、先に 述べた 2 個体のチンパンジーでは、輝度の平均値、輝度のかたより具合(歪度)と鮮度判断の正答率の間に正の相関が見られました。つまり、より平均輝度が高い写真、輝度の分布のかたよりが大きい写真を用いたペアでは、より高い正答率を示すことが示唆されました。

以上の結果から、チンパンジーは鮮度の異なる野菜や果物の写真を区別できること、また、輝度や形態の情報の手がかりを区別している可能性が示されました。これらの結果は、先行研究で人間を対象に示された鮮度判断の結果とも一致していました。人間以外の動物においても、輝度にかかわる情報が食物の状態の判断の手がかりとして用いられる可能性があることが示唆されました。

#### 〇今後の展望

本研究では、チンパンジーを対象に、野菜や果物 の写真から鮮度の違いを区別できるかについて調べ ました。その結果、キャベツやホウレンソウ、イチ ゴなどの限られた種類でのみではありますが、チン パンジーは、少なくとも視覚情報のみから鮮度の違 いを区別できることが明らかになりました。また、 人間の鮮度判断と同様に、輝度の分布の情報を手が かりに鮮度の違いを見分けている可能性が示されま した。輝度の分布の情報は、金属などの光沢感の知 覚とも関連しており、サルの脳で光沢感に選択的に 活動する神経細胞が発見されていることから考える と、輝度の分布の情報を利用するためのメカニズム は、人間以外の霊長類にも共有されているといえる でしょう。一方で、実際の食物の選択において、そ のような能力がどのように発揮されるかについては 十分に検討されていません。また、今後、食物に限 らず、対象の素材や状態といった質感の知覚が、人 間を含む動物の物体認識の過程にどのように影響す るのかについてさらに検討していくことにより、人 間の質感知覚の特徴や進化的基盤が明らかになるで しょう。

#### ○関連する研究発表

- 1. <u>伊村知子</u>, 増田知尋, 和田有史, 岡嶋克典. チンパンジーにおける食物のテクスチャ知覚. 第三回多感 覚研究会, 東京大学, 2012 年 1 月 18 日
- 2. <u>伊村知子</u>, 増田知尋, 和田有史, 岡嶋克典. チンパンジーにおける食物の質感知覚. 国際高等研究所研究プロジェクト「心の起源」2011年度第3回研究会, 国際高等研究所レクチャーホール・けいはんなプラザ, 2012年1月28日~29日
- 3. 伊村知子, 増田知尋, 和田有史, 岡嶋克典. チンパンジーにおける食物のテクスチャ知覚. 日本動物心理 学会第72回大会, 関西学院大学, 2012年5月12日~13日

# 漆質感認知に寄与する時空間視覚情報特性解析

#### 研究代表者 大谷 芳夫 (京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科・教授)

#### 〇研究の背景と目的

「漆」は、'japan'と表記されるように、日本を代表する伝統工芸の一つです。漆についてはこれまで伝統技術の継承や記録が行われ、科学的計測による物性データも蓄積されつつあります。しかし、漆のもつ質感や、それをヒトが認知するメカニズムはまだ知られていません。本研究では、漆塗技能熟練者が漆板の艶を判断する際に回転運動をさせながら観察を行っていること(図 1 参照)に着目し、漆質感認知に関する実験的検証を行いました。本研究の、漆図知に関する実験的検証を行いました。本研究の、漆塗技能熟練者が漆艶を判断する際に、どのような画像的手がかりを用いているのかを解明することです。



【図1】熟練者が漆板観察している様

#### 〇研究成果

#### 1. 映り込み画像の輝度の空間分布

漆に映り込んだ光源画像をもとに、漆艶の反射特性を定量化しました。

艶漆と艶消し漆の配合比率を変化させた 11 種類と鏡面仕上げをしたもの総計 12 段階の漆板を作成しました (0 番 (艶なし) ~11 番 (艶あり:鏡面仕上げ))。漆板上の光源の映り込み画像の輝度分布を2次元測定し、輝度分布の勾配をロジスティック関数で近似しました。勾配の大きさを示す係数を算出し、輝度の空間変化率としました。輝度の空間変化率は漆の艶が高くなるのに従い増加する傾向にありました。ただし、比較的艶の低い 0~2 番の間と、比較的艶の高い 9~11 番の値の間には明確な差が見られませんでした。一方、3~8 番までは一定の増加率で係数値が大きくなる傾向が見られました。

#### 2. 輝度の空間変化率と艶評定の関係

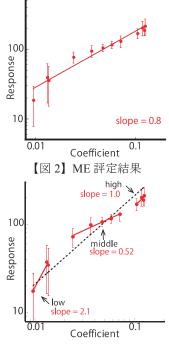
Magnitude Estimation 法 (ME 法) を用いて、漆板の知覚的な艶の程度を測定しました。

被験者(漆塗技能熟練者)は基準刺激となる漆板(5番)を観察し、その知覚的な艶の程度を100と

して、その後、比較刺激の漆板(0~11 番)の知覚 的な艶の程度を数値で答えました。

艶の程度に関する評定値の結果を図 2 に示します。 図の横軸は輝度の空間変化率、縦軸は ME 評定値、 両対数軸表示とし、直線はベキ関数による最小二乗 近似の結果を示しています。図から、評定値は輝度 の空間変化率で直線近似できますが、ベキ値が 0.82 であることから、空間変化率とは非線形な関係にあ る事が明らかとなりました。

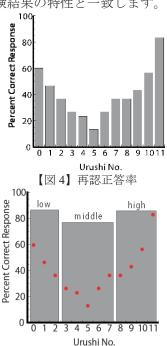
また、各点のエラーバーや評定値の変化率から、評定値は、空間変化率の低いグループ(low:漆板0~2番)、中程度のグループ(middle:漆板3~7番)、高いグループ(high:8~11番)の3つに分かれていると考えられます。これら3グループについて個別にベキ関数近似した結果を図3に示します。図から、すべてのグループで、ME評定値は映り込み画像輝度の空間変化率で極めてよく近似できています。また各グループの近似式のベキ値は、lowで2.1、middleで0.52、highで1.0と、異なる値となりました。これは、被験者が漆の知覚的な艶の程度を、「高い・中程度・低い」の大まかな3段階で判断していたこと、及び、各グループ内の漆の艶判断基準が異なることを示唆しています。



【図3】ME評定を3グループに分けた結果

#### 3. 観察角度が艶再認に及ぼす影響

漆板を動かしながら観察した場合の漆艶の再認実 験を行い、正答率と漆板観察時の眼球運動特性との 関係を検討しました。実験の準備段階として、被験 者は漆板を一通り十分に観察し、その後、本実験の 各試行で個別に提示した漆板の番号を回答しました。 漆板ごとの艶再認正答率を図4に示します。図から、 正答率は、漆板番号が0番、及び11番で上がり、中 程度の5番に近づくほど下がるU字型の傾向を示し ています。ME 実験の結果からは、被験者の艶判断 は大まかな3段階でなされている事が示唆されまし たが、同様の傾向が再認正答率にも現れているかを 検証するため、空間変化率が low, middle, high の場合 の正答率を算出しました。例えば middle の場合、提 示した漆板3~7番がこのグループに該当し、被験者 が 3~7 番のいずれかを回答した場合に正答としま した。図5から、被験者は12種類の漆の艶を3段階 で判断した場合、再認正答率は80%程度になる事が わかります(図の赤点は個別板毎の正答率(図4と 同一データ)を示します)。このことは、被験者は漆 の艶を3段階で判断する事が可能なことを示してお り、ME 実験結果の特性と一致します。



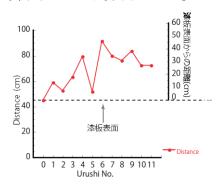
【図5】3段階での艶再認正答率

#### 4. 艶再認時の輻輳角の特性解析

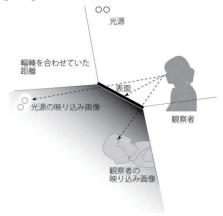
再認実験中に測定した眼球運動情報から輻輳角を 算出しました。輻輳角とは物体を両眼で注視した際 に左右眼の視軸がなす角度を指します。

漆板ごとに、観察中の平均輻輳角から輻輳を合わせていた視距離を算出しました。図 6 の横軸は漆板番号、右の縦軸は漆板表面から輻輳を合わせていた視距離を示しています。図から、漆板番号 0 番では漆板表面付近に輻輳を合わせていますが、1 番から 6 番まではばらつきが大きいながらも視距離は増加傾向にあり、7番~11番では一様に漆板表面から奥へ

30cm 程度の距離に輻輳を合わせている事が明らかとなりました。この傾向から、艶が低い漆板の場合は漆板表面を観察しており、艶が増すにしたがって、漆板より奥を観察していたといえます。漆板表面よりも奥ということは、漆板に映り込んでいる画像、即ち光源や観察者の鏡像を観察していたと考えられ(図 7 参照)、漆の艶の度合いによって、観察している対象が異なることが示唆されました。



【図6】被験者が輻輳を合わせていた視距離



【図7】被験者が観察していた対象

#### 〇今後の展望

今後の課題としては、今回示唆された艶判断時の 視覚情報手がかりを、眼球運動や視野画像の解析に よりさらに特定することが挙げられます。また、鏡 面反射と拡散反射を組織的に操作した刺激を用いる 事で、各反射特性と質感認知過程で用いられる画像 手がかりの関係性を明らかにできると考えています。 これらの課題を検証する事が、質感認知という複雑 な視覚過程を解明する糸口になると期待されます。

#### ○関連する研究発表

- 1. 土井晶子、高橋成子、下出祐太郎、<u>大谷芳夫</u>:「漆の質感認知過程に関する研究—艶の評価・再認実験及び眼球運動計測による検討—」、視覚学会2012 夏季大会、山形大学、米沢、2012 年 8 月
- 2. Shoko Doi, Shigeko Takahashi, <u>Yoshio Ohtani</u>,

  Material perception of Japanese lacquer (Urushi);

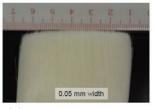
  Effects of luminance gradient and binocular
  convergence on perceptual glossiness. J., Asia-Pacific
  Conference on Vision J., D3-016, Suzhou, China, 2013

#### 公募研究 B01

# 「細かさ」質感の視知覚特性

#### 研究代表者 新谷 幹夫 (東邦大学理学部・教授)





(a)  $0.15 \text{ mm } \phi$ 

(b)  $0.05 \text{ mm } \phi$ 

図1刷毛の写真. (a)が(b)より太いことが簡単に判 断できる.

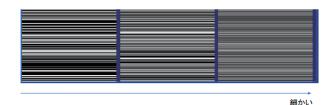
#### 〇研究の背景と目的

人間は視覚情報から物体の「質感」を知覚し、材質 の様々な特徴を認識します。「キメの細かさ」や「フ ワリとした感じ」などの感覚も重要な要素の1つで

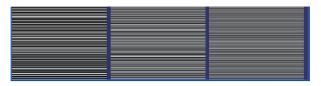
図1(a),(b)は太さが異なる刷毛の写真です。(a) の毛の太さは 0.05mm, (b) は 0.15mm です。この細か さは画像の解像度を超えていますが、(a)の刷毛が (b)より細かいことは一目瞭然です。なぜ、我々はこ のようなことができるのでしょう?本研究では、こ れまで殆ど研究例のなかった、この「細かさ」の視 知覚に焦点をあて、研究を行いました。

#### 〇研究成果

本研究では、心理物理的手法により細かさ知覚の基 本特性を解明することを目指します。また、知覚特 性に基づいた画像生成など、工学的応用の検討も行 います。



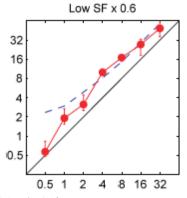
(a) 実験で用いた刺激画像



(b) 刺激画像の低周波成分を減少させた画像



(c) 実験での表示例



(d) 実験結果

図2 実験で用いた刺激画像の1例.(b)の各画像は (a)の各画像の低周波成分を減少させたもの. より細 かく見えることが分かる. (c) は実験での表示例. (d) は実験結果を赤でプロットし、モデルでの予測値を 破線で示している.

刷毛のような画像には、陰影や先端の乱れなど、さ まざまな潜在的な視覚的手掛かりがあります。そこ で、状況を単純化し、輝度・幅・方向が一定である ストライプを用いて、多重解像度を用いた視覚実験 を行いました。図 2(a) は実験に用いた画像の一例で す。

実験により、以下のことが確認できました。

①多重解像度画像を2枚提示し、どちらが細かく見 えるか判定させたところ、画素以下の細かさを正確 に判断できることが判明した。

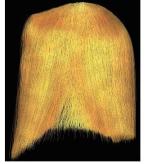
②一方の画像に対してのみフィルター処理などを行い、細かさ知覚に対する影響を調査した。その結果、提示パターンの低周波成分が大きな影響をもつことが判明した。図 2(b)は(a)と同じ細かさの画像の低周波成分を減少させた画像である。見比べて分かるように、(b)は(a)より細かく知覚される。これを定量化するため、以下の実験を行った。図 2(c)に示すように、(a)の刺激画像と(b)の画像を上下に提示し、同じ細かさに見えるように(a)の画像の細かさを変化させる。この結果を図 2(d)に示す。横軸は(b)の刺激画像細かさ、縦軸は(a)刺激画像のうち(b)と同じに知覚される画像の細かさを示す。実線で示した直線より上側に実験結果のプロットがあり、(b)の画像がより細かく知覚されることを示している。

③これらの実験結果を分析したところ、簡単な線形 モデルで説明可能であることを示した。図 2(d)にモ デルの予測結果を破線で示している。図のように、 実験結果とよい一致を見ていることが分かる。

これらの知見を応用し、1 画素スケールで描かれた粗い髪の画像に正規ノイズを適当に付加することで、細かく見える画像を生成できることを示しました。この原理を用いることで、髪や樹木などの細かい物体の画像生成を効率的に行うことができるようになるものと期待しています。この結果を図3に示します。図3(a)は、髪を太さ1画素の線分で描画した画像、(b)はノイズを付加した画像です。(b)では髪の細かさが表現されていることが分かります。

もちろん、これまでも1 画素より細かな髪を描画する手法はありましたが、提案手法は従来法より3 ~ 5 倍も高速に描画できます。





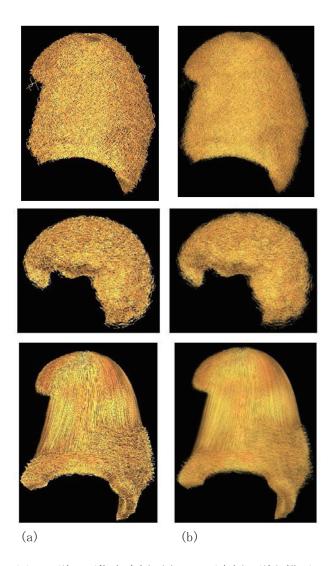


図3 髪の画像生成例. (a) は1 画素幅で髪を描画した画像. (b) はノイズを付加した画像.

#### 〇今後の展望

物体の視覚的表象は、その物理的な特性と照明などが複雑に関与しているが、われわれ人間はいとも簡単に物体固有の質感を知覚することができます。しかし、この知覚は必ずしも複雑な計算を介していることも少なくありません。今回判明した細かさ知覚もも少なくありません。今回判明した細かさ知覚もその一例といえるでしょう。このような特性を知ることは、人間の知覚機能を理解するうえで重要であるばかりではなく、画像生成などの工学的応用にも役立ちます。今後も、様々な質感知覚に関して研究を進め、理論の体系化を目指します。

## ○関連する研究発表

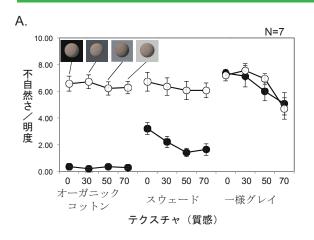
1. <u>Shinya M</u>, Nishida S: Rendering fine hair-like objects with Gaussian noise, ACM Symposium of Applied Vision, Vancouver, Canada, August 8-9, 2014.

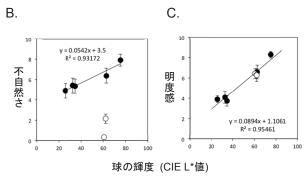
研究紹介 B01 質感認知に関わる感覚情報の特長と処理様式 公募研究・後期

#### 色の見えのモードと質感の関連およびその神経基盤



#### 研究代表者 栗木 一郎 (東北大学電気通信研究所・准教授)





図説:質感が曖昧な場合,灰色や茶色などの見え方 に問題が生じる場合があります. 布など様々なテク スチャ画像を貼り付けた球体の CG を示し、「物体表 面としてどの程度不自然か(luminosity)」と、「球 体の見かけの反射率 (lightness)」について、被験 者が10段階評価で回答する実験を行いました.パネ ルA:表面としての「不自然さ」(黒シンボル)は、 布地の質感知覚が顕著な時(左4点)には、ほぼ100% 物体表面である(縦軸の値ゼロ)と報告されました が、同じ輝度でもテクスチャの無い球体(右4点) は物体としては不自然に見えると報告されました. スゥェード(中央4点)については、被験者の約半 数が、質感が不明瞭だと回答しました. 横軸の数値 は背景の輝度を示していますが、明瞭に布地の質感 が知覚できる場合は、背景の輝度の影響をほとんど 受けません, 明度の評価(白シンボル)はテクスチ ャ画像に関係なく一定でした.一方で、質感が曖昧 な球体に対しては、背景の輝度が上がると評価値が 下がる現象(対比効果)が観測されました.「明るさ (明度)」とは別に、「物体表面らしさ」が存在して いる事を明瞭に示しています. パネルB:不自然さ を物体の輝度の関数として示すと、生地の質感が明

瞭に知覚される時(白シンボル)は、質感が曖昧な場合と全く傾向が異なりました.パネルC:明度の判断には質感が無関係な事を示しています.

まとめ:「色の見えのモード」は、ディスプレイ上の表示と印刷物・実物の見え方が異なる理由の1つだと考えられていますが、明瞭に質感が知覚できる表示では、その問題が軽減できる可能性を示す結果を得られたと考えています.

#### ○研究の背景と目的

同じ光から受ける色知覚が、物体の素材によって変わる現象を「色の見えのモード(以下「モード」)」と言います. Katz (1935)が提唱した概念ですが、現実の課題との接点が未整理の状態にありました.

この「モード」による色の見えの変化は、反射物体と発光物体の間で特に顕著である事が知られており、「表面色/光源色モードの見え方」と呼ばれます、物体表面に見える場合は茶や灰に見える光でも、光源と見なされる場合には橙や白に見えるようになります。このようなモードによる色の見えの不一致は、デジタル編集においてコンピュータディスプレイと紙などの実物体の間で生じる、色の見えの不一致の原因の一つと考えられています。

物体表面に局所的なスポットライトを当て、その 強度を上げていくと、徐々に光源として見えるよう になる現象が知られています.研究者の間では、物 体色/光源色モードは、対象物とその周辺の輝度の 比で決まると考えられていました.しかし、物体か 光源かの判断で見え方が変わるという事は、物の質 感による影響を受けている可能性が高く、あるいは 起源が同一の現象である可能性も考えられます.

そこで本研究課題では、モード判断と質感の関連 を調べ、モード知覚メカニズムの一端を明らかにす る事を目的として研究を進めました.

#### 〇研究成果

質感が明瞭に知覚できる場合と曖昧な場合を表示するため、3次元 CG によって画像を生成し、有機ELディスプレイに表示して実験を行いました. 有機EL ディスプレイは暗部の輝度が通常の液晶や CRT ディスプレイの 1/10,000 で、暗室内でも「黒浮き(黒がボーッと見える事)」の問題が生じません.

次ページの図は CG で生成した球体(左)と貼り付けたテクスチャの拡大図(右)です.この図はオーガニックコットンのテクスチャの例ですが,他にスウェードと一様(テクスチャの無い)グレイを用いま

した. 一方, 球体中央部の輝度は CIE L\*=60 でほぼ 同一とし, 形状等のテクスチャ以外の要因も統一して, テクスチャの影響だけを調べました.





球体全景

テクスチャ拡大図

前述のように、これまでは背景との輝度比がモードの判断の決定要因だと考えられていました. 具体的には、暗黒背景では光源色モードに知覚されやすく、背景が明白色では表面色モードに知覚されやすいと考えられています. そこで、球体の周囲(背景)の輝度を、暗黒を含む4段階に変化させる条件も含めてその効果についても調べました.

このような画像を観察した時に、色の見えのモード(物体表面として見えるか、光源色に近づいて見えるか)を評価してもらう実験を行い、7名の被験者が2回ずつ10段階で推定しました。同時に、同じ球体の画像に対して、球体の明度(物体表面の反射率)についての推定も10段階で行いました。

その結果は、冒頭の図 (パネルA) に示した通り です. 黒シンボルはモード判断を示しており, 左端 4点のオーガニックコットンでは 100% 近い回答が 物体表面(評価値:0)を示しており、背景の輝度 による影響を全く受けていません.一方で、右端4 点の一様グレイでは、背景の輝度に依存して変化す る推定値が示されています. 中央4点はスウェード のテクスチャを用いた場合の結果を示していますが, モード判断については前述の2つの質感条件の中間 的な傾向を示しました. 実験時に行った聞き取りで は、被験者のうち約半数(4名)は、この球体の質 感がよく解らなかったと回答しており、質感の明瞭 さがモード判断に影響する事も明らかになりました. 同時に行った明度判断(白シンボル)は物体テクス チャによる顕著な差が見られず、モードの判断は明 度とは異なる神経メカニズムによって得られる感覚 である事が示されました.

同様の評価を3段階の輝度で行った結果,生地のテクスチャを貼り付けた2つの球体(冒頭のパネルB,白シンボル)以外についてはモードの評価が球体の輝度による影響を受け,古典的研究の報告と一致する傾向を得る事ができた.一方で明度を評価した結果(冒頭のパネルC)では,質感にかかわらず球体の輝度に比例する傾向を示しました.

以上をまとめると、(1) 対象物から得られる質感

によってモード判断が顕著に影響を受ける事,(2)特に質感が曖昧になるとモード判断が環境要因の影響を受けやすく,質感が明瞭に知覚できる場合にはモード判断が環境の影響を受けにくくなる事,(3)モードと明度は別のメカニズムによって判断される感覚である事,の3点が本研究によって明らかになりました。特に,質感によってモード判断が顕著に変わることは,モード知覚と質感知覚が同じメカニズムに起因している可能性を示していると思われます。

#### 〇今後の展望

この知見はデジタル編集において生じる色の感じ 方の差が、表示された物体表面の質感による影響を 受ける事を示唆しています. 逆に、表面の質感を確 実に与える事ができれば、色の見えのモードが安定 し表示メディア(ハードコピーとディスプレイ)に よる違和感が軽減される可能性がある事を示してい ます.

色の見えのモード判断と明度の判断において顕著な差が現れる実験条件(冒頭のパネルA)を発見する事ができました。この実験条件を応用した図形により、脳活動においてモード判断に関連した変化が生じる部位を特定する事ができれば、脳内でモード判断を行っているメカニズムに関する示唆を得る事ができると予想されます。

本研究課題では、これらの示唆を検証する実験に 着手する事はできませんでしたが、今後の課題とし て取り組んでいきたいと考えています.

「色の見えのモード」は、質感という概念よりはるか以前に発見された事により、色彩工学の中でも中途半端な位置づけになっていました。しかし、本研究課題で明らかにされた通り「モード」は質感と深く密接な関わりを持っており、今後は質感という軸で色の見えのモードにまつわる現象を記述する事により現実的な問題・課題との接点がより明確に見えてくるのではないかと考えています。

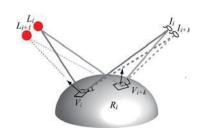
#### 〇関連する研究発表

- 1. <u>栗木一郎</u>: 色の見えのモードに対する質感の影響. 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会技術報告, vol. 114, no. 226, HIP2014-50, pp. 39-42, 2014 年 9 月.
- 2. <u>Kuriki I</u>: Relationships between the mode of color appearance and material perception, OSA Vision Meeting 2014, Pennsylvania, U.S.A., 37-38, 2014.
- 3. <u>Kuriki I</u>: Effect of material perception on the mode of color appearance. *Journal of Vision* (in press).

# 疎表現に基づく質感と3次元形状の同時推定

# 研究代表者 酒井 宏 (筑波大学 システム情報系・教授)





$$I_i = \int_{\Omega} L_i(\omega) \, R_i(\omega) \, (n_i \cdot \omega) d\omega$$

図1:網膜像ができるまで。光源(左上の赤丸)から放出された光は、物体(半球)の表面で反射する。反射の方向と強さは、表面への入射角に依存して BRDF で記述される。物体上の様々な位置からの反射光が網膜(右上)に到達して像を結ぶ。従って、網膜像は、照明(光源)・表面反射特性・3次元形状の乗算から成る。私達は、網膜像だけを頼りに、質感(反射特性)と形状を推定できる。

#### ○研究の背景と目的

人間は、網膜に投影された像から外界を理解します。私達が「見える」のは、光源からの光が物体に反射して、その反射光が目に入ってくるからです。たとえば、図1の様に、半球が机の上に置かれている場合を考えてみます。光源(左上の2個の赤丸)からでた光は、半球の表面で反射して、目(右上)に飛び込んできます。つまり、網膜像は光源・物体の反射特性・物体の形状から決まることになります。言い換えると、変数が3つあります(照明・反射・形状)。このうち反射は物体の質感を表します。

視覚系は、網膜像から未知の3つ(照明・反射・ 形状)を推定することになります。変数が1つ(網 膜像)しか判らないのに他の3つを推定することは できないので、これは解くことができず、不良設定 問題と呼ばれます。しかし視覚系は、この不良設定 問題をリアルタイムに解いています。少なくとも質 感と形状については、私達は意識にのぼるレベルで 理解できます。本研究は、この根源的な不良設定問 題に計算論的・心理物理学的にアプローチするもの です。

この不良設定問題をどうやって解くか。そのヒン

トは自然界にあります。私達の暮らす地球上の環境は、ランダムではなく、一定の性質(統計的な性質)を持っています。言い換えると、尤もらしいことが起きます。たとえば、光源は上方にあることが殆どです。太陽・月はもちろん、部屋の照明も大抵は天井や壁の上方についています(お洒落なレストランなどには例外がありますが)。この他にも、私達は意識しない、あるいは直感では理解できない自然界の性質があります。最近の計算論的な研究から、この自然界の性質を使うと、不良設定問題が解けそうだということが判ってきました[e.g., Romeiro & Zickler, ECCV 2010]。

この不良設定問題を解く上で、もう一つ重要な点 は、情報の表現の方法です。端的に言うと、コンピ ューターのように情報を効率よく一杯詰め込んで密 に表現する (dense coding) ことはせず, 無駄はあ るけど冗長性をもって疎に表現する(sparse coding)ことです。このような表現を作成する方法と して、神経系に適した Non-negative Matrix Factorization という (正の係数だけで成分を表現 する) 方法が提案されています[e.g., 1]。この方法 に、自然画像を大量に入力することによって、自然 界の性質を反映した疎な表現が作成可能になること が知られてきました。私達は、質感の知覚において も, 疎な成分表現が使われていると予想して, これ を検討しています。自然界の統計的性質を基礎とし て、計算理論・情報表現理論に立脚することによっ て,大脳における質感の表現と,質感と形状の同時 推定について研究を進めています[e.g., 2]。

#### 〇研究成果

これまでの研究から, 透明感を除く多くの質感は, 表面反射特性によって記述できることが判ってきて います。そこで、自然界にある多数の反射特性 (Bidirectional Reflectance Distribution Function)を、正の係数だけを使って、疎に表現する ことを試みました。そうすると、10個ほどの基礎 となる成分(基底関数)を抽出することができまし た(図2)。この基底関数は、その加算によって、自 然界の全ての質感を表現することができる基礎とな る質感(質感基底)というべきものです。この質感 基底が実際に皮質で使われているかを検討するため に,心理物理実験を進めました。その結果,これら の質感基底の半数程度は順応を示すことが判かって きました。このことは、大脳皮質において、質感は



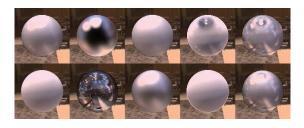


図2:質感の成分表現。(上図)自然界の多数の質感(BRDF)を,10個程度の基礎となる質感の和で表すことを考える。係数が非負になることと、表現が疎になることを制約として学習させる(NMF)と、基礎となる質感(質感基底)が算出される。(下図)質感基底の例。多くが自然な質感を表現している。大脳皮質では、このような質感基底によって質感が表現されているとの仮説を検討している。

このような基底関数によって表現されていることを支持します。

質感が成分表現できることが判りました。そうすると、皮質でも質感と形状の同時推定が行われている可能性が高くなります。そこで、心理物理実験を行って、視覚系において質感と形状が切り離せないものであるかどうかを検討しています。具体的には、順応という現象を利用します。端的に言えば、皮質の神経細胞は小さいので、活動するとすぐに疲れてしまいます。例えば、赤いものを10秒ほどみてから灰色のものを見ると、緑がかって見えます。これは、赤に反応する細胞達が疲れた結果、相対的に緑に反応する細胞達の活動程度が高くなったからです。この順応を利用します。

実験では、ある質感を60 秒見せて順応を起こします(図3)。そして、(1)同じ質感の凹凸面、(2) 異なる質感の凹凸面、を見せます。もしも質感と形状知覚が切り離せないものであれば、最初に見ていた質感に反応する細胞は疲れているので、同じ質感の凹凸は相対的に小さく(異なる質感の凹凸は相対的に大きく)見える筈です。実験の結果、半数程度の質感については、順応によって奥行き知覚が減少することが観察されました。同様に、2つの質感 A、B に順応させた後、それらの質感を混ぜ合わせた質感  $(c_1A+c_2B)$  をもつ凹凸面をみせると、順応させた質感が含まれる程度  $(c_1,c_2)$  に依存して、知覚される奥

行き量が変化することも判りました。これらのことは、質感知覚と奥行知覚は同群の細胞によって計算されていることを支持します。このようにして、大脳皮質では、計算理論が示す様に、質感と形状の同時推定が行われているかどうかを検討しています。

#### 〇今後の展望

計算理論に基づいた計算実験・心理物理実験を行って、大脳でどのように質感が表現され、形状と一緒に計算されているのかを検討してきました。これを発展させて、皮質で具体的にどのように計算が行われているかを、皮質のモデルを作って、コンピューターで実際に計算をすることができるようになります。 このようにして、私達の大脳が、どのように画像から外界を理解しているかが判ってくると期待されます。

#### ○関連する研究発表

- 1. Sparseness for the representation of surface in the construction of curvature selectivity in V4. Y. Hatori, T. Mashita and <u>K. Sakai</u> (2013) *PRISM2*: The science of light & shade, (Oct. 09-10, 2013; Bordeaux, France)
- 2. Neural construction of 3D medial axis from the binocular fusion of 2D MAs. W. Qiu, Y. Hatori and K. Sakai (2014) *Neurocomputing*, Vol. 149, Part B, 546-558, doi: 10.1016/j.neucom.2014.08.019

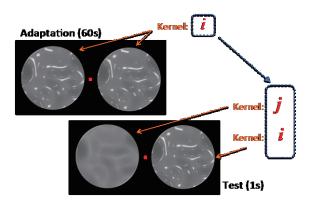


図3:質感と形状の同時推定を検討する心理物理実験。ある質感 (kernel i) に順応させた後,同一の質感 (i) と,異なる質感 (j) を呈示する。異なる質感をもつ刺激の方が,より凸凹して見える。このことは,質感と形状が同時推定されていることを支持する。

# 視覚と触覚による材質感認知メカニズムをオノマトペの音象徴性から探る



#### 研究代表者 坂本 真樹 (電気通信大学大学院情報理工学研究科・教授)



図1:オノマトペ質感評価システムによる「ふわふわ」の出力結果(短い言葉にやわらかさの他にも多様な質感情報が表されていることがわかる)

#### 〇研究の背景と目的

短く簡潔な表現でありながら, 材質から知覚した 質感と快不快などの感性的評価まで多様な情報が表 されるオノマトペの特長を活かし、従来の形容詞を 用いて測定されてきた人の主観評価を定量化するた めに,2012~2013年度の質感脳情報学の助成を受け, オノマトペによって表される触感を中心とした材質 感や感性評価値を推定するシステムを構築しました. 2009年に特許出願している本システムの基本技術は、 任意のモーラ数(日本語の拍で,例えば「さらさら」 は2モーラ「さら」の繰り返し)を持つオノマトペ 表現が表す印象を予測することを可能にするもので す. 2012~2013年度の本領域での研究活動を通して, 現在は、素材の質感を定量的に評価するのに適した 尺度で、音韻の印象評価値を計算できるまでに拡張 しています.「明るい一暗い」、「暖かい一冷たい」、 「快適-不快」,「かたい-やわらかい」,「湿った-乾いた」,「滑る一粘つく」,「鋭い一鈍い」,「つやの ある一つやのない」、「なめらかな一粗い」といった 43 対の評価尺度で、ユーザが入力した任意のオノマ トペで表される質感印象を定量化するシステムとな っています. オノマトペは「子音+母音+(撥音・拗 音など)」という形態で記述できます.ここで,子音 の部分から濁音・半濁音及び拗音を分離し、 例えば

「か・きゃ・が・ぎゃ」はいずれもカ行であるというように、複数の音韻を子音行ごとに集約したカテゴリを「子音カテゴリ」とします。母音やその他の音韻特性についてもカテゴリを定義しています。これによりオノマトペ表現を1モーラ目・2モーラ目ごとに「子音+濁音・半濁音+拗音+母音+小母音+語尾(撥音・促音など)」といった形式で記述できます。これら各音韻特性の印象の線形和として、オノマトペ全体の印象予測値が得られるとする次式(1)のモデルを採用しています。

 $\hat{Y} = X_1 + X_2 + X_3 + \cdots + X_{13} + Const.$ ここで、Ŷ はある評価尺度の印象予測値、X1~X13 は 各音韻特性のカテゴリ数量(各音韻特性が印象に与 える影響の大きさ)を表しています. X1~X6 はそれ ぞれ1モーラ目の「子音行の種類」,「濁音・半濁音 の有無」、「拗音の有無」、「母音の種類」、「小母音の 種類」,「語尾(撥音「ン」・促音「ッ」・長音「一」) の有無」の数量です. また X7~X12 はそれぞれ 2 モ ーラ目の「子音行の種類」,「濁音・半濁音の有無」, 「拗音の有無」,「小母音の種類」,「母音の種類」,「語 尾(撥音・促音・長音・語末の「リ」)の有無」の数 量です. X13 は「反復の有無」の数量, Const. は定 数項を表します.あらかじめ,全ての音韻を網羅す る 312 個程度のオノマトペの印象を被験者に評価し てもらう実験により、オノマトペを構成する各音韻 特性がオノマトペの印象に与える影響の大きさを表 す「各音韻特性のカテゴリ数量値(評価尺度 43 対ご との X1~X13)」を調査しておけば、あらゆるオノマ トペの印象評価値を推定することができる技術です. 例えば、「(-)かたい-やわらかい(+)」という尺度に おいて「カ行」は-0.82,「ハ行」は+0.29 など)こ れらの各カテゴリ数量の線形和によって、オノマト ペの印象を 43 対の感性評価尺度上で決定すること ができます. 図1の「ふわふわ」というオノマトペ について、音韻は、「ふわ」の反復で、1モーラ目は 「ハ行」,「ウ」,2 モーラ目は「ワ行」「ア」である ため,「かたい-やわらかい」の評価尺度において以 下のように印象が予測されます.

Ŷ = X1(1 モーラ目:子音「ハ行」)

+ X2(1 モーラ目: 濁音・半濁音無し)

+ X3(1 モーラ目:拗音無し) + X4(1 モーラ目:母音「ウ」)

+ X5(1モーラ目:小母音無し)

+ X6(1モーラ目: 語尾無し)

+ X7(2モーラ目:子音「ワ行」)

+ X8(2 モーラ目: 濁音・半濁音無し)

+ X9(2モーラ目: 拗音無し)

+ X10(2モーラ目:母音「ア」)

+ X11(2 モーラ目:小母音無し)

+ X12(2モーラ目: 語尾無し)

+ X13(反復有り) +定数項 = 6.28

本モデルの印象予測値は、7 段階 SD 法印象評価値をもとに算出したカテゴリ尺度で設定されているため、予測値 6.28 は「かたいーやわらかい」(1-7)の評価尺度において、「やわらかい」印象が強いことがわかります。「ふわふわ」を同尺度で評価した実測値(被験者の回答した印象評価値の平均値)は 6.54 であり、予測値と実測値が近い値となっていることがわかります。このシステムによる印象予測は、被験者の印象評価を高い精度で予測できることがわかっています(システムの有効性評価の詳細は関連する研究発表1に詳述されています)。2014~2015 年度の本領域の研究課題では、このシステムを活用し、視覚と触覚による材質感認知メカニズムにアプローチしました。

#### 〇研究成果

オノマトペによる質感評価システムは,「どろどろ」 感を表す動画と静止画を推薦するシステムや、「ふわ ふわ」な印象を表す色などを推薦するシステムなど として, オノマトペが用いられる多様な分野へと拡 張しました. 特に、金属調加飾デザイン開発を行っ ている企業との共同研究で、模造金属を実金属に近 づける加飾デザイン支援としてシステムを活用した 成果は、2013年6月のNHK「クローズアップ現代」 で紹介されました. また,「ずきずき」などオノマト ぺで表される痛みの質を推定するシステムとしては, 2014年7月に朝日新聞で紹介されました.以下では、 本領域のメンバーである東北大学岡谷貴之さんとの 共同研究として行った, 所望の質感を持つ商品検索 ヘオノマトペ質感評価システムを応用した研究成果 について紙幅の許す範囲で紹介します(詳細は関連 する研究発表2を参照ください).

 品画像は、様々な素材 (metal, glass, plastic, stone, wood) が写った画像 500 枚 (Flickr Material Database (FMD) (http://people.csail.mit.edu/celiu/CVPR2010/FMD/) (Sharan et al. 2014)) とし、商品記事は、被験者 60 名を対象に、商品画像に写る素材の印象を自由記述させて収集した 500 件の記事を使用しました.

手法 1) 商品画像の SIFT 特徴量から抽出 (東北大学岡谷貴之研究室):商品画像の SIFT 特徴量を用いて,商品画像に共起する形容詞尺度を学習させ,各商品画像に共起する尺度の確率を推定し,商品ページの質感ベクトルを抽出.

手法 2) 商品画像の色特徴量から抽出:色彩サンプル 45 色について,各色彩の質感印象を調査するための心理実験を行い,色彩の質感ベクトルを収集.これとオノマトペの質感ベクトルとの類似度算出により,オノマトペの色彩ベクトルとする.また,商品画像 500枚に関して,45 色の画素出現頻度を算出することで,各画像に 45 個の色特徴量を与える.これを商品ページの色彩ベクトルとして抽出.

手法 3) 商品記事に含まれる形容詞から抽出:商品記事に含まれる形容詞のうち,43 対の尺度に該当する形容詞を抽出.これにより得られた各商品記事における形容詞尺度の出現頻度を基に,TF-IDF法を用いて,商品記事に対する各形容詞尺度の重要度を与え、商品ページの質感ベクトルを抽出.

本システムの妥当性を検証するため、心理実験を 介して被験者から収集した正解データ(オノマトペ と商品ページの対応関係)を用いて評価を行いまし た.3 つの各手法と、各手法を統合した場合の検索 システムの性能を比較した結果、各手法を統合した 場合が最も安定性の高い検索が行えることがわかり ました.

#### 〇今後の展望

オノマトペで表される質感印象を定量化するシステムは、人がオノマトペを用いて表す様々な社会的場面で活用できることがわかりました。今後は、オノマトペから抽出される質感と実社会の様々な素材の物理特徴との関係性を解析し、人の質感認知プロセスの全体像を解明するとともに、人の感性を生かしたものづくり支援に貢献してゆきたいと思います。

#### ○関連する研究発表

- 1. 清水祐一郎, 土斐崎龍一, <u>坂本真樹</u>: オノマトペ ごとの微細な印象を推定するシステム, 人工知能学 会論文誌, 29(1), 41-52 (2014)
- 2. 土斐崎龍一, 飯場咲紀, 岡谷貴之, <u>坂本真樹</u>: オノマトペと質感印象の結び付きに着目した商品検索への画像・テキスト情報活用の可能性, 人工知能学会論文誌, 30(1), 124-137 (2015)

## 集合知を用いた質感認知と物体認知の関係に関する大規模分析

#### 研究代表者 柳井 啓司 (電気通信大学 大学院情報理工学研究科・教授)





Web 画像を活用して構築したオノマトペ画像セット

#### 〇研究の背景と目的

近年、Twitter、Facebook、YouTube などに代表される、一般のユーザが Web を介して自由に情報発信が可能なソーシャルメディアが人気を集めています。そうしたソーシャルメディアには多種多様な情報が集まるため、不特定多数の「知」の集合という意味でしばしば「集合知」と呼ばれます。文殊の知恵とも言える「集合知」から有用な情報を引き出し活用するため研究を「Web マイニング」といい、現在、盛んに研究が行われています。

ソーシャルメディアの中でも特に写真共有サイトには、写真にその内容を説明するキーワードが付与された「単語付き画像」が大量に登録されています。こうしたデータは画像と単語の関係に関する「集合知」とも言え、有効活用する研究が幅広く行われています。例えば、画像認識のための大規模学習用データセットの構築や、単語と対応する画像の視覚的特徴の関係の分析、画像特徴を用いた単語同士の視覚的類似性の評価など、従来の人手によって構築された小規模なデータセットを用いた研究とは異なる、Web 上の画像に関する「集合知」を有効活用する「Web 画像マイニング」の研究が近年、盛んに行われていて、我々の研究グループでも積極的に研究を行っています。

本研究では、我々のこうした経験を生かし、質感表現に相当する言葉(主にオノマトペ)と画像から抽出した特徴量の関係をWeb上の「集合知」を用いて分析を行います。これにより画像の見た目にから判断できる質感表現の同定、物体カテゴリと質感表現の関連など、Web上の大規模「集合知」データを活用した新しい「質感脳情報学」の研究の実現が期待できます。

#### 〇研究成果

2年間の主な研究成果としては, (1)質感 Web 画像

収集システムの実現, (2) Web 収集画像を用いた質感語の視覚性評価実験, (3) 画像中の質感領域の推定,があります. これらを順番に説明していきます.

#### (1) 質感 Web 画像収集システム

様々な質感語について、関連キーワードを入力するだけで自動的に Web から画像を収集し、さらに画像認識手法によってノイズ画像を自動的に除去することによって、画像データセットを自動構築する Webシステムを構築しました. 全自動の収集のみならず、必要に応じて、利用者が Web 画面で良い画像例を選択することによって、それを反映したノイズ画像除去を行うことも可能となっています.

最初に、Web 画像検索エンジンをプログラムから 利用するための公開インターフェースである WebAPI を用いて 1000 枚の候補画像を Web から収集し、その 中から自動で望ましい画像を選択する「画像リラン キング」処理を行います.次に、検索エンジンの結 果で上位にランキングされた画像もしくはユーザが 指定した画像を正解画像として,機械学習手法によ って認識モデルを学習し、それを用いて 1000 枚の収 集画像をランキングします. 画像特徴には近年画像 認識で広く使われるようになった Deep Convolutional Neural Network によって抽出する最 新の DCNN 特徴を用い、さらに高速化のために同時に 20台の計算機を利用して画像認識手法を利用したノ イズ除去作業を行います. 最終的に入力キーワード に相応しいとして選択された画像は, 一括でダウン ロード可能となっていて,各種実験のための画像収 集が可能となっています. 冒頭に示したオノマトペ 画像セットは、本システムを用いて自動的に構築し たものです.

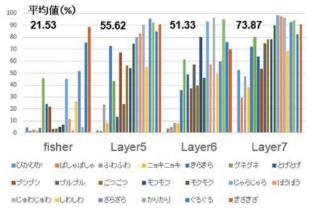
(2) Web 収集画像を用いた質感語の視覚性評価実験 (1)のシステムを利用し、122 種類の主にオノマトペによる質感表現に対応する画像データを収集し、その「画像認識可能性」の評価を行いました。オノマトペとは、擬音語のことで直感的に物体や素材の様子を表現する言葉のことです。例えば、「ざらざら」「ごちゃごちゃ」などがありますが、それらのうち見た目に関係した単語は一部です。ここでの研究では、Web 画像マイニングと画像認識手法を用いて、どのオノマトペが画像の見た目を表す表現で、どのオノマトペが画像に無関係か区別することを行います。

質感画像の認識可能性の評価方法としては,次の方法で質感語毎に行いました.まず,質感画像の一

部を正解画像、ランダム画像をノイズ画像として認識モデルの学習を行います。次に、学習に用いなかった質感画像とノイズ画像を混ぜて、学習した認識モデルを用いて画像ランキングを行います。その結果、質感画像とノイズ画像がどの程度分離出来たか、つまり分離度をその質感語の「画像認識可能性(recognizability)」として評価します。分離度が大きい場合には認識可能性が低いとみなすことができます。

なお、画像特徴量には、大規模画像データで事前に学習された Deep Convolutional Neural Networkによって抽出する DCNN 特徴と、従来型の画像特徴である Fisher Vector (FV)特徴の両方を用いて比較しました. DCNN 特徴は Deep Convolutional Neural Network のどの層から取り出すかによって Layer5、Layer6、Layer7 の3通りがあります. 一般に Layerが後になるほど意味的な要素を含む特徴量と言えます.

20 種類のオノマトペについて評価した結果を,以下の図に示します.実験の結果,DCNN 特徴はFV 特徴よりも大幅に質感表現の識別性が高く,DCNN 特徴の中では最も高次のLayerのLayer7が認識可能性を示されました.このことからオノマトペ画像に対しては,最も高次のDCNN 特徴が極めて有効であることが分かります.



122 種類のオノマトペについて認識可能性を評価した結果、「ふさふさ」「ふくふく」「べとべと」「ぶつぶつ」「ぷくぷく」が上位5語となって、「かしかし」「てらてら」「ばしばし」「ずしずし」「うぞうぞ」が認識可能性の低い下位5語と判定されました.

ただし、この結果はそのまま受け取ることはできず、質感語によっては収集した画像が特定の物体を含む画像に偏るということがあり、その場合、質感認識ではなく、物体認識になっている可能性が懸念されます。 そこで、さらに、同一の名詞で異なる質感語が付随する画像データセットを構築し、同一物体カテゴリ内で、画像認識によって質感語が区別できるか実験しました.

具体的には、「犬」「靴」「ケーキ」「花」の 4 つの 名詞について共起頻度の高い質感語(オノマトペお よび形容詞)を Web 検索結果から推定し、名詞+質感語で Web 画像収集を行い、同一名詞について質感語に関して画像認識によるマルチクラス分類実験を行いました. これは物体の情報を使わずに、画像の見た目から質感語の分類が可能かどうかを調べる実験として実施しました. その結果、同一物体カテゴリ内であって、質感語の違いは区別できることが判明しました. ケーキの画像の例および4種類の結果について以下に示します.

分類率(%)	52.5	85.7		ケーキ7クラス <b>72.3</b>			花 7クラス <b>84.6</b>		
名詞	犬8クラス	靴6クラス							
		66.0	70.3	54.5	66.7	69.8	79.3	97.9	72.3%
淡いケーキ	MA A	0	0	0	0	3	0	47	94.0
濃厚ケーキ		1	0	2	1	0	46	0	92.0
なめらか ケーキ	Ø 6 38	3	2	3	3	37	2	0	74.0
ふわふわケー		1	2	2	42	3	0	0	84.0
サクサクケーキ	6 6 6	8	4	24	8	2	3	1	48.0
バサバサケー		3	26	3	7	5	6	0	52.0
ゴロゴロ ケーキ		31	3	10	2	3	1	0	62.0
	confusion matrix								

#### (3) 画像中の質感領域の推定

(2)では画像全体の認識可能性について評価を行ったが、次の段階として特定の質感に対応する部分を推定する実験を行いました.

Deep Convolutional Neural Network の Convolutional layer の出力を利用して,質感領域の推定を行いました.本研究はまだ現在実施中で最終的な結論は得られていませんが,現状では以下に示すようにある程度の質感領域の推定に成功しています.これによって1枚の画像を様々な質感の部分に自動的に分割することが可能となります.



#### 〇今後の展望

今後は、(3)で述べた画像中から特定の質感に対応する部分を推定することを実現する予定です。これによって、画像の一部分にオノマトペなどの質感語を付与することが可能となり、新しい応用が期待さます。また、122 種類のオノマトペの認識可能性の評価については物体の偏りを除去する方法を考案し、再実験することを予定しています。

#### ○関連する研究発表

1.Shimoda, W. and <u>Yanai, K.</u>: A Visual Analysis on Recognizability and Discriminability of Onomatopoeia Words with DCNN features, Proc. of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Torino, Italy, June 29 - July 3, 2014.

## 質感認知における状態変化と材質の違いを区別するメカニズムの 解明



研究代表者 岡嶋 克典 (横浜国立大学大学院環境情報研究院・教授)



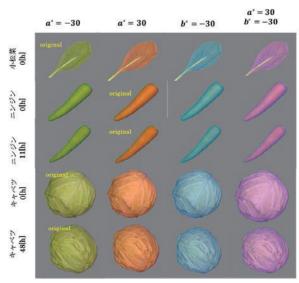
疑似太陽光を用いた退色実験から得られた色変化と 輝度ムラ(ノイズ)を付加して作成した、古さ感が異なる 郵便ポストの画像(左上→右上→左下→右下の順)

#### ○研究の背景と目的

質感認知には、物体の材質の種類を認知する過程 (いわゆる Material Perception) と、その物体が どのような状態かを認知する過程(高次質感認知) があり、おそらく前者の判定後に後者の判断を行な っていると考えられます。例えば、ある物体を見た 際、それが野菜なのか、野菜のうちどの種類なのか、 を識別した上で、それがどのくらい熟していて(食 べ頃で) 新鮮なのか(状態) を判定していると推察 しています。前期の公募研究において、生鮮野菜(キ ャベツやイチゴ等)を恒温恒湿槽によって系統的に 腐敗劣化させ、その途中経過を2次元色彩計で画像 情報として記録し、それを視覚刺激に用いて質感評 価実験を行いました。今回、さらに鮮度認知に関す る諸特性を検討するとともに、肌知覚における色の 影響、及び人工物における経年劣化の認知特性につ いて検討しました。また、食品の見た目の質感 (visual texture)をリアルタイムに変化できる AR 技 術を開発し、視覚的質感が食感や味覚に影響するこ とを示しました。

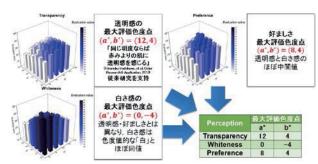
#### 〇研究成果

鮮度認知において、自然界には存在しない色に着色した野菜画像でも同じ鮮度感を有することを示し、野菜の色情報が鮮度に影響しないことを確認しました。また、複数の生鮮野菜画像を同時に呈示して特定鮮度の対象を目標刺激とした視覚探索実験の結果から、鮮度認知が注意過程で処理されることを示しました。



人工的に着色した野菜の刺激例

肌の質感認知において、透明感・肌年齢・健康感は肌の輝度値によって変化するが、背景明度には影響されないことを示すとともに、照度条件が異なる肌画像刺激を作成・使用して、透明感・好ましさ・白さ感の評価実験を行い、透明感・好ましさ・白さ感の最適色度は照度に依らないこと、またそれぞれの最適色度は異なることを明らかにしました。



各種肌質感における最適色度

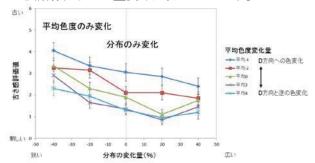
一方、野菜や肌のような自然物だけでなく、人工物における経年劣化、特に「退色」についても検討し、太陽光(紫外線)照射装置を用いて退色過程を測色的に定量化し、画像に適切な色変化とノイズ付加を施すことで、人工物を風化させたような質感を生成できることを示しました(冒頭左上の図)。生成した画像刺激を用いて、古さ感と不自然さを評価させたところ、ノイズを過度に付加しなければ、不自然さの少ない自然な「古さ感」を与えることができ

ることを示しました。新しい物体の写真があれば、 それに様々な質感効果を組み合わせ、自由に「古い 物体」を画像上でシミュレーションすることができ るアプリケーションを開発しました。



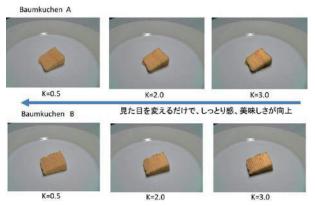
退色+風化+光沢変化の複合処理の結果例

さらに、平均色度だけでなく、適切なノイズと色 分布が「劣化感」に寄与していることを明らかにし ました。これは、なぜ同じ(平均)色の物体が、古 く見えたり新しく感じたりできるかを説明するモデ ルを構築する上で重要な知見といえます。



色の分布サイズと平均値を変えた際の「古さ感」の変化

食品の見た目の質感をマーカレスでリアルタイムに仮装可能な AR 技術を開発し、固形食品や飲料刺激を用いて実験を行い、色度を変えずに輝度分布を変えるだけで食品の質感 (例えば「しっとり感」) が変わり、食感や味覚も変化することを示しました。

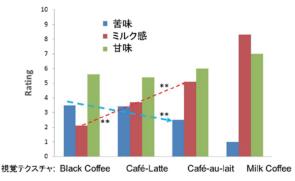


輝度分布を拡大縮小させたバームクーヘン画像

また、マグロ赤身の刺身にトロのテクスチャを貼り付けることで、食品そのものを変えなくても「ロどけ」や「脂分」の知覚を増大できることや、ブラックコーヒーをカフェオレやカフェラテの見えに仮装させることで、「ミルク感」や「苦み」の知覚が変化することを実験的に示しました。さらに、コーラを用いて、視覚的質感だけでなく聴覚的質感も飲料の認知(炭酸感等)に影響することも実験的に明らかにしました。



ブラックコーヒーをカフェラテに仮装させた例



ブラックコーヒーの見えを変調させた際の味覚の変化

#### 〇今後の展望

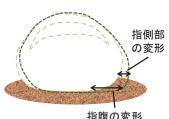
#### ○関連する研究発表

- 1. Okajima K, Ueda J: Effects of Color and Visual Texture on Drink Perception, 37th European Conference of Visual Perception (ECVP2014), Belgrade, Serbia, Perception, 43, Suppl., 119, 2014.
- 2. Arce-Lopera C, Masuda T, Kimura A, Wada Y, Okajima K: Model of Vegetable Freshness Perception using Luminance Cues, Food Quality and Preference, 40, Part B, 279–86, 2015.

## 触感空間と皮膚変形量空間の多次元対応を用いた 質的表現からの触感生成技術



#### 研究代表者 岡本 正吾 (名古屋大学大学院工学研究科·助教)





指腹の変形

指先皮膚の変形の伝播を利用した皮膚変形計測 用触覚センサ.物を擦った時に生じる指腹の変形 は、指の側面に伝播します. 指腹は物と接触して いるため, 直的に計測することは出来ませんが, 側面に付けた小型の加速度センサにより側面の 変形を計測します. そして, 側面の変形から指腹 の変形を推定するという技術です.

#### ○研究の背景と目的

この研究は触感ディスプレイ技術に関する研究です. 触感ディスプレイとは,物の触り心地を人工的に生 成するための装置です. テレビのことを視覚ディス プレイと呼ぶように、触覚情報を生成する装置を触 感ディスプレイと言います. 触感ディスプレイは, 人の指の皮膚をマイクロ・メートルのレベルで機械 的に変形させ、触感を生成します. これを実現する ためには、どのような変形が、どのような触感を生 成するかという対応関係を把握しておく必要があり ます. そこで, あらかじめ物を触った時の人の触感 と, その時の指の皮膚変形の関係を取得しておきま す. ここで重要になるのが、指腹の皮膚変形を高精 度で計測する技術です. 実はこれが難しく, 指腹が 物と接触しており、外部に露出していないため、こ の接触面内の変形を直接的に計測する術は限られて います. 透明な素材を指で擦り、その接触面の様子 をカメラで観察するような方法しかありません.本 研究では、間接的な方法ではありますが、できるだ け高精度で, 人が自ら手を動かして物を触っている ときの指腹の変形を測定する方法を開発します。ま た, 触感を含む, 人の質感は, 多次元かつ多階層な 情報空間で表現されることが知られています. しか しながら、この質感の階層モデルを獲得するための 方法はこれまでに知られていません. そこで, その

ようなモデルを取得するための実験方法及び計算方 法を開発します.

#### 〇研究成果 1: 指腹の皮膚変形を計測する装着型セ ンシング技術

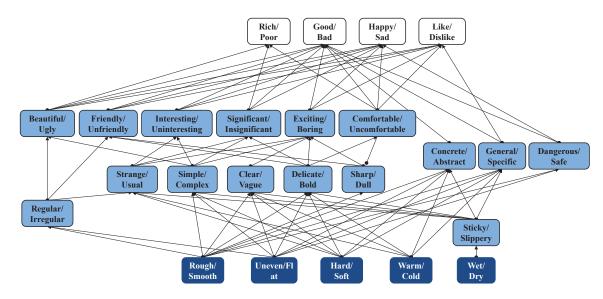
指腹の変形が指の側面に伝播することを利用した, 新しい計測方法を開発しました. 左図のように, 指 腹が物を擦るときに生じる指腹の変形は、指の側部 に伝播します. そこで, この側部に小型の加速度セ ンサを張り付け、その変形を計測しました.

まず、加振機と呼ばれる装置を用いて、指腹と指 側部の変形の関係を特定します. このとき, 加振機 は、さまざまな周波数で指腹に振動を与えます. こ のような作業を、センサの校正と言います. 一度、 校正が終了すれば、指側部の変形から、指腹の変形 を推定することが可能です.このセンサを用いて, 数種類の素材(布,金属,樹脂など)を擦った時の 皮膚変形を計測してみました. すると, 表面の粗い 素材を擦った時ほど、指腹が大きく変形することが 確認されました.

このセンサの計測精度を調査するため、超高精度 の水晶式力センサを用いました. この力センサによ って指腹に加わる力を計測すれば、そこから指腹の 変形を推定することが可能です. この力センサを素 材の下部に設置し、素材を指で擦りました。この時 に、指側部の変形から推定された指腹変形と、力セ ンサから推定された指腹変形を比較しました. その 結果, 指腹に生じる変形の周波数が 30 Hz 以上であ るときは,人の知覚能力と比べて十分な推定精度が 確保されていることが分かりました. 逆に, 低周波 数の変形では、両者の推定結果に無視できないよう な誤差が生じていました. 低周波の皮膚変形も, 触 感に影響する重要なものですから、現在、低周波の 推定精度に関してさらなる調査と改良を行っていま

## 〇研究成果 2: 質感の階層構造を構築する手法の開

人の質感は、多階層かつ多次元な情報空間で表現さ れると考えられます. 触感は、触ることに関する質 感ですから、やはり意味的な階層構造にて表現が可 能です. 最下層(材質感の層)は、粗さ感、硬軟感、 温冷感などの物理的な性質の知覚に関する言葉で表 現されると考えられます.一方で、繊細、自然、高



触に関する材質感・感性・嗜好の多階層モデル.最下層に、粗さ・硬さ・温冷・摩擦などの材質感が位置する.その上に、素材の複数の物理特性によって決定される感性的質感、嗜好的質感の層が配置されている.

級など、より抽象的かつ感性的な表現は、材質感の上に存在し、素材の物理的な特徴以外の因子にも影響を受けると考えられます。例えば、その素材が何の商品に用いられるのか、という知識は、感性や嗜好に作用します。このような、階層構造を、商品ごとに構築しておけば、その商品の感性的な価値の分析や、設計に寄与します。ところが、このようなモデルの構築方法は確立されていませんでした。

本研究では、様々な形容詞を用いて製品の触感を評価する官能評価と、形容詞間が互いに影響をした。影響度調査する影響度調査の2種類の実験の結果もら、触感の階層モデルを構築する方法を開発した。技術的なポイントは、官能評価だけでは容別を開発を開発した。大きないとところです。この意味の意味を開発したところです。この意味であることがよりも、明らなる階層構造がより複雑であることが明らなる階層が高いにないました(図の下)。また、個人でとに異なる質感構造を特定することに関いることをもの感性を対しまりの感性的価値を向上させるための新たな手法のの感性のよう。

#### 〇今後の展望

本研究課題は、「皮膚変形レベルでの質感解明:質感を際立たせる触覚テクスチャ合成法の確立」の後継に相当します。前課題と合わせると、①人の多次元かつ多階層な触感モデルの構築、②素材を擦る際多皮膚変形の計測技術、③皮膚変形と触感をモデルな変間上で対応させる計算技術、④機械的な変んを生成する振動触感ディスプレイを撮影ができます。この技術を発展させていきます。このな触感がよび加工することが可能となる予定であり、のと進化させていきます。

#### ○関連する研究発表

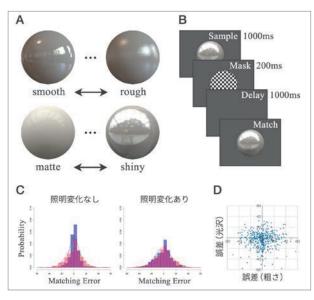
1. Matsuura Y, <u>Okamoto S</u>, and Yamada Y: Estimation of finger pad deformation based on skin deformation transferred to the radial side, Haptics: Neuroscience, Devices, Modeling, and Applications, Part II, Lecture Notes in Computer Science, 8619:313-319, 2014.

2. Nagano H, <u>Okamoto S</u>, Yamada Y; Semantically layered structure of tactile textures, Haptics: Neuroscience, Devices, Modeling, and Applications, Part I, Lecture Notes in Computer Science, 8618:3-9, 2014.

## 質感の記憶―表象構造と精度の定量化と神経基盤の解明



#### 研究代表者 齋木 潤(京都大学大学院人間・環境学研究科・教授)



A) 実験に用いた刺激. B) 記憶課題の実験手続き. C) 回答の誤差の分布. D) 粗さと光沢の回答誤差の相関 関係.

#### ○研究の背景と目的

我々は眼前の物体の質感は詳細に知覚できるのに、 過去に経験した質感を表現することには困難を感じ ます。なぜこのようなことが起こるのでしょうか。 この乖離は質感の記憶自体が乏しいせいかもしれま せん。或いは、記憶自体は豊かであるのにそれを表 出する能力に限界があるのかもしれません。いずれ にせよ、質感の記憶の研究が現在までほとんど皆無 であるためによくわからないというのが現状です。 従来、質感のような知覚的詳細は記憶に残らないと 言われてきましたが、近年、知覚的詳細が長期記憶 に残るという報告があります。そこで、本研究は、 過去に経験し、眼前にない物体の質感の記憶を精密 に測定するために、視覚性短期記憶研究で開発され た手法と、質感情報をパラメトリックに操作して視 覚的に表現する技法を統合し、行動実験による記憶 の精密な測定と並行して MRI 実験によってその神経 基盤の検討も行いました。質感研究は永らく知覚と 感性的質感の表出の研究に集中し、その間を媒介す る記憶の問題は「ミッシングリンク」となっていま したが、本研究は、この二つのアプローチの橋渡し をすることを目指しました。

具体的には、以下の3つの研究を行いました。(1) 表面の光沢感の二つの次元である鏡面反射率と粗さ に関する視覚性短期記憶を定量的に測定し、その心 理特性を検討しました。(2) 質感カテゴリの記憶を 質感画像の記憶と比較し、カテゴリ記憶に選択的に 関与する脳領域を同定しました。(3) 視覚性長期記 憶における質感情報と物体内在特徴である形状情報、 環境依存特徴である光源情報の間の相互依存性を検 討しました。

#### 〇研究成果

#### (1) 質感の視覚性短期記憶

記憶すべき質感特徴として表面の粗さと鏡面反射率を用いました。粗さや鏡面反射率を連続的に 60 段階に変化させた球体画像を Ward の反射モデルをを明いて作成し、屋内および屋外の 2 種類の環境照明条件で画像を用意しました。実験では記憶すべき間とでは記憶すべきでは、1秒間提示した後、1秒間提示した後、1秒間提示した後、1秒間提示した後、1秒間提示した後、1秒間提示した後、1秒間提示した後、1秒間提示した後、1秒間提示した後、1秒間提示とは較刺激を調整して担いで担当をの指度を測定しました(記憶課題)。また、対照をつりによりには、対照をでは、対解をでは、対解をいる。

記憶課題の成績は、同一照明条件では知覚課題と 比較して成績の低下が顕著であるのに対して、相違 照明条件ではその成績低下が比較的小さく、このこ とは、照明に依存しない(照明不変的な)質感の短 期記憶表象が保持されていたことを示唆します。

次に、粗さと鏡面反射率の記憶の関係性については、物体に内在する特徴はひとまとめに結合して記憶されるという従来の説が正しいならば、粗さと反射率の記憶には相関関係が予測されますが、粗さと反射率を同時に記憶し回答させる課題を行なった所、両特徴の記憶成績の間に相関はありませんでした。これは、粗さと反射率という質感情報は相互独立的に保持されていることを示唆します。

最後に、複数の球体画像を同時に記憶する課題を 行い記憶容量への負荷が記憶精度に与える影響を検 討しました。先行研究では記憶すべき個数が増える に従って個々の物体についての記憶精度は低下する ことが示されていますが、本実験はこれに反し、少 なくとも球体3つまでは記憶精度は低下しませんで した。ただし本実験での課題操作に特有の結果であ る可能性も残され、より詳細な検討が必要です。

本研究は、質感の短期記憶の照明不変性と、粗さ

と光沢という特徴間の記憶保持における独立性を示しました。これらは、色や方位といった単純な特徴を用いた実験、物体や風景など複雑なカテゴリレベルの材料を用いた実験、いずれでも検討が難しく、質感という中間レベルの特徴を用いることの視覚記憶研究における有用性を示したと考えています。

#### (2)質感カテゴリ記憶の神経基盤

色などの比較的単純な刺激属性の短期記憶は頭頂間溝と呼ばれる脳領域の関与が知られています。一方、質感のカテゴリ知覚には、色や顔の認知に関わる紡錘状回の関与が報告されています (Hiramatsu, Goto & Komatsu, 2011)。本研究では、カテゴリ記憶課題を用い、頭頂間溝と紡錘状回を関心領域として、質感のカテゴリ記憶の神経基盤を検討しました。

質感情報を持つ刺激として、Hiramatsu et al. (2011) より金属、ガラス、石、樹皮、革、毛皮の材質に属する物体について各8個、合計48個選出しました。物体の材質カテゴリを記憶する課題、同じ刺激を使って物体画像そのものを記憶する課題の2種類を作成し、どちらの課題でも、2、4、6個のいずれかの個数の刺激が呈示され、被験者はどこに何の刺激が現れたかを記憶しました。テスト画面では刺激が1つだけ提示され、記憶画面と比較して、刺激の画像そのものが変化したか(物体条件)、刺激の材質カテゴリが変化したか(質感条件)を判断しました。

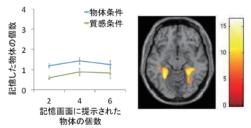


図1. 課題成績および質感の記憶に関わる脳領域 (紡錘状回)。

図1は記憶課題で物体の画像あるいは材質を覚えることができた個数を表し、刺激の画像を覚える場合よりも金属やガラスといった材質カテゴリを覚える個数が少なくなりました。この結果は、物体の画像そのものを記憶する場合よりも、物の材質情報を記憶する方が困難であることを示唆しています。

記憶課題時の脳活動の分析から、まず、質感情報の知覚に関わっているとされる紡錘状回領域(図 1 参照)において、物体条件と質感条件の間で脳活動に違いが認められました。一方、物体の記憶に関与する頭頂間溝では、課題間で脳活動に差は見られませんでした。これらの結果は、金属や毛皮といった物の材質カテゴリの情報は紡錘状回という視覚野に保持されている可能性を示唆しています。

最後に、条件間の紡錘状回の脳活動の差と相関す

る脳領域を分析したところ、中心前回・中心後回の活動と関連があることが示されました(図 2)。一般的には、これらの脳領域は皮膚感覚を含む体性感覚の情報処理に関与していることが知られており、紡錘状回と中心前回・中心後回との関連は、物の材質の記憶に「固い」「ざらざらした」といった手触りの感覚情報処理が関与する可能性を示しています。

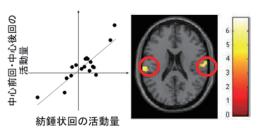


図2. 紡錘状回と相関して活動する領域(中心前回・中心後回)

#### (3) 質感の長期記憶

90 カテゴリの物体の 3D モデルを作成し、それらの形状、質感、光源を変化させたディストラクタを用意しました。偶発学習パラダイムを用い、90 物体の好意度判断を行ったのち、4 択の再認記憶課題を実施し、エラーのパターン分析により、形状、質感、光源の 3 つの特徴次元間の依存性を評価しました。

質感と形状の間には統計的に有意な依存関係があるのに対し、質感と光源の間には依存関係が見られませんでした。この結果は、質感情報は、物体に内在する特徴と結びついた形で保持されていることを示唆しています。

#### 〇今後の展望

光沢感を用いた短期記憶実験から質感情報に固有の記憶特性の存在が示唆されました。また、質感カテゴリ記憶のMRI実験は純粋に視覚的な記憶課題において体性感覚情報と結びついたクロスモーダルな情報処理が関与している可能性が示されました。このように質感記憶の研究は多くの興味深い問題を提起しており、心理物理実験、機能的脳イメージング実験を用いたさらなる研究が求められます。

#### ○関連する研究発表

1. Tsuda, H., & Saiki, J. (2014). Visual short-term memory for surface reflectance properties across variations in illumination. 37th European Conference on Visual Perception, Sava center, Belgrade, Serbia, Aug 24-28.

2. 津田裕之, <u>齋木</u>潤. (2014). 物体の表面質感の記憶は照明の変化にどう影響されるか. 日本認知心理学会第 12 回大会ポスター発表, 仙台国際センター, 6月 28日-29日.

#### 肌質感処理に基づく異性魅力評価メカニズムの解明

#### 研究代表者 土居 裕和 (長崎大学大学院医歯薬学総合研究科・講師)



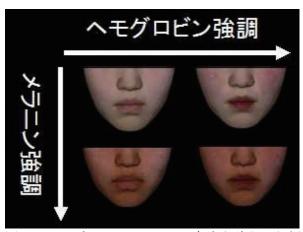


図 1. ヘモグロビン・メラニン色素を強調した顔画像の例

#### 〇研究の背景と目的

「透き通るように白い」「みずみずしい」「きめ細かな」etc, ヒトとりわけ女性の肌に関する質感表現が数多く存在します。また、経験的に、肌の質感は、容姿の魅力を規定する重要な因子と考えられてきました。このように、肌の質感と魅力との間には深い関係があると考えられます。では、他者の肌を目にした時、ヒトは肌のどのような特徴(色、明るさ、コントラストetc)に基づいて、肌の印象を評価するのでしょうか?また、肌の印象評価を司る脳部位は何処なのでしょうか?これらの疑問に対する科学的研究は、これまでほとんど行われてきませんでした。

進化論を土台として、人間行動を説明しようとする進化心理学分野の近年の研究から、ヒトは、「健康」で「繁殖力の高い」個体に共通する身体的特徴に、魅力を感じることが明らかにされています。例えば、ヒトは、左右の対称性が高い異性の顔に対して強くを魅力を感じることが、多くの行動学的研究により示されています。これは、発達過程での栄養不良、感染症罹患が身体の対称性を崩すため、顔の左右対称性が、個体の健康さのシグナルとして機能しているためであると考えられています。

進化心理学におけるこのような議論を踏まえると、 肌の魅力を規定する因子と、肌質感から他者の身体 的魅力を判断するメカニズムに関して、次のような 仮説が導かれます。

仮説①:個々人の肌質感は、健康さ・繁殖力を規定

する生物学的因子(ホルモン、遺伝子 etc)と関連している。

仮説②:これら生物学的因子と関連する肌の特徴を 手掛かりとして、ヒトは他者の肌の魅力を評価する。

これら2つの仮説を検証するため、本研究では、生物学的因子(ホルモン、遺伝子)データとリンクさせた肌画像のデータベースを作成しました(研究①)。さらに、同データベースに収録された顔画像を用いた脳活動計測により、肌質感からの印象評価の脳科学的メカニズムを検証しました(研究②)。以上に基づき、肌質感認知のメカニズムを明らかにするための研究インフラを整備し、その脳内メカニズムに関する基礎知見を得ることが本研究の目的です。

#### 〇研究成果

研究①:肌質感データベースの作成

研究初年度は、肌質感の特徴と、健康さ・繁殖力 を規定する生物学的因子の関連性を分析する研究イ ンフラ整備のため、生物学的因子とリンクさせた肌 画像データベースを作成しました。

具体的には、20代の男女を対象に、専用装置を用いて、顔の肌の偏光画像、及び、ヘモグロビン・メラニン色素分布画像を撮影しました。撮影した肌画像から、人物のアイデンティティが分からないよう、頬の小領域のみを切り出しデータベースに登録しました。さらに、肌の特徴を定量的に表現するためはした。さらに、肌の特徴を定量的に表現するためれる Haralick テクスチャー分析で広く用いられる Haralick テクスチャー特徴量を計算しました。以上のデータを用いた予備的分析の結果から、ヘモグロビン・メラニン分布の均一性を反映するテクスチャー特徴量が、性的二型性を示す(顕著な男女差がある)との新知見を得ています。

また、肌画像撮影のモデルとなっていただいた皆さんからは、生物学的因子(ホルモン、遺伝子)を解析するための唾液・DNA 試料を採取しています。これら生体試料を用いて、健康さ・繁殖力との関連性が示唆されている各種ホルモンの唾液中濃度・遺伝子多型を解析し、肌画像のテクスチャー特徴量との関連性を分析しました。

研究②: 肌色の感性的評価の脳内メカニズム

2年次の研究では、肌色が異なる顔画像を観察し、

その印象評価を行う際の脳活動を計測することで、 肌質感の印象評価の脳内メカニズムの一端を明らか にすることを試みました。

具体的には、研究①で撮影した女性の偏光画像に対し、情報工学的分析を適用することで、同一の女性モデルの顔画像におけるヘモグロビン・メラニン色素強度を独立に変化させた複数枚の顔画像を合成しました(前頁の図をご覧ください; A01 班の津村先生にご指導いただきました)。実験では、メラニン・ヘモグロビン色素強度を変化させた顔画像を観察中の成人男性の脳波活動を計測しました。

顔画像からの印象評価には、肌質感のみならず、 顔形態から得られる印象の影響が混入していると考 えられます。このような顔形態の影響を除去するた め、特殊な分析法を用い、肌質感からの印象評価に 特異的に関係する脳活動を抽出しました。

その結果、肌質感から強い魅力を感じるほど、顔画像提示後330-360msに、右後側頭部における脳波活動が活発になることが示されました。一方、肌質感からの健康さの評価に関連する脳波活動は、顔画像をみてから約180msの時点で出現することが分かりました。これらの結果は、肌質感からの印象評価においては、健康さの評価が、魅力の評価よりも先んじて行われる可能性を示唆しています。これは、「健康さ・繁殖力の指標となる肌質の特徴量を手掛かりに、肌の魅力評価が行われる」とする本研究の仮説を、支持する知見です。

#### 〇今後の展望

本研究では、生物学的データとリンクさせた肌画像データベースを作成し、肌質感研究のための研究インフラを整備しました。しかし、同データベースに収録された肌画像の印象評定値はデータベースに含まれていません。本研究の成果を発展させるため、

今後は、印象評定値データを加えることで、生物学 的因子、肌の特徴量、印象評定の3変数間の関連性 をモデル化していく予定です。

2 年次に実施した脳活動研究では、肌質の印象評価に特異的に関連する脳活動を抽出するための実験パラダイムを確立することが出来ました。今回の研究では、女性の肌を評価する男性の脳活動を解析対象としましたが、今後は同パラダイムを応用し、男性の肌を評価する女性の脳活動を、月経周期に伴う内分泌学的変化の影響を視野に入れて検討していく予定です。

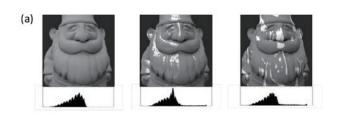
#### ○関連する研究発表

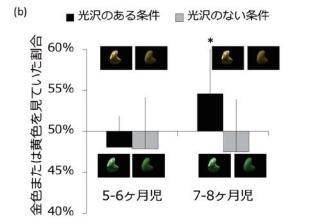
1. <u>Doi H</u>, Nishitani S, Shinohara K: NIRS as a tool for assaying emotional function in the prefrontal cortex. Front Hum Neurosci. 7:770, 2013.

## 公募研究 B01 乳児における質感知覚の発達



#### 研究代表者 山口 真美 (中央大学文学部·教授)





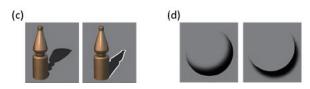


図 1. (a)生後 7-8 ヶ月の乳児は光沢感のない画像よりも、ある画像を注目します。右図は輝度ヒストグラムの歪度を同じにしています。(b)黄色と緑色への選好は等価でも、双方に光沢感を付けると、7-8 ヶ月児は黄色に光沢感の着いた金色に選好を示します。(c)生後 7-8 ヶ月の乳児は物体と影の形状の不一致に気づき、影が知覚されない場合は不一致への気づきはなくなりました。(d)attached shadow と cast shadow という異なる奥行き手がかりで異なる形状が知覚され、生後 7-8 ヶ月の乳児はこの形状の違いに気づきます。

#### ○研究の背景と目的

本研究は、乳児における質感知覚の発達を、その行動と脳活動から検討することを目的としました。これまで本研究室の研究として、様々な奥行き手がかりを超えて物体を表象として形成できるのが生後6ヶ月以降であることを示しました(Tsuruhara et al., 2009; 2010)。これらの実験では、奥行き手がかりの

ひとつで作られた形状を学習後、別の手がかりを使った同じ形状を認識できるかが調べられています。 本研究では、こうした奥行き知覚が成立した後の乳幼児を対象として、様々なモダリティを統合して環境内の物体を表象できる時期はいつか、その発達過程を解明し、発達初期にあると思われる質感知覚の形成過程を明らかにすることを検討しました。

#### 〇研究成果

【光沢知覚の発達】乳幼児は光るものに興味を示すが、乳児はいつ光沢感の知覚が成立するのか、光沢知覚の獲得には生後の視覚環境への学習が必要かを検討しました。

本研究では CG を用い、光沢感が着いた人形と球の画像を作成し、実験を行ました。図 1a のように、マットな画像(左)に鏡面反射成分を加えたことで光沢感が知覚されるハイライト画像(中)、この鏡面反射成分を二値化し位置をずらして張り付けたテクスチャ画像(右)を作成しました。実験ではそれぞれの画像を二つ並べて提示し選好を調べることで、光沢感に選好があるかを検討しました。

実験の結果、物体の形状にかかわらず、生後 7-8 ヶ月でハイライト画像を選好することが判明しました。ハイライト画像とテクスチャ画像の画像統計量はほぼ等しいことから、7-8 ヶ月児の知覚的選好は、画像統計量ではなく、物体表面の光沢に対する選好であることが示されました。また、物体表面の光沢への選好は、物体形状の複雑さに依存せず、シンプルな球体でも成立しました。すなわち光沢知覚は生後 7-8 ヶ月で成立することが示されました。

【金色知覚の獲得】光沢感の研究をさらに進め、光 沢感が色に付加された、金色知覚の獲得を検討しま した。「金色」は、「黄色」に「光沢感」を付加する ことによって作られます。先の研究から光沢感知覚 を持つと示された 7-8 ヶ月児を対象に、成人と同様 に「金色」と「黄色」の違いがわかるかを検討しま した。

実験では、選好が同等である緑色と黄色を使用しました。コンピュータモニタ上に緑色と黄色を並べて見せ選好が同程度であることを確認し、その上でそれぞれの色に光沢感を付けた画像を見せ、選好を比較した。光沢感を付けると黄色は金色に変化するため、選好が変わると予測しました(図 1b)。

実験の結果、5-8ヶ月児は黄色と緑色では選好は同定度であったのに対し、これらの色に光沢感を加え

ると、7-8ヶ月児だけが黄色に光沢感を着けた金色により長く注視しました。黄色から金色に変わって選好が変化した 7-8ヶ月児は、金色と黄色を別の色として知覚する可能性が示されました。

【カテゴリカル色知覚の発達】言語や文化の影響を受けるといわれるカテゴリカル色知覚の、言語の影響を検討するため、言語獲得以前の乳児を対象にその脳機能を検討しました。生後5-7ヶ月児を対象に、NIRS(近赤外分光法)を用い、カテゴリカル色知覚における脳内機構を検討しました(図2)。

左右後側頭領域の脳血流反応を計測した結果、酸化ヘモグロビン(Oxy-Hb)はカテゴリ内よりカテゴリ間の色変化の観察中に上昇しました。初期視覚野である後頭部の脳血流反応を、同じ刺激観察時に計測したところ、脳血流反応の色カテゴリ間・内の違いは見られませんでした。これらの結果から、言語獲得以前の乳児でもカテゴリカル色知覚が存在すること、色カテゴリの変化に伴い生起する脳活動変化は後側頭領域で観察され、初期視覚野の応答とは異なることが示されました。

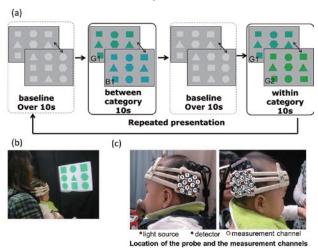


図 2. カテゴリカル色知覚の実験。(a)刺激の概要。(b)刺激観察時の脳血流反応を計測。(c)NIRS のプローブと各チャンネルの位置。

【乳児の影知覚:物と影の形状の不一致への気づき】物体が照明の一部を遮り他の物体に投影される cast shadow の、物体形状との一致・不一致に、乳児が気づくかを調べる実験を行いました。実験では、生後5-8ヶ月の乳児を対象としました。あらかじめ物体と影の形状が一致している二種の物体画像を繰り返し提示し、影と物体の一致に慣れさせた後で、物体と影の形状が不一致のもの(図 1c 左)と一致しているものを提示しました。

実験の結果、生後 7-8 ヶ月児は不一致に選好しました。次にコントロール実験として、影の周囲に輪郭線を付け、影として知覚され難くして同じ実験を行ったところ(図 1c 右)、選好は消失しました。これらのことから、7-8 ヶ月児は物体と影の形状の不一致

に気づくことが示されました。

【乳児の影知覚:影からの形状の知覚】照明を遮った物体自身に投影される attached shadow と cast shadow を用いた実験を行いました。これらの影の手がかりから、それぞれ異なる3次元的形状を知覚することが、成人の実験から示されている。乳児も、成人と同様に影から3次元形状を知覚できるかを検討しました。

図 1d の図を用い、複数の attached shadow (または cast shadow) の中にひとつだけ cast shadow (または attached shadow) があることに気がつくか、5-8ヶ月 児を対象に検討したところ、7-8ヶ月児は一つだけ異なるターゲットがある画面の方向により長く注視しました。次にこの結果が影知覚によることを確かめるために、影を背景より明るくして、同様の実験を行ったところ、ターゲットへの選好は消失した。これらの結果から、7-8ヶ月児は attached shadow と cast shadow から異なる形状を知覚した可能性が示されました。

【乳児の影知覚:明るさ変化の不自然さに気づくか】乳児も、影を「周囲より暗い領域」と知覚することができるかを調べるため、影の中をヒョコが歩く映像を合成して実験を行いました。一般的な法則として、乳児は不自然なものを選好する傾向があることから、物体と cast shadow の明るさが自然に変化する条件(影の中をヒョコが通過する際、影の中で暗く、影の外で明るくなる)と、不自然に変化する条件(ヒョコが影の中で明るく、影の外で暗くなる)を提示し、5-8ヶ月児が不自然さに気づくかを検討しました。実験の結果、7-8ヶ月児は不自然な条件をより長く注視し、不自然さに気づくことが示唆されました。

#### 〇今後の展望

木と金属の材質の、視覚と音の一致・不一致に、 乳児はいつ頃から気づくかを検討しています。実験では生後4ヶ月から8ヶ月までの乳児を対象に、様々な材質から発せられる音(聴覚情報)とその表面材質(視覚情報)を同時に提示して不一致への感度を調べたり、聴覚あるいは視覚情報のプライミング後の不一致の感度を調べたり、一致・不一致の学習効果の違いを調べるなど、様々な実験を行いながら、表面材質とその音の視聴覚情報の発達時期を明らかにしていく予定です。

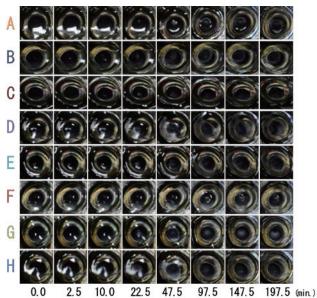
#### 〇関連する研究発表

1. Yang, J., Otsuka, Y., Kanazawa, S., <u>Yamaguchi, M.K.</u>, Motoyoshi, I. (2011). Perception of surface glossiness by infants aged 5 to 8 months. *Perception*, 40, 1491-1502. 2. Yang, J., Kanazawa, S., & <u>Yamaguchi, M.K.</u> (2013). Can Infants tell the difference between gold and yellow? *PLoS ONE*, 8(6): e67535.

#### 食品における多次元的質感視知覚の解明



#### 研究代表者 和田有史(農業·食品産業技術総合研究機構食品総合研究所·主任研究員)



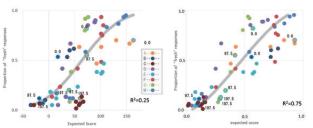


図1 8 個体の魚眼の経時変化(上)とその鮮度 評定とモデルへの当てはまり(下)。左は先行研究 から導き出されたモデル。右は色も含めた新たなモデル。

#### 〇研究の背景と目的

スーパーマーケットでは、わたしたちは日常的に食品の良し悪しを判断しています。判断する食品の状態には新鮮さや傷の有無、硬さなど様々あります。 それらの判断材料となっているのは視覚・嗅覚・触覚などです。本研究では主として視覚的な食品の評価に関係する下記の問題の解明を目指しました。

#### ◎鮮度の視覚手がかり

生鮮食品の劣化の過程を撮影し、その写真に写っている生鮮食品の表面の写真をみて新鮮さの程度を一般消費者の方々に評価してもらうと、時間がたった写真ほど鮮度を低く評価できます。キャベツやイチゴのように、もともとつやのある表面をしている野菜の場合は、そのつやに関係が強いと考えられて

いる輝度分布が鮮度の評価に影響することが私たち の研究でわかりました (Wada, et al., 2010)。

この輝度分布は、食品の個体が異なっていても、人の鮮度の判断と強く係わっていることも示しました(Murakoshi, et al., 2013)。日常的な食品の選択では、多くの個体からよりよい食品を選び出します。つまり、食品の個体差を超えて品質を判断しているので、個体差があっても、他のいろいろの差を超えて手がかりとして利用されている変数をみいだすことが非常に重要です。

#### ◎視覚的運動による食品の質感の知覚

食品がどの程度柔らかいのか、ということも視覚によって感じることができます。例えば、プリンが揺れているところをみるとその柔らかさを感じます。これも人間の視覚情報処理によって生じる質感の認識です。私たちはネオンカラー拡散をともなう主観的な面(図 2)を用いて、着色部分の頂点を支点として垂直線が振り子運動するパターンを作成しました。上下に配置された同心円間の振り子運動の時間的なずれである位相差が 0°のときに変形しない面の運動(剛体運動)、最もずれている 90°のときはやわらかい面の変形(はためき)が知覚されました(Masuda, et al., 2013)。この現象は、関節などの継ぎ目がない単一物体として知覚される対象中に時









図 2 Masuda らが用いたネオンカラー拡散を 伴う主観的輪郭図形。実際には印刷されていな い青白い四角形が見える (Masuda et al., 2013, *PLoS ONE* を改変)。

間ずれがある運動が生じると、変形を伴う非剛体の 質感が知覚されることを示唆しています。 位相差以 外にも運動には様々な特徴があることから、規則的 な運動変化と知覚される質感の法則関係は数多く存 在する可能性があります。

その他に、果物などの生鮮食品の品質を、エキスパートがどのように見分けているのか、ということを探索することも本研究の大きなテーマです。

#### 〇研究成果

#### ◎鮮度の視覚手がかり

Murakoshi, et al. (2013) では3個体×3時点の9つの魚眼の画像の鮮度判断に基づいて、輝度分布の変数から魚眼の鮮度評価の程度をあらわす得点を算出するモデルを作りました。本研究ではさらに多個体・多時点での魚眼の画像(図1上) についての鮮度の高低を実験参加者が繰り返し評価する実験を行いました。このような、より多くの写真に対する鮮度判断の確率を Murakoshi らのモデルから導かれる鮮度の得点と合致するかどうか検討しました。その結果、多個体、多時点のサンプルに対する鮮度判断閾を輝度分布の標準偏差と歪度を独立変数としたMurakoshi らのモデルからある程度予測できることがわかりました(図1下左)。

さらに、色を予測変数に加えることで予測精度が 向上することが示されました(図1下右)。このアプローチにより、人の生鮮食品の品質判断の閾値を視 覚でとらえられる画像中の手がかりから計測・予測 する技法が開発できました。

#### ◎視覚的運動による食品の質感の知覚

ネオンカラー拡散をともなう主観的な面の頂点を 支点とした垂直線の振り子運動において誘導図形間 の位相差30・90°条件下で運動の振幅と周期に規則 的な変化を加えたときに物性の知覚に与える影響を 検討しました。食品は口腔内で咀嚼されるものなの で、実験参加者には食感にとって重要な硬さ、弾力性、 粘性の強さを評定してもらいました。その結果、弾力性については周期が時間経過につれ短くなると高くなり、粘性についてはその逆の傾向がありました(図 3)。このような知覚される物性と視覚的な運動の関係は、実際の物体の物性とそれに生じる運動の関係と共通しています。このような関係が、明らかに錯覚によって生じる主観的輪郭の運動に伴う面の質感に見いだされるという現象を発見したことは、運動を手がかりとした材質感知覚を成立させるメカニズムが脳内に存在することを鮮やかに示しています。

#### 〇今後の展望

この他にも私たちはエキスパートの生鮮食品の知覚メカニズムの解明に挑みました。例えば、一般消費者には見いだせないモモの表面の傷をエキスパートは見いだしており、その大きさを言い当てることができます。まだ論文発表に至ってはいませんが、こうしたエキスパートの知覚様式を明らかにすることで、選果の効率化や新たな生鮮食品の格付けなどにつながる技術の開発が可能になるかもしれません。

食品を消費するのは最終的に消費者である人間です。より良い食品を作るには人間が感じる多次元の食品品質を感じるメカニズムを解明する必要があります。それには視覚にとどまらず、味覚・嗅覚・触覚・聴覚といったすべての感覚の相互作用としての食認知を解明していく必要があります。

食品の質感研究は、人間の知覚メカニズムの基礎 研究としても、その応用としても魅力的なフィール ドに発展していくでしょう。

#### ○関連する研究発表

1. Masuda T, Matsubara K, Utsumi K, <u>Wada Y</u>: Material perception of a kinetic illusory object with amplitude and frequency changes in oscillated inducer motion, Vis Res, (2015) in press

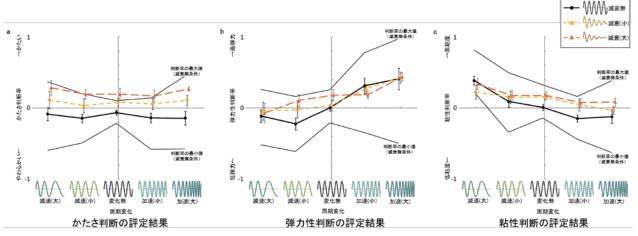
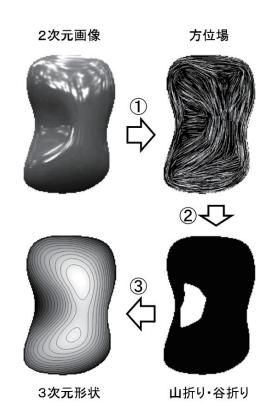


図 3 かたさ・弾力性・粘性判断の結果。それぞれの判断で視覚的運動の影響の仕方の傾向が異なる (Masuda et al., 2015,  $Vis.\ Res.$ を改変)。

## 質感画像と脳活動データから質感パラメータを 自動抽出する手法の開発



研究代表者 下川 丈明 (国際電気通信基礎技術研究所(ATR)·研究員)



図の説明:開発した形状復元アルゴリズム。光沢物体の2次元画像から、その物体の3次元表面形状を推定する。①まずフィルタ処理により、2次元画像の各地点で方位(画像の局所において輝度の変化が最も小さい方向)を抽出する。その集まりである「方位場」を白い線分を用いて図示してある。②表面形状はその方位と直交方向に曲がっていると考えられる。ただし、山折りと谷折りの2種類ある。そのどちらかを自動判別する。黒が推定された山折り領域、白が谷折り領域である。③方位場に沿って山折りか谷折りかに適切に曲げていくことによって3次元表面形状を復元することができる。

#### 〇研究の背景と目的

私たちは画像を見ただけで、それぞれの材質や特性を知覚し、それぞれに対して特有な感覚(質感)を持ちます。そのような感覚は多様であり我々の生活を豊かなものにしているのだと思います。その中でも私は特に光沢感に興味を持ち、研究を進めてきました。興味の対象とした理由は、純粋に綺麗に見えること、数学的なしっかりとした構造がありそう

なこと、光沢感は表面反射特性の知覚であり物理的 対応物との関係が明確であることから研究がしやす い、と思ったからです。

当初は研究タイトルの様に画像から光沢知覚に関 する画像特徴量を自動抽出できるような手法の開発 を考えていました。しかしちょうどその頃、光沢感 と3次元形状知覚とが関係するという心理物理学研 究が活発になされていました。例えば、光沢画像の ハイライト(光の反射で明るくなった箇所)を回転 させると、それはもはや光沢には見えずに白いペン キのように見えてしまいます。また、一般にロゴの デザインなどでも光沢を用いると立体感が増します。 世の中にある物体は3次元的な形は必ず持ちますの で、ヒトは形状知覚についても特化しており、それ に光沢といった質感情報も多少なりとも関わってい るものと思われます。これらのことから、画像から 質感のみを取り出すことは一筋縄ではいかないと考 えるようになりました。そこで質感研究としては回 り道となりますが、方針を転換し、光沢画像からの 形状知覚に注目して研究を進めることにしました。

#### 〇研究成果

左上図のような光沢物体画像から、その物体の3次元表面形状を復元する試みを行いました。(ちなみに光沢のない陰影物体画像から形状復元を試みる先行研究はたくさんありますが、光沢画像を用いたような研究はほとんどありませんでした。)

その際に参考にしたのは、「方位場」がヒトの形状知覚と関係があるという心理物理学分野の論文でした。方位場とは画像の局所における方位の集合のことで、このような方位場の算出はヒトの第一次視覚野でも行われています。そしてこれは物体の3次元形状とも対応付けることができます。例えば、光沢画像では、周囲の環境光が物体表面で反射されて画像に反映されます。そのとき、物体表面の曲率が高い方向には周囲の環境光は縮み、低い方向には引き伸ばされます。つまり、物体は画像方位の向きには曲がっておらず、その直交方向には曲がっているという関係性を導き出すことができます。

今回のアルゴリズムはこの関係性を用いて形状の 復元を行います。手続きとしてはまず、ヒトがやっ ているのと同じようなフィルタ処理により画像から 方位を抽出します。後は、その方位と直交方向に物 体を曲げていけばよいものと考えられます。

最初の頃の試みでは曲げる方向についてはあまり

考えておらず、とりあえず曲がらない方向には曲がらないようにペナルティをかけ、無理やり手前にひっぱって3次元形状を作るという方法を考えていました。しかし、このやり方では推定された形状にどうしてもきれいなくびれを作ることができませんでした。復元された形状の見た目にも違和感があっためこの方法は断念しました。

その後、曲げ方のほうに注目することにしました。 曲げる方向には主に山折りと谷折りの2種類があります。これについて明確に区別するようにしました。 このように曲げ方を指定してやれば、曲げる方向に は山折りもしくは谷折りに曲がるような、曲がらな い方向には曲がらないようなコスト関数を用意し、 それを最適化することで、形状が推定できて、その 推定形状にきれいなくびれやへこみも出せることが わかりました。

しかし、ここで難しい問題は、どのように山折りか谷折りかを求めるかということです。正解は与えられていませんので、画像だけからそれを推定する必要があります。最初はアドホックな方法を用いていましたが、現在は平均場近似という物理のスピン系の計算に用いられる方法に落とし込むことができ、ある程度良い結果を出すことができています。具体的なアルゴリズムとしては、繰り返し計算になっており、最初は全部の領域で山折りの状態から出発します。しかし、全部山折りの状態ではうまく全部曲がることができないので、より良い解として、谷折りを含む解が出てくるというものです。

このように山折りか谷折りかの判別がうまくできれば、その方向に表面形状を折り曲げることで、前ページ図のようにもっともらしい3次元形状を復元することができます。以上により1枚の光沢物体画像のみから3次元形状を復元することができました。

この他にも、テキスチャの貼り付けられた物体画像から3次元形状を復元するアルゴリズムも作成しました。これについても同様に方位場情報から形状を復元しますが、途中の処理は異なるものとなっています。

#### 〇今後の展望

今回の研究において、光沢物体画像から3次元形 状復元を行うアルゴリズムを作成しましたが、多く の課題と展望が残されています。

課題ですが、開発した形状復元アルゴリズムは未完成であり、現状ではいろいろな画像で常にうまくいくわけではありません。特に山折り・谷折り領域の判別が難しいポイントとして残されています。これを改善していく必要があります。改善するための方略として、一つはコスト関数の改良または最適化アルゴリズムの工夫が考えられます。うまくいかない原因が分かれば適切に修正を加えることである程度の改善は可能であると考えています。二つ目は別の情報を取り込むことが重要であると考えています。

現在のアルゴリズムでは画像の高周波成分における 方位情報のみを用いており、他の情報は捨ててしまっています。しかし、他にも有用な情報があると思 われます。これについてはヒトの形状知覚が参考に なると考えています。ヒトがどのような情報を用い て形状知覚を行っているのかを心理物理実験で調べ て、その知見をうまく取り入れることができれば今 後の発展につながるものと考えています。

今後の展望ですが、大きく二つあります。一つ目は、今回2次元画像から3次元形状を復元する過程をモデル化したわけですが、それらが実際の脳の神経回路でどのように実現されるのかを調べてみることは興味深い問題だと思います。視覚処理は階層がな処理が行われています。方位場の算出は第一次視覚野で表現されていることが知られています。しかし、その間でどのような処理が行われているのかは当だによくわかっていません。途中の処理は今回考案したようなアルゴリズムと共通点があることができれば、脳の情報処理をより深く調べることができると考えます。

二つ目は質感との関係です。特に光沢感は形状と 関係があり、ハイライトを回転させると光沢でなく、 白いペンキに見えることを述べました。このような 現象がどのように説明されるのかという問題はいま だ残されたままです。今回の研究で光沢画像におけ る形状処理過程の理解についてはだいぶ深まりまし たので、このような問題に立ち戻って考え直す必要 があると思います。また、研究を進める中で分かっ たこととしては、テクスチャ(表面に貼りついた模 様)と陰影(拡散反射)と光沢(鏡面反射)では形 状の手がかりもそれぞれ違うということです。これ らは3次元形状と方位場との関係がそれぞれ異なり、 よって利用の仕方も異なります。例えば、形状復元 アルゴリズムはテキスチャと光沢の2種類作りまし たが、入力と出力は同じでも途中の処理が異なりま す。このような3次元形状と方位場のパターンの違 いは質感知覚にも効いているのではないかと考えて います。特に、テキスチャ、陰影、光沢では質感が 大きく異なり、大きなクラス分類がなされているの ではないかと思われます。このような関係を調べる ことができれば面白いのではないかと考えています。

#### ○関連する研究発表

1. <u>下川丈明</u>, 西尾亜希子, 佐藤雅昭, 川人光男, 小松 英彦: 光沢物体画像からの3次元形状復元, 第37回 日本神経科学大会 (Neuroscience2014), 横浜, 9.13, 2014.

2. <u>Shimokawa T</u>, Nishio A, Sato M, Kawato M, Komatsu H: 3D shape estimation from a single glossy object image, PRISM4: Perceptual Representation of Illumination, Shape and Materials, Ankara, Turkey, 10.6-9, 2014.