

信号変調に基づく視聴触覚の質感認識機構

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・主幹研究員)
研究分担者 古川 茂人 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所・主幹研究員)
鈴木 匡子 (東北大学大学院医学系研究科・教授)
柳井 啓司 (電気通信大学大学院情報理工学研究科・教授)



図 1：濡れ強調変換。左半分がオリジナル、右半分が変換結果。輝度ヒストグラムの歪度を上げ、色相度を高めることで、濡れ具体が強調される。

○研究の背景と目的

ものの質感の情報はどこにあるか？それは、もの・環境・人間の相互作用が生み出す感覚信号の複雑な変調のパタンの中に含まれると、われわれは考えています。その考えに基づいて、視覚・触覚・聴覚の3つの感覚モダリティに関して、多様な質感を生み出す変調情報を特定し、その変調情報の抽出処理メカニズムを解明することを目指して研究を進めています。さまざまな手法で収集した質感刺激データセットの物理特性の分析と、その刺激に対する人間観察者の質感判断の心理物理学的解析から、質感認識の計算論と機能的なメカニズムを明らかにするとともに、脳損傷患者を含む幅広い観察者を対象とすることで、質感認識の脳神経メカニズムにも迫ります。さらに、質感認識の科学的理解を最先端の情報メディア技術と融合することにより、革新的な質感操作技術の開発にも挑戦します。

○これまでに得られた成果

まず、いくつかの視覚質感情報の特定とその読み

取りのメカニズムを解明しました。

図 1 に示すのは、乾燥した物体表面が濡れているように見せる濡れ強調変換 (Wetness Enhancing Transform: WET) です。光沢を増やす輝度ヒストグラムの歪度上昇に加えて、色の鮮やかさ (彩度) を上昇させるのがポイントです。心理実験の結果、多くの自然画像で濡れ感の増加効果が確認されました。また、物理計測の結果、ものが濡れたときこのような画像変化が実際に起こっていることを確認しました。しかし、物理的に濡れているときの生じる画像変化を見ると人間には濡れているように見える、という単純な話ではありません。そのような画像変化起こっても常に濡れて見えるわけではないのです。その条件を分析した結果、色の多彩さ (エントロピー) が高いほど WET の濡れ感誘導の効果が高くなることが分かりました。同時多発的に濡れの方向への画像の歪み (変調) があるときに、人間の目には濡れて見えるのです [文献 1]。



図 2：細かさの判断に関するコントラストの効果。

われわれ人間は髪の毛のような非常に細かいものでも、その細さを判断できる「ような」気がします。実際に実験したところ、視覚系の解像度の限界 (視覚 1 分) 以下の細かさの判断が可能でした。さらに分析を進めた結果、この細かさ判断に画像テクスチャのコントラストが利用されていて、コントラストが低いほど細かいと判断されることが分かりました。図 2 では、中央のオリジナルと比較してコントラストを下げる (左) と細かく見え、上げる (右) と粗く見えます。また、このコントラストの効果は輝度ヒストグラムがガウス分布に近いときに明瞭に現れます。このことは、画像の統計的性質から考えて理屈の通ったものです。つまり、空間的なサンプリングの限界を超えると各サンプリング点で複数の要素

が平均化されるため、沢山の要素が平均化されるテクスチャほど分散が小さくなり、分布がガウス分布に近づくのです。人間の視覚系はこのような細かさに起因する画像変調を無意識で知っていて、質感判断に用いているのです [文献 2]。

光学的な質感特性だけではなく、機械的な質感特性についても研究を進めています。われわれは、液体流動の運動パターンから液体らしさやその粘性が知覚できたり、ある種の動的な画像の変形が透明な層による屈折が生み出したものとして解釈されたりすることを発見したのに続いて、動的屈折手がかりがゼリーのような物体の弾性判断にも用いられることを解明しました [文献 3]。

また、タブレット端末を使った視覚心理実験システムを開発し、インターネットを使った大規模実験を行いました。数百名規模のクラウドソーシングのワーカーが手持ちの装置を使って基本的な質感認知能力を測る心理物理課題を行い、その実験の結果に基づいて質感標準課題データベースの第一版を作りました。この実験の課題は言語教示を必要としない課題を基本としているので、乳児研究・動物研究・多文化比較研究に利用することで、標準観測者とパフォーマンスを比較することが可能となります。

革新的な質感技術に開発については、実物体の質感を操作するプロジェクションマッピング技術の研究を進めました。静止物体に錯視的な運動印象を与える「変幻灯」技術は、テレビ番組や新聞で取り上げられたほか、科学技術館などの展示に用いられています。また、変幻灯の派生技術として、ステレオ眼鏡無しで見たときにボケを生じない新しい二眼ステレオ方式 (Hidden Stereo) を考案しました (図 3)。一枚の画像に同じ視差誘導画像を逆符号で加算することで右目・左目画像を作るという点と視差誘導パターンをマルチスケールの位相シフトで生成する点がポイントで、人間の両眼視メカニズムの特性をうまく利用した手法になっています [文献 4]。

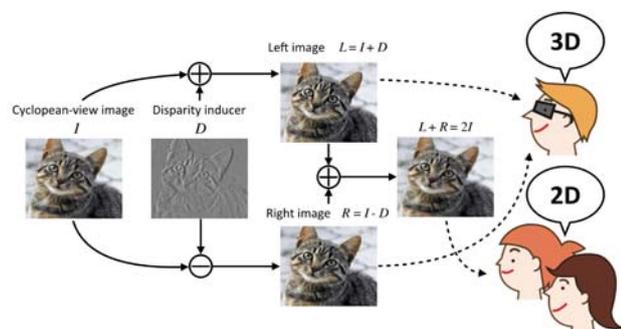


図 3 : Hidden stereo の原理

触覚に関しては、異なる機械受容器で検出される低周波と高周波の振動が同時に呈示されると知覚的に融合して中間周波数を含んだような感覚を生むこと、さらに二つの周波数は異なる身体部位 (右手と左手) に提示されてもこの融合現象は生じることを

明らかにしました [文献 5]、また、様々な素材に触れているときの手の動きから触り手の触覚をある程度推定することにも成功しました [文献 6]。



図 4 : 音による質感判断に残響は影響するか？

次に聴覚チーム (分担 : 古川) の研究を紹介します。われわれ人間は、物を叩いた時に出る音の音色や時間波形により、その物の材質をある程度当てることができます。しかし、耳に届く音は、音源からの音そのものではなく、室内の残響などの環境条件により、常に何らかの変形が加わっています (図 4)。残響によって、音に基づく材質判断はどのように影響を受けるのでしょうか？ また、環境の条件が常に一定でないのにも関わらず、私たちが材質を間違えにくいのはなぜでしょう？ この問題を考えるために、様々な室内音響を模擬した条件で、音による材質判断への残響の影響を調べました。その結果、平均的な傾向としては、残響の負荷によって材質判断が偏ることはありませんでした。しかし、個人ごとにとみると、残響による判断の仕方には大きなばらつきがあることが分かりました。さらに、一定の残響で聞き続ける条件では、残響が常に変化する条件よりも、残響の影響が小さいことが分かりました。これは、私たちの聴覚が、室内の条件に適應することにより、安定した材質判断を行おうとする働きを反映しているものと考えられます [文献 7]。

次に、質感認知臨床研究についてです (担当 : 鈴木)。アルツハイマー型認知症 (AD)、レビー小体型認知症 (DLB) の患者および健常高齢者において、視覚の基本的機能、質感認知機能、物の認知における質感の役割を検討しました。AD53 名、DLB20 名、健常高齢者 (NC)31 名を対象として、基本的な視知覚 (コントラスト感度、色覚、立体覚)、高次視知覚 (図と地の弁別、形態照合、立方体計数、位置弁別、色名呼称)、素材同定 (実物、写真)、野菜鮮度判断課題、輝度判断課題を施行しました。また、物の質感と視点がその同定に与える影響を見るために、clear texture/blurry texture, canonical view/non-canonical view を組み合わせさせた 4 条件で物の同定課題も施行しました。認知機能検査としては Mini Mental State Examination (MMSE)、Alzheimer's Disease Assessment Scale (ADAS) を行いました。

DLB では立体視を除くほとんどの視知覚機能で障害がみられ、素材同定もごく軽症例から低下していましたが、素材同定の成績と視知覚機能に相関を認めませんでした。AD では立方体計数、位置弁別、素材同定が NC より低下しており、素材同定は MMSE、位置弁別と正の相関がありました。ものの同定課題では、DLB はいずれの条件でも NC より低下していましたが、AD は non-canonical view のみで低下がみられました。以上より、素材同定課題からみた視覚性質感認知は DLB、AD とともに低下しており、DLB でより重度でした。変性性認知症における質感認知の障害は、基本的な視知覚障害では説明できず、その初期から出現して QOL に影響する可能性が示唆されたと言えます。

最後に、深層学習を使ったデータドリブンな画像質感変換です (担当: 柳井)。Deep Neural Network を用いた画像の質感変換について研究を行い、これまでに主に、(1) 任意のスタイルの変換をリアルタイムに行う Unseen Style Fast Transfer Network [文献 8]、(2) 逆伝搬計算を用いた弱教師あり学習による意味的画像領域分割 [文献 9]、(3) Web 収集画像による言葉による画像質感変換、について研究を行いました。(1)の任意スタイル変換では、スタイル画像と変換対象のコンテンツ画像を入力すると瞬時にスタイルの変換が行われる手法を開発し、iPhone 上で動作するモバイルアプリケーションとして実装して iOS アプリストアで公開しています [文献 10])。写真画像を絵画風画像へ変換するだけでなく、石でできたものを木でできたように見せる様な、物体の素材の変換も可能であることを確認しています。(2)では、キーワードのみが付与された画像から自動的に物体の領域を探す弱教師あり意味的画像領域分割の手法を研究しました。通常の領域分割の方法では、認識モデルの学習に、画素ごとに物体カテゴリラベルが付与されている学習画像データが必要です。しかしながら、画素毎にラベルを付ける作業を大量の画像に対して行うことは極めて多大な労力が必要で、独自に収集した画像に対してこの手法を適用することは困難です。それに対して弱教師あり領域分割では、キーワードが付いている画像が大量にあれば、それだけで学習可能であるため、最初にキーワードを与えて自動的に Web から画像を収集し、それを学習データとして任意の言葉に対応する画像領域分割を実現することが可能となります。(3)では、そうした弱教師あり領域分割手法の特徴を利用して、質感表現語としてオノマトペを用いて学習画像を Web から収集し、画像中の例えば「ふわふわ」した部分を推定することが可能となりました。これをスタイル変換と組み合わせることで、「ふわふわ」した部分だけを「ごつごつ」にするような変換も可能となりました (図 5)。現在は引き続き、Web 画像検索を用いて様々な質感語に対応した画像を収集し、より広範囲な言葉によって画像を変換する方法の研究を行っ

ています。

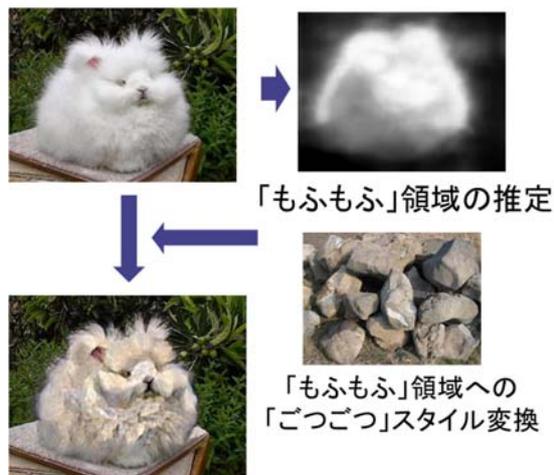


図 5: 弱教師あり領域分割とスタイル変換の組み合わせによる部分スタイル変換

○関連する研究発表

1. Sawayama M, Adelson, EH, & Nishida S: Visual wetness perception based on image color statistics, *J Vis*, 17(5): 1-24, 2017
2. Sawayama M, Nishida S, & Shinya M: Human perception of sub-resolution fineness of dense textures based on image intensity statistics, *J Vis*, 17(4): 8:1-18, 2017.
3. Kawabe T, & Nishida S: Seeing jelly: judging elasticity of transparent object, *ACM SAP*, 2016.
4. Fukiage T, Kawabe T, & Nishida S: Hiding of phase-based stereo disparity for ghost-free viewing without glasses, *ACM TOG*, 36(4):147, 2017
5. Kuroki S, Watanabe J & Nishida S: Integration of vibrotactile frequency information beyond the mechanoreceptor channel and somatotopy, *Sci Rep* 7:2758, 2017
6. Yokosaka T, Kuroki S, Watanabe J & Nishida S: Linkage between free exploratory movements and subjective tactile ratings”, *, *IEEE ToH* 10(2):217-225, 2017
7. Koumura T, Furukawa S: Context-dependent effect of reverberation on material perception from impact sound. *Sci Rep* 7:16455, 2017.
8. Yanai, K.: Unseen Style Transfer Based on a Conditional Fast Style Transfer Network, *ICLR WS*, 2017.
9. Shimoda, W. and Yanai, K.: Distinct Class Saliency Maps for Weakly Supervised Semantic Segmentation, *ECCV*, 2016.
10. Tanno, R. and Yanai, K.: DeepStyleCam, <https://itunes.apple.com/jp/app/deepstylecam/id1161707531>, 2017.