

知覚心理学で探る皮膚感覚のしくみ

～指先の時空間情報処理～

Towards understanding human skin sensations

— How the brain integrates spatio-temporal information in touch —



人間情報研究部

黒木 忍 Scinob Kuroki

プロフィール

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部 主任研究員。2011年東京大学大学院 情報理工学系 博士課程修了。博士(情報理工学)。同年NTTに入社以来、触覚におけるタイミング、周波数、位相、運動、粗さなど、基礎的な知覚について研究。

触覚 × 知覚心理学

手は道具でありセンサです。手指を巧みに使う事で、人間は上手に進化を遂げてきたと思います。道具をうまく使うには速くて正しい計測と処理が有効です。私はこの、皮膚を通じた情報処理に興味を持っています。「手に取るようにわかる」「肌で感じる」など、触覚に関わる比喩表現には、ものごとを深く理解する様子をイメージさせるものが多くあります。ところが、触覚が実際に何をやっているのか、その情報処理に関する研究は意外なほど疎で、その処理のメカニズムはあまり良く解っていません。自己と世界の境界から得られる感覚であるため、その接触面で起きる現象を直接計測したり、人工的に再現したりすることが難しいなど、技術的な課題もありました。近年の技術進歩に伴い、視覚や聴覚の研究を追いかける形で、少しずつ触覚についても解明が進んでいます。

知覚心理学とは、人間をシステムとして扱い、その内部処理を同定する学問です。人間に対して、何か画像や音のような入力を加えたときに、出力としてどのような知覚が得られるのかを調

べます。例えば、明かりをゆっくり点けたり消したりすると明るさの変化を知覚することが出来ますが、切り替え速度を上げていくと明滅は徐々に見えにくくなり、蛍光灯ほど高速になると変化は検出出来ません。このように、少しずつ入力を変化させながら、私たちの知覚に影響を及ぼす物理量や、その範囲を調べていきます。

時空間情報処理の大切さ

皮膚にはセンサである機械受容器がアレイ状に敷き詰められています。指先でモノに触れると、これらのセンサが局所的に反応してそれぞれ神経信号を脳へ送ります。例えば硬い物体に触れた場合、皮膚の変形は一定量で止まりますが、指よりも柔らかい物体に触れた場合には、接触後に指が物体にめり込むため、指が包み込まれるかたちで接触面積が増えてゆきます(図1)。こうした時空間的な変化を捉えることが、接触対象を正しく推定するためには必要です。

形・応答・処理の違い

網膜に複数のセンサがあり、それぞれ異なる色に対して感度を持つように、皮膚にあるセンサにも幾つかの種類があります。それぞれのセンサは、ある種類は小粒で皮膚表面に密集し、また別の大きなものは皮膚深くにぼつぼつと点在するなど、異なる形と分布を持っています。その結果、ゆっくりした変形に反応するセンサや、着信パイプレーションのような高周波の振動に良く反応するセンサといった具合に、種類ごとに個性が生まれます(図2)。こうした、異なるセンサ系からの信号は、脳において個別に処理されるのでしょうか、まとめて処理されるのでしょうか?指先で実際の物体に触れる日常的な状況では複数のセンサ系が応答しているため、脳内の処理についてセンサ系ごとに切り分けて調べることは困難でした。この講演では、正弦波振動などの非常にシンプルな入力を用いることで、センサ系の応答割合を制御し、各系の時間情報が統合される過程について調べた研究をご紹介します[1]。

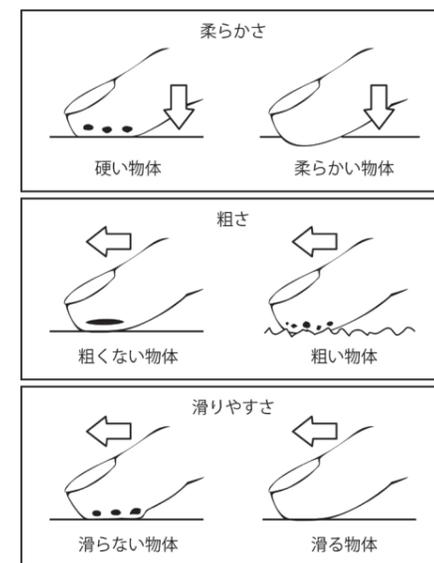


図1 接触対象の物性が皮膚表面を時空間的に変形させる

より複雑な入力・処理・知覚へ

触覚の知覚研究では、振動などの素朴な入力だけでなく、布や金属、毛皮やスポンジといった日常素材もしばしば入力として使われます。日頃触れる素材が引き起こす感覚について調べるわけですから、いかにも多彩な結果が得られそうです。しかし一方で、入力のバリエーションが複雑になるにつれ、知覚変化の鍵を理解することは難しくなってきます。例えば「布Aと石Bの区別はつきのに、布Aと金属Cは区別がつかない」という結果が得られた場合、石と金属の物理的特徴の違いが多岐に渡るため、原因を絞りこむのが難しいのです。なお、最近では複雑な入力と出力の関係をビッグデータ解析することで紐解く研究が増えています。とても頼もしいのですが、触覚については大きな触覚データセットを用意するのが困難なこともあり、未だ大きな成果は出ていません。

我々のグループでは、単純な実験刺激と複雑な現実世界の間を繋ぐ試みとして、レーザーカッターや3Dプリンタを使い、複雑な空間パターンを持つ表面テクスチャを作成しています。中心周波数(紙やすりで言うところの番手)のような、単純な統計量だけでなく、より複雑な統計量の操作を手軽に行うことが可能になりました。脳内で、どの程度まで複雑な統計量が計算されているのかを調べた研究[2]について、本講演で紹介するとともに、展示25番「触ると似てしまうテクスチャ」にて、詳細にご説明いたします。こうした時空間情報処理やセンサ間の情報統合の仕組みに関する理解を積み重ねていくことが、触覚の理解につながると期待されます。

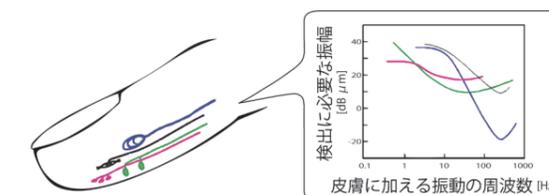


図2 指先皮膚に存在する複数のセンサと、それらに繋がる神経の応答特性

▼ 関連文献

[1] S. Kuroki, J. Watanabe, S. Nishida, "Integration of vibrotactile frequency information beyond the mechanoreceptor channel and somatotopy," *Scientific Reports*, Vol. 7, 2758, 2017.
 [2] S. Kuroki, S. Sawayama, S. Nishida, "Haptic metameric textures," *bioRxiv*, 2019. doi: <https://doi.org/10.1101/653550>.