

# 手の動きと結びついた触質感認知の研究

## Tactile perception of material surfaces related to hand movements

横坂 拓巳  
Takumi Yokosaka

渡邊 淳司  
Junji Watanabe

日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
NTT Communication Science Laboratories, Nippon Telegraph and Telephone Corporation

We actively move our hands and fingers when we acquire tactile information about objects. While the relationships between hand movements and tactile perception of an object's surface are receiving increased attention, the general and systematic relationships between them remain unclear. Here we review research and our work that have investigated hand movements in terms of their linkages with (a) tactile perception of material properties such as roughness, hardness, stickiness and warmth, (b) tactile perception of material categories such as metal, fabric, and wood, and (c) tactile perception of affective aspects.

### 1. はじめに

我々は身の回りの物体の触質感を得るために、手を能動的に動かしながら物体を探索する。このような探索的な手の動きは、触った物体の粗さや硬さといった触質感の認知と深く結びついている。なぜならば、探索的な手の動きは、触知覚のための重要な情報源となる手や指の皮膚振動や皮膚変形を作り出すからである。このような手の動きと触質感認知の関係に基づけば、探索者がどのように手を動かして触っているのかを計測・解析することによって、探索者がどのような触質感を感じているのかを推定できると期待される。更には、手の動きと触質感認知の関係の理解によって、未だ謎の多い触質感認知メカニズムの解明への貢献や、指や手、腕に装着する触質感情報提示装置の設計への応用も期待できる。

しかしながら、どのような手の動きがどのような触質感の認知と結びついているかという体系的関係については未だ概観的な整理がなされていないのが現状である。そこで本稿では、これまで手の動きと触質感認知の関係を調べてきた心理物理研究について整理するとともに、著者らの研究成果について報告する(2章)。また、このような手の動きと触質感認知の間には、触覚刺激の物理特性や探索者の探索目的、探索者の手の状態といった様々な要因が作用することがこれまでの研究で示唆されているため、これらの諸要因の関係を整理する(3章)。

### 2. 手の動きと触質感認知の関係

これまでの研究から触質感認知は大きく三つに分類できる。一つ目は、「粗さ」や「硬さ」といった材質の物理的性質に関する認知である。二つ目は、「布らしさ」や「金属らしさ」といったその材質のカテゴリに関する認知である。そして三つ目は、「心地よさ」や「好ましさ」、「高級さ」のような材質に対する感性的・価値的印象に関する認知である。ここでは、それぞれの触質感認知について、手の動きとの関係をみていく。

#### 2.1 物理特性に関する触質感と結びついた手の動き

材質の物理特性の認知は触質感の中で最もよく調べられており、その主要な物理特性として凹凸感、粗さ感、硬さ感、摩擦

感、温冷感がまとめられている[Okamoto 2013]。

これらの中でよく調べられているのは粗さ感である(ここでの粗さ感には凹凸感も含まれる)。粗さ判断時における手の動きの寄与については、グレーティング刺激(0.25 mm 幅の溝が0.125-1 mm の間隔で彫られた刺激)を触るとき、指の押し込む強さを大きくすると回答された粗さ感も大きくなることが知られている[Lederman 1972; Lederman 1974]。押し込む強さを教示するのではなく、粗さ判断課題を行っている最中の触覚刺激(0.6 mm の突起が 1.5-8.5 mm の間隔で並んだ刺激)に対する押付力を計測・解析した研究では、垂直方向の力と粗さ評価値の相関は実験参加者間で一貫性がないが、動摩擦(指のせん断方向の力/垂直方向の力)や、指のせん断方向の力の時間変化が大きくなるほど粗さの評価値が大きくなると報告している[Smith 2002]。また、布や金属などの様々な刺激を用いた著者らの研究では、様々な刺激に対する粗さ判断課題下では指先の加速度が大きくなるほど粗さ評価値も大きくなることを示した[Yokosaka 2016]。粗さ評価課題は行っていないものの、粗い紙やすりよりもなめらかな紙やすりを触っているときのほうが、押付力の分散が大きくなるということも報告されている[Tanaka 2014]。このように、指先の力が大きくなるほど知覚される粗さ感も大きくなるという点で共通した知見が得られており、皮膚変形の大きさが粗さ知覚に影響する可能性がある。一方で、なぞる速さを変えても、粗さ推定値には影響しないか[Lederman 1974; Yoshioka 2011]、66 mm/sec より大きくなると粗さ推定値が減るがその効果は小さい[Lederman 1983]。このことから、皮膚上に生じる振動周波数を手の速さに応じて補正する機構があると考えられている。一方で、なぞり速度の教示がない場合には、何を判断するかに関わらず、手の動きが大きいときほど粗さ評価値が小さくなることから[Yokosaka 2016]、なぞり速度は粗さ感に影響しないが、粗い表面はなぞり速度に影響する可能性がある。

硬さ感については、硬いと評価されたものほど、指の押付力が大きくなる [Kaim 2008; Yokosaka 2016]。また、硬いと評価されたものほど、運動方向比(左右方向/前後方向)が小さくなることも報告されている[Callier 2015]。これはおそらく、硬いものほど鉛直方向の押し込み運動を誘発する一方で、硬くないものは左右方向のなぞり運動を誘発するためと考えられる。

摩擦感と関連する粘つき感に関しては、粘つき判断時には、粘つきが大きいと判断された刺激ほど、動摩擦や指先の加速度が大きくなることが示されている[Smith 1996; Yokosaka 2016]。また、何を判断するかによらず、粘つきが大きいと評価さ

連絡先:横坂拓巳, 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所, 〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1, yokosaka.takumi@lab.ntt.co.jp

れた刺激ほど手の速さが小さくなる[Callier 2015; Yokosaka 2016]。これは摩擦の大きい刺激ほど粘つき感が高いと評価され、かつ、なめらかな指の動きを妨げるためと考えられる。

温冷感と相関をもつ手の動きの研究はほとんどない。これはおそらく、温度判断課題時には、触覚刺激表面に手を当て動かさないという静止接触(static contact)という触り方が行われることや [Lederman 1987]、手を動かしている最中には温度知覚が抑制されること[VanDoom 2006; Green 2009]が知られており、手を動かさないことが適切な温度判断戦略と考えられてきたためと考えられる。一方で、布や金属などの様々な触覚刺激を見ながら触る著者らの研究では、温かいと評価された刺激を触っているときほど、目の動きが小さく、押し付ける力も小さくなるが、手のなぞる動きは大きくなることが示されている[Yokosaka 2016]。温冷感と関連する物理特性(熱伝導率)が手の動き(や目の動き)と関係するのかは明らかでなく、更なる調査が期待される。

以上の先行研究や著者らの研究の知見から、主な触質感認知と手の動きの間の相関関係は表1のようにまとめられる。これらはいくまで相関関係にすぎず、因果関係に関する検討はほとんどないのが現状である。

## 2.2 材質カテゴリに関する触質感と結びついた手の動き

粗さ、硬さのような物理特性に関する質感から、ガラスらしさや布らしさ、金属らしさ、石らしさのような材質カテゴリに関する質感を扱う研究が増えてきている[e.g. Fujisaki 2014]。これらのような材質カテゴリの触質感の特徴は、複数の物理特性が組み合わさった多面的な印象を生ずることである。粗さのような物理特性を扱う場合にはグレーティング刺激や紙やすりなどの粗さを調整した刺激を、硬さのような物理特性を扱う場合にはシリコン刺激などの弾性を調整した刺激を用いることが多かった。一方で、材質カテゴリに関する触質感認知を調べる場合には特定の物理特性のみを調整した刺激ではなく、ガラスや金属、布、石、木といった複数の物理特性が一度に変化する複雑な刺激を扱わなければならない。手の動きを調べた触覚研究においても、近年、このような複数の材質刺激を採用した研究が増えてきているものの、評価対象となる触質感は粗さや硬さのような物理特性に関するものにとどまっている[Nagano 2014; Callier 2015; Yokosaka 2016]。ここでは、著者たちの現在投稿中の研究から、材質カテゴリと結びついた手の動きに関する部分のみ、簡単に紹介する。

実験では実験参加者に、触覚刺激の視覚情報が与えられない状態で、ガラス、石、布、木、ゴム、紙、プラスチックのいずれか一つを5秒間自由に触ってもらい、このときの指の動きを計測した。その後、触った刺激がどれくらいガラスらしかったか、石らしかったか、というように上記7材質それぞれに対する「らしさ」の評価を行ってもらった。その結果、布らしさの評価が高いものを触っているときほど指の速さや移動距離が大きく、ゴムらしさやプラスチックらしさの評価が高いものを触っているときほど指の速さや移動距離が小さくなった。木らしさや紙らしさの評価が高いもの、もしくは、ガラスらしさの評価が低いものを触っているときほど、運動方向比(水平方向/垂直方向)が大きく、指先の加速度が小さかった。石らしさの評価と相関をもつ運動特徴は今回の実験では見いだせなかった。興味深いのは、それぞれの材質に対する物理特性評価と相関する手の動きが、その材質らしさと相関するわけではないということである。例えば、プラスチックやガラスはともに最も滑る素材であると評価されたが、今回滑りの評価と相関の高かった指先加速度は、ガラスらしさ評価とは相関する一方で、プラスチックらしさ評価とは相関しなかった。石は最も粗いと評価されたが、粗さと相関する指先の速度と石

表1: 手の動きと物理特性に関する触質感の相関関係

触質感	相関する手の動き
粗さ	指先の力(正)、なぞり運動(負)
硬さ	指先の力(正)
粘つき	指先の力(負)、なぞり運動(負)
温かさ	指先の力(負)、なぞり運動(正)

らしさ評価との間に相関はなかった。このように材質カテゴリの触質感認知は、単純に物理特性を足し合わせただけでは説明できないことがある。コントロールされた実験刺激と我々が日常で触る複雑な材質の違いは何かを理解することは、触覚研究全体の課題でもある。

## 2.3 感性・価値的触質感と結びついた手の動き

感性的判断と結びついた手の動きについては、特にコミュニケーションにおける情動的触覚の研究で調べられてきた。実験参加者にパートナーの腕や赤ちゃんの肌を触らせたときは3-10 cm/secの速さで触るのに対し、プラスチックマネキンの腕を触らせたときはそれよりも大きい速さでなぞることが多かった[Croy 2016]。この3-10 cm/secの速さで実験参加者の腕を筆でなぞったときに、実験参加者のなぞりに対する「心地よさ」の評価が最大になることも知られていることから[Löken 2009]、親しい人とのスキンシップと関連する手の動きと考えられる。また、C-tactile afferentという有毛部の機械受容器の応答も同じなぞり速さにおいて最大になることが知られており[Löken 2009]、C-tactile afferentが手のなぞり動作と心地よさの評価を結びつけていると予想される。

しかし、心地よさの評価とC-tactile afferentの応答が3cm/secで最大になるという傾向は、腕をなぞる刺激が32°Cの肌程度の温度で生じ、18°Cや42°Cのときには心地よさ評価は速さに対して単調増加する[Ackerley 2014]ことから、ここでの手のなぞり動作は人間同士の肌の接触に特化したものと考えたほうが良さそうである。人間の肌以外の材質に対して、手の動きと感性的判断の関係を調べた研究では、好ましさを判断するときの手の速度や垂直方向への押付力は好ましさ評価と相関がないが、せん断方向への押付力や動摩擦(指先のせん断方向の力/垂直方向の力)、せん断方向の力の空間周波数分布といった触覚刺激の物理特性に関連するパラメタが好ましさ評価と相関することが報告されている[Klöcker 2013]。また、触り方ではなく、触られ方ではあるものの、刺激で腕をなぞるとき押付力が小さいほど、また、なぞる速度が遅いほど好ましさ評価が高くなるという報告もある[Cascio 2008; Essick 1999, 2010]。

## 3. 手の動きを取り巻く諸要因

触覚探索運動中の手の動きを観察したときに、手の動きの違いがあるならば、触質感の評価値にも違いがあるだろうと考えることは早計である。手の動きと関係するのは触質感の評価値だけではなく、触覚刺激の物理特性や事前情報、探索者の探索目的、探索者の手の状態など様々な要因が存在する(図1)。そのため、手の動きを解析する際には、これらの要因について理解しておくことが重要である。

### 3.1 触覚刺激の形状や物理特性

触覚刺激の形状や物理特性は手の動きに影響を与える。先に粘つき感の知見として紹介したように、摩擦係数が大きい刺激ほど粘つき評価が大きくなるし、手の動きが妨げられるため、粘つき評価と手の動きが擬似相関を持つ。このように、手の動きと触質感認知の相関関係は、必ずしも手の動きが触質感認知

に影響を与えることを意味せず、触覚刺激表面の形状や物理特性が仲介している可能性もある。

手の動きに影響する触覚刺激の特性として報告が多いのは、粗さに関する刺激表面パターンである。例えば、紙やすりの粗さ弁別課題において、表面の粒子径(18 -195  $\mu\text{m}$ )は押し込む力や平均なぞり速度には影響しない一方で[Libouton 2010]、グレーティング刺激の空間周波数(50-400 本/m)が大きくなるほど指の速度が小さくなり、また指の接触力が大きくなることが報告されている[Nefs 2002]。それよりも大きな周波数帯のグレーティング刺激(219-800 本/m)では、空間周波数によって指の速度は変わらないが、グローブを装着した状態では空間周波数が大きくなるほど指の速度が小さくなるという報告や[Gamzu 2001]、グレーティング刺激の空間周波数(333-1667 本/m)が大きくなるほど押し込む力も大きくなるという報告がある[Mueller 2016]。これらはなぞり方向の空間パターンに関する知見であるが、なぞり方向と直行する方向の空間パターンの影響も報告されている。表面のドット間隔をコントロールした刺激を受動的になぞっているときには、なぞり方向と直行する方向のドット間隔が 500 点/m よりも 1000 点/m のときのほうが、接触力が大きい[Meftah 2003]。

これらの研究では実験目的に合わせて調整された形状や物理特性をもつ刺激を用いているためか、一貫した結果が得られていない。今後の研究では、日常生活で触れるような毛皮や芝といった様々な材質における物理特性と手の動きの関係を調べることが期待される。

### 3.2 探索者の探索目的

手の動きによって、得られる触覚情報の精度も変わる。そのため、どのような触覚情報を正確に判断したいのか、という探索目的も手の動きに影響する。例えば、表面テクスチャを判断するように教示されたときにはなぞり動作を行うし、硬さを判断するように教示されたときには押し込み動作を行うように、判断したい情報に適した手の動きを行うことが知られている[Lederman 1987; Jansen 2015]。探索目的は手の動きだけでなく、手の動きと触覚評価の間の相関にも影響を与えることが示されている。硬さや粗さのような特定の触覚情報を判断するために触れているときに比べて、目的(判断すべき情報)を持たずに触れているときには、その手の動きは触った刺激の触覚評価値に関する情報量が少ない[Yokosaka 2016]。

また、複数の触覚刺激(妨害刺激)の中から、一つのターゲット刺激をできるだけ早く探すという触覚探索課題においても、何を探るかという目的によって手の動かし方が変わることが知られている。木でできた複数の指先大の丸い触覚刺激の中から、(ざらざらした)目立った刺激を探そうとするときには手を握るような探索行動が取られる一方で、(滑らかだが正方形の)目立たない刺激を探そうとするときには特に親指を使って刺激を探索する行為が取られる[Polanen 2014]。紙やすりを刺激として触覚探索課題を行う際には、粗い表面を探索するときよりも細かい表面を探索するときのほうが手の移動量が大きく、手のなぞり速度が小さくなる [Plaisier 2008]。

### 3.3 触覚刺激に対する事前情報

我々が日常でものに触れるとき、その対象の視覚情報が予め得られるのが普通であり、その外見を元に、触る対象の触覚的質感を予測して触ると考えられる。実際、見た目が粗いと評価されたものほど手の移動距離が長くなること、見た目が凸凹しているか、もしくは柔らかいと評価されたものほど押付力の比(鉛直方向の力/せん断方向の力)が大きくなること、見た目が温かいか、もしくは粘つくと評価されたものほど鉛直方向の押付力が大

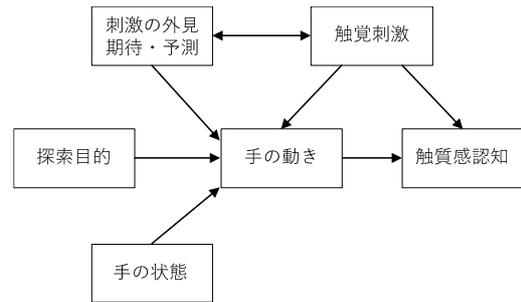


図 1: 手の動きに関わる諸要因

きくなること、見た目の光沢感が高いと評価されたものほどせん断方向の押付力が大きくなることなどが示されている[Nagano 2014]。また、見た目ではなく刺激の提示順を変えることで刺激の硬さが予測できる実験設定では、硬いと期待されるものほど押付力が大きくなることが示されている[Kaim 2011]。

### 3.4 その他の要因

指の状態や探索スタイルのような個人間の違いが手の動きの違いとなって現れることがある。指先が汗などで湿っているときには、プラスチックの滑らかな表面上をなぞっても指は滑らかに動かないはずである。このように手の湿り気も手の動きに影響を与えることが知られている[Pasumarty 2011]。グレーティング刺激の空間周波数弁別において、時空間手がかりを使う実験参加者は、時間手がかりのみを使う実験参加者に比べて手の速さのばらつきが小さくなる[Gamzu 2001]。また後者のタイプの実験参加者がグローブを装着した状態で課題を行うと、装着していない状態に比べて手の速さのばらつきが小さくなる[Gamzu 2001]。触覚弁別課題において高い成績が求められる課題では、成績に応じた報酬がもらえる場合に、より良い成績の得られる方向に手を動かす戦略を行うことが示されているように、報酬も手の動きに影響を与え得る[Drewing 2012]。

触覚刺激ではないが、タッチパネルを操作しているときの指のストローク運動から、操作者の感情状態(ポジティブかネガティブかニュートラルか)が推定できることも示されており、感情状態も手の動きに影響する可能性がある[Shah 2015]。

### 4. おわりに

本稿では、著者らの成果や心理物理実学分野の知見を紹介しながら、手の動きと触覚感知の間の結びつきについて概観した。これらの結びつきを調べていき知見を蓄積することによって、触覚感知のメカニズム解明のための作業仮説や、触覚感知情報提示装置の設計指針につながることを期待される。

### 参考文献

- [Ackerley 2014] R. Ackerley, H. Backlund Wasling, J. Liljencrantz, H. Olausson, R. D. Johnson, & J. Wessberg. Human C-tactile afferents are tuned to the temperature of a skin-stroking caress. *Journal of Neuroscience*, 34(8), 2879-2883, 2014.
- [Callier 2015] T. Callier, H. P. Saal, E. C. Davis-Berg, & S. J. Bensmaia. Kinematics of unconstrained tactile texture exploration. *Journal of Neurophysiology*, 113(7), 3013-3020, 2015.
- [Cascio 2008] C. Cascio, F. McGlone, S. Folger, V. Tannan, G. Baranek, K. A. Pelphrey, & G. Essick. Tactile perception in adults with autism: a multidimensional psychophysical study.

- Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38, 127-137, 2008.
- [Croy 2016] I. Croy, A. Luong, C. Tricoli, E. Hofmann, H. Olausson, U. Sailer. Interpersonal stroking touch is targeted to C tactile afferent activation. *Behavioural Brain Research*, 297, 37-40, 2016.
- [Drewing 2012] K. Drewing. After experience with the task humans actively optimize shape discrimination in touch by utilizing effects of exploratory movement direction. *Acta Psychologica*, 141, 295-303, 2012.
- [Essick 2010] G. K. Essick, F. McGlone, C. Dancer, D. Fabricant, Y. Ragin, N. Phillips, T. Jones, & S. Guest, Quantitative assessment of pleasant touch. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34, 192-203, 2010.
- [Fujisaki 2014] W. Fujisaki, N. Goda, I. Motoyoshi, H. Komatsu, & S. Nishida. Audiovisual integration in the human perception of materials. *Journal of Vision*, 14, 4, 2014.
- [Gamzu 2001] E. Gamzu, & E. Ahissar. Importance of temporal cues for tactile spatial- frequency discrimination. *Journal of Neuroscience*, 21, 7416-7427, 2001.
- [Jansen 2015] S. E. Jansen, W. M. Bergmann Tiest, & A. M. Kappers. Haptic exploratory behavior during object discrimination: a novel automatic annotation method. *PLoS ONE*, 10, e0117017, 2015.
- [Kaim 2008] L. Kaim, & K. Drewing, Exploratory movement parameters vary with stimulus stiffness. in *Haptics: Perception, Devices and Scenarios*, M. Ferre, ed. Berlin, Germany: Springer, 313-318, 2008.
- [Kaim 2011] L. Kaim, & K. Drewing, Exploratory strategies in haptic softness discrimination are tuned to achieve high levels of task performance. *IEEE Transactions on Haptics*, 4(4), 242-252, 2011.
- [Klöcker 2013] A. Klöcker, M. Wiertelowski, V. Théate, V. Hayward, & J. L. Thonnard, Physical factors influencing pleasant touch during tactile exploration. *PLoS One*, 8, e79085, 2013.
- [Lederman 1972] S. J. Lederman, & M. M. Taylor, Fingertip force, surface geometry, and the perception of roughness by active touch. *Perception Psychophysics*, 12, 401-408, 1972.
- [Lederman 1974] S. J. Lederman, Tactile roughness of grooved surface: The touching process and effects of macro- and microsurface structure. *Perception Psychophysics*, 16, 385-395, 1974.
- [Lederman 1983] S. J. Lederman, Tactual roughness perception: Spatial and Temporal determinants. *Canadian Journal of Psychology*, 37(4), 498-511, 1983.
- [Lederman 1987] S. J. Lederman, & R. L. Klatzky, Hand movements: a window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 19, 342-368, 1987.
- [Libouton 2010] X. Libouton, O. Barbier, L. Plaghki, & J. L. Thonnard. Tactile roughness discrimination threshold is unrelated to tactile spatial acuity. *Behavioural Brain Research*, 208(2), 473-478, 2010.
- [Löken 2009] L. S. Löken, J. Wessberg, I. Morrison, F. McGlone, & H. Olausson. Coding of pleasant touch by unmyelinated afferents in humans. *Nature Neuroscience*, 12, 547-548, 2009.
- [Mefftah 2000] el-M. Meftah, L. Belingard, & C. E. Chapman. Relative effects of the spatial and temporal characteristics of scanned surfaces on human perception of tactile roughness using passive touch. *Experimental Brain Research*, 132(3), 351-361, 2000.
- [Muller 2016] S. Mueller, S. Martin, M. Schwarz, & M. Grunwald. Temporal Modulations of Contact Force during Haptic Surface Exploration. *PLoS ONE*, 11, e0152897, 2016.
- [Nagano 2014] H. Nagano, S. Okamoto, & Y. Yamada. Haptic invitation of textures: perceptually prominent properties of materials determine human touch motions. *IEEE Transactions on Haptics*, 7, 345-355, 2014.
- [Nefs 2002] H. T. Nefs, A. M. Kappers, & J. J. Koenderink. Frequency discrimination between and within line gratings by dynamic touch. *Perception Psychophysics*, 64, 969-980, 2002.
- [Okamoto 2013] S. Okamoto, H. Nagano, & Y. Yamada. Psychophysical dimensions of tactile perception of textures. *IEEE Transactions on Haptics*, 6 (1), 81-93, 2013.
- [Pasumarty 2011] S. M. Pasumarty, S. A. Johnson, S. A. Watson, & M. J. Adams. Friction of the human finger pad: Influence of moisture, occlusion and velocity. *Tribology Letter*, 44, 117-137, 2011.
- [Plaisier 2008] M. A. Plaisier, W. M. Bergmann Tiest, & A. M. Kappers. Haptic pop-out in a hand sweep. *Acta Psychologica*, 128, 368-377, 2008.
- [Polanen 2014] V. van Polanen, W. M. Bergmann Tiest, & A. M. Kappers. Target contact and exploration strategies in haptic search. *Scientific Reports*, 4, 6254, 2014.
- [Shah 2015] S. Shah, J. N. Teja, & S. Bhattacharya. Towards affective touch interaction: predicting mobile user emotion from finger strokes. *Journal of Interaction Science*, 3, 6, 2015.
- [Smith 1996] A. M. Smith, & S. H. Scott. Subjective scaling of smooth surface friction. *Journal of Neurophysiology*, 75(5), 1957-1962, 1996.
- [Smith 2002] A. M. Smith, C. E. Chapman, M. Deslandes, J. S. Langlais, & M. P. Thibodeau. Role of friction and tangential force variation in the subjective scaling of tactile roughness. *Experimental Brain Research*, 144(2), 211-223, 2002.
- [Tanaka 2014] Y. Tanaka, W. M. Bergmann Tiest, A. M. Kappers, & A. S. Sano, Contact force and scanning velocity during active roughness perception. *PLoS One*, 9, e93363, 2014.
- [VanDoorn 2006] G. H. VanDoorn, B. L. Richardson, D. B. Wuillemin, and M. A. Symmons. Active and passive movements give rise to different judgments of coldness. *Perception*, 35, 573-575, 2006.
- [Green 2009] B. G. Green. Temperature perception on the hand during static versus dynamic contact with a surface. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 71, 1185-1196, 2009.
- [Yokosaka 2016] T. Yokosaka, S. Kuroki, J. Watanabe, & S. Nishida. Linkage between free exploratory movements and subjective tactile ratings. *IEEE Transactions on Haptics* (in press).
- [Yoshioka 2011] T. Yoshioka, J. C. Craig, G. C. Beck, & S. S. Hsiao. Perceptual constancy of texture roughness in the tactile system. *Journal of Neuroscience*, 31(48), 17603-17611, 2011.