



# テクスチャ付与による ギャップ幅知覚閾値の変化に関する予備的検討

金子征太郎<sup>1)</sup>, 松森孝平<sup>2)</sup>, 齋藤直輝<sup>2)</sup>, 梶本裕之<sup>1)</sup>

- 1) 電気通信大学 情報理工学研究所 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {kaneko, kajimoto}@kaji-lab.jp)  
2) 資生堂グローバルイノベーションセンター (〒224-8558 神奈川県横浜市都筑区早渕 2-2-1 {kohei.matsumori, naoki.saito}@to.shiseido.co.jp)

**概要:** 指先における空間解像度の指標としてギャップ検出閾がある。これらの閾値は主に平板上において計測されており、テクスチャのような粗い表面上での計測はほとんどなされてこなかった。本発表では、物体の表面粗さを変化させた際にギャップを知覚する閾値がどのように変化するかに関して報告する。紙やすりで粗さを変化させた試料を用いてギャップ幅の知覚閾値を恒常法によって計測した。

**キーワード:** 心理物理計測, 粗さ, ギャップ検出域, 感覚閾値

## 1. はじめに

人間は触ることにより、その物体表面の粗さや凹凸形状を視覚と同等、もしくはそれ以上に細かく知ることができる。

触覚の空間解像度の指標の一つとして、ギャップ検出閾[1]が挙げられる。これは人間がスリット状のギャップに触った際にどの程度の幅があれば検出できるかを示したものである。この検出域は静的に触ったときと指を動かして動的に触ったときで異なる(なおここでの動的な触り方はスリットと同じ方向である)。検出閾の値は、静的な場合は 0.9mm[1]、動的な場合は 0.2mm[2]とされている。この変化の理由として、静的に触れた場合はギャップの刺激位置は変化しないため、空間的情報のみ、つまり比較的少ない情報しか得られない。これに対して動的に触れた場合はギャップによる刺激位置の変化などのため時空間的により多くの情報を得られるため閾値に差が出ると考えられる。このように人間の知覚閾値は入力される時空間的情報量に大きく依存することがわかる[3]。

しかしながら、先に示したギャップ閾値計測は双方とも鉄板などのつるつるとした平面上において行われている。つまり指先に対してはスリットの刺激が支配的な状態で閾値計測が行われており、ザラザラした表面のように時空間的に多くの情報量をもつ状態での検出閾は未だ明確になっていない。

これらのことから、スリットを構成する物体表面が変化した場合どのように検出閾値は変化するかに関して疑問

が生じる。例えばザラザラ麺がノイズとして働き、スリットの知覚が阻害されると思われる一方で、触覚のないスリット部分と触覚のある平面部分の差がより際立つことでスリットを知覚しやすくなるとも考えられる。

指先におけるテクスチャ付与による凹凸知覚の変化に大きく関係する錯覚として Fishbone Tactile Illusion がある[4][5]。これは、魚の骨のように周辺部が楕形に掘られた凹凸をなぞることによって、凸部が凹部に感じられる錯覚である。彼らは中央部がくぼんでおり、周囲に楕形の凹凸を設けた Inverse Fishbone Pattern を用いてくぼみが認識できるか実験を行っている[5]。その結果スリットをなぞった条件において、中央線幅 1.5mm 以上のときにくぼみがあると回答する傾向が見られる。これは平面上でのギャップ検出閾と比較すると非常に大きな差である。この結果から考えると、表面テクスチャが粗ければ粗いほどスリット知覚の閾値幅は大きくなると予想される。

本研究はスリットを構成する物体表面のテクスチャが変化した場合のスリット検出閾値への影響を計測することを目的とする。本稿ではその予備的検討として、テクスチャによって構成されたギャップ幅の検出閾値計測を心理物理的手法にて行う。

## 2. 実験

ギャップを構成する表面形状とギャップ検出閾値の関係性を明らかにするために、粗さを変えた触覚片を使用しギャップ検出閾値の計測を恒常法で行った。

### 2.1 実験条件

触覚片の粗さは4種類の紙やすり(#60, #100, #180, #400)を用いた。触覚片はアクリルに紙やすりを貼付けて制作し

Seitaro KANEKO, Kouhei MATUMORI, Naoki SAITO, and Hiroyuki Kajimoto

た。アクリルはいずれも横 6cm, 縦 8cm の長方形で, 厚さは 1cm であった。紙やすりには事前に裁断機で直線的な切断面を作り, アクリルの断面に合わせて貼り付けを行った (図 1)。



図 1: 実験に使用した触覚片。左上より右に, #60, #100, #180, #400 の紙やすりを貼付けた。

ギャップ幅の大きさは 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0mm の 5 種類とした。ギャップを構成するために, 紙やすりを貼り付けた 2 つの触覚片の間にギャップ幅と同じ厚みのスキマゲージを入れ(図 2), クランプで挟むこととした。被験者は男性 4 名(21-24 才)であった。全員が右利きであった。

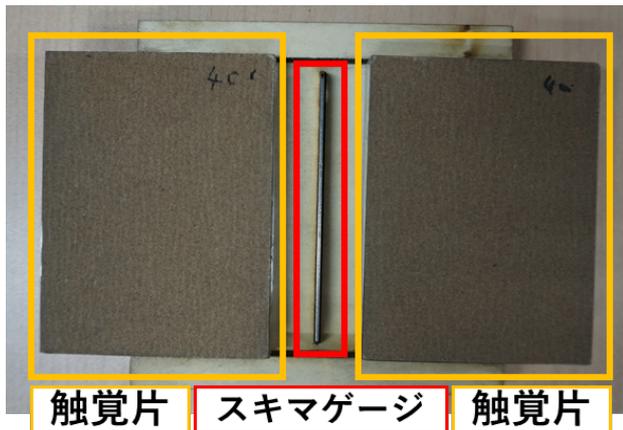


図 2: 触覚片とスキマゲージの配置図。左右から触覚片でスキマゲージを挟み込む。

## 2.2 実験手順

実験の様子を図 3 に示す。試行中は触覚片が見えないよう覆いをかけて実験を行った。まず被験者は実験開始前になぞるスピードとなぞるときに押さえつける力の練習を行った。ギャップをなぞる速度は 8cm/s とし, 押さえつける力は, 約 70g になるように練習を行った。なお試行中に押さえつける力の視覚的提示, 及び 40g 以上かつ 100g 未満の場合にピープ音を提示し, 適切な力がかかっていることをフィードバックした。

各試行のはじめに, 被験者の指がギャップ上に来るように実験者による調整を行った。その後被験者はギャップに沿うように手前になぞった。なぞり終わった後, 被験者に

「ギャップを指先で感じるか」と尋ね, 「感じる」か「感じない」かの強制 2 択で回答させた。

これを各条件 10 試行, 合計 200 試行を行った。条件を提示する順番はランダムに決定した。なお被験者の要望で休憩をいつでも取れることとした。一人あたりの実験時間はおよそ 1 時間であった。



図 3: (上) 実験装置概要図。クランプにて挟み込んだ触覚片を重量計の上でなぞる。(下) 触覚片拡大図。

## 3. 結果

図 4 は被験者全員のデータを平均したものをロジスティクス回帰分析して求めた曲線グラフである。横軸の値は, ギャップ幅の大きさであり, 縦軸はギャップがあると回答した割合を示す。各曲線は触覚片の粗さごとに示されている。グラフ中央の破線は 50% ギャップ知覚閾値を示す。また表 1 に各条件の 50% ギャップ知覚閾値をまとめたものを示す。

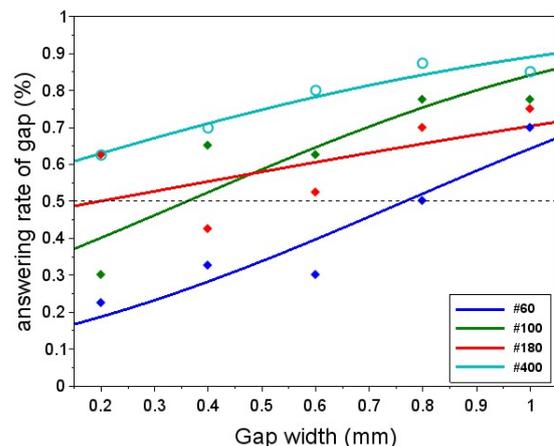


図 4: ロジスティクス回帰分析結果。各点は全被験者のデータを用いたときの“ギャップ有り”と答えた割合。

表1: ロジスティック回帰分析結果の数値

紙やすりの番号	50%ギャップ知覚閾値 (mm)
#60	0.766
#100	0.360
#160	0.197
#400	< 0

実験結果から見られる傾向として、紙やすりの粗さが荒くなるほどギャップ知覚閾値が大きくなった。また紙やすりの番号が400番の知覚閾値は負の値をとった。

#### 4. 考察

今回の実験結果より、ギャップを構成する表面が粗い場合、ギャップ知覚閾値が大きくなり、ギャップを知覚する能力が減少する可能性が示された。なめらかな表面上におけるなぞり動作時のギャップ知覚閾値 0.2mm[2]と比較すると、60番と100番は大きく、160番はほぼ同等という結果となった。このことは粗い表面上におけるスリット検出能力がなめらかな面上における検出能力よりも劣っている可能性を示唆している。また Fishbone Tactile Illusion の論文で行われた凹凸面上におけるギャップ知覚閾である 1.5mm[5]と比較すると、本実験の結果はすべて 1.5mmを下回る結果となった。これは紙やすりのような細かい凹凸面上におけるギャップ検出閾の方が粗い凹凸面上よりも検出能力が良いことを示唆している。

400番のギャップ検出閾値が負の値を示した理由としては、0mm幅、0.1mm幅に対する計測を行っていないなどのギャップ幅条件が不足と、被験者がギャップのある女歌であることを知っているために回答傾向がギャップありに偏ったためであると考えられる。これに対しては計測幅の条件数を増やす、ギャップがない条件を追加し回答傾向の偏りをなくすことにより解決されると考えられる。

本現象が起きる要因として、2つの説明が考えられる。第一に、物理的な皮膚変位の伝搬による物理的なマスキングである。なめらかな表面において人間の皮膚は大きく振動せず、横ずれのみを生じる[6]。対して表面が粗い物体をなぞった際には皮膚振動が発生する。この皮膚振動がスリット上に存在する皮膚に伝搬することでスリット検出を物理的に阻害しているという説明である。

第二に、粗い面をなぞることによるファントムセンセーションの発生である。ファントムセンセーションとは、離れた2点の触覚振動刺激によってその中間部が刺激されたように感じる錯覚現象であり、本現象は指先においても発生することが確認されている[7]。今回の実験のように粗い面上におけるギャップに対してなぞり動作を行う際、ギャップを挟んで振動刺激が指先に対して提示される。これによってファントムセンセーションが発生し、物理的に振動していないギャップ上の皮膚が振動したと錯覚され、ギャップ検出を阻害するという説明である。

以上、物理的な阻害と錯覚による阻害の2つの観点から本現象は説明できると考えられる。これを検証するために

は、ギャップ越しに皮膚変位を直接観察する手法が有効であると考えられる。つまり、ギャップ検出閾値未満の際に皮膚が振動していなければファントムセンセーションが発生しており、振動が発生していれば伝搬による影響であることが確認できる。

#### 5. おわりに

本稿では、粗いテクスチャによるスリット検出閾値への影響を計測することを目的とし、テクスチャによって構成されたギャップ幅の知覚閾値計測を恒常法にて計測した。実験の結果、テクスチャが粗くなるほどギャップ知覚閾値が大きくなる傾向が見られた。この結果はなめらかな表面上における閾値よりも大きく、より大きな凹凸面上における閾値よりも小さいことが示された。これよりテクスチャの粗さとギャップ知覚能力に関係性があることが示唆された。

今後はギャップ知覚閾値をより詳細に検討するため、ギャップ幅条件やなぞり方の条件を追加し検証を行う。また、本現象の原因を解明するため、ギャップ越しに皮膚変位を計測し、皮膚振動の有無を確認する。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP15H05923 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- [1] Phillips J. R. and Kenneth O. Johnson. "Tactile spatial resolution. II. Neural representation of bars, edges, and gratings in monkey primary afferents." *Journal of neurophysiology* 46.6 (1981): 1192-1203.
- [2] Jeng One-Jang and Robert G. Radwin. "A gap detection tactility test for sensory deficits associated with carpal tunnel syndrome." *Ergonomics* 38.12 (1995): 2588-2601.
- [3] 清水豊. "機械的刺激による触覚の心理物理特性." *日本ロボット学会誌* 2.5 (1984): 445-450.
- [4] 仲谷正史, 梶本裕之, 川上直樹, 舘暲. "Fishbone Tactile Illusion を通した凹凸知覚の研究." *日本バーチャルリアリティ学会第10回大会論文集* (2005).
- [5] 仲谷正史, Howe Robert D., 舘暲. "Fishbone Tactile Illusion を利用した触対象の凹知覚の研究 (「ハプティックインタラクション」特集)." *日本バーチャルリアリティ学会論文誌* 13.1 (2008): 97-100.
- [6] Levesque, Vincent, and Vincent Hayward. "Experimental evidence of lateral skin strain during tactile exploration." *Proceedings of EUROHAPTICS*. Vol. 2003.
- [7] 大丘達也, 藤田欣也. "振動ファントムセンセーションの位置制御による指先への接線力と滑りの代替提示." *日本バーチャルリアリティ学会論文誌* 15.2 (2010): 263-272.