



# 腕や手の皮膚上での 2 点または直線の長さ知覚特性の検討

The perception of tactile distance for dual touch and moving tactile stimuli

隅田 莉香子<sup>1)</sup>, 黒木 忍<sup>1)</sup>

Rikako SUMIDA and Scinob KUROKI

1) NTT コミュニケーション科学基礎研究所

(〒 243-0124 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1, {rikako.sumida, shinobu.kuroki}@ntt.com)

**概要:** 触覚での意思伝達手段として他者の身体に指で文字を書く方法がある。先行研究ではアルファベットを参加者の手に書いて、その認識精度を調査したものはあるが、直線や曲線などの軌跡そのものをどう知覚しているかは未だ不明瞭である。そこで本研究では、直線でのなぞり刺激の距離知覚特性を 2 点刺激と比較することで調査した。また刺激時間が距離知覚に影響を与えるかについても実験した。結果として、なぞり刺激の方が 2 点刺激よりも距離を長く知覚していた。また刺激時間は距離知覚に影響を与えなかった。

**キーワード:** 触覚空間, 距離知覚, なぞり

## 1. はじめに

Print on Palm (POP) とは、他者の身体に指で文字を書いて伝えることを指す。一文字ずつゆっくり丁寧に書かないと相手に言葉を伝えられないため、効率性や正確性には欠けるものの触覚での意思伝達手段の一つと言える。先行研究では、アルファベットを実験参加者の手に書いてその認識精度を調査したものが [1] [2], 直線や曲線などの軌跡そのものをどう知覚しているかは未だ不明瞭である。そこで本研究では、直線でのなぞり刺激が皮膚上でどう距離知覚をしているかを調査していく。

皮膚上での距離知覚の先行研究の多くは 2 点刺激を用いて実験をおこなっている。手の甲に与えられた 2 点の刺激の位置を回答させることで、2 点間の距離を観測する先行研究によると、同時に 2 点の刺激を皮膚に与えた場合と、1 秒間隔で 1 点ずつ 2 点の刺激を与えた場合を比較すると、前者の方が 2 点間の距離を短く知覚する [3]。さらにこの距離知覚は刺激が同時か継時であるかの時間特性による影響だけでなく、身体部位や刺激の向きによって異なることも知られている。同時に 2 点の刺激を与えて、2 点間の距離を回答させる課題において、刺激を腕に加えると、刺激を手に加えた場合に比べて短く感じられる。なお、この部位間の差は、2 点刺激を縦方向 (長軸方向) に与えた場合によく観察され、横方向 (短軸方向) に加えた場合には観測されにくいことが報告されている [4] [5]。

さらに、POP でのなぞり条件に近い刺激を用いて距離知覚の調査をしている先行研究には、振動子アレイを用いた研究 [6] や、ブラシを用いた研究 [7] などがある。2 点刺激での距離知覚について調べられている先行研究は多くあり、刺激時間や刺激部位が距離知覚に与える影響について調査し

た報告もたくさんある。しかし、なぞり刺激における距離知覚特性が、先行研究の知見が多くある 2 点刺激での結果と直接比較している報告はない。そこで本研究ではなぞり刺激を受けたときの知覚特性を調査するために、2 点刺激での実験もおこなった。また刺激時間が距離知覚に影響を与えるかを調査するために複数の時間パラメータで実験をした。さらに身体部位によって距離知覚が異なることを調べるために、腕と手で比較をした。

## 2. 実験 1 (距離回答)

### 2.1 目的

なぞりによる直線刺激を与えたときに距離をどのように知覚するかを調査するために、身体の長軸方向に 25~40mm (5mm 間隔) の距離を提示することで距離知覚の調査をする。この刺激提示のレンジは、類似する先行研究と同程度である [8] (先行研究では 20~40mm で 5mm 間隔)。なぞりの距離知覚特性を観測するための比較対象として、距離知覚の先行研究でよく使われている 2 点刺激の実験 [3] [4] [5] [6] も同条件下で実施する。また、距離知覚が刺激提示時間や速度によって変容しないかどうかを調べるために、3 段階の時間パラメータを用いた。さらに、なぞりにおける距離知覚が、2 点刺激の先行研究 [4] [5] の報告にあるように身体部位によって差異が出ることを確認するために、腕と手で実験をした。

### 2.2 方法

#### 2.2.1 実験参加者

男性 7 人女性 9 人の全 16 人の参加者で実験を実施した。全参加者が右利きであり、手と腕に怪我や麻痺などはなかった。

### 2.2.2 装置

本実験には、市販のアームロボットである touchX<sup>1</sup>を使用した。アームに先端が2mmの棒を装着した。その棒が実験参加者の腕や手の上を、“なぞり”のような連続的な直線刺激と、時間間隔を空けて2点を打つ刺激を提示することで、距離知覚の検討を行った。

### 2.2.3 刺激

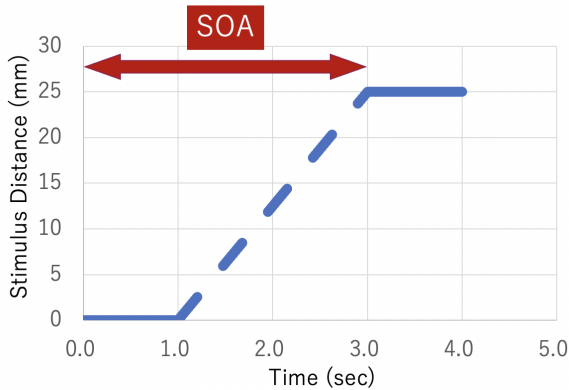


図 1: 提示距離 25mm, SOA3.0 秒におけるグラフ

本実験における刺激提示時間について述べる。図 1 は、25mm の距離提示時での時間と提示距離を示した。まず、なぞり刺激を提示するときは、装置が皮膚に接触して 1 秒間静止した後になぞりを開始する。なぞりの直線移動時は点線で示している。直線移動が終了すると 1 秒間静止した後に装置が皮膚から離れる。次に 2 点刺激の場合だと、図 1 における実線が皮膚接触時を示していて、点線が非接触時（1 点目から 2 点目に直線移動している間隔）を示している。本実験では、2 点刺激における 1 点目の刺激開始時から 2 点目の刺激開始時 (SOA: Stimulus Onset Asynchrony) を定めることで、なぞり及び 2 点の直線移動の時間を決定した。図 1 での SOA は 3.0 秒である。つまり同 SOA 条件下では、直線距離が短いと速度が遅く、距離が長いと早い速度で刺激を提示する。

本実験で用いた刺激パラメータを示す。SOA が 2.0 秒, 2.5 秒, 3.0 秒の 3 条件の下で、25mm, 30mm, 35mm, 40mm の軌跡距離をそれぞれで提示した。各 SOA (3 条件), 軌跡距離 (4 条件), 刺激種類 (なぞり・2 点 (2 条件)) の 24 条件をランダムにしたものを 1 セットとし、刺激部位ごとに 4 セット (うち刺激提示向きを実験参加者の身体から指先と、その逆の 2 回ずつ) で実験を実施した。

### 2.2.4 手続き

1. アームロボットが参加者に見えないように、実験開始前から間仕切りで隠してある状態で、参加者は椅子に座り、机に敷いたクッションの上に左腕を乗せた。
2. 参加者の手の甲、腕の甲の中心を計測し、水性ペンで印をつけた。本実験での手の甲の中心は、中指の付け

根の関節から、手首までの中点とした。腕の甲の中心は、手首から、肘の線までの中点とした。なお、計測時に定規が参加者に見えないようにした。

3. 参加者の腕や手の面が机に水平になるように、水平器を用いて腕や手の位置を調整した。
4. 参加者にヘッドホンを被せて、ホワイトノイズを聞かせた状態で実験を開始した。
5. 腕もしくは手上に装置でなぞり刺激あるいは 2 点刺激を提示した。
6. 参加者が知覚した距離を mm 単位で参加者にキー入力で回答させた。
7. 5 と 6 を 24 回繰り返した。(2.2.3 章参照)
8. 2-3 セット終了後に、5 分間の休憩を挟み、実験を行った。なお、腕か手での試行はランダムで行なった。

実験手順の 6 番目における参加者が知覚した距離を直接回答する手法は複数の先行研究で実施されている [4] [8]。

## 2.3 結果

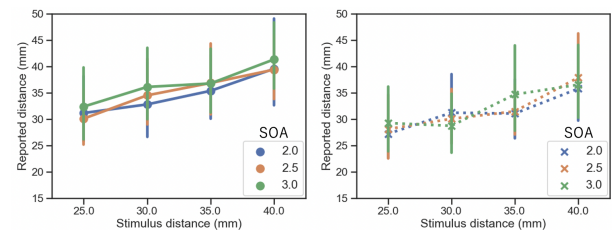


図 2: 距離知覚-腕 (左: なぞり, 右: 2 点)

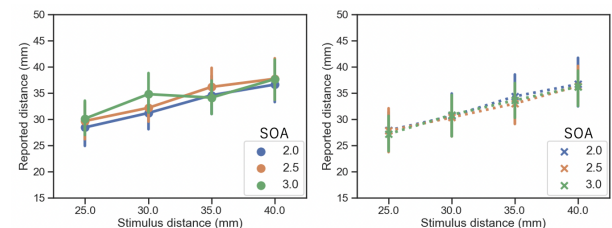


図 3: 距離知覚-手 (左: なぞり, 右: 2 点)

各実験条件について 16 人の参加者が報告した距離を平均したデータを 95% 信頼区間と共に図 2, 3 に示した。各色は SOA を示しており、青が 2.0 秒, 橙が 2.5 秒, 緑が 3.0 秒である。このデータを用いて、(A) 刺激種類 (なぞり・2 点), (B) 身体部位 (腕・手), (C) 刺激提示距離 (25, 30, 35, 40mm), (D) SOA (2.0, 2.5, 3.0 秒) を参加者内要因とした繰り返しのある 4 要因分散分析をおこなった。

紙面の都合上、有意差が出た結果のみを示す。まず、図 2, 3 に示されているように、提示刺激距離 (25, 30, 35, 40mm) の大小を知覚できており、主効果に有意差があった ( $F_{3,45} = 85.2, p = .000, \eta_p^2 = .072$ )。次に図 2, 3 より、なぞり刺

<sup>1</sup><https://ja.3dsystems.com/haptics-devices/touch-x>

激での距離回答の方が2点刺激よりも長く回答している結果が見られ、有意差があった ( $F_{1,15} = 12.3, p = .003, \eta_p^2 = .010$ )。また、腕条件でのなぞり刺激の距離回答と、2点刺激の距離回答には有意差があった ( $F_{1,15} = 14.1, p = .001, \eta_p^2 = .014$ )。これは手条件でも有意差があった ( $F_{1,15} = 4.69, p = .004, \eta_p^2 = .006$ )。最後に、SOAが2.0秒の条件での、なぞり刺激と2点刺激の距離回答を比較したときに有意差が認められた ( $F_{1,15} = 5.71, p = .030, \eta_p^2 = .004$ )。この有意差は、2.5秒の条件でも ( $F_{1,15} = 9.54, p = .007, \eta_p^2 = .012$ )、3.0秒の条件でも ( $F_{1,15} = 16.0, p = .001, \eta_p^2 = .017$ ) 確認された。

以上より、なぞり刺激での距離知覚特性は2点刺激と異なっていた。次に刺激提示時間 (SOA) が短いと距離知覚も短くなるといった、刺激提示時間が距離知覚に影響を与える結果は確認されなかった。最後に腕と手の身体部位の違いによって距離知覚特性が異なることは見られなかった。

## 2.4 考察

本実験で用いた刺激の範囲では、刺激提示時間が距離知覚に影響を与えなかった。距離知覚と刺激提示時間について調査した先行研究では、皮膚上での刺激提示時間が長いほど、距離も長く知覚する報告が複数ある [6] [7]。Cholewiakの実験では、振動子アレイで継時的な刺激の距離知覚を観測するために、刺激長が8-56mmの条件で、5-8段階の時間間隔 ( $0 \leq ISI \leq 1100(\text{ms})$ ) で実験をおこなった。(ISIとはInterStimulus Intervalsを意味し、最初の刺激を受けた後から最後の刺激を受けるまでの時間間隔を指す。) 手のひらでの実験で、ISIが短いほど、つまり速度が速いほど距離も短く知覚する結果となった [6]。次にWhitselの実験では、刺激長が一定のなぞり刺激をブラシを用いて提示した。速度は1.0~256 cm/secのレンジで行なった。刺激長は4.0cmであった。結果として刺激速度が速ければ速いほど、距離を短く知覚していた [7]。

一方で、距離知覚が時間の影響を受けない研究報告もある。Cataldoは、速度の異なるなぞり刺激を腕に当てて距離知覚を調査する実験を行なった。刺激長は4,6,8cmであり、速度は、0.66~1.5cm/secのレンジで行なった。結果として、軌跡の速度の違いは距離知覚に影響を与えなかった [9]。

本実験は、なぞり刺激と2点刺激の距離知覚特性の調査をするために、1.25-4cm/secの速度条件で実施した。この速度はISIで表すと、 $1000 \leq ISI \leq 2000(\text{ms})$ である。また、刺激長も一定ではなく25-40mmの可変長で実施した。刺激提示時間が距離知覚に影響を与えなかった原因として想定されることとして、まず先行研究と刺激の質的要素の違いがあげられる。次に速度条件が、先行研究よりもゆっくりで、レンジも小さいことである。

## 3. 実験2 (時間知覚)

### 3.1 目的

実験1の結果より、刺激提示時間が距離知覚に影響を与えなかったことがわかった。ここで生じた疑問として、参

加者はそもそも0.5秒差のSOAの時間的差異をそもそも知覚できているのかということである。よって、本実験では実験1と同様の条件の下で参加者に2点間となぞり軌跡の時間回答をさせた。

### 3.2 方法

実験参加者、装置、刺激に関しては、実験1と同じ条件で行なった。2.2.4章の手続きに関しては、手続きの6番目を除いて同様の条件である。本実験手続きにおける6番目のみ下記に記す。

6. 装置が参加者の手ないし腕を離れた後に、知覚した時間的長さを0.1秒単位で参加者にキー入力で回答させた。

### 3.3 結果

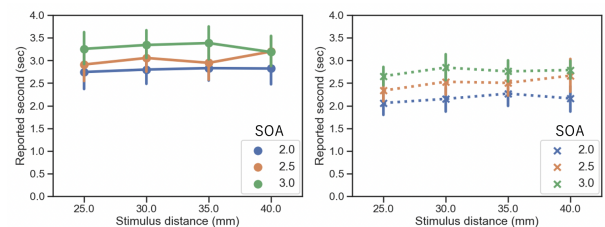


図4: 時間知覚-腕 (左: なぞり, 右: 2点)

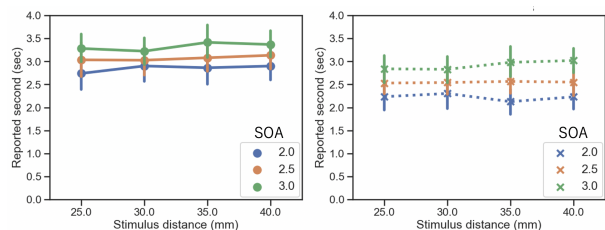


図5: 時間知覚-手 (左: なぞり, 右: 2点)

実験1と同様の手法で解析、4要因分散分析を行った。結果は、図4、5に示した。

紙面の都合上、有意差の出た結果のみ記す。まず、図4、5の通り、なぞり刺激を受けた時の時間回答は2点刺激での条件よりも長く知覚しており、有意差が認められた ( $F_{1,15} = 17.7, p = .000, \eta_p^2 = .124$ )。次に刺激提示距離が25mmでの時間回答では、他の提示距離 (30, 35, 40mm) の時間回答と比べると時間回答を短く知覚していることが、多重比較の結果わかった ( $p = .007, p = .010, p = .004$ )。また、SOAの時間が短いと時間知覚も短く知覚し、またSOAが長いと時間回答を長くしている結果が得られた。よって参加者は刺激時間の大小を知覚しており、有意差も認められた ( $F_{2,30} = 87.6, p = .000, \eta_p^2 = .085$ )。最後に、なぞり刺激において、SOAの提示時間の大小の違いを知覚できおり、有意であった ( $F_{1,15} = 54.8, p = .000, \eta_p^2 = .063$ )。これは2点刺激でも有意であった ( $F_{1,15} = 78.4, p = .000, \eta_p^2 = .063$ )。

=.144). またそれぞれの SOA(2.0, 2.5, 3.0 秒) の条件下において、なぞり刺激と 2 点刺激を比較したときにも、なぞり刺激の方が時間を長く回答していることがわかり、有意差が認められた。2.0 秒の場合 ( $F_{1,15} = 23.0$ ,  $p = .000$ ,  $\eta_p^2 = .170$ ), 2.5 秒の場合 ( $F_{1,15} = 14.1$ ,  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .127$ ), 3.0 秒の場合 ( $F_{1,15} = 14.5$ ,  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .110$ )。

以上より、なぞり刺激・2 点刺激双方において、提示距離が最も短い 25mm の結果においては、他の提示距離よりも時間を短く知覚していることがわかったが、提示距離が 30, 35, 40mm の結果においては、時間回答に違いが出なかった。よって、提示距離が短い場合には時間回答も僅かに短くなるが、総じて提示距離が時間回答に影響を与えることは見られなかった。次に、なぞり刺激での時間回答は 2 点刺激よりも長く知覚していた。最後に、腕と手において時間回答の違いは出なかった。

### 3.4 考察

実験 2 の結果より、参加者は実験 1 で用いた刺激の提示時間の違いを知覚できていたことがわかった。実験 1 と実験 2 の結果を合わせて考えると、時間の違いがわかるような刺激を与えても、距離回答に大きな違いが出なかったことがわかる。このことから、今回実験で用いた刺激 (POP で用いられるであろう刺激) の範囲においては、時間知覚の違いが距離知覚に影響を与えない可能性が示唆される。

## 4. むすび

本実験では、なぞりの知覚特性を調査するために、2 点刺激との結果と直接比較をして実験をおこなった。結果として、距離知覚と時間知覚の双方で知覚特性は異なることがわかり、なぞり条件の方が 2 点条件よりも長く知覚していた。よって、本実験での時間条件では、皮膚上で刺激長が同じなぞり刺激と点描での刺激を受けた時に、前者の方が後者よりも長く知覚することが想定される。

POP の先行研究では、文字の書き順が異なると正答率が有意に低くなることも報告されている [10]。POP は、なぞられた複数の直線や曲線とその位置を、時間情報も伴いながら知覚することで文字として捉えることを可能にしている。本研究では、直線での距離知覚の調査を行ったが、今後は曲線や位置の検討もする中で、皮膚の知覚原理をより明らかにしていきたい。

### 参考文献

- [1] Jack M. Loomis. Tactile letter recognition under different modes of stimulus presentation. *Perception & Psychophysics*, Vol. 16, pp. 401–408, 1974.
- [2] Takayuki Hoshi. Handwriting transmission system using noncontact tactile display. *Haptics Symposium 2012, HAPTICS 2012 - Proceedings*, 03 2012.
- [3] Renata Sadibolova, Luigi Tamè, Eamonn Walsh, and Matthew R. Longo. Mind the gap: The effects of temporal and spatial separation in localization of

dual touches on the hand. *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 12, , 2018.

- [4] Barry G Green. The perception of distance and location for dual tactile pressures. *Perception & Psychophysics*, Vol. 31, pp. 315–323, 1982.
- [5] Luke E. Miller, Matthew R. Longo, and Ayse P. Saygin. Mental body representations retain homuncular shape distortions: Evidence from weber 's illusion. *Consciousness and Cognition*, Vol. 40, pp. 17–25, 2016.
- [6] Roger Cholewiak. The perception of tactile distance: Influences of body site, space, and time. *Perception*, Vol. 28, pp. 851–75, 02 1999.
- [7] B.L. Whitsel, O. Franzen, D.A. Dreyer, M. Hollins, M. Young, G.K. Essick, and C. Wong. Dependence of subjective traverse length on velocity of moving tactile stimuli. *Somatosensory Research*, Vol. 3, No. 3, pp. 185–196, 1986.
- [8] Federico Fiori and Matthew R. Longo. Tactile distance illusions reflect a coherent stretch of tactile space. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 115, No. 6, pp. 1238–1243, 2018.
- [9] Antonio Cataldo, Lucile Dupin, Harriet Dempsey-Jones, Hiroaki Gomi, and Patrick Haggard. Interplay of tactile and motor information in constructing spatial self-perception. *Current Biology*, Vol. 32, No. 6, pp. 1301–1309.e3, 2022.
- [10] Morton A. Heller, Kimberly D. Nesbitt, and Danette K. Scrofano. Influence of writing style and categorical information on identification of tactile numerals and letters. *Bulletin of the Psychonomic Society*, Vol. 29, No. 4, pp. 365–367, 1991.