

心の指はどこまで伸びる？ – ダブルタッチ錯覚による軸固有の身体変形距離限界の同定

Identification of Axis-Specific Body Image Deformation Limit in the Double-Touch Illusion

佐藤 優太郎[†], 斎藤 五大[‡], 小鷹 研理[†]

Yutaro Sato, Godai Saito, Kenri Kodaka

[†]名古屋市立大学大学院芸術工学研究科, [‡]東北大学大学院文学研究科

Nagoya City University, Tohoku University

sato12yutaro@gmail.com

概要

我々の研究グループは、ダブルタッチによって誘発される新しいタイプの自己接触錯覚として「ダブルタッチ錯覚」(DTI : Double Touch Illusion)を考案した。我々はこれまでに、近接する自他の指へのダブルタッチが、主観的な指の伸長感と肥大感を誘発することを確認している。これらの変形感に関する調査を行なったところ、それぞれの変形感の変形距離限界に質的な差異が認められたため報告する。

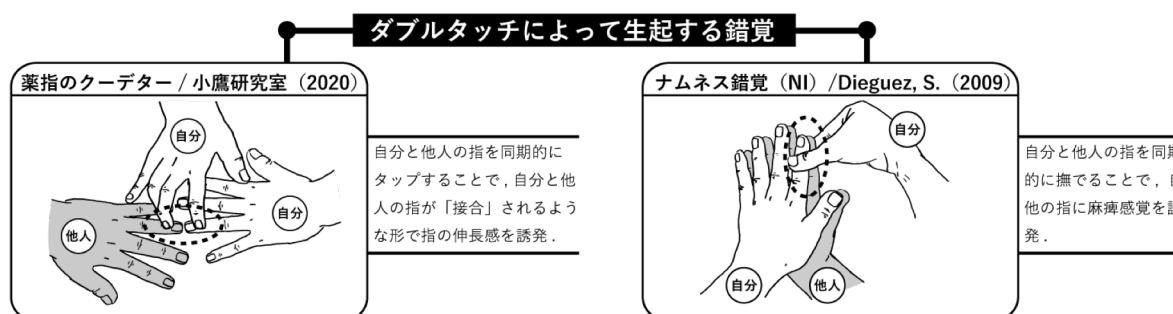
キーワード：double-touch illusion, numbness, ownership, body image deformation

1. はじめに

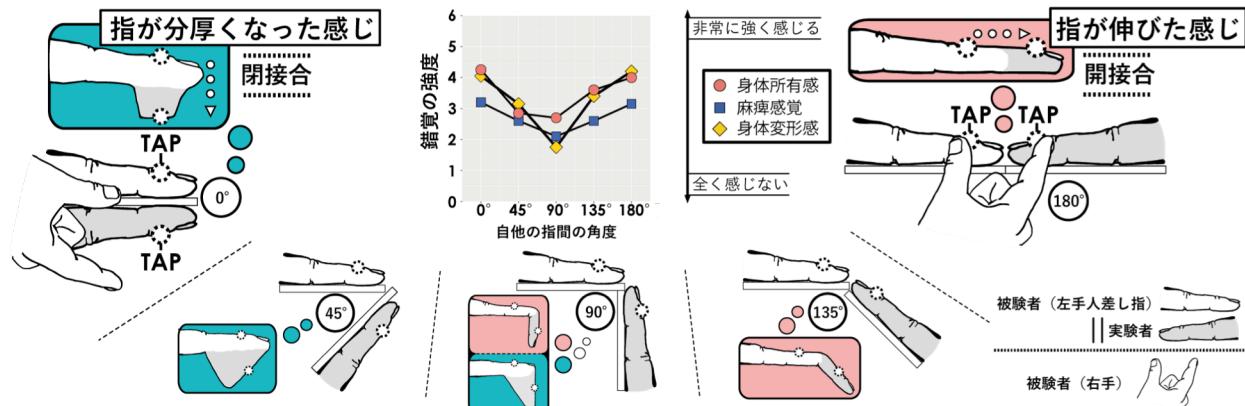
他人の手への接触と同じタイミングで、対応した自分の手の部位を他人に触れられると、他人の手への接触が自己接触に感じられることが知られている。これは、「触る」、「触られる」の2点の接触の時空間的な同期により、モノや他人の手に身体所有感（身体が自身のものであると感じる感覚）が生起し、自己接触の感覚を誘発する「セルフトッチ錯覚」(STI : Self Touch Illusion) [1]と呼ばれる錯覚である。STI や、ゴムの手に所有感を生起させるラバーハンド錯覚 (RHI : Rubber Hand Illusion) [2]などの身体の錯覚にみられる所有感変調は、視触覚刺激の統合の過程で、実際の身体への意識が遮断され、所有感生起の対象をモノや他人の身体に置き換えることで成立するものと考えられる。

我々は、こうした従来の所有感変調のパラダイムと大きく異なる錯覚として「薬指のクーデター」を考案した[3]。この錯覚は、自分の指の延長線上に他人の指を配置し、自分と他人の指の近傍を同時にタップすることで、他人の指への接觸点まで自己接觸に感じられ、まるで指が伸びたかのような感覚を誘発するものである（図1左）。小鷹研究室が2020年11月に開催した研究室展示において、不特定多数の来場者に対して簡易的なアンケートを行なったところ、83% (52/63人)の人から指が伸びた感覚に対するポジティブな回答を得た。この結果は「薬指のクーデター」の一定の錯覚強度を裏付けている。この時強調すべき点は、この錯覚が、自分と他人の指の両方へ接觸を理由に、自分の身体への意識を残したまま、双方の身体を主観的に接合するかのように所有感を変調させる点である。これは従来の錯覚研究の観点からして、極めて特異的な錯覚誘発のプロセスと言える。このような、ダブルタッチによって誘発される錯覚の特異性に着目することで、従来の錯覚研究が扱うことのなかつた所有感変調の様相が明らかとなる可能性がある。そこで我々は、上述の錯覚を、従来の錯覚研究の所有感変調と区別し「接合型」のセルフトッチ錯覚と位置付け、調査を行なっている。

他に、ダブルタッチによって生起する錯覚として挙



(図1) ダブルタッチによって生起する錯覚



(図2) ダブルタッチによって生起する所有感, 麻痺感覚, 身体変形感の計測結果

げられるものには、麻痺感覚を誘発するナムネス錯覚 (NI : Numbness Illusion) がある[4]. NI は、二人組で掌を軽く合わせ、空いている方の手で自分と他人の指の背を同期的に上下に撫でることで、自他の指に麻痺感覚を誘発する錯覚である(図1右). NI は、Japanese Illusion から派生したものなどとして古くから知られているが[5][6][7][8]、その認知機序については不明な点が多い. また、ダブルタッチによって誘発される錯覚という点で「薬指のクーデター」と共通するものの、過去研究では、NI は自分の指の生々しさが失われたかのような感覚の鈍さ(麻痺感覚)を生起するものとして報告されている. このことから、一見すると、NI は自己接觸の感覚とは反対の作用を持つ錯覚であるかのように思える. しかし、他人の指に対して麻痺感覚を感じるためには、ある程度他人の指を自分のものとして受け入れる必要がある. 実際、Aymerich らにより、RHI の誘発の直後、被験者自らがラバーハンドを撫でると麻痺感覚が生起されることが報告されており[9]、麻痺感覚には所有感が伴うことが示唆されている. 現状では、こうした麻痺感覚と所有感の関係を指摘する研究は、筆者の調べる限り極めて少なく[4][7]、両感覚の関係性をより直接的に示すためには、新たな実験系の考案が必要だと考える.

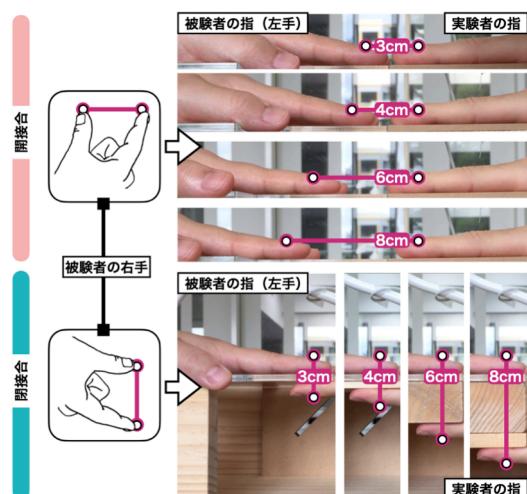
そこで我々は、ダブルタッチによって生起する錯覚の所有感変調に関する調査を行なった[10]. 具体的には、NI の自他の指が隣接した姿勢から指を 180 度開くことで、「薬指のクーデター」の姿勢と一致するような関係を持つことに着目し、所有感・麻痺感覚・身体変形感に関する主観評価を調査した. 結果、開接合・閉接合の双方の姿勢において、所有感と麻痺感覚の生起は極めて強い相関を持つことが明らかとなった. 興味深いことに、同時計測した主観的な指の変形感(開接

合では伸長感、閉接合では肥大感を調査)は、所有感、麻痺感覚と同様、開接合・閉接合の両方で極大となり、自他の指間の角度が 90 度の時に極小となる結果を得た(図2). この結果は、指の身体イメージの変形が、直角に折れ曲がったような歪なイメージを生起することは困難であり、他方で、指の延長上の変形である伸長変形、指の腹方向への変形である肥大変形は成立するというような、変形限界が実際の指の形態学的構造に制約されることを示唆するものである. この結果を踏まえ、我々は、「薬指のクーデター」と NI の共通項を整理し、開接合・閉接合姿勢におけるダブルタッチが誘発する錯覚を「ダブルタッチ錯覚」(DTI : Double Touch Illusion)と命名した.

本稿では、閉接合・開接合の指の変形感である、伸長感と肥大感についてさらなる調査を行う. 身体イメージの変形感に関する研究には、Newport らの、視触覚刺激の同期によって、実際の指の 2 倍の長さを提示しても伸長感が生起するという報告が挙げられる[11]. この報告は、指の長さの変形感が、実際の指の長さを大幅に超えて保持されることを示唆しており、開接合における指の伸長感も、同様な性質を持つ可能性がある. 一方で NI は、隣接する自他の指の腹の間に 1cm 程度空間を空けた状態で行うと、麻痺感覚の誘発が減少することが報告されている[4]. 本研究で扱う指の肥大感も麻痺感覚を伴って生起するものであるため、これに準ずるような結果となることが考えられる. このように、伸長感と肥大感は変形の距離限界の観点からして、質的に異なるものであることが推察される. したがって本稿では、両変形感の質的差異が、変形感の距離限界によって前景化すると仮定し、DTI の開接合・閉接合姿勢における身体変形感の変形距離限界の同定を試みる.

2. 実験

被験者は9人（21-25歳、男性5人、女性4人 全員右利き）である。身体イメージの変形感の調査にあたり、DTIについて一定の錯覚感度を持った被験者を対象とするため、JSAI2021[10]で報告した実験の参加者に引き続き参加してもらった。なお、被験者は実験の目的については一切知らされていない。実験は、被験者の人差し指の延長線上に実験者の指を配置する閉接合と、被験者と実験者の人差し指がアクリル板を挟んで向かい合う閉接合の「姿勢要因」、被験者と実験者の指の接触地点間の距離を統制した（3cm, 4cm, 6cm, 8cm の4条件）の「指間の距離要因」の二要因の被験者実験を計画した。「指間の距離」には、被験者と実験者の指間の距離のミニマルな差異がもたらす影響を調査するべく、閉接合における最短距離の3cmと、最短距離付近の4cm、さらにそこから2cmずつ離れる条件を設定した。閉接合の条件では、被験者の身体を軸とした時の、被験者の手の接触点と身体とが離れてしまうことによる影響を除外するため、実験者の指の接触点を基準として距離を設定した。被験者は各条件で、作成した実験装置（図3）の上に左手を配置し、目を閉じた状態で、自身の右手の人差し指を実験者の指、親指を被験者の左手の人差し指に合わせ、自身と実験者の指の第一関節の上側（爪の手前あたり）を同期的に120BPMのリズムで20秒間タップする。タップを終えた直後、所有感、麻痺感覚、身体変形感（伸長感と肥大感）に統制項目を加えた7つの質問に対して、「全く感じない」を0、「非常に強く感じる」を6に設定した7段階の主観評価アンケートに口頭で回答してもらった。具体



（図3）指の配置関係と指のタップの対応

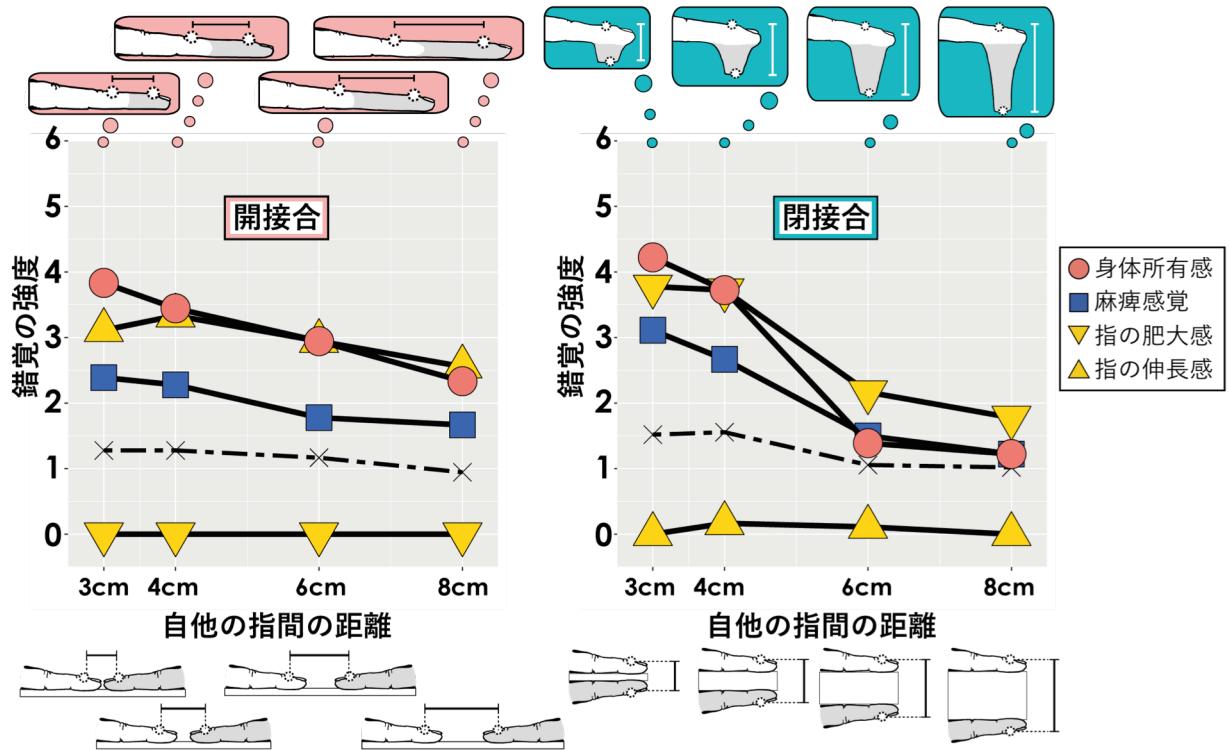
的な質問内容は Dieguez らの実験[4]で用いられた項目をもとに、ダブルタッチを行なった際の相手の指への接触時の感覚について質問項目を作成した（表1）。質問順は被験者ごとに無作為化した。姿勢要因の順序については、被験者ごとに開接合あるいは閉接合から実験をはじめ、「指間の距離」については1セットごとに無作為化し、計8試行、実験全体で2セット計16試行実施した。

表1 実験で用いた質問項目

Q1	右手の人差し指で触れている指が自分の指である感じがした。（所有感）
Q2	右手の人差し指で触れている指が麻痺した感じがした。（麻痺感覚）
Q3	自分の指が長くなった感じがした。（変形感 / 伸長感）
Q4	自分の指が分厚くなった感じがした。（変形感 / 肥大感）
Q5	右手の人差し指で触れている指が重たい感じがした。（統制）
Q6	右手の人差し指で触れている指が不快な感じがした。（統制）
Q7	右手の人差し指で触れている指が熱い感じがした。（統制）

3. 結果

主観評価アンケートによって得られた結果をグラフ（図4）に示す。解析ではまず、錯覚に関連する質問項目別に、Q1（所有感）、Q2（麻痺感覚）に対して 2×4 の二要因被験者内分散分析（「姿勢要因」：閉接合、開接合 × 「指間の距離要因」：3cm, 4cm, 6cm, 8cm）を行った。結果は、「姿勢」ではいずれの項目でも主効果は認められず、「指間の距離」では、Q1, Q2 で有意な主効果が得られた（Q1: $F(3, 24) = 19.36$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.38$, Q2: $F(3, 24) = 6.30$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.16$ ）。「姿勢」と「指間の距離」の交互作用は、Q1 では有意、Q2 では有意な傾向が確認された（Q1: $F(3, 24) = 7.36$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.08$, Q2: $F(3, 24) = 2.73$, $p = 0.07$, $\eta^2 = 0.03$ ）。また、身体変形感に関する項目であるQ3（指の伸長感）、Q4（指の肥大感）では、変形感が確認された姿勢別に解析を行った。Q3は閉接合条件、Q4は開接合条件について、「指間の距離」に対して一要因4水準の被験者内分散分析を行った。その結果、Q4のみに有意な主効果が得られた（ $F(3, 24) = 7.09$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.31$ ）。統制項目のQ6においても、「指間の距離」で有意な主効果が得られたが、調査にあたり重要な項目ではないため省略する。



(図4) 実験結果

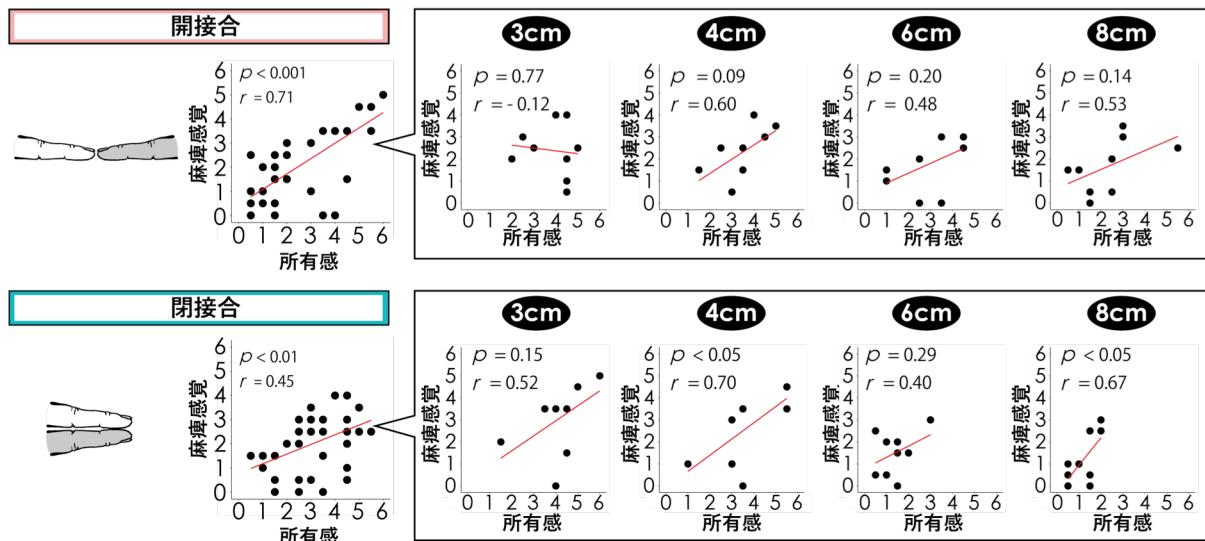
続いて、Q1, Q2 と Q4 で得られた「指間の距離」の主効果に対して、下位検定として多重比較 (Shaffer の方法) を行ったところ、Q1において、3cm は 6cm, 8cm よりも有意に強く、4cm は、6cm, 8cm よりも有意に強い結果となった ($3\text{cm} - [6\text{cm}, 8\text{cm}] : p < 0.001$, $4\text{cm} - [6\text{cm}, 8\text{cm}] : p < 0.01$)。Q2, Q4 においては、いずれの距離間にても有意な差は得られなかった。

次に、Q1, Q2 で有意、有意傾向に得られた交互作用に対して単純効果の検定を行った。「姿勢」では、Q1 で 6cm と 8cm で有意な効果が得られた ($Q1 : F(1, 8) = 25.912, p < 0.001, \eta^2 = 0.37$, $Q2 : F(1, 8) = 6.63, p < 0.05, \eta^2 = 0.21$)。このことから、所有感 (Q1) では自他の指間の距離が 6cm, 8cm の時、閉接合は閉接合よりも有意に大きな値が得られたことが示された。Q2 については、有意な効果は得られなかった。「指間の距離」では、Q1 において、閉接合と開接合の両方で有意な効果が認められた (閉接合 : $F(3, 24) = 24.42, p < 0.001, \eta^2 = 0.62$, 開接合 : $F(3, 24) = 4.78, p < 0.05, \eta^2 = 0.19$)。Q2 では、閉接合のみに有意な効果が認められた ($F(3, 24) = 9.33, p < 0.001, \eta^2 = 0.26$)。

さらに、「指間の距離」の単純効果の検定の下位検定として、多重比較 (Shaffer の方法) を行なった。Q1 について、閉接合では、3cm が 6cm, 8cm よりも有意に

大きな値となり (all $p < 0.01$)、また 4cm も 6cm, 8cm よりも有意に大きな値となることがわかった (4cm - 6cm : $p < 0.01$, 4cm- 8cm : $p < 0.05$)。一方で、開接合ではいずれの指間の距離にも有意な差は得られなかった。すなわち、所有感 (Q1) の生起は閉接合においてのみ、4cm から 6cm にかけて有意に低くなることがわかった。Q2 については、閉接合で、3cm が 6cm, 8cm の評定値よりも有意に大きな値となることがわかった (all $p < 0.05$)。このように、麻痺感覚 (Q2) についても、閉接合では、3cm と比して 6cm-8cm の値が低くなることがわかった。

最後に、各被験者が実験中 2 回行なった試行の平均値を用いて、閉接合と開接合それぞれの「所有感」と「麻痺感覚」の関係をピアソン相関分析により解析した (図 5)。その結果、閉接合、開接合の両方に正の相関が認められた (閉接合 : $p < 0.001, r = 0.71$, 開接合 : $p < 0.01, r = 0.45$)。また、「指間の距離」別に「所有感」と「麻痺感覚」の相関関係を調べたところ、閉接合の 3cm にのみ、相関関係が認められず ($p = 0.77, r = -0.11$)、その他の閉・開接合の距離条件ではいずれにおいても正の相関関係を持つことがわかった (ただし、有意差が認められたのは閉接合 4cm, 8cm のみ。個別の相関係数と p 値は図に記載した)。



(図5) 所有感と麻痺感覚の相関関係

4. 考察

はじめに、閉接合と開接合の「姿勢」における、変形距離限界の差異に注目したい。3章の結果と合わせてグラフを参照すると、閉接合では、所有感、指の肥大感に関する値が、4cmから6cmの区間でそれぞれ有意に減少したのに対し、開接合では4cmから6cmの区間、いずれの値にも有意な差は認められなかった。また、開接合の6cmと8cmの所有感が、閉接合よりも有意に強いことが認められている。これは、指の身体イメージの伸長方向への変形感が、肥大方向と比して、自他の指間の変形距離の制約が少なく、長い距離でも保持されやすいことを示唆する結果である。この結果は、Newportらの報告[11]と一致し、我々の仮説を支持する結果である。指の骨格や爪の成長方向が、指の伸長イメージの方向と一致することから考えても、ヒトの主観的な指のイメージは、潜在的に伸長方向へのイメージを形成しやすい性質を持つことが推察できる。一方で、本稿の結果は、研究室所属の一定の錯覚感度を持つ被験者を対象としたことで、身体変形感の限界を理想的な形で観測した結果であると考えている。したがって、錯覚研究にナイーブな被験者を対象とした場合、本稿の結果がどのような水準で成立するかは未知である。指の肥大感覚に関連する報告を参照すると、局所麻酔を施した身体の主観的なサイズは、実際の身体サイズよりも大きく知覚されることが知られている[12]。さらには、麻酔による指の主観的イメージの拡大は、指の長さ（3%増）よりも、指の分厚さ（30%

増）について顕著に確認されることが報告されている[13]。これらの報告は、例えば、炎症を原因とする腫れなどの指の肥大が、成長過程における骨格の変形による指の伸長に比べ実際には容易に起きることを理由とした、指の肥大感生起の容易さを裏付ける報告である。こうした報告は、身体変形感の起きやすさの比較の観点からすれば、本稿の結果とは反対の仮説を支持する報告に思える。今後は、本研究で設定した諸条件を精査し、本稿で得られた結果の一般性についてさらに検証する必要がある。

続けて、所有感と麻痺感覚について、閉接合、開接合の「指間の距離」別に計測した所有感と麻痺感覚の相関関係が、開接合の3cmにのみ認められなかったことについて考察する。これは、自他の指間が最短となる開接合3cmの距離において生起する所有感が、各条件と比較して純度の高いセルフタッチとして感覚されたことを示唆している。言い換えれば、開接合3cm条件は、身体イメージ変形の負荷が極めて少ない状態でセルフタッチが成立した状態とも言える。これを踏まえると、身体変形感が伴うような距離における所有感の生起には、何らかの負荷が生じていることが推察される。そしてこの際、所有感との相関関係を持って誘発される麻痺感覚は、身体イメージの変形に伴う副作用として前景化している可能性が考えられる。本研究の結果は、以上のような所有感と麻痺感覚の関連性を直接的に指摘し、所有感生起の議論に新たな指標を見出すものである。

文献

- [1] Ehrsson, H. H., Holmes, N. P., & Passingham, R. E. (2005). Touching a rubber hand: feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas. *The Journal of Neuroscience*, 25(45), 10564-10573.
- [2] Botvinick, M., & Cohen, J. D. (1998). Rubber hand ‘feels’ what eyes see. *Nature*, 391(February), 756.
- [3] 小鷹研究室, 研究室展示「注文の多い「からだの錯覚」の研究室展」, 即錯 No. 08, 「薬指のクーデター（ダブルタッチ錯覚）」, 名古屋市中区, 7thcafe (青少年文化センター内), (2020.11) (https://lab.kenrikodaka.com/works/instant08/, 2021.6.27 アクセス).
- [4] Dieguez, S., Mercier, M. R., Newby, N., & Blanke, O. (2009). Feeling numbness for someone else’s finger. *Current Biology*, 19(24), 1108–1109.
- [5] Harwood, P. D. (1949). *Numbness, Body-Image, and the*. 114, 584–586.
- [6] Arnold, H. L. (1952). Japanese illusion. *Science*, 115(2995), 577. https://doi.org/10.1126/science.115.2995.577-a
- [7] Dieguez, S., & Lopez, C. (2017). The bodily self: Insights from clinical and experimental research. In *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* (Vol. 60, Issue 3, pp. 198–207). Elsevier Masson SAS.
- [8] 田中由浩 (名古屋工業大学 大学院工学研究科) 触覚研究により、人々の幸福度の向上をめざす～触覚情報の共有や拡張が拓く未来～ (http://hapticdesign.org/designer/file015_Yoshihiro_Tanaka, 2021.6.27 アクセス)
- [9] Aymerich-Franch, L., Petit, D., Kheddar, A., & Ganesh, G. (2016). Forward modelling the rubber hand: Illusion of ownership modifies motor-sensory predictions by the brain. *Royal Society Open Science*, 3(8).
- [10] 佐藤優太郎, 斎藤五大, 小鷹研理, Numbness 錯覚とセルフタッチ錯覚の間に成立するトレードオフ性に関する一考察, 日本人工知能学会第 35 回大会, オンライン開催, (2021.6).
- [11] Newport, R., Auty, K., Carey, M., Greenfield, K., Howard, E. M., Ratcliffe, N., Thair, H., & Themelis, K. (2015). Give it a tug and feel it grow: Extending body perception through the universal nature of illusory finger stretching. *I-Perception*, 6(5), 1–4.
- [12] Gandevia, S. C., & Phegan, C. M. L. (1999). Perceptual distortions of the human body image produced by local anaesthesia, pain and cutaneous stimulation. *Journal of Physiology*, 514(2), 609–616.
- [13] Walsh, L. D., Hoad, D., Rothwell, J. C., Gandevia, S. C., & Haggard, P. (2015). Anaesthesia changes perceived finger width but not finger length. *Experimental Brain Research*, 233(6), 1761–1771.