

# 左右の指への同期的接触による自己溶接感覚の生起

## The Illusory Self-Welding Sensation Through Synchronous Touch on the Left and Right Fingers.

高橋 奈里<sup>†</sup>, 佐藤 優太郎<sup>†</sup>, 横坂 拓巳<sup>‡</sup>, 小鷹 研理<sup>†</sup>

Nari Takahashi, Yutaro Sato, Takumi Yokosaka, Kenri Kodaka

<sup>†</sup>名古屋市立大学大学院, <sup>‡</sup>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

Graduate of Nagoya City University, NTT

c235719@ed.nagoya-cu.ac.jp

### 概要

従来の身体所有感研究では、自己と他人の身体に対する同期接触を扱うものが多かった。本研究では、自己の左右の身体に対する同期接触によって、身体が接合したように感じる自己溶接錯覚の基礎的な誘発条件を検討した。また新たに、主観評価だけでなく、行動実験の指標においても、自己溶接錯覚の効果を検証した。その結果、接合感の生起にあたり、同期接触が重要であることが明らかになった。また、行動実験レベルで約4cmのドリフトが生起することが明らかになった。

キーワード: ラバーハンド錯覚, ベルベットハンド錯覚, ダブルタッチ

### 1. はじめに

身体イメージの変調は、「まさに自分の身体である」という身体所有感に基づいて生起する。これまでの研究では、人間の自己身体に対する認知機能は極めて柔軟であることが明らかになっている。身体所有感に関する代表的な研究例が、ラバーハンド錯覚 (Botvinick & Cohen, 1998) である。これは、体験者の実際の手とダミーのラバーハンドに対して同期的な刺激を与えることで、あたかもラバーハンドが自分の手のように感じるという錯覚である。

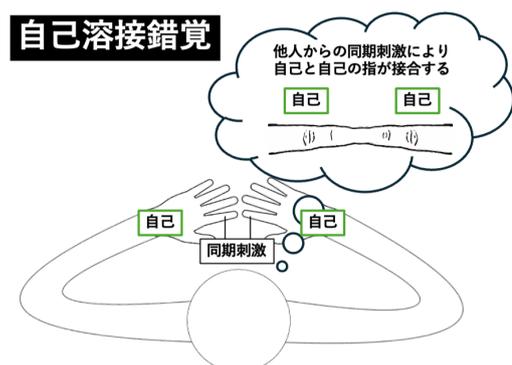
我々の研究室では、ラバーハンド錯覚と同様の原理を適用したものとして、自己の指と他人の指に対して、近接空間で同期刺激を与えることで、自分の指が他人の指まで伸長したように感じるダブルタッチ錯覚を発表している (Sato et al., 2024)。

このように、これまでの身体所有感研究では、「自己」と「モノ」あるいは「自己」と「他人」の身体に対する同期刺激が、身体イメージの変調において重要であることが示されてきた。一方で、「自己」と「自己」、すなわち同個体内の身体に対する同期接触の影響は、ラバーハンド錯覚のパラダイムでほとんど扱われてこなかった。

しかし、身体所有感研究外では、自己身体内、例えば自己の左右の手に対して同期刺激を付与することによる効果が検討されている研究例がいくつか存在する。触覚研究では、左右の手で金網やラケットを挟んで相互に擦り合わせることで、手の触覚感覚が変化するベルベットハンド錯覚 (Yokosaka et al., 2021) が報告されている。また、左右の手への同期的運動により、左右の運動のパターンが変化したり (Bimanual Spatial Coupling; Franz & Packman, 2004)、左右の指への同期刺激により、刺激感受の閾値が変化したりする (Double Simultaneous Stimulation; Tamè, et al., 2011) ことも報告されており、左右の身体への同期刺激により、身体イメージに対しても何らかの同調的な作用が生起する可能性がある。よって、改めて、自己の左右の身体に対する同期刺激付与の効果を、これまでのラバーハンド錯覚のパラダイムの観点から捉え直すことには大きな研究意義があるといえる。

高橋ら (2024) は、自己の左右の指に対して同期刺激を与えることによる効果を検討し、主観レベルでは自己の左右の指が接合したような感覚が得られることを明らかにした。この錯覚を以下では、自己溶接錯覚とする (図1)。自己溶接錯覚の具体的な操作は、体験者が自身の両手を胸と平行となる位置に置き、実験者が左右の指に対して、人差し指で同期刺激を継続して与

図1 自己溶接錯覚の概要



える (同時にタッチする) ことである。これにより、自己の左右の指が接合したような感覚が得られる。また、自己の左右の指が、近接空間でなおかつ両側部位 (左右の同じ部位) であるときに、より強い左右の指の接合感覚が生起することが示された。

本研究の目的は、自己溶接錯覚が、これまでの身体所有感を変化させる多くの錯覚のパラダイムに沿って生起するのか、詳細に検討することである。

まず、ダブルタッチにおける時間同期および非同期条件を設定し、同期刺激が自己溶接錯覚の生起にあたり重要かどうかを検討する。同期条件・非同期条件の操作は、佐藤ら(2023)を参考に設定した。

次に、距離条件を設定し、指間距離による自己溶接錯覚効果の違いを検討する。高橋ら(2024)の被験者実験では、far 条件として参加者の左右の指先の距離が15cmとなる状態を設定したが、主観評価得点が低かったことから、錯覚が生起しておらず、錯覚生起における空間的な距離の制約を超越しているように思えた。そこで、本研究では、near 条件、far 条件ともに、15cmより短い範囲で指間距離を設定した。

さらに、自己溶接錯覚の効果について、行動実験レベルで検討することを目的とした。Sato et al. (2024)では、参加者の頭にVIVEトラッカーを装着し、身体を傾けながら心的な指の位置感覚を示すことで、錯覚体験時の行動的なデータを取得した。自己溶接錯覚は主として接合感覚が生起するものであるが、我々の仮説では、自己の左右の指が互いに伸長することで、左右の指の接合感が得られると考えている。そのため、本研究では、錯覚体験時に、左右一方の指に注意を向けながら指先の位置感覚を回答する行動実験を実施した。

我々の仮説では、付与する刺激の同期性が高まるほど、そして距離が近接的になるほど、より強い左右の

図2 実験環境



指の接合感覚が生起すると考える。また、距離が遠隔的になるほど、左右の指の伸長感覚が強く生起すると考える。行動実験では、我々の仮説に基づくならば、左右それぞれの指が伸長したような位置感覚のドリフトが計測されると推測する。

## 2. 方法

### 2.1 実験参加者

本実験では、健康な20代の大学生計21名 (男性:10名, 女性:11名, 平均年齢:20.9歳) が参加した。ただし、計測データに不備があった1名を排除し、計20名のデータについて解析を実施した。

### 2.2 実験装置・環境

実験環境を図2に示す。長机と椅子を用意し、実験者と参加者は向かい合って座った。行動実験の実施にあたり、ベースステーション1.0を左右に設置した。また、VIVEトラッカーを使用し、左右の指のドリフト量を計測した。プログラミングソフトはUnityを使用した。

### 2.3 実験手順

参加者には、身体の中線線を机の上に記したシールの位置に合わせて椅子に座り、楽な姿勢をとってもらった。また、錯覚体験時は目を閉じ、ホワイトノイズを流した状態で取り組んでもらった。

実験条件を図3に示す。同期性要因として、同期条件(sync)と非同期条件(async)を設けた。同期条件では、実験者が、約240bpmの速さで体験者の人差し指の第一関節あたりを同時にタッチした。非同期条件では、実

図3 実験条件

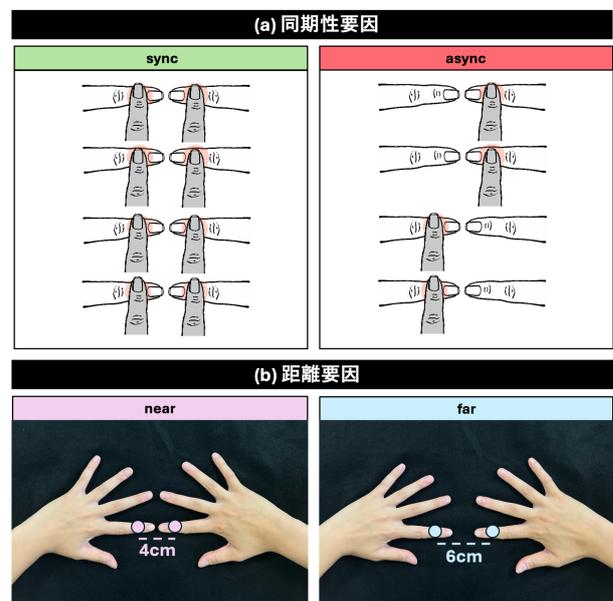
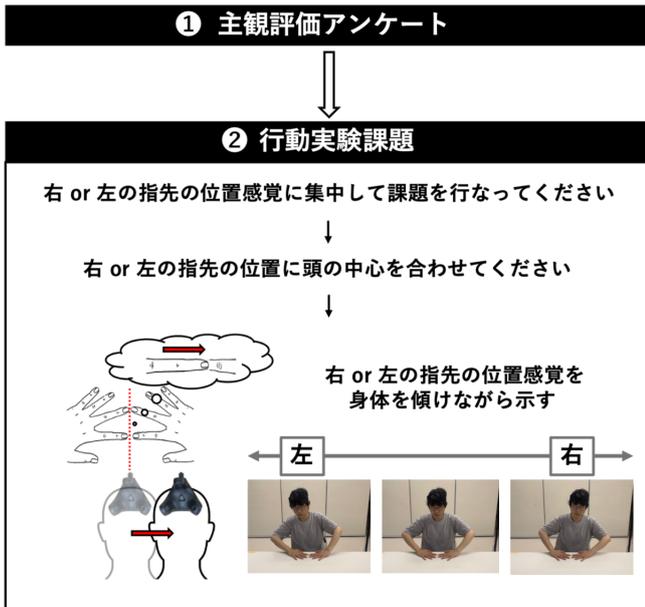


表1 主観評価アンケート項目

分類	アンケート文
Q1	接合感 右手の指と左手の指が繋がったような感じがした
Q2	伸長感 右手または左手の指が伸びたような感じがした
Q3	膨張感 右手または左手の指が太くなったような感じがした
Q4	麻痺感 右手または左手の指が麻痺しているような感じがした

図4 実験の流れ



験者が、約240bpmの速さで体験者の人差し指の第一関節あたりを交互に2回ずつタッチした。距離要因として、near条件とfar条件を設けた。near条件では、実験者が参加者の左右の指に対して刺激を与える際の間隔を約4cmとした。far条件では、実験者が参加者の左右の指に対して刺激を与える際の間隔を約6cmとした。

実験の流れを図4に示す。参加者ははじめに、主観評価課題に取り組んだ。同期性要因(2条件)×距離要因(2条件)の4条件をそれぞれ30秒間ずつ実施した。体験後、身体変形感覚に関して尋ねた4項目の質問(表1)について0(全く感じない)~6(非常に強く感じる)の7段階で回答してもらった。

次に、参加者は、頭の中心にVIVEトラッカーを装着し、行動実験を実施した。参加者には、左右どちらの指に集中して課題を実施するか、教示を行った。その後、初期位置計測として、実験者が注意を向ける指の指先に触れ、参加者は、目を閉じた状態で触れられた指先の位置に頭の中心を合わせ、ドリフトを計測した。参加者には、刺激が付与されている間、注意する指先の位置感覚を、身体を傾けて示すように伝えた。

主観評価課題、行動実験の各試行について2回ずつ

計測し、算出された平均値を分析に使用した。また、質問項目順と各条件の実施順は参加者ごとにランダムとした。

### 3. 結果

主観評価アンケートの結果を図4(a)に、行動実験の結果を図4(b)に示す。主観評価と行動実験課題によって取得されたデータは、正規性を仮定できなかったため、解析には整列ランク変換を用いた、ノンパラメトリックな2要因参加者内分析を使用し、Holm法による多重比較を実施した( $n=20$ )。

主観評価について、分析の結果、Q1, Q2で同期性要因の主効果が認められた(Q1:  $F(1, 57) = 141.82, p < .001$ ; Q2:  $F(1, 57) = 28.92, p < .001$ )。多重比較の結果、指間距離が4cm, 6cm両者のsync条件が、4cm, 6cm両者のasync条件よりも有意に評価得点が高かった。Q3, Q4については有意な主効果は認められなかった。

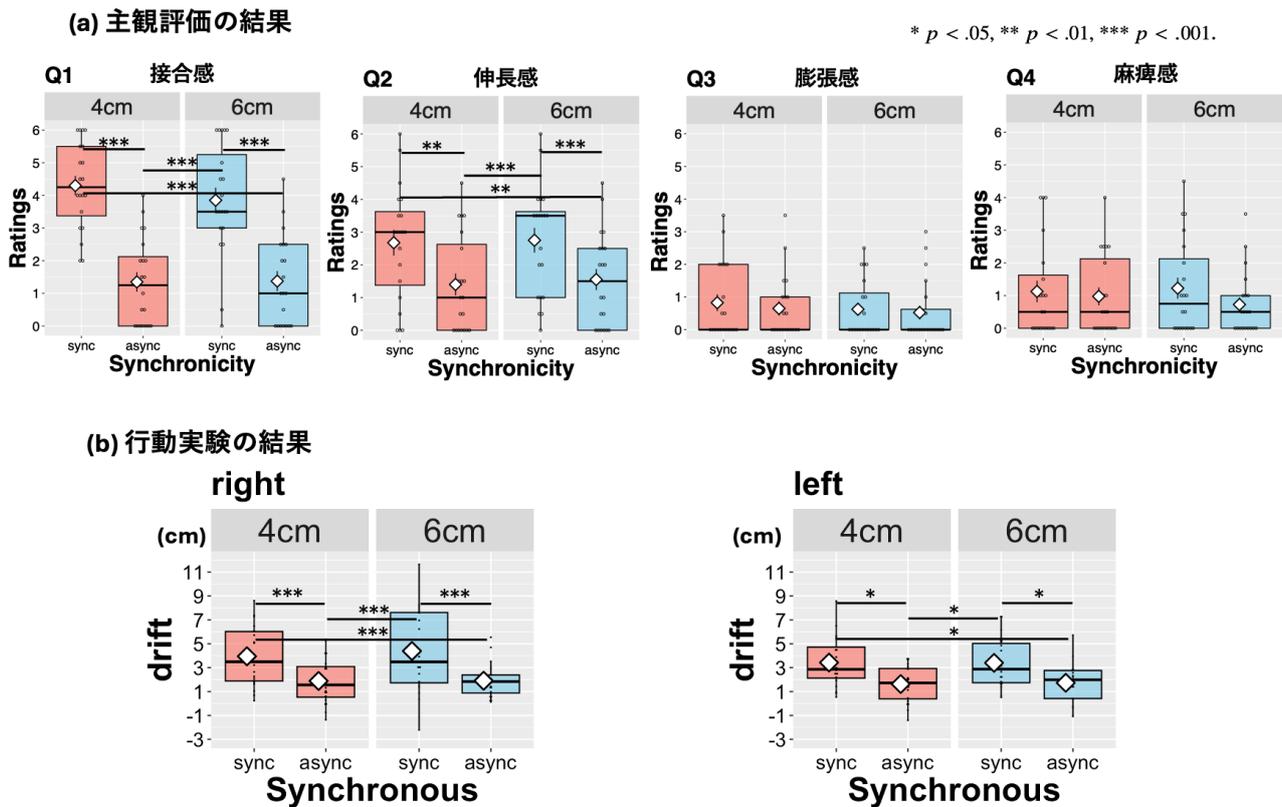
行動実験について、各条件の刺激付与後30秒後、つまり刺激付与終了地点の指先のドリフト量を抽出し、分析に使用した。その結果、右手の指の位置感覚に集中して課題を行う条件(Right)と左手の指の位置感覚に集中して課題を行う条件(Left)の両者において、同期性要因の主効果が認められた(Right:  $F(1, 57) = 30.79, p < .001$ ; Left:  $F(1, 57) = 18.84, p < .001$ )。多重比較の結果、4cm, 6cm両者のsync条件が、4cm, 6cm両者のasync条件よりも有意にドリフト量が大きかった。特に、sync条件では、約3~4cmもの指のドリフト量が計測された(4cm; Right: 3.95cm, Left: 3.43cm, 6cm; Right: 3.95cm, Left: 3.43cm条件では、Right: 4.39cm, Left: 3.96cm)。

### 4. 考察

本研究では、自己の左右の身体に対する接触動作による錯覚の効果を、同期性要因と距離要因から検証することを目的とした。また、行動実験レベルで、自己溶接錯覚の効果を検証することを目的とした。

本研究の結果、自己溶接錯覚の生起にあたり、同期的な接触を要することが明らかになった。これは、従来の身体所有感研究における錯覚の基礎的な誘発条と一致している。

図5 主観評価課題と行動実験の結果



距離要因については、4cm 条件と 6cm 条件との間で有意な差は見られなかった。言い換えれば、自己溶接錯覚は、6cm ほど距離が離れていたとしても、同期刺激の付与により、接合感覚や伸長感覚が生起している。一方、高橋他(2024)では、15cm ほど距離が離れた時に錯覚の効果が小さくなる傾向が見られたことから、今後は、指間の距離を少しずつ変化させながら、錯覚が生起する空間的な制約条件について検討する必要がある。また、指間距離によって接合感覚と伸長感覚の強度がどのように変化していくのか、細かく検討したい。

行動実験においても、指のドリフトの生起にあたり、同期刺激を要することが明らかになった。また、sync 条件では、錯覚体験直後には左右の指が 4cm ほどドリフトしており、指が伸長することが明らかになった。これは、指が繋がったような感覚が生起するメカニズムとして、左右の指の伸長が併発しているという我々の仮説を支持するものであった。今後は、行動実験を活用しながら、自己溶接錯覚のメカニズムの解明を行なっていく。また、自己溶接錯覚における、より最適な行動実験の手法についても検討していく。

## 5. 文献

- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756–756
- Franz, Elizabeth A., & Packman, T. (2004). Fooling the brain into thinking it sees both hands moving enhances bimanual spatial coupling. *Experimental Brain Research*, 157(2), 174–180. <https://doi.org/10.1007/s00221-004-1831-3>
- 佐藤・斎藤・小鷹(2023). 自分の指と他人の指への同期的接触による指の変形感覚の生起, 日本認知心理学会第 21 回大会.
- Sato, Y., Saito, G., & Kodaka, K. (2024). Illusory deformation of the finger is more extensive in the distal than the lateral direction. *I-Perception*, 15(3)
- 高橋・佐藤・横坂・小鷹(2024). 自己の両側身体に対するダブルタッチの効果, 日本認知心理学会第 22 回大会
- Tamè, L., Farnè, A., & Pavani, F. (2011). Spatial coding of touch at the fingers: Insights from double simultaneous stimulation within and between hands. *Neuroscience Letters*, 487(1), 78–82.
- Yokosaka, T., Kuroi, S., & Nishida, S. (2021). Describing the Sensation of the ‘Velvet Hand Illusion’ in Terms of Common Materials. *IEEE TRANSACTIONS ON HAPTICS*, 14(3)