

皮膚変形錯覚における錯覚残存効果の検証

Verification of the Residual Effect of Illusions in Skin Deformation Illusions

佐藤 優太郎[†], 小鷹 研理[‡]
Yutaro Sato, Kenri Kodaka

[†]名古屋市立大学大学院
Nagoya City University
sato12yutaro@gmail.com

概要

我々は、皮膚変形感を生起する透明スライムハンド錯覚において、実際には存在しない架空の皮膚を伸び縮みさせる動作のみを中止してもなお、錯覚が残る現象を発見した。本稿では、この錯覚残存効果が皮膚領域特有のものか、手全体の領域でも起こるのかを質問紙によって検証した。結果は触覚刺激を継続した状況で視覚刺激をキャンセルした時に限り、双方の部位に錯覚残存効果が作用することが示唆された。

キーワード：slime hand illusion, rubber hand illusion, 錯覚残存効果

1. はじめに

我々の研究室が発見したスライムハンド錯覚 (Slime Hand Illusion: SHI) は、強力かつインスタントな皮膚変形錯覚を生起する[4]。これは SHI が身体位置を内的にモニタする筋骨格的 (固有感覚的) な身体像を回避し、心的な皮膚に選択的に作用する錯覚であることが理由と考えられる。翻って、従来のラバーハンド錯覚 (Rubber Hand Illusion: RHI) のパラダイムにおいて報告されてきた身体像に関する知見は[1,3]、主に骨格的身体 (固有感覚ベースの身体像) の制約の範疇にあり、SHI が示すような皮膚的身体の特性を精査していくことで、身体イメージに関する知見が大きく更新される可能性がある。

身体的な錯覚の誘発において、同期的な視触覚刺激は重要な要因である。我々は、この身体錯覚の同期性の原則から外れるように思える皮膚変形錯覚の残存効果を発見した。SHI からスライム取り除いた透明スライムハンド錯覚 (Invisible Slime Hand Illusion: ISHI) において、皮膚変形感が生起している途中で、実験者が体験者からは視覚的に遮蔽された手の皮膚をつまんだままに、実際には存在しない透明な皮膚をつまんで引っ張るような仕草のみを中止すると、体験者は皮膚が変形した形のまま硬直したかのような錯覚を感じる。SHI で皮膚硬直感が生起している際の視覚的な刺激を中止する状態は、通常の RHI では非同期的な条件、す

なわち錯覚が消失する条件に対応する。よって上述の現象は、実験心理学的観点から見てこれまでの RHI のパラダイムでは報告されてこなかった刺激同期モードが存在することを示す興味深い現象であり、この錯覚残存効果の検証には意義がある。

我々の関心は、錯覚残存効果が皮膚領域特有のものであるのか、従来型の RHI が対象としてきた骨格レベルにおいても作用するのかを検証することにある。SHI パラダイムにおける皮膚変形感は、RHI のパラダイムと同じく視触覚刺激の相互作用によって生起する。しかし、皮膚領域における強力な錯覚作用は、固有感覚のような内的な身体位置センサを回避することで実現するものと考えられる。つまり ISHI においても、錯覚像としての透明な皮膚がどの距離まで伸びているのかは、視覚刺激等の外的な入力で決まる。そのため、刺激入力が存在する時を ON、キャンセルされた時を OFF と表記すると、ISHI の誘発中に、触覚刺激は ON のまま、視覚刺激のみを OFF としたとき、触覚刺激に対応する錯覚像としての透明な皮膚位置は、現実の皮膚位置に補正するための知覚的な材料を持たないがために、つまむ動作をやめた位置に固着したままとなる。ISHI における錯覚残存の同期モードは、このような皮膚領域の心的特性に基づいて成立すると考えられる。

以上のような推察から、仮説として、錯覚の残存効果は、皮膚領域での錯覚作用において見られることが予想される。本研究では、ISHI で観測された新たな錯覚同期モードがもたらす錯覚残存効果を、従来型の RHI のパラダイムと比較、検証することを目的とした被験者実験を行う。実験では ISHI と、ダミーハンドを用いない、何も無い空間をなでる RHI である Invisible Hand Illusion (IHI) を採用し[2]、アンケートを用いた主観評価実験を実施する。

Q1-a	skin ownership	何もない空間に「見えない」皮膚が引っ張られているような感触があった
Q1-b	ownership	何もない空間に「見えない」手が触れられているように感じた
Q2	stretchy skin	自分の手の皮膚が通常よりも伸びた感じがした
Q3	proprioceptive drift	自分の手全体が最初の位置よりも上にあるように感じた
Q4	control	自分の手が消失した感じがした

表 1 実験 1 のアンケート

2. 実験

実験参加者は大学生 22 名であった (n = 22, 平均年齢 20.8 歳, 右利き 21 名). 外部からの雑音の影響をなくすため, 実験者は課題中ヘッドホンを着用し, ホワイトノイズを聞いた. 実験環境は卓上に高さ約 55cm の鏡を配置した Mirror Visual Feedback (MVF) の環境をベースとした[5].

実験 1 : ISHI と IHI の錯覚効果の主観評価

実験 1 では, ISHI および IHI における視触覚同期刺激に関する基礎的検証を行った. 参加者は椅子に座り, 鏡背面に腕を配置し, 自分の腕が見えない状態で, 鏡に映る実験者の動作を覗き見るようにした.

ISHI 課題では, 実験者は, 卓上の何もない空間を上方向につまみあげて, 卓上から 10cm または 40cm の範囲の位置に到達した際, 到達した位置の±5cm の範囲を行ったり来たりさせた. IHI 課題では, 鏡面に卓上から 10cm または 40cm の高さの箱を配置し, その箱の平面上の何もない空間をなでる動作を提示した.

視覚的操作に対する触覚要因として, 鏡背面の手に対して, ISHI では手の甲を軽くつまんで引っ張る条件 (pinched & pulled 条件), IHI 課題では, 手をなでる条件 (touch 条件) と, 各課題とも一切触れない条件 (non-touch 条件) を実施した. 以上の距離要因と触覚要因を組み合わせた 4 条件は, あらかじめ決められた重複のない順序で, ISHI 課題は 15 秒間, IHI 課題は 30 秒間実施された. 各課題の直後, アンケートを実施した (表 1). 参加者は各質問項目に対して, 0 (全く感じない) から 6 (非常に強く感じる) の 7 段階の数字で感覚の強さを回答した.

実験 2 : ISHI と IHI における錯覚残存効果の主観評価

実験 2 は ISHI と IHI の残存効果を検証する. 実験は pre 試行と post 試行からなる (図 1). 参加者は実験 2 の課題を開始する前に, 課題の最中にヘッドホンから流れる合図 (サイン波) がなったら即座に, ISHI 課題では「何もない空間に「見えない」皮膚が伸びたままになった感じがした», IHI 課題では「何もない空間に「見えない」手が残ったままになった感じがした」の質問に数字で回答するよう指示された.



図 1 実験 2 の計画

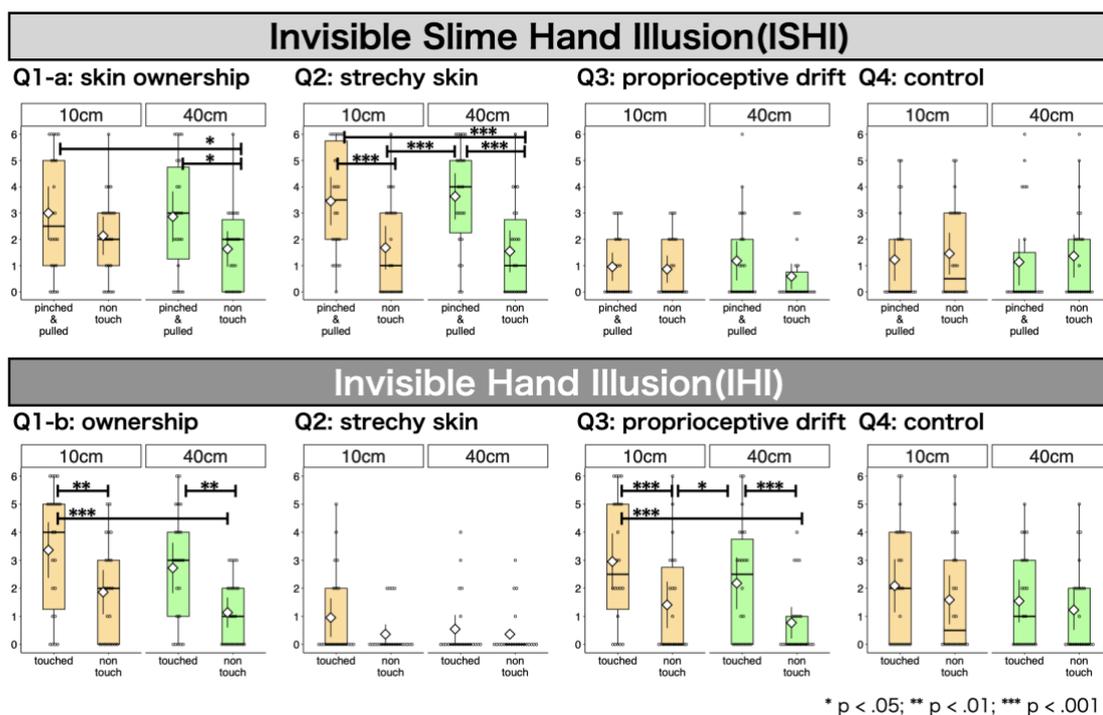


図2 実験1の結果

pre 試行では、ISHI 課題、IHI 課題で錯覚生起条件に対応する操作が行われた。pre 試行を開始してから、ISHI 課題では 15 秒後につまんで引っ張る動作を空中で保持し、IHI 課題では 30 秒後になでる動作を空中で保持した。動作を保持する位置は 10cm または 40cm であった。各条件で動作をストップしてから 3 秒後、ヘッドホンからのサイン波を合図に質問に回答した。

post 試行は pre 試行から連続的に実施された。pre 試行において、ISHI 課題と IHI 課題の双方とも、実験者が鏡面側の手の動作をストップさせてから 10 秒後、実験者の鏡面の手の操作（視覚刺激）と鏡背面の手の操作（触覚刺激）を継続する（ON）場合と中止する場合（OFF）の組み合わせ 4 パターンを実施したのち、さらに 3 秒後、ヘッドホンからのサイン波を合図に再度質問に回答してもらった。

3. 結果

結果を図2と図3に示す。実験1では、各質問項目（表1）について、距離要因（10cm, 40cm）と触覚要因（ISHI: pinched & pulled, non-touch; IHI: touched, non-touch）の要因について、整列ランク変換を施したノンパラメトリックな参加者内 2 要因分散分析と多重比較（holm 法）を実施した。解析結果からは、Touch 要因の主効果が、ISHI 課題では、Q1-a と Q2 で有意にえられたことから皮膚変形感の生起が示唆された（Q1-a: $F(1, 63) = 9.11, p = .004, \eta_p^2 = .13$; Q2: $F(1, 63) = 46.7, p < .001, \eta_p^2 = .0.42$ ）。

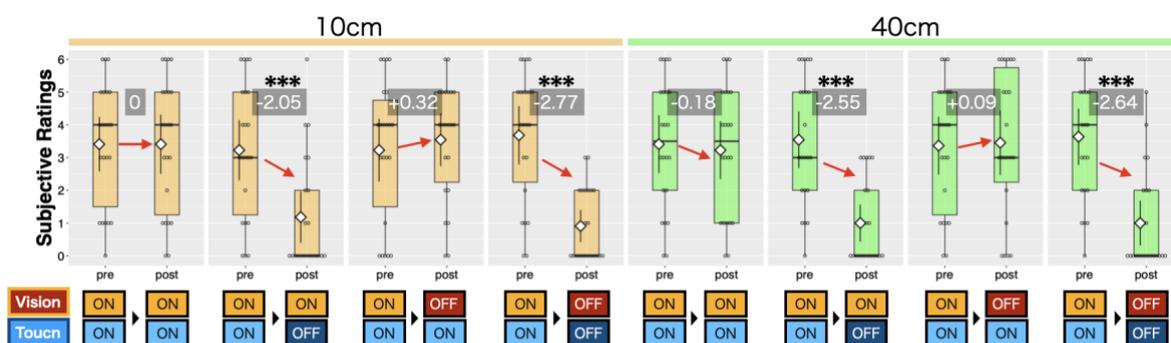
一方で Q3-4 では有意な主効果は得られなかった。IHI 課題では、Q1-b と Q3 で有意な主効果が得られたことから、透明な空間における所有感の生起が示唆された（Q1-b: $F(1, 63) = 22.8, p < .001, \eta_p^2 = .27$; Q2: $F(1, 63) = 35.6, p < .001, \eta_p^2 = .0.36$ ）。一方で、Q2 と Q4 では有意な主効果は得られなかった。Distance の主効果は、IHI 課題で Q3 においてのみ有意に検出され、手の位置の錯覚に制約があることが示唆された。Q3: $F(1, 63) = 12.3, p < .001, \eta_p^2 = .0.16$ 。多重比較の詳細は図2に示す。以上の結果は、ISHI と IHI において視触覚刺激の同期性が重要であることを示す。

実験2では、post 試行の評定値から pre 試行の評定値を引いた値を残存効果得点とし、得点と 0 と比較について t 検定を行った。結果は、ISHI と IHI の双方において、触覚刺激を中止する際にのみ、錯覚効果が有意に下がることがわかった（図3）。なお t 検定は ISHI, IHI それぞれの解析において、holm 法による p 値の調整を行なった。

4. 考察

実験1は、ISHI と IHI において、視触覚刺激の同期が重要性を示し、各錯覚の効果を再現するものであった[2-3]。実験2の結果は、ISHI と IHI の双方で、触覚刺激が ON の状態なら、視覚刺激が ON でも OFF でも

ISHI: 何もない空間に「見えない」皮膚が伸びたままになった感じがした



IHI: 何もない空間に「見えない」手が残ったままになった感じがした

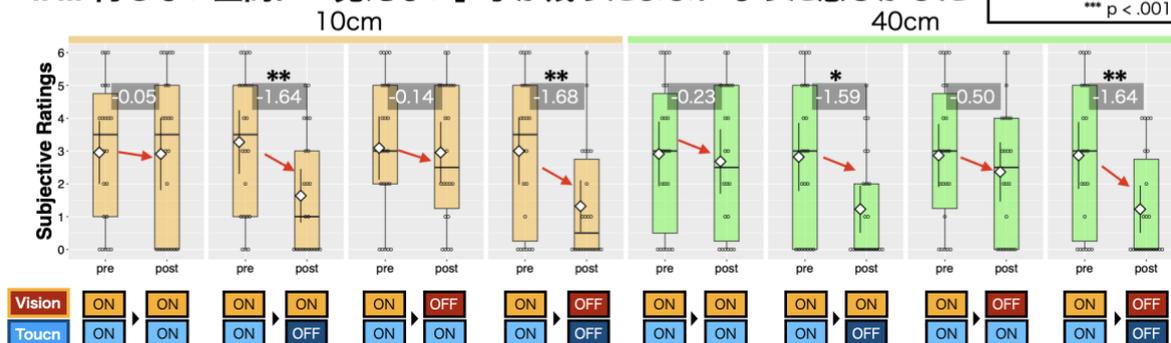


図3 実験2の結果

錯覚効果が統計的なレベルで低下が検出されないことが明らかとなった。

我々の仮説は、錯覚の残存効果は皮膚領域における真的な特性に基づき、ISHIのみで成立すると予測していた。しかし実験2の結果は錯覚の残存効果が皮膚的身体イメージを扱うISHIと、骨格的身体イメージを扱うIHIの双方で作用することを間接的に示唆するものとなった。この結果は、固有感覚の制約下にある手全体を対象としても、残存効果が作用することを示している。当初の予想とは反する結果であるものの、手指全体の領域を対象とした固有感覚レベルの錯覚像に対しても残存効果が作用することを示唆する興味深い結果となった。

一方で、本実験の検証は、主観指標の評価のみであり、IHIの残存効果が、RHI生起の指標となる身体的位置感覚のズレ(固有感覚ドリフト)を伴うレベルで作用していたのかはわからない。実際、実験1における距離の効果は、IHIのQ3固有感覚ドリフトで有意に検出され、従来研究における身体位置錯覚の制約自体は、本研究でも再現されている[3]。今後、皮膚の位置と、骨格を含む手指の位置に関する行動実験レベルで残存効果が異なるかについては検討の余地がある。

文献

- [1] Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' to uch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756–756. <https://doi.org/10.1038/35784>
- [2] Guterstam, A., Gentile, G., & Ehrsson, H. H. (2013). The Invisible Hand Illusion: Multisensory Integration Leads to the Embodiment of a Discrete Volume of Empty Space. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(7), 1078–1099. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00393
- [3] Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2014). The spatial distance rule in the moving and classical rubber hand illusions. *Consciousness and Cognition*, 30, 118–132. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.08.022>
- [4] Kodaka, K., Sato, Y., & Imai, K. (2022). The slime hand illusion: Nonproprioceptive ownership distortion specific to the skin region. *I-Perception*, 13(6), 204166952211377. <https://doi.org/10.1177/20416695221137731>
- [5] Ramachandran, V. (1998). The perception of phantom limbs. The D. O. Hebb lecture. *Brain*, 121(9), 1603–1630. <https://doi.org/10.1093/brain/121.9.1603>