

令和 5 年 5 月 15 日現在

機関番号：23903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11907

研究課題名（和文）身体変形感の誘導における反転投射の解明

研究課題名（英文）Exploring the mechanism of bidirectional mental projection in body transformation perception.

研究代表者

小鷹 研理（Kodaka, Kenri）

名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科・准教授

研究者番号：40460050

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：自分の身体とラバーハンドに対して同時に接触刺激を付与することによって、自分の身体とラバーハンドとが接合する感覚が得られる「ダブルタッチ錯覚」の提案を行い、複数の心理実験により、その心理学的効果を詳細に同定した。具体的には、ダブルタッチの軸に関して、錯覚効果の異方性が存在すること（幅に対して長さ優位）、および接触数を増やすことによって錯覚効果が高まること等を確認した。さらに、ラバーハンド錯覚に対して、スライムの素材を適用することで、皮膚に対して選択的に身体像の変調を促すことができる「スライムハンド錯覚」を発見し、変調距離が従来のラバーハンド錯覚の限界を超過していることを示唆する結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で新たに発見したダブルタッチ錯覚は、体験者の身体と架空の身体（ラバーハンド・アバター）を主観的に接合するものであり、近未来のメタバース空間の設計において、現実空間と仮想空間とを無理のない連続的なかたちでつなぐうえで基礎的な知見をもたらすものである。同じく、本研究の成果であるスライムハンド錯覚は、皮膚領域に選択的な身体変形をつくりだすことが可能な手法であり、仮想空間における身体運用の自由度を（従来想定されていたものよりも）格段に高めるものである。いずれについても、将来的な情報化された現実空間の構築に対する応用が強く期待される。

研究成果の概要（英文）：We proposed the new type of body-ownership illusion called "Double-touch Illusion" (DTI) and "Slime Hand Illusion" (SHI) through this project. DTI can extend the body image of the specific finger through simultaneous touches to the subject's body and the rubber hand. SHI can distort the body image specific to the skin's region by applying the rubber hand illusion with slime material. These illusions are strongly significant because they can overcome the spatial limitation of the classical rubber hand illusion's paradigm.

研究分野：認知心理学

キーワード：身体所有感 身体変形感

1. 研究開始当初の背景

身体変形感の付与に関する研究は、エンタメのみならず、カウンセリングや神経再生医療の分野において、今後大きなブレイクスルーが期待されている。従来の錯覚パラダイムでは、身体の伸縮感覚を与えるには、対象となる身体部位を物理的に引っ張ると同時に、同部位が「伸びる」映像を順方向で呈示することが要件とされてきた。他方、申請者は、最近の下肢の変形感覚に関する研究で、映像の伸縮方向と筋運動の伸縮方向が真逆な場合にも十分な変形錯覚が得られることを発見した（反転錯覚）。こうした効果は、錯覚による身体変容の自由度を倍加させることとなるため、変形感の誘導において極めて経済的である。本研究は、以上の観点から、手足の伸縮感覚の誘発において反転錯覚が生じるための要件を、主に実験心理的な立場で検証することを目的とする。とりわけ伸長反射に着目し、物理的な作用と主観的な作用が真逆であることが、錯覚においてむしろ有効であるとする仮説を詳細に検証する。

2. 研究の目的

本研究は第一に、手脚の伸縮感覚にかかる反転投射が、いかなる認知的機序で生じるものなのかを、新たなインタラクション設計および心理実験などを通して明らかにすることが目的である。並行して、伸縮反転に類する投射現象を一概に「反転投射」と命名し、種々の反転投射の誘発要件を、総論的な視点で包括的に説明する一般原則の同定を目指す。

3. 研究の方法

上記、研究の目的に沿って、被験者実験を行うことにより、反転投射の認知的記事を明らかにする。具体的には、被験者実験によって、伸縮感覚が大幅に低減するような映像世界の実験変数を同定することによって、「反転投射」の成立要件を逆側から検討していく（ことを当初は検討していた）。さらに、錯覚の指標として被験者が手足の主観的な長さを具体的にどの程度まで伸長・収縮できるかについて、すなわち「これ以上伸びたら／縮んだら不自然」である点を示す新しい指標（伸縮限界：proprioceptive drift limitation）を元に、錯覚の効果の比較を行う。

4. 研究成果

当初の「つっぱり運動」を基点とする身体変形を使って研究をすすめるにあたって、変形感覚の行動学的指標を心理実験によって同定する際の困難にぶつかった（これは、主に被験者が、VR環境において明確に手足の先端の主観的な位置を決定することに関する不確実性の問題に起因する）。そのため、「つっぱり運動」の代わりとなる、被験者によって身体像の同定がより明示的となるような錯覚レイアウトを検討する必要性が生じた。（1）で、以上の動機に基づいて新たに発見した「ダブルタッチ錯覚」による研究成果をまとめる。さらに（2）では、半ば偶然に発見した「スライムハンド錯覚」による研究成果を要約する。いずれについても当初の計画からは外れるものであるが、同じく身体変形の自由度を向上させることに資するものであり、当初の目的と照らしても、本研究の成果にみなすものとしてふさわしいものである。

（1）ダブルタッチ錯覚による選択的な身体変形

申請者らは、目を閉じた状態で、自分の一方の手の指と他人の指を、もう一方の手の二本の指で同時に触れることで、自分と他人の指が地続きに接続する「ダブルタッチ錯覚」を発見した。学術的な発表に先立って、2021年11月に実施した研究室の展示会では、63人中52人が、（他人の指ではなくペンを用いた）図1のような状況で、薬指が中指よりも長く感じる感覚をポジティブに回答している。

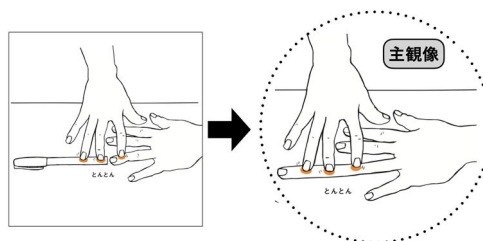


図1 ダブルタッチ錯覚の例

古典的なラバーハンド錯覚と比べてダブルタッチ錯覚の有する利点は、ダブルタッチが自己接触を含むため手全体の固有感覚ドリフトが抑制され、その結果、骨格レベルの身体変形が選択的に誘導される点である。申請者らは、この特性を活用して、主観的な身体変形の様相を実験科学の枠組みで記述する実験を複数行った。具体的には、短距離でダブルタッチのレイアウトのみを変えることによって、変形感の強度にどのような変化が生じるかを検証した。図2の例では、指が長くなったり分厚くなる変形は受け入れられるが、90度に折れ曲がる変形は受け入れ難いことを示している。以上の結果は、身体をラバーハンドに接合するにあたって、軸に関わらず直線的な接合が心理的に受け入れられやすいことを示すものである。

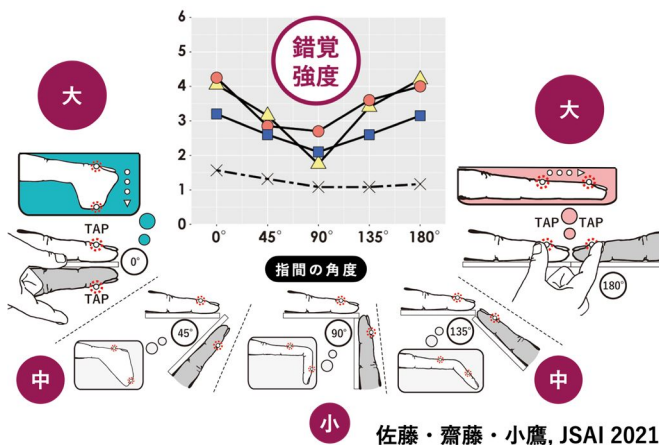


図2 ダブルタッチ錯覚における変形レイアウトの効果

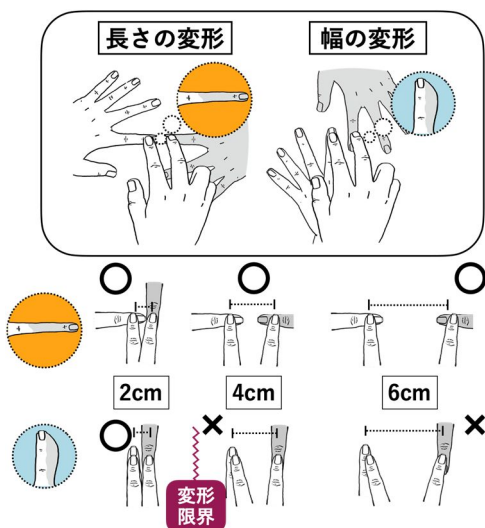


図3 ダブルタッチ錯覚による異方性の検証

の距離を変化させた場合の錯覚感度の変化を計測した。その結果、distal 軸上の変化については、計測範囲の中で有意な減退を示すポイントが存在しなかった一方で、lateral 軸上の変形の場合、2cmと4cm以降の変形では、主観評価において有意な錯覚効果の減退がみられた。この結果は、指の「幅変形」では、変形限界が3cm付近に存在する一方で、「長さ変形」では変形限界が6cm以降に存在することを指している。以上の結果は、身体変形の効果は、身体の軸によって異方性が存在することを示すものである。

さらに、皮膚と爪のうち2点を接触点とするダブルタッチ錯覚の実験により、爪への接触が変形を抑制することが示され、主観的な身体変形には解剖学的な制約が存在することを示唆する結果を得た。

(2) スライムハンド錯覚による皮膚に選択的な身体変形

申請者らは、2021年となって、手の皮膚部分をつまんで引っ張ると同時に、鏡像となるスライムを同方向に引き伸ばすことによって、皮膚が極端に伸張した感覚が得られる錯覚「スライムハンド」を発表した (Top 10 among Best Illusion of the Year Contest)。その後、2022年2月に東京新宿で開催された公開実験では、体

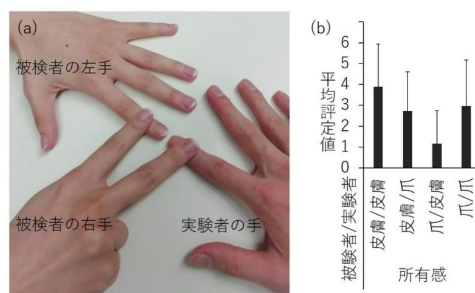


図4 身体変形の解剖学的制約の検証

さらに、本研究では、指の「長さ変形」と「幅変形」の錯覚感度の差異を心理実験によって検証した。具体的には、図3に示すように、ダブルタッチを指の distal 軸上に配置した場合と、lateral 軸上に配置した場合それぞれについて、ダブルタッチ間の距離を変化させた場合の錯覚感度の変化を計測した。その結果、distal 軸上の変化については、計測範囲の中で有意な減退を示すポイントが存在しなかった一方で、lateral 軸上の変形の場合、2cmと4cm以降の変形では、主観評価において有意な錯覚効果の減退がみられた。この結果は、指の「幅変形」では、変形限界が3cm付近に存在する一方で、「長さ変形」では変形限界が6cm以降に存在することを指している。以上の結果は、身体変形の効果は、身体の軸によって異方性が存在することを示すものである。

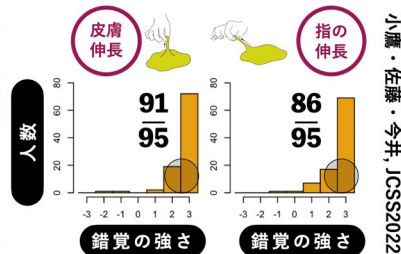


図5 スライムハンドの実演と公開デモのアンケート結果

小鷹・佐藤・今井, ICSS2022

験者の 96%が、皮膚の伸長感覚を強力に感じるという結果を得ている(図6)。引き続き実施した被験者実験により、主観的様相としては、骨格全体の移動感覚は抑制され、つままれた皮膚のみが引き伸ばされた感覚を得ていることが明らかとなった。40cmのスライム伸張に対して、35cm以上の皮膚伸張を報告した被験者が22人中9人にも及ぶことなどの知見を得ている。とりわけ後者の皮膚変形量は、従来報告されている固有感覚のドリフト限界を遥かに凌駕するものである。

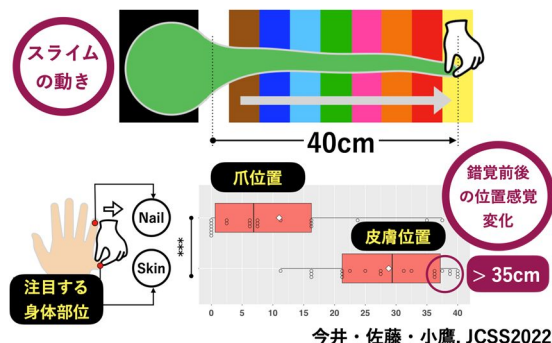


図6 スライムハンドによる爪・皮膚の位置感覚の移動量(水平方向)

(参考文献)

- 佐藤優太郎・齋藤五大・小鷹研理：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，日本認知科学会，口頭発表，2021.9 (Organized Session: プロジェクションのモデル化と応用へ向けて)
- 小鷹研理・佐藤優太郎・齋藤五大：ダブルタッチ錯覚による身体像の接合 - 非遮蔽同期による新たなラバーハンド錯覚パラダイム - ，日本認知科学会，口頭発表，2021.9 (Organized Session: プロジェクションのモデル化と応用へ向けて)
- 齋藤五大・佐藤優太郎・小鷹研理：自分の指を他人の指とつなぐ：ダブルタッチ錯覚における指の解剖学的な制約，日本認知心理学会，ポスター発表，2022.2
- 今井健人・佐藤優太郎・小鷹研理：「Slime Hand」における主観的な皮膚伸長距離の同定，日本認知科学会，ポスター発表，2022.9
- Kodaka, K., Sato, Y., & Imai, K. (2022). The slime hand illusion: Nonproprioceptive ownership distortion specific to the skin region. *I-Perception*, 13(6). <https://doi.org/10.1177/20416695221137731>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kenri Kodaka, Yutaro Sato and Kent Imai	4. 巻 13-6
2. 論文標題 The slime hand illusion: Nonproprioceptive ownership distortion specific to the skin region	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 I-Perception	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/20416695221137731	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Kento Imai, Haruka Kayano, Kenri Kodka
2. 発表標題 XRAYHEAD
3. 学会等名 SIGGRAPH Asia 2022 XR（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小鷹 研理, 佐藤 優太郎, 今井 健人
2. 発表標題 Prospects for the Study of Slime Hand
3. 学会等名 2022年度日本認知科学会第39回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今井 健人、佐藤 優太郎、小鷹 研理
2. 発表標題 「Slime Hand」における主観的な皮膚伸長距離の同定
3. 学会等名 2022年度日本認知科学会第39回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤優太郎、齋藤五大、小鷹研理
2. 発表標題 クアドタッチ錯覚による所有感生起の連鎖
3. 学会等名 2022年度日本認知科学会第39回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤優太郎、齋藤五大、小鷹研理
2. 発表標題 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
3. 学会等名 2021年度人工知能学会全国大会（第35回）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小鷹研理、佐藤優太郎、齋藤五大
2. 発表標題 ダブルタッチ錯覚による身体像の接合 - 非遮蔽同期による新たなラバーハンド錯覚パラダイム -
3. 学会等名 2021年度日本認知科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤優太郎、齋藤五大、小鷹研理
2. 発表標題 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
3. 学会等名 2021年度日本認知科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤五大、佐藤優太郎、小鷹研理
2. 発表標題 とどかない後ろ手をつなぐ：自己接触錯覚が起きると指や腕も伸びる
3. 学会等名 2021年度日本認知科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今井健人、佐藤優太郎、小鷹研理
2. 発表標題 XRAYSCOPE - ハーフミラーを用いたMVFによる身体の透視および透触視 -
3. 学会等名 2021年度日本認知科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 元橋洸佐、佐藤優太郎、小鷹研理
2. 発表標題 グラウンドチルト・ルームチルト混合VR環境における垂直認知
3. 学会等名 2021年度日本認知科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤優太郎、齋藤五大、小鷹研理
2. 発表標題 指の長さ vs 指の幅：ダブルタッチ錯覚における変形距離限界
3. 学会等名 日本認知心理学会第19回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤五大、佐藤優太郎、小鷹研理
2. 発表標題 自分の指を他人の指とつなぐ：ダブルタッチ錯覚における指の解剖学的な制約
3. 学会等名 日本認知心理学会第19回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kousuke Motohashi, Koyo Mori, Kenri Kodaka
2. 発表標題 Room Tilt Stick
3. 学会等名 SIGGRAPH Asia 2021 XR (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kodaka Kenri, Anraku Taiki, Okada Kansuke, Mori Koyo
2. 発表標題 Elastic Legs Illusion
3. 学会等名 ACM CHI 2020 Interactivity (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡田亮助、小鷹研理
2. 発表標題 脚伸縮感覚の誘導要因における主体感と筋運動の分離
3. 学会等名 日本認知科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小鷹研理
2. 発表標題 「指サックの指錯覚」 セルフタッチ錯覚の自己誘導における共感の動員
3. 学会等名 日本認知科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 小鷹研理	4. 発行年 2023年
2. 出版社 講談社（ブルーバックス）	5. 総ページ数 256
3. 書名 からの錯覚 脳と感覚が作り出す不思議な世界	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------