

平成 30 年 5 月 9 日現在

機関番号：23903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21281

研究課題名(和文)モーフィングに基づく非相似的な身体像の誘発に関する研究

研究課題名(英文)Illusory exaggerated body-image induction based on morphing method

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) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：HMD・鏡・リニアアクチュエータなどを活用して、複数の感覚に与える刺激(視覚イメージ・筋肉への負荷・振動刺激など)を時間的・空間的に同期して与えると同時に、それらの変化を積極的に誘引する環境を設計することで、実際にはありえない身体の動的なイメージ(腕が伸びる、指が伸びる、実際には動いていない腕が移動する)を与えるシステムを構築した。また、これらのシステムについて、各種の被験者実験を行い、錯覚に深く関わる感覚要因を抽出することに成功した。

研究成果の概要(英文)：This project successfully constructed systems that give an illusory exaggerated body-image (elastic arm/finger or unrealistic hand motion) based on multi-sensory integrated stimulations including CG visual image, muscle-load, and vibration changing dynamically. Some experiments demonstrated the effectiveness of our proposal method.

研究分野：認知心理学

キーワード：身体変形感 身体所有感 Virtual Reality Mirror Visual Feedback HMD

1. 研究開始当初の背景

今後、SNSの場は、HMD等を介したより現実に近い空間へと移行することが予想される。このとき、メディア空間における社会性を設計するうえで、メディア空間における一つの選択が、ユーザ自身の身体的行為に由来するものと意識させることは、重要な指針となる。従って、メディア空間の中にユーザの疑似身体を自然なかたちで（文字通り、それが自分自身の身体であると錯覚させるように）投影する工学的技術は、今後、極めて重要な意味を持つ。

こうした工学的応用を実現するうえで、身体所有感 (body ownership) や身体像 (body image = 身体に対する主観的なイメージ) の可塑性を巡る近年の脳科学周辺の発見は、非常に示唆に富むものである。これらの研究によると、通常、我々は自分自身の身体そのものを所有しているという感覚 (所有感) を有するが、実はこの関係は自明ではなく、種々の感覚刺激を同期させることで、身体像は現実の身体から遊離し、人形や映像内のアバター等に対しても身体所有感が投射される。これらの錯覚を誘起するうえでの共通の枠組みは、1) 視界から隠された身体部位への触覚刺激・2) 対応する疑似身体に対する接触動作を示す視覚刺激・3) 1・2の同期であり、これは1998年に発表された Rubber hand illusion (RHI) の誘発スキーマに従うものである。RHIの誘発スキーマは「メディア空間内部の第二の身体」に向けた身体所有感の投射を促進する。工学的応用の観点からは、この「第二の身体」の設計は、メディアの特性を最大限活用するべく、よりプログラマブルであることが望ましい。例えば、主観レベルで手足の長さを伸縮させることができれば、新しい世界における行動の幅が一気に広がるだろう。Ramachandranらは、前腕部分の極端に長い人形を疑似身体としてRHIを誘発した場合でも身体像の投射が生じることを示したが、錯覚強度は低いレベルに留まるものであった。この研究に限らず、一般に、現実の身体像と極端に異なる位置・形状を持つ疑似身体の呈示は錯覚強度を著しく低下させる。

2. 研究の目的

本研究では、メディア空間内において、特定の身体部位が極端に長い、あるいは位置が極端に異なる（非相似的な）疑似身体に対する身体所有感の投射を促進するべく、従来のRHI誘起原理を拡張する新しい錯覚誘発スキーマを検討する。

3. 研究の方法

RHIの場合、錯覚の誘起プロセスが概ね不可逆的であるため、ひとたび錯覚がONの状態になると、刺激パターンに質的な変化がない限り、錯覚状態は安定的に維持される。本研究はこの点に着目し、身体像が非相似的イメージへとスワップする<目標誘起状態>に至る過程で、非相似的な空間属性を持つ疑似身体をはじめから並置させるのではなく、まずは現実の身体との空間的な対立の少ない疑似身体と対を形成し（親和的グルーピング）、同期刺激により相似的な身体像を獲得した後に、錯覚状態を維持したまま、疑似身体をモーフィングすることによって徐々に身体像の非相似性を高めていく、迂回かつ段階的な誘導スキーマを採用する。

以上のモーフィングを基礎とする誘導スキーマは、その誘導プロセスの中で、特異的な身体像の変形感覚（伸縮感覚や移動感覚）を生み出す。逆から言えば、その種の変形感覚の誘発の可否が、間接的に非相似的な身体像を獲得できているか否かを指し示す指標として機能し得ると考えることができる。以上の観点から、本課題の中心的関心は、「モーフィング時の変形感覚の誘発」に置かれる。こうした変形感覚を適切に付与することを確認することで、結果的に、当初の目的である「非相似的な身体像に対する同一化の促進」への寄与を示すことができる。

4. 研究成果

本課題は、テーマそのものがユニバーサルなミッション（非相似的な身体像の獲得）を掲げるものであるため、三年間の課題期間を通して、多数の関連プロジェクト（A:指伸縮、B:腕伸縮、C:影、D:鏡、E:幽体離脱）を生み出すに至った。本報告書では、そのなかでも、本報告書では、直接的もしくは間接的に変形感覚の誘発の可否を扱っているA・B・C・Dのプロジェクトについて、重要な成果のみを簡潔に抜粋する。

（A：指の伸縮感覚）

振動同期による自己接触錯覚（STI：Self-touch Illusion）の誘発中に、左右の手の位置を物理的に制御するとともに、それに連動するように動的に指の長さが伸縮するCGイメージをHMDを通して呈示することで「固有感覚-視覚間同期」を設計し、これにより新たに、指の伸縮感覚を誘発する装置を考案した。

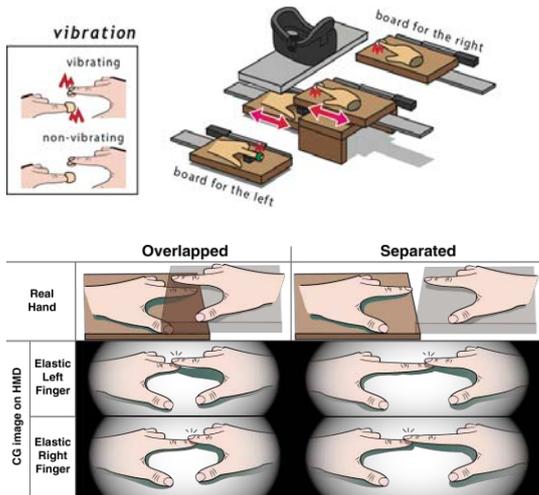


図1：指の伸縮感覚を誘発する「固有感覚 - 視覚」同期のデザイン（上）と実施した実験要因のデザイン

考案した装置を用いた伸縮感覚の誘発に伴う、各モダリティの効果を検証したところ、振動刺激の付与が、STIに加えて伸縮感覚をも増幅することが確認された。振動同期がSTIの誘発に本質的な役割を果たしていることは様々な文献で報告されていることを踏まえると、振動同期によって得られる左右の人差し指が接合しているという感覚が、映像の中で明示的に誘導された伸縮感覚を強化する役割を果たしていることが予想される。他方で、映像の付与そのものによる効果は、左手の人差し指が伸縮するタイプの映像（図1におけるElastic Left Finger）を提示した場合にのみ確認された。

本実験装置は、その空間特性により「右人差し指で左人差し指を押す」かたちでのSense of Agencyを伴う身体イメージが誘発されるため、動作の被主体である左人差し指の変形の方が、心理的に受け入れやすい状態にある。実験で得られた側方性の傾向は、こうした左右の指の「押す-押される」に関する主体感の非対称性が強く影響しているものと考えられる。

（B：上肢の伸縮感覚）

HMD内で提示される身体のイメージと現実の身体への刺激を適切に連合することによって、「腕の長さが伸びたり縮んだりする変形感覚」を誘発するインタラクション・システムを設計した。具体的には、対面者と一対一でポールを引っ張り合う過程で、「体験者の腕が強く引っ張られるほど、体験者の自重（体重計で計測される重量）が大きくなること」に着目し、この自重変化を基に「腕を引っ張られる強さ」を推定する仕組みを構築した（図2）。この手法によって、直接的な計測器を一切装着しないストレスフリーな状態で、体験者より筋肉の負荷（に準じた指標）を取り出すとともに、対面者より腕を



図2：自重変化と腕の伸縮感覚との連関のデザイン

引っ張られることに応じて、あたかも自分自身の腕が実際に引き伸ばされているかのように感じられる、全く新しいインタラクション・システムを構築することに成功した。

この体験システム（「Stretchar(m)」：ストレッチャー）は、2017年9月16-18日に東北大学で行われた情報処理学会シンポジウム・エンターテインメント・コンピューティング2017において、一般の学会に初めて公開された。このときの発表で本システムを実際に体験された37人に簡単な事後のアンケートを行い、「腕が伸びる感覚」の有無について、-3から+3までの7段階で評価してもらったところ、73%（27人/37人）の人が「腕が伸びる感覚」を「強く」（+2）または「大変強く」（+3）感じていることがわかった。また否定的な評価（-1,-2,-3）を回答した者が、37人中わずかに2人（5%）であったことから、本システムが、実際に多くの人に「腕が伸びる感覚」を体感してもらえるものであること、合わせて、非常に個人差の少ない手法であることも明らかとなった。なお、このときのデモ発表は、同学会よりUNITY賞を受賞している。

（C：影のイメージへの同一化）

通常、「からだの錯覚」を引き起こすためには、実験者による触覚動作の介在、あるいは体験者本人による運動動作（および「偽の手」の動きの同期）が必要であった。こうした積極的な同期機構を必要としない（つまり、ただ手を置いているだけで錯覚を誘発する）唯一のディスプレイとして「鏡」が知られてい

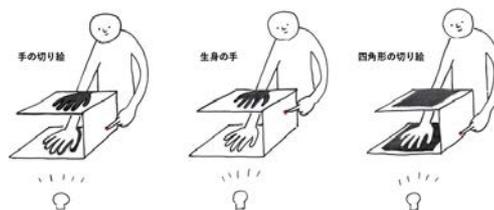


図3：被験者実験で比較した三種類の影のセットアップ

るが、鏡像の特性上、錯覚によって誘発できる「位置感覚」の変移は、水平方向に限られていた。本研究では、影現象に着目し、手の真上の位置に「手の影」が投影されるような、簡単な装置を作成したところ、対照条件（「長方形の影」）と比較して、「手の形の影」を見たときに、影に対する主観的な「身体所有感」が向上することがわかった。さらに、興味深いことには、何の加工もしない手の影（innocent body-shadow）を見ているときに限って、手の動きに関わらず、手の位置感覚が「手の影」の方向である垂直軸上方に移動すること（実験の配置では、平均的に2～3cmの上昇）を、統計的に確認した。以上の結果は、影が身体所有感の水準で変調を引き起こす特性を有していることを学術的にはじめて示す点で価値があると同時に、（本課題との関連で述べるならば）幾何学的な図形のような身体に対して非相似的なイメージに対する錯覚を誘発することが困難であることを追認するものでもある。

(D：鏡による上肢の移動感覚)

MVF (Mirror Visual Feedback) のセットアップをベースとし、両手は一切動かすことなく鏡のみを左右に動かすことによって、鏡面背後の手の移動感覚を誘発する装置を考案した。従来の MVF によって生じる移動感覚 (Kinesthetic Illusion) は、鏡像の変化（視覚）と、鏡面手前の手を動かしていることによってもう一方の手に影響する Interlimb Coupling (固有感覚) の双方の関与によって誘発されていたが、これらの要因が単独で移動錯覚に果たす役割については不明のままであった。本装置は、そのメカニズムの特性上、これらの要因を分離し、純粋に視覚的な要因のみを取り出して移動感覚に与える影響を吟味できるものであるため、学術的にも極めて価値のある試みである。

考案した装置を用いて被験者実験を行い（図4）、視覚情報が単体で運動錯覚の誘発に影響することを確認した。詳細な解析によって、鏡像の移動方向に対する移動感覚を打ち消すためには、実際の手に対して、それとは逆方向に（平均すると）約25%程度の速さで移動させる必要があること、すなわち、運動錯

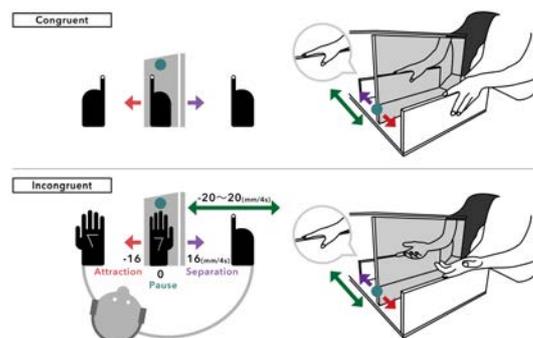


図4 MVF 実験のセットアップ

覚を生み出すにあたって、視覚情報と固有感覚の寄与がおよそ1:4の割合であることがわかった。これは、従来の RHI のパラダイムで得られている複数感覚統合に関する知見と一致している。さらに、身体所有感の影響を解析したところ、鏡像が身体中心線に近づく条件の時にのみ（図4の attraction）、身体所有感がポジティブな運動錯覚の誘導にポジティブな影響を持つことが示された。この点は、本研究で生じる移動錯覚が、身体近傍空間の枠内でコードされるものであることを示唆するものである。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計2件）

1. Yuki Ishihara and Kenri Kodaka, “Vision-driven kinesthetic illusion in mirror visual feedback” *i-Perception*, *accepted*
2. Kenri Kodaka and Ayaka Kanazawa, “Innocent Body-Shadow Mimics Physical Body” *i-Perception*, 8(3), 2017.5

〔学会発表〕（計16件）

1. 小鷹研理:「HMDによる構成的空間を舞台とした「三人称的自己」の顕在化」、2018年度人工知能学会全国大会、招待講演、鹿児島（城山観光ホテル）、2018.6
2. Kenri Kodaka and Koyo Mori, Recursive Function Space: “Exploring Meta-cognitive Scenery using HMD” ACM Siggraph Asia 2017, VR Showcase, Bangkok, 2017.11
3. Kenri Kodaka and Koyo Mori: “Stretchar(m) Makes Your Arms Elastic” ACM Siggraph Asia 2017, VR Showcase, Bangkok, 2017.11
4. 小鷹研理:「HMD空間における三人称定位：幽体離脱と Own Body Transformation からのアプローチ」、日本認知科学会第34回大会、口頭発表、金沢大学、2017.9 (Organized Session: プロジェクション・サイエンスの基盤と展開)
5. 室田ゆう・森光洋・石原由貴・小鷹研理: 「ELBOWRIST: HMDを用いた第二の肘を介した背面空間の探索」、情報処理学会シンポジウム・エンタテインメントコンピューティング 2017、発表ノート、東北大学、2017.9.18
6. 小鷹研理・森光洋:「Recursive Function Space: 左手を節、右手を葉とする再帰的視点変換によるメタ認知空間の探索」、情報処理学会シンポジウム・エンタテイン

- ンメントコンピューティング 2017, デモ発表, 東北大学, 2017.9.16
7. 石原由貴・森光洋・室田ゆう・小鷹研理: 「HMDを介したポールを引っ張り合うことによる腕が伸縮する感覚の誘発」, 情報処理学会シンポジウム・エンタテインメントコンピューティング 2017, デモ発表, 東北大学, 2017.9.16
 8. Yuki Ishihara, Kenri Kodaka: “Mirror visual feedback with movable mirror makes an illusory feeling of the hand movement”, the 31st International Congress of Psychology 2016, Poster (Rapid Communication), Yokohama, 2016.7
 9. 石原由貴・小鷹研理: 「Mirror Visual Feedback を活用した鏡の移動による上肢の移動感覚の変調」, 第 21 回情報処理学会シンポジウム・インタラクション 2017, 口頭発表, 明治大学, 2017.3.4
 10. 森光洋・小鷹研理: 「「押す-押される」の非対称性が身体伸縮感覚の誘発に与える影響」, 日本認知心理学会第 14 回大会, 口頭発表, 広島大学, 2016.6
 11. 金澤綾香・小鷹研理: 「影による身体所有感の変調におけるモダリティーの効果」, 日本認知心理学会第 14 回大会, 広島大学, 2016.6 (発表キャンセル)
 12. Ayaka Kanazawa, Kenri Kodaka: “Anatomical similarity is mandatory to provide body ownership toward body-shadow“, Neuroscience 2015, Poster, Chicago, 2015.11
 13. Koyo Mori, Kenri Kodaka: “Inducing sense of finger extension or retraction based on self-touch illusion and proprioception-vision correlation”, Neuroscience 2015, Poster, Chicago, 2015.11
 14. 森光洋・石原由貴・小鷹研理: 「自己接触錯覚をもとにした身体伸縮感覚の誘発における各モダリティーの効果」, 第 13 回日本認知心理学会大会, 口頭発表, 東京大学, 2015.6
 15. 金澤綾香・小鷹研理: 「影に引き寄せられる手」, 第 13 回日本認知心理学会大会, 口頭発表, 東京大学, 2015.6
 16. 石原由貴・小鷹研理: 「複数感覚間同期による抽象形状に対する身体変形感の誘発」, 第 13 回日本認知心理学会大会, デモ発表, 東京大学, 2015.6

6. 研究組織

(1)研究代表者

小鷹 研理 (KENRI KODAKA)

名古屋市立大学芸術工学研究科・准教授

研究者番号: 40460050