

仮想的な身体イメージの獲得を「学習」するための装置 — ラバーハンドを介してもう一方の手に触れる方法 —

小鷹 研理^{1,a)} 石原 由貴¹

概要: 近年、脳科学の実験において、「セルフタッチ・イリュージョン」と呼ばれる、仮想的な身体イメージに関する錯覚を誘発する手法が知られている。通常、この錯覚を誘発するためには、実験者による一方向的な動作の誘導が要求され、実験者が能動的に身体イメージを獲得しようとする過程が無視されてきた。本研究では、この錯覚を、被験者の能動的な動作のみを利用して誘発する装置を開発したので報告する。本装置は、錯覚の生成において能動性が関与する種々の問題に光をあてるのみならず、現在の脳科学における重要な「身体イメージ」の概念を啓蒙するうえでも有益なツールとなることが期待される。

Device for Learning to Obtain an Alternative Body-Image

KODAKA KENRI^{1,a)} ISHIHARA YUKI¹

Abstract: The self-touch illusion is one of the illusion in which we can obtain an alternative body image, while a skilled guide by the experimenter has been conventionally demanded to induce the illusion. In this document, the authors propose the device to induce the illusion without the experimenter (only with a single subject). The device contributes not only to unravel how the alternative body image is learned to obtain in the experiment but also to allow the common people to experience the body image distortion in an intuitive manner.

1. 背景

脳科学の進展に伴い、種々の刺激によって現実に忠実でないパターンの身体感覚が生成される多くの事例が紹介されている。例えば、Blanke は、右脳の下頭頂小葉の角回周辺に電気刺激を与えることによって、被験者に「体外離脱」に似た体験が誘発されることを示した [1]。この事実は、身体を「所有する感覚」(Ownership) が本質的に編集可能なものであることを鮮やかに示している。このような、脳の処理によって生成される、自身の身体に関する意識的な表象は「身体イメージ」(Body Image) と呼ばれ、人間の認知の仕組みを理解するうえで非常に重要な概念となっている。

比較的簡単な手続きで仮想的な身体イメージを誘発する際に参照される代表的な錯覚として、1998年にBotvinickらによって発表されたラバーハンド・イリュージョン(RHI:

Rubber Hand Illusion)をあげることができる [2]。RHIは、被験者の視界から隠された手と、被験者の視界内に置かれたラバーハンド両者に対して、時間的・空間的に同期した触覚刺激を与えることによって誘発される。この触覚刺激を与えるのは、通常、実験者の仕事である。RHIは、その後、多くの研究者によって様々な条件で追試されるとともに、錯覚の強度を計測するための数多くの手法が提案されてきた。錯覚強度が強ければ強いほど、隠された手の位置感覚(主観的に報告される)がラバーハンドの方向に移動することはよく知られた事実である(proprioceptive drift)。Ehrssonらによって2005年に発表されたセルフタッチイリュージョン(STI: Self-Touch Illusion)は、発表当時、somatic RHI[3]と名付けられたように、誘発する方法においてRHIと類似した錯覚であるが、視覚を伴わない点ではRHIと決定的に異なる。STIは、被験者の一方の手とラバーハンドに同期した触覚刺激を与える点でRHIと同様であるが、ラバーハンドに与える触覚刺激は、被験者の

¹ 名古屋市立大学芸術工学研究科
Chikusa, Nagoya, Aichi 464-0083, Japan

^{a)} kenri@sda.nagoya-cu.ac.jp

もう一方の手を介して与えられる(図1)。このとき被験者は目を閉じているため、ラバーハンドへの接触行為は実験者によって誘導される必要がある。以上をまとめると、RHIもSTIも、それを誘発する過程で、実験者(主)から被験者(客)への一方向的な誘導手続きが必要とされてきた。



図1 The original self-touch illusion induced by an experimenter (the picture was extracted from [3])

(体性感覚の伴わない)純粋な視覚的な錯覚の多くは無意識的な処理過程に依存するものである一方、RHIやSTIの効果は、意識的過程に多くを依存している。実際、視覚的な錯覚の多くは、刺激付与とほとんど同時に有無を言わさぬかたちで発現するが、RHIやSTIの場合、刺激付与後すぐに強い効果が得られることはまずない。通常、いずれの錯覚も刺激に曝されてから(発現する場合は)10秒から30秒が経過してはじめて、明確な錯覚状態が得られるようになる[4]。また、刺激に曝される時間の増加に伴い、錯覚の強度も高められるのが一般的である(ドリフト量の増加などによって確かめられる)。以上は、錯覚の誘発過程において、同期刺激によって示唆される「第二の身体イメージ」を意識的に受け入れるために、(予測と結果の吟味による)再帰的な処理が関与していることを示唆している。

このように、RHIやSTIは意識的な態度によってその効果が大きく左右されるため、従来の枠組みにおける実験科学の枠内では、扱いの難しい対象であったといえる。例えば、RHIやSTIにおいて、被験者には、一切の事前知識が与えられないのが通常である。このとき、被験者は、(実験がすみ実験者の意図を汲み取ると)錯覚に対して「だまされまいとするか、積極的に偽のイメージに没入するか」いかなる態度をもとめることもできる。そのような態度の違いは、得られる結果に大きな違いを持たず可能性がある。実際に、我々は最近、STIにおいて、意識的に錯覚の像を結ぶように指示した条件で、より強い錯覚の効果を得られることを示した[5]。こうした結果は、RHIやSTIを「一切の暗示なしで」与えることが、結果的に、実験の不透明さを高めるという矛盾を生むことを意味している。意識的過程に強く依存する錯覚を実験で扱う場合に特有のこうした事

態を回避するためには、これまで忌み嫌われていた「暗示」を、むしろ、実験変数の中に積極的に組み込むべきであろう。すすんで種を明かすことによって、体験者が「意識的に新しい身体イメージの像を結ぼうとする」能動的な過程に光をあてることが可能となる点は、大きな魅力である。

以上の視点に立つと、従来の実験において前提とされてきた「実験者-被験者」の一方向的な主客関係は、被験者が能動的に錯覚の獲得を「学習する」うえで不都合である。具体的には、実験者の誘導が無くても、被験者が「一人で」試行錯誤を行いつつ新しい身体イメージの獲得を学習できるように実験装置はデザインされるべきである。以上を踏まえて、本研究では、STIにおける実験者の役割を自動化し、被験者が単独で錯覚を得ることが可能な装置を開発したので報告する。

2. システム

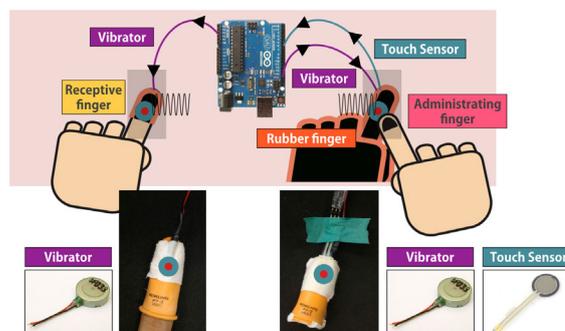


図2 Apparatus for inducing self-touch illusion

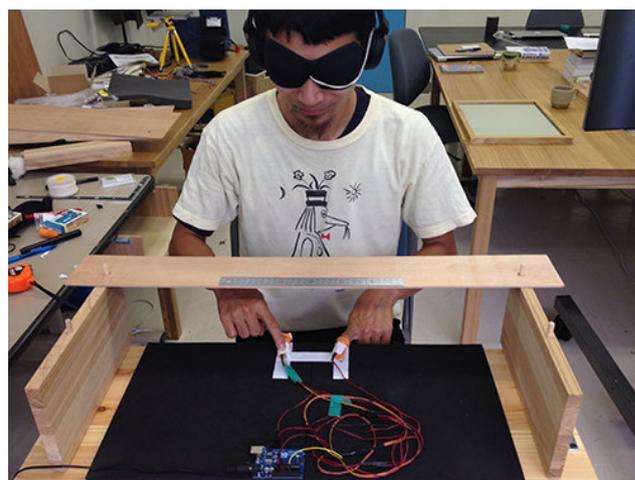


図3 The self-touch illusion with the proposed system

本システムは、体験者の左右の人差し指 - 「触れる指」(Administrating finger)、「触れられる指」(Receptive finger) - に、「触れる指」からの接触を実際に受ける「ゴムの指」(Rubber finger)を加えた三本の指が関与する(図2)。なお、「触れる指」と「触れられる指」の左右の区別

は任意である。

STIにおいては、「触れる側の触覚」と「触れられる側の触覚」の圧力が、時間的にも強度的にも同期している必要がある。熟練した実験者によって調整されてきたこれらの作業をシステムによって自動化するため、Rubber fingerの内側の上面に接触センサと振動モータを、さらに「触れられる指」の上面にやはり振動モータを貼付した。さらに、接触センサが圧力を感知すると同時に空間的に離れた2つの振動モータが振動するように設計した。これにより、体験者はRubber fingerに接触している間、「触れる指」の底面と「触れられる指」の上面に、時間的に同期した、さらに圧力的にも均一な刺激が加えられることになる。この状態は、空間的な位置の相違の問題を無視すれば、まさに「自分の一方の指を、もう一方の指に押し付ける」セルフタッチの状況に酷似している。体験者が目を閉じた状態で、様々な時間パターンでRubber fingerに接触を与えることで（押しのままの状態、あるいは断続的に押し離したりを繰り返す）、体験者の脳は、この接触感覚の一致が、偶然によるものではなく「セルフタッチ」によるものであるという、仮想的な身体イメージに関する仮説を採用することができるようになる。

3. 考察 – 本システムの意義 –

最後に、提案したシステムの持つ意義について、複数の観点から述べる。第一に、本システムは、脳科学の諸分野における心理実験の道具として多いに活用することができる。素朴に言って、実験者が錯覚の誘導に関与する必要が無いため、実験系を簡素にデザインすることができる点は重要な前進である。また、従来の実験系では、実験後に参加者にアンケートをとると、実験者の誘導の仕方に一定の癖があり、そのことが錯覚の生成を阻害していたことを示唆するコメントが得られることが少なからずあった。本システムにおいて、体験者は、そうした違和感をフィードバックとして、自己のアクションに能動的に反映させることができる。このような能動性は、結果的に、錯覚を感じることができる被験者の数を大幅に増やすことにつながるだろう^{*1}。

第二に、本システムは、「錯覚の学習」という新しいコンセプトを提起するものである。予備実験などを通して、（筆者を含め）実験者が、本システムの刺激を繰り返し受けていると、数秒程度で「錯覚状態に入れる」ように訓練されていくことは経験的な事実である。このとき体験者の意識は、「錯覚した際に得られるであろう身体イメージ」を先取りしつつ、より迅速に新しい身体イメージへの切り替えを促すべく、意識状態を能動的に微調整するような状態になる。純粋な視覚系の「だまし絵」においても、複数の視

^{*1} 錯覚を感じる被験者の絶対数が一定数存在することは、種々の変数（距離や姿勢）の効果を調べるタイプの実験が成立するための最低条件となる。

覚パターンを巡って、上記の過程と同様な道を辿る一方で、STIにおいては、多様な感覚情報（運動感覚・触覚・被触覚・心的な視覚イメージ^{*2}・位置感覚）の時系列を統合させる必要があるため、学習の過程はより複雑で幅のあるものとなる。したがって、得られる錯覚の強度も、ゆるやかなグラデーションを内包したものとなる。本システムを実験の道具として活用し、こうした学習の過程を明らかにすることは、意識を科学的に扱ううえでキー概念となっている「メタ認知」の機構の解明にも一役買うかもしれない。

最後に、芸術的な観点から本システムの意義を述べる。脳科学における問いの多くは、「人間とは何か」という普遍的問題に直結している。こうした問題の本質を、科学的なフォーマット（数式や論文等）だけではなく、あらゆる人が純粋な体験として感じることができるフォーマットを使って伝えることは、科学における発見を社会に啓蒙していくうえで重要なことである。その意味で、本システムは、「身体イメージ」という脳科学発祥の概念を、個人的な体験として咀嚼させるうえで重要な機会を提供するものと信じる。また、このようなフォーマットをより洗練させることは、「人間とは何か」という問題意識を共有する芸術の世界への接近を意味するだろう。本システムを、メディアアートや現代美術などの芸術の文脈に適合する様なかたちで変態させていくことは、今後の興味深い課題である。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 25540090、日比科学技術振興財団の助成を受けたものです。記して謝意を表します。

参考文献

- [1] Blanke, O., Ortigue, S., Landis, T., & Seeck, M. (2002). Stimulating illusory own-body perceptions. *Nature*, 419(6904), 269–70.
- [2] Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands “feel” touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756.
- [3] 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), 10564–73.
- [4] Aimola Davies, A. M., White, R. C., & Davies, M. (2013). Spatial limits on the nonvisual self-touch illusion and the visual rubber hand illusion: Subjective experience of the illusion and proprioceptive drift. *Consciousness and Cognition*, 22(2), 613–636.
- [5] 小鷹研理, 石原由貴 (2013). 接地パターンが somatic rubber hand illusion に与える影響, 第 11 回日本認知心理学会
- [6] Petkova, V. I., Zetterberg, H., & Ehrsson, H. H. (2012). Rubber hands feel touch, but not in blind individuals. *PloS one*, 7(4), e35912.

^{*2} 生まれつき盲目の人間は、STI が誘起されないことが知られている [6]。この事実は、STI において、心的に視覚イメージを結ぶことが要件となっていることを示唆している。