



# 身体転位錯覚と BCI を用いた VR 空間への 自己投影についての研究

Self-Projection into VR Space Using Brain Computer Interface and Body Transfer Illusion

熊沛坤, 蔡東生

筑波大学 システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻 (〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1,  
xiong@cavelab.cs.tsukuba.ac.jp)

**概要:** 人体錯覚に関して多くの研究が行われてきた。人間は一定な状態で身体の一部ではないものを身体の一部として認知することができる。身体転位錯覚を喚起する際に、自分の身体または身体の一部の所有感覚を書き換え、離れた別の身体もしくはものを自分の身体として認識できることが知られている。また、近年ブレイン・コンピュータ・インターフェース (BCI) は多くの研究に使われている。人間の脳と外部装置との間の新しいインタフェースとして注目を浴びている。本研究は BCI を使い身体転位錯覚を喚起し、サイバー空間への別の自己への投影を研究する。VR を用いた所有感錯覚における所有感認知ギャップの計測と所有感認知ギャップの軽減の研究を行う。

**キーワード:** 所有感錯覚, 脳コンピュータインターフェース, ヒューマンインタラクション

## 1. はじめに

Gallagher ら[1]の研究では、自己意識は人間の多感覚認知の統合処理であることを示唆している。視覚、触覚、体性感覚などの感覚情報を利用し、仮想現実 (VR) はサイバー空間内においてユーザーに没入感を与えられる。特に、近年以来、コンピュータグラフィック (CG) の発展に伴い、サイバー空間のリアリティはより現実世界に近づいている。よりリアルな視覚情報を人間の脳に伝えることができる。人の自己 (Self) に対する脳情報の書き換えを比較的簡単に行うことができることが近年の研究で明らかになって来ている。Lenggenhager ら[2]の研究において、人間は自身の所有感を複数の感覚刺激によって所有感を乱すことができる。例えば、VR 空間のアバター身体と自己身体へのシンクロした適切な刺激により、VR 空間のアバター身体に所有感がシンクロ・投影される。これを所有感錯覚と呼ぶ。この錯覚が起こる時、深層心理へのアクセスが可能になる。アバターの体、大きさ、外見、皮膚、性別などによって、深層心理へのアクセスと変化が起こる (プロテウス効果[3])。脳コンピュータインターフェース (BCI) など脳波制御インタフェースを用いることにより、物理的な刺激を用いず所有感錯覚が誘起されることが知られている[9]。BCI を用いる場合、体が動かしてしまうと、脳波

は変化し、脳波制御の妨げになるが、VR 空間のアバターに所有感が移り、体が動くことによる脳波変化を最小でノイズの少ない新しい BCI インタフェースが作成可能になる。

## 2. 関連研究

近年人体錯覚に関して多くの研究が行われてきた。VR を使い視覚的・触覚的刺激を与え、人体所有認知を変化させることができるのが広く知られている。ラバーハンド錯覚 (Rubber Hand Illusion, 略 RHI) や全身錯覚 (Full Body Illusion, 略 FBI) と呼ばれている。RHI は 1998 年に Botvinick と Cohen[4]が初めて発表した。ラバーハンドを目の前におき被験者の手を隠し、ラバーハンドと手への触覚刺激を同期させ複数回刺激する。主観的な計測手法アンケートで被験者はラバーハンドを自分の手として認識することを検証した。VR 空間の手に対しても同様の錯覚が発生する[5]。ラバーハンド錯視の発生は体温低下[6]という客観的な生理データでも検証できる。また、FBI は VR を使い、ラバーハンド錯覚と同様に、刺激により全身錯覚を喚起する方法が提案されている[7][8]。FBI は第一人称視点 (First Person Perceptive, 略 1pp) [7]と第三人称視点 (Third Person Perceptive) [8]で観測されている。しかし、VR を用いた場合、体温測定を行った我々の研究[5]では 1pp でしか FBI は起こらないことを検証した。

Peikun XIONG, and Dongsheng CAI

Perez-Marcos ら[9]の研究で、非侵襲 BCI を使って VR 空間のバーチャル手をコントロールする際に、RHI が喚起されることが確認された。視覚フィードバックとバーチャル手の動きの同期性で身体所有感錯覚を喚起することができる。Maryam ら[10]の研究において 1pp でロボットの手をコントロールしようとする際に、BCI とモーションキャプチャー (MoCap) を使って所有感錯覚がどう喚起されるか比較した。結果は、BCI は MoCap より強い所有感錯覚を喚起させることが分かった。さらに、ガルバニック皮膚抵抗計測手法[10][11]で皮膚抵抗 (SCR) を測ると、BCI に対しての抵抗値反応は MoCap のより高い事が示された。

### 3. 脳波訓練手法

人の思考を読み取る方法として最も多く研究されているのは脳波である。脳波計が安価であることと時間分解能が高いため、多くの BCI が販売されている。人間の脳波は人間の意志が反映されており、脳波測定により、人間の意志を伝えるインターフェースが作成できる。本研究では、Emotiv EPOC+ という非侵襲 BCI 装置を扱い、脳波読み取り訓練する。

まず、被験者を手なし訓練組と手あり訓練組に分ける。被験者は 14 人の学生で、男性 10 人、女性 4 人 (平均年齢  $\pm$ SD=24.71 $\pm$ 1.98)。手なし訓練組の被験者は、BCI 装置を着装させて訓練画面の前に座ってもらい、脳波を訓練する際に自分の手を見えないところに隠したままで画面上の手順に従ってキューブを右に回すという訓練を行う。手あり訓練組の被験者は、脳波を訓練する際に自分の手を視界に入れて訓練を行う。

### 4. 身体転移錯覚を用いた投影実験

身体所有感の一つとして、ラバーハンド錯覚(RHI)を本研究で喚起させる。RHI と BCI と組み合わせるためには、BCI でコントロールする VR 画面中に自分の仮想の手がある状態を作成する。RHI と BCI を組み合わせ、所有感錯覚を喚起する。被験者の手をサイバー空間に投影するためには、LeapMotion を扱う。LeapMotion は、赤外線カメラでユーザーの手を追跡することができる。被験者たちはスクリーンの前に座らせ、BCI を着用して実験を行う。訓練スキルは個人差があるため、訓練した被験者たちは一人につき三つの実験 (図 1) に参加させる。

**手なしで回す実験(Control):** 対照組として被験者の手を隠したまま、画面上はキューブのみ表示され、BCI でキューブを右に回す。

**視覚フィードバックあり実験 (Visual Feedback):** LeapMotion を通じて追跡している手が画面上に表示されるが、動かずに BCI でキューブを右に回す。

**視覚フィードバックと手の動きあり実験(Visual feedback with hands movements):** LeapMotion を通じて追跡している手を画面上に表示し、キューブを右に回すよう手を動か

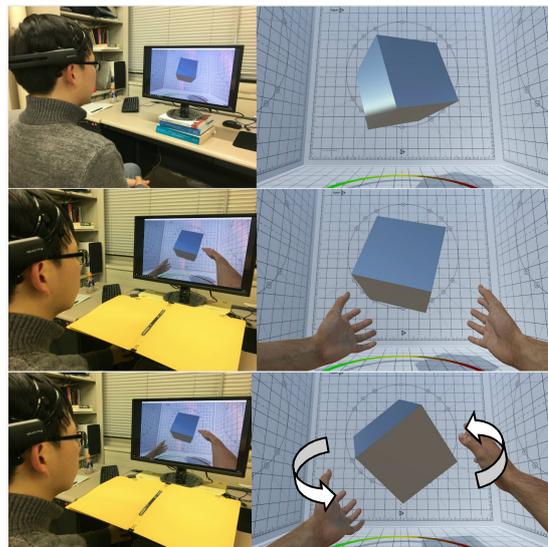


図 1: 三つの実験セット。上から下は、手なしで回す実験(Control)、視覚フィードバックあり実験 (Visual feedback)、視覚フィードバックありと手の動きあり実験(Visual feedback with hands movements)。

かせながら BCI でキューブを回す。

毎回実験を行う際に、実験を始めから、キューブを回し始めるまでの反応時間を記録する。被験者一人につき個々の実験は 8 回行い、その 8 回の反応時間を記録する。

#### 4.1 脳波訓練手法の比較

まず、脳波訓練手法を比較するため、被験者全員手なしで回す実験と視覚フィードバックありと手の動きあり実

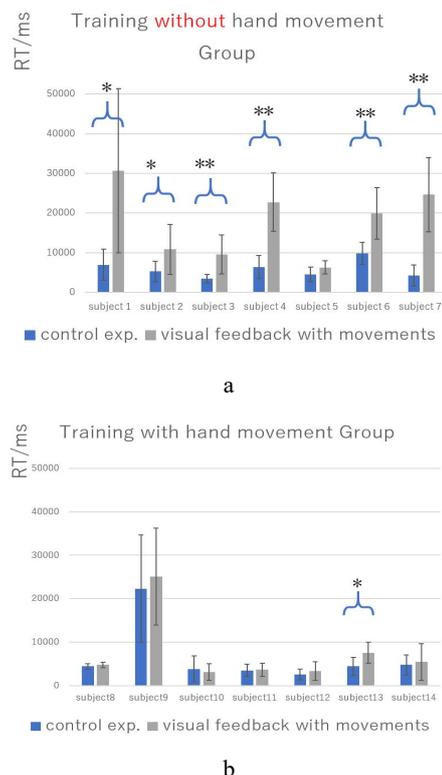


図 2: 訓練手法の比較 \* $<0.05$  \*\* $<0.005$

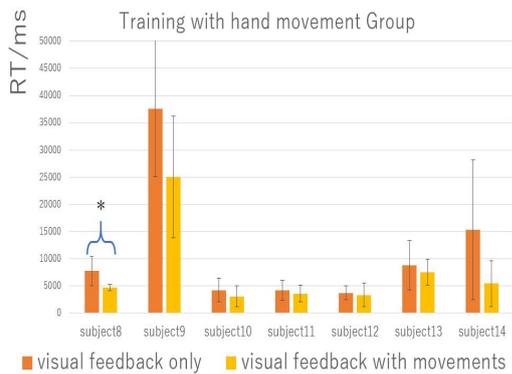


図 3: 手の動きありと視覚フィードバックありの比較  
\* $<0.05$

験でのキューブを回すまでの反応時間の平均値を取り、全員の平均反応時間変化図を図2のように作成する。RTは実験開始からキューブを回すまでの平均反応時間である。図2(a)は手なし訓練組の被験者たちの平均反応時間。対照実験(Control)と視覚フィードバックありと手の動きあり(Visual feedback with hands movements)実験の平均反応時間を比較すると、全員T検定を用いて0.05または0.005の有意水準で有意差が出る。また、図2(b)は手あり訓練組の被験者たちの二つの実験に対する平均反応時間である。有意水準0.05で有意差がある被験者は一人のみ。これは手なし訓練組の場合は、手の動きと視覚フィードバックに対して脳が反応し、脳波に違いが出たためと考えられる。

#### 4.2 手の動きと視覚フィードバックの比較

ヒトの体の動きとコントロールに関連する脳の部位は大脳皮質の運動野または運動皮質である[12]。Nobleら[13]の研究では運動皮質タスクにおいて視覚フィードバックが脳活動に及ぼす潜在的な影響があると述べている。我々は手あり訓練組の7人の被験者の平均反応時間を取り、図3のように、BCIに対する視覚フィードバック効果と手の動き効果を比較する。T検定で被験者8以外、他の被験者たちに有意水準0.05で有意差が出ていない。BCIコントロールに対して、視覚フィードバックの正の効果の割合が動きの効果より高い。これはNobleら[13]の研究と一致している。身体所有感錯覚による視覚フィードバックはBCIにポジティブな効果があると推測できる。

## 5. 結論

近年以来、BCIの急速な発展にもかかわらず、BCIの操作精度や脳波訓練の不確実性などがBCIの普及を妨げる主な問題であることがよく知られている。本研究では、BCIの利用において、訓練時間における視覚フィードバックと手の動きの影響を調べた。

しかし、BCIを用いてサイバー空間への自己投影者が意識することなく、所有感錯覚を喚起していたかどうか検証していない。これから、視覚フィードバックあり実験に

基づいてBCIでキューブを回す時の手の皮膚電位変化を計測し、身体転移錯覚の発生を検証する必要がある。

## 参考文献

- [1] Gallagher, S., 2000, Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science, *Trend in Cognitive Sciences*, Vol. 4, No.1, 14-21.
- [2] Lenggenhager, B., Tadi, T., Metzinger, T., & Blanke, O. (2007). Video ergo sum: manipulating bodily self-consciousness. *Science*, 317(5841), 1096-1099.
- [3] Yee, Nick, and Jeremy Bailenson. "The Proteus effect: The effect of transformed self-representation on behavior." *Human communication research* 33.3 (2007): 271-290.
- [4] Botvinick, M., and Cohen, J., 1998. Rubber Hands 'Feel' Touch that Eyes See. *Nature*, Vol.391,756.
- [5] Peikun, Xiong, Chen Sun, and Dongsheng Cai. "" Synchronize" to VR Body: Full Body Illusion in VR Space." (2017).
- [6] G. Lorimer Moseley, Nick Olthof, Annemeike Venema, Sanneke Don, Marijke Wijers, Alberto Gallace, Charles Spence. "Psychologically induced cooling of a specific body part caused by the illusory ownership of an artificial counterpart". *PNAS* 2008 105 (35)
- [7] Petkova, V. I., and Ehrsson, H. H., 2008, If I were you: perceptual illusion of body swapping. *PLoS ONE* 3, e3832. doi: 10.1371/journal.pone.0003832
- [8] Aspell, Jane E., Bigna Lenggenhager, and Olaf Blanke. "Keeping in touch with one's self: multisensory mechanisms of self-consciousness." *PloS one* 4.8 (2009): e6488.
- [9] Perez-Marcos, Daniel, Mel Slater, and Maria V. Sanchez-Vives. "Inducing a virtual hand ownership illusion through a brain-computer interface." *Neuroreport* 20.6 (2009): 589-594.
- [10] Alimardani, Maryam, Shuichi Nishio, and Hiroshi Ishiguro. "Removal of proprioception by BCI raises a stronger body ownership illusion in control of a humanlike robot." *Scientific Reports* 6 (2016): 33514.
- [11] 辻琢真, et al. "ラバーハンド錯覚における筋電位および皮膚電位反応の解析." 計測自動制御学会論文集 51.6 (2015): 440-447.
- [12] Campbell, A. W. (1905). *Histological Studies on the Localization of Cerebral Function*. Cambridge, MA: Cambridge University Press. OCLC 6687137. Archived from the original on 2016-06-02.
- [13] Noble, J. W., Eng, J. J., & Boyd, L. A. (2013). Effect of Visual Feedback on Brain Activation during Motor Tasks: An fMRI Study. *Motor Control*, 17(3), 298-312. doi:10.1123/mcj.17.3.298