

# Full Body Illusion の測定指標間の関連の検証

山本一希・平本亮介・中尾敬

Verification of the relationship between full-body illusion indices

Kazuki Yamamoto, Ryousuke Hiramoto and Takashi Nakao

Full Body Illusion (FBI) is a phenomenon which changes over the sense of body ownership to other object and the illusion has been reported using various measurement indices (e.g., questionnaire, skin conductance response, and skin temperature). However, no studies have simultaneously measured these indices and it still remains unclear whether those indices capture the similar aspects of FBI. The present study investigate the relationship among those FBI indices. In this study, we presented an avatar to participants in a virtual room. We measured the questionnaires, skin conductance response, skin temperature, and drift as FBI indices. The results showed that measurement of the questionnaires and skin conductance response were reflected FBI, and the positive correlation was found between those two measurements questionnaire and skin conductance response ( $\rho = .55, p < .05$ ). Alternatively, no correlations were found among the other indices. Our results suggest that both the questionnaire and the skin conductance response reflect similar aspects of FBI.

キーワード : full body illusion, virtual reality, self-ownership

## 問題

### 自己感覚について

私たちは鏡を見るときや自分の身体を触る時、自分の身体がそこに存在すること

を感覚的に理解している。同時にそこにある身体が自分のものであると感じており、自分の身体を触ったのは自分であるということも感覚的に理解している。このように自分の身体に関する感覚、または自己に対するイメージのことを自己感覚という。この自己感覚は最小自己 (minimal self) と物語的自己 (narrative self) に分類される (Gallagher, 2000)。最小自己とは、時間的なアイデンティティの連続性を持たない即時的な自己のことであり、自己としてみなし得る必要最小限を備えた基本的な自己のことである。一方、物語的自己とは時間的なアイデンティティの連続性を持つ自己のことであり、自分自身や他者から語られる過去、現在、未来の自己のイメージによって形成されてきた自己のことである。

Gallagher (2000) は最小自己をさらに自己所有感 (sense of ownership) と自己主体感 (sense of agency) の二つの側面から構成されると論じている。自己所有感とは、経験をしているのは私だという感覚のことである。自己所有感の中でも身体を伴って経験したものを特に身体所有感という。自己主体感とは、ある行為に伴う経験をしているのは自分自身であり、またその行為を統制しているのは自分だという感覚のことである。先述した日常的な例では、「自分の身体を触るときそこにある身体が自分のものである感覚」が身体所有感に対応し、「自分の身体を触ったのは自分だという感覚」が自己主体感に対応する。

これら以外にも自己感覚には、身体が特定の環境内に存在するという感覚 (自己位置感) も含まれると言われている (Blanke & Metzinger, 2009)。「鏡を見るときや自分の身体を触るとき自分の身体がそこに存在している」という感覚のことである。

これらの自己身体についての感覚は自己の理解の基盤となるものである。私たちは普段自分の身体を当たり前のように動かしており、無意識的に自身の身体を自分のものであると認識している。このような自己感覚は不変的なものであると思われるが、自己身体以外の対象物に自己感覚を抱くことがある。

### **Full Body Illusion とその測定指標**

その現象の一つに、実身体以外の対象に身体所有感を抱く、Full Body Illusion (以下、FBI) という錯覚現象がある。この FBI の生起手続きの例を、Petkova & Ehrsson (2008) を参考に述べる。まず身体所有感を付与させる対象物としてマネキンを用意し、マネキンの頭部にカメラを置き、参加者はヘッドマウントディスプレイ (Head Mount Display, 以下 HMD) を通して、カメラからマネキンの腹部を見ることがで

きる環境を構築する。その後、マネキンの腹部を筆で撫でている様子を参加者に見せ（視覚刺激）、同時に参加者の実身体の腹部も筆で撫でる（触覚刺激）。マネキンを撫でる筆の動きと実身体を撫でる筆の動きを時間的に一致させると、次第にマネキンの身体がまるで自分の身体のように感じる FBI が生じる。一方、これら視覚触覚刺激の呈示タイミングをずらした場合には、マネキンに対する身体所有感は生じない。このように FBI の生起には視覚及び触覚といったそれぞれの感覚刺激が時間的整合性をもって呈示されることが重要な要因となっている。

FBI の錯覚生起は様々な測定手法で検討されている。Petkova & Ehrsson (2008) は視覚刺激と触覚刺激を同時入力する同期条件と、二つの刺激を同期させずにずらして入力する非同期条件の二つの条件を設け、錯覚生起の強度の指標として主観指標である質問紙と、生理指標である皮膚電気反応 (Skin Conductance Response, 以下 SCR) を測定した。SCR を測定する際には、視覚刺激と触覚刺激の呈示を行った後、ナイフをマネキンの腹部に刺す恐怖刺激を与えることで、マネキンが自分の身体であると感じていた時ほど SCR が大きくなるように操作していた。実験の結果、質問紙における錯覚の程度を測定する項目（例：仮想の身体を自分の身体であるかのように感じた）に関して同期条件と非同期条件間で有意な差がみられ、同期条件において非同期条件よりも高い得点となっていた。また SCR についても同期条件が非同期条件に比べ有意に大きくなっていた。

質問紙と SCR 以外に、皮膚温度も FBI の指標として用いられている。Salomon, Lim, Pfeiffer, Gassert, & Blanke (2013) は FBI を引き起こし、身体所有感の変容を誘発することで実身体の皮膚温度にどのような変化が生じるかを検討している。Salomon et al. (2013) は触覚刺激として、左背中、右背中、左脚、右脚と条件ごとに部位を変え、機械で操作されるバイブレーターを用いた。また視覚刺激として、HMD を用いて映し出された仮想的な現実環境 (Virtual Reality, 以下 VR) で、仮想身体の左背中、右背中、左脚、右脚のいずれかに映される赤い点の動きを三人称視点で見る刺激を用いている。同期条件では、視覚刺激と触覚刺激の位置を合わせることで同時入力を行い錯覚を引き起こした。非同期条件では、見ている赤い点の位置とバイブレーターが刺激している身体位置を異なる位置にして視覚刺激と触覚刺激の同時入力を妨げ、錯覚の生起を妨げた。皮膚温度は触覚刺激が与えられた位置で計測し、実験終了後、主観的な錯覚強度を測定するため 5 項目 7 件法の質問紙をと

った (-3:全く当てはまらない - +3:よく当てはまる)。実験の結果、皮膚温度は同期条件において非同期条件よりも刺激入力開始の24秒後から有意に低くなり始め、刺激入力を終了する40秒後まで有意な差がみられた。また触覚刺激における身体位置の違いによる皮膚温度の低下で有意な差がみられ、背中に触覚刺激を与えると脚に触覚刺激を与えるよりも皮膚温度が低くなった。さらに皮膚温度の変化に対して刺激呈示タイミングと身体位置の交互作用がみられた。また質問紙において「見ている身体の部位に触覚を感じた」という項目において同期条件と非同期条件の間で有意な差がみられ、同期条件において非同期条件よりも高い得点を示した。Salomon et al.(2013) はこれらの結果から、FBIが生起し、実際の身体から身体所有感が抜け出したことで皮膚温度が低下したと述べている。

この他にも、ドリフト測定もFBIの指標として用いられている。Blanke & Metzinger (2009) は、参加者にHMDを装着させ、参加者の後ろに設置してあるカメラを通して、参加者が自身の背中を三人称視点で見るとような環境を作った。FBIを引き起こすために、参加者は背中を撫でられ、その状態のカメラ映像をHMDに呈示することで視覚刺激と触覚刺激の同時入力を行った。その後、参加者を定められた後方の位置まで目を閉じたまま移動させ、元の位置まで戻るように指示し、元の位置とのずれを測定することで、FBIによる自己位置感の転移を測定した(ドリフト測定)。その結果、同期条件と非同期条件の間で有意差がみられ、同期条件において前方へ大きく移動していたことが示された。

## 問題と仮説

これまで述べてきたように、FBIにおける錯覚強度を測定するための指標は、質問紙、ドリフト測定、SCR、皮膚温度と様々な手法が用いられてきた。これらの指標がいずれもFBIを測定しているものであれば、指標間には相関が見られることが予測されるが、そのことを確認した研究はない。

そこで本研究は、質問紙、ドリフト測定、SCR、皮膚温度のすべてを同一実験内で測定し、FBI錯覚強度測定指標としての妥当性を検討した上で、これらの指標間の関連を検討する。仮説として先行研究と同様に、FBIが生じる視覚刺激と触覚刺激の同期条件において、FBIが生起しない視覚刺激と触覚刺激の非同期条件よりも、質問紙の自己感覚の変容を扱う項目(錯覚項目)の得点は高くなり、ドリフト測定は前へ移動し、SCRは高く現れ、皮膚温度は減少すると予測される(Petkova &

Ehrsson, 2008, Salomon et al., 2013, Blanke & Metzinger, 2009)。指標間の関連については、質問紙の錯覚項目と SCR との間に正の相関、質問紙の錯覚項目とドリフト測定との間に正の相関、質問紙の錯覚項目と皮膚温度との間に負の相関が認められると予測する。また、ドリフト測定と SCR に正の相関、ドリフト測定と皮膚温度との間に正の相関が現れると想定される。さらに SCR と皮膚温度に負の相関が現れると想定される。

## 方法

### 参加者

広島大学に在籍している男子大学生 21 名 (平均年齢 20.65 歳, 範囲 18–23 歳) が実験に参加した。本研究では実験段階において参加者の身体に与える刺激を男性の実験者が行うため、参加者を実験者と同姓である男性に限定した。Petkova & Ehrsson (2008) は FBI 生起量に性別による差が認められなかったことを報告している。本実験の実施については、広島大学大学院教育学研究科倫理審査委員会の承認を受けた。実験参加者には実験開始前に参加が強制ではないこと、実験を途中で中止できることを説明した上で参加同意書への署名により同意を得た。

### 実験計画

2 (呈示タイミング: 同期, 非同期) × 2 (恐怖刺激: 有り, 無し) の 2 要因参加者内計画で行った。

### 機材

VR 環境の視覚呈示のために Oculus 社の HMD (oculus-rift-vr-headset-1200×698) を使用した。その際、VR 環境における視点と参加者の頭の動きを同期させるために Oculus 社の Oculus Sensors を用いた。SCR と皮膚温度を測定するためのセンサーとして、Brain Products 社製の SPN-01 と Multi Display DevicesMDD4 を用いた。各生理指標の信号を増幅させるためのアンプとして Brain Products 社製 BrainAmp ExG を用いた。

### 手続き

**実験前段階** 本実験では皮膚電気や皮膚温度を計測するため実験環境を全参加

者で統一する必要があった。そのため実験参加者が実験室に来る予定の1時間前に実験室の暖房を入れ、室温を24℃に調整した。実験参加者が実験室を訪れ、準備が整った後、実験参加者にFBIという錯覚がどのようなものであるのかは知らせず、錯覚が生じた際に測定する指標間の関連を検証する旨を伝え、実験の実施内容、及び機材についての説明と注意事項を伝えた。その後、研究参加同意書の説明を行った。研究参加への同意を得た後、皮膚温度計と皮膚電位計を参加者の左手に装着した。参加者の視点とVR環境における視点との違いを無くすために参加者の目の高さを測定し、VR環境内の視点を調整した。その後参加者にHMDのサイズの調整とピントの調整方法を伝え、HMDの装着を促した。それから参加者の視点がアバターの背中に対しまっすぐになるよう身体の向きを調整し、足元に基準となる印を貼った。HMD装着でのVR環境への移入はVR環境に慣れていない人では車酔いのような酔いが生じる可能性がある。そこで実験中のVR酔いの可能性を低くするため、参加者にHMDを装着させ、実際の実験環境内にいる状態で5分間時間をとった。この間参加者には自由に頭を動かしてもらいVR環境に慣れさせた。参加者からVR環境に慣れたという合図を受けた後、実験を開始した。

**実験条件** 同期条件（見ている手の動きと実際の身体の背中に与えるペンの触覚位置が一致している条件）、非同期条件（手の動きとペンの触覚位置が一致していない条件）、恐怖刺激あり条件（2分間の視覚触覚刺激呈示後ナイフでアバターの背中を刺す条件）、恐怖刺激無し条件（2分間の視覚触覚刺激呈示後ナイフが現れない条件）の4条件を2×2で組み合わせ、組み合わせた4条件をランダムに呈示し2回ずつ行った。参加者毎に実験条件をランダムに呈示した。

**VR環境設定** 本実験ではSlater(2010)で用いられていたVR環境を参考に、部屋に模したVR環境(Figure 1)をUnity2018により作成した。部屋は8m×6mの大きさで中央に人型男性のアバターを配置した。アバターの1.5m後ろにHMDに映し出される視点となるVRカメラを設置した。VRカメラの高さはHMD装着前に測定した参加者の視点の高さに調整した。アバターの背中を撫でる右手のモジュールはキーボードのSキーを押すと同時に下に動き始めるようプログラムを組んだ。恐怖刺激有り条件では刺激入力段階である120秒後に右手のモジュールがナイフを持ちアバターの背中を刺す動きを行うよう設定した。



Figure 1. VR 環境の様子

**実験段階** 各条件の実験開始時に立ち位置となる印につま先を合わせるよう教示し、HMD を装着させた。同期条件では VR 環境で流れている手の動きに合わせて参加者の背中を縦 15 cm で上下に撫でた。非同期条件では VR 環境で流れている手の動きと 1 秒ずらすようにし、参加者の背中を縦 15 cm で撫でた（見ている手がアバターの背中の上にある時ペンは参加者の背中の下に、見ている手がアバターの背中の下にある時ペンは参加者の背中の上になるようにした）。参加者には 2 分間の刺激入力中は目の前に呈示されているアバターの背中を見続け、両手は体側に置くよう教示した。各条件の刺激入力段階後、ドリフト測定を行い、ドリフト測定終了後質問紙をとった。質問紙への記入終了後、次の試行へ移った。

**実験後段階** 8 つの試行終了後、左手に取り付けた生理指標器具を取り外し、器具装着時に付けた糊を取るために水洗いさせた。その後 VR を用いるためのディスプレイで Google Form にて個人特性を測定する質問紙への回答を求めた。質問紙終了後、謝礼金振込のための書類を記入させた。

## 測定指標

**質問紙** 2 分間の刺激入力段階時に参加者が感じた自己感覚の変化を Petkova & Ehrsson (2008) と Romano (2014) で用いられていた錯覚強度に関する質問項目から、今回の実験目的に合う 8 項目を選択し、7 件法 (-3: 全く当てはまらない - 3: よく当てはまる) により測定した。項目の選択方法は Gonzalez-Franco & Peck (2018) を参考にし、FBI の錯覚強度を測定する錯覚項目 (4 項目) と、統制項目 (4 項目) の 2 種類とした (Table 1)。統制項目は Petkova & Ehrsson (2008) に倣い、参加者が課題に遵守しているかどうかの判断として質問紙に導入した。

Table 1

### FBI の質問紙の項目

Q1 (錯覚項目): 仮想の身体を自分の身体であるかのように感じた
Q2 (統制項目): 裸でいると感じた
Q3 (錯覚項目): 自分の身体そのものが仮想のものになったと感じた
Q4 (統制項目): 二つの身体を持っているように感じた
Q5 (錯覚項目): マネキンに触れている指が自分の感じている触覚を引きおこしているように感じた (=仮想身体から触覚を感じた)
Q6 (錯覚項目): 自分の身体そのものが前または後ろに移動しているように感じた
Q7 (統制項目): 見ている仮想身体の動きを自分でコントロールできるように感じた
Q8 (統制項目): 自分身体を動かせなくなったように感じた

**ドリフト測定** Lenggenhager, Tadi, Metzinger, & Blanke (2007) のドリフト測定手法に則り、すべての試行で 120 秒間の刺激呈示後、HMD を装着したまま目を閉じ、約 20 cm の間隔で後ろに 5 歩歩かせた。その後参加者に目を閉じたまま元の位置に戻るよう教示して移動させた。移動するときは参加者が思う、通常の歩幅で戻るよう伝えた。戻った位置と足元に貼っていた基準となる印との差を、メジャーを用いて測定し結果を記録した。ドリフト測定については実験前段階で練習を行い、練習時も本番時も参加者の身に危険が無いよう配慮した。

**SCR** SCR の測定のため参加者の左手の親指と中指の皮膚の角質をスキンプュアにより除去し、アルコールを染み込ませた綿と乾いた綿で拭き取った。その後、皮膚電位計を左手の親指と中指の第一関節下部に取り付けた。取り付ける際には実験中に器具が外れることが無いようテーピングを用いて頑丈に固定した。SCR は恐怖刺激が呈示され終了する刺激入力段階後の 5 秒間を測定した。



**皮膚温度** 実験前段階時に皮膚温度計を左手の薬指の第一関節上部に取り付けた。皮膚電気同様、取り付ける際には実験中に器具が外れることが無いようテーピングを用いて頑丈に固定した。皮膚温度は刺激入力段階である 120 秒間に記録した。

### 統計分析

**質問紙** 各参加者における錯覚強度の質問紙を条件ごとに各項目で平均を算出し、2 要因参加者内分散分析を用いて同期と非同期条件および恐怖刺激有りと無し条件で分析した。また、Petkova & Ehrsson (2008) より、錯覚項目において非同期条件よりも同期条件で質問紙の得点が高くなることが報告されていることから片側検定で行った。

**ドリフト測定** 恐怖刺激呈示によるドリフト測定の影響を考慮し、HAD を用いて恐怖刺激無し条件における同期非同期間で対応のある  $t$  検定を行った。また、Blanke & Metzinger (2009) より、同期条件において非同期条件よりも前方にドリフトすることが報告されていることから片側検定で行った。

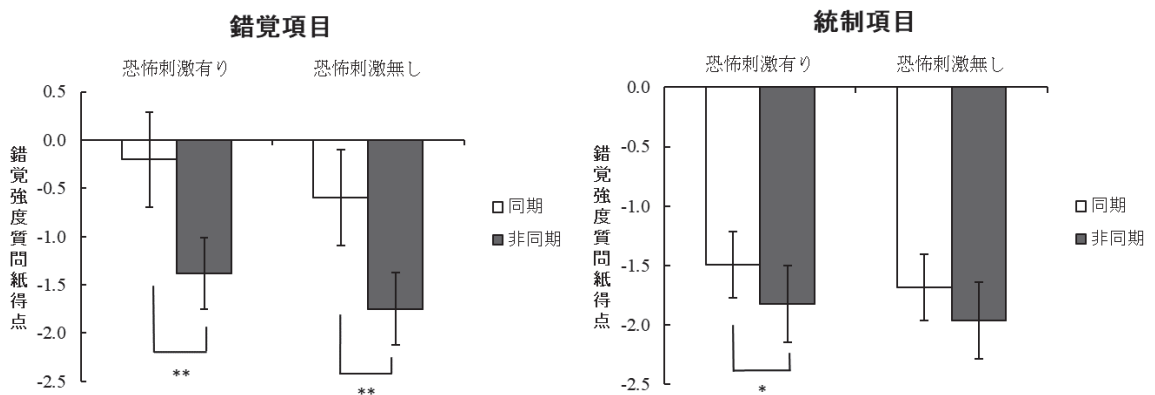
**SCR** Matlab 上で作動する Ledalab (<http://www.ledalab.de/documentation.htm>) を用いて、Continuous Decomposition Analysis (CDA) により、恐怖刺激呈示開始から 5 秒間の範囲で計測された皮膚コンダクタンス反応の平均振幅 (以下 CDA.SCR と表記) を算出した。測定範囲は恐怖刺激呈示開始から 5 秒間であり、恐怖刺激無し条件については SCR を測定していないことから、恐怖刺激があり条件における同期と非同期条件間で CDA.SCR について、対応のある  $t$  検定を行った。また、Petkova & Ehrsson (2008) から、同期条件において非同期条件よりも SCR が大きく出ることが報告されているため、片側検定で行った。

**皮膚温度** 皮膚温度のデータを Matlab にて解析した。刺激呈示開始から 120 秒後の呈示終了時点の皮膚温度から呈示開始時点の皮膚温度を減算して算出した。恐怖刺激が呈示される前の時間帯であったため、恐怖刺激条件をプールして同期と非同期それぞれの条件で平均値を出し、対応のある  $t$  検定を行った。また、Salomon et al.(2013) より、同期条件において非同期条件よりも皮膚温度が低下することが報告されているため、片側検定で行った。

## 結果

## 質問紙

錯覚項目 (4 項目), 統制項目 (4 項目) について各参加者で平均を算出し (Figure 2), 2 (呈示タイミング : 同期・非同期) × 2 (恐怖刺激 : 有り・無し) の 2 要因参加者内分散分析を行った。錯覚項目において, 呈示タイミングの主効果 ( $F(1, 20) = 33.67, p < .001, d = .82$ ) と恐怖刺激の主効果 ( $F(1, 20) = 9.27, p < .05, d = .28$ ) が見られた。呈示タイミングの主効果がみられたことから多重比較を行ったところ (片側検定), 恐怖刺激有り条件, 無し条件ともに非同期条件よりも同期条件の方が高い得点を示した (恐怖刺激有り:  $t(20) = 4.15, p < .001, d = .78$ , 恐怖刺激無し:  $t(20) = 4.06, p < .001, d = .57$ )。また統制項目において, 呈示タイミングの主効果が



みられた ( $F(1,20) = 7.37, p < .05, d = .31$ )。呈示タイミングの主効果がみられたことから多重比較を行ったところ (片側検定), 恐怖刺激有り条件において非同期条件よりも同期条件の方が高い得点を示した ( $t(20) = 2.09, p < .05, d = .32$ )。いずれの項目においても交互作用は見られなかった。

Figure 2. 各条件における質問紙項目の得点

(エラーバーは標準誤差, \*\* $p < .001$ , \* $p < .05$ )

## ドリフト測定

恐怖刺激呈示によるドリフト測定の影響を考慮し, 恐怖刺激無し条件における同期条件と非同期条件それぞれの平均値を求めた (Figure 3)。対応のある  $t$  検定 (片側検定) の結果, 有意な差は見られなかった ( $t(20) = .70, p > .05, d = .17$ )。

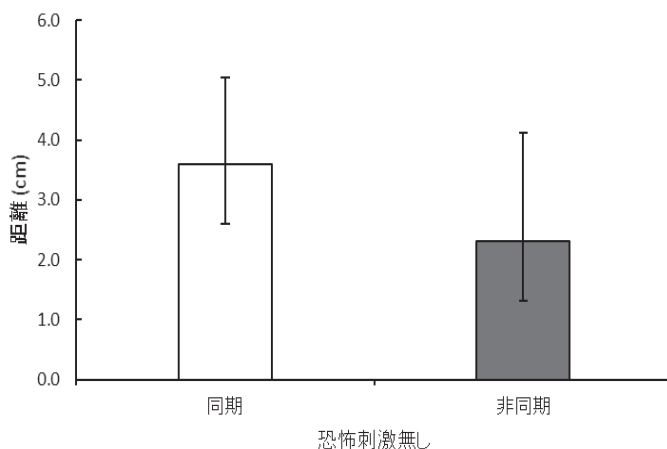


Figure 3. 恐怖刺激無し条件における同期非同期条件のドリフト測定の距離  
(エラーバーは標準誤差)

### SCR

恐怖刺激有り条件における同期と非同期条件の CDA.SCR について平均値を求めた (Figure 4)。恐怖刺激有り条件において、恐怖刺激呈示後に SCR の測定ができていなかった 5 名は今回の分析からは除外した。Petkova & Ehrsson (2008) から、同期条件において非同期条件よりも SCR が大きく出ることが報告されているため、対応のある  $t$  検定 (片側検定) を行った結果、非同期条件よりも同期条件において SCR の値が有意に大きく現れた ( $t(15) = 1.80, p < .05, d = .24$ )。

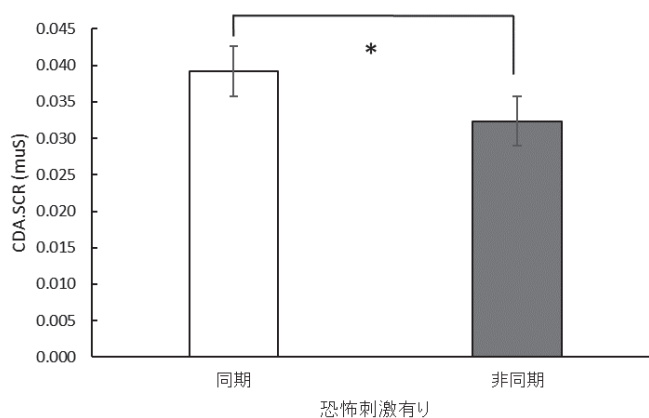


Figure 4. 恐怖刺激有り条件における同期非同期条件の SCR  
(エラーバーは標準誤差,  $*p < .05$ )

## 皮膚温度

皮膚温度測定期間は視触覚刺激呈示期間であったため、恐怖刺激の有無による条件分けはせず、同期条件と非同期条件について平均値を算出した (Figure 5)。対応のある  $t$  検定 (片側検定) の結果、同期条件と非同期条件間で有意な差は認められなかった ( $t(20) = 0.14, p > .05, d = .03$ )。

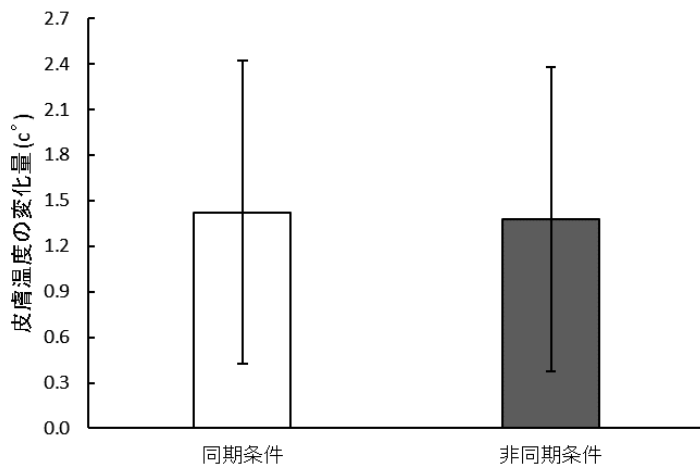


Figure 5. 同期条件と非同期条件の間における皮膚温度の変化量  
(エラーバーは標準誤差)

## 各指標間の相関

同期条件と非同期条件の間に有意差が認められ FBI を反映していた指標 (質問紙及び SCR) についてのみ相関を算出した。

**質問紙と SCR** 恐怖刺激有り条件における同期条件と非同期条件の間の差分を、質問紙の錯覚項目、および SCR で算出した。また、統制項目においても呈示タイミングの主効果が現れたことから、統制項目についても同様に差分を算出した。これらの指標間の相関係数を算出した結果、錯覚項目、統制項目ともに SCR との有意な正の相関が見られた (錯覚項目:  $\rho = .54, p < .05$ , 統制項目:  $\rho = .69, p < .01$ )。

## 考察

本実験では先行研究で用いられてきた複数の FBI の測定指標を同一実験内で測定し、それらの指標間に関連が認められるのかを検討することを目的とした。以下、各指標の FBI 錯覚強度測定指標としての妥当性、および指標間の関連についての考察を順に述べていく。

### 質問紙

錯覚項目において、呈示タイミングの主効果と恐怖刺激の主効果が見られた。呈示タイミングの主効果が見られ、恐怖刺激の有無に関わらず非同期条件よりも同期条件において項目得点が高かったことは、視触覚刺激が同時に呈示されることで FBI が生起するというメカニズムに則った結果が示されたと言える。また、恐怖刺激の主効果が見られ、恐怖刺激有り条件において無し条件よりも項目得点が高かったことは、これまでの先行研究では報告されていない。アバターにナイフが刺さる映像を観察することで、自身の覚醒度が上昇した体験が、錯覚項目の得点の高さを生じさせていた可能性が考えられる。ことから、恐怖刺激有り条件においてアバターへ共感が生起し、そのことが質問紙の回答に反映された可能性が考えられる。

一方、統制項目においても呈示タイミングの主効果が見られ、恐怖刺激有り条件において非同期条件よりも同期条件の方が高い得点を示した。統制項目を作成する際の注意点として Gonzalez-Franco & Peck (2018) は、実際の自己身体の状態と切り離された項目（裸でいると感じる等）を組み込む必要性を述べている。しかし、今回用いたアバターは、見た目では裸であるため、アバターに対して身体所有感を付与させる錯覚である FBI の手続きによって統制項目においても呈示タイミングの効果が現れても不思議ではない。今後は Gonzalez-Franco & Peck (2018) の統制項目の作成法を参考に、実身体の状態と乖離させた内容かつアバターの状態と類似しない項目を作成する必要がある。

### ドリフト測定

Blanke & Metzinger (2009) の結果から、ドリフト課題を行った結果、同期条件において非同期条件よりも有意に前へ移動すると考えられたが本研究の結果からは有意な差は見られなかった。この結果の解釈として、実験後に行った内省報告において、生理指標を測定する際に取り付けたコードの張り具合で、元の位置に戻った

感覚をとっていたという報告があった。実験者全員が報告をしたわけではないが、想定されていた結果が現れなかった原因の一つであると考えられる。今後はコードの張りを抑え、身体位置の手がかりを与えるような状況は避ける必要がある。

### **皮膚温度**

Salomon et al. (2013) の結果から、同期条件において有意に非同期条件よりも皮膚温度が低くなることが予想されたが、呈示タイミングの条件の違いによる有意な差は見られなかった。本実験を行った時期が冬であり、実験室を暖房をつけて温めていたが、寒い場所から暖かい場所に入って間もなく実験を開始したため温度の上昇がみられたと考えられる。また VR 環境という普段慣れない環境に身を置いたせいで緊張してしまい体温が上昇してしまった可能性も考えられる。今後は実験室に入ってしばらく時間を置き、体温の調整を図ること、VR を装着させた後、2 分間の体温を測り、体温変化のベースを作成し、実験条件との体温変化と比較する必要がある。

また、錯覚生起指標として皮膚温度を用いた先行研究はこれまでもなされてきたが、本研究の結果同様に錯覚中に皮膚温度が上昇する結果を報告した先行研究もあり (Marasco, Kim, Colgate, Peshkin, & Kuiken, 2011) 一貫した結果は得られていない。そのため、FBI の指標としての皮膚温度の妥当性については議論されており (Thür, Roel Lesur, Bockisch, Lopez, & Lenggenhager, 2019)、今後も検討を重ねる必要があると考えられる。

### **SCR**

恐怖刺激有り条件において、同期条件と非同期条件間で比較した結果、同期条件において非同期条件よりも SCR が大きくなっていた。身体所有感がアバターへ付与されているほど、アバターへ与えられる恐怖刺激に対し、SCR 値が高く出るという Petkova & Ehrsson (2008) と一致した結果が得られたと言える。

### **各指標間**

**質問紙と SCR との相関** 質問紙の錯覚項目と SCR との間には正の相関がみられると予想し、予測通りに有意な正の相関がみられた。また質問紙の統制項目においても同期条件と非同期条件との間で差が見られたため、統制項目と SCR との相関も算出した結果、統制項目についても SCR との正の相関が認められた。今回の実験

では、Petkova & Ehrsson (2008) に則り、参加者が課題に遵守しているかどうかの判断を行うために統制項目を導入した。そのため、統制項目においても同期条件と非同期条件の間で有意差が認められたことは、実験の意図に気づき、同期の際には質問紙の得点を高くつけている可能性があることが考えられる。しかし、自律神経系の生理指標である SCR との相関がみられたことから、実験の意図に気づき、得点を意図的に高くつけたものとは考えにくい。また、質問紙の考察でも述べたように、今回の統制項目自体に錯覚項目として捉えられる項目が含まれていた。そのため統制項目においても錯覚項目と同様に同期条件と非同期条件の間で差が現れ、SCR との相関が認められた可能性が考えられる。

### 総合考察

本研究から、これまでに FBI 研究において主に用いられてきた錯覚指標として、質問紙と SCR の計測が有効であることが示され、両者に正の相関関係がみられた。一方、ドリフト測定及び皮膚温度には FBI が認められず、また、各指標との相関も見られなかった。FBI 生起が認められなかったドリフト測定及び皮膚温度については、実験段階における測定や実験環境の不備が原因となった可能性が高い。今回見つけた課題の修正を図り、再度同時計測を行い、錯覚測定指標の妥当性及び関連について検討していく必要がある。

### 本研究の限界

先行研究では、FBI を引き起こすため、視覚刺激と触覚刺激の同期を機械により操作しているが、本研究では実験者自身が手動で刺激呈示を行った。そのため刺激同時呈示の精度が低かった可能性が考えられる。また、本研究の参加者は全員同一の大学内からのサンプルであり、年齢層も限られていたため、本研究の結果の一般化には限界がある。今後はより多様な参加者を対象に再検討する必要がある。

### 引用文献

- Blanke, O., & Metzinger, T. (2009). Full-body illusions and minimal phenomenal selfhood. *Trends in cognitive sciences*, **13** (1), 7-13.
- Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends in cognitive sciences*, **4** (1), 14-21.
- Gonzalez-Franco, M., & Peck, T. C. (2018). Avatar embodiment. towards a standardized questionnaire. *Frontiers in Robotics and AI*, **5**, 74.
- Lenggenhager, B., Hilti, L., Palla, A., Macaudo, G., & Brugger, P. (2014). Vestibular stimulation does not diminish the desire for amputation. *Cortex*, **54**, 210-212.
- Lenggenhager, B., Tadi, T., Metzinger, T., & Blanke, O. (2007). Video ergo sum: manipulating bodily self-consciousness. *Science*, **317**, 1096-1099.
- Marasco, P. D., Kim, K., Colgate, J. E., Peshkin, M. A., & Kuiken, T. A. (2011). Robotic touch shifts perception of embodiment to a prosthesis in targeted reinnervation amputees. *Brain*, **134** (3), 747-758.
- Miall, R. C. (2003). Connecting mirror neurons and forward models. *Neuroreport*, **14** (17), 2135-2137.
- Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2008). If I were you: perceptual illusion of body swapping. *PloS one*, **3** (12).
- Romano, D., Pfeiffer, C., Maravita, A., & Blanke, O. (2014). Illusory self-identification with an avatar reduces arousal responses to painful stimuli. *Behavioural brain research*, **261**, 275-281.
- Salomon, R., Lim, M., Pfeiffer, C., Gassert, R., & Blanke, O. (2013). Full body illusion is associated with widespread skin temperature reduction. *Frontiers in behavioral neuroscience*, **7**, 65.
- Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, M. V., & Blanke, O. (2010). First person experience of body transfer in virtual reality. *PloS one*, **5** (5).
- Thür, C., Roel Lesur, M., Bockisch, C., Lopez, C., & Lenggenhager, B. (2019). The tilted self: visuo-graviceptive mismatch in the full-body illusion. *Frontiers in neurology*, **10**, 436.



## 謝辞

本論文の執筆にあたり，本研究計画の検討や分析，および結果の解釈について示唆に富むご指摘を頂いた認知心理学研究室の皆様，また本研究へご協力頂いた多くの皆様へ改めて感謝申し上げます。ありがとうございました。