

2022年11月10日

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学
国立大学法人長岡技術科学大学

「私の手であり、私の手ではない」という両義的身体所有感を数値化 ～統合情報量による主観的感覚の強度推定～

「私の身体である」と感じることを身体所有感といいます。そのような感覚は当たり前に見えるかもしれませんが、偽物の手でも自分の手だと錯覚してしまうことがあります。つまり、身体所有感は非常に柔軟で変わりやすい感覚なのです。さらに近年、この錯覚のより正確な理解として、「私の手だと感じるが、私の手ではないと分かっている」という両義的な身体所有感が注目されています。

本研究では、脳科学で用いられる統合情報理論を複数の生体信号データに適用することで、この主観的な「両義的所有感」の数値化を試みました。その結果、錯覚が起こっているとき、身体と脳の反応（身脳システム）の統合度が減少する一方で、それを補うかのように部分的な集まりの統合度が上昇しました。また、条件間の差について、質問表による主観評価値と統合度が正の相関を示しました。質問表の内容から、統合度は「私の手であり、私の手ではない」という主観的感覚を反映していました。これらの結果は、脳活動を詳細に調べなくとも、脳と身体からなる小規模なシステムを調べることで、主観的な強度をある程度推定できることを示唆しています。

本研究は、統合情報理論を脳システム以外に適用するだけでなく、数値化することが難しい主観的感覚を、比較的小さなシステムで数値化するという新しい試みです。本研究が進展すれば、より簡易な装置を用いて、たとえば、ストレスの度合いの数値化や睡眠時の覚醒度の数値化などへの応用が期待できます。

研究代表者

筑波大学 システム情報系

新里 高行 助教

長岡技術科学大学 技学研究院 情報・経営システム系

西山 雄大 准教授

研究の背景

「私の身体である」という身体所有感は、自分とその他を区別する当たり前の感覚のように思えます。しかしながら、身体所有感を実験的に操作するラバーハンド錯覚^{注1)}では、偽物の手が自分の手のように感じられます。近年、この主観的感覚は「私の手だと感じるが、私の手ではないと分かっている」という両義的な身体所有感であると考えられていますが、これがどのようにして生まれるのか、また、個人差はどのようにして説明されるべきなのかは分かっていません。

研究内容と成果

本研究では、統合情報理論^{注2)}を用いてこの問題に取り組みました。統合情報理論はもともと脳科学分野で用いられており、多点で測られる脳波のどこがどれくらい「一体」になっているかを見積もることで、意識の度合いや状態を数理的に評価するために提唱されたもので、各要素が相互作用することで、時間経過とともに動的に変化するシステム一般への応用可能性を秘めています。例えば、本研究チームではこれまでに、動物の群れの一体性を「群れとしての統合度」として計算することで、3匹と4匹の鮎の群れの間には質的なギャップ(リーダーシップの出現)が存在することを示しています(Niizato et al., 2020)。

そこで、身体と脳の反応(身脳システム)の統合度がラバーハンド錯覚時の質的な変化を反映するかを調べました。被験者は男性のみ22名、年齢は 22.1 ± 0.5 歳でした。実験手順は、5分間の閉眼安静期間ののち、5分間の刺激提示期間、その後再び5分間の閉眼安静期間の計15分でした。ラバーハンド錯覚の実験は、視触覚同期刺激による実験条件と、視触覚非同期刺激による対照条件からなるため、被験者は上述の実験手順を2回繰り返しました。ひとつの実験手順が終わる度に、被験者は9項目のアンケート(身体所有感関連3項目、統制質問6項目)に答えました。また生理データとして、身体状態を特徴づける自律神経系指標3項目(呼吸・心拍・皮膚電気活動)と、脳状態を特徴づける中枢神経系指標4項目(頭部正中線上の前頭部、中心部、頭頂部、後頭部の脳波)からなる比較的小さな身脳システムを計測しました。生理データから統合情報量を計算した結果、同期・非同期条件ともに、刺激提示時のシステム全体の統合度は減少したのと同時に、心拍・呼吸・脳の一部の部分システムの統合度は上がっていました。このことは、脳と身体の働きがバラバラになってしまう一方で、この失われた統合性を、脳と身体が協働して部分的に埋め合わせていることを意味しています。さらに、条件間の差について、錯覚に関する主観評価値と統合度が正の相関を示しました。また、アンケートを詳しく分析すると、「偽物の手が私の手であるように感じた」という質問に肯定的に答えた被験者は、「私の手が偽物の手になってしまったように感じた」という一見不合理な統制質問に対する否定の程度が弱まっていました。つまり、偽物の手に注目したときの肯定的な評価と、自分の手に注目したときの否定的な評価が互いに関連、共立することによって、「私の手であり、私の手ではない」という両義的な身体所有感がもたらされていると考えられます。否定評価が弱まる統制質問も分析に含めた場合、統合度と主観量の相関はさらに高くなったことから、統合度は両義的身体所有感を反映しているといえます。

以上の結果は、主観的感覚をシステムの統合度(統合情報量)で表現できることを示唆しています。すなわち、脳活動を詳細に調べなくとも、小規模な身脳システムを調べることで、錯覚に対する主観的な強度をある程度推定できることが明らかになりました。

今後の展開

本研究は、統合情報理論を、脳だけでなく身体システムも含めて適用することで、主観的感覚を比較的小さなシステムで計量化するという新しい試みです。このような方法は、例えば、ストレスの度合いの数値化や睡眠時の覚醒度の数値化などへの応用が期待できます。

参考図

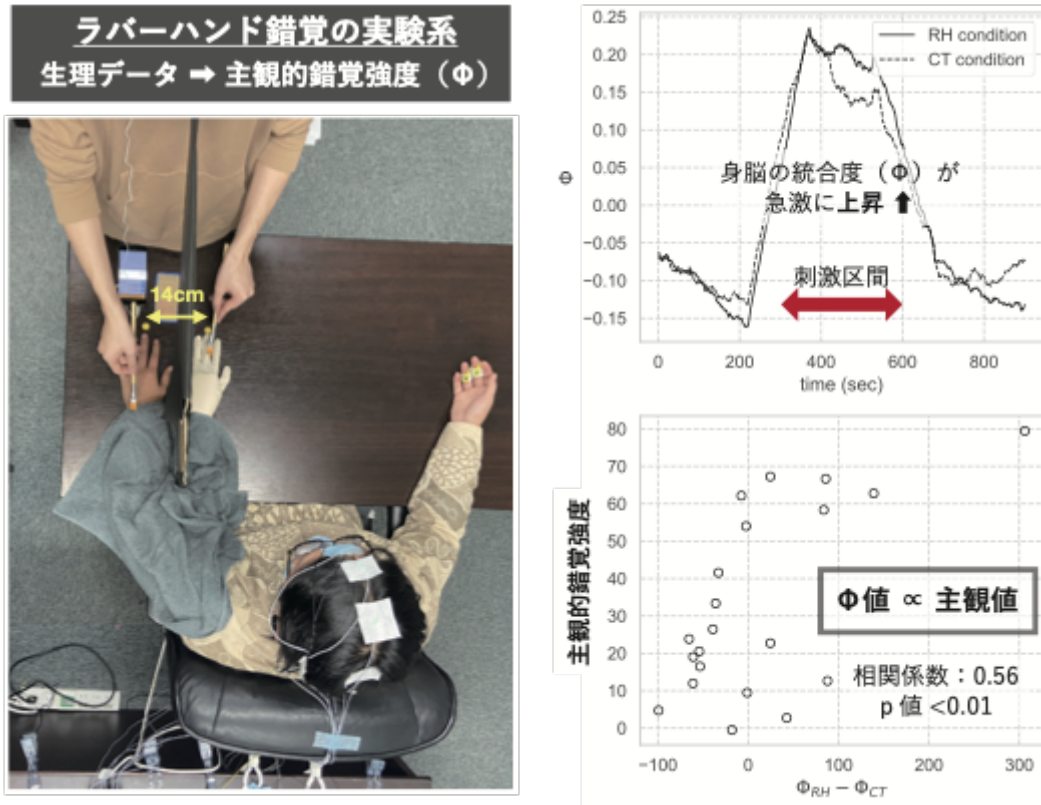


図 本研究に用いた実験手法と主な結果

左図：被験者はつい立ての裏に自身の手を隠し、目の前の偽物の手を見る。実験者は参加者の手と偽物の手を筆で触れる。この間、身脳システムを構成する生理データとして、中枢神経系指標（脳波）と自律神経系指標（心拍、呼吸、皮膚電気活動）を計測する。

右上図：刺激を与える前後も含めた計7点の生理データから統合情報量 Φ を計算すると、刺激中に身脳を横断する部分システムの統合度が上昇する。

右下図：刺激条件間の差について、錯覚に関連するアンケートから得られた主観的評価値と統合度が正の相関を示す。

用語解説

注1) ラバーハンド錯覚

身体認識の錯覚を生み出し、身体所有感という確実に思える意識的経験が、極めて曖昧で変容しやすいものであることを体感できる有名な実験。被験者は自身の手をつい立ての裏に隠し、目の前に置かれた偽物の手を見る。このとき両方の手を同時に触れられると、目の前の偽物の手で触覚を感じ、さらには偽物の手が自身の手であるかのように錯覚する。

注2) 統合情報理論

2001年にイタリアの脳科学者トノーニが提唱した理論。もともとは脳の発火ネットワークから人間の意識の状態を測定するものとして使われていたが、近年では、脳と直接の関係を持たないさまざまな分野にも応用されている。

研究資金

本研究は科研費 若手研究、基盤研究 C、学術変革領域研究(A)による支援を受けて実施されました。

掲載論文

- 【題名】 The ambiguous feeling between “mine” and “not-mine” measured by integrated information theory during rubber hand illusion
(ラバーハンド錯覚中の「私のもの」と「私のものでない」という両義的感觉を統合情報理論で測る)
- 【著者名】 Takayuki Niizato, Yuta Nishiyama, Kotaro Sakamoto, Hisashi Murakami, Takumi Kazama, Tatsuya Okabayashi, Taiki Yamaguchi
- 【掲載誌】 Scientific Reports
- 【掲載日】 2022年10月26日
- 【DOI】 10.1038/s41598-022-22927-1

問合わせ先

【研究に関すること】

新里 高行 (にいざと たかゆき)

筑波大学 システム情報系 助教

URL: <https://www.takayukiniizato.com>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp

長岡技術科学大学大学戦略課企画・広報室

TEL: 0258-47-9209、Fax : 0258-47-9010

E-mail : skoho@jcom.nagaokaut.ac.jp