

令和元年6月14日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05958

研究課題名（和文）身体獲得の生起と維持メカニズムの数理モデルによる解明

研究課題名（英文）Computational modeling of embodiment and maintenance of bodily self consciousness

研究代表者

金山 範明（KANAYAMA, NORIAKI）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究員

研究者番号：90719543

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、人が自分の身体を自分のものであると認識し、的確に操作できるようになる心理過程を、脳メカニズムとともに明らかにすることを目標とした。行った複数の実験から人が自分の手・腕を認識する際に、どのような脳反応が起こっているかを検証することができた。特に脳波ではアルファ帯域の活動に「自分の手のように感じる」感覚がコードされている可能性が明らかになった。またMRIを用いて検証した脳容積と自己感の関連については、島皮質がその候補として挙げられ、個人差をモデル化する際に有効な知見を得た。また本取り組みを通じて、コグネティクスという研究協力の考え方を提案し、研究チームで継続して科学研究費に採択された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

得られた「自己感」を反映するとされる脳反応は、今後道具や義肢、移動体、建機、あるいはVR上の身体のコントロールをする場合に、その対象にどれだけ「自己身体感」を感じているかをリアルタイムで表す指標として活用する可能性が示された。こうした技術を用いて人が自然にものを操るための一つの条件として製品デザインに応用されることが期待されており、現在工学研究領域との共同で知見を産業応用するプロジェクトを検討し始めている。また本研究で行った「コグネティクス」という心理学・神経科学・工学（主にロボティクス）の新しい融合研究法に関する提案から、科学と工学および産業応用のシームレスな連携の推進が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to elucidate the psychological and neural mechanism to recognize human body as an own possession and get control on the body. Conducted studies revealed the neural correlates of own arm and hand recognition. Especially, alpha wave of Electroencephalography (EEG) could be a candidate to monitor the feeling of ownership on our hand. Also, a study about voxel-based morphometry using Magnetic resonance imaging (MRI) showed a possibility that the volume of insular cortex is an index of individual difference in feeling of body-ownership. Through all the studies, I have collaborated with Prof. Masayuki Hara as a Robotics researcher under the term of "Cognetics", which means a close interdisciplinary collaborative platform, and had some conferences and got another budgets.

研究分野：実験心理学

キーワード：身体認識 脳波 MRI

## 1. 研究開始当初の背景

自分の身体認識の可変性を示す一つの現象として、ラバーハンド錯覚という錯覚がある(図1: Botvinik & Cohen., 1998)。これは自分の手に似せたラバーハンドが触られているのを見ること(視覚)と、自分の手が触られること(触覚)を同期させることで、ラバーハンドがあたかも自分の手であるように認識されるというものである。また同様の観点で、自分の顔に関しても、顔に関連した運動感覚と視覚の同期により、自分の顔でないものを自分の顔のように認識してしまう現象が明らかになっている(図2: Sforza et al., 2010)。

申請者はこれらの現象を体験する際の神経基盤を明らかにしてきた(Kanayama et al., 2007; 2012; Serino et al., 2015)。具体的には、各感覚皮質における活動と、それを統合する頭頂連合野、前頭前野、補足運動野などの活動がその調節を行っており、これらのネットワークの働きによって自己身体認知に関する錯覚が起こることが示唆されている。このネットワークはそれらをつなぐ神経線維の観点からも保証されている。

しかしながら、未だそのネットワークの挙動を直接的に明らかにした研究はない。またそうした脳反応を実環境で応用するには、計測の困難さ、研究間での結果が安定しないことなどの問題があった。

## 2. 研究の目的

ラバーハンド錯覚実験において、研究間で結果が安定しない問題については、人の心理過程についての個人差の問題と、実験環境が研究ごとに異なる可能性の二面がある。これについて心理学的な検討の自由度を高めるための実験装置の開発、及び成果をより具体的にするための個人差を含めた数理モデルの利用が求められる。これを実現するためには、心理学のみならず工学や数理モデルの専門知識も必要であるため、各分野の専門家との密な連携を行い学際的な協力関係を築く。装置作製後は、脳波実験、fMRI 構造画像実験、機能画像実験、身体運動を含めた脳波実験と進めて、新しい装置による心理、身体、脳データを収集する。これらを総合して、実用可能な自己身体認知の脳モデルを提案する。

## 3. 研究の方法

### 装置の開発と実験環境の構築

第一に本計画に一貫して必要な以下の2つの機器を作製し、実験環境の統一化を図る。

[1] fMRI 対応触覚刺激装置

[2] 腕の位置を推定するためのフォースゲージ

[1]はコンピュータから触覚刺激の速度と圧力をコントロールできる装置であり、ラバーハンド錯覚の際の触覚刺激の速度と圧力をコントロールできる。並行して実施する「脳と主観的感情反応及び物理特性に基づいて標準化された触覚刺激の作成、平成28年4月1日~平成30年3月31日 科学研究費(挑戦的萌芽研究)課題番号: 16K13507」において開発する触覚感情刺激提示装置の技術を応用した。

[2]は実際にラバーハンド錯覚の際にどれほど手の運動が起こったかについて計測するものである。購入するモーションキャプチャと合わせて、運動を加えたラバーハンド(Moving rubber hand)錯覚実験の際の人の運動を定量的に計測する目的で準備した。

### ラバーハンド錯覚中の脳内ネットワークの検証

一般的なラバーハンド錯覚実験を行い、その脳活動のネットワーク性を検証する解析を行う。解析は得られた脳波に独立成分分析をかけ、独立した皮質領域を信号源として推定する信号に分解する。この分解された信号について因果性解析を適用し、ラバーハンド錯覚のための死触覚統合を行う際の脳内情報フローを可視化した。

### ラバーハンド錯覚中の脳波成分のリアルタイム抽出の検討

運動を加えたラバーハンド錯覚実験において、乾式の簡便な脳波計測を行い、どのような脳波成分をモニタすればリアルタイムにラバーハンドについての「自己身体感」を定量的に表すことができるのかを検討した。

### 大規模脳構造画像と身体所有感の個人差の関連性

多くの参加者の脳構造画像を取得し、質問紙調査で得られた個人の身体所有感の強さと相関する脳部位を探った。脳構造画像はMRIにより測定し、島皮質、頭頂連合野等の脳容積が質問紙スコアと関連するかどうか検証した。

### ラバーハンド錯覚中の腕の運動の計測と脳波との関連

ラバーハンド錯覚を、4つの骨伝導スピーカとLEDにより惹起し、その錯覚量を腕の位置計

測によって連続的に評価する。これにより数理モデルに利用可能な連続量として、錯覚の状態をモニタできるようにした。

#### 4. 研究成果

##### ラバーハンド錯覚中の脳内ネットワークの検証

ラバーハンド錯覚中の脳反応の検証をした結果、これまでの知見と同等に頭頂領域におけるガンマ波および前頭領域におけるシータ波の反応が確認された。頭頂領域におけるガンマ波は、ラバーハンドを自分の手だと思ふ条件で強く、前頭領域におけるシータ波はラバーハンドが自分の手だと思わない条件で強く反応した。

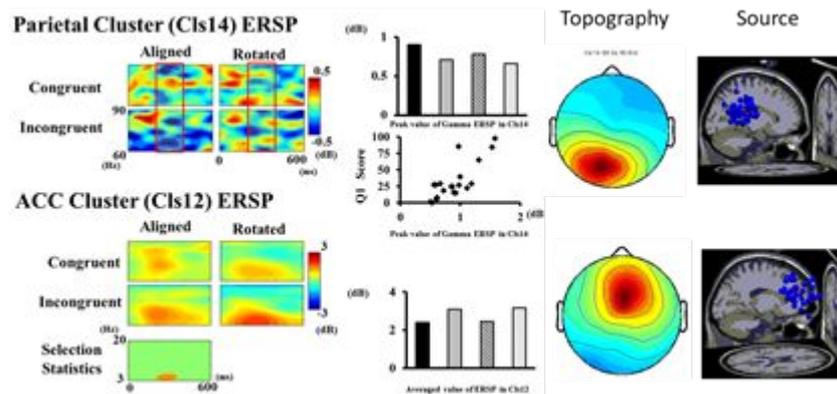


図1. ラバーハンド錯覚中の脳反応

また錯覚と関連がないが、その成立に関連すると考えられる体性感覚野と視覚野の活動を抽出し、その脳内情報フローを可視化した(図2)。これによれば、ラバーハンド錯覚中は手に受けた触覚情報を体性感覚野で受け取り、頭頂連合野に送る。頭頂連合野ではその触覚情報が視覚情報と時空間的に一致していたかどうかにより処理の調節を受け、一致していた場合はその情報を体性感覚野に返し、あたかもラバーハンドが自分の手であるかのように感じさせる調節を行っている可能性が示唆された。本成果の詳細は、“Kanayama, N., Morandi, A., Hiraki, K., Pavani, F. Causal Dynamics of Scalp Electroencephalography Oscillation During the Rubber Hand Illusion. *Brain Topography*, 30, 122-135. doi:10.1007/s10548-016-0519-x. 2017.”に報告されている。

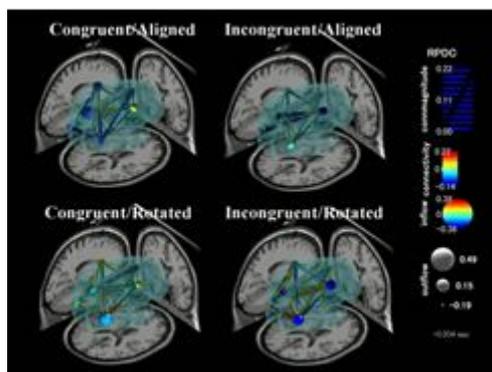


図2. ラバーハンド錯覚中の脳内情報フロー

##### ラバーハンド錯覚中の脳波成分のリアルタイム抽出の検討

運動を加えたラバーハンド錯覚実験中に、モーションキャプチャを用いて指運動を計測し、その運動する手とラバーハンドの姿勢が空間的に一致する際を錯覚あり、一致しない場合を錯覚なしの条件として脳波を計測した。この時頭頂後頭部のアルファ帯域の活動が、錯覚と関連することが明らかになり、この活動を用いれば義手や建機の操作中にそれをいかに自分の手のように自然に受け入れているかをモニタ出来る可能性を示した。本成果は“平本亮介・金山範明・宮谷真人・中尾敬 ラバーハンド錯覚経験を反映するμ波抑制 生理心理学と精神生理学改稿中”にて報告予定である。

##### 大規模脳構造画像と身体所有感の個人差の関連性

高知工科大学との共同研究で、約100名の大規模脳構造画像の取得と、質問紙計測により身

体所有感の個人差スコアを計測した。これらの相関を算出し、どの脳部位の脳容積が身体所有感の個人と関連しているかを確認した。その結果左の島皮質の脳容積の関与が示唆された(図3)。本成果は“ Kanayama, N., Asai, T., Nakao, T., Makita, K., Kozuma, R., Uyama, T., Yamane, T., Kadota, H., & Yamawaki, S. Subjectivity of the Anomalous Sense of Self is Represented in Gray Matter Volume in the Brain. *Frontiers in human neuroscience*, 11:232. doi: 10.3389/fnhum.2017.00232. 2017.” に報告されている。

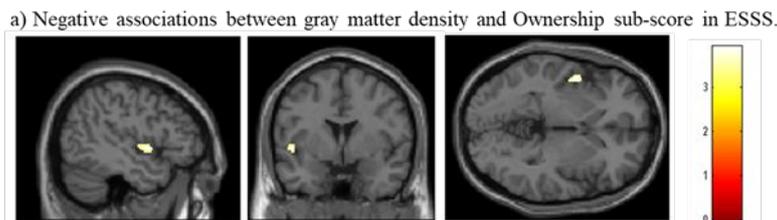


図3 . 身体所有感の個人差と関連のある脳部位

ラバーハンド錯覚中の腕の運動の計測と脳波との関連

ラバーハンド錯覚を起こす課題中に腕の運動を計測し、無意識にラバーハンドの方に腕を動かす現象を確認した。また同時にこの時の脳反応を計測し、その関連性を因果性解析をはじめとした信号処理により明らかにする検討を行った。また本データをまとめて、偽物の手を自分の手であると認識する際にどのようなパラメータでそれが決まっているかを数理モデルに表す検証を継続している。本結果は確定後速やかに誌上発表する予定である。

その他

本研究で取り組んできた内容について、以下のシンポジウムを行った。

International symposium of Tactile Perception, Bodily Consciousness, and Sense of Self  
<https://sites.google.com/view/intsymtacobdself>

日常のこころを読み解く脳信号解析法 ~ウェアラブル脳計測の利用に向けて~  
<https://sites.google.com/view/bransmp18wbs/>

## 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 7件)

田中 彰吾, 浅井 智久, 金山 範明, 今泉 修, 弘光 健太郎 心身脳問題 からだを巡る冒険 心理学研究 (印刷中)

Hiramoto, R., Kanayama, N., Nakao, T., Matsumoto, T., Konishi, H., Sakurai, S., Okada, G., Okamoto, Y., & Yamawaki, S. BDNF as a possible modulator of EEG oscillatory response at the parietal cortex during visuo-tactile integration processes using a rubber hand. *Neuroscience Research*, 124:16-24. doi:10.1016/j.neures.2017.05.006. 2017.

Kashihara, S., Kanayama, N., Miyatani, M., Nakao, T. Attentive Observation is Essential for the Misattribution of Agency to Self-Performance. *Frontiers in Psychology*, 8:890. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00890. 2017.

Kanayama, N., Asai, T., Nakao, T., Makita, K., Kozuma, R., Uyama, T., Yamane, T., Kadota, H., & Yamawaki, S. Subjectivity of the Anomalous Sense of Self is Represented in Gray Matter Volume in the Brain. *Frontiers in human neuroscience*, 11:232. doi: 10.3389/fnhum.2017.00232. 2017.

Kanayama, N., Morandi, A., Hiraki, K., Pavani, F. Causal Dynamics of Scalp Electroencephalography Oscillation During the Rubber Hand Illusion. *Brain Topography*, 30, 122-135. doi:10.1007/s10548-016-0519-x. 2017.

Nakao, T., Kanayama, N., Katahira, K., Odani, M., Ito, Y., Hirata, Y., Nasuno, R., Ozaki, H., Hiramoto, R., Miyatani, M., Northoff, G. Post-response by power predicts the degree of choice-based learning in internally guided decision-making. *Scientific Reports*, 6, 32477. doi:10.1038/srep32477. 2016.

Asai, T., Kanayama, N., Imaizumi, S., Koyama, S. and Kaganoi, S. Development of Embodied Sense of Self Scale (ESSS): Exploring Everyday Experiences Induced by Anomalous Self-representation. *Frontiers in Psychology*, 7:1005. doi: 10.3389/fpsyg.2016.01005. 2016.

[学会発表](計 13件)

平本亮介・金山範明・宮谷真人・中尾敬 2018 木の棒に対するラバーハンド錯覚誘導-意味ある行為遂行は錯覚を生じさせるか 第 10 回多感覚研究会(東北大学,10月20日)

平本亮介・金山範明・宮谷真人・中尾敬 2018 形態的類似性と行為の意味性が身体認識に与える影響 日本認知心理学会第 17 回大会(立命館大学,9月1日) **大会発表賞受賞**

伊藤謙・岡本正吾・原正之・金山範明・山田陽滋 2018 姿勢の不整合を許容する鏡越しのラバーハンドイリュージョン」日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018(北九州国際コンベンションゾーン,6月2日)

原正之・岡本正吾・伊藤謙・金山 範明・三木将仁・高崎 正也 視線操作がラバーハンド錯覚に及ぼす影響 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018(北九州国際コンベンションゾーン,6月2日)

Kanayama, N., Yoshimoto, S. 2017 Wearable EEG measurement system demonstration. Twenty-fifth EEGLAB Workshop. (Tokyo, Sep. 27).

金山範明・吉本秀輔・原正之・繁樹博昭・開一夫 2017 コグネティクス:工学研究者とのコラボによる新しい心理学・脳科学の可能性(公募シンポジウム)第 81 回日本心理学会大会(久留米大学,9月20日)

平本亮介・金山範明・宮谷真人・中尾敬 2017 機能性身体モデル仮説に基づく身体認識変容の検討」日本認知心理学会第 15 回大会(慶應義塾大学6月3日)

金山範明・中尾敬・川越敏和・高村真広・小野田慶一 2017 安静時脳活動の利用と展望(公募シンポジウム)第 35 回日本生理心理学会大会(江戸川大学,5月27日)

柏原志保・金山範明・宮谷真人・中尾敬 2017 観察による行為の虚記憶に及ぼす運動シミュレーションの影響-脳波からの検討-,第 35 回 日本生理心理学会大会(江戸川大学,5月27日)

金山範明 2016 コグネティクスと MoBI による新しい工学と認知神経科学の融合(工学×認知心理学インテグレーション:サービスとものづくりの新領域)第 17 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(札幌コンベンションセンター,12月17日)

平本亮介・金山範明・松本知也・中尾敬・小西宏奈・桜井悟・岡田剛・山脇成人 2016 視触覚統合課題中の頭頂葉ガンマ波と血中 BDNF 濃度の関連,第 8 回多感覚研究会(早稲田大学,11月19-20日)

Kanayama, N., Makita, K., Sasaoka, T., Machizawa, M., & Yamawaki, S. 2016. Extracting insular activation using scalp EEG during expectation of emotional picture. Neuroscience 2016. (San Diego, Nov. 15)

Kanayama, N., Matsumoto, A., Makeig, S., Iversen, J. R., Tanaka, H., & Miyakoshi, M. 2016. Challenging brain-mind-body interactions during natural behaviors using EEG. The 31th International Congress of Psychology (ICP2016). (Yokohama, July 29) as Organizer of symposium

〔図書〕(計 3件)

金山範明他、有斐閣、有斐閣現代心理学辞典、印刷中  
 金山範明他、朝倉書店、図説 視覚の事典、印刷中  
 開一夫・金山範明(編)、東大出版会、脳波解析入門 EEGLAB と SPM を使いこなす、2016年9月

## 6. 研究組織

(1)研究分担者  
なし

(2)研究協力者  
研究協力者氏名：原正之  
ローマ字氏名：Masayuki Hara

研究協力者氏名：片平健太郎  
ローマ字氏名：Kentaro Katahira

研究協力者氏名：平本亮介  
ローマ字氏名：Ryosuke Hiramoto

研究協力者氏名：柏原志保  
ローマ字氏名：Shiho Kashihara

研究協力者氏名：弘光健太郎

ローマ字氏名：Kentaro Hiromitsu

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。