

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年8月30日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K04182

研究課題名(和文)体性感覚刺激の付与が脳と動機づけに与える影響：ERPとfMRIの融合研究

研究課題名(英文)Effects of somatosensory stimuli on brain activity and motivation: ERP and fMRI studies

研究代表者

大上 淑美(Ohgami, Yoshimi)

東京工業大学・リベラルアーツ研究教育院・研究員

研究者番号：30456264

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、刺激先行陰性電位(SPN)と呼ばれる脳活動を指標として、体性感覚刺激を与え、身体からの情報が脳と動機づけに与える影響をERP実験とfMRI実験にて検討した。時間評価課題を用い、条件は体性感覚刺激を与える4条件(左手、右手、左足、右足)を設定した。結果として、体性感覚刺激付与の効果としては、ERPとfMRI実験共に手(左右)条件では体性感覚野の活動と対側支配性があったが、足(左右)条件では見られなかった。ダイポール解析では、SPN区間での活動が観察された。顕著性ネットワークへの影響については、今後、さらにネットワーク解析や行動データの分析も行い、詳細に検討を進める予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果は、手に対する体性感覚刺激の付与により、対側優位に脳の体性感覚野の活動を生じさせた。足にも体性感覚刺激の効果は確認された。これらは、体性感覚刺激の付与による運動野での準備的な活動が脳波で記録されたという先行研究の結果を支持し、動機づけと予測に関連する体性感覚野の脳活動として新しい知見である。日常のコミュニケーションは、情報のやりとりと同時に握手など体性感覚刺激を伴うことが多いため、認知症患者には身体に触れながらコミュニケーションを取ると意思の疎通が可能になるという報告を支える生理心理学的な基礎データを示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we examined the influence of information from the body to the brain and the motivation by the ERP and the fMRI using somatosensory stimuli. The stimulus preceding negativity (SPN) was employed as an index of the brain activity. We employed a time estimation task and set four conditions (Left Hand, Right Hand, Left Foot, Right Foot) to be provided the air-puff somatosensory stimulation. As a result, the effect of the somatosensory stimulation was not clearly observed in the foot (left and right) conditions although there was an activity of the somatosensory area and the contralateral dominance in the hand (left and right) conditions in both the ERP and the fMRI experiment. Activity was observed in the SPN interval in the dipole analysis. In the future, we will conduct network analysis and behavioral data analysis to discuss the effect on the salience network.

研究分野：実験心理

キーワード：動機づけ

## 1. 研究開始当初の背景

“予測”は行動の最適化など行動の形成に強い影響力を持つ認知因子であり、未来の出来事に対する“予測”は行動の迅速や正確さを左右する重要な役割を担っている。一方、“動機づけ”は、行動の選択に強く関与しており、特定の方向へ行動を強化するという特徴を持つ。行動の選択には、何か欲しい・欲しくないという心の動き、つまり“動機づけ”が不可欠な要素であり、何気ない日々の行動にも何らかの動機づけによる行動の強化が見られる。例えば、歯科に行きたくない、つまり虫歯になりたくないから歯磨きをするといった行動として表現される。

動機づけの効果について研究する場合に、実験時に刺激が呈示された後の脳活動を測るよりも、刺激が呈示される前の状態、刺激を予測している時の脳活動を測定すると効果的に動機づけを捉えることができることがわかっている (Brunia et al., 2011)。

刺激呈示後は、知覚に関する脳活動と動機づけに関する脳活動が約 1 秒という非常に短い時間内に混在し、測定された脳活動がどちらに関連しているのかを区別することが難しくなる。一方、刺激前の活動は数秒前から緩やかに活動を始めることから、知覚と動機づけの活動を区別することが容易になる。

この刺激前の緩やかな脳活動は、“刺激先行陰性電位 (SPN)”という脳波の事象関連電位 (ERP) として測定できる (Damen & Buria, 1985)。顕著な電位のピークがある ERP (例 P300) とは異なり、SPN はゆっくりとした脳の電気生理活動を表しており、数秒間持続して出現する。

本研究グループは長時間計測が可能な脳波計と高密度電極を用いて SPN 研究を開始し、特に予測、つまり SPN の振幅を左右する主要因が、感情の動き (情動) すなわち “動機づけ” にあると考え、基礎的研究を進めてきた。

SPN は、用いる刺激により、振幅の変化や頭皮上の電位の分布に変化が生じることがわかっている。これまでに、視覚刺激や聴覚刺激、情報量の操作や金銭報酬の付与をし、その時の SPN の変容を観察する研究を行ってきた (Kotani et al., 2001; Ohgami et al., 2004, 2006, 2014)。

SPN は他の ERP とは異なり、2~4 秒間に渡ってゆっくりと出現することから、fMRI でも捉えることが可能である。(fMRI は、頭ひとつ分の撮像に数秒掛かるため、多くの ERP を捕らえることが難しい。) 脳波はシナプス後電位を反映しており、時間分解能力が高い。fMRI は神経活動に伴う酸化ヘモグロビンの変化を反映しており、空間分解能力が高い。

本研究者は、この一長一短がそれぞれある ERP と fMRI という 2 種類の脳機能イメージング法を相互補完的に用いて、脳活動を測定し、動機づけを反映する SPN をより詳細に解明を進めてきた。

本研究者が行った fMRI 実験データからより詳細に SPN の発生源を調べた結果、SPN の発生には右前部島皮質が重要な役割を果たしていることを突き止めた (Kotani, Ohgami, et al., 2015)。右前部島皮質は顕著性ネットワーク (Salience Network) という刺激の情動的価値を評価する脳内ネットワークであり、特に末梢からの情報を「嬉しい」といった感情に変換し、(Craig, 2002, 2003) 身体と感情さらには認知機能とをつなぐ重要な役割をも担っていることも明らかにされている (Eckert et al., 2008)。この考えは、情動の理論であるジェームズ-ランゲ説の『悲しくなるから泣く』のではなく『泣くから悲しくなる』という身体からの情報の重要性を唱える考えと一致する。身体からの情報が感情や認知機能に影響を及ぼし、それは個人の動機づけの程度にも変化を及ぼすと考えられるが、この一連の流れについての研究は少ない。

## 2. 研究の目的

ジェームズ-ランゲによる情動の理論『泣くから悲しくなる』という、身体からの情報により感情や認知が変化することを刺激先行陰性電位 (SPN) という指標を用いて、この理論を支える基礎的な生理心理学的データの取得を目的とする。

前述のとおり、「SPN と動機づけに対する島皮質の関与」、「島皮質が末梢の情報を意識化し知覚や認知処理活動を修飾する」という知見は、身体からの情報という体性感覚刺激を与えることにより、感情的な知覚を変化させることができるのではないかと考えられる。顕著性ネットワークの変化を見るために、多くの研究ではヘビの写真など情動刺激図版 (IAPS) にて自律神経の活動を興奮させ、その末梢からの情報の有無による変化を捉えてようと試みている。しかし、日常で気分や動機づけの高揚のために刺激的な絵を見ることは少ないが、握手や肩をポンと叩くような体性感覚刺激、他人とのふれあいを伴ったコミュニケーションが相手の動機づけを高めるような場合がある。そのため、体性感覚刺激を付与することにより感覚・感情が変化するメカニズムを検討することは、人間の心と身体の間を探る上で非常に重要な意味を持っている。

本研究では、事象関連電位 (ERP) の SPN を指標とし、体性感覚刺激を与えて、身体末梢からの情報付与が動機づけや顕著性ネットワークの働きに与える影響を調べる。そのために fMRI 実験で脳の活動部位を同定し、ERP 実験から脳の活動部位の時間変化を捉えることを目的とする。

特に ERP データと fMRI データを融合させ、「脳のどこが (fMRI)、どのように (ERP) 活動するのか」に焦点を当て、体性感覚刺激が脳と動機づけにどのようなメカニズムで影響を与えているのかを調べる。fMRI では、脳のどこが活動したかのみならず、脳の各領域の機能連関の検討や

脳波のデータに対しダイポール分析(電流源推定)を統合的に用いることにより、体性感覚刺激が与えられたことによる動機づけと情動の変化がどの脳内ネットワークを介して作用しているのかを検討する。

#### 目的1) 体性感覚刺激付与効果の確認

体性感覚刺激を付与すると主観的な情動および動機づけが変化するかを検討する。ERP 実験と fMRI 実験の2つを行い、SPN を指標として用い fMRI のデータと融合し、解析する。

#### 目的2) 左右半球機能差の確認

顕著性ネットワークは右半球優位に活動することがわかっており、言語刺激は左半球の活動を高め、顔刺激は右半球の活動を高めることもわかっている。そこで、体性感覚刺激を左手に付与し右半球活性化させたところに、顕著性ネットワークと同側刺激(顔号刺激)と対側刺激(言語刺激)を与え、体性感覚刺激による顕著性ネットワークの活動が促進されるのか、あるいは阻害されるのかを調べる。これにより体性感覚刺激が他の刺激と比べ特異的な性質を持っているか否かを判別できる。

### 3. 研究の方法

- ・実験開始前に、本実験分の倫理申請を行い、承認後に実験を開始した。
- ・複数の種類の体性感覚刺激を作成する。
- ・体性感覚刺激をフィードバック情報(刺激)として用いた実験課題を作成する。
- ・ERP 実験と fMRI 実験を行い、生理指標の測定を行う。
- ・それぞれの実験データを別個に分析する。
- ・2 実験のデータを用いて統合的にも分析を行い、データを考察する。

#### (1)体性感覚刺激と実験課題作成

体性感覚刺激の作成は、既存の装置が高額であったため、エアパフ(圧縮空気)を用いて、作成をする。エアパフの装置はコンプレッサーと電磁弁と用い、PC でコントロールでき、複数のエアパフの呈示ができるような装置を業者に依頼した。エアパフは十分に知覚できるような圧力の確保とともに、被験者に体性感覚刺激として知覚できるかを事前に確認する。また、その際の快・不快のレベルも確認する。

生理指標測定のための課題プログラムを E-Prime(心理実験用刺激呈示ソフト)を用いて作成した。課題は、時間評価課題(あらかじめ指定した数秒程度の時間を頭の中で数えてもらい、その指定された時間が経過したと思ったらボタン押しを行い、数秒後に時間評価が合っていたか間違っていたかのフィードバック情報の呈示)を用いる。

この課題では、フィードバック情報(刺激)の操作(どのような刺激をどこに呈示するか)により、異なる実験条件を作り出すことが可能で、体性感覚刺激は以下の異なる 4 つの部位に呈示する(すなわち 4 条件を設定した)フィードバック刺激が呈示されないコントロール条件を設けた。

- 1) 左の手の甲、2) 右の手の甲、3) 左の足の甲、4) 右の足の甲、5) コントロール

#### (2)生理指標の測定

実験課題に組み込んだ体性感覚フィードバック刺激の呈示速度や圧力、頻度の確認のため、数名の被験者に体性感覚(生理指標の測定無し)評価を得た。その後、予備実験として、実験課題プログラムに間違いやバグが無いが、条件設定に誤りがないかを確認を行った。加えて、課題の信頼性を確認するために数名のデータを分析し、時間評価課題のボタン押し運動中に運動準備電位が測定されているかを確認後、本実験を開始した。

被験者は、主に大学生と大学院生、30 名程度に協力してもらった。

データ測定は、68ch の高密度脳波測定と 3.0TfMRI を用いた計測を別々の日程で行った。どちらの測定でも精密なデータを記録するため、トレーニングと本実験のふたつで一組の実験として構成する。課題に慣れるためのトレーニングを行い(説明や同意書の記入も含め 1 時間程度)、別の日に生理指標を測定する本実験を行った。特に脳波測定は、電極の装着や休憩も含め、3 時間程度掛かるので、被験者を募り謝金を支払うことによって、実験に対する最低限の集中力と動機づけを維持した。

別の日程を組んで課題トレーニングと fMRI 実験を行い、脳波実験と同様に謝金を支払った。行動指標として、正答率、覚醒の度合いなどを条件毎に被験者の内省報告として記録した。

#### (3) データ解析

ERP データの分析には、加算平均処理から発生源推定まで専用の脳波解析ソフト(BESA)を使用する。条件間での差があるかどうかの確認には、繰り返しの分散分析を行い、どの条件において、どの電極位置で振幅の差があるのかを確認する。

fMRI データ分析には、MATLAB 上で作動するフリーのソフトウェアを用い、膨大な画像データ

の扱いには大容量のハードディスクも使用し、東京工業大学所有のスーパーコンピューター TSUBAME も利用した。

fMRI データから 4 条件に応じて脳の活動部位を算出し、そこにダイポール(電流源)を置き、ERP データ(全被験者分の総加算平均)上でその部位の活動の時間変化を追った。

#### 4. 研究成果

##### (1) データ解析の結果

###### ERP データ

脳波データの統計分析は、BESA(ソフトウェア)を用いて、被験者毎の加算平均を行ったあと、その被験者のデータからグランドアベレージ(総加算平均)をし、そのデータから頭皮上電位分布図も作成した。

時間評価課題において、SPN が出現する区間は、指定された秒数を数え、ボタンを押してから、体性感覚フィードバック刺激が呈示される 2 秒間である。

条件は、以下の 5 条件である。

- 1) 左手の甲(左手)
- 2) 右手の甲(右手)
- 3) 左足の甲(左足)
- 4) 右足の甲(右足)
- 5) コントロール

・1) ~4) の 4 条件では、ボタン押し後にフィードバック刺激の呈示までに右肩上がりの SPN が出現していたが、5) のコントロール条件では SPN は出現していなかった。

・1) ~4) の全 4 条件で、前頭部の両側に活動部位が見られた。

・手(左手・右手)に呈示するよりも足(左足・右足)への呈示時に、どの電極でも SPN の振幅が増加していた。

・手(左手・右手)に呈示した場合、Z ライン、頭頂、後頭エリアの活動が低かった。

・手(左手・右手)に呈示した場合、右手呈示の振幅は左手呈示の振幅よりもやや小さかった。

・手(左手・右手)に呈示した場合、Central(セントラル)の C1C3(左半球)と C2C4(右半球)の電極位置において、呈示した反対側の電極位置の振幅が大きくなっていた。すなわち、対側支配性が出現していた。

・足(左足・右足)に呈示した場合、手に呈示した場合よりも広範囲に活動が観察された。

・足(左足・右足)に呈示した場合、手(左手・右手)に呈示した場合と比べて、左右差(対側支配性)が小さかった。

・左足呈示は右足呈示より振幅にやや小さい傾向があった。

###### fMRI データの結果

fMRI データは、SPM8(ソフトウェア)を用い、プリプロセッシング処理(リアライメント・ノーマライゼーション)をし、イベントリレイテッドデザインで分析を行った。リグレッサは FB 前 2 秒間に設定した。

さらに、コントラストイメージ(左手-コントロール・右手-コントロール・左足-コントロール・右足-コントロール)を作成し、体性感覚刺激に対応する賦活領域を調べた。

・左手条件で左手に対応する右半球の一次体性感覚野に活動が確認された。

・右手条件で右手に対応する左半球の一次体性感覚野に活動があった。

・左足条件でも対応する部位(頭頂付近)に賦活が見られた。

・右足条件のみ、うまく検出できなかった。

###### 統合的解析の結果

の fMRI データの結果から 4 条件に応じて脳の活動部位を算出し、そこにダイポール(電流源)を置き、ERP データ(全被験者分の総加算平均)上でその部位の活動の時間変化を追った。右足条件にのみ、対応する賦活部位がなかったため、左足条件での活動部位を用いた。

どの条件でも 6 つのダイポールを設置したが、そのうち、2 つは fMRI 実験の結果から、残り 4 つはから、SPN の発生源と言われる両側の下頭頂小葉、両側の前部島皮質(Kotani et al., 2009)に設置した。

・左手条件では、右半球の一次体性感覚野の手の処理領域付近のダイポールが、SPN 区間での活動の高まりが観察された。

・右手条件において、右半球の一次体性感覚野の手の処理領域付近と右頭頂に置かれた 2 つのダイポールが、SPN 区間での活動の高まりが観察された。

・左足条件では、頭頂付近と後頭部の 2 つのダイポールが SPN 区間において大きく活動していた。

・右足条件では、後頭寄りの頭頂に置かれたダイポールが SPN 区間に大きく活動していた。

## (2) 考察

・体性感覚（エアパフ）刺激は、視覚刺激や聴覚刺激呈示時とは異なる電位分布図だったので、SPNは知覚刺激によって活動部位が異なるという先行研究を支持する結果であった。

・体性感覚処理の部位は、中心後回に位置する一次体性感覚野であるが、脳波電極の位置では、Central、C1からC8まで8個の電極に位置しており（Brunia et al., 1981）特にC3とC4に現れると予想していたが、結果にも書いた通り手条件では、左手条件時に右半球C2とC4の振幅が高まり、右手条件時には左半球のC1とC3の振幅が高まっていた。fMRI実験の結果でも手条件では、対側優位に一次体性感覚野のある中心後回が活動していた。

・ホムンクルスと呼ばれる運動野や体性感覚野と体部位との対応関係では、手は中心後回の外側に対応部位があるが、足は内側面に対応部位がある。このことから、足を刺激した場合に、脳波は対側優位性を表現しない形で頭頂付近に現れると先行研究で紹介されている（Brunia et al., 1981）。本研究結果もこのBruniaらを支持する結果となり、左右差が見られなかった。fMRI実験の結果では、足条件では、右足条件での対応する部位での活動を検出することができなかった。

・ダイポール分析を行った結果では、設置した複数のダイポールの時間的変化は、手と足に与えた刺激への活動が大きく観察されたが、SPNの発生源には時間的変化が小さかった。また、異なる条件でも大きな違いが見られなかった。

・半球機能差については、手（右手左手）条件では対側優位性が表現されていたが、足（右足左足）条件では対側優位性がなく、Bruniaらの先行研究を支持したが、体性感覚が与える顕著性ネットワークへの影響については、今後、さらにネットワーク解析や成分分析を行うこと、動機付けの度合い等の内省報告の行動データの分析も行い、詳細に検討を進める予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

1) 大上淑美 他、fMRI 制限ソース分析による SPN 前期成分と後期成分の発生源の同定、第36回日本生理心理学会プログラム予稿集、p60-d、2018年5月27日、北九州アジア太平洋インポートマート

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：小谷 泰則

ローマ字氏名：KOTANI Yasunori

所属研究機関名：東京工業大学  
部局名：リベラルアーツ研究教育院  
職名：助教  
研究者番号（8桁）：40240759

(2)研究協力者  
研究協力者氏名：  
ローマ字氏名：

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。