

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 6 日現在

機関番号：63905

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22800080

研究課題名（和文）自発的な意思決定に関わる神経基盤の電気生理学的な解明

研究課題名（英文）Electrophysiological investigation for the neural basis of voluntary decision making.

研究代表者

松本 敦（MATSUMOTO ATSUSHI）

生理学研究所・統合生理研究系・特別協力研究員

研究者番号：20588462

研究成果の概要（和文）：本研究では人の自由な意思決定に必要な神経基盤の解明を目的とした。その結果、自由な行動を行う際に様々な領域において活動が観察されるが、前頭眼窩野（OFC）において最も早く活動が観察され、この領域から運動野や運動前野などの運動に関わる領域へ情報が投射されていることが明らかになった。このことは OFC が行動の意思の発生に関わっている可能性を示唆している。

研究成果の概要（英文）：This research investigated the neural basis for the voluntary movement. Our results showed that various brain regions were activated when one made the decisions for the voluntary movement and the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) were activated at first. Further, this region has functional connectivity to the M1 and Pre-motor cortex. These results indicate that DLPFC plays an important role for the generation of free will for movement.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,240,000	372,000	1,612,000
2011 年度	1,080,000	324,000	1,404,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,320,000	696,000	3,016,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：自由意思, MEG

1. 研究開始当初の背景

（1）自分自身の行動は他の誰でもない自分自身が決定している。この考えの基に、近代以降の全ての価値観が形成されてきた事実は疑いようがない。政治、経済、司法、文化など全ての領域で人間の自由意志はヒトが持つ最も大きな能力であり、また同時に最も重大な権利とみなされてきた。しかし、一見あまりにもあたりまえに思えるこの人間観に対して、この数十年の心理学、神経科学は

疑問を呈してきた。Libet et al.(1983, Brain) は被験者に対して自分の自由な意志でボタンを押すことを求め、同時に被験者のボタンを押そうとした時間を報告することを求めた。同時に脳波を記録し、運動に伴って観察される運動準備電位を計測した。その結果、被験者が「ボタンを押そう」と決定する数百 ms 前にはすでに運動準備電位は惹起しており、ボタンを押そうという意思決定は運動準備のあとに意識されることが明らかになっ

た。

(2) 自分が「自由な意志」を感じる前から脳は行動を決定しているという事実は、我々の「自由な意思」は自由ではなく、様々な要因によって生じる無意識的な過程によって決定論的に規定されうる、という現実を我々に指し示している。この実験に続いて心理学、神経科学の領域では自由意志に関して様々な実験が行われるようになった。焦点となった問題の一つは脳内におけるどの領域が自由な意思を発生しているかという問題である。例えば、Jahanshahi et al.(1995, Brain)はPETを用いた神経イメージング実験を行っている。この研究では被験者は自分の指を自分のペースで自発的に動かす条件と、決まったペース(3秒に1度など)で動かす条件を行い、課題中の脳血流量を記録した。その結果、右半球の前頭前野背外側部(DLPFC)の血流がセルフペース課題のときに一定のペースの時に比べて有意に高まっていた。また、Lau et al.(2004, Science)では指を動かそうという意思に対して注意を向けている時には前補足運動野(pre-SMA), 右のDLPFC, 左の下頭頂溝(IPS)などが活動することが示されている。この結果はこれらの領域が自発的意思の発生や知覚に関与していることを示すものである。

2. 研究の目的

これまでの先行研究により補足運動野やDLPFC, 左IPSが自発的な意思に関わっている事が明らかになった。しかし、自発的な意思の発生とその知覚に関わる神経基盤に関してはまだ多くのことが明らかにされていない。これまでの研究によって明らかにされていない問題点は主に次であると考えられる。すなわち、先行研究によって示されたこれらの領域のうち、どの領域が意思の発生に関わっており、どの領域が意図の意識的な知覚に関わっているのかが不明である点である。本研究ではこれらこの点に関して積極的にアプローチしていくことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 実験ではLibetの実験パラダイムを用いて、指を動かすという自発的な行動に関わる電気生理学的な基盤を明らかにすることを目的とした。被験者は時計を見ながら自分の好きなタイミングでボタンを押す。そしてボタンを押そうと決めた瞬間に時計の針

がどこを指していたのかを覚えていて、反応後報告してもらう。これによって、主観的に反応しようとした時間を知ることができる。この条件を自発条件とする。被験者はこの条件に加えて、自分の意志ではなく、特定の音がなったらボタンを押す条件(誘導条件)も行う。

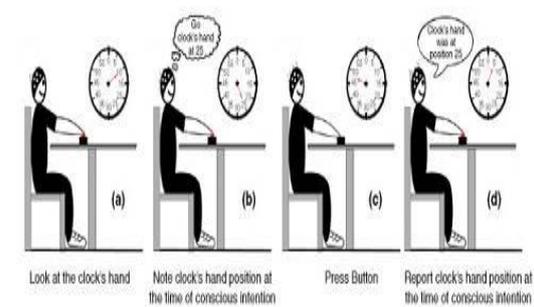


図1 自由意思決定課題

(2) この課題をMEG内で行った。脳血流計測を中心とした脳機能画像法ではなく、高い時間分解能を持った電気生理学的手法(MEG)を用いることによって、脳活動の活動を時系列によって検討することで明らかになるはずである。解析にあたっては、空間フィルタ法を用いたソース解析によって、脳の様々な領域の活動を再構成する。各領域の活動を再構成したうえで加算平均法や時間-周波数解析を用いてその活動や周波数特性を明らかにした。また、その上で多変量自己回帰モデルによる因果関係推定法(Granger causality解析)を用いることによって、領域間の活動の因果関係を明確にし、意思の発生に関わる神経ネットワークと意思の意識的な知覚に関わる神経ネットワークをそれぞれ同定できると考えられる。

4. 研究成果

(1) 脳磁図(MEG)を用いて、電気活動のソース解析と領域間のネットワーク解析による意思決定ネットワークと意思知覚ネットワークの同定を目的として実験を行った。実験ではLibetの実験パラダイムを用いて、指を動かすという自発的な行動に関わる電気生理学的な基盤を明らかにすることを目的とした。被験者は自分の好きなタイミングでボタンを押す。この条件を自発条件とした。被験者はこの条件に加えて、自分の意志ではなく、特定の音がなったらボタンを押す条件(誘導条件)も行った。この課題をMEG内で行った。データ解析は時間-周波数解析と空間フィルタ

法によるソース解析によって各領域の活動の定量化を行った。各領域の活動の時間的特性（活動順序）と、どの領域からM1に情報が流れているのかを調べることによって、自発的な意思が発生している場所ネットワーク、意図の知覚に関わるかを同定できるはずである。

(2) 解析では、自発条件では誘導条件に比較して、右半球の前頭眼窩野 (OFC) や補足運動野 (PMC), 左半球の頭頂葉 (IPS) などでbeta帯域の活動が抑制されていた。Beta帯域の抑制は神経細胞の活性化と関連しており、これらの領域が意思決定と、行動意図の知覚に関与している可能性が示唆された。これらの領域のうち、最も早く活動が観察されたのはOFCであった。

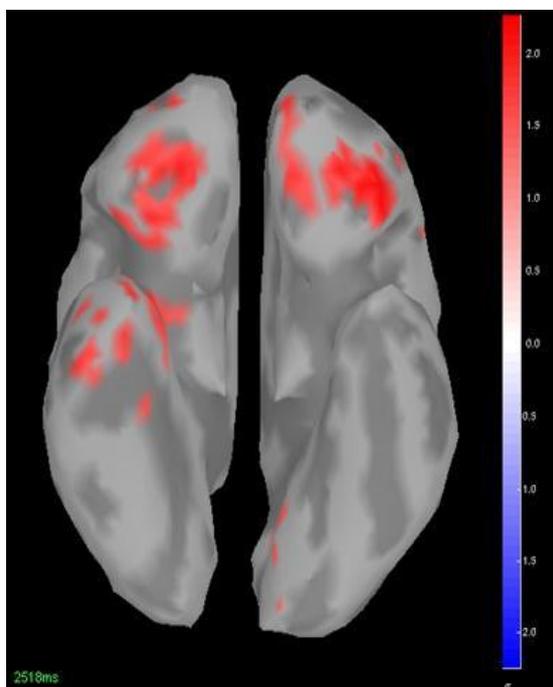


図2 前頭眼窩野の活動

(3) また、ネットワーク解析の結果、OFCとIPS, PMCへの情報の連絡が観察された。具体的には、自由条件ではボタン押しを行う約1000ms前にOFCとIPS, PMCとIPSでは1-3Hz帯域の活動が同期していた (図3, 図4)。このことはこれらの領域がネットワークを形成していることを意味している。同様のネットワークは誘導条件では観察されなかった。またこれらの領域の中で最も活動が早かったのは

OFCであった。また、Granger causality解析による因果性解析でもOFCからの情報の流れが観察された。これらの結果からOFCによって意思が発せられている可能性が示唆された。

(4) さらに、自発的な意思決定に関して前頭領域のシータ帯域活動の位相とガンマ帯域活動の振幅が同期していることが確認された。これは、各領域の高周波数帯域活動と領域間の連絡を反映する低周波数帯域とがうまく組み合わせられて広域のネットワークを形成することを意味している。このような様々な領域、様々な活動が組み合わせられて自発的な意思決定が行われていることが明らかになった。

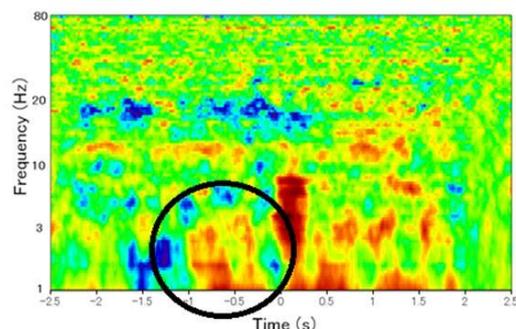


図3 自由条件における IPS と PMC 間のコヒーレンス

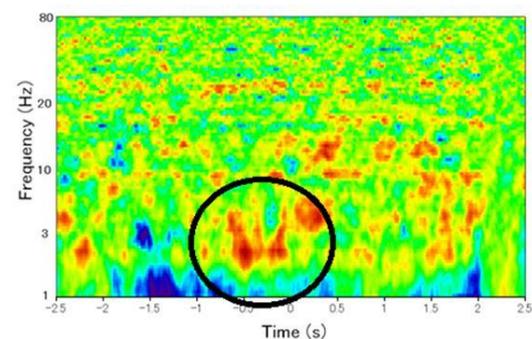


図4 自由条件における IPS と OFC 間のコヒーレンス

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

6. 研究組織
(1) 研究代表者

松本 敦 (MATSUMOTO ATSUSHI)
生理学研究所・統合生理研究系・特別協力
研究員
研究者番号：20588462