

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19300106

研究課題名（和文） 位相情報に着目した脳波・脳磁界計測

研究課題名（英文） EEG/MEG instrumentation taking phase information into account

研究代表者

眞溪 歩（MATANI AYUMU）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：50273842

研究成果の概要：

本研究では、新しい脳波(EEG)・脳磁界(MEG)データの解析法である位相系列解析を開発した。位相系列解析は単に解析方法としても機能するが、本研究では位相系列解析を前提とした EEG/MEG の測定装置・方法も含む実験全体としてデザインした。この結果、特にここ 10 年間注目を浴びている脳内の位相共振現象(事象関連同期・脱同期、長距離位相共振、位相リセット)を包括的に調べる実験方法を確立した。本実験方法を用いることによって、長距離共振を行うために領野間で位相補正が起る現象が位相リセットであり、過渡的に位相が進行するとき起る現象が事象関連同期・脱同期であるとの実験的証拠を得るに至った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	11,000,000	3,300,000	14,300,000
2008 年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
年度			
年度			
年度			
総計	15,100,000	4,530,000	19,630,000

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：非侵襲的脳活動計測

1. 研究開始当初の背景

近年、脳内の自発的電気活動の位相が共振を起こす現象(事象関連同期・脱同期、長距離位相共振、位相リセット)が注目を浴びていた。このような位相共振現象こそが、脳内の情報処理の本質であるという仮説も存在した。また、このような位相同期現象に関する状況は今日でも変わっていない。

一方、従来の EEG/MEG 計測法は、このような位相同期現象を精度よく観察するには適

していなかった。このため、脳内の情報処理過程に関する仮説を含む議論は、不確かな EEG/MEG データに基づくものが多く、決着がつかそうにもなかった。このような脳内の情報処理過程が不透明な状況も今日でも変わっていない。

このような状況の中、位相同期現象を調べることに適した EEG/MEG 計測法の開発が望まれていた。

2. 研究の目的

脳内の電気活動を血流などの二次作用ではなく一時作用としてかつ非侵襲的に測定する手段は EEG/MEG 計測しか存在しない。しかし、EEG/MEG は、そのままでは S/N 比が低く、何らかのトリガを利用して加算平均を行い、S/N 比を向上させざるを得ない。しかし、従来の加算平均は、S/N 比を向上させるものの、トリガに同期しない EEG/MEG 成分は雑音として扱ってしまう。この雑音扱いになる EEG/MEG の中には、本当に雑音ではない位相同期現象に関連する成分も含まれてしまう。

そこで本研究では、位相同期現象の解析に適した EEG/MEG の加算平均法を開発することを目的とした。一般に、解析方法の開発は、その解析対象となる EEG/MEG データの測定プロセスと独立して行われることが多い。本研究では、測定・解析を通じて実験プロセス全体として手法の開発を行うことを念頭に置いた。

3. 研究の方法

・解析手法

通常 EEG/MEG データはチャンネル 時間、エポックの関数として扱われるが、エポックだけが物理的な意味を持っていない。位相系列解析では、位相情報に着目することによって、エポック順に物理的な意味を持たせることにした。

ここでは自発活動の内、通常最も振幅が大きい α 波に注目した。具体的には、各トライアルに α 波帯域のバンドパスフィルタをかけヒルベルト変換し、着目するチャンネルの着目する潜時における α 波の位相の主値 ($-\pi$ から π) によって順序を決定する。従って、チャンネルや時刻などに応じて位相順序は異なる。ここまでの操作は、この位相順序決定のためのみに利用される。

次に、各トライアルを、 θ 波帯域から γ 波帯域のバンドパスフィルタ処理し、先に決定した位相順序で並べ換える。ここでのフィルタリングは、通常の EEG/MEG 解析の前処理の位置づけである。今後、本稿では、各トライアルを位相順に並べた系列を位相系列 (phase series) と呼ぶことにする。

最後に、位相系列を離散フーリエ変換する。この離散フーリエ変換の 0 次項 (直流成分) をまた潜時順に見れば、通常に加算平均に他ならない。しかし、離散フーリエ変換なので、1 次以上の高次の項も存在し、これらが拡張加算平均となる。2 次以上の項についての解釈は難しいが、1 次項は、刺激により変調を受けた α 波の様子や、 β 波や γ 波の生成・消滅の様子を与える。また、位相順序を決定する際に着目したチャンネルが他のチャンネルに与える有向な影響や、着目した潜時の影響が

残る時間なども評価できる。

・実験手法

先の開発手法は、複素重み付き加算平均であり、すべての重みを 1 とする通常に加算平均法と比較して、よりシングルショット EEG/MEG に高い S/N 比を要求する。また、本加算平均法から顧みると、通常に加算平均法に対しても、瞬時位相がより一様に散らばることの重要性が確認された。このため、リアルタイムに EEG/MEG の位相状態をモニタしながら刺激を動的に作成・提示するオンラインクロック同期 EEG/MEG 計測装置を開発した。具体的には、ビデオ信号の垂直同期周波数を過倍して EEG/MEG 用の AD 変換器のクロックを生成する回路、同垂直同期周波数に同期しかつ互いに精密に位置合せされた映像を出力するプロジェクタ 2 台、この映像をシールドルーム内で寝た姿勢にある被験者に提示するプロジェクタ支持台、電極がバッファアンプになる EEG キャップからなる。図 1 に、本研究で試作した EEG 計測システムの外観を示す。

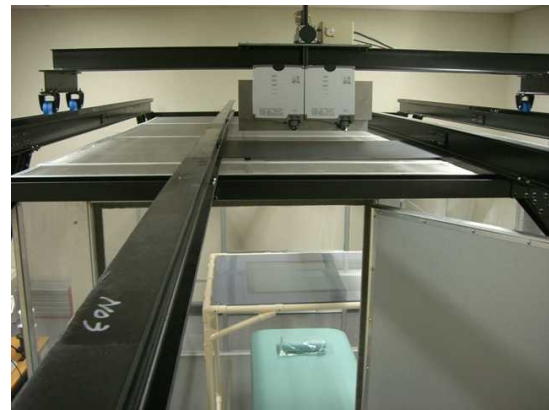


図 1 本研究で試作した EEG 計測システム

4. 研究成果

前述の EEG 計測装置を用いることによって、より精密な EEG データを得ることができ、かつ被験者への負担は大幅に減少した。

個別の研究課題に対する成果は、以下の通りである。

(1) 図 2 に、フラッシュ刺激 + ボタン押し課題時の位相系列解析の結果 (電極: FCz) を示す。上段は通常に加算平均 (0 次加算平均) 結果、中断は FCz の位相順で解析した FCz の自己 1 次加算平均、下段は電極: Oz の位相順で解析した FCz の相互 1 次加算平均を示している。なお、位相順は刺激のオンセット時刻で定めており、すべて実部のみ提示してある。1 次加算平均には、通常に加算平均波形には現れない隠れた α 波の共振現象が確認さ

れる．また，ボタン押し課題の有無に対し，前頭と後頭の EEG チャンルの位相同期を確認したところ，課題有の場合，より顕著に前頭から後頭への位相同期が確認された．

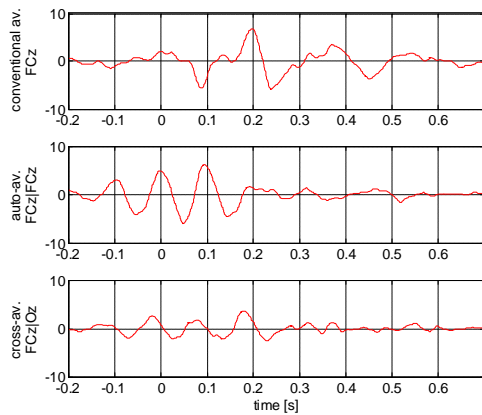


図 2 位相系列解析結果の例

(2) 位相系列解析の重要な概念のひとつに相互加算平均がある．相互加算平均は EEG/MEG チャンル間に方向付きの関係性を与えることができるが，解析するに当たって，EEG/MEG チャンルの組合せに爆発が起ってしまう．そこで，MEG 逆問題をエポックごとに解いた電流ダイポール間の位相情報に基づくクラスタリングを行い，位相系列解析に必要なチャンネル選択というパラメータを大幅に軽減した．図 3 に刺激のオンセット直前の電流ダイポールクラスタを示す．刺激以前にある程度の機能単位での共振が起っていることがわかった．

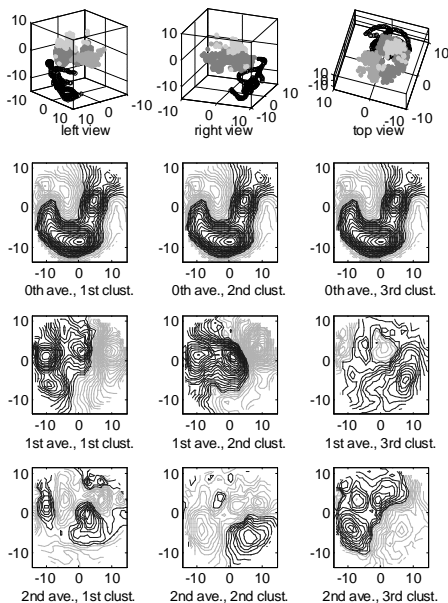


図 3 位相クラスタリングの様子

(3) 両眼立体視の情報バイディングについて，0 度と 180 度のみの位相重みを持つ位相系列解析で EEG の解析を行った．図 4 に結果を示す．左列，右列はそれぞれ状態，状態変化に対する EEG 反応を，上，中，下段はそれぞれ左，右，両眼の EEG 反応を示している．これら個別の EEG の反応の分離に成功し，かつ単眼の反応は主に状態変化に，両眼の反応は状態に顕著に現れていることがわかった．

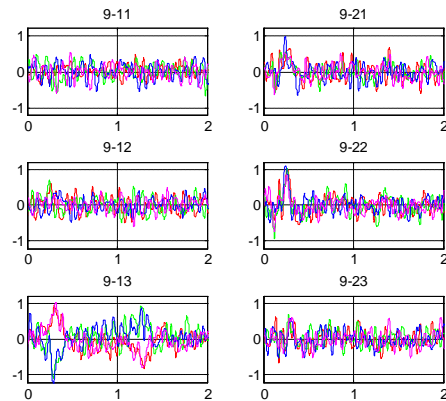


図 4 両眼立体視の解析結果

(4) 各種の位相系列解析結果を総合して考察すると，脳内の位相共振現象(事象関連同期・脱同期，長距離位相共振，位相リセット)を包括的に説明することができる．すなわち，長距離共振を行うために視野間で位相補正が起る現象が位相リセットであり，過渡的に位相が進行するとき起る現象が事象関連同期・脱同期である．

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)

[雑誌論文](計 1 件)

N. Fujimaki, T. Hayakawa, A. Ihara, Q. Wei, S. Munetsuna, Y. Terazono, A. Matani, and T. Murata, Early Neural Activation for Lexico-semantic Access in the Left Anterior Temporal Area Analyzed by an fMRI-assisted MEG Multidipole Method, NeuroImage, Vol. 44, pp.1093-1102, 2008 (査読有) .

[学会発表](計 16 件)

「A. Matani, Y. Naruse, Y. Terazono, T. Hayakawa, N. Fujimaki, Phase series analysis for averaging EEG/MEG epochs, Neuroscience 2008,

- 2008.11.17, Washington DC, U.S.A.
- ⌈ Y. Naruse, A. Matani, Y. Miyawaki, M. Okada, Influence of visual stimulus size on phase resetting of alpha rhythm-EEG/MEG modeling study, Neuroscience 2008, 2008.11.17, Washington DC, U.S.A.
 - ⌈ T. Hayakawa, Y. Terazono, A. Matani, N. Fujimaki, Neural substrate for assistance by top-down information in recognizing degraded visual word stimuli, Neuroscience 2008, 2008.11.19, Washington DC, U.S.A.
 - ⌈ A. Matani, Phase series analysis: Another averaging method for analyzing ERF/ERP, Biomag 2008, 2008.8.26, Sapporo, Japan.
 - ⌈ Y. Naruse, A. Matani, Y. Miyawaki, M. Okada, Multiple alpha generators model for MEG/EEG: mechanism of ERS/ERD, Biomag 2008, 2008.8.27, Sapporo, Japan.
 - ⌈ N. Fujimaki, T. Hayakawa, A. Ihara, Q. Wei, S. Munetsuna, Y. Terazono, A. Matani, Early neural activation related to lexico-semantic access in the left anterior temporal area, Biomag 2008, 2008.8.27, Sapporo, Japan.
 - ⌈ Y. Terazono, A. Matani, N. Fujimaki, A nonlinear minimum norm method for bioelectromagnetic inverse problems robust against forward calculation errors, Biomag 2008, 2008.8.26, Sapporo, Japan.
 - ⌈ 雨宮智, 眞溪歩, 小栗崇治, 中谷浩人, 視覚注意課題を用いた不注意状態と リンギングとの関係, 第 23 回生体・生理工学シンポジウム, 2008.9.30, 名古屋.
 - ⌈ 眞溪歩, 成瀬康, 寺園泰, 早川友恵, 藤巻則夫, 逆問題解法と組合せた位相系列解析, 第 23 回日本生体磁気学会大会, 2008.6.12, 早稲田.
 - ⌈ 成瀬康, 眞溪歩, 宮脇陽一, 岡田真人, 事象関連同期/脱同期のメカニズムの解明 - モデルを用いたアプローチ -, 第 23 回日本生体磁気学会大会, 2008.6.13, 早稲田.
 - ⌈ 藤巻則夫, 早川友恵, 井原綾, 魏強, 宗網信治, 寺園泰, 眞溪歩, 左側頭前部における語彙的意味アクセスに関わる早期の脳活動, 第 23 回日本生体磁気学会大会, 2008.6.13, 早稲田.

- ⌈ A. Matani, J. Enoki, Y. Naruse, Electroencephalography-based brain-computer interface using auditory attention to digitally modulated music, Neuroscience 2007, 2007.11, San Diego, U.S.A.
- ⌈ Y. Naruse, A. Matani, Y. Miyawaki, M. Okada, Role for horizontal connection in multiple alpha generators model for MEG/EEG, Neuroscience 2007, 2007.11, San Diego, U.S.A.
- ⌈ 眞溪歩, 脳波認識とその応用, 電子情報通信学会技術研究報告 ニューロコンピューティング, 2007.10, 仙台.
- ⌈ 眞溪歩, 成瀬康, 寺園康, 早川友恵, 藤巻則夫, 位相系列解析 もうひとつの加算平均法, 第 2 回日本生体磁気学会, 2007.6, 愛知.
- ⌈ 成瀬康, 眞溪歩, 宮脇陽一, 岡田真人, 複数の ジェネレータを仮定した neural mass model による MEG/EGG の再現, 第 2 回日本生体磁気学会, 2007.6, 愛知.

〔その他〕

ホームページ

<http://www.isp.ac/~matani/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

眞溪 歩 (MATANI AYUMU)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号: 50273842

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし