

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25420385

研究課題名(和文) 脳活動の近赤外分光計測データに対する経路長を考慮した実時間解析法の研究

研究課題名(英文) Real-time analysis for brain activity measured by near-infrared spectroscopy considering path lengths

研究代表者

安達 雅春 (Masaharu, Adachi)

東京電機大学・工学部・教授

研究者番号：20312035

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、(1)近赤外分光装置(NIRS)により測定した右手掌握運動の課題実行時の脳活動データに対して、リカレンス・プロット(以下RPと表記)による解析を行った。

その結果、掌握運動実行時には、平均、中央値、最頻値について、タスク前とタスク期間のNIRSデータに有意差を認めた。

また、(2)エクストリーム学習器を用いたNIRS計測データの掌握運動のレスト・タスク識別や、(3)暗算課題遂行時の前頭葉の活動をNIRS計測データについて、相関次元とヒグチフラクタル次元を算出し比較検討した。(2)と(3)については被験者数が少ないため、実験を継続する必要がある。

研究成果の概要(英文)：In this study, (1) we used unthresholded recurrence plots of near-infrared spectroscopy (NIRS) data to detect the difference in brain activity between task periods and non-task periods. Histograms derived from the recurrence plots showed a statistical difference between the periods. Throughout the pre-task period, task period, and post-task period, the histogram kept its shape statistically and shifted horizontally according to the period. Therefore, the changes in dynamical systems describing brain activity were observed as changes in histograms derived from NIRS data.

(2) We introduced the extreme learning machine (ELM) for the task-rest classification of brain activity measurement data by NIRS. (3) We analyzed NIRS data measured during a mental arithmetic task. We then estimated the Higuchi fractal dimension (HFD) from the NIRS time-series data. More experiments of (2) and (3) are needed because the number of subject was small.

研究分野：非線形システム工学

キーワード：近赤外分光法 非線形時系列解析 リカレンス・プロット

1. 研究開始当初の背景

近年になりブレイン・マシン・インターフェースなどを目指した脳の活動の計測が盛んに行われている。この脳の活動の計測手法として、歴史がある脳波をはじめとして、核磁気共鳴画像(MRI)や、脳磁界計測等が開発されてきた。これらの手法に加え、新しい計測装置として、近赤外分光装置(Near Infra-Red Spectroscopy: NIRS)が開発され、市販が開始された。

この近赤外分光装置には、他の脳活動計測手法に比べ、主に次の2点で優位性がある。(1)実験協力者への電極の装着の煩雑さが小さく、閉鎖空間における実験を必要としないなど、実験協力者の負担が小さい。(2)環境電磁雑音の影響を受けにくく、特別なシールドルーム等を必要としないため、多様な実験課題の設定が可能である。この特徴を生かした近赤外分光装置の利用例としては、運動機能障害者のリハビリテーションの補助が挙げられる。これは機能回復訓練を行う際に、近赤外分光装置を装着し、回復を目指す運動に関連する部位を中心とした脳活動の計測を行い、この計測結果を機能回復過程の把握などに利用するものである。

これらの利点の一方で、近赤外分光装置の計測データの解析手法や計測データを機能回復過程の把握に活用する手法は、十分に確立されているとは言えない。この理由としては、日本で開発された測定装置であるため、国外の研究者の利用例が少なく、この計測手法に関する研究例が少ないこと、さらに、従来の脳活動計測手法と計測原理が大きく異なることなどが挙げられる。また、この計測法は脳の活動に伴う酸化・還元ヘモグロビンの濃度長変化を計測しているとされているが、測定データから皮膚血流の影響が排除できていないとの批判もある。

2. 研究の目的

本研究課題では、従来手法とは異なるアプローチとして、非線形時系列解析手法の一種であるリカレンス・プロット(RP)による従来は定性的な評価が行われたRPを定量的に評価する手法を確立しNIRSデータの解析に適用する。

また、Hungらによって提案された機械学習手法であるExtreme Learning Machine(ELM)を用いてNIRS計測データのレスト・タスクの識別を行う。このELMは、従来のサポートベクターマシンによる識別に比べて、高速に時系列の学習が可能で、識別精度も比較的良好なモデル構築が期待できる。

更に、NIRSデータを力学系から得られたものと仮定し、アトラクタの次元の相違によって測定データの識別を行う方法を検討するために、NIRSデータのフラクタル次元解析も行う。

近赤外分光法以外の脳活動データに対す

るモデル構築や解析では、機能的核磁気共鳴画像法(functional magnetic resonance imaging :fMRI)を中心に知見や手法の蓄積がある。しかし、それらの手法は、測定原理や測定環境の異なる近赤外分光法による測定データには直接利用することは困難である。特に、リハビリテーションの補助における近赤外分光装置の利用を考えた場合、実時間での解析を実現することが必要になる。

3. 研究の方法

(1)リカレンス・プロットによるNIRSデータの解析

非線形時系列解析手法の一種であるリカレンス・プロット(RP: N. Marwan, "How to avoid potential pitfalls in recurrence plot based data analysis," Int. J of Bifurcation and Chaos, vol. 21, no. 4, 2011.)によるNIRSデータの解析について、従来は定性的な評価が行われたRPについて、RPを行列として表すことによって現れる距離行列の要素に関するヒストグラムを統計的に解析することによって定量的な評価を行った。

具体的には、測定で得られた一次元空間のNIRSデータをTakensの定理に基づいて高次元空間へ埋め込み、アトラクタを再構成した。次に、ユークリッド距離に基づき粗視化前の距離行列としてリカレンスプロットを作成した。更に、リカレンスプロットを正規化した後、上半三角成分からヒストグラムを生成し、課題時と非課題時の統計学的な有意差を検討した。

ここで、統計解析は上記のヒストグラムに対して、平均、中央値、最頻値、最大値、歪度、尖度を検討対象とした。この手法を右手掌握運動の課題実行時のNIRSデータに適用して解析を行った。

実際の実験は、右利きの健康な成人男性13名と成人女性9名の合計22名の協力を得て行われた。NIRS測定にはOMM-3000(島津製作所)を用いた。NIRS測定時の課題は、タスク前20秒に協力者の前に十字の図形を表示した。これに続く20秒間のタスク時には、十字の図形の色を変えることによりタスク開始の合図とし、手の掌握運動を行ってもらった。タスク終了後十字の色をタスク前の色に戻し20秒間のタスク後期間をとった。

測定で得られた全被験者の1次運動野(M1)の測定データに対し、元のNIRSデータ、加算平均を行ったデータ、さらに、を以下の3つの期間に分割、すなわちタスク前期間、タスク期間、タスク後期間に分割したデータ、以上5つのデータ群に対し、

のデータ群に対し、埋め込みパラメータについて統計学的有意差を検討した。また、

のデータ群に対し、ヒストグラムに基づく統計学的検定を行い、解析対象として、平均、中央値、最頻値、最大値、歪度、尖度の6つの統計検定量を採用した。多群検定とし

て Friedman 検定を、群間比較には Scheffe 検定を用いた。

(2) Extreme Learning Machine を用いた NIRS 計測データのレスト・タスク識別

Hung らによって提案された機械学習手法である Extreme Learning Machine を用いて NIRS 計測データのレスト・タスク識別についても検討した。

実際の実験は、右利きの健康な成人男性 3 名の協力を得て行われた。NIRS 測定には OMM-3000 (島津製作所) を用いた。NIRS 測定時の課題は、タスク前 20 秒を前レストとしてとり、20 秒間のタスク時には、左手の掌握運動を行ってもらった。その後 20 秒間の後レストの期間をとった。この掌握運動は早く大きく行うことを事前に指示し、タスク中は閉眼状態で前方を向くこと、レスト中は全身の力を抜いて前方を見つめるよう指示した。

NIRS プローブは 1 次運動野を中心に国際 10-20 法の電極位置 C4 を中心に 4×4 のチャンネルの測定が出来るように配置した。

NIRS データの識別には、Extreme Learning Machine (ELM: Hung ら “Extreme Learning Machine: Theory and Applications,” *Neurocomputing*, 70, 489-501, 2006) を導入して、これと従来法であるサポートベクトルマシン (SVM: V.N.Vapnik, “Statistical Learning Theory,” John Wiley & Sons, 1998) および Multi-SVM (参沢ら “ロボット制御のための NIRS-based BCI の開発,” *電気学会論文誌 E*, Vol. 132, No. 10, pp.355-361(2012)) と性能を比較した。

(3) フラクタル次元およびリアプノフ指数推定による NIRS データの解析

(1) で述べた RP とは異なる視点の非線形時系列解析として、暗算課題遂行時の前頭葉の活動を NIRS を用いて測定し、相関次元とヒグチフラクタル次元を算出し比較検討した。

実際の実験は、健康な成人男性 3 名の協力を得て行われた。NIRS 測定には OMM-3000 (島津製作所) を用いた。NIRS 測定時の課題は、タスク前 30 秒を前レストとしてとり、30 秒間のタスク時には、500 以上のランダムな数字から 13 ずつ引き続ける暗算を行ってもらった。その後 30 秒間の後レストの期間をとった。上記のレスト・タスクを 5 試行行ってもらった。

NIRS プローブは前頭野を中心に国際 10-20 法の電極位置 Fz を中心に 22 チャンネルの測定が出来るように配置した。

測定された NIRS 時系列信号を 4 次の低域フィルタを通しノイズを除去し、t 検定 (優位水準 $p=0.05$) を用い有意差のあるチャンネルを選定した後、そのチャンネルに対し相関次元、ヒグチフラクタル次元、リアプノフ指数を算出した。

全ての実験協力者には実験の前にインフ

ォームドコンセントを行い書面で実験協力の同意を得た。また、全ての実験はヘルシンキ宣言に則り、事前に東京電機大学ヒト生命倫理委員会の承認を得て実施された。

4. 研究成果

(1) リカレンス・プロットによる NIRS データの解析

埋め込みパラメータについて検討を行った結果、遅れ時間については有意差を認めなかったが、埋め込み時間については、とそれ以外のデータについて、有意差を認めた。

統計解析では多群比較により、平均、中央値、最頻値で有意差を認めた。これに対し、最大値、歪度、尖度では課題間で有意差を認めなかった。さらに、有意差を認めた統計検定量について、群間検定では、平均、中央値、最頻値の統計検定量ともタスク前期間とタスク期間の間で有意差を認めた。これら以外では有意差を認めなかった。

これらの結果から、埋め込みパラメータに関する検討により、各期間のリカレンスプロットとしてのリカレンスプロットの部分集合を用いる妥当性が担保された。さらにヒストグラムに基づく集団解析により、期間毎のヒストグラムの概形が期間の長さに対応する事が示され、従って M1 の神経活動を記述する力学系の変化が、ヒストグラムの概形の変化として可視化されることが示唆された。

(2) Extreme Learning Machine を用いた NIRS 計測データのレスト・タスク識別

ELM による NIRS レスト・タスク識別率は、Multi-SVM を上回り、SVM とはほぼ同等であったが、学習に要する時間は ELM が従来法の 60 分の 1 以上と非常に高速であった。

しかし、この結果は被験者数が少ない実験に基づくものであるため、今後も検討を継続する必要がある。

(3) フラクタル次元およびリアプノフ指数推定による NIRS データの解析

解析の結果、相関次元では全被験者でタスク・レスト間において、有意な差がみられなかった。一方、ヒグチフラクタル次元では、4 名中 3 名において、有意な差を確認できた。

しかし、この結果は被験者数が少ない実験に基づくものであるため、今後も検討を継続する必要がある。

更に、上記と同一の実験データについてリアプノフスペクトラムの算出も試みたが、他の研究者の報告とは異なる結果が得られたため、この結果については慎重に吟味する必要がある。

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 3 件)

Masako Sugai and Masaharu Adachi: "Quantitative and qualitative discrimination of task periods from non-task periods by recurrence plots", Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 査読有, Vol. 7, No. 2, pp. 283-294, April (2016).

荻原広樹 安達雅春:「SVRを用いたBOLD信号の時系列予測」, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol. 114, No. 250, NLP2014-75, pp. 151-155,(2014).

Masako Sugai and Masaharu Adachi: "Can Recurrence Plots visualize task period in noisy NIRS data?"(リカレンスプロットを用いたNIRSデータの高次元空間への埋め込み), 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol.115, No. 150, NLP2015-76, pp. 47-52, (2015).

〔学会発表〕(計9件)

Masako Sugai and Masaharu Adachi: "Calculation of Causality from Scalp Blood Flow to Conventional NIRS Data Using New High Density Probe Holder", Proceedings of The 6th International IEEE EMBS Neural engineering conference(NER2013), San Diego, California, USA, 7 November, 2013, (Short Papers No. 0586).

Masako Sugai and Masaharu Adachi: "Identification of scalp blood flow in NIRS data based on Granger causality", Proceedings of The 13th IEEE International Conference on Bioinformatics and BioEngineering(BIBE2013()), Chania, Greece, November, 2013, DOI:10.1109/BIBE.2013.6701566 (pp.1-4).

Masako Sugai and Masaharu Adachi: "The functional connectivity in motor execution and imagery in NIRS(Near Infra-red Spectroscopy) data based on joint recurrence plot.", Abstract Book of The 30th International Congress of Clinical Neurophysiology (ICCN2014), Berlin, Germany, 21 March, 2014, p.159.

Masako Sugai and Masaharu Adachi: "Detection of Changes in Connectivity Based on Joint Recurrence Plots ", Proceedings of 2014 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications - NOLTA2014, Luzern, Switzerland, September, 2014, pp.598-601.

速水剣伍, 安達雅春:「NIRS時系列データに対するフラクタル次元解析」, 電子情報通信学会2015年総合大会ISS特別企画学生ポスターセッション, 立命館大学, 2015年3月11日.

荻原広樹, 安達雅春:「エクストリーム学習器を用いたNIRSデータの時系列予測」, 電子情報通信学会2015年総合大会, 立命館大学, 2015年3月13日.

Hiroki Ogihara and Masaharu Adachi: "Time-Series Prediction and Classification of NIRS Data Using the Extreme Learning Machine ", Proceedings of 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications - NOLTA2015, Hong Kong, China, December, 2015, pp.381-384.

Masako Sugai and Masaharu Adachi: "Recurrence Plots Visualize Task Periods in Noisy NIRS Data ", Proceedings of 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications - NOLTA2015, Hong Kong, China, December, 2015, pp.704-707.

Kengo Hayami and Masaharu Adachi: "Fractal Dimension Analysis of NIRS Time-Series Data During a Mental Arithmetic Task ", Proceedings of 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications - NOLTA2015, Hong Kong, China, December, 2015, pp.848-851.

〔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:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安達 雅春 (ADACHI, Masaharu)
東京電機大学・工学部・教授
研究者番号: 20312035

(2) 研究分担者

該当無し ()

研究者番号：

(3)連携研究者
該当無し()

研究者番号：
該当無し

(4)研究協力者
須貝雅子 (SUGAI, Masako)
萩原広樹 (OGIHARA, Hiroki)
速水剣伍 (HAYAMI, Kengo)