

令和元年6月18日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H06581

研究課題名(和文)代数的時系列情報を処理するbetaオシレーションの機序解明

研究課題名(英文)Neural mechanism of algebraic patterns

研究代表者

大城 武史(Ohki, Takefumi)

東京大学・大学院総合文化研究科・特任研究員

研究者番号：70807875

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトは日常生活において様々な時系列情報を処理している。本研究では、その中で最も知見の限られている「代数的時系列パターン」と称される“Algebraic patterns(AP)”に着目し、そのAPに関する脳機能メカニズムを明らかにすることを目的とした。本研究には、32名の健常者(18歳-25歳)を対象とした認知心理実験を行ない、APを含んだ音刺激と含まない音刺激を聞いている際の脳波を測定した。周波数解析と機械学習を組み合わせた解析の結果、APの処理に重要な脳活動はlow-betaと呼ばれる10-15 Hzで構成される律動的な脳活動が重要な役割を果たしている事を、本研究が新たに見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトは複数回に渡る経験から、ある共通した時系列パターンを抽出し理解する出来る。このような高次時系列情報処理は、例えば乳幼児の言語獲得などにも応用されていると考えられているが、その詳細な神経生理メカニズムは明らかになっていなかった。本研究の成果により、この高次時系列情報処理に、low-betaオシレーションと呼ばれる脳律動が関与している事が初めて明らかになった。今後さらに、このような脳機構の仕組みが明らかにされれば、ヒトの脳の高次情報処理の仕組みが明らかになるだけでなく、新たな人工知能の設計などにも応用出来る可能性を秘めている。

研究成果の概要(英文)：Humans can process various time series information in daily life. In this study, we focused on algebraic patterns (AP), and aimed to clarify the brain mechanism for processing AP. I conducted cognitive psychology experiments on 32 healthy subjects (18 to 25 years old), and measured the brain waves when listening to sound stimuli including and not including AP. As a result of the EEG analysis combining time frequency analysis and machine learning, I revealed that the brain activity important for AP processing is that the rhythmic brain activity composed of 10-15 Hz called low-beta oscillations, play an important role. This novel finding was firstly revealed by this study.

研究分野：認知神経生理学

キーワード：low-beta oscillation neural oscillation algebraic pattern EEG

1. 研究開始当初の背景

脳は外界における時系列情報を符号化し、それらのパターンを脳内に蓄積する。脳内に刻まれた時系列パターンは類似した時系列情報の検出や、究極的には未来予測などに重要な役割を果たすと考えられている(Friston and Buzsaki, 2016)。実際海馬では、自身の空間的な移動履歴を反映した場所細胞の発火列の順序性が、経験後も維持されることが知られている(Skaggs and McNaughton, 1996)。このような「順序性」に関する時系列情報処理に関しては多くの知見が存在する一方で、APのような「代数性」の時系列情報処理に関する脳機能メカニズムに関しては、その殆どが明らかになっていない(Dehaene et al. 2015)。APを知覚処理する傾向は、ヒトの乳幼児において極めて早い段階から見られる。例えば、Marcusらは生後7ヶ月の乳幼児が「カカシ」や「ススキ」に含まれる共通パターン(aab)を認識及び識別出来ることを明らかにしている(Marcus et al.1999; Marcus, 2001)。このように、APを知覚処理する脳内機構はある程度生得的な機能の1つであり、ヒトにとって重要な認知機能の1つであると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、音シーケンス課題を用いて、代数的時系列パターンの知覚に関連していると思われる脳オシレーション成分を、特定し、その機能特性を明らかにする事を目的とした。より具体的には、APを含む音シーケンスとAPを含まない音シーケンスを聞いている際の脳波信号を取得し、その信号に対して、周波数解析を用いて特徴量を特定し、その特徴量を用いて機械学習的にデータを判別する事を目的とした。これらの研究成果によって、ヒトの高次時系列情報処理の一端が明らかになり、将来的に代数性のようなより抽象的な時系列情報を扱える人工知能設計などに役立つ知見を得る事を目的とした。

3. 研究の方法

本研究が用いる音シーケンス課題は、12個の16分音符で構成された音シーケンスを作成した。実験では、2つの音シーケンスを呈示した(図1)。被験者はこの2つの音シーケンスの中に共通したAPがあったかどうかを判断し、ボタン押しによって回答してもらった。この課題中の脳活動を脳波計測装置を用いて撮像した。本研究には32名の健常成人(年齢18-25歳)に参加してもらった。

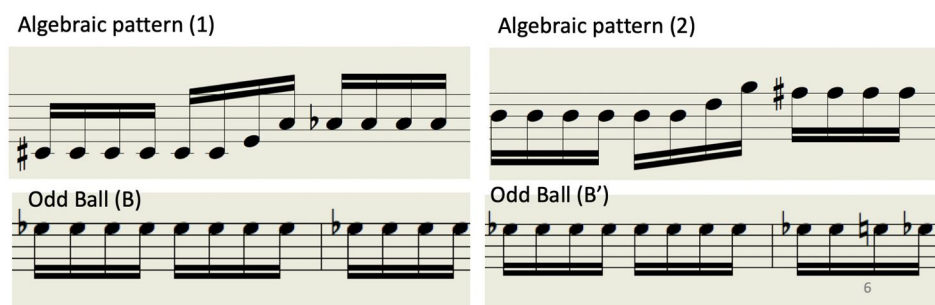


図1 本研究で用いた2種類の音シーケンスの例。Algebraic pattern(1)と(2)では、音の高低こそは違うものの、代数的に共通した音の時系列情報が存在する。このような操作は、楽理的には移調と呼ばれる。一方、Odd Ball では、そのような代数性の時系列情報は存在せず、単に前後の音の高さからの逸脱のみで処理可能となる。

4. 研究成果

解析の結果、代数的時系列構造を有した音刺激提示中に、後頭、頭頂、側頭を中心とした電極において、low beta(10-15 Hz)オシレーションの強い振幅増大を観察した。更に、このlow beta オシレーションを観察した電極を対象として、Inter-Trial-Phase Clustering(ITPC)と呼ばれる解析手法を用いて、解析を行った。ITPCとは、オシレーション位相の時系列的な挙動が全トライアル間でどれだけ一定の関係を保つのかを評価する指標である。この結果、low-beta (10-15 Hz)オシレーションにおいて、AP構造を有した音刺激提示中に、高いITPCを時系列で観測した。これらの結果は、本研究の仮説通り、low-beta オシレーションが代数的時系列構造を有した音刺激の処理に重要な機能を有していること

を示唆する結果と言える。

更に、被験者の音楽習熟度が課題の正答率と相関したことから、各個人ごとに low-beta オシレーションの振幅及び ITPC の値を課題の正答率との相関を解析した。この結果、課題の正答率と low-beta の振幅及び ITPC 値が共に相関する事が明らかになった。この結果は、low-beta オシレーションが AP を含んだ時系列情報処理に関わっている可能性をより強く示唆するものといえる。

本研究では、さらにこの low-beta オシレーションの振幅及び ITPC 値を特徴量として、サポートベクターマシンによる classification を行なったところ、low-beta の振幅情報を用いた場合、AP を含んでいる音シークエンスと含まない音シークエンスを聞いている際の脳活動を約 6 割程度の正答率で区別できる事が明らかになり、統計的にも有為であった。一方、ITPC の値では統計的に有意にデータを区別する事が出来なかった。

このように、本研究の成果によって、AP を含んだ高次時系列情報処理には、low-beta オシレーションが重要な機能的意義を果たす事が明らかになった。より具体的には、low-beta オシレーションの振幅と課題間での位相同期度が重要な機能を果たしている事が示唆された。これらの指標は、課題の正答率とも相関したことから、本研究の成果をより強く示唆するものと言える。その一方で、機械学習を用いた結果では、統計的に有意に区別出来たとは言え、その精度には課題を残した。今回はサポートベクターマシンと呼ばれる機械学習を用いて、検討を行なったが、今後は畳み込みニューラルネットや再帰型ニューラルネットを含めた検討が必要であると思われる。より具体的には、low-beta オシレーションを発生させる脳基盤を考慮に入れたネットワーク設計（機械学習の設計）を行うなどの必要性がある。

尚、研究代表者は、本研究の成果として、low-beta オシレーションを生成する脳基盤に関する論文を、European Journal of Neuroscience 誌に発表した¹。この論文の中で、研究代表者は大脳皮質のレイヤー構造、とりわけ 2/3 層と 5 層の情報交換が重要である事を見出している(Ohki and Takei, 2018)。また、low-beta の発達特異的な変化²や病態特異的な変化³⁻⁶に関して、学会発表を行い、その一部に関して現在論文投稿中である。今後は、これらの知見を組み合わせた新たな人工神経回路を作成し、AP を処理する low-beta オシレーションの機序及びその機能性の理解を深めていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- (1) Takefumi Ohki, Yuichi Takei. Neural mechanisms of mental schema: a triplet of delta, low/beta/spindle and ripple oscillations. "Eur J Neurosci. 査読有, 巻:6 Page1-15, 2018. DOI: 10.1111/ejn.13844

〔学会発表〕(計 5 件)

- (2) Takefumi Ohki, Takeru Matsuda, Atsuko Gunji, Yuichi Takei, Ryusuke Sakuma, Hidetoshi Takahashi, Yuu Kaneko, Masumi Inagaki and Takashi Hanakawa and Kazuo Hiraki. Timing of phase amplitude coupling in the temporal pole is essential for neuronal and functional maturation in adolescence. Jul 2018. The 11th Federation of European Neuroscience Societies.
- (3) Yuichi Takei, Yutaka Kato, Tagawa Minami, Takefumi Ohki, Sakurai Noriko, Fukuda Masato. Altered neural oscillation in schizophrenia during facial recognition: an MEG study. Jun 2018, Organization for Human Brain Mapping.
- (4) Yuichi Takei, Yutaka Kato, Minami Tagawa, Takefumi Ohki, Tomohiro Suto, Noriko Sakurai, Masato Fukuda. The relationship between self-monitoring and resting connectome in bipolar disorder: An MEG study. Jun 2019. Organization for Human Brain Mapping.
- (5) 田川みなみ、武井雄一、加藤隆、須藤友博、大城武史、櫻井敬子、福田正人. 統合失調症における安静時脳活動の変容について：脳磁図を用いた神経ネットワークのグラフ解析による検討. 6月 2019. 第 115 回日本精神神経学会学術総会

- (6) 武井雄一、田川みなみ、加藤隆、大城武史、山口美穂、桜井敬子、福田正人. MEG による統合失調症を対象とした表情認知課題中の神経オシレーションの検討. 9月2017, 第39回日本生物学的精神医学会.

6. 研究組織

- (1) 研究分担者 なし
(2) 研究協力者 なし

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。