

令和元年6月20日現在

機関番号：13904

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2018

課題番号：15K12096

研究課題名(和文)言語理解における文脈形成の脳機構の事象関連電位研究

研究課題名(英文)Brain mechanisms of language and context formation studied by event-related potentials

研究代表者

杉本 俊二(Sugimoto, Shunji)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：50422811

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文):本研究の目的は、文脈形成時の事象関連電位を明らかにすること、および文脈選好を予測する神経モデルを作成することである。脳波計測実験では、否定の意思決定時に右前頭で陽性事象関連電位を観察した。過去の研究では、エラー検出やスキーマ再解釈などの“逸脱性”に対し陽性電位が観察されてきた。本結果は、このような陽性電位が日常生活における葛藤とその解消のための脳機構に関連することを示唆する。さらに、楽曲の選好を旋律輪郭から予測する神経モデルを作成し、ワーキングメモリを調整すると楽曲の評価値と人気度の相関が高まることを示した。本結果は、緊張/緩和の相互作用に基づく旋律評価モデルが一定の妥当性を持つことを示す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

将来的な少子高齢化、また老化や筋萎縮性側索硬化症などの難病が引き起こす社会問題へ対処していく手段として、文脈選好の脳機構についての理解、および人と計算機のインタラクティブな相互作用を用いた生活支援機器の開発への需要はますます高まるものと思われる。本研究で得られた心理的葛藤に由来する陽性事象関連電位についての知見は、広く脳科学的・認知科学的な分野において貢献すると思われる。また、緊張/緩和構造を用いて旋律選好を予測する試みは、文脈形成における情報統合の脳機構に基づいて人の選好を計算機で予測する方法の基礎的知見を提供するものであり、今後、意思決定の工学的応用分野などにおいて貢献すると思われる。

研究成果の概要(英文):The aim of this study is to clarify event-related potentials (ERPs) evoked in relation with context formation, and to construct a neuronal model to predict context preferences. In ERP experiments, we observed positive components in the right frontal region when participants made a negative decision. Previous studies have shown that those positive ERPs are caused by “deviation” such as error detection and schema reinterpretation. The present results, however, indicate that those ERPs are related to the brain mechanisms for “conflict and resolution” in everyday life. We further created a neuronal model to predict the popularity of music based on melodic context (melody line) and found that the correlation between rating values and popularity for classical music increased by tuning a working-memory span in the model. These results suggest that the proposed melody-preference model based on tension/relaxation interaction has certain validity.

研究分野：神経科学

キーワード：文脈形成 意思決定 問題意識 問題解決 緊張・緩和 笑い 楽曲選好 旋律輪郭

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

文脈形成における脳機構を明らかにするには、日常の様々な場面における意思決定や問題解決、さらに笑いや音楽における緊張/緩和の予測機構など、分野横断的な取り組みが必要になると考えられる。これまで、文脈形成に関連した事象関連電位研究において、予測されたスキーマを利用して文脈を形成することの困難さを示す指標としての N400 成分 (Kutas and Hillyard 1980, Federmeijer et al. 2002, Nieuwberg and van Berkum 2006) や、スキーマの交換、再解釈、統合などの文脈修正の指標となる P600 成分 (Osterhout and Holcomb 1992, Hagoort 1993, Kuperberg, 2007) が観察されている。また、P600 などの事象関連電位は文脈形成におけるジョーク (笑い) の発生に関連していることが示されている (Derks et al. 1992, Courson and Kutas 2001, Marinkovic et al. 2011)。さらに、文脈形成に関連する事象関連電位として、修正すべき行為の誤りを検出することに伴って増大するエラー関連電位 (Falkenstein et al. 1990, Gehring et al. 1993, Yeung et al. 2004, Murphy et al. 2012) や、主観的な刺激頻度の低さに応じて増大する P300 成分 (Sutton et al. 1965, Johnson 1986, Picton 1992) が観察されている。

2. 研究の目的

上記のように、これまで文脈形成に関連した様々な事象関連電位が観察されているが、それらが具体的にどのように文脈形成に貢献し意思の選択/選好へ結びついているかに関しては、ほとんど明らかになっていない。従来の事象関連電位の多くは、与える刺激の“逸脱性”(意味的/統語的/頻度的)に依存した実験設計となっており、非標準的な度合に応じた負荷の増大を反映して事象関連電位が様々なタイミング/極性で増大するという知見を示すに留まっている。本研究では、(1)逸脱性によらない刺激を用いて、意思選択時の事象関連電位を示すこと、および(2)脳波研究の知見に基づいて(特に楽曲の旋律に対する)文脈選好を予測する神経モデルを作成し、その妥当性を検証することを目的とした。

3. 研究の方法

3.1. 脳波計測実験

本実験では、刺激頻度によらない脳波を観察するため、肯定の意思選好を導く 50 文、否定の意思選好を導く 50 文を、脳波計測前に参加者ごとにそれぞれ準備した(刺激文として、例えば「納豆の原材料は大豆/小豆ですよね」「ドラマを観るのは楽しい/つまらないですよね」などを用いた)。また、刺激の性質による差を確認するため、選択された 100 文に対して参加者ごとに Semantic Differential (SD) 法を用いた印象評価実験を実施し、因子分析により 5-7 因子を抽出した(例えば、知識因子/真偽因子/嗜好因子/親近感因子など)。

脳波計測実験では、上記の 100 文をランダムに参加者へ提示し、各文の終了から 2 秒後に提示される純音を聴取後に肯定/否定の意思に応じてボタンを押すよう参加者へ教示した。脳波の記録には 64 チャンネルデジタル脳波計 Active Two System (BIOSEMI) を用い、両耳を基準電極として 10%法(拡張 10-20 法)により計測を行った。参加者ごとに用意した肯定 50 文、否定 50 文を提示したときの脳波に対し、述部(上記例文の下線開始部)をトリガとしてそれぞれ加算平均することにより事象関連電位を算出した。

3.2. 文脈選好の神経モデル

本研究では、文脈選好を示す神経モデルの例として、楽曲旋律の選好を対象とした。本モデルは、(A) 音符間での周波数遷移 f_i の検出、(B) 脳波伝達関数を用いた音符に対する神経応答 V_D のシミュレーション、(C) 旋律選好 E の算出という 3 ステップから構成される(図 1)。

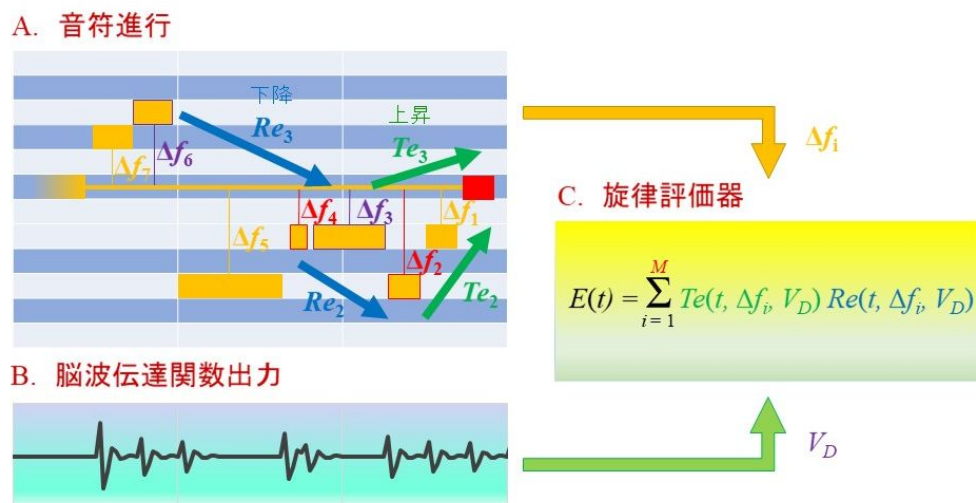


図 1. 旋律文脈の選好をシミュレートする神経モデルの模式図

脳波計測実験で得られた事象関連電位（右前頭 F4）から 2 次伝達関数を同定し、楽曲の音符パターン入力に対する神経出力を求めた。ただし、楽曲のテンポに対する神経学的な制約へ対応するため、神経順応効果（Loebel et al. 2007）を適用した伝達関数を作成し、その出力値 V_D を旋律評価器への入力として用いた（図 1B）。旋律評価器は、入力 V_D に対し、履歴容量 M 個分加算した値 E を楽曲演奏に合わせてリアルタイムで出力する（図 1C）。上昇 Te_i と下降 Re_i のゲートは、それぞれ下記のとおり、 V_D と f_i の変化に伴って開閉する（さらに、上昇/下降ゲートの閉鎖区間を臨界帯域幅に合わせるためのロジスティック関数と、調性を考慮する変数 H を導入している）。

$$\frac{dRe_i}{dt} = -\frac{Re_i}{\tau_i} + \frac{V_D}{V_{MAX}} \frac{H_{\Delta f_i}}{1 + \exp\{(\Delta f_i + D_{sp})/Slp\}}$$

$$\frac{dTe_i}{dt} = -\frac{Te_i}{\tau_i} + \frac{V_D}{V_{MAX}} \frac{H_{\Delta f_i}}{1 + \exp\{-(\Delta f_i - D_{sp})/Slp\}}$$

4. 研究成果

4.1. 意思決定時の事象関連電位

脳波計測の結果、述部の分岐開始から約 200ms において、肯定/否定時に左前頭中心の陽性成分が生じた後、約 400ms において、否定時に右前頭中心の陽性成分が増大することが示された（図 2 左）。特に否定時に右前頭で観察された陽性成分は、否定への葛藤、つまり対人関係を良好に保ち相互の利益を最大化する「礼節の原則」（Leech 1983）などに関連している可能性がある。すなわち、過去の研究では、エラー検出やスキーマの再解釈などの“逸脱性”に対して陽性電位が観察されてきたが、本研究によって、このような陽性成分は、むしろ日常生活における葛藤およびその解消のための一般的な脳機構に関連している可能性があることが示唆された。

肯定時には、述部開始直後にガンマ波が、また述部開始から継続してベータ波が、それぞれ左前頭を中心に増大した（図 2 右）。先行研究において、ガンマ波の増大は、知覚統合（Singer and Gray 1995）、多感覚間での意味照合（Schneider et al. 2008）、刺激-記憶の照合（Herrmann et al. 2004）、ワーキングメモリの負荷（Howard et al. 2003）などによって生じることが知られている。またベータ波は、トップダウン的な制御/保持（Engel and Fries 2010）、反応抑制課題遂行時（Swann et al. 2009）、課題ルールの切り替え（Buschman et al. 2012）、視覚形状/動き情報統合（Aissani et al. 2014）など、刺激へのより主体的な関わりにおいて増大することが知られている。本研究で観察されたガンマ/ベータ波の増大は、刺激と記憶の照合および結果の制御等の処理が、特に肯定時において述部終了直後に同期して働いた結果として観察された可能性がある。

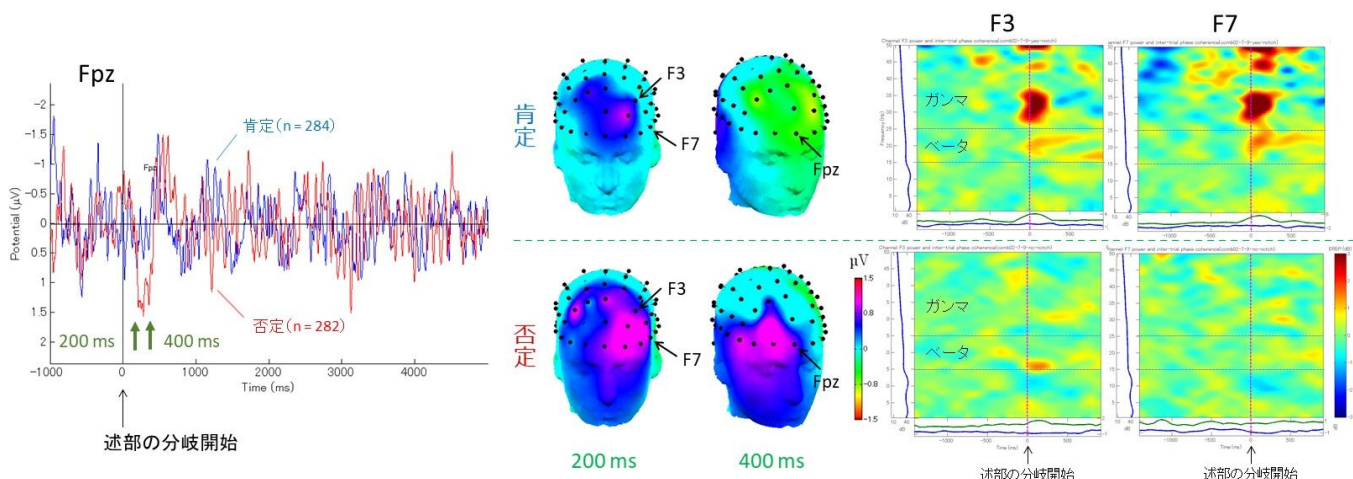


図 2. 否定の意思決定時における陽性成分（左）および肯定時におけるガンマ/ベータ波（右）

4.2. 神経モデルを用いた旋律選好の予測

17 曲のクラシック音楽の MIDI ファイルを用いて旋律評価を行った。楽曲に対する計算モデル出力の妥当性を客観的に評価するため、「作曲家名 曲名」をキーワードとして Google 検索し、各曲の検索数を人気度の指標とした。本モデルでは、(1) ワーキングメモリの更新、(2) 短期順応、(3) 臨界帯域幅などの神経生理学的知見を取り入れており、特定のメモリ容量（離れた音符間での周波数差についての記録幅）を仮定した上で、入れ子状の旋律上昇/下降の特徴を定

量的に評価している。実験では、音符間での旋律上昇/下降ごとの記録幅を $M = 1$ から $M = 13$ まで変化させたときの楽曲評価値 E の合計をそれぞれ求め、各曲の検索結果（対数値）との相関関係を求めた。その結果、 $M = 4$ を中心として、楽曲の検索数から想定される人気度とモデル評価値の相関が有意に高まることが示された（図3）。 $M = 4$ という数値は、メモリ容量をおよそ8スパンとすることに相当する。**本研究結果は、ワーキングメモリに関する心理学的知見とも符号するものであり、本計算モデルで提案された緊張/緩和に基づく旋律評価方法が一定の妥当性を持つことを示唆している。**

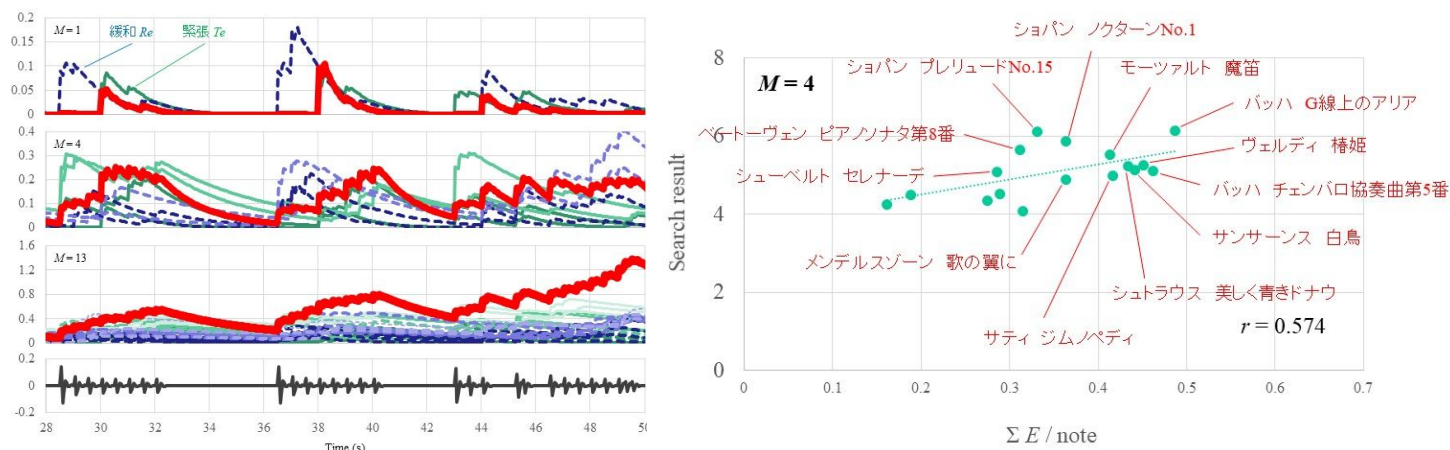


図3. 「G線上のアリア」を評価したときの出力（左）および評価値と人気度の相関関係（右）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- 杉本俊二. 緊張/緩和の相互作用に基づいて旋律を定量的に評価する試み - 旋律輪郭の認知的選好を探る -. 日本音響学会聴覚研究会資料, 48(2), 135-138, 2018 (査読無)
- 松原右京, 杉本俊二, 堀川順生. 笑い体験時における脳波活動の計測. 日本音響学会聴覚研究会資料, 46(3), 137-140, 2016 (査読無)
- 杉本俊二, 杉山健太, 堀川順生. 肯定/否定の意思決定に関連した脳波活動の研究(2). 統計数理研究所共同研究リポート 359, 11-14, 2016 (査読無)
- 杉本俊二, 杉山健太, 堀川順生. 肯定/否定の意思決定に関連した脳波活動の研究. 統計数理研究所共同研究リポート 359, 6-10, 2016 (査読無)
- 杉山健太, 杉本俊二, 堀川順生. 肯定/否定の意思決定における脳活動. 日本音響学会聴覚研究会資料, 45(3), 189-194, 2015 (査読無)

〔学会発表〕(計 4 件)

- 杉本俊二, 杉山健太, 堀川順生. 肯定/否定の意思決定における前頭脳波活動. 電子情報通信学会総合大会, 2016年03月15日~2016年03月18日, 九州大学
- 杉山健太, 杉本俊二, 堀川順生. 質問に対する肯定/否定の意思決定に関連した脳活動. 日本音響学会2016年秋季研究発表会, 2016年09月14日~2016年09月16日, 富山大学
- Kenta Sugiyama, Shunji Sugimoto, Junsei Horikawa. Brain activities related to yes-no decision making for tag questions. The 3rd Annual Meeting of the Society for Bioacoustics, 2016年12月10日~2016年12月11日, The Irago Sea-Park & Spa Hotel
- Ukyo Matsubara, Shunji Sugimoto, Yoshiteru Ishida, Junsei Horikawa. EEG activities evoked by joke stories. The 3rd Annual Meeting of the Society for Bioacoustics, 2016年12月10日~2016年12月11日, The Irago Sea-Park & Spa Hotel

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：堀川 順生

ローマ字氏名：Horikawa Junsei

所属研究機関名：豊橋技術科学大学

部局名：大学院工学研究科

職名：シニア研究員

研究者番号(8桁): 50114781

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。