

機関番号：13904

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21700160

研究課題名（和文）

音声に対する事象関連電位を予測する計算論的神経モデル

研究課題名（英文）

A computational neural model for the prediction of ERPs to speech sounds

研究代表者

杉本 俊二 (SUGIMOTO SHUNJI)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：50422811

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、音声に対する事象関連電位（ERP）を音声信号のみから予測することである。音声の振幅包絡に着目し、音声に対するERPを予測する定量的モデルの作成を行った。その結果、トーンバーストに対するERPと音声の振幅包絡を用いて、音声に対するERPの特徴を予測できるという画期的な結果が得られた。本成果は、音声の意味的・統語的処理の理解へ向けた新たな脳研究の発展に貢献する道を拓くという点で重要である。

研究成果の概要（英文）：

The aim of this study is to predict event-related potentials (ERPs) to speech sounds only by speech signals. The amplitude envelope of sounds was used for ERP modeling. The results showed that the ERP complex elicited by the onset of a pure-tone burst was effective to predict the ERPs. The present findings contribute to the research for understanding semantic and syntactic processes of speech sounds.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2009年度 | 2,300,000 | 690,000 | 2,990,000 |
| 2010年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：知能情報処理

1. 研究開始当初の背景

音声に対する事象関連電位（ERP）を特定することは、音声符号化のための神経生理学的機序を明らかにする上で重要である。これまで、音声に対するERP成分として、P1, N1, P2, N2, N4などが知られている（Époniené et al., 2008）。また、意味的あるいは文法的な処理に関連したERP成分として、N400やP600

などが報告されている（Kutas & Hillyard, 1980; Osterhout & Mobley, 1995; Yamada & Neville, 2007）。さらに、早期成分（N1, P2）は音声入力検出の役割を担い、後期成分（N2, N4）は高次の音声符号化に貢献しているといった考え方が現れている（Époniené et al., 2008）。しかし、音声に対するERP成分につ

いての一致した見解は必ずしも得られていない。これは、音声に対する ERP 成分が、音声の時間周波数情報をどのように反映しているかについて明らかになっていないためである。つまり、上記のような ERP 成分が、音声の時間周波数情報に対する応答でないような処理をどれだけ含んでいるのかについて現時点では知られていない。

2. 研究の目的

本研究では、音声によって引き起こされる一連の ERP 成分の大部分は、その音声の時間周波数情報に対する 2 次線形システム応答の加算であるという仮説を立て、それに基づいた計算モデルの予測能力を検証した。脳波は神経集団の同期的活動を反映しており、その振る舞いは基本的に線形であることが示されている (吉田ら, 2005)。また、幼児から大人になるにつれ、音刺激によらず特定の ERP 成分 (N1, P2) が増大するという知見が示されている (Wunderlich et al., 2006)。そこで本計算モデルでは、純音によって得られる N1, P2 成分が音声の時間周波数情報の符号化に際しても重要な役割を担っていると仮定し、それらに基づく神経集団活動の線形モデルを作成した。本計算モデルが音声に対する ERP 波形を予測する能力を持つことを確認し、音声の意味的・統語的な符号化に関連した神経集団活動の基礎的な性質を明らかにすることが、本研究のねらいである。

3. 研究の方法

聴覚系において、音の振幅信号は聴覚フィルタの特性によってまず積分され、次いで求心性神経経路で音の変化分 (特に立ち上がり) を強調するように (微分的に) 符号化される。ここでは上記の過程が、聴覚フィルタのインパルス応答 (包絡線) に対する神経系での符号化演算後に音の振幅信号との間で畳み込み積分を行った波形によって近似されるとする (入野, 1995)。すると、聴覚フィルタのインパルス応答に対する神経系での符号化演算を何らかの形で近似的に求めることによって、音声の振幅包絡線に対する ERP を予測できることになる。本研究では、独立成分分析 (ICA) により抽出したトーンバーストに対する ERP 成分を用いて上述の符号化演算を求め、音声に対する ERP の予測を試みた。

32 チャンネルデジタル脳波計 (Active Two System, BIOSEMI 社) を用いて、10%法 (拡張 10-20 法) により脳波計測を行った。AD 変換後にサンプリングタイム 4 ms でリサンプリングを行い、1-30 Hz のバンドパスフィルタを適用した。各音刺激条件 (トーンバースト、音声) において 100 回の試行を行い、100 μV を超えた電位を持つ試行をデータから除去した。両耳朶または鼻尖を基準電極とし、刺激提示前 100 ms の平均電位に基づいてベースライン補正を施した後、加算平均により ERP を求めた。トーンバーストに対する ERP を 4 被験者において、また音声に対する ERP を 5 被験者において平均し分析に用いた。トーンバーストに対する ERP へ、ICA アルゴリズムである JADE (Cardoso & Souloumiac, 1993) を適用することによって、オン応答の独立成分を抽出した。

4. 研究成果

トーンバーストには、周波数 1 kHz、持続時間 3 s、立ち上り (立ち下り) 時間各 5 ms の純音を用いた。純音開始後 3 s (オフ応答を除く) の ERP に対して ICA を適用した結果、第 1-4 独立成分として、音の開始に対して現れる ERP 成分である N100, P200, N400, P300 がそれぞれ得られた (図 1)。それらの成分は、前頭部、前頭-中心部、および中心部において、陰性 (N100, N400) または陽性 (P200, P300) のピークをそれぞれ示した。

音声信号に対し、半波整流後に低周波数通過フィルタを適用することによって音声の振幅包絡線を求め、デシベルスケールへ変換した。脳波や脳磁図によって計測される聴覚応答の振幅は、音圧のデシベルスケールに対してある範囲内で線形に増大する。音声の振幅

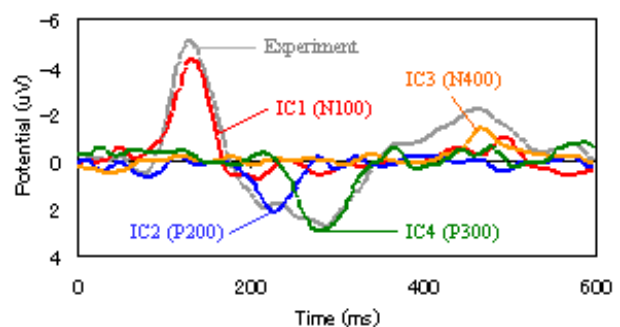


図 1 純音に対する ERP の第 1-4 独立成分包絡と、上述の独立成分の微分値 (実際は差

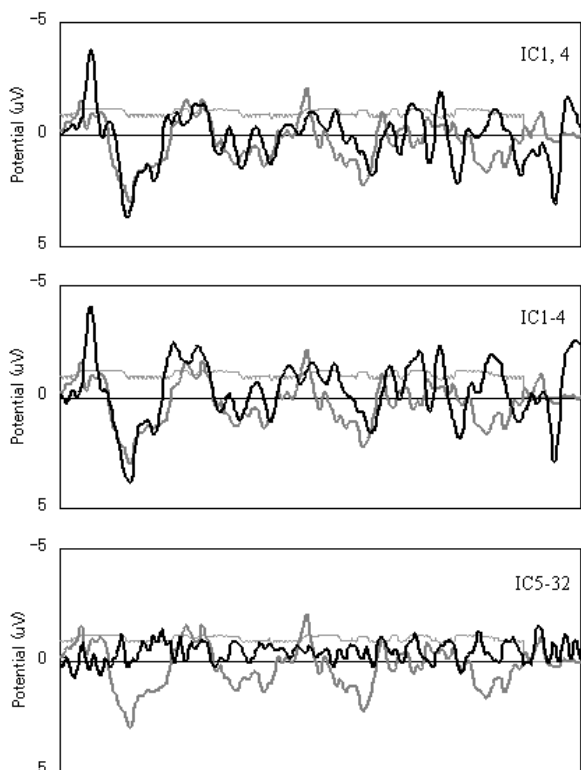


図2 音声に対する予測ERP（黒色）および実測ERP（灰色）の比較

分値)の畳み込み積分を行い、得られた波形を予測ERPとした。

図2に、音声/ごゆっくりおくつろぎください/を用いた場合に部位Fzで得られた予測ERPと実測ERPの比較を示す。Fzにおいて、第1から第4までの独立成分を用いて予測した波形と実測波形の相関係数は、それぞれ0.26, 0.24, 0.20, 0.33であり、P300, N100, P200, N400の順に予測効果を持っていた。Fz周辺(前頭部, 前頭-中心部, 中心部)においても、特にP300とN100が予測効果を示した。図2は、第1および第4独立成分(上段)によって音声に対するERPの特徴が捉えられている様子を示す。第2および第3独立成分を加えた場合(中段)も特徴はあまり変化していない。また第5-32独立成分(下段)は効果を持っていないことがわかる。

音声に対するERP成分は、純音に対する成分と比較し、頭皮上全体に広く分布する傾向を示した。図3に、音声/ごゆっくりおくつろぎください/に対する予測波形と実測波形の相関マップを示す。第1-4独立成分を利用した場合のマップ(左図)では、前頭部, 前頭-中心部, 中心部で正の相関を、また頭頂部, 頭頂-後頭部, 後頭部で負の相関を示した。これに対し、第5-32独立成分による

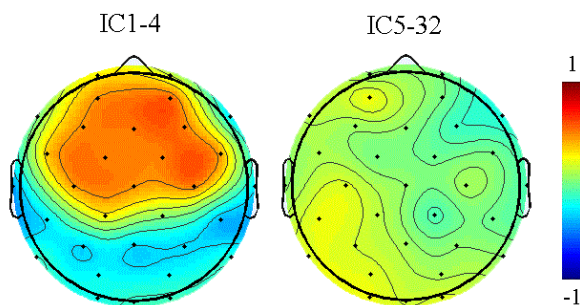


図3 音声に対する予測ERPと実測ERPの相関係数

マップ(右図)では、特に高い相関を示さなかった。左図において正の相関を示した部位は、各独立成分のピークが強く現れる部位に相当する。この結果は、純音と音声に対して形成されるダイポールの差を反映していると考えられる。

本研究では、トーンバーストに対するERPと音声の振幅包絡を用いて、音声に対するERPの特徴を予測できることを示した。特に、純音が惹起するERP成分のうち、P300とN100が重要であることが示唆された。またERPの予測は、純音に対してP300やN100が現れる部位(前頭部, 前頭-中心部, 中心部)においてのみ可能であった。音声に対するERP波形が音声信号のみから予測可能であるという本研究の成果は、音声の意味的・統語的処理の理解へ向けた新たな脳研究の発展に貢献するとともに、音声認識システムやブレイン-コンピュータインタフェースなどの様々な認知科学的・工学的分野での研究発展に貢献する道を拓くという点で重要である。

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6件)

①塚原伸亮, 堀川順生, 杉本俊二, 聴覚事象関連電位による構文再解釈の神経機構の研究, 聴覚研究会資料, 査読無, 41(1), 2011, pp. 7-11

②杉本俊二, 山口陽子, 堀川順生, 音声に対する脳波活動の予測, 統計数理研究所共同研究リポート, 査読無, 257, 2011, pp. 78

③服部明日香, 堀川順生, 杉本俊二, 音声言語における文脈依存性意味処理の脳機構, 日本音響学会 2010年秋季研究発表会講演論文集, 査読無, 2010, pp. 507-508

④杉本俊二, 塚原伸亮, 池田尚生, 山口陽子, 堀川順生, 音声の振幅包絡と脳波活動の関係, 日本音響学会 2010 年春季研究発表会講演論文集, 査読無, 2010, pp.559-560

⑤池田尚生, 堀川順生, 杉本俊二, 日本語音声に対する補完現象の脳機構, 日本音響学会聴覚研究会資料, 査読無, Vol. 40, No. 2, 2010, pp.117-122

⑥谷口直弥, 猪狩えみ, 堀畑聡, 杉本俊二, 堀川順生, 聴覚空間選択的注意時の EEG 位相同期解析, 日本音響学会聴覚研究会資料, 査読無, Vol. 39, No. 3, 2009, pp.153-157

[学会発表] (計 8 件)

①塚原 伸亮, 堀川 順生, 杉本 俊二, 聴覚事象関連電位による構文再解釈の神経機構の研究, 日本音響学会 2011 年 2 月聴覚研究会, 2011 年 2 月 18 日, 愛媛大学 (愛媛県)

②Naoya Taniguchi, Emi Igari, Satoshi Horihata, Shunji Sugimoto, Junsei Horikawa, Mechanisms of auditory spatial selective attention studied by fMRI, 第 15 回聴覚研究フォーラム-ARF2010-, 2010 年 12 月 4 日, 同志社びわこリトリートセンター (滋賀県)

③服部明日香, 堀川順生, 杉本俊二, 音声言語における文脈依存性意味処理の脳機構, 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会, 2010 年 9 月 14 日, 関西大学 (大阪府)

④ Shunji Sugimoto, Nobuaki Tsukahara, Naoki Ikeda, Yoko Yamaguchi, Junsei Horikawa, Relationship between amplitude envelope of speech sounds and ERPs, Neuro2010 (Joint conference of the 33rd Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, the 53rd Annual Meeting of the Japanese Society for Neurochemistry, and the 20th Annual Meeting of Japanese Neural Network Society, 2010 年 9 月 2 日, 神戸国際会議場 (兵庫県)

⑤杉本俊二, 塚原伸亮, 池田尚生, 山口陽子, 堀川順生, 音声の振幅包絡と脳波活動の関係, 日本音響学会 2010 年春季研究発表会, 2010 年 3 月 9 日, 電気通信大学 (東京都)

⑥池田尚生, 堀川順生, 杉本俊二, 日本語音声に対する補完現象の脳機構, 日本音響学会聴覚研究会, 2010 年 2 月 7 日, 那覇市 IT 創造館 (那覇市)

⑦ Shunji Sugimoto, Nobuaki Tsukahara, Naoki Ikeda, Yoko Yamaguchi, Junsei Horikawa, Prediction of event-related potentials elicited by speech sounds, XXXVIth International Congress of Physiological Sciences, 2009 年 7 月 28 日, 京都国際会館 (京都府)

⑧谷口直弥, 猪狩えみ, 堀畑聡, 杉本俊二, 堀川順生, 聴覚空間選択的注意時の EEG 位相同期解析, 日本音響学会聴覚研究会, 2009 年 5 月 29 日, 同志社大学 (京都府)

[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

杉本俊二 (SUGIMOTO SHUNJI)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 50422811

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: