音声明瞭度に関連した脳磁界反応:聴覚野および知覚性言語野における解

☆嵯峨直樹,矢野肇(神戸大/産総研),滝口哲也(神戸大), 添田喜治(産総研),中川誠司(千葉大/産総研)

1 はじめに

近年,脳活動信号を用いた機械制御や,意思伝達 手段として脳活動を利用する試みが盛んに行われて いる.これらの試みは、ブレイン・コンピュータ・イ ンターフェイス(Brain Computer Interface: BCI) と呼ばれ、新たなインターフェイスとして注目され ている.しかしながら、既存の BCI の開発例の多く は、P300 スペラーのように予め用意されている選択 肢を識別するものである.従って、ヒトの脳活動から 認知・知覚状態や意志、情動そのものを解読できるよ うになることが望ましい.本研究では、より汎用的 な BCI の開発に有用な知見を得ることを目的として、 音声の知覚状態を反映する脳活動の同定を試みた.

ヒトが音を聴取する際に,まず聴覚野において基本的な音響特徴の処理がなされると考えられる.聴 覚野での代表的な反応例として N1/N1m 反応が挙げ られるが,N1/N1m 反応は,刺激の物理特性に強く 左右される.ある程度認知過程の影響も受けること も知られているが,刺激のオンセットからおよそ 100 ms後に出現することもあり,言語処理などの高次処 理を色濃く反映しているとは言い難い [1].

一方,音声を聴取した際の言語情報の処理は,聴覚 野での音響特徴の解析がなされた後で行われると考 えられる.言語情報処理に携わる脳部位の代表的な 例としては,聴覚野の後方に位置するウェルニッケ野 (知覚性言語野)や角回,縁上回が広く知られている [2].これら領野における活動例として,例えば,雑 音環境下における音声知覚脳活動に関して,明瞭度 が低下する条件において,左右の上側頭回の活動が 増加すると報告 [3] がある.しかし,この実験は極端 な2条件の変化を比較したものであり,明瞭度の段階 的な変化による脳活動については未だ詳細に明らか にされていない.

前稿では脳磁界計測を用いて,日本語単音節の音 声に特定のSN比になるように白色雑音を付加し,知 覚する音声の明瞭度に関連した活動源の推定を行い, 活動源の時系例変化を調べた[4].明瞭性の変化に特 異的な反応の例としては,右半球の上側頭回後方の 領野において,活動源強度のピーク潜時の有意な変 化が確認されたが,明瞭度の変化による活動の強さ の変化は確認できなかった.本稿では,背景の雑音を 定常的に流し,単音節の知覚に伴う,聴覚野と知覚性 言語野における活動源を推定し,明瞭度の変化に伴 う変化を調べた.

2 刺激音

刺激音は、背景雑音を定常的に流し、一定間隔で音節を挿入にしたものを用いた.背景雑音として、音圧レベルを 50 dB に設定した白色雑音を用いた.音声刺激音には親密度別単語了解度試験用音声データセット(FW03, NTT-AT)に収録された、日本人女性話者一名(fhi)による日本語単音節 100 個を利用した.これら 100 音節の音源の音圧レベルは、背景雑音の音圧レベルに対して、SN 比が特定の値になるように調整された.SN 比は 0, 6, 12, 18, 24 dB の 5 段階に設定されたが、これらの値は予備実験の結果に基づいて明瞭度がおよそ 25, 40, 55, 70, 85 % となるように決定された.音圧レベルの較正は、人工耳(B&K社製 Type 4157)を用いて行われた.

3 明瞭度試験

3.1 方法

聴覚健常者9名(男性5名,女性4名,19-25歳, 右利き)を被験者とした.実験は防音室内で行われ, 刺激音は挿入型イヤホンを用いて被験者の両耳に呈 示された.刺激音の呈示間隔は3sで,被験者にはこ の間に聞こえた通りに回答用紙に記入するように教 示した.実験はSN比の条件ごとに行われ,SN比の 順序はランダムに行った.また,各SN比の刺激音で の100音節の再生もランダムな順序で行った.

3.2 結果

明瞭度試験の結果を Fig. 1 に示す. SN 比が低い 条件から順に,明瞭度の平均値は,23.6,43.0,53.3, 72.6,84.7 %であり,標準偏差はそれぞれ5.1,5.7,6.6, 7.4,4.2 %であった. すべての被験者で SN 比の向上 に伴って,明瞭度も上昇する傾向が観察できた.

析*

^{*}Brain magnetic fields associated with articulation of speech perception: Analysis of activities in the auditory cortex and Wernicke's area. by SAGA, Naoki, YANO, Hajime (Kobe Univ/AIST), TAKIGUCHI, Tetsuya (Kobe Univ), SOETA, Yoshiharu (AIST), NAKAGAWA, Seiji (Chiba Univ/AIST)



Fig. 1. The relationship between SNR and articulation.

4 脳磁界計測

4.1 方法

明瞭度試験で使用した刺激音を用い, 雑音に埋も れた音声刺激音に対する脳磁界反応を計測した. 被 験者は明瞭度試験と同一にした. 脳磁界計測は磁気 シールドルーム内で 122ch 全頭型脳磁界計測システ ム (Neuromag-122TM, Neuromag Ltd, Finland)を 用いて行った. 刺激音は明瞭度試験の時と同様に, 挿 入型イヤホンによって被験者の両耳に呈示した. 音声 刺激音は2sおきに呈示した.

SN 比を変化させた音声刺激音に対する脳磁界反応 を計測するにあたり,明瞭度に関与する反応と音声刺 激音の振幅が変化することによる物理的な原因による 反応かを区別するために,コントロール条件として, SN 比が同様に変化するスピーチノイズを用いた.ス ピーチノイズは,音声のエンベロープを掛け合わさ れ,100音節それぞれに対応したものを作成した.音 圧レベルは,音声刺激音と同様に背景の白色雑音の 音圧レベルに対して,SN 比が 0,6,12,18,24 dB と なるように設定された.

実験は、明瞭度試験と同様に、SN 比の条件ごとに 行い、その SN 比の順序はランダムに設定した.ある SN 比の条件における、100 種類の音声刺激音と100 種類のスピーチノイズはランダムな順序で呈示した. なお、被験者に聴き取りへの集中を維持させるため に、一定頻度で挿入したターゲット音(/あ/)を聴取 した際にはボタン押しにて応答するように教示した.

脳磁界データは 0.03 - 100 Hz のアナログフィルタ を通した後,サンプリング周波数 400 Hz で A/D 変 換をした.各 SN 比条件において,音声刺激に対する 誘発反応,スピーチノイズに対する誘発反応を 200 回 加算し,加算平均から得られたデータに 2 - 30 Hz の デジタル帯域通過フィルタを適用した.3,000 fT/mm



(a) Around the auditory area.



(b) Around the Wernicke's area.

Fig. 2. The magnetic field waveforms in the left hemisphere for one participant.

を超える磁界を計測した場合はアーティファクトとし て加算から除外した.

4.2 解析

脳磁界計測実験によって得られたデータを用いて, 脳内電源推定を行った.電源推定は,(1)聴覚野が覆わ れていると思われる 18 個のチャネル,(2) 知覚性言語 野(上側頭回後方),角回,縁上回が覆われていると思 われる 16 個のチャネルデータをそれぞれ用いて,刺激 オンセットから 1000 ms まで 2.5 ms ごとに行った.推 定結果の選別にあたり,Goodness of fit と Confidence volume の 2 つの指標を用いた.Goodness of fit は観 測値と推定値の適合性を,Confidence volume は,活 動源位置における 95% 3 次元信頼領域を示している. パラメータの制約条件は,(i)Goodness of fit \geq 70%, (ii) Confidence volume \leq 16000 mm^3 とし,10 ms 以 上に渡ってこれらの制約を連続的に満たす電流双極 子群を最終的な脳内活動源とした.

4.3 結果

ある被験者一名における聴覚野が覆われていると 考えられるチャネルの一部と知覚性言語野が覆われ ていると考えられるチャネルの一部の脳磁界波形を Fig. 2 に示す.それぞれの波形は,SN比が0dBと 24 dBの音節を聴取した際とスピーチノイズを聴取 した際の波形を表している.



(a) In/around the auditory cortex when listening to syllables.



(b) In/around the auditory cortex when listening to speech noises.



listening to speech noises.

Fig. 3. Normalized intensity of the neuronal activity in the left hemisphere.

また、電源推定の結果として、左半球の活動源強度 を被験者ごとに正規化し, それを被験者間で平均した 結果を Fig. 3 に示す. 刺激音の種類(音節とスピー チノイズ)の各条件において,潜時帯とSN比を因子 とする二元配置分散分析を行ったところ、0~500 ms における聴覚野における活動は聴取する音に関わら ず, 500~1000 ms における活動と比べて有意に大き いことが確認できた(p<0.05).また,潜時帯ごと に刺激音の種類と SN 比を因子とする二元配置分散分 析を行ったところ,0~250 msにおける活動はSN比 の向上に伴って有意に増加することが確認できた.

また,右半球における電源推定の結果を Fig. 4 に 示す. 右半球においても左半球と同様に, 刺激音の種 類の各条件において, 潜時帯と SN 比を因子とする二 元配置分散分析を行ったところ,聴覚野においては0 ~500 ms における活動が 500 ms 以降の活動よりも 大きいことが確認できた(p < 0.05). また, 潜時帯 ごとに刺激音の種類と SN 比を因子とする二元配置分 散分析を行ったところ, 左半球の知覚性言語野の辺り に相当する上側頭回後方の領野においては 250~500

msの間で音声を聴取した際の活動がスピーチノイズ を聴取した際の活動よりも有意に大きくなる傾向が ある可能性が考えられた (p < 0.15).

考察 5

Fig. 2 から聴覚野周辺のチャネルは潜時およそ 100 ~200 msの間に見られる高いピークを持つ反応はSN 比に関わらず確認できることから N1/N1m 反応であ ると考えられる. また, Fig. 3 や Fig. 4 の電源推定 の結果からも 500 ms までの聴覚野での活動は音節を 聴取した際にもスピーチノイズを聴取した際にも活 動が比較的強いことから,聴覚野では刺激の物理特性 を反映,特に刺激音自体の音圧レベルが上昇すると, 活動が強まると考えられる.また、右半球の上側頭 回後方の領野における 250~500 ms での活動は, SN 比における有意な差は確認できなかったことから、明 瞭性を反映しているとは言い難いが、音節を聴取し た際とスピーチノイズを聴取した際に有意的な傾向 が確認でき,言語情報の処理の可能性が考えられた.



(a) In/around the auditory cortex when listening to syllables.



(b) In/around the auditory cortex when listening to speech noises.



poral gyrus when listening to speech noises.

Fig. 4. Normalized intensity of the neuronal activity in the right hemisphere.

6 まとめ

潜時 0~500 ms の間での聴覚野での活動強度は刺激の物理特性に影響され,刺激音の音圧レベルの上昇 に伴い,活動も上昇する可能性が考えられた.明瞭度 に関しては,知覚性言語野における有意な差のある活 動は見られなかったが,右半球の 250~500 ms にお いては言語情報を処理する活動が行われている可能 性が示唆された.以前は発話に関連のあるとされて いたブローカ野や,運動前野における音声聴取の際 の活動が最近では報告されており [5][6],明瞭度に特 異的な活動が行われている可能性も考えられるため, それらの領野における解析も必要とされる.

poral gyrus when listening to syllables.

参考文献

- R. Hari *et al.*, Auditory Evoked Transient and Sustained Magnetic Fields of the Human Brain, Experimental Brain Research, 40, 237-240, 1980.
- [2] M. S. Gazzaniga *et al.*, "Cognitive Neuroscience:

The Biology of the mind (4th Ed)," W. W. Norton & Company, 2014.

- [3] P. C. Wang *et al.*, Cortical Mechanisms of Speech Perception in Noise, Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 51, 1026-1041, 2008.
- [4] 嵯峨ら,音声明瞭度に関連した大脳皮質活動の時
 空間的遷移,日本音響学会 2018 年春季研究発表
 会, 2018.
- [5] K. Watkins *et al.*, Modulation of Motor Excitability During Speech Perception: The Role of Broca's Area, Journal of Cognitive Neuroscience, 16, 978-987, 2004.
- [6] F. Pulvermüller *et al.*, Motor Cortex Maps Articulatory Features of Speech Sounds, PNAS, 103, 7865-8770, 2006.