

音声明瞭度に関連した脳磁界計測 —聴覚野および運動野における活動源解析—*

☆嵯峨直樹, 矢野肇 (神戸大/産総研), 滝口哲也, 有木康雄 (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

脳信号を制御信号として外部機器を制御する, いわゆるブレイン・コンピュータ・インターフェイス (Brain Computer Interface: BCI) の開発の試みが盛んに行われている. しかしながら, その多くは出現頻度の低い事象に注意を向けた際に生じる脳反応 P300 を利用したもので, 予め用意されている選択肢以外の行為や事象は伝えることができない. より汎用性のある BCI の開発のためには, ヒトの脳活動から認知・知覚状態や意思, 情動そのものを解読できることが望ましい. 本研究では, より汎用的な BCI 開発に有用な知見を得ることを目的とし, 音声の知覚状態を反映する脳活動の同定を試みた.

音の聴取によって誘発される皮質活動としては, 刺激のオンセット後およそ 100 ms 後に現れる一次聴覚野 (ヘッセル回) から発生する N1/N1m 反応が広く知られている. しかし, N1/N1m 反応は刺激音に対する選択的注意によって変化するなど, 高次の認知過程のものをある程度は反映するが, それ以上に刺激音の物理特性の影響を強く受ける. さらに, 刺激オンセットから 100 ms で出現することもあり, 音声処理を色濃く反映する反応とは言い難い^[1].

一方, 音声や言語の処理に関連する脳部位としては, 聴覚野の周辺部に位置するウェルニッケ野 (知覚性言語野) や角回, 縁上回が知られている^[2]. また, 近年, 音声知覚時にいわゆる運動関連領野の活動が見られるとの報告もなされている. 例えば, 運動前野において, ある音素の調音に使われる領野がその音素を知覚する際にも活動するという報告^[3] や, 発話 (運動性言語処理) に関連する部位とされてきたブローカ野が, 音声知覚にも強く関与すると言う報告もなされている^[4].

前稿では脳磁界計測を用いて, 知覚する音声の明瞭度に関連した皮質活動の推定を行った^[7]. 一部の被験者においては, 聴覚野後方を覆うチャンネルにおいて, 音声の S/N 比の低下, すなわち明瞭度の低下に伴う反応の増大を確認した^[7]. しかしながら, 全ての被験者に共通する特異的な反応を見出すには至っていない. また, 活動源推定を行っていないため, 正

確な部位の推定はできなかった. 本稿では, 前稿^[7]で計測したデータに対して脳活動源推定を行った. 上述の”音声知覚中枢”というべきウェルニッケ野, 角回, 縁上回, さらにはブローカ野の活動に着目して, 活動源の部位や強度と音声明瞭度との関係を調べた.

2 刺激音

刺激音には親密度別単語理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 (fto) による日本語単音節 100 個を利用した. また, 長谷らの報告^[8]に基づき, 単音節ごとのラウドネスが等しくなるように振幅を調整した. 次に, これらの音源の S/N 比が特定の値になるように白色雑音を付加した. S/N 比は -10, -5, 0, 7, 15 dB の 5 段階に設定したが, これらの値は予備実験の結果に基づいて明瞭度がおおよそ 25, 40, 55, 70, 85% となるように決定された. 音声と白色雑音を加算した刺激音の長さは 0.4716 s とした. 刺激音の最初の 25 ms 及び, 音声呈示が終了してから刺激音の終端までの区間も白色雑音のみが呈示される. なお, 刺激音量は各被験者について”音がはっきりと聞こえ, なおかつちょうど良いと感じられる大きさ”に調整した.

3 明瞭度試験

3.1 方法

聴覚健常者 7 名 (男性 4 名, 女性 3 名, 20-39 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 5 s 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. まず, 練習セッションとして, ノイズなしの 100 音節の聴き取りを行わせた. その後, 各 S/N 比の刺激音での聴取試験を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. S/N 比の低下に伴って, 明瞭度も低下する傾向がすべての被験者で観察できた. さらに音節ごとに S/N 比と明瞭度の相関を求めた. 相関係数の値が最も大きかった音節 (/

*Measurements of brain evoked fields associated with articulation - Source analysis in the language-associated cortical areas -. by SAGA, Naoki, YANO, Hajime(Kobe Univ/AIST), TAKIGUCHI, Tetsuya, ARIKI, Yasuo(Kobe Univ), SOETA, Yoshiharu(AIST), NAKAGAWA, Seiji(Chiba Univ/AIST)

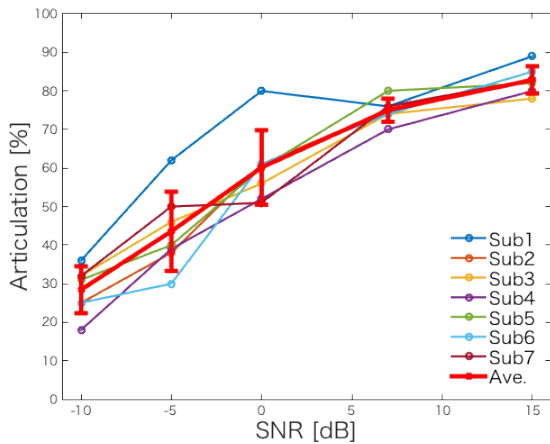


Fig. 1 The relationship between SNR and articulation.

ペ/, /きよ/, /しゆ/, 以下, 高相関音節 A とする) と最も小さかった音節 (/へ/, /ぐ/, /びよ/, 以下, 低相関音節 B とする) の相関係数を Table 1 に示す. 今回, 三つの低相関音節は S/N 比をの大小に関わらず, 明瞭度が常に低かった音節である.

4 脳磁界計測

4.1 方法

明瞭度試験と同じ被験者を用いて脳磁界計測を実施した, 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. 刺激音の呈示間隔は 2s とした. 明瞭度試験と同様に, まず練習セッションとしてノイズなしの 100 音節の聴き取りを行わせた. その後, 明瞭度試験で決定した高相関音節および低相関音節を, S/N 比を -10, -5, 0, 7, 15 dB に調整したうえで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/, /い/, /う/) 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 S/N 比条件において, 音節ごとの誘発反応を 70 回以上加算し, 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.

4.2 活動源推定

得られた脳磁界データに対して単一電流双極子モデルを用いた脳内電源推定を行った. (1) 下前頭回の弁蓋部と三角部 (ブローカ野), (2) 上側頭回後方 (ウェルニッケ野), 角回, 縁上回が覆われていると思われるそれ

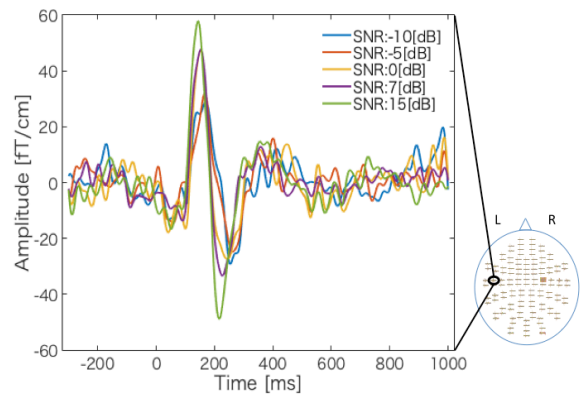


Fig. 2 The waveform of magnetic evoked fields at auditory area.

ぞれ 12 個のチャンネルのデータを用いて, 刺激オンセットから 1600 ms まで 2.5 ms ごとに推定を行った. 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 $\geq 80\%$, (ii) Confidence volume $\leq 8000\text{mm}^3$ 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

実際に得られた脳磁界波形の内, 聴覚野を覆っていると思われるチャンネルにおける例を Fig. 2 に示す. 刺激のオンセット後 (潜時) およそ 100 ms に高いピークを持つ反応が N1m 反応であると考えられる.

また, 潜時 200-400 ms の間に左半球のブローカ野付近において推定された活動源を Fig. 3 に示す. 赤いマーカーは, 高相関音節を聴取した際の, 青いマーカーは低相関音節を聴取した際の推定された活動源位置を表している. 緑のマーカーは, N1m 反応の活動源位置を表しており, 聴覚野の目安とする. 同様に, 潜時 200-400 ms の間に左半球のウェルニッケ野, 角回, 縁上回を含む領域において推定された活動源を Fig. 4 に示す.

7 名中 4 名の被験者では, 200-400 ms の間にブローカ野もしくはその周辺において, 一部の S/N 比の条件で主に低相関音節を聴取した際に活動源が確認された. 被験者 1 では S/N 比 0, 7, 15 dB の高相関音節を聴取した際にも活動源が確認できた. また, 被験者 7 では S/N 比 -10, -5, 7, 15 dB の高相関音節を聴取した際にも活動源が確認できた. さらに, 同じ潜時帯で右半球においても活動が確認できた被験者が 4 名存在した. 400-600 ms では, 多くの被験者において

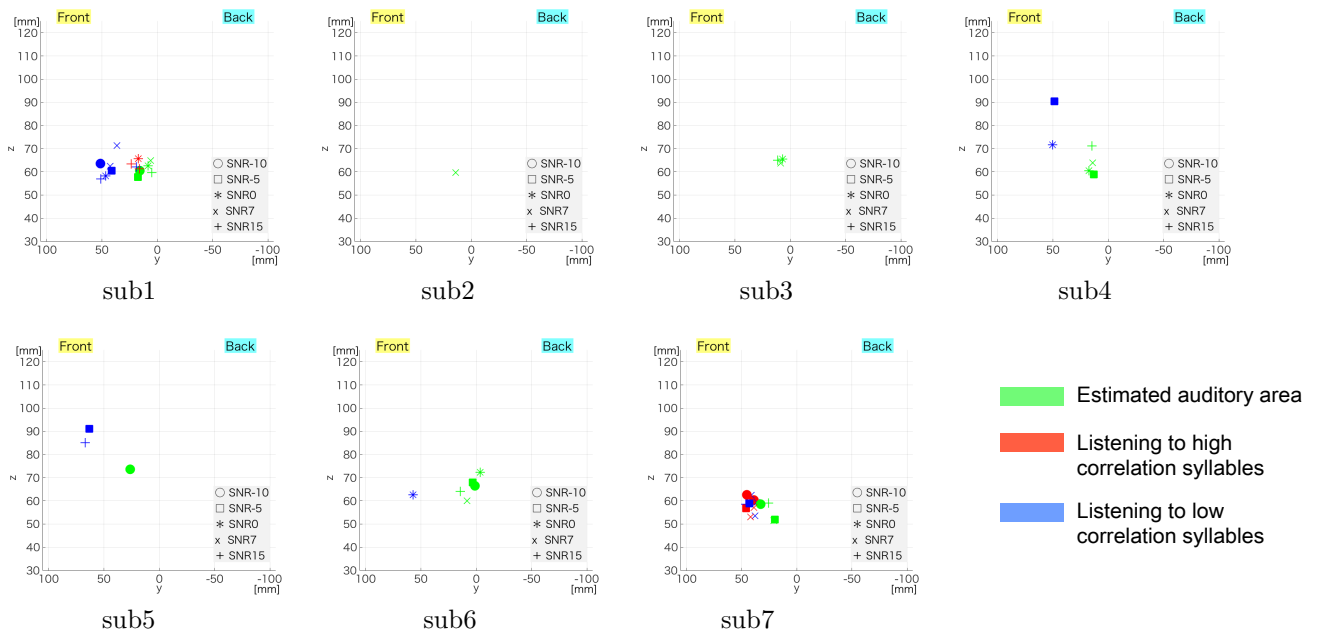


Fig. 3 Source locations in/around the Broca's area.

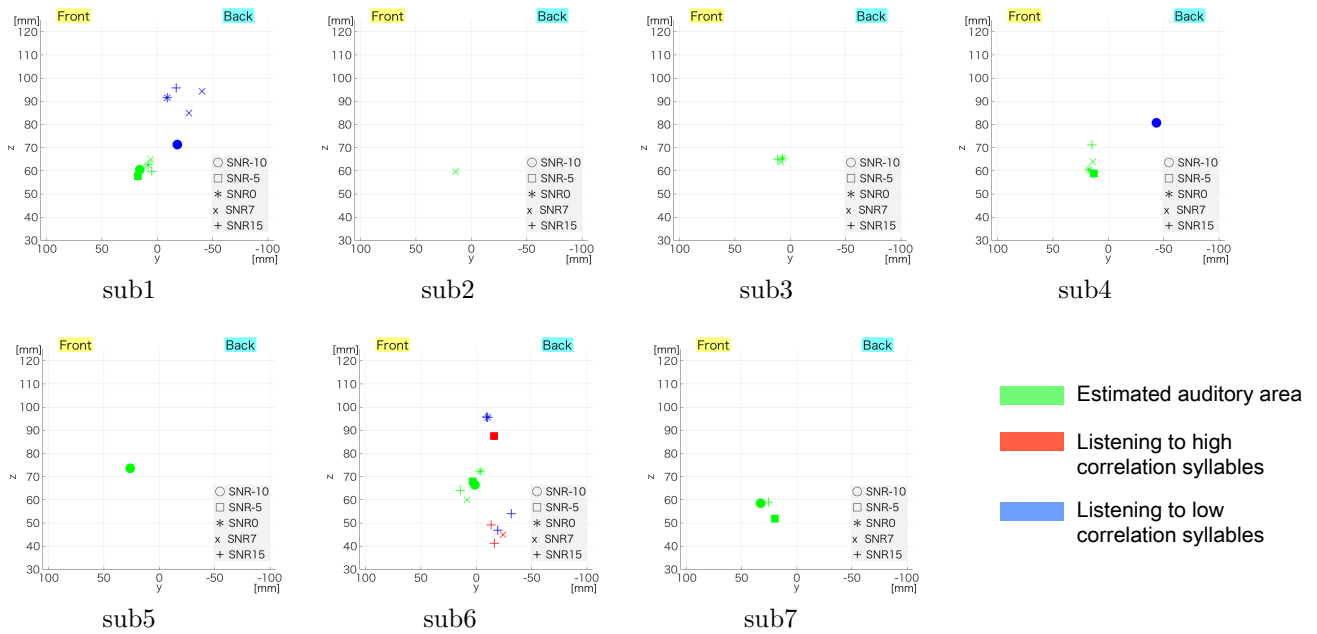


Fig. 4 Localized sources in/around the Wernicke's area

両半球の下前頭回に有意な活動源は確認できず、600 ms 以降ではほとんど推定できなかった。

一方、ウェルニッケ野もしくはその周辺の領野では、7名中の3名の被験者で、主に低相関音節を聴取した際に潜時 200-400 ms の間で活動源が推定された。被験者6では S/N 比-5,7,15 dB の高相関音節を聴取した際にも活動源が確認された。また、7名中3名の被験者では、同じ潜時帯で右半球においても活動源が

確認できた被験者が存在した。右半球では、高相関音節及び低相関音節において、特に S/N 比の高低に関わらず確認できた。条件潜時 400-600 ms の間でも、主に低相関音節を聴取した際に左半球において半分以上の被験者で活動源が確認できたが、2名の被験者では右半球にも活動源が確認できた。しかしこちらも高相関音節及び低相関音節において、特に S/N 比の高低に関わらず確認できた。いずれの被験者も潜時

600 ms を超えると有意な活動源はほとんど推定できなかった。

5 考察

潜時 0-200 ms においては、活動源が多く推定できた。しかしながら、これはあらゆる聴覚刺激に対して潜時 50-200 ms で発生する、N1/N1m 反応を含む一連の反応（頭頂部緩反応）の活動を推定したものである。音声の明瞭性に関連する特異的な脳活動部位は、その後の潜時帯に反映されるものと思われる。

潜時 200-400 ms においては、両半球のブローカ野で主に低相関音節を聴取した際に活動源が確認された。これは、「雑音環境下において両半球の下前頭回が活動する」という知見^[5]と齟齬のない結果である。一方、これらの反応は低 S/N 比条件でも観察されていることから、音声明瞭性に特異的な活動源とはいえないと考えられる。上側頭回後方でも、両半球で活動源が確認できた被験者が多く存在した。こちらも S/N 比との関係は単純なものではなく、明瞭度に関する活動源とは同定し難いものであった。

潜時 400-600 ms では、特にウェルニッケ野付近で活動源が確認できた被験者が多かった。他の領域に比べ、より遅い潜時でも多くの活動源が確認できており、言語性の処理が行われている可能性が示唆される。音素や語彙などの言語情報は聴覚野や角回、縁上回で処理され、下前頭回などでは、文法や文章などの言語情報が処理される脳機能ネットワークが存在するという従来の知見^[9]とも一致する。しかし、すべての音節で共通していたものではなく、S/N 比の条件も被験者間でばらつきが見られた。推定された活動が言語処理活動のみに関与するものとは考えるのは性急かもしれない。

前稿においては^[7]、例えば上側頭回後方では潜時 800-1000 ms 程度までは S/N 比と RMS 積分値に相関のある活動が観察された。そのため、遅い潜時での活動源が期待されたが、刺激オンセット 600 ms 以降では、有意な活動がほとんど確認できなかった。この原因について考察するのは容易ではないが、今回の解析基準がやや厳しく、遅い潜時の反応から有意な活動源が推定できなかった可能性がある。

6 まとめ

今回、音声明瞭性に特異的な活動源を見いだせたとは言えない。しかしながら、少なくとも一部の被験者の結果からは、音声刺激の処理過程における左右半球の下前頭回や上側頭回後方の活動が観察された。さらに、従来研究からも音声知覚との関連が強く示唆されてきたウェルニッケ野の周辺では、潜時 400-600

ms で活動源が確認できた被験者も多かった。各被験者の MRI 画像を用いたより詳細な活動部位の推定も必要になると思われる。

参考文献

- [1] 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] F. Pulvermüller *et al.*, Motor Cortex Maps Articulatory Features of Speech Sounds, *PNAS*, 103, 7865-8770, 2006.
- [4] 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.
- [5] P. C. Wang *et al.*, Cortical Mechanisms of Speech Perception in Noise, *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51, 1026-1041, 2008.
- [6] A. D' Ausilio *et al.*, The Role of Motor System in Discriminating Normal and Degraded Speech Sounds, *Cortex*, 48, 88-887, 2012.
- [7] 嵯峨ら, 脳磁界計測による音声明瞭度に関連した皮質活動の推定, 日本音響学会 2017 年春季研究発表会, 2017.
- [8] 長谷ら, 親密度別単語了解度試験用音声データセット (FW03) 単音節音声のラウドネス校正, 日本音響学会誌-, 64, 647-649, 2008.
- [9] K. Sakai, Language Acquisition and Brain Development, *SCIENCE*, 310, 2005.