

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*

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

近年, 脳活動を意思伝達や機械制御に活用する試み, すなわちブレイン・コンピュータ・インターフェース (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, その多くは注意を向けた刺激に対してのみ出現する誘発反応 (P300) を利用したもので, あらかじめ用意された選択肢以外の行為や事象を伝えることはできない。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, BCI 開発に有用な知見を得ることを目的として, 音声知覚状態を反映する脳活動の同定を試みた。音声聴取に伴って観察される皮質活動としては, 刺激のオンセット後およそ 100ms 後に現れる N1/N1m 反応が広く知られている。N1/N1m 反応の振幅や潜時には刺激の物理特性 (レベル, 持続時間, 立ち上がり形状など) をよく反映する。N1m はより高次な認知過程の影響をも受けることが知られているが, 刺激のオンセット後 100 ms で出現することもあるとあって, 音声知覚や言語性の処理を強く反映しているとは言いがたい。^[1] 音声知覚や言語情報の知覚処理に関与する脳活動としては, ウェルニッケ野 (知覚性言語野) や縁上回, 角回が広く知られている。^[2] また, 最近では, 従来は発話 (運動性言語処理) に関連する部位とされてきた, いわゆる Broca 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。^[3] 一方, Wong et al. (2008) らは, fMRI によってノイズ下での音声知覚における脳活動を観察している。明瞭度が低下する条件下では, 左右の上側頭回 (左右の聴覚野および中間部, および左後部) の活動が増加すると報告している^[4]。しかしながら明瞭性の低下が見られたのは一条件 (S/N 比: -5 dB) のみに留まっており, 明瞭度と脳活動特性のシステムティックな変化が見いだされたとは言い難い。また, 明瞭性との相関が見られる反応潜時につ

いても明らかにされてはいない。本研究では, 音声の明瞭度と関連のある脳活動の解明を目的として, 日本語単音節明瞭度試験と脳磁界計測を行った。まず, 明瞭度試験の結果から, 明瞭度と音声の劣化度の間に高い相関のある音節, および相関の見られない音節を抽出した。次にそれらの音声に対する誘発脳磁界計測を行い, 音声知覚の明瞭性に相関のある脳活動 (部位, 潜時) を探索した。

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) の日本人女性話者一名による日本語単音節 100 個を利用した。この際, 長谷らの報告^[5]に基づき, 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 0.4716s とした。刺激音の最初の 25ms には白色雑音のみが呈示される。また, 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) を被験者とした。実験は防音室で行われ, 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 5s 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,

*Estimation of cortical activities associated with articulation by measurements of brain evoked fields. by SAGA, Naoki(Kobe Univ/AIST), YANO, Hajime (Kobe Univ/AIST), TAKIGUCHI, Tetsuya(Kobe Univ), ARIKI, Yasuo(Kobe Univ), SOETA, Yoshiharu(AIST), NAKAGAWA, Seiji(Chiba Univ/AIST)

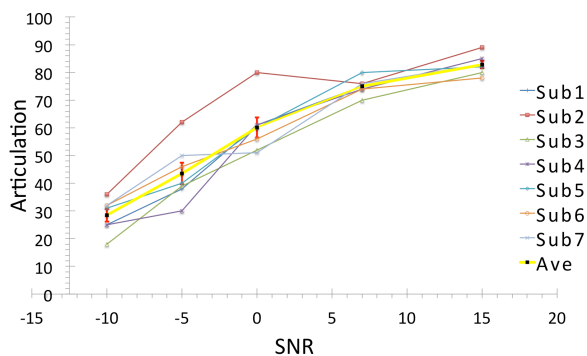


Fig. 1: The relationship between articulation and SNR

Table 1: The correlation between the articulation and SNR

syllable	correlation
pe	0.982
kyo	0.977
syu	0.973
⋮	⋮
byo	0.278
he	-0.079
gu	-0.079

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（/ペ/，/きよ/，/しゅ/，以下，高相関音節 A とする）と最も小さかった音節（/へ/，/ぐ/，/びょ/，以下，低相関音節 B とする）の相関係数を Table 1 に示す．

4 脳磁界計測

4.1 方法

明瞭度試験の被験者のうち 6 人は脳磁界計測にも参加した．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-122™，Neuromag Ltd, Finland）を用いて行っ

Table 2: The correlation between N1m activities and SNR.

	left hemisphere	right hemisphere
N1m amplitude	A : 0.868 B : 0.976	A : 0.872 B : 0.898
N1m latency	A : 0.638 B : 0.323	A : 0.828 B : 0.318

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，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．聴覚野において潜時およそ 100ms で出現する N1m 反応について，二乗平均平方根（Root Mean Square : RMS）を計算し，ピークにおける潜時と振幅を記録した．さらに，先行研究「文献 (2)」に基づき知覚性言語機能が存在すると言われている聴覚野よりやや後方の領域にて，左右半球各 8 チャンネルにおいてそれぞれ RMS を計算した．刺激呈示後 500ms から 700ms の間で積分を行った結果を用いて S/N 比との相関を調べた．このとき RMS 推定に用いたチャンネルは Fig 2 に記す通りに右半球から上から順に (R1, R2, R3, R4) として選び，左半球でも同様に (L1, L2, L3, L4) とする．また，Fig 2 の拡大部分は RMS を計算した後の刺激呈示後 500ms から 700ms の反応を S/N 比ごとに示している．

4.2 結果

高相関音節および低相関音節について，Table 2 に N1m 反応の振幅と潜時および S/N 比との相関を示す．また，Table 3 に L1 から L4 と R1 から R4 でのチャンネルにおける刺激呈示後 500ms から

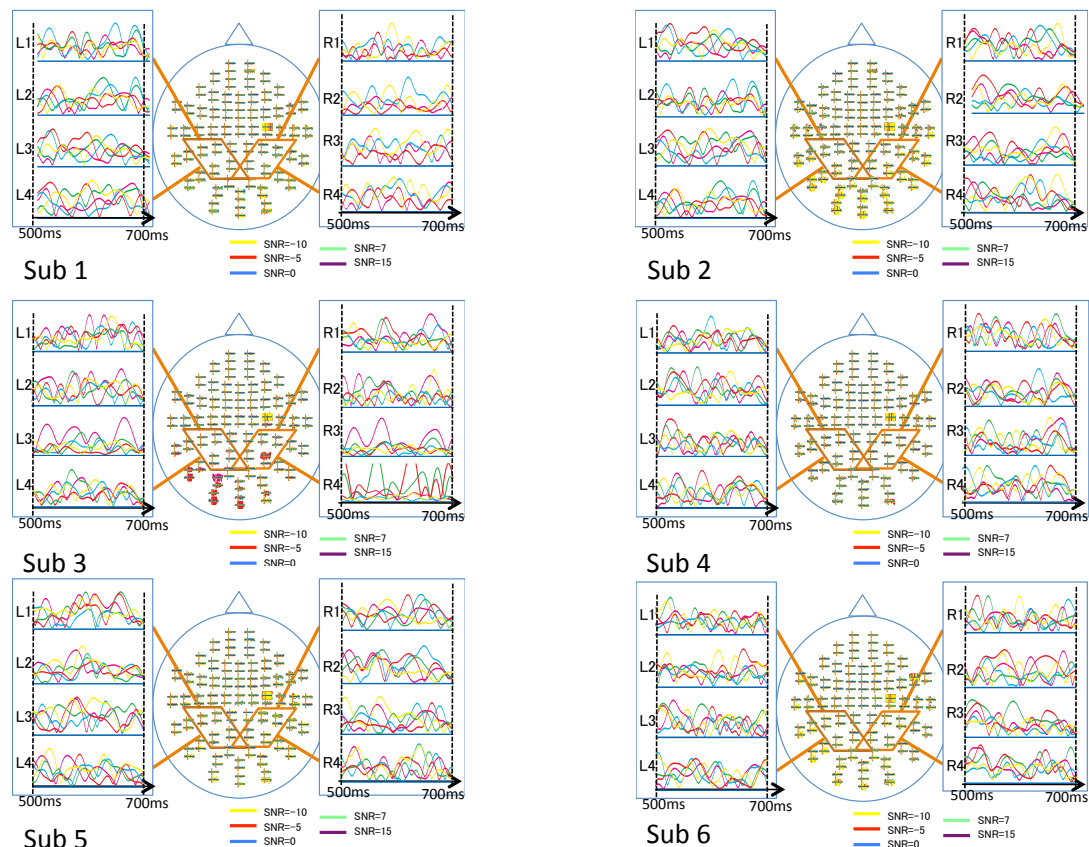


Fig. 2: Brain evoked fields induced by listening of the syllable 'pe'. R1, R2, R3, R4 are the channels in the posterior temporal areas in the right hemisphere. L1, L2, L3, L4 are the channels in the posterior temporal areas in the left hemisphere.

ら 700ms の間で積分を行った値と S/N 比の相関を高相関音節および低相関音節ごとに示す。Sub 3 の R4 チャンネルについては、大きなアーティファクトが重畳していたため、今回の解析からは除外した。

5 考察

N1m 振幅については、左右両半球において S/N 比との強い相関が得られている。しかしながら、この相関は高相関音節および低相関音節の両方で確認されていることから、この反応の変化は明瞭度に依存したものと考えるににくい。そもそも、N1m は刺激の物理特性を反映しやすい。今回の実験では S/N 比が低くなるにつれて、刺激音の立ち上がりに重畳した雑音も大きくなったため、その影響を強く受けたと考えられる。潜時 500-700ms の反応に関しては、S/N 比との相関の様子は単純ではない。例えば Sub 1 および

Sub 4 の L4 では高相関音節で中程度の相関が認められた (S/N 比の低下に伴って活動が増大)。その一方で低相関音節では相関はほとんど認められていない。つまり、高相関音節で見られた反応変化は音声の明瞭性に依存したものである可能性が高い。しかしながら、Sub 3 や Sub 5 では、S/N 比の低下に伴って活動が低下するという結果が得られている。被験者全体を通してみると、L4, R4 ではやや負の相関が見られたが、高相関音節および低相関音節で同様の傾向が示されているために、明瞭度に依存した活動とは考えにくい。

6 まとめ

脳磁界計測によって、音声明瞭度と高い相関を持つ脳反応を検索した。一部の被験者では、所謂、知覚性言語野の活動における明瞭度との相関を見いだすことができたものの、その正負は

Table 3: The correlation between the integral values and SNR

Subject	Channel		L1	L2	L3	L4	R1	R2	R3	R4
Sub1	A		-0.379	-0.366	-0.428	-0.624	-0.667	-0.573	-0.073	-0.796
	B		0.451	0.888	-0.398	0.037	0.455	-0.647	0.646	-0.551
Sub2	A		-0.513	0.276	0.003	-0.663	0.294	-0.229	-0.356	0.266
	B		-0.283	-0.857	-0.427	-0.873	0.128	-0.372	0.542	-0.488
Sub3	A		0.452	0.447	0.785	0.323	0.820	0.506	0.753	*
	B		0.285	0.273	-0.173	0.037	0.058	0.383	-0.257	*
Sub4	A		0.591	0.495	-0.330	-0.500	0.039	0.180	0.673	-0.657
	B		0.550	0.690	-0.709	0.041	0.236	-0.225	0.423	0.225
Sub5	A		0.660	0.252	-0.246	-0.416	0.211	0.700	-0.044	-0.371
	B		-0.354	-0.444	-0.704	-0.957	-0.101	-0.090	-0.208	-0.533
Sub6	A		-0.420	-0.468	-0.064	-0.187	-0.672	0.066	-0.296	0.123
	B		-0.558	-0.006	-0.712	-0.456	-0.358	0.365	-0.401	-0.529
ALL	A		0.410	0.135	0.632	-0.666	0.237	0.183	0.597	-0.585
	B		-0.083	-0.053	-0.616	-0.740	-0.395	-0.772	-0.409	-0.733

被験者間で一定していなかった．結果的には本稿の手段では明瞭性に関する脳部位を特定することはできなかった．ただ，雑音の増加に伴って活動する部位としてはL4, R4が考えられ，明瞭性に関する脳部位としてはSub 1,4のL4やSub 2のL1, Sub 6のL2のように微弱ではあるが，左半球の領野で可能性があると考えられる．

本研究では，明瞭性に関する反応として，知覚性言語野の潜時500msから700msの活動にターゲットを絞ってRMS解析を行ったが，当然ながら十分な検討を行ったとは言えない．異なる潜時帯の解析や活動源推定を行うことで，見いだせなかった相関を抽出できる可能性もある．さらに，近年は運動性言語野で音声知覚に係る処理が行われるとする報告^[3]も存在することから，解析部位についても再検討の余地があると考えられる．

参考文献

- [1] R. Hari *et al.*, Auditory Evoked Transient and Sustained Magnetic Fields of The Human Brain, Experimental Brain Research, Volume 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] A. D ’Ausilio A *et al.*, The Role of Motor System in Discriminating Normal and Degraded Speech Sounds, Cortex, Volume 48, 88-887, 2012.
- [4] P. C. Wang *et al.*, Cortical Mechanisms of Speech Perception in Noise, Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 51, 1026-1041, 2008.
- [5] 長谷ら，親密度別単語理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(11), 647-649, 2008.