

音の想起に伴う脳磁界反応：想起音の基礎パラメータの影響の検討*

○宇澤志保美 (神戸大/産総研), 滝口哲也, 有木康雄 (神戸大), 中川誠司 (千葉大/産総研)

1 はじめに

脳活動信号を意思伝達手段として活用する試み, すなわちブレイン・コンピュータ・インターフェース (BCI) ^[1] の開発が盛んに行なわれつつある. しかしながら, 既存の開発例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り, あらかじめ選択肢として用意されたもの以外の行為や事象を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, ヒトの脳活動から早期の内容そのものを解読できることが望ましい.

近年, 音の想起に伴う脳活動計測についても散見されるようになった. 例えば, 打撃音を想起した際の MEG 計測においては, 右半球優位の緩やかな反応が聴覚野周辺に報告されている ^[2]. また, シラブルを想起させた時の fMRI 計測では, 音声の想起を訓練した被験者のみに対する両側上側頭回の活動が報告されている ^[3]. しかし, 報告されている脳反応は概して緩やかなピークと比較的小さな振幅を有する反応であり, 空間特性についても被験者間・報告間のバラツキが大きく, 再現性の高い反応が得られているとは言い難い.

我々はこれまで, 想起音声の識別技術の確立を目指して, 音声想起に伴う脳磁界反応の時空間特性について検証してきた. 時間周波数空間において, 判別に有効なデータの潜時およびチャンネルを機械学習を用いて推定し, 潜時約 600ms の右側側頭部チャンネルのデータが有効であることを示した ^[4]. しかし, 音声の想起時の脳反応には, 想起される音声の物理的特徴量に加えて, 言葉のもつ意味や過去の記憶に基づく社会的印象など, 様々な要因が影響していると考えられる. そのため, 想起対象となる音に含まれる各パラメータが脳反応にどのように反映されるかは不明である.

したがって本稿では, 音声より単純な純音を想起の対象として, その基礎パラメータ, 特に時間パラメータを変化させることによる脳磁界反応への影響を調べた. 音声想起の脳反応は緩慢で

あり ^[2] 加算平均処理を行う際の想起反応の同期生を担保するためには, 想起のタイミング情報が脳活動としてどの程度正確に捉えられるかを調査する必要がある.

本研究では, 想起させる純音の刺激間隔 (Inter-stimulus interval: ISI) および持続時間を変化させた場合の脳磁界を計測し, これらの時間パラメータと脳活動の関係を観察した.

2 方法

2.1 刺激呈示間隔変化実験

Fig. 1 に刺激呈示シーケンスを示す. 一回の試行中, 被験者には視覚刺激「+」が 4 回連続して呈示された. このとき, 1 回目と 2 回目の呈示時のみ, 同時に純音が呈示された. 被験者には視覚刺激「+」の呈示タイミングに合わせて, 呈示音を想起するように教示した (想起条件). また, 同様の視覚刺激および純音呈示を行うものの, 被験者に無音映画を見せることにより想起を全く行わせない条件での計測も行った (無想起条件). 4 回目の呈示区間の後, 次の試行に至るまでの間隔は 2000-2500 ms でランダムに変化させた. また, 上記の想起条件において, タスクへの集中を持続させるために時折 (2.5% の確率で) 通常の刺激音よりも低い刺激音を呈示し, 被験者にはその刺激音を検知した場合にはボタンを押して応答するように教示した.

ISI は 250 ms/500 ms/1000 ms/2000 ms とし, 試行ごとにランダムで選択された. なお, 視覚刺激の持続時間は 250 ms とし, 聴覚刺激には持続時間 100ms, 1000 Hz の純音を用いた. 3 回目および 4 回目の想起区間における誘発反応を 80 回以上加算した. 加算区間は各 ISI ごとに, 刺激のオンセットを基準として -200~350 ms/-200~600 ms/-200~650 ms/-200~700 ms とした.

2.2 刺激持続時間変化実験

Fig. 2 に刺激呈示シーケンスを示す. 一回の試行中, 被験者には視覚刺激「+」が 3 回連続して呈示され, 1 回目と 2 回目の呈示時には同時に純

*Brain magnetic fields associated with imagery of tone : Investigation the effect of the basic parameters of imagined sounds. by UZAWA, Shihomi (Kobe Univ./AIST), TAKIGUCHI, Tetsuya, ARIKI, Yasuo (Kobe Univ.), NAKAGAWA, Seiji (Chiba Univ./AIST).

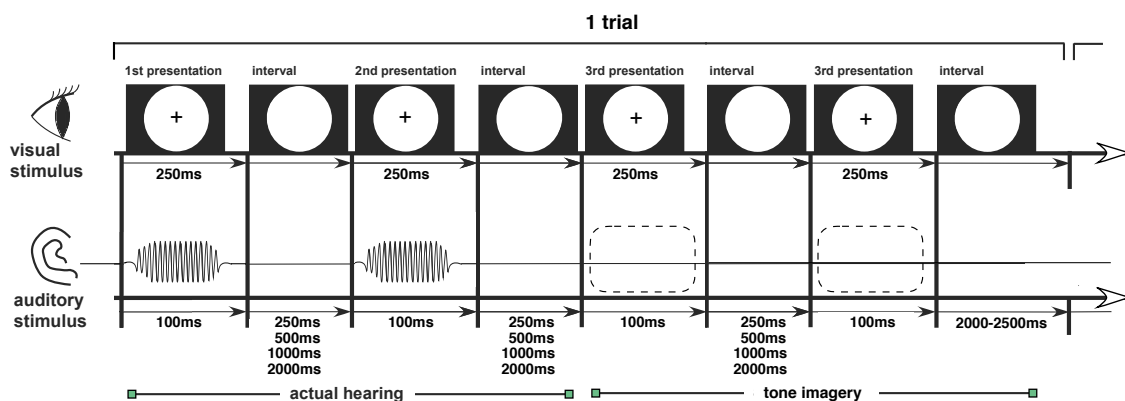


Fig. 1 Schematic diagram of the stimulus sequence in the ISI experiments.

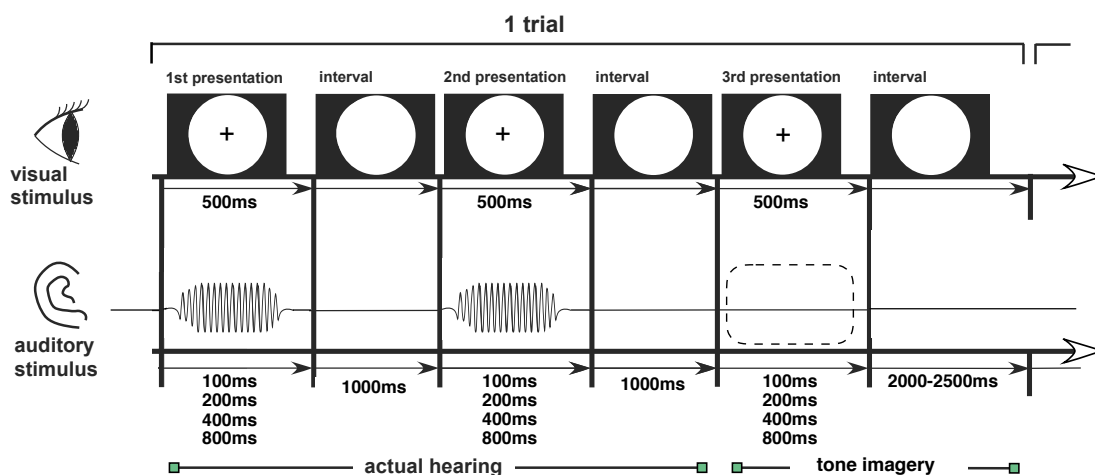


Fig. 2 Schematic diagram of the stimulus sequence in the duration experiments.

音が呈示された。被験者には「+」の呈示タイミングに合わせて、呈示音を想起するように求めた（想起条件）。また、同様の刺激呈示が行われるものの、被験者に無音映画を見せることにより想起を全く行わせない条件下での計測も行った（無想起条件）。3回目の呈示区間の後、次の試行に至るまでの間隔は2000-2500 msとした。また、想起条件において、タスクへの集中を持続させるために、時折低い刺激音を呈示し、被験者にはボタンで応答させるようにした。

刺激音の持続時間は、100 ms/200 ms/400 ms/800 msとし、試行ごとにランダムに選択された。また、視覚刺激の持続時間は500 ms、ISIは1000 msとした。聴覚刺激には1000 Hzの純音を用いた。3回目の想起区間における誘発反応を80回以上加算した。加算区間は各持続時間ごとに-200~600 ms/-200~700 ms/-200~900 ms/-200~1300 msとした。

2.3 脳磁界計測および解析

刺激呈示間隔変化実験においては右利きの聴覚健常者4名（男性2名、女性2名、22-24歳）、刺激持続時間変化実験においては右利きの聴覚健常者4名（男性2名、女性2名、22-23歳）を被験者とした。

脳磁界計測には、122 ch 全頭型脳磁界計測システム（Neuromag - 122TM: Neuromag, Ltd.）を用いた。3,000 fT/mm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。計測した脳磁界データは0.03-100 Hzのアナログフィルタを適用した後、サンプリング周波数400 HzでA/D変換を行った。計測中は眼球運動由来の電位を計測し、瞬きによるアーティファクトの除去を行った。

計測により得られた脳磁界反応について、刺激のオンセットより-200~0 msの区間をベースラインとし、その後0.1-30 Hzのデジタル帯域通過フィルタを適用した。無想起条件の波形と

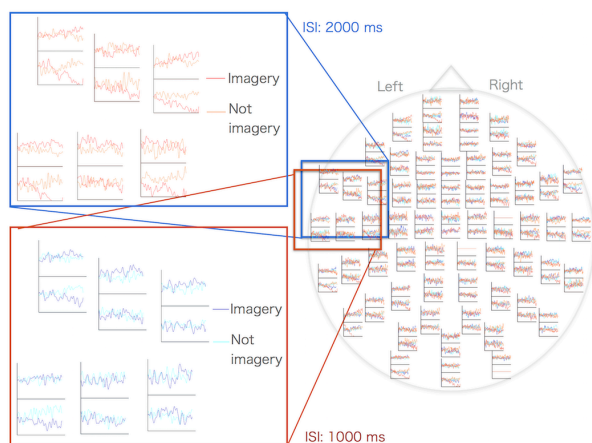


Fig. 3 Waveforms of evoked fields observed in the ISI experiments.

比較し、観察された想起条件における反応の潜時および振幅を両半球ともに記録した。想起条件と無想起条件との差異が複数チャンネルで観測された場合、チャンネルを2つおよび3つ選択し、その平均潜時および平均振幅を被験者ごとに記録した。

3 結果

3.1 刺激呈示間隔実験

Fig. 3 に変化実験で得られた誘発脳磁界波形 (ISI: 1000 ms と 2000 ms, 想起条件および無想起条件) の一例を示す。側頭部を中心におよそ 150 ms~400 ms にわたって緩やかな反応が観察された。

一方、想起条件と無想起条件との差異が見られるチャンネルは限定的であり、その部位についても各 ISI に共通したものは観測されなかった。

3.2 刺激持続時間実験

Fig. 4 に持続時間実験で計測された誘発脳磁界波形を示す (持続時間: 400 ms および 800 ms, 想起条件および無想起条件)。ISI 変化実験と同様に、側頭部を中心におよそ 200 ms~550 ms にわたって緩やかな反応が観察されている。

想起条件と無想起条件との間に有意な差異が観測されたチャンネルを2箇所もしくは3箇所選択し、その平均潜時および平均振幅を推定した。Fig. 5 に半球ごとの平均潜時とその標準偏差、Fig. 6 に半球ごとの平均振幅とその標準偏差を示す。それぞれのグラフには各被験者についての値が示されているが、想起条件および無想起条件におい

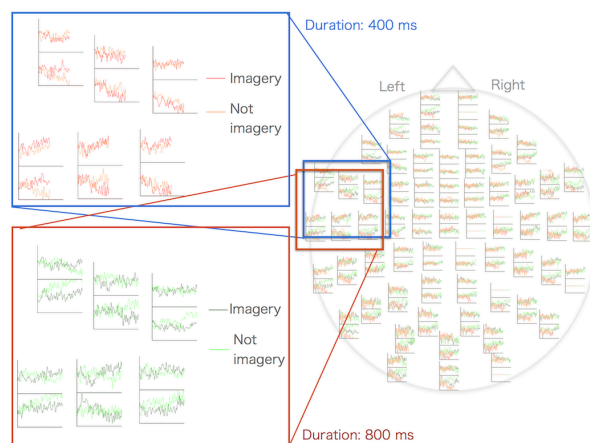


Fig. 4 Waveforms of evoked fields observed in the duration experiments.

て複数のチャンネルで有意な差異が観測されなかった場合は欠損値としている。これらの結果から、想起に伴う脳反応は左半球において優位に観測されていること、また刺激の持続時間が長いほど強く観測できる傾向であることがわかる。なお、左半球において観測された想起に伴う反応の潜時は、持続時間ごとに 305.42 ± 21.50 ms, 290 ± 30.94 ms, 412.5 ± 7.92 ms, 418.54 ± 24.99 ms であった。

4 考察

ISI 変化実験では、側頭部を中心に緩やかな反応が観察されたものの、想起条件と無想起条件との間に明らかな差異のあるチャンネルは限定的であった。このことは、観測された反応は想起とは異なる認知反応 (例えば選択的注意や視覚情報認知) によるものであって、想起特有の反応をうまく捉えることができなかったことを示唆する。想起に伴う反応をうまく観測できなかった理由はいくつか考察できるが、まず加算平均時の同期性の悪さがあげられる。今回の実験では、各試行ごとの想起の同期性を向上させるために視覚刺激を呈示しているが、確実な同期が担保されるわけではないし、その高低は被験者の練度に依存すると思われる。また、刺激持続時間の実験において、持続時間が短い 100 ms および 200 ms では想起条件と無想起条件の間の差異が小さかった。刺激音の持続時間の短さが想起のしやすさに影響し、十分な脳反応を惹起しなかったものと考えられる。一方、同様に持続時間が約 100 ms の打撃音を用いた先行研究^[2]では比

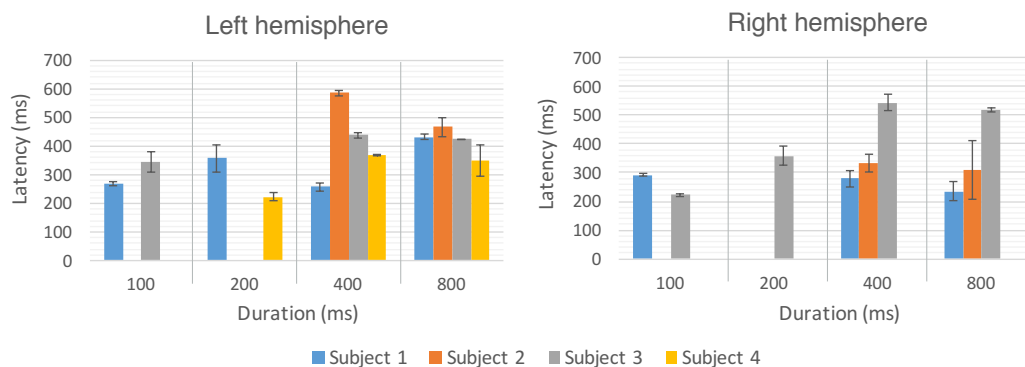


Fig. 5 Latency of evoked fields associated with imagery of tone in the duration experiments.

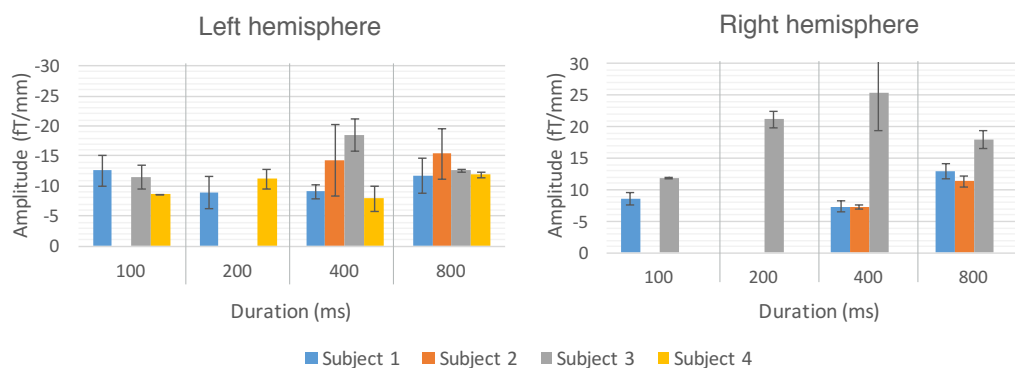


Fig. 6 Amplitude of evoked fields associated with imagery of tone in the duration experiments.

較的大きな想起反応を認めており、持続時間だけが主な要因ではないとも考えられる。想起しやすい音、想起に関連する脳反応を生じさせやすい音があるのかもしれない。

持続時間変化実験において観測された想起に伴う反応の潜時および振幅は、持続時間の違いに応じて変化した。しかしながら、持続時間 400 ms において最も大きな潜時得られた被験者が多かった (Fig. 5)。つまり、持続時間が長いほど反応が遅延するわけではないのかもしれない。もっとも、持続時間 100 ms および 200ms に対する反応では十分な振幅が観測されておらず、詳細な検討をすることは難しい。持続時間変化実験では、想起反応について左半球優位の傾向が得られた (Fig. 5, 6)。この結果は著者らの先行研究 [4] とは一致しない。その理由の同定は困難だが、今回の実験時に右半球のチャンネルにいくらか混入したアーティファクトのために、観測が妨げられた可能性も否定できない。信号処理によって、アーティファクトの分離を行った上での解析が必要なのかもしれない。今回の実験は、想起に伴う脳反応の計測が決して容易でないことを再認識させるものであった。より強い想起を生じ

させるタスクの開発や、被験者に対する事前のトレーニング、さらには反応を抽出するための信号処理方法の開発などに取り組んでいくことで、計測精度の向上を図りたい。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金 (26282130, 26560320, 25282053) の援助を受けて実施された。

参考文献

- [1] R. Fazel-Rezai *et al.*, “P300 brain computer interface : current challenges and emerging trends,” *Frontiers in Neuroengineering*, pp. 1-15, 2012.
- [2] M. Hoshiyama *et al.*, “Hearing the sound of silence: a magnetoencephalographic study,” *NeuroReport*, Vol. 12, pp. 1097-1102, 2001.
- [3] L. Jäncke *et al.*, “‘Hearing’ syllables by ‘seeing’ visual stimuli,” *European Journal of Neuroscience*, Vol. 19, pp. 2603-2608, 2004.
- [4] 宇澤ら, “音声想起による誘発脳磁界の計測,” 日本音響学会 2016 年秋季研究発表会, 2016.