J1230107

音階デコードのための fMRI を用いた周波数解像度の研究*

芝田 京子^{*1}, 佐藤 公信^{*2}, 金子 竜也^{*3}, 笹岡 悠人^{*4}, 井上 喜雄^{*5}

Study on Frequency Resolution with fMRI for a Musical Scale Decoding System

Kyoko SHIBATA^{*1}, Hironobu SATOH, Tatsuya KANEKO, Yuto SASAOKA and Yoshio INOUE^{*1} Kochi Univ. of Tech. School of Systems Engineering
Tosayamada-cho, Kami-shi, Kochi, 782-8502, Japan

There is a frequency locality in the auditory cortex. The aims of this study are reconstructing audio signal from fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) data measured primary auditory cortex of human. In order to develop a sound decoding system from brain activity, it is necessary to distinguish brain activities which respond to several frequencies of stimuli. Therefore the first stage of this study is attempted to establish a technology to decode a musical scale using fMRI. In this paper, it is shown by t-test that the brain activities have significant differences which respond to semitone-difference stimuli with 3-mm spatial resolution of fMRI imaging data. Thus, at around 2kHz, a prospect that decoding musical scale from brain activity data is possible on the frequency resolution of a semitone is obtained.

Key Words : Auditory cortex, Decoding system, Machine learning

1. はじめに

fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) データからの視覚画像の再構成が成功している⁽¹⁾. 本研究では, fMRI データを用いて聴覚情報を再構成することを試みる. その第一段階として, 西洋音階に対するデコード技術を開発する. 聴覚刺激は聴覚野で処理されることがわかっているが, 周波数により聴覚野のどの部分が局所的に活動しているかは詳しく明らかになっていない. これまでに, 一次聴覚野および二次聴覚野において特定周波数に反応する神経細胞が存在し, 電極により脳活動を測定することで聴覚刺激のピッチ (音高) を抽出可能であること⁽²⁾, また, fMRI を用いて西洋音階の 2 オクターブずつ 4 音, すなわち 125Hz, 500Hz, 2kHz, 8kHz を聴覚刺激として提示した場合の脳活動がマッピングされ, 低周波数は聴覚野の前部が, 高周波数になるにつれ後部の賦活が大きくなること⁽³⁾が報告されている. しかしながら, 音声デコードへの展開を考えれば, 周波数解像度をより高くすることが求められる. そこで本報では, fMRI の空間分解能 ($3.0 \times 3.0 \times 3.0$ mm) で半音差の聴覚刺激を提示した際の脳活動に有意差があるか検証することで, fMRI を用いた場合の周波数解像度を明らかにする.

2. 実験方法

fMRI の 3mm ボクセル空間解像度において, 半音異なる聴覚刺激間に差異が観測されるか確認する. 脳活動に有意差があれば, 音階デコードが可能と考えられる.

被験者は, 健康で聴覚に障害のない 20 代成人男性 9 名であり, 実験の主旨を理解した上で同意を得て行った. fMRI (SIEMENS 社 MAGNETOM Verio3T) の EPI (echo planer imaging) の設定は, TR 3000 ms, TE 30 ms, flip angle 90°, field of view 192×192 mm とする. 聴覚刺激提示は, Steinberg 社 Nendo6 を用い, 量子化ビット数 16bit,

^{*1} 正員, 高知工科大学 (〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185)

^{*2} 正員, 高知工業高等専門学校

^{*3} 学生員, 高知工科大学大学院

^{*4} 高知工業高等専門学校

^{*5} 名誉員, フェロー, 高知工科大学

E-mail: shibata.kyoko@kochi-tech.ac.jp

サンプリングレート 44.1kHz とする。被験者は、磁場の影響を受けない光マイクロフォンを装着し実施した。

fMRI は常に駆動音を発する。この影響を少なくするため、ヒト可聴域 20～20kHz におけるスキャン実行時以外の駆動音を解析した。結果を図 1 に示す。これより、2kHz 付近で最小となるため C7(2097Hz), C#7(2217.46Hz), D7(2349.32Hz), D#7(2489.02Hz) の 4 種類の純音、刺激定位センターを聴覚刺激として用いることとした。実験デザインを図 2 に示す。タスクは、ヘッドフォンを用い 100dB で 5 秒間の聴覚刺激を提示する。その後 25 秒間のレスト、再び 5 秒間のタスクを繰り返す。刺激提示後 4～6 秒後に刺激による脳活動がピークに到達し 20～30 秒後にベースラインに戻るため、タスク後に EPI スキャンを 3 秒間行う。

Fig. 1 Frequency analysis of driving sound of fMRI

Fig. 2 Experimental design

それぞれの脳賦活を fMRI で撮像し、脳画像解析ソフトウェア SPM8⁽⁴⁾を用い前処理を行ってから t 検定による統計的推論を行った。聴覚刺激に対しては聴覚野で賦活が起こることがわかっているため、関心領域を聴覚野として解析を行う。

各聴覚刺激とレストとの集団解析結果（すべて $p=0.1$ ）を図 3 に示す。すべてにおいてコントラストが得られたため、有意傾向にあるということが確認された。次に、半音差による有意差の集団解析結果を図 4 に示す。有意水準は、C7 と C#7 は $p=0.08$, C#7 と D7 および D7 と D#7 は $p=0.05$ を用いた。図 4 においては、C#7 と D7 および D7 と D#7 でもコントラストが得られたため、この周波数では半音差の聴覚刺激に対する脳活動に有意差が確認できた。しかしながら、C7 と C#7 のコントラストにおいてはノイズである可能性もあるため、今後のさらなる検討が必要と考える。

3. おわりに

本研究では、fMRI による聴覚情報デコード技術実現を目指し、第一段階として、脳活動に有意差を得ることができるか、つまり、デコーディング時の周波数解像度を明らかにする実験を行った。結果、C7, C#7, D7, D#7, および、C#7 と D7, D7 と D#7 の半音差において、脳活動に有意差が確認された。よって、2kHz 周辺においては半音差の周波数解像度で音階デコードが可能であるという見通しが得られた。

Fig. 4 Activation patterns of group model analyses

Fig. 5 Significant differences

今後は、音域を拡げて各音階を提示した際の個人の脳賦活動をマッピングし、識別器を用い学習を行うことで、音階デコードの実現を目指す。

文 献

- (1) Yoichi Miyawaki, H. Uchida, O. Yamashita, M. Sato, Y. Morito, H. C. Tanabe, N. Sadato, Y. Kamitani, "Visual Image Reconstruction from Human Brain Activity using a Combination of Multiscale Local Image Decoders", *Neuron*, Vol. 60, Issue 5 (2008), pp. 915–929.
- (2) Shihab A. Shamma, "Topographic organization is essential for pitch perception", *Proceedings of the National Academy of Science*, Vol.101, No.5 (2004), pp.1114-1115.
- (3) Dave R.M. Langers, Walter H. Backes, Pim van Dijk, "Representation of lateralization and tonotopy in primary versus secondary human auditory cortex", *NeuroImage*, 34 (2007), pp. 264–273.
- (4) SPM, < <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm8/> > (accessed at 21 March, 2014).