

音列の規則性の知覚に関わるラット聴覚野の神経活動  
**Auditory cortical activity related to sound regularity perception**  
 雨宮 知樹, 高橋 宏知 講師 Tomoki AMEMIYA, Hirokazu TAKAHASHI

Keywords: Auditory Cortex, Tone Sequence, Local Field Potential, Phase Coherence, Microelectrode Array

## 1. 序論

様々な音の中から重要な音を区別し行動することは、生存上有利に働く。そのような区別されやすい音の要素の一つに、音の規則性が挙げられる[1]。音の規則性を知覚する神経機構は、脳磁図などの非侵襲計測により調べられてきた[2,3]。しかし、その具体的な神経基盤は十分に解明されているとは言えない。聴覚野の神経活動について、近年、神経活動の振動現象と、聴知覚との関係が指摘されている[4]。本研究は、音の規則性の知覚に関わる聴覚野の神経活動を明らかにすることを目的とした。動物モデルとしてラットを用いて、規則性のある純音系列に対する聴覚野の神経活動を計測した。誘発反応の大きさと、神経振動の位相情報に着目し、不規則な音列に対する活動と比較した。

## 2. 方法

### 2.1 電気生理計測

実験には、7週齢のオスの Wistar ラット 7 匹を用いた。全ての実験は、東京大学動物実験実施規則に則り行った。麻酔下でラットの右側頭部の脳表を露出させ、4 mm 四方に 10×10 点の計測点を持つ微小電極アレイを聴覚皮質第 4 層に刺入した。音刺激として、図 1 に示すように、前半(S0)を無作為な順序の音列、後半(S1)を、4つの異なる周波数のトーンバースト音(要素音)が規則的に繰り返される音列(条件 1-4; 規則条件)、または、無作為な順序の音列(条件 5; 不規則条件)で構成される音系列を提示した。神経活動として、局所電場電位(Local Field Potential; LFP)を計測した。各音条件について、個体ごとに 7-17 試行、計 70 試行実施した。

### 2.2 解析方法

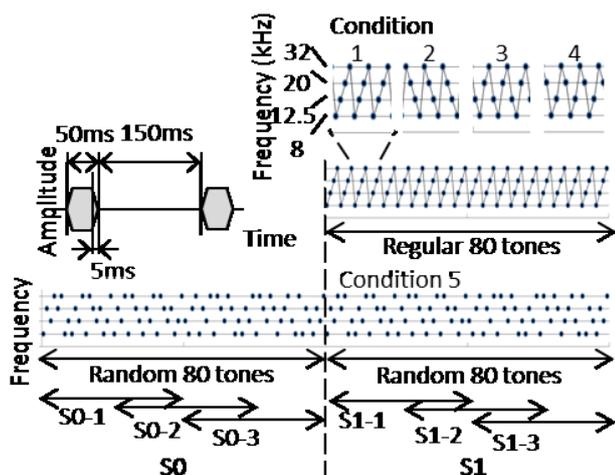


Fig.1 Sound Stimuli

音列の規則性の有無による神経活動の違いを抽出するため、区間 S1 における LFP を解析対象とした。同じ周波数の要素音ごとに、音提示後 50 ms の LFP を加算平均し、音誘発反応の極小値(P1)の絶対値を求め、P1 の振幅とした。計測点中で最大となる P1 振幅について、規則条件と、不規則条件で比較した。

また、神経活動の再現性の指標として、神経振動の位相固定性(Inter-trial Phase Coherence; ITPC)を調べた。まず、得られた LFP に 4 種の帯域通過フィルタ( $\alpha$ , 8-14 Hz;  $\beta$ , 14-30 Hz; low- $\gamma$ , 30-40 Hz; high- $\gamma$ , 60-80 Hz)をかけた。次に、それらの信号をヒルベルト変換し、各時刻の瞬時位相を求めた。そして、各要素音について、ITPC を(1)式により求めた。

$$ITPC(t) = \left| \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \exp(\theta(t_k + t)i) \right| \quad (1)$$

ここで、K は繰り返し回数、t は音提示を基準とした時刻、 $\theta$  は瞬時位相、 $t_k$  はその要素音の k 回目の繰り返しにおける音提示の開始時刻を表す。ITPC は 0 から 1 の値をとり、1 に近いほど位相の再現性が高いことを表す。各要素音について、音提示前 100 ms から音提示後 100 ms までの平均を、その音に対する ITPC の値とした。計測点全体の ITPC の平均を、規則条件と不規則条件で比較した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 誘発反応の振幅の変化

図 2(A)に、得られた P1 振幅の空間分布の例を示す。規則条件と不規則条件では、同様の空間分布が見られたが、振幅の大きさに違いが見られた。このため、全計測点の最大振幅をその音に対する P1 振幅と定義し、

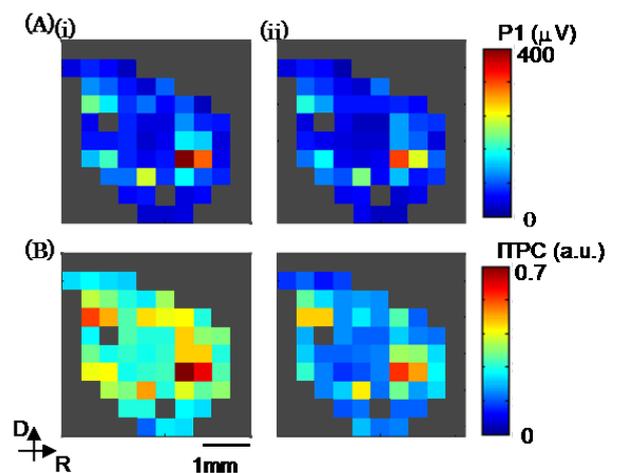


Fig.2 Spatial distribution of P1 and ITPC in response to 8 kHz tones.

(A)P1, (B)ITPC of low- $\gamma$  band, (i)Regular sequence, (ii)Random sequence.

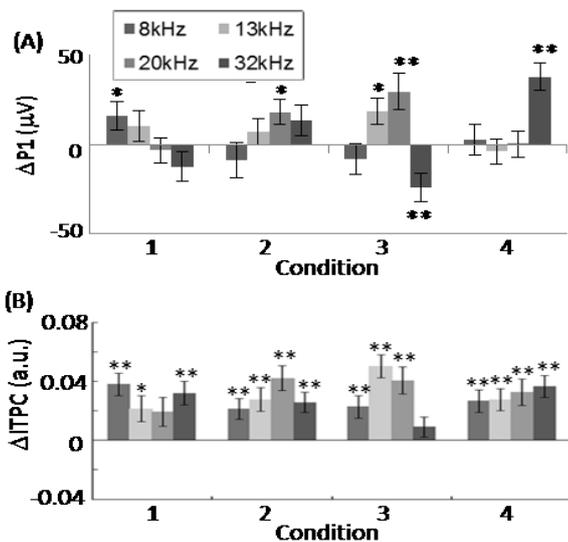


Fig.3  $\Delta P1$  and  $\Delta ITPC$  as a function of test conditions and tones.

(A) $\Delta P1$ , (B) $\Delta ITPC$  of low- $\gamma$  band. Mean $\pm$ SE, \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$  (two-sided t-test)

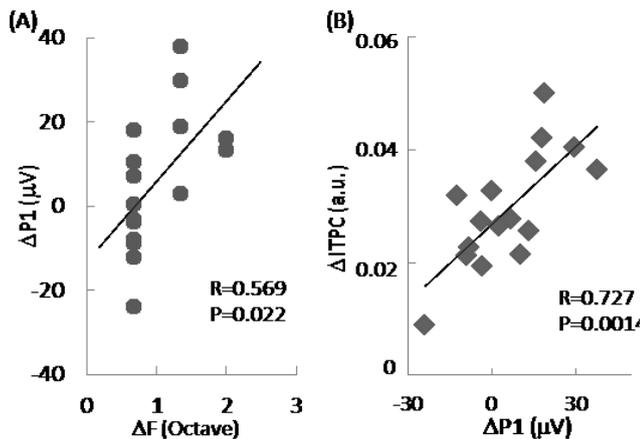


Fig.4 Correlation between changes of frequency, P1 amplitude, and ITPC.

(A) $\Delta P1$  and  $\Delta F$ , (B) $\Delta ITPC$  and  $\Delta P1$ .

規則条件の振幅から不規則条件の振幅の値を引いたものを $\Delta P1$ と定義した。

$\Delta P1$ は、規則音列のパターンごとに異なる傾向が見られた(図3(A))。各パターンでの $\Delta P1$ は、2つの要素音間の周波数差 $\Delta F$ と相関した(図4(A))。このことは、誘発反応に音列の局所的な構造が表現されていることを示唆する。また、音パターンの特定の部分に対して誘発反応が相対的に増大することで、その部分が知覚されやすくなっている可能性がある。

### 3.1 位相固定性の変化

図2(B)に、ITPCの空間分布の例を示す。規則条件にけるITPCの空間分布は不規則条件に比べ、全体的に高い傾向が見られた。そのため、聴皮質の全計測点にわたる平均値の、規則条件と不規則条件の差を、 $\Delta ITPC$ と定義した。 $\Delta ITPC$ は、規則条件において正の値を取る傾向が見られた。特に、low- $\gamma$ 帯域でその傾向が顕著であった(図3(B))。 $\Delta ITPC$ と $\Delta P1$ は相関関係が見られたが、 $\Delta P1$ が0付近であっても $\Delta ITPC$ は正の値を示した(図4(B))。このことは、位相固定性の増加に、誘発反応の振幅変化に依存する成分と、しない成

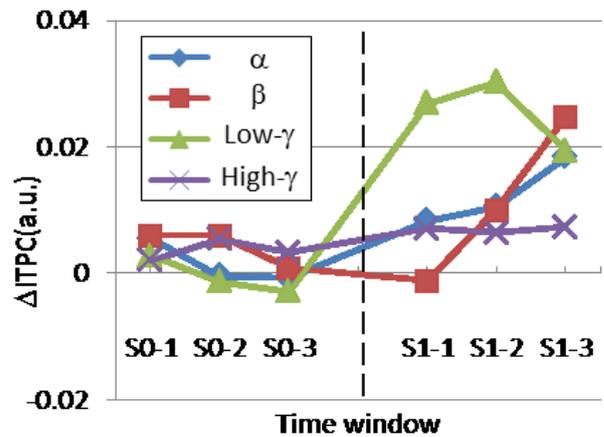


Fig.5 Time course of  $\Delta ITPC$ . Averages through conditions and all tones.

分が存在することを示唆する。規則音列に対して low- $\gamma$ 帯域の活動のタイミングが揃うことと、誘発反応の振幅の増加が同時に生じることが、音の規則性の知覚に関与していると考えられる。

また、 $\Delta ITPC$ の時間変化を調べるために、区間 S0を含めた音列を、40音を1区間とする6つの少区間に区切り、各区間で同様に $\Delta ITPC$ を求めた。その結果、S1の前半に比べ、その後半で、low- $\gamma$ 帯域の $\Delta ITPC$ は減少し、 $\beta$ 帯域の $\Delta ITPC$ は上昇した(図5)。ヒトにおいて、脳波の $\beta$ 帯域成分の強度は、周期的な音に同期して変化する[3]。麻酔下のラットで、 $\beta$ 帯域の活動が時間変化したことは、音に対し注意を向けていない状態でも、10-20回の音の繰り返しによって、音の規則性の知覚を生じさせるための内在的な神経基盤が存在することを示唆する。

## 4. 結論

規則的な音列を提示した時の聴覚野の神経活動では、音パターンの特定の部分に対する誘発反応の増大と、音列全体に対する活動の再現性の増大が同時に生じた。また、神経活動の再現性は、音パターンの繰り返しによって時間変化した。麻酔下で生じたこれらの神経活動が、注意を向けていない状況下でも、音の規則性を知覚するための内在的な神経機構であると考えられる。

## 参考文献

- [1] McDermott, J. H. et al., "Recovering sound sources from embedded repetition," Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., vol. 108, no. 3, (2011), pp. 1188-93.
- [2] Chait, M. et al., "Processing asymmetry of transitions between order and disorder in human auditory cortex," J. Neurosci., vol. 27, no. 19, (2007), pp. 5207-14.
- [3] Cirelli, L. K. et al., "Beat-induced fluctuations in auditory cortical beta-band activity: Using EEG to measure age-related changes," Front. Psychol., vol. 5, (2014), pp. 1-9.
- [4] Noda, T. et al., "Stimulus phase locking of cortical oscillation for auditory stream segregation in rats," PLoS One, vol. 8, no. 12, (2013), p. e83544.