

# 音の情動的価値に対する聴皮質の情報処理

## Information processing for emotional value of sound in the auditory cortex

磯口知世

指導教員 高橋宏知 講師

Tomoyo ISOGUCHI

(Lecturer Hirokazu TAKAHASHI)

Keywords: Brain, Sound, Emotion, Bioinstrumentation, Micro Electrode Array

### 1. 序論

音には、生存のために有用な情報、つまり価値を有するものがある。例えば自然界では、音の発生確率が低いほど価値の量は多く、また、音が特定の情動と関連する場合にも、価値の量は多いと考えられる。一方で、音と関連する情動の、喜びや恐怖といった違いは、音の価値の情動的な質を決定する。すなわち、音の価値は、量と情動的な質といった異なる階層を有すると考えられる。これまでに、話者の声色といった、音の価値に対する情報処理が、ヒト聴皮質において行われていることが、脳磁図から調べられてきた [1]。しかし、こうした情報処理に関わる神経活動の特徴については、調べられていない。

音の価値に対する、聴皮質の情報処理機構を解明するため、ミスマッチネガティビティ (Mismatch Negativity; MMN) と、誘発電位の紡錘波 (Spindle) に注目した。聴覚の MMN は、周波数や音圧の変化に対して、聴皮質で発生する陰性のゆらぎである。これまでに著者らは、価値の量が多い音への変化が、振幅の大きい MMN を誘発することを示した [2]。しかし、音の価値の情動的な質の違いは、MMN よりも遅い時間帯の神経活動に表現されていることが先行研究で示されている [3]。よって、MMN の振幅は、音の価値の量のみを表現していると考えられる。紡錘波は、皮質の広範囲で、誘発電位の  $\alpha$  帯域の振動が強くなる現象であり、皮質と視床の神経回路によって誘発される [4]。一方、恐怖と関連する音刺激を連続してラットに提示すると、下丘の神経細胞で、活動電位の頻度が高くなることが調べられている [5]。下丘は聴皮質からの入力を受け、視床へ投射しているため、音の価値の情動的な質が、聴皮質の紡錘波を変化させる。以上から、音の価値の量と、情動的な質は、聴皮質において異なる時間帯で処理されていると考えられるが、詳しくは調べられていない。

本研究の目的は、聴皮質において、音の価値の量と、情動的な質に対する情報処理が行われている時間帯を調べることである。具体的には、純音に対する曝露、もしくは罰または報酬を用いた条件付けを施したラットの聴皮質から誘発電位を多点同時計測し、中潜時反応 (P1) と MMN の振幅と潜時を調べる。また、誘発電位における紡錘波の特徴を調べる。

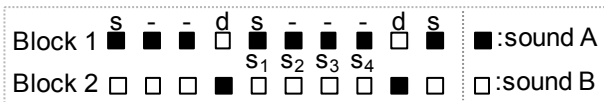


Fig.1. Test stimuli to elicit MMN.

Standard (s) and deviant tones (d) were exchanged between blocks.

Table 1. Frequency pairs used in the oddball situations

		Freq <sub>16k</sub> , Hz	Freq <sub>other</sub> , Hz
Low	Far	16000	8000
	Medium		10079
	Near		12700
High	Near		20158
	Medium		25397
	Far		32000

### 2. 方法

#### 2.1 曝露と条件付け

ラットを3群に分け、曝露群 (Exposed group) のラットには 16 kHz (60 dB SPL, 10 sec) の純音のみを 40 回提示した。他の 2 群のラットには、16 kHz の純音を条件刺激 (Conditioned Stimulus; CS) として、罰、または報酬に対する古典的条件付けを施した。無条件刺激 (Unconditioned Stimulus; US) として、恐怖学習群 (Fear cond.) では下肢への電気ショック (0.3 mA; 1sec) を、報酬学習群 (Reward cond.) は、スクロース錠 2 錠を用い、CS と US の組み合わせを、恐怖学習群は 20 または 40 回、報酬学習群は 40 回ラットに提示して、CS と US を連合学習させた。

#### 2.2 生理実験

曝露、または条件付けを施したラットと、未学習群のラット (Naive) の脳表面から、聴性誘発電位 (Auditory evoked potential; AEP) を多点同時計測した。麻酔下のラットの右聴皮質に、64 点の計測点を持つ微小表面電極アレイを設置し、左耳から 10 cm 離れたスピーカから、刺激音を提示した。

図 1 のように、オッドボール課題 (oddball situation) で AEP を計測した。周波数と発生確率 (p) が異なる 2 種類の純音刺激 (8–32 kHz, 60 dB SPL) を 700 ms 間隔で提示した。表 1 に、刺激音の周波数ペアを示す。それぞれの周波数ごとに、高発生確率の標準刺激 (standard stimulus; p=0.9) に誘発される標準反応と、低発生確率の逸脱刺激 (deviant stimulus; p=0.1) に誘発される逸脱反応の、音刺激提示後 50 ms 以内での最大振幅を、音刺激に対する中潜時反応 (P1<sub>stan</sub>, P1<sub>dev</sub>) の振幅とし、その時刻を潜時と定義した。また、標準反応と逸脱反応との差分の、音刺激提示後 50–150 ms での最大値を MMN の振幅とし、その時刻を MMN の潜時と定義した (図 2)。さらに、逸脱刺激提示後の標準刺激の繰返し回数ごとに P1<sub>stan</sub> の潜時を求め、標準刺激の繰返し回数に対する、潜時の変動係数を調べた。

計測した誘発電位の根二乗平均が、全計測点の 25 % 以上で閾値を越えている時間を、紡錘波と判定した。各紡錘波の持続時間を、紡錘波長と定義した (図 3)。

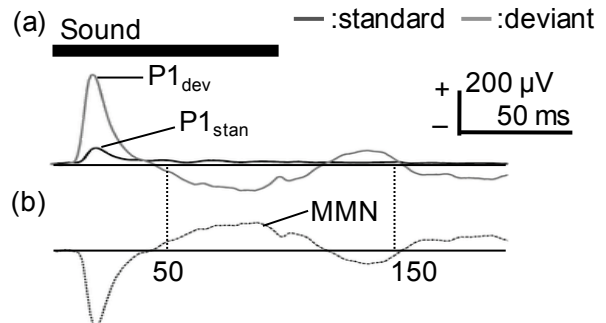


Fig.2. Quantification of MMN.

(a) The grand averages of standard- and deviant- evoked potentials. The amplitude of P1<sub>stan</sub> and P1<sub>dev</sub> was defined as the maximum amplitude between 1 - 50 ms after the sound onset. (b) MMN was defined from a difference between standard- and deviant- evoked potential. The amplitude of MMN was defined as the maximum amplitude between 50 - 150 ms after the sound onset.

### 3. 結果とその検討

図4に、MMNの振幅を示す。未学習群では、周波数ペアのうち、高い周波数の音に対するMMNの振幅が、低い周波数の音に対するMMNの振幅よりも大きくなり、振幅の非対称性 [2] を示した (図4(a))。一方、曝露群では、16 kHzの音に対するMMNの振幅が、他の周波数の音 (Freq<sub>other</sub>) に対するMMNの振幅よりも小さかった (図4(a))。これは、音の存在確率の上昇に伴い、価値の量が減少したためと考えられる。恐怖学習群、報酬学習群では、16 kHzとの周波数比が最も大きい条件 (Far) でのみ、16 kHzに対するMMNの振幅が、他の周波数の音に対するMMNの振幅よりも大きくなった (図4(b))。これは、条件付けによって、音の情動的な価値の量が増加したためと考えられる。しかしながら、恐怖、または喜びといった、情動の質の違いは、MMNの振幅には影響を与えなかった。以上の結果から、MMNの振幅は、音の価値の量のみを表現していると考えられる。

図5に、標準刺激の繰返し回数に対する、P1<sub>stan</sub>の一次聴覚野 (A1) での潜時の変動係数を示す。報酬学習群は、恐怖学習群に比べて、潜時の変動係数が大きかった。この結果は、報酬学習群では、16 kHzの音に対する、聴皮質の神経活動の再現性が、恐怖学習群よりも低いことを示していると考えられる。図6に、標準または逸脱刺激提示中の紡錘波長を示す。報酬学習群では、16 kHzの純音を標準刺激として提示している間の紡錘波長が、恐怖学習群よりも長かった。一方、紡錘波の発生回数について、これらの2群の間に違いはみられなかった。以上の結果は、報酬学習群のラットに、16 kHzの音を繰り返し提示している際の、聴皮質の定常的な状態が、恐怖学習群よりも不安定である可能性を示している。よって、音の価値の情動的な質の違いは、聴皮質の定常状態の安定性に表現されていると考えられる。

音の価値の量は、潜時150 ms程度のMMNに表現されており、音の価値の情動的な質は、聴皮質の定常状態に表現されていた。以上から、聴皮質において、音の価値の異なる階層に対する情報処理は、異なる時間帯で行われていると考える。

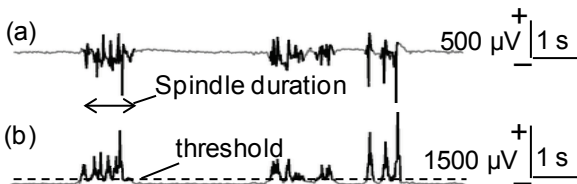


Fig.3. Spindle in the auditory evoked potential (AEP).

(a) The auditory evoked potential and (b) its root mean square. The spindles are represented in dark black lines.

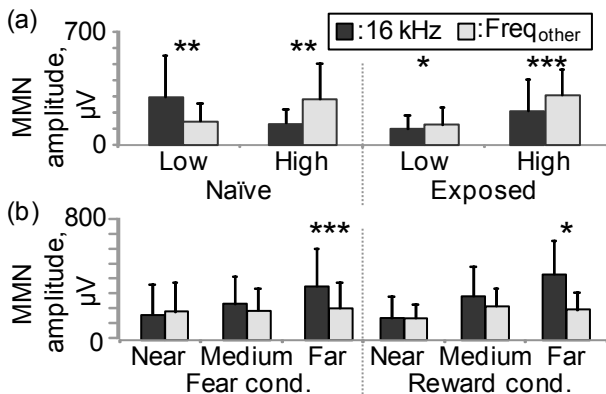


Fig.4. Amplitude of Mismatch Negativity.

The maximum amplitude of MMN among 64 recording channel in (a) Naïve or Exposed group, and (b) Fear or Reward conditioned group. \*, p < 0.05, \*\*, p < 0.01, \*\*\*, p < 0.001 (one-sided t-test).

### 4. 結論、ならびに今後の研究課題

本研究では、音への曝露、もしくは、罰または報酬を用いた条件付けを施したラットの聴皮質から、聴性誘発電位の多点同時計測を行い、P1とMMNの振幅と潜時、また、誘発電位の紡錘波の特徴を調べた。その結果、音の価値の量は潜時150 ms程度のMMNに表現されており、音の価値の情動的な質は、音を連続して提示している際の、聴皮質の定常状態に表現されていた。以上の結果から、音の価値の量と、情動的な質は、聴皮質において、異なる時間帯に処理されているという結論を得た。

今後は、本研究の考察をもとに、聴皮質の定常的な神経活動の詳細な解析を行い、音の価値の情動的な質を表現する神経活動の特徴量を解明する。次に、長調や短調といった、音の質感に対しても同様に、定常的な神経活動を解析し、情動を誘発する音の質感の特徴量を特定する。得られた知見と、楽典や従来研究との比較を行い、音の質感が誘発する情動を表す、神経学的な指標を確立する。

### 参考文献

- [1] Elia Formisano, Federico De Martino, Milene Bonte, Rainer Goebel, "Who" Is Saying "What"? Brain-Based Decoding of Human Voice and Speech", *Science*, Vol. 322, (2008), pp.970-973
- [2] 磯口知世, 神崎亮平, 高橋宏知, "音環境変化に対する聴皮質の適応的な情報処理", *電気学会論文誌 C*, Vol. 131, No. 1, (2011), pp.56-63.
- [3] Hulya Erhan, Joan C. Borod, Craig E. Tenke, Gerard E. Bruder, "Identification of Emotion in a Dichotic Listening Task: Event-Related Brain Potential and Behavioral Findings", *Brain and Cognition*, Vol. 37, (1998), pp.286-307.
- [4] Mircea Steriade, Angel Nuñez, Florin Amzica, "Intracellular analysis of relations between the slow (< 1 kHz) neocortical oscillation and other sleep rhythms of the electroencephalogram", *Journal of Neuroscience*, Vol. 13, (1993), pp.3266-3283.
- [5] Marcus Lira Brandão, Norberto C. Coimbra, Mário Yukio Osaki, "Changes in the auditory-evoked potentials induced by fear-evoking stimulations", *Physiology & Behavior*, Vol.72, (2001), pp.365-372.

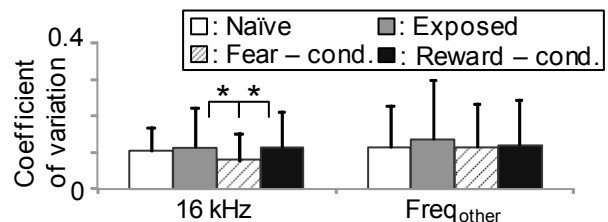


Fig.5. Coefficient of variation in the latency of standard P1.

The coefficient of variation in the latency of standard P1 in primary auditory cortex (A1) among the repeat count of standard tone. \*, p < 0.05 (one-sided t-test).

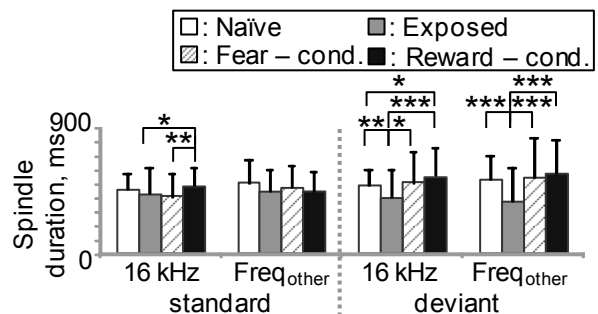


Fig.6. Spindle duration.

The median duration of spindle during standard or deviant stimuli were submitted. \*, p < 0.05, \*\*, p < 0.01, \*\*\*, p < 0.001 (one-sided t-test).