

O-9

ナメクジ嗅覚中枢における匂い誘発神経応答に対する Tone-entropy 法を用いた解析
Tone-entropy analysis on the odor-evoked change of olfactory activity in slug procerebrum

○江藤多門¹, 芳賀祥平¹, 小松崎良将²

*Tamon Eto¹, Shouhei Haga¹, Yoshimasa Komatsuzaki²

Abstract : The procerebrum (PC) of a terrestrial slug *Limax marginatus* is the center for odor processing and learning. The PC is characterized by a local field potential (LFP) oscillatory activity at about 0.7Hz. However, a role of the activity is not well understood. In our previous study, we found that the PC dynamics depended on innervations from tentacle. Here, we investigate how a method information is included in the oscillatory activity of PC under conditioned odor. We used a method called tone-entropy (TE) analysis to analyze the odor-evoked change of LFP.

1. はじめに

多くの無脊椎動物や脊椎動物の嗅覚系は、記憶や学習の機能を解明する上で有用なモデルである。ヒトやその他の哺乳類は神経機構が複雑でその機能を解明するのは困難である。軟体動物であるナメクジは、ヒトの数十万分の1程度の数のニューロンで構成されている比較的単純な神経系を持ちながら、高度な学習能力を発揮するので、記憶・学習メカニズムを理解するためのモデル動物として有用である。ナメクジの中枢神経系 (Fig. 1) の重要な利点の1つは、単離した脳に積極的な酸素供給を行わなくても長時間活動し続けられる点である。このため、ラットや哺乳類に比べて扱いが容易である。ナメクジには、匂い処理や嗅覚学習の中枢である前脳葉 (procerebrum) と呼ばれる脳部位が存在する。長く考えられてきた。この前脳葉は嗅覚イベントや条件付けによって、局所場電位 (LFP) の振動活動 (Fig. 2) を特徴付けられることが示されてきた^[1]。この同期振動は非常に安定し、約 0.7 Hz を示す。しかしながら、嗅覚情報の神経処理に伴って起こるこの振動活動の役割はよくわかっていない。本研究では、ナメクジの触角からの嗅覚入力によって起こる前脳葉の LFP 振動活動の統計学的性質を調べ、その特性を見出すことを目的とした。

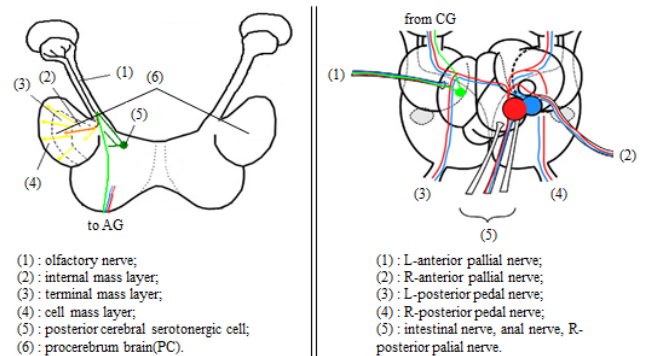


Figure 1. The central nervous system (CNS) of the slug

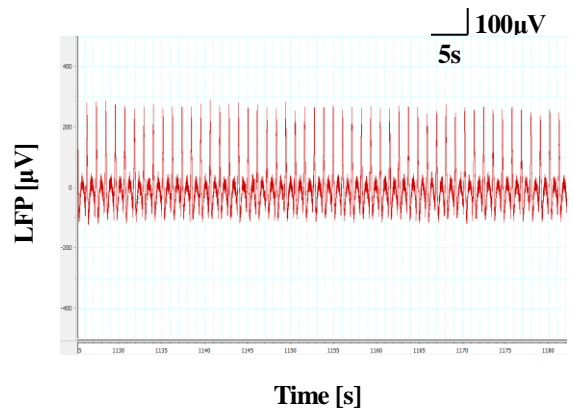


Figure 2. A typical trace of LFP recorded from PC.

2. 実験方法

本研究では、実験室で飼育した、月齢 3~5 ヶ月齢、体重 0.5~1.0 g のチャコウラナメクジを用いた。以下、陸生軟体動物チャコウラナメクジをナメクジと表記する。解剖によって単離したナメクジ (行動学的実験によって古典的条件付け学習を施された個体) の触角-脳神経節標本の触角に嗅覚入力を行い、その時の前脳葉における LFP 振動活動の変化の測定を、ガラス吸引電極を用いて行った。測定には pH 7.6 に調整した生理食塩水を用いた。この LFP 振動活動の変化を解析するために、tone-entropy analysis (TE 法)^[2, 3]という手法を用いた。この手法は、心周期の長さでもって交感神経および副交感神経を絶対的に判定するのに用いられる。心拍数が上がるときに心周期は短縮し、心拍数が下がるときに心周期は延長するが、この心周期の変化は一拍ごとに直前の周期との差で表わされる。ただし、差はベースとなる心周期の長さに関係することから、これを百分率で表し、percentage index (PI) とした。この PI データを平均したもの

1 : 日大理工・院 (前)・物理 2 : 日大理工・教員・物理

が tone, Shannon の平均情報量で表したものが entropy である. 計算式は以下のものを使用した.

$$Tone = 1/N * \sum_n PI(n) \quad (1)$$

$$Entropy = - \sum_i p(i) \log_2 p(i) \text{ [bit]} \quad (2)$$

但し, N はある時間内における周期の数を表し, $1 \leq n \leq N-1$ とする. また, $p(i)$ は周期間隔増減の確率である.

3. 結果

TE 法を用いて, 前脳葉表面で発生する細胞外電位における LFP 振動活動の周期の PI 分布 (Fig. 3), tone-entropy (Fig. 4) とその平均値 (Fig. 5) を算出した. odor 投与群は, 条件付け学習時に使用した匂いを投与した際に得られた LFP の解析結果である. この対照群として, 匂いの代わりに水 (匂い物質の溶媒) の匂いを投与した個体の LFP を解析したものを示した. entropy 分布では有意差が見られなかった. しかし, tone 分布において有意差 ($p < 0.05$) がみられた.

4. まとめ

LFP 振動活動の周期の PI 分布と tone-entropy を算出したことによって, 従来の LFP 振動活動の測定ではわからない変化を観察することができた. 条件付け学習を行っていない個体と行った個体とでは, 条件付け学習で使用した匂いに対して, tone 分布に顕著な差が出ることがわかった. tone 分布が分散したことは, 過度なストレスなどによって前脳葉に過負荷がかかっていることが原因だと考えられる. もし, tone-entropy によって, 匂いの情報を判断できるようになれば, ナメクジにおける匂いの記憶の生理学的機序または匂い記憶形成システムを解明する足掛りになると考えられる.

5. 参考文献

[1] T Kimura et al., “Behavioral Modulation Induced by Food Odor Aversive Conditioning and its Influence on the Olfactory Responses of an Oscillatory brain Network in the Slug *Limax marginatus*”, *Learn Mem*, Vo 1.4, pp365-375, 1998.
 [2] Sanyal, -S-N; Akita, -M; Ono, -K.:” The effect of physical activity and automatic nerve tone on daily fluctuation of blood pressure”, *Circ-J*, Vol.66, pp456-457, 1982.
 [3] Eiichi Oida et al.,”Tone-entropy analysis on cardiac recovery after dynamic exercise”, *J Apple Physiol*, Vol.82, pp1794-1801, 1997.

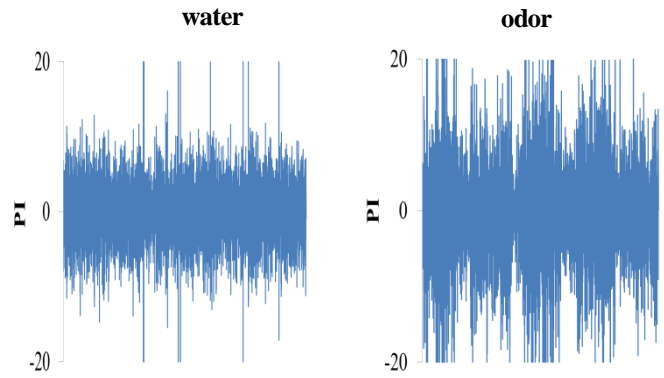


Figure 3. Percentage index (PI)

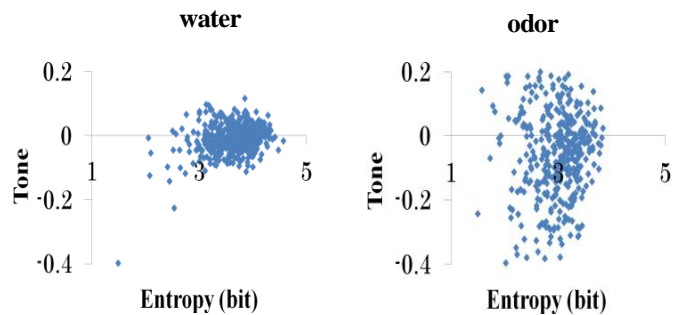


Figure 4. The tone-entropy space.

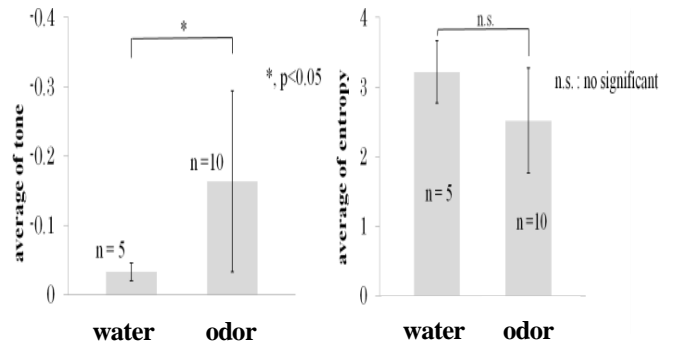


Figure 5. Average of tone and entropy