

チャコウラナメクジにおける嗅覚中枢の長期活動ダイナミクス Dynamics of Long-Term Activities of the procerebral lobe in terrestrial slug *Limax marginatus*

○田中裕一¹, 斎藤稔², 小松崎良将³*Yuichi Tanaka¹, Minoru Saito², Yoshimasa Komatsuzaki³

The terrestrial slug has a highly developed olfactory center, the procerebral (PC) lobe, in which exhibits oscillation of local field potential (LFP) at 0.6-0.8 Hz. The application of conditioned odor changes the frequency of the LFP oscillation in slug PC, odor information is thought to be represented as the temporal pattern of the oscillation. In the present study, we investigated the statistical property of spontaneous oscillation in the PC over an extended timescale. To analyze the autocorrelation of the time series of interspike intervals, we performed a detrended fluctuation analysis (DFA), which is a scaling analysis technique used to provide a quantitative parameter. Furthermore, to investigate the contribution of innervations to spontaneous oscillation, we measured the LFP following the tentacle amputation.

1. はじめに

学習・記憶に代表される中枢神経系に関する神経機能の解明には、脳の構造と機能を理解しなければならない。しかし、哺乳動物の脳は、細胞数が非常に多く（例えば、ヒトの場合数百億以上）、その一個一個が数千個以上の細胞と神経結合した非常に複雑な構造を持つので、その脳を理解するのは容易ではない。一方、軟体動物（カタツムリ、ナメクジ、アメフラシ等）の脳は、神経細胞数が比較的少ないので（1つの神経節でニューロンが数百～数千個程度）、その理解が比較的容易である。

嗅覚中枢系の自発的な振動現象は、様々な動物種で見られ、匂いの情報処理に重要な役割を持つと考えられている。陸生軟体動物チャコウラナメクジは前脳葉と呼ばれる高度に発達した嗅覚中枢を持ち (Fig. 1), その表面では 0.6~0.8Hz の局所場電位 (LFP) の振動活動が記録できる (Fig. 2). さらに、触角神経からも自発的振動活動が記録できる (Fig. 4)^[1]. 条件付けした匂いを触角に提示すると、前脳葉から記録できる LFP の周波数が変化することから^[2], 匂い情報が振動の時間パターンとして表現されていると考えられる。本研究では、長時間スケールにわたる前脳葉の自発的振動の統計学的性質及び自発的振動に対する触角神経投射の寄与を調べ、その特性を見出すことを目的とした。

2. 実験方法

本研究では、ナメクジの一種であるチャコウラナメクジを用いた。以下では、チャコウラナメクジをナメクジと表記する。解剖により単離したナメクジの触角-脳神経節標本にガラス電極を当てて、前脳葉表面で発生する細胞外電位のスパイク振動活動を長時間 (~2 時間) にわたり計測した。また、自発的振動に対する触角神経投射の寄与を調べるた

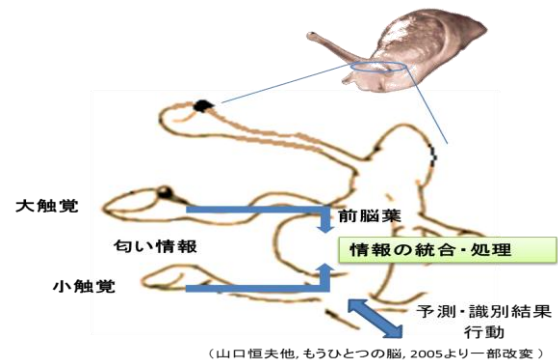


Figure.1 Central nervous system of the slug

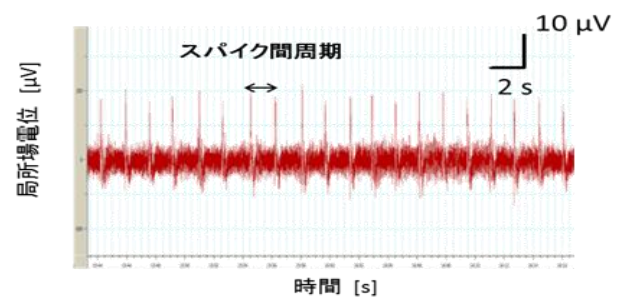


Figure.2 A typical trace of LFP in PC

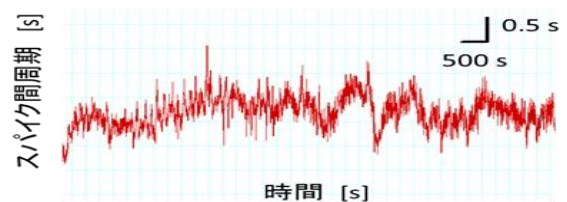


Figure.3 Interspike interval of LFP oscillation

1 : 日大理工・院 (前)・物理 2 : 日大・総合基礎科学・相関理化 3 : 日大理工・教員・物理

めに、触角切断後の LFP を測定した。このスパイク間隔の時系列データの自己相関を調べるために、ゆらぎの定量解析をするための手法であり、心拍や脳波の時系列の相関特性の解析に使われる Detrended Fluctuation Analysis (DFA) を用いた。DFA により時間相関性を表わすスケーリング指数 α を求めることができる。 $\alpha=0.5$ の場合、無相関性 (ホワイトノイズ) を表す。 $\alpha>0.5$ で相関性を示し、 $\alpha=1$ の場合、 $1/f$ ノイズ、 $\alpha=1.5$ の場合、ブラウンノイズに対応する。健康な人の心拍リズムは $1/f$ ノイズを持つことが報告されている [3]。

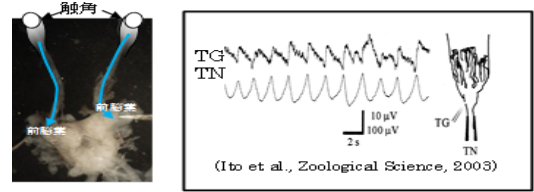


Figure.4 Spontaneous activity in the tentacle ganglion

3. 結果

長時間計測により得られた前脳葉の自発的振動の時系列データを DFA により解析した結果、前脳葉のスパイク間隔のゆらぎは長期相関性を持ち、 10^2 spikes より大きい時間スケール ($\alpha \sim 1.10$) では $1/f$ ノイズ、あるいはブラウンノイズによって特徴付けられることがわかった (Fig. 5)。さらに、自発的振動に対する神経投射の寄与を調べるために、触角切断後の LFP を測定した結果、 10^2 spikes 以下の時間スケールでは、スケーリング指数 α が 0.81 から 0.62 へ減少し、スパイク間隔のゆらぎは、この実験条件下で無相関性を示した (Fig. 6)。 Fig. 5 と Fig. 6 の各々のエラーバーは標準誤差を示す。

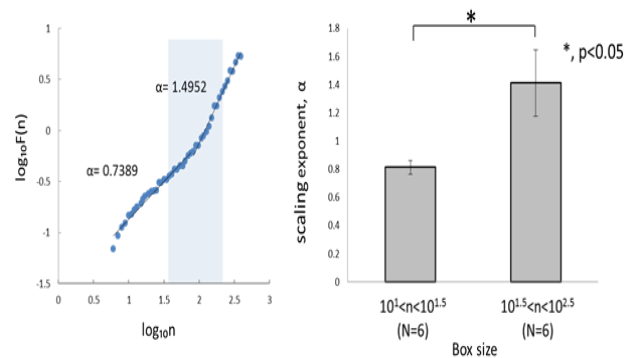


Figure.5 Long-term correlation of LFP

4. まとめ

前脳葉のスパイク間隔のゆらぎは長期相関性を持ち、大きい時間スケールでは相関性のあるノイズを持つことがわかった。また、触角切断後の LFP を測定した結果、 10^2 spikes 以下の時間スケールでは、スケーリング指数 α が減少し、スパイク間隔のゆらぎは、この実験条件下で無相関性を示した。この結果は触角からの神経入力前脳葉のダイナミクスを維持するのに重要であることを示唆する。

謝辞 本研究の一部は日本大学学術研究会助成 (総合研究「総 11-002」) の援助を受けて行われた。

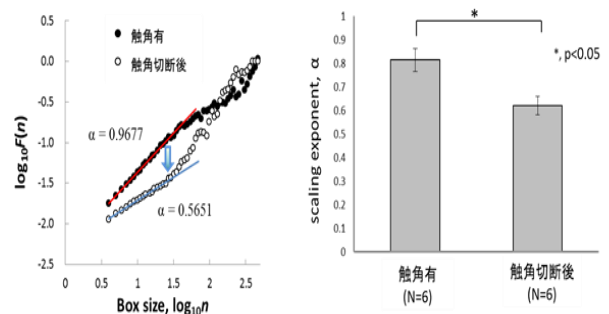


Figure.6 Effect of the tentacle amputation on PC

5. 参考文献

- [1] Ito et al., "Negative Relationship between Odor-Induced Spike Activity and Spontaneous Oscillations in the Primary Olfactory System of the Terrestrial Slug *Limax marginatus*", Zoological Science, Vol.20, pp1327-1335, 2003.
- [2] 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, Vol.4, No.5, pp365-375, 1998.
- [3] Kobayashi M, Musha T., "1/f fluctuations of heart-beat period", IEEE transactions on biomedical engineering, Vol.29, No.6, pp456-457, 1982.
- [4] RONG-GUAN YEH et al., "DETRENDED FLUCTUATION ANALYSES OF SHORTTERM HEART RATE VARIABILITY IN SURGICAL INTENSIVE CARE UNITS", Yixué gongchéng, Vol.18, No.2, pp67-72, 2006.
- [5] 山口恒夫, 富永佳也, 桑澤清明: 「もうひとつの脳」, 培風館, 2005