

モノアラガイの巨大ニューロンにおける活動パターン Neuronal oscillations of cerebral giant cells in the pond snail *Lymnaea stagnalis*

○加藤功弥¹, 斎藤稔², 小松崎良将³*Kouya Kato¹, Minoru Saito², Yoshimasa Komatsuzaki³

Abstract: Rhythmic pattern of electrical activity in the brain is a ubiquitous feature of central nervous system (CNS), and is thought to play a key role in processing neural information. Cerebral giant cells (CGCs) in the pond snail *Lymnaea stagnalis* exhibit oscillations as rhythmical pattern of action potentials, and are associated with the feeding systems. Here, we performed intracellular recording of CGCs to reveal the characteristic of the oscillatory activity.

1. はじめに

中枢神経系の機能（学習・記憶、情動など）における研究は、様々な動物種で進められてきた。軟体動物（カタツムリ、ナメクジ、アメフラシ等）の脳（神経節）は、神経細胞の数が少なく（1つの神経節でニューロンが数百〜数千個程度）、神経回路が比較的単純であるので、その理解が比較的容易である。また、ニューロンが比較的大きいので、微小ガラス電極を用いた電気生理測定による個々の細胞の活動を調べたり、組織学的研究による神経回路の同定が行われてきた。

ヒトの心拍数が $1/f^\beta$ ノイズのような長期相関を持ったゆらぎを示すことが知られている。また、このゆらぎ特性は生物の内部状態の重要な情報を与える。ゆえにゆらぎ特性を明らかにすることで、細胞内の複雑な活動でも簡単に一般的な性質を同定することが期待出来る^[1]。

そこで本研究では淡水性カタツムリの一種のヨーロッパモノアラガイ (*Lymnaea Stagnalis*) を用いて、単一細胞の複雑な活動パターンを観測した。神経節の1つである cerebral ganglion には食餌行動における咀嚼リズムに関与する巨大神経細胞 (cerebral giant cell; CGC) が存在し、自発的な脱分極活動を行う。この CGC の膜

電位変化が、結果として咀嚼行動を引き起こす運動ニューロンの活動を変調させることで、条件付け後の咀嚼行動の変化を引き起こすと考えられている。本研究ではこのように学習行動に深く関与する CGC の活動パターンを解析することで、CGC の長期相関を持ったゆらぎ特性を調べた。

2. 実験方法

本研究では、モノアラガイから単離した脳神経節から CGC の電気的活動を記録した。光学顕微鏡下で単離した神経節の CGC に微小ガラス電極 (tip: ~0.5 μ m) を刺し細胞内電位を記録した。細胞内電位を生体アンプで増幅し、1kHz の Sampling rate でコンピュータに取り込んだ (Fig.2)。また CGC に電流刺激 (50nA) を行い、活動パターンの変化を比較した。

さらに神経細胞の複雑な活動パターンを解析し、その自己相関性を調べるために DFA 解析 (Detrended fluctuation analysis) を用いた。DFA 解析は、時系列データを等間隔 n のボックスで分割しローカルトレンドを求め、その変動をトレンドとして除去してから分散を累積した (Fig. 3)。

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [y(k) - y_n(k)]^2} \quad (1)$$

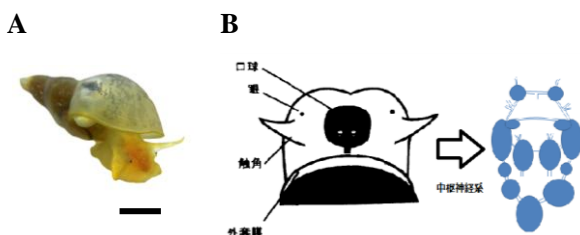


Figure 1. (A) *Lymnaea stagnalis* and (B) the central nervous system. (A) Scale bar: 1cm.

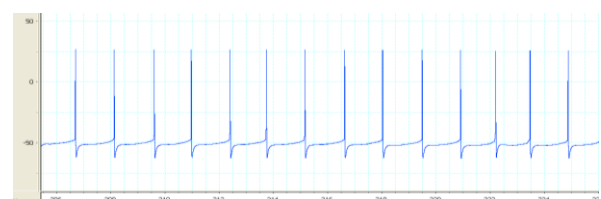


Figure 2. Firing patterns of CGC

$F(n)$ は n^α の形にスケーリングし、スケーリング指数 α の大きさを CGC の長期相関を持ったゆらぎ特性を評価した。

3. 結果・まとめ

電気生理測定で記録した CGC の細胞内電位の脱分極活動（スパイク）の周期の分布は Fig. 4 のように得られた。この CGC のスパイク周期について DFA 法を用いて時間相関性を調べた結果、 $\alpha=0.70$ の値が得られた。この CGC に外部から電流刺激（50nA）を行うことにより $\alpha=0.79$ と有意な差ではないが増加傾向にあった (Fig. 5)。この結果、CGC の活動パターンは外からの刺激により変化し、その出力パターンの変化がより意味のある情報としてほかの細胞に伝達することが示唆される。CGC は感覚ニューロンからの投射により入力を受け、運動ニューロンやその活動を調整している Central pattern generator 回路へ投射し、咀嚼リズムの調整を行っている。また、CGC の自発活動の時系列から 2 次元アトラクタを再構成 (Fig. 6) すると電流刺激にそのスパイク発火時の軌道が広がり、複雑性が増すことが分かった。

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

4. 参考文献

- [1]. Takahiro Harada, Tomomi Yokogawa, *et al*: “Singular Behavior of Slow Dynamics of Single Excitable Cells”, *Biophysical Journal*, Vol.96, pp255-267, (2009)
- [2]. Peng, C. K., S. V. Buldyrev, S. Havlin, *et al*: “Mosaic organization of DNA nucleotides”, *PHYSICAL REVIEW E*, Vol.49, pp1685-1689, (1994)
- [3] 鈴木 範男:「身近な動物を使った実験」, 三共出版, Vol.2, pp.21-39, (2009).
- [4] 林 初男:「脳とカオス」, 裳華房, pp.35-62, (2001).

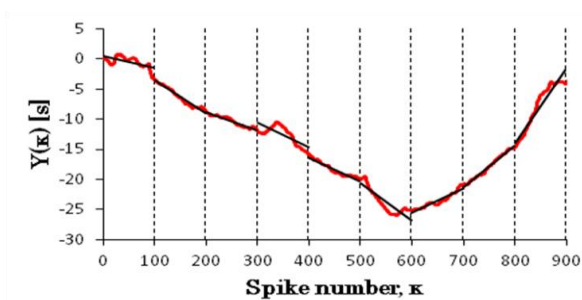


Figure 3. Time-Series Integration $y(k)$

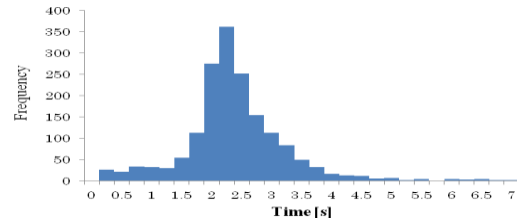


Figure 4. Histogram of firing patterns of CGC

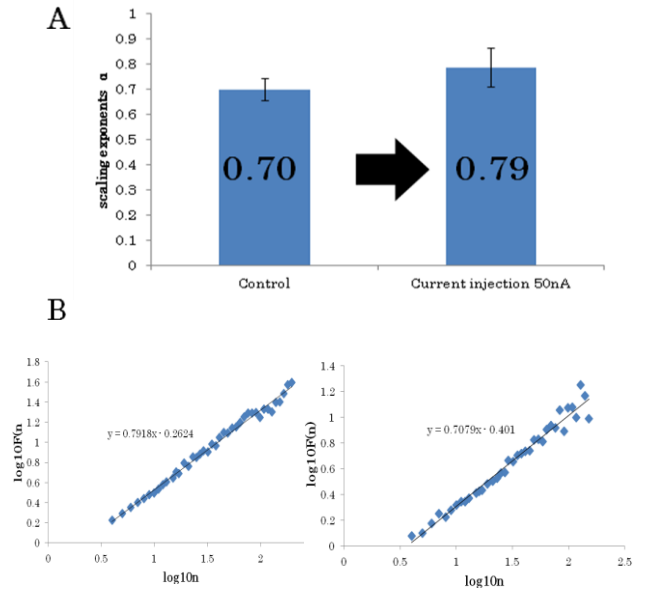


Figure 5. (A) Average of scaling exponents α and (B) Influence of current injection

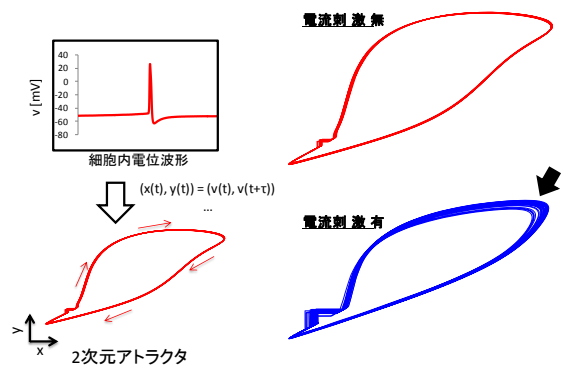


Figure 6. Two-dimensional attractor of firing patterns of CGC