

深井 朋樹(玉川大学 工学部 教授)
「時間的情報処理の神経基盤のモデル化」

近年、脳活動の時間的・動的な側面、例えば神経発火の同期性や、シナプス可塑性の入出力タイミング依存性などが明らかになってきた。本研究プロジェクトの目標は、動物の行動の神経基盤を、神経回路における動的情報処理という基本レベルで解き明かし、高度で柔軟な脳型情報処理機械を開発する道を開くことである。そのために、現在までに以下のような研究を行った。

1. Chattering 細胞のモデル化と同期現象。ガンマ周波数帯(25・70 ヘルツ)の神経活動は、記憶や学習、運動、注意などさまざまな高次脳機能に密接に結びついている。その神経回路レベルでの機能的役割を探るために、生理学的事実に基づいた Chattering 細胞の計算論的モデルを構築した。このモデルは実験で見られるバーストパターンをよく説明し、また同期発火による神経集団の選択を実現する(図1)。
2. 時間の記憶モデル。人間や動物が時間を認知する機構についてはあまりよく分かっていない。そこでワーキングメモリなどで見られる持続発火に着目し、神経回路の持続発火の保持時間で数秒程度の時間を記憶するモデルを提案した(論文を掲載)。このモデルは心理実験の結果をよく説明するとともに、新しい予言を与える。
3. モデルで提案された時間記憶神経機構は実際に存在するだろうか。この疑問に答えるために、サルに数秒程度の時間を記憶させて再生させる課題を訓練し脳活動を記録している。ここでは主に行動実験の結果を紹介する。
4. 同期スパイクの伝搬と機能性。大脳皮質を同期的に伝搬する集団スパイク(Synfire chain)の安定性を解析的に調べ、そのような同期スパイク集団間の協調と時間的競合を用いて情報処理が出来ることを示す(図2)。この理論的枠組みを行動中のサルの大脳基底核神経活動の解析に利用する可能性についても触れる。
5. シナプス可塑性は学習の神経基盤であると考えられているが、最近、シナプスの長期増強(LTP)と長期抑圧(LTD)が入出力スパイクの時間差に本質的に依存することがわかり、その機能的役割に理論的関心が集まっている。一つの可能性として、神経細胞の活動レベルの自動調節が提案されたが、我々はさらに進んだ理論的解析を行い、最新の実験で明らかになったタイミング規則に適用してその機能的意味を明らかにする。さらにこの自動調節がネットワークレベルでは、循環的な神経アセンブリ構造の自発生成を伴うことを示す。これにより、実験的に存在が確認されている、ワーキングメモリと同期発火アセンブリという異なる短期記憶構造の間には、何らかの機能的関連が存在することが示唆される。
6. この時間差 LTP/LTD の機能的な意味と役割を、海馬神経細胞の培養神経ネットワークを用いて実験的に調べ、入力刺激を2箇所を与えた際に、タイミング規則に基づくリモート LTP/LTD が、ネットワークの時間的最適化を行っている事を示す。なお講演では、ここに述べられなかった結果についても、適宜紹介する予定である。

図1

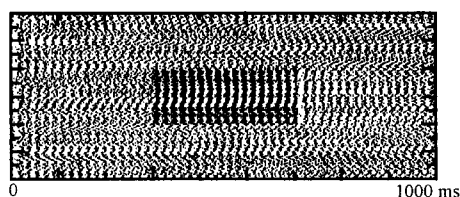
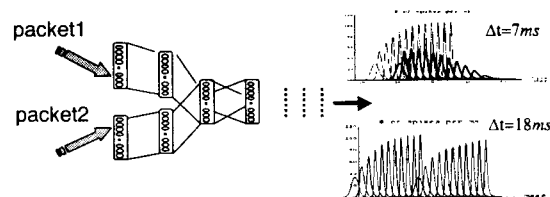


図2



主な研究成果の発表（論文発表）

1. Fukai T. Sequence generation in arbitrary temporal patterns from theta-nested gamma oscillations: a model of the basal ganglia-thalamo-cortical loops. *Neural Networks* 12, 975-987 (1999).
2. Aoyagi T & Nomura M. Oscillator neural network retrieving sparsely coded patterns. *Phys. Rev. Lett.* 83, 1062-1065 (1999).
3. Fukai T, Neuronal communication within synchronous gamma oscillations. *NeuroReport* 11, 3457-3460 (2000).
4. Hiroshi Okamoto H & Fukai T, A model for neural representation of temporal duration, *BioSystems* 55, 59-64 (2000).
5. Nomura M and Aoyagi T, Analysis of oscillator neural networks for sparsely coded phase patterns. *J.Phys.A* 33, 8681-8702 (2000).
6. H. Ito and S. Tsuji, Model Dependence in Quantification of Spike Interdependence by Joint Peri-Stimulus Time Histogram. *Neural Computation* 12, 195-217 (2000).
7. Hatanaka N, Tokuno H, Nambu A, Takada M, Direct projections from the magnocellular division of the basal nucleus of the amygdala to the principal part of the cortical masticatory area in the macaque monkey. *Brain Res* 854, 220-223 (2000).
8. Furuta T, Mori T, Lee T and Kaneko T, A third group of neostriatal projection neurons: Neurokinin B-producing neurons which send axon fibers to the substantia innominata. *The Journal of Comparative Neurology* 426, 179-296 (2000).
9. Taki K, Kaneko T, and Mizuno N, A group of cortical interneurons expressing μ -opioid receptor-like immunoreactivity: A double immunofluorescence study in the rat cerebral cortex. *Neuroscience* 98, 221-231 (2000).
10. Matsumura M, Nambu A, Yamaji Y, Watanabe K, Imai H, Inase M, Tokuno H and Takada M, Organization of somatic motor inputs from the frontal lobe to the pedunclopontine tegmental nucleus in the macaque monkey. *Neuroscience* 98:97-110 (2000).
11. Takada M, Matsumura M, Kojima J, Yamaji Y, Inase M, Tokuno H, Nambu A and Imai H, Protection against dopaminergic nigrostriatal cell death by excitatory input ablation. *Eur J Neurosci* 12, 1771-1780 (2000).
12. Nambu A, Tokuno H, Hamada I, Kita H, Imanishi M, Akazawa T, Ikeuchi Y and Hasegawa N, Excitatory cortical inputs to pallidal neurons via the subthalamic nucleus in the monkey. *J Neurophysiol* 84, 289-300 (2000).
13. Tokuno H, Nambu A, Organization of nonprimary motor cortical inputs on pyramidal and nonpyramidal tract neurons of primary motor cortex: an electrophysiological study in the macaque monkey. *Cereb Cortex* 10, 58-68 (2000).
14. Okamoto H and Fukai T. A neural mechanism for cognitive timer. *Physical Review Letters* 86, 3919-3922 (2001).
15. Kitano K, Aoyagi T and Fukai T, A Possible Functional Organization of the Corticostriatal Input within the Weakly-Correlated Striatal Activity: a Modeling Study. *Neuroscience Research* 40, 87-96 (2001).
16. Aoyagi T, Terada N, Kang Y, Kaneko K, Fukai T, A bursting mechanism of chattering neurons based on Ca²⁺-dependent cationic current. *Neurocomputing* 38-40, 93-98 (2001).
17. Tamamaki N, Nakamura K and Kaneko T, Cell migration from the corticostriatal angle to the basal telencephalon in rat embryos. *Neuroreport*, 12, 775-780 (2001).
18. Takada M, Kang Y and Imanishi M, Immunohistochemical localization of voltage-gated calcium channels in substantia nigra dopamine neurons. *Eur J Neurosci* 13, 757-762 (2001).
19. Fukai T & Kanemura S, Noise-tolerant stimulus discrimination by synchronization with depressing synapses. *Biological Cybernetics* (in press).
20. Cateau H and Fukai T, Fokker-Planck approach to the pulse packet propagation in synfire chain, *Neural Networks* (in press).
21. 岡本洋、時間符号化装置及び時間符号化方法、特願 2000-062808 (出願中).