

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2012

課題番号：20300083

研究課題名（和文） 脳シミュレータの基本モデルを組み立てる方法の開拓

研究課題名（英文） Development of elemental models for the brain simulator

研究代表者

篠本 滋 (SHIGERU SHINOMOTO)

京都大学理学研究科准教授

研究者番号：60187383

研究成果の概要（和文）：

脳シミュレータの基本要素である神経細胞の入出力関係を定量的に記述した。スパイク発生予測の国際コンペで優勝した MAT (multi-timescale adaptive threshold) model についての論文を公表し(Kobayashi, Tsubo, and Shinomoto, 2009), それにさらなる改訂をおこない, オリジナル MAT モデルの予測能力を保ちながら, オリジナルモデルでは達成できなかった多様な応答形式を実現できるモデルに改良した(Yamauchi, Kim, and Shinomoto, 2011). 後者の研究では, オリジナル MAT モデルの長所であるスパイク予測能力をそこなわないようにして Izhikevich によって分類された多様な発火パターン 20 種類のすべてを実現することを可能にした. 著名な外国人研究者を招へいし, 質の高い情報収集を行い, またいくつかの国際共同研究を開始した.

研究成果の概要（英文）：

We have been working for modeling neuronal input-output relationship. We published a paper describing our MAT (multi-timescale adaptive threshold) model with which we won the first places in international competitions for predicting spike times of real biological neurons (Kobayashi, Tsubo, and Shinomoto, 2009). We further succeeded in augmenting the MAT model, so that it may represent the possible variety of neuronal firing patterns for nonstationary input, as represented by Izhikevich, while keeping the high predictive ability inherent in the original MAT model (Yamauchi, Kim, and Shinomoto, 2011). In addition, we invited distinguished researchers for discussion and lectures, and started international collaboration studies.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2009 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2011 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2011 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
総計	13,400,000	4,020,000	17,420,000

研究分野：理論神経科学, 理論物理学

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：神経スパイク, スパイク予測

1. 研究開始当初の背景

神経細胞は、一見ランダムなスパイク列を生成することから「不正確な素子」と考えられてきた。しかし1995年、Mainen and Sejnowski は入力信号を模した揺らぎ電流を与えて生じるスパイク列は、一見ランダムに見えても毎回正確に繰り返されるという事実を報告し、スパイクタイミングが情報処理において重要な役割を果たすことを主唱した。神経細胞のスパイクタイミングが正確であるならば、各ニューロンの特性を正確にとらえることで、タイミングを安定に再現し、そして推定することができると考えられる。このような背景のもとに、与えられた入力電流に対するニューロンの反応を再現し、新しい入力電流に対するスパイク発生時刻を予測するという試みが始まった。その試みの中で明らかになってきたのは、神経細胞の特性をよく記述していると考えられてきたホジキン・ハクスリーモデルが、実は実験データの定量的再現性の能力が高くない、ということである。Gerstner, Jolivet らが提唱した、準線形の「スパイク・レスポンスモデル」は、構成が単純なわりにはホジキン・ハクスリーモデルなどにくらべてスパイク予測能力は高く、実験データを7割近くの正答率で推定することができる。ここで正答率は、2ミリ秒以内の精度で一致したかどうかを測る coincidence factor という指標で測られている。

2. 研究の目的

我々は、このスパイク・レスポンスモデルよりもさらに単純でパラメータの少ないAR(自己回帰)モデルを基にした神経発火モデルを提唱したが、このモデルはスイスで2007年に行われたスパイク予測の公開コンペで優勝を勝ち取り、その高い能力が実証された。現在我々はさらにモデル改良をおこなっている。我々の目指すところは、ニューロンの精密な記述だけではなく、反応特性を縮約記述することで記述パラメータを減らすことにある。この努力を通して、脳シミュレータの実現に近づくことができる。

3. 研究の方法

本研究グループは大所帯ではないが、高い数学的技能をもっている。この特性を生かすために脳シミュレータ構築そのものを目指すのではなく、基礎特許に相当する基本要素のモデル化、解析ツールの提供という点に焦点を絞って取り組みたい。5年プロジェクトの前半は基本要素であるニューロンモデルを完全に整備することを目指し、後半に入りそ

の整備が進んだ段階では、ニューロンの局所回路を論じる方向へと梶を切る。In vitro 実験データに応じてパラメータを調整することのできる数理モデルを構築する。データの一部を受けて、残りの部分を推定できるかどうかについての判定基準を設ける。

4. 研究成果

実験データを忠実に再現し、スパイク発生の予測を可能とした数理モデル MAT model およびその拡張版を提唱し、国際コンペティションにて総合優勝を果たし INCF award を受賞するなど大きな成果をあげることができて、モデルの重要性を誇示することができた。また、関連研究として神経細胞のスパイク発火時系列のパターンの分類を行い、その発火特性が脳領野の機能に大きく相関することを発見した。スパイク時系列のベイズ統計解析手法の確立も含めて、非常に大きな成果があった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計13件)

- ① H. Kim and S. Shinomoto, Estimating nonstationary input signals from a single neuronal spike train. *Physical Review E* (2012) 86:051903. (査読有り)
- ② T. Shintani and S. Shinomoto, Detection limit for rate fluctuations in inhomogeneous Poisson processes. *Physical Review E* (2012) 85:041139. (査読有り)
- ③ H. Kim, B. J. Richmond, and S. Shinomoto, Neurons as ideal change-point detectors. *J. Computational Neuroscience* (2012) 32:137-146. (査読有り)
- ④ T. Omi and S. Shinomoto, Optimizing time histograms for non-Poissonian spike trains. *Neural Computation* (2011) 23:3125-3144. (査読有り)
- ⑤ R. Kobayashi, S. Shinomoto, and P. Lansky, Estimation of a time-dependent input from the voltage of leaky integrate fire neuron. *Neural Computation* (2011) 23:3070-3093. (査読有り)
- ⑥ S. Yamauchi, H. Kim, S. Shinomoto,

- Elemental spiking neuron model for reproducing diverse firing patterns and predicting precise firing times. *Frontiers in Computational Neuroscience* (2011) 5:42. (査読有り)
- ⑦ S. Shinomoto, T. Omi, A. Mita, H. Mushiake, K. Shima, Y. Matsuzaka, and J. Tanji, Deciphering elapsed time and predicting action timing from neuronal population signals. *Frontiers in Computational Neuroscience* (2011) 5:29. (査読有り)
- ⑧ S. Shinomoto, Fitting a stochastic spiking model to neuronal current injection data. *Neural Networks* (2010) 23:764-769. (査読有り)
- ⑨ T. Shimokawa, S. Koyama, and S. Shinomoto, A characterization of the time-rescaled gamma process as a model for spike trains. *J. Computational Neuroscience* (2010) 29:183-191. (査読有り)
- ⑩ H. Shimazaki and S. Shinomoto, Kernel bandwidth optimization in spike rate estimation. *J. Computational Neuroscience* (2010) 29:171-182. (査読有り)
- ⑪ R. Kobayashi, Y. Tsubo, and S. Shinomoto, Made-to-order spiking neuron model equipped with a multi-timescale adaptive threshold. *Frontiers in Computational Neuroscience* (2009) 3:9. (査読有り)
- ⑫ S. Shinomoto, H. Kim, T. Shimokawa, N. Matsuno, S. Funahashi, K. Shima, I. Fujita, H. Tamura, T. Doi, K. Kawano, N. Inaba, K. Fukushima, S. Kurkin, K. Kurata, M. Taira, K. Tsutsui, H. Komatsu, T. Ogawa, K. Koida, J. Tanji, and K. Toyama, Relating neuronal firing patterns to functional differentiation of cerebral cortex. *PLoS Computational Biology* (2009) 5:e1000433. (査読有り)
- ⑬ T. Shimokawa and S. Shinomoto, Estimating instantaneous irregularity of neuronal firing. *Neural Computation* (2009) 21:1931-1951. (査読有り)

[学会発表] (計 31 件)

- ① Shinomoto, S. Inferring nonstationary input activities from non-Poisson firing of a neuron, *Neural Coding workshop* (Prague, Czech) 2012. 9. 3
- ② Shinomoto, S. How to use information on non-Poisson neuronal firing irregularity. Keynote lecture in *Sixth International workshop Statistical Analysis of Neuronal Data (SAND6)* (Pittsburgh, USA) 2012. 6. 1-3
- ③ Shinomoto, S. Reading neuronal spike trains. Invited talk at *Japan-France Joint Symposium on Neural Dynamics and Plasticity* 2012. 1. 12-13, Kyoto, Japan
- ④ Shinomoto, S. Firing rate estimation and spike train variability. Tutorial at *Twentieth Annual Computational Neuroscience Meeting CNS*2011*, 2011. 7. 23, Stockholm, Sweden
- ⑤ Shinomoto, S. A state space method for decoding neuronal spiking signals. *European Conference on Mathematical and Theoretical Biology 2011* (Krakow, Poland) 2011. 6. 28-2011. 7. 2
- ⑥ Shinomoto, S. Defining the firing rate for a non-poissonian spike train. *9th INTERNATIONAL NEURAL CODING WORKSHOP (NC2010)* (Limassol, Cyprus) 2010. 11. 1
- ⑦ Shinomoto, S. Made-to-order spiking neuron model for any cortical neurons. *Neural Coding 2009 International Workshop* (Tainan, Taiwan) 2009. 5. 12

[その他]
ホームページ等

<http://www.ton.scphys.kyoto-u.ac.jp/~shino/>

6. 研究組織
(1) 研究代表者
篠本 滋 (SHIGERU SHINOMOTO)
京都大学理学研究科准教授
研究者番号 : 60187383

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし