

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25630176

研究課題名(和文) 神経回路網の符号分布図

研究課題名(英文) Code distribution map of neuronal network

研究代表者

田村 進一 (Tamura, Shinichi)

大阪大学・その他部局等・名誉教授

研究者番号：30029540

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)： 神経回路網シミュレーションでは、9対9の通信が可能で、神経特性の適度な揺らぎが、通信の安定化に寄与していることが分った。一方、培養神経回路網において、いくつかの電極で観測されたスパイク列は、刺激部位の相違に対して有意差が見られた。これは2対1通信が可能であることを示している。

可視化できた符号分布図はスパイク波の一部であり、神経細胞は、多重通信におけるスパイク波の受動的伝搬媒体に過ぎないことが分った。このスパイク波の挙動は、空中を音波が伝播する場合、障害物などがあっても、耳だけで音源を同定できることに相当する。これは、従来の暗黙の仮定「局所回路・特定経路思考」を否定する重要な発見である。

研究成果の概要(英文)： In the neural network simulation, can be 9 to 9 communication, moderate fluctuations of nerve properties, was found to contribute to the stabilization of the communication. On the other hand, in cultured neuronal networks, some of the observed spike trains at the electrodes, a significant difference for the differences stimulation point was observed. This indicates that it is possible to two-to-one communication.

Code distribution chart that could be visualized is a part of the spike wave, nerve cells, was found to be only passive propagation medium of the spike in the multiplex communication. The behavior of this spike is, if the sound waves are propagated in the air, even if there are obstacles, equivalent to being able to identify the sound source in the ear only. This is an important finding to deny the assumption of conventional implicit "local circuit - specific route thinking."

研究分野： 知能情報科学

キーワード： 培養神経回路網 知能回路原理 スパイク波 多重通信

1. 研究開始当初の背景

本研究開始以前、本申請者らは、頭表脳波・皮質脳波、MEG からの脳波伝播解析を世界に先駆けて行い、これを time-shift 図法と称した。そこでは、様々な情報が同時並行的に脳内各部に順次伝達される状態が可視化された。

この成果を受け、本申請者らは脳構成論の立場から、脳情報処理の機能が、単純な経路形成のみで統一的に説明され、生理的・神経回路的に実現可能であるという仮説を立て、この実証を試みてきた。

その一環として、シミュレーションにおいては、平成 21 - 23 年度挑戦的萌芽研究「脳の自己組織化：記憶・連想、抽象化のループ回路的実現」において、ループ回路へのバックプロパゲーション学習により、time-shift 図を説明できるような通信機能の自己組織化が物理的に実現可能であることが分った。

一方、平成 22 年 26 年度基盤研究 A「脳記憶ループと遠隔転写の生理学的実証」において、複数の神経細胞グループにより生成されるスパイク列が別の神経細胞グループに伝播されていることを、培養神経細胞の刺激応答スパイク列より、生理学的に確認することができた。

2. 研究の目的

前述、「研究開始当初の背景」の通り、本研究開始以前より、シミュレーションにおいて、time-shift 図を説明できるような通信機能の自己組織化が物理的に実現可能であることを確認した。また培養神経細胞のスパイク列より、複数の神経細胞グループにより生成されるスパイク列が、別の神経細胞グループに伝播されていることを確認した。

しかし、脳内情報通信の基本原則と言える通信の発生原因、即ちこれらの符号がどのような機構で伝播するのか、さらにその符号そのものが、脳情報通信においてどのような機能を果たしているのか、その詳細については、未解明であった。本研究では、シミュレーション並びに生理学的実証に基づいて、それらの解明に取り組むことを目的とした。

3. 研究の方法

本研究開始当初は、培養神経回路網上の、スパイク符号の伝播を観測するための、符号分布図のプログラムを作成した。

しかし、符号分布図のみでは、符号伝播のメカニズムの詳細が解明できなかった。そこでこの解明に向け、生理学的神経回路網に準じた、同期的並びに非同期的 2 次元メッシュ状神経回路網（素子数は 9×9 並びに 25×25 の 2 種類）のシミュレーションプログラムを PC 上に作成し、刺激応答を観測した。

この中で、不応期と神経素子の各特性にゆらぎを持たせ、このゆらぎが、脳内情報通信機構にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

一方、培養神経回路網において、 8×8 マルチ電極の特定 2 か所の一方から電気刺激を行い、各電極の受信スパイク列の時系列パターンの相違を、DTW 法により解析した

4. 研究成果

平成 25 年当初、符号分布図より、神経回路網内にある法則を持って符号が伝播していることが分った。しかしその発生メカニズムについては、依然未解明で、脳内情報通信の原理の本質を充分ついているものではなかった。

そこで同年度下半期、「研究の方法で記した」シミュレーションを行ったところ、ブレイクスルーがあり、それらが神経回路網内で発生する、スパイク波と名付ける波動として伝播していることが解明された(図 4-1)。このモデルは、従来研究にはない、新しいモデルである。

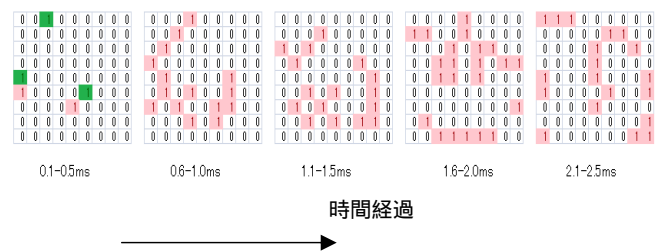


図 4-1 スパイク波の伝播

緑色は刺激した点 赤色は発火した細胞を示す

平成 26 年度は、引き続き、シミュレーションによるスパイク波の解析を行った。その結果、時空間刺激パターンは、スパイク波上で伝播し、別の部位にある受信神経では特定の時空間パターンに変換される(遠隔伝送)、受信した神経は、その受信パターンがどの刺激によるものなのか識別できる(多重通信)ことが分った。これは素子としての神経細胞が、記憶素子として働くと共に、遠隔部位への多重伝送の中継素子としても働くことを示している。

平成 27 年度は、そのスパイク列の識別に関して、更に詳細に探るべく、複数特定の地震神経における発火パターンに、単純でより実在可能性の高い時間的側抑制型 Laplacian Gaussian フィルタ列(図 4-2)による学習識別を適用した。その結果、いずれも素子数 25×25 の 2 次元回路モデル上で、神経細胞の出力遅延並びに不応期の大きさにより変動はあるが、数~数十回の学習後、ほぼ 100%の認識率で、遠隔 9 種類の信号を識別することができた。

以上より、神経細胞は、多重通信におけるスパイク波の受動的伝搬媒体に過ぎないことが分った。また、この際、神経特性の適度な揺らぎが、通信の安定化に寄与していることが分った。

一方、培養神経回路網のスパイクデータの

解析結果より、いくつかの電極で観測されたスパイク列は、刺激電極の相違に対して有意差が見られた。これは2対1通信が可能であることを示唆していると考えられる。

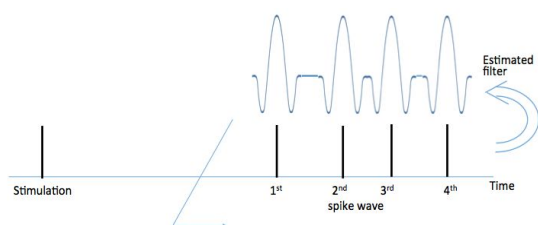


図 4-2 スパイク到達時間への適応フィルタ

上述のスパイク波の挙動は、空中を音波が伝播する場合、障害物などがあっても、耳だけで音源の様子（何処で何が起きたかなど）を認識できることと類似していると考えられる。これは、従来、暗黙の内に仮定されていた神経情報伝達における局所回路・特定経路思考を否定する重要な発見である。

5 . 主な発表論文等 (特記以外は全て査読有)

[雑誌論文] (計 8 件)

- [1] Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Yuko Mizuno-Matsumoto, Tomomitsu Miyoshi, Hajime Sawai, Shinichi Tamura, “Variance of spatiotemporal spiking patterns by different stimulated neurons in cultured neuronal networks”, International Journal of Academic Research and Reflection, Vol. 4, No. 3, 2016 ISSN 2309-0405
<http://www.idpublications.org/ijarr-vol-4-no-3-2016/>
- [2] Shinichi Tamura, Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Tomomitsu Miyoshi, Hajime Sawai, “Simulation of code spectrum and code flow of cultured neuronal networks,” Special issue on Information Transmission, Computation, and Communication in Natural and Simulated Neural Networks, Computational Intelligence and Neuroscience (In press), 2015.
- [3] Shinichi Tamura, Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Tomomitsu Miyoshi, Hajime Sawai, Takuya Kamimura, Yasushi Yagi, Yuko Mizuno-Matsumoto, Yen-Wei Chen, “Spike code flow in cultured neuronal networks,” Special issue on Information Transmission, Computation, and Communication in Natural and Simulated Neural Networks, Computational Intelligence and Neuroscience (In press), 2015.

- [4] Takuya Kamimura, Yasushi Yagi, Shinichi Tamura, Yen-Wei Chen, “Multiplex Communication with Synchronous Shift and Weight Learning in 2D Mesh Neural Network,” Automation, Control and Intelligent Systems, vol. 3, No. 5, pp.63-70, October 2015
- [5] T. Kamimura, Y.Nishitani, Y.-W. Chen, Y.Yagi, and S.Tamura, “Copy of neural loop circuits for memory and communication,” Journal of Communications and Information Sciences, Vol.4, No.1, pp.46-56, Jan 2014.
- [6] Y.Nishitani, C.Hosokawa, Y.Mizuno-Matsumoto, T.Miyoshi, H.Sawai, and S.Tamura, “An influence of bit timing function in neuron spike trains on M-sequence detection,” グローバル経営学会誌, vol.2, no.1, 2014.
- [7] Y.Nishitani, C.Hosokawa, Y.Mizuno-Matsumoto, T.Miyoshi, H.Sawai, and S.Tamura, “Synchronized Code Sequences from Spike Trains in Cultured Neuronal Networks,” J. of Comm. and Inf. Sci., vol.5, No.3, 2014
- [8] S.Tamura, Y.Nishitani, T.Kamimura, Y.Yagi, C.Hosokawa, T.Miyoshi, H.Sawai, Y.Mizuno-Matsumoto, Y.W.Chen. “Multiplexed Spatiotemporal Communication Model in Artificial Neural Networks,” Automation, Control and Intelligent Systems, Vol. 1, No. 6, 2013, pp. 121-130.
doi:10.11648/j.acis.20130106.11.

[学会発表] (計 13 件)

- [1] 佐久間俊, 西谷陽志, 水野(松本)由子, 田村進一. 神経スパイク波伝搬と発信源識別, 第 11 回日本感性工学会春季大会, 神戸, 3 月 26 - 27 日, 2016.
- [2] 佐久間俊, 西谷陽志, 水野(松本)由子, 田村進一. 神経回路網のスパイク波の可視化と重み係数の変化による情報経路の解析, 第 45 回日本臨床神経生理学会学術大会, 大阪, 11 月 5 - 7 日, 2015.
- [3] Takuya Kamimura, Yasushi Yagi, Shinichi Tamura, Yen-Wei Chen, “Multiplex communication in 2D mesh neural network,” 2015 International Conference on Artificial Intelligence and Control Automation (AICA2015), Jan.16-17, 2015, Phuket, and the paper is included in International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015), June 28-29, 2015, Bangkok, pp.577-580.

- [4] Shinichi Tamura, Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Yuko Mizuno-Matsumoto, "Spike code and information flow in cultured neuronal networks and its simulation on 2D mesh network," 2015 IEEE 7th Int'l Conf. on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conf. on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM), Invited Session-Cognitive Computing, Angkor Wat, July 15-17, 2015.
- [5] Shinichi Tamura, Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Yuko Mizuno-Matsumoto, Yen-Wei Chen, "Base of brain intelligence: Information flow in cultured neuronal networks and its simulation on 2D mesh network," 11th International Conference on Natural Computation (ICNC 2015), Invited Session on Intelligent Signal and Image Processing, Zhangjiajie, China, Aug. 15-17, 2015.
- [6] Shinichi Tamura, Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Tomomitsu Miyoshi, Hajime Sawai, Takuya Kamimura, Yasushi Yagi, Yuko Mizuno-Matsumoto, and Yen-Wei Chen, "Root problem of image cognition - Spike code flow map in cultured neuronal networks," Joint Forum on Medical Imaging of Japan 2015, Ishigaki, 2015.3.2-3. 査読無
- [7] T.Kamimura, Y.Yagi, S.Tamura, Y.-W.Chen, "Multiplex communication in 2D mesh neural network," 2015 International Conference on Artificial Intelligence and Control Automation (AICA2015), Phuket, 2015.
- [8] S.Tamura, Y.Nishitani, C.Hosokawa, T.Miyoshi, H.Sawai, T.Kamimura, Y.Yagi, Y.Mizuno-Matsumoto, and Y.-W.Chen, "Root problem of image cognition: Hardware in brain," Medical Imaging Joint Forum 2014. 査読無
- [9] 佐久間俊, 高橋良輔, 黒川正雄, 藪中晋太郎, 西谷陽志, 水野(松本)由子, 田村進一, "神経回路網におけるスパイク波の可視化による学習則の解明", 映像情報メディア学会 2014 年次大会, 22-8, 大阪, 2014.8.31-9.2. 査読無

- [10] 黒川正雄, 佐久間俊, 高橋良輔, 藪中晋太郎, 西谷陽志, 水野(松本)由子, 田村進一, "神経回路網の学習における重みの変化 ~一定方向のスパイク伝搬誘導による方向性の変化~,", 映像情報メディア学会・同上, 22-9. 査読無
- [11] 高橋良輔, 佐久間俊, 黒川正雄, 藪中晋太郎, 西谷陽志, 堀尾裕幸, 田村進一, "送受間双方向刺激による神経回路網の挙動変動", 映像情報メ学会・同上, 22-10. 査読無
- [12] 藪中晋太郎, 佐久間俊, 高橋良輔, 黒川正雄, 西谷陽志, 堀尾裕幸, 田村進一, "神経回路網のスパイク波の挙動に関する研究", 映像情報メ学会・同上, 22-11. 査読無
- [13] 田村進一、他 "画像認知の根源的課題 脳内ハードウェア", 電子情報通信学会医用画像研究会, 沖縄, 2014.1.19-1.20 査読なし

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織
(1)研究代表者
田村 進一 (Shinich Tamura)
NBL 研究所所長 大阪大学名誉教授
研究者番号: 30029540

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者

陳 延偉 (Yenwei Chen)
立命館大学 情報理工学部 教授
研究者番号：60236841

八木 康史 (Yasushi Yagi)
大阪大学 産業科学研究所 教授
研究者番号：60231643

三好 智満 (Tomomitsu Miyoshi)
大阪大学 医学系研究科 助教
研究者番号：70314309

澤井 元 (Hajime Sawai)
大阪府立大学 看護学部 教授
研究者番号：20202103

水野 (松本) 由子
(Yuko Mizuno(Matsumoto))
兵庫県立大学 応用情報科学研究科
教授
研究者番号：80331693

細川 千絵 (Chie Hosokawa)
国立行政法人 産業技術総合研究所
バイオメディカル研究部門 研究員
研究者番号：60435766