

令和元年5月22日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12524

研究課題名（和文）培養神経回路網における多重通信識別の実証

研究課題名（英文）Empirical proof of multiplex communication identification in cultured 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） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、申請者が発見した神経回路網の空間的多重通信原理を、シミュレーションと培養神経回路網の両面から解明したものである。

シミュレーションでは9対9通信が可能に対して、マルチ電極上の培養神経回路網の刺激応答から、3対n通信が可能であることが実証できた。多重通信原理は、空中を伝わる音を聞いて、どこにどんな音源があるか人は認識できることや、携帯・移動通信で複数のアンテナ配置（ダイバーシティ）で適応的安定通信を図れる仕組みと同じである。すなわち、各神経細胞は情報の発受のみならず、大多数の時間は通信媒体としてリレーの役割を担っている。また、マルチ電極応答からの回路解析手法などについても論じた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳神経回路について、マクロ的視点からは、AIや深層学習の研究が進んできた。ミクロ的視点からは、神経自体の特性や動作、また中間レベルの神経回路網の特性や振る舞いについてもよく研究されてきた。しかしながら神経回路網の機能については十分研究されていない。本研究は、情報伝達・通信の視点から、シミュレーションと、培養神経回路の対応を取りつつ、神経回路網の機能について研究を行ってきたものである。

その結果、神経回路網では空間的多重通信が行われているであろうことが結論された。これはシミュレーションと培養神経における実験の両面から、神経回路網内の多重通信原理を指摘・解明した最初の研究である。

研究成果の概要（英文）：As an intermediate level approach between AI and neuroscience, behaviors of artificial neural network have been elucidated. However, since functions of the neural network have not been enough elucidated, we are studying the intermediate level function of the neural network focused on signal transmission or communication function. In 25×25 mesh neural network simulation, we have confirmed it is possible to set asynchronous multiplex communication channel such as 9:9. Corresponding to these, we showed we can set communication channels such as 3:n in wet experiments on cultured neuronal networks. That is, several receiving neurons (group) away from the stimulated neurons (group) could classify/recognize what kind of stimulation was added based on the arrived spike waves. Both of the simulation in artificial neural networks and the experiment in cultured neuronal networks support the multiplex communication scheme in the brain.

研究分野：医用画像解析，人工知能，情報科学

キーワード：神経回路網 多重通信 機械学習 スパイク波 神経の揺らぎ リレーニューロン 培養神経回路網 シミュレーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

### 従来の神経回路網における情報表現・通信・処理

(1) 古典的な系列間の距離計測や、頻度解析などの時間的手法：符号化原理等とは無関係に解析されている(Cessac, 2010)。(2) 時空間解析：脳内表現における最小情報量基準(Olshausen, 1996)、独立成分分析による受容野特性の導出シミュレーション(Bell and Sejnowski, 1997)、(3) Synfire モデル：神経回路網における集団的同期発火モデル(Abeles, 1982)らがあるが、静的あるいはマクロ的で、通信網としての基本解析は行われていない。いずれにしろ、本研究が対象とする通信の観点からの自己組織化、知能原理の解明の研究は行われていない。

### 本研究の目的：システムの観点と実験に基づく神経回路網の知能原理の解明

本研究課題は本申請者が研究の集大成として定年後に行ってきたものであり、並の成果は狙っていない。自然知能の原理を解明しようとする挑戦である。知能は“神”が与えたもので、不可侵の領域との潜在意識が働くのであろうか、重要課題であるにも拘わらず、研究者達は“専門バカ”になってしまっている。他の研究より格段の難しさがあるが、それだけやりがいのあるテーマである。本申請者は知能原理の解明を明示的に掲げて研究を始めた。残念ながらその結果として、ニューラルネットワーク関係の論文誌に投稿した論文は門前払い同様が多かった。本申請者にとっては、脳研究ソサエティの“現状レベル”からすれば当然のことと納得しはしたが、それでは研究が進まない。本申請者には、長年のパターン情報処理に関する未踏分野開拓の経験と自信がある。そこで、“自然知能の原理解明”に一番近いタイトル名の open 誌 “Computational Intelligence and Neuroscience” に特集企画の提案を行った。残念ながら他誌同様、当初は受け付けてくれなかった。それだからこそ、未踏分野として残っているのもある。そこで粘り強く再交渉した。結果として、本申請書に書いたような将来展望も含めた話を聞いてくれて、本当らしいと少し理解してくれた。その結果、私自身が Guest Editor となる “Special issue on Information Transmission, Computation, and Communication in Natural and Simulated Neural Networks” なる特集提案を採用してくれて、私自身の論文査読には編集長自らに加わってくれ理解がお互い得心できるレベルで進み、批判的な reviewer を説得、当該分野の一般読者に分かるようにとの細かい修正なども指示してくれた。また、当該論文が自然知能解明の第一歩であり、掲載誌名にすばりマッチした論文であるとの意味の結言挿入を認めてくれた。

15 年前に行った可視化脳内情報通信 (Time shift 図) を説明しうることとして、本申請者はすでにシミュレーションで神経回路網内多対多の多重通信の可能性を確認しているが、今回の申請は、培養神経細胞を用いてそれを実証しようとするものである。これにより、神経回路網に“宿る”自然知能原理が解明され、次世代人工知能の基礎が得られる。

## 2. 研究の目的

曖昧性をもった神経細胞から構成される神経回路網が、信頼性高く的確に情報処理をおこなえ、知能をもつことは不思議なことである。従来、神経単体の特性はよく研究されてきたが、網になったとき、なぜ知能が生まれるのか全く分からなかった。本申請者は、科研基盤 A などの 6 年間の試行錯誤の末、「神経回路網における知能の基本は、スパイク波による多重通信である」との結論を得た。すなわち、例えば  $31 \times 31$  の 2 次元神経回路網シミュレーションでは 9 対 9 通信が数回の学習で確立できた。対応して培養神経回路網を用いた wet 実験を行ったところ、基本の 2 対 1 通信が可能であることを確認できた。本研究では、培養神経回路網で、もっと一般の  $9 \times 9$  などの多対多の通信が可能であるか否かの実証を行う。これにより、神経回路網に“宿る”知能回路原理の解明を行う。

## 3. 研究の方法

脳内情報通信の理論的・シミュレーション的解明と、培養神経回路網を用いた wet lab 実験を相互に対応の付く形で並行的に行い、実態と遊離しない脳内情報通信原理の解明を行う。

## 4. 研究成果

結果として、下記が得られた。

(1) マルチ電極による符合流図の開発を行い、これにより、培養神経回路上の情報の流れが可視化できた(図 1)。

(2) 培養神経回路では、M 系列など、疑似ランダム系列が有意に多く観測される。

(3) シミュレーション、および培養神経回路とともに、空間的多重通信原理が解明できた(図 2, 3)。

これら結果の詳細と展望は、とくに下記 5 雑誌論文[18-1]、図書[19-1]、および平成 30 年度研究実績報告書にまとめられている。

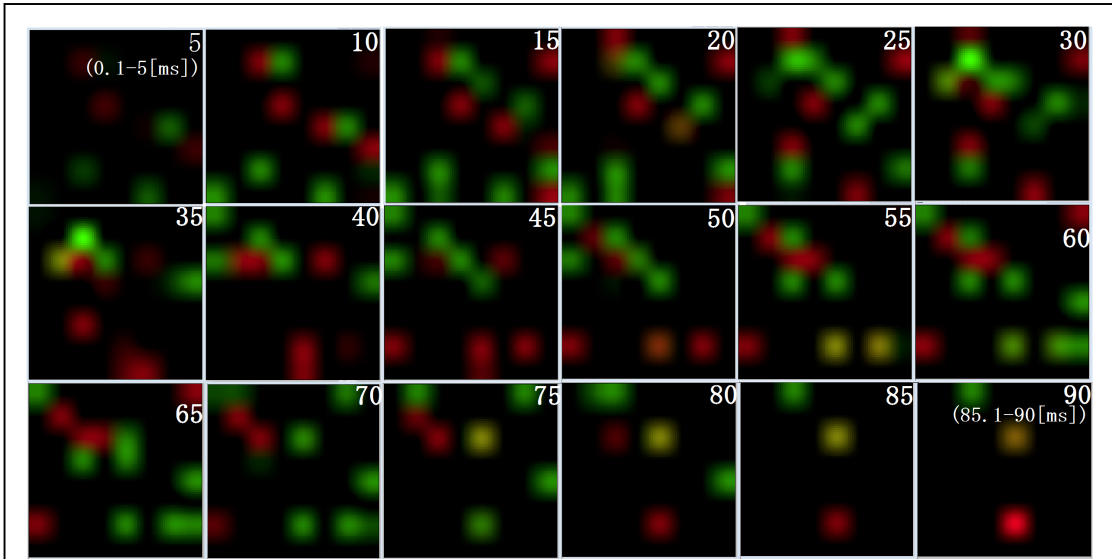


图 1 Code flow map for a sample. The serial images are from right to left and top to bottom, and the “1011” and “1101” codes are expressed in red and green, respectively. Yellow indicates a mixed code. These spots are blurred to smoothen the movies. The frame interval is 5 ms, and elapsed time is shown at upper right. Bit interval = 0.6–3.0 ms.

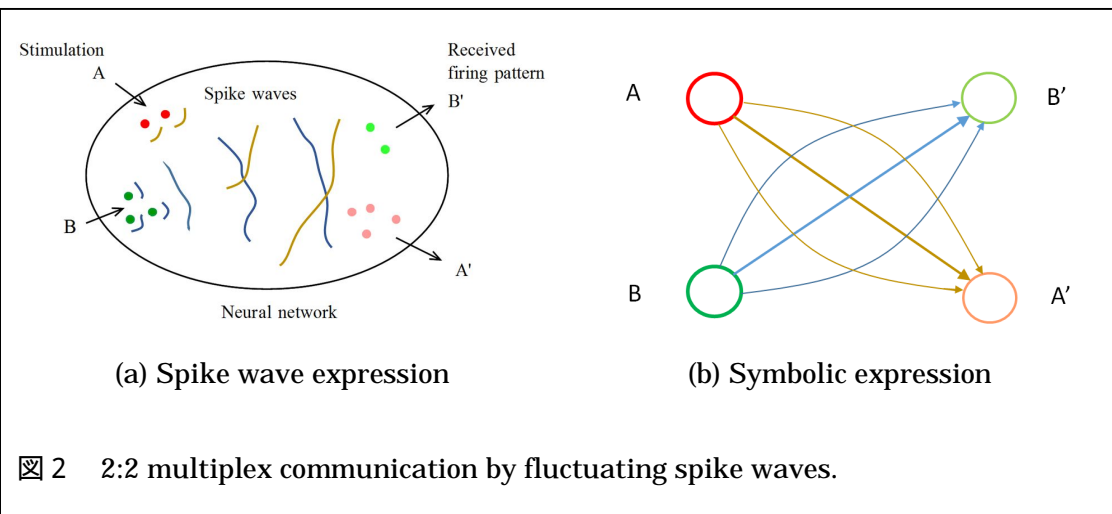


图 2 2:2 multiplex communication by fluctuating spike waves.

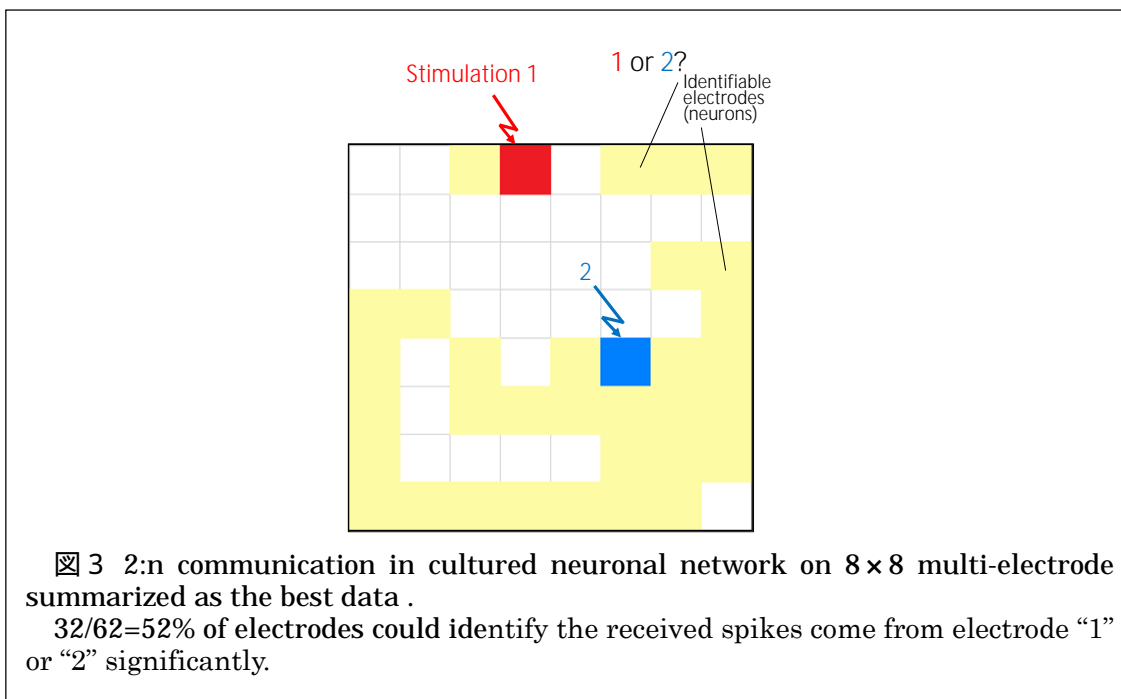


图 3 2:n communication in cultured neuronal network on 8×8 multi-electrode summarized as the best data .

32/62=52% of electrodes could identify the received spikes come from electrode “1” or “2” significantly.

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 9 件)

[18-1] Shinichi Tamura, Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Yuko Mizuno-Matsumoto, “Asynchronous multiplex communication channels in 2D neural network with fluctuating characteristics,” *IEEE Trans. Neural Networks and Learning Systems*, 2018. DOI: 10.1109/TNNLS.2018.2880565 査読有

[18-2] Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Yuko Mizuno-Matsumoto, Tomomitsu Miyoshi, Shinichi Tamura, “Effect of correlating adjacent neurons for identifying communications: Feasibility experiment in a cultured neuronal network,” *AIMS Neuroscience*, 2018, 5(1): 18-31. DOI: 10.3934/Neuroscience.2018.1.18. 査読有

[17-1] Shun Sakuma, Yuko Mizuno-Matsumoto, Yoshi Nishitani, Shinichi Tamura. Learning times required to identify the stimulated position and shortening of propagation path by Hebb’s rule in neural network. *AIMS Neuroscience*, Vol. 4, No. 4, pp. 238-253, 2017. DOI: 10.3934/Neuroscience.2017.4.238 査読有

[17-2] Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Yuko Mizuno-Matsumoto, Tomomitsu Miyoshi, Shinichi Tamura, “Classification of Spike Wave Propagations in a Cultured Neuronal Network: Investigating a Brain Communication Mechanism,” *AIMS Neuroscience*, 2017, 4(1): 1-13. DOI: 10.3934/Neuroscience.2017.1.1 査読有

[16-1] Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Yuko Mizuno-Matsumoto, Tomomitsu Miyoshi, Hajime Sawai, and 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, pp.11-19, 2016, ISSN 2309-0405. 査読有

[16-2] Shinichi Tamura, Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Tomomitsu Miyoshi, Hajime Sawai, “Simulation of code spectrum and code flow of cultured neuronal networks,” *Computational Intelligence and Neuroscience*, Vol. 2016 (2016), Article ID 7186092, 12 pages. DOI: 10.1155/2016/7186092 査読有

[16-3] 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,” *Computational Intelligence and Neuroscience*, Vol. 2016 (2016), Article ID 7267691, 11 pages. DOI: 10.1155/2016/7267691 査読有

[16-4] Shinichi Tamura, Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, “Feasibility of multiplex communication in a 2D mesh asynchronous neural network with fluctuations,” *AIMS Neuroscience*, 3(4), 385-397, 2016. DOI: 10.3934/Neuroscience.2016.4.385 査読有

[16-5] Shun Sakuma, Yuko Mizuno-Matsumoto, Yoshi Nishitani, Shinichi Tamura, “Simulation of Spike Wave Propagation and Two-to-one Communication with Dynamic Time Warping,” *AIMS Neuroscience*, 2016, 3(4): 474-486. DOI: 10.3934/Neuroscience.2016.4.474 査読有

〔学会発表〕(計 5 件)

[18-1] Shinichi Tamura, Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Tomomitsu Miyoshi, Yuko Mizuno-Matsumoto, Yen-Wei Chen, “Multiplex communication in neural network by asynchronous spike wave propagation,” *11th FENS (Federation of European Neuroscience Societies) Forum*, G.02 pt IV, No. F18-3507, 7-11 July, 2018, Berlin

[17-1] 佐久間俊, 西谷陽志, 水野(松本)由子, 田村進一. 神経回路網シミュレーションにおける刺激位置の識別に要する学習回数と Hebb 則による伝播経路の短縮. 第 47 回日本臨床神経生理学会学術大会, 横浜, 日本臨床神経生理学 45 巻 5 号: p. 477, 2017 年 11 月 29-12 月 1 日

[17-2] Shinichi Tamura, Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Tomomitsu Miyoshi, Yuko Mizuno-Matsumoto, Yen-Wei Chen, “Multiplex Communication by Series of Laplacian Gaussian Filters in 2D Mesh Neural Network,” *4th Int’l Conf. on Mechanical Electronics and Computer Engineering (CMECE 2017)*, ME008-A, Phnom Penh, Sept. 14-16, 2017.

[16-1] Shun Sakuma, Yuko Mizuno-Matsumoto, Yoshi Nishitani, Shinichi Tamura, Simulation of spike propagation in neural network,” *8th Int’l Workshop on Biosignal Interpretation (BSI2016)*, Osaka, Nov. 1-3, 2016.

[16-2] Shinichi Tamura, Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Tomomitsu Miyoshi, Hajime Sawai, Yuko Mizuno-Matsumoto, Yen-Wei Chen, “Multiplex communication by BP learning in neural

network,” *CISP-BMEI 2016*, Datong, October 15-17, 2016.

〔図書〕(計 1 件)

[19-1] Shinichi Tamura and Yoshi Nishitani, Chapter “ Multiplex signal transmission in neural network by spike waves, ” in *Computational Intelligence: Advances in Research and Applications*, Nova Science Publishers, Inc., Hauppauge, NY, 2019 (in press).

〔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：  
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：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8 桁)：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。