

スパイク・コーディングによる記憶情報の時空間表現

(研究課題番号 12680382)

平成12年度～平成15年度科学研究費補助金 [基盤研究(C)]
研究成果報告書



平成16年3月

研究代表者 篠本 滋

(京都大学・理学研究科・助教授)

スパイク・コーディングによる記憶情報の時空間表現

(研究課題番号 12680382)

平成12年度～平成15年度科学研究費補助金 [基盤研究(C)]
研究成果報告書

平成16年3月

研究代表者 篠本 滋

(京都大学・理学研究科・助教授)

はしがき

この報告書は、平成12年度から平成15年度までの4年間にわたって、日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究C）の援助により行われた「スパイク・コーディングによる記憶情報の時空間表現」に関する成果をまとめたものである。ここで報告する成果の大部分は印刷中も含め、論文として発表したものであるが、それらの参考になる過去の研究論文も含めることにした。本報告書によって当研究に関する全体像を把握していただき、関連分野の研究に役立てていただければ幸いである。

研究組織

研究代表者： 篠本 滋（京都大学・理学研究科・助教授）

研究経費：

平成12年度	1,000千円
平成13年度	900千円
平成14年度	700千円
平成15年度	800千円
総計	3,400千円

研究発表

学会誌等（主要研究原著論文）

- 1) Y. Tsubo, T. Kaneko and S. Shinomoto (2004) Predicting spike timings of current-injected neurons. *Neural Networks*, in press.
- 2) S. Shinomoto, K. Shima and J. Tanji (2003) Differences in spiking patterns among cortical neurons. *Neural Computation*, 15: 2823-2842.
- 3) S. Shinomoto, K. Shima and J. Tanji (2002) New classification scheme of cortical sites with the neuronal spiking characteristics. *Neural Networks*, 15: 1165-1169.
- 4) S. Shinomoto, Y. Sakai and H. Ohno (2002) Recording site dependence of neuronal spiking characteristics. *Biosystems* 67: 259-263.
- 5) S. Shinomoto and Y. Tsubo (2001) Modeling spiking behavior of neurons with time-dependent Poisson processes. *Physical Review E* 64: 041910 (1-13).
- 6) Y. Sakai, S. Funahashi and S. Shinomoto (1999) Temporally correlated inputs to leaky integrate-and-fire models can reproduce spiking statistics of cortical neurons. *Neural Networks*, 12: 1181-1190.
- 7) S. Shinomoto, Y. Sakai and S. Funahashi (1999) The Ornstein-Uhlenbeck process does not reproduce spiking statistics of neurons in prefrontal cortex. *Neural Computation*, 11: 935-951.

学会誌等（関連研究原著論文）

- 1) Y. Miyazaki, W. Kinzel and S. Shinomoto (2003) Learning of time series through neuron-to-neuron instruction. *J. Physics A* 36: 1315-1322.

口頭発表

- 1) Shigeru Shinomoto, Keiji Miura, Shinsuke Koyama (2003) Categorization of neurons according to in vivo spiking. 5TH INTERNATIONAL WORKSHOP NEURONAL CODING 2003 (Aulla, Italy).
- 2) Shigeru Shinomoto and Youichi Miyazaki (2003) Faithful and unfaithful students of time series learning. IMA conference BIFURCATIONS 2003 (Southampton, England).
- 3) 篠本 滋 (2003) 「脳神経スパイクを読む」システム制御情報学会 招待講演 (京都).
- 4) 篠本 滋 (2003) 「神経スパイク特性に基づいた細胞分類」脳と心のメカニズム第3回冬のワークショップ 招待講演 (北海道).
- 5) 篠本 滋 (2002) 「脳神経細胞の信号時系列」日本機械学会 非線形振動研究会 招待講演 (京都)
- 6) S. Shinomoto and Y. Sakai (2001) Area dependence of neuronal spiking characteristics. 4th Neural Coding Workshop (Plymouth, England).
- 7) S. Shinomoto (2000) Spiking mechanisms of cortical neurons. In The 3-rd Brain School in Brain Research Center in POSTECH (Pohang, Korea).
- 8) S. Shinomoto and Y. Sakai (1999) Inter-spike interval statistics of cortical neurons. International Work-conference on Artificial and Natural Neural Networks; IWANN'99 (Alicante, Spain).

出版物

著書

- 1) 篠本 滋「情報処理概論 - 予測とシミュレーション」岩波書店 (2002)
- 2) 篠本 滋「脳のデザイン」岩波書店 (1996)

辞典編集

- 1) 甘利俊一，外山敬介編集「脳科学大辞典」朝倉書店 (2000) (編集幹事)

一般記事・新聞記事

- 1) 篠本 滋「サービスとしての科学」科学 71 (2001) 533-536. (岩波書店)
- 2) 神戸新聞 2001/01/30 夕刊，等 (共同通信)

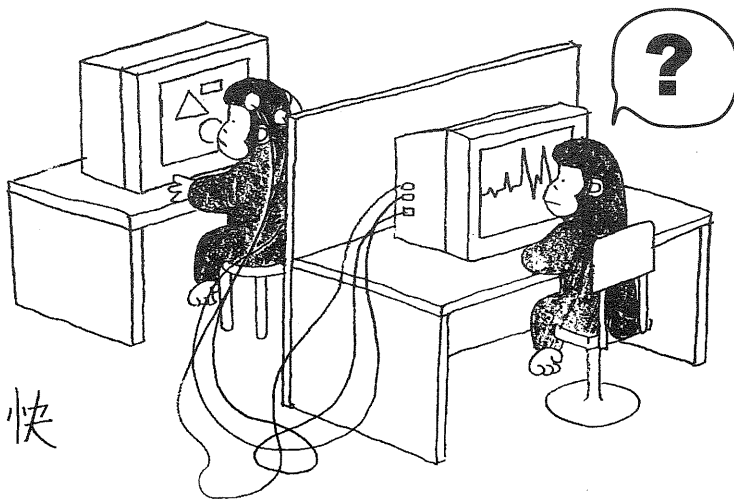
研究成果

外界情報は動物の脳内でどのように表現され、運動はどのように立案実行されていくのか、記憶はどのように形成され用いられるのか、脳内で時間認識はどう行われるのか、これらが脳神経科学の興味の原点である。脳の構成単位である神経細胞から神経細胞への信号伝達は主に「神経発火」あるいは「スパイク」と呼ばれるインパルス信号が担っている。情報は脳内を飛び交う無数のスパイクのタイミングや頻度によって表現されている。我々は、行動中の動物から傍受した神経スパイク信号列からどのような情報を読みとることができるか、という点に興味を持っている。

本研究は、脳内で記憶情報が神経スパイク信号によってどのように表現されているかを知るために、(A) 神経細胞がどのような条件でスパイク信号を発生し、どのくらいの情報を送ることができるか、を知る目的の脳切片スライス実験、(B) スパイク信号を送る神経細胞集団の数理モデルを構築し、その集団が入力信号に応じていくつかの状態を選択することができるか、を知る目的の研究を4年計画で推し進めた。(A)の脳切片スライス実験では京都大学医学部神経解剖学研究室に大学院生を派遣して行った細胞通電実験が4年がかりでついに軌道に乗り、そこで得られた通電実験データに基づいたモデル選択の研究が始まった。(B)の数理モデルの構築についてはスパイク生成モデルの数値シミュレーションの環境を整えて(A)で得られた実験データとの比較によるモデル選定の段階に入っている。これらに加えて、サル大脳領野の神経活動データの分析に関連して、あたらしい発見があった。

当初、我々は京都大学の実験生理学グループとの共同研究として、記憶タスク実行中のサル大脳前頭連合野から計測されたスパイク時系列データを分析し、これまで標準的だと考えられてきた神経スパイク発生の数理モデルが実験データに照らし合わせて棄却されることを明らかにした[1]。次に、その実験データと理論モデルとの矛盾を解決するために、数理モデルの修正をおこなった。そ

の結果、神経細胞に入射している信号は無相関ではなく、200-300ミリ秒程度の時間相関をもっているという推定結果を得た[2]。また、時間変動ポアソン過程に関する数理的な考察を推し進め、実験で得られたスパイク統計をコンパクトに再現するモデルを選択した[3]。



その後、東北大学の実験生理学グループとの共同研究として、前頭連合野以外の領野である補足運動野などの神経スパイク時系列パターンを解析したところ、スパイク信号の特性が記録領野に大きく依存することが分かった[4]。この事実は、記録領野の信号発生環境に関する情報を、傍受した脳神経信号から読みとることができることを示唆している。大脳は決して一様ではなく細胞構築の違いがあること、また細胞構築学的に分類された領野が生理学的に異なる機能をもつことが100年以上前から知られているが、我々の見いだした事実は脳の領野の違いが神経スパイク信号の統計性にも反映していることを示唆している。

さらに最近、各神経細胞に応じて違った値を示すスパイク統計量を見いだした。Local Variation, Lvと名付けたこの統計量は、一つの神経細胞から生成されたスパイク列に関してはいつも同じような値を示し、異なる細胞間で異なる値を示す。また、調べた4領野中、3領野で、細胞集団に対するLvの分布が2つのピークを持つことがわかった。神経細胞集団をこのLvの値に応じて2グループに分類してまとめると、その2グループは同じ刺激に対して異なる反応を示していることも分かった。つまり、このスパイク統計性に基づいて、機能的に異なるグループを選別することができる[5]。

現在は、大阪大学の実験生理学グループとの共同研究で、スパイクの統計性の違いが神経細胞がおかれている皮質細胞層と強い相関があるということが明らかになりつつある。このことは神経スパイクの時系列パターンから各神経細胞がおかれている細胞層を特定する可能性を示唆する。

一方、京都大学医学部神経解剖学研究室で行われた脳切片スライス実験では、神経細胞に変動電流をかけて人工的にスパイクを生成し、そのデータに照らし合わせて神経細胞のスパイク生成の「入出力関係」を定量的にモデル化、パラメータ選択し、データ予測を行うことが可能になりつつある[6]。現在までに測定された神経細胞についてはそれらの特徴づけるモデルパラメータは2群に大別されることが明らかになった。ここで得られた細胞分類と上で明らかになりつつある細胞分類が対応するものであるかどうか、といったことが注目される。

このように、本研究で得られた知見を統合し、解析をさらに押し進めることによって、脳内神経スパイク発生メカニズムを定量的に解明することが可能になりつつある。

文献

- [1] S. Shinomoto, Y. Sakai and S. Funahashi, *Neural Computation*, 11 (1999) 935-951
- [2] Y. Sakai, S. Funahashi and S. Shinomoto, *Neural Networks*, 12 (1999) 1181-1190
- [3] S. Shinomoto and Y. Tsubo, *Physical Review E* 64 (2001) 041910 (1-13)
- [4] S. Shinomoto, K. Shima and J. Tanji, *Neural Networks* 15 (2002) 1165-1169
- [5] S. Shinomoto, K. Shima and J. Tanji, *Neural Computation* 15 (2003) 2823-2842
- [6] Y. Tsubo, T. Kaneko and S. Shinomoto, *Neural Networks* (2004), in press.