

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 26 日現在

機関番号：34504

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24700301

研究課題名(和文)無限次元の情報幾何学を用いた脳活動のモデリング

研究課題名(英文)statistical modeling of neural activities by infinite dimensional information geometry

研究代表者

三浦 佳二(Miura, Keiji)

関西学院大学・理工学部・准教授

研究者番号：60520096

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：ダイナミックな脳活動データを解析する際に、環境や動物の状態が変化していく非定常性が問題となることが多い。本研究では、無限次元の情報幾何学を用いたセミパラメトリック推定を行うことで、時系列の平均値がドリフトし、さらにドリフトの時間波形に無限の可能性があったとしても、それとは“直交”する、時間変動しない統計パラメタ(例えば相関)を正確に推定する方法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Dynamical brain activities, under changing environments and animals' states, often show nonstationarity. In this study, we derived statistical estimators for time-independent statistical parameters such as correlations, which are orthogonal to the time-dependent baselines, whatever the function form of the baseline drift is.

研究分野：神経科学, 応用数学, データ科学

キーワード：information geometry computational topology nonstationarity noise correlations

## 1. 研究開始当初の背景

複雑な時系列を解析する際に、環境や動物の状態が変化していく非定常性が問題となることが多い。例えば、神経科学において、複数の神経細胞から同時に電気活動が記録できる実験を行った場合に、細胞の応答特性と合わせて、細胞同士が繋がっているかを特定できることは重要である。その目的のためには、神経細胞の活動の相関を見るのが有効とされて、広く電気生理実験において用いられてきている。しかしながら、従来の相関係数を用いた推定方法だと、神経細胞の活動が非定常なトレンドを持ってドリフトしているような場合には、神経細胞間の繋がりを反映したものではなく、ベースラインのトレンドの時間発展の形のみを反映した誤った相関の値を推定してしまう。

## 2. 研究の目的

ドリフトを見せるような非定常時系列の中から価値ある情報を取り出したいという要求に応えたい。例えば相関の例においては、ベースラインの活動がどのようなドリフトをする場合でも、ドリフトの影響は一切受けず、細胞間の活動の(ゆらぎの)相関を正しく推定する方法の開発が目的となる。

## 3. 研究の方法

本研究では、無限次元の情報幾何学を用いたセミパラメトリック推定を行うことで、時系列の平均値がドリフトし、さらにドリフトの時間波形に無限の可能性があったとしても、それとは“直交”する、時間変動しない統計パラメタ(ゆらぎや相関などの高次統計量)を正確に推定することを目指す。モデルを完全には特定せず、ドリフトにあらゆる可能性が残る中で、一部の統計パラメタを正確に推定できるのは驚くべき事である。各種高次統計量に対して、この魔法のような推定法を開発し、脳計測データの解析に応用する。

## 4. 研究成果

(1) 期間の前半においては、複数の神経細胞の活動の相関を推定することを目指した。無限次元の情報幾何学を用いたセミパラメトリック推定を行うことで、ベースラインの活動がどのようなドリフトをする場合でも、ドリフトの影響は一切受けず、細胞間の活動の(ゆらぎの)相関を正しく推定する方法を開発した。またさらに、この推定方法がシミュレーションにより生成した時系列に対してうまくいくことを実証した。この内容を論文にまとめて、"Interdisciplinary Information

Sciences"誌にて論文発表した。なお、神経科学における相関の推定の重要性をまとめたものを、国際会議 SCIS-ISIS 2012 において口頭発表して、プロシーディングスとして論文を出版することも行った。また、相関以外の応用例として、2値からなるバイナリー文字列における同じ文字の繰り返しやすさを推定する方法を開発し、口頭発表を行った。当初の予定通り、神経電気生理学のデータ解析に役立つ情報幾何学に基づく指標3点セット(不規則性、相関、行動選択の繰り返し易さ)が構築された。

(2) 期間の後半では、情報幾何学からさらに方法論を広げて、まだ使われていない現代幾何学の方法を初めてデータ解析へと役立てるという野心的な試みも開始した。高度に抽象的な幾何学を積極的に使ったデータ解析手法は珍しいものであり、このような野心的な挑戦が新しいイノベーションへのブレークスルーを生み出すと期待するものである。1つ目の成果としては、グラフの Hodge-小平分解によりネットワークの再帰結合(「穴」の数)を数えることで、神経回路網の学習則(時間発展ルール)の違いを判別することができた(Neural Networks 誌及び IFAC CHAOS 国際会議における発表)。2つ目の成果としては、Euler 積分を用いて、タッチパネルへのタッチ回数を数えるスケール不変な並列アルゴリズムを開発し、それをニューラルネットワークとして実装した。数学のトポロジー分野の厳密な成果に基づいているため、タッチ数を、指の形状に依存しない不変量として、近似的でなく正確に数えることができた(IEEE Access 誌における発表)。

## 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7件)

Keiji Miura, Takaaki Aoki,  
"Hodge-Kodaira decomposition of  
evolving neural networks",  
*Neural Networks*, 査読有,  
2015, Vol. 62, pp. 20-24.  
DOI: 10.1016/j.neunet.2014.05.021.

Keiji Miura, Kazuki Nakada,  
"Real-Time Computing of Touch  
Topology via Poincare-Hopf Index",  
*IEEE Access*, 査読有,  
2015, Vol. 3, pp. 2566-2571.  
DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2504387.

Takeshi Fujita, Koji Ohara, Keiji  
Miura, Akihiko Hirata, Motoko Kotani,  
Yasumasa Nishiura, Mingwei Chen,

“Visualization of topological landscape in shear-flow dynamics of amorphous solids”,  
*EPL (Europhysics Letters)*, 査読有,  
2015, Vol. 110. No 3, 38002.  
DOI: 10.1209/0295-5075/110/38002.

Keiji Miura, Kazuki Nakada,  
“Neural Implementation of Shape-Invariant Touch Counter Based on Euler Calculus”,  
*IEEE Access*, 査読有,  
2014, Vol. 2, pp. 960-970.  
DOI: 10.1109/ACCESS.2014.2351832.

Keiji Miura,  
“A Semiparametric Covariance Estimator Immune to Arbitrary Signal Drift”,  
*Interdisciplinary Information Sciences*, 査読有,  
2013, Vol. 19, No. 1, pp. 35-41.  
DOI: 10.4036/iis.2013.35.

Alice Y. Wang, Keiji Miura, Naoshige Uchida,  
“The dorsomedial striatum encodes net expected return, critical for energizing performance vigor”,  
*Nature Neuroscience*, 査読有,  
2013, Vol. 16, No. 5, pp.639-647.  
DOI:10.1038/nn.3377.

Keiji Miura, Zachary F. Mainen, Naoshige Uchida,  
“Odor representations in olfactory cortex: distributed rate coding and decorrelated population activity”,  
*Neuron*, 査読有,  
2012, Vol. 74, pp. 25-35.  
DOI: 10.1016/j.neuron.2012.04.021.

[学会発表](計 17 件)

Kazuki Nakada, Keiji Miura, Takashi Kimura,  
“A Pulse Current Synchronization Scheme for Spin Torque Nano Oscillators”,  
SSDM 2015, Sapporo Convention Center (Sapporo, Hokkaido).  
2015 年 9 月 20 日 .

Keiji Miura, Takaaki Aoki,  
“Scaling of Hodge-Kodaira decomposition distinguishes learning rules of neural networks”,  
IFAC CHAOS 2015, Tokyo Metropolitan University (Tokyo).  
2015 年 8 月 28 日 .

DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.11.032

Keiji Miura, Takaaki Aoki,  
“Scaling of Hodge-Kodaira decomposition distinguishes learning rules of neural networks”,  
ICIAM 2015, Beijing (China).  
2015 年 8 月 10 日 .

Kazuki Nakada, Keiji Miura,  
“Pulse-coupled Synchronization in an Array of Spin Torque Nano Oscillators”,  
INTERMAG 2015, Beijing (China).  
2015 年 5 月 15 日 .

Keiji Miura, Takaaki Aoki,  
“Hodge-Kodaira Decomposition of Evolving Neural Networks”,  
Topics in Differential Geometry and its Discretizations, Tohoku University (Sendai).  
2015 年 1 月 11 日 .

Kazuki Nakada, Keiji Miura,  
“Optimal Design of Silicon Spiking Neurons based on Phase Description”,  
BMEiCON 2014, Kyushu University (Fukuoka).  
2014 年 11 月 27 日 .

Keiji Miura,  
“Hodge-Kodaira Decomposition of Evolving Neural Networks”,  
2014 Bilateral Workshop between Tohoku University and National Tsing Hua University, Hotel Matsushima Taikanso (Matsushima, Miyagi).  
2014 年 11 月 21 日 .

Keiji Miura, Kazuki Nakada,  
“Phase reductions of coupled oscillators and its applications”,  
Modeling, Simulation and Analysis of Pattern Formation, Tohoku University (Sendai).  
2014 年 7 月 26 日 .

Keiji Miura, Kazuki Nakada,  
“Neural Implementation of Shape-Invariant Touch Counter Based on Euler Calculus”,  
SIAM Annual Meeting 2014, Chicago (USA).  
2014 年 7 月 9 日 .

Keiji Miura, Kazuki Nakada,  
“Neural Implementation of Shape-Invariant Touch Counter Based on Euler Calculus”,

ISNNE 2014, University of Tokyo (Tokyo).  
2014年2月21日.

Kazuki Nakada, Keiji Miura, Tetsuya Asai  
“Dynamical Systems Design of Silicon Neurons using Phase Reduction Method”,  
Neuro 2013, Kyoto International Conference Center (Kyoto).  
2013年6月22日.

Keiji Miura,  
“Effects of Noise Correlations on Population Coding”,  
Francis Crick Symposium on Neuroscience: The Changing Brain, Shanghai (China).  
2013年5月9日.

Keiji Miura, Kazuki Nakada,  
“Synchronization Analysis of Resonate-and-Fire Neuron Models with Delayed Resets”,  
SCIS-ISIS 2012, Kobe Convention Center (Kobe).  
2012年11月22日.  
DOI: 10.1109/SCIS-ISIS.2012.6505169.

Keiji Miura,  
“Effects of Noise Correlations on Population Coding”,  
SCIS-ISIS 2012, Kobe Convention Center (Kobe).  
2012年11月22日.  
DOI: 10.1109/SCIS-ISIS.2012.6505071.

Kazuki Nakada, Keiji Miura, Tetsuya Asai,  
“Silicon Neuron Design based on Phase Reduction Analysis”,  
SCIS-ISIS 2012, Kobe Convention Center (Kobe).  
2012年11月22日.  
DOI: 10.1109/SCIS-ISIS.2012.6505177.

Keiji Miura, Zachary F. Mainen, Naoshige Uchida,  
“Near zero noise correlations underlie efficient population codes in olfactory cortex”,  
Neuroscience 2012, Nagoya Congress Center (Nagoya).  
2012年9月21日.

Keiji Miura,  
“An unbiased estimator of noise correlations under signal drift”,  
SIAM Annual Meeting 2012, Minneapolis

(USA).  
2012年7月10日.

〔図書〕(計1件)

三浦 佳二,  
“匂い判別の情報伝達メカニズムの解明”(第1章第5節を分担執筆)  
エヌティーエス, 嗅覚と匂い・香りの産業利用最前線,  
2013, pp.55-68.  
ISBN-13: 978-4864690560

## 6. 研究組織

(1)研究代表者  
三浦 佳二 (MIURA, Keiji)  
関西学院大学・理工学部・准教授  
研究者番号: 60520096

(2)研究分担者  
( )

研究者番号:

(3)連携研究者  
( )

研究者番号: