

氏名	みうら けいじ 三浦 佳二
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2975号
学位授与の日付	平成18年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	変動する環境のもとでのスパイク不規則性パラメタの不偏推定

論文調査委員 (主査) 助教授 篠本 滋 教授 太田隆夫 教授 小貫 明

### 論文内容の要旨

神経細胞の細胞内電位の変化は All-or-None 型であり、スパイク状の電位変化(“発火”)を起こした時刻のみが情報として伝達される。大脳皮質の神経細胞の発火パターンは非常にランダムであることが知られているので、それを記述するために、スパイク間隔がガンマ分布に従うという確率モデルを考える。このモデルにおいては、発火時刻のインターバルを統計モデルであるガンマ分布で次々に生成することで、発火時刻の系列(“スパイク列”)が生成される。

ガンマ分布は、最も単純なモデルである指数分布を拡張したものであり、パラメタが2つあることで、発火率だけでなく、スパイク列の不規則性も調節することができる。ガンマ分布のパラメタの1つは、スパイク間隔の平均値の逆数となるので、発火率と呼ばれる。神経細胞の発火率は、動物をとりまく環境の影響を大きく受けるため、ここでは発火率のパラメタは時間とともに変動するものと仮定する。一方、もう一つのパラメタであるスパイク不規則性のパラメタは、神経細胞の種類によって異なるが、時間とともに変動しないと仮定する。発火率が時間変動する場合には、発火率の変動の自由度が大きいために、多くの場合にうまくいくと信じられている最尤推定法を用いたとしても、観測されたスパイク列から正しくパラメタを推定することができない。

本研究においては、発火率のパラメタがスパイク間隔ごとに変動する場合においても、スパイク不規則性のパラメタを正しく推定することができる方法を示した。この推定法を用いれば、発火率がどのような変動をしていたとしても、単一のスパイク列のみから、無限自由度の発火率を推定することなく、スパイク不規則性のパラメタのみを偏りなく(平均的に正しく)推定することができる。また、この推定方法は、発火率の変動に関わらず、推定誤差の分散が最小という意味で最良の推定方法である。この推定方法は、ガンマ分布のパラメタを座標とする情報幾何学を考えて、射影を通して発火率と“直交”させた推定関数を用いることで得られた。

### 論文審査の結果の要旨

申請者は、発火率が変動するガンマ分布によって生成された観測スパイク列から、スパイク不規則性のパラメタを推定する方法を明らかにした。

本論文で考察する確率モデルは、発火率の関数形に一切仮定をおかないため、推定すべき発火率のパラメタは実効的に無限自由度である。そのため、通常の有限個のパラメタを含む確率モデルのパラメタ推定の問題よりも極めて困難な問題となっている。通常確率モデルに対しては、観測データを生成する確率が最大となるパラメタを選択する、という最尤推定法を用いた推定が、最良の方法であることが知られている。しかしながら、本論文のモデルでは、パラメタの数に対して十分な数の観測データが得られないため、最尤推定法では正しく推定できない。申請者は、情報幾何の理論を応用して推定関数を求めることで、正しい推定を行った。推定関数は、推定を何度も繰り返したとすると、平均的に正しく推定できることが保障される方法である。

従来の研究において、スパイク列から局所ゆらぎの指標 ( $L_v$ ) を計算すると、その値が細胞の分類に役立つことが指摘されてきた。申請者は、スパイク列には、発火率の変動をさし引いたとしても、内在するスパイク不規則性が存在することを指摘し、スパイク不規則性パラメタを推定するための推定関数を導いた。その上、従来知られてきた  $L_v$  と推定関数の間には、きつい不等式が成立することを示し、 $L_v$  はスパイク不規則性と深く関わっているということを解明した。

本論文は、情報幾何の理論を神経科学に応用したという点で方法論的にも極めて新奇である上、発火率の変動の形に関わらずスパイク不規則性が推定できるという驚くべき成果をおさめたという点で、国際的にも大変な注目を集めている。

論文内容は純粋に理論的な研究であるが、現実のスパイクデータへの適用は極めて容易であり、今後の実験的な報告が期待される。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。