

氏名	こやま しん すけ 小 山 慎 介
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2968 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	点過程統計解析に基づくスパイク時系列の解釈

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

脳のしくみや働きを理解するために、実験データの統計的な取り扱いは不可欠である。本論文では、神経スパイク時系列を解釈するためのいくつかの統計的方法について考察している。

時間ヒストグラムは、スパイク発火頻度の時間変動を表すための方法である。与えられたスパイク列データからヒストグラムを作るとき、もとの発火率とヒストグラムの平均二乗誤差が最小になるような時間幅を選ぶのが望ましい。発火率変動 Poisson 過程に対して、最適な時間幅は二次相転移を通して発散することを示した。また、最適時間幅のスパイク列数と発火率のパラメータに関するスケーリング則は、発火率変動の滑らかさによって異なることがわかった。一方で、最適なカーネル法ではヒストグラムの時間幅が発散するような転移は起こらず、ヒストグラムでは推定できないような場合でも、カーネル法はもとの発火率変動を推定し得る。

一つ一つのスパイク時系列に着目したとき、スパイク発火パターンは決して一様ではなく、各々の神経細胞に固有の不規則さを持っている。与えられた一見不規則なスパイク列に対して、一定の発火率から不規則に生成されたのか、もしくは時間的に揺らぐ発火率から規則的に生成されたのか、という二つの解釈があり得る。与えられたデータに対してどちらの解釈がよりふさわしいかを定めるため、経験ベイズ法に基づく方法を提案する。負の自由エネルギーに対応する周辺尤度関数は二つの解釈に対応する極大値を持ち、もっとも適切な解釈が一次相転移を通して一方から他方に移り変わることを示した。この論文で提案する経験ベイズ法は、脳内で観測される非定常なスパイク列から発火率揺らぎと細胞固有の発火パターンを同時に取り出すための方法を提供している。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

申請論文は、神経スパイク時系列の統計解析のなかで、時間ヒストグラムによる発火率の推定と、経験ベイズ法によるスパイク特性の推定という、二つの問題を取り上げた。

時間ヒストグラム法は、スパイク発生頻度の時間変動を推定するための基本的な方法であり、神経生理学実験において広く用いられている。しかしながら、多くの実験では、ヒストグラムの時間幅はだいたいの目安で決められており、最良な時間幅に対する系統的な議論はほとんどなされていない。そのようななかで、時間変動 Poisson 過程に対する最適な時間幅を導出し、それがしたがうスケーリング則がもとの発火率の滑らかさによって異なること、発散する発火率変動の条件を明らかにしたことは大変意義深い。また、この結果に基づいて、データのみから最適時間幅を決める手続きの提案など、後進の手によって大きく進展していることから伺われるように、申請者の研究は先見性のある大変優れたものである。

申請者はまた、近年明らかになりつつある皮質神経細胞のスパイク統計性の違いを系統的に調べるため、経験ベイズ法に基づく方法を提案した。与えられたデータに対して二つの解釈があり得ることを明らかにし、適切な解釈を選ぶ基準を与えた。提案された経験ベイズ法は実験データの解析に非常に有用であることが示された。

また、一次相転移による解釈の移り変わりは、統計力学の観点からも興味深い現象である。統計力学をベイズ統計の数学的枠組みを介して情報科学の問題に応用する動向は近年目覚ましい。申請論文で提案されたモデルは、この分野に新しい概念と技術をもたらすだけの豊富な内容を含んでおり、今後の進展が強く期待される。

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。