

学 位 審 査 報 告 書

(ふりがな) 氏 名	おおみ たかひろ 近江 崇宏
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 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)	非ポアソン性を持つスパイク時系列に対するヒストグラムの最適化
論 文 調 査 委 員	(主査) 篠本 滋 准教授 太田 隆夫 教授 小貫 明 教授

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	近江 崇宏
論文題目	非ポアソン性を持つスパイク時系列に対するヒストグラムの最適化		
(論文内容の要旨)			
<p>ヒストグラムは事象 (イベント) の非一様な発生頻度を表示する標準的なツールである。神経科学の分野では、神経細胞のスパイクの発生頻度が動物の行動や外部の刺激とよく相関することから、スパイクの発生頻度の推定は標準的な実験データ解析の手続きであり、その際にヒストグラムがよく用いられてきた。ヒストグラムは時間軸を同じ幅を持つビンで区切り、各ビン内のイベント数をビン幅で割ることにより、発生頻度が推定される。そのためヒストグラムの形はこのビン幅の取り方に大きく依存する。例えばビン幅が大きすぎると、ヒストグラムは滑らかになりすぎてしまい、逆にビン幅が小さすぎると、ヒストグラムは激しく変動し、いずれの場合でもヒストグラムは背後の発生率を正しく推定しない。それゆえヒストグラムが実験データに適合するように、ビン幅を適切に選ぶ必要がある。しかしながら、これまで行われてきた多くの研究において、このビン幅は各研究者によって恣意的に選択されてきた。本論文ではこのビン幅を客観的に選ぶ方法が提案され、さらにその有効性が示されている。</p> <p>ヒストグラムの最適化を行う方法として、島崎・篠本らの研究がある (S. Shimazaki, S. Shinomoto, Neural Computation (2007))。この研究では、各イベントが背後の発生率に従い独立に生成されている (ポアソン過程) という想定のもと、ヒストグラムと未知の発生率との平均積分二乗誤差 (MISE) を最小化するビン幅を選ぶ方法が提案されている。しかしながら実験で観察されるスパイク時系列はポアソン過程では表現できないことが知られている。そこで本論文はイベント生成過程の非ポアソン性を考慮にいったビン幅の最適化法の開発を行った。</p> <p>まず本論文では、最適化のコスト関数をイベント時系列から推定するために、各ビンのイベント数の試行毎のばらつきを表すファノ因子と呼ばれる量を推定する必要があることを示されている。このファノ因子を単一試行のイベント時系列から推定するために、イベント数のばらつきをイベント間間隔のばらつきに関連づけることが考えられた。定常な再生過程においては、観察時間が長い極限で、ファノ因子がイベント間間隔の変動係数に一致することが知られている。イベント間間隔の変動係数は単一試行のイベント時系列から推定可能なため、ファノ因子をデータから計算されるイベント間間隔の変動係数として推定するという方法を、本論文はまず提案している。しかしながらこの方法は発生率の定常性を仮定しているため、一般の非定常な時系列に対しても適用可能にするために、さらにこの方法を拡張し、最終的に局所変動係数と呼ばれる指標を用いてファノ因子を推定する手法が提案されている。</p> <p>さらに本論文で提案されたヒストグラムの最適化法の有効性が示されている。まずは数値実験により得られる擬似的なイベント時系列を用いて、各イベント時系列に対し先行研究の方法と本論文で得られた方法によりそれぞれ最適化されたヒストグラムが作られ、今回提案された方法の方がヒストグラムと背後の発生率との誤差が小さいことが示されている。次にスパイクの実データへの適用も行われ、そこでも今回提案された手法が先行研究の方法よりも優れていることが示されている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文では事象(イベント)の発生頻度を適切に推定するための、ヒストグラムのビン幅の選び方についての研究が扱われている。ヒストグラムの歴史は非常に古く、その起源は1662年のGrauntによる研究までさかのぼる。そしてヒストグラムの適用対象は一般的であり、発生頻度を推定するために、これまでに非常に多くの研究でヒストグラムが使われてきた。しかしながら実験データの解釈を大きく左右する可能性があるにもかかわらず、ヒストグラムの形を決定的に決めるビン幅は、多くの場合、各研究者が恣意的に決めているという現状がある。またSturgesの方法のような、よく知られているビン幅を決める方法は場当たりの導かれており、必ずしも適切なビン幅を選択するとは限らない。そのため統計理論によって基礎付けされた方法で、適切なビン幅を決める方法を確立することは、一般的に大きな学問的意義があると考えられる。

本論文の主な成果は、イベント生成過程として、各イベントが互いに独立に発生率のみに基づき生成されるポアソン過程を想定し、ヒストグラムと未知の発生率との平均積分二乗誤差を最小化するビン幅を決めることを提案した島崎・篠本らの先行研究(S. Shimazaki & S. Shinomoto, Neural Computation (2007))の方法を、イベント時系列が非ポアソンな場合にも適用できるように拡張したことにある。近年、神経細胞のスパイク発火をはじめとして、地震やその他の自然現象、人間の行動など、さまざまなイベント時系列が系統的にポアソンからずれていることが明らかになってきており、統計解析の際にはそのような非ポアソン性を取り入れることの重要性が強調されてきた。また神経科学では発生頻度の推定が標準的なデータ解析の手続きとして行われていることから、本論文で提案された方法は特にスパイク時系列の解析において有用であるであろうと考えられる。さらに申請者が提案した方法は専門知識無しに簡単に実装できることから、今後多くの研究者に用いられることが期待される。また申請者はこの最適化法の普及のために、この方法をウェブページ上で簡単に利用できるようにしていることもここに書き加えておく。

以上のことから、申請者が学位取得に十分な研究成果を挙げてきたことは明らかである。さらに本論文は理論神経科学分野の一流学術誌であるNeural Computationからすでに出版されている。そして申請者は本論文の研究により、神経回路学会より2011年度奨励賞を受賞している。このことから専門家からも本研究が高く評価されていることがわかる。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た。

平成23年12月28日に論文内容の発表とそれに関連した口頭試問をおこなった。発表では既存の研究の紹介に始まり、研究の位置づけを明らかにしつつ、問題点を整理して開発した最適化法の有効性が報告された。発表は明瞭で、申請者は質問に対し正確な返答を行なった。調査委員会は申請者が学位取得にふさわしい力量の持ち主であると判断し、その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降