論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	弱値増幅における最適プローブと統計的検定
Title(English)	Optimal Probe and Statistical Testing in Weak-Value Amplification
著者(和文)	須佐友紀
Author(English)	Yuki Susa
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10052号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:宗宮 健太郎,旭 耕一郎,西森 秀稔,斎藤 晋,上妻 幹旺,細谷 暁夫, 鹿野 豊
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10052号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	須佐 友紀	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	宗宮 健太郎	准教授	上妻 幹旺	教授
	審査員	旭 耕一郎	教授	細谷 暁夫	名誉教授
		西森 秀稔	教授	鹿野 豊	特任准教授
		斎藤 晋	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文の主題である弱値増幅は弱測定と呼ばれる量子測定概念により特徴付けられるものである。そもそも弱測定とはアハラノフらにより 1988 年に提唱された観測手法である。測定後の状態を指定(ポストセクション)することにより得られた測定前の被測定対象の物理量は弱値と呼ばれる値で与えられる。弱値は始状態と終状態が直交しているようなポストセクションを行なうことで通常の量子測定で得られる固有値より大きな値をとることが出来る。この性質を利用したものを弱値増幅と呼び、精密測定の精度の向上が期待されていた。だが近年、概念提唱時に仮定されていた近似を外した形での定式化がなされ、ガウシアンプローブでは増幅率に限界があるということが示され、また、これをパラメータ推定に応用した際に推定精度の一般的指標であるフィッシャー情報量を計算することにより通常の量子測定より優位性を示すことが出来ないことが判明した。

本博士論文では、弱値増幅の 2 つの異なる応用に関する研究が主題となっている。一つ目は、信号増幅についての研究で、弱測定においても増幅率を最大にするような最適プローブ(波動関数)を導出したものである。従来のガウシアンプローブを用いた際に問題となった増幅率の限界を最適プローブでは克服できる有意義な研究であると言える。二つ目は、数理統計学の 1 つの手法である仮説検定に弱測定を応用することで通常の量子測定と比較して弱測定が優位となる条件が存在することを示したものである。弱値増幅を仮説検定の問題に応用し一定の条件下で肯定的な結論を導いた有意義な研究であると言える。

第 1 章では、弱測定の歴史と本博士論文で扱う問題の背景がまとめられている。本論文の目的が異なる 2 つの視点からとらえた弱値増幅の応用であることが説明されている。

第 2 章では、弱値増幅のレビューがなされている。先行研究ではガウシアンプローブを用いた場合に弱値増幅の増幅率に上限があることが示されていることと、フィッシャー情報量の観点から通常測定より優位でないことが示されていることが説明されている。

第 3 章では、弱値増幅を信号増幅の問題に適用し、増幅率が最大となるような最適プローブを導出し、増幅率が無限大になりうることを示している。本章の内容は本博士論文の 2 つの主張の一つである。

第 4 章では、検定論の議論の準備段階として数理統計学における仮説検定に関する定理と補題がまとめられている。

第 5 章では、検定論に弱値増幅を応用し、一様最強力不偏検定を用いて通常の量子測定と弱測定の場合を比較し、一定の条件下において弱測定の場合の優位性を示している。本章の内容は本博士論文の 2 つの主張の一つである。

第 6 章では、過去に行われた偏光とビームシフトを用いた光学の実験セットアップに即して、検定論に弱値増幅を応用する方法を説明している。

第 7 章では、本博士論文についてまとめている。

本博士論文についてもっとも重要な主張は第 5 章に記された仮説検定における弱測定の優位性である。今回の論文で得られた結論は、一様最強力不偏検定という数理統計学で一般的に知られている手法を用いるために必要な決定関数を発見し、(i) ポストセクションによる測定数のロスを検討せず、(ii) サンプル数は無限大と仮定した際、検定論において通常の量子測定に対する弱測定の優位性は認められる、というものである。2 つの条件が満たされているものの、仮説検定における弱測定の優位性を見出したことが最大の意義である。弱測定の応用手法について詳細に調べた研究結果であると言える。

以上、本論文は弱測定の課題であった、通常の量子測定と比較した場合の実質的な弱測定の優位性という問題に対し、信号増幅という点に着目して従来の限界を突破する手法を発見したものと、検定論における信頼性の向上という優位性を見出したもので、本分野の発展に重要な寄与をする成果である。研究内容の独創性、本人の学識の深さも認められ、博士(理学)として十分な内容である。