The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Extracting the meson form factors from lattice QCD
Author(s)	鈴木, 貴志
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/56077
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　　鈴木　貴志　　）	
論文題名	Extracting the meson form factors from lattice QCD (格子量子色力学による中間子形状因子の決定)

論文内容の要旨

格子量子色力学における中間子形状因子の精密計算は、素粒子論の標準模型を検証するにあたり重要なものである。格子理論を用いた数値計算には系統誤差が現れるため、これを小さく抑えることが物理量の精密決定における一つの課題となっている。そこでこの博士論文では、系統誤差の主要な要因である、有限体積効果、有限格子間隔、カイラル対称性の破れの３つについて考え、形状因子に関係する３点関数の計算において、より良い系統誤差の抑制について研究した。この論文は、以下の二部で構成されている。

第一部では、パイ中間子の形状因子に対する有限体積効果を考え、有限体積効果による系統誤差を抑える方法について研究した。低エネルギー有効理論であるカイラル摂動論のイプシロン展開と呼ばれる展開を用いて３点関数の計算を行い、パイ中間子形状因子に対する有限体積効果を調べた。その結果として、パイ中間子の運動量がゼロのモードの寄与が与える、主要な有限体積効果の補正が現れない相関関数の比を見つけ、有限体積効果による系統誤差が小さく抑えられた形状因子の抽出方法を提案した。この方法を用いることで、通常は有限体積効果による補正が大きい３ｆｍほどの小さな体積での計算であっても、有限体積効果による補正が数%ほどに抑えられることを示した。

第二部は、格子数値計算によるD中間子の形状因子の決定に関するもので、格子数値計算の研究グループであるJLQCDの一員として行った。JLQCDでは、カイラル対称性の破れからくる系統誤差を小さく抑えるため、格子上のフェルミオンの定式化として、メビウスドメインウォールフェルミオンというカイラル対称性を非常に良く保った定式化を用い、格子間隔0.08〜0.04fmという非常に細かな格子間隔で数値計算を行っており、カイラル対称性の破れと有限格子間隔に由来する系統誤差は小さく抑えられていると期待できる。この博士論文では、格子間隔0.08fmで行った格子数値計算からD中間子形状因子の値を計算した。D中間子->パイ中間子、D中間子->K中間子の運動量移行がゼロでの形状因子$f_+(q^2)$の現状結果として、それぞれ、$f_+(0)=0.720(45)(41)$, $f_+(0)=0.757(29)(02)$という結果を得た。これらの値は、これまでの格子数値計算による結果と誤差の範囲で一致しているものである。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　鈴木　貴志　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
主 査	教授	細谷　裕
副 査	教授	大野木哲也
副 査	教授	久野良孝
副 査	准教授	山口　哲
副 査	助教	深谷英則

論文審査の結果の要旨

CERN における大型ハドロン衝突型加速器(LHC)の実験で、2012 年に Higgs 粒子が発見された。これに引き続き、素粒子の標準理論を超える新しい物理の発見も期待されていたが、その直接的な兆候は未だ現れていない。このような現状において、標準理論そのものの精密な検証が重要性を増している。近々計画されている Super B factory の実験では新物理に敏感と考えられているな B 中間子の崩壊過程を大量に測定することで、標準理論では説明できないずれを見いだし、新物理を間接的に発見できる可能性がある。素粒子標準理論の精密検証で不可欠なのが量子色力学（QCD）の非摂動的な計算である。量子色力学は強結合であるがゆえに通常の摂動論ではハドロンの物理を取り扱えない。この困難を克服し非摂動的な解析を可能するものとして格子 QCD による数値シミュレーションがある。しかしながら、物理量を精密に計算するためには、有限な計算資源を扱うことに起因するさまざまな系統誤差をコントロールする必要がある。

本論文「Extracting the meson form factors from lattice QCD（格子量子色力学による中間子形状因子の決定)」では、正確な格子 QCD シミュレーションの実現のため、２つの提案を行い、その有効性を実証することに成功した。１つ目は体積を有限にすることの系統誤差を自動的に相殺させるという新しい手法である。有限体積効果にもっとも敏感と考えられているパイ中間子の有効理論を用いて、その中でも最も有限体積効果に敏感であるゼロ運動量モードの影響を相殺することで、従来の見積もりより小さな体積でも正確な物理量(論文で具体的に計算しているのはパイ中間子の形状因子)の抽出が可能であることを示した。この手法は JLQCD 共同研究における大規模格子 QCD 数値計算に採用され、パイ中間子の荷電半径の理論計算に役立っている。２つ目は、JLQCD 共同研究の一員として行われたメビウス・ドメインウォール・フェルミオンと呼ばれるカイラル対称性をよく保ちつつ、かつ高いカットオフを実現する作用を用いた大規模数値計算における、D 中間子の形状因子の解析である。この研究では、有限格子間隔による系統誤差を抑えつつ、かつカイラル対称性の破れを統計誤差に比べて充分無視できるレベルまで抑えることに成功した。Cabbibo 小林益川行列の精密な理論計算につながる重要な仕事であり、ドメインウォール・フェルミオンで行われた世界初の結果である。斬新なアイディアで、今後、この分野の発展に大きく寄与すると予想される。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。