

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	QCD和則による真空と核物質中でのハドロンスペクトル関数の解析
Title(English)	Spectral Functions of Hadrons in Vacuum and Nuclear Matter from QCD Sum Rules
著者(和文)	大谷圭介
Author(English)	Keisuke Ohtani
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9949号, 授与年月日:2015年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:岡 真,武藤 一雄,肥山 詠美子,今村 洋介,柴田 利明
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9949号, Conferred date:2015/9/25, 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

(博士課程)

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		大谷 圭介	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	岡 真		教授		柴田 利明	教授
	審査員	武藤 一雄		准教授	審査員		
		肥山 詠美子		連携准教授			
		今村 洋介		准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

クォークとグルーオンから作られるハドロンの構造とダイナミクスは、素粒子の標準理論の一環である量子色力学(QCD)によって記述される。QCD では軽いクォーク（アップ、ダウン）の質量は非常に小さく、カイラル対称性が良い近似で成り立つと想定される。しかし対応するハドロンの質量は、クォーク質量よりはるかに大きく、QCD 真空の強い相関でカイラル対称性が自発的に破れていることを示している。また有限密度や有限温度の媒質中では、カイラル対称性の破れに変化が起これと予想される。実際に原子核（物質）中でカイラル対称性が部分的に回復するためにハドロンの質量スペクトルが変化を受けることが理論的に予想され、これを実験室で測定して検証することで、カイラル対称性とハドロンの質量スペクトルの関係を明らかにしようとする試みが進んでいる。この様なカイラル対称性の自発的破れと媒質中でのハドロンの性質との関係は、ハドロン物理学における未解決な重要課題である。

本論文では、ハドロンの相関関数の性質から導いた QCD 和則を用いてこの問題に取り組んでいる。QCD 和則は、過去 30 年間、様々なハドロンに適用されて、QCD の真空中のクォークやグルーオン凝縮とハドロンの質量との関係を明らかにしてきた。同じく進展してきた格子 QCD の手法と相補的に、第一原理から QCD の真空やハドロンの性質を導く手法として広く用いられている。

本論文は “Spectral Functions of Hadrons in Vacuum and Nuclear Matter from QCD Sum Rules” と題し、軽いクォークによって構成されるハドロンの、特に、核子(N)と核子の励起状態(N*)のスペクトルを、真空中と有限密度の核物質中で計算して比較検討することにより、ハドロン中でのカイラル対称性の役割を明らかにすることを目的としている。

第 1 章「序文」に続き、第 2 章と第 3 章で量子色力学(QCD)の紹介と QCD 和則の定式化、ボレル和則とガウス和則、パリティ射影や複素和則の定式化、さらに真空凝縮の性質とその導出などが詳説されている。特に、ガウス和則を用いてパリティ射影を行った今回の計算は、これまで核子(N)の QCD 和則で問題点とされていたいくつかの困難を解決に導いた。第 4 章では、和則からスペクトル関数の情報を引き出す際に情報が不足していることを補うために用いられる、最大エントロピー法の導入と適用方法を説明している。

第 5 章から第 8 章では本論文の主要な結果を提示している。第 5 章はストレンジ(s)クォークからできたベクトル中間子 ϕ の有限密度中での質量変化を QCD 和則により解析した結果を与えている。s クォークの質量が大きいことを反映して ϕ 中間子の質量変化が ρ 中間子とは異なることが初めて指摘された。第 6 章では、真空中での核子の和則を導く。従来のボレル和則では不十分であることが指摘され、新しくガウス和則を導入、最大エントロピー法を適用した世界初の結果が示された。励起状態のスペクトルは相関関数を計算する演算子に依存することを明らかにし、最適な演算子を与えた。第 7 章では、正負パリティを分離する手法を与えるとともに、結合定数の高次項の効果をコントロールするために、ガウス和則を複素平面に拡張する手法を導入した。それにより正パリティの N と負パリティの N*をうまく分離してそれぞれのスペクトル関数を計算することができた。第 8 章では、この和則を有限バリオン密度の核物質中で解析して、N と N*の質量が密度に依存してどのように変化するかを計算した。この計算は過去にも行われていたが、本論文では結合定数の高次項を含む上、最大エントロピー法による解析でスペクトル関数そのものを導出した独創的な結果を得た。また、模型を用いた有効質量やベクトル自己エネルギーの密度依存性の解析も行った。その結果、N の核物質中でのエネルギーはほとんど変化しないがピークの強さが密度とともに減少する、一方で N*はスペクトル関数がほとんど密度に依らないことが明らかになった。この結果は、QCD 和則の密度依存項とカイラル凝縮項とが干渉しあって生じることが分かったが、カイラル対称性の部分的回復から単純に導かれる予想とは反している。第 8 章と第 9 章「結論」では、この結果の物理的な意味を考察するとともに、QCD 和則が持つ不定性でどの程度この結果が左右されるかを議論している。結論として、この研究が核子とその励起状態のスペクトルとカイラル対称性の破れの部分的回復に関して、従来にない新しい見方を与え、今後のこの分野の研究に重要な意味を持つことを指摘した。

以上、本論文は、ハドロン物理学における独創的かつ当該分野に重要な貢献を与える研究成果を提示したもので、博士（理学）の申請論文として十分な内容であることを確認した。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。