氏 名（本 籍 地）	山 田 真 徳
学 位 の 種 類	博 士（ 理 学 ）
学 位 記 番 号	博 甲 第 7223 号
学位授与年月日	平成 27 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審 査 研 究 科	数理物質科学研究科
学 位 論 文 題 目	

A study of the Omega-Omega interaction using the central potential in Lattice QCD
（格子 QCD での中心力ポテンシャルを用いたオメガバリオン間の相互作用に関する研究）

主 査	筑波大学教授	理学博士	金 谷 和 至
副 査	筑波大学教授	理学博士	石 橋 延 幸
副 査	筑波大学准教授	博士（理学）	山 崎 剛
副 査	筑波大学客員教授	理学博士	青 木 慎 也

論 文 の 要 旨

本研究は、QCD 第一原理計算によるハイペロン間核力の研究である。2つのオメガ・バリオン間の静的ポテンシャルを格子 QCD に基づく数値シミュレーションにより計算し、$J^P = 0^+$（角運動量=0, パリティー偶）チャンネルに強い引力を示唆する結果を得た。

物質の最小の構成単位はクォークであり、それが従う強い相互作用は量子色力学(QCD)で記述されている。クォーク間の相互作用は極めて強く、クォークは常温ではハドロンと呼ばれる2体（中間子）もしくは3体（バリオン）の束縛状態でしか存在できない。通常の原子核は、最も軽いｕクォークとｄクォークだけからなるバリオンである陽子と中性子（両者を合わせて「核子」と呼ぶ）から構成されているが、核子間の相互作用はまだ十分に解明されていない。高エネルギー実験により、QCD のパラメータはよくわかっているが、クォークから核子などのハドロンを再現するためには、QCD を非摂動的に計算する理論形式である格子 QCD に基づく大規模な数値シミュレーションが必要である。高速計算機とアルゴリズムの発展により、個々のハドロンの質量や大きさなどの性質を格子 QCD により評価することが出来るようになったが、核力など、複数のハドロン間の相互作用を QCD の第一原理から導くことは、極めて困難と考えられてきた。しかし、2007 年に、当時筑波大学に在籍していた青木教授らのグループにより、ハドロンの南部・ベーテ・サルペータ波動関数からハドロン間ポテンシャルを評価する方法（HAL QCD 法）が開発され、核力を直接 QCD の第一原理から計算することが可能になった。その結果、現象論的に要求されていながら理論的に導くことが出来なかった核力の斥力芯（2つの核子を 0.5fm 程度以内に近づけた時に発生する極めて強い反発力）が、クォークの基礎理論である QCD から確かに導かれることが示された。他方で、高エネルギー実験の進展により、u,d クォークの次に重いｓクォークを含むバリオン（ハイペロン）と核子の相互作用も調べられるようになった。

この論文では、HAL QCD 法を用いて、ハイペロンの一種であるオメガ・バリオン（s クォーク3個からなるバリオン）の相互作用を研究した。オメガ・バリオンは、10重項バリオンでは唯一安定な粒子であり、その2体系に束縛状態が存在するか興味を持たれている。クォーク模型による先行研究ではオメガ・バリオン間に強い引力が予言されているが、別の模型では弱い斥力が示され、模型による不定性がおおきい。QCD 第一原理から直接研究する必要がある。この研究では、計算時間を節約するために、ゲージ配位として、CP-PACS/JLQCD Collaboration と CP-PACS Collaboration により JLDG/ILDG データグリッドに公開されている2個の 2+1 フレーバー格子 QCD 配位を使った。前者は、π 中間子質量～ 880 MeV, オメガ・バリオン質量～ 2100 MeV, 格子サイズ～ 1.9 fm で、後者は、π ～ 700 MeV, オメガ・バリオン～ 1970 MeV, 格子サイズ～ 2.9 fm である。これらの配位上で、オメガ・バリオンの南部・ベーテ・サルペータ波動関数を計算し、HAL QCD 法を用いて、$J^P = 0^+$（角運動量=0, パリティー偶）チャンネルの Omega-Omega 間のポテンシャルを計算した。結果は、どちらの場合も強い引力であった。束縛状態の存在はクォーク6体のエキゾティック粒子の予言とも関係する重要な問題だが、その可能性も含む結果である。

審　査　の　要　旨

〔批評〕

ハイペロンの性質は、低エネルギー原子核実験におけるハイパー核（ハイペロンを含む原子核）だけでなく、中性子星の状態方程式を理解する上でも重要な役割を果たすと考えられている。未知の部分が多く、模型による研究では、定性的性質でも明確な結論を出せないことが多い。HAL QCD 法は QCD 第一原理からバリオン間相互作用（核力）を評価する強力な手法で、ハイペロンの系統的研究が進められている。この研究は、その一環として、2つのオメガ・バリオン間のポテンシャルを計算したものである。u,d クォークの質量が現実のものよりいくらか重く、格子の空間的大きさも十分大きくない、などの制限はあるが、オメガ・バリオン間ポテンシャルを HAL QCD 法により初めて評価し、興味深い結果を得た。現実との直接的比較にはさらなる改良が必要だが、本論文は、理論的考察から数値計算まで丁寧に遂行しており、今後の発展の基礎となる研究である。博士論文として十分な水準にあるものと認められる

〔最終試験結果〕

平成27年2月13日、数理物質科学研究科学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。