

別紙 4

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 格子量子色力学を用いた 4 クォーク演算子によるスカラー中間子の研究

氏 名 若山 将征

論 文 内 容 の 要 旨

「強い相互作用」の基礎理論である量子色力学(QCD)はハドロンやクォーク・グルーオンが関わる多くの現象の記述に成功している。しかし、一方でいくつかの基本的で重要な問題が未解決の問題として残っている。QCD におけるカイラル対称性とその自発的な破れは、ハドロンの低エネルギー領域での振る舞いを理解する上で有効であることが知られている。例えば QCD の低エネルギー有効模型として、南部・Jona-Lasinio 模型を用いると、構成子クォーク質量の約 2 倍の 600~700MeV を持つ軽いスカラー中間子が存在することになる。この軽いスカラー中間子は σ 中間子と呼ばれている。ところがこの軽いスカラー中間子は 1970 年代以降、粒子としての存在が否定されていた。その中、 π 中間子 - π 中間子散乱振幅の精密な位相差解析により 1990 年代の後半より粒子としての軽いスカラー中間子、 σ 中間子の存在が導き出された。しかしこのような軽いスカラー中間子を生み出す物理的な機構は明らかになっていない。単純なクォーク模型、つまり σ 中間子は 2 個のクォークで構成されると考えると、軌道部分が励起状態となるため質量は 1.2-1.3GeV と重くなる。そのため軽い σ 中間子の説明のために様々な研究がなされてきた。例えば有効理論からは、 σ 中間子は 2 個のクォークから成る粒子ではなく、4 個のクォークからなる粒子、あるいは両者の重ね合わせであることが提案されている。また、 σ 中間子は π 中間子 - π 中間子散乱で観測されていることから、2 つの π 中間子を成分とする「分子的」な構造も成分として含まれている可能性も考えられる。

申請者は、第一原理計算である格子 QCD を用いて σ 中間子の組成構造を明らかにすることを目標とした。特に σ 中間子が 4 個のクォークからなる粒子として説明できるのかどうか注目した。まず、動的クォークの質量を無限大にしたクエンチ近似計算のもと、スカラーチャンネルにおいて 4 クォークが束縛状態として存在可能であるかどうかを調べた。先行研究では 4 クォークの束縛状態が存在する兆候が得られていたが、本研究では 4 クォークの束縛状態は見出せなかった。この矛盾は彼らが計算結果の評価を正しく行っていなかったことに起因し、実は彼らの結果も 4 クォークの束縛状態の存在は示していないことがわかった。このようにクエンチ計算のもとでは 4 個のクォークからなる σ 中間子の存在の可能性を示すことはできなかった。次に申請者は動的クォーク効果を取り入れた格子 QCD を用いて σ 中間子の解析を行った。具体的には 4 クォーク演算子 (テトラクォーク演算子、中

間子分子型演算子)を用意しそれらの伝搬関数を計算し、有効質量などの評価を行った。4クォーク演算子から作られる伝搬関数は連結ダイアグラムと非連結ダイアグラム(クォークラインの切れたダイアグラム)を含む。この非連結ダイアグラムを評価することで、このダイアグラムが4クォーク演算子の伝搬関数の振る舞いに重要であることを見出した。しかし、いずれの4クォーク演算子の伝搬関数からもスカラー中間子の存在を示す兆候は得られなかった。