

別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Exploring partial restoration of chiral symmetry
in nuclear matter by means of charmed mesons

(チャームクォークを含む中間子を用いた核物質中での
カイラル対称性の部分的回復の探求)

氏 名 末永 大輝

論 文 内 容 の 要 旨

核子やパイ中間子等ハドロンはクォークと呼ばれる素粒子の複合粒子であり、それらは量子色力学(QCD)に基づき束縛している。しかし QCD は低エネルギー領域では非摂動に振る舞い、さらに理論の非可換性も相まって、その束縛過程の理解は容易ではない。一方 QCD はカイラル対称性と呼ばれる対称性を持ち、「カイラル対称性の自発的破れ」という考え方を用いれば、ハドロン質量やパイ中間子の力学等は定性的に理解される。すなわちカイラル対称性は、我々の質量の起源にも関わる重要な対称性である。我々の世界で自発的に破れているこのカイラル対称性は、核物質中では回復に向かうと期待されている。本論文では、反 D 中間子と呼ばれるチャームクォークを含む中間子が、核物質中でのカイラル対称性の部分的回復を調べるプローブとなり得ることを示した。

本論文では、核物質は線形シグマ模型やパリティ二重項模型といったカイラル有効模型を基に構築され、反 D 中間子はカイラルパートナー構造により導入される。カイラルパートナー構造の文脈では、正パリティ中間子の質量と負パリティ中間子の質量の差は、カイラル対称性の自発的破れにより生成される。従って申請者は、正パリティ反 D 中間子と負パリティ反 D 中間子の核物質中での質量とスペクトル関数を、カイラル対称性と無矛盾に調べた。

初めに、線形シグマ模型を用いて核物質を構築し、低密度での正パリティ反 D 中間子と負パリティ反 D 中間子の質量とスペクトル関数を調べた。その結果、密度が上がるにつれて、カイラル対称性の部分的回復に伴い、正パリティ反 D 中間子の質量が下がり負パリティ反 D 中間子の質量が上がることを見た。さらに正パリティ反 D 中間子のスペクトル関数に 3 つのピークの出現を見た。一つ目のピークは共鳴状態に対応し、密度を上げるにつれてそのピーク位置は低エネルギー側に移

動した。二つ目のピークは閾値エンハンスメントに対応し、密度が上がるにつれて著しく鋭く高く立つことを見た。すなわち、このピークが核物質中でのカイラル対称性の部分的回復を観測する際の良いプローブとなることを示す。三つ目のピークはランダウ減衰に対応し、密度が上がるにつれて徐々に成長した。

線形シグマ模型は、カイラル対称性の自発的破れと核子の質量生成機構を示す最も単純な有効模型の一つであるが、標準原子核密度よりも低密度の振る舞いに対してのみ適用可能である。一方、複雑ではあるが標準原子核密度での物理を再現可能な有効模型として、パリティ二重項模型が存在する。そこで次に、標準原子核密度でのカイラル対称性の部分的回復を調べるべく、パリティ二重項模型を用いて構築した核物質中での正パリティ反 D 中間子のスペクトル関数を調べた。パリティ二重項模型によれば、核子の質量は一部分のみカイラル対称性の自発的破れに起因し、カイラル対称性の自発的破れとは無関係な部分的質量「カイラル不変質量」を持つ。しかしこのカイラル不変質量の値は理解されていない。従って、標準原子核密度での正パリティ反 D 中間子のスペクトル関数の、カイラル不変質量依存性を調べた。その結果、スペクトル関数に2つのピークの出現を見た。一つ目のピークは共鳴状態に対応し、そのピーク位置はカイラル不変質量の値を大きくするとより低エネルギー側に移動した。二つ目のピークは閾値エンハンスメントに対応し、そのピーク位置はカイラル不変質量の値を大きくするとより高エネルギー側に移動した。これらの違いは、カイラル不変質量の値を大きく取るほど核物質中でのカイラル対称性の部分的回復が早まることを反映している。

核物質中での正パリティ反 D 中間子のスペクトル関数は、例えば反陽子・原子核衝突実験における二重微分散乱断面積と呼ばれる観測量に反映される。この衝突実験は、FAIR (ドイツ) や J-PARC (日本) 等の実験施設で将来可能になると思われる。すなわち本論文の結果は、これらの実験施設における将来実験に対して、核物質中でのカイラル対称性の部分的回復の大きさとカイラル不変質量の値を知る、良い手がかりを与えると期待出来る。