

氏 名	藤 田 匡
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2030 号
学位授与の日付	平成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	クォーク模型による核子-核子, ハイペロン-核子相互作用の散乱 の観測の研究 (主査)
論文調査委員	教授 堀内 昶 教授 今井 憲一 助教授 初田 哲男

論 文 内 容 の 要 旨

申請者は、強い相互作用の基本的法則である量子色力学 (QCD) の重要な特徴を備えた構成子クォーク模型を用いて、実験データの豊富な核子間相互作用 (核力, あるいは NN 相互作用) といまだその性質が十分解明されていないハイペロン-核子 (YN) 相互作用の双方について、散乱観測量の系統的理論研究を行った。

用いられた模型は、FSS 及び RGM-H と呼ばれる NN と YN 相互作用を統一的に記述することを目指して作られた模型で、いずれも共鳴群法を用いて定式化されおり、クォーク間の相互作用を設定するとフェルミ粒子としてのクォーク間のパウリ原理を正しく扱いつつ相対運動を不確定さなしに記述することができるという利点を持つ。クォーク間相互作用としては現象論的閉じ込めポテンシャル、クォーク質量の違いによるフレーバー対称性の破れを正確に取り込んだ color Fermi-Breit 相互作用、さらに有効中間子交換ポテンシャルとしてスカラー及び擬スカラー中間子交換ポテンシャルを導入している。FSS と RGM-H は、この最後の有効中間子交換ポテンシャルの取扱いだけが多少異なっており、いずれも一中間子交換模型 (OBEP) の約半数のパラメータ (14 個) が重陽子の束縛エネルギー、NN 散乱の 1S_0 散乱長、250 MeV 以下の S-波、P-波の位相差、低エネルギー YN 断面積の実験データを合わせるように決定されている。

これらの模型により、重陽子の種々の性質をはじめ、np, pp 弾性散乱の実験室系でのエネルギー 800 MeV にわたる非常に広いエネルギー領域での微分断面積、及び種々のスピン偏極量が同一の枠組み、かつ同一のパラメータで定性的に再現された。しかし、300 MeV を越える中高エネルギー領域においては spin-spin 力の記述、S 中間子交換直接項の引力の振る舞いなどに依然模型の改善の余地が残されていることが分かった。

次に、ハイペロン-核子散乱の低エネルギー領域での数少ない実験データを定性的に再現していることを確かめた上で、いまだ実験データが存在しない中間エネルギー領域 ($p_{lab} < 600 \text{ MeV}/c$) で $\Sigma^+ p$ 及び Λp 散乱の様々な散乱観測量の理論的予測を中間子交換模型のそれと比較したところ、大きな模型依存性がみられ、正しい相互作用の理解のためには新しい実験的研究からの情報が必要であることが分かった。特に、最近 KEK において実験が行われた $p_z = 300\text{-}600 \text{ MeV}/c$ 領域での微分断面積のデータとの比較を行ったが、今のところデータの統計性が十分ではなく、 3S_1 と 1P_1 状態における $\Sigma^+ p$ 相互作用について新しい情報を引き出すことは困難であった。

Λp 系については、 ΣN 敷居値以下のエネルギー領域で微分断面積と polarization のみならずより複雑な depolarization や Wolfenstein パラメータを検討した。まず、全断面積にみられる cusp 構造は一パイ中間子交換によるテンソル力に起因する強い $\Lambda N^3S_1 - \Lambda N^3S_1 - \Sigma N^3S_1$ ($I=1/2$) チャネル結合によって引き起こされるが、このテンソル力による結合は ΣN 敷居値より低いエネルギーにおいても、 $\Lambda N S_1$ 状態に大きく影響する。 3S_1 状態 1S_0 状態における引力の差は低エネルギー ($p_{lab} \leq 300 \text{ MeV}/c$) での depolarization に反映される。FSS と GM-H は 1S_1 状態の引力が強すぎ、 3S_0 状態のそれは弱すぎるようである。p-波相互作用は中心力のみ考慮した場合は斥力的であるが、(LS 力反対称 LS 力 ($LS^{(-)}$ 力) による強い $\Lambda N - \Sigma N$ ($I=1/2$) チャネル結合の効果により最終的には弱い引力となる。このことは、微分断面積の前方後方比 F/B にも現れている。

LS⁽⁻⁾力の直接的な検証には、散乱 Λ 粒子の偏極と反跳 p 粒子の偏極とが $p_{\Lambda}=400$ MeV/cでほぼ逆符号となっていることが利用できる。このLS⁽⁻⁾力の効果は、FSSで ΣN 数居値での cusp 構造が大きく成長する原因にもなっている。FSSとRGM-Hによる $p_{\Lambda}=600$ MeV/cでのWolfenstein parameterを検討したところ、 $\Lambda N-\Sigma N(I=1/2)$ チャネル結合の様相の違いからFSSとRGM-Hによる予測値は大きく異なっており、様々なOBEPの予測の間での違いと同程度の差があることが分かった。これは現段階では Λp 相互作用の全体像を得るためには実験からの情報が絶対的に不足していることを示している。

さらに、 Σ^-p 低エネルギー散乱をチャネル結合有効距離理論を用いて分析した結果、この場合にも上記の $\Sigma N-\Lambda n$ チャネル結合が大変重要であることが分かった。パイ中間子交換テンソル力は、 Σ^-p 系の Σ^0p 及び Λn チャネルへの静的非弾性捕獲比を正しく再現するために重要である。また、有限エネルギー領域では、color Fermi Breit 相互作用に起因するLS⁽⁻⁾力も重要であり、特に $\Sigma N(I=1/2)^3P_1$ 状態にクォークパウリ原理の効果として元来存在する共鳴は、このアイソスピンチャネルにおける中心力引力の強さに応じて、 ΛN チャネルの 3P_1 状態に移動したり (FSSの場合)、 $\Sigma N(I=1/2)^3P_1$ 状態にとどまったり (RGM-Hの場合) することが明らかになった。これらの非中心力の果たす役割の検討を、 ΣN 系、 ΛN 散乱過程の両面から統一的に進めていくことが必要であることが分かった。

論文審査の結果の要旨

湯川の中間子論に端を発する核力と強い相互作用の研究は、70年代末の強い相互作用の基本法則である量子色力学(QCD)の確立によって新しい局面を迎えた。QCDに基づけば、強い相互作用の基本的構成要素はカラー自由度をもったクォークとグルオンであり、核子やハイペロンは簡単には3個のクォークからなるスピン1/2の複合粒子である。クォークは更にアイソスピンやストレンジネス等のフレーバー内部自由度をもっており、それにより多彩なハドロン現象が発生する。核力やハイペロン-核子相互作用は、クォークとグルオンの複雑な非摂動的動力学のハドロンレベルでの発露であり、本来QCDの第一原理から理解されるべきものではあるが、その実現は今のところ不可能に近い。構成子クォーク模型をはじめとするQCDの特徴を具現した低エネルギー有効模型による核力の研究が早い時期から行われているが、それをストレンジネスを含んだハイペロン-核子相互作用にまで拡張することは未だ十分行われていない。その最大の理由は、勿論二体素過程散乱実験が多く困難を含むことによる実験データの絶対的不足である。

核力については既に実験データを見事に再現する中間子模型が幾つも提出されているが、クォーク模型には核力とハイペロン-核子相互作用をフレーバー依存性の立場から同等に扱い、同一の枠組み、同一のパラメータでこれらの相互作用を同時に記述することによって豊富な核力の実験データをハイペロン-核子相互作用に役立たせることが、中間子交換模型と比べて比較的容易であるという利点が存在する。(中間子交換模型では、現象論的に記述する短距離部分の相互作用の決定は実験データなしでは不可能であり、このためSU₃対称性等による制限を手で補っている。)他方、単純な(3q)-(3q)共鳴群模型では、中距離、遠距離領域で実体的意味を持つ中間子交換効果を表現することは出来ないことが分かっており、実験データを再現する現実的模型の構築には、何らかの中間子交換効果を補ってやらなければならない。FSS、RGM-Hと呼ばれる模型では、これをクォーク間に働く有効中間子交換ポテンシャルの形で導入しているが、依然その選択には多くの不定性が残されており、それは実験データとの詳細な比較検討によってのみ優劣をつけることが可能である。

この点で、本申請者の研究は現存する数少ないハイペロン-核子相互作用の実験データのみならず、現在我が国で計画されている50GeV大強度加速器計画一部をなすハイペロン-核子散乱実験から期待される多くの貴重な実験データを射程に入れた理論的研究として重要な意味を持つ。

本申請者は、まず、模型の質を確かめる目的で実験データの豊富な核力について種々の散乱偏極量を検討した。重陽子から800MeVに至る非常に広いエネルギー領域について、定性的にはあれ実験データを再現できたことは大きな成果である。勿論、300MeV領域までのハイペロン-核子相互作用で当面問題となるエネルギー領域では、実験との一致は中間子交換模型に及ばないが、世界に二つ、三つ存在するクォーク模型による計算のなかで最良である。更に、800MeVまでの散乱データを検討した例は他にはない。中間子交換模型ですら、800MeVまでの散乱偏極量の全てについて、単一の枠組み、同一のパラメータセットで実験を再現するのは非常に難しい。

次に、本申請者はもっとも単純なストレンジネスを持つ系である Σ^+p 散乱について実験データのない中間エネルギー領

域まで計算を進め、既に出されている幾つかの中間子交換モデルによる予想と比較検討し、モデルによる大きな差を見だし、その理由を核力で普通に行われる様に散乱観測量と位相差との相関を利用して明らかにした。こうした分析は中間子交換モデルではこれまで全く行われておらず、本申請者の指摘はこの分野の多くの研究者が認めるところとなっている。近年、KEKで得られた微分断面積のデータは残念ながら統計性が未だ不十分で、 Σ^+p 相互作用に関する何らかの新しい結論が得られるまでには至っていないが、大いに将来が期待される。

Λp 散乱と Σ^-p 散乱については、これらの系がお互いにかみあっているために事情はさらに複雑で、核力からの類推がほとんど役に立たない領域である。これらの系については、本申請者はFSSとRGM-Hの間でも大きな差異が存在し、それにはS-波、D-波に働く強い π -パイ中間子交換テンソル力によるチャンネル結合と、P-波における核力にはなかった反対称LS力 (LS^{\prime} 力) によるスピン1重項状態と3重項状態の結合の双方が重要であるということを指摘した。特に、後者の指摘はこれまで皆無であり、将来中間エネルギー領域の実験データが出始めるとその重要性が認識されるはずである。

勿論、 Λp 散乱と Σ^-p 散乱の記述にはモデル自身の不十分さがあちこちに現れはじめており、得られた成果は全く十分でないが、将来新しい実験データが現れはじめる時のための最低限の理論的準備はこの研究成果によりなされたと認められる。よって本申請論文は、審査の結果、博士(理学)の学位論文として価値のあるものと認定した。

なお、論文内容とそれに関連した口頭試問をした結果、合格と認めた。