

中性子-陽子散乱の理論的解析*

吉野 浩生**

広島大学大学院生物圏科学研究科

Theoretical study of Neutron-Proton Scattering

Hiro YOSHINO

Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University,
Higashi-Hiroshima 739, Japan

要 旨

物質の基本的相互作用には、重力相互作用、電磁相互作用、強い相互作用及び弱い相互作用の4種類があることが知られている。この4種類の相互作用は、初期宇宙においてビッグ・バンにより高温・高密度のクォーク流体が空間的に拡がるにつれ、四つの相転移によって枝分かれしたものであると考えられるに至っている。その内、電磁的相互作用と弱い相互作用の枝分かれ(第3の相転移)は、既に観測されたといつて良い。第4の相転移であるクォーク・グルオン相からハドロン相への転移温度は、既に陽子シンクロトロン加速器による衝突エネルギー領域にあると考えられている。そこで、クォーク・グルオン流体からどのような形で陽子が誕生し、核物質が形成され、多くのハドロンが生まれるにいたったか、強い相互作用の詳細の解明に興味を持たれる。本研究はそのような強い相互作用の詳細を明らかにしようとする研究分野の一端を担うものである。

1950年代になって、 π 中間子と陽子の衝突実験において、共鳴現象(Δ^{++})が確認された。その後、非常に多くの中間子-核子及び中間子相互の共鳴粒子が発見された。これらの共鳴粒子はいずれも強い相互作用をすることから総称してハドロンと呼ばれる。ハドロンは、バリオン数(B)と呼ばれる量子数が1のバリオン(重粒子)と、バリオン数0のメソン(中間子)とに大別される。

1956年、陽子、中性子、 Λ 粒子を基本粒子とし、ハドロンはこれらの基本粒子の複合状態とする坂田模型が発表され、Ogawa等によってU(3)理論に基づく質量公式が導かれた。しかし、この理論はメソンの質量分布の説明には成功したが、バリオンについてはうまくいかなかった。その後、Gell-MannとZweigは、クォーク模型を提唱し、SU(3)理論によってハドロンの質量公式を導くことに成功した。

これまでは、 $B=0$ 及び1の粒子しか見つかっていなかったが、 $B=0$ と1以外の粒子の存在は許されないとする禁止則が見い出されているわけではない。 $B=2$ のバリオン、すなわちダイバリオンが存在する可能性がある。

1970年代の後半、米国アルゴンヌ研究所において陽子-陽子散乱のスピン偏極実験が行われ、陽子の実験室系の入射運動エネルギー $T_L = 1 \sim 10$ GeV の領域でスピン相関係数の測定がなされた。その結果、観測量の中に共鳴現象らしい構造が $T_L = 1 \sim 2$ GeV の領域で発見され、ダイ

バリオンの存在の可能性が指摘された。これら陽子-陽子散乱の実験データの位相差分析によってアイソスピン $I=1$ チャンネルでは、 1D_2 ($M=2160$ MeV, $\Gamma=40$ MeV) と 3F_3 ($M=2220$ MeV, $\Gamma=120$ MeV) の部分波にダイバリオンの存在の可能性が示唆され(1)、その後の研究によって認められてきている。

近年、800 MeV 以下のエネルギー領域で中性子-陽子散乱の実験データの充実が著しく、いくつかのグループによって位相差分析が行われている。Hoshizaki *et al.* (2)は、その分析に基づいて $I=0$ チャンネルに $J^P=1^-$, $M=2168$ MeV, $\Gamma=25$ MeV のダイバリオンが存在する可能性を示唆している。また最近では 800 MeV から 1100 MeV のエネルギー領域でも、SATURNE II (仏) で中性子-陽子散乱の偏極実験が行われ、このエネルギー領域でも実験データがかなり充実してきている。

本研究では、低エネルギーで開発された核子-核子散乱の位相差分析のソフトウェアを中間エネルギー領域に適用できる形に発展させ、それを用いて $T_L=500 \sim 1090$ MeV のエネルギー領域の中性子-陽子散乱の実験データの位相差分析を遂行した。その分析の詳細は、次の通りである。

- 1) 非弾性効果は、1 GeV 以下では 99% 1π 中間子生成に依るが、1 GeV 以上では $np \rightarrow d(\pi\pi)^0$ 反応の閾値効果などによって特定の部分波に吸収が強くなる可能性が生まれる。そこで、1 GeV 以上のデータの充実に伴う位相差分析の発展に備え、この反応の閾値効果を調べた。
- 2) VerWest & Arndt (3)は、中性子-陽子非弾性散乱の全断面積 (σ_r) の $I=1$ 成分 ($\sigma_r^{(0)}$) は、アイソスピン不変性から 800 MeV 以下で基本的に 0 と見なして、 $I=0$ チャンネルの非弾性共鳴は存在しないとした。これに対し、Bystricky *et al.* (4) は、アイソスピン不変性は壊れているとして、あらゆるデータから σ_r を導き出した。そして、600 MeV で、 $\sigma_r^{(0)}$ は、 σ_r の約 67% と評価し、 $I=0$ チャンネルの非弾性共鳴は存在し得るとしている。この主張の相違について検討を加えた。
- 3) $T_L=500 \sim 1090$ MeV の領域で、実験データが充実しているエネルギー点の 10 ポイントで、位相差分析を行った。位相差分析には single-energy analysis (SEA) と、energy-dependent analysis (EDA) とがある。データベースが充実していない場合は、EDA を行わざるを得ない。このエネルギー領域でデータが比較的充実している 10 ポイントを選び、各エネルギー点で SEA を実行して部分波振幅の決定を試みた。
次に、Hoshizaki の示唆する 1P_1 状態の狭幅共鳴の検証のために $T_L=500 \sim 800$ MeV の領域で、実験データのエネルギー従属性を充分考慮することで、解にエネルギー依存性を反映させる semi-EDA を行った。
- 4) 以上の位相差分析によって決定された部分波振幅のアーガンド・ダイアグラムを求め、ダイバリオンの探索を行った。
- 5) 以上の分析に基づき、このエネルギー領域における散乱振幅の一意的決定に必要な実験の提案を行った。

本研究で得られた結果は以下の通りである。

- 1) について： σ 中間子生成モデルを使って $np \rightarrow d(\pi\pi)^0$ 反応の散乱振幅を計算した。この反応では中性子の入射運動量が充分大きいとき、重陽子の質量欠損スペクトルの 2 個の π 中間子の質量 (約 310 MeV) に対応する運動量の近傍に非常に強いピークがみられる。この効果は Abachan, Booth 及び Crowe によって初めて $nd \rightarrow ^3He(\pi\pi)^0$ 反応で観測され、その頭文字をとって ABC 効果と呼ばれる(5)。

運動量が低いため ABC 効果のピークが見られない 1.46 GeV/c の実験データは、これまでに提

唱されていたモデルでは説明できなかったが、 σ 中間子生成モデルによって説明することに成功した。また、ABCピークの見られる1.9 GeV/cの実験データの 2π 生成部分の大きさを再現することができた。

この散乱振幅を使って、全断面積と 3S_1 , 1P_1 , 3D_1 及び 3D_2 状態の部分断面積を求めた。全断面積は、入射運動量が1.4 GeV/cを越えるあたりから急激に大きくなり、部分波の全断面積への寄与は、 3S_1 状態からのものが支配的であることがわかった。また、 3D_1 からの寄与もかなり大きく、中性子-陽子散乱の位相差分析を行う際、これらの部分波の全断面積への寄与を考慮する必要がある。

2)について： $\sigma_r^{(0)}$ については、アイソスピン不変性を壊すことなく σ_r の約20%であることを示し得た。このことによって、幅の狭い $I=0$ の非弾性共鳴の存在の可能性があり、この評価は位相差分析の結果とも一致することが明らかとなった。

3)4)5)について：SEAによって、 $T_L=500 \sim 1090$ MeVの領域で散乱振幅を決定した結果、 3D_1 状態のアーガンドダイアグラムに反時計廻りの振る舞いの可能性があることがわかった。

この振る舞いの検証のために $T_L \sim 600$ MeV 辺りで $\Delta\sigma_T$ の測定が望まれる。

Hoshizakiの示唆する 1P_1 状態の狭幅共鳴の共鳴点は630 MeVである。従って、この検証を行うためには、 $T_L=500 \sim 750$ MeVの領域で位相差分析を行わねばならない。しかし、この間で実験データの充実しているエネルギー点は、500, 580, 630及び730 MeVの4ポイントしかない。従って、この間で、EDAを行うしかないが、EDAは、散乱振幅のエネルギー依存性に関数型を仮定するため、観測データのエネルギー依存性の平滑化を避けられない。そこで、本研究では、微分断面積と A_{NN} データのエネルギー従属性が特に高いことに着目し、この二種のデータについてスプライン関数補間法によるデータ補間を行い、得られた準データ(pseudo data)を用いることによって準エネルギー従属な位相差分析(semi-EDA)を行い、 $T_L \sim 600$ MeV 付近の $\Delta\sigma_L$ によくあう解を求めた。その結果、アーガンドダイアグラムにSEAでは見られなかった 1P_1 状態の反時計廻りの振る舞いを検出した。また、得られた $\sigma_r^{(0)}$ の値は、2)の結果と矛盾しないものであった。この振る舞いの検証のために $\Delta\sigma_L$ の追実験が望まれる。

参 考 文 献

- (1) R. A. Arndt *et al.*, Phys. Lett. **67B**(1977), 113; I. P. Arer *et al.*, *ibid.* **70B**(1977), 475; I. P. Auer *et al.*, Phys. Rev. Lett. **41**(1978), 354.
- (2) N. Hoshizaki and T. Watanabe, Prog. Theor. Phys. **86**(1991), 321; *ibid.* **86**(1991), 327.
- (3) B. J. VerWest and R. A. Arndt, Phys. Rev. **C25**(1982), 1979.
- (4) J. Bystricky *et al.*, J. Phys. **48**(1978), 1901.
- (5) A. Abashan, N. E. Booth and K. M. Crowe, Phys. Rev. Lett. **5**(1960), 258.