

# 垣間見えてきたダブルハイパー核の構造



仲澤 和馬

岐阜大学教育学部・工学研究科  
nakazawa@gifu-u.ac.jp

原子核は通常、 $u$  (アップ),  $d$  (ダウン) クォークが構成要素の陽子 ( $p$ ) と中性子 ( $n$ ) 「核子と総称」でできている。加速器を用いると核子の仲間であり、第3の  $s$  (ストレンジ) クォークを含むハイペロンを作成できる。核子とは異粒子のハイペロンは、パウリの排他律に抵触せずに核の深部にまで到達できる。すると、核子とハイペロンだけでなくハイペロンどうしの相互作用 (引力か斥力か、など) を、 $u$ ,  $d$ ,  $s$  クォーク3つで作られる8種の粒子間で統一的に調べることができる。

一方このハイペロンは、宇宙で最高密度の中性子星の中に出現すると考えられている。バリオン間の相互作用の理解が進めば、中性子星の内部構造を解き明かすヒントが得られると期待されている。

我々は、 $s$  クォーク2個が関与する相互作用の理解を進めてきた。二つの  $\Lambda$  粒子間、 $\Xi$  粒子と核子の間の相互作用である。1963年、このような  $s$  クォーク2個を含む原子核：ダブルハイパー核が、原子核乾板 (以下、乾板とする) 中に発見されたと報告された。

ダブルハイパー核を作るには、 $\Xi^-$  ( $dss$ ) 粒子を乾板中でそっと止めて、乾板を構成する原子核に吸収させるのが効率的に思われる。相互作用を知るには、 $\Xi^-$  粒子がどの程度深く束縛するか、また吸収した核の内部の陽子と  $\Xi^-$  粒子との反応で作られる  $\Lambda(uds)$  粒子二つが核内にどの程度束縛されるかを測定する必要がある。それには、通常の原子核で質量欠損を測り核子間の相互作用を知るのと同様に、ダブルハイパー核の質量欠損を測定すればよい。質量欠損は、ダブルハイパー核の生成・崩壊に関連

するすべての荷電粒子の飛跡の長さから得られるそれぞれの運動エネルギー、および運動量保存から求められる。

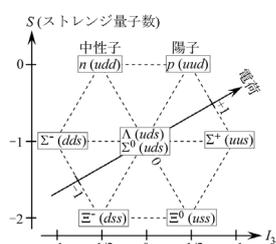
我々は、30年以上にわたりダブルハイパー核探査実験を進めてきた。1991年に、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) で  $K^-$  ビームを照射した原子核乾板中に、ダブルハイパー核が確かに存在することを確認した (E176 実験)。それ以降、やはり KEK で実施した E373 実験、さらに大強度陽子加速器 (J-PARC) を使った E07 実験を遂行してきた。現在までにそれらの実験から、47例のダブルハイパー核候補事象を原子核乾板で検出した。

$\Xi^-$  粒子が  $^{14}\text{N}$  に深く束縛した原子核 ( $\Xi$  ハイパー核) では、その束縛エネルギー ( $B_{\Xi^-}$ ) から、強い相互作用が関与する  $s$ -orbit (基底状態) と  $p$ -orbit (第1励起状態) に対応すると考えられる準位構造が見えてきた。一方、二つの  $\Lambda$  粒子を束縛した原子核 (ダブル  $\Lambda$  ハイパー核) では、その束縛エネルギー ( $B_{\Lambda\Lambda}$ ) が原子量に対して直線的に変化するという興味深いようすが見えてきた。 $\Lambda$  粒子間の相互作用エネルギー ( $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ ) から、核種によって強さの相違は見られるものの、 $\Lambda$  粒子同士の間には弱い引力的な相互作用のはたらくこともわかってきた。

原子核乳剤を2.1トン使った、世界最大規模の E07 実験に使用した乾板には、まだ多くのダブルハイパー核事象が眠っている。乾板全面で探査・検出すべく、読み取り装置の高速化と機械学習モデルの開発を進め、数年後には多くの新たな知見が得られるものと期待している。

## 用語解説

### ハイペロン：



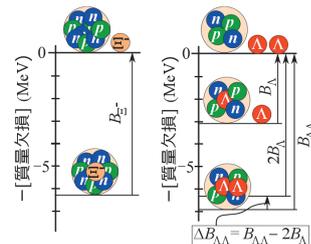
スピン-パリティが  $1/2^+$  の粒子8個が8重項を構成する。 $S$  が0でない粒子をハイペロンと呼ぶ。

### 原子核乾板 (乾板)：

ゼラチンに臭化銀 ( $\text{AgBr}$ ) 結晶を混ぜた特殊な乳剤を乾燥させたもの。荷電粒子に感度があり、現象すると飛跡が残る。顕微鏡で乾板内部の反応などを観察する。

### ダブルハイパー核の $B_{\Xi^-}$ , $B_{\Lambda\Lambda}$ , $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ ：

$\Xi$  ハイパー核    ダブル  $\Lambda$  ハイパー核



$\Xi$  ハイパー核では、 $\Xi^-$  粒子の束縛エネルギー ( $B_{\Xi^-}$ ) を測定する。ダブル  $\Lambda$  ハイパー核では、二つの  $\Lambda$  粒子の束縛エネルギー ( $B_{\Lambda\Lambda}$ ) が測定される。 $\Lambda$ - $\Lambda$  間の相互作用エネルギー ( $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ ) は、 $B_{\Lambda\Lambda}$  と  $2B_{\Lambda}$  との差で与えられ、正 (負) の場合に  $\Lambda$ - $\Lambda$  間の相互作用が引力 (斥力) 的と考えられる。