

**研究内容と実験計画の状況**

中性子核物質の高密度領域での状態方程式 (EOS) の構築に不可欠なストレンジネス (S)  $-2$  のバリオン間相互作用、 $\Lambda\Lambda$ 、 $\Xi N$ 、 $\Xi N \rightarrow \Lambda\Lambda$  相互作用の情報を与える J-PARC ハドロン施設でダブル・ストレンジネス系の実験研究を行う。本計画研究でターゲットとする実験は、(1) 大立体角ハイペロン崩壊スペクトロメータによる  $\Lambda\Lambda$  相関等の測定 (J-PARC E42 実験) (2) エマルジョン実験によるダブル・ストレンジネス系事象の測定 (J-PARC E07 実験)、(3) (K<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>) 反応分光による  $\Xi$  ハイパー核分光実験 (J-PARC E05 実験) である。(図 1) これらの実験は、国際的なコラボレーションで行われており、本計画研究での資金は、主に以下の 3 項目に使用する予定である。(A) これらの実験が行われる K1.8 ビームラインの検出器・データ収集系など基盤設備の改良による性能向上。(B) J-PARC E07 実験でのエマルジョン (一部) の製作やその画像解析装置の改良、並びに散乱 K<sup>+</sup> を測定する KURAMA スペクトロメータ系等の製作・整備。(C) ハイペロン崩壊スペクトロメータのうち、超伝導ソレノイド電磁石の製作、及び、飛跡検出器であるタイムプロジェクションチェンバー (Hyp-TPC) の信号読み出し回路系の開発と製作を行う。

**A01 多重ストレンジネスのバリオン間相互作用**

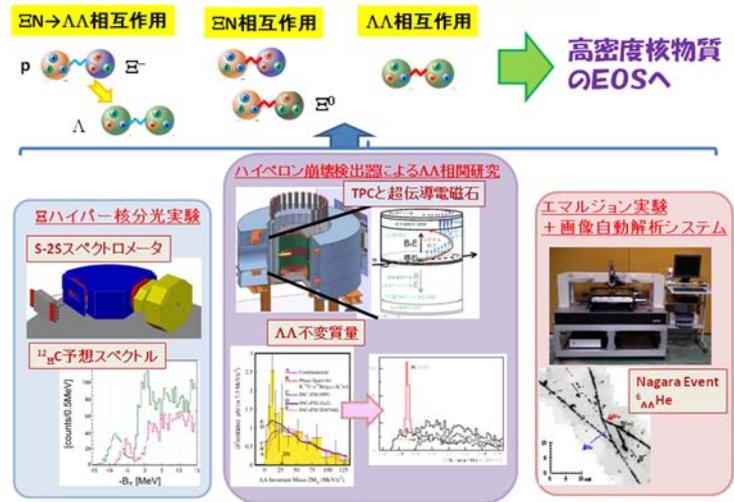


図 1 本計画研究で行う実験と得たい情報。

2013 年 5 月に起きた J-PARC ハドロン施設での事故による運転停止は H26 年度も続き、H27 年度初頭の再開の見込みとなり、当初計画から 2 年弱の遅れで実験が遂行できる見込みとなった。

**全面スキャン法による世界初の  $\Xi$  ハイパー核事象 (KISO 事象) の発見**

以上のような苦境のなか、前年度に完成し、システムの試験を行っていた全面スキャン法を過去にビーム照射したエマルジョンに適用し、 $\Xi$  粒子が原子核に強い相互作用で束縛した  $\Xi$  ハイパー核事象を世界で初めて発見した。この事象を KISO 事象と名付けた (図 2)。全面スキャン法によるエマルジョン探索では、従来のハイブリッド法とは違い、検出器系の情報を一切使用せず、ダブル・ストレンジネス原子核事象に特徴的な、3 つ以上の分岐点 (生成で 1 つ、2 回の弱崩壊で 2 つ) を探す方法である。見つかったいくつかの候補事象を詳しく解析したところ、この事象は、一意的に以下の反応であると同定できた。

$\Xi^- + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{10}\Lambda\text{Be} (\#1) + {}^5\Lambda\text{He} (\#2)$  (A),  ${}^{10}\Lambda\text{Be} \rightarrow {}^8\text{Li} (\#3) + \text{p} (\#4) + \text{n} (\text{B})$ ,  ${}^5\Lambda\text{He} \rightarrow \text{p} (\#7) + \text{d} (\#8) + 2\text{n} (\text{C})$ , and  ${}^8\text{Li} \rightarrow {}^8\text{Be}^*(2^+) + \text{e}^- + \nu_e^{\text{bar}}$ ,  ${}^8\text{Be}^*(2^+) \rightarrow 2\alpha (\#5, 6)$ 。ただし終状態の  ${}^{10}\Lambda\text{Be}$  については基底状態か励起状態かの不定性は残る。

知られている  ${}^{10}\Lambda\text{Be}$ ,  ${}^5\Lambda\text{He}$  の質量やそれらの飛程から始状態の  $\Xi$  の束縛エネルギーを求めると  ${}^{10}\Lambda\text{Be}$ ,  ${}^5\Lambda\text{He}$  とともに基底状態であるとする  $4.38 \pm 0.25$  MeV、励起状態 (そのエネルギーは測定されておらず、理論予想を用いる) の可能性を考慮しても、 $1.11 \pm 0.25$  MeV 以上であり、 $\Xi$  の 3D 原子軌道のエネルギー  $-0.17$  MeV に対して有意に深く、 $\Xi$  が強い相互作用で束縛した  $\Xi$  ハイパー核状態であることを結論づけた。これは世界初となる  $\Xi$  ハイパー核の発見であり、その結果、 **$\Xi$  ハイパー核の存在が確立**し、また、これから大きさの不定性が残るものの  **$\Xi$  の原子核ポテンシャルやその基となる  $\Xi$  粒子と核子間相互作用は引力**であることが確定した。このことは、高密度の中性子星核物質中で  $\Xi$  粒子は出現することを示唆し、EOS の軟化をもたらすことになる。太陽質量の 2 倍の質量を持つ中性子星の存在と矛盾を意味するハイペロンパズルの謎は深まったともいえる。

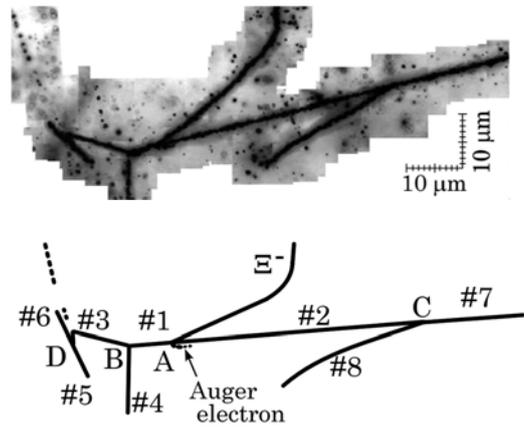


図 2 発見された  $\Xi$  ハイパー核、KISO 事象

この成果は, K.Nakazawa et al, “The first evidence of a deeply bound state of  $\Xi^{-14}\text{N}$  system”, Prog. Theor. Exp. Phys. 2015 033D02 (2015) として出版した。

### ハイペロンスペクトロメータ電磁石の詳細設計

H ダイバリオン探索・ $\Lambda\Lambda$ 相関測定実験 (J-PARC E42 実験) のためのハイペロンスペクトロメータ (図3) の詳細設計を行い、スペクトロメータの超伝導電磁石の概要を以下のようにした。

- ヘルムホルツ型超伝導電磁石  
最大磁場 1.5T (E42 実験では 1.0T)  
検出器設置領域 800mm  $\phi$   $\times$  1250mm  
一様磁場領域 500mm  $\phi$  ( $\times$  500mm)  
GM 冷凍機による伝導冷却方式

また、この電磁石内に設置する TPC 及びその外側に設置される検出器の構成は以下の通りとした。

- 八角柱型 TPC  
有感領域 586mm  $\phi$   $\times$  550mm  
GEM3 層によるガス増幅  
GET システムを用いた読出し回路
- MPPC 読出しプラスチックシンチレータホドスコープ (TOF)

このヘルムホルツ超伝導電磁石の製作に向け、詳細設計、コストダウンの方法など検討した。



図3 ハイペロンスペクトロメータ用ヘルムホルツ型超伝導電磁石。背後に見えるのは既存の KURAMA 電磁石。