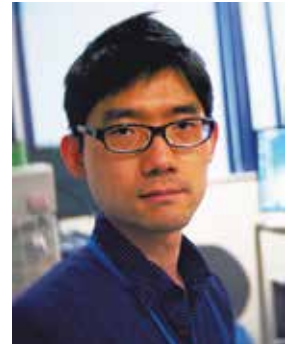


J-PARC でのダブルハイパー核検出実験

Experimental study of double hypernuclei at J-PARC

吉田 純也 ハドロン原子核物理研究グループ
Junya YOSHIDA Research Group for Hadron Nuclear Physics



概要

史上最大のダブルハイパー核検出実験、「J-PARC E07」の解析を進めています。ダブルハイパー核とはストレンジ (s) クォークを2つ含む特異な原子核です。この実験ではダブルハイパー核を過去の10倍の統計量で検出すること、さらにグザイマイナス (Ξ^-) 原子核からの X 線スペクトルを世界で初めて測定することを狙っています。2018年11月現在、我々がこれまでに解析した事象数は計画全体の2割にあたり、これは前世代の実験データ累計の倍となりました。我々はこの中から数例のダブルハイパー核の核種同定に成功しました。

本研究は、6ヶ国の24機関からなるE07コラボレーションにより行われています。参加している日本の研究機関は、JAEA、東北大、KEK、理研、東海大、岐阜大、名古屋大、京都大、大阪大です。関係する研究者、大学院生の人数は100名程度です。JAEAメンバーは、検出器の開発と運用、J-PARC加速器ビームラインの運用、写真乾板中の事象の探索、事象の物理解析を担当しています。

1. 研究の背景・経緯

原子核を構成する最も基本的な要素は「クォーク」と呼ばれる粒子で、このクォークが集まって陽子や中性子といったハドロンと呼ばれる形態になり、さらにハドロンが集まって原子核となります。現代の「ハドロン原子核物理」の大きな目標はこうした物質形成の仕組みを明らかにすることです。そして、ハドロン間相互作用の研究は其中で本質的な課題と位置づけられています。

ハドロン間相互作用の解明に向け重要な研究対象となっているのが、sクォークを2つ含む「ダブルハイパー核」という特異な原子核です。通常の原子核は、陽子と中性子の「核子」で成り立っています。そして陽子は (u,u,d)、中性子は (u,d,d) というように、これらは u (アップ) クォークと d (ダウン) クォークという二種類のクォーク3個から成り立っています。いっぽう、ラムダ (Λ) 粒子 (u,d,s) や、 Ξ^- 粒子 (d,s,s) といった s クォークを含むハドロンも存在します (Fig. 1)。こうした Λ 粒子を2個持つ「ダブルラムダハイパー核」や、 Ξ^- 粒子を1個含む「グザイハイパー核」を、ダブルハイパー核と呼びます (Fig. 2の左)。

Abstract

J-PARC E07 is the most ambitious experiment for investigating double hypernuclei, which are exotic nuclei with two strange(s)-quarks. This experiment aims to detect a 10 times higher number of double hypernuclei compared to the past experiments and measure X-ray spectra from Ξ^- hyperatoms. As of November 2018, we have analyzed about 20% of the collected statistics of E07, which is almost twice to the statistic achieved in the previous experiment. Furthermore, we have succeeded to identify several double hypernuclear events.

This work was conducted by the J-PARC E07 collaboration, which consists of around 100 members from 24 institutes based in 6 countries. The Japanese institutes in the collaboration are JAEA, Tohoku-U, KEK, RIKEN, Tokai-U, Gifu-U, Kyoto-U, and Osaka-U. Our contributions are the development and operation of the detectors in beam time, operation of the beamline, scanning of emulsion sheet, and analysis of detected events.

1. Background

One of the major goals of modern “hadron nuclear physics” is understanding the hierarchical structure of matter from quarks to nuclei. Quarks, the most fundamental elements of matter, constitute hadrons that are bound together. Furthermore, hadrons, including protons and neutrons, constitute nuclei based on the hadron-hadron interaction. To investigate the mechanism of matter formation, studies of the hadron-hadron interaction are essential.

Double hypernucleus (DH), which is an exotic nucleus with two s-quarks, is an important subject



図 1 クォーク 3 体から成るハドロンと、そのクォーク構成。

Fig. 1 Hadrons consist of three quarks and their quark components.

ダブルハイパー核研究が重要な理由は、通常の原子核では見られない異質なハドロン間相互作用の情報が引き出せるからです。ダブルラムダハイパー核の質量からは Λ 粒子間の相互作用の情報、また、グザイハイパー核の質量からは Ξ 粒子と核子の間の相互作用の情報が得られます (Fig. 2 の右)。2000 年代までに検出されたダブルハイパー核事象はわずか 9 例程度しかありませんが、こうした限られた事象の情報をもとに Λ 粒子間相互作用や Ξ 粒子核子間相互作用は議論されてきました。したがって、新たにダブルハイパー核の質量測定が 1 例成功するだけでも、理論の構築に極めて重要な情報となります。それほどダブルハイパー核は生成が稀で検出も困難な一方、挑戦し甲斐のある研究対象なのです。

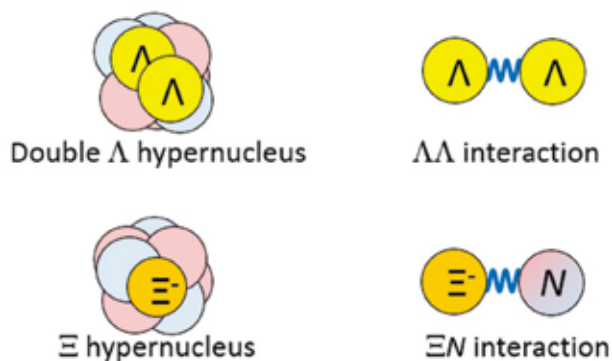


図 2 ダブルラムダハイパー核とグザイハイパー核。赤と青の球は、Fig.1 と同じく、それぞれ陽子と中性子の核子 (N) を表す。これら原子核の質量を測定することで、それぞれ、 Λ 粒子間相互作用と Ξ 粒子核子間相互作用の情報を引き出すことができる。

Fig. 2 Double Λ hypernuclei (DLH) and Ξ hypernuclei (XH). The pale red and blue circles, respectively, stand for protons and neutrons, namely, nucleus (N), in the same manner as Fig. 1. Mass measurements of these nuclei provide unique information on $\Lambda\Lambda$ and ΞN interactions.

ダブルハイパー核研究に最も有効な検出器が写真乾板です。我々が用いる写真乾板は「原子核乾板」「エマルジョン」とも呼ばれ、荷電粒子 1 個 1 個の飛跡が写る高感度の写真乳剤を、湯煎し溶かしてプラスチックのフィルムの両面に塗布し、乾燥させて約 1mm 厚のシート状にしたものです。実験後に現像し、記録された飛跡を光学顕微鏡で 0.1 ミクロン単位の精度で読み取ります (Fig. 3)。ダブルハイパー核は Fig. 4 のように 10 ミクロン程度の

as a source of information on the hadron-hadron interaction. Ordinary nuclei consist of protons and neutrons, namely, nucleons. A nucleon consists of two types of quarks, up(u)-quark and down(d)-quark. Protons and neutrons consist of three quarks, and their components are (u,u,d) and (u,d,d), respectively. By contrast, Λ particles: (u,d,s) and Ξ^- particles: (d,s,s) are other types of hadrons that have s-quarks, as shown in Fig.1. Double Λ hypernuclei (DLH) and Ξ hypernuclei (XH) are nuclei that have two Λ particles and one Ξ^- particle, respectively, as shown in the left part of Fig. 2. They are generically called DHs.

DLH and XH are unique sources of information on the exotic hadron-hadron interactions $\Lambda\Lambda$ and ΞN interactions, respectively, as shown in the right of Fig. 2. These interactions are never observed in ordinary nuclei. As of the 2000s, only nine DH events were detected. The theories of $\Lambda\Lambda$ and ΞN interaction are discussed based on these limited experimental data. Therefore, any new event is needed to validate and extend the theories. DHs are rare, difficult to detect, and they constitute a challenging subject in hadron nuclear physics.

One of the most effective methods to investigate double hypernuclei is precise analysis of their production and decay events by using photographic emulsion sheets, as shown in the left of Fig. 3. Our emulsion sheets are made of a very sensitive photographic emulsion which allows the tracking of single charged particles. These emulsion sheets are prepared by pouring melt emulsion gel on both sides of a plastic film. Finally, we obtain a dry emulsion sheet with a thickness of nearly 1 mm. After photographic development of the sheets, the tracks of charged particles can be observed under an optical microscope, as shown in the right of Fig. 3, with sub- μm spatial resolution. A double hypernucleus event is observed as a tiny “3-vertex topology” as shown in Fig. 4. We searched for such events, reconstructed their production and decay processes and measure their mass via a series of micrographs.

The history of double hypernucleus study has been promoted by emulsion experiments. The first DLH event was observed in 1963 by chance in an emulsion sheet irradiated with accelerator beams [1]. The existence of DLH was clarified in an accelerator experiment called KEK-PS E176 [2] conducted around 1988. The KEK-PS E373 experiment was conducted around 1998, and as a result, seven DLH [3] events were detected. One of these events was identified

大きさの「3つの分岐のある飛跡」として観察できます。我々はこのような事象を乾板中から探し出し、その顕微鏡画像からダブルハイパー核の核種同定と質量測定を行います。

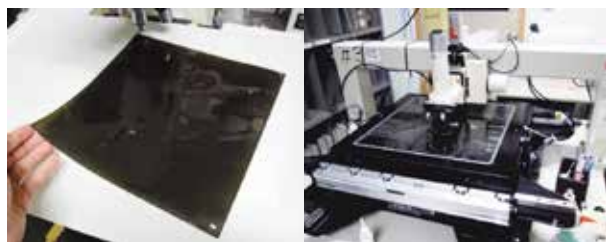


図3 実験に使用する現像後の写真乾板（左）と、その解析に用いる光学顕微鏡。

Fig. 3 (left) A photographic emulsion sheet for DH study and (right) optical microscope used in the analysis.

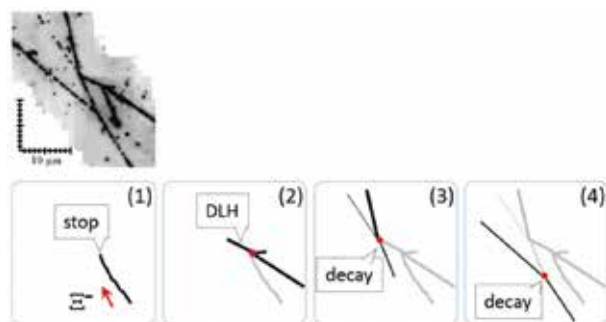


図4 写真乾板中で捉えられたダブルラムダハイパー核事象の例。黒い線が荷電粒子の飛跡。3つの分岐があるのが特徴で、それぞれ(2) ダブルラムダハイパー核の生成事象、(3)1つ目の Λ 粒子の崩壊点、(4)2つ目の Λ 粒子の崩壊点に対応している。この事象の場合、ダブルラムダハイパー核の飛跡の長さは10ミクロン程度で、これはヒト赤血球とほぼ同じ大きさである。

Fig. 4 Example of DLH event in emulsion sheet. Black lines are tracks of charged particles. Each vertex corresponds to (2): the production point of DLH, (3): decay point of the 1st Λ particle, and (4): decay point of the other Λ . The range of the DLH track is about 10 microns, which is almost the same size as that of a red blood cell.

ダブルハイパー核研究の歴史は、古くから写真乾板によって推進されてきました。最初のダブルラムダハイパー核事象は加速器実験で用いた写真乾板の中から偶然1963年に発見されました[1]。その後1988年頃に日本で行われた加速器実験 KEK-PS E176 で、人工的に生成したダブルラムダハイパー核の検出に成功し、その存在が確かめられました[2]。さらに1998年頃に行われた KEK-PS E373 実験では7例のダブルラムダハイパー核が検出され、その中の1例は、 ${}^6_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ というヘリウム4の原子核に Λ 粒子が2個加わった核種であると決定できました[3]。また2013年にはE373乾板の再解析によって、窒素14原子核に Ξ^- 粒子が束縛したグザイハイパー核事象が発見されました[4,5]。これらの事象の解析から、 Λ 粒子間相互作用は弱い引力が、 Ξ 粒子核子間相互作用

as ${}^6_{\Lambda\Lambda}\text{He}$, which is a nucleus with two Λ s bound to ${}^4\text{He}$. Furthermore, in 2013, an XH event was detected after re-scanning the emulsion sheets of E373 [4, 5]. These events indicate that the $\Lambda\Lambda$ interaction is weakly attractive, and the ΞN interaction is attractive.

Our greatest concern is detecting greater numbers of various types of DH events to systematically validate the $\Lambda\Lambda$ and ΞN interactions. To this end, we designed a new experiment, J-PARC E07, to detect 10x more double hypernuclei compared to the number detected in past experiments.

2. Contents of study

J-PARC E07 is the most ambitious emulsion experiment with double hypernuclei thus far. This experiment is designed as an extension of the previous experiment, KEK-PS E373. The amount of emulsion gel used in the experiment was 2.1 tons, about three times greater than that used for E373. We prepared 1500 emulsion sheets measuring 35.0 cm*34.5 cm from Dec. 2013 to May 2014. The purity of the K-beam provided by the K1.8 beamline in the J-PARC hadron facility was 82%, which is three times better than the previous beam provided by the KEK-PS accelerator. The yield of DH events is designed to be 10 times larger than that in the previous one. The effective number of days of beam time was less than 30 days, which is a practical period, thanks to the high-intensity beam of J-PARC in spite of the scale-up.

The principle of DH production is as follows. At first, we produce Ξ^- particles by using the K- beam and stop them by using the emulsion sheets. The Ξ^- s are captured by nuclei within the emulsion sheets. Then, XH can be produced when a Ξ^- is bound to the nucleus with strong-interaction with the probability of a few percentage. The bound Ξ^- interacts with a proton in the nucleus and converts into two Λ s. In that process, the excited nuclear system can decay into several nuclear fragments owing to excess energy. Then, a DLH can be produced when both Λ s stick to the same fragment.

The "Hybrid emulsion method" is employed to find Ξ^- stop events efficiently. Fig. 5 shows a schematic drawing of the experimental setup. At first, a spectrometer detects Ξ^- production events, and the Silicon Strip Detector (SSD) measures the position and angle of the Ξ^- tracks that go into the emulsion sheets. Finally, we search for the Ξ^- tracks in the emulsion sheets and follow them toward their stop points. Computer-controlled microscopes and image

は引力が働くことが分かりました。

今後はさらに多数の、かつ複数種のダブルハイパー核を検出し、実験データを充実させて行くことが必要です。そこで計画されたのが、過去の実験の10倍以上の統計量でダブルハイパー核を検出する実験、J-PARC E07です。

2. 研究の内容

J-PARC E07は、史上最大のダブルハイパー核検出実験です。前の実験であるKEK-PS E373実験に対し、写真乳剤量は約3倍にあたる2.1トンを用いました。この写真乳剤を2013年12月から半年かけて手作業で塗布し、35.0cm × 34.5cmの大きさの乾板を約1500枚準備しました。また加速器ビームはJ-PARCハドロン実験施設のK1.8ビームラインのケイマイナス(K^-)粒子ビームを用い、純度約82%と前実験比3倍強のものを使いました。こうして実験規模を10倍以上としながらも、J-PARCの高強度ビームによってビーム照射は正味で約30日と現実的な期間に収まる設計となりました。

ダブルハイパー核は、加速器の K^- 粒子ビームの反応で Ξ^- 粒子を作り、これを乾板中の原子核に吸収させて生成させます。このとき数%の確率で、 Ξ^- 粒子と原子核が強く束縛したグザイハイパー核が生じます。また、 Ξ^- 粒子は原子核中の陽子と出会うと、2つの Λ 粒子に転化し余剰エネルギーが発生します。この反応によって原子核はいくつかの細かい原子核へ分裂します。ここで、2つの Λ 粒子が同じ原子核に束縛されるとダブルラムダハイパー核となります。

乾板中に記録されたダブルハイパー核事象を効率的に探索するために、写真乾板と電気的な検出器を組み合わせた「複合実験法」と呼ばれる手法を用います (Fig. 5)。まずはスペクトロメータと呼ばれる装置を使って Ξ^- 粒子の生成事象を選び、SSDという検出器で Ξ^- 粒子が乾板に突入した位置と角度を測定します。そして現像後の乾板で目当ての飛跡を探し、下流の乾板へと追跡し、 Ξ^- 粒子が静止した地点の画像を撮影します。乾板の解析にはコンピュータ制御された顕微鏡と画像認識技術を駆使します。

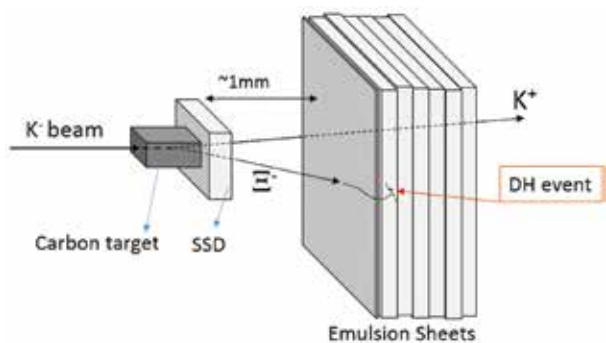


図5 「複合実験法」の概念図。 $K^- + p \rightarrow K^+ + \Xi^-$ という Ξ^- 粒子の生成反応を識別し、この Ξ^- 粒子を探索する。1枚目の乾

板の認識技術は現代のエマルジョン分析に用いられる。

We completed beam exposure and photographic processing of the 118 emulsion modules as scheduled. The beam exposure was performed in 2 periods, Jun. 2016 and Apr.-Jun. 2017. During beam exposure, the emulsion module was mounted on the “Emulsion mover,” which slides the module to record beam tracks with the proper track density of 10^6 tracks/cm². The module required approximately 6 h to record nuclear events uniformly. Therefore, we prepared swap emulsion modules after its beam exposure for a new one 118 times. Consequently, we recorded DH events as designed in 118 modules consisting of about 1500 sheets. Furthermore, all emulsion sheets were completed in Feb. 2018.

3. Current result

Thus far, we have analyzed approximately 20% of the statistics collected by E07, which is almost twice to the statistic achieved in the case of E373.

Based on these analyses, we observed seven DLH events and six XH candidates. We analyzed all of them in detail, that is, we measured the angle and length of the tracks with sub- μ m spatial resolution, and evaluated conservation laws and kinematic consistency to identify their production and decay process.

Fig. 6 shows a DLH event named “MINO event” which is a production event of $^{10}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$, $^{11}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$, or an excited state of $^{12}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$ via Ξ^- capture by a ^{16}O nucleus. $B_{\Lambda\Lambda}$, the binding energy of two Λ is measured to be $15.05 \pm 0.09_{\text{fitting}} \pm 0.07_{\text{sys}}$, $19.07 \pm 0.08 \pm 0.07$, or $13.68 \pm 0.08 \pm 0.07\text{MeV}$, respectively. The most probable interpretation was found to be $^{11}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$ from a kinematic analysis. Thus, we obtain new example of DLH and quantitative data to validate the $\Lambda\Lambda$ interaction. The detail of the analysis is reported in Prog. Theor. Exp. Phys. [6].

Fig. 7. shows a XH event named “IBUKI event” which is a production event of $^{15}_{\Xi}\text{C}$ via Ξ^- capture by a ^{14}N nucleus and decay of $^{15}_{\Xi}\text{C}$ into $^{10}_{\Lambda}\text{Be}$ and $^5_{\Lambda}\text{He}$. Both daughter nuclei were identified to be in the ground state in the decay of $^{15}_{\Xi}\text{C}$ according to an energy calculation. Therefore, this event is the first observation of an unequivocal XH event without large uncertainty of excited energies of the daughter nuclei. B_{Ξ^-} , the binding energy of Ξ^- , and its uncertainty were measured as about 1MeV and 0.2MeV, respectively. As this event is the second candidate of $^{15}_{\Xi}\text{C}$, one can discuss the bound state of Ξ^- and its

板での飛跡の探索範囲は約 0.4 mm 四方である。この手法により、手がかり無しで乾板全面を探索するのに比べて遥かに少ない領域の探索で済む。飛跡が検出されればそれを追跡していく。最終的に Ξ^- 粒子が静止した点を観察しダブルハイパー核事象を検出する。現在の解析では、乾板 1 モジュールあたり約 400 本の飛跡を追跡する。

Fig. 5 Schematic drawing of "Hybrid emulsion method." Ξ^- particles produced via the $K^- + p \rightarrow K^+ + \Xi^-$ reaction are searched for in the first emulsion sheet. Thanks to the prediction, the search area is limited to about $0.4 \times 0.4 \text{ mm}^2$. The tracks found are followed to the stop point, and finally, DH events are observed there. Under the current criterion, about 400 tracks in a module are followed at once.

ビーム照射は 2016 年 6 月と 2017 年 4-6 月に行われました。乾板モジュールは「ムーバー」と名づけた架台に設置し、乾板に記録される「素通りビーム飛跡」の密度が $10^6/\text{cm}^2$ 未満になるように少しずつ移動させながらビームを照射しました。1 モジュールに対してビーム照射時間は約 6 時間で、我々はその度に乾板モジュールを交換し、これを 118 回繰り返しました。こうして我々は計画通りに、118 モジュールの約 1500 枚の乾板にダブルハイパー核反応を記録しました。乾板の現像工程は 2018 年 2 月に完了しました。

3. 得られている成果

現在我々は乾板中に記録されたダブルハイパー核の探索作業を継続しています。2018 年 11 月現在、解析した Ξ^- 粒子の静止事象数は E07 実験の計画全体の 2 割にあたり、これは E373 実験の倍の統計量となりました。

我々は現在までの解析で、7 例のダブルラムダハイパー核事象と 6 例のグザイハイパー核候補を検出しました。検出された事象は全飛跡の長さや角度を 0.1 ミクロン単位の精度で測定し、核種の生成と崩壊の反応過程を絞り込んでいきました。

これらの中から我々は Fig. 6 に示すようなダブルラムダハイパー核事象の同定に成功しました (MINO イベントと命名)。この事象は Ξ^- 粒子が酸素 16 原子核に吸収され、 $^{10}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$ 、 $^{11}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$ 、あるいは、 $^{12}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$ の励起状態が生成した事象と分かりました。これらの質量を測定し、 Λ 粒子 2 個分の束縛エネルギー ($B_{\Lambda\Lambda}$) を計算すると、それぞれの場合で $15.05 \pm 0.09_{\text{fitting}} \pm 0.07_{\text{sys}}$ 、 $19.07 \pm 0.08 \pm 0.07$ 、あるいは、 $13.68 \pm 0.08 \pm 0.07 \text{ MeV}$ となりました。この中でも運動学的な解析によって $^{11}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$ が尤もらしいと評価しました。こうして新たなダブルラムダハイパー核の観測例とともに、その質量から Λ 粒子間相互作用を検証する定量的な実験データが得られました。この事象の同定や解釈は、Prog. Theor. Exp. Phys. 誌に掲載されました [6]。

また我々は Fig. 7 に示すようなグザイハイパー核事象を検出しました (IBUKI イベントと命名)。この事象は Ξ^- 粒子が窒素 14 原子核に吸収され、グザイハイパー核 $^{15}_{\Xi}\text{C}$ となり、2 つのシングルラムダハイパー核、

width, quantum mechanical uncertainty of the state. The detail of the analysis will be reported in 2019.

4. Perspectives

We will continue with event hunting to detect more identifiable DH events. In E07, approximately 10^2 DH events are expected. We expect that further new events and new nuclides are observed in the near future. The result will powerfully promote the studies of $\Lambda\Lambda$ and ΞN interactions.

Moreover, we aim to measure X-rays from Ξ^- atoms, which are formed after the capture of Ξ^- by nuclei contained in the emulsion, by using a Germanium detector array. The X-ray spectrum will provide information on the interaction between Ξ^- and nuclei. X-ray event selection is being performed using a combination of multiple detectors and finally by confirming whether the Ξ^- s are certainly stopped by the emulsion sheet.

In the J-PARC, several additional experiments to investigate double strangeness systems are planned as E03, E42, and E70. Furthermore, study of the hadron-hadron interaction has been conducted via multiple approaches, such as theoretical calculations, heavy-ion collisions, and observation of neutron stars. We will provide impactful data as pioneers of the double strangeness system with the unique "emulsion technique."

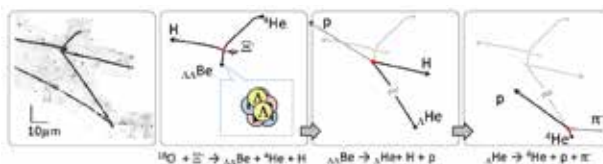


図 6 ダブルラムダハイパー核事象 (MINO イベント)

Fig. 6 Schematic drawing of a DLH event named "MINO event"

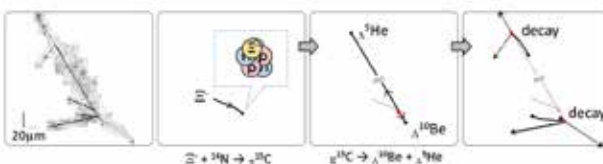


図 7 グザイハイパー核事象 (IBUKI イベント)。

Fig. 7 Schematic drawing of a XH event named "IBUKI event"

${}^5_{\Lambda}\text{He}$ と ${}^{10}_{\Lambda}\text{Be}$ へと崩壊した事象です。娘核である ${}^5_{\Lambda}\text{He}$ と ${}^{10}_{\Lambda}\text{Be}$ は、エネルギー収支の計算から、ともに基底状態であったことが分かりました。このグザイハイパー核の質量を測定し、 Ξ^{-} 粒子の束縛エネルギー ($B_{\Xi^{-}}$) を計算すると、その値は約 1MeV 強で、誤差は 0.2MeV 程度と非常に不定性の小さい値が得られました。奇しくもこの事象は 2 例目の ${}^{15}_{\Xi}\text{C}$ 事象であり、複数例の同一核種の事象が得られたことによって、「 Ξ^{-} 粒子の束縛単位の量子力学的な不定性」まで議論できるかもしれないと考えています。この解析の結果は精査の最中で、2019 年中に学術誌に投稿する予定です。

4. 今後の予定

我々は引き続き乾板の解析を進めています。E07 実験全体では約 100 例のダブルハイパー核事象が得られる計画で、解析の継続によって新たな事象や新核種、それらの束縛エネルギーが次々測定されていくと期待しています。こうしたデータの積み重ねによって、 Λ 粒子間相互作用や Ξ 粒子核子間相互作用の理解が進んでいくものと考えています。

またこの実験では、 Ξ^{-} 粒子と原子の束縛系 (Ξ^{-} 原子) から発せられる X 線を測定するため、ゲルマニウム検出器による測定も同時に実施しました。この X 線スペクトルが得られると世界初のデータとなり、 Ξ 粒子核子間相互作用の情報を引き出すことができます。 Ξ^{-} 粒子静止事象は非常に稀事象であるため、現在得られている X 線スペクトルは様々なバックグラウンド事象を含んでいます。そこで我々は、乾板中の飛跡の画像情報をもとに、 Ξ^{-} 粒子静止事象を確実に選別する解析を進めています。

J-PARC ではこの先、s クォークを 2 つ含む系 (ダブルストレンジネス系) の研究として、E03、E42、E70 といった実験が予定されています。さらにハドロン原子核物理では、理論計算、重イオン衝突実験での研究、中性子星観測など、さまざまな切り口からハドロン間相互作用の研究が進められています。このように世界中で活発な研究が進められる中、我々は写真乾板という独自の技術で、ダブルストレンジネス系の研究の先鋒としてインパクトのある実験データを出して行きたいと考えています。

参考文献 References

- [1] M. Danysz et al., Nucl. Phys. 49, 121 (1963).
- [2] S. Aoki et al., Nucl. Phys. A, 828, 191 (2009).
- [3] J. K. Ahn et al., Phys. Rev. C 88, 014003 (2013)
- [4] K. Nakazawa et al., Prog. Theor. Exp. Phys. 2015, 033D02 (2015).
- [5] E. Hiyama and K. Nakazawa, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 68, 131 (2018).
- [6] H. Ekawa et al., Prog. Theor. Exp. Phys. 2019, 021D02 (2019)

用語の説明

1. グザイマイナス原子、グザイハイパー核

原子とは原子核と電子がクーロン力で束縛した系であるが、このうちの 1 つの電子がグザイマイナス粒子に置き換わったものがグザイマイナス原子である。また、原子核とグザイマイナス粒子が、クーロン力に加えて「 Ξ 粒子核子間相互作用」で強く束縛したものがグザイハイパー核である。

2. J-PARC

茨城県東海村の原子力科学研究所内に位置する加速器施設で「Japan Proton Accelerator Research Complex」の略称とされる。陽子を加速し、その反応で生成した K^{-} 粒子、 π 粒子、ニュートリノ、中性子といった粒子のビームを用いて実験を行っている。 K^{-} 粒子ビームを用いる実験は「ハドロン実験施設」と呼ばれる建屋内にて行われる。

3. J-PARC E03、E42、E70

E03: 鉄原子とグザイマイナス粒子の束縛系 (鉄-グザイマイナス原子) を生成し、その脱励起から生じる X 線を測定することで Ξ 粒子核子間相互作用を調べる実験。E42: (u,u,d,d,s,s) と 6 クォークからなる未知の粒子、H ダイバリオンを探索する実験。E70: 分光法という手法を用いてグザイハイパー核を検出する実験。いずれも今後の J-PARC ハドロン実験施設で行われる実験として準備中である。