

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：11301

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2012～2016

課題番号：24105003

研究課題名(和文)中性子過剰核物質中のストレンジネス

研究課題名(英文)Strangeness in neutron-rich nuclear matter

研究代表者

田村 裕和(TAMURA, Hirokazu)

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号：10192642

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 169,100,000円

研究成果の概要(和文)：中性子星内部のハイペロン混合を解明するため、中性子過剰核物質中での  $\Lambda$ 、 $\Sigma$ 、 $K^-$  の相互作用をJ-PARCで調べた。

(1) 中性子過剰核  ${}^6\text{H}$  の探索を行ったが観測されず、大変小さな生成断面積の上限値を得た。さらに  $\Lambda$  が核から斥力を受けていることを示した。(2)  ${}^4\text{He}$  ハイパー核の  $\gamma$  線を精密測定し、大きな荷電対称性の破れの存在を証明した。 ${}^{19}\text{F}$  ハイパー核の  $\gamma$  線も測定し重い核内での核子相互作用の情報を得た。(3)  $K$  中間子核  $K$ - $pp$  の探索実験を行い、深い束縛状態の生成を明確に示す結果を得た。(4)  $n$ - $p$  散乱実験のための反跳陽子検出器の製作に成功、陽子ビームによるテスト実験で十分な性能を確認した。

研究成果の概要(英文)：In order to study strangeness mixing in neutron stars, we investigated interactions of  $\Lambda$ ,  $\Sigma$ , and  $K^-$  in neutron-rich nuclear matter at J-PARC.

(1) We searched for a neutron-rich  ${}^6\text{H}$  hypernucleus via  $6\text{Li}(-, K^+)$ . No events were observed and a stringent upper limit of the production cross section was given. The spectrum also suggested a repulsive  $\Lambda$ -nuclear interaction. (2) In  $\gamma$ -spectroscopy experiments we observed a  ${}^4\text{He}(1^+ 0^+)$   $\gamma$  ray, which confirmed existence of a large charge symmetry breaking in the  $\Lambda$ - $N$  interaction.  ${}^{19}\text{F}$   $\gamma$  rays were also observed and the level scheme was determined, giving information on  $\Lambda$ - $N$  interaction in heavy nuclei. (3) We searched for  $K$ - $pp$  bound states via  ${}^3\text{He}(K^-, n)$  reaction and observed a clear evidence for a bound state in a  $pp$  mass spectrum. (4) To clarify  $\Lambda$ -appearance in neutron stars, a  $n$ - $p$  scattering experiment has been prepared. We constructed a new detector system for recoil protons and confirmed sufficient performance with proton beams.

研究分野：実験核物理

キーワード：実験核物理 ストレンジネス ハイパー核 ハイペロン核子相互作用  $K$ 中間子原子核 中性子過剰ハイパー核 ハイパー核ガンマ線分光 ハイペロン核子散乱

## 1. 研究開始当初の背景

中性子星の中心部分は、 $2\rho_0$  ( $\rho_0$  は原子核密度) 以上の高密度をもち、中性子のフェルミエネルギーがハイペロン ( $\Lambda, \Sigma, \Xi$ ) と中性子の質量差を越え、ハイペロンや  $K^-$  中間子が自然に発生していると予想される。しかし、中性子星中心部が核子のみでなくハイペロンや  $K^-$  を含むとすると、状態方程式 (EOS) が柔らかくなって中性子星の最大質量の計算値は太陽質量  $M$  の 1.5 倍以下となり、最近観測された  $2M$  の質量の重い中性子星と矛盾し、大きな謎 (ハイペロンパズル) として注目を集めている。しかしハイペロンや  $K^-$  の核物質中の相互作用の多くは不明であり、高密度で重要になるハイペロンを含むバリオン間三体力も未知である。これらの相互作用は、中性子星の最大質量、内部組成、冷却速度に大きな影響を与える。これらを定量的に明らかにし、高密度核物質を正しく記述できる EOS を決定することは、核物理・天体物理の最重要テーマの一つである。ストレンジネスを含むハドロンの相互作用の研究では、日本人が ( $\pi, K^+$ ) 反応による  $\Lambda$  ハイパー核分光、 $\Lambda$  ハイパー核精密  $\gamma$  線分光、中性子過剰  $\Lambda$  ハイパー核研究、 $\Sigma$  ハイパー核研究、 $K^-$  中間子原子核研究等を開拓してきた。J-PARC では、世界最高強度の陽子ビームによってこれらの研究が格段に発展するものと期待されている。

## 2. 研究の目的

中性子星内核のハイペロンが発生すると思われる中性子が主成分の領域 (密度  $\rho \sim 2-3\rho_0$ ) を理解するため、陽子加速器施設 J-PARC において、 $\Lambda, \Sigma, K^-$  (ストレンジネス = -1 のハドロンの) の核物質中、特に中性子過剰物質中での相互作用を調べる実験を以下のように J-PARC ハドロンの施設で行なう。

(1) 中性子過剰  $\Lambda$  ハイパー核  ${}^6_\Lambda\text{H}$  の ( $\pi^-, K^+$ ) 反応による分光実験を行うとともに、(2)  $\Lambda$  ハイパー核精密  $\gamma$  線分光により  ${}^4_\Lambda\text{He}$  等のレベル構造を決定することで、中性子過剰環境での  $\Lambda\text{N}$  相互作用、特に  $\Lambda\text{N}-\Sigma\text{N}$  混合による  $\Lambda\text{NN}$  三体力の効果や荷電対称性の破れの効果を調べる。(3)  $K^-$  中間子原子核  $K^-pp$  束縛系を、 ${}^3\text{He}(K^-, n)$  反応によって探索し、強い引力とされる  $K^{\text{bar}}\text{N}$  相互作用の強さと性質を調べる。(4)  $\Sigma^+p, \Sigma^-p$  散乱実験を新手法によって高統計で行い、 $\Sigma\text{N}$  相互作用 (特に中性子星で重要となる  $\Sigma^-n$  相互作用と同じ  $\Sigma^+p$  相互作用) の強さを決定することで、中性子星内部の  $\Sigma$  粒子の存否を明らかにする。

これらの結果を、より高密度領域に対応する A01 班や、より低密度領域に対応する B01, B02, B03 班の研究、C01 班の中性子星観測研究、D01 班の理論研究を通じて分析し、中性子星核物質全体を支配する EOS を決定して、中性子星内部の核物質の正体を解き明かすことを目指す。

## 3. 研究の方法

(1) 中性子過剰  $\Lambda$  ハイパー核分光 (E10)  
 ${}^6\text{Li}(\pi^-, K^+)$  反応スペクトルを、K1.8/SKS スペクトロメータにより  $\Lambda$  生成・ $\Sigma$  生成をカバーする広質量範囲で測定する。以前より一層大強度の  $\pi$  ビームを使用できるようにするため、ビーム飛跡検出器を耐高計数率化し  $10^7/\text{sec}$  以上の大強度ビームで実験する。中性子過剰  $\Lambda$  ハイパー核  ${}^6_\Lambda\text{H}$  の生成が確認できれば、そのエネルギーや生成断面積から中性子過剰物質中での  $\Lambda$  の相互作用の情報を引き出す。また、連続状態のスペクトルの形状から、 $\Sigma$  核子間相互作用の情報も得る。

(2)  $\Lambda$  ハイパー核精密 線分光 (E13)  
 我々が開発した Hyperball-J (Ge 検出器群) を改良して K1.8 ラインに設置する。液体ヘリウムと液体  $\text{CF}_4$  標的を製作して設置し、K1.8/SKS スペクトロメータを用いて ( $K^-, \pi^-$ ) 反応で  ${}^4_\Lambda\text{He}$  等を多量に生成し、Hyperball-J でこれらの  $\Lambda$  ハイパー核からの  $\gamma$  線を分解能 3 keV (FWHM) で測定し、そのレベル構造を精密に決定する。理論家とともに核内  $\Lambda$  の相互作用、特に  $\Lambda\text{N}-\Sigma\text{N}$  相互作用の情報を引出す。

(3)  $K^-$  中間子原子核探索 (E15)  
 $K^-pp$  束縛状態の生成と崩壊の両方の情報を得るため、 ${}^3\text{He}(K^-, n)$  反応の missing mass のスペクトル、および標的の回りに設置する円筒形スペクトロメータ (CDS) で測定する  $\Lambda p$  の invariant mass の両方のスペクトルを測定する。中性子検出器や CDS、液体  ${}^3\text{He}$  標的を K1.8BR ラインに設置し、耐高計数率の MWPC 等を導入して大強度ビームで実験を行う。

(4)  $\Sigma p$  散乱実験 (E40)  
 従来の百倍の高統計データをとるため、液体水素標的を用い、画像データは取得せず、散乱陽子のみを標的周囲の検出器で捉え運動学的に散乱事象を選択する新たな手法を開拓する。そのためシンチレーションファイバーを円筒状に 8 層並べた飛跡検出器と BGO カロリメータとからなる検出器群 (CATCH) を開発・製作し、 $\Sigma^-p, \Sigma^+p$  散乱実験を行い、その断面積を測定する。

## 4. 研究成果

### (1) 中性子過剰 $\Lambda$ ハイパー核 ${}^6_\Lambda\text{H}$ の探索

J-PARC K1.8 ラインで  ${}^6\text{Li}(\pi^-, K^+)$  反応で中性子過剰  $\Lambda$  ハイパー核  ${}^6_\Lambda\text{H}$  を探索する実験 (E10) を実施した。別手法のイタリアの実験で  ${}^6_\Lambda\text{H}$  が観測されたとの報告があったが、図 1 に示すように本実験では  ${}^6_\Lambda\text{H}$  事象はまったく観測されず、0.56 nb/sr (90% C.L.) という極めて低い生成断面積の上限値が得られた。これは同じ反応による  ${}^{10}_\Lambda\text{Li}$  の生成断面積の 1/20 であり、 ${}^6_\Lambda\text{H}$  の存在に強い疑問を投げかけ、

理論家にも大きなインパクトを与えた。

さらに、このスペクトルの高いエネルギー部分の形状から 粒子と原子核との間のポテンシャルの情報が得られ、理論家 (D01班の原田氏) との共同研究により が原子核から30 MeV程度の強い斥力ポテンシャルを感じていることを示した。

これらの成果は、一層の理論的研究と組み合わせることで $\Lambda\text{N}$ - $\Sigma\text{N}$  結合力や $\Lambda\text{NN}$  三体力の理解につながると期待される。

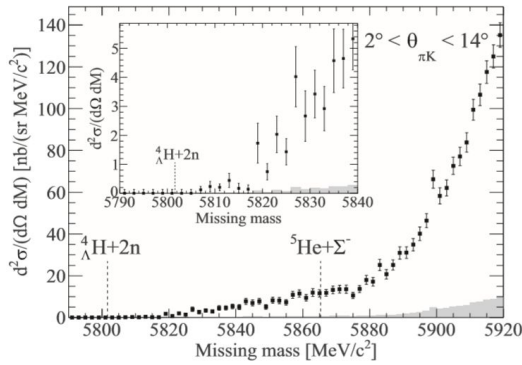


図1: J-PARC E10 実験で得られた  ${}^6\text{Li}(\pi^-, K^+)$  反応の missing mass スペクトル。 ${}^4_\Lambda\text{H}+2n$  閾値前後に  ${}^6_\Lambda\text{H}$  事象は全く観測されなかった。

## (2) ハイパー核精密 $\gamma$ 分光実験(E13)

J-PARC K1.8ラインで  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^{19}\text{F} (K^-, \pi^-)$  反応で  ${}^4_\Lambda\text{He}$ ,  ${}^{19}_\Lambda\text{F}$  ハイパー核を生成し、その放出する $\gamma$ 線を専用のGe検出器群Hyperball-Jで測定する実験 (E13)を実施した。

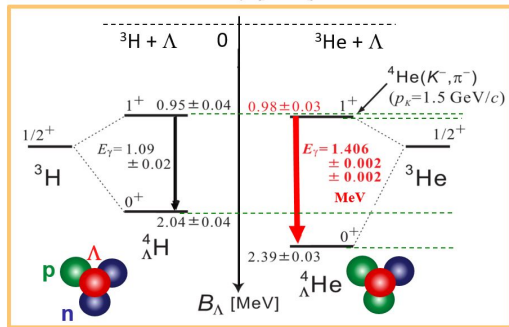
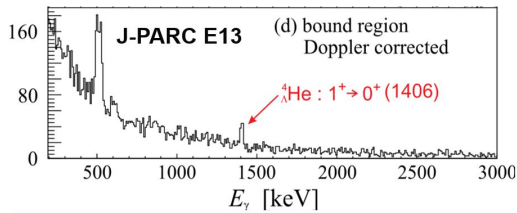


図2: J-PARC E13 実験で得られた  ${}^4_\Lambda\text{He}$  のガンマ線スペクトル(上図)と、得られた  $A=4$  鏡像ハイパー核  ${}^4_\Lambda\text{H}$  および  ${}^4_\Lambda\text{He}$  のレベル図(下図)。

その結果、図2(上)のように  ${}^4_\Lambda\text{He}$  の基底状態二重項の間の $\gamma$ 遷移( $1^+ \rightarrow 0^+$ )を観測し、その間隔が1.406 MeVであることが判明した。

図2(下)に示すように、この値は鏡像核  ${}^4_\Lambda\text{H}$  の対応する二重項間隔(1.09 MeV)と大きく異なり、過去のデータから示唆されていた  $A=4$   $\Lambda$ ハイパー核の荷電対称性(CSB)の大きな破れが本当に存在することが確定した。これは  $\Lambda p$  と  $\Lambda n$  の相互作用に予想外の違いがあることを示し、中性子星内部での  $\Lambda$  の振舞いに影響を与える可能性がある。この大きなCSBの破れは  $\Lambda\text{N}$ - $\Sigma\text{N}$  結合相互作用に関するとの理論的示唆があり、解明に向けた理論的努力が進んでいる。

一方、 ${}^{19}_\Lambda\text{F}$  ハイパー核の4本の $\gamma$ 線を観測し、 ${}^{19}_\Lambda\text{F}$  のレベル構造(図3)を構築した。基底状態二重項の間隔は、事前の理論予想とよく一致し、重い核内の  $\Lambda\text{N}$  相互作用もよく理解されていることが分かった。こうした精密分光をより重いハイパー核へ進め、 $\Lambda\text{N}$  相互作用の密度依存性を調べることで、ハイペロンパズルの解決につながる可能性が生まれた。

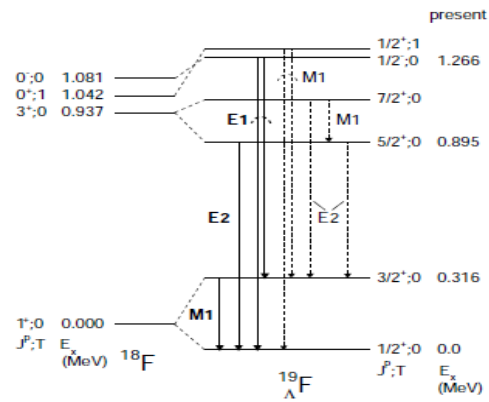


図3: J-PARC E13 実験で得られた4つの  ${}^{19}_\Lambda\text{F}$  のガンマ線をもとに構築された  ${}^{19}_\Lambda\text{F}$  のレベル図。

## (3) K中間子原子核 $K^-pp$ の探索

J-PARC K1.8BR ラインにて  ${}^3\text{He}(K^-, n)$  反応で  $K^-$  中間子原子核  $K^-pp$  の束縛状態を探索する実験(E15)を行った。 ${}^3\text{He}(K^-, n)$  反応の missing mass スペクトル上での探索と、 $K^-pp$  の崩壊で生ずるとされる  $\Lambda p$  の不変質量の測定による探索とを行った。前者から、 $K^-pp$  の束縛領域に事象が観測され、さらに後者では中性子が超前方に出た事象を選ぶと、図4(上)のように  $K^-pp$  閾値より40 MeV程度深いエネルギーにピークが観測された。(2016年に取得した高統計データを加えると、束縛状態に対応するピークはより明確に観測された。)

これは束縛した  $K^-pp$  の存在を示し、長年にわたり実験的にも理論的にも明確な結論に至っていなかった  $K^-pp$  束縛状態の存否とその束縛の深さの問題を解決することになる。理論解析を通して、 $K^-$  (反  $K^-$  中間子) の中性子星内部での存否も明らかになると考えられる。

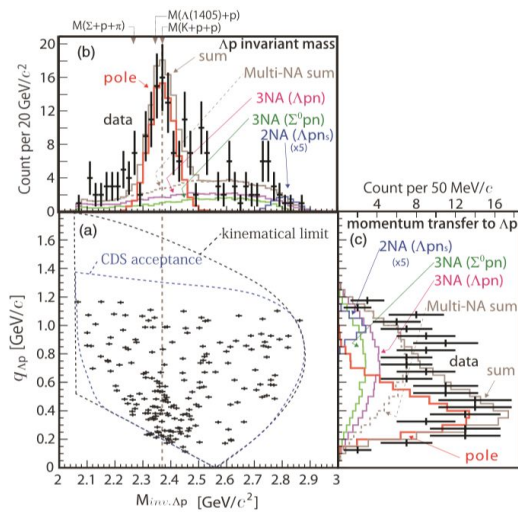


図4: J-PARC E15 実験で得られた  ${}^3\text{He}(\text{K}^-, \text{n})$  反応の際に放出された  $\Lambda\text{p}$  の不変質量分布 (左図) と  $\Lambda\text{p}$  系の運動量移行の分布 (右図)。

#### (4) $\Sigma\text{p}$ 散乱実験(J-PARC E40)の準備

J-PARCで実施する高統計 $\Sigma^+\text{p}$ ,  $\Sigma^-\text{p}$ 散乱実験に不可欠な検出器として、約6000本のシンチレーションファイバーでできた8層の円筒形飛跡検出器とそれを囲む24本のBGOシンチレータによるカロリメータとからなる反跳陽子の検出器群(CATCH)を開発・製作した。

完成したCATCH (図5) の性能テストを東北大サイクロトロン陽子ビームで行い、飛跡の角度分解能やエネルギー分解能が本実験に要求される性能を満たしていること、 $\text{pp}$ ,  $\text{p}^{12}\text{C}$ 散乱の断面積が正しく測定できることを確認した。そこで、CATCHを別途開発した液体水素標的とともにJ-PARC K1.8ラインに設置し、磁気スペクトロメータの整備やビーム調整も行い、実験準備を完了させた。(なお、J-PARCハドロン施設の放射線事故で2年弱のビームタイム遅延があり、その後、本実験が2018年にスタートした。)

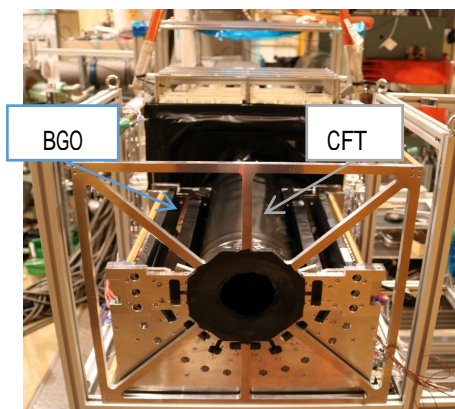


図5:  $\Sigma^+\text{p}$ ,  $\Sigma^-\text{p}$  散乱実験(J-PARC E40)のために開発・建設した反跳陽子検出器群(CATCH)。シンチレーションファイバーによる円筒形飛跡検出器 CFT と BGO シンチレータによるカロリメータから構成される。

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 65 件)

S. B. Yang, T. Koike (25 人目), K. Miwa (27), A. Sakaguchi (33), H. Tamura (42), M. Ukai (46), T. Yamamoto (48) et al. (計 48 人), “First Determination of Level Structure of an sd-Shell Hypernucleus,  ${}^{19}_{\Lambda}\text{F}$ ”, Phys. Rev. Lett. 120 (2018) 132505-1-5 査読有. DOI:10.1103/PhysRevLett.120.132505

R. Honda, K. Miwa (31), A. Sakaguchi (42), H. Tamura (57), M. Ukai (63), T. Yamamoto (64) et al. (計 66), “Missing-mass spectroscopy with the  ${}^6\text{Li}(\pi^-, \text{K}^+)\text{X}$  reaction to search for  ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ ”, Phys. Rev. C 96 (2017) 014005-1-23 査読有. DOI: 10.1103/PhysRevC.96.014005

Y. Sada, S. Ajimura (2), T. Fukuda (16), H. Ota (44), A. Sakaguchi (47), T. Suzuki (57) et al. (計 71), “Structure near  $\text{K}^+\text{p}+\text{p}$  threshold in the in-flight  ${}^3\text{He}(\text{K}^-, \Lambda\text{p})\text{n}$  reaction”, Prog. Theor. Exp. Phys. 2016 (2016) 051D01-1-11 査読有. DOI: 10.1093/ptep/ptw040

T. Hashimoto, S. Ajimura (2), T. Fukuda (16), H. Ota (43), A. Sakaguchi (47), T. Suzuki (57) et al. (計 71), “Search for the deeply bound  $\text{K}^-\text{pp}$  state from the semi-inclusive forward-neutron spectrum in the in-flight  $\text{K}^-$  reaction on helium-3”, Prog. Theor. Exp. Phys. 2016 (2016) 061D01-1-11 査読有. DOI: 10.1093/ptep/ptv076

T. O. Yamamoto (1), T. Koike (28), K. Miwa (31), A. Sakaguchi (38), H. Tamura (48), M. Ukai (52) et al. (計 54), “Observation of Spin-Dependent Charge Symmetry Breaking in AN Interaction: Gamma-Ray Spectroscopy of  ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ ”, Phys. Rev. Lett. 115 (2015) 222501-1-5 査読有. DOI: 10.1103/PhysRevLett.115.222501

R. Honda, K. Miwa, Y. Matsumoto, N. Chiga, S. Hasegawa, K. Imai, “A beam position fiber counter with scintillation fibers and multi-pixel photon counter for high intensity beam operation”, Nucl. Instr. Meth. A787 (2015) 157-160 査読有. DOI:10.1016/j.nima.2014.11.084i

Y. Akazawa, K. Miwa, R. Honda, T. Shiozaki, N. Chiga, “Development of a cylindrical tracking detector with multichannel scintillation fibers and pixelated photon detector readout”, Nucl. Instr. Meth. A787 (2015) 193-196 査読有. DOI: 10.1016/j.nima.2014.11.102i

K. Hosomi, S. Ajimura (3), T. Koike (13), K. Miwa (18), A. Sakaguchi (38), H. Tamura (27) et al. (計 33), “Precise determination of  ${}^{12}_{\Lambda}\text{C}$  level structure by  $\gamma$ -ray spectroscopy”, Prog. Theor. Exp. Phys. 2015 (2015) 081D01-1-8 査読有. DOI: 10.1093/ptep/ptv113

T. Koike (1), H. Tamura (12) et al. (計 13),



“Development of a low-temperature germanium detector via mechanical cooling with a compact pulsetube refrigerator”, Nucl. Instr. Meth. A770 (2014) 1-7 査読有.  
DOI: 10.1016/j.nima.2014.09.084.

H. Sugimura, S. Ajimura (4), T. Fukuda (14), K. Miwa (32), A. Sakaguchi (43), H. Tamura (56) et al. (計 66), “Search for  ${}^6_{\Lambda}\text{H}$  hypernucleus by the  ${}^6\text{Li}(\pi^-, K^+)$  reaction at  $p_{\pi^-}=1.2$  GeV/c”, Phys. Lett. B 729 (2014) 39-44 査読有.  
DOI: 10.1016/j.physletb.2013.12.062

H. Tamura (1), T. Koike (8), K. Miwa (10) et al. (計 18), “Gamma-ray spectroscopy of hypernuclei -present and future”, Nucl. Phys. A 914 (2013) 99-108 査読有.  
DOI: 10.1016/j.nuclphysa.2013.03.014

H. Tamura, “Strangeness nuclear physics experiments at J-PARC”, Prog. Theor. Exp. Phys. 2012 (2012) 02B012-1-18 査読有.  
DOI: 10.1093/ptep/pts056

T. Takahashi, T. Koike (30), K. Miwa (39), A. Sakaguchi (49), H. Tamura (61) et al. (計 75), “Beam and SKS spectrometers at the K1.8 beam line”, Prog. Theor. Exp. Phys. 2012 (2012) 02B010-1-16 査読有. DOI: 10.1093/ptep/pts023

〔学会発表〕(計 118 件)

H. Tamura, “Hadrons in Medium”, Particle and Nuclei Int. Conf. (PANIC2017), Sept. 1-5, 2017, Beijing, China (招待講演)

H. Tamura, “Experimental studies of high density baryonic matter with and without strangeness”, 17<sup>th</sup> Int. Conf. on Hadron Spectroscopy and Structure (HADRON 2017), Sept. 25-19, 2017, Salamanca, Spain (招待講演).

H. Tamura, “Recent Progress in Hypernuclear Physics”, 25th Int. Nucl. Phys. Conf. (INPC2016), Sept. 11-16, 2016, Adelaide, Australia (招待講演)

H. Tamura, “Experimental Approaches to Strangeness in Neutron Stars”, 14th Int. Symp. on Nuclei in the Cosmos (NIC14), June 19-24, 2016, Niigata, Japan (招待講演)

H. Tamura, “Gamma-ray spectroscopy of hypernuclei -recent results and prospects at J-PARC”, 12th Int. Conf. on Hypernuclear and Strange Particle Physics (HYP2015), Sept. 7-12, 2015, Sendai, Japan (招待講演)

A. Sakaguchi, “Neutron-rich  $\Lambda$  hypernuclei”, 12th Int. Conf. on Hypernuclear and Strange Particle Physics (HYP2015), Sept. 7-12, 2015, Sendai, Japan (招待講演)

K. Miwa, “Strangeness nuclear physics with high intensity secondary beams”, Int. workshop on future potential of high intensity proton accelerator for particle and nuclear physics, Oct. 13-15, 2015, Tokai, Japan (招待講演).

T. Koike, “Study of  $\Lambda\text{N}$  interaction via the  $A=4$  mirror  $\Lambda$  hypernuclei:  ${}^4_{\Lambda}\text{H}$  and  ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ ”, Workshop on “Future directions for nuclear structure and reaction theories: Ab initio approaches for 2020”, May 14-18, 2016, Caen, France (招待講演)

H. Tamura, “Strangeness Nuclear Physics and Exotic Matter in Neutron Stars”, Int. Symp. on Physics of Unstable Nuclei 2014 (ISPUN2014), Nov. 3-8, 2014, Ho Chi Minh city, Vietnam (招待講演)

H. Tamura, “Recent results and perspective on hypernuclei”, 20th Particles and Nuclei Int. Conf. (PANIC2014), Aug. 25-29, 2014, Hamburg, Germany (招待講演)

H. Tamura, “Nuclear Matter in Neutron Stars -A Great Challenge in Nuclear Physics-”, 12th Asia Pacific Physics Conf. of AAPPS (APPC12), July 14-19, 2013, Makuhari, Japan (招待講演); JPS Conf. Proc. 1 (2014) 011003-1-7.

H. Tamura, “Experimental Approaches to Exotic Matter in Neutron Stars”, 12th Int. Symp. on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG12), Nov. 18-21, 2013, Tsukuba, Japan (招待講演)

H. Tamura, “Hypernuclear Physics at J-PARC and Study of Neutron Stars with Strangeness”, JSPS core-to-core symposium at Barcelona, Oct. 5-6, 2012, Barcelona, Spain (招待講演)

H. Tamura, “Gamma-ray spectroscopy of hypernuclei”, 11th Int. Conf. on Hypernuclear and Strange Particle Physics (HYP2012), Oct. 1-5, 2012, Barcelona, Spain (招待講演)

〔その他〕

#### (1) 報道・プレスリリース

2018年4月4日 KEK・東北大・J-PARC プレス発表「重いハイパー核(フッ素  ${}^{19}_{\Lambda}\text{F}$ )の構造解明に成功 - 中性子星の内部構造を理解する手がかりに」

<https://www2.kek.jp/ipns/ja/release/hyper/>

・2018年4月20日 科学新聞「重いハイパー核の精密構造 国際チームが解明」

2015年11月25日 KEK・東北大・J-PARC・JAEA プレス発表「J-PARC ハドロン実験施設で“奇妙な粒子”が原子核の荷電対称性を破る現象を発見」

<http://www.sci.tohoku.ac.jp/news/20151125-37>

44.html

- ・2015年12月23日 大学ジャーナル「電荷対称性の破れ 原子核の中で新現象発見」  
<http://univ-journal.jp/3581/>

## (2) アウトリーチ

### 一般向け講演会

田村裕和, “加速器でミニ中性子星を作る 地上実験で迫る中性子星の謎 ” 2018年2月18日, 日本科学未来館。

田村裕和, “中性子星の奇妙な物質 加速器実験と X 線・重力波で探る ”, 日本物理学会主催「科学セミナー」2013年8月22~23日, 東京大学小柴ホール。

田村裕和, “素粒子から物質がどう作られた?”, 東北大学サイエンスカフェ, 2012年8月31日, 仙台。講演、デモ実験と議論。

### 一般向け記事, 入門書

田村裕和, “中性子星の奇妙な物質”, 日本物理学会編「宇宙の物質はどのようにできたのか—素粒子から生命へ—」日本評論社 (2015) p.148-167.

田村 裕和, “宇宙のかなたにある不思議な物質 - 中性子星の謎 - ” 大阪市立科学館発行 月刊「うちゅう」2013年7月号 p.4-9.

## (3) ホームページ

<http://lambda.phys.tohoku.ac.jp/nstar/>

## (4) 受賞

山本剛史 (東北大)  
第23回 (2016年度) 原子核談話会新人賞  
"Charge symmetry breaking in  $\Lambda N$  interaction studied via the  $\gamma$ -ray spectroscopy of  ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ "

池田迪彦 (東北大)  
2016年度測定器開発優秀修士論文賞 および  
2016年度 HUA(ハドロンホールユーザー会) 修士論文賞「シグマ陽子散乱実験のための BGO カロリメータシステムの構築」

小林和矢 (大阪大)  
2016年度 HUA 修士論文賞「 $\Sigma p$  散乱実験用エアロゲルチェレンコフ検出器の開発」

塩崎健弘 (東北大)  
2014年度測定器開発優秀修士論文賞・計測システム特別賞 および  
2014年度 HUA 修士論文賞  
「 $\Sigma p$  散乱実験のための MPPC 多チャンネル読み出しシステムの開発」

山本 康嵩 (東北大)  
2014年度東北大学物理学専攻賞「ハイパー核ガンマ線分光実験用 Ge 検出器のデジタル読み出しシステムの開発」

赤澤 雄也 (東北大) 2013年度測定器開発

優秀修士論文賞「シグマ陽子散乱実験のため検出器群開発」

松本祐樹 (東北大)

2012年度 HUA 修士論文賞「J-PARC 大強度ビームトラッキング用ファイバー検出器の開発」

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田村 裕和 (TAMURA, Hirokazu)  
東北大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号: 10192642

### (2) 研究分担者

阪口 篤志 (SAKAGUCHI, Atsushi)  
大阪大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 70205730

應田 治彦 (OUTA, Haruhiko)  
国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器科学研究センター・専任研究員  
研究者番号: 60221818

### (3) 連携研究者

三輪 浩司 (MIWA, Koji)  
東北大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 50443982

小池 武志 (KOIKE, Takeshi)  
東北大学・高度教養教育・学生支援機構・准教授  
研究者番号: 70396422

味村 周平 (AJIMURA, Shuhei)  
大阪大学・核物理研究センター・准教授  
研究者番号: 10273575

福田 共和 (FUKUDA, Tomokazu)  
大阪電気通信大学・工学部・教授  
研究者番号: 1027357

鈴木 隆敏 (SUZUKI, Takatoshi)  
東京大学・大学院理学系研究科・助教  
研究者番号: 50415197

中村 哲 (NAKAMURA, Satoshi)  
東北大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号: 10192642

鵜養 美冬 (UKAI, Mifuyu)  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究機関講師  
研究者番号: 30420053

山本 剛史 (YAMAMOTO, Takeshi)  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・博士研究員  
研究者番号: 80784751