

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 9 月 21 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：24105001

研究課題名(和文) 実験と観測で解き明かす中性子星の核物質

研究課題名(英文) Nuclear Matter in Neutron Stars Investigated by Experiments and Astronomical Observations

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) 35,800,000円

研究成果の概要(和文)：地上実験・天体観測・理論研究を統合して中性子星内部の物質の解明を目指した。冷却原子実験により低密度での中性子物質の状態方程式(EOS)を決定し、RIBFにて中性子過剰核の構造の実験や衝突の実験により中・高密度での中性子過剰核物質EOSの情報を取得し、J-PARCでのハイパー核等の実験により超高密度でのEOS構築に不可欠なストレンジ粒子の相互作用を決定した。これらの実験成果と核物質や天体の理論計算を組み合わせ、EOSを改良し中性子星核物質の理解を大きく進展させた。衛星用のX線検出器技術も圧倒的に向上し中性子星半径の精密決定が可能となったため、今後の観測でEOSが直接検証できることとなった。

研究成果の概要(英文)：We aimed at elucidating properties of neutron star matter by integrating laboratory experiments on the earth, astronomical observations, and theoretical studies. We have successfully determined the equation of state (EOS) of neutron matter at very low densities via experiments using ultracold atoms, obtained information on the neutron-rich nuclear matter EOS at medium and higher densities through structure studies of and collision experiments with neutron-rich nuclei at RIKEN RIBF, and uncovered via hypernuclear experiments at J-PARC the interactions of particles with strangeness which play crucial roles in building the EOS at high densities. Combining these experimental results with theoretical works on nuclear and astrophysics, we have improved the EOS and achieved better understanding of nuclear matter in neutron stars. We have also greatly improved technology of X-ray detectors for satellites, which will allow us to measure neutron star radii precisely and confirm the EOS.

研究分野：原子核物理学

キーワード：原子核物理 中性子星 X線天文学 核物質 冷却原子 ハイパー核 中性子過剰核 状態方程式

1. 研究開始当初の背景

中性子星は、超新星爆発のあとに残る極めて高密度の巨大原子核のような天体で、電子が殆どなく中性子などのバリオン(重粒子)のみからできていると考えられる。しかし中性子星内部の物質の性質や中性子星の構造は謎に包まれており、これを解明するには原子核物理学、物性物理学、素粒子物理学から天体物理学、天文学などの様々な分野が連携して研究を進める必要がある。我々は、世界最高水準にある日本の実験核物理や X 線天文などの研究を生かしてこの課題に取り組むこととし、新学術領域研究「実験と観測で解き明かす中性子星の核物質」を開始した。

この新学術領域研究では、J-PARC におけるストレンジネス核物理の実験研究で得られる核物質中でのハイペロンの相互作用の詳細(計画研究 A01,A02)、理研 RIBF における中性子過剰核の実験研究で得られる中性子過剰核物質の低密度から高密度での物性(計画研究 B01,B02)、極低温原子系の実験研究で得られるフェルミ縮退ガスの性質(計画研究 B03)、そして ASTRO-H (ひとみ)による X 線天文観測(計画研究 C01)で得られる中性子星の半径の情報を、さまざまな理論研究(計画研究 D01)を通して統合し、中性子星の中心から表面までの広範囲の密度と様々な粒子組成の核物質全体を支配する状態方程式(EOS)を決定し、そこから中性子星の内部構造を明らかにし、中心部に出現するとされるハイペロンの存否や、中性子等の超流動状態の解明など、中性子星内部に現れる様々な核物質の正体を解明することを目指している。

この領域研究の目的を達成するため、本総括班を組織することとなった。

2. 研究の目的

本研究は、新学術領域研究「実験と観測で解き明かす中性子星の核物質」の総括班としての計画研究であり、目的は、以下の通り。

・7つの計画研究と関連する公募研究のそれぞれの進展を支援するとともに互いの連携研究を促進する。

・研究会や若手向けスクールなどの開催を通して本領域を構成する各分野や研究コミュニティの研究者の相互理解を図り、共同研究の土壌を涵養するとともに、本領域を支える若手研究者を育成する。

・実験・観測技術や装置の異なる研究班での相互利用や共同開発を促進する。

・国際会議の主催・共催や国際会議への派遣によって、本領域研究の活動や成果を世界の関連する研究者に周知するとともに彼らとの交流を本研究に役立てる。

・ホームページやアウトリーチ活動を通じて、広い分野の研究者や一般市民にこの新しい研究領域について知ってもらう。

以上を通して、「中性子星核物質」の解明を促進させるとともに、新しい融合分野としての知名度の向上をはかる。

3. 研究の方法

総括班には各計画研究班から1名(C01は2名)が分担者として加わり、以下を行った。

(1) 総括班会議を1~2か月ごとに実施し、各計画研究の進捗状況のチェックや研究会・スクール等の企画・準備を行なった。

(2) 領域研究会

領域全体にまたがる研究会(2~3日程度)を以下のように毎年開催した。各計画研究と公募研究の現状や成果の報告と議論を中心に、関連した話題の講演も加え、異なる分野の研究者間の相互理解を深めながら、本領域の研究活動や成果を領域全体で共有し、共同研究につながるような議論を行った。研究会は本領域研究に関わっていない研究者にもオープンにして、研究の裾野の拡大に努めた。

・2012年6月26~27日(キックオフ研究会) 理研, 参加者124名。

・2013年12月27~28日(第二回研究会), 理研, 参加者129名。

・2014年9月23日~25日(第三回研究会), 熱川温泉, 68名参加。

・2015年9月17日~18日(第四回研究会), 湘南国際村, 56名参加。

・2017年2月16~18日(第五回研究会), 福島飯坂温泉, 52名参加。若手のみが運営・参加する「若手セッション」を設け、本領域研究への意見や将来展望を議論した。

また、これらとは別に公募研究の代表らを集めた研究会も以下のように行った。

・2013年9月12日~13日(公募研究キックオフ交流会), 東北大, 35名参加。

(3) 若手向けスクール

学生や若手研究者を主な対象としたスクール(2~3日間)を毎年開催した。各研究分野の基本的内容の講義に、若手参加者の発表や研究施設の見学会を加えた。

・第1回:2013年2月25~27日, KEK, 90名参加, JAXA(つくば)とJ-PARC 施設見学。

・第2回:2013年12月25~26日, 理研, 99名参加, RIBF の施設見学。

・第3回:2015年2月25~27日, 阪大 RCNP, 約55名参加, RCNP の施設見学。

・第4回:2016年2月24~26日, 国立天文台, 約50名参加, ドームシアター見学。

・第5回:2017年2月16~18日(研究会と合わせて開催) 福島飯坂温泉, 52名参加。

(4) 国内研究会, セミナー

上記以外にも国内研究会・セミナーの主催・共催を計21件行った。中でも、

・新学術3領域合同シンポジウム「多面的アプローチで解きあかす宇宙と天体」, 2015年7月24~25日, 東北大学, 約60名参加。

は、重力波天体・地下素核研究・中性子星核物質の3新学術領域の相互理解を目指し、本総括班が他領域に呼び掛けて合同で行った。

また、検出器や実験・観測技術に関する以下の研究会を開催、研究班をまたがる装置や技術の相互利用や共同開発の検討を行った。

- ・第一回検出器研究会：2013年10月17日、JAXA（見学あり）、35名参加。
- ・第二回検出器研究会：2017年3月4日、東工大、35名参加。

(5) 国際会議等の開催

「中性子星核物質」をテーマとした国際会議を主催するとともに、関連するテーマの国際会議や国際スクールを共催・協賛し、本領域研究の世界への周知と世界の関連する研究情勢の吸収に努めた。

主催した国際会議・国際スクール

- ・ Int. Symp. on Neutron Star Matter, 2013年10月25日、京都、約40名参加。
- ・ Int. School on Neutron Star Matter, 2014年3月4~7日、京都、43名参加。
- ・ 日米合同原子核物理学会でのミニシンポジウム"Nuclear Matter in Neutron Stars"を主催、2014年10月7~11日、ハワイ島。2件の招待講演と33件の応募講演。
- ・ Int. Symp. on Neutron Star Matter - Recent Progress in Observations, Experiments and Theories - (NSMAT2016), 2016年11月21~24日、仙台、130名参加(うち外国人28名)。本領域研究のとりまとめ国際会議。口頭発表68(うち招待講演11)、ポスター発表12。

共催した国際会議

- ・ YITP workshop on "Nuclear equation of state and hypernuclear physics", 2013年1月18~19日、京都大学。
- ・ 3rd Int. Symp. on Nuclear Symmetry Energy, 2013年7月22~26日、East Lansing, Michigan, USA. 参加者84名。
- ・ Int. Symp. on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG12), 2013年11月18~22日、つくば、117名参加。総括班が中性子星物質の特別セッションを開催。
- ・ Int. Workshop on "Intersection of cold-atomic and nuclear physics", 2014年5月12日~13日、Pohang 韓国。B03班との共催。アジア初の冷却原子と原子核物理の合同研究会。
- ・ Int. Workshop on "Nuclear Physics with strangeness at J-PARC", 2014年5月31日~6月1日、理研。A01, A02班との共催。
- ・ 12th Int. Conf. on Hypernuclear and Strange Particle Physics (HYP2015), 2015年9月7~12日、仙台、参加数203名。ハイペロン・パズルに関する特別セッション開催。
- ・ Int. Symp. on Physics and Astronomy of Neutron Stars and Supernovae, 2015年6月22~23日、国立天文台、参加者約35名。
- ・ Numazu Workshop 2015: Challenges of modeling supernovae with nuclear data, 2015年9月1~4日、三島。

協賛した国際会議・国際スクール

8件の国際会議・国際スクールを協賛した。協賛した会議等では総括班メンバーが参

加・講演し、また組織委員として領域代表が

- ・ 4th および 5th Int. School for Strangeness Nuclear Physics (2015年9月3~5日および2016年11月18~20日、いずれも東北大学)では、外国人講師による中性子星核物質の講義を前者では1名、後者では2名入れた。
- ・ 16th Int. Symp. on Nuclei in the Cosmos (NIC-XIV), 2016年6月19-24日、新潟、では中性子星セッション開催に貢献した。

(6) 広報・アウトリーチ活動

一般向け講演会・出前授業

- ・ 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, 約100名参加。講演・装置デモ・参加者との議論を行った。
 - ・ 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。
 - ・ 玉川 徹, "宇宙の進化とブラックホールの謎", 公開講演会「21世紀の科学技術」~みんなで学ぼう! 宇宙の最前線~, 2015年12月20日, 長崎総合科学大学。
- など、計12件の講演会・出前授業を行った。

一般向け記事、入門書

- ・ 田村 裕和, "宇宙のあ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.
- ・ 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年, p.148-167.
- ・ 中村隆司, 基本法則から読み解く物理学最前線「不安定核の物理」, 共立出版, 2016年, p.1-194. 第6章「中性子過剰核で探る中性子星」に本領域研究の内容を解説。

ホームページの充実

本領域のホームページには、活動内容や研究成果のほか、一般向けの記事も掲載した。

4. 研究成果

(1) 各研究課題の成果

A01「多重ストレンジネスのバリオン間相互作用」本領域研究で開発した装置による解析で世界初の Ξ ハイパー核の証拠を発見(日本物理学会論文賞受賞)また $^{12}\text{C}(K^-, K^+)$ 反応スペクトルの測定にも成功し、 Ξ -核子間相互作用が引力であることを確定した。一方、 ΞN , $\Lambda\Lambda$ 間力を詳しく調べるためエマルジョン実験(J-PARC E07)を準備し、実験を開始した。またHダイバリオン探索実験用大立体角ハイペロンスペクトロメータを完成させ、ビームタイムも認められた。中性子星中心部の解明に不可欠なストレンジネス $S=-2$ 系の基本データが間もなく揃うこととなった。

A02「中性子過剰核物質中のストレンジネス」中性子過剰ハイパー核 $^6_{\Lambda}\text{H}$ の生成実験を行い、海外の報告に反してこの核が束縛しない可

能性を示した。また、 ${}^4\text{He}$ の γ 線分光実験により、大きな荷電対称性の破れ (Λ p- Λ n 相互作用の違い) を発見した。明確なK pp 束縛状態の存在を示す高統計データも得た。これらから、中性子星でハイペロンが発生し始める中性子過剰核物質中での相互作用の特徴や、核内の反 K 中間子の性質が明らかになってきた。 Σ n 相互作用を決定して中性子星での Σ の発生を調べるため、 Σ^+ p 散乱実験を準備し、新型の陽子検出器システム CATCH を完成させ、ビームタイムを待っている。

B01「高密度中性子過剰核物質の状態方程式」 核密度の約 2 倍の高密度での中性子過剰核物質 EOS の「対称エネルギー」を決定するため、RIBF で幅広い陽子数/中性子数比をもつ原子核ビームの衝突実験を進めた。発生する π^+ と π^- の生成比測定のため多種粒子測定装置 SAMURAI の電磁石に組み込む大型多重飛跡検出器(TPC) を米国と共同製作し、読出し回路も国際共同開発した。その後、不安定核ビーム(${}^{108,132}\text{Sn}$)と安定標的(${}^{112}\text{Sn}$, ${}^{124}\text{Sn}$)の衝突実験を成功裏に実施した。データ解析は順調に進んでおり、この解析結果と理論計算結果との比較から対称エネルギーの密度依存性の情報が初めて得られると期待される。

B02「中性子過剰な中低密度核物質の物性」

線検出器(CATANANA)を製作、これと SAMURAI を用い、中性子過剰 Ca 核のクーロン励起によるピグミー共鳴の観測をめざした(2017年4月に成功裏にデータを取得)。 ${}^{22}\text{C}$, ${}^{19}\text{B}$ のクーロン分解反応実験ではダイニュートロン相関の兆候を示す強いクーロン励起強度を観測。 ${}^{31}\text{Ne}$, ${}^{37}\text{Mg}$ に変形駆動型ハローを発見。不安定核の荷電交換反応により「テトラ中性子」の候補を発見。非束縛核 ${}^{26}\text{O}$ では 2 中性子が僅かに非束縛であることを見出した。これらの結果は中低密度の中性子過剰核物質 EOS の情報を与え、3 体力等の核力の現代的理論モデルにも強い制限を与えた。

B03「冷却原子を用いた中性子過剰な低密度核物質の状態方程式」 縮退フェルミ原子気体を用い s 波相互作用フェルミ粒子系の熱力学量を測定し、普遍的な EOS を無次元形式で得た。この実験値は D01 公募研究の大橋らの強結合理論の予想と一致した。この EOS に中性子の散乱長と質量を与え、希薄な中性子物質の EOS を得た。高密度領域に EOS を延長するため、p 波相互作用フェルミ系の研究も行い ${}^6\text{Li}$ 原子の p 波 Feshbach 共鳴のパラメータを決定して p 波での近距離粒子相関を測定した。また、中性子物質 EOS を中性子星核物質 EOS に変換するための計算手法も確立した。

C01「宇宙 X 線・ガンマ線観測による中性子星研究の新展開」 中性子星半径の精密決定のため、ASTRO-H 衛星に搭載される X 線分光装置の改良・試験を行い、過去の衛星デー

タの再解析等により観測候補天体の絞り込みも行った。軟 X 線用マイクロカロリメータは従来の約 30 倍良いエネルギー分解能(4.9 eV FWHM)を軌道上で達成した。ASTRO-H (ひとみ)は短時間で運用停止となったが、先端装置の開発成功は今後に向けた重要な成果である。将来に向けて CdTe 両面ストリップ検出器等の新型検出器も開発した。一方、既存 X 線衛星データや、フェルミ衛星等の線データを解析し、中性子星の半径決定に関わる新たな成果を得た。

D01「中性子星と核物質の理論研究」 原子核・天体・凝縮系の理論家が協力して、実験・観測班(A,B,C 班)と連携しながら (A)高密度側の多成分最高密度低温物質、(B)低密度側の非対称核子物質、(C)中性子星核物質 EOS とコンパクト天体現象、の 3 方向から理論研究を行った。(A)ハイパー核・K 中間子核の構造・反応データから相互作用を理解し、クォーク物質の性質も調べる、(B)対称エネルギーの大きさや密度依存性を実験データから引き出す、(C)新たな原子核・ハドロン物質 EOS の提案および中性子星諸現象の分析、(D)冷却原子系に基づく中性子物質の理解、について研究が大きく進展した。重イオン衝突データの 2 粒子相関によるハドロン間相互作用の分析や、3 体力の起源の研究、現象論的に決定した 3 体力の EOS への適用など当初の想定外の研究も進展した。

(2) 領域全体の研究成果

D01 班の成果で述べたように、実験・観測に関する計画・公募研究の成果と理論研究とを統合することで、新しい EOS の提案や中性子星の新たな理解につなげることができた。冷却原子の実験に基づく低密度領域の EOS の決定に成功、RIBF 等での中性子過剰核の構造や中性子スキン等の実験データによる中密度領域の EOS を支配する対称エネルギーの制限、RIBF での中性子過剰核衝突実験による高密度領域 EOS の対称エネルギーへの制限、J-PARC でのハイパー核や K 中間子核の実験による高密度領域 EOS の input として不可欠なハイペロンや K 中間子の相互作用の決定などを達成した。これらの成果を核物質や天体の理論計算を組み合わせ、EOS を改良し、中性子星核物質の理解を大きく進展させることができた。ひとみ衛星による中性子星の精密半径測定はできなかったが、衛星用 X 線検出器技術が圧倒的に向上したため、今後の観測で EOS の直接検証が可能となった。

(3) 上記以外の連携研究の成果

上記の成果は、D01 (計画・公募)の理論研究と他の各計画・公募研究との連携により達成されたが、それ以外の連携研究として、
・高密度核物質の理解とハイペロン・パズルの解決に不可欠な 3 体力の実験的研究は B02 公募・関口仁子の課題だが、A02 計画班と

関口氏が共同研究により、A02 班が p 散乱実験用に開発した多重陽子検出器システム (CATCH) を用いて breakup を含む p+d 散乱の実験を東北大 CYRIC で実施し 3 体核力のデータを得た。この研究は今後も発展させる。
・B01 計画班が開発した TPC の読み出し回路システムは、A01 班が製作した TPC でも使用。
・A02 計画班が開発した Σp 散乱実験用シンチレーションファイバー + MPPC の検出器技術と読み出し回路を B01, B02 計画班が SAMURAI 内部に設置する多重度検出器に利用した。
・C01 計画班の開発した ASIC の技術や CdTe などの半導体検出器技術は、加速器実験 A01/A02/B01/B02 班で利用できるものが多く、検出器研究会の議論を経て、今後技術移転や共同研究を進めるためのチームを結成した。

(4) 新領域コミュニティの醸成

領域研究会や若手スクール等を通して、以前全く交流のなかった分野の研究者が互いの研究を理解し合い、活発に議論を行い、連携研究が生まれるようになった。異分野間の研究ネットワークの基盤と、中性子星物質という新しい研究コミュニティが作られた。研究成果をみると、こうした分野横断的アプローチが実際に中性子星物質の研究に極めて有効であったことがわかる。

(5) 人材の育成

本領域研究は研究者育成にも貢献した。本領域の計画研究で 20 名が博士号取得 (うち 16 名が研究職に就職), 93 名が修士号を取得。また雇用した合計 21 名のポスドク・任期付教員のうち 7 名がテニユアの教員職についた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 151 件)

T. Nagae, H. Tamura, T. Takahashi (30 番) et al. (計 43), “Search for a Ξ bound state in the $^{12}\text{C}(K, K^+)X$ reaction at 1.8 GeV/c”, Proceedings of Science, 掲載決定, 査読有。

F. Aharonian, T. Takahashi(173 番), T. Tamagawa (176 番) et al. (計 217, Hitomi coll.) “Hitomi Constraints on the 3.5 keV Line in the Perseus Galaxy Cluster”, *Astrophys. J.* **837**(2017) L15 査読有, DOI:10.3847/2041-8213/aa61fa

H. Tajima, M. Horikoshi(6 番), et al. (計 7), “Zero-Temperature Properties of a Strongly Interacting Superfluid Fermi Gas in the BCS–BEC Crossover Region”, *J. Low Temp. Phys.* (2016) 1-8 査読有, DOI:10.1007/s10909-016-1691-9

Y. Togano, T. Nakamura(2 番) et al. (計 47), “Interaction cross section study of the two-neutron halo nucleus ^{22}C ”, *Phys. Lett. B* **761** (2016) 412-418 査読有, DOI:10.1016/j.physletb.2016.08.062

Y. Kondo, T. Nakamura(2 番) et al. (計 45), “Nucleus ^{26}O : A Barely Unbound System beyond

the Drip Line”, *Phys. Rev. Lett.* **116** (2016) 102503-1-6 査読有

DOI:10.1103/PhysRevLett.116.102503

T. Ikemachi, M. Horikoshi(7 番), et al. (計 7), “All-optical production of dual Bose–Einstein condensates of paired fermions and bosons with ^6Li and ^7Li ”, *J. Phys. B* **50** (2016) 01LT01 査読有, DOI:10.1088/1361-6455/50/1/01LT01

W. Iwakiri, T. Tamagawa(14 番) et al. (計 14), “Performance of the PRAXyS X-ray polarimeter”, *Nucl. Instr. Meth. A* **838** (2016) 89-95 査読有, DOI:10.1016/j.nima.2016.09.024

T. Takahashi(171 番), T. Tamagawa(174 番), et al. (計 215), “The quiescent intracluster medium in the core of the Perseus cluster”, *Nature* **535** (2016) 117-121 査読有, DOI:10.1038/nature18627

G. Sato, T. Takahashi(28 番) et al. (計 30), “The Si/CdTe semiconductor camera of the ASTRO-H Hard X-ray Imager (HXI)”, *Nucl. Instr. Meth. A* **831** (2016) 235-241 査読有, DOI:10.1016/j.nima.2016.03.038

Y. Nara, H. Niemi, A. Ohnishi, H. Stoecker, “Examination of directed flow as a signature of the softest point of the equation of state in QCD matter”, *Phys. Rev. C* **94** (2016) 034906-1-10 査読有, DOI:10.1103/PhysRevC.94.034906

N. Ikeno, A. Ono, Y. Nara, A. Ohnishi, “Probing neutron-proton dynamics by pions”, *Phys. Rev. C* **93** (2016) 044612 査読有, DOI:10.1103/PhysRevC.93.044612

K. Nakazawa, T. Takahashi(20 番) et al. (計 24), “The first evidence of a deeply bound state of $\Xi^{-14}\text{N}$ system”, *Prog. Theor. Exp. Phys.* **2015** (2015) 033D02 査読有, DOI:10.1093/ptep/ptv008

Y. Ichikawa, T. Koike(18 番), K. Miwa(21 番), T. Takahashi(34 番), H. Tamura(36 番) et al. (計 44), “Observation of the “K-pp”-like structure in the $d(\pi^+, K^+)$ reaction at 1.69 GeV/c”, *Prog. Theor. Exp. Phys.* **2015** (2015) 021D01-1-8 査読有, DOI:10.1093/ptep/ptv002

T.O. Yamamoto, T. Koike(28 番), K. Miwa(31 番), T. Takahashi(47 番), H. Tamura(48 番) et al. (計 54), “Observation of Spin-Dependent Charge Symmetry Breaking in ΛN Interaction: Gamma-Ray Spectroscopy of $^4_\Lambda\text{He}$ ”, *Phys. Rev. Lett.* **15** (2015) 222501-1-5 査読有, DOI:10.1103/PhysRevLett.115.222501

R. Shane, T. Murakami(16 番) et al. (計 28), “SpiRIT: A Time-projection chamber for symmetry-energy studies”, *Nucl. Instr. Meth. A* **784** (2015) 513-517 査読有, DOI:10.1016/j.nima.2015.01.026

K. Morita, T. Furumoto, A. Ohnishi, “ Λ – Λ interaction from relativistic heavy-ion collisions”, *Phys. Rev. C* **91** (2015), 024916-1-16 査読有, DOI:10.1103/PhysRevC.91.024916

H. Sugimura, K. Miwa(32 番), T. Takahashi (54 番), H. Tamura(56 番) 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

N. Kobayashi, T. Nakamura(2番) et al. (計32), “Observation of a p-Wave One-Neutron Halo Configuration in ^{37}Mg ”, Phys. Rev. Lett. **112** (2014) 242501-1-5 査読有,
DOI:10.1103/PhysRevLett.112.242501

J.K. Ahn, T. Takahashi(58番) et al. (計78), “Double- Λ hypernuclei observed in a hybrid emulsion experiment”, Phys. Rev. C **88** (2013) 014003-1-10 査読有,
DOI:10.1103/PhysRevC.88.014003

M.B. Tsang, T. Murakami(13番) et al. (計19), “Constraints on the symmetry energy and neutron skins from experiments and theory”, Phys. Rev. C **86** (2012) 015803-1-10 査読有,
DOI:10.1103/PhysRevC.86.015803
他 131 件.

[学会発表](計 137 件)

T. Nakamura, “Structure of neutron drip-line nuclei probed by breakup reactions”, 13th Asia Pacific Physics Conference, 2016.12.4-8, Brisbane, Australia.

T. Murakami, “Symmetry energy at supra nuclear density from heavy-ion reactions”, YIPQS2016, 2016.10.17-21, 京都大学(京都市).

H. Tamura, “Recent Progress in Hypernuclear Physics”, 25th Int. Nuclear Physics Conference, 2016.9.11-16, Adelaide, Australia.

M. Horikoshi, “From cold atoms to dilute neutron matter”, 12th Asian Int. Seminar on Atomic and Molecular Physics, 2016.9.7, Changchun, China.

H. Tamura, “Experimental Approaches to Strangeness in Neutron Stars”, 16th Int. Symp. on Nuclei in the Cosmos, 2016.6.19-24, 朱鷺メッセ(新潟市).

T. Murakami, “The Status of the RIKEN $\Sigma\pi$ RIT experiment”, Int. Symp. on Nuclear Symmetry Energy 2016, 2016.6.13-17, Beijing, China.

T. Nakamura, “Nuclear Matter in Neutron Stars by Experimental and Astronomical Observations”, Int. Symp. on Hadrons and Hadron Interactions in QCD 2015, 2015.3.2-6, 京都大学(京都市).

A. Ohnishi, “Neutron star matter equation of state: current status and challenges”, 4th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan, 2014.10.7-11, Waikoloa, Hawaii, USA.

T. Takahashi, “The ASTRO-H X-ray astronomy satellite”, Space Telescopes and Instrumentation 2014: Ultraviolet to Gamma Ray”, 2014.6.22-26, Montreal, Canada.

H. Tamura, “Experimental Approaches to Exotic Matter in Neutron Stars”, 12th Int. Symp. on Origin of Matter and Evolution of Galaxies, 2013.11.18-22, エポカル(茨城県つくば市).

H. Tamura, “Nuclear Matter in Neutron Stars

—A Great Challenge in Nuclear Physics—”, The 12th Asia Pacific Physics Conference of AAPPS, 2013.7.14-19, 幕張メッセ(千葉市).
他 126 件.

[図書](計 1 件)

中村隆司 著, 共立出版「不安定核の物理」2016年, 194頁。(第6章「中性子過剰核で探る中性子星」に本領域研究の内容を解説。)

[その他]

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

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: 1 0 1 9 2 6 4 2

(2) 研究分担者

高橋 俊行 (TAKAHASHI, Toshiyuki)
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授
研究者番号: 5 0 2 8 1 9 6 0

村上 哲也 (MURAKAMI, Tetsuya)
京都大学・大学院理学研究科・講師
研究者番号: 5 0 2 1 9 8 9 6

中村 隆司 (NAKAMURA, Takashi)
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 5 0 2 7 2 4 5 6

堀越 宗一 (HORIKOSHI, Munekazu)
東京大学・大学院理学系研究・助教
研究者番号: 0 0 5 8 1 7 8 7

高橋 忠幸 (TAKAHASHI, Tadayuki)
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授
研究者番号: 5 0 1 8 3 8 5 1

大西 明 (OHNISHI, Akira)
京都大学・基礎物理学研究所・教授
研究者番号: 7 0 2 5 0 4 1 2

玉川 徹 (TAMAGAWA, Toru)
理化学研究所・仁科加速器研究センター・准主任研究員
研究者番号: 2 0 3 3 3 3 1 2

3) 連携研究者

小池 武志 (KOIKE, Takeshi)
東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 7 0 3 9 6 4 2 2

三輪 浩司 (MIWA, Koji)
東北大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 5 0 4 4 3 9 8 2