

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03642

研究課題名(和文) 荷電偏極を考慮した高精度核分裂収率による中性子星合体時r過程元素合成

研究課題名(英文) R-process nucleosynthesis at neutron star merger based on the high-accuracy nuclear fission yields with charge polarization

研究代表者

石塚 知香子(Chikako, Ishizuka)

東京工業大学・科学技術創成研究院・助教

研究者番号：10399800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は用いる核理論により全く異なる予想が与えられる超重核の核分裂の様相を、中性子星合体時のR過程元素合成の計算や観測との比較から制限する試みである。信頼できる結果を与えるためには、この試みの屋台骨である核分裂収率モデル・流体モデル・元素合成モデルの巧緻化が必要不可欠である。これら3つのモデルでは研究実施期間中に個々に精緻化を進めることができた。ただし本研究ではテスト計算実施後に核分裂収率モデルにおいて思わぬ発見があり、その妥当性チェックのために全体計画に若干遅れがでた。そのため当初計画の最終目標までは及ばなかったが、無事に元素合成計算に繋げることができ、観測による理論制限の直前まで来れた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超重核の核分裂は、R過程元素合成過程での核分裂サイクルにより結果として得られる元素の組成比を大きく左右することが知られている。しかしR過程のサイトとされる中性子星合体などで実現する温度は核分裂実験が可能な系の温度に比べると非常に低く、どの理論がどれだけ正しく超重核の核分裂を予測可能であるかの指標がなかった。本研究は実験値のある原子核に対しては高い予測精度を持つモデルに基づきつつも核分裂の様相を人為的に変更可能にすることで、R過程において特に貢献度の高い重要な核種に対して不定性の大きな超重核の核分裂様式を観測から制限できる画期的な取り組みである。これにより核理論モデルの信頼性評価が可能となる。

研究成果の概要(英文)：Nuclear fission of super heavy nuclei (SHN) is experimentally very challenging to know. Such fission of SHN plays an essential role in the r-process nucleosynthesis during neutron star mergers. However, various theoretical models predict the conflicting fission ways, i.e., symmetric, asymmetric, double asymmetric, etc. So, we developed a fission model that can survey which fission ways are the most probable by comparing the fission model with the r-process simulations and its related observations. Our fission model uses theoretical nuclear models that can well reproduce nuclear fissions in actinides where experimental data is abundant. To enhance the reliability of our model's output information on the fission ways, we successfully refined each model part, such as fission yield, hydrodynamical, and nucleosynthesis models. We need extra time to examine unexpected discoveries on the fission mechanisms. But we achieved to connect newly-developed fission yields to nucleosynthesis.

研究分野：理論核物理

キーワード：核分裂 元素合成 超重核 中性子星合体

1. 研究開始当初の背景

本研究は 2018 年度から研究開始となったが、2017 年はまさに重力波観測の黎明期であり、長年の争点であった r 過程元素合成の実際のサイトの一つが中性子星合体であることが観測から強く示唆された天文史上において大変重要なタイミングであった。ただし、観測から推定された放出物質質量(電磁波放射)が理論予測より多く、また、電磁波放射は Cs および Te を含む物質放出を示唆するなど、従来の単純なモデルでは説明できない点多かった。一方で 2015 年から 2016 年にかけての関口等の数値相対論計算により中性子星合体の研究も進みつつあり、それによれば超重核が合成されている可能性が高いが、その r 過程への定量的寄与は未解明という状況であった。2018 年前後のこのような状況下では、今後進むだろう中性子星合体からの電磁波放射の定量的理解のために、入力物理の中で未だに不定性が大きい核分裂が国内外で注目され始めた時期であった。

一方で研究開始当初の核分裂研究では、r 過程元素合成に対する寄与が特に大きい核種が盛んに議論され、国内外においてアクチノイド核種を中心にした核分裂機構の解明をめざした実験が活発に展開され始めた時期でもあった。とはいえ、r 過程元素合成のような天体現象では実験で実現できる温度よりも系の温度がずっと低い。そのため、特に r 過程元素合成で争点となっていた r 過程元素合成で作られる超重核の核分裂サイクルで重要な超重核核種の核分裂を実験で解明することは当時も今も非常に挑戦的な課題のままである。これに対し、理論的な研究については、2017 年には石塚等が開発した 4 次元ランジュバン模型が様々なアクチノイド核種の核分裂に関する実験データを非常に精度良く予言できることが明らかとなった。また同時期に微視的な手法による核分裂研究も急速に発展し始め、現在に至るまで、特に超重核の核分裂に関する理論的な研究では、様々な手法が提案され非常に活発な議論が続いている。

2. 研究の目的

本研究の目的は中性子星合体時の r 過程元素合成とその崩壊熱に起因する電磁波放射の定量的理解を進め、観測による核分裂への制限可能性を探求することである。これまでは加速器実験以外の手法により、特定の核種が非対称分裂 / 対称分裂 / 両方の様式で分裂するというような核分裂の様式を制限する方法はなかった。これに対して本研究では、中性子星合体時の r 過程元素の崩壊熱を起源とする電磁波放射の観測と、核分裂収率構造の理論モデルからの予想を比較することで、実験では実現が困難な未知の核種の核分裂様式に対して観測的に制限を与えることを目指す。

核分裂に与える制限の信頼性を高めるためには数値相対論計算や元素合成計算の巧緻化を進めることも不可欠である。その上で、モデル依存性が高い r 過程への核分裂の寄与を定量的に評価し、我々のモデルにおいて特に r 過程元素合成への貢献度の高い核種を同定することが必要である。その上で、特定した高貢献度の核種が対称核分裂をするのか、それとも非対称なのか、その両方を含む核分裂様式なのか等の核分裂収率の違いを r 元素組成から特定可能かどうか、検証することが求められる。

3. 研究の方法

超重核のようにデータのない領域の核分裂を土台として議論を展開するには、データがある領域でのモデルの信頼性と核分裂収率の構造を大局的に出せて、かつ未知の核に対してはピーク構造についてはある程度自由度があるモデルの構築が不可欠である。本研究では、中性子星合体の数値相対論計算(分担者:関口)および r 過程元素合成計算(分担者:和南城、期間途中で海外へ転出)に関しては、各々の分担者により開発され既に十分な実績のあるものを利用し、巧緻化を図った。その一方で、本研究の中核を担う高精度核分裂生成物収率モデルは、申請代表者:石塚と分担者:椿原が開発にあたった。この核分裂生成物収率モデルの基本となるのは分担者の千葉等が 2008 年に開発した核分裂質量収率モデル(以下、Ohta2008 モデル)である。Ohta2008 モデルは二中心殻模型によるポテンシャル平面と 3 次元ランジュバン模型の軌道を使って r 過程元素合成時に核分裂するような中性子過剰核の質量分布を与える。このモデルを用いた中性子星合体時の r 過程元素合成の寄与は先行研究で調べられているが、アイソトープ分布が考慮されておらず、定量的な議論にはパワー不足であった。本研究では、Ohta2008 モデルの質量収率に対して、実験値および研究代表者等が開発した 4 次元ランジュバン模型による質量収率や核分裂片間の荷電分配の偏りの予想値を用いてアイソトープ分布を予想し、定量的のあるモデルの開発をすすめた。以上の手順で得られた核分裂生成物収率モデルは、核分裂後のベータ崩壊に伴う崩壊熱や原子炉燃料サンプルの照射後試験解析による評価を行いながら改良を行った。

4. 研究成果

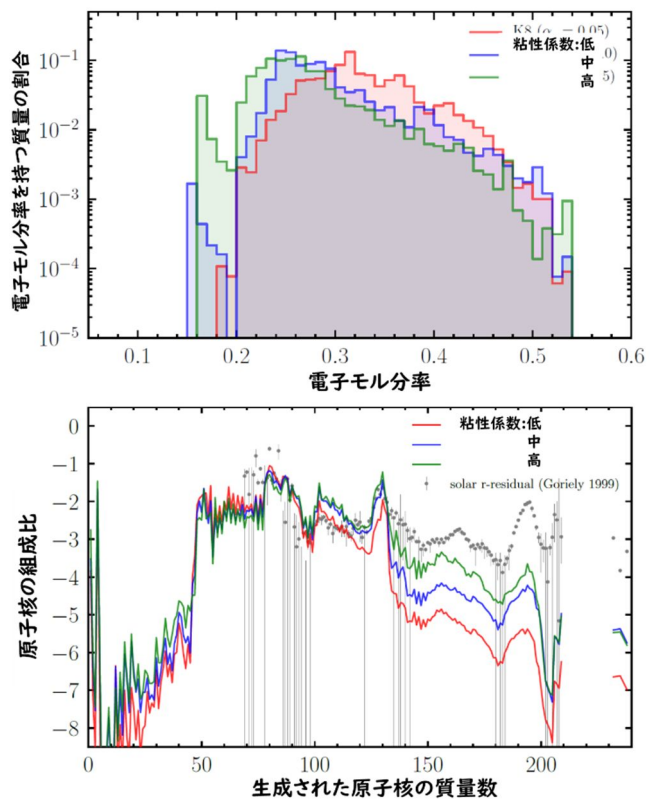
本研究では、2018 年度から 2021 年度までの間に、14 件の査読付き論文が出版され、5 件の招待講演、1 件の学会誌解説記事、その他多数の国際会議および学会での発表が行われた。また 2019 年には情報交換を目的とした国際会議を開催した。これらの研究活動に対して、2018 年および 2019

年に研究代表者:石塚と分担者:千葉に対して日本原子力学会核データ部会学術賞が授与された。また分担者:椿原が担当した実験値に基づく荷電偏極公式を含む論文(Tsubakihara et al. 2020)に対しては、2020年度に第53回日本原子力学会論文賞が授与された。この実験データに基づいて評価した核分裂収率は、2021年に公開された世界三大評価済標準核データライブラリの一つである JENDL-5 に採用された。

これらの研究成果の具体的内容を以下に核分裂収率モデルの開発に関する研究成果と中性子星合体の数値流体計算の巧緻化についての成果に分けて、その詳細を述べる。元素合成モデルの巧緻化については、2019年度以降分担者が海外へ転出し、分担を外れたことから、本報告書では割愛した。

核分裂収率モデルは、実験データに基づく荷電偏極公式と4次元ランジュバンモデルで予想された超重核の核分裂収率を組合わせて開発された。4次元ランジュバンモデルは大規模なクラスター計算機において並列計算を行っても1核種の核分裂を十分な精度で求めるのに約ひと月かかる。このような計算を陽子数 $Z=92-122$ の元素に亘って、中性子欠損側から中性子過剰側まで大規模かつ体系的に実施した。このようにして得られた核分裂片の質量収率のうち、特に超重核領域の核分裂様式が他の理論モデルや先行研究の3次元ランジュバンと異なることが判明し、その検証のために研究期間の延長が必要となった。既存の実験データとの比較や計算結果の詳細な分析の結果、アクチノイド領域から超重核領域にかけて、核分裂様式には連続的に変化する成分だけでなく、アクチノイド領域と超重核領域で不連続に変化する成分が共存し(Usang et al. 2019, Ishizuka et al. 2020)、その原因が錫と鉛二つの二重閉殻構造に由来することを解明できた(Ishizuka et al. 2020)。中性子星合体時の r 過程元素合成計算に用いる核分裂収率モデル $Y(Z, A)$ の開発では、一連の4次元ランジュバンモデル計算の質量収率 $Y(A)$ と、電荷分布を与える数千個の実験データから評価した荷電偏極公式(Tsubakihara et al. 2020)を掛け合わせて作成した。最終年度末までに、この核分裂収率モデル $Y(Z, A)$ を用いて、 r 過程元素合成で必要とされる核種を揃えたライブラリを作成し、無事に元素合成計算へ渡すことができた。

以上の核分裂収率モデルの開発の一方で、連星中性子星の中性子星合体に関する研究では、関口らが開発した、数値相対論の枠組みで、粘性効果、ニュートリノ輻射輸送を組みこんだ数値コードを用いてシミュレーションを行った。重力波イベント GW170817 において、「合体後」に形成された天体がブラックホールとそれを取り巻く降着円盤であると推定されていることから、本申請課題においては、ブラックホール降着円盤系の軸対称シミュレーションを系統的に行い、系からの放出物質の総質量と熱力学および化学的特性を調べた。その結果、光速の5~10%の速度で降着円盤の15~30%の物質が放出されること、放出物質の詳細な組成は仮定する粘性係数によるが、電子モル分率は0.25~0.3程度であることが明らかとなった(右図参照)。また、「合体時」の動的放出物質を加味すれば、観測されている太陽系の組成をよく説明できることも分かった(Fujibayashi et al. 2020)。また、上記の研究で用いた近似的なニュートリノ輻射輸送の妥当性を確かめるべく、ボルツマン方程式に基づく第一原理的な計算との較正評価を実施した。その結果、粘性係数などの不定性が残る現状では、我々の用いた近似的ニュートリノ計算でも十分な結果が得られることが分かった(Sumiyoshi et al. 2021)。さらに、本申請課題とは直接的なかわりは薄いですが、連星中性子星合体からの重力波放出に関する詳細かつ系統的な研究も行った(Kiuchi et al. 2020)。この研究結果は、2022年12月からの重力波観測04で活用できる。



< 引用文献 >

1. Masayuki Ohta et al., “Systematic study for the mass distribution of fission fragments in the neutron rich region”, Web of Conf. ND2007, 096 (2008).

2. Mark D. Usang, Fedir A. Ivanyuk, Chikako Ishizuka, Satoshi Chiba, “Correlated transitions in TKE and mass distributions of fission fragments described by 4-D Langevin equation”, *Scientific Reports* 9, 1525 (2019).
3. Chikako Ishizuka, Xuan Zhang, Mark D. Usang, Fedir A. Ivanyuk, Satoshi Chiba, “Effect of the doubly magic shell closures in Sn132 and Pb208 on the mass distributions of fission fragments of superheavy nuclei”, *Phys. Rev. C* 101, 011601 (R) (2020).
4. Kohsuke Tsubakihara, Shin Okumura, Chikako Ishizuka, Tadashi Yoshida, Futoshi Minato, Satoshi Chiba, “Evaluation of fission product yields and associated covariance matrices”, *J. Nucl. Sci. Tech.* Vol.58, 151 (published online in 2020, published in 2021).
5. Kohsuke Sumiyoshi, Sho Fujibayashi, Yuichiro Sekiguchi, and Masaru Shibata, *The Astrophysical Journal*, Vol. 907, 92 (2021), “Properties of Neutrino Transfer in a Deformed Remnant of a Neutron Star Merger”
6. Kenta Kiuchi, Kyohei Kawaguchi, Koutarou Kyutoku, Yuichiro Sekiguchi, and Masaru Shibata, *Phys. Rev. D* 101, 084006 (2020), “Sub-radian-accuracy gravitational waves from coalescing binary neutron stars in numerical relativity. II. Systematic study on the equation of state, binary mass, and mass ratio”
7. Sho Fujibayashi, Masaru Shibata, Shinya Wanajo, Kenta Kiuchi, Koutarou Kyutoku, and Yuichiro Sekiguchi, “Mass ejection from disks surrounding a low-mass black hole: Viscous neutrino-radiation hydrodynamics simulation in full general relativity” *Phys. Rev. D* 101, 083029 (2020).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Shimada Kazuya, Ishizuka Chikako, Ivanyuk Fedir A., Chiba Satoshi	4. 巻 104
2. 論文標題 Dependence of total kinetic energy of fission fragments on the excitation energy of fissioning systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 054609-1,7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.104.054609	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kouno Taiki, Ishizuka Chikako, Inakura Tsunenori, Chiba Satoshi	4. 巻 2022
2. 論文標題 Pairing strength in the relativistic mean-field theory determined from the fission barrier heights of actinide nuclei and verified by pairing rotation and binding energies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 023D02-1,13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab167	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Chiba Satoshi, Usang Mark D., Ishizuka Chikako, Ivanyuk Fedir, Xuan Zhang	4. 巻 2319
2. 論文標題 Deformation of fission fragments at scission studied by 4D Langevin model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 80015-1,4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0036969	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Sumiyoshi Kohsuke, Fujibayashi Sho, Sekiguchi Yuichiro, Shibata Masaru	4. 巻 907
2. 論文標題 Properties of Neutrino Transfer in a Deformed Remnant of a Neutron Star Merger	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 92-1,23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abce63	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kiuchi Kenta, Kawaguchi Kyohei, Kyutoku Koutarou, Sekiguchi Yuichiro, Shibata Masaru	4. 巻 101
2. 論文標題 Sub-radian-accuracy gravitational waves from coalescing binary neutron stars in numerical relativity. II. Systematic study on the equation of state, binary mass, and mass ratio	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 084006-1,25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.084006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Fujibayashi Sho, Shibata Masaru, Wanajo Shinya, Kiuchi Kenta, Kyutoku Koutarou, Sekiguchi Yuichiro	4. 巻 101
2. 論文標題 Mass ejection from disks surrounding a low-mass black hole: Viscous neutrino-radiation hydrodynamics simulation in full general relativity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 083029-1,27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.083029	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 石塚知香子, 千葉敏	4. 巻 125
2. 論文標題 "The International Workshop on Nuclear Physics for Astrophysical Phenomena"会議報告	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 核データニュース	6. 最初と最後の頁 26,33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsubakihara Kohsuke, Okumura Shin, Ishizuka Chikako, Yoshida Tadashi, Minato Futoshi, Chiba Satoshi	4. 巻 58
2. 論文標題 Evaluation of fission product yields and associated covariance matrices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 151 ~ 165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00223131.2020.1813643	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 石塚知香子、千葉敏	4. 巻 62
2. 論文標題 解説 核分裂の理論研究最前線 分裂する原子核の変化する形を追って	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本原子力学会誌ATOMO	6. 最初と最後の頁 499 ~ 503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3327/jaesjb.62.9_499	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 C. Ishizuka, X. Zhang, M. D. Usang, F. A. Ivanyuk, and S. Chiba	4. 巻 101
2. 論文標題 Effect of the doubly magic shell closures in ^{132}Sn and ^{208}Pb on the mass distributions of fission fragments of superheavy nuclei	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 011601-1,5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.101.011601	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsuyoshi Miyatsu, Myung Ki Cheoun, Chikako Ishizuka, K. S. Kim, Tomoyuki Maruyama, Koichi Saito	4. 巻 803
2. 論文標題 Decomposition of nuclear symmetry energy based on Lorentz-covariant nucleon self-energies in relativistic Hartree-Fock approximation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letters, Section B: Nuclear, Elementary Particle and High-Energy Physics	6. 最初と最後の頁 135282-1,5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2020.135282	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ivanyuk F. A., Ishizuka C., Usang M. D., Chiba S.	4. 巻 97
2. 論文標題 Temperature dependence of shell corrections	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 054331-1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.97.054331	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Usang Mark Dennis, Ivanyuk Fedir A., Ishizuka Chikako, Chiba Satoshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Correlated transitions in TKE and mass distributions of fission fragments described by 4-D Langevin equation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1525-1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-37993-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhang L. Y., He J. J., Wanajo S., Dell' Aquila D., Kubono S., Zhao G.	4. 巻 868
2. 論文標題 New Thermonuclear 10B(,p)13C Rate and Its Astrophysical Implication in the p-process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 24 ~ 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aae479	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ojima Takuya, Ishimaru Yuhri, Wanajo Shinya, Prantzos Nikos, Francois Patrik	4. 巻 865
2. 論文標題 Stochastic Chemical Evolution of Galactic Subhalos and the Origin of r-process Elements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 87 ~ 87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aada11	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hirai Yutaka, Saitoh Takayuki R., Ishimaru Yuhri, Wanajo Shinya	4. 巻 855
2. 論文標題 Enrichment of Zinc in Galactic Chemodynamical Evolution Models	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 63 ~ 63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaaabc	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計23件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 石塚 知香子、張 旋、Mark Usang、Fedir Ivanyuk、千葉 敏
2. 発表標題 アクチノイドから超重核領域にわたる核分裂片の性質の系統的变化
3. 学会等名 日本原子力学会2021年春の年会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 張 旋、Fedir Ivanyuk、石塚 知香子、稲倉 恒法、千葉 敏
2. 発表標題 4次元ランジュバン模型を用いた核分裂片形状とそれに基づく核分裂機構の研究
3. 学会等名 日本原子力学会2021年春の年会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 島田 和弥、張 旋、石塚 知香子、千葉 敏
2. 発表標題 4次元ランジュバン模型による核分裂計算の定量性の向上
3. 学会等名 日本原子力学会2021年春の年会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 石塚知香子、張旋、Fedir Ivanyuk、Mark Usang、千葉敏
2. 発表標題 4次元ランジュバン模型による超重原子核の核分裂
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 石塚 知香子、張 旋、Mark Usang、Fedir Ivanyuk、千葉 敏
2. 発表標題 4次元ランジュバン模型による超重原子核の核分裂
3. 学会等名 日本原子力学会2020年秋の大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 島田 和弥、張 旋、石塚 知香子、千葉 敏
2. 発表標題 4次元ランジュバン模型による ^{236}U 、 ^{240}Pu の核分裂片TKEの励起エネルギー依存性
3. 学会等名 日本原子力学会2020年秋の大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 石塚知香子、張旋、Mark Usang、Fedir Ivanyuk、千葉敏
2. 発表標題 4次元ランジュバン模型による超重核核分裂の系統的研究
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 C. Ishizuka
2. 発表標題 Various approaches to study nuclear fission in Tokyo Tech
3. 学会等名 YITP workshop “Nuclear Fission Dynamics 2019” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石塚 知香子、張 旋、Fedir Ivanyuk、千葉 敏
2. 発表標題 4次元ランジュバン模型を用いたTh同位体および超重核領域の核分裂研究
3. 学会等名 日本原子力学会「2019年秋の大会」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C. Ishizuka, M. D. Usang, F. A. Ivanyuk, K. Tsubakihara, S. Chiba, Y. Sekiguchi, S. Wanajo
2. 発表標題 Influence of fission-fragment yields on r-process nucleosynthesis
3. 学会等名 International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies(OMEG15) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関口雄一郎
2. 発表標題 連星中性子星合体と現実的な数値相対論
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuichiro Sekiguchi
2. 発表標題 Properties of the dynamical ejecta in binary neutron star merger and r-process
3. 学会等名 The Eighth East Asian Numerical Astrophysics Meeting (EANAM 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石塚知香子、石井葉子、千葉敏、ウサング・マーク、フェディエール・イワニョーク
2. 発表標題 4 次元ランジュバン模型による180Hg核分裂
3. 学会等名 日本原子力学会2018年秋の大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋原康介、石塚知香子、奥村森、吉田正、千葉敏
2. 発表標題 原子核の殻補正効果を考慮した核分裂収率の評価とその検証について
3. 学会等名 日本原子力学会2018年秋の大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 千葉敏, F. Ivanyuk, 石塚知香子, M.D. Usang
2. 発表標題 原子核殻補正の温度依存性
3. 学会等名 日本原子力学会2018年秋の大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Chiba
2. 発表標題 Fission theory toward perspectives for r-process nucleosynthesis
3. 学会等名 Workshop on "Physics at HIAF High-Energy Beam Lines" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石塚知香子、椿原康介、千葉敏、関口雄一郎、和南城伸也
2. 発表標題 多次元ランジュバン模型を用いた 核分裂計算と元素合成計算への応用
3. 学会等名 核データと重元素合成を中心とする宇宙核物理研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 椿原康介、石塚知香子、吉田正、千葉敏
2. 発表標題 殻補正に基づく核分裂修理の評価手法とその誤差評価について
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 椿原康介、石塚知香子、吉田正、千葉敏
2. 発表標題 殻補正に基づく系統的な核分裂収率の算出とその共分散の評価
3. 学会等名 日本原子力学会2019年春の年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石塚知香子、石井葉子、千葉敏、ウサング・マーク、フェディエール・イワニョーク
2. 発表標題 ランジュバン模型の改良
3. 学会等名 日本原子力学会2019年春の年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C. Ishizuka, M. D. Usang, F. A. Ivanyuk, S. Chiba
2. 発表標題 Correlated transitions in TKE and mass distributions of fission fragments described by 4-D Langevin equation
3. 学会等名 54th ASRC International Workshop Sakura-2019 "Nuclear Fission and Structure of Exotic Nuclei" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石塚知香子
2. 発表標題 多次元ランジュバン模型を用いた核分裂計算と元素合成計算への応用
3. 学会等名 核データと重元素合成を中心とする宇宙核物理研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C. Ishizuka, K. Tsubakihara, S. Chiba, Y. Sekiguchi, S. Wanajo
2. 発表標題 Semi-empirical fission model for r-process based on the recent experiments and three-dimensional Langevin approach
3. 学会等名 16th International Symposium on Nuclei in the Cosmos (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	和南城 伸也 (Wanajo Shinya) (30327879)	上智大学・理工学部・准教授 (32621)	2019年度よりドイツへ転出され、分担から外れました。

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	楢原 康介 (Tsubakihara Kohsuke) (40815883)	東京工業大学・科学技術創成研究院・研究員 (12608)	
研究分担者	関口 雄一郎 (Sekiguchi Yuichiro) (50531779)	東邦大学・理学部・准教授 (32661)	
研究分担者	千葉 敏 (Chiba Satoshi) (60354883)	東京工業大学・科学技術創成研究院・教授 (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 The International Workshop on Nuclear Physics for Astrophysical Phenomena	開催年 2019年～2019年
---	--------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関