

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05459

研究課題名(和文) 隕石組成との比較による太陽系形成直前に発生したr過程元素合成の解明

研究課題名(英文) Cosmic Radioactivity and Origin of R-process Elements toward Solar System Formation

研究代表者

梶野 敏貴 (Kajino, Toshitaka)

国立天文台・科学研究部・特任教授

研究者番号：20169444

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：太陽系形成時に存在していた $^{98}\text{Tc}$ (半減期 $t=4.2 \times 10^8$  N)は重力崩壊型超新星爆発でのニュートリノ過程で合成され、他の長寿命放射性アイソトープ $^{92}\text{Nb}$ 、 $^{138}\text{La}$ 、 $^{180}\text{Ta}$ 等の生成と異なり、反電子型ニュートリノが大きく寄与することを発見した。 $^{129}\text{I}$ は主に超新星で、 $^{244}\text{Pu}$ は主に中性子星連星系合体で生成される。r過程元素の銀河化学進化の計算から、初期銀河で生まれた金属欠乏星に検出されているr過程元素は超新星およびコラプサーで生成され、中性子星連星系合体からの寄与はほとんどなく、銀河の進化とともに金属量が大きい $[\text{Fe}/\text{H}] > -1$ になって遅れて寄与することが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

長寿命放射性重元素(r過程元素)の起源は、米国科学アカデミーが取り上げた現代物理学における11の謎の一つに上げられた研究課題である。当科研費研究において、宇宙での爆発的元素合成に関する天文学・素粒子物理学・原子核物理学分野の専門的知見を持ち寄って、r過程元素の起源を明らかにする学際的研究を展開した。超新星・コラプサー・中性子星連星系合体等全ての起源候補天体でのr元素合成を研究し、初期宇宙から太陽系形成期までの元素組成の宇宙時間的進化の解明を目指した。超新星ニュートリノ元素合成および振動現象の新たな役割等の発見があり、科学論文として発表するとともに、記者発表を行って研究成果の社会還元を努めた。

研究成果の概要(英文)：We found that  $^{98}\text{Tc}$  (half-life  $t=4.2 \times 10^8$  years) which existed at the epoch of the solar system formation was synthesized in the neutrino-process in the gravitational core-collapse supernovae.  $^{129}\text{I}$  is produced mainly in supernovae, and actinides like  $^{244}\text{Pu}$  are produced in both magnetohydrodynamic jet supernovae and binary neutron-star mergers. From our theoretical calculations of the galactic chemical evolution of r-process elements, r-process elements in metal-deficient halo stars which are the early generations of stars having  $[\text{Fe}/\text{H}] < -2$ , were mainly produced in supernovae and collapsars, while there was little contribution from the binary neutron-star mergers due to merger time-delay by at least 100 My. We found that merger contribution has started later when the metallicity becomes as large as  $[\text{Fe}/\text{H}] > -1$  in relatively recent epoch along cosmic evolution history.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：r過程元素 超新星 中性子星連星系合体 コラプサー 銀河化学進化 太陽系形成 ニュートリノアイソトープ

### 1. 研究開始当初の背景

鉄より重い重元素 (r 過程元素) の起源天体候補は、中性子星連星系合体・磁気回転流体ジェット型超新星・ニュートリノ加熱型超新星・コラプサー等であるが、確定していない。また、初期銀河から太陽系形成期までの各 r 過程元素組成の時間的发展に関して、観測的にも理論的にも解明されていない。

### 2. 研究の目的

太陽系形成時に存在していたと考えられる長寿命放射性 r 過程元素の理論予測と隕石組成中のアノマリーの分析結果と比較して、太陽系形成直前に発生した r 過程の起源天体の正体を突き止める。

### 3. 研究の方法

各起源天体 (中性子星連星系合体・磁気回転流体ジェット型超新星・ニュートリノ加熱型超新星・コラプサー) の理論モデルを構築して爆発的元素合成を計算し、r 過程元素量に見る相違と共通性を明確にする。太陽系形成時に存在した長寿命放射性同位体 (アイソトープ) の隕石分析と比較する。銀河化学進化モデルにより、初期銀河から太陽系形成期に至るまで、r 元素量の消長と宇宙時間的進化を解明する。

### 4. 研究成果

r 過程元素の第 1 ピーク (質量数 90 近傍) はニュートリノ加熱型超新星で、第 2、3 ピーク (質量数 130、190 近傍) は主に磁気回転流体ジェット型超新星で、アクチノイドは主に中性子星連星系合体で生成されることを解明した (図 1 参照)。重い r 過程元素の関しては、核分裂片の分布にも大きく依存する。銀河化学進化の計算から、初期銀河で生まれた金属欠乏星に検出されている r 過程元素は超新星およびコラプサーで生成され、中性子星連星系合体からの寄与はほとんどなく、銀河の進化とともに金属量が大きい  $[Fe/H] > -1$  になって遅れて寄与することが判明した。

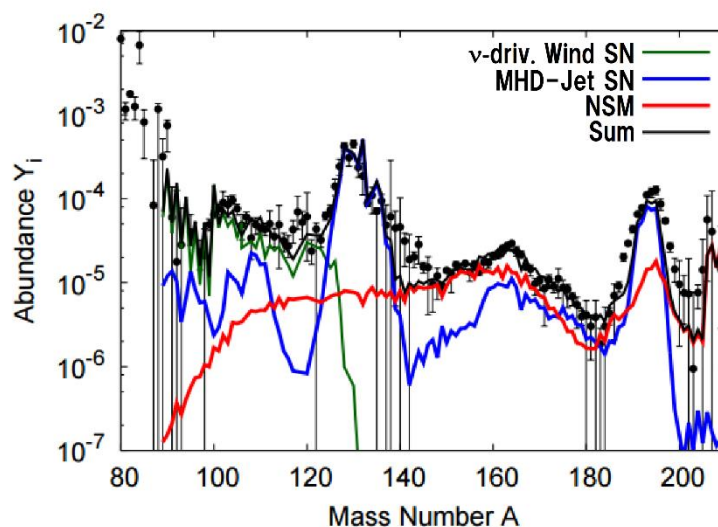


図1: r 過程元素組成の理論予測と太陽系組成の観測結果との比較。v-driv. Wind SNはニュートリノ加熱型超新星、MHD-Jet SNは磁気回転流体ジェット型超新星、NSMは中性子星連星系合体における r 過程からの寄与を、Sum はこれらの総和を表す。Kajino, T. and Mathews, G. J., Progress in Physics 80 (2017), 084901 より転載。

r 過程元素特有の長寿命放射性アイソトープの起源に関しては、太陽系形成時に存在していた  $^{98}\text{Tc}$  (半減期 420 万年) は重力崩壊型超新星爆発でのニュートリノ元素合成過程で合成され、他の長寿命放射性アイソトープ  $^{92}\text{Nb}$ 、 $^{138}\text{La}$ 、 $^{180}\text{Ta}$  等の生成と異なり、電子型ニュートリノだけでなく反電子型ニュートリノも大きく寄与することを発見した。(図 2、図 3 参照) また、 $^{129}\text{I}$  は主に磁気回転流体ジェット型超新星で、 $^{244}\text{Pu}$  は磁気回転流体ジェット型超新星および中性子星連星系合体で生成されることも判明した。

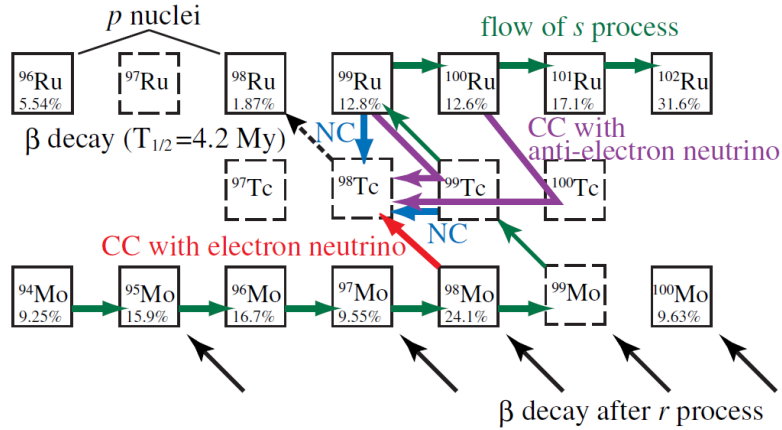


図 2: 重力崩壊型超新星爆発でのニュートリノ元素合成過程における  $^{98}\text{Tc}$  (半減期 420 万年) 生成核反応の流れ。 $^{98}\text{Tc}$  生成には、電子型ニュートリノだけでなく反電子型ニュートリノも大きく寄与する。T. Hayakawa, et al. with T. Kajino, Phys. Rev. Lett. **121** (2018), Issue 10, id. 102701 より転載。

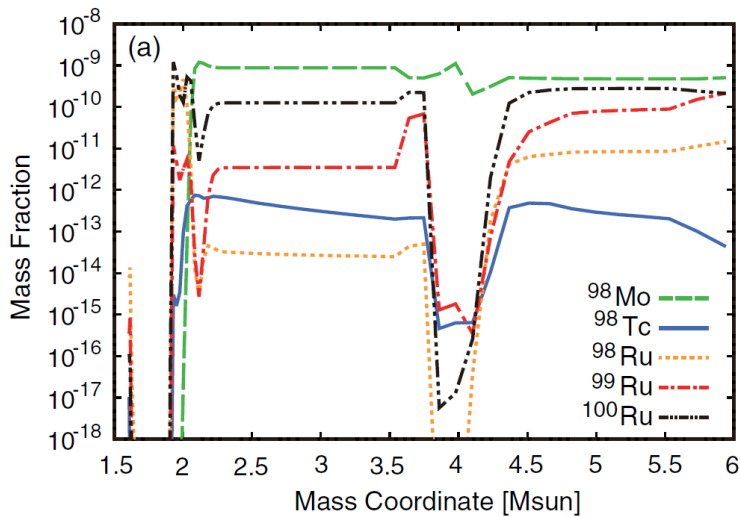


図 3: 重力崩壊型超新星爆発でのニュートリノ元素合成過程で作られる質量数 98~100 の核種の分布。図 2 と合わせて、核反応の流れが読み取れる。T. Hayakawa, et al. with T. Kajino, Phys. Rev. Lett. **121** (2018), Issue 10, id. 102701 より転載。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計39件（うち査読付論文 39件 / うち国際共著 35件 / うちオープンアクセス 39件）

1. 著者名 Maruyama Tomoyuki, Balantekin A. Baha, Cheoun Myung-Ki, Kajino Toshitaka, Mathews Grant J.	4. 巻 779
2. 論文標題 Axion production from Landau quantization in the strong magnetic field of magnetars	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 160 ~ 165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.01.084	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 Suzuki Toshio, Shibagaki Shota, Yoshida Takashi, Kajino Toshitaka, Otsuka Takaharu	4. 巻 859
2. 論文標題 -decay Rates for Exotic Nuclei and r-process Nucleosynthesis up to Thorium and Uranium	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 133 ~ 133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aabfde	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 Hayakawa Takehito, Ko Heamin, Cheoun Myung-Ki, Kusakabe Motohiko, Kajino Toshitaka, Usang Mark D., Chiba Satoshi, Nakamura Ko, Tolstov Alexey, Nomoto Ken'ichi, Hashimoto Masa-aki, Ono Masaomi, Kawano Toshihiko, Mathews Grant J.	4. 巻 121
2. 論文標題 Short-Lived Radioisotope Tc98 Synthesized by the Supernova Neutrino Process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 102701 (6pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.121.102701	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 Shin Jae Won, Cheoun Myung-Ki, Kajino Toshitaka, Hayakawa Takehito	4. 巻 2018
2. 論文標題 Spectral shape analysis for electron antineutrino oscillation study by using $^8\text{Li}$ generator with $^{252}\text{Cf}$ source	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 024 ~ 024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2018/09/024	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 Mori Kanji, Famiano Michael A., Kajino Toshitaka, Suzuki Toshio, Garnavich Peter M., Mathews Grant J., Diehl Roland, Leung Shing-Chi, Nomoto Ken'ichi	4. 巻 863
2. 論文標題 Nucleosynthesis Constraints on the Explosion Mechanism for Type Ia Supernovae	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 176 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aad233	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 Gangopadhyay Mayukh R., Mathews Grant J., Ichiki Kiyotomo, Kajino Toshitaka	4. 巻 78
2. 論文標題 Explaining low l anomalies in the CMB power spectrum with resonant superstring excitations during inflation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 733 (10pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-018-6218-x	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 Biroi Savas, Pehlivan Y., Balantekin A.?, Kajino T.	4. 巻 98
2. 論文標題 Neutrino spectral split in the exact many-body formalism	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 83002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.083002	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 Hidaka J., Kajino T., Mathews G. J.	4. 巻 869
2. 論文標題 EoS Dependence of the Relic Supernova Neutrino Spectrum	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 31 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aae92d	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 Mori Kanji, Famiano Michael A, Kajino Toshitaka, Kusakabe Motohiko, Tang Xiaodong	4. 巻 482
2. 論文標題 Impacts of the new carbon fusion cross-sections on type Ia supernovae	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L70 ~ L74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/sly188	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 Maruyama Tomoyuki, Hayakawa Takehito, Kajino Toshitaka	4. 巻 9
2. 論文標題 Compton Scattering of $\gamma$ -Ray Vortex with Laguerre Gaussian Wave Function	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-37096-3	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 Kusakabe Motohiko, Cheoun Myung-Ki, Kim K. S., Hashimoto Masa-aki, Ono Masaomi, Nomoto Ken 'ichi, Suzuki Toshio, Kajino Toshitaka, Mathews Grant J.	4. 巻 872
2. 論文標題 Supernova Neutrino Process of Li and B Revisited	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 164 ~ 164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aafc35	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 Luo Yudong, Kajino Toshitaka, Kusakabe Motohiko, Mathews Grant J.	4. 巻 872
2. 論文標題 Big Bang Nucleosynthesis with an Inhomogeneous Primordial Magnetic Field Strength	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 172 ~ 172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab0088	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 Kusakabe Motohiko, Kajino Toshitaka, Mathews Grant J., Luo Yudong	4. 巻 99
2. 論文標題 On the relative velocity distribution for general statistics and an application to big-bang nucleosynthesis under Tsallis statistics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 43505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.043505	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 Abdellaoui G., Kajino, T. et al.	4. 巻 102
2. 論文標題 EUSO-TA - First results from a ground-based EUSO telescope	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 98 ~ 111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.astropartphys.2018.05.007	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 Abdellaoui G., Kajino, T. et al.	4. 巻 13
2. 論文標題 First observations of speed of light tracks by a fluorescence detector looking down on the atmosphere	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P05023 ~ P05023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/13/05/P05023	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 Famiano Michael A., Boyd Richard N., Kajino Toshitaka, Onaka Takashi, Mo Yirong	4. 巻 8
2. 論文標題 Amino Acid Chiral Selection Via Weak Interactions in Stellar Environments: Implications for the Origin of Life	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8833
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-27110-z	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 Boyd, Richard N.; Famiano, Michael A.; Onaka, Takashi; Kajino, Toshitaka	4. 巻 856
2. 論文標題 Sites that Can Produce Left-handed Amino Acids in the Supernova Neutrino Amino Acid Processing Model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 26, 5 pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaad5f	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 Famiano, Michael A.; Boyd, Richard N.; Kajino, Toshitaka; Onaka, Takashi	4. 巻 18
2. 論文標題 Selection of Amino Acid Chirality via Neutrino Interactions with $^{14}\text{N}$ in Crossed Electric and Magnetic Fields	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrobiology	6. 最初と最後の頁 190-206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/ast.2017.1686	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 Abdellaoui, G. et al. with Kajino, T.	4. 巻 143
2. 論文標題 Meteor studies in the framework of the JEM-EUSO program	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Planetary and Space Science	6. 最初と最後の頁 245-255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pss.2016.12.001	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 Abdellaoui, G. et al. with Kajino, T.	4. 巻 866
2. 論文標題 Cosmic ray oriented performance studies for the JEM-EUSO first level trigger	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nuclear Inst. and Methods in Physics Research A	6. 最初と最後の頁 150-163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2017.05.043	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 Shin, Jae Won; Cheoun, Myung-Ki; Kajino, Toshitaka; Hayakawa, Takehito	4. 巻 44
2. 論文標題 A new scheme for short baseline electron antineutrino disappearance study	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics	6. 最初と最後の頁 09LT01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6471/aa809e	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 Kajino, Toshitaka; Mathews, Grant J.	4. 巻 80
2. 論文標題 Impact of new data for neutron-rich heavy nuclei on theoretical models for r-process nucleosynthesis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Reports on Progress in Physics	6. 最初と最後の頁 84901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6633/aa6a25	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 Sasaki, H.; Kajino, T.; Takiwaki, T.; Hayakawa, T.; Balantekin, A. B.; Pehlivan, Y.	4. 巻 96
2. 論文標題 Possible effects of collective neutrino oscillations in three-flavor multiangle simulations of supernova p processes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 43013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.043013	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; Ishimaru, Yuhri; Saitoh, Takayuki R.; Fujii, Michiko S.; Hidaka, Jun; Kajino, Toshitaka	4. 巻 466
2. 論文標題 Early chemo-dynamical evolution of dwarf galaxies deduced from enrichment of r-process elements	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2474-2487
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stw3342	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 Shin, Jae Won; Cheoun, Myung-Ki; Kajino, Toshitaka; Hayakawa, Takehito	4. 巻 4
2. 論文標題 Short-baseline electron antineutrino disappearance study by using neutrino sources from $^{13}\text{C} + ^9\text{Be}$ reaction	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2017/04/044	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 Yamazaki, Dai G.; Kusakabe, Motohiko; Kajino, Toshitaka; Mathews, Grant J.; Cheoun, Myung-Ki	4. 巻 26
2. 論文標題 The new hybrid BBN model with the photon cooling, X particle, and the primordial magnetic field	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Modern Physics E	6. 最初と最後の頁 1741006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218301317410063	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 Kusakabe, Motohiko; Mathews, Grant J.; Kajino, Toshitaka; Cheoun, Myung-Ki	4. 巻 26
2. 論文標題 Review on effects of long-lived negatively charged massive particles on Big Bang Nucleosynthesis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Modern Physics E	6. 最初と最後の頁 1741004-64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S021830131741004X	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 Mathews, Grant J.; Kusakabe, Motohiko; Kajino, Toshitaka	4. 巻 26
2. 論文標題 Introduction to big bang nucleosynthesis and modern cosmology	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Modern Physics E	6. 最初と最後の頁 1741001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218301317410014	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 Luo Yudong、Famiano Michael A.、Kajino Toshitaka、Kusakabe Motohiko、Balantekin A. Baha	4. 巻 101
2. 論文標題 Screening corrections to electron capture rates and resulting constraints on primordial magnetic fields	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 83010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.083010	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 Maruyama Tomoyuki、Balantekin A. Baha、Cheoun Myung-Ki、Kajino Toshitaka、Mathews Grant J.	4. 巻 805
2. 論文標題 -Pair synchrotron emission in neutron-star matter based on a relativistic quantum approach	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 135413 ~ 135413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2020.135413	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 Ko Heamin、Cheoun Myung-Ki、Ha Eunja、Kusakabe Motohiko、Hayakawa Takehito、Sasaki Hirokazu、Kajino Toshitaka、Hashimoto Masa-aki、Ono Masaomi、Usang Mark D.、Chiba Satoshi、Nakamura Ko、Tolstov Alexey、Nomoto Ken'ichi、Kawano Toshihiko、Mathews Grant J.	4. 巻 891
2. 論文標題 Neutrino Process in Core-collapse Supernovae with Neutrino Self-interaction and MSW Effects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L24 ~ L24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab775b	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 Luo Yudong、Kajino Toshitaka、Kusakabe Motohiko、A Famiano Michael	4. 巻 227
2. 論文標題 Primordial Nucleosynthesis with a background magnetic field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 02003 ~ 02003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202022702003	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 Famiano Michael, Boyd Richard, Kajino Toshitaka, Chiba Satoshi, Mo Yirong, Onaka Takashi, Suzuki Toshio	4. 巻 227
2. 論文標題 Connections Between Nuclear Physics and the Origin of Life - Examining the Origin of Biomolecular Chirality	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 01006 ~ 01006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202022701006	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 Abdellaoui G., Kajino T. et al.	4. 巻 111
2. 論文標題 Ultra-violet imaging of the night-time earth by EUSO-Balloon towards space-based ultra-high energy cosmic ray observations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 54 ~ 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.astropartphys.2018.10.008	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 Kajino T., Aoki W., Balantekin A.B., Diehl R., Famiano M.A., Mathews G.J.	4. 巻 107
2. 論文標題 Current status of r-process nucleosynthesis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress in Particle and Nuclear Physics	6. 最初と最後の頁 109 ~ 166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pnpnp.2019.02.008	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 Suzuki T, Balantekin A B, Kajino T, Chiba S	4. 巻 46
2. 論文標題 Neutrino-13C cross sections at supernova neutrino energies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics	6. 最初と最後の頁 075103 ~ 075103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6471/ab1c11	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 Maruyama Tomoyuki, Hayakawa Takehito, Kajino Toshitaka	4. 巻 9
2. 論文標題 Compton Scattering of Hermite Gaussian Wave Ray	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 7998
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-44120-7	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 -

1. 著者名 Mori Kanji, Famiano Michael A, Kajino Toshitaka, Kusakabe Motohiko, Tang Xiaodong	4. 巻 482
2. 論文標題 Impacts of the new carbon fusion cross-sections on type Ia supernovae	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L70 ~ L74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/sly188	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 Ko H., Cheoun M.-K., Kusakabe M., Kajino T., Ekinci B., Pehlivan Y.	4. 巻 50
2. 論文標題 Effects of Shock Propagation on Neutrino Oscillation and $\nu$ -induced Nucleosynthesis in Supernova	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Physica Polonica B	6. 最初と最後の頁 385 ~ 385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5506/APhysPolB.50.385	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32件 (うち招待講演 29件 / うち国際学会 27件)

1. 発表者名 Toshitka Kajino
2. 発表標題 Recent Progress in the Studies of Neutron Star Merger & Supernova and their Impact on Nuclear Physics
3. 学会等名 1st Symposium on "Intermediate-Energy Heavy Ion Collisions", Tsinghua University, Beijing in China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshitka Kajino
2. 発表標題 Impact of Neutron Star Merger and Supernova on Explosive Nucleosynthesis and Neutrino Oscillation
3. 学会等名 Pioneer Symposium at Korean Physical Society on “ Nuclear Astrophysics: Understanding Explosive Astrophysical Phenomena ” , Daejeon in Korea ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshitka Kajino
2. 発表標題 Galactic Chemical Evolution, and Impact of Neutron Star Mergers and Supernovae on Nuclear Physics and Neutrino Physics
3. 学会等名 International Workshop on “ Nuclear Astrophysics ” , Rare Isotope Science Project, Institute of Basic Science, Daejeon, Korea ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshitka Kajino
2. 発表標題 Discovery of Neutron Star Merger and Supernova: Impact on Element Genesis and Neutrino Physics
3. 学会等名 International Symposium on “ Simplicity, Symmetry and Beauty of Atomic Nuclei ” , Shanghai Jiao Tong University ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshitka Kajino
2. 発表標題 Impact of Neutron Star Merger & Supernova Nucleosynthesis on Element Genesis and Neutrino Physics
3. 学会等名 6th International Conference on “ Collective Motion in Nuclei under Extreme Conditions ” , Cape Town, South Africa ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshitka Kajino
2. 発表標題 Impact of Neutron Star Merger & Supernova Nucleosynthesis on Gravitational Wave, Nuclear Physics and Neutrino Physics
3. 学会等名 International Workshop on “New Aspects of the Hadron and Astro/Nuclear Physics”, National University of Uzbekistan, Tashkent (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshitka Kajino
2. 発表標題 Impact of Neutron Star Merger & Supernova on R-Process and Neutrino Physics
3. 学会等名 International Conference on “Stellar Archaeology as a Time Machine to the First Stars”, Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe, University of Tokyo, Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshitka Kajino
2. 発表標題 Recent Progress in the Studies of r-process Nucleosynthesis in Neutron Star Merger & Supernova: their Impact on Nuclear Physics
3. 学会等名 2018引力波与重元素合成交叉科学研究会, 珠海, 中華人民共和国 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshitka Kajino
2. 発表標題 Big-Bang Cosmology, Evolution of Elements and Neutrinos
3. 学会等名 Summer School on “Nuclear Astrophysics”, 恩施, 中華人民共和国 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshitka Kajino
2. 発表標題 Heavy Element Synthesis in the Universe
3. 学会等名 Summer School on “Frontiers in Nuclear Astrophysics”, 貴陽, 中華人民共和國 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshitka Kajino
2. 発表標題 Fission Recycling: A Critical Key to Understand the R-process in Binary Neutron Star Mergers
3. 学会等名 Workshop on “Fission and R-Process” 北京大学, 中華人民共和國 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshitka Kajino
2. 発表標題 Impact of Neutron Star Mergers vs. Supernovae on Explosive Nucleosynthesis and Neutrino Physics
3. 学会等名 科学技術創新研究会, 中国科学院效能物理研究所, Beijing in China (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshitka Kajino
2. 発表標題 Impact of Neutron Star Merger & Supernova Nucleosynthesis on Nuclear Physics and Neutrino Physics
3. 学会等名 Xiamen-CUSTIPEN Workshop on "The EOS and Dense Neutron-Rich Matter in the Era of GW Astronomy", Xiamen in China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Toshitka Kajino
2. 発表標題 Impact of Neutron Star Mergers & Supernovae on R-Process Nucleosynthesis and Neutrino Physics
3. 学会等名 2nd International Workshop on "Quantum Many-Body Problems in Particle, Nuclear, and Atomic Physics", University of Khanh Hoa, Vietnam (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Neutrino collective oscillation on physics of neutron star mergers and supernovae
3. 学会等名 1st International Conference on Neutrino and Nuclear Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Galactic Chemodynamical Evolution and the Origin of R-process Elements
3. 学会等名 International Hirshegg Workshop on Neutron Star Mergers: From Gravitational Waves to Nucleosynthesis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Origin of r- and np-processes in supernovae and neutron star mergers
3. 学会等名 16th International Symposium on Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Solving the mystery of r-process and np-process: Merger vs. supernova
3. 学会等名 International Conference on Nuclear Physics in Astrophysics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Solving the mystery of r-process and np-process
3. 学会等名 The 14th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Impact of Neutron Star Merger vs. Supernova Nucleosynthesis and Neutrino Physics
3. 学会等名 International Workshop on Theories of Astronomical Big Bangs (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Neutron Star Merger and Supernova Nucleosynthesis: Impact on Neutrino Physics
3. 学会等名 International Symposium on Perspectives of the Physics of Nuclear Structure (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Roles of Neutrinos in Explosive Nucleosynthesis of Supernovae & Neutron-Star Mergers in Cosmic Evolution
3. 学会等名 International Conference on “Neutrino and Nuclear Physics (CNNP2020)”, Cape Town in South Africa (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Impact of RIB Science and Neutrino Physics on Merger, Supernova and Big-Bang Nucleosynthesis
3. 学会等名 1st International Users Workshop on “RAON Science”, IBS, Daejeon in Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Impact of Neutrino Oscillations on Supernova and Merger
3. 学会等名 International Workshop on “Neutrino Nuclear Response 2019”, RCNP Osaka University in Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Cosmic Evolution of R-Process Elements: Impact of Neutron Star Merger and Supernova Nucleosynthesis
3. 学会等名 International Conference on “GRB & Related Astrophysics in Multi-Messenger Era”, Nanjing in P. R. China (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Impact of Fission Fragment Distribution on R-Process Nucleosynthesis in Neutron Star Mergers and Supernovae
3. 学会等名 International Conference on “ Nuclear Data for Science and Technology ”, Beijing in P. R. China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Neutrino-Induced Nucleosynthesis in Multi-Messenger Era
3. 学会等名 10th European Summer School on “ Experimental Nuclear Astrophysics ”, Catania in Italy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Heavy Element Production in Supernovae and Neutron Star Mergers: Roles of Neutrino Interactions and Nuclear Fission
3. 学会等名 The 27th International Nuclear Physics Conference (INPC2019), Glasgow in U.K. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Concluding Remark: New Era of Multi-Messenger Astronomy and Nuclear Astrophysics
3. 学会等名 1st International JINA-CEE IReNA/NAOJ Workshop on “ Nuclear Astrophysics ”, Tokyo in Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Recent Progress in Understanding the Origin of Elements after B2FH
3. 学会等名 Workshop on Margaret Burbidge Centenary Birthday and B2FH, Beijing in P. R. China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 Cosmic and Galactic Evolution of R-Process Elements: Impact of Neutron Star Merger and Supernova Nucleosynthesis
3. 学会等名 Workshop on "Heavy Element Production in the r-process and Related Topics", Beijing in P. R. China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshitaka Kajino
2. 発表標題 EOS of Proto-Neutron Stars: Constraints from Neutron-Star-Merger and Supernova
3. 学会等名 Workshop on "Hot Topics on Nuclear Astrophysics", Beijing in P. R. China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 梶野敏貴	4. 発行年 2019年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 3
3. 書名 パリティー、特集：物理科学，この1年、「重力波観測が示した爆発的重元素合成：rプロセス」	

1. 著者名 早川岳人, 梶野敏貴	4. 発行年 2019年
2. 出版社 日本アイソトープ協会	5. 総ページ数 4
3. 書名 トレーサー (日本アイソトープ協会ニュース) 第762巻4月号「反電子ニュートリノで98Tcを生成」	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>COSNAP GROUP HOME PAGE  <a href="https://sci.nao.ac.jp/MEMBER/kajino/e/">https://sci.nao.ac.jp/MEMBER/kajino/e/</a></p>
--

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
研究協力者	早川 岳人  (HAYAKAWA Takehito)		
研究協力者	丸山 智之  (MARUYAMA Tomoyuki)		
研究協力者	野本 憲一  (NOMOTO Ken'ichi)		

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	鈴木 俊夫  (SUZUKI Toshio)		
研究協力者	マシューズ グラント J.  (MATHEWS Grant, J.)		
研究協力者	バランテキン アキフ バハ  (BALANTEKIN Akif, Baha)		
研究協力者	チョン ミュンギ  (CHEOUN Myung-Ki)		
研究協力者	日下部 元彦  (KUSAKABE Motohiko)		
研究協力者	ファミアーノ ミカエル A.  (FAMIANO Michael, A.)		
研究協力者	ペーリバン ヤマツチ  (PEHLIVAN Yamach)		
研究協力者	ボイド リチャード N.  (BOYD Richard, N.)		