

令和元年6月3日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05090

研究課題名(和文)原子核のスピン応答、弱遷移過程と元素合成

研究課題名(英文) Spin responses of nuclei, nuclear weak transition processes and nucleosynthesis

研究代表者

鈴木 俊夫 (SUZUKI, Toshio)

日本大学・文理学部・教授

研究者番号：70139070

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：原子核のスピン応答を非常に良く記述できる新しい殻模型ハミルトニアンを用いて、fp殻核、sd殻核を中心に高圧・高温の天体条件下での精密な電子捕獲率、崩壊率、ニュートリノ-原子核反応断面積を系統的に評価した。これらの弱遷移率を用いて、Ia型超新星爆発における中性子過剰鉄属元素の合成、コア崩壊型超新星爆発や中性子星合体におけるr-過程元素の合成、O-Ne-Mgコアでの核Urca過程の研究等を行い、元素合成や星の進化の研究に重要な寄与を行うとともに、精密な核データの蓄積を行った。基本的な核子-核子間相互作用に基づく ^{22}C の二中性子ハローの構造の解明、新魔法数 $Z=6$ の発見等でも大きな成果を挙げた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

原子核分野での基本的核力を基にした中性子過剰核、不安定核の最近の研究成果、構造研究の精密化の成果は、原子核でのスピン応答の精密な記述を可能にし、核力成分の重要な役割を明らかにしただけでなく、精密なスピン依存型核遷移率を天体での元素合成や星の進化の分野の研究へ応用、反映させることによって、原子核物理、天体物理両分野間の密接な共同研究、両分野間の研究のフィードバックの促進をもたらした。今後、それぞれの分野での研究がさらに発展することが期待される。分野をまたいだ研究成果は、一般社会での興味と関心を引きやすく、その理解を深めることに貢献すると期待される。

研究成果の概要(英文)：Accurate evaluations of electron-capture and β -decay rates in stellar environments with high densities and temperatures as well as neutrino-nucleus reaction cross sections have been systematically done for wide ranges of nuclei including fp- and sd-shells based on new shell-model Hamiltonians, which can describe spin responses of nuclei quite well. These weak rates have been applied to study nucleosynthesis of neutron-rich iron-group elements in type Ia supernova explosions, r-process nucleosynthesis in core-collapse supernovae and binary neutron star mergers, and nuclear URCA processes in O-Ne-Mg cores of stars, which result in important contributions to nucleosynthesis and evolution of stars as well as compilation of nuclear data with high accuracies.

Structure of two-neutron halo in ^{22}C has been clarified based on fundamental nucleon-nucleon interaction, and discovery of a new magic number $Z=6$ has been made.

研究分野：原子核理論

キーワード：スピン応答 殻模型 電子捕獲 崩壊 ニュートリノ-原子核反応 元素合成 核URCA過程 中性子ハロー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

最近の不安定核ビーム実験による不安定核を含む多くの原子核の精密な構造研究の新たな進展により、ガモフ・テラー (GT) 遷移や磁気モーメント等の原子核のスピンモードの精密な記述が可能な新しい殻模型ハミルトニアンが開発され、代表者等を中心に、星でのニュートリノ過程における新しいニュートリノ核反応断面積、精密な電子捕獲反応率、崩壊の半減期の再評価に応用された。これにより、星のコアの重力崩壊時のニュートリノ過程や r - 過程での元素合成過程のより精密な評価が可能となった。

これらの評価はその重要性が認識されていたにもかかわらず、Woosley 等による 1990 年の研究以降系統的にはなされることはほとんどなかったが、代表者等の研究により ^{12}C 等の p 殻核、Fe, Ni アイソトープ等の fp 殻核、N=126 アイソトーンでの最近の核構造研究の成果を天体での核反応、元素合成過程に反映させることができるようになった。超新星ニュートリノの検出に重要な標的核 ^{40}Ar からの新しいニュートリノ-原子核反応断面積の評価、8-10 太陽質量を持つ星の O-Ne-Mg コアの URCA 過程に重要な sd 殻核の高温・高密度での電子捕獲率、崩壊率の新たな精密評価も行った。

これらの成果は、r-過程に関わる不安定核の崩壊の半減期の測定の重要性の認識をもたらし、ニュートリノ振動実験に携わる研究者や星の進化の研究者の関心も集めた。引き続き、我々のこれまでの成果をさらに系統的に発展させ、核構造研究の進展の成果を星での元素合成、星の進化の研究に反映させる。

2. 研究の目的

これまでの ^{12}C 、 ^{13}C 等の軽核、 ^{40}Ar 、fp 殻核でのニュートリノ 原子核反応の断面積、fp 殻、sd 殻核での電子捕獲反応率および中性子数 N=126 核での崩壊率の再評価と元素合成過程への応用の研究成果を踏まえ、原子核のスピン応答を正しく記述し崩壊線近傍での殻進化を再現できる殻模型ハミルトニアンを用いて fp 殻核、sd 殻核を中心にさらに広範囲の核領域にわたり、高い励起状態からの遷移の重要性の評価も行いながら、電子捕獲率、崩壊率、ニュートリノ 原子核反応の研究を系統的に拡張する。中性子星クラストでの URCA 過程に重要な電子捕獲率、崩壊率の研究を sd-fp 殻核まで拡張して行う。N=126 アイソトーンの崩壊半減期の研究を様々な天体条件下に拡張し、r-過程元素合成に対する効果、天体条件依存性を明らかにする。また、超新星ニュートリノ検出に重要なニュートリノ- ^{16}O 反応断面積の新しい評価を行う。元素合成ネットワーク計算に重要な精密な核データの蓄積をできるだけ広範囲の核領域にわたって行う。

3. 研究の方法

新しいハミルトニアンを用いて、fp 殻核、sd 殻核を中心に中性子過剰核、陽子過剰核を含む広範囲の原子核の殻模型計算を行い、高い励起状態からの遷移も含めて GT 遷移強度を求め、高密度・高温での電子捕獲率、崩壊率を系統的に求める。また、r-過程の元素合成に重要な N=126 アイソトーンの崩壊半減期を再評価する。新たに得られた核データを元素合成ネットワーク計算に使用できるようにまとめ、天体核、天文研究者に提供する。研究代表者、研究協力者が密に連絡をとりながら協力し研究を遂行する。研究代表者が電子捕獲率、崩壊半減期、ニュートリノ 原子核反応断面積の評価、研究協力者が殻模型計算を主に担当する。

4. 研究成果

原子核での弱過程、すなわち電子捕獲反応、ニュートリノ反応および崩壊率のより正確な評価を系統的に行い、元素合成過程や星の進化に及ぼす影響の重要性を示すとともに天体での元素合成過程や核 URCA 過程、星の進化に重要な精密な核データの蓄積を行うことができた。

(1) sd 殻核において USDB 相互作用を用いて、高密度、高温条件のもとでの電子捕獲率、陽電子捕獲率、ベータ崩壊率、ニュートリノによるエネルギー損失率等を求め表にまとめた。これらの計算データを核 URCA 過程に応用し、太陽質量の 8-10 倍の質量をもつ星の O-Ne-Mg コアの冷却と星の終末の運命 - 電子捕獲超新星爆発を起こすか鉄コア崩壊型超新星爆発を起こすか - の決定にこれらの精密な核データが果たす重要な役割を明らかにした。

(2) sd 殻と fp 殻の混合が大きい逆転の島の核領域 (Ne, Na, Mg の中性子過剰同位体) において、天体条件下での電子捕獲率を 2 つの主殻にまたがる核内有効相互作用を求める新しい方法に基

づいて評価した。特に中性子星クラストでの核URCA過程に重要な ^{31}Al - ^{31}Mg ペア核の弱遷移率の精密な評価に成功した。

(3) fp殻核の新しいハミルトニアンGXPF1Jに基づく天体条件下での精密な電子捕獲率、崩壊率、ニュートリノ放出エネルギー消失率、ガンマ線エネルギー生成率をfp殻核全般にわたって評価し、元素合成や星の進化の天体計算の有効利用に供するため表としてまとめた。JINA REACLIB database に組みこまれている。

また、これらの精密な電子捕獲率、崩壊率を種々の爆発モデルを用いてIa型超新星爆発による元素合成に応用した。遅い爆燃の後に激しい爆発を伴うモデルを用いると、鉄領域の中性子過剰核が太陽系近傍での合成率より過剰生成されるという簡単な遷移率に基づく従来の問題点が解決されることを示した。また、従来の計算ではNe、Mg、Si元素が太陽系近傍での合成率に比較して過剰生成されるという問題点も著しく改善された。さらに、 ^{54}Cr 、 ^{54}Fe の合成率の違いを観ることが爆発モデルの差を見極めるのに有効であることを指摘した。

(4) $N=126$ アイソトーンの従来の標準的なモデル(FRDM)より短い殻模型による崩壊の半減期を用いて、ウラン、トリウムに至るまでのr-過程元素合成を、鉄コア重力崩壊型超新星爆発、連星中性子星合体の天体条件で調べた。鉄コア崩壊型超新星爆発では短い半減期がウラン、トリウムの生成量を増加させ観測値に近づけること、一方中性子星合体では半減期の長短によらず十分なウラン、トリウムが生成されることを明らかにした。

(5) ^{160}O のスピンドル双極子遷移強度、ニュートリノ- ^{160}O 反応の様々な分岐チャンネルごとの反応断面積を殻模型によって評価した。荷電変換型断面積が受けるニュートリノ振動の影響、ニュートリノ質量階層に対する依存性を調べ、将来のSUPER-KAMIOKANDEにおける測定可能性を議論した。

(6) 基本的な核子-核子相互作用が二中性子ハローの形成や新しい魔法数の出現等に果たす重要な役割を明らかにした。

低エネルギー散乱から決まる中性子-中性子間核力に基づき、三体模型を用いて二中性子ハローの形成を ^{22}C 核において理論的に導き出すことに成功した。三体模型を ^{17}B 、 ^{19}B の二中性子ハローの形成の研究に拡張した。また、二中性子ハロー核 ^{11}Li のソフトダイポールモードが低エネルギー励起状態で実現されることを殻模型計算をもとに明らかにした。アイソスカラー型のダイポールモードが殻模型計算による励起エネルギー近くに存在する実験的証拠も得られた。

基本的核力に基づいて中性子過剰炭素同位体核の構造を研究し、半径、shell-gapの特徴から新しい魔法数、陽子数 $Z=6$ の証拠を得た。また、中性子過剰窒素同位体核での陽子分布の半径の研究から中性子数 $N=14$ 魔法数の証拠を得た。

$N=Z$ のsd殻核の磁気双極子遷移において、遷移強度の減少のアイソスピン依存性と核力の関係、特にアイソスカラー型ペアリング力の効果の重要性を調べた。

Ab initio な方法によって基本的な二体および三体のカイラル有効相互作用から導き出したsd殻核の新しい相互作用を、sd殻核のGT遷移強度の評価に適用した。実験値との整合性は質量数が大きい核では十分実用性があり、電子捕獲率の評価値はUSDBとは2-3倍の範囲内で一致することがわかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計28件)

1. M. Kusakabe, M. K. Cheoun, K. S. Kim, M. Hashimoto, M. Ono, K. Nomoto, T. Suzuki, T. Kajino and G. Mathews, “Supernova neutrino process of Li and B revisited”, The Astrophysical Journal 164, 1-20 (2019), 査読有 [doi:10.3847/1538-4357/aafc35](https://doi.org/10.3847/1538-4357/aafc35)
2. S. Bagchi, R. Kanungo, W. Horiuchi, G. Hagen, T. D. Morris, R. Stroberg, T. Suzuki et al., “Neutron skin and signature of the $N=14$ shell gap found from measured proton radii of $^{17-22}\text{N}$ ”, Physics Letters B 790, 251-256 (2019), 査読有 [doi:10.1016/j.physletb.2019.01.024](https://doi.org/10.1016/j.physletb.2019.01.024)
3. T. Suzuki, “Roles of nuclear forces on shell evolution toward driplines” JPS Conference Series 23, 012028/1-8 (2018), 査読有 [doi:10.7566/JPSCP.23.012028](https://doi.org/10.7566/JPSCP.23.012028)
4. K. Nakazato, T. Suzuki and M. Sakuda, “Charged-current scattering off the ^{16}O nucleus as a detection channel for supernova neutrinos”, Progress of Theoretical and Experimental Physics 2018, 4123E02/1-10 (2018), 査読有 [doi: 10.1093/ptep/pty134](https://doi.org/10.1093/ptep/pty134)
5. T. Suzuki, S. Chiba, T. Yoshida, K. Takahashi and H. Umeda, “Neutrino-nucleus

- reactions on ^{16}O based on new shell-model Hamiltonians”, *Phys. Rev. C* **98**, 034613/1-14 (2018), 査読有 [doi: 10.1103/PhysRevC.98.034613](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.98.034613)
6. K. Mori, M. Famiano, T. Kajino, T. Suzuki et al., “Nucleosynthesis constraints on the explosion mechanism for type Ia supernovae”, *The Astrophysical Journal* **863**, 176/1-10 (2018), 査読有 [doi: 10.3847/1538-4357/aad233](https://doi.org/10.3847/1538-4357/aad233)
 7. H. Z. Liang, H. Sagawa, M. Sasano, T. Suzuki and M. Honma, “Gamow-Teller transitions from high-spin isomers in $N=Z$ nuclei”, *Physical Review C* **98**, 014311/1-6 (2018), 査読有 [doi: 10.1103/PhysRevC.98.014311](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.98.014311)
 8. T. Suzuki, R. Shibagaki, T. Yoshida, T. Kajino and T. Otsuka, “Beta decay rates for exotic nuclei and r-process nucleosynthesis up to thorium and uranium”, *The Astrophysical Journal* **859**, 133/1-9 (2018), 査読有 [doi: 10.3847/1538-4357/aabfde](https://doi.org/10.3847/1538-4357/aabfde)
 9. H. Sagawa and T. Suzuki, “Isoscalar and isovector spin responses in sd-shell nuclei”, *Phys. Rev. C* **97**, 054333/1-13 (2018), 査読有 [doi: 10.1103/PhysRevC.97.054333](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.97.054333)
 10. D. T. Tran, H. J. Ong, G. Hagen, T. D. Morris, N. Aoi, T. Suzuki Y. Enyo- Kanada, et al., “Evidence for prevalent $Z=6$ magic number in neutron-rich carbon isotopes”, *Nature Communications* **9**, 1594/1-7 (2018), 査読有 [doi:10.1038/s41467-018-04024-y](https://doi.org/10.1038/s41467-018-04024-y)
 11. A. Saxena, P. Srivastava and T. Suzuki, “Ab initio calculation of Gamow-Teller strengths in the sd-shell”, *Phys. Rev. C* **97**, 024310/1-19 (2018), 査読有 [doi: 10.1103/PhysRevC.97.024310](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.97.024310)
 12. T. Suzuki, N. Tsunoda, Y. Tsunoda, M. Shimizu and T. Otsuka, “Roles of nuclear weak rates on the evolution of degenerate cores in stars”, *EPJ Web of Conferences* **165**, 01048/1-4 (2017), 査読有 [doi:10.1051/epjconf/201716501048](https://doi.org/10.1051/epjconf/201716501048)
 13. T. Suzuki, B. Balantekin, T. Kajino, S. Chiba and M. Honma, “Neutrino-nucleus reaction cross sections for neutrino detection and nucleosynthesis in supernova explosions”, *Proceedings of Science INPC2016*, 248/1-8 (2017), 査読有.
 14. T. Suzuki, M. Honma, N. Shimizu, Y. Tsunoda, T. Otsuka, T. Kajino, K. Mori, M. Famiano, J. Hidaka, K. Nomoto, and K. Iwamoto, “Electron-capture rates of nuclei at stellar environments and nucleosynthesis”, *Proceedings of Science INPC2016*, 155/1-8 (2017), 査読有
 15. T. Suzuki, T. Otsuka, C. Yuan and Navin Alahari, “Formation of two-neutron halo in drip-line nuclei from the low-energy neutron-neutron interaction”, *Proceedings of Science INPC2016*, 055/1-8 (2017), 査読有
 16. T. Suzuki, T. Yoshida, S. Shibagaki, T. Kajino and T. Otsuka, “Beta-decay rates for exotic nuclei and r-process nucleosynthesis up to Th and U”, *JPS Conf. Proc.* **14**, 020606/1-3 (2017), 査読有 [doi: 10.7566/JPSCP.14.020606](https://doi.org/10.7566/JPSCP.14.020606)
 17. T. Suzuki, H. Toki and K. Nomoto, “Electron-capture and beta-decay rates for sd-shell nuclei in stellar environments”, *JPS Conf. Proc.* **14**, 020402/1-3 (2017), 査読有 [doi: 10.7566/JPSCP.14.020402](https://doi.org/10.7566/JPSCP.14.020402)
 18. T. Suzuki, M. Honma, K. Mori, M. Famiano, T. Kajino, J. Hidaka and T. Otsuka, “Electron-capture rates for pf-shell nuclei in stellar environments and nucleosynthesis”, *JPS Conf. Proc.* **14**, 010407/1-3 (2017), 査読有 [doi: 10.7566/JPSCP.14.010407](https://doi.org/10.7566/JPSCP.14.010407)
 19. N. Tsunoda, T. Otsuka, N. Shimizu, M. Hjorth-Jensen, K. Takayanagi and T. Suzuki, “Exotic neutron-rich medium- mass nuclei with realistic nuclear forces”, *Phys. Rev. C* **95**, 021304 (R)/1-6 (2017), 査読有 [doi: 10.1103/PhysRevC.95.021304](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.95.021304)
 20. K. Mori, M. Famiano, T. Kajino, T. Suzuki, J. Hidaka, M. Honma, K. Iwamoto, K. Nomoto and T. Otsuka, “Impact of new Gamow-Teller strengths on explosive type Ia supernova nucleosynthesis”, *The Astrophysical Journal* **833**, 179/1-12 (2016), 査読有 [doi: 10.3847/1538-4357/833/2/179](https://doi.org/10.3847/1538-4357/833/2/179)
 21. H. Sagawa, T. Suzuki and M. Sasano, “Effect of isoscalar spin-triplet pairings on spin-isospin responses in sd-shell nuclei”, *Physical Review C* **94**, 041303 (R)/1-6 (2016), 査読有 [doi: 10.1103/PhysRevC.94.041303](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.94.041303)
 22. N. Nishimura, Z. Podolyak, D.-L. Fang, T. Suzuki, “Impact of the first-forbidden β decay on the production of $A \sim 195$ r-process peak”, *Physics Letters B* **756**, 273-277 (2016), 査読有 [doi:10.1016/j.physletb.2016.03.025](https://doi.org/10.1016/j.physletb.2016.03.025)
 23. T. Suzuki, H. Toki, K. Nomoto, “Electron-capture and beta-decay rates for sd-shell nuclei in stellar environments relevant to high density O-Ne-Mg cores”, *The Astrophysical Journal* **817**, 163/1-9 (2016), 査読有 [doi: 10.3847/0004-637X/817/2/163](https://doi.org/10.3847/0004-637X/817/2/163)
 24. T. Suzuki, T. Otsuka, C. Yuan, N. Alahari, “Two-neutron "halo" from the low-energy limit of neutron-neutron interaction: Applications to dripline nuclei ^{22}C and ^{24}O ”, *Physics Letters B* **753**, 199-203 (2015), 査読有 [doi: 10.1016/j.physletb.2015.12.001](https://doi.org/10.1016/j.physletb.2015.12.001)
 25. T. Suzuki, T. Yoshida, S. Wanajo, T. Kajino, T. Otsuka, “Beta-decay rates for exotic nuclei and r-process nucleosynthesis”, *JPS Conference Proceedings* **6**, 030063/1-4

- (2015), 査読有 [doi: 10.7566/JPSCP.6.030063](https://doi.org/10.7566/JPSCP.6.030063)
26. [T. Suzuki](#), M. Honma, T. Otsuka, T. Kajino, “Electron-capture rates for exotic nuclei at stellar environments”, JPS Conference Proceedings 6, 020029/1-6 (2015), 査読有 [doi: 10.7566/JPSCP.6.020029](https://doi.org/10.7566/JPSCP.6.020029)
 27. R. Kanungo, A. Sanetullaev, J. Tanaka, S. Ishimoto, G. Hagen, T. Myo, [T. Suzuki](#), et al., Physical Review Letters **114**, 192501/1-5 (2015), 査読有 [doi: 10.1103/PhysRevLett.114.192502](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.114.192502)
 28. K. Whitmore, D. Smalley, H. Iwasaki, [T. Suzuki](#) et al., “Magnetic response of the halo nucleus ^{19}C studied via lifetime measurement”, Physical Review C **91**, 041303 (R)/1-5 (2015), 査読有 [doi: 10.1103/PhysRevC.91.041303](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.91.041303)

[学会発表](計34件)

1. [T. Suzuki](#), “ニュートリノ-原子核反応とニュートリノ検出、元素合成”, 「ニュートリノ原子核反応とニュートリノ相互作用」研究会(招待講演), Feb. 22, 2019, JPARC 東海
2. [T. Suzuki](#), “炭素、酸素核の構造とニュートリノ核反応への応用”, 第5回超新星ニュートリノ研究会, Jan. 7-8, 2019, 国立天文台
3. [T. Suzuki](#), “Roles of nuclear weak rates in nucleosynthesis and neutrino detection”, Workshop on Physics at HIAF High-Energy Beam Lines (招待講演), Dec. 13-15, 2018, Beihuan University, Beijing, China
4. [T. Suzuki](#), T. Otsuka and N. Tsunoda, “Structure of neutron-rich carbon isotopes: shell evolution and two-neutron halo at the dripline”, 第5回日米合同物理学会, Oct. 23-27, 2018, Waikoloa, Hawaii, U.S.A
5. [T. Suzuki](#), S. Chiba, T. Yoshida, M. Sakuda and K. Nakazato “Neutrino-induced reactions on ^{16}O : Supernova neutrino detection and nucleosynthesis of light elements”, 第5回日米合同物理学会, Oct. 23-27, 2018, Waikoloa, Hawaii, U. S. A.
6. [T. Suzuki](#), “Neutrino-nucleus reactions on oxygen and carbon for supernova neutrino detection”, 12th International Workshop on Neutrino-Nucleus Interactions in the Few-GeV Region (Nuint18) (招待講演), Oct. 15-19, 2018, Gran Sasso Science Institute, L'Aquila, Italy
7. [T. Suzuki](#), “Spin-dependent modes in nuclei and astrophysical processes”, International Symposium on Simplicity, Symmetry and Beauty of Atomic Nuclei (招待講演), Sept. 26-28, 2018, Shanghai, China
8. [T. Suzuki](#), “Nuclear weak rates and cross sections for SN explosions and SN neutrino detection”, Satellite Workshop of the NIC2018 on Core-collapse Supernovae in the Multi-messenger Era, July 2-3, 2018, Gran Sasso Science Institute, L'Aquila, Italy
9. [T. Suzuki](#), R. Shibagaki, T. Yoshida, T. Kajino and T. Otsuka, “R-process nucleosynthesis in core-collapse supernova explosions and binary neutron star mergers”, The 15th International Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC-XV), June 24-29, 2018, Gran Sasso, Italy
10. [T. Suzuki](#), “Nuclear forces, shell evolution and weak transition rates in stars”, First Workshop on Nuclear Shell Model Developments and Applications in Eastern Asia (NuSEA2018) (招待講演), March 30-31, 2018, T. D. Lee Institute, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China
11. [T. Suzuki](#), “Neutrino-nucleus reaction cross sections and e-capture rates based on recent advances in shell-model interactions”, INT program on "Nuclear ab initio Theories and Neutrino Physics" (招待講演) March 5-9, 2018, INT, Seattle, U.S.A.
12. [T. Suzuki](#), “ニュートリノ 原子核反応と元素合成”, 新学術「地下素核研究」大4回超新星ニュートリノ研究会, Jan. 8-9, 2018, Hakone, Japan
13. [T. Suzuki](#), “Nuclear structure and nuclear weak rates for nucleosynthesis”, Impact of Exotic Nuclear Structure on Explosive Nucleosynthesis (招待講演), Nov. 23-24, 2017, Beihuan Univ., Beijing, China
14. [T. Suzuki](#), “Roles of nuclear forces on the shell evolutions toward drip-lines”, Ito International Research Center Symposium "Perspectives of the Physics of Nuclear Structure" (招待講演) Nov. 1-3, 2017, Univ. of Tokyo, Japan
15. [T. Suzuki](#), “Shell-model study of spin modes in nuclei and applications to astrophysical processes”, Inter-institutional Meeting in Inter-disciplinary Theoretical and Computational Physical Sciences (ITCPS2017) (招待講演) Oct. 2-4, 2017, Tokyo Institute of Technology, Ookayama, Japan
16. [T. Suzuki](#), “Roles of nuclear weak rates on the evolution of stars and nucleosynthesis”, International Symposium on Physics of Unstable Nuclei (ISPUN17) (招待講演) Sept. 25-29, 2017, Halong City, Vietnam
17. [T. Suzuki](#), “Study of neutrino-nucleus reactions and neutrino emissions for neutrino detection, nucleosynthesis and cooling of stars”, International School of Nuclear Physics, 39th Course, Neutrinos in Cosmology, in Astro-, Particle- and Nuclear Physics, Sept. 16-24, 2017, Erice, Italy
18. [T. Suzuki](#), N. Tsunoda, Y. Tsunoda, K. Shimizu and T. Otsuka, “Roles of nuclear weak

- rates on the evolution of degenerate cores in stars”, Nuclear Physics in Astrophysics VIII, June 18-23, 2017, Catania, Italy
19. T. Suzuki, “Structure of drip-line nuclei”, Advances in Theoretical Nuclear Physics; Probing fundamental interactions by low energy excitations(招待講演) June 5-9, 2017, AlbaNova, Stockholm, Sweden
 20. T. Suzuki and T. Otsuka, “Structure of two-neutron halo in light drip-line nuclei”, 12th International Spring Seminar on Nuclear Physics; Current Problems and Prospects for Nuclear Structure, May 15-19, 2017, Ischia, Italy
 21. T. Suzuki, “The role of nuclear physics on the final evolution of degenerate cores”, The AGB-Supernovae Mass Transition Conference (招待講演), March 27-31, 2017, Observatory of Rome, Frascati, Italy
 22. T. Suzuki, M. Honma, N. Shimizu, Y. Tsunoda, T. Otsuka, T. Kajino, K. Mori, M. Famiano, J. Hidaka, K. Nomoto and K. Iwamoto, “Electron-capture rates of nuclei at stellar environments and nucleosynthesis”, International Nuclear Physics Conference (INPC 2016), Sept. 11-16, 2016, Adelaide, Australia
 23. T. Suzuki, A. B. Balantekin, T. Kajino, S. Chiba and M. Honma, “Neutrino- nucleus cross sections for neutrino detection and nucleosynthesis in supernova explosions”, International Nuclear Physics Conference (INPC 2016) (招待講演) Sept. 11-16, 2016, Adelaide, Australia
 24. T. Suzuki, T. Otsuka, C. Yuan and N. Alahari, Formation of two-neutron halo in drip-line nuclei from the low energy neutron-neutron interaction”, International Nuclear Physics Conference (INPC2016), Sept. 11-16, 2016, Adelaide, Australia
 25. T. Suzuki, “Neutrino-nucleus reaction cross sections for neutrino detection and nucleosynthesis in supernova explosions”, Neutrinos in Nuclear Physics Workshop, July 29-31, 2016, Knoxville, Tennessee, U.S.A.
 26. T. Suzuki, “Electron-capture rates at stellar environments and nucleosynthesis”, The Nuclear Structure 2016 Conference, July 24-29, 2016, Knoxville, Tennessee, U.S.A.
 27. T. Suzuki, T. Otsuka, C. Yuan and N. Alahari, “Two-neutron halo in light drip-line nuclei from the low-energy limit of neutron-neutron interaction”, The 9th Conference on Direct Reactions with Exotic Beams (DREB 2016), July 10-15, 2016, St. Mary's University, Halifax, Canada
 28. T. Suzuki, M. Honma, K. Mori, M. Famiano, T. Kajino, J. Hidaka and T. Otsuka, “Electron-capture rates for pf-shell nuclei in stellar environments and nucleosynthesis”, 14th Int. Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC2016), June 19-24, 2016, 朱鷺メッセ、新潟県新潟市
 29. T. Suzuki, “Nuclear weak rates at stellar environments: nucleosynthesis and evolution of stars”, Russbach School on Nuclear Astrophysics (招待講演) March 6-12, 2016, Russbach, Austria
 30. T. Suzuki, “Electron capture rates at stellar environments and astrophysical applications”, Electron-capture Super- novae and super-AGB Star Workshop, Feb. 1-5, 2016, Monash University, Melbourne, Australia
 31. T. Suzuki, “Shell-model study of nuclear weak rates and astrophysical applications”, Computational Advances in Nuclear and Hadron Physics (CANHP2015) (招待講演) , Sept. 29-Oct. 2, 2015, YITP, Kyoto, Japan
 32. T. Suzuki, “Nuclear weak rates for astrophysical applications”, Numazu Workshop 2015: Challenges of modeling supernovae with nuclear data, Sept. 1-4, 2015, Mishima, Japan
 33. T. Suzuki, “Spin responses in nuclear weak processes and nucleosynthesis”, Neutrinos and Dark Matter in Nuclear Physics (NDM 2015), June 1-5, 2015, Jyväskylä, Finland
 34. T. Suzuki, “Nuclear weak rates at stellar environments and astrophysical applications”, International Collaboration in Nuclear Theory: Theory for open-shell nuclei near the limits of stability (招待講演) May 25-29, 2015, MSU, Michigan, U.S.A.

[図書] (計 0 件)

6 . 研究組織

(1)研究分担者 無し

(2)研究協力者

研究協力者氏名：本間 道雄

ローマ字氏名：(HONMA, michio)