

III. 原子核物理研究部門

1. メンバー

教授	中務 孝、矢花一浩（量子物性研究部門兼務）
講師	橋本幸男
助教	日野原伸生
研究員	温凱、Bharat Kumar (2019.6 着任)
学生	大学院生 3 名

2. 概要

本部門では、核子(陽子・中性子)の多体系である原子核や中性子星の構造・反応・応答などの多核子量子ダイナミクスの研究を推進している。安定線（ハイゼンベルグの谷）から離れた放射性アイソトープの原子核の構造と反応、エキゾチックな励起状態の性質、様々な集団運動の発現機構など、未解決の謎の解明に取り組んでいる。原子核の研究は、フェルミ粒子の量子多体系計算という観点で、物質科学や光科学、冷却原子系の物理と密接なつながりをもつ。また、クォーク・グルーオンのダイナミクスを記述する格子 QCD に基づく核力の計算、軽い原子核の直接計算などが進展する中、素粒子物理学との連携も重要性が増している。ニュートリノの解明に向けたニュートリノレス二重ベータ崩壊の観測実験や、素粒子標準模型のテストに関わる実験などにも原子核理論の精密計算が不可欠とされている。また、元素の起源や星の構造、中性子星の誕生にも関わる爆発的天体現象にも原子核の性質は深く関わり、宇宙物理学とも密接に関係している。さらに、原子力工学分野や応用分野との連携が重要になってきており、本部門も理論計算核データ構築とそのサポートを行ってきている。本部門のメンバーはこのような幅広い課題に取り組み、分野の枠を超えた研究を推進している。

3. 研究成果

【1】座標空間時間依存密度汎関数法の計算コード開発とアイソベクトル電気双極子共鳴への応用（Shi（ハルビン工業大学）、日野原、Schuettrumpf（GSI））

ハルビン工業大学で開発された 3 次元座標基底の原子核密度汎関数法計算コードを拡張し、時間依存密度汎関数法(TDDFT)計算ができるようにした。基底状態での対相関は BCS 近似によって導入し、軌道波動関数の時間依存性を考慮することによって時間依存ダイナミクスへの寄与を部分的に取り込めるように実装した。新しく作られた 3 次元座標基底の TDDFT 計算コードは同じ 3 次元座標空間基底の Sky3D による TDDFT 計算と、軸対称を仮定した調和振動子基底原子核 DFT コード HFBTHO の有限振幅法による準粒子乱雑位相近似計算とベンチマークを行った。Sky3D との比較ではほぼ同一の結果を得ることができた。一方で HFBTHO

による有限振幅法の計算結果との比較では、巨大共鳴のメインピークのエネルギーについては一致を得たが、調和振動子基底では連続状態を正しく表現できないことから高エネルギー側では強度関数に違いが見られた。Zr, Mo, Ru 原子核のアイソベクトル型双極子巨大共鳴の系統的計算を安定核から中性子過剰核領域まで行い、基底状態変形と巨大共鳴の強度関数分布の関連を分析した。

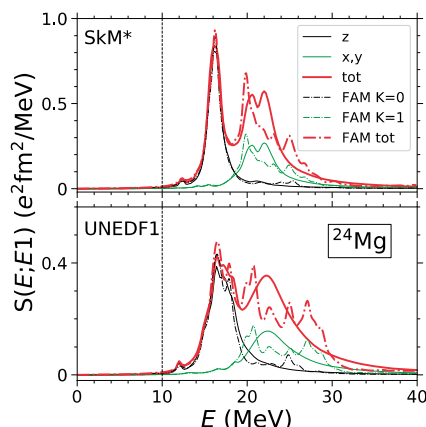


Fig. 1: TDDFT と有限振幅法による ^{24}Mg の電気双極子強度関数の計算値の比較。

【2】陽子過剰不安定核の基底状態でのアイソベクトル型中性子-陽子対凝縮（日野原、Sheikh（カシミア大）、Dobaczewski（ヨーク大）、Nazarewicz（ミシガン州立大））

調和振動子基底の原子核 DFT 計算コード HFBTHO にアイソベクトル型中性子-陽子対相関を導入し、陽子過剰不安定核の基底状態の計算を行った。縮退がある場合も安定して解が求められるように対振幅に対して拘束条件をかけ、アイソベクトル型中性子-陽子対振幅の関数としてエネルギー等の分析を行った。アイソスピン対称な原子核密度汎関数を用いた場合、 $N=Z$ となる原子核ではアイソベクトル対相関によって自発的にアイソスピン対称性が破れ、対振幅のアイソスピン空間での向きが異なる解が縮退するため、中性子対、陽子対、中性子-陽子対の混合凝縮解の縮退が実現する。そのため基底状態の記述ではアイソスピン射影が重要となる。

アイソベクトル型対相関の 3 つの結合定数を変えたり Coulomb 力を加えたりするとアイソスピン対称性が破れ、この縮退は解ける。しかしながら Coulomb 力による対相関のアイソスピン対称性の破れの程度は非常に小さく、対相関チャンネルではアイソスピン対称性は近似的に成立し、アイソスピン回転の量子ゆらぎが非常に大きくなることが示された。 $N \neq Z$ となる原子核ではアイソスピン対称な密度汎関数ではアイソベクトル型中性子-陽子対凝縮は現れず、中性子-陽子対の結合定数が大きい場合に限り凝縮解を得ることができた。

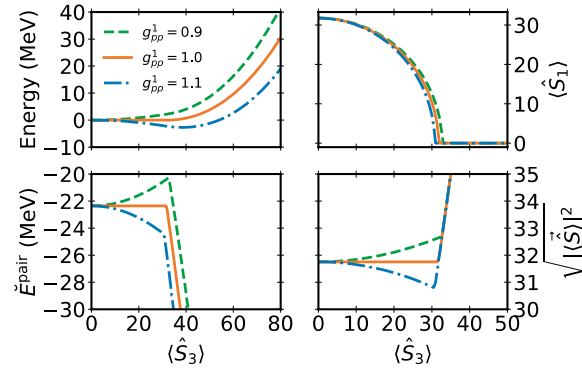


Fig. 2: アイソベクトル型中性子-陽子対振幅の関数としてのエネルギー、同種粒子対振幅、アイソベクトル対振幅の大きさ。

【3】ジルコニウム ^{90}Zr 原子核の衝突反応における相対位相の効果（橋本、Scamps（ブリュッセル自由大））

昨年度までにおいて、我々は Gogny-TDHFB 法を用いて超流動原子核の反応における相対位相の効果を調べてきた。プログラムコードの整備と新しい計算技術の開発のために、対象は酸素 ^{20}O やカルシウム Ca などの比較的質量の小さな原子核であった。

そこで、ウラニウムやプルトニウムなどの重い原子核の性質、特に分裂の過程における超流動の効果を調べるためにプログラムの拡張と整備を進めてきた。応用を始めた例として、ジルコニウム ^{90}Zr 原子核の正面衝突のシミュレーションにおける超流動性の効果が核間ポテンシャルの違いや対応する相空間内の軌道に現れることが確認できる (Fig. 3 a))。また、プルトニウム ^{240}Pu の分裂に伴うポテンシャルエネルギーの計算から、対称性を保った四重極変形の分裂経路よりも八重極変形を伴う経路のほうがより低いエネルギーになることが確認できる (Fig. 3 b))。これらの重い原子核を対象にして超流動性に伴う位相が原子核内のエネルギー移動にもたらす動的な効果を調べることができる。

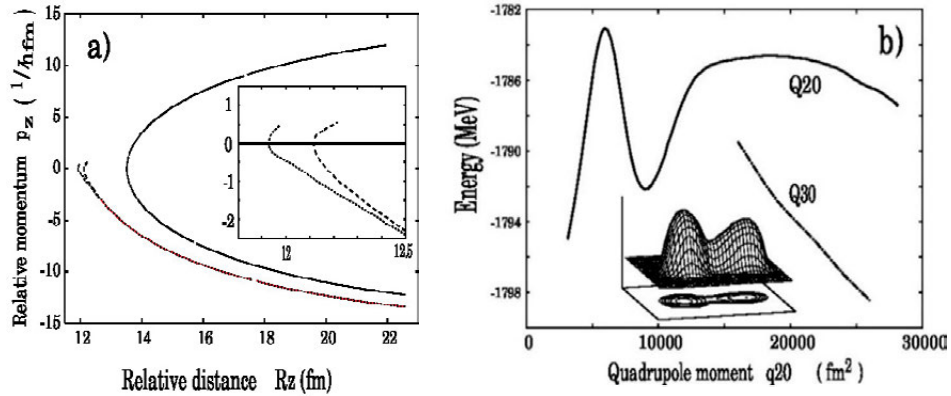


Fig. 3: a) $^{90}\text{Zr}+^{90}\text{Zr}$ の反応における相空間内の軌道。加速エネルギー70 MeV（実線）および84MeV。相対位相0度（点線）および90度（破線）。挿入図は拡大図。b) ^{240}Pu の四重極変形を拘束条件にした HFB 計算によるエネルギー曲線。四重極変形のみ（実線）と八重極変形（挿入図）あり（破線）の場合。

【4】 GW170817 constraints on the properties of a neutron star in the presence of WIMP dark matter (Quddus (Aligarh Muslim University), Panotopoulos (IST), Kumar, Ahmad (Aligarh Muslim University), and Patra (Homi Bhabha National Institute))

My colleagues and I have considered a relatively light Weakly Interacting Massive Particle (WIMP) as a dark matter candidate with properties suggested by the results of the DAMA/LIBRA collaboration, realized for instance within the framework of the Next-to-Minimal Supersymmetric Standard Model. The dark matter (DM) particle interacts with the baryonic matter of a neutron star (NS) through Higgs bosons. The DM variables are essentially fixed using the results of the DAMA/LIBRA experiment, which are then used to build the Lagrangian density for the WIMP-nucleon interaction inside a NS. We have used the effective field theory motivated relativistic mean field (RMF) model to study the EoS in the presence of dark matter. The predicted EoS are used in the TOV equations to obtain the mass-radius relations (see Fig. 4), the moment of inertia, and effects of the tidal field on a NS. The calculated properties are compared with the corresponding data of the GW170817 event.

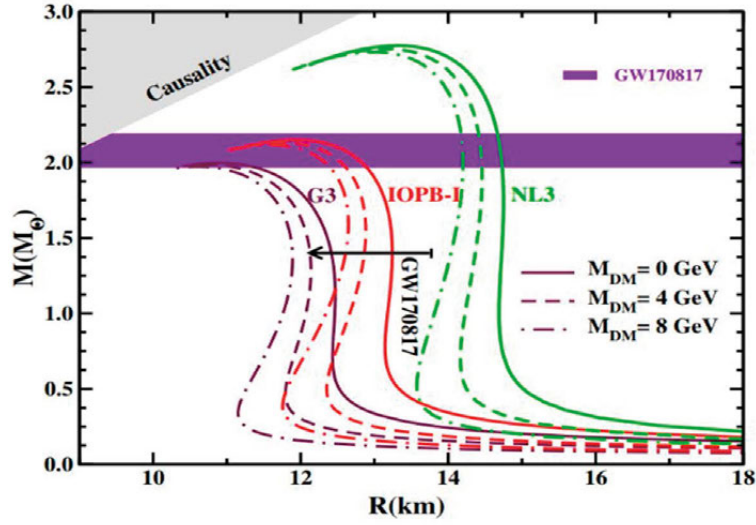


Fig. 4: Mass-radius profile for NSs in the presence of DM.

【5】 Effects of Dark Matter on Nuclear and Neutron Star Matter (Das (Homi Bhabha National Institut_e), Kumar (Homi Bhabha National Institute), Kumar, Biswal (Xiamen University), 中務, Li (Xiamen University), and Patra (Homi Bhabha National Institute))

We study the DM effects on the nuclear matter (NM) parameters characterising the EoS of super dense neutron-rich nucleonic-matter. The observables of the NM, i.e. incompressibility, symmetry energy and its higher order derivatives in the presence DM for symmetric and asymmetric NM, are analysed with the help of RMF model. The calculations are also extended to β -stable matter to explore the properties of the NS. We analyse the DM effects on symmetric NM, pure neutron matter and NS matter with the help of RMF model using NL3, G3 and IOPB-I forces. The binding energy and pressure are calculated with and without considering the DM interaction with the NM systems. The influences of DM are also analysed on the symmetry energy and its different coefficients. The incompressibility and the skewness parameters are affected considerably due to the presence of DM in the NM medium. We extend the calculations to NS and find its mass, radius and the moment of inertia (see Fig. 5) for static and rotating NS with and without DM contribution. The mass of the NS considerably changes due to rapid rotation with the frequency in the mass-shedding limit. The effects of DM are found to be important for some of the NM parameters, which are crucial for the properties of astrophysical objects.

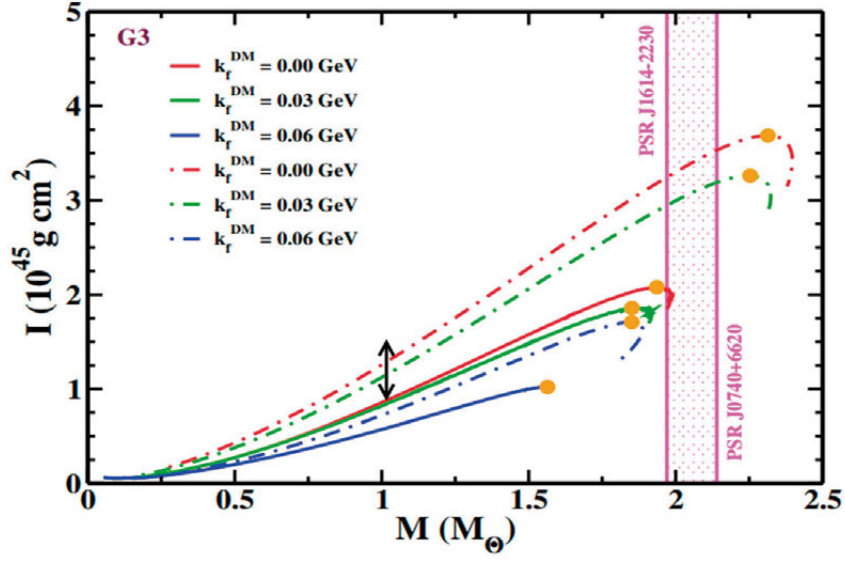


Fig. 5: Moment of inertia of the NSs in the presence of DM.

【6】 Calculations of the collective inertial mass and self-consistent reaction path for low-energy nuclear reactions (温、中務)

Towards the microscopic theoretical description for large amplitude collective dynamics like fusion/fission reactions, we propose a numerical method to determine the optimal collective reaction path for nucleus-nucleus collisions, based on the adiabatic self-consistent collective coordinate (ASCC) method. At the same time, we extracted the coefficients of inertial masses for low-energy nuclear collective dynamics, which is the key ingredient for constructing the nuclear collective Hamiltonian and study the quantum mechanical features of nuclear reactions.

Under the scheme of adiabatic self-consistent collective coordinate (ASCC), we use an iterative method, combining the imaginary-time evolution and the finite amplitude method, for the solution of the ASCC coupled equations. It is applied to light reaction systems of $\alpha + \alpha \rightarrow {}^8\text{Be}$, $\alpha + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^{20}\text{Ne}$ and ${}^{16}\text{O} + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^{32}\text{S}$. We determine the collective paths, the potentials, and the inertial masses. The results are compared with other methods, such as the constrained Hartree-Fock method, Inglis's cranking formula.

The left panel on Fig. 6 shows the fusion path for the fusion reaction of ${}^{16}\text{O} + \alpha \rightarrow {}^{20}\text{Ne}$, constructed by the microscopically derived collective coordinate, which can be decoupled from other intrinsic degrees of freedom. This fusion path smoothly connects the two reacting nuclei into the ground state of ${}^{20}\text{Ne}$. The right panel shows the derived inertial mass for the same system, the results are compared with other methods. When the two nuclei are far away from each other, the reduced mass can be reproduced. We have demonstrated that the inertial mass calculated by our method is advantageous because it is self-

consistent and not spoiled by the existence of the time-odd mean-field potential in the realistic energy density functional. With these results, it becomes feasible to perform ‘requantization’ of the TDHF(B), which will reveal more quantum effects and microscopic information of nuclear fusion/fission reactions.

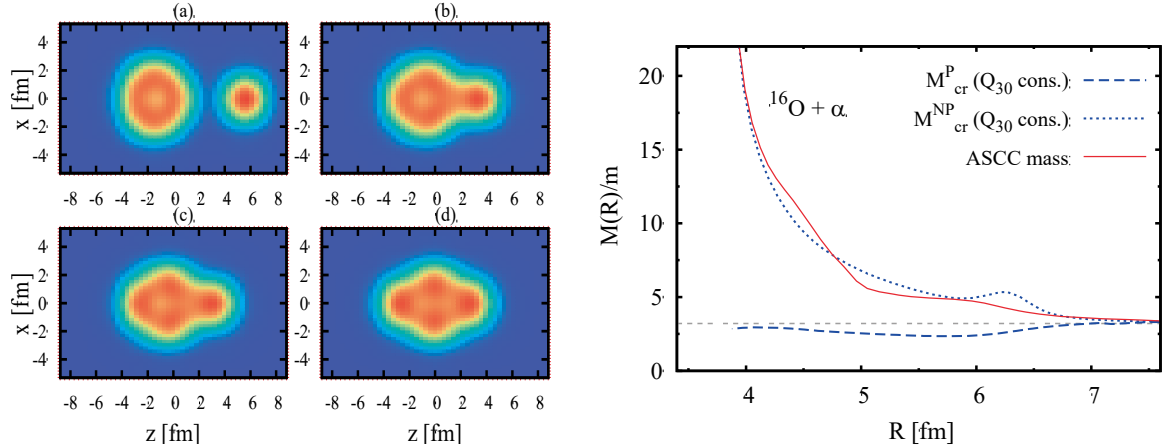
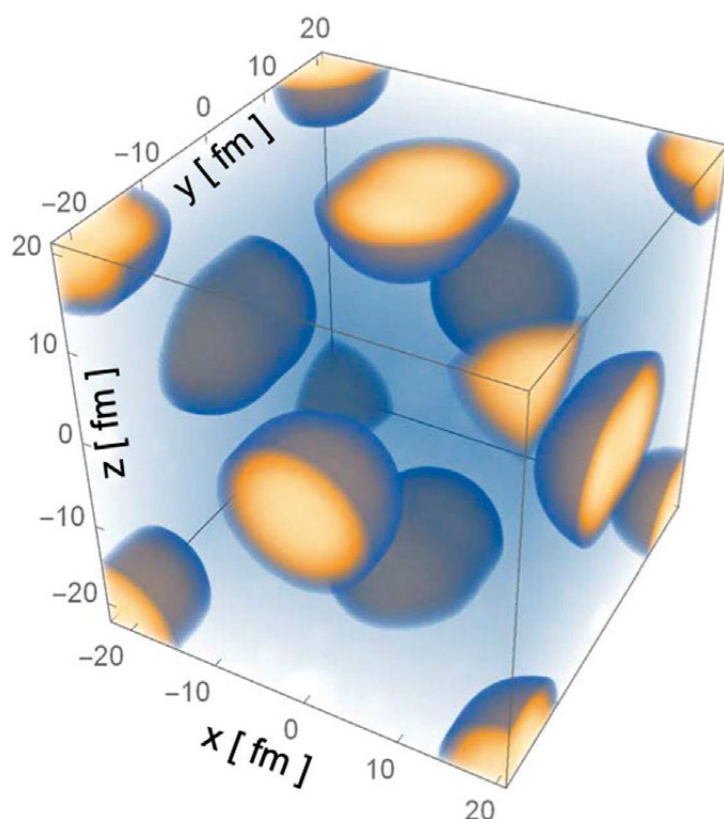


Fig. 6: (Left) Density distribution on the x-z plane at four points on the ASCC fusion reaction path of $^{16}\text{O} + \alpha \rightarrow ^{20}\text{Ne}$: (a) $R = 7.6$ fm, (b) $R = 5.2$ fm, (c) $R = 4.2$ fm, and (d) $R = 3.8$ fm corresponding to the ground state of ^{20}Ne . (Right) The ASCC inertial mass (red solid curve) in units of the nucleon mass as a function of R for the same system, compared with the cranking inertial masses based on the CHF states with constraint on octupole deformation. The non-perturbative and perturbative cranking inertial masses are shown with dotted and dashed lines, respectively.

【7】 シフト・クリロフ法による3次元座標空間表現での有限温度ハートレー・フォック・ボゴリューボフ計算（柏葉（D3）、中務）

対凝縮による核子超流動性を考慮できる（有限温度）ハートレー・フォック・ボゴリューボフ（HFB）計算では、対称性の仮定を導入して2次元以下の計算に制限する、調和振動子基底を用いて空間次元を小さく抑えるなど、フルの非制限計算はほとんど皆無であった。そこで、3次元座標空間を基底に取った3次元ソルバーの開発を実施した。通常のHFB計算では、準粒子軌道を求め、通常密度・対密度を計算する手法が採られており、HFBハミルトニアンに対角化作業が必要となるため、自己無撞着な解に到達するまでに大次元行列の対角化を何度も実行する必要がある。そこで、この行列対角化を避ける方法として、複素エネルギー面上でのグリーン関数の積分から通常密度・対密度を計算し、グリーン関数をクリロフ・アルゴリズムに基づく反復解法で求める方法を開発した。積分のためには、多数の異なる複素エネルギーでのグリーン関数を計算する必要があるが、ここにはシフト法を用いることで、ほぼエネルギー1点での計算コストで全てのエネルギー点の結果を得ることができる。また、

異なる空間点での計算を、ほとんど通信なしに実行することができるため、並列化効率も非常に高く、Oakforest-PACS を用いた数値計算を実行した。



数値計算の結果として、温度による原子核の形状変化、変形共存現象の温度依存性と安定性に関する結果を得ることができた。また、中性子星の内殻（インナー・クラスト）において、3 次元的パスタ構造をフル 3 次元の有限温度 HFB 計算による初めての解析を実施した。これまで予言されていない新しい相が出現する可能性を示唆する結果を得ている。

Fig. 7 中性子星内殻における有限温度・有限密度のベータ平衡状態として得られた構造。大きく変形した Sr の原子核が出現している。

4. 教育

学位

集中講義

5. 受賞、外部資金、知的財産権等

受賞

1. Asian Nuclear Physics Association & AAPPS-DNP Award for young scientist,
Kai Wen, Aug. 27, 2019.

外部資金

1. 日本学術振興会科学研究費・基盤研究(B)、中務 孝、代表、2018–2021 年、全年度直接経費：13,200,000 円（2019 年度直接経費：4,200,000 円）、「密度汎関数超並列ソルバの開発と原子核から中性子星までの統一的高精度計算」.
2. 日本学術振興会科学研究費・新学術領域研究(研究領域提案型：研究領域「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」)(公募研究)、中務 孝、代表、2019–2020 年、全年度直接経費：2,300,000 円（2019 年度直接経費：1,100,000 円）「量子クラスター出現機構と低エネルギー核反応の非経験的記述」.
3. 日本学術振興会二国間協力事業（JSPS-NSFC）、中務 孝、日本側代表、2017–2019 年、全年度直接経費：4,500,000 円（2019 年度直接経費：1,500,000 円）、「r プロセスの謎解明に向けた核質量と寿命の研究」.
4. 日本学術振興会科学研究費・若手研究(B)、日野原伸生、代表、2016–2019 年、全年度直接経費：2,900,000 円（2019 年度直接経費：600,000 円）、「中性子–陽子対相関・対凝縮の解明」.
5. 文部科学省・研究大学強化促進事業、筑波大学 2019 年度若手研究者中短期海外派遣プログラム、日野原伸生、代表、全年度直接経費：670,000 円（2019 年度直接経費：670,000 円）、「不安定原子核の基底状態における中性子–陽子対凝縮の解明」.

6. 研究業績

(1) 研究論文

A) 査読付き論文

1. Y. Kashiwaba, T. Nakatsukasa, “Self-consistent band calculation of slab phase in neutron-star crust”, Phys. Rev. C **100**, 035804 (2019).
2. K. Wen and T. Nakatsukasa, “Collective inertial masses in nuclear reactions”, Front. Phys. **8**, 16 (2020) [Invited paper].
3. G. Scamps and Y. Hashimoto, “Density-constrained time-dependent Hartree-Fock-Bogoliubov method”, Phys. Rev. C **100**, 024623 (2019).
4. N. Hinohara, “Energy-weighted sum rule for nuclear density functional theory”, Phys. Rev. C **100**, 024310 (2019).
5. S. Burrello, M. Colonna, G. Colò, D. Lacroix, X. Roca-Maza, G. Scamps, and H. Zheng, “Interplay between low-lying isoscalar and isovector dipole modes: A comparative analysis between semiclassical and quantum approaches”, Phys. Rev. C **99**, 054314 (2019).

6. A. Quddus, G. Panotopoulos, B. Kumar, S. Ahmad, and S. K. Patra, “GW170817 constraints on the properties of a neutron star in the presence of WIMP dark matter”, JPS Conf. Proc, **31**, 011053 (2020).
7. B. Kumar, “Neutron skins of heavy nuclei and tidal deformability of neutron star”, JPS Conf. Proc. **31**, 011052 (2020).
8. K. Sekizawa and K. Hagino, “Time-dependent Hartree-Fock plus Langevin approach for hot fusion reactions to synthesize the Z=120 superheavy element”, Phys. Rev. C **99**, 051602(R) (2019).
9. Y. Kashiwaba, T. Nakatsukasa, “S Coordinate-space solver for finite-temperature Hartree-Fock-Bogoliubov calculations using the shifted Krylov method”, Phys. Rev. C 掲載決定; arXiv:2001.00500.
10. T. Nakatsukasa, Y. Kashiwaba, F. Ni, K. Washiyama, K. Wen, N. Hinohara, “Nuclear structure and reaction with quantum shape fluctuation”, JPS Conf. Proc., 掲載決定; arXiv:1909.01537.
11. H.C. Das, A. Kumar, B. Kumar, S.K. Biswal, T. Nakatsukasa, A. Li, and S.K. Patra, “Effects of dark matter on the nuclear and neutron star matter”, MNRAS, 掲載決定; arXiv:2002.00594.
12. J. Ha, T. Sumikama, F. Browne, N. Hinohara, A. M. Bruce, et al., “Shape evolution of neutron-rich $^{106,108,110}\text{Mo}$ isotopes in the triaxial degree of freedom”, Phys. Rev. C, 掲載決定.

B) 査読無し論文

1. N. Hinohara, “Efficient QRPA calculation for two-neutrino double-beta decay nuclear matrix element”, AIP Conf. Proc. **2165**, 020010 (2019).

(2) 国際会議発表

A) 招待講演

1. T. Nakatsukasa, “Energy density functional approach to nuclear dynamics”, XVII Workshop on Nuclear Physics, Havana, Cuba, Apr. 1 - 5, 2019.
2. T. Nakatsukasa, “Collective motion, GCM, and requantization of time-dependent mean field”, Nuclear Physics Symposium “Challenges in theory of heavy nuclei”, York, UK, July 17 - 20, 2019.
3. T. Nakatsukasa, “Self-consistent description of the inner crust of neutron stars”, Microscopic Approaches to Nuclear Structure and Reactions, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, USA, Nov. 12 - 15, 2019.

4. T. Nakatsukasa, “Green’s function method for nuclear structure theory”, Workshop on new generation nuclear density functionals, Peking, China, Nov. 18 - 22, 2019.
5. N. Hinohara, “Efficient QRPA calculation for two-neutrino double-beta decay nuclear matrix element”, Matrix Elements for the Double beta decay Experiments (MEDEX’19) Czech National Library of Technology, Prague, Czech Republic, May 27 - 31, 2019.
6. N. Hinohara, “Neutron-proton pairing in nuclear density functional theory”, Nuclear Physics Symposium “Challenges in theory of heavynuclei”, York, UK, July 17 - 20, 2019.
7. N. Hinohara, “Isovector pairing and nuclear mass”, RIBF Week 2019, Wako, Japan, Sept. 2 - 4, 2019.
8. N. Hinohara, “Isovector pairing energy density functional and pairing collective motion”, Microscopic Approaches to Nuclear Structure and Reactions, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, USA, Nov. 12 - 15, 2019.
9. K. Sekizawa, “Time-Dependent Hartree-Fock Theory for Multinucleon Transfer Reactions”, The IV International Conference on Nuclear Structure and Dynamics (NSD2019), Venice, Italy, May 13 - 17, 2019.
10. K. Sekizawa, “Time-Dependent Hartree-Fock Theory and Its Extensions for the Superheavy Element Synthesis”, Heavy Ion Accelerator Symposium on Fundamental and Applied Science (HIAS2019), Canberra, Australia, Sept. 9 - 13, 2019.
11. K. Sekizawa, “Time-Dependent Density Functional Theory for Superfluid Dynamics in the Neutron Star Crust”, The 3rd International Conference on Quarks and Compact Stars (QCS2019), Busan, Korea, Sept. 26 - 28, 2019.
12. K. Sekizawa, “Time-Dependent Density Functional Theory and Its Extensions for Nuclear Dynamics”, International Workshop on “New Generation Nuclear Density Functionals”, Peking University, Beijing, China, Nov. 18 - 22, 2019.
13. K. Sekizawa, “Time-Dependent Hartree-Fock Theory and Its Extensions for Low-Energy Nuclear Reactions: Recent Progress”, The 64th DAE-BNRS Symposium on Nuclear Physics, Lucknow, India, Dec. 23 - 27, 2019.

B) 一般講演

1. T. Nakatsukasa, “Summary and discussion”, China-Japan Collaboration Workshop on “Nuclear Mass and Life for Unraveling Mysteries of R-process”, Beijing, China, Oct. 9 - 13, 2019.
2. Y. Hashimoto, “Study of structure and reaction mechanism of superfluid nuclei based on the density functional theory”, 11th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New

- Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences, Tsukuba, Japan, Oct. 15, 2019 (Poster).
3. N. Hinohara, “Pairing rotation and pairing energy density functional”, Nuclear Structure and Dynamics (NSC2019) Centro Culturale Don Orione Artigianelli, Venice, Italy, May 13 - 17, 2019.
 4. N. Hinohara, “Isovector neutron-proton pairing condensation in proton-rich unstable nuclei”, 5th workshop on many-body correlations in microscopic nuclear models (SADO2019), Sado, Japan, Sept. 5 - 6, 2019.
 5. N. Hinohara, “Isovector pairing and nuclear binding energy”, China-Japan Collaboration Workshop on “Nuclear Mass and Life for Unraveling Mysteries of R-process”, Beijing, China, Oct. 9 - 13, 2019.
 6. N. Hinohara, “FAM-QRPA calculation for double-beta decay nuclear matrix elements”, 11th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences, Tsukuba, Japan, Oct. 15, 2019 (Poster).
 7. K. Wen, “Optimal collective coordinate in nuclear collective dynamics”, The 18th CNS International Summer School (CNSSS19), Center for Nuclear Study, University of Tokyo, Tokyo, Japan, Aug. 20 - 27, 2019.
 8. K. Wen, “Adiabatic self-consistent collective motion path”, 5th workshop on many-body correlations in microscopic nuclear models (SADO2019), Sado, Japan, Sept. 5 - 6, 2019.
 9. K. Wen, “Microscopic simulations for nuclear fusion reactions”, China-Japan Collaboration Workshop on “Nuclear Mass and Life for Unraveling Mysteries of R-process”, Beijing, China, Oct. 9 - 13, 2019.
 10. B. Kumar, “Neutron skins of heavy nuclei and tidal polarizability of neutron star”, The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG15), Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto, Japan, July 2 - 5, 2019 (Poster).
 11. A. Quddus, G. Panotopoulos, B. Kumar, “GW170817 constraints on the properties of a neutron star in the presence of WIMP dark matter”, The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG15), Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto, Japan, July 2 - 5, 2019 (Poster).
 12. B. Kumar, “New effective interactions IOPB-I and G3”, The 18th CNS International Summer School (CNSSS19), Center for Nuclear Study, University of Tokyo, Tokyo, Japan, Aug. 21 - 27, 2019.
 13. B. Kumar, “Neutron star astrophysics from gravitational waves and nuclear theory”, 5th workshop on many-body correlations in microscopic nuclear models (SADO2019), Sado,

Japan, Sept. 5 - 6, 2019.

14. B. Kumar, “Tidal deformability for neutron and hyperon stars”, Quark and Compact Star 2019 (QCS2019), Busan, Korea, Sept. 26 - 29, 2019 (Poster).
15. B. Kumar, “GW170817: Constraints on the moment of inertia PSR J0737-3039A”, Centenary Celebration Conference on Nuclear Structure and Nuclear Reaction, Aligarh, India, Mar. 2 - 4, 2020 (Poster).
16. K. Sekizawa, “Time-Dependent Hartree-Fock Theory for Multinucleon Transfer Reactions”, The 27th International Nuclear Physics Conference (INPC2019), Glasgow, UK, July 29 - Aug. 2, 2019.
17. K. Sekizawa, “Time-Dependent Hartree-Fock Theory and Its Extensions for Low-Energy Heavy-Ion Reactions”, China-Japan Collaboration Workshop on "Nuclear Mass and Life for Unraveling Mysteries of R-process", ITP/CAS, Beijing, China, Oct. 9 - 13, 2019.
18. K. Sekizawa, “Time-Dependent Hartree-Fock Theory and Its Extensions for the Superheavy Element Synthesis”, YITP international molecule-type workshop on “Nuclear Fission Dynamics 2019”, YITP, Kyoto University, Kyoto, Japan, Oct. 26 - Nov. 8, 2019.
19. K. Sekizawa, K. Hagino, and A. Wakhle, “Time-Dependent Hartree-Fock Theory and Its Extensions for the Superheavy Element Synthesis”, The 4th International Symposium on Superheavy Elements (SHE2019), The Prince Hakone Lake Ashinoko, Hakone, Kanagawa, Japan, Dec. 1 - 5, 2019.
20. K. Sekizawa, K. Washiyama, S. Ebata, and Y. Tanimura, “Heavy-Ion Multinucleon Transfer Reactions within Stochastic Mean-Field Approach”, CCS International Symposium 2019: The 11th Symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences, Tsukuba, Ibaraki, Japan, Oct. 15, 2019.

C) セミナー等

1. N. Hinohara, “Neutron-proton pairing in nuclear density functional theory”, NSCL Theory Seminar, NSCL/FRIB Michigan State University, East Lansing, MI, USA, Jan. 14, 2020.
2. B. Kumar, “Tidal deformability, and new relativistic models IOPB-I and G3”, Hadron theory group at University of Tokyo, Japan, July 23, 2019.
3. B. Kumar, “Relativistic models (G3 and IOPB-I) of the neutron-star matter equation of states”, Kyungpook National University, Daegu, South Korea, Sept. 24, 2019.
4. B. Kumar, “Constraints on the moment of inertia of neutron-star/pulsars from GW170817”, Physical Research Laboratory, Ahmedabad, India, Feb. 27, 2020.

(3) 国内学会・研究会発表

A) 招待講演

1. 中務孝、「中性子星内殻シミュレーションとパルサー・グリッジ」、シミュレーションによる宇宙の基本法則と進化の解明に向けて (QUCS 2019)、京都大学、京都、2019 年 12 月 16 - 19 日.
2. 日野原 伸生、「二重ベータ崩壊原子核行列要素の核構造計算」、ELPH セミナー、東北大学電子光物理学研究センター、仙台、2019 年 9 月 12 日.
3. 関澤一之、「時間依存密度汎関数法による中性子星クラストのダイナミクス」、日本物理学会第 75 回年次大会、名古屋大学東山キャンパス、名古屋、2020 年 3 月 16 - 19 日.

B) その他の発表

1. 中務孝、「Nuclear clusters in low-energy nuclear reaction and neutron-star crust」、第二回クラスター階層領域研究会、東工大、東京、2019 年 5 月 31 日 - 6 月 1 日.
2. 関澤一之（課題代表：中務孝）、「時間依存密度汎関数理論による原子核反応」、第 6 回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題 成果報告会、品川、東京、2019 年 11 月 1 日(ポスター発表).
3. 橋本幸男、「時間依存密度汎関数理論に基づく超流動原子核の反応機構の研究」、第 6 回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題 成果報告会、品川、東京、2019 年 11 月 1 日(ポスター発表).
4. 日野原伸生、「二重ベータ崩壊原子核行列要素と中性子-陽子対相関」、大学院理学研究科・物理学第二教室、原子核理論セミナー、京都大学、京都、2019 年 4 月 17 日.
5. 日野原伸生、「有限振幅法を用いた 2 ニュートリノ二重ベータ崩壊原子核行列要素の計算」、日本物理学会 2019 年秋季大会、山形大学小白川キャンパス、山形、2019 年 9 月 17 - 19 日.
6. 日野原伸生, Javid Sheikh, Jacek Dobaczewski, Witold Nazarewicz, 「Skyrme 型密度汎関数へのアイソベクトル型中性子-陽子対相関の導入」、日本物理学会第 75 回年次大会(現地開催中止)、名古屋大学東山キャンパス、名古屋、2020 年 3 月 16 - 19 日.

(4) 著書、解説記事等

1. T. Nakatsukasa and N. Schunck, “Chapter 6: Large-amplitude collective motion” in Book “Energy density functional methods for atomic nuclei”, IOP Publishing, Bristol, UK, 2019.
2. 中務孝、Academist Journal (オンライン) 研究コラム「原子核のかたちはまんまるで

はない」 URL: <https://academist-cf.com/journal/?p=10868>

3. 中務孝、江幡修一郎、鷺山広平、サイエンスよみもの「原子核のかたちから核図表を見る」、日本原子力学会学会誌、Vol. **61**, pp. 610 – 615 (2019).
4. 中務孝、「未知同位体の計算核データ ～原子核の形と理論計算核データ～」、Isotope News 2019 年 10 月号 No765 「Tracer」 pp.18-21 (2019).
5. 日野原伸生、「二重ベータ崩壊原子核行列要素と中性子-陽子対相関」、原子核研究 Vol. **64** No. 2 pp. 102 - 113 (2020).

7. 異分野間連携・産学官連携・国際連携・国際活動等

異分野間連携（センター内外）

産学官連携

国際連携・国際活動

1. 二国間協力事業 JSPS-NSFC「R プロセスの謎解明に向けた核質量と寿命の研究」2017 – 2019（日本側代表：中務）。
2. 日中韓フォーサイト事業「21世紀の原子核物理」2019-2023（中務）。
3. ポーランド・ワルシャワ工科大学の原子核理論グループと共同で、実空間 TDHFB 計算（中務）。
4. 米国・ミシガン州立大学 Nazarewicz 教授と中性子-陽子対相関の共同研究（日野原）。
5. 韓国・ソウル国立大学の大学院生 Ha 氏と理化学研究所における中性子過剰 Mo 原子核の β - γ 核分光実験に関する共同研究（日野原）。
6. 米国・ミシガン州立大学 Wang 氏、Nazarewicz 教授らと中性子過剰 Mg 原子核の基底状態および低励起状態に関する共同研究（日野原）。

8. シンポジウム、研究会、スクール等の開催実績

1. 二国間協力事業 JSPS-NSFC「R プロセスの謎解明に向けた核質量と寿命の研究」2017 – 2019, のサマリー・ミーティング China-Japan Collaboration Workshop on “Nuclear Mass and Life for Unraveling Mysteries of R-process” (Institute of Theoretical Physics, Beijing, China, Oct. 10 - 12, 2019)を開催（日本から 14 名、中国から 18 名）(中務).
2. International advisory and Program committee for Recent Progress in Many-Body Theories (RPMBT-20) Conference, Toulouse, France, Sept. 9-13, 2019（中務）。

3. Chair of organizing committee for 11th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences, Tsukuba, Japan, Oct. 15, 2019 (中務) .

9. 管理・運営

組織運営や支援業務の委員・役員の実績

中務 孝

計算科学研究センター 原子核物理研究部門 部門主任

計算科学研究センター 運営委員会委員

計算科学研究センター 人事委員会委員

計算科学研究センター 運営協議会委員

計算科学研究センター 共同研究担当主幹

計算科学研究センター 共同研究委員会および共同研究運用委員会 委員長

計算科学研究センター 学際計算科学連携室員

計算科学研究センター 情報セキュリティ委員

数理物質系物理学域 運営委員会委員

数理物質系物理学域 原子核理論グループ長

数理物質系物理学域 理論グループ懇談会議長

最先端共同 HPC 基盤施設 大規模 HPC チャレンジ審査委員会 副委員長

HPCI コンソーシアム機関代表

日野原伸生

計算科学研究センター 先端計算科学推進室員

計算科学研究センター 情報セキュリティ委員

10. 社会貢献・国際貢献

中務 孝

Editor for Journal of Physical Society of Japan

Editor for International Journal of Modern Physics E

JAEA タンデム専門委員会委員

JAEA 黎明研究評価委員会委員

京都大学基礎物理学研究所・運営協議会委員

大阪大学核物理研究センター・運営委員会委員

高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・運営会議議員

高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・常置人事委員会委員

高エネルギー加速器研究機構・自己評価委員会委員

高エネルギー加速器研究機構大型シミュレーション研究推進委員会委員

計算基礎科学連携拠点運営委員（ポスト京重点課題9）

中村誠太郎賞選考委員

核理論委員会委員

日野原伸生

RIBF UEC 委員（Vice Chair）

11. その他

海外長期滞在

1. 日野原伸生、National Superconducting Cyclotron Laboratory, Michigan State University, East Lansing, MI, USA, 2020 年 1 月 2 - 26 日.