

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）
准教授	清水 則孝
助教	日野原 伸生
研究員	温 凱、角田 佑介、鷲山 広平
学生	大学院生 3名、学類生 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现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。原子核は、地球上において、強い相互作用が支配する有限量子多体系として特異な系として存在しているが、宇宙においては、巨視的な原子核である中性子星が存在し、その構造と現象の関係を微視的なアプローチで解決することも、本部門における重要な研究テーマと位置付けている。

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] フェルミ演算子展開による有限温度密度汎関数計算のコード開発（中務）

原子核に対する有限温度平均場理論に基づく計算は、高励起状態の記述や準位密度の計算などに応用してきた。通常この計算の手続きは、まず一体演算子である平均場ハミルトニアンの固有状態・固有エネルギー（1粒子エネルギー）を求め、その1粒子エネルギーのフェルミ・ディラック分布関数を重みとした一体密度を計算し、ハミルトニアンを再構築することを反復することで、自己無撞着に状態を決定する。本研究では、フェルミ・ディラック分

布関数を有限次の多項式展開する方法を用いることで、ハミルトニアンの有限回の演算によって密度を直接構築する手法を核子多体系に初めて適用した。数値的に負荷が大きい行列対角化を避けることができる。図1は、3次元座標格子点で密度を表現し計算された²⁴Mg核の（自由）エネルギーである。ゼロ温度では三軸非対称な形と軸対称な形がエネルギー極小点として存在しており、三軸非対称形の方が2 MeVほどエネルギーが低い。しかしながら温度 $T = 500$ keV くらいで三軸非対称形は姿を消し、 $T = 2.9$ MeV では球形に転移し、さらに $T = 6.5$ MeV で原子核は溶けて一様核物質に転移する。有限温度中性子星クラストの自己無撞着計算にも応用し、その有用性を示した。

[2] 角運動量射影法における Lebedev 求積法の導入（清水、角田）

原子核構造計算に現れる角運動量射影法の改良をおこなった。モンテカルロ殻模型計算法や生成座標法など、多くの核構造計算手法には、角運動量射影におけるオイラー一角の三重積分が現れ、計算上のボトルネックとなる。この三重積分はオイラー一角を離散化して、台形則とガウス-ルジヤンドル求積法をくみあわせたサンプル点を多数用意し、各点ごとの値を合計することによって数値的に求める。本研究では Lebedev 求積法を導入することにより、旧来手法と比べて理論的には $2/3$ のサンプル点で同じ計算精度を達成できることを示した。(N.

Shimizu and Y. Tsunoda, Comput. Phys. Commun. 283, 108583 (2023).)

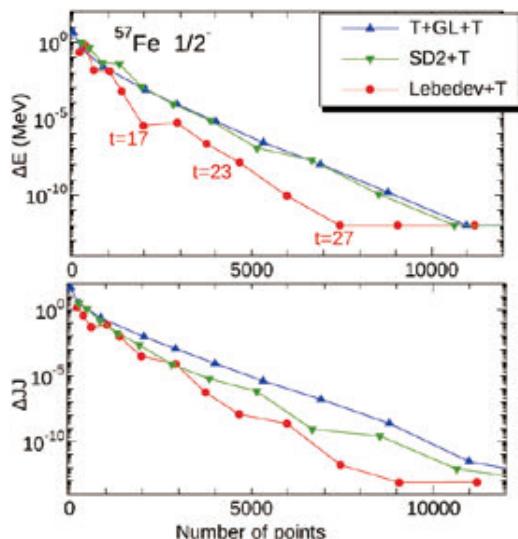


図2. 角運動量射影の計算精度。pf殻模型空間の鉄57原子核の $1/2^-$ 状態を例にとり、ハートリーフォック計算による波動関数の角運動量射影を求めた。上図はエネルギー期待値の数値誤差、下図は角運動量期待値の数値誤差を示す。横軸は求積法におけるサンプル点数。提案手法(赤丸: Lebedev+T)が、旧来手法(青三角: T+GL+T)より少ない点数で同程度の計算誤差を達成している。

角運動量射影の計算量はサンプル点数にほぼ比例するので、理論的には計算量を33%削減できることになる。図2にベンチマークテストによる提案手法と旧来手法の比較を示す。

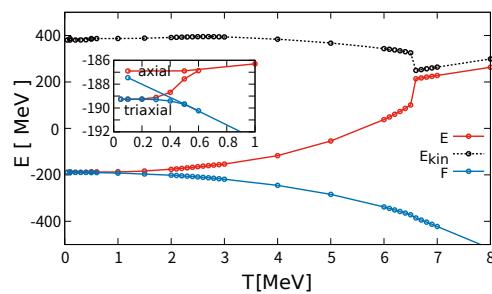


図1. ^{24}Mg の（自由）エネルギーと運動エネルギー。内部の図は、低温部分を拡大。

[3] ネオジム、サマリウム同位体の「形の相転移」とニュートリノレスニ重ベータ崩壊核行列要素（角田、清水）

準粒子真空殻模型法を用いた大規模殻模型計算によってネオジム、サマリウム同位体の核構造研究をおこなった。これらの同位体は、中性子数を増やしていくと、球形から軸対称プロレート変形に遷移していくと考えられている。この遷移の中間領域は平均場近似が適しておらず、配位混合をとりこんだ記述が望ましい。特にネオジム 150 はニュートリ

ノレスニ重ベータ崩壊の探索実験に用いられている核種であり、この核行列要素を求めることも重要な課題である。

図 3 に、ネオジム同位体、サマリウム同位体の計算結果を示す。比較のために実験値もシンボル（丸、三角、誤差棒）で示してある。励起エネルギー、E2 遷移確率、四重極能率とともに理論値が実験値を良く再現している。球形から軸対称変形への遷移の中間的な状態であるネオジム 150 とサマリウム 150 の基底状態は、二つの変形度が異なるプロレート状態が配位混合している特異な状態であることを示した。ネオジム 150 のニュートリノレスニ重ベータ崩壊の核行列要素を求め、短距離相關の形に依存するがおよそ 4.0 であることを示した。また、前述の二つの変形状態の混合が核行列要素を大きくする効果をもつことを示した。これらの議論をまとめ、論文投稿をおこなった。（<https://arxiv.org/abs/2304.11780>）

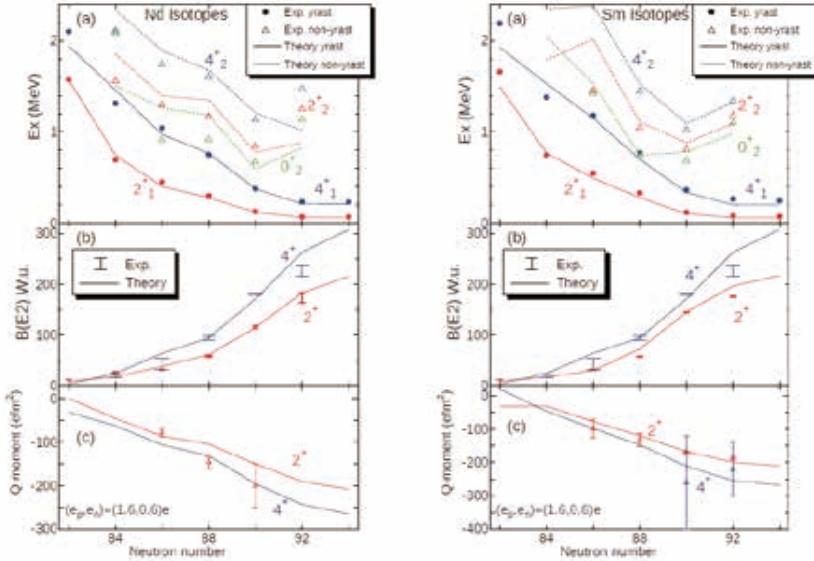


図 3. ネオジム同位体、サマリウム同位体の第一、第二 2+ 励起状態、第一、第二 4+ 励起状態、第二 0+ 励起状態。(a) 励起エネルギー (b) E2 遷移確率 (c) 四重極能率を示す。横軸は中性子数。

[4] 大規模殻模型計算を基にした多様な共同研究の推進（清水）

九州産業大の金子和也氏等との共同研究を進め、PMMU 相互作用と HFB+GCM 法を組み合わせた殻模型計算によって、質量数 130 領域の原子核における核構造計算を行った。中性子数変化に伴う急激な励起エネルギーの低下や E2 電磁遷移の増加が、主殻を超えた Quasi SU(3) と呼ばれる一粒子軌道対の間の四重極相互作用によって説明できることを明らかにしてきた。

この Quasi SU(3)機構は、中性子数が $N = 72$ から $N = 76$ の Te, Xe, Ba 同位体においてもガンマソフトや非軸対称変形を引き起こす重要な要因になっていることを示した。相互作用するボン模型との関係について調べ、Quasi SU(3)機構の役割を明らかにした。

また、これまでの殻模型計算による研究成果をもとに、実験研究グループとの共同研究を進め、 ^{126}Xe と ^{128}Xe の非軸対称変形状態や、リン・硫黄同位体のベータ崩壊、中性子過剰チタン・バナジウム同位体の質量、 ^{29}Ne の核構造について共著論文を発表した。

[5] 中性子星の観測結果に基づいた原子核密度汎関数を用いた全核種計算 (Gil (高麗大)、日野原、Hyun (大邱大)、吉田 (大阪大))

中性子星の観測

データと無矛盾に構成された原子核密度汎関数である Korea-IBS-Daegu-SKKU(KIDS)汎関数を用いてこれまでに一様核物質や球形核、Nd 変形同位体が計算されたが、汎関数の性能を評価するため、軸対称変形が記述可能な調和振動子基底コード

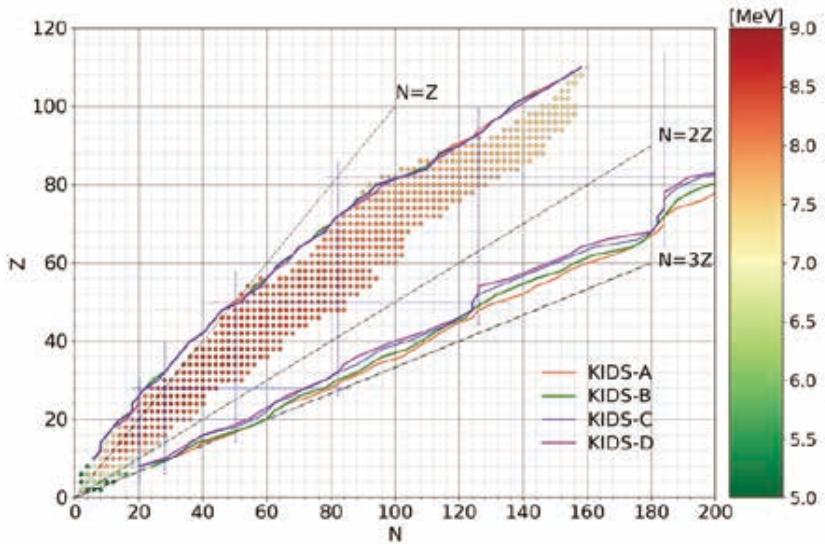


図 4. KIDS 汎関数による中性子・陽子ドリップラインの計算値。

HFBTHO を用いてドリップラインまでの全偶々核の質量、半径、四重極変形の計算を行った。束縛エネルギーと荷電半径の実験値との平均二乗偏差は 4.5–5.1 MeV と 0.03–0.04 fm 程度であり、標準的な他の原子核密度汎関数と同程度であった。特に、汎関数のパラメータを決定する際に変形核の情報を用いていないにも関わらず、開殻での変形の発達を記述することができた。また、中性子ドリップラインの位置は軽い質量の中性子星の構造を特徴づける η_τ パラメータと相關していることが明らかとなった。

[6] ^{8}Be , ^{12}C , ^{16}O の α クラスター運動を記述する集団模型の構築（金田（京都大）、日野原）

^{12}C や ^{16}O の生成座標法を用いた計算では $\alpha - \alpha$ 間の距離を生成座標法とした大振幅集団運動として励起状態が記述される。このようなクラスター運動を記述する集団模型を、微視的クラスター模型の norm kernel やエネルギーの期待値を用いることで構築した。また、クラスター模型の座標を複素数とすることによりダイナミクスの効果を取り入れ、集団質量を求めた。求まつた集団波動関数や、エネルギー、半径などで生成座標法とよく一致する結果を得た。

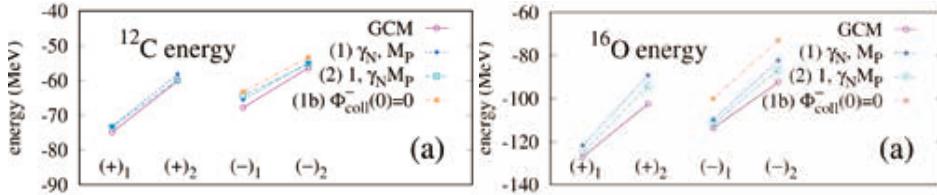
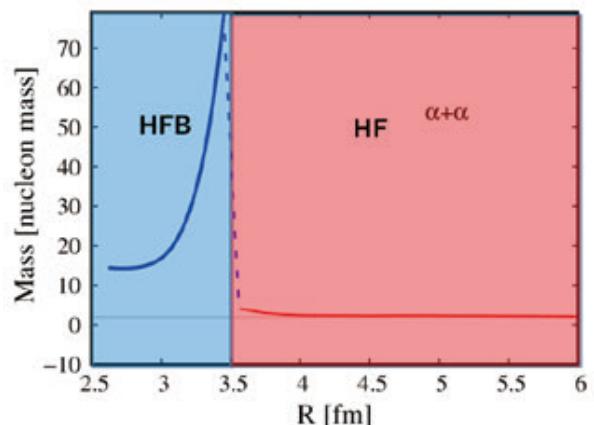


図 5. 集団模型と生成座標法による ^{12}C と ^{16}O のエネルギーの比較。

[7] Calculation of the Collective Inertial Mass Along the Nuclear Fusion/Fission Path (温)

We are working on determining the optimal collective reaction path for nucleus-nucleus fusion/fission reactions, based on the adiabatic self-consistent collective coordinate (ASCC) method. Using an iterative method, where we combine the constrained Hartree-Fock-Bogoliubov (HFB) method and the finite amplitude method, the ASCC coupled equations are solved. First, it is applied to the simplest reaction system, $\alpha + \alpha \rightarrow ^8\text{Be}$, where we aim at extracting the collective inertial mass along the collective motion path. Since we are theoretically interested in the impact of pairing interaction on the collective inertial mass, artificially we enhanced the pairing strength so that the nuclear state of ^8Be is no longer the Hartree-Fock (HF) state but the HFB state. We obtained an interesting phase transition from HF states to HFB states along the reaction path $\alpha + \alpha \rightarrow ^8\text{Be}$, which is reflected by the obtained inertial mass parameter as a function of the distance between the two alpha's as shown in the figure.

図 6. Inertial mass in units of the nucleon's mass m for the collective path of $\alpha + \alpha \leftrightarrow ^8\text{Be}$, as a function of the relative distance R . The pairing strength is artificially enhanced by 2.1 times for theoretical interest.



[8] ニッケル 78 近傍の中性子過剰核の殻模型計算（角田、清水）

ニッケル 78 付近の中性子過剰核は、元素合成の r 過程にかかる核種である。 r 過程の研究への応用を目指して、モンテカルロ殻模型法によるニッケル 78 周辺の原子核構造の計算を行った。模型空間として pf 殻と sdg 殻の 2 主殻を用い、偶偶核や奇核の励起エネルギーの実験値を再現できるように有効相互作用の調整を行った。下図は偶偶核の 2^+ 、 4^+ 状態の励起エネルギーの実験値(点)と計算値(線)の比較であり、実験値を概ね再現している。また、 r 過程にかかる現象の一つであるベータ崩壊の半減期の予備的計算を 3 つの偶偶核に対して行い、実験値に近い計算値が得られた。

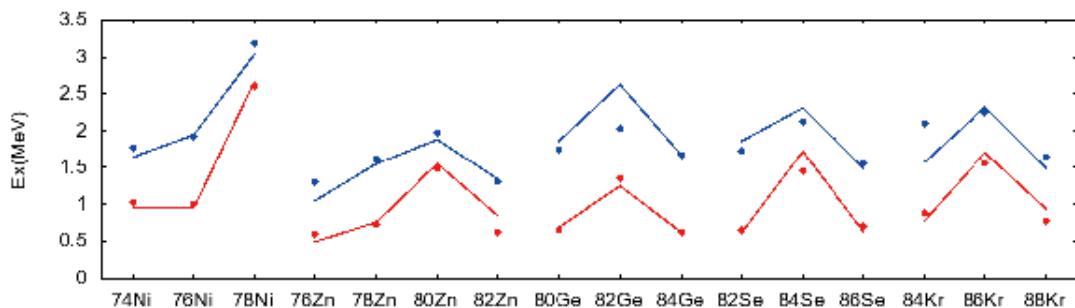


図 7. ニッケル 78 周辺の偶偶核の 2^+ 、 4^+ 状態の励起エネルギー。

2^+ を赤、 4^+ を青で示し、実験値を点、計算値を線で示す。

[9] 5 次元四重極集団模型における集団慣性質量の評価（鷲山、日野原、中務）

低エネルギー状態に複数の四重極変形状態が現れる原子核は、平均場近似を超えて複数の変形状態を統一的に記述する 5 次元四重極集団模型を用いて記述される。先行研究で広く用いられてきた密度汎関数法 + クランキング近似(PC)法による集団慣性質量の評価を超えて、本研究では集団運動の動的効果を考慮した密度汎関数法 + 局所乱雑位相近似(QRPA)法により集団慣性質量を評価した。集団運動の動的効果を考慮したことにより、QRPA 法による集団慣性質量が従来の PC 法の慣性質量より増大することが分かった。この QRPA 法の慣性質

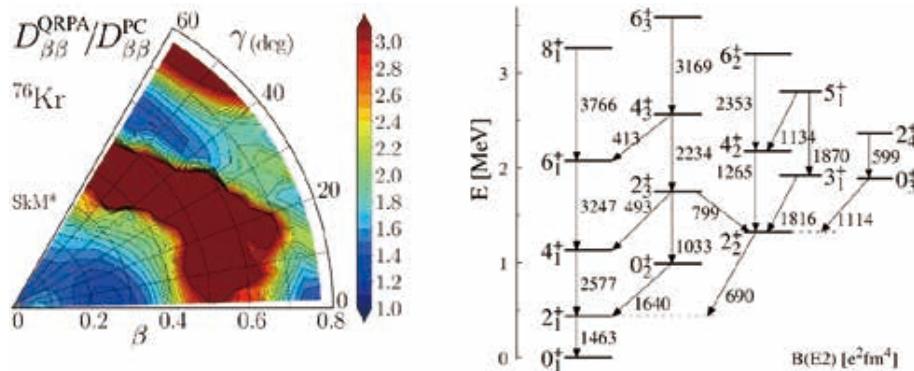


図 8. ^{76}Kr における（左図）四重極変形 β , γ 平面上での QRPA 法及び PC 法による慣性質量の比、（右図）低励起スペクトルと換算遷移確率 $B(E2)$ 値。

量を用いて ^{76}Kr の低励起状態のエネルギーと準位間の換算遷移確率を評価し、実験データに近い値が得られた。

[10] 中性子数 28 近傍の中性子過剰核における変形の揺らぎ（鷲山、吉田（大阪大））

中性子数 $N = 28$ 近傍の中性子過剰な不安定核では、魔法数の性質が破れ、四重極変形やその揺らぎが発達している。本研究では $N = 28$ 近傍の Mg, Si, S に対して、非軸対称な四重極変形 (γ 変形) のダイナミクスを 5 次元四重極集団模型を用いて調べた。特に ^{42}Mg , ^{44}S , ^{46}S など四重極変形度 β, γ 平面上のポテンシャルが平坦な原子核の 2 番目の 0^+ 準位に着目しエネルギー比 ($E(0_2^+)/E(2_1^+)$) と換算遷移確率を調べた結果、 β, γ 依存性を考慮したランキング質量では原子核ごとに大きく変化する一方、定数近似した慣性質量を用いた場合はあまり違いが現れないことが分かった。 $N = 28$ 近傍の中性子過剰核の記述には β, γ 平面上のポテンシャルだけではなく慣性質量が重要な役割を演じることを明らかにした。

4. 教育

学位

1. 小澤 泰河 修士（理学）
フェルミ演算子展開法を用いた有限温度非一様核物質の研究
2. 土田 真大 修士（理学）
バンド計算に基づく中性子超流動密度計算
3. 吉永 孝太 修士（理学）
電荷密度モーメントの精密測定に向けた理論解析
4. 金井 敦哉 学士（理学）
二重ベータ崩壊の位相空間因子計算に向けた Dirac 方程式による電子波動関数の数值的導出
5. 萩原 健太 学士（理学）
原子核の変形と中性子ドリップラインに対するクーロン相互作用の効果
6. 類家 千怜 学士（理学）
BCS 理論を用いた原子核対回転に伴う慣性モーメントに関する考察

集中講義など

1. T. Nakatsukasa, “Nuclear dynamics and energy density functional theories”, Online lectures, Lanzhou University, China, March 30-April 1, 2022.
2. 清水 則孝、集中講義「殻模型による原子核構造論」、北海道大学理学院、2023 年 1 月 11–13 日.

5. 受賞、外部資金、知的財産権等

受賞

1. ベストプレゼンテーション賞(理工学群物理学類卒業論文)、類家千怜、2023年3月.
2. 物理学学位プログラムリーダー賞、吉永孝太、2023年3月.

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（2022年度直接経費（繰越）：4,050,000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. 富岳成果創出加速プログラム・「シミュレーションで探る基礎科学」の一部として KEK からの受託研究、「核構造と r 過程」、清水 則孝、2020–2022年度、(2022年度：10,912,000円).
3. 日本学術振興会科学研究費・基盤研究(C)(一般)、清水 則孝、分担、2020–2023年、全年度直接経費：2,300,000円（2022年度直接経費：600,000円）、「大規模殻模型計算による元素合成素過程の微視的記述」.
4. 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「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」)(公募研究)、日野原 伸生、代表、2022–2023年、全年度直接経費：1,400,000円、（2022年度直接経費：700,000円）、「二重ベータ崩壊・二重電子捕獲半減期の全核種精密計算」.
5. 日本学術振興会科学研究費・基盤研究(C)(一般)、日野原 伸生、代表、2020–2023年、全年度直接経費：3,300,000円、(2022年度直接経費：800,000円) 「原子核密度汎関数理論による中性子過剰不安定核の対相関の研究」.
6. 日本学術振興会科研研究費・国際共同研究加速基金(国際共同研究強化(A))、日野原 伸生、代表、2020–2022年、全年度直接経費：6,300,000円、「中性子一陽子対密度汎関数の最適化」.
7. 日本学術振興会科学研究費・若手研究、温 凱、代表、2020–2023年、全年度直接経費：2,300,000円（2022年度直接経費：900,000円）、「Macroscopic Nuclear Dynamics with Microscopic Foundations」.

6. 研究業績

(1) 研究論文

A) 査読付き論文

1. T. Nakatsukasa, “Fermi operator method for nuclei and inhomogeneous matter with a nuclear energy density functional”, Phys. Rev. C **107**, 015802 (2023) [Editors’ suggestion].

2. S. Kishev, C. Y. Wu, J. Henderson, A. Gade, K. Kaneko, Y. Sun, N. Shimizu, T. Mizusaki, D. Rhodes, S. Biswas, A. Chester, M. Devlin, P. Farris, A. M. Hill, J. Li, E. Rubino, and D. Weisshaar, “Structure of $^{126,128}\text{Xe}$ studied in Coulomb excitation measurements”, Phys. Rev. C **106**, 034311 (2022).
3. N. Shimizu, “Recent Progress of Shell-Model Calculations, Monte Carlo Shell Model, and Quasi-Particle Vacua Shell Model”, Physics **2022**, 4, 1081 - 1093 (2022).
4. C. Yuan, M. Liu, N. Shimizu, Zs. Podolyák, T. Suzuki, T. Otsuka, and Z. Liu, “Shell-model study on spectroscopic properties in the region “south” of ^{208}Pb ”, Phys. Rev. C **106**, 044314 (2022) (清水、東大所属による論文出版) .
5. N. Shimizu and Y. Tsunoda, “ $SO(3)$ quadratures in angular-momentum projection”, Comp. Phys. Commun. **283**, 108583 (2023).
6. V. Tripathi, S. Bhattacharya, E. Rubino, C. Benetti, J. F. Perello, S. L. Tabor, S. N. Liddick, P. C. Bender, M. P. Carpenter, J. J. Carroll, A. Chester, C. J. Chiara, K. Childers, B. R. Clark, B. P. Crider, J. T. Harke, B. Longfellow, R. S. Lubna, S. Luitel, T. H. Ogunbeku, A. L. Richard, S. Saha, N. Shimizu, O. A. Shehu, Y. Utsuno, R. Unz, Y. Xiao, S. Yoshida, and Yiyi Zhu, “ β^- decay of exotic P and S isotopes with neutron number near 28”, Phys. Rev. C **106**, 064314 (2022).
7. S. Iimura, M. Rosenbusch, A. Takamine, Y. Tsunoda, M. Wada, S. Chen, D. S. Hou, W. Xian, H. Ishiyama, S. Yan, P. Schury, H. Crawford, P. Doornenbal, Y. Hirayama, Y. Ito, S. Kimura, T. Koiwai, T. M. Kojima, H. Koura, J. Lee, J. Liu, S. Michimasa, H. Miyatake, J. Y. Moon, S. Naimi, S. Nishimura, T. Niwase, A. Odahara, T. Otsuka, S. Paschalis, M. Petri, N. Shimizu, T. Sonoda, D. Suzuki, Y. X. Watanabe, K. Wimmer, and H. Wollnik, “Study of the $N = 32$ and $N = 34$ Shell Gap for Ti and V by the First High-Precision Multireflection Time-of-Flight Mass Measurements at BigRIPS-SLOWRI”, Phys. Rev. Lett. **130**, 012501 (2023).
8. K. Kaneko, Y. Sun, N. Shimizu, and T. Mizusaki, “Quasi-SU(3) Coupling Induced Oblate-Prolate Shape Phase Transition in the Casten Triangle”, Phys. Rev. Lett. **130**, 052501 (2023).
9. A. Revel, J. Wu, H. Iwasaki, J. Ash, D. Bazin, B.A. Brown, J. Chen, R. Elder, P. Farris, A. Gade, M. Grinder, N. Kobayashi, J. Li, B. Longfellow, T. Mijatović, J. Pereira, A. Poves, A. Sanchez, N. Shimizu, M. Spieker, Y. Utsuno, and D. Weisshaar, “Large collectivity in ^{29}Ne at the boundary of the island of inversion”, Phys. Lett. B **838**, 137704 (2023).
10. N. Hinohara and J. Engel, “Global calculation of two-neutrino double- β decay with the finite amplitude method in nuclear density functional theory”, Phys. Rev. C **105**, 044314 (2022).

11. H. Gil, N. Hinohara, C. H. Hyun, and K. Yoshida, “KIDS density functional for deformed nuclei: Examples of the even-even Nd isotopes”, Journal of the Korean Physical Society **81**, 113 - 120 (2022).
12. Y. Kanada-En'yo and N. Hinohara, “Collective model for cluster motion in ^8Be , ^{12}C , and ^{16}O systems based on microscopic 2α , 3α , and 4α models”, Phys. Rev. C **106**, 054312 (2022).
13. D. Little, A. D. Ayangeakaa, R. V. F. Janssens, S. Zhu, Y. Tsunoda, T. Otsuka, B. A. Brown, M. P. Carpenter, A. Gade, D. Rhodes, C. R. Hoffman, F. G. Kondev, T. Lauritsen, D. Seweryniak, J. Wu, J. Henderson, C. Y. Wu, P. Chowdhury, P. C. Bender, A. M. Forney, and W. B. Walters, “Multi-step Coulomb excitation of ^{64}Ni : Shape coexistence and nature of low-spin excitations”, Phys. Rev. C **106**, 044313 (2022).
14. J. A. Lay, A. Vitturi, L. Fortunato, Y. Tsunoda, T. Togashi, and T. Otsuka, “Two-particle transfer processes as a signature of shape phase transition in Zirconium isotopes”, Phys. Lett. B **838**, 137719 (2023).

B) 査読無し論文

なし

(2) 国際会議発表

A) 招待講演

1. T. Nakatsukasa, “Mass parameters for nuclear reaction models and nucleonic effective mass”, YIPQS long-term workshop “Mean-field and Cluster Dynamics in Nuclear Systems 2022 (MCD2022)”, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto Univ., Kyoto, Japan, May 9-June 17, 2022.
2. T. Nakatsukasa, “Alpha-particle distribution in nuclei”, Shapes and Symmetries in Nuclei: from Experiment to Theory (SSNET’22), Orsay, France, May 30-June 3, 2022 (オンライン) .
3. T. Nakatsukasa, “Requantized TDDFT on collective subspace”, Recent Progress of Many-Body Theories XXI (RPMBT-21), Chapel Hill, NC, USA, September 12-16, 2022.
4. T. Nakatsukasa, “Requantizing the time-dependent density functional dynamics”, YITP Workshop “Fundamentals in density functional theory (DFT2022)”, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto Univ., Kyoto, Japan, December 7-20, 2022.
5. N. Shimizu, “Shell model studies towards astrophysical applications”, YIPQS long-term workshop “Mean-field and Cluster Dynamics in Nuclear Systems 2022 (MCD2022)”, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto Univ., Kyoto, Japan, June 13, 2022.

6. N. Shimizu, “Shell model and Machine Learning”, RIKEN Nishina Center mini workshop “Combining Nuclear Theory and Machine Learning for fundamental studies and applications”, RIBF building, RIKEN Nishina Center, RIKEN, Wako, Saitama, Japan, November 29-30, 2022.
7. N. Shimizu, “Recent progress of shell-model calculations and quadrupole collective states”, International Symposium on Nuclear Spectroscopy for Extreme Quantum Systems (NUSPEQ2023), Numazu, Japan, March 7-9, 2023.
8. N. Hinohara, “Global analysis of nuclear pairing rotation”, Physics of RI: Recent progress and perspectives, RIKEN Nishina Center, Wako, Japan, May 30-June 1, 2022.
9. N. Hinohara, “Current status and future perspective of nuclear structure calculation for nuclear matrix element of neutrinoless double-beta decay”, Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics (UGAP2022), Tokyo University of Science, Noda, Japan, June 13-15, 2022 (オンライン).
10. N. Hinohara, “Recent progress in nuclear DFT”, YITP Workshop “Fundamentals in density functional theory (DFT2022)”, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto Univ., Kyoto, Japan, December 7-20, 2022.
11. Y. Tsunoda, “Structure of medium-mass nuclei studied by Monte Carlo shell model and quasi-particle vacua shell model calculations”, YIPQS long-term workshop “Mean-field and Cluster Dynamics in Nuclear Systems 2022 (MCD2022)”, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto Univ., Kyoto, Japan, June 3, 2022.
12. Y. Tsunoda, “Recent studies on the shape evolution of medium-heavy nuclei and their impacts”, 6th Topical Workshops on Modern Aspects in Nuclear Structure, Bormio, Italy, February 6-11, 2023.

B) 一般講演

1. N. Hinohara, “Role of neutron pairing in alpha-knockout amplitude”, International Symposium on Nuclear Spectroscopy for Extreme Quantum Systems (NUSPEQ2023), Numazu, Japan, March 7-9, 2023.
2. K. Wen, “Collective coordinate and collective mass in nuclear reactions”, YITP Workshop “Fundamentals in density functional theory (DFT2022)”, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto, Japan, December 7-20, 2022.
3. K. Wen, “Collective inertial masses in nuclear reactions”, International Symposium on Nuclear Spectroscopy for Extreme Quantum Systems (NUSPEQ2023), Numazu, Japan, March 7-9, 2023.

4. K. Washiyama, “Collective inertia in spontaneous fission and large-amplitude collective motion”, YIPQS long-term workshop “Mean-field and Cluster Dynamics in Nuclear Systems 2022 (MCD2022)”, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto Univ., Kyoto, Japan, May 9-June 17, 2022.
5. K. Washiyama, “Large-amplitude collective dynamics with collective Hamiltonian derived from nuclear DFT + local QRPA”, YITP Workshop “Fundamentals in density functional theory (DFT2022)”, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto, Japan, December 7-20, 2022.

C) ポスター

1. T. Nakatsukasa, “Fermi operator expansion method for non-uniform nuclear matter”, The 30th Anniversary Symposium of the Center for Computational Sciences at the University of Tsukuba, Tsukuba, Japan, October 13-14, 2022.
2. T. Nakatsukasa, N. Hinohara, “Local alpha strength functions in nuclei”, International Symposium on Nuclear Spectroscopy for Extreme Quantum Systems (NUSPEQ2023), Numazu, Japan, March 7-9, 2023.
3. N. Shimizu, “Quadrupole collective states by large-scale shell-model calculations”, The 30th Anniversary Symposium of the Center for Computational Sciences at the University of Tsukuba, Tsukuba, Japan, October 13-14, 2022.
4. N. Hinohara, “Systematic calculation of double-beta decay and double electron capture nuclear matrix elements with the finite amplitude method”, The 30th Anniversary Symposium of the Center for Computational Sciences at the University of Tsukuba, Tsukuba, Japan, October 13-14, 2022.
5. N. Hinohara, “Role of neutron pairing in alpha-knockout amplitude of Sn isotopes”, International symposium on Clustering as a Window on the Hierarchical Structure of Quantum Systems (CLUSHIQ2022), Sendai International Center, Sendai, Japan, October 31-November 3, 2022.
6. C. Ruike, N. Hinohara, T. Nakatsukasa, “Moments of inertia of pairing rotation calculated with BCS model for the pairing Hamiltonian”, International Symposium on Nuclear Spectroscopy for Extreme Quantum Systems (NUSPEQ2023), Numazu, Japan, March 7-9, 2023.
7. K. Hagihara, N. Hinohara, T. Nakatsukasa, “Effect of the Coulomb interaction on nuclear deformation and drip lines”, International Symposium on Nuclear Spectroscopy for Extreme Quantum Systems (NUSPEQ2023), Numazu, Japan, March 7-9, 2023.

8. K. Yoshinaga, N. Hinohara, T. Nakatsukasa, “Radial moments of charge density distributions in stable and unstable nuclei”, International Symposium on Nuclear Spectroscopy for Extreme Quantum Systems (NUSPEQ2023), Numazu, Japan, March 7-9, 2023.

(3) 国内学会・研究会発表

A) 招待講演

1. 中務 孝、「Topics in shape and high-K isomers」、研究会「反応断面積研究の新しい展望」、理化学研究所、2022年11月9日。
2. 清水 則孝、「殻模型と対相関」、RCNP 研究会「微視的系と巨視的系における核子対凝縮相」、大阪大学核物理研究センター、2022年9月26日。
3. 清水 則孝、「準粒子真空殻模型によるネオジム 150 のニュートリノレス二重ベータ崩壊核行列要素」、二重ベータ崩壊核行列要素実験理論合同研究会、大阪大学核物理研究センター、2022年10月3日。
4. 清水 則孝、「原子核殻模型計算による統計的性質」、研究会「中性子捕獲反応で迫る宇宙の元素合成」、東京大学本郷キャンパス、2023年2月9–10日。
5. 日野原 伸生、「ノックアウト反応遷移振幅の平均場理論による評価」、おのころ戸隠夏合宿、JA 長野県ビル、2022年7月29–30日。
6. 日野原 伸生、「 $0\nu\beta\beta$ 崩壊半減期の原子核構造計算の現状と展望」、日本物理学会 2022 年秋季大会共催シンポジウム「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」、オンライン、2022年9月10日。
7. 日野原 伸生、「核子対凝縮に伴う南部ゴールドストーンモードとその観測量」、RCNP 研究会「微視的系と巨視的系における核子対凝縮相」、大阪大学核物理研究センター、2022年9月26–28日。
8. 日野原 伸生、「二重ベータ崩壊核行列要素と中性子–陽子対相関」、二重ベータ崩壊核行列要素に関する実験理論合同研究会、大阪大学核物理研究センター、2022年10月3–4日。
9. 鷲山 広平、「密度汎関数法に基づく自発核分裂の記述」、理研 RIBF ミニワークシヨップ「理論と実験で拓く中性子過剰核の核分裂」、理研和光キャンパス、2023年2月16–17日。

B) 一般講演

1. 清水 則孝、「大規模殻模型計算 I: 基礎」、光核反応スクール、レクチャー、大阪大学豊中キャンパス、2022年7月19日。

2. 清水 則孝、角田 佑介、「角運動量射影におけるガウス型求積法」、日本物理学会 2022 年秋季大会、岡山理科大学、2022 年 9 月 6 - 8 日.
3. 日野原 伸生、「平均場理論によるアルファノックアウト反応の遷移振幅の計算」、RCNP 研究会「原子核反応研究の最近の話題と展望」、大阪大学核物理研究センター、2022 年 7 月 8 - 9 日.
4. 日野原 伸生、中務 孝「 α 粒子遷移振幅への対相関の影響」、日本物理学会 2022 年秋季大会、岡山理科大学、2022 年 9 月 6 - 8 日.
5. 日野原 伸生、“Nuclear Structure calculation for double-beta decay”、GPPU Seminar、東北大学宇宙創成物理学共同大学院、2022 年 11 月 22 日.
6. 日野原 伸生、大石 知広、吉田 賢市、「有限核での同種粒子間スピニン三重項対凝縮の分析」、日本物理学会 2023 年春季大会、オンライン、2023 年 3 月 22 - 25 日.
7. 角田 佑介、清水 則孝、大塚 孝治、「モンテカルロ殻模型による N=50 近傍の核構造の研究」、日本物理学会 2022 年秋季大会、岡山理科大学、2022 年 9 月 6 - 8 日.
8. 角田 佑介、「モンテカルロ殻模型計算による r 過程核の研究」、「富岳で加速する素粒子・原子核・宇宙・惑星」シンポジウム、神戸大学、2022 年 12 月 12、13 日.
9. 角田 佑介、清水 則孝、大塚 孝治「モンテカルロ殻模型による N=50 近傍の核構造の研究」、日本物理学会 2023 年春季大会、オンライン、2023 年 3 月 22 - 25 日.
10. 鷲山 広平、吉田 賢市「中性子数 28 近傍の中性子過剰核における変形揺らぎと非軸対称ダイナミクス」、日本物理学会 2022 年秋季大会、岡山理科大学、2022 年 9 月 6 - 8 日.
11. 鷲山 広平、「原子核集団運動における集団慣性と対相関」、RCNP 研究会「微視的系と巨視的系における核子対凝縮相」、大阪大学核物理研究センター、2022 年 9 月 26 -28 日.
12. 鷲山 広平、「四重極集団模型による質量数 80 近傍核の変形共存現象の記述」、日本物理学会 2023 年春季大会、オンライン、2023 年 3 月 22 - 25 日.

C) ポスター発表

1. 角田 佑介、「モンテカルロ殻模型とその発展的手法による原子核の形状の研究」、第 2 回「富岳」成果創出加速プログラム研究交流会、オンライン、2023 年 3 月 7 - 8 日.

D) その他

1. 日野原 伸生、「流れるスピニン」(パネルディスカッション・パネラー)、第 4 回若手放談会：エキゾチック核物理の将来、理研神戸・融合連携イノベーション推進棟、2023

年3月15 - 17日.

(4) 著書、解説記事等

1. 中務 孝、「原子核の観点から見る量子多体系：有限系における量子現象」、数理科学 第60卷12号、特集「量子多体系の物理と数理」(サイエンス社)、pp.36-43(2022).

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）

1. 量子物性部門との密度汎関数理論計算手法に関する協力。特に、中性子星インナー・クラスト構造に関わるバンド計算の手法について、計算物性分野の知見に関して情報交換を実施。
2. ニュートリノレス二重ベータ崩壊実験に関する素粒子理論・実験、原子核実験分野との連携。

国際連携・国際活動

1. 中国・浙江大と中性子星のクラスト構造・グリッヂ起源に関する共同研究を日中韓フォーサイト事業「21世紀の原子核物理」の中で実施（中務）。
2. 韓国・高麗大・大邱大とKIDS 密度汎関数を用いた変形核計算の共同研究を日中韓フォーサイト事業「21世紀の原子核物理」の一環として実施（日野原）。
3. 理研 RIBF、ミシガン州立大学 NSCL でおこなわれた加速器実験の国際共同研究に参加（清水、角田）

8. シンポジウム、研究会、スクール等の開催実績

1. International Advisory Committee for YIPQS long-term workshop “Mean-field and Cluster Dynamics in Nuclear Systems 2022 (MCD2022)”, Kyoto, Japan, May 9-June 17, 2022 (中務).
2. Organizing Committee, “Physics of RI: Recent progress and perspectives”, Wako, Japan, May 30-June 1, 2022 (中務).
3. International Advisory Committee for RPMBT-XXI, Chapel Hill, September 15, 2022 (中務).
4. Organizing committee for The 30th Anniversary Symposium of the Center for Computational Sciences at the University of Tsukuba, Tsukuba, Japan, October 13-14, 2022 (中務、日野原).
5. International Advisory Committee and selection committee for Best Young Speaker Award for Topical Workshops on Modern Aspects of Nuclear Structure, Bormio, Italy, February 6-11, 2023 (中務).

6. Organizing committee for YIPQS long-term workshop, “Mean field and Cluster Dynamics in Nuclear Systems 2022 (MCD2022)”, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto Univ., Kyoto, Japan, May 9-June 17, 2022 (日野原).
7. 「二重ベータ崩壊核行列要素に関する実験理論合同研究会」、大阪大学核物理研究センター、2022年10月3-4日、世話人(日野原).

9. 管理・運営

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
学群教育会議議員
理工学群物理学類長
理工学群運営委員会委員
理工学群共通数学検討委員
ダイバーシティ・アクセシビリティ担当教員
HPCI コンソーシアム機関代表

清水則孝

計算科学研究センター 共同研究委員会委員
計算科学研究センター 先端計算科学推進室員

日野原伸生

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 European Physical Journal A

Editor for International Journal of Modern Physics E
JAEA タンデム専門委員会委員
JAEA-ASRC 国際評価委員会委員
素粒子奨学会運営委員・中村誠太郎賞選考委員
HPCI システムの利用研究課題選定レビュアー
第 19 回日本物理学会 Jr.セッション（2023）審査委員
第 12 回茨城県高校生科学研究発表会 審査委員

清水則孝

理研仁科センター RI Beam Factory User Executive Committee 委員
計算基礎科学連携拠点 運営委員会 委員
HPCI システムの利用研究課題選定レビュアー
埼玉大学 テニュア審査委員会 外部委員

日野原伸生

理研仁科センター RI Beam Factory User Executive Committee 委員

11. その他

1. 中務、YouTube 動画「原子核の形はどのように決まるのか？」（制作：広報戦略室）