Ⅲ. 原子核物理研究部門

1. メンバー

教授	中務 孝、矢花一浩(量子物性部門兼務)
講師	橋本幸男
助教	日野原伸生
研究員	鷲山広平(2018.9 転出)、Guillaume Scamps(2018.12 転出)、
	温 凱 (2019.2 着任)

学生 大学院生 4名(うち特別研究学生1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、本部門でも2014年から、原子炉の高レベル廃棄物の資源化・低減化を 最終目的とする ImPACT プログラムに参加し、基礎データへの理論的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】 理論計算核データと InPACS (中務、江幡(東エ大)、鷲山)

平成 29 年度、原子核の形を系統的に調査するため、エネルギー密度汎関数に BCS 理論を 組み合わせた理論を3次元空間表示によって計算し、基底状態に現れる形状を予言した。完 全自己無撞着・非制限の計算であり、全エネルギーを最小化することを条件として課した変 分により、球形、軸対称性を持ったプロレート型・オブレート型変形、軸対称性を破った三 軸非対称変形など、様々な形状が基底状態に出現した。今年度、これに加えて、偶核・奇核・ 奇々核に対して、球対称性を仮定した1次元 HFB 計算による核子密度分布を計算し、およそ 4,000 核種のデータを整備した。

理論計算データとして、これらに加えて、質量や半径、陽子や中性子を剥ぎ取って別の原子 核に変換(核変換)するために必要なエネルギーなど、原子核物理学だけでなく様々な応用 のために有益な情報をウエブ上に公開した(図1)。この公開したサイトを、InPACS (Interactive Plot for Atomic nuclei and Computed Shapes)と名付け、平成31年1月に、筑波大において関連 するプレスリリースを行った。



図 1: 公開したウェブサイト InPACS のスナップショット。原子核の四重極変形の度 合いを表すパラメータβ2の大きさで、核図表を色分けで図示したもの。青が球形を 表し、赤は大きく変形した原子核を表している。核種のマスをクリックすること で、その原子核の形の概略図、詳細な計算データをダウンロードできる。

【2】 時間依存平均場の新たな量子化手法と対振動集団ダイナミクス(倪(D3)、中務、 日野原)

時間依存平均場理論は、原子核のダイナミクスを非経験的に記述する理論として、多くの 成功をおさめてきたが、一方で、集団的量子トンネル現象が記述できないなど、問題点も知 られている。これに対して、時間依存平均場の再量子化という手法が提唱されているが、周 期軌道を求める必要があり、これが困難であるために、実際にはほとんど行われていない。 また、平均場を超えた相関を取り入れる理論として、(一般化)スレーター行列式を重ね 合わせる生成座標法(GCM)が有名であるが、密度依存相互作用への適用などに大きな問題 があることが明らかになり、近年大きな進展が見られない。

そこで我々は、これらの問題を解決する新たな量子化の処方を提唱した。多次元空間中の 周期軌道を求める代わりに、はじめに可積分系となる集団部分空間を抽出し、その部分空間 上で量子化を行う(図2)。可積分系の量子化は比較的容易であり、経路積分の停留位相近似 を用いて、(一般化)スレーター行列式の重ね合わせとしてエネルギー固有状態を記述する。 この新たな手法を原子核のスピン・パリティ 0⁺ 状態の問題に応用し、鉛アイソトープの励 起状態などに関する計算を実行し、手法の有用性を示した。



図2:集団部分空間を抜き出すことで、図のようなトーラス上の独立なループ上で量子化が 可能となる。

【3】 密度汎関数法による四重極集団ハミルトニアンの構築に向けて(鷲山、中務)

遷移領域の原子核の中で、低励起状態に複数の変形状態が存在したり変形に対してソフト な性質を示したりするものがある。このような原子核を大振幅集団運動の観点から記述する ために、原子核密度汎関数法に基づく5次元四重極集団ハミルトニアンの構築と原子核低励 起状態への応用を目指している。昨年度、5次元四重極集団ハミルトニアンの回転運動項の 慣性モーメントの評価を行なったので、今年度は、振動運動項の集団慣性質量を評価するた めに局所乱雑位相近似法(Local quasi-particle random phase approximation: LQRPA)の応 用を行なった。5次元四重極集団ハミルトニアンの振動慣性質量を計算するには(1)各変 形度での拘束条件付き密度汎関数計算を行ない、(2)得られた状態を基に LQRPA 方程式 を解いて集団的な四重極低励起モードの固有解を求め、(3)得られた低励起モードの解か ら振動慣性質量を構成する。本研究では、巨大次元の LQRPA 方程式を直接解く代わりに数 値的に簡便でかつ同等な結果を与える有限振幅法を用いた。

まず、有限振幅法の枠組みで離散的な低励起モード解を得るために、有限振幅法と複素エ ネルギー平面での周回積分法を組み合わせた手法の実装を行なった。いくつかの変形核の離 散的な低励起四重極モード解に対してベンチマーク計算を行ない、先行研究と同様の低励起 状態の分光学的性質(換算遷移確率、励起エネルギー)を得た。

筑波大学 計算科学研究センター 平成 30 年度 年次報告書

次に、この有限振幅法+周回積分法を四重極変形度βのみの一次元振動慣性質量である核 分裂経路の集団慣性質量計算に応用した。²⁴⁰Puの質量対称核分裂経路を四重極変形度βの拘 束条件付き密度汎関数法で計算し、各変形度で局所有限振幅法+周回積分法により集団慣性 質量を四重極変形度βの関数として求めた。得られた集団慣性質量は基底状態及び核分裂ア イソマー状態では他の変形度に比べて大きな値を示した。また、変形度が変化するにつれて 集団慣性質量が大きく変化する変形領域が存在することを示した。これはこの変形領域で ²⁴⁰Puの一粒子構造が劇的に変化していることを示唆する結果である。

【4】 3次元実空間座標を用いた HFB 計算コードの開発(柏葉(D2)、中務)

従来の方法では、HFB 理論に基づく自己無撞着な密度関数計算は基底の数の三乗(N³)に 比例する計算コストがかかるため、調和振動子基底を用いて基底の数を減らすなどの工夫を しなければ現実的な計算時間内での計算が困難であった。しかし、近年 Krylov 部分空間法を 用いた手法が提案されており、これを使うことで計算コストを N²に抑えることが可能となる。 本研究では、Krylov 部分空間法による 3 次元実空間座標を用いた HFB 計算コードの開発を行 った。数値計算コードはほぼ完成し、妥当な計算時間で実行が可能であることを示した。ま た、Oakforest-PACS 上で高い並列性能を実現した。 3 次元実空間座標を採用することで、従 来の方法が苦手とする大きな変形や非対称変形を含む原子核の解析が可能になる。今後は、 中性子星内殻に存在するとされているパスタ原子核など、特異な形状をした原子核の構造の 計算に応用する。

【5】 中性子過剰 Mo 同位体の低励起状態の分析 (Ha (ソウル国立大)、炭竃(理研)、 日野原)

中性子過剰 Mo 同位体では三軸非対称(γ)変形が基底状態で現れる可能性やソフトな γ 振動が予言されており、理化学研究所の RIBF において ^{106,108,110}Mo 原子核の低励起状態が測 定された。これらの原子核に対して、5次元四重極集団 Hamiltonian を CHFB+LQRPA 法を用 いて構築し、四重極低励起状態の分析を行った。有効相互作用は SLy4, SkM*, SLy5+T による Skyrme-HFB の結果を再現するように Pairing-plus-quadrupole 相互作用のパラメータを決定し てこれを用いた。SLy4 を用いた理論計算ではオブレート変形にエネルギー極小点が現れ、ス ペクトルには γ ソフトな性質が強く見られた(図 3)。一方 SLy5+T を用いた計算ではプロレ ート変形が現れ、^{106,108}Mo では γ 振動的なスペクトルが得られ、実験とのよい一致が見られ た。



図 3: ¹⁰⁸Mo の四重極変形ポテンシャル曲面(左図)と CHFB+LQRPA による低励起状態のスペクトル(右図)。

【6】 有限振幅法による二重ベータ崩壊原子核行列要素の計算 (日野原、Engel(ノースカロライナ大))

ニュートリノレス二重ベータ崩壊の半減期から電子ニュートリノの有効質量を決定するためには崩壊の原子核行列要素を精密に計算する必要があるが、原子核行列要素は中性子一陽子対相関によって抑制されることが知られており、対相互作用の結合定数を決定することが行列要素の精密計算のために重要である。ニュートリノを2つ放出する二重ベータ崩壊には豊富な実験データが存在し、これを用いて中性子一陽子対相関の結合定数を決定することが可能である。二重ベータ崩壊の原子核行列要素を準粒子乱雑位相近似で計算する場合、大次元の行列対角化を行う必要があるが、有限振幅法によって応答関数を反復法で効率的に計算し、応答関数の二重複素積分によって原子核行列要素の導出が可能である定式化をこれまでに行った。米国ノースカロライナ大学で開発された中性子一陽子チャネルの有限振幅法のコードを拡張し、二重 Gamow-Teller 遷移強度およびニュートリノを2つ放出する二重ベータ崩壊原子核行列要素計算の実装を行った。pf 殻領域の原子核に対して系統的な計算を行い、原子核行列要素の中性子一陽子対相関依存性の分析を行った(図4)。



図 4: ⁴⁸Ca の二重 Gamow-Teller 遷移(左図)とニュートリノを2つ放出する二重ベー タ崩壊(右図)の原子核行列要素のアイソスカラー対相関結合定数依存性。

【7】 超流動原子核の融合過程における対相関の効果(橋本、G. Scamps)

今年度は、拘束条件付きハートレーフォック・ボゴリュボフ(CHFB)法により硫黄 40 S を 二つの酸素 20 O に分離する過程のエネルギー面と一粒子波動関数のセットを得た。これは、 二つの酸素 20 O の正面衝突による融合過程のポテンシャルエネルギーを求めることに当たる。 この CHFB 法によるエネルギー面上の点を初期条件として TDHFB 軌道を計算し、二つの酸 素 20 O の融合過程の TDHFB 軌道と比較した。その結果、i) 二つの酸素 20 O の接触から重なり を経て減衰振動に至る過程における対相関エネルギーの変化は、CHFB 法によって求めたエ ネルギー面上の点を初期値とする TDHFB 軌道のものとよく似た振る舞いをする(図5*左*)、 ii) また、i) の対相関エネルギーは CHFB 法による静的な対相関エネルギーの相対距離依存性 に沿った変化をすることで、この領域では系の変化は断熱的であることが示唆される、iii) CHFB 法によって求めた一粒子エネルギーの分布は、相対距離の減少につれて二つの酸素 20 O のものから縮退が解ける。特にフェルミ面近傍の $f_{5/2}$ 軌道の分布の散開が対相関エネルギー の滑らかな減少をもたらす、iv) 融合後の減衰振動は、TDHFB 軌道の正準軌道占有数が CHFB 軌道の軌道占有数分布(図5右)から時間的に変化することにより内部運動の励起エネルギ ーの増大をもたらすこと、などが理解された。



図 5: (左) CHFB による酸素 ²⁰O - 酸素 ²⁰O 間の相対距離 (Rz) とエネルギー (赤)、 対相関エネルギー (陽子 (緑)、中性子 (青))。衝突エネルギー11.4 MeV の正面衝 突 TDHFB 計算の中性子対相関エネルギー (紫)、黒丸 (●)を初期条件とする TDHFB 計算の中性子対相関エネルギー (黒)。(右) 左図黒線の TDHFB 軌道の正準占有数 (太線)と CHFB の正準占有数(細線)の相対距離による変化。



[8] Effect of octupole deformation on the fission of actinides (G. Scamps and C. Simenel)

 \boxtimes 6 : Evolution of the fission of ²⁴⁰Pu nuclei.

Nuclear fission is a process in which a heavy nucleus split into two. Most of the actinides nuclei (Plutonium, Uranium, Curium...) fission asymmetrically with one big fragment and one small. Empirically, the heavy fragment presents on average a Xenon element (with charge number Z=54) independently from the initial fissioning nucleus. To understand the mechanism that determines the number of protons and neutrons in each of the two fragments has been a longstanding puzzle. It was expected that the deformation of the fragments could play a role. Indeed, the atomic nuclei can have different shapes depending on their internal structure. Some of them are spherical, most of them are deformed like a rugby ball and a few have a pear-shaped deformation. The internal structure of the nuclei varies as a function of the number of protons and neutrons composing the nuclei. The state of the art of nuclear theory has been used to describe dynamically the fission process. This simulation of the nuclear fission uses the quantum-mechanics to take into account the motion of the nucleons in the nuclei and uses adequate simplifications to solve the many-body problem. Using that model, in the case of the ²⁴⁰Pu, it has been found that the fission fragments are preferably formed with a pear-shaped deformation (see figure 6). This pear-shaped deformation is due to the strong Coulomb repulsion of the two fragments. This initial deformation favours nuclei which are pear-shaped in their ground state. This is the case of the Xenon due to some internal structure effects associated with a number of proton Z=54. This mechanism is strong enough to strongly influence the partition of nucleons in several fissioning systems. This mechanism has been found in simulations of the fission of ²³⁰Th, ²³⁴U, ²³⁶U, ²⁴⁶Cm and ²⁵⁰Cf in agreement with the experimental observations. These findings may explain in future, surprising recent observations of asymmetric fission of lighter than lead nuclei, and improve predictions of fission properties of exotic nuclei which impact the abundance of elements produced in the astrophysical processes.

[9] Density-constraint Hartree-Fock-Bogoliubov (G. Scamps and Y. Hashimoto)

A new method is developed in order to determine the Nucleus-Nucleus potential for fusion reactions for which pairing play an important role, the Density-constraint Hartree-Fock-Bogoliubov theory. Using this method, we investigate the splitting of the Nucleus-Nucleus potential with respect to different relative gauge angles (figure 7).



 \boxtimes 7: Nucleus-Nucleus potential for the ²⁰O+ ²⁰O reaction for 3 gauge-angle.

【10】 Self-consistent random phase approximation based on the relativistic Hartree-Fock theory: Role of ρ-tensor coupling (Wang (特別研究生) 、Naito(東大)、Liang (理研)、Long (Lanzhou Univ.))

The framework of the random phase approximation (RPA) based on the relativistic Hartree-Fock (RHF) theory is extended to achieve a self-consistent calculation with the ρ -meson tensor coupling. The model self-consistency is verified by the check of the isobaric analog state, and it is found that the ρ -tensor and ρ -vector-tensor couplings play significant roles in maintaining the self-consistency. Using the RHF Lagrangian PKA1, the properties of the Gamow-Teller resonances (GTR) are investigated (figure 8), in which the roles played by the particle-hole residual interaction of various meson-nucleon couplings are clarified in details. Furthermore, the effects of the tensor force, which is introduced naturally via the Fock terms, are analyzed by comparing the calculations with full Lagrangians and the ones artificially dropping the tensor force components. It is found that for the RHF Lagrangians PKOi (i = 1,2,3) and PKA1, the tensor forces play the role mainly via the RHF mean-field rather than via the RPA residual interaction in determining the GTR. Moreover, the tensor-force effects are not as strong as those indicated by the Skyrme Hartree-Fock calculations.



⊠ 8: Transition strength distributions of GTR in ²⁰⁸Pb. The calculations are performed by the RHF + RPA approach with the effective interaction PKA1. The unperturbed results (short-dotted line, denoted as HF), and the results of the calculation with σ -S+ ω -V (short-dashed line), σ -S+ ω -V+ ρ -V (dash-dotted line), σ -S+ ω -V+ ρ -V (short-dot-dotted line) in the ph residual interactions, as well as the results of the full calculation (solid line) are shown. A Lorentzian smearing parameter $\Gamma = 1$ MeV is used. The horizontal position of the arrow corresponds to the experimental peak energy.

4. 教育

学位

- 倪 放 (Ni Fang)、博士 (理学)
 Requantization of time-dependent mean field for pairing collective motion in superfluid nuclei (超流動核における対励起集団運動に対する時間依存平均場再量子化)
- 堀川 健、修士(理学)
 長さゲージを用いた周期系の電子ダイナミクス計算

集中講義

中務 孝

「原子核の構造・反応と計算核物理学」、千葉大学、2018年6月27-28日.

5. 受賞、外部資金、知的財産権等

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、4,000,000 円(H30年度直接経費)、「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」
- JST ImPACT「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化」、中務 孝、 課題責任者、2014-2018 年、4,646,000 円(H30 年度直接経費)、「核構造計算による 核反応モデルの高精度化」
- 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、 1,470,000 円(H30 年度直接経費)、「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、700,000
 円(H30 年度直接経費)、「中性子-陽子対相関・対凝縮の解明」
- 5. 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「宇宙の歴史 をひもとく地下素粒子原子核研究」)(公募研究)日野原伸生、代表、2017 – 2018 年、 1,000,000円(H30年度直接経費)、「生成座標法による二重ベータ崩壊原子核行列要 素の評価」

6. 研究業績

- (1) 研究論文
 - A) 査読付き論文
 - K. Wen and T. Nakatsukasa, "Nuclear reaction path and requantization of TDDFT", JPS Conf. Proc. 23, 012024 (2018).
 - 2. K. Washiyama and T. Nakatsukasa, "Multipole modes for triaxially deformed superfluid nuclei", JPS Conf. Proc. 23, 013012 (2018).
 - F. Ni, N. Hinohara, and T. Nakatsukasa, "Low-lying collective excited states in non-integrable pairing models based on the stationary-phase approximation to the path integral", Phys. Rev. C 98, 064327 (2018).
 - 4. F. Ni and T. Nakatsukasa, "Comparative study of the requantization of the time-dependent mean field for the dynamics of nuclear pairing", Phys. Rev. C **97**, 044310 (2018).
 - G. Scamps and C. Simenel, "Impact of pear-shaped fission fragments on mass-asymmetric fission in actinides", Nature 564, 382 (2018).

- H. Zheng, S. Burrello, M. Colonna, D. Lacroix, and G. Scamps, "Connecting the nuclear EoS to the interplay between fusion and quasifission processes in low-energy nuclear reactions", Phys. Rev. C 98, 024622 (2018).
- 7. Z. H. Wang, Q. Zhao, H. Z. Liang, and W. H. Long, "Quantitative analysis of tensor effects in the relativistic Hartree-Fock theory", Phys. Rev. C, **98**, 034313 (2018).
- 8. S. Burrello, M. Colonna, D. Lacroix, X. Roca-Maza, G. Scamps, and H. Zheng, "Collective aspects of the dipole response in nuclei: an analysis from semi-classical and quantal approaches", Accepted for publication in Phys. Rev. C (2019), arXiv:1807.10118.
- 9. Y. Kashiwaba and T. Nakatsukasa, "Self-consistent band calculation of slab phase in neutronstar crust", submitted to Phys. Rev. C; Preprint arXiv:1904.10712.
- N. Hinohara, "Energy-weighted sum rule for nuclear density functional theory", Submitted to Phys. Rev. C, arXiv:1902.11105.

B) 査読無し論文

 K. Wen and T. Nakatsukasa, "Self-consistent collective motion path for nuclear fusion/fission reactions", Proceedings of the International Conference on Nuclear Theory in the Supercomputing Era - 2016 (NTSE-2016) (Pacific National University, 2018), pp. 115 – 123.

(2) 国際会議発表

A) 招待講演

- 1. T. Nakatsukasa, "Dipole response in exotic nuclei", ECT* workshop on Probing exotic structure of short-lived nuclei by electron scattering, Trento, Italy, Jul. 16 20, 2018.
- T. Nakatsukasa, "Theories of nuclear large amplitude collective motion", 1st APCTP-TRIUMF joint workshop on understanding nuclei from different theoretical approaches, Pohang, Korea, Sep. 14 – 19, 2018.
- 3. T. Nakatsukasa, "Self-consistent determination of nuclear reaction path and clustering", ECT* workshop on indirect methods in nuclear astrophysics, Trento, Italy, Nov. 5 9, 2018.
- T. Nakatsukasa, "Nuclear structure and reaction with quantum shape fluctuation", 13th International Conference on nucleus-nucleus collisions (NN2018), Saitama, Japan, Dec. 4 – 8, 2018.
- T. Nakatsukasa, "Self-consistent band calculation for 1D neutron-star crust", Workshop on Nonequilibrium phenomena in superfluid systems, Warsaw, Poland, Mar. 1 – 3, 2019.

- N. Hinohara, "Nuclear density functional theory for description of collective excitation", 10th China-Japan Joint Nuclear Physics Symposium (CJNP2018), Huizhou, China, Nov. 18 – 23, 2018.
- N. Hinohara, "Nuclear density functional theory for collective excitation", Fifth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and the JPS (HAWAII2018), Waikoloa Village, HI, USA, Oct. 23 – 27, 2018.
- N. Hinohara, "Application of finite-amplitude method for nuclear collective motion", 2018 PKU-CUSTIPEN workshop on "Low-Energy Nuclear Dynamics and Effective Nuclear Interactions", Beijing, China, Sep. 17 – 19, 2018.
- N. Hinohara, "Collective motion in stable and unstable nuclei within nuclear density functional theory", IX International Symposium on Exotic Nuclei (EXON-2018), Petrozavodsk, Russia, Sep. 10 – 15, 2018.
- K. Washiyama, "Shape fluctuation and large amplitude collective motion in transitional nuclei", New Frontiers in Nuclear Physics and Astrophysics-1, Antalya, Turkey, May 28 – Jun. 1, 2018.
- K. Yoshida, "Analog pygmy-dipole resonance and low-lying charge-exchange dipole state in neutron-rich nuclei", The 6th International Conference on Collective Motion in Nuclei under Extreme Conditions, Cape Town, South Africa, Oct. 29 – Nov. 2, 2018.

B) 一般講演

- T. Nakatsukasa, "New scheme of MCRP-2019", 10th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences, Tsukuba, Japan, Oct. 15 – 16, 2018.
- T. Nakatsukasa, "Collective coordinate for pairing dynamics and requantization of TDHFB", Fifth joint meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and the JPS (HAWAII2018), Waikoloa Village, HI, USA, Oct. 23 – 27, 2018.
- T. Nakatsukasa, "Multi-reference EDF theory alternative to GCM: Application to the pairing model", Tsukuba-CCS workshop on "microscopic theories of nuclear structure and dynamics", Tsukuba, Japan, Dec. 10 – 12, 2018.
- N. Hinohara, "Finite-amplitude method for double-beta decay nuclear matrix elements" (poster presentation), International Symposium on Revealing the history of the universe with underground particle and nuclear research 2019, Sendai, Japan, Mar. 7 – 9, 2019.
- 5. N. Hinohara, "Finite-amplitude method for double-beta decay", Tsukuba-CCS workshop on "microscopic theories of nuclear structure and dynamics", Tsukuba, Japan, Dec. 10 12, 2018.

- N. Hinohara, "Binding-energy differences of even-even nuclei and pairing correlation", 13th International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions (NN2018), Saitama, Japan, Dec. 4 – 8, 2018.
- N. Hinohara, "Energy-weighted sum rule for nuclear density functional theory" (poster presentation), 13th International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions (NN2018), Saitama, Japan, Dec. 4 – 8, 2018.
- N. Hinohara and J. Engel, "Double-beta decay nuclear matrix element using finite-amplitude method", Fifth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and the JPS (HAWAII2018), Waikoloa Village, HI, USA, Oct. 23 – 27, 2018.
- N. Hinohara, "Double-beta decay nuclear matrix elements with linear and non-linear dynamics of neutron-proton pairing" (poster presentation), 10th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences, Tsukuba, Japan, Oct. 15 – 16, 2018.
- N. Hinohara, "Neutron-proton DFT", The 4th workshop on many-body correlations in microscopic nuclear model (SADO2018), Sado, Japan, Aug. 18 – 20, 2018.
- N. Hinohara, "Nuclear collective excitation within finite-amplitude method" (poster presentation), 10th international conference on Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2018), Matsue, Japan, Jun. 4 8, 2018.
- 12. Y. Hashimoto, "Study of structure changes in ⁴⁰S→²⁰O+²⁰O by Gogny TDHFB method", The 4th workshop on many-body correlations in microscopic nuclear model (SADO2018), Sado, Japan, Aug. 18 20, 2018.
- 13. Y. Hashimoto, "Study of ⁴⁰S by Gogny-TDHFB method", Tsukuba-CCS workshop on "microscopic theories of nuclear structure and dynamics", Tsukuba, Japan, Dec. 10–12, 2018.
- K. Washiyama, "Collective Hamiltonian from Skyrme EDF", The 4th workshop on manybody correlations in microscopic nuclear model (SADO2018), Sado, Japan, Aug. 18 – 20, 2018.
- 15. G. Scamps, "Dynamical effects of superfluidity on multi-nucleon transfer, fusion and fission",
 "ECT* workshop on Probing exotic structure of short-lived nuclei by electron scattering",
 Trento, Italy, Apr. 9 13, 2018.
- G. Scamps, "Role of octupole deformed shell effects on the fission of actinides", 2018 PKU-CUSTIPEN workshop on "Low-Energy Nuclear Dynamics and Effective Interactions", Beijing, China, Sep. 17 – 19, 2018.

- G. Scamps, "Role of octupole deformed shell effects on fission" (poster presentation), 13th International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions (NN2018), Saitama, Japan, Dec. 4 – 8, 2018.
- G. Scamps, "Impact of pear-shaped fission fragments on mass-asymmetric fission", Tsukuba-CCS workshop on "microscopic theories of nuclear structure and dynamics", Tsukuba, Japan, Dec. 10 – 12, 2018.
- Z. H. Wang, "Quantitative analysis of tensor effects in relativistic Hartree-Fock theory", The 17th CNS International Summer School, Wako, Japan, Aug. 22 – 28, 2018.
- K. Yoshida, "First-Forbidden Beta-decay near the Drip Line", The 4th workshop on manybody correlations in microscopic nuclear model, Sado (SADO2018), Niigata, Aug. 18 – 20, 2018.
- K. Yoshida, "Beta-decay around ⁷⁸Ni: N=50 magic number and shell structure", YITP workshop on 'Recent advances in nuclear structure physics 2018', Kyoto, Japan, Nov. 29 Dec. 3, 2018.

(3) 国内学会·研究会発表

A) 招待講演

- 1. 中務 孝、"原子核質量と核構造・核力"、研究会「重力波観測時代のrプロセスと不 安定核」、理化学研究所、和光、2018年6月20-22日.
- 2. 中務 孝、"Nuclear deformation and radii in heavy nuclei"、 ELPH 研究会「電子散乱に よる原子核研究」、ELPH、東北大学、仙台、2019 年 3 月 20 21 日.
- 3. 日野原伸生、"原子核対相関と観測量"、NITEP 研究会「微視的理論でつなぐ散乱観測 量と核構造」、大阪市立大学梅田サテライト、大阪、2019 年 3 月 28 日.
- 日野原伸生、"二重ベータ崩壊原子核行列要素計算の現状"、「宇宙の歴史をひもとく 地下素粒子原子核研究」京大・A 班共催二重ベータ崩壊若手研究会、京都大学、京都、 2018年11月8-9日.
- 5. 日野原伸生、"原子核集団現象への平均場アプローチ"、第64回原子核三者若手夏の 学校、ホテルニューカネイ、長生郡白子町、2018年8月6-11日.
- 吉田賢市、"Nuclear density-functional theory for weak matrix elements"、KEK 研究会「ニ ュートリノ原子核反応とニュートリノ相互作用」、東海、2019 年 2 月 22 日.

B) その他の発表

- 中務 孝、鷲山広平、"微視的集団模型による LLFP の核構造研究"、日本原子力学会 2018 秋の大会、岡山大学、岡山、2018 年 9 月 5 – 7 日.
- 中務 孝、江幡修一郎、鷲山広平、"核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化 (5-5) 密度汎関数計算による核構造データ"、日本原子力学会 2019 春の年 会、茨城大学、水戸、2019 年 3 月 20-22 日.
- 中務 孝、"低エネルギー核反応と量子クラスターへの非経験的アプローチ"、「量子 クラスターで読み解く物質の階層構造」 キックオフシンポジウム、東工大、東京、 2018年11月19-20日.
- 中務 孝、"PJ3-3:核構造計算による核反応モデルの高精度化"(ポスター)、ImPACT プログラム「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化」公開成果報 告会 —新たな選択肢の提案、未来に向けて—、品川インターシティホール、東京、 2019年3月9日.
- 5. 日野原伸生、"原子核密度汎関数理論における和則に関する Thouless の定理"、日本 物理学会第74回年次大会、九州大学伊都キャンパス、福岡、2019年3月14-17日.
- 6. 日野原伸生、"原子核密度汎関数の決定と関連する実験データ"、RIBF 若手放談会: エキゾチック核物理の将来、理化学研究所神戸キャンパス、神戸、2019 年 2 月 18 – 20 日.
- 7. 日野原伸生、"二重ベータ崩壊と中性子―陽子対の非線形ダイナミクス"(ポスター)、
 第 5 回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題成果報告会、THE GRAND HALL、東京、2018 年 11 月 2 日.
- 8. 橋本幸男、"Gogny-TDHFB による⁴⁰Sの対称型大振幅振動運動の記述"、日本物理学 会第74回年次大会、九州大学伊都キャンパス、福岡、2019年3月14-17日.
- 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"(ポス ター)、第5回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題成果報告会、THE GRAND HALL、東京、2018年11月2日.
- 10. 倪 放、"断熱的自己無撞着集団座標の方法で探る原子核の新しい集団運動"、RIBF 若手放談会:エキゾチック核物理の将来、理化学研究所神戸キャンパス、神戸、2019 年2月18-20日.

- 11. 吉田賢市、"Toward a systematic and microscopic calculation of beta-decay rates"、重力波 観測時代のrプロセスと不安定核、理研、和光、2018年6月20-22日.
- 12. 吉田賢市、"ベータ崩壊率から探る核構造:⁷⁸Ni における N=50 の魔法数と殻構造"、 宇宙核物理連絡協議会研究会「核データと重元素合成を中心とする宇宙核物理研究 会」、北海道大学、札幌、2019 年 3 月 6-8 日.

(4) 著書、解説記事等

 M. Bender, A. Bulgac, T. Duguet, J.-P. Ebran, J. Engel, M. M. Forbes, M. Kortelainen, T. Nakatsukasa, N. Schunck, "Energy Density Functional Methods for Atomic Nuclei", (IOP Publishing, Bristol, UK) 2019.

7. 異分野間連携·国際連携·国際活動等

【国際連携】

- 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).
- 2. 米国・ノースカロライナ大学の Engel 教授と二重ベータ崩壊の原子核行列要素に関する共同研究 (日野原).
- 3. 米国・ミシガン州立大学 Nazarewicz 教授およびフィンランド・ユバスキュラ大学の Kortelainen 研究員と原子核密度汎関数の諸問題に関する共同研究(日野原).
- 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).
- 5. 韓国・Hoseo 大学 Moon 教授と Te 原子核の低励起状態に関する共同研究(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

- 国際シンポジウム 10th China-Japan Joint Nuclear Physics Symposium (CJNP2018), (Huizhou, China, Nov. 18 - 23, 2018)の組織委員を務めた(中務).
- 2. 国際会議 Nuclear Theory in the Supercomputing Era 2018 (NTSE-2018) (Daejeon, Korea, Oct. 29 Nov. 2, 2018) の科学諮問委員を務めた(中務).
- 3. 筑波大学計算科学研究センター主催シンポジウム: 10th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (Tsukuba, Japan, Oct. 15 - 16, 2018) の組織委員長を務めた(中務).

- 4. 国際ワークショップ Recent advances in nuclear structure physics 2018 (RANSP2018)
 (Kyoto, Japan, Nov. 29-Dec. 3, 2018) の組織委員を務めた(日野原).
- 5. 国際ワークショップ Microscopic theories of nuclear structure and dynamics (Tsukuba, Japan, Dec. 10-12, 2018) の組織委員長(日野原)および組織委員(中務、橋本)を務めた.

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副議長 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 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

11. その他