

2021年 原子核理論研究室 年次報告

1. メンバー

教授: 木村 真明

講師: 堀内 渉

研究員: Qing Zhao

DC3: 多田 哲明, Lai Hnin Phyu, 鈴木 祥輝, Ya Min Htet

DC2: 本木 英陽, 森谷 元, Seung Heon Shin

DC1: 槇口 雄仁

MC2: 渡辺 証斗, He Jia Jing

MC1: 川合 毅

B4: 金 大熙, 高津 隆苑, 三浦 和玖也

2. 研究成果

従来の原子核物理学は自然界に存在する原子核を対象とし、それらの構造・反応・崩壊の研究を通して、原子核の基本的な性質や核子多体系のダイナミクスを明らかにしてきた。近年、新しい原子核を人工的に合成することが可能になったことで、原子核物理学の研究対象は大きく広がっている。例えば不安定核・ハイパー核の生成により束縛限界での核子多体系の性質やバリオン物質の物性を調べることができるようになった。現在の原子核物理学は我々の自然観を深め自然・物質に対する認識の新しい段階へと進むべく、そのフロンティアを日々拡大している。

本研究室では原子核のクラスター構造・不安定原子核の性質に主眼をおいた構造・反応論及び、少数体精密計算による核子ダイナミクスの研究を行っている。これらの知見を基に原子核物質、元素合成過程の理解を進めるとともに、ハイペロンや中間子まで含めたバリオン多体系、ハドロン物質の量子物性の理解という観点から幅広く研究を行っている。

<原子核におけるクラスター現象>

The study of cluster states of light nuclei has always been an important subject in nuclear physics, which provides us with a new perspective for understanding nuclear structure and many-body problems in atomic nuclei. In this fiscal year, we have investigated the clustering of light nuclei using several microscopic and semi-microscopic cluster models: A few α systems in the free space and medium have been investigated and new multi-cluster basis were proposed. The clustering in Be, B, and C isotopes have been investigated by AMD+GCM analyzing the spectroscopic factors. The resonance states above thresholds have been studied by REM with ACCC for ^8Be and ^5He as the benchmark.

《冷中性子媒質中における少数アルファクラスター系の研究》 森谷, 堀内

元素合成や原子核構造の理解に重要なアルファクラスターは、宇宙環境においてプラズマや核物質などの媒質中に現れることが指摘されている。精密な2体、3体の量子力学計算を実行することにより、真空中で非束縛な少数アルファ粒子系が希薄な冷中性子媒質中においては束縛状態になりうることを示した。この結果は関連する宇宙物理へ大きな影響を与えると考えられる。研究成果は誌上論文として既に出版され、研究会や学会で発表された。

《炭素12原子核の幾何学的構造の研究》 森谷, 堀内

炭素12原子核における基底状態と第一励起状態のアルファクラスターの幾何学的配位について3アルファクラスター模型を用いて議論した。基底状態では正三角形配位が支配的であったのに対して第一励起状態では鋭角二等辺三角形配位が支配的となることを示した。第一励起状態においては、ベリリウム8原子核とアルファ粒子の配位が重要であることを示唆している。現在さらに解析を進め、雑誌論文に投稿準備中である。

《パウリ原理を考慮した新しい多クラスター系基底関数》 森谷, 堀内

原子核クラスターを点粒子として扱う巨視的クラスター模型では、クラスター間のパウリ原理を考慮するため、禁止状態との直交条件を課す直交条件模型がしばしば用いられる。そのような計算は数値的な不安定性をもたらすため、多数の禁止状態を含む多クラスター系に適用するための大きな障害となっている。パウリ原理が明示的に満たされる微視的クラスター模型の相対波動関数の性質を利用した新しい基底関数を提案し、その有効性を示した。今後、従来の計算方法では難しい多クラスター系に適用することを目指す。

《軽い中性子過剰核におけるクラスター形成》 本木, 鈴木, 川合, 木村

錫同位体の核表面近傍にアルファクラスターが存在することが実験的に報告され、中性子過剰度とクラスターの存在との負の相関が示された。一方、より軽い原子核である炭素同位体において、中性子スキンとアルファクラスター形成の負の相関が理論的に示されている。軽い核におけるクラスター構造はアルファ粒子だけに留まらない。そこで、2つのクラスターが発達した構造を取るベリリウム同位体でのアルファ、ヘリウム6クラスター構造を解析することで、ベリリウム同位体におけるクラスターの発達を理解しようと考えた。更には、ホウ素同位体におけるクラスター形成も解析し、論文投稿の準備を進めている。

《中性子過剰核における α 粒子の形成》川合, 鈴木, 本木, 木村

中性子過剰核では、安定核で確立された常識を覆す多くの現象が見つかっている。反対称化分子動力学を用いて、鉄同位体など中質量の中性子過剰核の性質を調べ、アルファクラスター形成を調べる計画である。構造計算で得られた物理量を用い、観測量と比較を行うことを目指している。

《 α cluster resonances studied by analytic continuation in the coupling constant》 Shin, Kimura

Resonance states above thresholds are important in light nuclei. However, it is typically difficult to deal with them because of high excitation energies of the resonances and coupling to the continuum. We investigate the resonance states against the continuum by applying the analytic continuation in the

coupling constant (ACCC) to the real-time evolution method (REM) in which the alpha cluster basis wave functions for the resonance states are effectively generated. The benchmark calculations of the ^8Be and ^5He systems were performed and its application to the ^{13}C resonance states have been conducted.

《Studying about two and three alpha cluster structure》 Htet

We investigated two alpha system and three alpha system. Firstly, two alpha system was calculated by using a Gaussian expansion method with the Stochastic variational method. In this study, Ali-Bodmer potential was used for our calculation. Then, we extended our study to a three-alpha system. Matrix elements of kinetic, inter-cluster potential operators in the correlated Gaussians are calculated.

《Alpha cluster formation probability of Be and C isotopes》 He, Zhao, Kimura

We studied the alpha cluster formation probability of Be and C isotopes. The alpha cluster reduced width amplitudes (RWA) were calculated with the AMD framework and the GCM+REM framework for ^{10}Be , ^{12}Be , ^{14}C , ^{16}C and ^{18}C . The suppressing of alpha clustering probability with the increasing neutron-skin thickness has been investigated. The comparison between the RWA and the Whittaker function has been made and obtained the nice agreement for the cluster model.

<不安定原子核の構造研究>

不安定同位体ビームを用いた原子核の実験・観測は国内外で日々進歩しており、理論と実験の連携により、不安定核における特異な現象や構造の探索がされている。本研究室では中性子過剰核における魔法数消失による構造変化を精力的に調べている。

《中性子魔法数 28 が消失する原子核の多様な変形の研究》 鈴木、木村、堀内

本研究では特別な形状を仮定しない微視的構造モデルである反対称化分子動力学を適用し、中性子魔法数 28 が消失する中性子数 28 近傍の不安定核の変形及び変形共存を系統的に調べ、その違いをプローブする物理量の探索を行っている。結果、魔法数が消失する機構と共存する変形状態の混合割合によって、モノポール遷移強度が顕著に異なることを指摘した。現在この成果をまとめ、雑誌論文に投稿中である。さらに、モノポール遷移強度だけでなく、分光学的因子も ^{44}S の大振幅集団運動を示唆していることを示した。

《反転の島における表面密度分布の性質》 堀内、木村

ネオン、マグネシウム同位体の中性子数 20 近傍に見られる反転の島領域において、半径の異常増大現象が報告されている。本研究ではその領域における原子核表面密度分布に着目し、その定量化及び観測可能性について議論した。本研究はインド工科大学ルールキー校との共同研究で、その成果は学術論文に出版されている。

《原子核ベータ崩壊における電子波動関数の改良》 堀内

原子核のベータ崩壊の伝統的に使われている定式では、崩壊後原子核から射出される電子波動関数の取り扱いに関して簡略化が行われている。本研究ではそのような簡略化を行

わない厳密な電子波動関数を用い、従来の方法の有効性を検証した。クーロン力の影響が大きくなる重い原子核ほど厳密な波動関数からのずれが大きくなり、従来のベータ崩壊率の見積もりの見直しが求められることが示された。本研究成果は Progress of Theoretical and Experimental Physics 誌の Editor' s choice として選定された。また適切な波動関数を提供するプログラムを公開している。

《原子核の変形と半径増加の関係》 堀内

原子核の変形による密度分布の変化について、3次元座標ハートリーフォック法によって得られた密度を用いた解析を行った。原子核変形は表面付近の密度だけでなく、原子核の内部密度を変化させる。原子核半径の増加はそれら2つの要素によることを示した。研究成果は学術論文に出版済みである。

《原子核の表面密度分布の単一粒子成分への分解》 堀内

原子核の表面の密度分布は単一粒子波動関数の性質を表している。本研究では表面密度を単一粒子波動関数成分に分離する方法を提案し、広い質量領域でその具体的応用例を示した。今後表面密度分布のより詳細な実験データにより、原子核の分光学的性質の情報が得られることが期待される。本研究は学術論文として出版された。

<原子核反応>

国内外で不安定同位体ビームを用いた原子核の研究が盛んに行われているが、中でも高エネルギー重イオン反応を用いた全反応断面積及び相互作用断面積は、理化学研究所の RI ビームファクトリーに代表される最新の加速器により、Ca、Ni といった重い質量領域まで拡大している。これらの物理量は原子核の大きさ、空間的広がり深く関係しており、実験的、理論的にも重要な研究課題となっている。本年は様々な標的原子核を用いた原子核構造研究の可能性や、特異な原子核構造の観測量への影響について検討した。また、機械学習による原子核反応のデータ評価の研究も行っている。

《陽子過剰核の不透明度》 榎口、堀内

高エネルギー陽子-原子核散乱における強吸収モデルでは、衝突の全反応断面積は原子核半径の2乗に比例すると考えられる。一方、炭素の陽子過剰核は炭素12よりも大きい半径を持つが、陽子散乱による全反応断面積は炭素12と大きく変わらないことが知られている。その理由を調べるため Glauber モデルを用い、陽子過剰核の反応断面積の分析を行った。原子核中の陽子の透過性を定量化することで、全反応断面積の粒子依存性について議論した。現在投稿論文としてまとめているところである。

《機械学習による核反応データ評価》 渡辺、木村

核反応データの評価に機械学習を導入することで、核反応モデルのパラメータ最適化を試みた。ガウス過程に基づくベイズ最適化を用いてチャンネル結合光学モデルのパラメータを最適化した。また、エネルギー依存性を考慮したチャンネル結合光学モデルのパラメータを最適化することで、少数の実験データから任意のエネルギーにおける断面積を再現した。現在、最

適化計算の規模を大きくするとともに、任意のエネルギーにおける反応断面積の再現度の向上を目指す。

《重イオン散乱を用いたアイソスカラー、アイソベクトル励起成分の分離》 堀内

原子核応答のアイソスカラー、アイソベクトル成分は励起機構の特徴を如実に表す。本研究では興味深い励起モードを擁すヘリウム6、リチウム6の重イオン衝突において、炭素標的、鉛標的による核力・クーロン励起の度合いを定量化し、上記成分の分離について実用的な入射エネルギー範囲を提案した。本研究成果は学術雑誌に掲載済みである。

<エキゾチック原子・原子核>

《グザイハイパー核の構造計算》 多田、木村

3. 成果発表

<原著論文>

(査読あり)

- “Separating isoscalar and isovector dipole excitations in ${}^6\text{Li}$ and ${}^6\text{He}$ using heavy-ion collisions and nuclear-Coulomb interference effects”
W. Horiuchi and T. Furumoto, Nuclear Physics A 1011, 122204-1-14 (2021).
- “Electron wave functions in beta-decay formulas revisited (I): Gamow–Teller and spin-dipole contributions to allowed and first-forbidden transitions” (Selected as Editor’s choice)
W. Horiuchi, T. Sato, Y. Uesaka, and K. Yoshida, Progress of Theoretical and Experimental Physics 2021, 103D03-1-23 (2021).
- “Deformation effect on nuclear density profile and nuclear radius enhancement in light- and medium-mass neutron-rich nuclei”
W. Horiuchi and T. Inakura, Progress of Theoretical and Experimental Physics 2021, 103D02-1-11 (2021).
- “Single-particle decomposition of nuclear surface diffuseness”
W. Horiuchi, Progress of Theoretical and Experimental Physics 2021, 123D01-1-17 (2021).
- “Enormous nuclear surface diffuseness of Ne and Mg isotopes in the island of inversion”
V. Choudhary, W. Horiuchi, M. Kimura, and R. Chatterjee, Physical Review C 104, 054313-1-9 (2021).
- “Binding two and three α particles in cold neutron matter”
H. Moriya, H. Tajima, W. Horiuchi, K. Iida, and E. Nakano, Physical Review C 104, 065801-1-9 (2021).
- “Coulomb Screening Effect on the Hoyle State Energy in Thermal Plasmas”

Lai Hnin Phyu, H. Moriya, W. Horiuchi, K. Iida, K. Noda, and M. T. Yamashita, *Few-Body Systems* 62, 44-1-5 (2021).

- “Three- α Configurations in the 0^+ States of ^{12}C ”
H. Moriya, W. Horiuchi, J. Casal, and L. Fortunato, *Few-Body Systems* 62, 46-1-5 (2021).
- “Shape of ^{13}C studied by the real-time evolution method”
S. Shin, B. Zhou, and M. Kimura, *Phys. Rev. C* 103, 054313 (2021).
- “The Isoscalar Monopole Strength of ^{13}C ”
S. Shin, B. Zhou, and M. Kimura, *Few-Body Syst.* 62, 93 (2021).
- “ α clustering and neutron-skin thickness of carbon isotopes”,
Q. Zhao, Y. Suzuki, J. He, B. Zhou, and M. Kimura, *Eur. Phys. J. A* 57, 157 (2021).
- “Triaxial deformation and the disappearance of the $N=28$ shell gap”,
Y. Suzuki, M. Kimura, *Phys. Rev. C* 104, 024327 (2021).
- “ $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ fusion S^* -factor from a full-microscopic nuclear model”
Y. Taniguchi and M. Kimura, *Phys. Lett. B* 823, 136790 (2021).
- “A description of the structure and electromagnetic breakup of Be with microscopic inputs”,
M. Dan, R. Chatterjee, and M. Kimura, *Eur. Phys. J. A* 57, 203 (2021).
- “Isoscalar monopole and dipole transitions in ^{24}Mg , ^{26}Mg , and ^{28}Si ”
P. Adsley, V. O. Nesterenko, M. Kimura, L. M. Donaldson, R. Neveling, J. W. Brümmer, D. G. Jenkins, N. Y. Kheswa, J. Kvasil, K. C. W. Li, D. J. Marín-Lámbarri, Z. Mabika, P. Papka, L. Pellegrini, V. Pesudo, B. Rebeiro, P. -G. Reinhard, F. D. Smit, and W. Yahia-Cherif,
Phys. Rev. C 103, 044315 (2021).
- “Unexpectedly enhanced alpha-particle preformation in Ti probed by the (p,pa) reaction”,
Y. Taniguchi, K. Yoshida, Y. Chiba, Y. Kanada-Enyo, M. Kimura and K. Ogata,
Phys. Rev. C 103, L031305 (2021).
- “Quasifree neutron knockout reaction reveals a small s-orbital component in the Borromean nucleus ^{17}B ”, Z. H. Yang, et al. (7 番目/78 名), *Phys. Rev. Lett.* 126, 082501 (2021).
- “Description of isospin mixing by a generator coordinate method”, M. Kimura, Y. Suzuki, T. Baba and Y. Taniguchi, *Phys. Rev. C* 105, 014311 (2021).

<会議抄録等>

- “Probing dilute nuclear density by antiproton-nucleus scattering”
K. Makiguchi, W. Horiuchi, and A. Kohama, *RIKEN Accelerator Progress Report Vol. 54*, 41 (2021).
- “Reaction cross sections on a deuteron as a probe nuclear radii” (Selected as Highlight of the year)

W. Horiuchi, Y. Suzuki, T. Uesaka, and M. Miwa, RIKEN Accelerator Progress Report Vol. 54, S22 (2021).

- “Activity report of the second-term (2014–2021) RIBF Theory Forum”
T. Abe, Y. Aritomo, W. Horiuchi, M. Kimura, H. Liang, T. Matsumoto, F. Minato, K. Nakazato, N. Nishimura, and K. Yoshida, RIKEN Accelerator Progress Report Vol. 54, 192-193 (2021).

4. 学術講演

4.1. 国際学会・国際シンポジウム

<招待講演>

- YITP-OzGrav WS“Nuclear burning in massive stars”–towards formation of black-hole binaries–
[online, 2021.7.26-30]
 - *W. Horiuchi, “Theoretical description of $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$: Difficulties and challenges”
- Yamada Conference LXXII: The 8th Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics (APFB2020) [Kanazawa bunka hall, Kanazawa, Japan, 2021.3.1-5]
 - J. Singh, J. Casal, W. Horiuchi, L. Fortunato, and A. Vitturi, “Three-body description of neutron dripline nuclei”

<一般講演>

≪口頭発表≫

- Yamada Conference LXXII: The 8th Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics (APFB2020), [Kanazawa bunka hall, Kanazawa, Japan, 2021.3.1-5]
 - H. Masui, W. Horiuchi, and M. Kimura, “Two-neutron halo structure and anti-halo effect in ^{31}F ”
 - *H. Moriya, W. Horiuchi, J. Casal, and L. Fortunato, “Three-alpha configurations in the spectrum of ^{12}C ”
 - Lai Hnin Phyu, H. Moriya, W. Horiuchi, K. Iida, K. Noda, and M. T. Yamashita, “Coulomb screening effect on the Hoyle state energy in thermal plasmas”
 - *S. Shin, B. Zhou, and M. Kimura, “The shape of ^{13}C studied by the real-time evolution method”
 - *H. Motoki and M. Kimura, “Research on the α condensate in ^{16}O using real time evolution method”
- RCNP workshop “Cluster phenomena in knockout and astrophysical reactions” [online, 2021.10.14-15]

- *H. Moriya, H. Tajima, W. Horiuchi, K. Iida, and E. Nakano, “Structure of two- and three-alpha systems in cold neutron matter”
- 65th DAE Symposium on Nuclear Physics [hybrid style, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai, India, 2021.12.1-5]
 - V. Choudhary, W. Horiuchi, M. Kimura, and R. Chatterjee, “Exploring the bubble structure in ^{22}O ”
- The 16th International Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC-XVI), [Online, 2021.9.21-25]
 - * H. Moriya, H. Tajima, W. Horiuchi, K. Iida, E. Nakano, “Two- and three-alpha clusters in cold neutron matter”
 - *H. Motoki and M. Kimura, “The structure of 0^+ states in ^{16}O using real-time evolution method”

4.2. 国内学会・国内その他

<招待講演>

- The 290th RIKEN RIBF nuclear physics seminar [RIKEN Nishina Center (online), Wako, Japan, 2021.1.21]
 - W. Horiuchi, “Utility of antiproton- and deuteron-scattering for studies of unstable nuclei”
- ELPH 研究会 C028 「電子散乱による原子核研究—原子核の電荷密度・陽子・中性子の分布と半径—」 [オンライン開催, 2021.3.18-19]
 - 堀内渉, “原子核の内部密度と核構造—その観測可能性について—”
- 第7回クラスター階層領域研究会 [東北大学電子光理学研究センター(ELPH), 2021.12.27-28]
 - 堀内渉, “高エネルギー原子核反応で探る核構造”
-

<一般講演>

≪口頭発表≫

- 日本物理学会第76回年次大会 [オンライン開催, 2021.3.12-15]
 - *堀内渉, 鈴木宜之, 上坂友洋, 三輪海彩, “原子核半径決定における重陽子標的の有用性”
 - *堀内渉, 佐藤透, 上坂優一, 吉田賢市, “原子核ベータ崩壊の再定式化: High-Z 核に対する有効な手法”
 - *森谷元, 堀内渉, Bo Zhou, “パウリ原理を考慮した新しい多クラスター系の基底関数”
 - 仲野英司, 飯田圭, 堀内渉, “冷たい中性子物質におけるアルファ粒子の準粒子描像”

- *鈴木祥輝, 木村真明, 堀内渉, “魔法数 28 の破れとモノポール遷移強度の相関”
 - *S. Shin, B. Zhou, and M. Kimura, “The shape of ^{13}C studied by the real-time evolution method”
 - *本木英陽, 木村真明, “実時間発展法による ^{16}O の状態と、幾何学モデルによるバンド構造との比較”
- 日本物理学会 2021 年秋季大会 [オンライン開催, 2021.9.14-17]
- *森谷元, 堀内渉, Jes'us Casal, Lorenzo Fortunato, “炭素 12 スペクトルにおけるアルファクラスターの幾何学的配位”
 - *鈴木祥輝, 木村真明, 堀内渉, “中性子過剰 N=28 核での変形共存現象の研究”
 - Vishal Choudhary, 堀内渉, 木村真明, Rajdeep Chatterjee, “陽子弾性散乱でみる中性子過剰 Ne, Mg 同位体の核表面変化”
 - *S. Shin, B. Zhou, and M. Kimura, “ α cluster resonances studied by analytic continuation in the coupling constant”
 - *本木英陽, 鈴木祥輝, 川合毅, 木村真明 “中性子過剰核でのクラスター形成と中性子スキンの相関”
- 基研研究会「核力に基づいた原子核の構造と反応」, 京都大学基礎物理学研究所, 2021.12.7-10.
- 堀内渉, 鈴木宜之, Mahdi Shalchi, Lauro Tomio, “カルシウム 62, 72 のハロー構造に関する 3 体モデルからの示唆”
 - *森谷元, 田島裕之, 堀内渉, 飯田圭, 仲野英司, “冷中性子物質中における少数アルファクラスター系の構造と反応”
- 日本量子医科学会第 1 回学術大会「量子医科学への飛翔!」, オンライン開催, 2021.12.10-11.
- 森口哲朗, 小沢顕, 堀内渉, 阿部康志, 北川敦志, 向井もも, 長江大輔, 佐藤眞二, 鈴木伸司, 鈴木健, 山口貴之, 「固体水素標的を用いた反応断面積のエネルギー依存性」
- 第 7 回クラスター階層領域研究会 [東北大学電子光理学研究センター(ELPH), 2021.12.27-28]
- *森谷元, 田島裕之, 堀内渉, 飯田圭, 仲野英司, “冷中性子物質中における二体、三体アルファクラスター系の構造研究”
 - *本木英陽, 木村真明, “ 4α 微視的モデルによる ^{16}O の幾何学的構造の理解”
- 北海道地域スクール [オンライン開催, 2021.2.15-17]
- *S. Shin, B. Zhou, and M. Kimura, “The shape of ^{13}C studied by the real-time evolution method”
 - *本木英陽, 木村真明, “The structure of 0^+ states in ^{16}O using real time evolution method”
 - *Y. Suzuki, M. Kimura, W. Horiuchi, “Correlation between N=28 magic number breaking

and monopole transition strength”

➤ 情報基盤センター「大規模シミュレーションと機械学習による原子核反応研究」,[北海道大学札幌キャンパス, 2021.11.17-19]

- *S. Shin, B. Zhou, and M. Kimura, “ α cluster resonances studied by analytic continuation in the coupling constant”
- *鈴木祥輝, 堀内渉, 木村真明, “N=28 核における変形共存現象”
- *本木英陽, 鈴木祥輝, 川合毅, 木村真明, "軽い中性子過剰核におけるクラスター形成"

5. 国際学会及び国際シンポジウムの組織

➤ 2021.3.1-5 Local Organizing Committee of “Asia-Pacific conference on Few-Body problems in physics 2020 (APFB2020)”, Kanazawa, Japan.

6. 科研費、助成金取得状況

- 鈴木祥輝, DX 博士人材フェローシップ, 2021.10-2022.03, 1,100 千円
- 本木英陽, DX 博士人材フェローシップ, 2021.10-2022.03, 1,100 千円
- S. Shin, DX 博士人材フェローシップ, 2021.10-2022.03, 1,100 千円
- 木村真明, “光核反応からのクラスター崩壊の理論研究と最高エネルギー宇宙線への応用”, 科研費新学術領域研究(研究領域提案型) 2021-2022 年度 2,000 千円
- 木村真明, “ α 非弾性散乱を用いた新しいアプローチによる炭素燃焼過程の研究”, 科研費基盤研究 C 2019-2021 年度 4,160 千円
- 木村真明, “核反応データファイル”, 科研費研究成果公開促進費 2021 年度 1,000 千円
- 木村真明, 堀内渉, “大規模シミュレーションと機械学習による原子核反応研究”, 2021 年度北海道大学情報基盤センター萌芽型共同研究 300 千円
- 堀内渉, “第一原理計算による 3 核子力効果の解明とその宇宙核反応への影響”, 科研費基盤研究 C2018-2021 年度 600 千円

7. その他の活動

<学外委員>

- 木村真明, 核理論委員会委員
- 木村真明, 大阪大学原子核研究センター 研究計画検討専門委員会委員
- 木村真明, 大阪大学原子核研究センター B-PAC 委員
- 木村真明, 京都大学基礎物理学研究所 共同利用運営委員会委員

- 木村真明, Progress of Theoretical and Experimental Physics、編集委員
- 木村真明, Chinese Physics C 編集委員

<集中講義>