

令和元年6月5日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05094

研究課題名(和文) 中重不安定核の統一的記述による殻進化の解明

研究課題名(英文) Elucidating shell evolution in terms of a unified description of medium-heavy unstable nuclei

研究代表者

宇都野 穰 (UTSUNO, Yutaka)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 先端基礎研究センター・研究主幹

研究者番号：10343930

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：質量数40-60領域および質量数100-130領域に対する大規模殻模型計算を行い、複雑な多体状態における殻構造の変化(殻進化)の影響を見出し、殻進化の普遍性を明らかにした。質量数40-60領域については、殻進化描像に基づく正確な一粒子準位を用いることによって、準位密度のパリティ平衡と低励起状態の正パリティ優位性を初めて両立して記述することに成功し、精度の良いベータ崩壊半減期およびガモフテラー遷移強度分布を得た。質量数100-130領域については、 $h_{11/2}$ 軌道準位の変化を正しく記述し、この軌道が重要な役割を果たすカイラルバンドと呼ばれる集団運動状態を再現することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中性子過剰核における殻進化を、正確な多体相関を取り入れた計算に基づいて解き明かす研究はこれまでかなり限られていたため、殻進化の定量的理解に大きな不確実性があり、その核構造への影響の範囲もはっきりとしなかった。本研究によって、閉殻近傍の一粒子の状態だけでなく、準位密度、ベータ崩壊、集団運動など広い範囲で殻進化が重要な役割を果たしていることがわかり、中性子過剰核の統一的理解に大きく貢献した。これは、実験が困難なr過程元素合成過程についての信頼できる理論核データを提供する上でも重要である。

研究成果の概要(英文)：Performing large-scale shell-model calculations in the mass number 40-60 and 100-130 regions, we have identified the effect of varying shell structure in neutron-rich nuclei (so-called shell evolution) on complex nuclear many-body systems, and clarified the universality of shell evolution. For the mass number 40-60 region, by using appropriate single-particle levels based on the shell-evolution picture, we have simultaneously reproduced the equilibration of positive- and negative-parity level density and the dominance of positive-parity states at low energy for the first time, and obtained excellent beta-decay half-lives and Gamow-Teller strength distribution. For the mass number 100-130 region, we have well described the change of the $h_{11/2}$ orbital with changing mass number, thus successfully reproduced the chiral bands in which this orbital plays a crucial role.

研究分野：理論核物理

キーワード：殻進化 大規模殻模型計算 不安定核

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

1. 研究開始当初の背景

原子核における一粒子準位は殻構造とも呼ばれ、多体状態としての原子核構造の基礎を形成する、最も重要な構成要素であると広く認識されている。安定核近傍の殻構造は Woods-Saxon 型などのポテンシャル模型によってよく記述されてきたが、近年、研究が急速に発展している不安定核では、魔法数の消滅や新魔法数の出現など、従来のポテンシャル描像では理解できない現象が知られるようになってきた。こうした新現象から、安定核から不安定核へと核子数が変化するにつれ、有効核力の性質にしたがって殻構造が変化するという、殻進化という概念が提唱されている。殻構造を引き起こす有効核力のうち、スピン軌道分離エネルギーを大きく変化させる、テンソル力の役割に注目が集まっている。テンソル力によって、閉殻近傍の一粒子準位が支配的と考えられる状態のエネルギー準位が核子数に応じて変化する様子はよく記述されるようになったものの、こうした状態は本当に一粒子状態であるのか、閉殻から離れた原子核における殻進化もテンソル力によって統一的に記述できるのか、など、殻進化描像を確立するにはまだ多くの課題が残されている。

2. 研究の目的

本研究では、従来の一粒子描像の枠組みを超え、多体相関を適切に取り入れた核構造計算に基づいて不安定核の殻構造を明らかにすることを旨とする。特に、多体相関を複雑な形で反映している実験データにおける殻構造の影響を明らかにする。また、こうした不安定核の殻構造が、テンソル力を取り入れた有効核力によって、陽子数、中性子数が 82 以下の中重核をカバーする広い質量領域に対して統一的に記述できるかどうかを調べる。こうした中重核領域の核構造を統一的に記述するために必要な多体問題の手法を進展させる。

3. 研究の方法

原子核の多体問題の記述には、大規模殻模型計算を用いた。殻模型計算とは、フェルミ面近傍の核子が占有している軌道をバレンス殻とし、バレンス殻内の量子多体問題をハミルトニアン行列の対角化によって正確に取り扱う手法である。バレンス殻として 1 主殻以上の大きなものを取ることで、原子核の変形など多くの状態を統一的に取り扱えるようにした大規模な計算を特に大規模殻模型計算と呼ぶ。本研究では、具体的な研究対象として、(1)質量数 40-60 程度の pf 殻領域に対し、異常パリティ軌道である 1s0d 殻と 2s1d0g 殻を含む大きなバレンス殻を採った大規模殻模型計算によってこれら異常パリティ軌道の役割を解明すること、(2)質量数 100-130 程度の中重核領域に対し、陽子数、中性子数とも 50 から 82 までカバーする 1 主殻を採った大規模殻模型計算によって異常パリティ軌道である $h_{11/2}$ 軌道の殻進化を解明することを目的とする計算を行った。どちらのケースについても、殻進化を記述する上で重要な陽子・中性子間相互作用として、普遍的な中心力、スピン軌道力、テンソル力として提案されている V_{MU} 相互作用を用い、その普遍的記述能力を調べた。

4. 研究成果

(1) pf 殻領域

準位密度のパリティ平衡と異常パリティ軌道との関係 (論文)

^{58}Ni では、陽子、中性子ともに pf 殻のおよそ半分まで詰まり、フェルミ面が異常パリティ軌道である 1s0d 殻と 2s1d0g 殻から離れているため、負パリティ状態が 4 MeV 以下には出現しない。それにも関わらず、最近の実験によって、励起エネルギーが 8 MeV 程度まで上がると正パリティ状態と負パリティ状態の準位密度がほぼ同じになる (パリティ平衡) という理解しにくい現象が知られている。実際、これまでの準位密度計算では、このように低い励起エネルギーにおけるパリティ平衡を再現することができなかった。この一見矛盾する両者の性質を大規模殻模型計算によって再現できるかを確かめるため、本研究ではバレンス殻として sd-pf-sdg 殻を取り、 ^{58}Ni の低励起準位構造と準位密度を計算した。そのためには、100 億次元を超えるハミルトニアン行列の固有状態を求めることが必要となるが、従来のランチョス法による直接対角化法ではこのような巨大行列に対する準位密度の計算が不可能なため、この研究では新たに固有値分布を確率的に得る新しい手法を開発した。計算の結果、異常パリティ軌道の一粒子エネルギーを特徴づける低励起状態の分光学的因子と、8 MeV 以上の準位密度を両立して記述することに成功した (図 1)。殻構造と核子間相関の競合を強く反映するパリティ平衡を正しく記述したことにより、大規模殻模型計算がこの両者を適切に取り扱うことができることを確かめた。

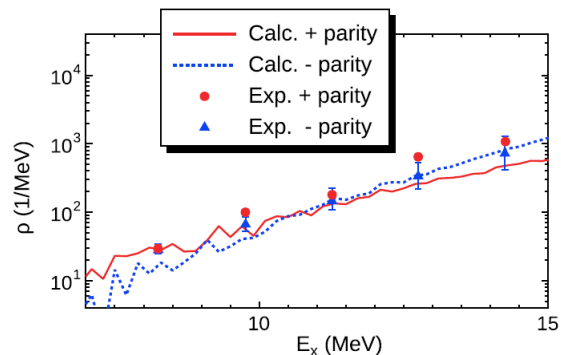


図 1 ^{58}Ni における準位密度 (縦軸) の励起エネルギー (横軸) 依存性。丸と三角はそれぞれ 2^+ および 2^- に対する実験データで、実線と破線はそれらに対応する計算値。

質量数 40 領域における中性子過剰核のベータ崩壊の系統的計算 (論文,)

ベータ崩壊は通常、ガモフテラー遷移と呼ばれるスピン演算子の行列要素が支配的であることが知られている。この遷移は、スピン軌道パートナー両方の一粒子状態への遷移を引き起こすことから、スピン軌道分離エネルギーに関する有用な情報を与える。本研究では、質量数 40 領域の中性子過剰核 78 核種のベータ崩壊半減期と遅発中性子放出確率を大規模殻模型計算によって計算し、そこから殻進化を含む有効核力の影響を調べた。まず、半減期の実験値がある 40 核種について、実験値と計算値との半減期の比を調べたところ、計算値は実験値を平均約 1.5 倍の精度で再現していることがわかった (図 2)。従来の計算の精度は約 3 倍であり、大規模殻模型計算によって精度が著しく改善することがわかった。その計算結果をもとに、ガモフテラー遷移の強度分布を調べた結果、親核が偶偶核の中性子過剰核では、低励起状態にガモフテラー遷移強度が比較的大きなピークが出現するが、奇核や奇奇核ではこのピークが出現しないという新たな知見が得られた。また、ガモフテラー巨大共鳴のピークエネルギーは、半減期の大小を決める大きな要因であることが知られているが、このピークエネルギーはスピン軌道分離エネルギーに強く支配されていることが確かめられた。本計算によって精度の高い半減期が得られたことから、スピン軌道分離エネルギーを含む殻進化が、採用された有効核力によってよく記述されることが確かめられた。

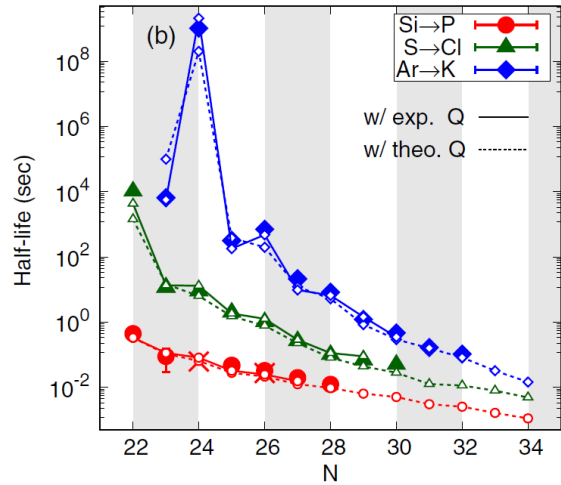


図 2 中性子過剰シリコン、硫黄、アルゴン同位体の半減期 (縦軸)。横軸は中性子数。塗りつぶしたシンボルが実験値、実線が計算で得られたベータ崩壊強度分布から求めた半減期 (Q 値は実験値を用いた) を表す。

その他の成果

国内外の実験グループと共同研究を行い、中性子過剰核領域における殻進化に関する知見を得るのに貢献した。例えば、論文 では、 $1p$ 軌道間の大きなスピン軌道分離エネルギー (中性子数 32 の殻ギャップ) が ^{50}Ar でも保たれていることを、第一励起エネルギーにおける実験と計算の一致から明らかにするとともに、中性子数 34 の殻ギャップは、カルシウムから陽子数を減らすにつれ増大するという予言を与えた。論文 では、 ^{49}Ca において $g_{9/2}$ 軌道が pf 殻付近に下がっていることから、 $9/2^+$ 状態の中に比較的大きな $g_{9/2}$ 軌道成分があることを分光学的因子から明らかにした。また、本研究の計算は、 pf 殻領域の中性子過剰核の構造をよく記述することから、殻進化以外の研究目的にも適用されている。論文 では、 ^{48}Ca の二重ベータ崩壊行列要素をこれまでの研究よりも大きな模型空間で計算し、より信頼性の高い値を提供した。本研究によって、 pf 殻の原子核に対して完全な $1\hbar\omega$ 励起を取り入れた殻模型計算が可能になったことに着目し、 $1\hbar\omega$ 励起が主要な要素である電気双極子遷移の計算も進行中である。

(2) 質量数 100-130 領域

質量数が 100 程度になると、原子核は集団運動の性質を強く持つようになる一方、閉殻近傍では一粒子状態に支配された状態も見られ、多彩な核構造が出現することが知られている。本研究では、殻進化の観点から、一粒子状態と集団運動との間の相互作用を明らかにすることを目的とした殻模型計算を行った。まず、陽子数が 51 のアンチモン同位体、中性子数が 81 の同調体では、それぞれ陽子の一粒子、中性子の一空孔に強く支配された状態が低励起状態に出現するが、そこでは核子間相関の寄与もあるため、実験データからすぐに殻進化を引き出すことはできない。大規模殻模型計算によってこれらのエネルギー準位を計算した結果、アンチモン同位体と中性子数 81 の同調体の低励起エネルギー準位を系統的に再現することができ、この領域の殻進化が、採用された有効核力によってよく記述されることを確かめた。さらに、この大規模殻模型計算をカイラルバンドと呼ばれる集団運動の記述に適用した研究を行った。カイラル

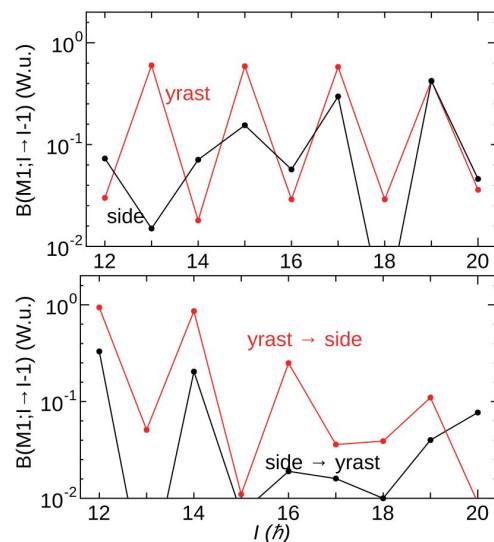


図 3 ^{128}Cs で知られているカイラルバンドの磁気双極子遷移行列要素の計算値。横軸は始状態の角運動量。上図は 2 つのカイラルバンド内、下図はバンド間遷移を表す。

バンドは、偶偶核のコアと $h_{11/2}$ 軌道の陽子、 $h_{11/2}$ 軌道の中性子空孔が結合してできた集団運動状態であり、異常パリティ軌道である $h_{11/2}$ 軌道が重要な役割を果たしている。カイラルバンドを持つとされる代表的な原子核である ^{128}Cs において、磁気双極子遷移行列要素を計算した結果、図3に示すように、カイラルバンドを特徴づけるジグザグ型の磁気双極子遷移行列要素の値が得られた。現在、セシウム同位体に対する系統的な計算が進行中であり、カイラルバンドが見られない中性子数 82 付近の同位体とカイラルバンドが出現する $^{128,130}\text{Cs}$ の構造を統一的に記述できるかどうかを調べている。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 17 件)

Md. S. R. Laskar, S. Saha, R. Palit, S. N. Mishra, N. Shimizu, Y. Utsuno, E. Ideguchi, Z. Naik, F. S. Babra, S. Biswas, S. Kumar, S. K. Mohanta, C. S. Palshetkar, P. Singh, and P. C. Srivastava, g-factor measurement of the 2738 keV isomer in ^{135}La , Phys. Rev. C 99, 014308-1-6 (2019) 、[査読有](#)

DOI: 10.1103/PhysRevC.99.014308

I. Murray, M. MacCormick, D. Bazin, P. Doornenbal, N. Aoi, H. Baba, H. Crawford, P. Fallon, K. Li, J. Lee, M. Matsushita, T. Motobayashi, T. Otsuka, H. Sakurai, H. Scheit, D. Steppenbeck, S. Takeuchi, J. A. Tostevin, N. Tsunoda, Y. Utsuno, H. Wang, and K. Yoneda, Spectroscopy of strongly deformed ^{32}Ne by proton knockout reactions, Phys. Rev. C 99, 011302(R)-1-7 (2019) 、[査読有](#)

DOI: 10.1103/PhysRevC.99.011302

R. Orlandi, S.D. Pain, S. Ahn, A. Jungclaus, K.T. Schmitt, D.W. Bardayan, W.N. Catford, R. Chapman, K.A. Chipps, J.A. Cizewski, C.G. Gross, M.E. Howard, K.L. Jones, R.L. Kozub, B. Manning, M. Matos, K. Nishio, P.D. O'Malley, W.A. Peters, S.T. Pittman, A. Ratkiewicz, C. Shand, J.F. Smith, M.S. Smith, T. Fukui, J.A. Tostevin, and Y. Utsuno, Neutron-hole states in ^{131}Sn and spin-orbit splitting in neutron-rich nuclei, Phys. Lett. B 785, 615-620 (2018) 、[査読有](#)

DOI: 10.1016/j.physletb.2018.08.005

S. Yoshida, Y. Utsuno, N. Shimizu, and T. Otsuka, Systematic shell-model study of β -decay properties and Gamow-Teller strength distributions in $A \approx 40$ neutron-rich nuclei, Phys. Rev. C 97, 054321-1-17 (2018) 、[査読有](#)

DOI: 10.1103/PhysRevC.97.054321

Z.Y. Xu, H. Heylen, K. Asahi, F. Boulay, J.M. Daugas, R.P. de Groote, W. Gins, O. Kamalou, A. Koszorus, M. Lykiardopoulou, T.J. Mertzimekis, G. Neyens, H. Nishibata, T. Otsuka, R. Orset, A. Poves, T. Sato, C. Stodel, J.C. Thomas, N. Tsunoda, Y. Utsuno, M. Vandebrouck, and X.F. Yang, Nuclear moments of the low-lying isomeric 1^+ state of ^{34}Al : Investigation on the neutron $1p_{1h}$ excitation across $N=20$ in the island of inversion, Phys. Lett. B 782, 619-626 (2018) 、[査読有](#)

DOI: 10.1016/j.physletb.2018.06.009

D. Steppenbeck, S. Takeuchi, N. Aoi, P. Doornenbal, M. Matsushita, H. Wang, H. Baba, S. Go, J. D. Holt, J. Lee, K. Matsui, S. Michimasa, T. Motobayashi, D. Nishimura, T. Otsuka, H. Sakurai, Y. Shiga, P.-A. Söderström, S. R. Stroberg, T. Sumikama, R. Taniuchi, J. A. Tostevin, Y. Utsuno, J. J. Valiente-Dobón, and K. Yoneda, Structure of ^{55}Sc and development of the $N=34$ subshell closure, Phys. Rev. C 96, 064310-1-10 (2017) 、[査読有](#)

DOI: 10.1103/PhysRevC.96.064310

S. Momiyama, P. Doornenbal, H. Scheit, S. Takeuchi, M. Niikura, N. Aoi, K. Li, M. Matsushita, D. Steppenbeck, H. Wang, H. Baba, E. Ideguchi, M. Kimura, N. Kobayashi, Y. Kondo, J. Lee, S. Michimasa, T. Motobayashi, N. Shimizu, M. Takechi, Y. Togano, Y. Utsuno, K. Yoneda, and H. Sakurai, In-beam γ -ray spectroscopy of ^{35}Mg via knockout reactions at intermediate energies, Phys. Rev. C 96, 034328-1-8 (2017) 、[査読有](#)

DOI: 10.1103/PhysRevC.96.034328

N. Shimizu, T. Abe, M. Honma, T. Otsuka, T. Togashi, Y. Tsunoda, Y. Utsuno, and T. Yoshida, Monte Carlo shell model studies with massively parallel supercomputers, Phys. Scr. 92, 063001-1-19 (2017) 、[査読有](#)

DOI: 10.1088/1402-4896/aa65e4

P. Doornenbal, H. Scheit, S. Takeuchi, Y. Utsuno, N. Aoi, K. Li, M. Matsushita, D. Steppenbeck, H. Wang, H. Baba, E. Ideguchi, N. Kobayashi, Y. Kondo, J. Lee, S. Michimasa, T. Motobayashi, T. Otsuka, H. Sakurai, M. Takechi, Y. Togano, and K. Yoneda, Low- Z shore of the “island of inversion” and the reduced neutron magicity toward ^{28}O , Phys. Rev. C 95, 041301(R)-1-5 (2017) 、[査読有](#)

DOI: 10.1103/PhysRevC.95.041301

H. N. Liu, J. Lee, P. Doornenbal, H. Scheit, S. Takeuchi, N. Aoi, K. A. Li, M. Matsushita, D. Steppenbeck, H. Wang, H. Baba, E. Ideguchi, N. Kobayashi, Y. Kondo, G. Lee, S. Michimasa, T. Motobayashi, A. Poves, H. Sakurai, M. Takechi, Y. Togano, J. A. Tostevin, and Y. Utsuno, Intruder configurations in the ground state of ^{30}Ne , Phys. Lett. B 767, 58-62 (2017)、[査読有](#)

DOI: 10.1016/j.physletb.2017.01.052

V. Tripathi, R. S. Lubna, B. Abromeit, H. L. Crawford, S. N. Liddick, Y. Utsuno, P. C. Bender, B. P. Crider, R. Dungan, P. Fallon, K. Kravvaris, N. Larson, A. O. Macchiavelli, T. Otsuka, C. J. Prokop, A. L. Richard, N. Shimizu, S. L. Tabor, A. Volya, and S. Yoshida, β decay of $^{38,40}\text{Si}$ ($T_z = +5, +6$) to low-lying core excited states in odd-odd $^{38,40}\text{P}$ isotopes, Phys. Rev. C 95, 024308-1-7 (2017) 、[査読有](#)

DOI: 10.1103/PhysRevC.95.024308

H. Heylen, M. De Rydt, G. Neyens, M. L. Bissell, L. Caceres, R. Chevrier, J. M. Daugas, Y. Ichikawa, Y. Ishibashi, O. Kamalou, T. J. Mertzimekis, P. Morel, J. Papuga, A. Poves, M. M. Rajabali, C. Stödel, J. C. Thomas, H. Ueno, Y. Utsuno, N. Yoshida, and A. Yoshimi, High-precision quadrupole moment reveals significant intruder component in $^{33}_{13}\text{Al}_{20}$ ground state, Phys. Rev. C 94, 034312-1-5 (2016) 、[査読有](#)

DOI: 10.1103/PhysRevC.94.034312

J. Lee, H. Liu, P. Doornenbal, M. Kimura, K. Minomo, K. Ogata, Y. Utsuno, N. Aoi, K. Li, M. Matsushita, H. Scheit, D. Steppenbeck, S. Takeuchi, H. Wang, H. Baba, E. Ideguchi, N. Kobayashi, Y. Kondo, S. Michimasa, T. Motobayashi, H. Sakurai, M. Takechi, and Y. Togano, Asymmetry dependence of reduction factors from single-nucleon knockout of ^{30}Ne at ~ 230 MeV/nucleon, Prog. Theor. Exp. Phys. 2016, 083D01-1-7 (2016) 、[査読有](#)

DOI: 10.1093/ptep/ptw096

Y. Iwata, N. Shimizu, T. Otsuka, Y. Utsuno, J. Menéndez, M. Honma, and T. Abe, Large-Scale Shell-Model Analysis of the Neutrinoless $\beta\beta$ Decay of ^{48}Ca , Phys. Rev. Lett. 116, 112502-1-6 (2016) 、[査読有](#)

DOI: 10.1103/PhysRevLett.116.112502

A. Gade, J. A. Tostevin, V. Bader, T. Baugher, D. Bazin, J. S. Berryman, B. A. Brown, D. J. Hartley, E. Lunderberg, F. Recchia, S. R. Stroberg, Y. Utsuno, D. Weisshaar, and K. Wimmer, One-neutron pickup into ^{49}Ca : Bound neutron $g_{9/2}$ spectroscopic strength at $N=29$, Phys. Rev. C 93, 031601(R)-1-5 (2016) 、[査読有](#)

DOI: 10.1103/PhysRevC.93.031601

N. Shimizu, Y. Utsuno, Y. Futamura, T. Sakurai, T. Mizusaki, and T. Otsuka, Stochastic estimation of nuclear level density in the nuclear shell model; An Application to parity-dependent level density in ^{58}Ni , Phys. Lett. B 753, 13-17 (2016) 、[査読有](#)

DOI: 10.1016/j.physletb.2015.12.005

D. Steppenbeck, S. Takeuchi, N. Aoi, P. Doornenbal, M. Matsushita, H. Wang, Y. Utsuno, H. Baba, S. Go, J. Lee, K. Matsui, S. Michimasa, T. Motobayashi, D. Nishimura, T. Otsuka, H. Sakurai, Y. Shiga, N. Shimizu, P.-A. Söderström, T. Sumikama, R. Taniuchi, J. J. Valiente-Dobón, and K. Yoneda, Low-Lying Structure of ^{50}Ar and the $N=32$ Subshell Closure, Phys. Rev. Lett. 114, 252501-1-6 (2015) 、[査読有](#)

DOI: 10.1103/PhysRevLett.114.252501

[学会発表](計 13 件)

Y. Utsuno, S. Yoshida, N. Shimizu, and T. Otsuka, β -decay properties and Gamow-Teller strength distributions studied with shell-model calculations, Tsukuba-CCS Workshop “Microscopic Theories of Nuclear Structure and Dynamics”, Tsukuba, Japan (Dec. 10-12, 2018). [招待講演](#)

Y. Utsuno, Extending applicability of large-scale shell-model calculations, International Conference on Shapes and Symmetries in Nuclei: from Experiment to Theory (SSNET'18), Gif-sur-Yvette, France (Nov. 5-9, 2018). [招待講演](#)

宇都野穰, 大規模殻模型計算による遷移強度分布の記述: ベータ崩壊と光核反応について, 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 (2018 年 6 月 20-22 日). [招待講演](#)

Y. Utsuno, S. Yoshida, N. Shimizu, and T. Otsuka, β -decay properties and Gamow-Teller distributions in neutron-rich nuclei around $A=40$, International Conference on Nuclear Structure and Related Topics (NSRT18), Burgas, Bulgaria, (June 3-9, 2018). [招待講演](#)

Y. Utsuno, Consistent description of shell gaps and deformed states around ^{16}O and ^{40}Ca , International Conference on Frontiers in Gamma-Ray Spectroscopy (FIG18), Mumbai, India (Mar. 12-14, 2018). [招待講演](#)

Y. Utsuno, N. Shimizu, M. Honma, and T. Otsuka, Shell-model study for the $A\sim 130$ region, Shapes and Symmetries in Nuclei: from Experiment to Theory (SSNET'17), Gif-sur-Yvette, France (Nov. 6-10, 2017). [招待講演](#)

Y. Utsuno and Y. Fujita, Probing proton-neutron pairing with Gamow-Teller strengths in two-nucleon configurations, Workshop on “Probing fundamental interactions by low energy excitations—Advances in theoretical nuclear physics”, Stockholm, Sweden (June 5-9, 2017). [招待講演](#)

Y. Utsuno, Shell-model applications to gamma-ray strength function and level density, NUSPIN

2016 Workshop of the Nuclear Spectroscopy Instrumentation Network and AGATA Physics Workshop, Venice, Italy (Jun. 27 - Jul. 1, 2016). 招待講演
宇都野穰, 中性子過剰な原子核の物理, 日本物理学会第 71 回年次大会、東北学院大 (2016 年 3 月 19 日-22 日). 招待 (チュートリアル) 講演
Y. Utsuno, Large-scale shell-model calculations for low- and high-lying states, 3rd Topical Workshop on Modern Aspects in Nuclear Structure, Bormio, Italy (Feb. 22-27, 2016). 招待講演
Y. Utsuno, Large-scale shell-model study of strength function, International Symposium on "High-resolution Spectroscopy and Tensor Interactions" (HST15), Osaka, Japan (Nov. 16-19, 2015). 招待講演
Y. Utsuno, Probing shell evolution with large-scale shell-model calculations, International Collaborations in Nuclear Theory: Theory for open-shell nuclei near the limits of stability, East Lansing, USA (May 11-29, 2015). 招待講演
Y. Utsuno, Shell and shape evolution in exotic nuclei, Korean Physical Society (KPS) Spring Meeting 2015, Daejeon, Korea (Apr. 22-24, 2015). 招待講演

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：清水 則孝
ローマ字氏名：Shimizu, Noritaka
所属研究機関名：東京大学
部局名：大学院理学系研究科 (理学部)
職名：特任准教授
研究者番号 (8 桁)：30419254

(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

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。