

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24540251

研究課題名(和文)原子核の電気双極子モーメントと核力の時間反転対称性の破れ

研究課題名(英文) Nuclear Electric Dipole Moment and non-conservation of time-reversal symmetry in nuclear forces

研究代表者

吉永 尚孝 (YOSHINAGA, Naotaka)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：00192427

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：原子核の Schiff モーメントは中性反磁性原子の電気双極子モーメントを与える。本研究では Schiff モーメントを数値計算し、そこから中性原子の電気双極子モーメントを見積もった。Schiff モーメントの計算に際して、粒子の励起を1粒子1空孔励起で近似する Tam-Dancoff 近似の計算手法を確立した。計算で得られた Schiff モーメントを用い、中性原子の電気双極子モーメントを標準模型の枠組みで見積もったところ、キセノン129において 3.0×10^{-36} ecm という非常に小さな値が得られた。よってもしこの値より大きな電気双極子モーメントが実験的に観測されると、それはすなわち標準模型を超える物理の明確な証拠となる。

研究成果の概要(英文)：Nuclear Schiff moments are one of the sources which give rise to the electric dipole moment of a neutral diamagnetic atom. In this research nuclear Schiff moments are calculated numerically and the electric dipole moment is estimated. For the calculation of nuclear Schiff moments, a Tamm-Dancoff like method is established. The electric dipole moment of ^{129}Xe isotope is estimated as 3.0×10^{-36} ecm in the framework of the Standard Model in elementary particle physics. If a larger electric dipole moment is observed, it provides prominent evidence for new physics beyond the Standard Model.

研究分野：原子核理論物理学

キーワード：電気双極子モーメント Schiff モーメント 原子核構造 殻模型 核子対模型 キセノンアイソトープ

1. 研究開始当初の背景

電気双極子モーメント(EDM)は粒子の電荷分布の偏りを示す量であり、基本粒子が EDM を持つということは、時間反転対称性 T の破れを意味する。現在の相対論的場の理論では T 対称性の破れは、即 CP 対称性の破れ、すなわち荷電共役 C とパリティ P の積が破れることを意味する。弱い相互作用では CP 対称性は破れていることが知られているので、T 対称性も破れていると考えられる。ただ、実験的にはこの破れは非常に小さく、実際、小林・益川行列をベースにする標準模型によると、現在の技術では到底測定できないほど小さな中性子 EDM (10^{-31} ecm 程度)を予言する。一方、標準模型を越える超対称性理論の幾つかでは、現在の実験で十分測定可能な EDM を予言するため、基本粒子がどのくらいの大さの EDM を持つかということは、将来の素粒子理論に対しきわめて重要な制限を与える。

原子核が点状であれば原子に一樣な電場をかけた場合には、原子核の外場を打ち消すように原子中の電子配位は変位し、原子の EDM の検出は妨げられる(シッフの定理)。しかし、大きさが有限な原子核が変形しており、電荷分布あるいは核子の固有 EDM の分布が等方的でなければ、原子核はシッフモーメントと呼ばれるモーメントを通じ、原子に EDM を生み出させることになる。原子核のシッフモーメントは、原子核が点状粒子から大きくずれている場合、すなわち重い原子核や四重極変形をしている場合には、そうでない場合に比べ非常に大きくなり、さらに八重極変形をしている場合には効果が数千倍にもなると考えられている。現在、原子核のシッフモーメントの理論研究は、海外のいくつかの研究グループにより行われている。しかしながら、これらの研究すべてが平均場近似に基づいて行われており、信頼性は高くない。原子の EDM の探索実験は、海外では ^{129}Xe や ^{199}Hg などの限られた原子でしか実験が行われておらず、上限値 ($^{129}\text{Xe}: 4.1 \times 10^{-27}$ ecm, $^{199}\text{Hg}: 3.1 \times 10^{-29}$ ecm) が得られているに過ぎない。国内でも、東京工業大学の旭教授率いるグループが ^{129}Xe 原子に対してのみ測定を始めている。この状況で、どの原子で大きな EDM の観測値が得られるかの理論的予想は未だはっきりせず、平均場を越えた理論によるシッフモーメントの系統的な精密計算が必要とされている。

研究代表者等は、核子を完全に微視的に扱うと同時に、核子間相互作用の回転不変性、粒子数不変性を一切破らない核子対殻模型を提案・発展させてきた。質量数が 100 以上の奇核や奇奇核は理論的な取り扱いが難しく、半古典的アプローチや現象論的アプローチを用いた研究しか行われてこなかったが、この枠組みにより初めて奇核・奇奇核のエネルギー準位や電磁遷移を統一的・定量的に議論することが可能となった。この枠組みによ

り得られた波動関数を用いて、質量数 130 領域のおよびシッフモーメントを系統的に計算した。ただし、これらの理論的予言値は核子固有の EDM の存在を仮定したものであり、パリティと時間反転対称性 (PT) の破れを持つ二体力によって生じるシッフモーメントを系統的に計算する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、原子核のシッフモーメントを系統的に計算し、どの原子で EDM が大きくなるかを、数値計算を通じ明らかにすることである。この計算には原子核波動関数の精度が要求されるため、核子自由度に基づく微視的理論により計算された、原子核のエネルギー準位・電磁遷移等の実験値を再現する波動関数を用いなければならない。本研究では、質量数 130 領域 (^{129}Xe 周辺)、質量数 200 領域 (^{199}Hg 周辺) および質量数 220 領域 (^{225}Ra 周辺) の原子核に対して、PT 対称性の破れを持つ二体力によって生じるシッフモーメントの数値解析を実行する。質量数が 100 以上の原子核では、核子の一粒子エネルギーの特徴的な変化(核構造の進化)や、高スピン軌道にある中性子と陽子によって作られたと考えられるエネルギー的にほぼ縮退した 2 つの回転バンド(ダブルットバンド)などが観測されており、シッフモーメントの計算に用いる原子核波動関数を求める段階で、これらの多様な原子核構造も明らかにする。

原子の EDM についての理論的予言はほとんどなされていないため、実験では ^{129}Xe や ^{199}Hg などの限られた原子でしか研究が行われておらず、これらの原子で本当に大きな EDM が得られるかは分かっていない。本研究では、質量数 130 領域、質量数 200 領域、質量数 220 領域に対して原子の EDM と原子核のシッフモーメントとの関係を明らかにする。本研究により理論的予言が行われれば、どの原子で EDM の実験を行うべきかの示唆を与えることができる。

本研究の特色の一つは、今まで理論的枠組みに進展がみられなかった質量数 100 以上の偶偶核・奇核・奇奇核に対し、平均場理論を超えた枠組みにより原子核構造の研究を行うことにある。重い原子核領域の奇核・奇奇核に対して、完全に核子からなる微視的な理論で、しかも相互作用の回転対称性、粒子数不変性を破らない枠組みを適用した例は世界的に見当たらない。

質量数が 100 以上の原子核では完全な殻模型計算は到底不可能であるので、重い原子核に対して信頼できる理論は核子対殻模型のみである。このため、本研究の成果は原子核構造の精密計算が必要な、中性子過剰核での速い中性子捕獲反応による元素合成、核分裂生成物の性質解明への応用としても重要な役割を果たす。さらに、理化学研究所の R I ビームファクトリーにより、重い原子核領域

でも新しい原子核が続々と生成され、多くの興味深い現象が観測される。これらの原子核構造の解明にも本研究の成果が十分活かされ、学術的・社会的貢献も大きい。

現在まで、原子核のシッフモーメントの理論的予言は平均場近似に基づいた研究しか行われてこなかった。核子対殻模型は偶偶核・奇核・奇奇核を同じ枠組みで扱うことができるため、幅広い核種のエネルギー準位や電磁遷移を再現することにより有効相互作用にかなりの制限が加わる。これにより、現実の原子核をよく再現する低エネルギー状態の波動関数が得られ、信頼性が高い原子核のシッフモーメントを求めることができる」と期待される。

素粒子の標準理論では、中性子固有の EDM の概算予想値が与えられているが、中性子が不安定なため実験的な測定は困難が伴う。本研究は原子の EDM と核子固有の EDM の関係を結びつけるものであり、実験で原子の EDM の測定値が得られると、本研究の結果から核子の EDM を予測することも可能である。本研究の結果と標準理論で予言されている結果を比較することにより、標準理論を検証できると共に、新しい物理学の必要性を示す契機になると期待される。

3. 研究の方法

原子核は陽子と中性子が共に魔法数と呼ばれる特定の数のときに安定になり、陽子数と中性子数が魔法数から離れた原子核の低エネルギー状態は、安定な原子核に幾つかの陽子と中性子を付加した構造により説明できる。殻模型は安定な原子核の周りにある陽子と中性子の占める状態を幾つかの一粒軌道に制限し、原子核を記述する理論である。質量数が軽い原子核において、殻模型は原子核構造を明らかにする非常に強力な手法であるが、質量数が 100 以上の中重核では配位の数が大きくなってしまい、現在の計算機では数値解析は不可能である。そこで本研究では、全殻模型空間を集団運動核子対によって作られる空間に制限して殻模型計算を行う核子対殻模型を用いると共に、新たに殻模型の枠組みを重い原子核へも適用できるようにして改良した。

本研究では、殻模型および核子対殻模型により重い原子核の励起メカニズムの数値解析を実行し、計算で得られた原子核波動関数を用いて原子の EDM を系統的に計算する。研究代表者等は、既に核子対殻模型により質量数 130 領域の原子核のエネルギー準位や電磁遷移を再現することに成功し、精密な原子核の波動関数を用意できる。そこで原子核の EDM を計算するプログラムコードを開発し、それにより原子の EDM の数値解析を実行する。質量数 200 領域、質量数 220 領域等の他の領域の原子核については、従来の核子対殻模型の枠組みを拡張し、偶偶核・奇核・奇奇核の数値解析を実行する。このとき、幅広い

領域のエネルギー準位・電磁遷移・電磁モーメントの実験値を再現できるように有効相互作用を決定し、波動関数を解析することで原子核構造を解明する。

原子核のシッフモーメントは、核子が持つ固有の EDM から生じる寄与と、PT を破る二体相互作用により生じる寄与がある。このうち、核子固有の EDM からの寄与については領域の原子核に対して系統的な数値解析を実行している。そこで本研究では、PT を破る相互作用により生じるシッフモーメントを摂動論で計算する枠組みを構築する。この枠組みを構築した後、既に原子核構造の系統的な数値解析を実行している質量数 130 領域の精密な原子核波動関数を用い、シッフモーメントの 2 種類の寄与を計算し、現在のシッフモーメントの実験値を説明するためには PT を破る相互作用の強さがどれほど小さくならなければならないか、核子固有の EDM からの寄与の大きさはどれほどか、どの原子核でシッフモーメントが大きくなるかの理論的予言を与える。

本研究では、上述の理論的枠組みを整備することと並行して、従来の核子対殻模型の数値解析では用いられなかった核子対を取り入れた、計算コードの拡張を行う。この拡張により広い配位空間を扱うことが可能になり、低エネルギー状態において殻模型計算とほぼ一致する計算結果を得られると期待される。次に、この新しい核子対殻模型により質量数 200 領域での有効相互作用を求める。質量数が 100 以上の原子核での有効相互作用の研究はほとんど行われておらず、G 行列による取り扱いも現実的ではないので、相互作用を多重極展開した形でパラメータをなるべく少なくし取り扱う。このように決定された有効相互作用をそのまま奇奇核に応用する。もし、奇奇核のエネルギー準位および電磁遷移がよく再現できない場合は、偶偶核・奇核での相互作用が適当でなかったと考えられるので、最初の段階に戻り作業を繰り返す。こうして質量数 200 領域の偶偶核・奇核・奇奇核を統一的に再現できる有効相互作用が自然に得られる。この方法により、現実の原子核をよく再現する波動関数が得られ、シッフモーメントの系統的な計算が可能になる。

質量数 220 領域 (^{225}Ra 周辺) の原子核構造の数値解析を行う。この領域では八重極変形が原子核の低エネルギー状態に現れることが知られており、シッフモーメントにおいても、八重極変形をしている場合には効果が数千倍にもなると考えられているため、この変形を考慮することが必要不可欠である。しかしながら、これまでの核子対殻模型による研究では、八重極変形の効果を考慮した数値解析は行われていなかった。そこで、八重極変形の効果を取り入れた核子対殻模型の開発を行い、質量数 220 領域の原子核構造の数値解析を実行する。また、大きく変形した原

子核は核子対殻模型の適用が困難であることから、実験値を再現できない可能性がある。そこで、生成座標法を整備して、数値解析を実行し、核子対殻模型と比較することにより、生成座標法の計算結果の妥当性を確かめる。生成座標法は核子自由度に基づく微視的で、半古典的な描像を持つ量子力学的多体理論であると共に、原子核の集団運動と単一粒子運動を同時に記述する強力な理論である。生成座標法では、原子核の変形に応じた平均場模型の波動関数を用意し、角運動量射影を行うことで基底ベクトルを生成する。

4. 研究成果

(1) 殻模型計算プログラムの拡張、及び原子核構造の解析

質量数が100以上の重い原子核の数値解析は、これまで配位数を制限した計算しか行われてこなかった。そこで重い原子核の計算が行えるよう殻模型計算プログラムの拡張を行った。この枠組みを用いて、質量数130領域 (Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba アイソトープ) の原子核のエネルギー準位を系統的に再現する有効相互作用の設定を行った。その際、多重極相互作用や一粒子エネルギーの粒子数依存性を導入し、ただ一つの相互作用で偶偶核・奇核・奇奇核すべての原子核を良く再現することに成功した。次に得られた波動関数を用い、原子核の性質を表す電磁遷移確率やモーメントを計算し、それらが実験値を良く再現していることを確認し、実験値が無い場合についてはその値の予測値を与えた。また原子核の波動関数を核子の集団運動対を用いて近似する核子対殻模型、及びすべての配位を考慮する殻模型を併用することにより、波動関数の詳細な解析を行った。特に、この領域に多く存在するナノセカンド以上の半減期をもつ原子核の励起状態であるアイソマー状態に対する解析を行った。アイソマーの出現機構の一因として、アイソマー状態とその電磁遷移先の状態の二つの波動関数が大きく異なることが挙げられるが、本研究ではアイソマー状態とその遷移先の波動関数を詳細に解析・比較し、原子核の構造の変化がどのように起こっているかを解析した。その結果それぞれのアイソマー状態ごとに、核子の整列の影響や核子の組む配位の差異など様々な理由が重なり、アイソマーになっていることを突き止めた。本研究成果は誌上論文としてまとめられている。また、国際会議や学会等で発表している。

(2) Xe アイソトープのシッフモーメント及びEDMの評価

シッフモーメントの計算は今までの研究で用いてきた核子対殻模型に加え、研究(1)で得られた殻模型の波動関数を用いた。この計算に際しては、2次の摂動論でエネルギー分母を定数で置き換える近似(クロージャー近似)を行った。また演算子による核子の励

起を1粒子1空孔励起で近似する計算手法を確立し計算コードを作成した。さらに今まで考慮していなかった、核子がすべて詰まっている状態(閉殻)からの核子の励起の影響を取り入れた。その結果、空いている上の軌道へ核子が励起する影響よりも、原子核の閉殻から核子が励起する影響が約10倍大きいことがわかった。また核子がどの軌道からどの軌道へ励起しているのかを解析したところ、励起の軌道依存性が大きいことも分かった。さらに計算で得られたシッフモーメントを用い、反磁性原子のEDMを標準模型の枠組みで見積もったところ、 ^{129}Xe において $3.0 \times 10^{-36} \text{ ecm}$ という値が得られた。この値より大きなEDMが実験的に観測されると、標準模型を超える物理の明確な証拠となる。逆にGlobal analysisという方法を用いて、パリティと時間反転対称性を破る核子間二体相互作用(パイ中間子による核子間有効核相互作用)の強さを見積もることができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計16件)

E. Teruya, N. Yoshinaga, K. Higashiyama, Large-scale shell-model calculation of nuclei around mass 210, Physical Review C, 査読有、掲載決定

E. Teruya, N. Yoshinaga, K. Higashiyama, A. Odahara, Shell-model calculations of nuclei around mass 130, Physical Review C, 査読有, Vol.92, 2015, pp.034320/1-29
DOI: 10.1103/PhysRevC.92.034320

Eri Teruya, Naotaka Yoshinaga, Koji Higashiyama, Shell model estimate of electric dipole moments in medium and heavy nuclei, EPJ Web of Conferences, 査読有, Vol.93, 2015, pp.01008/1-4
DOI: 10.1051/epjconf/20159301008

N. Yoshinaga, K. Higashiyama, D. Taguchi, E. Teruya, Neutrinoless double beta nuclear matrix elements around mass 80 in the nuclear shell-model, EPJ Web of Conferences, 査読有, Vol.93, 2015, pp.01055/1-4
DOI: 10.1051/epjconf/20159301055

Koji Higashiyama, Naotaka Yoshinaga, Eri Teruya, Generator Coordinate Method Analysis of Xe and Ba Isotopes, JPS Conference Proceedings, 査読有, Vol.6, 2015, pp.030050/1-4
DOI: 10.7566/JPSCP.6.030050

Eri Teruya, Naotaka Yoshinaga, Koji Higashiyama, Shell Model Estimate of Electric Dipole Moments for Xe Isotopes, JPS Conference

Proceedings、査読有、Vol.6、2015、
pp.030069/1-4
DOI: 10.7566/JPSCP.6.030069

Naotaka Yoshinaga、Koji Higashiyama、
Eri Teruya、
Neutrinoless Double Beta Nuclear Matrix
Elements Around Mass 80 in the Nuclear
Shell Model、JPS Conference Proceedings、
査読有、Vol.6、2015、pp.030072/1-4
DOI: 10.7566/JPSCP.6.030072

N. Yoshinaga、K. Higashiyama、R. Arai、
E. Teruya、
Nuclear electric dipole moments for the
lowest $1/2^+$ states in Xe and Ba isotopes、
Physical Review C、査読有、Vol.89、2014、
pp.045501/1-7
DOI: 10.1103/PhysRevC.89.045501

Koji Higashiyama、Naotaka Yoshinaga、
Shell model description of low-lying
states in Po and Rn isotopes、EPJ Web of
Conferences、査読有、Vol.66、2014、
pp.02050/1-4
DOI: 10.1051/epjconf/20146602050

Koji Higashiyama、Naotaka Yoshinaga、
Application of the generator coordinate
method to neutron-rich Se and Ge
isotopes、EPJ Web of Conferences、査読
有、Vol.66、2014、pp.02051/1-4
DOI: 10.1051/epjconf/20146602051

E. Teruya、N. Yoshinaga、K. Higashiyama、
Shell model estimate of electric dipole
moments in medium and heavy nuclei、EPJ
Web of Conferences、査読有、Vol.66、2014、
pp.05023/1-4
DOI: 10.1051/epjconf/20146605023

Kazuko Sugawara-Tanabe、Kosai Tanabe、
Naotaka Yoshinaga、

Analysis of the triaxial, strongly
deformed bands in odd-odd nucleus ^{164}Lu
with the tops-on-top model、Progress of
Theoretical and Experimental Physics、
査読有、Vol.063D01、2014、pp.1-17
DOI: 10.1093/ptep/ptu088

N. Fotiades 他、計 11 名、K. Higashiyama
(3 番目) N. Yoshinaga (4 番目)、
Medium-spin states in ^{135}Cs 、Physical
Review C、査読有、Vol.88、2013、
pp.064315/1-5
DOI: 10.1103/PhysRevC.88.064315

Koji Higashiyama、Naotaka Yoshinaga、
Pair-truncated shell-model analysis
for doubly-odd nuclei around mass 130、
Physical Review C、査読有、Vol.88、2013、
pp.034315/1-14
DOI: 10.1103/PhysRevC.88.034315

Y. Toh 他、計 21 名、K. Higashiyama (20
番目) N. Yoshinaga (21 番目)、
Evidence for rigid triaxial deformation
at low energy in ^{76}Ge 、Physical Review

C、査読有、Vol.87、2013、pp. 041304/1-19
DOI: 10.1103/PhysRevC.87.041304

N. Yoshinaga、K. Higashiyama、R. Arai、
E. Teruya
Nuclear Schiff moments for the lowest
 $1/2^+$ states in Xe isotopes、Physical
Review C、査読有、Vol.87、2013、pp.
044332/1-8
DOI: 10.1103/PhysRevC.87.044332

[学会発表](計 45 件)

吉永尚孝、東山幸司、照屋絵理、
質量数 80 領域における 2 ニュートリノベ
ータ崩壊の核行列要素、日本物理学会第
71 回年次大会、2016 年 3 月 22 日、東北学
院大学(宮城県・仙台市)

東山幸司、吉永尚孝、照屋絵理、
質量数 100 領域の原子核の殻模型計算、日
本物理学会第 71 回年次大会、2016 年 3 月
22 日、東北学院大学(宮城県・仙台市)

照屋絵理、吉永尚孝、東山幸司、
 ^{208}Pb 周辺核の殻模型計算、日本物理学会
第 71 回年次大会、2016 年 3 月 22 日、東
北学院大学(宮城県・仙台市)

海浦雪子、吉永尚孝、東山幸司、
八重極相互作用を入れた Rn、Ra 同位体の
殻模型計算、日本物理学会第 71 回年次大
会、2016 年 3 月 22 日、東北学院大学(宮
城県・仙台市)

柳瀬宏太、吉永尚孝、仲野英司、
双極子型磁場により変形した中性子星の
質量および変形度、日本物理学会第 71 回
年次大会、2016 年 3 月 19 日、東北学院大
学(宮城県・仙台市)

Naotaka Yoshinaga、
Schiff moments of Xe isotopes、8th
International Workshop on Fundamental
Physics Using Atoms (FPUA2015)、2015
年 12 月 1 日、理化学研究所(埼玉県・和
光市)

海浦雪子、吉永尚孝、東山幸司、
八重極相互作用を入れた Ra 同位体の殻模
型計算、日本物理学会 2015 年秋季大会、
2015 年 9 月 27 日、大阪市立大学(大阪府・
大阪市)

吉永尚孝、東山幸司、照屋絵理、
130 領域奇々核でのダブルレットバンドの
殻模型計算、日本物理学会 2015 年秋季大
会、2015 年 9 月 27 日、大阪市立大学(大
阪府・大阪市)

照屋絵理、吉永尚孝、東山幸司、
殻模型を用いた質量数 200 領域の解析、日
本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月
27 日、大阪市立大学(大阪府・大阪市)

東山幸司、吉永尚孝、照屋絵理、
質量数 130 領域の原子核におけるベータ
崩壊、日本物理学会 2015 年秋季大会、
2015 年 9 月 27 日、大阪市立大学(大阪府・
大阪市)

柳瀬宏太、吉永尚孝、
変形した中性子星の質量と変形度、日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月 28 日、大阪市立大学 (大阪府・大阪市)

柳瀬宏太、吉永尚孝、
磁場により変形した中性子星の質量と半径、日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月 23 日、早稲田大学 (東京都・新宿区)

吉永尚孝、東山幸司、照屋絵理、
Xe および Ba 同位体の GCM による解析、日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月 24 日、早稲田大学 (東京都・新宿区)

照屋絵理、吉永尚孝、東山幸司、
コア励起を考慮した原子核の Schiff モーメント、日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月 24 日、早稲田大学 (東京都・新宿区)

東山幸司、吉永尚孝、照屋絵理、
質量数 80 領域の原子核における二重ベータ崩壊核行列要素、日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月 24 日、早稲田大学 (東京都・新宿区)

海浦雪子、吉永尚孝、東山幸司、
八重極相互作用を入れた質量数 220 領域での殻模型計算、日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月 24 日、早稲田大学 (東京都・新宿区)

Yukiko Kaiura、Naotaka Yoshinaga、Koji Higashiyama、
Shell model approach for nuclei with mass around 220、Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and the Physical Society of Japan、2014 年 10 月 11 日、Hilton Waikoloa Village Island of Hawaii (アメリカ・ハワイ)

Kota Yanase、Naotaka Yoshinaga、
Deformed neutron stars due to strong magnetic field in terms of relativistic mean field theories、Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and the Physical Society of Japan、2014 年 10 月 10 日、Hilton Waikoloa Village Island of Hawaii (アメリカ・ハワイ)

Eri Teruya、Naotaka Yoshinaga、Ryoichi Arai、Koji Higashiyama、
Estimation of Schiff moments using the nuclear shell model、Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and the Physical Society of Japan、2014 年 10 月 8 日、Hilton Waikoloa Village Island of Hawaii (アメリカ・ハワイ)

Naotaka Yoshinaga、Koji Higashiyama、Eri Teruya、
Nuclear matrix elements of the double

beta decay for mass around 80、Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and the Physical Society of Japan、2014 年 10 月 8 日、Hilton Waikoloa Village Island of Hawaii (アメリカ・ハワイ)

- ⑳ N. Yoshinaga、K. Higashiyama、D. Taguchi、E. Teruya、
Neutrinoless double beta nuclear matrix elements around mass 80 in the nuclear shell-model、Fifteenth International Symposium on Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics (CGS15)、2014 年 8 月 26 日、Technische Universität Dresden (ドイツ・ドレスデン)
- ㉑ E. Teruya、N. Yoshinaga、K. Higashiyama、
Shell model estimate of electric dipole moments in medium and heavy nuclei、Fifteenth International Symposium on Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics (CGS15)、2014 年 8 月 25 日、Technische Universität Dresden (ドイツ・ドレスデン)
- ㉒ N. Yoshinaga、K. Higashiyama、D. Taguchi、E. Teruya、
Neutrinoless double beta nuclear matrix elements around mass 80 in the nuclear shell model、Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014)、2014 年 6 月 5 日、東京大学 (東京都・文京区)
- ㉓ E. Teruya、N. Yoshinaga、K. Higashiyama、
Neutrinoless double beta nuclear matrix elements around mass 80 in the nuclear shell model、Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014)、2014 年 6 月 5 日、東京大学 (東京都・文京区)
- ㉔ K. Higashiyama、N. Yoshinaga、E. Teruya、
Generator coordinate method analysis of Xe and Ba isotopes、Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014)、2014 年 6 月 5 日、東京大学 (東京都・文京区)

(他 20 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉永 尚孝 (YOSHINAGA, Naotaka)
埼玉大学・理工学研究科・教授
研究者番号：00192427

(2) 研究分担者

東山 幸司 (HIGASHIYAMA, Koji)
千葉工業大学・工学部・准教授
研究者番号：60433679