

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 19 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2011～2015

課題番号：23224008

研究課題名(和文)核構造におけるテンソル力の効果と隠された相互作用の研究

研究課題名(英文)Effects of Tensor Forces and other interactions in nuclear Structure

研究代表者

谷畑 勇夫(Tanihata, Isao)

大阪大学・核物理研究センター・特任教授

研究者番号：10089873

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 161,400,000円

研究成果の概要(和文)：パイ中間子を介した強い相互作用には中心力とテンソル力が含まれる。非常に軽い核ではテンソル力の重要性は確立されているが、少し重い核ではその影響は知られていなかった。今回の研究で核構造に種々の形でテンソル力の影響が現れることを明らかになった。

実験的には原子核の基底状態において、核子が高運動量を持つ確立が大きいこと、その高運動量核子は $S=1, T=0$ の核子対として存在することが分かった。また、中性子過剰な核における軌道の混合がこのような相関核子の影響であることが理解できた。

理論的には、テンソル力を陽に含めたTOSMおよび、TOAMD理論を構築し、Li, Be, Bのアイソトープに適用した。

研究成果の概要(英文)：An importance of tensor forces in the structures of ground states of nuclei has been studied. Effects of tensor forces were observed in many features of structures such as magnetic moment, level mixing, high-momentum nucleons and pn correlations.

Important findings of present studies were: (a) the observation of a high-momentum component of neutrons in the ground state of  $^{16}\text{O}$  nucleus as expected by the tensor force, (b) it was found that such a high-momentum neutron is correlated with a proton in a nuclei with  $S=1, T=0$  channel that is consistent with the tensor forces, (c) mixing of single orbitals in extremely neutron rich nuclei were observed and understood as the effect due to  $2p2h$  mixed configurations by tensor forces, (d) The TOSM model, that include the effects of tensor forces explicitly, was developed and applied to light nuclei, (e) TOAMD model, that not only includes the tensor forces explicitly but also include cluster structure naturally, has been developed.

研究分野：原子核物理学

キーワード：テンソル力 核構造 高運動量 核子移行反応 2核子相関 TOSM TOAMD

## 1. 研究開始当初の背景

湯川が導入したパイ中間子は原子核の構造に重要な役割を果たすことは知られているが、その擬スカラー粒子の性質から生じる強いテンソル力は平均場的取り扱いではできず、その難しさからこれまではほとんど議論されてこなかった。これまで成功を収めている核構造理論は中心力だけを持ったポテンシャルを基礎におくものであった。

例えば、最近不安定核ビームによる研究から魔法数が増えることが発見された。これまでは現象論的な中心力としてのスピン・軌道力が使われてきたがそれでは魔法数は変化しない。テンソル力はスピンと軌道角運動量両方に関係した量であり、核の魔法数を決定しているといわれるスピン・軌道力に直接関連していると考えられる。スピン・軌道力の起源を理解するためにもテンソル力の影響を知ることは重要であることが認識されてきた。

これまで核構造模型に本格的に取り入れられてこなかったテンソル力について、その重要性和核構造への影響を実験・理論の両面から総合的な視点で解明する必要があった。陽子・中性子が大きくバランスを欠いた核の構造から、テンソル力の物理を研究するとともに、ほかにも隠されているかもしれない核子間相互作用を探る。

## 2. 研究の目的

I. 核内核子の波動関数中のテンソル力で生じる中高運動量成分を確立する。

II. 中性子過剰核の精密分光により核構造の系統的变化を観測し、テンソル力の効果と隠された相互作用をあぶりだす。

III. テンソル力を陽に取り扱った原子核理論を構築し、新しい実験結果との比較を行い、原子核におけるテンソル力の働きを定量的に理解する。その上で核模型にかわるパイ中間子を主役とする新しい原子核描像を確立する。

## 3. 研究の方法

### 1. 実験装置の整備と製作

核物理研究センターでの不安定核による実験のためにEN-コースの整備を行った。

- ・分散焦点(F1)における粒子の位置の検出を高計数率で行うためのファイバースynchレタを使った高速位置検出器を製作した。
- ・ENコースにQ磁石のセットを設置し、粒子分離性能改良とバックグランド除去を行った。
- ・ENコースでの高分解能の測定を行うためSiストリップ検出器とCsIシンチレーション検出器を組み合わせた検出器を製作した。
- ・不安定核ビームを用いた反応の効率よい測定のためにアクティブ標的を作成した。この検出器は10cm立方の領域を持ち三次元で粒子のトラックを計測でき、MAIKoと名付けられた。
- ・ENコースでの荷電変化断面積の測定のために多重観測型イオン箱(MUSIC)を製作した。このMUSICは高いZ分解能と高計数率を満たすものである。

・高運動量分解能測定用の位置検出器を開発した。粒子による発光をIITで検出し、その像

から位置を決定する。粒子の通過位置を10 $\mu$ mの分解能で測定できる。

### II. 実験研究

a. 高運動量中性子を検出するために、<sup>16</sup>O及び<sup>12</sup>C核を用い、100-400MeV、散乱角0-15°での(p,d)反応の実験。さらに、0°散乱での移行運動量範囲を広げテンソル力で期待される2fm<sup>-1</sup>程度の核子を検出するためにドイツGSIのSIS/FRS施設を用いて400-1200MeVで(p,d)反応断面積を測定した。

b. 高運動量中性子が相関している相手核子の特定とその二核子対のスピン及びアイソスピンの特定の為に、<sup>4</sup>He,<sup>16</sup>O及び<sup>12</sup>C核を用いて(p,pd),(p,nd)反応断面積の測定をおこなった。(p,pd)ではpnの対相関、(p,nd)ではnnの対相関を知ることができる。二粒子相関を確かにするため、核内での運動量の和は0になるようなキネマティクスで測定を行った。

c. 中性子過剰核の陽子分布半径と中性子スキンの決定の為に、Be,B,C,Oアイソトープの荷電変化断面積をドイツGSI研究所(~900A MeV)と核物理研究センター(~40A MeV)で行った。

d. 粒子軌道の変化を知るために、低エネルギーで中性子過剰核の核子移行反応を測定した。<sup>6</sup>He(d,3He),<sup>11</sup>Li(d,d'),(p,p'),<sup>9</sup>Li(d,d')を核物理研究センターのENコースとカナダTRIUMF研究所のISAC-II施設のIRIS装置を用いた。

### III. 理論研究

テンソル最適化シェルモデル(TOSM)はシェルモデルをベースにしている。シェルモデルは低い運動量を持った核子が平均場を構成している成分であると考えられる。そこに2粒子2空孔(2p2h)状態を導入すると、テンソル力はシェルモデル状態と高い運動量成分を持った2p2h状態との間に大きな行列要素を持ち、大きな束縛エネルギーを引き出す。しかもこの2p2h状態はテンソル力により、大きな運動量成分を持っている。TOSMはシェル構造を持った原子核には適応が可能で良い結果を得ることができた。しかし一方で、アルファ構造のように複数の中心を持つ構造はうまく表現できないことが判明した。

そこで、シェル構造もクラスター構造も同時に取り扱うことが出来る新しい定式化としてテンソル最適化反対称化分子動力学(TOAMD)を導入した。TOAMDではAMDの波動関数をベースとして導入し、そこにテンソル相関や短距離相関の演算子を掛けることで新しい波動関数を作り、それらの線形結合により全体の波動関数を表現する方法である。これらの演算子をガウス関数で展開し、その係数は変分パラメータとするので、正確にいろんな波動関数の行列要素が計算でき、変分原理で原子核の波動関数とその状態のエネルギーを計算することが出来る。

## 4. 研究成果

### 1. 高運動量核子とテンソル力

<sup>16</sup>O核の基底状態は二重魔法数であり、p殻までは完全に占有されその上のsd殻とは大きなエネルギーギャップがある。そのため通常殻模型による配位混合は非常に少ない。しかしテンソル力は大きな運動量移行を伴う2p2hの

混合が起こる。その選択則は  $S=2$ ,  $L=2$  であり。パリティの違うsd軌道が混合する。

そのため、そのような混合した配位からsd殻にいる中性子が(p,d)反応によりピックアップされると終状態に正パリティの状態がつけられる。このような混合ではない配位からの低励起の(p,d)反応ではp殻からのピックアップであり、終状態は必ず負パリティとなる。すなわち終状態のパリティを選べばテンソル力が直接影響した軌道からの中性子のピックアップと直接影響していない軌道からのピックアップを区別することができる。

これを確かめるために高分解能を持った阪大核物理研究センターのグランド・雷電スペクトロメータを用いて $^{16}\text{O}(p,d)^{15}\text{O}$ 反応の断面積の測定を行った。この反応の断面積はボルン近似によれば移行運動量( $P_d - P_p$ )に比例しているがこの移行運動量はピックアップされた中性子の核内での運動量( $P_n$ )そのものである。すなわち歪曲波などの影響はあるにしても、断面積は基本的には中性子の運動量分布を反映したものになっていることになる。

運動量分布そのものと断面積の比較は複雑になるのが、違った軌道における運動量分布の比は移行運動量を変えた実験により系統的に調べることができる。

核物理研究センターで行った実験とそれまでに行われていた低エネルギー(低運動量移行)でのデータやさらに高いエネルギー(800MeV)でのデータも含めて解析し断面積比はボルン近似のもとで、テンソル力で期待される傾向になることを示した。(論文7)

しかしながら、有限の散乱角のデータから運動量と比較するには歪曲波などの影響やさらに2ステップ反応の影響などを知らなければならぬことは自明である。

これらの疑問に答えるために上の実験に続いて反応機構の影響が最も小さい散乱角 $0^\circ$ を始めて $0^\circ$ から $15^\circ$ までの詳細な角度分布の測定を400MeVで行い、さらに $0^\circ$ における広いエネルギー範囲(400, 600, 800, 1200 MeV)の実験を行った。 $0^\circ$ 散乱では移行運動量が小さくなるため $2\text{ fm}^{-1}$ を充分カバーするためにはこのような高エネルギーのビームが必要となる。角度分布の測定は核物理研究センターで行い、 $0^\circ$ 散乱の実験はドイツGSI研究所のSIS/FRS施設を用いて行った。

角度分布の測定は解析も終了し、 $0^\circ$ のデータを含めて400MeVのデータはすべて同じ線上にのることが確かめられた。角分布の影響は小さいことがわかる。

これらのデータを用いて歪曲波の影響を見るためのDWBA解析さらに2ステップ過程の影響を見るためCCBA解析も行った。他のグループによる実験の45MeVのデータから800MeVのデータまですべての角度分布を含めた解析の結果、 $^{16}\text{O}$ の基底状態には十数パーセントの $5/2^+$ 軌道の混合があり、その混合軌道にある核子はテンソル力から期待される高運動量成分を持つという過程がデータを最も良く再現するということが解った[\*1]。

$^{16}\text{O}$ 中の高運動量中性子成分が明らかになったが、この成分はテンソル力から期待されるpn対が作ったものかどうかを直接確かめる必要がある。テンソル相関により高運動量を持つpn対は重陽子と同じ量子数 $S=1$ ,  $T=0$ を持たねばならない。(ここで $T$ はアイソスピンである)核子対を考えたときに $T=1$ はnn, pp, pn対があるがこれらのついでには強いテンソル力の影響は現れない。その影響を見るために(p,pd)及び(p,nd)反応の実験を行った。

最初の実験では $^4\text{He}$ 粒子を標的にして終状態のdおよびpを高分解能で測定し、そのデータから残りの終状態を決めた。初期状態の $^4\text{He}$ はスピンの0であり、そこから(p,pd)反応でdを取り出すと、dとなる前の核内でのpn対は $S=1$ か $S=0$ を取り得る。もし $S=1$ であったなら終状態の残りのpn対はやはり $S=1$ を持っており、 $T=0$ の状態となる。その状態は主に重陽子そのものである。一方始状態の対が $S=0$ であれば終状態の残りの対も $S=0$ で $T=1$ となる。この状態は束縛状態を作らない。観測したd,pのエネルギーと運動量から残りの状態のエネルギーを決定すると、どちらの状態に有るかがわかる。測定の結果はほぼすべての終状態の残りの対は $S=1$ ,  $T=0$ であることが判った。すなわち高い運動量を持った中性子は $S=1$ ,  $T=0$ の対として存在することが判った。(論文16)

以上の測定はテンソル力の影響が確立している $^4\text{He}$ 核の場合だが次に $^{16}\text{O}$ 及び $^{12}\text{C}$ 核でも同様の実験を行った。これらの核では終状態のp,dを測定することにより残りの核の状態を決定した。 $^{16}\text{O}(p,pd)$ 反応の終状態 $^{14}\text{N}$ としての励起エネルギー分布を見ると $^{14}\text{N}$ の基底状態と3.9MeV励起状態が励起されているが、その間にある2.3MeV励起状態は殆ど励起されていないことが判った。前記の二状態は $T=0$ であり、2.3MeVの状態は $T=1$ で有ることが判っている。一方、この状態は運動量移行の小さな状況での測定では同程度の強さで励起されることが判っている。すなわち高運動量移行反応では $T=0$ を持った対だけを検出していることになる。これはまさしくテンソル相関から期待されるものである。同様な相関は(p,dn)反応の断面積が小さくなる形で現れる。データ解析中なので結論は下せないがこの反応はこの実験では殆ど見えず、それも上記のデータと矛盾しない[\*2]。

以上をまとめると、

- $^{16}\text{O}(p,d)^{15}\text{O}$ 反応の広い入射ビームエネルギー範囲と角度分布から、 $^{16}\text{O}$ の基底状態に高運動量の中性子が混合していることが判った。この結論は散乱機構や2ステップ反応などの影響ではないことも確認された。
- 高い移行運動量領域での(p,pd), (p,nd)反応から、高い運動量を持った核内の中性子は $S=1$ ,  $T=0$ の相関したpn対に付随していることが理解できた。
- 今後はこのペアがどのような運動量分布を持っているのか、低い励起状態に対してどのような影響を与えて居るのかを調べていくことが重要になってきた。また中性子過剰核ではこのような影響がどのように変化するかを知ることも次のステップである。

[\*1] C.-L. Guo, PhD thesis, Beihang University.

Publication in preparation.

[\*2] S. Terashima et al., Publication in preparation.

## II. 核半径とEOS

高エネルギーのRIビームを用いて荷電変化断面積を測定することによりグラウバー理論を用いて陽子分布半径を決定する方法を開発した。すでに開発した相互作用断面積から核子分布半径( $R_n$ )と比較することにより、中性子分布半径( $R_n$ )が決定できるので核表面に生じる中性子スキンの厚さ( $R_{skin}=R_n-R_p$ )が決定できる。

当グループではGSIのFRS施設を用いてBe, B, C, N, Oアイソトープの荷電変化断面積を炭素標的を用いて測定した。Cアイソトープまでの解析が終了し<sup>10-14</sup>Be(論文11,12), <sup>12-17</sup>B(論文10), <sup>12-19</sup>C[\*3]の陽子分布半径を決定した。Beでは<sup>12</sup>Beまでの半径はアイソトープシフトで決まっていたが我々の実験で<sup>14</sup>Beの半径を新しく決定した。すでに知られている半径については矛盾のない値が得られている。B, Cは安定核以外はすべて新しい決定であり、安定核の半径も電子散乱などと矛盾のない結果が得られた。

最近のEffective Field Theoryを用いた状態方程式と陽子分布半径と中性子スキンの間には強い相関があることが判っているがこれを持って、状態方程式のシンメトリーエネルギーと非圧縮率も行い発表をした[\*3]。

また、核物理研究センターで40A MeV程度でBe, Cアイソトープのデータも収集した。Glauberモデルにより違ったエネルギーの観測から矛盾の無い結果が得られることが分かった。これを拡張すれば陽子半径のみでは無く、陽子分布も決定できる可能性が開ける[\*4]。

[\*3] R. Kanungo et al., submitted for publication.

[\*4] T.D. Trong et al., to be submitted.

## III. 不安定核のスペクトロスコピー

<sup>11</sup>Li核は中性子ハローを持った典型的な核であり、その基底状態は $(s_{1/2})^2$ と $(p_{1/2})^2$ の配位がほぼ1対1の割合で混合している特殊な状態である。この混合のミクロスコピックな理由は本理論グループの研究により解明されたが(論文5)、このような状態にはハローに関連して、いくつかの低励起状態が発生すると考えられている。2000年より前にそのような状態の一つである1<sup>+</sup>の遷移を示す状態が陽子非弾性散乱(p, p')反応により検出されたが[\*5]、その後<sup>11</sup>Liのクーロン分解の実験が行われスペクトルは共鳴の無い連続状態への遷移だけで記述できる[\*6]、陽子散乱で見られた共鳴は見られないことが示された。

これまでの陽子散乱の実験はエネルギー分解能が悪く共鳴の形もはっきりしないものであったので、分解能の格段によい測定を(p, p')及び(d, d')で行った。

(d, d')の測定では $E_x=1.03$  MeVにはっきりとした共鳴のピークが見えること、このピークの角度分布からこの共鳴はisoscalerの強さを持ったE1遷移であるらしいことが分かった(論文13)。

さらに、(p, p')反応のデータはにも共鳴状態が見られた。この励起エネルギーは(d, d')のものよりは少し低いところにあり、違うものである可能性が高い。DWBAの解析では $L=0$ または1の遷移であることが分かった[\*7]。

[\*5] A. Korshennikov et al., Phys. Rev. Lett. **78** (1997) 2317.

[\*6] T. Nakamura et al., Phys. Rev. Lett. **96** (2006) 252502.

[\*7] J. Tanaka, PhD thesis, publication in preparation.

## V. 理論の成果 (TOSM 計算と TOAMD 導入)

### a. TOSMの計算結果

テンソル最適化シェルモデル(TOSM)はテンソル力をシェルモデルの枠組みに最も効率的に取り込む方法である。TOSMを使って、pシェル核の構造の計算を行った。

He・Li アイソトープの計算: Heは陽子数2、Liは陽子数が3の原子核である。相互作用は核子散乱の解析から得られたアルゴンヌグループのAV8'という核力を使う。シェルモデル状態にはpシェル状態だけを使い、そこから許される全ての2粒子2空孔状態が入った空間でハミルトニアン行列要素を計算し、励起スペクトルを導出する。核力を使うことで定量的に原子核のスペクトルを再現することが出来た。状態に応じてテンソル力の働きの強弱があり、スペクトルのエネルギーにはそれがきちりと表現されている(文献2,5)。

Be アイソトープの計算: Beは陽子数が4つあり、二つのアルファ状態が核構造に重要な働きをする。実際にBe8では基底状態の近傍にはアルファクラスター状態が出現し、16MeVくらいの励起エネルギー以上ではシェルモデル的な構造が出現する。この原子核にTOSMを適用すると、シェルモデルの状態はスピンパリティとその順番などをもの見事に再現する。一方で、アルファクラスター状態は0、2、4の回転バンドの様相は示すが十分な束縛エネルギーを得ることが出来ないことが分かった。

これらの軽い核にTOSMを適用することで得られた結論は、核力を使うとシェルモデル的な状態は定量的に再現する。一方で、クラスター構造は十分な束縛エネルギーを得ることが出来ないことが判明した。この部分の発表論文は以下の番号のものである。(文献2, 5, 14)

TOAMD法を開発した、この方法ならシェル構造とクラスター構造の競合を核力を使って記述することが出来ることが期待される。研究期間の残りの2年間を使ってTOAMDの基本定式化を行った。最終年度の夏の段階でTOAMD法の概念を論文として発表した。さらに、コミュニティへの説明のためにTOAMD共同研究の成果を物理学会で系統的に発表して来た。昨年度のこの科研費の共催での国際会議でも発表し、国際的にも評価されている。現在はTOAMD法の計算に必要なプログラムの開発を行っており、<sup>3</sup>He、<sup>4</sup>Heでは、非常に良い束縛エネルギーが変分法で計算できることが判明した段階にある(文献15,16)。

TOAMD法は無限系にも適応が可能である。さらには高い密度状態の計算も必要なので相対論効果をきっちりと取り込む必要がある。相対論的核物質の系での定式化を行っている。プログラミングも同時に進行しており、3体力まで含んだ相対論的な核物質の記述も可能な所にいる。

#### c. デルタ励起の効果

原子核の束縛エネルギーの大部分は2体の核力から生じる。しかし、軽い核の研究から明らかになったのはデルタ励起をとまなう3体力の効果が重要であるということである。デルタを陽に入れた場合にはテンソル力の効果が圧倒的に大きくなることがわかった。

#### 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17件)

1. Y. Ogawa and H. Toki, Extended Brueckner-Hartree-Fock theory with pionic correlation in finite nuclei, *Annals of Physics*, **326** (2011) 2039-2052.
2. T. Myo, A. Umeya, H. Toki and K. Ikeda, Role of the tensor interaction in He isotopes with a tensor-optimized shell model, *Phys. Rev. C* **84** (2011) 034315(10).
3. C. Nociforo, ...I. Tanihata et al., One- neutron removal reactions on Al isotopes around the N=20 shell closure, *Phys. Rev. C*, **85** (2012) 044312(10).
4. H. Toki, The importance of pion and extended Brueckner-Hartree-Fock theory, *Progr. Part. Nucl. Phys.* **69** (2012) 511-515.
5. T. Myo, A. Umeya, H. Toki and K. Ikeda, Tensor optimized shell model for the Li isotopes with a bare nucleon-nucleon interaction, *Phys. Rev. C* **86** (2012) 24318.
6. I. Tanihata, Effect of tensor forces in nuclei, *Physica Scripta*, **T152** (2013) 014021(9).
7. H. J. Ong, I. Tanihata et al., Probing effect of tensor interactions in  $^{16}\text{O}$  via (p,d) reaction, *Phys. Lett. B* **725** (2013) 277-281.
8. K. Miki, ...H. J. Ong, I. Tanihata et al., Study of tensor correlations in  $^4\text{He}$  via the  $^4\text{He}(p,pd)d$  and  $^4\text{He}(pd)pn$  reactions, *Few-body systems* **54** (2013) 1-4.
9. J. N. Hu, H. Toki, and Y. Ogawa, Extension of Hartree-Fock theory including tensor correlation in nuclear matter, *Prog. Theor. Exp. Phys.* **10** (2013) 103D02(17).
10. A. Estrade, ...I. Tanihata et al., Proton radii of  $^{12-17}\text{B}$  define a thick neutron surface in  $^{17}\text{B}$ , *Phys. Rev. Letters* **113** (2014) 132501(5).
11. S. Terashima, H. J. Ong, I. Tanihata et al., Proton radius of  $^{14}\text{Be}$  from measurement of charge-changing cross sections, *Prog. Theor. Exp. Phys.*, **101D02** (2014) 1-7.
12. S. Terashima, H. J. Ong, I. Tanihata et al., Proton radius of  $^{14}\text{Be}$  from measurement of

charge-changing cross sections, *JPS Conference Proceedings* **6** (2015) 020027(7).

13. R. Kanungo, ...I. Tanihata et al., Evidence of soft dipole resonance in  $^{11}\text{Li}$  with isoscalar character, *Phys. Rev. Lett.* **114** (2015) 192502.

14. T. Myo, a. Umeya, H. Toki, and K. Ikeda, Structures in  $^9\text{Be}$ ,  $^{10}\text{Be}$ , and  $^{10}\text{B}$  studied with tensor-optimized shell model, *Prog. Theor. Exp. Phys.* **063D03** (2015) 1-18.

15. T. Myo, H. Toki, K. Ikeda, H. Horiuchi, and T. Suhara, Tensor-optimized asymmetric molecular dynamics in nuclear physics, *Prog. Theor. Exp. Phys.* **073D02** (2015) 1-38.

16. T. Myo, A. Umeya, K. Horii, H. Toki and K. Ikeda, Shell and alphas cluster structure in  $^8\text{Be}$  with tensor-optimized shell model, *Prog. Theor. Exp. Phys.* **033D01** (2015) 1-20.

17. I. Tanihata, ...H. J. Ong et al., Observation of large enhancement of charge exchange cross sections with neutron-rich carbon isotopes, *Prog. Theor. Exp. Phys.* **043D05** (2016) 1-16.

[学会発表](計26件)

1. I. Tanihata, Charge changing cross sections and proton distribution radii of neutron-rich nuclei, Wilhelm und Else Heraeus-Seminar, 2012.3.20, Bad Honnef, Germany.

2. I. Tanihata, Effect of Tensor forces in Nuclei, Nobel Symposium NS152-Physics with Radioactive Beams, 2012.6.10~6.15, Göteborg, Sweden.

3. I. Tanihata, The importance of the tensor forces in nuclear structure and neutron halo, 中国核構造学会, 2012.4.12~4.16, 湖州市, China.

4. H. J. Ong, Evidence of tensor interactions in  $^{16}\text{O}$  via (p,d) reaction, Int. Nuclear Physics Conference 2013.6.6, Florence, Italy.

5. I. Tanihata, "Nucleus" view from high-momentum nucleons and tensor forces in nuclei, EMMI workshop "Threshold physics at the neutron drip line, 2014.2.3~2-7, Darmstadt, Germany.

6. H. Toki, Strongly Tensor Correlated Hartree-Fock Theor and Delta in Nuclei, One day workshop in Beihang, 2013.10.31, Beijing, China.

7. I. Tanihata, Proton radius of  $^{14}\text{Be}$  from the measurement of charge changing cross sections, Advances in Radioactive Isotope Science) ARIS2014, 2014.6.1~6.6, Tokyo, Japan

8. H. J. Ong, Effect of tensor interactions in  $^{16}\text{O}$  studied via (p,d) reaction, Advances in Radioactive Isotope Science) ARIS2014, 2014.6.1~6.6, Tokyo, Japan.

9. H. Toki, Strongly Tensor Correlated Hartree-Fock Theory and Tensor Optimized Shell Model in Finite Nuclei and Nuclear Matter, International Symposium on Physics of Unstable Nuclei, 2014.11.3-11.8, Hochiminh, Vietnam.

10. H. Toki, Tensor optimized antisymmetrized molecular dynamics (TOAMD) for relativistic

nuclear matter, SINP-CUSTIPEN2015, 2015.12.14 -12.18, Shanghai, China.

11. H. Toki, Tensor optimized antisymmetrized molecular dynamics (TOAMD) for relativistic nuclear matter, International Symposium on High resolution spectroscopy and tensor interaction, 2015.11.17-10.20, Osaka, Japan

12. H.-J. Ong, Understanding effect of tensor interactions in light nuclei via high-momentum neutron-transfer reactions, Int. symposium on high-resolution spectroscopy and tensor force, 2015.11.18~11.19, Osaka University Nakanoshima Center, Osaka, Japan.

13. T. Myo, Strong tensor correlations in light nuclei with tensor-optimized molecular dynamics(TOAMD), Interantional symposium on high-resolution spectroscopy and tensor force, 2015.11.18~11.19, Osaka University Nakanashima center.

14. I. Tanihata, Effect of tensor interactions in nuclei, SINP-CUSTIPEN2015, 2015.1214~12.18, Shanghai, China

15. T. Myo, Imprtnance of tensor force in light nuclei studied with tensor-optimized shell model, 2<sup>nd</sup> International workshop & 12<sup>th</sup> RIBF discussion on Neutron-Proton Correlations, 2015.7.6~7.9, Honkong, China.

16. H. J. Ong, Results from tensor force experiments at RCNP and GSI, NuSTAR week 2015, 2015.9.27~10.1, Warsaw, Poland.

17. H.-J. Ong, Study of effects of tensor interactions in light nuclei via (p,d) and (p,dN) reactions, 2<sup>nd</sup> International workshop & 12<sup>th</sup> RIBF discussion on Neutron-Proton Correlations, 2015.7.6~7.9, Honkong, China.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕  
ホームページ等

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

谷畑勇夫 (Tanihata, Isao)  
大阪大学、核物理研究センター、特任教授  
研究者番号：10089873

### (2)研究分担者

土岐 博 (Toki, Hiroshi)  
大阪大学、核物理研究センター、名誉教授  
研究者番号：70163942

### (3)連携研究者

・王 恵仁 (Ong, HuiJin)  
大阪大学、核物理研究センター、准教授  
研究者番号：80462670

・小林俊雄 (Kobayashi, toshio)  
東北大学、理学研究科、教授

研究者番号:30186754

・小沢 顕 (Ozawa, Akira)  
筑波大学、数理物質科学研究科、教授

研究者番号：80260214

・味村周平 (Ajimura, Syuhei)  
大阪大学、核物理研究センター、准教授

研究者番号：10273575

・民井 淳 (Tamii, Atushi)  
大阪大学、核物理研究センター、准教授

研究者番号：20302804

・鈴木智和 (Suzuki, Tomokazu)  
大阪大学、核物理研究センター、助教

研究者番号：80506395

・松多健作 (Matsuta, Kensaku)  
大阪大学、理学研究科、准教授

研究者番号：50181722

・三原基嗣 (Mihara, Mototugu)  
大阪大学、理学研究科、助教

研究者番号：60294154

・福田光順 (Fukuda, Mitsunori)  
大阪大学理学研究科、准教授

研究者番号：50218939

・木村喜久雄 (Kimura, Kikuo)  
長崎総合科学大学、工学部、講師

研究者番号：60108636

・坂口治隆 (Sakaguchi, Harutaka)  
大阪大学、核物理研究センター、協力研究員

研究者番号：30025465

・前田幸重 (Maeda, Yukie)  
宮崎大学、工学部、助教

研究者番号：50452743

・明 孝之 (Myo Takayuki)  
大阪工業大学、工学部、講師

研究者番号：20423212