

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25247039

研究課題名(和文) 超非対称核子系の核構造 - 新奇手法による飛躍的理解

 研究課題名(英文) Extensive study on structures of very neutron-rich nuclei by using  
beta-gamma-neutron spectroscopy with spin-polarized radioactive nuclear beams

研究代表者

下田 正 (SHIMODA, TADASHI)

大阪大学・理学研究科・教授

研究者番号：70135656

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,300,000円

研究成果の概要(和文)：魔法数付近の核子数をもつ超非対称原子核では、独立粒子の描像で期待される球形状態と核子間相関によって引き起こされる変形状態のせめぎ合いによって、様々な形をした励起状態が励起エネルギーの狭い領域に出現するという「変形共存」の可能性が指摘されている。本研究では、スピン偏極した不安定核のベータ・ガンマ・中性子核分光法という独自の手法を用いて、魔法数20付近の中性子数を持つ中性子過剰核<sup>31</sup>Mgおよび<sup>30</sup>Mgの励起状態の構造(スピン・パリティ、遷移確率)を詳細に解明することに世界で初めて成功した。その結果、このような軽い中性子過剰核においても様々な変形度を持つ特異な状態が共存することを実験的に証明した。

研究成果の概要(英文)：The structures of very neutron-rich nuclei have been attracting much attention. One of the highlights is the coexistence of various structures in nuclei with the nucleon numbers close to the magic numbers, as a result of competition between the spherical mean field which favors spherical shapes and the nuclear correlation which favors deformed shapes. However, the experimental knowledge on the level scheme is very limited. We have developed a unique method to precisely investigate the nuclear structures by the beta-gamma-neutron spectroscopy with spin-polarized radioactive nuclear beams at TRIUMF. We have successfully established very detailed level schemes of the neutron-rich nuclei <sup>30</sup>Mg and <sup>31</sup>Mg with neutron numbers close to the neutron magic number 20. It is clearly shown the experimental evidences for the shape coexistence in <sup>30</sup>Mg and <sup>31</sup>Mg for the first time.

研究分野：実験原子核物理学

 キーワード：中性子過剰核 中性子魔法数20 スピン偏極不安定核ビーム ベータ・ガンマ・中性子核分光法 30Mg, <sup>31</sup>Mg核の構造 スピン・パリティ 変形共存の実験的証明 新奇レーザー分光法の開発

### 1. 研究開始当初の背景

安定な原子核に中性子をどんどん付け加えると（あるいは、抜き取ると）、原子核の構造はどのように変化するのだろうか？近年、陽子数と中性子数が極端に異なる非対称核子系の原子核（高アイソスピン核）を人工的に生成することが可能になり、これらの核の構造が安定核近傍の原子核とはずいぶん異なっていることが明らかになり始めた。しかし、核内有効核力がアイソスピンの変化に伴ってどう変化するのか、多体系を扱う理論的手法はもっと非対称な超非対称核子系にも適用できるのかという、基本的課題の解決には至っていない。これら超非対称核子系の構造と運動の理解は、宇宙における元素合成の道筋を解明するためにも不可欠であり、原子核物理学における主要なテーマの一つとなっている。

特に注目されている原子核が、中性子数 20 の魔法数を持つ中性子過剰核の構造である。<sup>32</sup>Mg およびその周辺の核が数多くの実験によって調べられ、基底状態のスピンのパリティ、電磁気モーメント、第一励起状態のエネルギー、電磁遷移確率といった基本的物理量が 1990 年代より少しずつ蓄積されてきたが、データは極めて限られている。存在が確認された準位の数はまだかなり少ない上に、それらの準位のスピンとパリティはほとんどわかっていない。互いに矛盾するデータも少なくはなく、これでは核構造の議論ができない。

### 2. 研究の目的

本研究は、世界各地での長年にわたる様々な実験にもかかわらず、いまだに詳細がわかっていない、中性子魔法数 20 近傍核 <sup>31</sup>Mg, <sup>32</sup>Mg, <sup>33</sup>Mg 核の構造を、我々独自の手法を用いて解明する。これらの原子核の中性子数は魔法数 20 に近いので殻模型の単一粒子運動（球形）で理解できると期待されるにもかかわらず、多数の核子が集団的に運動する変形状態の出現も予測され、球形と変形のせめぎあいの領域として、特に注目されている。狭い励起エネルギー範囲に様々な形をした状態が現れる「**変形共存**」という現象がこのような軽い原子核でも見られるのではないかという議論がごく最近なされている。しかし、実験データは非常に限られていて、議論を進めることが困難な状況にある。特に、励起状態のスピンのパリティに関してはほとんどわかっていない。実験的解明が特に求められている。

### 3. 研究の方法

<sup>31</sup>Mg, <sup>32</sup>Mg, <sup>33</sup>Mg 核の構造は、以下の 3 つのユニークな要素を組み合わせることで初めて実現できるものであり、他の追随を許さない。

- ① 不安定核 <sup>31</sup>Na, <sup>32</sup>Na, <sup>33</sup>Na ビームをカナダ国立素粒子原子核研究所 TRIUMF

において生成する：10 年にわたるビーム生成法の開発に昨年成功し、これらのビームの利用が可能になった。

- ② 不安定核 <sup>31</sup>Na, <sup>32</sup>Na, <sup>33</sup>Na 核のスピンを偏極させる：我々が 2002 年に TRIUMF において完成させた、レーザー光ポンピング装置は、原子基底状態のうちの 2 つの超微細構造状態を同時にポンピングするという世界初の技術を用いており、世界最高の偏極度（50% 程度、他では数% 以下）を誇る。
- ③ 偏極した不安定核の  $\beta$  崩壊の非対称度を手がかりに娘核の状態のスピンのパリティを確定するという、我々独自の手法を用いる：<sup>28</sup>Mg, <sup>29</sup>Mg, <sup>30</sup>Mg 核に関する我々の実績が高い評価を受けている。

以下に我々独自の手法の原理を説明する。図 1 はある Na アイソトープの崩壊の様子を模式的に示したものである。安定領域線から遠く離れているが故に Na 核と Mg 核の基底状態の質量には大きな差があり、広いエネルギー範囲にわたる Mg 核の励起状態を  $\beta$  崩壊によって生成できる。私たちの手法は、親核である Na 核をスピン偏極させることによって、Mg の状態がどのエネルギーに存在し、それらがどのように崩壊するのかという情報に加えて、その状態のスピンのパリティという、核構造を探るうえで不可欠の情報を得ることができることに大きな特徴がある。

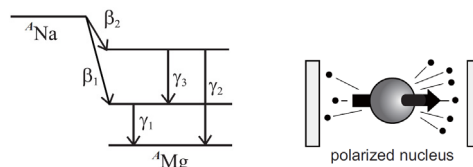


図 1  $\beta$  崩壊の模式図。 図 2  $\beta$  崩壊の非等方性。

その原理は、弱い相互作用においてパリティが保存しないことにある。スピン偏極した核からの  $\beta$  崩壊は次のような非等方の角分布を示す（図 2 のように、放出される  $\beta$  線の数が非等方的となる）。

$$W(\theta) = 1 + AP \cos \theta$$

ここで  $\theta$  は偏極方向と  $\beta$  線のなす角度、 $P$  は親核の偏極度、 $A$  は非対称度パラメーターである。 $A$  は親核のスピンの  $(I_i)$  と娘核の状態のスピンの  $(I_f)$  に大きく依存する定数である。

一例として <sup>31</sup>Na 核から <sup>31</sup>Mg 核へと  $\beta$  崩壊する場合の非対称度パラメーターを具体的に示したのが、下の表である。

	$I_i^P$ (Na)	$I_f^P$ (Mg)	$A(I_i, I_f)$
<sup>31</sup> Na	3/2 <sup>+</sup>	5/2 <sup>+</sup>	+0.6
	3/2 <sup>+</sup>	3/2 <sup>+</sup>	-0.4
		1/2 <sup>+</sup>	-1.0

許容転移で遷移できる娘核の状態のスピンの  $I_f$  として、3つのスピン値  $I_f = I_i$  および  $I_f = I_i \pm 1$  の3通りの場合について示している。許されるスピンの値それぞれに対応して非対称度パラメーターが大きく離れた値をとることに注意されたい。したがって、非対称度パラメーター  $A$  を実験的に求めることが出来れば、Mg 核の状態のスピンのパリティを高精度で求めることが出来る。これには Mg の各状態が放出する  $\gamma$  線と同時計測される  $\beta$  線の 0 度方向の計数と 180 度方向の計数を比較すれば良い (図2の左右の  $\beta$  線検出数)。検出器固有の非対称度を打ち消すために、核偏極の向きを反転させれば精度の高い測定が可能となる。それぞれの  $\beta$  遷移について  $A$  を求めるためには、 $\beta$  線に引き続いて放出される  $\gamma$  線との同時計測を行えば良い。

図3は検出器系の概念図である。スピン偏極した Na アイソトープビームが左手から来て (偏極の向きはビームに垂直方向)、Pt フォイル中で停止する。フォイルには偏極の向きに静磁場がかけられていて、スピンの向きが保持される。Na 核はやがて  $\beta$  崩壊するが、放出される  $\beta$  線と  $\gamma$  線が8台の検出器によって検出される。 $\beta$  線の非対称度はスピンの偏極方向 (0 度) と逆方向 (180 度) においた2つの検出器によって測定される。各検出器は、枠内に示すように、高純度の Ge 半導体検出器と薄いプラスチックシンチレーターからなり、 $\beta$  線と  $\gamma$  線を識別してそれらのエネルギーを高分解能で測定することができる。さらに、ビームの進行方向下流に3台の大型のプラスチックシンチレーターが置かれ、Mg 核の励起状態のうち、中性子束縛エネルギーよりも高い状態に遷移した場合に放出される中性子を、飛行時間法で測定する。飛行距離は 1.5 m あり、十分なエネルギー分解能を持っている。

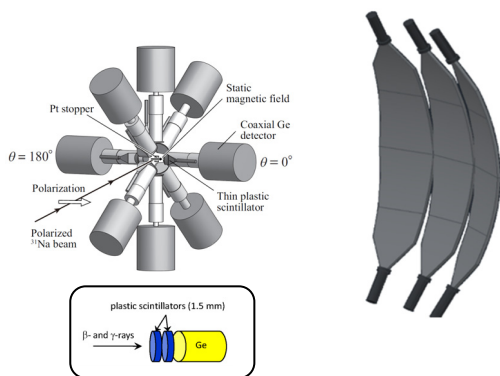


図3  $\beta \cdot \gamma$  核分光システム (上左) と中性子検出器 (上右) の配置図。個々の検出器の構成を下の枠内に示す。

研究は以下の2つのステップを踏んで進められた。

(1) まず、TRIUMF におけるビーム開発が進行中の  $^{31}\text{Na}$  ビームを用いた  $^{31}\text{Mg}$  核の構造の

研究に取り組んだ。2012年 (平成24年) 度の TRIUMF 実験課題審査で最優先課題としてビームタイム獲得に成功し、2013年度に本科学研究費助成を受けて、1年をかけて検出器系の構築を行った。そして、2014年夏に TRIUMF において  $^{31}\text{Na}$  ビームを用いた実験を行った。その際、当初予想の10倍のビーム強度が得られたため、すでにデータを取得している  $^{30}\text{Mg}$  核の構造を解明する実験も短時間行い、これまでに得ている統計量を倍増させた。すなわち、この実験では、 $^{30}\text{Mg}$  および  $^{31}\text{Mg}$  核の構造に関する詳細なデータを取得することに成功した。これにより、 $^{30}\text{Mg}$  および  $^{31}\text{Mg}$  核において様々な状態が現れていることを明らかにし、変形共存がこれらの中性子過剰核における重要な特徴であることを、世界で初めて実験的に証明することができた。

(2) 本研究の次のステップとして、より重い Mg アイソトープ、すなわち  $^{32}\text{Mg}$  および  $^{33}\text{Mg}$  核の構造を研究するための準備を開始した。これらの研究のためには  $^{32}\text{Na}$  および  $^{33}\text{Na}$  核のスピン偏極を生成することが不可欠であるが、これらの核を持つ原子の超微細構造は全く未知であり、我々のレーザー光ポンピング法が適用できない。そこで、これまでの500倍のS/N比が期待される新たなレーザー分光法を考案した。2014年度から高感度分光系を設計・製作し、2015年夏にテスト実験を行った。その結果を受けて、検出器系の改良とビームラインの改造を行い、2017年7月に再度のテスト実験を行う予定である。

#### 4. 研究成果

##### (1) $^{31}\text{Mg}$ の核構造

図4は本研究までにわかっていた、 $^{31}\text{Mg}$  核の準位である。右側の数字が MeV 単位の励起エネルギー、左側の数字および正負符号がスピンとパリティであるが、括弧に包まれているものは推定値であって実験的に確定していないことを意味する。1984年以来、様々な実験によって調べられてきたが、基底状態のスピン・パリティが  $1/2+$  であること以外、スピン・パリティは全くわかっていない。これでは核構造を議論することは不可能である。

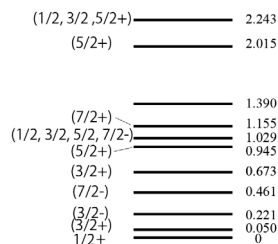


図4 本研究が行われる前の  $^{31}\text{Mg}$  核の準位に関する最新情報。

図5の左側の図は本研究で測定した $^{31}\text{Mg}$ 核の励起状態へ遷移する $\beta$ 遷移の非対称度パラメーター $A$ である。データ点に添えた数字は励起エネルギーを表す。水平に引いた線はスピンの値毎に期待される $A$ の値を示す。データ点は水平線のどれかと一致している。こうして、各準位のスピンを決めることができた。これらの遷移確率が大きいことから、許容転移であると言えて、パリティは親核 $^{31}\text{Na}$ の基底状態( $3/2^+$ )と同じパリティである $+$ と確定できる。こうして、図5の右側に示すように、 $+$ パリティ状態と推定されていた5つの状態全てのスピン・パリティを実験的に初めて確定することができた。

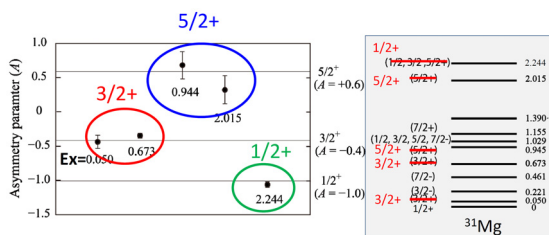


図5 (左) 非対称度パラメーター $A$ の測定結果、(右) その結果から求められた $^{31}\text{Mg}$ 核の準位のスピン・パリティ。

図6は本研究で確定した $^{31}\text{Na}$ 核の $\beta$ 崩壊様式を示す。詳細な解析によって、11本の新たなガンマ遷移を測定し、新たな準位2つを発見することができた。これらの情報によって、以下に述べるように $^{31}\text{Mg}$ 核の構造が解明された。

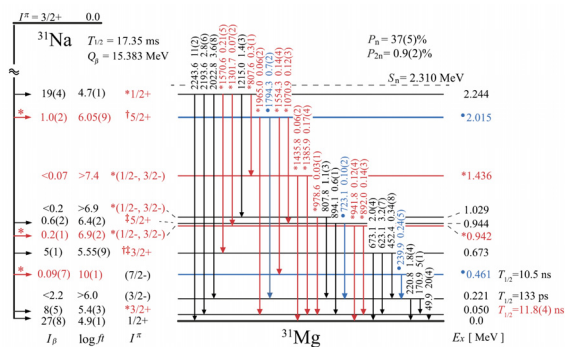


図6 本研究で確定した $^{31}\text{Na}$ 核の $\beta$ 崩壊様式。  
\*をつけたものは本研究で初めて発見されたことを意味する。†や‡をつけたものは、先行研究においてスピン・パリティが提案されたものだが、モデル計算に依存しているとしてデータベースでは受け入れられていないものである。これらは本研究によって実験的に初めて確定した。・をつけたものは $\beta$ 崩壊で初めて測定されたもの。

$^{31}\text{Mg}$ 核の励起準位の並び方(スピン・パリティの順番)やエネルギー間隔を検討すれば、大きくラグビーボール型に変形した基底状態が回転することによって、励起状態が形成される正パリティ回転バンド( $K^\pi=1/2^+$ という構造をもつ)や、もっとゆがんだ負パリティ回転バンド( $K^\pi=1/2^-$ )が存在することが容易にわかる。そのような視点で準位を分類し

たのが図7の左の図である。大きな枠で囲んだ準位がこれらの回転バンドである。図の中央と右には、全く描像の異なる2つの理論計算の結果を示した。中央は反対称化分子動力学計算(AMD+GCM)という枠組みで計算したもので、球形状から変形状態までを一つの枠組みで予言することができる。右側に示しているのが8粒子・8空孔状態までの状態混合を考慮した殻模型計算の結果である。多粒子・多空孔状態を考慮することによって変形状態も記述することができる。

遷移強度も含めて、実験結果と理論計算を比較すると、 $3/2^+$  (0.673 MeV)状態と $5/2^+$  (2.015 MeV)状態は球形をした状態である可能性が高い。しかし、球形状の記述に得意なはずの殻模型計算(右の図)は $5/2^+$ を再現出来ていない。また、非常に大きな $\beta$ 遷移確率を伴った $1/2^+$  (2.244 MeV)状態は大きく変形した状態であると推察され、確かに殻模型で4粒子・4空孔状態として計算されている。ところが、AMD+GCM計算ではこの状態は再現できていない。この状態は、おそらく非常に変形した回転バンドのバンドヘッドであろう。同じ回転バンドに属する $3/2^+$ という状態があるはずだが、中性子分離エネルギーより上に位置する可能性が高く、 $\beta$ 遅発中性子のデータで見つかる可能性が高い。このデータについては現在解析が進行中である。

さらに、0.942 MeV 負パリティ状態は $K^\pi=3/2^-$ という構造の回転バンドのバンドヘッド状態(殻模型では3粒子3空孔状態)である可能性がきわめて高い。したがって、この状態のスピン・パリティは $3/2^-$ であると考えられる。

以上をまとめると、中性子過剰核 $^{31}\text{Mg}$ 核においては、わずか2.2 MeV までの狭い励起エネルギー範囲に、(i)球形の状態、(ii)4種類の内部構造・変形の仕方をもつラグビーボールのように変形した状態が回転している一連の状態、といった多様な状態が存在することが、本研究によって明らかになった。これは、まさに変形共存が実現している証拠である。このような軽い核で変形共存が見つかったのは初めてである。

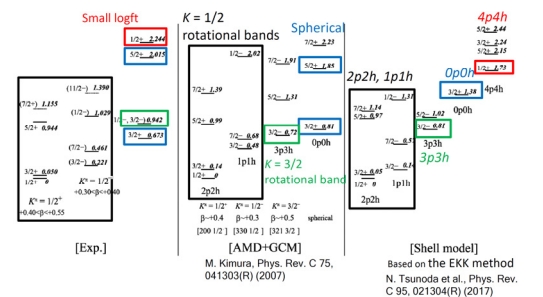


図7 左図: 実験的に求められた $^{31}\text{Mg}$ 核の準位を構造にしたがって分類したもの。中図: 反対称化分子動力学計算(AMD+GCM)によって求められる計算した準位。右図: 多粒子・多空孔状態の混合を考慮した殻模型計算によって求められた準位。

## (2) $^{30}\text{Mg}$ の核構造

同様の手法によって、 $^{30}\text{Na}$  核の  $\beta$  崩壊が調べられた。図 8 は本研究で確定した  $^{30}\text{Na}$  核の  $\beta$  崩壊様式を示す。詳細な解析によって、14 本の新たなガンマ遷移を測定し、新たな準位 4 つを発見することができた。さらに 5 つの状態について、スピン・パリティを確定することが出来た。

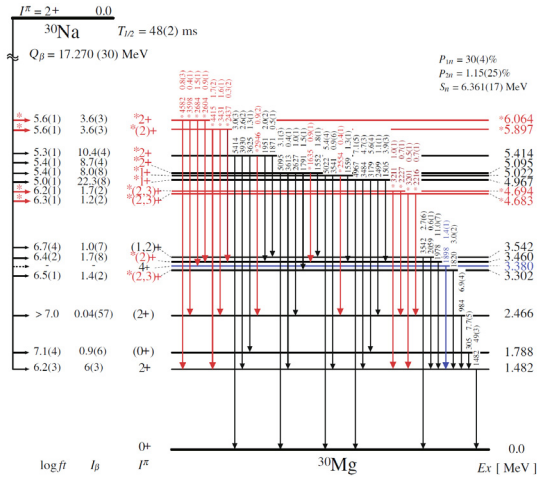


図 8 本研究で確定した  $^{30}\text{Na}$  核の  $\beta$  崩壊様式。  
\*をつけたものは本研究で初めて発見されたものであることを意味する。

詳細については省略するが、中性子過剰核  $^{30}\text{Mg}$  核においても様々な構造の状態が存在することが明らかとなった。特に新たな振動モードである可能性のある状態が発見されたことが特筆される。

## (3) $^{32}\text{Mg}$ 、 $^{33}\text{Mg}$ の核構造研究への準備研究

本研究によって確立した手法は、モデル計算に全く依存せずに原子核の状態のスピン・パリティを同定出来るという点では非常に強力である。これをより中性子が多い Mg アイソトープの構造解明へ適用すれば、中性子数の変化に伴って核構造がどのように変化するか、有効核力はどのように変化するかという、現在の原子核物理学における最重要課題を解明できる。そこで、私たちの次なる研究ステップは  $^{32}\text{Mg}$  と  $^{33}\text{Mg}$  に狙いを定めている。

これには  $^{32}\text{Na}$  と  $^{33}\text{Na}$  のスピン偏極を生成しなければならないが、レーザーを用いた偏極生成に必要な、原子の超微細構造が全くわかっていない。きわめて生成量が少ないこれらに対して通常のレーザー分光法は適用できないからである。そこで、私たちはこれまでの 500 倍の S/N 比向上が期待される新たなレーザー分光法の開発に取りかかった。そのポイントは、励起に使うレーザーの波長と観測する脱励起光の波長が大きく異なるような遷移を用いることと、脱励起光を高効率で集光する球面ミラーと超高感度光電子増倍管を用いることである。図 9 は脱励起光観測

系の概念図を示す。左側が全体図、右側が断面図である。右図右下の空間部分にマイクロチャンネルプレートを用いた光電子増倍管を挿入し、ペルチェ素子で冷却する。2017 年 7 月のテスト実験に向けて準備を整えた。

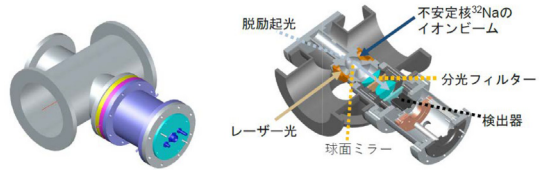


図 9  $^{32}\text{Mg}$  および  $^{33}\text{Mg}$  核の構造解明に向けた、 $^{32}\text{Na}$  および  $^{33}\text{Na}$  原子の超微細構造分光系。従来の手法に比べて飛躍的な感度を持っており、ビーム強度がきわめて少ないこれらの原子の分光を可能とする。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕 (計 3 件)

- ① H. Nishibata, T. Shimoda, A. Odahara, S. Morimoto, S. Kanaya, A. Yagi, H. Kanaoka, M.R. Pearson, C.D.P. Levy, M. Kimura, Shape coexistence in the  $N=19$  neutron-rich nucleus  $^{31}\text{Mg}$  explored by  $\beta$ - $\gamma$  spectroscopy of spin-polarized  $^{31}\text{Na}$ , *Phys. Lett. B* **767** (2017) 81-85, 査読有り, <http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2017.01.049>
- ② Y. Hirayama, T. Shimoda, H. Miyatake, H. Izumi, A. Hatakeyama, K.P. Jackson, C.D.P. Levy, M. Pearson, M. Yagi, H. Yano, Unexpected spin-parity assignments of the excited states in  $^9\text{Be}$ , *Phys. Rev. C* **91** (2015) 024328-1-14, 査読有り, <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevC.91.024328>
- ③ T. Shimoda, K. Tajiri, K. Kura, A. Odahara, M. Suga, Y. Hirayama, N. Imai, H. Miyatake, M. Pearson, C.D. P. Levy, K.P. Jackson, R. Legillon, C. Petrache, T. Fukuchi, N. Hamatani, T. Hori, M. Kazato, Y. Kenmoku, T. Masue, H. Nishibata, T. Suzuki, A. Takashima, R. Yokoyama, Nuclear structure explored by  $\beta$ -delayed decay spectroscopy of spin-polarized radioactive nuclei at TRIUMF ISAC-1, *Hyperfine Interactions* **225** (2014) 183-191, 査読有り, <http://dx.doi.org/10.1007/s10751-013-0895-5>

### 〔学会発表〕 (計 1 2 件)

- ① H. Nishibata, Shape coexistence in neutron-rich  $^{31}\text{Mg}$  investigated by beta-gamma spectroscopy of spin-polarized  $^{31}\text{Na}$ , *Int. Conf. on Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS 2017)*, May 28-June 2, 2017, Colorado, USA.
- ② 金谷晋之介, 下田正, 小田原厚子, 西畑 洸希, 森本翔太, 八木彩祐未, 金岡裕志,

- 河村嵩之, M. Pearson, C. D. P. Levy,  
中性子過剰核の変形共存—中性子非束縛  
状態における探索、  
日本物理学会 第 71 回年次大会、大阪大  
学、2017 年 3 月 17 日-20 日
- ③ H. Nishibata,  
Various structures of the neutron-rich nucleus  
 $^{31}\text{Mg}$  investigated by beta-gamma  
spectroscopy of spin-polarize  $^{31}\text{Na}$ ,  
22nd Int. Spin Symp. (Spin'16), Sept. 25-30,  
2016, Illinois, USA.
- ④ H. Nishibata,  
Various Structure in Neutron-rich  $^{31}\text{Mg}$   
Studied by Using Spin-Polarized  $^{31}\text{Na}$  Beam,  
Int. Nuclear Physics Conf. (INPC 2016), Sept.  
11-16, 2016, Adelaide, Australia.
- ⑤ T. Shimoda,  
Structure of neutron-rich Mg isotopes studied  
in decay spectroscopy of spin-polarized Na  
isotopes,  
Int. Conf. on hyperfine interactions and their  
applications (HYPERFINE 2016), July 3-8  
(2016) Leuven, Belgium
- ⑥ H. Nishibata,  
Study of exotic structures in neutron-rich  
 $^{30}\text{Mg}$  and  $^{31}\text{Mg}$  by spin-polarized radioactive  
beam,  
Int. Symp. on Frontier of  $\gamma$ -ray Spectroscopy,  
Oct. 1-3 (2015), Osaka, Japan
- ⑦ A. Odahara,  
Shape evolution and shape coexistence  
studied with radioactive nuclear beams,  
Int. Symp. on Frontier of  $\gamma$ -ray Spectroscopy,  
Oct. 1-3 (2015), Osaka, Japan
- ⑧ 西畑洗希, 下田正, 小田原厚子, 森本  
翔太, 吉田晋之介, 八木彩祐未, 金岡  
裕志, 河村嵩之, 中橋晶, 藤原智貴, 吉住  
孝之, M. Pearson, C. D. P. Levy,  
偏極不安定核 Na ビームを用いた中性子  
過剰 Mg 同位体の構造研究、  
日本物理学会、2015 年秋季大会、大阪  
市立大学、2015 年 9 月 25 日-28 日
- ⑨ 森本翔太, 下田正, 小田原厚子, 西畑  
洗希, 吉田晋之介, 八木彩祐未, 金岡  
裕志, 河村嵩之, 中橋晶, 藤原智貴,  
吉住孝之, M. Pearson, C. D. P. Levy,  
スピン偏極した  $^{31}\text{Na}$  の  $\beta$  遅延中性子  
崩壊で探る  $^{31}\text{Mg}$  の中性子非束縛状態  
の研究、  
日本物理学会、2015 年秋季大会、大阪  
市立大学、2015 年 9 月 25 日-28 日
- ⑩ 西畑洗希, 下田正, 小田原厚子, 森本  
翔太, 吉田晋之介, 八木彩祐未, 金岡  
裕志, 河村嵩之, 中橋晶, 藤原智貴, 吉住  
孝之, M. Pearson, C. D. P. Levy  
偏極不安定核  $^{31}\text{Na}$  ビームを用いた中性子  
過剰な  $^{31}\text{Mg}$  の構造の研究  
日本物理学会、第 70 回年次大会、  
早稲田大学、2015 年 3 月 21-24 日

- ⑪ A. Odahara,  
Study of structure change in neutron-rich Mg  
isotopes by spin-polarized radioactive Na  
beam,  
Workshop on 'Progress in nuclear  
shell-model calculations in CNS-RIKEN  
collaboration', Nov. 26-28, 2014, Saitama,  
Japan.
- ⑫ H. Nishibata, T. Shimoda, A. Odahara, and  
S1391 Collaboration,  
Study of structure change in neutron-rich Mg  
isotopes by spin-polarized radioactive beam,  
4th Joint Meeting of the APS Division of  
Nuclear Physics and the Physical Society of  
Japan, Oct. 7-11, 2014, Waikoloa, Hawaii,  
USA.

#### [その他]

ホームページ

<http://adam.phys.sci.osaka-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

下田 正 (SHIMODA, Tadashi)

大阪大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：7 0 1 3 5 6 5 6

### (2) 研究分担者

小田原 厚子 (ODAHARA, Atsuko)

大阪大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：3 0 2 6 4 0 1 3

### (3) 連携研究者

今井 伸明 (IMAI, Nobuaki)

東京大学・大学院理学系研究科附属原子核  
科学研究センター・准教授

研究者番号：8 0 3 7 3 2 7 3

宮武 宇也 (MIYATAKE, Hiroari)

大学共同利用機関法人高エネルギー加  
速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授  
研究者番号：5 0 1 9 0 7 9 9

平山 賀一 (HIRAYAMA, Yoshikazu)

大学共同利用機関法人高エネルギー加  
速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教  
研究者番号：3 0 3 9 1 7 3 3

### (4) 研究協力者

LEVY Phil (LEVY, Phil)

TRIUMF・Resonant Ionization Laser Ion  
Source group・Senior Scientist

PEARSON Matt (PEARSON, Matt)

TRIUMF・Laser Spectroscopy group・Senior  
Scientist

木村 真明 (KIMURA, Masaaki)

北海道大学・大学院理学研究院・准教授