

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24740187

研究課題名(和文)リチウム11におけるスピン・アイソスピン対称性の回復メカニズムの研究

研究課題名(英文)Study of restoration mechanism of the spin-isospin symmetry in 11Li

## 研究代表者

笹野 匡紀 (Sasano, Masaki)

国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・研究員

研究者番号：10515802

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：原子核のスピンとアイソスピンを同時に反転させるガモフ・テラー(GT)巨大共鳴がどうい  
う励起エネルギーに、どの程度の強度をもって存在するかを調べることは、その共鳴現象の背後にあるスピン・アイソ  
スピン対称性が、どのように原子核全体に影響しているかを理解する上で、本質的に重要である。本課題期間中に、中  
性子ハロー核リチウム11を含む原子核のGT遷移測定プロジェクトを、RIBFにおいて申請し、認めさせた。また同じく  
スピン・アイソスピン対称性が見える可能性のある中性子スキンを持つSn同位体で、かつ中重核領域の最重要核錫132  
のGT巨大共鳴探索を行い、その観測に成功した。

研究成果の概要(英文)：It is an essential step in nuclear physics to elucidate the effect of the  
spin-isospin symmetry on nuclei through studies of the Gamow-Teller giant resonance, which is  
simultaneous flips of spin and isospin directions. In this funding period, the project of measuring GT  
giant resonances in neutron halo nuclei including 11Li was approved in RIBF. Moreover, an experiment was  
performed to search a GT giant resonance in 132Sn, which, similarly as 11Li case, is a good candidate to  
observe the effect of the spin-isospin symmetry due to pure neutron material in the nuclear surface  
(neutron skin). The GT giant resonance in 132Sn was successfully identified.

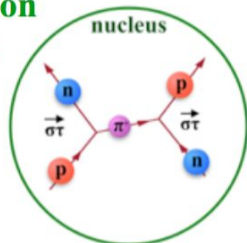
研究分野：原子核物理学

キーワード：スピン・アイソスピン対称性 中性子ハロー 中性子スキン ガモフ・テラー遷移 巨大共鳴 不安定  
核

1. 研究開始当初の背景

シンプルな構成素、相互作用から、多様な現象が出現するのが原子核の多体系としての面白さである。

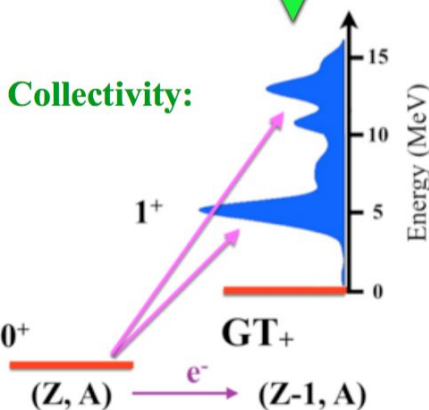
Nucleon-nucleon interaction



Strong effect



Collectivity:



Gamow-Teller Giant Resonance

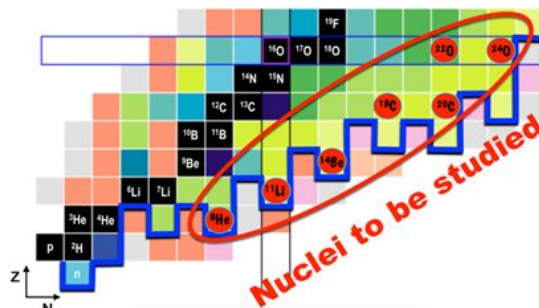
いくつかある核力の成分の内、最も基本的な成分はパイ中間子によって運ばれる(右図上部)。この成分は核子のスピンとアイソスピンを同時に変化させるような力である。この変化はスピン・アイソスピン空間での回転だと考えられる。したがって、原子核中におけるスピン・アイソスピン対称性の役割を理解するうえで、このチャンネルを理解する必要がある。

研究開始当初は、ニッケル56不安定核において測定されたガモフ・テラー(GT)遷移強度がスピン・アイソスピン対称性の回復を反映していると、示唆されていた。スピン・アイソスピン対称性は、安定核における研究の範疇では、通常破れていると考えられるため、非常に重要な示唆であった。しかしながら、不安定核でGT遷移強度を広い励起エネルギー領域で測った例は上記一例に限られ、さらなるデータ取得が必要な状況であった。

2. 研究の目的

核内では通常破れているスピン・アイソスピン対称性が、こういった場合、また、どの程度回復するか、GT遷移の集団性の研究を通して、明らかにすることが目的である。

3. 研究の方法



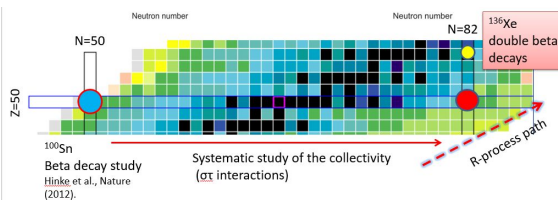
リチウム11のような極端に中性子過剰な原子核では、その表面が純粋な中性子物質だと考えられる。このような系ではスピン・アイソスピン対称性が部分的に回復している可能性がある。GT巨大共鳴がどういう励起エネルギーに、どの程度の強度をもって存在するかを調べることで、対称性の回復現象の有無を明らかにする。

このための手法として、原子核を構成する陽子数、中性子数を変えながら、スピン・アイソスピン応答の変化を系統的に調べる。このことによって、構成要素による効果と、相互作用による効果を切り分けて議論することができる。

上の図は横軸が原子核を構成する中性子の数、縦の軸が陽子数の数に対応しており、一つ一つのブロックが原子核を表している(核図表)。ここではフッ素元素までの領域に対応する軽い原子核の領域を拡大して示している。黒色に塗られたブロックは自然界に安定的に存在するものである(安定核)。

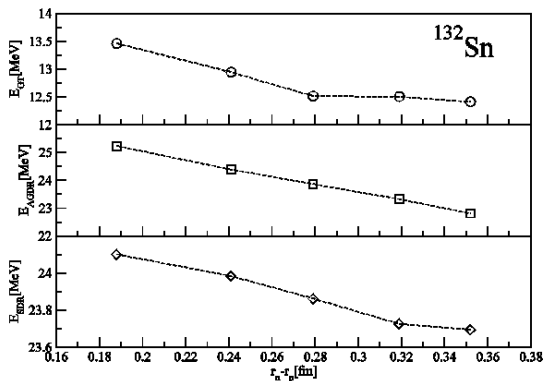
本研究の方法は、これら安定核の領域から大きく中性子数が過剰になった不安定な領域において、原子核のスピン・アイソスピン応答を調べることである。この領域の最も重要な核であるヘリウム8、リチウム11、ベリリウム14を含む原子核のGT遷移測定計画を、申請者が中心人物の一人として、理研RIBFで提案し、受理させた。

また、「1」でのベータニッケル56核の延長として、クロミニウム48核、ゲルマニウム64核のGT遷移測定計画を、申請者が中心になり理研RIBFで提案し、受理させた。

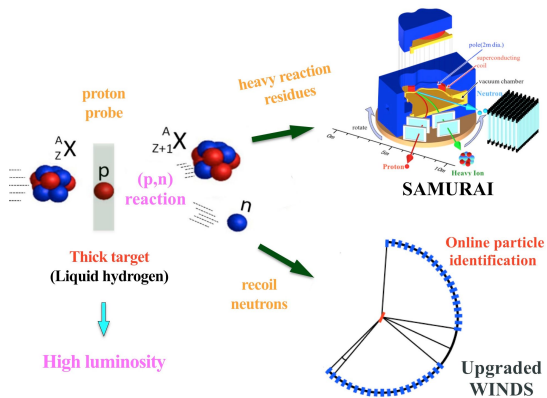


加えて、リチウム11と同じく中性子過剰で、中重核(質量数100程度)領域の最重要核である錫132においてガモフ・テラー遷移の測定を行った。この系は核表面に中性子スキンと呼ばれる純粋な中性子物質を持ち、リチウム11と同じくスピン・アイソスピン対称性の効果が表れやすいと考えられる。上の図は、安定核を含めた錫同位体付近の核図表を示している。錫同位体は、質量数112から126まで存在している。錫13

2は、これら安定的に存在する領域から大きく離れており、その表面では中性子スキンが強く発達していることが期待されている。



上の図は、ガモフ・テラー巨大共鳴の位置と中性子スキン厚さの関係を理論的に示している。今回、 $^{132}\text{Sn}$ においてはじめてGT巨大共鳴の場所を測ることで、純粋な中性子物質において、スピン・アイソスピン対称性の効果を見ることが出来る。この図で、 $^{132}\text{Sn}$ は一番右の点に対応する。

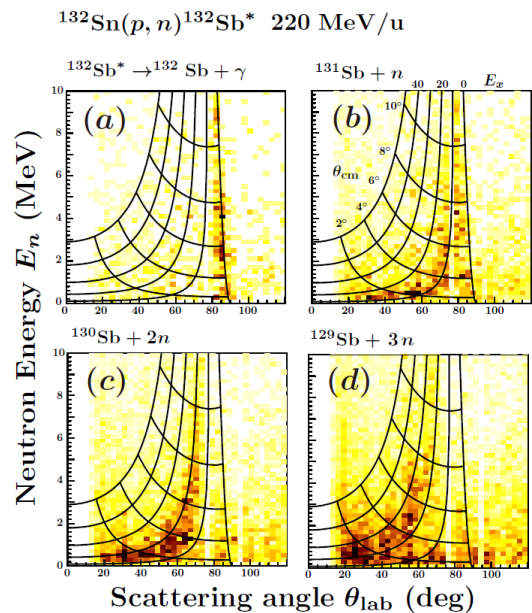


上図は本研究で用いる実験手法を模式的に表している。調べたい不安定核が光速の半分程度の速度で左から飛んでき、実験室に静止した陽子（プローブ粒子）にぶつかる。この際、不安定核とプローブ粒子の間で、スピンとアイソスピンが交換されることで（(p,n)反応）、プローブ粒子である陽子は中性子に代わり（アイソスピン反転）、そのスピンの向きをかえる。同時に、標的の中では、スピンとアイソスピンが反転するGT遷移が励起される。この核反応を興味のない反応から分離するため、RIBFの基幹装置の一つであるSAMURAI磁気分析器を用いる。同時に励起エネルギーを調べるために中性子検出器（WINDS）を用いる。

#### 4. 研究成果

上記で述べた一連の測定計画のうち、錫132の実験に関しては、期間中にすでに実験が行われた。

右上の図は、得られた(p,n)反応イベントを、縦軸中性子の運動エネルギー、横軸実験室系での散乱角度示したものである。a,b,c,dは、反応後のアンティモニ $^{132}$ 核の



異なる崩壊モードに対応している。色は、イベントの強度を表しており、色が黒色に近いほうが、多くのイベントが集中していることを示している。オーバープロットされた座標系は重心系での散乱角度と励起エネルギーの関係を表している（運動学曲線）。得られたイベント分布は、運動学曲線によって存在しており、正しく(p,n)反応イベントを測定していることを意味している。

ここから得られたGT遷移強度分布は、強いGT巨大共鳴を含んでいる。また、その励起エネルギーの位置は、安定核でえられた系統性に比べ、高いことが分かった。

このことは、集団性が強くなっていることを示しており、スピン・アイソスピン対称性の回復を示唆するものと考えている。

これらの結果は論文として出版する。

#### 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 4 件)

C. L. Bai, H. Sagawa, M. Sasano, et al., "Role of T=0 pairing in Gamow-Teller states in N=Z nuclei", Physics Letters B 719 (2013) 116-210, 査読有、doi: 10.1016/j.physletb.2012.12.060

M. Sasano et al., "Extraction of Gamow-Teller strength distribution from Ni-56 and Co-55 via the (p,n) reaction in inverse kinematics", Physical Review C 86 (2012) 3424, 査読有、doi: 10.1103/PhysRevC.86.034324.

G. Perdikakis, M. Sasano, R.G.T. Zegers, et al., "LEND: A low energy neutron detector array for experiments with radioactive beams in inverse kinematics", Nuclear instruments and methods in physics research section A,

686 (2012) 117-124, 査読有、doi:  
10.1016/j.nima.2012.05.076  
M. Sasano et al., “Gamow-Teller  
transition strength in the  
intermediate nucleus of the Cd-116  
double-beta decay by the  
Cd-116(p,n)In-116 and  
Sn-116(n,p)In-116 reactions at 300 MeV,  
Physical Review C 85 (2012) 61301, 査  
読有、doi: 10.1103/PhysRevC.85.061301  
〔学会発表〕(計 6 件)  
[International Conference etc.]

M. Sasano, “Gamow-Teller transitions  
from  $^{132}\text{Sn}$ ”, Collective motion in  
nuclei under extreme conditions,  
Krakow, Poland, 14-18th September  
(2015). An invited talk.

M. Sasano, “Study of Gamow-Teller  
transitions in  $^{132}\text{Sn}$ ”, International  
Conference, Nuclear Structure and  
Related Topics, Dubna, Russia, 14-18th  
July (2015). An invited talk.

J. Yasuda, M. Sasano et al., “Slow  
neutron detector WINDS for (p,n)  
reaction in inverse kinematics with  
SAMURAI spectrometer”,  
International Conference on  
Electromagnetic Isotope Separator and  
Related Topics (EMIS 2015), Grand  
Raipids, MI, US, 11-15th May (2015).

M. Sasano, “Gamow-Teller transitions  
from  $^{56}\text{Ni}$ ”, Cordon Research  
Conference, Colby-Sawyer College,  
New London, NH, US, June 9 to 14th  
2013, an invited talk.

M. Sasano, “Gamow-Teller transitions  
from  $^{56}\text{Ni}$ ”, 日本物理学会、広島、広島  
大学東広島キャンパス、2013年3月26  
日～2013年3月29日、招待講演

M. Sasano, “Gamow-Teller transitions  
from  $^{56}\text{Ni}$ ”, COMEX4, Shonan Village  
Center in Kanagawa (横須賀市、湘南  
国際村), October 22 to 26<sup>th</sup>, 2012, an  
invited talk.

〔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：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

笹野 匡紀 (Masaki Sasano)  
国立研究開発法人理化学研究所、  
仁科加速器研究センター、研究員  
研究者番号：10515802

### (2) 研究分担者

なし。

### (3) 連携研究者

なし。