

## 論文内容の要旨

論文題目： Study of Excited States of Neutron-rich Ti

Isotopes using TOF Spectrometer

(TOF スペクトロメータを用いた中性子過剰な Ti 同位体における励起状態の研究)

氏名： 鈴木 宏

中性子過剰な Ti 同位体( $^{53,54,55,56,58}\text{Ti}$ )の核構造を、イン・ビーム  $\gamma$  線核分光の手法を用いて研究した。その結果、 $^{58}\text{Ti}$  と  $^{56}\text{Ti}$  の核の集団性はほぼ等しく、Cr 同位体に見られた中性子数  $N=40$  にむけて強まる変形は、 $^{58}\text{Ti}$  には見られないことが示唆された。また、Ti 同位体の奇核における low-lying な励起状態のエネルギー比較結果が、従来から示唆されてきた Ti 同位体における  $N=32$  の閉殻性を支持することが分かった。

中性子過剰な *pf* 殻領域の核は、中性子数が過剰になるにつれて殻構造がダイナミックに変化し、これが核の集団性に強く影響している。Cr, Ti, Ca 同位体では、 $N=32$  に  $2^+$  励起エネルギー ( $E(2^+)$ ) のピークが有り、閉殻性が強いことが示唆されている。また、Cr 同位体においては、調和振動子型の魔法数  $N=40$  の魔法数性が消失し、中性子数が  $N=40$  に近づくにつれて変形が進むことが報告された。 $^{60,62}\text{Cr}$  において、 $E(2^+)$  は他の Cr 同位体のそれより低くなり、核の変形度も増大している。

本研究の目的は、Ti 同位体における  $N=32$  の副閉殻に関する知見を、中性子の 1 粒子軌道から得ること、そして Cr 同位体で発見された変形領域が Ti 同位体にまで広がっているのか、広がっているならばどの程度広なのかを明らかにすることである。

中性子過剰な Ti 同位体の  $\gamma$  線核分光実験を、理化学研究所・入射核破砕片分離装置(RIPS)にて行った。63A MeV の一次ビーム  $^{70}\text{Zn}$  から、入射核破砕反応法により目的の核を含む高速の不安定核(カクテルビーム)を生成した。一次標的としては  $^9\text{Be}$  を使用した。不安定核は RIPS で TOF -  $\Delta E$  -  $B\rho$  法により識別した。

不安定核を励起するための二次標的として、液体水素標的を選択した。本標的は、荷電粒子が物質通過中に損失する単位エネルギーあたりの標的核数が多く、またバックグラウンドが少ない。これらの点がビーム強度の低い実験にとって有利になるためである。陽子非弾性散乱や中性子剥離反応により、目的の Ti 同位体の励起状態を生成した。

励起した核から脱励起して放出された  $\gamma$  線は、二次標的の周りに設置した NaI(Tl) 検出器群 DALI2 で検出した。

二次標的にて散乱した粒子(質量数(A)~60)の識別のために、TOF スペクトロメータを使用した(図 1 参照)。この装置は陽子数(Z)と質量数(A)を TOF -  $\Delta E$  - E法によって識別する。本装置の工夫点は、二次標的にて散乱して広がる粒子を超伝導三連四重極電磁石(STQ)で収束させ、TOF のための飛行距離を確保したまま後方の検出器の面積を小さくしたことである。また、装置内に双極磁石を使用していないため、様々な磁気剛性を持つ散乱粒子を磁場設定の変更なしに一度に検出できる。ゆえに、二次標的にての様々な反応(陽子非弾性散乱、荷電交換反応、入射核破砕反応など)により生成した多核種を同時観測できる。

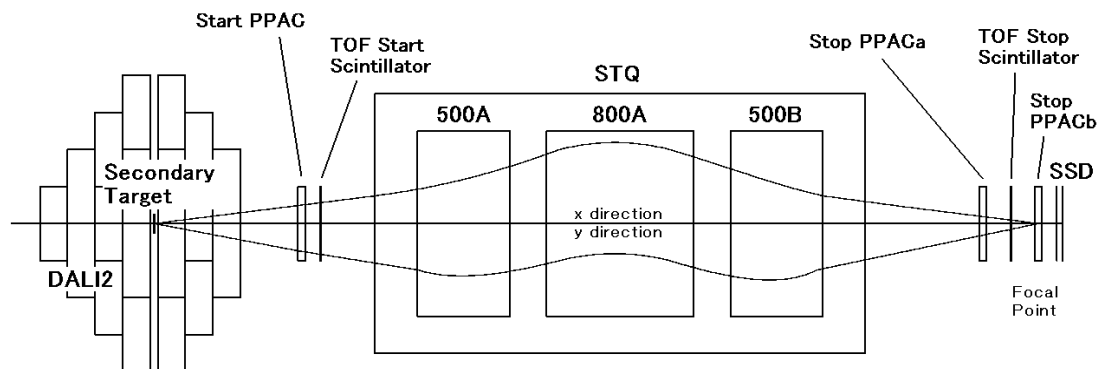


図 1: TOF スペクトロメータの概略

本装置は、1)TOF 測定 2)  $\Delta E$ 、E測定 3)粒子収束の 3つの役割を持つ。1)TOF は STQ 前後のプラスチックシンチレータと PPAC の時間情報を使用して測定した。2)  $\Delta E$  と E はビームライン最下流に置いたシリコン検出器(SSD)にて測定した。3)STQ の磁石を磁場のシミュレーション計算から適切な値に設定し、粒子の効率よい検出に努めた。本実験での Z 分解能は 2.0%(FWHM)を達成し、Z~22 の粒子を 5.3 $\sigma$  で分離した。A 分解能は 1.4%(FWHM)となり、A~55 の粒子を 3.0 $\sigma$  で分離できた。

$\gamma$ 線の観測は、二次標的に入射する粒子、及び標的から出射する粒子とのコインシデンスをとった。入射粒子は RIPS で、出射粒子は TOF スペクトロメータで識別することにより、核種と反応チャネルを同定した。

Ti 同位体の偶偶核についての結果と考察を述べる。

$^{58}\text{Ti}$  に 3 本の  $\gamma$  線を発見した。そのエネルギーは  $1046 \pm 9(\text{sta}) \pm 6(\text{sys})$  keV、 $1376 \pm 16(\text{sta}) \pm 7(\text{sys})$  keV、そして  $1835 \pm 20(\text{sta}) \pm 18(\text{sys})$  keV であった。1046keV の  $\gamma$  線は陽子非弾性散乱チャネルにおいて強く観測されたので、 $^{58}\text{Ti}$  の第一 2+励起エネルギーと決定した。1376 keV と 1835 keV の  $\gamma$  線は、1046 keV の  $\gamma$  線とコインシデンスしていると考えられ、励起状態のエネルギーは、それぞれ  $2422 \pm 18(\text{sta}) \pm 13(\text{sys})$  keV、 $2881 \pm 22(\text{sta}) \pm 24(\text{sys})$  keV である。1376 keV のピークは 1046 keV のピークの次に強く観測されたので、既知の核の例から、2422 keV が第一(4+)励起エネルギーと考えられる。

次に、 $^{54,56,58}\text{Ti}$  の第一 2+励起状態の生成断面積を測定した。また、DWBA 計算を用い、これらの核の変形度  $\beta_{p,p'}$  を導出した。

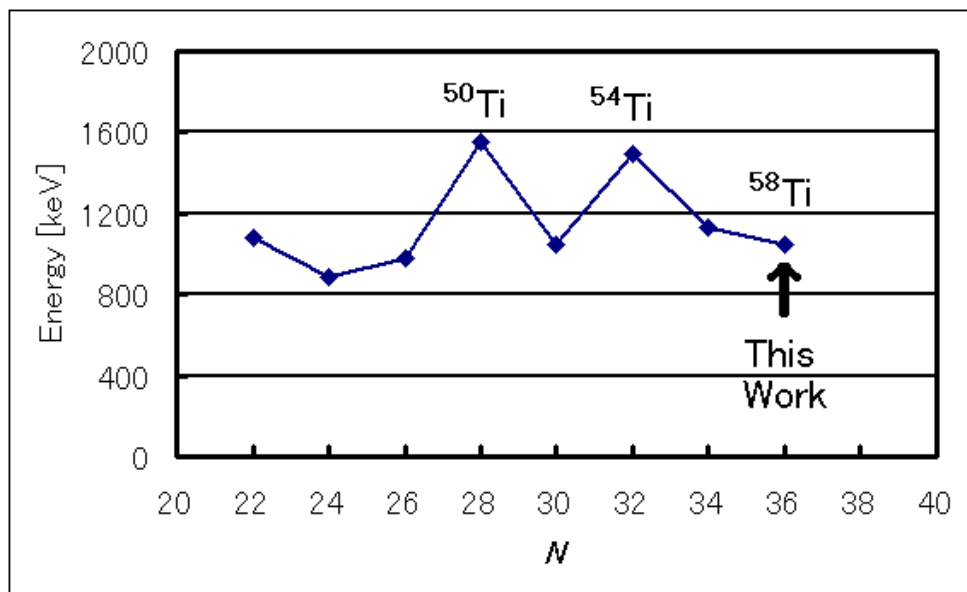


図 2 : Ti 同位体の第一 2+励起エネルギー

$^{58}\text{Ti}$  の  $E(2^+)$ ,  $R_{4/2}(=E(4^+)/E(2^+))$ ,  $\beta_{p,p'}$  を既知の Ti 同位体と比較した。その結果、 $^{58}\text{Ti}$  の集団性は、 $^{56}\text{Ti}$  の集団性と同等( $E(2^+)$ ,  $\beta_{p,p'}$  より)か、それ以上( $R_{4/2}$  より)と分かった。

Ti, Cr, Fe 同位体の  $E(2^+)$  を比較した。その結果、Cr 同位体を中心として  $N=40$  にむけて  $E(2^+)$  が下がっていることが分かった。つまり、 $^{58}\text{Ti}$  には Cr 同位体で見られた変形は見られず、 $N \leq 36$  の Ca, Ti 同位体には変形領域が広がっていないことが示唆された。

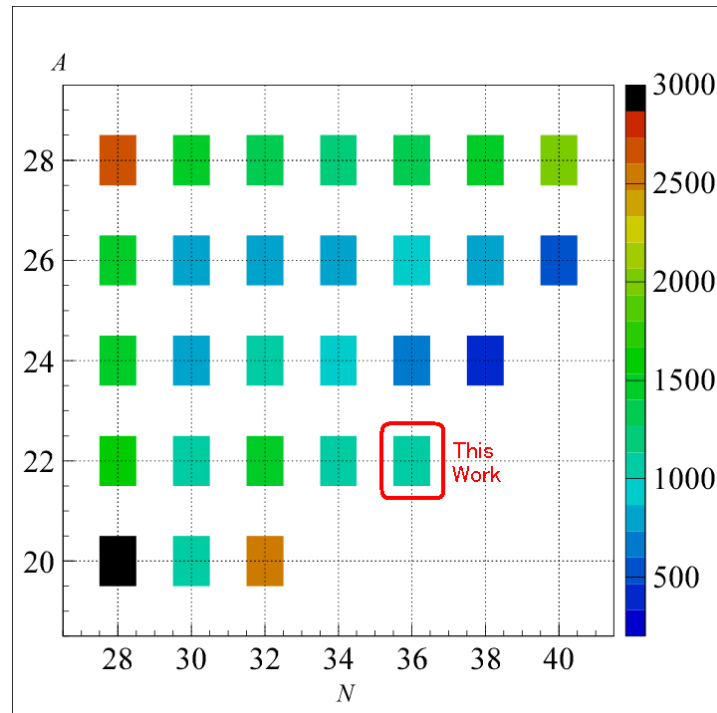


図 3 :  $^{58}\text{Ti}$  近辺の核種の第一 2+励起エネルギー

次に、Ti 同位体の奇核についての結果と考察を述べる。

$^{53}\text{Ti}$  において、新しい  $\gamma$  線を発見し、そのエネルギーは  $1021 \pm 22(\text{sta}) \pm 6(\text{sys})$  keV であった。この励起状態は基底状態に直接脱励起することが示唆された。また、full  $pf$  殻計算である GXPF1A 計算より、このエネルギーは中性子軌道  $\nu p_{3/2}$  と  $\nu p_{1/2}$  のエネルギー差に相当することが考えられる。

$^{55}\text{Ti}$  においても、新しい  $\gamma$  線ピークを発見し、そのエネルギーは  $983 \pm 7(\text{sta}) \pm 5(\text{sys})$  keV であった。これは、 $3/2^-$  励起状態から  $2/1^-$  基底状態への遷移によるものと考えられる。また、以前より知られていた  $592\text{keV}$  の  $\gamma$  線が陽子非弾性散乱チャンネルで強く見られることから、 $E2$  遷移によるものと同定した。励起状態のエネルギーが低いのは、 $^{54}\text{Ti}$  コアの励起によるものと、単独中性子の軌道準位の変化による励起が混ざっているためと考えられる。

$N=29,31$  の Cr,Ti 同位体の低励起状態のエネルギー比較をした。これらの核の基底状態は  $3/2^-$  なので、 $1/2^-$ ,  $5/2^-$  の低励起状態のエネルギーは、それぞれ、中性子軌道  $\nu p_{3/2}$  から  $\nu p_{1/2}$  と  $\nu f_{5/2}$  へのエネルギー差を反映していると考えられる。Ti 同位体では、 $1/2^-$  状態への励起エネルギーが  $5/2^-$  状態と  $1/2^-$  状態のエネルギー差より大きいことより、 $\nu p_{3/2}$  と  $\nu p_{1/2}$  のエネルギー差のほうが  $\nu p_{1/2}$  と  $\nu f_{5/2}$  より大きいことが考えられる。つまり、 $N=32$  に殻ギャップがあり、 $N=34$  にはないことを示唆している。これは、偶偶核の  $E(2^+)$  の比較から示唆された閉殻性の挙動を支持するものである。