

論文の内容の要旨

Nuclear structure at the border of the island of inversion: in-beam γ -ray spectroscopy of ^{30}Mg

(反転の島境界での核構造： ^{30}Mg のインビーム核分光)

氏名 北村徳隆

魔法数の概念は、陽子と中性子から構成される量子多体系である原子核を特徴づける上で最も基本的である。不安定核領域においては、原子核の殻構造が陽子数と中性子数の関数として変化することに伴い、安定核領域で確立していた魔法数が成り立たなくなることが知られている。その一例として、 ^{32}Mg 周辺の中性子過剰な不安定核には中性子数 $N = 20$ に対応する魔法性が失われている領域が存在する。この領域に属する原子核の基底状態では $N = 20$ の殻ギャップを超えた配位が支配的となっていることから、 ^{32}Mg の周辺核は「反転の島」と名付けられている。反転の島の発見は 1975 年の中性子過剰 Na 同位体の質量測定に遡る [1]。それ以来、反転の島の出現機構および反転の島近傍核の核構造の統一的な理解に向けて、理論と実験の両方の側面から研究が進められてきた。

本論文は反転の島の境界近傍に位置する ^{30}Mg の核構造をより明らかにするための詳細な核分光測定に関するものである。 ^{30}Mg の分光学的情報は安定核から反転の島にかけて核構造がどのように変化するのかを追跡するために特に重要である。 ^{30}Mg の励起状態は Na 同位体の β 崩壊を利用した γ 線核分光によって調べられてきた [2–5]。近年、核融合反応 $^{14}\text{C}(^{18}\text{O}, 2p)$ を用いたインビーム γ 線核分光 [6]、さらに最近には ^{31}Mg による一中性子ノックアウト反応を用いたインビーム γ 線核分光 [7] の結果が報告された。これらのインビーム測定においては、 ^{30}Mg の励起エネルギー 2.5 MeV 付近に負パリティを持った状態が存在することが示唆された。負パリティ状態は奇数個の中性を $N = 20$ のギャップを超えて励起することによって生成されるため、負パリティ状態の励起エネルギーは $N = 20$ のギャップの実効的な大きさに関連している。実験的に観測された 2.5 MeV という励起エネルギーは周辺核の系統性から考えても 1 MeV 程度低いものであり、加えてこの状態の励起エネルギーが殻模型による理論計算で再現できないことから、現状の ^{30}Mg の理解とその理論的記述について疑問が投げかけられている状況にあった。

本研究では、 ^{30}Mg の励起準位のスピン・パリティをより高い精度で決定することを目的として、詳細なインビーム γ 線核分光測定をミシガン州立大学にて行った。不安定核 ^{31}Mg 、 ^{32}Mg 、 ^{34}Si および ^{35}P を安定核 ^{48}Ca ビームの入射核破砕反応によって高速二次ビームとして生成し、これらを反応標的に照射することで ^{30}Mg の励起状態を一中性子ノックアウト反応および多核子除去反応に

よって生成した。励起状態から放出される脱励起 γ 線を Ge 検出器アレイ GRETINA によって検出すると同時に、反応後の残留核 ^{30}Mg を S800 磁気スペクトログラフによって同定、運動量分析した。強力な二次ビームの利用により高統計量のデータが得られ、 γ 線のコインシデンス解析によって信頼性の高い ^{30}Mg のレベルスキームが構築された。 ^{31}Mg による一中性子ノックアウト反応においては、剥ぎ取られた中性子の軌道角運動量が残留核 ^{30}Mg の運動量分布に反映される。核反応計算と実験的に得られた運動量分布を比較することにより、 ^{30}Mg の励起状態のスピン・パリティの決定が可能となった。

解析の結果、負パリティ状態の現れる位置が新たに決定され、今回の実験データは負パリティ状態が 3.3 MeV 以上の領域に現れることの裏付けとなっている。特に、以前のノックアウト反応を用いた測定 [7] において 2^- 状態の候補とされていた準位は 2^+ 状態であると結論づけた。新たに得られた励起準位の構造を $N = 18$ 同調体の系統性と比較したところ、 ^{32}Si から ^{30}Mg にかけて、以前に提唱されていたほど急激ではないにせよ負パリティ状態の励起エネルギーの低下が認められた。これは、 $N = 20$ のギャップの縮小に伴って生じる、反転の島出現に向けた前駆的な核構造の変化を示すものであると考えられる。また、一中性子ノックアウト反応における各準位に対応する断面積を核反応計算と比較することにより、 ^{31}Mg の基底状態と ^{30}Mg の状態間の波動関数の重なりを反映する分光学的因子を導出した。負パリティ状態に対応する分光学的因子は大きな値を示しており、これは ^{31}Mg の基底状態において $N = 20$ のギャップを超えた励起が支配的になっており、 $f_{7/2}$ 軌道、さらには $p_{3/2}$ 軌道にも多数の中性子が励起していることが明らかになった。

^{30}Mg の核構造についてより深い理解を得るために大規模殻模型計算を行い、実験的に得られた励起準位のエネルギー、スピン・パリティと比較した。その結果、殻模型計算に用いた有効相互作用 [8,9] によらず ^{30}Mg の準位構造は非常に良く再現されることが分かった。その一方で、分光学的因子の再現はどの相互作用も完全ではなく、加えて相互作用によって ^{30}Mg における変形共存の描像が大きく異なることも明らかとなった。これらの結果は、現状の殻模型計算では反転の島への遷移の様相がまだ完全に理解できていないことを示しており、今後より理論的な発展が望まれる。今回得られた実験データは、反転の島の出現の様相のより深い理解と、将来のさらなる実験的研究に向けた礎石となるものである。

- [1] C. Thibault *et al.*, Phys. Rev. C **12**, 644, (1975).
- [2] D. Guillemaud-Mueller *et al.*, Nucl. Phys. A **426**, 37 (1984).
- [3] P. Baumann *et al.*, Phys. Rev. C **39**, 626 (1989).
- [4] H. Mach *et al.*, Eur. Phys. J. **25**, 106 (2005).
- [5] W. Schwerdtfeger *et al.*, Phys. Rev. Lett. **103**, 012501 (2009).
- [6] A. N. Deacon *et al.*, Phys. Rev. C **82**, 034305 (2010).
- [7] B. Fernández-Domínguez *et al.*, Phys. Lett. B **779**, 124 (2018).
- [8] Y. Utsuno *et al.*, Phys. Rev. C **60**, 054315 (1999).
- [9] N. Tsunoda *et al.*, Phys. Rev. C **95**, 021304(R) (2017).