（ 続紙 1 ）

京都大学	博 士（ 理 学 ）	氏名	中塚　徳継
論文題目	Isoscalar and Isovector strengths of low-energy dipole excitations in neutron-rich unstable ^{20}O		

（論文内容の要旨）

中性子過剰核の電気双極子励起状態には、よく知られた巨大双極子共鳴のほかに、低励起エネルギー領域に別の有意なピークを持つものが存在することが知られている。このような電気双極子状態はピグミー双極子あるいは低エネルギー双極子状態と呼ばれ、宇宙核物理や核物質の状態方程式との関わりから近年注目を集めている。巨大双極子共鳴が中性子と陽子の逆位相な振動というアイソベクター型の集団運動によりよく記述できることが知られている一方で、低エネルギー双極子状態がどのような構造を持つのかはまだよくわかっていない。近年の中性子過剰な安定核領域における実験により、低エネルギー双極子状態はアイソベクター型とアイソスカラー型両方の強度を持つことがわかり、巨大双極子共鳴とは異なる構造を持つことが示唆されるようになった。低エネルギー双極子状態の強度は、過剰中性子数が多くなるほど強くなる可能性が指摘されており、中性子過剰な不安定核での電気双極子励起状態の構造に大きな関心が持たれている。

本研究では、中性子過剰で不安定な酸素同位体^{20}Oにおける低エネルギー1^-励起状態のアイソスピン構造を調べるために、金標的によるクーロン励起(アイソベクタープローブ)と液体ヘリウム標的による^{4}He非弾性散乱(アイソスカラープローブ)での励起強度を比較する実験を行った。実験は理研RIBFにて行い、インビームガンマ線分光の手法を用いて低エネルギー1^-励起状態への微分断面積を決定した。γ線検出器として、ミラノ大学およびミラノINFNで開発された大体積$LaBr_3$:Ceシンチレータ検出器アレイをRIBFにおいて初めて用い、ドップラー効果によって10 MeV程度にも達する、低エネルギー1^-励起状態からの脱励起γ線を検出することに成功した。

歪曲波ボルン近似(DWBA)を用いた解析から、アイソベクター遷移強度(B(E1)↑)とアイソスカラー遷移強度(ISD EWSR)を独立に求めた。^{20}Oの中性子閾値以下の励起エネルギー領域で以前から知られていた5.36(5) MeV(1^-_1)と6.84(7) MeV (1^-_2)の２つの1^-励起状態は同じ程度のアイソベクター強度: B(E1)↑ = 3.57(20)$\times10^{-2}$ (1^-_1)および3.79(26)$\times10^{-2}$ (1^-_2) (e^2fm^2)を持つ一方、アイソスカラー強度は: ISD EWSR = 2.70(32) (1^-_1) および 0.67(12) (1^-_2) (%)、と大きな違いが見られることがわかった。このことから、２つの1^-励起状態は異なる構造を持っていることが示唆される。

乱雑位相近似(RPA)を用いた理論計算との比較から、アイソスカラー強度の弱い1^-_1状態は陽子の励起により生じている可能性があることがわかった。これは、先行研究で議論されていた過剰中性子の励起によるという見方を大きく変えるものといえる。その一方、アイソスカラー強度の強い1^-_2状態は理論計算では再現できず、その構造は不明である。しかしながら、1^-_2状態のアイソスカラー強度はN=Zな酸素同位体である^{16}Oで存在が知られている1^-状態のアイソスカラー強度と近く、双方の励起状態に関連がある可能性が示唆される。また、類似した強いアイソスカラー強度はカルシウム同位体^{40,48}Caでも存在が知られており、共通の構造に由来する可能性が示唆される。

（続紙 2 ）

（論文審査の結果の要旨）

本論文は、原子核の比較的低い励起エネルギー領域に見られる電気双極子励起状態のアイソスピン構造を実験的に調べたものである。電気双極子励起状態としては、励起エネルギーが 10－30 MeV 領域に強い強度の巨大双極子共鳴と呼ばれる励起状態が全ての原子核で存在し、その構造は純粋なアイソベクター型で集団的な励起であることがよく知られている。近年、原子核の中性子数が増えるに従って、もっと低い励起エネルギー領域にも巨大双極子共鳴程ではないが、まとまった強度を持つ双極子状態が発達する傾向が見いだされている。低励起双極子状態がどのようなメカニズムで作られるのかまだ良く分かっていないが、そのアイソスピン構造によっては宇宙核物理や核物質の状態方程式に強く影響することから、より中性子過剰な原子核における低励起双極子状態が特に注目されている。本研究では、理化学研究所不安定核ビーム工場（RIBF）で供給される高強度の不安定核 ^{20}O ビームを用いて、世界で初めて不安定核 ^{20}O の電気双極子励起状態のアイソスカラー成分とアイソベクター成分とを分離して測定することに成功した経緯についてまとめている。先行研究によって ^{20}O 核には 5.36 MeV と 6.84 MeV に 1^-励起状態が存在することが示されたが、実験にアイソベクター強度に強い感度があるクーロン励起だけが使われたため、アイソスピン構造については議論されていない。

不安定核の励起状態を調べるためには、調べたい原子核をビームとして使うことになるが、本研究では主にアイソベクター強度に感度のある金標的によるクーロン励起とアイソスカラー強度に高感度のヘリウム標的による^{4}He非弾性散乱の2つの反応を使って^{20}Oの電気双極子励起状態を励起している。そして励起された低エネルギー1^-励起状態からの脱励起γ線を同じ実験セットアップで測定することで、アイソスカラー成分とアイソベクター成分の分離を行っている。この実験を可能にするため、申請者等は実効厚さが32ｍｍある液体ヘリウム標的システムの設計・開発・試験を新たに進め、また高速で前方に飛行している^{20}Oから放射されるためドップラー効果によりエネルギーが2倍近くになる脱励起γ線を効率よく測定するために、ミラノ大学およびミラノINFNで開発された大体積$LaBr_3$:Ceシンチレータ検出器をRIBFに初めて導入し、それらを使った高統計データの収集を行った。

注意深い検出器の較正、粒子識別解析、ガンマ線応答の評価の後、歪曲波ボルン近似(DWBA)を用いた詳細な考察から、中性子閾値以下の励起エネルギー領域で以前から知られていた5.36 MeVと6.84 MeVの２つの1^-励起状態がほぼ同じ位のアイソベクター強度を持つこと、それに加えてこれらの励起状態はアイソスカラー強度も持ち、その強度が低い励起状態の方が高い方の4倍もあることを初めて明らかにした。このようにアイソスピン構造が大きく違う特異な双極子状態の発見は不安定原子核では初めてのことであり、今後、低エネルギー双極子励起状態の起源を理解する上で非常に重要な成果だと評価される。この実験の主要な結果については、既にPhysics Letters B 768、p387-392（2017)に掲載されている。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成30年1月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日：　　年　　月　　日以降