

修士論文概要書

Master's Thesis Summary

Date of submission: 01/07/2021

専攻名 (専門分野) Department	物理学及 応用物理学専攻	氏名 Name	西 郁也	指導員 Advisor	片岡 淳 印 Seal
研究指導名 Research guidance	放射線応用物理学 研究	学籍番号 Student ID number	5319A049-7		
研究題目 Title	即発ガンマ線を用いた高精度陽子核反応測定法の提案と実証				

【研究背景】

陽子と原子核における反応断面積の測定は、量子力学や核物理学といった基礎物理学の研究において重要であり、歴史的にも様々な手法で測定が行われてきた。加えて、近年では陽子線がん治療のモニタリングに利用する研究が行われており、それらの核反応断面積の精密なデータの需要が一層高まっている。しかし、従来の測定では陽子エネルギー依存性を導くために異なる陽子線が随時必要であったこと、加えて特定の原子核から放たれる即発ガンマ線は多岐に渡るゆえにノイズが多く、各輝線の正確な発生分布を得ることが困難という問題があった。

そこで本研究では、治療ビームを応用して核反応断面積を簡単かつ精密に測定する手法を考案した。本手法では陽子の深度方向に物理現象をスライスし、異なる陽子エネルギーがもたらす核反応を一度に測定することを可能としている。同時に応答関数法を用いることで、様々なガンマ線のコンタミネーションが解かれ、核反応の情報が直接導かれる。本研究では実際に、人体の大部分を構成する ^{12}C 、 ^{16}O 原子核についての測定を行い、各即発ガンマ線を伴う核反応断面積の取得を試みた。

【実験方法と結果】

実験は放射性医学総合研究所AVF-930サイクロトロンでの70MeV陽子線を用いて行い、陽子線照射中にターゲットから発生する即発ガンマ線をHP-Geで検出した。陽子と ^{12}C 、 ^{16}O 間で起こる核反応を調べるため、ターゲットとしてポリエチレン $[\text{CH}_2]_n$ およびゼラチン固化した水を選定した。ファントム板の厚みは11パターン、水は14パターン用意し、各ガンマ線スペクトルの差分を抽出することで、単一エネルギーの陽子線から、特定の陽子エネルギーにおける即発ガンマ線の検出を可能とした(図1)。取得した各スペクトルに対して、Geant4を用いたモンテカルロシミュレーションにより作成した応答行列(図2)を用いて、逐次近似解法によるunfoldingを行い、ファントムから発生する即発ガンマ線の発生分布の取得を試みた。

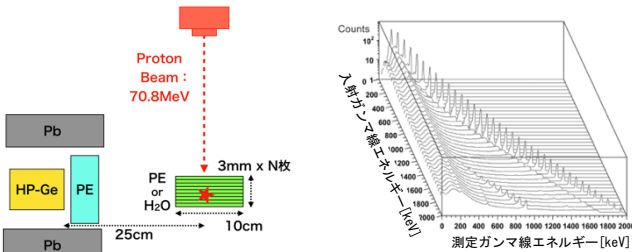


図1 実験セットアップ

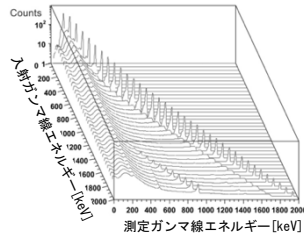


図2 HP-Geの応答行列

HP-Geにより取得した各実験のスペクトルを図3の青、これらに対するunfolding結果を図3の赤に示す。ここで得られたスペクトルはエスケープイベント、散乱イベントなどによるノイズを排除し、様々なガンマ線の寄与が正しく分離された。結果的として、理論的に ^{12}C -p、 ^{16}O -p反応で発生する即発ガンマ線を正しく反映しており、正確な発生分布の取得に成功した。

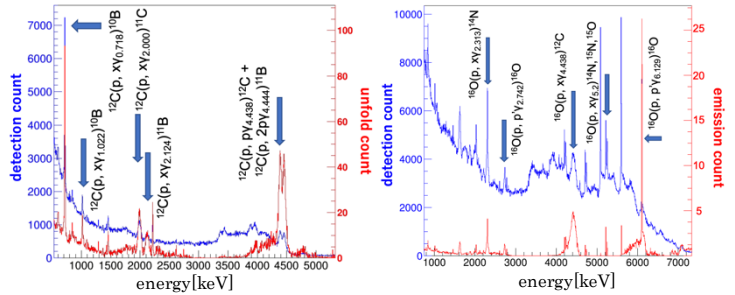


図3 ^{12}C -p(左)、 ^{16}O -p(右)反応のスペクトルと unfolding 結果

【核反応断面積の導出】

^{12}C -p実験においては、発生分布推定スペクトルに現れる各ガンマ線ピークを元に、4.4MeV、2.122MeV、2.000MeV、1.022MeV、718keV、 ^{16}O -p実験においては、6.129MeV、4.4MeV、5.2MeV、2.742MeV、2.313MeV即発ガンマ線を伴う反応断面積の算出を行った。両元素においても、エネルギーと発生量が共に高く、過去盛んに測定が行われた4.4MeVについては、それらのデータをよく再現できており、本研究で新しく導入した測定手法を裏付けるものとなった(図4)。本研究で紹介する手法は、他の輝線によるコンタミネーションの影響が大きい低エネルギーの即発ガンマ線にも適用することが可能で、既存のデータでは不十分なガンマ線についても、その核反応断面積の算出に成功している。

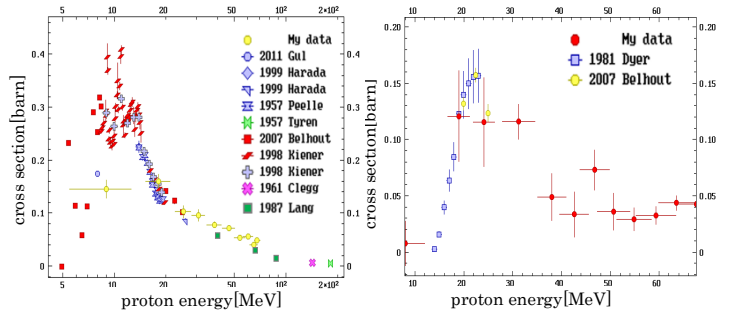


図4 ^{12}C -p(左)、 ^{16}O -p(右)における4.4MeV核反応断面積

【まとめと今後の展望】

上記の結果から本研究における即発ガンマ線を用いた反応断面積測定における新手法の有用性を示すことができた。今後は、より定量的なデータの取得を目指した最適化を測るとともに、粒子線治療モニタリングに向けたイメージングへの応用を検討する。加えて、医療応用に限らない多様な元素のデータの拡充を目指す。

【研究業績リスト】

- [講演] 西郁也 他、「即発ガンマ線を用いた ^{12}C -p核反応測定法の提案と実証」、第67回応用物理学学会春季学術講演会 2020、東京、日本
- [講演] 西郁也 他、「応答行列を用いた陽子核反応の精密測定」、第81回応用物理学学会秋季学術講演会 2020、オンライン