

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01 / 10 / 2018

専攻名 (専門分野) Department	物理学及 応用物理学専攻	氏名 Name	増田 孝充	指導 教員 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	5316A075-4		
研究題目 Title	高精度陽子線治療に向けた核反応可視化技術の開拓と線量分布推定への応用				

1. はじめに

陽子線は癌(がん)の放射線治療に広く用いられ、その高い線量集中性から高精度の照射が不可欠である。一方で、体内の線量分布計算に大きな不定性があり、治療計画では照射体積を大きめに設定することで、腫瘍に十分な線量を付与している。もし、患者体内の線量分布を外部から視ながら照射できるようになれば、腫瘍への線量集中性を最大限に高め、周辺の正常組織へのダメージを最小限に抑えることが可能となる。

現在は陽子線治療のモニターに PET(Positron Emission Tomography)装置が用いられている。PET 装置は入射陽子線と体内原子核との反応で生じる陽電子放出核種(図 1)の分布を可視化できる。しかし、電離過程による陽子線のエネルギー損失と陽電子放出核種の生成は全く異なるプロセスであるため、両者の空間分布は一致しない。PET 画像から線量分布を定量的に算出するためには、

- (1) 陽電子放出核種が生成する確率(核反応断面積)を正確に把握
- (2) 核反応データと PET 画像をもとに線量分布を推定

する必要があるが、十分なデータ・実用的な手法が存在しない。そこで、本研究では核反応が起こる際に生ずるチェレンコフ光(図 1)を可視化することで、核反応断面積を正確に導出する手法を確立した。さらに、得られた核反応データをもとに、PET 画像から線量分布を推定する新たなアルゴリズムを作成した。

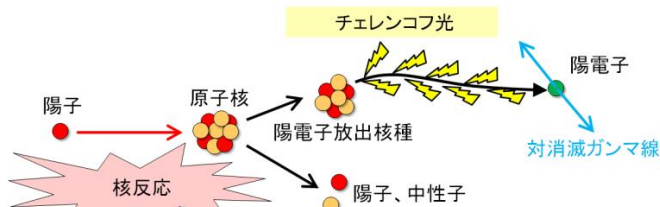


図 1. 陽電子放出核種の生成と反応の模式図

2. チェレンコフ光を用いた核反応断面積の導出

陽子と酸素原子核の間で起こる核反応を調べるため、ターゲットとして石英ガラス SiO₂を選定した。実験は放射線医学総合研究所にて行い、陽子線照射後に石英ガラス中で発生するチェレンコフ光を CCD カメラで撮影した(図 2)。チェレンコフ画像の時間発展を逐次的に解くことで、酸素原子核¹⁶Oから生成された3種類の陽電子放出核種¹⁵O、¹³N、¹¹C(半減期は順に 122 秒、598 秒、1222 秒)を分離し、それぞれの生成分布を導出することに成功した。

陽子はエネルギーを失いながら石英ガラス中を進むため、その深度分布はエネルギー分布に変換することができる。実験データより導出した核反応断面積を図 3 に示す。本手法は CCD を用いるため、簡単かつ高精度に多くのデータを取得することができ、過去に測定された実験値に比べてばらつきや誤差が小さいことがわかる。

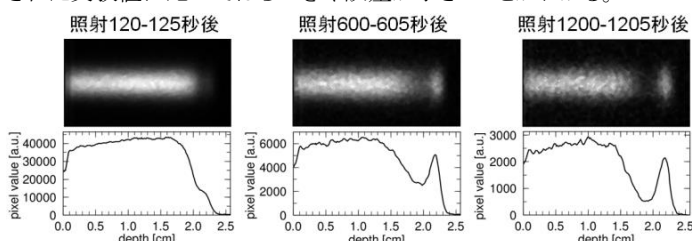


図 2. SiO₂ ターゲット中で発生したチェレンコフ光

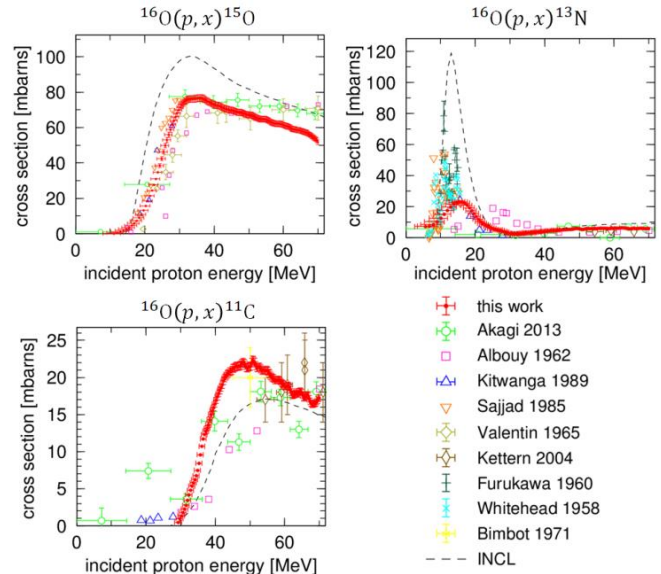


図 3. ¹⁶O(p, x)¹⁵O, ¹⁶O(p, x)¹³N, ¹⁶O(p, x)¹¹C の核反応断面積

3. PET 画像から線量分布の推定

得られた核反応データを、独自に考案した PET 画像-線量分布推定アルゴリズムに組み込んだ。国立がん研究センター東病院において測定された水の PET 画像より、照射した陽子線の線量分布を推定した(図 4)。推定した線量分布には PET 画像に由来するばらつきと系統的な誤差が存在するものの、概形を正しく再現することができた。

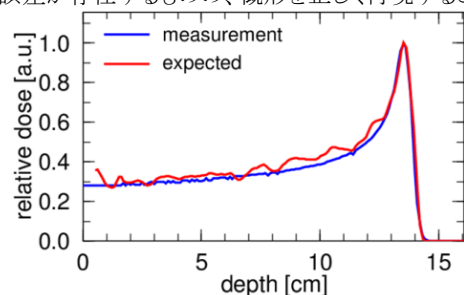


図 4. PET 画像より推定した陽子線の線量分布

4. まとめと今後の展望

本研究では (1) 陽子線と核反応で生ずる、陽電子放出核種の断面積を正確かつ迅速に測定する新しい手法を確立し、(2) PET 画像から陽子線の線量分布を推定するアルゴリズムを構築した。今後は陽子線治療中に生じる様々な核反応データを網羅的に取得し、臨床応用を見据えた線量分布推定アルゴリズムの改良を行う。

【研究業績リスト】

[国際会議]

T. Masuda *et al.*, A novel method of measuring nuclear reaction cross sections by using Cherenkov radiation toward high-precision proton therapy, IEEE NSS/MIC 2017, M-08-107.

[原著論文]

T. Masuda *et al.*, Scientific Reports, 8:2570, DOI:10.1038/s41598-018-20906-z, 2018.