

# 修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01/10/2019

専攻名 (専門分野) Department	物理学及応用物理学専攻	氏名 Name	望月早駆	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	5317A066-1		
研究題目 Title	陽子線治療オンラインモニタに向けた MeV ガンマ線高精度イメージングの実証				

## 【研究背景・目的】

近年、陽子線を腫瘍に照射することで、迅速かつ負担のない治癒を促す陽子線治療が注目されている。線量集中性の高い粒子線を用いた治療では正常組織へのダメージを最小限にすることが期待されるが、一方では精度の高い照射が不可欠である。照射の確認には PET(陽電子断層撮影)装置が広く用いられているが、リング構造のため治療ビームとの共存が難しく、照射中(オンライン)の照視野確認には不向きである。また、陽電子放出核種を生成する核反応と、電離相互作用による陽子線の線量分布には関連性が低く、得られる画像も類似性に乏しい。そこで近年、オンラインで治療ビームと共存可能で、かつ線量を正確に可視化する手法として即発ガンマ線が注目されている。シミュレーションによる先行研究によれば、 $^{12}\text{C}$  や  $^{16}\text{O}$  由来の 4.4MeV ガンマ線がブラッグピークを最も良くトレースすることが期待されるが、未だ実験的な検証は行われていない。本研究では MeV ガンマ線のイメージングを可能にする新型のコンプトンカメラの開発を行い、陽子線治療モニタに向けたブラッグピークイメージングに挑戦した。

## 【MeV ガンマ線コンプトンカメラの開発】

4.4MeV 即発ガンマ線のイメージング装置として、新たにコンプトンカメラを開発した。カメラは 2 層の散乱体と 10 層の吸収体からなり、検出器には GAGG シンチレーターと光検出器として MPPC アレイを用いた。また、アクティブシールドとして BGO シンチレーター、パッシブシールドとしてタングステンを図 1 のように配置した。このコンプトンカメラの基本性能としては、角度分解能が 4.4MeV において 6 度(FWHM)、FOV が 60 度程度である。

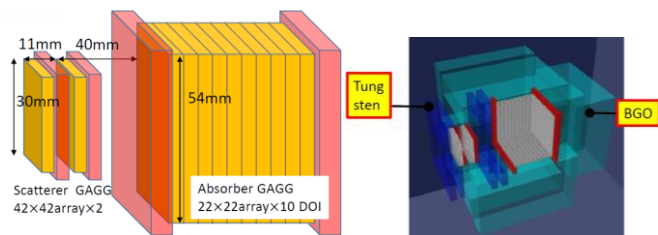


図 1. 新型コンプトンカメラの概略図

MeV 領域のガンマ線においては吸収体での光電吸収の反応断面積が小さくなるため、カメラ内で複数回散乱してしまう多重散乱イベントや、散乱ガンマ線が吸収されずにカメラ外に逃げってしまうエスケープイベントなどの割合が増えてきてしまう。そのため従来のコンプトンカメラではイメージングの感度も悪く、ノイズの割合も高くなってしまいう問題があった。そこで今回新たに開発したコンプトンカメラにおいては、これらのノイズイベントを排除するための新機構を搭載した。多重散乱イベントについては MPPC の信号読出しをストリップ読み出しにすることによって 9 割以上の確率で除去可能であることを確認した。エスケープイベントについては画像再構成に用いるイベントをエネルギーカット条件によって選択し、BGO シンチレーターの veto 信号を合わせて用いることで 9 割程度の割合で排除可能であることを実証した。

## 【即発ガンマ線イメージング実験】

放射線医学総合研究所のサイクロトロン棟において陽子線照射時の即発ガンマ線イメージング実験を行った。実験のセットアップは図 2 のように行い、陽子線の入射エネルギーは 70MeV で、ペンシルビーム(10mm  $\phi$ )を  $10^7$  発照射した。

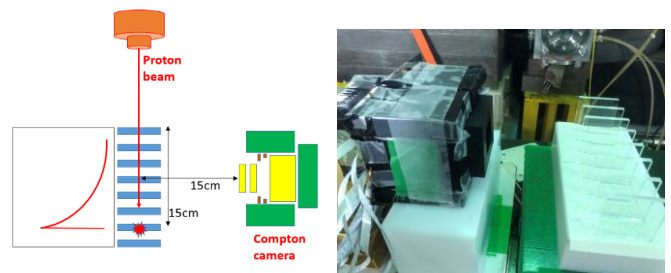
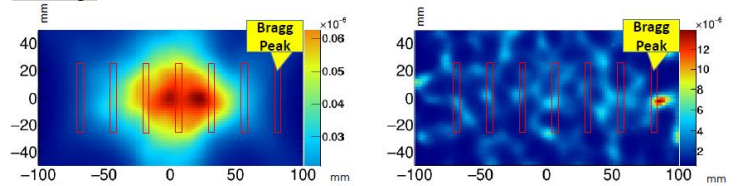


図 2. 陽子線照射実験セットアップ

MLEM(iteration:10)を用いて画像再構成を行った結果を図 3 に示す。左図が 511keV 対消滅ガンマ線による再構成画像で使用イベント数は 78828 である。イメージは中央に広がったものとなり、ブラッグピークは再現しなかった。右図は 4.4MeV の再構成結果であり、使用イベント数は 3712 となった。1 次元スライスを見るとシミュレーションによる陽子線量を高い精度で再現する結果が得られた。

## 2D image



## 1D slice

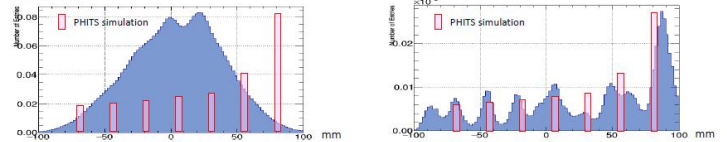


図 3. 即発ガンマ線再構成結果(左:511keV、右:4.4MeV)

## 【まとめと今後の展望】

本研究では新たに開発したコンプトンカメラを用いて、MeV 領域ガンマ線におけるノイズイベントの除去手法を実証し、4.4MeV 即発ガンマ線の高精度イメージングに成功した。今後はリアルタイムでのモニタに向けたシステムの開発や、より複雑なファントムでのイメージング実験などを行い、医療応用を目指していきたい。

## 【研究業績】

- (1)[国際会議(posters)] S.Mochizuki et al., "Development of high-resolution Compton camera for prompt gamma-ray imaging during proton therapy", PISA meeting (2018), Pisa, Italy
- (2)[国際会議(oral)] S.Mochizuki et al., "High-precision Compton imaging of 4.4 MeV prompt gamma-ray toward on-line monitor for proton therapy", IEEE NSS/MIC (2018), Sydney, Australia
- (3)[論文] S.Mochizuki et al., "Development of high-resolution Compton camera for prompt gamma-ray imaging during proton therapy", NIM-A, In press

