

卒業論文概要書

CD

2016年 1月提出

学籍番号 1Y12A031-6

所属学科	物理学科	氏名	小出 絢子	指導員	片岡 淳 印
研究 題目	陽子線治療オンラインモニタに向けた即発ガンマ線の1次元分布評価				

【研究背景・目的】

放射線治療は各種放射線を腫瘍に照射することで治癒を促す手法であり、とくに陽子線や炭素線など粒子線を用いた治療が注目されている。粒子線の持つエネルギー損失の特長、つまりブラッグピークを利用することで腫瘍のみに線量を集中し、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。そのため、粒子線治療には極めて精度の高い照射が不可欠であり、照射範囲の確認にはPET（陽電子断層撮影）装置が広く用いられている。しかしながら、PETはリング構造のため治療ビームとの共存が難しく、とくに照射中（オンライン）での照視野確認には不向きである。また、対消滅ガンマ線はオンラインでもブラッグピーク位置の数mm手前までしか観測されず、正確性にも欠ける。そこで新たな照射範囲の確認方法として、即発ガンマ線（シングルフォトン）のオンライン計測が期待されている。即発ガンマ線を用いて正確にブラッグピーク位置をトレースするためには、それに適したガンマ線エネルギーを特定する必要がある。

本研究では将来のオンラインモニタに向け、陽子線のブラッグピークを最も精確に反映するガンマ線エネルギー範囲の特定を目指す。具体的には、X線(10keV)からガンマ線(5,000keV)にわたる広帯域のスペクトルを取得し、陽子線照射時に発生する様々な即発ガンマ線の1次元分布を定量評価した。

【ガンマ線のスペクトル測定】

まず、陽子線照射時に発生する即発ガンマ線の全体像を調査した。放射線医学総合研究所のリング・サイクロトロンを用いて3cm×3cm×10cmのアクリルフantomに70MeV、300pAの陽子線を照射し、H-Ge検出器を用いて10keV～5,000keVの広帯域スペクトルを取得した。陽子線照射中・照射後のガンマ線スペクトルの変化を図1に示す。対消滅ガンマ線(511keV)はいずれにも見られるが、励起核由来のラインガンマ線(718keV、1022keV、4.4MeV等)や広域の連続成分は照射中のみ顕著に確認された。

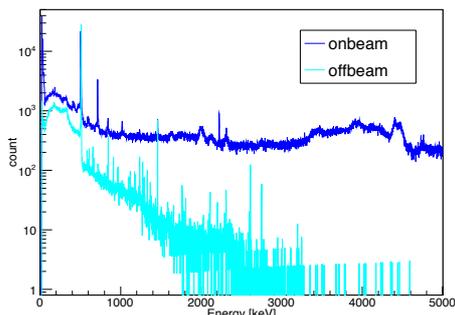


図1 H-Ge検出器により計測したガンマ線スペクトル

【シミュレーションによるガンマ線の発生分布評価】

上記の即発ガンマ線のうち、どのエネルギーのガンマ線がブラッグピークをトレースするか実験から確かめる。その前段階として、Geant4によるシミュレーションを用い、アクリルフantomから発生する即発ガンマ線の分布を調べた。一例として、様々な核ガンマ線および制動放射の1次元発生分布を図2・図3に示す。核ガンマ線では炭素由来の4.4MeVのガンマ線の発生分布がとくにブラッグピークを良くトレースすると期待される。また、10keV～45keVではブラッグピーク近傍で急激にカウント数が減少する傾向が見られた。このエネルギー帯では電離された2次粒子（電子）による制動放射が支配的であり、陽子線が止まる直前は電子の個数・エネルギーが急激に小さくなるためである。これら二つに関して実験で検証を行った。

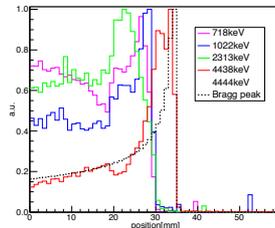


図2 (左) 即発ガンマ線の1次元発生分布

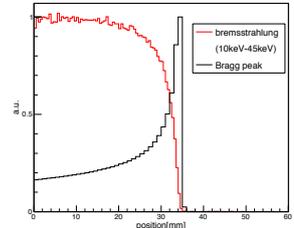


図3 (右) 制動放射(10keV~45keV)の1次元発生分布

【即発ガンマ線の1次元分布評価】

図4に示すようにポリエチレン、鉛、銅の三層シールドを用いてバックグラウンドを低減し、5mm幅のスリットを通した即発ガンマ線のスペクトルをSrI₂(Eu)シンチレータとPMTを用いて取得した。照射ファントムをビーム軸方向に5mmずつ動かしそれぞれの位置のガンマ線のスペクトルを計測することで、ファントム入射面からブラッグピークに至る即発ガンマ線の1次元分布を取得した。4.4MeVの核ガンマ線に関してはそのエスケープピークを含むように3MeV～5MeVで、制動放射に関してはMCAの仕様上30keV～45keVで分布を作成し、その結果をそれぞれ図5、図6に示す。シミュレーションと同様にブラッグピークを反映した分布を得ることができた。

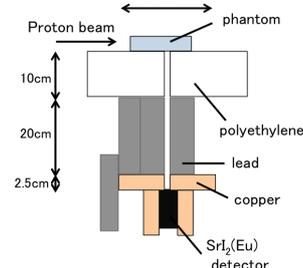


図4 1次元分布取得時のコリメータ配置概略図

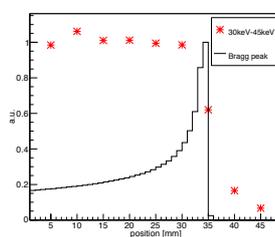


図5 (左) 制動放射(30keV~45keV)の1次元分布

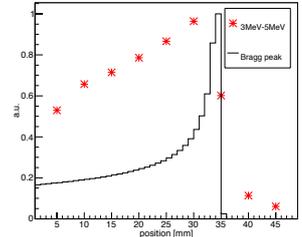


図6 (右) 即発ガンマ線(3MeV~5MeV)の1次元分布

【まとめと今後の展望】

照射中のオンラインモニタとして、低エネルギー側では制動放射、高エネルギー側では核ガンマ線をプローブとして陽子線の照射範囲を確認できた。今後は即発ガンマ線、制動放射それぞれに最適なイメージング検出器の開発を進めていく予定である。

【参考文献】

- 1) Mitsutaka Yamaguchi et al. : Brem range estimation by measuring bremsstrahlung, Phys. Med. Biol. 57(2012), 2843-2856.