

京大理 黒澤俊介

谷森達, 窪秀利, 身内賢太朗, 株木重人, 高田淳史, 服部香里, 西村広展, 上野一樹, 井田知宏, 岩城智, 高橋慶在

日本物理学会 2009年春季大会 2009年3月28日(土) 於 立教大学



◆陽子線治療の紹介と問題点 ◆電子飛跡検出型コンプトンカメラによる 解決法の提示 ◆RCNPでの環境測定実験 ◆ガンマ線スペクトル取得 ◆ガンマ線強度測定 ◆中性子強度,パラフィンによる遮蔽測定 ◆まとめ



- 陽子線治療
 - 粒子線のブラッグピークを利用した
 た腫瘍部位の治療
 - 一 肝細胞、前立腺ガンなど多くの ガン治療の実績あり
 - ブラックピーク位置はエネルギー によって調節

PET (Positron emission tomography): ビーム照射後に放射化された部位 からのガンマ線をPETで撮像結果

⇒腫瘍部位にピークが 来ているかリアルタイムに モニターしたい



腫瘍部位



http://www.ncc.go.jp/jp/ncce/rcio/ptd/ptd_01.html

陽子線治療の問題点

 ・現状ではリアルタイムモニター が実現していない ⇒511keVのみの計測 ほかのエネルギーのガンマ線や 中性子がバックグラウンド ⇒PET検出器の構造上、リングの 形状で体を囲むので、ビーム入射 の位置に制限 ⇒ 511keVはブラッグピークを トレースしない 生体(水)+陽子からのガンマ線 $-{}^{16}O(p,2p2n){}^{13}N$ ${}^{16}O(p,pn){}^{15}O$ → β ⁺崩壊 → 511keV -即発ガンマ線(2.2MeVなど)

-非弾性散乱 (10MeV以上まで)



このようなガンマ線を検出するのにはコンプトンカメラが有効

電子飛師検出型コンプトンカメラでの ガンマ線イメージング



<mark>ガスTPC (10×10×15cm³):</mark> コンプトン反跳電子の 三次元飛跡とエネルギーを測定

シンチレーションカメラ: 散乱γ線の吸収点とエネルギーを測定

γ線の到来方向とエネルギーを1光子ごとに決定
 ダイナミックレンジ:0.1-数MeV
 広視野
 高いバックグラウンド除去能力

⇒生体の周り全面を囲む必要が無い ⇒3次元飛跡とエネルギーから中性子 の除去 ⇒リアルタイムで撮像ができる

⇒前段階として、シミュレーションを行った

陽子線治療に向けて 模擬臓器(水槽)に陽子をあてたときに、どのような反応を示すか



- シミュレーション
 - Geant4シミュレーション
 Φ20×31.5cm³水水槽から4π方向
 に出た中性子、ガンマ線のスペクトル
 (入射陽子エネルギー:200MeV)
- コンプトンカメラでの撮像は可能
- シミュレーションが一致しない
- 実験で確認する必要あり







RING Cyclotron ES course

液体シンチレータ

実際にコンプトンカメラが 使えるのか, ガンマ線・中性子の rate、スペクトル 調べる

GSOおよび液体 シンチレータで測定

Proton 140MeV 50pA チレータ



水槽 アクリル、厚さ5mm ¢20cm×32cm

プラスチック シンチレータ

GSO (Ce) シンチレータ

	+ 、 一 、 一 、 分 に o to		_			
	カンマ禄rate. スペクトル測定	GSO 6x6x13	- mmピクセル 166日4		ダイナミッ クレンジ	∆E/E (FW/HM)
					[keV]	[%]
	EL			GSO1	81-1275	9.3±0.1 @662keV
				GSO2	511 — 3500	9.6±0.1 @662keV
1				GSO3	1172 — ~5000	6.4±0.1 @1275keV
	釴	トロック インロック	76cm		<mark>▶</mark> 陽子	
	GSO +PMT	10cm				13.6cm
		• 8cm	31.5	cm	水容器 G	↑ eant4による
		7cm		20cm <	\rightarrow σ	iagg peak)長さ

GSO (Ce) スペクトル





液体シンチレータ

中性子・ガンマ線 Rate比測定

パラフィンによる 中性子遮蔽測定



液体シンチレータ: EJ301(EIJIN) 組成式 C₆H₄(CH₃)₂ サイズ φ 51mm X 51mm PMT: HPK R6231 φ=51mm



ガンマ・中性子弁別法

ガンマ線由来 (2次電子起源) および中性子由来(反跳陽子起源)で シンチレータ光の遅発発光成分の割合が変化











・パラフィンによってnが強く遮蔽されていることを確認。

ただし γ も止ってしまう

正面のみにパラフィン置いたとき、厚さ10cmで効率よく

中性子を落とせる コンプトンカメラでさらに中性子を解析的に落とせる可能性があり

まとめと今後の課題

- ・ 陽子線治療では、腫瘍部位にブラッグピークが来ることが肝要
 - リアルタイムモニターできれば、より正確に腫瘍のみを壊せる
 - 陽子+水によって発生したガンマ線をコンプトンカメラで捕らえることで リアルタイムモニターできる可能性あり
- ・ 前段階として、水槽に陽子ビームを照射したときの環境試験
 - 39.0 [MHz] (一回反応のみ)
 - < 実際のgamma発生rate < 170.9 [MHz](完全吸収)
 - ガンマ・中性子の割合: 72:28
 - パラフィンの吸収率を測定 (ガンマ線:-0.139 [/cm]、中性子:-0.072 [/cm])
- コンプトンカメラの陽子線治療への応用可能が示唆
- コンプトンカメラでの評価@RCNP
 (2009年度プロポーザル採択済)
 - コンプトンカメラでのイメージングを行う