

立教大学学術推進特別重点資金(立教SFR)

個人研究

2014年度研究成果報告書

研究代表者	所属部局・職	氏名
	理学研究科物理学専攻・特任准教授	洞口拓磨 印
研究課題	粒子線治療における原子核反応データの研究	
研究期間	2014年度	
研究経費	(支出金額) 1,000,000円 / (採択金額) 1,000,000円	

研究の概要(200~300字で記入、図・グラフは使用しないこと)

申請者は最近、粒子線治療における原子核反応データと原子核反応データに基づく原子核反応モデルが高精度治療に耐えうる精度で整備されていないことを見だした。本研究は、粒子線治療における原子核反応データを測定し、データを忠実に再現する原子核反応データモデルを構築した上で、実際に治療計画装置を必要とする医療現場に提供することが目的である。計画している具体的な研究項目は、

1. 測定すべきデータの選別
2. 原子核反応データ測定のための検出器の開発
3. 開発した検出器による原子核反応データ測定
4. 測定データによる原子核反応モデルの構築及び粒子線治療における精度評価

の4つである。(277字)

キーワード(研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

[放射線] [粒子線治療] [原子核物理学]

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

本研究期間内に以下の成果を得た。

1、測定すべきデータの選別

申請者は、国内の原子核反応データベースを詳細に調べ、粒子線治療における原子核反応データが統計的に十分に測定されていないことと同一の反応における異なる実験グループの結果が一致していないことを指摘して来た。また、一般的な原子核反応モデルに基づく原子核反応断面積を計算し、既存のモデルでは十分に実験データを再現出来ないことを示した。

陽子線や炭素線を用いたがん治療では、ブラッグピークを用いることにより線量を腫瘍に集中させることが可能である一方、その精度は生体内における原子核反応に強く依存している。粒子線治療における物理過程は主に二つあり、一つは電磁相互作用、もう一つが原子核相互作用である。電磁相互作用は、量子電磁気学として良く理解されており、量子電磁気学は実験結果を極めて高い精度で説明する。一方、原子核相互作用は、自然界における基本的な4つの相互作用のうち強い相互作用に分類され、特に粒子線治療のような低いエネルギー領域においては電磁相互作用ほどの理論的理解は得られていない。線量の大きさは電子相互作用によって大半が決められるが、線量の幾何学的分布は原子核反応によって大きく影響されることが分かる。

陽子線を含む放射線治療においては、人体は密度の異なる水として扱われている。そのため、陽子線治療では一次粒子の電磁相互作用による阻止能のみが勘案され、陽子線と人体との原子核反応から発生する二次以上の粒子による腫瘍及びそれ以外の正常組織への線量は考慮されていない。また粒子線治療においては粒子線が腫瘍に正しく照射されているかを確認することは非常に重要である。実際に、陽子線治療においては、ポジトロン放出核種を利用したPETによる照射領域を確認するための研究が進められている。しかし、この研究においても陽子線による体内の放射化核種生成の断面積が十分な精度で測定されていないために、照射領域の抽出にも精度を向上させることが難しい。上記のような理由から、現在生体内原子核に対する粒子線との反応過程において十分なデータが測定されているとは言えず、早急な対応が必要である。また、原子核反応モデルによるシミュレーション計算においても、モデル構築のためには原子核反応データが不可欠である。

当初、陽子線治療における原子核データ測定を中心に研究を進める予定であったが、同じ粒子線治療である重粒子線における原子核反応データについても必要となる原子核反応データの有無を調べた。重粒子線治療においては、陽子線よりも核子数の多い炭素を用いるため、陽子線治療よりも核破砕反応が非常に多く生じる。そのため、重粒子線治療における原子核反応による正常組織への被ばくを配慮することは、陽子線よりも重要になる。核破砕反応過程は、文字通り原子核が破壊され多くの粒子が同時に放出される現象であるため、測定に手間が掛ることもあり十分なデータが収集されているとは言えない。申請者は、本研究期間内に陽子線治療だけでなく重粒子線治療についても測定すべき原子核反応データを示した。

研究成果の概要 (つづき)**2、原子核反応データ測定のための検出器の開発**

本研究では、選別した原子核反応データをシンチレーティングファイバー画像検出器を用いて測定することを目指している。シンチレーティングファイバー画像検出器は、シンチレーティングファイバーをシート状に積み重ねて作製されたファイバータゲットと左右二方向からの画像読出部から構成される。当初は、画像読み出しに二組のIIT(Image Intensifire Tube)とCCD(Charge Coupled Device)を用いる予定であった。ターゲット内で生じたシンチレーション光はIITにより増幅され、CCDにより画像データとして取り出される。IITには、ゲート機能があるため、外部からのトリガー信号により選択的に画像データを収集することが出来る。更に、異なる二方向にIITを設置することにより、左右両方の画像データから反応を三次元の情報として再構成することが可能である。

本研究では、陽子線治療の場合だけでなく、炭素線治療における原子核破砕反応も測定することを視野に入れたため、反応率の高い原子核破砕反応を画像データとして読み出す場合、当初計画した装置ではデータ収集効率が十分ではないという結論に至った。そこで、各シンチレーティングファイバーからのシグナルを浜松ホトニクス社製MPPC(Multi-Pixel Photon Counter)を用いて増幅し、電子回路で処理することで粒子の位置情報をデータとして記録し、測定後に取得データから粒子の飛跡を再構成する方法を採用することにした。しかし、シンチレーティングファイバーは直径1mmであり、数cm程度のターゲットを作成する際でも数百本のファイバーを必要とする。そのため、読み出しのMPPCの数も同じだけ必要となり、シグナルを処理する電子回路は多チャンネルの入力に対応する必要がある。MPPCからの読み出しは、MPPC自身の増幅率だけではシグナルとして十分ではないため、更に増幅回路を通す必要がある。また、時間分解能に優れた読み出しとするために波形整形回路に対する工夫も必要である。本研究では、このような**本研究に特化した機能を一つのチップ(ASIC)に搭載することを検討し、実際にシミュレーションにおいて回路図を作成した**。また、この**ASICを搭載した読み出しボードについても設計を終えている**。本研究では、検出器読み出し部分の大幅な改良とその設計を行った。

ASICとボードの開発は、本年度採択された科学研究費において十分に達成可能である。更に、本研究において検出器のデータ読み出し部をコンパクトに再設計したことにより、連携する他の研究機関からの協力を得やすくなったことは大きな成果である。読み出し部が多チャンネルに細分化されたことは、検出器全体としての低コスト化と余剰性を拡大させた。このことは、本研究に興味を持つ連携機関においても共同研究への敷居が下がったことを意味し、今後より強い協力関係を構築できると考えている。

研究発表 (研究によって得られた研究経過・成果を発表した①～④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。)

- ①雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)
- ②図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)
- ③シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)
- ④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

③シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)
がんプロフェッショナル基盤推進プラン「ICT と人で繋ぐがん医療維新プラン」
2014 年度がんプロ市民公開シンポジウム「切らずに治す放射線がん治療」
2014 年 10 月 18 日開催
立教大学マキムホール 2 階 202 講義室

④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)
洞口拓磨
「放射線がん治療を支える物理学」
2014 年度がんプロ市民公開シンポジウム「切らずに治す放射線がん治療」
2014 年 10 月 18 日開催
立教大学マキムホール 2 階 202 講義室