

令和 2 年 9 月 17 日現在

機関番号：32682

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K19822

研究課題名（和文）粒子線治療における原子核反応データの研究

研究課題名（英文）Study of nuclear reaction data in particle beam therapy

研究代表者

洞口 拓磨 (Horaguchi, Takuma)

明治大学・商学部・特任准教授

研究者番号：10444069

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：粒子線治療における二次中性子による正常細胞の被ばく量計算、及び陽子線治療の際に生じる陽電子放出核種を利用した照射野抽出方法であるOn-LinePETに原子核反応データの精度が与える影響を評価し、原子核反応データの重要性を確認した。更に原子核反応データ測定のための検出器の開発を進めた。当初の計画より、電源や読み出し回路を含めた検出器全体の縮小化と検出器自体の汎用化を目指し、複数のMPPCを用いた多チャンネル読み出し方式への改良を行った。研究開始当初とは研究課題周辺の状況も変化しており、汎用性を持つ検出器として今後も開発を継続していく予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

粒子線治療における原子核反応データの整備が十分でないことを指摘し、現状の原子核反応データの測定精度が、粒子線治療における二次中性子による正常細胞への被ばく量評価及び陽子線治療における放射性核種を利用した照射野抽出精度に少なからず影響を与えることを確認した。更に、不足する原子核反応データを測定するための検出器開発を進めた。

研究成果の概要（英文）：Evaluate the effect of the accuracy of nuclear reaction data on On-Line PET, which is a method for extracting the irradiation field using positron-emitting nuclides generated during proton beam therapy, and the dose calculation of normal cells by secondary neutrons in particle beam therapy. We confirmed the importance of accuracy of nuclear reaction data. Furthermore, we advanced the development of a detector for nuclear reaction data measurement. From the initial plan, we improved the multi-channel readout method using multiple MPPCs with the aim of downsizing the entire detector including the power supply and readout circuit and generalizing the detector itself. The situation around the research subject has changed from the beginning of the research, and we plan to continue development as a versatile detector.

研究分野：放射線科学

キーワード：放射線 原子核 反応断面積 粒子線治療 モンテカルロシミュレーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、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。

線量の大きさは電磁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(Positron Emission Tomography) 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ったことが本研究開始当初の背景である。

2. 研究の目的

放射線を用いた治療が一般的となり、高精度化へ向けた研究・開発が活発化する中、原子核反応データの重要性が強く認識されつつある。放射線治療においては、線量の大半が電磁相互作用によって付与されるのに対し、線量の幾何学的分布は原子核反応に強く影響されるため、この反応が腫瘍周辺の重要臓器への被ばく量を決定している。本研究は粒子線治療における未だ測定されていない原子核反応データを測定し、高精度の粒子線治療を展開するための基盤となる研究を行うことが目的である。

3. 研究の方法

本研究では、国内外の原子核反応データベースを利用して陽子線・炭素線における測定すべきデータを選別し、モンテカルロシミュレーションを用いて粒子線治療に対するデータの影響度を評価する。更に、シンチレーティングファイバーを用いた原子核反応データ測定のための三次元画像検出器の開発を進める。将来的に検出器による原子核反応データ測定を行い、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、最適化された原子核反応データの反映を目指す。

4. 研究成果

本研究では、粒子線治療における原子核反応により生じる二次中性子による正常細胞の被ばく量についてモンテカルロシミュレーションによる評価計算を行った。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発生する。モンテカルロシミュレーションの結果、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考慮する必要性は、陽子線よりも非常に重要であることを確認した。また、陽子線治療の際に体内で生じる陽電子放出核種を利用し、陽電子と体内の電子との対消滅により生じる2本のガンマ線を PET の原理で検出することで陽子線の照射野を確認する On-LinePET について、原子核反応断面積の観点から検証を行った。その結果、原子核反応データから伝搬する照射野への影響は小さくなく、原子核反応データから照射野を確認する場合には誤差を念頭においた上で使用することが望ましいことが分かった。

更に原子核反応データ測定のための検出器の開発を進めた。当初の計画では、シンチレーティングファイバー部分からの受光を画像データとして読み出す予定だったが、電源や読み出し回路を含めた検出器全体の縮小化と検出器自体の汎用化を目指し、複数の MPPC を用いた多チャンネル読み出し方式に変更を行った。受光素子である MPPC を用いた検出器としたことで、様々なシグナルへの対応が可能となり、より汎用的かつ簡易的な形態での測定が可能となった。研究開始当初とは研究課題周辺の状況も変化しており、汎用性を持つ検出器として今後も開発を継続

していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 洞口拓磨	4. 巻 33 (14)
2. 論文標題 放射線がん治療における物理学的素過程の研究（編集部への依頼により加筆修正の上再掲載）	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 BIO Clinica	6. 最初と最後の頁 1387-1391
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 洞口拓磨	4. 巻 50 (1)
2. 論文標題 放射線がん治療における物理学的素過程の研究（編集部への依頼により再掲載）	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 細胞	6. 最初と最後の頁 41-44
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 洞口拓磨	4. 巻 32 (13)
2. 論文標題 放射線がん治療における物理学的素過程の研究（編集部への要請により再掲載）	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 BIO Clinica	6. 最初と最後の頁 1339-1343
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 洞口拓磨	4. 巻 32 (7)
2. 論文標題 放射線がん治療における物理学的素過程の研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 BIO Clinica	6. 最初と最後の頁 694-698
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 洞口拓磨
2. 発表標題 物理学から見た放射線がん治療
3. 学会等名 第10回緩和医療薬学会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 洞口拓磨
2. 発表標題 放射線がん治療から展開する物理学的素過程の研究
3. 学会等名 立教大学がんプロ研究シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考