

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K10385

研究課題名（和文）モンテカルロ法を用いた炭素線治療シミュレーションシステムの開発

研究課題名（英文）Development of Monte Carlo Simulation System for Carbon-ion Therapy

研究代表者

遊佐 顕（Yusa, Ken）

群馬大学・重粒子線医学推進機構・助教

研究者番号：40300743

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：Geant4をベースとする炭素線治療ポートシミュレーションツールについて、積層原体照射法をシミュレーションする機能を追加する為にプログラムを拡張した。そのシミュレーションツールを評価する為に、治療計画や測定結果と比較したところ、線量分布に関しては3%以内で一致していることがわかった。また、採用する物理モデルによっては計算時間が大きく変わり、長いもので約2週間かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義
治療計画装置の中で行われている線量計算は、実用上単純化したモデルで行っている。本モンテカルロシミュレーションツールは、生物学的効果でも治療計画での計算結果と比較することができ、治療計画の検証ツールとして用いることができる。他の生物モデルを取り込めるようになれば、他施設との比較も可能となる。

研究成果の概要（英文）：A function for simulating the layer-stacking irradiation method has been implemented to the PTSIM, based on Geant4, and an examination of the improvement for the PTSIM was conducted. The simulated results by PTSIM were consistent with the TPS and data.

研究分野：医学物理

キーワード：モンテカルロシミュレーション 炭素線治療 Geant4 RBE 積層原体照射法

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

炭素線治療は優れた線量分布と生物学的効果という特徴を持ち、効果の高いがん治療法として期待されている。しかしその機序は物理的な部分、生物学的な部分を含めて単純なモデルを仮定し適用している部分もあり、学術的な立場からも実用的な立場からもモデルの更なる詳細化と体系化が期待されている。

例えば炭素線治療の治療計画装置では、ペンシルビーム法を用いた線量計算が用いられているが、適用されている計算モデルが単純化されているため、実際との間に乖離が生じる場合もある。その検証の方法として、現在のところは水中での吸収線量を電離箱などによる測定が主流である。しかし、測定はその測定装置の分解能や測定に時間を要しすべてを網羅するのは困難である。

2. 研究の目的

その解決手段の一つとして物理過程を確率論的に追える Geant4 などのモンテカルロシミュレーションの利用が挙げられる。水中だけではなく、CT画像に対してモンテカルロ計算を行えば、人体中での吸収線量の比較の他に炭素線ビームの RBE を考慮した生物線量(臨床線量)の比較も可能である。

そこで、本研究ではモンテカルロシミュレーションを用いて、様々なモデルを取り入れることが可能なシミュレーション基盤を構築する。特に本学での炭素線治療装置で用いられている、積層原体照射法の取り込みを行い、実測データや治療計画装置と比較検証を行うこと、核破砕反応モデルを変えて差異を評価することに重点を置くことにする。

3. 研究の方法

そこで本研究では、モンテカルロシミュレーションコード Geant4 をベースとした粒子線治療向けシミュレーションシステムである PTSIM を用いることにする。PTSIM は JST CREST 「高度放射線医療のためのシミュレーション基盤の開発」における成果物の一部である。本研究では PTSIM を炭素線治療用に拡張・開発する。そのために本学で採用している BRE モデルの取り込みや積層原体照射法に対応するようにプログラムの変更拡張を行う。

4. 研究成果

(1) 本学の照射装置のジオメトリをシミュレーション体系に組み込み、水中での飛程の確認を行ったところ 0.4mm 程度の差となった。但し、CT 値から WEL を換算する場合、Geant4 の中での阻止能の計算方法が水中の場合と異なる。その結果、計算による飛程は実際より短くなるのでこれを補正する必要がある。この点は今後の課題である。

(2) 積層原体照射への拡張を行った。当初、同一ラン(RUN)ですべてのミニピーク・スライスを計算する方針であったが、意図通りの計算が行われなかった。そこでミニピーク・スライス毎にランを区切って計算するように大幅にプログラムを修正した。その結果、積層原体照射法に関するシミュレーションが可能となった。

(3) (2) の検証として、ファントム上球状のターゲットに治療計画を立て、その結果を用いてシミュレーションと治療計画、実測値を比較することを試みた。

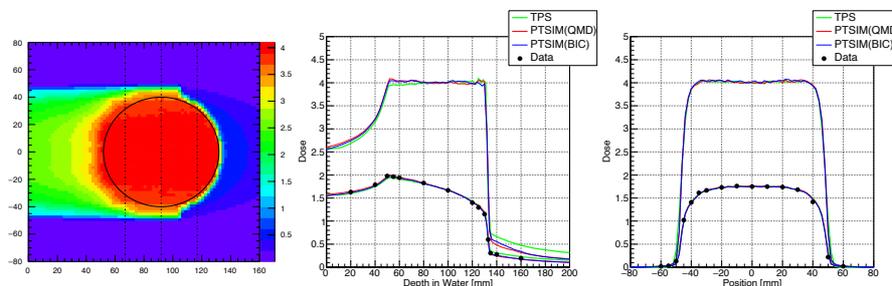


図 1: 積層原体照射法に対するシミュレーションの例 (直径 8cm の球ターゲット)

図 1 はシミュレーションの計算結果を治療計画の結果や実測と比較した一例である。治療計画との比較では Distal End 付近で最大 3% の違いがあるもののよく一致している。

但し、厚いレンジシフトが挿入されている計画について、比較を行うと RBE が 2-3% 高くなることが認められた。これはレンジシフト内で起こったフラグメンテーション粒子が飛び散ることによって、ファントムに届く割合が小さくなる。一方、治療計画装置は、単純にレンジシフト厚

をシフトしているだけで、フラグメンテーション粒子の減弱を考慮していない。シミュレーションの方が、フラグメンテーションの割合が小さいので RBE がその分 RBE の値が大きくなったと考察する。

(4) (3) のシミュレーションについては Geant4 における核破砕反応モデルを変えて計算を行った。QMD モデルと BIC モデルの 2 種類行ったが BIC モデルでは、フラグメンテーションで 5%程度 RBE の違いが見えた。また、QMD モデルでの計算時間は BIC モデルでの計算時間の 30 倍掛かった (図 1 の分布を計算する為に要した時間は QMD モデルで 2 週間、BIC モデルで半日であった)。

(5) 実際の CT 画像上でシミュレーションを行う作業や他の生物モデルの取り込みについて、本研究終了後も引き続き行う予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Ken Yusa
2. 発表標題 Development of Monte Carlo-based port simulation tool for carbon-ion therapy using broad beam method
3. 学会等名 PTCOG58 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遊佐 顕
2. 発表標題 肝臓癌に対する炭素線治療の治療計画ドライラン調査
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第30回学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ken Yusa
2. 発表標題 Evaluation of a Monte Carlo-based QA tool for carbon-ion therapy at Gunma University
3. 学会等名 PTCOG55 (国際学会)
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
---------------------------	-----------------------	----