

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 21 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24791272

研究課題名(和文)強度変調放射線治療の強度分布を真に逆問題として解くための新手法の研究

研究課題名(英文)Development of a novel method to solve the inverse problem in intensity modulated radiation therapy

研究代表者

土橋 卓(Dobashi, Suguru)

東北大学・医学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：70399806

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：強度変調放射線治療の強度分布を真に逆問題として解くための新しい手法の開発の基礎研究として、モンテカルロ法、ペンシルビーム法、スーパーポジション法の各線量計算アルゴリズムに基づいた線量計算システムをワークステーション上に構築した。また、線量分布解析及び臨床条件でのビームパラメータ設定のためのDICOM-RT解析システム、及び、放射線治療装置のX線スペクトラムの簡易的決定法を開発した。

研究成果の概要(英文)：As a fundamental tool for developing a new method to solve inverse problem in intensity modulated radiation therapy, we developed an in-house treatment planning system based on a Monte-Carlo algorithm, as well as pencil beam convolution and superposition/convolution dose calculation algorithms. We also developed a in-house software to manipulate and analyze DICOM-RT files and a simple method to determine the X-ray spectrum from the treatment head of a radiation therapy apparatus.

研究分野：放射線治療物理学

キーワード：放射線治療線量計算

## 1. 研究開始当初の背景

強度放射線治療では、放射線量を照射野内で変調させることで腫瘍の形に適合した線量分布を実現する。その際、目的の線量分布から照射すべき放射線の強度分布を求める必要があり、いわゆる逆問題を解かなければならない。目的の線量分布から一意的に照射強度分布が決まれば望ましいが、実際は総当たり的に強度分布を試し、その中から“最適なもの”を選んでるのが現状である。そのため治療計画に不要な時間がかかり、また、時間の制約上、すべてのパターンを網羅することも不可能である。第一原理から入射線量の強度分布を求める方法があれば望ましい。一方、臨床における線量分布計算は主に商用の治療計画装置で行われるが、そこで用いられる線量計算アルゴリズムの詳細はブラックボックスである。線量分布の最適化計算には従来用いられている線量分布計算の詳細を知らなければならない。そのためには、線量分布計算の最適化に先立ち、任意照射野、任意媒質において、線量分布を正確に計算するためのシステムをワークステーション上で構築する必要がある。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究は、強度変調放射線治療の強度分布を真に逆問題として解くための新しい手法の開発の基礎的研究として、放射線治療で用いられる線量計算アルゴリズムをワークステーション上に構築することを目的とする。そのために

不均質媒質中においても臨床状況と同等の照射条件で可能な限り正確な線量計算ができること、

計算精度が下がるが高速な線量計算アルゴリズムである Pencil Beam Convolution (PBC)法、及び、Superposition/Convolution (SP)法をワークステーション上に構築すること、

が必要となる。

(2) 臨床状況と同等の照射条件で線量計算を行うには、治療装置から照射される X 線スペクトラムを同定すること、及び、DICOM ファイルから線量計算に必要なパラメータを自動で読み出すシステムを構築することが不可欠である。治療装置から照射される X 線スペクトラムの最適化手法の検討を行うとともに、放射線治療の基礎データフォーマットである DICOM-RT ファイル形式を自動で読み込み、治療計画通りの照射条件を自動で設定するようなシステムを構築する。

## 3. 研究の方法

(1) 不均質媒質中における正確な線量計算のため、汎用モンテカルロ (MC) コード EGS5 を用いた。MC コード EGS5 により、正方形照射野、立方体ファントム等、基本的な照射野及び媒質に対し線量計算を行い、線量分布計算の“真の値”を得た。

(2) モデルベース線量計算アルゴリズムである PBC 法、SP 法では、極小領域で放射線が反応した場合に得られる線量分布 (カーネル) を求め、カーネルを照射野等にわたり積分することで線量分布を得る。PBC 法、SP 法の線量計算のために必要なカーネルを、EGS5 を用いて構築した。0.25MeV から 25MeV までの単色エネルギーについてカーネルを作成し、加重平均をとることで任意の X 線エネルギースペクトラムが再現可能となる。カーネルは水中での線量分布に基づいて計算されるが、SP 法の場合は、媒質の密度変化に応じてカーネルの広がりを放射線状に伸縮させることでより精度の高い計算が可能となる。本研究では PBC 法、SP 法を C++言語を用いてプログラムし、その計算精度を MC コード EGS5 の結果と比較した。また、並列化計算により、計算を高速化した。

(3) MC コード EGS5 を用いて臨床例に対して線量計算を行うために以下の手順で研究を行った。

CT 値から質量分布を割り当てる。

DICOM-RT ファイルから MLC 形状、照射方向、ビームエネルギー等のパラメータを自動的に読み出し、任意の臨床条件に対し、EGS5 のビームパラメータを設定可能とするシステムを構築する。(システムの構築には数値計算ソフトウェア MATLAB を用いる。)

(4) 本研究で構築された MC 法、PBC 法、SP 法で計算した線量分布及び、商用治療計画装置で計算した線量分布数を比較検討するため、数値計算ソフトウェア MATLAB を用い、DICOM-RT 解析ソフトウェアを作成した。このソフトウェアは EGS5 等で計算した線量分布を治療計画装置に取り込めるよう DICOM 形式に変換する機能を有し、インハウス DICOM-RT ビューア、及び、商用の治療計画装置で線量分布を比較検討することを可能とする。

(5) MC 法で正確な線量分布再現するには、放射線治療装置で発生する X 線スペクトラムをできる限り正確に推定する必要がある。放射線治療装置は、図 1 に示す通り、X 線を平坦化するためのフラットニングフィルタを有し、主にこの影響により X 線のエネルギースペクトラムが変化する。

本研究では、水中の線量分布の測定値から X 線スペクトラムを決定する方法を試みた。本研究で構成した水中のペンシルビームカーネルの重ね合わせにより、水中の測定値を再現する。その重ね合わせのウェイトを示すモデル式を推定し、モデル式のパラメータを、水中での線量分布の測定値を再現するように最適化することで X 線スペクトラムを決定した。

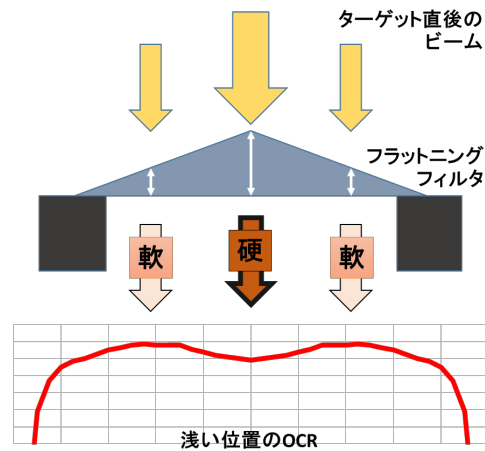


図 1：放射線治療装置における X 線スペクトラムの概念図。

#### 4. 研究成果

(1) PBC 法および MC 法による線量分布計算の結果を図 2 示す。媒質は 10cmx10cmx15cm の直方体の水とした。図の照射野は 4x4cm の例である。水中では MC 法の結果を 1%の誤差で再現した。これにより、PBC 法を用いる最適化計算が可能となった。

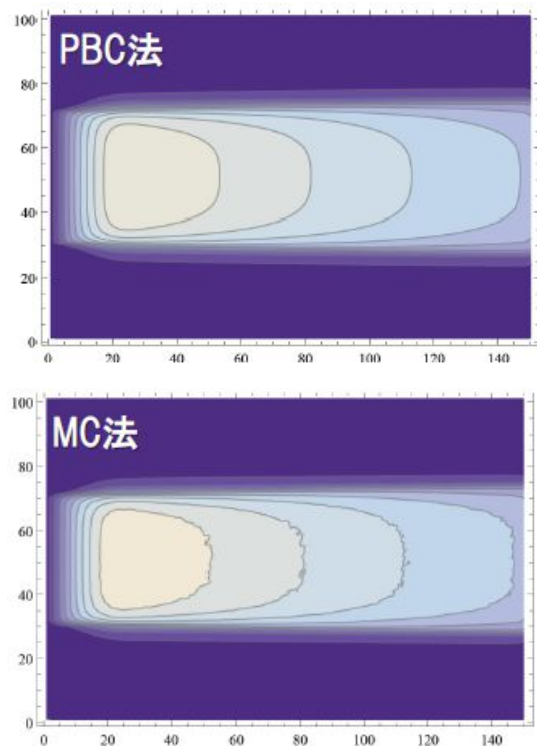


図 2：ペンシルビームコンボリューション法とモンテカルロ(MC法)による線量分布。

(2) SP 法による線量計算により、不均質スラブファントム中の線量分布を計算した結果を図 3 に示す。媒質は 10cmx10cmx15cm の直方体(入射面から 3cm までが水、3 cmから 11 cmが肺野、11 cm以降が水)、照射野は 4x4cm である。この状況では、MC 法と SP 法の線量差は肺野入射直後において最大 10%程度となり、先行研究の結果と同等の性質を示した。この研究により、商用治療計画装置の線量計算とほぼ同様の結果をワークステーション上で再現することが可能となった。

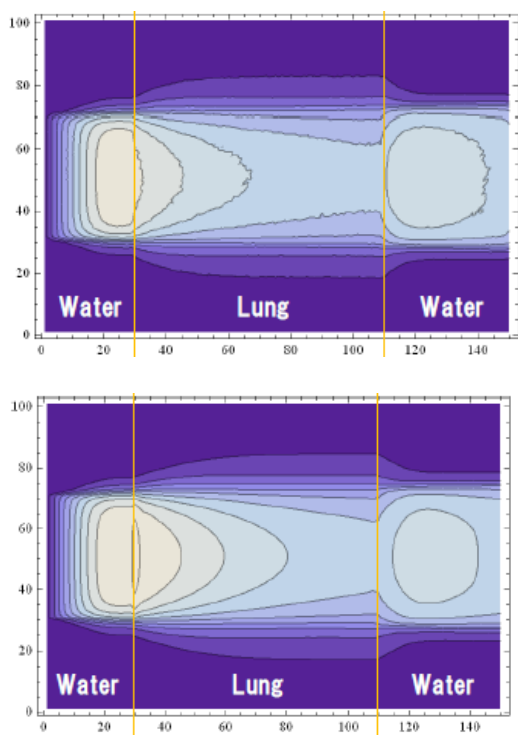


図 3 : Superposition/Convolution 法とモンテカルロ(MC 法)による線量分布。

(3) 臨床例に対する線量分布を MC 法で計算した結果を図 4 に示す。図は肺定位放射線治療に対する、7 門照射の例である。任意の MLC 形状、任意のガントリ角度に対し、治療計画装置による線量分布計算を EGS5 モンテカルロコードで計算することが可能となった。これにより、逆問題で得るべき最終的な線量分布の“真の値”を与えるための基礎が構築された。

また、図 4 に示す DICOM ファイルビューアの解析機能の応用として、肺がん定位放射線治療の線量分布に対し、線量分布のアルゴリズム間の違いを解析し報告した。

(4) 放射線治療装置の X 線スペクトラムに対しモデル式を推定し、そのパラメータを、水中での線量分布の測定値を再現するように最適化することで X 線スペクトラムを決定した。図 5 に、X 線スペクトラム決定後の深部量百分率の結果を示す (MC 法と測定値の比較)。本研究では治療装置の照射ヘッドで発生する電子線を考慮していないため、入射直後に誤差が見られるものの、線量最大深以後の誤差は 1%未満となった。このスペクトラム決定法により治療装置の照射ヘッド構造をモデル化することなく、簡易的に放射線スペクトラムを決定することができる。

(5) 本研究の当初の目的である強度変調放射線治療の線量計算最適化に関しては、以上で基礎が構築されたインハウスの線量計算システムに基づき引き続き研究を進め成果を報告する予定である。

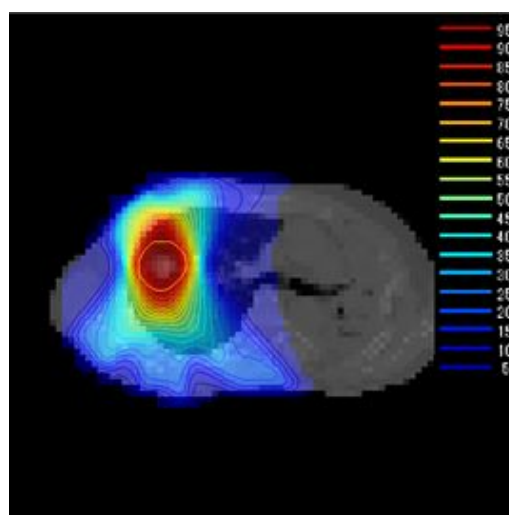


図 4 : 肺定位照射の臨床例に対し、同じ MLC 開度、ビーム方向から EGS5 を用いて線量計算した結果。この結果は本研究で構築した DICOM-RT ビューアを用いて表示させたもの。

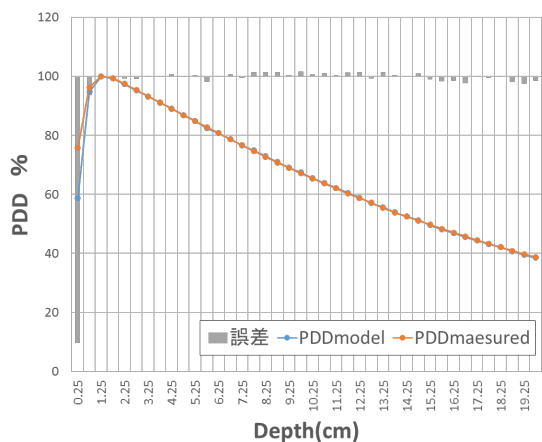


図 5 : X 線スペクトラム決定後の深部量百分率(PDD)の測定値と計算値。

## 5 . 主な発表論文等

( 研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線 )

[ 学会発表 ] ( 計 1 件 )

土橋卓 他、肺定位照射における異なるアルゴリズム間の線量分布の比較、日本放射線腫瘍学会第 27 回学術大会、2014 年 12 月 11 日、パシフィコ横浜 ( 横浜 )

## 6 . 研究組織

(1) 研究代表者

土橋 卓 ( DOBASHI , SUGURU )

東北大学・大学院医学研究科・助教

研究者番号 : 70399806