

(様式2)

学位論文の概要及び要旨

氏 名 小野 康之 印

題 目 強度変調放射線治療における線量分布検証の高解像度化に関する研究

学位論文の概要及び要旨

がんの3大治療法の1つである放射線治療は、高エネルギーの放射線を用いてがんなどの標的に対し高い線量を投与することで、がん細胞のDNAにダメージを与えがんを死滅させることにより治療を行う。放射線治療では治療計画装置を使用してCT画像上で治療計画を行い、計画された情報を基に直線加速器により治療を行う。しかし、治療計画装置によるシミュレーションでは直線加速器の物理特性を正確に反映することができないため、その結果には不確かさが存在する。また、近年広く普及してきている強度変調放射線治療（IMRT）はマルチリーフコリメータなどにより強度変調を施したビームを多方向から照射することにより、標的に対して高い線量を投与すると同時に近傍の正常組織の線量を低減できる照射法であるが、IMRTは直線加速器の制御が通常治療と比較して複雑であるため、投与線量の精度に影響する因子が多く存在する。従って治療計画装置でのシミュレーションと実際に照射される線量分布が異なる。そのため、治療実施前にファントムを用いて線量計算を行い、ファントムの測定を行うことで実際の線量分布が計画通りに投与されているかを検証する必要がある。線量分布検証は、近年のフィルムレス化により2次元検出器の使用が増えており、フィルムと比較して取扱いが簡便である一方、解像度が低いという問題がある。この問題は検出器の構造に由来し改善が難しく、フィルムに代わる検証方法として使用するためには有効な高解像度化手法が望まれている。

そこで本論文では、2次元検出器から得られる線量分布を高解像度化して、2次元検出器の構造に由来する低解像度の問題を解決することを目的とする。IMRTの線量分布の特徴である標的と正常組織の境界領域の線量勾配が急峻であるという特徴を考慮し、勾配画像ベースの超解像手法を用いて高解像度画像を生成し、得られた高解像度画像を技術的評価として定性的評価と定量的評価を行い、また臨床的評価として測定データと計画装置からのデータ間でガンマ解析を行い、その有用性を明らかにする。

IMRTの線量検証には大きく評価点線量検証と線量分布検証があり、評価点線量検証は電離箱線量計などにより照射領域に設定した評価点について測定を行い絶対線量の比較を行う。線量分布検証は治療計画装置で計算された線量分布とフィルムなどの測定器により測定さ

れた線量分布を比較し検証を行う。線量分布検証での結果の比較は線量プロファイルの視覚的評価に加え、(a)線量差、(b)等線量曲線の位置ズレであるDistance-to-agreement、両者を組み合わせた評価が可能な(c)ガンマ解析を用いて行う（本文第2章後半）。

提案法は学習ステップと再構成ステップを組み合わせた手法で、学習ステップではまず、トレーニング画像から低解像度パッチと高解像度パッチのペアを生成しDictionaryを構築する。次に画像の複雑さを表す重要度マップを入力低解像度画像のヒストグラムから作成し、これを用いて画像の複雑な部分には小さいパッチを選択するように自動的にパッチサイズを決定する。細部推定における最適なパッチの選択は線形結合により入力画像と類似する高解像度パッチを生成する。このようにして高周波成分を推定する（本文第3章後半）。その後、再構成ステップにおいて、再構成制約、Local正則化とHallucination正則化の3つの条件を組み込んだエネルギー関数を最小化することで最適化を行い、高解像度画像を推定する（本文第3章後半）。

評価実験では前立腺領域の輪郭を使用したIMRT治療計画を作成し、性能評価のため提案法とFreemanらの従来法により高解像度化した画像を定性的評価および定量的評価した。また、臨床的評価として高解像度化した線量分布と治療計画装置で計算した画像をガンマ解析により比較した（本文第4章前半）。実験の結果、定性的評価において従来法よりも提案法で参考指標高解像度画像に近いシャープなエッジが得られ、プロファイル形状も良く一致することを明らかにし、また定量的評価において線量勾配の急峻な領域でほとんどの断面で高いPSNR値が得られ、臨床的評価においても全ての断面で許容値3%、3mmの範囲内でパス率90%を超え、参考指標高解像度画像とよく一致することを示した（本文第4章後半）。

以上のように本論文は、線量分布検証における高解像度化についての成果をまとめたものであり、とくに検証の際に重要な線量勾配の急峻な領域において線量値の正確な値を得ることができることを明らかにし、2次元検出器の線量分布の高解像度化に寄与でき、フィルムに代わる強度変調放射線治療の事前検証ツールとして有用であることを示した。