

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01 / 11 /2018

| | | | | | |
|----------------------------|---|------------------------------|------------------|----------------|-------------------|
| 専攻名 (専門分野) Department | 物理学及 応用物理学専攻 | 氏名 Name | 高部 美帆 | 指導員 Advisor | 片岡 淳 印 Seal |
| 研究指導名 Research guidance | 放射線応用物理学 研究 | 学籍番号 Student ID number | 5316A050-7 CD | | |
| 研究題目 Title | 高精度陽子線治療に向けた CCD カメラ陽子線 CT システムの構築と性能評価 | | | | |

【研究背景】

放射線治療の一種である陽子線治療は、陽子線がとまる直前に多くのエネルギーを失う性質を利用し、腫瘍に効率的に損傷を与える治療法である。そのため、高い精度で陽子線の照射量や照射方向を決定する必要があるが、現状は X 線 CT 画像から得られた線減弱係数 (CT 値) をもとに体内の陽子阻止能分布を近似的に算出し、治療計画の策定に利用している。しかしながら、X 線と陽子線は相互作用の過程が全く異なるため、治療計画には最大で 3-4% の不定性が生ずる。したがって、治療に用いる陽子線そのもので CT 画像を取得し、治療計画を立てることが望ましい。陽子線 CT の研究を行うアメリカのチームは、被写体の前後にシリコンストリップ検出器を配置し、陽子線 1 つ 1 つの飛跡を追跡する手法を用いている。陽子線の散乱補正が可能であることから、陽子線 CT に必要な分解能 (1% 以下の CT 値不定性、1 mm の空間分解能) を達成したが、一方では高価かつ複雑な装置のため、治療時の高レートに耐えない、また費用が高いという普及への課題が残っている。

本研究では、陽子線を透過する薄板シンチレータと CCD カメラを用いたシンプルな陽子線 CT システムを構築し、性能評価を行った。また、陽子線の被写体内での多重クーロン散乱の影響を評価し、陽子線 CT 画像を補正する新たな手法を開発した。

【陽子線 CT 画像の取得】

画像再構成における物理量として、水等価物質中での陽子線の飛程を表す WEL (water equivalent length) という指標を用いる。被写体を透過して減速した陽子線は、後方に置かれた薄板シンチレータでエネルギーの一部を落とす。シンチレータの発光量と WEL の関係性を実験前に取得しておくことで、CCD カメラで取得した投影画像を WEL に変換することが可能である。図 1 に、放射線医学総合研究所の 70 MeV 陽子線と、名古屋陽子線治療センターの 200 MeV 陽子線を用いて取得した CT 画像を示す。70 MeV 陽子線を用いた CT 画像は陽子線の散乱の影響で画像が不鮮明であるが、200 MeV 陽子線は被写体の輪郭を識別出来る。これは、高エネルギー陽子線ほど直進性があるためである。そこで、本研究では散乱の影響が大きい 70MeV 陽子線において、散乱補正法を検討した。

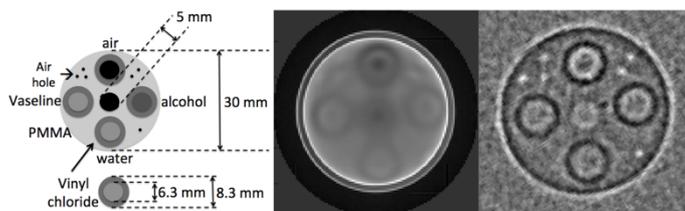


図 1 (左) 被写体の模式図 (中央) 70 MeV 陽子線による CT 画像 (右) 200 MeV 陽子線による CT 画像

【多重クーロン散乱補正の検討】

陽子線治療では、陽子線を一樣照射する手法(ブロードビームを利用)と、細いビームをそのまま利用する手法(ペンシルビームを利用)がある。両者において、陽子線の散乱補正方法を検討し

た。図 2 は補正を行った CT 画像を示しており、左図は図 1 に示した被写体にブロードビームを、右図は直径 25 mm の円柱型水ファントムにペンシルビームを照射した。前者の補正は被写体とシンチレータ間の距離をかえて複数枚の画像を取得することで散乱線の影響を評価し、後者の補正ではペンシルビームからの広がりを散乱成分として評価した。いずれも被写体内部のコントラストが明瞭になり、より詳細な構造を把握することが可能となった。水で規格化した CT 画像の WEL をそれぞれ表 1 に示す。補正前は 3 種の物質の差異が認められなかったが、補正により誤差の範囲内で理論値と一致する結果を得ることができ、補正が有効であることが分かった。

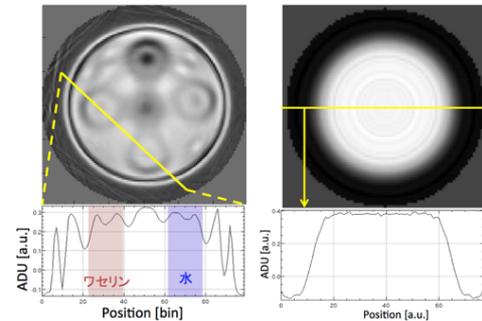


図 2 CT 画像の散乱補正結果の比較
(左)ブロードビーム (右)ペンシルビーム

| 物質(理論値) | 実験値 | | |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| | ブロード | | ペンシル |
| | 補正前 | 補正後 | 補正後 |
| PMMA (1.16) | 0.92±0.09 | 1.15±0.04 | 1.16±0.05 |
| イソプロパノール(0.83) | 0.94±0.06 | 0.81±0.03 | 0.80±0.05 |
| ワセリン(0.91-1.01) | 0.93±0.05 | 0.94±0.02 | — |

表 1 WEL の比較

【まとめと今後の展望】

薄いシンチレータと CCD カメラを用いたシンプルな陽子線 CT システムを構築し、陽子線の散乱の影響を補正する手法を確立することに成功した。今後は臨床応用に必要の高エネルギー陽子線においても、画像の取得・散乱補正を行う。

【研究業績リスト】

- [国際会議] M. Takabe et al., "Development of simple proton CT system with novel MCS correction method", IEEE NSS/MIC (2017), #2805
- [国際会議(ポスター優秀賞)] M. Takabe et al., "Development of simple proton CT system with novel MCS correction method", HSTD11, #62
- [投稿論文] M. Takabe et al., (同上), NIM-A, 投稿中
- [投稿論文] M. Takabe et al., "Performance evaluation of newly developed SrI2(Eu) scintillator", NIM-A, vol. 831(2016), p260-264
- [講演] 高部美帆 他、「高精度陽子線治療に向けた CCD カメラ陽子線 CT システムの開発」、第 112 回日本医学物理学会、0-083