

散乱線を用いた線量分布の可視化

研究者名 貫輪美博

研究者所属 埼玉県立川越女子高等学校

〒350-0041 埼玉県川越市六軒町1丁目23

要旨

陽子線治療とは放射線治療の一種であり、高い線量集中性がある。そのため高精度な照射が求められるが、リアルタイムで線量分布を計測する手法は確立されていない。本研究では陽子線照射時に発生する散乱陽子線を検出することで体内の線量分布を推定できると考え、シミュレーションと加速器で実験を行った。両方の結果より、散乱線のピークとブラッグピークの間には一定のずれが存在すること、内部の線量分布と比較して散乱線の分布の方が緩やかであることが分かった。このことから、差分を補正することで線量分布を再構成できると考えた。また、今後は先行研究のように機械学習などを用いて線量分布を推定しようと考えている。

序論

陽子線治療とは放射線治療の一種であり、高い線量集中性がある。そのため高精度な照射が求められるが、リアルタイムで線量分布を計測する手法は確立されていない。陽子線を身体に照射すると照射部位から散乱線が発生する。本研究ではこの散乱陽子線を検出することで体内の線量分布を推定できると考え、シミュレーション上と加速器で実験を行った。これまでに、散乱陽子線のデータから機械学習により線量分布を推定することができたという事例がある[1]。これらを踏まえ、安価で小型なシンチレーション検出器と[1]で用いていたものとは異なるシミュレーションコードを用いた場合でも同様に線量分布の推定が行えるか検討した結果を報告する。

実験方法

東北大学CYRICの930型サイクロトロン加速器を使用して陽子線照射を行いファントム外に出た散乱線の測定を行った。そこでの結果とシミュレーション結果を比較した。図1のCが0.138g/cc、33*9*66cmのポリエチレンファントムで、左の検出器が横川さんの作成した検出器(以下検出器A)、右がCosmic Watch(以下検出器B)である。検出器AはHAMAMTSU S13360 5*5*3 mmのプラスチックシンチレータを3mm角MPPCにカップリングしたもので、検出器Bは5*5*1cmのプラスチックシンチレータとSiPMを組み合わせたものである。本実験は早稲田大学先進理工学部修士2年横川広歩

さんと共同で行ったもので検出器Aが横川さん作成したもので、検出器Bが私の作成した検出器となっている。図2は実際の実験風景である。

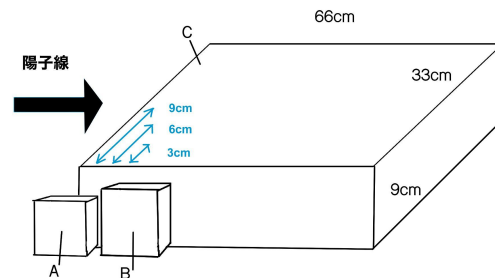


図1 実験装置の構成(A:横川さんの検出器 B:Cosmic Watch C:ポリエチレンファントム)

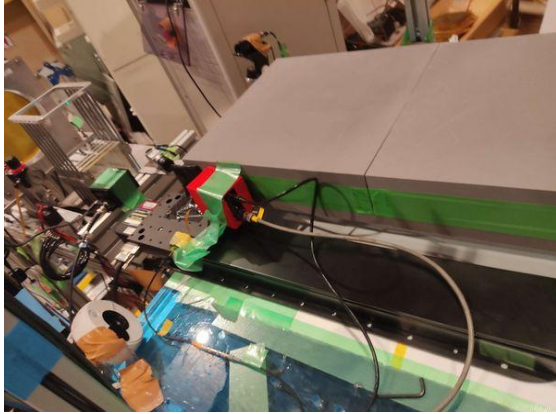


図2 実際の実験の様子

今回の実験では検出される散乱陽子線が非常に多く、検出数の評価が難しいため検出器Bでは出力電圧を記録することとした。検出器Aでは電流値を記録した。得られた実験データはGoogle Corabulatory上の解析コードを使用して解析した。ここでの垂直距離とはビームの中心から検出器までの距離で、陽子線がどれくらいファントム中を通ったかを意味する。シミュレーションはPHITSというモンテカルロシミュレーションコードを使用し、フラックス以外の条件は実際の実験と揃えてシミュレーションを行った。

結果

本研究では、ファントムに密着させた検出器をビーム照射方向に動かした際の散乱陽子線検出数の変動を調べた。検出器は0~40cmまでを2cm刻みで動かし、合計21箇所まで記録を取った。図3が1nAで垂直距離を変化させた際の出力電圧値の変化である。

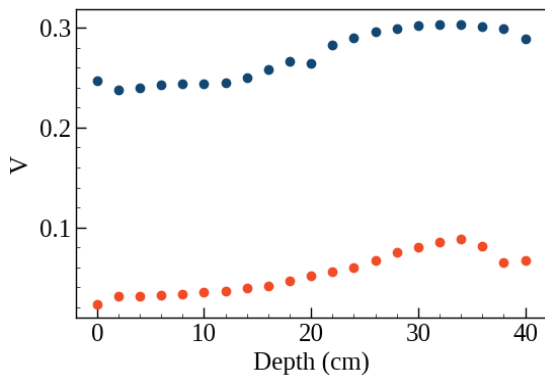


図3 検出器Bにおいてビームフラックス1nA、異なる垂直距離間での比較 (●垂直距離3cm ●垂直距離6cm)

図4~図5が検出器AB間の比較である。検出器を並べて置く都合上、シンチレーターの中心間が7cmほど離れてしまうためピーク的位置がずれている。単位が異なるため直接比較はできないが、どちらもブラッグピークに近づくほど縦軸の値が増加していることがわかった。検出器Aの方がピークの現れ方が鋭く誤差も大きかった。

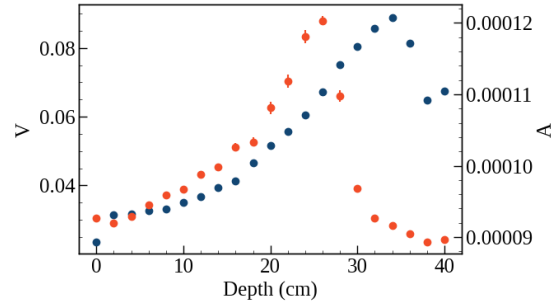


図4 垂直距離3cm 検出器AB間の比較 (●検出器A ●検出器B)

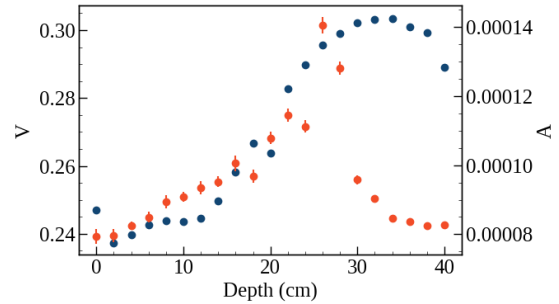


図5 垂直距離6cm 検出器AB間の比較 (●検出器A ●検出器B)

PHITSでのシミュレーション結果が図7~図10である。陽子線照射時の散乱陽子は内部の線量分布よりも緩やかに分布し、ピークはブラッグピークよりも4cm程度手前にできることが分かった。

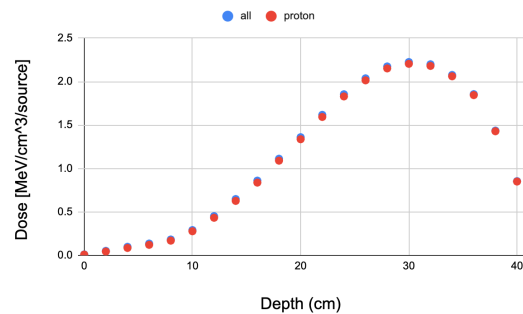


図7 垂直距離3cmでの線量分布

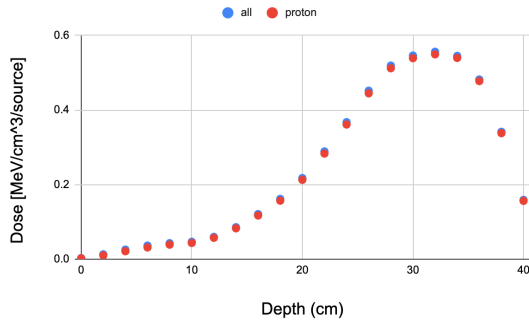


図8 垂直距離6cmでの線量分布

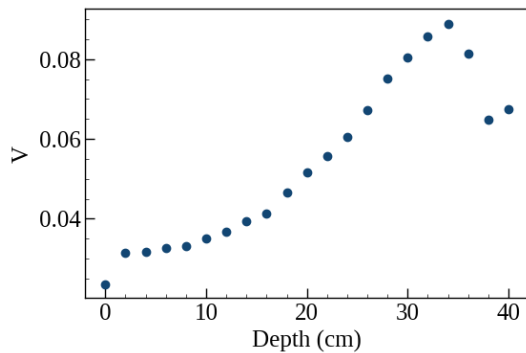


図9 ビーム中心での線量分布

考察及び結論

図3において、垂直距離3cmの方が6cmよりも全体的な電圧値が高かったのはファントム中を通る距離が長く、中で止まってしまう散乱線が少なかったためだと考えられる。図3と図7～9のシミュレーション結果を比較すると、検出器Aの場合はシミュレーションよりも実測値のピークが手前に来ているが、検出器Bの場合は逆の全ての垂直距離でシミュレーションよりも散乱線のピークが前に来ていた。ピークの位置は陽子のエネルギーが高いほど後ろにあらわれるため、この時のビームエネルギーは80MeVよりも低かったと考えられる。検出器Aの方が検出器Bよりも鋭いグラフとなったのは、シンチレーターのサイズが検出器Aの方が小さかったためであると考えた。これらの実験を通して、散乱線のピークとブラッグピークの間には一定のずれが存在し、内部の線量分布と比較して散乱線は緩やかに分布することが分かった。今後はそれらの情報から、先行研究[1]のように機械学習などを用いて線量分布を推定しようと考えている。

謝辞

本研究を行うにあたり、早稲田大学 田中香津生准教授、電気通信大学 高梨美佳さんに沢山

のご指導をいただきました。この場をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

[1] 横川広歩 他, “散乱陽子線を用いた「その場」線量可視化システムの提案”, 応用物理学学会, 2022, 参照2022.8.17