

卒業論文概要書

CD

2016年 1月提出

学籍番号 1Y12A059-4

所属学科	物理学科	氏名	増田 孝充	指導員	片岡 淳 印
研究 題目	陽電子放出核種を用いた陽子線線量分布の高精度推定法				

1. はじめに

陽子線はブラッグピークで表される高い線量集中性を持ち、がんの放射線治療法として世界的に注目を集めている。一方で、適確な照射が行われなかった場合は正常組織が致命的な損傷を受ける危険性があり、高精度な治療には照射位置や患者体内での線量分布を外部からモニターすることが重要である。現在は陽子線治療のモニターに PET(Positron Emission Tomography)装置が用いられている。PET 装置は入射陽子線と体内原子核との反応によって生じる陽電子(β^+)放出核種の分布を高精度で可視化することができる。しかし、陽子線のエネルギー損失と陽電子放出核種の生成過程は全く別のプロセスであり、両者の空間分布は正確に一致しない。さらに、陽電子放出核種の生成断面積は未だに不定性が多く、体内における陽子線量の定量的な算出には陽電子放出核種の生成位置を正確に把握する必要がある。

β^+ 崩壊によって生じる陽電子の一部はチェレンコフ光を発生するため、高感度 CCD カメラを用いることで β^+ 放出核種の詳細な空間分布を取得できる[1]。本研究では陽子線照射後に観測されるチェレンコフ光の時間発展を測定した。実測した二次元空間分布を、シミュレーション(PHITS)から得られる β^+ 放出核種の分布と比較した。さらに、放出核種の分布から陽子線の線量分布を推定する方法を考案した。

2. 実験結果

人体の 95%以上は水素、酸素、炭素の 3 元素からなるため、本研究ではファントムとしてアクリル $C_5O_2H_8$ を用いた。実験は放射線医学総合研究所と大阪大学核物理研究センターで行い、それぞれ 70 MeV、200 MeV の陽子線を使用した。

実測したチェレンコフ光の CCD 画像例を図 1 に、ビーム軸方向に射影した二次元分布の時間発展を図 2 にそれぞれ示す。



図 1. チェレンコフ光の可視画像 (200MeV)

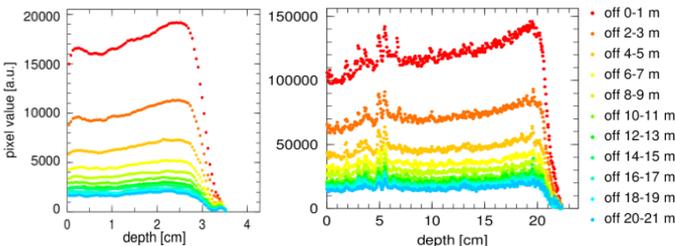


図 2 チェレンコフ光の一次元分布 (左)70 MeV (右)200 MeV

3. 実測とシミュレーションとの比較

70 MeV 陽子線を照射した直後と照射 10 分後に得られたチェレンコフ光の一次元分布を、シミュレーションから得られる β^+ 放出核種の分布と比較した。図 3 の縦軸は寄与する全核種を重ね合わせた分布において、最大値を 1 に規格化した。シミュレーションでは核種(^{14}O , ^{15}O , ^{13}N , ^{11}C)毎の分布も示した。とくに照射 10 分後において、 ^{13}N の寄与による超過成分がブラッグピーク近傍に観測され、チェレンコフ光が β^+ 放出核種の分布を正確に反映することが確認できた。最大値から 50% の立下がりの位置における、シミュレーションと実測のずれ $\Delta L_{50\%}$ はそれぞれ 1.3 mm と 0.9 mm である。

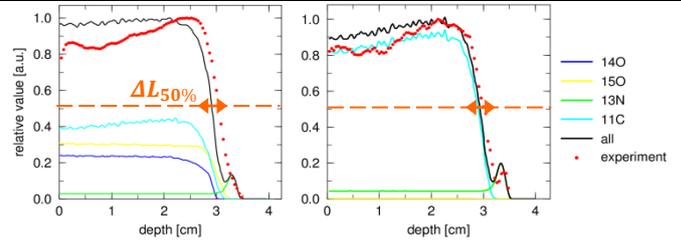


図 3 チェレンコフ光と β^+ 放出核種 (左)照射直後 (右)照射 10 分後

70 MeV、200 MeV の陽子線を照射した直後に得られたチェレンコフ光の一次元分布と、シミュレーションから得られた陽子線の線量分布を図 4 に示す。最大値から 90% の位置における分布のずれ $\Delta L_{90\%}$ はそれぞれ 7 mm と 11mm である。治療では 1 mm 程度の精度が求められるため、このずれは無視できない。 β^+ 放出核種の分布から、陽子線の線量分布を逆算的に推定する必要がある。

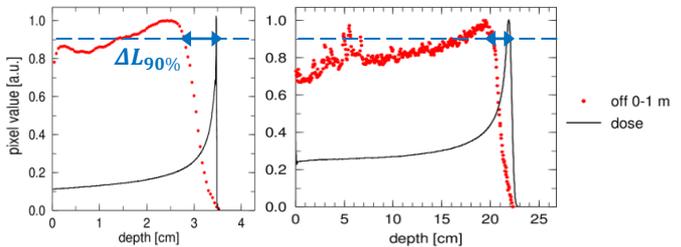


図 4 チェレンコフ光と線量分布 (左)70 MeV (右)200 MeV

4. 陽子線による線量分布の推定

空間の各位置における陽電子放出核種の生成量と線量の対応関係をシミュレーションから求め、実測した陽電子放出核種の分布に適応した。推定した線量分布と正しい線量分布を図 5 に示す。推定した線量分布はブラッグピークの位置を正しく反映しているが、線量が 2.7 倍大きな値となっており、また左肩に擬似的なピークが存在する。これは現状のシミュレーションで用いられる核種の断面積が、必ずしも正確でないことに起因している。

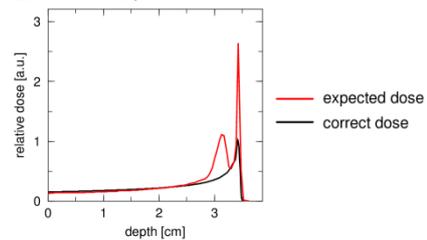


図 5. 推定した線量分布と正しい線量分布 (70 MeV)

5. まとめと今後

チェレンコフ光から陽電子放出核種の分布を実測した。シミュレーションとの比較により、 β^+ 放出核種の分布から正しい線量分布を推定する必要性が明確になった。さらに、核反応断面積の正確さが線量分布推定の精度に直結することが分かった。今後は実測したチェレンコフ光分布の時間発展をもとに、様々な β^+ 核種の寄与を切り分ける。これにより正確な生成断面積を推定し、正しいシミュレーションへと還元する。

6. 参考文献

[1] S. Yamamoto et al., Medical Physics 41, 111913(2014).