

## モンテカルロシミュレーションで評価した MRI 磁場による炭素線ビームの軌道と線量分布への影響

### Monte-Carlo simulations for evaluation of the influence on the range and dose distribution of carbon ion beam by MRI magnetic field

\*角田 紫音<sup>1</sup>, 岩井 岳夫<sup>2</sup>, 門叶 冬樹<sup>2</sup>, 佐藤 達彦<sup>3</sup>

<sup>1</sup>山形大学大学院, <sup>2</sup>山形大学学術研究院, <sup>3</sup>日本原子力研究開発機構

重粒子線治療における照射精度を向上させる方法の一つとして提案されている MRI (核磁気共鳴画像法) を用いた照射中リアルタイム人体イメージングを検討している。本研究では、モンテカルロシミュレーションコード PHITS と近似式を用いて、MRI 磁場がビーム軌道と線量分布に与える影響について検討した。

キーワード：重粒子線がん治療、MRI、モンテカルロシミュレーション

#### 1. 緒言

現在重粒子線がん治療では、腫瘍の 3 次元的位置や形状がビーム照射中においてリアルタイムに把握できていない。照射中のリアルタイムイメージングが可能となれば、治療の高精度化につながる。陽子線治療においては、低侵襲の MRI 誘導陽子線治療が検討されて始めているが[1]、重粒子線治療においては MRI の適用可能性を検討した例はない。本研究では検討の第一段階として、放射線挙動解析コード PHITS [2]を用いて、MRI 磁場下で水ファントムに炭素線ビームを照射する条件でビーム軌道および線量分布を計算し、磁場の影響を評価した。

#### 2. 計算条件

PHITS を用いて、半径 10 cm×長さ 40 cm の円柱型の水ファントムの底面に、ビーム径が 1 mm の <sup>12</sup>C を 100~430 MeV/u で照射した際のビーム軌道と線量分布を、磁場強度を変えて比較した。MRI の磁場強度は 1.5 T と 3.0 T の二種類に設定し、磁場の方向はビーム入射方向に対し垂直方向かつ一様と設定した。

#### 3. 結果

図 1 に磁場強度 3.0 T でのビーム軌道の計算結果を示す。粒子はローレンツ力を受け偏向するが、水中で粒子が減速するにつれて曲率半径が小さくなり、徐々にシフトが大きくなる。結果、3.0 T の磁場によりブラッグピーク位置は X 軸方向に 8.6 mm、入射方向に -0.22 mm シフトした。この軌道は Bethe-Bloch の式とローレンツ力より近似的に導出したビーム軌道(図中黒線)と良く一致した。また磁場により、末端でのビーム径が小さくなる効果も観測された。講演では、線量分布に MRI 磁場が与える影響の評価に加え、陽子線との比較も行う。

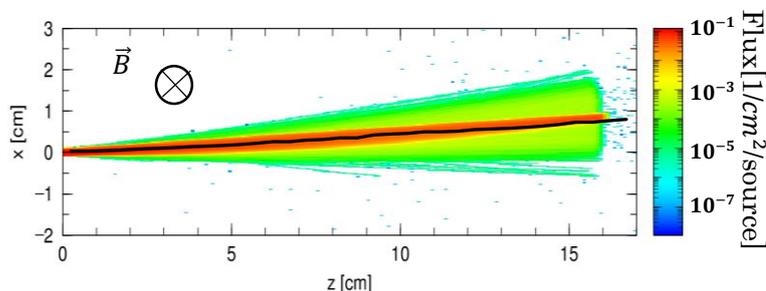


図 1 磁場強度 3.0 T 内の <sup>12</sup>C (290 MeV/u) の水ファントム中の Flux

#### 4. 参考文献

[1] B.M.Oborn et al., Medical Physics 42, 2113(2015)

[2] T. Sato et al., J. Nucl. Sci. Technol. 50:9, 913-923 (2013)

\*Shion Kakuda<sup>1</sup>, Takeo Iwai<sup>2</sup>, Fuyuki Tokanai<sup>2</sup> and Tatsuhiko Sato<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Yamagata Univ., <sup>2</sup>Yamagata Univ. science sinica, <sup>3</sup>Japan Atomic Energy Agency.