

不均質スラブファントムにおける線量計算アルゴリズムの計算精度の検証

南東北がん陽子線治療センター ○真崎 敬大(Masaki Keita)

小森 慎也 遠藤 浩光 太田 裕樹 辻 眞也 中野渡 優志 小松 俊介
廣垣 智也 加藤 雅人 大内 久夫 阿部 良知 新井 一弘 加藤 貴弘

【目的】

現在、superposition法を始めとする様々な線量計算アルゴリズムが臨床で使用されている。線量計算の精度は治療計画に直接影響を与える要素であり、不均質媒質中においてどの程度の不確かさが含まれるのか把握する必要がある。本研究では当院に導入されている治療計画装置に搭載されたアルゴリズムをモンテカルロ(MC)法と比較することで計算精度の検証を行った。

【方法】

ビーム入射方向から、3 cm厚の水(質量密度 1.00 g/cm^3)、2 cm厚の骨(1.53 g/cm^3)、7 cm厚の肺(0.26 g/cm^3)、18 cm厚の水の層から構成される寸法 $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ のスラブ状の不均質ファントムを作成した。ファントムに対して、X線6 MVのビームをSSD 90cm、照射野 $4 \times 4 \text{ cm}^2$ 及び $10 \times 10 \text{ cm}^2$ の条件で照射した際の線量分布を計算した。線量計算はEclipse (Varian)に搭載されているAXBとAAA、Raystation (RaySearch)に搭載されているCCCで行い、PDDをMCコードEGS5の計算値と比較した。各アルゴリズムはリニアックTrueBeam (Varian)のビームデータにコミショニングされており、EGS5の線源情報は照射ヘッド部のMCシミュレーションから得た。

【結果】

照射野 $4 \times 4 \text{ cm}^2$ の際の各アルゴリズムのPDDをFig.1、 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ の際のPDDをFig.2に示す。また、照射野 $4 \times 4 \text{ cm}^2$ の際のMC法との誤差をFig.3、 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ の際の誤差をFig.4に示す。加えて、各媒質における絶対平均誤差を算出した。照射野 $4 \times 4 \text{ cm}^2$ の際の結果をTable 1、照射野 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ の際の結果をTable 2に示す。AAAでは骨領域で線量を過大評価、肺領域で過小評価する傾向が見られた。また、CCCでは骨領域、肺領域共に線量を過大評価する傾向が見られた。一方、AXBは比較したアルゴリズムの中で唯一、不均質境界部における後方散乱の影響の変化に伴う急峻な吸収線量の変化を線量分布に反映しており、全領域を通して3%以内の誤差でMC法と一致した。

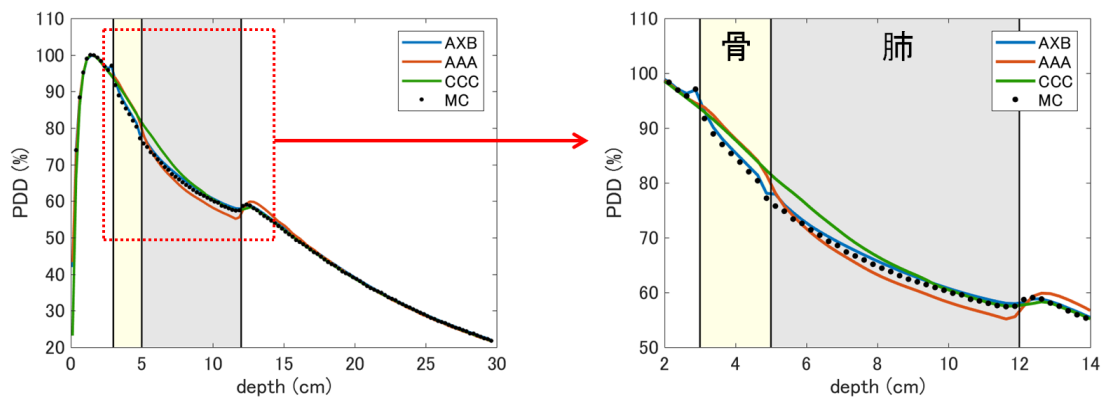


Fig.1 各アルゴリズムのPDDの比較($4 \times 4 \text{ cm}^2$)

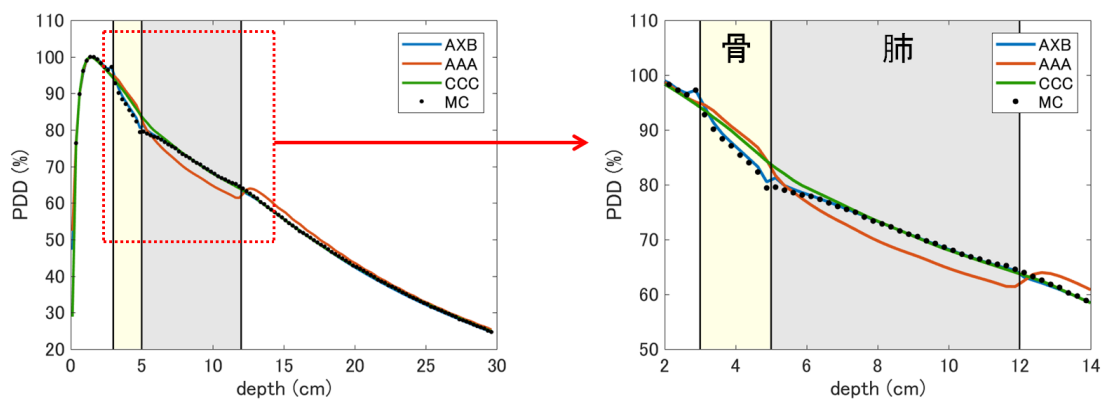


Fig.2 各アルゴリズムのPDDの比較($10 \times 10 \text{ cm}^2$)

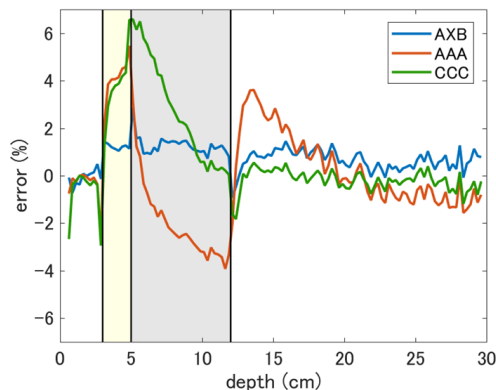


Fig.3 MC法との誤差(4×4 cm²)

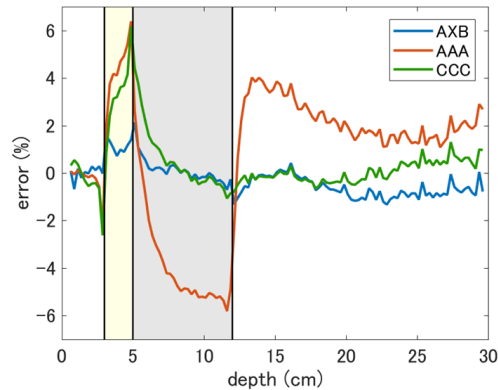


Fig.4 MC法との誤差(10×10 cm²)

Table 1 各媒質における平均絶対誤差(4×4 cm²)

領域	誤差(%)		
	AXB	AAA	CCC
水①	0.242	0.445	0.756
骨	1.222	4.113	3.815
肺	1.272	2.396	2.685
水②	0.697	1.200	0.351

Table 2 各媒質における平均絶対誤差(10×10 cm²)

領域	誤差(%)		
	AXB	AAA	CCC
水①	0.189	0.363	0.624
骨	1.138	4.426	3.395
肺	0.340	3.395	0.933
水②	0.659	2.223	0.365

※各領域で3つのアルゴリズム中誤差が最も小さいものを赤、最も大きいものを青で着色した。

【考察】

AXBはMC法で乱数を用いて確率論的に行われている処理を決定論的に行うことで高速化を図ったアルゴリズムであり、巨視的な放射線の輸送はMC法と同等に行うことができると言われている¹⁾。AAAとCCCはどちらもsuperposition法に分類されるアルゴリズムであるが計算精度には差が生じた。計算精度に関わると考えられる要因としては、AAAではpencil beam kernelを使用している²⁾のに対してCCCではより小さな相互作用を記録したpoint kernelを使用している点³⁾、AAAではビーム進行方向とLateral方向にkernelの変形がなされる²⁾のに対して、CCCでは相互作用点から放射状に多方向へkernelの変形がなされる点³⁾が考えられた。

【結論】

複数の線量計算アルゴリズムの計算精度をMC法と比較することで検証した。計算誤差はAXBが最も小さく、CCC、AAAの順に大きくなることが確認できた。

【参考文献】

- 1) ON Vassiliev, et al. : Validation of a new grid-based Boltzmann equation solver for dose calculation in radiotherapy with photon beams. Phys. Med. Biol. 55, 581-598, 2010.
- 2) Varian medical systems. : Eclipse algorithms reference guide. 2013.
- 3) RaySearch. : Raystation 4.5 reference manual. 2014.