

光輸送解析への中性子輸送計算手法の適用性に関する検討

名古屋大学工学部 エネルギー理工学科 山本研究室 天野虎之介

1. 緒言

本研究は原子力分野と医用工学分野の異分野融合テーマである。医用工学分野では X 線 CT や MRI といった生体イメージング技術が重要な役割を果たしており、従来手法の改良や新手法の開発が求められている。本研究では近赤外線を用いた拡散光トモグラフィに注目した。拡散光トモグラフィ実用化への課題として、①生体内を伝搬する光の挙動を記述する輻射輸送方程式(radiative transfer equation, RTE)が微分と積分を含む多変数方程式である、②光に対する生体の散乱係数が大きい、③生体内の光は強い前方散乱を伴うため非等方散乱計算が必要、の3つの要因から、計算コストが高いことが挙げられる。一方、原子力分野では RTE と同種の中性子輸送方程式を扱っており、非等方散乱計算の近似手法も存在する。そこで中性子輸送計算手法を応用することで、RTE の数値解析における課題を解決し、拡散光トモグラフィの実用化に貢献することを目指している。本発表では一次元、多次元体系において、光輸送解析への中性子輸送計算手法の適用性について報告する。

2. 計算手法

均質な生体組織を想定した一次元体系を図1のように設定した。生体組織の光学特性値は吸収係数 $0.15[1/cm]$ 、等方換算散乱係数 $90[1/cm]$ 、異方性因子 0.9 (強い前方散乱)とした。計算コードには中性子輸送計算コード GENESIS を使用し、Method of Characteristics(MOC)法, Legendre polynomial Expansion of Angular Flux(LEAF)法に基づき、空間メッシュ分割数 $100, 1000$ の計算を行った。MOC 法と LEAF 法では領域内の散乱中性子源分布をそれぞれ平坦、一次式で近似する。同じく中性子輸送計算コード PARTISN により空間メッシュ分割数 2000 、異方性因子を 0.9 とした計算結果を参照解とし、MOC, LEAF 法の結果を比較した。非等方散乱計算の近似手法として輸送補正近似を MOC, LEAF 法に適用し、参照解と比較した。一次元体系での検討から光輸送解析に適した中性子輸送計算手法を決定し、多次元体系への適用性を確認した。



図1 生体組織を想定した一次元無限平板体系

3. 結果

図2に一次元体系,空間メッシュ分割数 100 での輸送補正近似適用時の MOC 法と LEAF 法の光子束空間分布を示す。両者を比較すると、同じメッシュ分割での計算精度は LEAF 法が大きく上回っており、その誤差は 0.2% 程度であった。これは生体の散乱係数が大きいために光の減衰が急峻であり、一次式での近似が適しているためである。輸送補正近似を適用しない場合では、LEAF 法に基づいて誤差 1% 程度の結果を得るために、空間メッシュを 1000 分割まで細かく設定する必要があった。以上より、散乱中性子源の一次近似及び輸送補正近似が計算コストの低減に有効であると判断した。また、多次元体系において輸送補正近似を適用した LEAF 法に基づく計算を行い、有効性を確認した。今後の課題として、光輸送計算手法での解析結果との比較、中性子輸送計算手法への屈折効果の導入等が挙げられる。

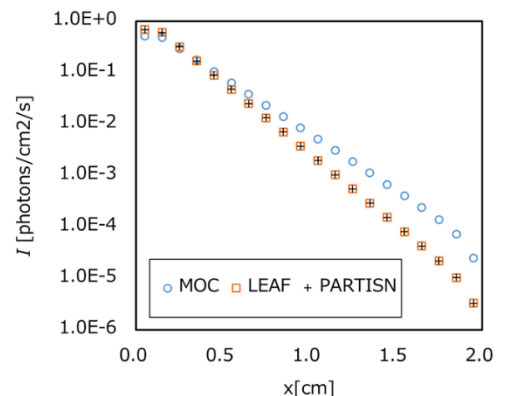


図2 輸送補正近似適用時の光子束空間分布

発表実績：[1] 天野虎之介, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会 2020 秋の年会, オンライン, 9 月(2020).

[2]天野虎之介, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 第 52 回日本原子力学会中部支部研究発表会, オンライン, 12 月(2020).

[3] 天野虎之介, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会 2021 春の年会, オンライン, 3 月(2021).