

反射・屈折を考慮した光輸送解析の高速化へむけた中性子輸送計算手法の応用

Application of neutron transport calculation method to accelerate photon transport analysis considering reflection and refraction

*天野 虎之介¹, 遠藤 知弘¹, 山本 章夫¹

¹名古屋大学

原子炉物理学分野で扱う中性子輸送計算手法を応用することで、生体内における光輸送計算を効率良く計算できる可能性がある。本研究では、反射・屈折効果を考慮した MOC を開発し、拡散加速法を適用することで高速に数値解を得ることができることを明らかにした。

キーワード： 輻射輸送方程式, Method of Characteristics, 反射, 屈折, 拡散加速法

1. 緒言 医用工学分野において、近赤外線を用いた生体イメージング技術の一種である拡散光トモグラフィの実用化が待ち望まれている。光輸送と中性子輸送の支配方程式が類似していることから、中性子輸送計算手法を応用した効率的な光輸送計算を行うことで、拡散光トモグラフィの開発に貢献できる可能性がある。ただし、光輸送計算では、屈折率の異なる物質境界面における光の反射・屈折効果を適切に考慮する必要がある。そこで本研究では、MOC(Method of Characteristic)に基づいて反射・屈折効果を考慮した光輸送計算コードを新たに開発し、拡散加速法を適用することで高速に数値解を得ることができるか検討を実施した。

2. 計算条件 自作した MOC 計算コードの妥当性を確認するために、光輸送分野で使用されているモンテカルロ計算コード MCML の計算結果を参照解として検証作業を実施した。計算体系として、非均質な生体組織を想定した 1 次元無限平板体系を図 1 のように設定した。各領域での光学特性値は、文献[1]に基づき、光源領域及び高屈折率領域で散乱係数 90 [1/cm]、吸収係数 0.15 [1/cm]、屈折率 1.4、低屈折率領域で散乱係数 0.0001 [1/cm]、吸収係数 0.0001 [1/cm]、屈折率 1.0 とした。光源領域に強度 1.0 [1/cm³/s] の光源を配置した。自作 MOC コードの計算条件は、角度分割数 200、空間メッシュ分割数 300、収束判定条件 10⁻⁶ とし、光の臨界角を考慮して極角を分割した多重 GL 分点を使用した。自作 MOC コードに実装した光の反射・屈折処理の影響を確認するため、①光の反射・屈折を両方考慮する場合、②反射のみを考慮し透過光の屈折を考慮しない場合、③光の反射・屈折を両方考慮しない場合、それぞれについて計算を行った。MCML の計算条件はヒストリー数 100 億とした。

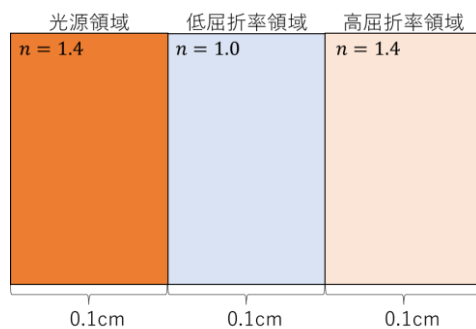


図1 検証体系

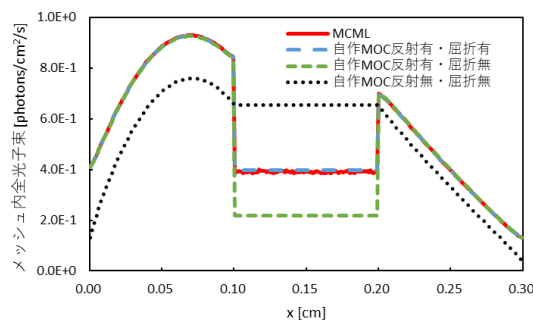


図2 光子束分布の計算結果

3. 結果 各条件で得られた光子束分布の計算結果を図 2 に示す。自作 MOC と MCML の結果をそれぞれ比較すると、反射・屈折の両方を考慮した場合でのみ、全領域で MCML による参照解と良く一致することが確認できた。MCML に対する平均二乗誤差は、反射有・屈折有で 1.2%、反射有・屈折無で 26%、反射無・屈折無で 45%であり、精度の観点から反射・屈折の両方を考慮することが必須であると判断した。反射・屈折を考慮した場合の計算時間について、拡散加速法無しでは約 31 [s]、拡散加速法有りでは約 13 [s]であり、厳密な光輸送計算における拡散加速法の有用性も確認できた。

参考文献： [1] H. Fujii et al., *Int. J. Numer. Meth. Biomed. Eng.*, **33**(5), e2826 (2017).

*Toranosuke Amano¹, Tomohiro Endo¹, Akio Yamamoto¹

¹Nagoya Univ.