

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現象を考慮する必要がある。そこで本研究では、①反射屈折現象を考慮した厳密な光輸送計算コードの開発、②拡散加速法を用いた光輸送計算の高速化について検討を実施した。さらに、高速な光輸送計算を実施するための近似解法として、③反射屈折現象を考慮した拡散計算による光輸送計算の効率化について検討を実施した。本予稿では、③について、異なった物質間の反射屈折現象を実効的な光反射率で考慮する光拡散計算コードの計算結果を示す。なお、本計算で使用した実効的な光反射率については、フレネルの法則を用いて全光子束と正味光子流から計算するアルゴリズムを新たに開発した。

2. 計算条件 自作拡散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光輸送計算コード MCML の計算結果を参照解として検証作業を実施した。生体内光輸送計算において、隣接する屈折率の差が最大となるのは、生体組織と空気領域の境界面である。そこで、光源領域、空気領域、生体組織を模擬した3領域の計算体系を図1のように設定した。両端は真空境界条件、各領域の光学特性値は、光源領域及び生体組織領域で散乱係数 90 [1/cm]、吸収係数 0.15 [1/cm]、屈折率 1.4、空気領域で散乱係数 0.0001 [1/cm]、吸収係数 0.0001 [1/cm]、屈折率 1.0 とした [1]。自作拡散計算コードの条件は、空間メッシュ分割数 300 とした。また、光拡散計算で求めた全光子束と正味光子流に基づいて光反射率を推定し、解が収束するまで反復計算を行うことで実効的な光反射率を求めた。自作拡散計算コードに実装した反射屈折処理の精度を確かめるために、①反射屈折を考慮しない条件、②反射屈折を考慮する条件でそれぞれ計算を行った。MCML の計算条件は、空間メッシュ分割数 300、ヒストリー数 100 億とした。

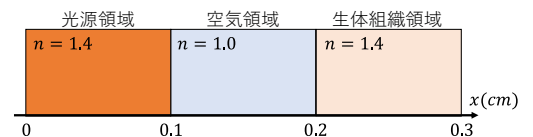


図1 検証体系

3. 計算結果 自作拡散計算コードを用いて各条件で計算された結果と MCML による参照解を図2に示す。反射屈折を考慮しない条件では、物質境界面における光子束が連続であるのに対し、反射屈折を考慮する条件と参照解は、反射屈折によって、物質境界面における光子束が不連続となる様子が確認できる。参照解に対する自作拡散計算コードの相対誤差分布を図3に示す。反射屈折を考慮しない条件では、空気領域(0.1 ≤ x ≤ 0.2 [cm])で約 65%、外部境界面で約 -65%の相対誤差が観察され、平均二乗誤差は約 44%となった。対して、反射屈折を考慮する条件では、空気領域で約 4.5%、外部境界面付近で約 9.5%の誤差が生じているものの、平均二乗誤差は約 1.8%にとどまっている。以上の結果から、①拡散計算において異なる物質間の反射屈折を考慮することが精度の観点から重要、②反射屈折を考慮した自作拡散計算コードを用いて現実的な精度で計算を実施可能、との知見を得た。

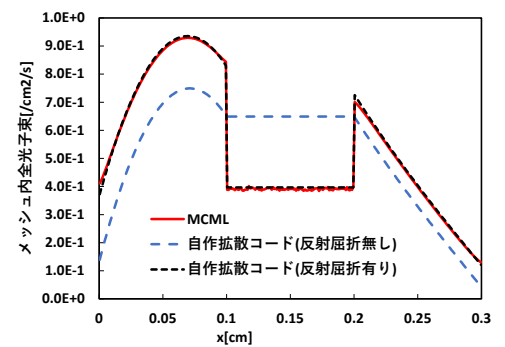


図2 全光子束の空間分布

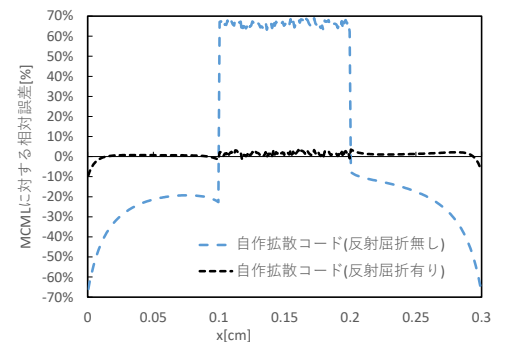


図3 参照解との相対誤差分布

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

口頭発表

[1] 天野虎之介, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 2022 年秋の大会, 1G12, 9月7日-9日 (2022).