

離散座標法による輻射輸送方程式の数値計算における 散乱源の取扱い手法に関する研究 (2) 中性子の非等方性をより高めた問題での比較

Treatment of scattering sources in numerical calculations of the radiative transfer equation
with discrete ordinates methods

(2) Comparisons on problems with enhanced neutron anisotropy

*清水 亮輔¹, 千葉 豪¹

¹北海道大学

輻射輸送方程式の数値解を離散座標法により求めた。散乱源を直接取り扱う方法とルジャンドル展開する方法を比較し、計算精度が外部源の与え方や異方性因子、吸収断面積の大きさに依存することを明らかにした。

キーワード：離散座標法、輻射輸送方程式、散乱源

1. 背景 離散座標法による輻射輸送方程式の数値計算では、各分野により散乱源の取り扱い方法が異なる。原子炉物理分野では、散乱断面積および角度束をルジャンドル多項式や球面調和関数に展開する方法を用いる。一方、光イメージングの分野では、散乱反応における角度束の入射方向と散乱方向の関係を直接的に取り扱う方法(Direct Angular Representation、DAR 法)が一般的である。これまでに、これらについての比較は部分的なものだった [1]。そのため、今回は包括的な比較を行なった。

2. 数値実験 散乱断面積として Henyey-Greenstein 位相関数(HG 関数)を用いた。散乱源の角度方向依存性の大きさは、外部源の与え方や散乱の異方性因子 g 、吸収断面積 Σ_a の大きさに依存する。前報[1]では、外部源は等方、異方性因子の大きさは 0.9、吸収断面積の大きさは 0.05 /cm という条件での 1 次元均質平板体系中中性子輸送問題を解いた。また、DAR 法の場合は新たに GLLS による再規格化により計算精度の改善を図った。本研究では外部源を等方・ビーム状、異方性因子の大きさを 0.5・0.9・0.99、吸収断面積の大きさを 0.01 /cm・0.05 /cm と変えて計算を行なった。この中性子輸送問題を離散座標法に基づき、ルジャンドル展開法と DAR 法の 2 通りの方法で解いた。さらに、離散座標法における角度分点と重みとして、外部源を等方とした場合にはガウスルジャンドル求積セットを、外部源をビーム状に与えた場合にはガウスラダウ求積セットをそれぞれ用いた。

3. 結果・考察 スカラー中性子束に着目し比較を行なった。参照解 y_i は、100 次のルジャンドル展開で角度分割数を 500 としたときの、空間メッシュ i におけるスカラー中性子束とした。それぞれの方法で、角度分割数 N を 2 から 40 まで取り、離散座標法による計算を行なった。全てのメッシュでの参照解との中性子束の平均絶対誤差率(MAPE) [%]に着目し、比較を行なった。図 1 に外部源をビーム状、 $g = 0.9$ 、 $\Sigma_a = 0.05$ という条件における、散乱源の取り扱いごとの中性子束の MAPE を示す。

それぞれの解き方での計算精度は、外部源の与え方や異方性因子、吸収断面積の大きさに依存することが分かった。また、どの条件でも、ルジャンドル展開法で計算精度の良好な結果が得られた。1 次元の輸送問題においては、散乱源に対して直接的な取り扱いをしている分野にも、原子炉物理分野の取り扱い方法を適用できることが示唆された。今後は、多次元でも同様の比較を行う予定である。

参考文献 [1]清水、千葉、2021 年春の年会、2B14. [2] L. Liu, L. Ruan, H. Tan, Int. J. Heat Mass Transf., 45(15), p. 3259 (2002).

*Ryosuke Shimizu¹, Go Chiba¹

¹Hokkaido Univ.

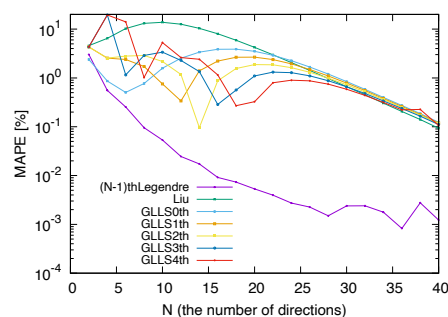


図 1：中性子束の MAPE