

X01b 多次元輻射輸送方程式の新しい数値解法

中本 泰史、梅村 雅之 (筑波大学 計算物理学研究センター)

多次元空間内の輻射輸送を解くことは、多くの宇宙物理学的問題において重要な課題となってきた。最も一般の状況に対しては、空間の次元のみならず輻射の方向(2次元)と振動数(1次元)も考慮しなければならない。そのため、扱う次元が高次元となり大量の計算を実行する必要が生じる。実際に計算を実行できるかどうかは、その問題の計算量が現実的な量に収まるかどうかで決まることになる。従って、計算量が少なく高速な計算法の開発は、適用可能な問題の範囲を大幅に広げるといふ意味において、非常に重要な意義を持つ。

従来、多次元輻射輸送方程式を解くにあたって計算量を抑えるために用いられていた手法は Short Characteristics 法と呼ばれるものである。これは、一本の光線を短い線分の集合として表現するものである。3次元空間内の問題の場合、方向と振動数を固定したとして、全空間の格子点で輻射強度を求めるための計算量は、全格子点数(N^3)に比例する。しかしこの方法は複数の線分から一本の光線を構成するために多数の補間を行うため、数値的な拡散が大きいという短所を持つ。一方、すべての光線を一本の直線で表現する計算法は Long Characteristics 法と呼ばれ、数値拡散のない正確な解が得られる。しかし、その計算量は N^4 に比例し、多くの格子を利用する大規模計算においては特に、Short Char. 法よりも計算量・計算時間が圧倒的に大きくなる。

そこで私達は、Long Char. 法と Short Char. 法の 両者の長所をあわせ持つ新しい計算法 (Accelerated Ray Tracing 法) を考案した。この方法では物質の格子とは独立に光線に沿った輻射格子を考え、各物質格子点では近傍の輻射格子点での値から補間して輻射強度を求める。輻射格子上では光線は一本の直線として表現され、物質格子への輻射強度の補間も一度だけなので数値拡散も小さい。さらに、一本の輻射格子上の輻射強度の値は、その光線近傍の多数の物質格子で共有して利用されるため、全体の計算量は N^3 に比例する量で済む。

私たちはこの方法を実際にインプリメントし、上記の計算時間と格子数の関係が成り立つことを確かめた。またその精度は Long Char. 法に近い、非常に高いものであることも確かめた。従ってこの方法は、多次元空間内の輻射輸送方程式を解くにあたって 精度・計算時間ともに非常に満足できるものである と言える。