

3次元自己重力輻射磁気流体力学シミュレーションを用いた

標準降着円盤の研究

廣瀬重信(海洋研究開発機構)

利用カテゴリ XC-B

オパシティ計算コードの開発

本研究においては、輻射輸送計算が特に重要な役割を果たす。輻射輸送計算では、輻射と物質(ガス)の相互作用を表すオパシティの値が必要になる。本研究では、特に局所熱平衡を仮定した上で、周波数方向に平均化した輻射場を解くため、必要となる(平均)オパシティは2つの熱力学量(例えばガスの温度と圧力)の関数となる。このような熱力学量の関数としてのオパシティテーブルはいくつかの機関(有名なものとしてOpacity Project

<http://cdsweb.u-strasbg.fr/OP.htm>

など)で公開されているものの、それぞれガスの温度・圧力範囲において限定的である。したがって、広い温度・圧力範囲のガスを研究対象とした場合には、複数のオパシティテーブルを組み合わせるなどの処置が必要となる。また、ガスの組成比に関しては太陽のものを仮定している場合がほとんどであり、それ以外の組成比を考える場合(例えば水素のほとんど枯渇したガスからなるAM CVn型星起源の降着円盤など)には用いることができない。さらに、周波数平均を取る際のプランク輻射場の温度は通常ガス温度と同じと仮定されているため、プランク輻射場温度がガス温度と異なる問題(例えば中心天体による降着円盤の照射加熱)には適用できない。

このように、既存の公開オパシティテーブルには制約も多く、したがってそれらを用いることができる研究対象も自ずと限られる。また、そういったオパシティテーブルを作成する計算コードはほとんどが公開されておらず、公開されていても数十年前に開発された古いものばかりで開発も止まっている(例えば、DFSYNTH

<http://www.oact.inaf.it/castelli/castelli/sources/dfsynthe.html>

など)。そこで、今後の輻射流体力学シミュレーションの発展も見据えて、本年度より、一般公開を念頭においた(局所熱平衡)オパシティ計算コードの開発も並行して行うこととした。

局所熱平衡のオパシティは解析的な式が与えられており、数値的に方程式を解く必要はない。したがって、計算コードの基本的なアルゴリズムは極めて単純であるものの、計算量は膨大になる。特に、温度が数万度以下のガスで重要となる、原子や分子の束縛-束縛遷移による線スペクトルは、データとして公開されているものだけでも数百億に上る。この膨大な線スペクトルを、少なくとも数万点から数十万点の周波数グリッドでサンプリング評価しなくてはならない。さらにその評価を、それぞれ数百点の温度グリッドと圧力グリッドに対して行うことで、オ

パシティテーブルが完成する。

膨大な線スペクトルのサンプリング評価の計算量を減らすために、ある一つの周波数グリッドに対して評価を行う線スペクトルの数を限定する。そのためには、線スペクトルのデータを予め周波数順にソートしておく必要がある(公開されている原子・分子データのスペクトルデータは必ずしもそうっていない場合がある)。このソートの際、膨大な線スペクトルデータを一度にメモリに読み込むことは出来ないため、ファイルを分割して「外部ソーティング」を用いた。また、頻繁に必要となるファイルへのランダムアクセスの方策としてはHDF5

<https://www.hdfgroup.org/solutions/hdf5/>

を採用した。

線スペクトルデータの収集とチェック、および成形

原子スペクトルデータはハーバードCfAのKurucz博士が公開しているもの、

<http://kurucz.harvard.edu/>

一方、分子スペクトルはヨーロッパのExomol

<http://exomol.com/>

が系外惑星大気モデリング用として公開しているものと、HITRAN

<https://hitran.org/>

が主に地球大気モデリング用として公開しているものを収集した。それぞれテキストデータとして配布しているため、総量は数十TBにもなる。また、分配関数を計算するための原子のエネルギー準位データと同位体比データは、アメリカのNIST

<https://www.nist.gov/>

が公開しているものを入手した。これらのすべてのデータに関して、値のチェックを行ったところ、線スペクトル周波数や同位体番号などに多くの誤りが見つかった。そのため、配布元(Kurucz博士やExomolチーム)と情報交換しながら、それらの修正を行う必要があった。

本研究では、局所熱平衡のオパシティを計算するため、配布されている原子・分子のスペクトルデータのうち必要となるのは、

1. 低エネルギー準位のエネルギー
2. 線スペクトル周波数
3. いわゆるgf値(アインシュタインA係数から求まる)

の3つだけである。各化学種ごとに、これらのスペクトルデータと(分配関数を計算するための)エネルギー準位データをセットにして一つのHDF5ファイルとして成形した。

今後は、ここで作成した線スペクトルデータに連続スペクトルデータを加え、それらからオパシティテーブルを作成する計算コードの開発を行う。