

分子流体力学法による数値流体計算及びその応用

Application of Molecular Hydrodynamics

- 大杉幸督 神戸大学理学研究科, 神戸市灘区六甲台町, 031d820n@stu.kobe-u.ac.jp
 猪坂弘: 神戸大学理学研究科, 神戸市灘区六甲台町, 島津製作所
 松田卓也: 神戸大学理学研究科, 神戸市灘区六甲台町
 Yukimasa Ohsugi: Graduate School of Science, Kobe University, Rokkodaichou, Nada, Kobe
 Takuya Matsuda: Graduate School of Science, Kobe University, Rokkodaichou, Nada, Kobe
 Hiromu Isaka: Graduate School of Science, Kobe University, Rokkodaichou, Nada, Kobe

We present results of two-dimensional numerical simulations of accretion flow on to a gravitating compact object. Incident gas is assumed to be uniform at far upstream and its temperature is zero. Therefore our flow is two-dimensional version of Hoyle-Lyttleton accretion flow. Calculations were performed using the Molecular Hydrodynamics Method (MH) proposed by us earlier. We reconfirm that the flow is unsteady, exhibiting the "flip-flop" behavior seen in previous studies for gas, if the specific ratio is small. We point out that the (numerical) size of the central accreting body is also critical to stability issue. The smaller the body is, the more unstable flow we find.

1. はじめに

我々は以前の報告で、モンテカルロ直接法(DSMC)を連続流体に適用可能な方法へと改良した新しいスキーム、分子流体力学法(Molecular Hydrodynamics Method=MH)を考案し、一次元衝撃波管問題などのテスト計算を行い良好な結果を得た⁽¹⁾⁽²⁾。

本論文では分子流体力学法の応用として青色巨星と中性子星が連星を構成している系における星風降着流の数値計算を行う。Matsuda らは差分法により二次元の星風降着流の数値計算を行い、中心天体への星風降着流は不安定であると主張した⁽³⁾。それに対して Zarinelli らは中心天体付近を高解像度にした解適合格子を用いた二次元の差分法計算を行い星風降着流は安定であるとした⁽⁴⁾。Benensohn らは極座標を用いて中心天体付近を高解像度にした二次元星風降着流計算を行い、星風降着流は不安定であるとした⁽⁵⁾。更に Pogorelov らは二次元星風降着流計算のパラメータサーチを行い、安定、不安定の両方のケースがあるとした⁽⁶⁾。

上記の研究は全て差分法による数値計算であるが、本論文では上記における計算法とは異なるスキームである分子流体力学法によるアプローチを星風降着流に対して試みる。計算は二次元について行う。

2. 計算モデル

ここでは簡単化のために降着天体とその周囲のみを計算し、ガス供給側の青色巨星の領域及びその重力は考慮しないものとする。また計算は慣性系で行いコリオリ力も考えないものとする。これらの仮定は上記の研究と同じである。

長さを Hoyle-Lyttleton の降着半径で規格化し、密度は流入ガスの密度で規格化する。また代表速度は流入ガスの上流端での速度とし、時間は降着半径を代表速度で割ったもので規格化する。

計算領域は $x=0 \sim 5, y=0 \sim 5$ の領域を考え、中心天体は $(x,y)=(2.5,2.5)$ にあるものとする。中心天体はある半径を持った円形の真空の穴として、その大きさをパラメータとする。穴に入った粒子は計算から取り除かれる。ガスの比熱比 γ もパラメータとし、5/3、4/3、0 のケースについて考えるものとする。また空間を x, y 両方向について 1000 セルで分割する。 $x=0$ の上流端から、密度一様、温度 0 のガス(マッハ数 $=\infty$)のガスが流入するものとする。

3. 計算結果

以下に計算結果の一例を示す。中心天体の大きさは 0.01 で比熱比 γ は 5/3 である。図のケースでは温度 0 のガスが上流から流入

しているのにもかかわらず弓状衝撃波の角度が 0 にはならずある大きさを持っているのは注目に値する。重力のない場合についての気体力学の解析ではマッハ角は $\sin^{-1}(1/M_\infty)$ であるから 0 に

なる筈である。しかし降着により気体が断熱圧縮されるために有限の角度を持つ。他の研究者たちの手法では、このような無限大のマッハ数を扱うことは出来ない。図のケースでは降着流は安定で、衝撃波面及び後流は軽く上下に flip-flop を繰り返した。この結果は Benensohn⁽⁵⁾ 及び Pogorelov⁽⁶⁾ の結果と概ね一致する。

γ が小さいほど、流れは不安定になることを見いだした。また中心に置かれた真空の穴の半径が小さいほど、不安定になることも見いだした。現実的な中性子星では、我々の仮定した穴の半径よりはるかに小さい。ということは、少なくとも 2 次元流の仮定においては、流れは不安定になるものと予想される。

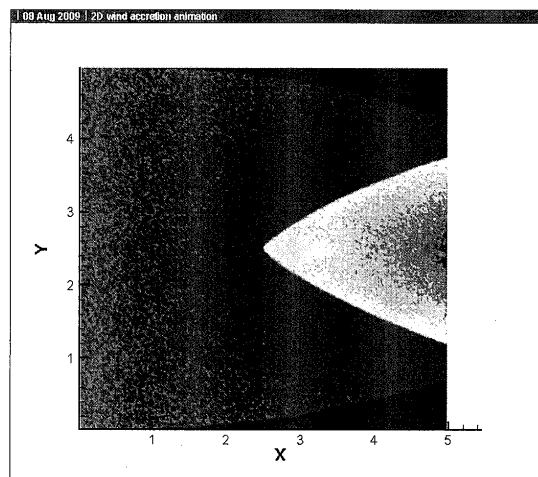


Fig. 1 2D wind accretion flow of cold gas with $\gamma=5/3$

参考文献

- (1) Murata, H.; Matsuda, T.; Isaka, H.; Ohsugi, Y.; Boffin, H. M. J., 120, P.Th.Ph. (2008), 347.
- (2) Isaka, H.; Matsuda, T.; Boffin, H. M. J. 116, P.Th.Ph. (2006), 1069
- (3) Matsuda, T.; Inoue, M.; Sawada, K., 226, MNRAS. (1987), 785
- (4) Zarinelli, A.; Walder, R.; Nussbaumer, H., 301, A&A. (1995), 922
- (5) Benensohn, J. S.; Lamb, D. Q.; Taam, R.E., 478, ApJ, (1997), 723
- (6) Pogorelov, N.V.; Ohsugi, Y.; Matsuda, T., 313, MNRAS. (2000), 198