

X11b 磁気流体力学方程式の数値解法：時間空間 2 次精度化

花輪知幸、福田尚也、中島 康 (名大理)

私たちは Nakajima and Hanawa (1996, ApJ in press) の方法 (1 次精度) を改良し、磁気流体力学 (MHD) 方程式を時間・空間 2 次精度で解く 3 次元数値シミュレーションコードを開発したので、その特徴と性能を紹介する。コードの性能は、衝撃波管問題 (1 次元および 2 次元)、Alfvén 波の decay instability (1 次元)、パーカー不安定性による磁束管の浮上 (3 次元) の 3 つで評価した。どのテスト問題でも満足のゆく性能が得られた。

【衝撃波に強い】Fast および Slow Shock を数値振動なしにシミュレーションできる。これは、密度・速度・磁場の空間変化を磁気流体波に分解し、それぞれの伝搬を追跡するように計算する方式 (風上差分法) を採用することによって実現されている。扱える衝撃波の強さに特に制限はない。

【Alfvén 波に強い】Alfvén 波の数値的な減衰を最小限に押さえた。一様な媒質中を伝搬する sin 型波形の Alfvén 波は、振幅によらず減衰しないはずであるが、これまでの方式では Alfvén 波が数値的に減衰した。速度・磁場について座標成分ごとに行っていた 2 次精度化のための補間を、波の成分ごとの補間に置き換えることによって数値的な減衰を減らした。Alfvén 波の波長を 100 メッシュで表現した場合、1 周期の伝搬による減衰を 1 %以下に押さえることができた。減衰率はメッシュ数の 3 乗に逆比例して減少する。別の Alfvén 波との干渉によって Alfvén 波が減衰する decay instability についても、線型理論と一致した答えが得られる。

【ベクトル化・並列化可能】ある時刻の密度・速度・磁場は、 Δt だけ前の密度・速度・磁場の陽関数で与えられる。このためコードは容易にベクトル化および並列化でき、スーパーコンピュータでの高速計算に使用できる。