

並列ベクトル処理

三木 亮、近藤 光志、鞆飼 正行

愛媛大学工学部情報工学科

1. はじめに

宇宙空間で起こるプラズマ爆発現象の一つにフレア現象がある。その現象のメカニズムとして、磁気再結合が重要な役割を担っているということが判明しているが、実際に現象の解析を行うのは非常に困難である。そこで我々は、独自の三次元電磁流体シミュレーションモデルを用いてこのフレア現象のメカニズムの解明を試みている。

このシミュレーションモデルの計算を実行する際には膨大な数値データを扱うため、大容量のメモリを持つ高速な計算機が必要不可欠となってくる。そこで、分散メモリ型の並列ベクトル計算機 VPP5000 を用いる。並列ベクトル計算機の性能を引き出すには、その特徴を活かしたシミュレーションコードの開発が必要である。本研究では、効率良く並列ベクトル処理を行うシミュレーションコードを開発し、計算を実行した。

2. 三次元電磁流体コードの並列ベクトル化

実際の現象を忠実に再現するためには、二次元コードや三次元コードを用い、格子点数を十分にとって計算を実行するほうが、良いシミュレーション結果を得られることは明白である。我々が用いる三次元電磁流体コードでは、電磁流体方程式の 8 つの物理量を無次元化(規格化)し、保存形にしたものを、代表的な陽的差分法である 2 Step Lax-Wendroff 法を用いて数値計算させている。したがって、コード自体が非常に複雑になっており、格子点数を多く取りすぎると逐次処理では非常に時間がかかってしまうという問題が生じる。この問題を解決するために、並列ベクトル計算機を用い、プログラム中のデータ処理を並列化、ベクトル化することによって処理時間を短縮させる。

本研究では、三次元電磁流体コードの格子点数を x 方向に 205、y 方向に 645、z 方向に 83 とする。分割方法として band (均等) を指定し、y 方向の格子点を PE 数で均等に分割して並列化する。差分法 (2 Step Lax-Wendroff) の性質より、各 PE が通信を行う袖とばれる部分が必要となり、インデックスが減少する方向、増加する方向ともに 2 個ずつ伸ばす。

また、三次元電磁流体コードでは内部格子点領域の実行 DO ループに全 CPU 時間のほとんどが集中している。このような DO ループは、メモリ上に規則的に配置された配列データ (ベクトル) に、同一演算を繰り返し実行させている場合が多い。この規則性に着目して高速化を図る一つの方法にベクトル処理がある。ベクトル処理とは、配列データ (ベクトル) に対し、同一演算を繰り返し実行する命令 (ベクトル命令) によって DO ループを処理することをいう。本研究で用いる並列ベクトル計算機 VPP5000

Vector-Parallel Processing in 3-Dimension Magneto Hydrodynamic Simulation

Ryo Miki, Koji Kondoh, Masayuki Ugai

Department of Computer Sciences, Faculty of Engineering, Ehime University

には自動ベクトル化機能が備わっており、コンパイルの際に、通常のソースプログラムをベクトル命令を用いたオブジェクトコードに翻訳してくれる。自動ベクトル化コンパイラがベクトル化の対象とするのは、いわゆる DO ループで書かれた繰り返し構造のみである。また、具体的には最内 DO ループであり、かつループからの外への飛び出しは高々1 個である、といったいくつかの制約がある。本研究では x 方向の DO ループを最内ループとし、x 方向にベクトル処理を施している。

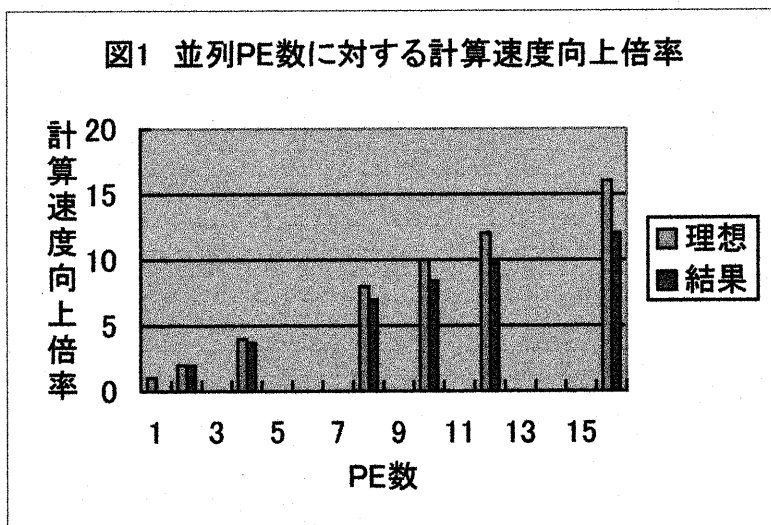
3.VPP5000

VPP5000 はスーパーコンピュータの一つで名古屋大学の大型計算機センターに設置してある分散メモリ型の並列ベクトル計算機である。VPP5000 の特徴としては、56 台の PE (Processing Element) を持っており、各 PE はそれぞれ 8GB のメモリを備え、1PE あたり 9.6Gflops の速度を持つ。各 PE 間の通信は、転送速度が 1.6GB/sec の高速なクロスバーネットワークを介して行われる。各 PE はスカラユニットとベクトルユニット、主記憶から成る。スカラユニットの演算性能は、汎用計算機の処理能力と同程度である。ベクトルユニットは、ベクトル処理が行われる部分で、演算パイプラインとベクトルレジスタから成る。ベクトル処理の性能は演算の種類にもよるが、スカラ処理の数十倍から数百倍にもなる。

VPP5000 を使用するためには、逐次処理用のプログラムを並列ベクトル処理できるように拡張する必要がある。並列ベクトル化は逐次型 FORTRAN プログラムに VPP FORTRAN と呼ばれる並列化拡張言語を挿入することによって可能となる。

4.PE 数による計算速度向上倍率

三次元電磁流体コードを 1,2,4,8,10,12,16 個の PE 数で各 100time step 実行した。計算速度向上倍率



とは、計算開始から終了までの計算時間に着目し、PE の数が 1 の場合の計算時間に対して、何倍の速度で計算できるかを求めたものである。

図 1 は、PE 数の変化による計算速度向上倍率を表している。これを見ると、PE 数が多くなるほど、理想よりも計算速度向上倍率が低くなっているのが分かる。これは、PE 間で転送する袖の部分のデータ量が、用いる PE 数と共に増加し、その転送時間のためである。