

## GPU を利用した CIP 法による磁気リコネクション解析

## Magnetic reconnection analysis by using CIP method utilized GPU

林大和<sup>1</sup>, 本橋征幸<sup>1</sup>, 長峰康雄<sup>2</sup>, 相澤正満<sup>2</sup>Yamato HAYASHI<sup>1</sup>, Masayuki MOTOHASHI<sup>1</sup>, Yasuo NAGAMINE<sup>2</sup>, Masamitsu AIZAWA<sup>2</sup>日大院量子<sup>1</sup>, 日大量科研<sup>2</sup>Graduate School of Quantum Science and Technology, Nihon University<sup>1</sup>,Institute of Quantum Science, Nihon University<sup>2</sup>

今回私たちは、磁気リコネクション過程のシミュレーションを行った。基礎となる抵抗性 MHD 方程式に CIP-MOCCT 法 [1] を用いることにより安定した数値解析を行った。また GPU を用いてアルゴリズムの並列化を実行、つまり GPGPU を導入することで、より高速なシミュレーションを目指し、またどのような条件下において GPGPU が有効であるかを検討、比較することで、GPGPU の有効性を確かめることも目指す。磁気リコネクションモデルとして Petschek モデルを採用した。また基礎式となる規格化された CGS-Gauss 単位系の抵抗性 MHD 方程式を以下に示す。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \rho = -\rho(\nabla \cdot \mathbf{v}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{1}{4\pi\rho} (\mathbf{j} \times \mathbf{B}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) p = -\gamma p(\nabla \cdot \mathbf{v}) + (\gamma - 1) \frac{\eta}{4\pi} |\mathbf{j}|^2 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -(\nabla \times \mathbf{E}) \quad (4)$$

$$\mathbf{E} = \eta \mathbf{j} - \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (5)$$

$$\mathbf{j} = \nabla \times \mathbf{B} \quad (6)$$

$\gamma$  は比熱比、 $\eta$  は抵抗率を示す。

計算手順としては、まず (1),(2),(3) 式において非移流項を計算し、その結果から移流項を CIP 法 [2] で計算する。次に (4) 式に MOCCT 法 [3] を適用し計算する。また、初期値は文献 [4] を参照した。

このモデルにおけるシミュレーション結果の一例を図 1 に示す。カラーマップされているのが  $\log p$  であり、横軸は  $y$ 、縦軸は  $x$  である。白の矢印は速度ベクトルであり、黒の矢印が磁場ベクトルである。 $L_0$  は電流シートの厚さ、 $C_{S0}$  は音速と定義すると、計算する空間格子は  $\Delta x = \Delta y = 0.0625L_0$ 、範囲は  $-13.25L_0 \leq x \leq 13.25L_0$ 、 $-36.5L_0 \leq y \leq 36.5L_0$  で格子数は  $425 \times 1169$  である。また  $t_0 = L_0/C_{S0}$  とすると、計算時間ステップは  $\Delta t = t_0/1024$  で、

$t = 30t_0$  まで計算した。図 1 では  $-5L_0 \leq x \leq 5L_0$ 、 $-20L_0 \leq y \leq 20L_0$  の領域を表示している。

また CPU における計算と GPU における計算を比較する。大まかであるが現段階の結果を図 2 に示す。これは  $t = 30t_0$  までの CPU と CUDA を利用した GPU の計算時間の比較である。約 7.0 倍の計算速度向上が見られた。今後この計算速度のより高速化を目指す。詳細は学会当日に報告する。

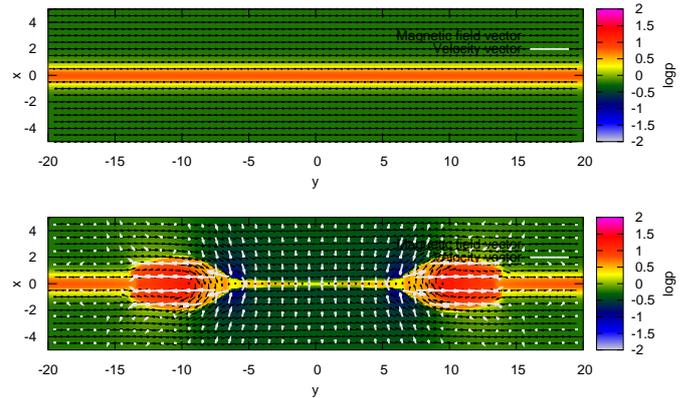


図 1:  $t = 0.0t_0$  (上) と  $t = 15.0t_0$  (下) での結果

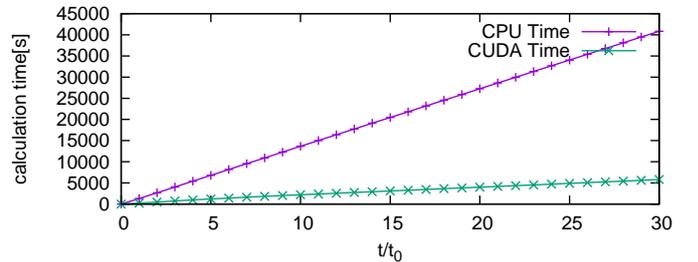


図 2: CPU と CUDA の計算速度の比較

[1] T. Kudoh and K. Shibata, The Astro J. **476**, 632 (1997).

[2] T. Aoki and T. Yabe, Comp Phy Comm. **66**, 219 (1991).

[3] John. F. Hawley and James. M. Stone, Comp Phy Comm. **89** 127 (1995).

[4] H. Kigure, K. Takahashi, et al., Publ. Astron. Soc. Japan. **62** 993 (2010).