30aC01

球状容器内部に閉じ込められた磁気流体の流れを伴う緩和状態
MHD relaxation in a sphere with flow

山本晃平, 陰山聡
Kohei YAMAMOTO, Akira KAGEYAMA

神戸大学大学院システム情報研究科計算科学専攻
Kobe University

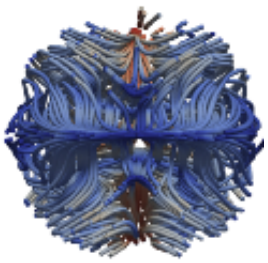
磁気流体力学における緩和現象の理論が Wolter と Taylor によって構築され、多くのプラズマ実験の結果に適用されてきた。[1,2,3] この Woltjer-Taylor 理論では磁気ヘリシティ $H := \int \boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b} \, \mathrm{d}V$ が保存するという束縛条件の下で磁気エネルギー $E := \int \boldsymbol{b} \cdot \boldsymbol{b} \, \mathrm{d}V$ に最小を与える解が $\nabla \times \boldsymbol{b} = \lambda \boldsymbol{b}$ となる force-free 状態であることが示されている。しかし、この Woltjer-Taylor 理論では磁気エネルギーが最小となる緩和状態において磁気流体の流れが存在しないことが仮定されている。我々はこの仮定を取り除き、流れが存在する緩和状態がどのようなものか調べるため、計算機シミュレーションを行った。

できるだけ単純な状況にするため、半径 1 の球状容器に閉じ込められた磁気流体を想定した。初期条件として不安定な強い磁場を与え、その緩和過程を圧縮性の MHD 方程式を単位球の全領域で計算することで観察した。また、速度場は初期状態ではゼロとしたが、不安定な初期磁場によるローレンツ力によって流れが駆動され、最終状態は流れが存在するものとなる。

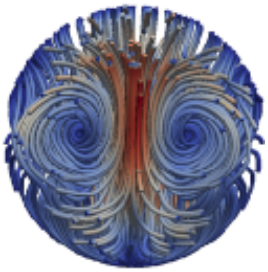
いくつかの種類の初期磁場を与えてシミュレーションを行った結果、最終状態において

$$\boldsymbol{W} = \begin{pmatrix} -(\mu+\nu)yz \\ \mu zx \\ \nu xy \end{pmatrix}, \tag{1}$$

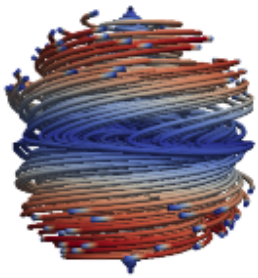
で表される twist flow[4] と推測される流れが観測された。以下の図はシミュレーションで得られた twist flow と思われる最終状態での流線を示す。左と中央の図は同じ流線を別角度から見たもので、式 (1) において $(\mu, \nu) = (1/2, 1/2)$ の解が得られたと考えている。右の流線は左と中央の図とは別の初期条件から出発したシミュレーション結果であり、$(\mu, \nu) = (0, 1)$ の解が得られたと考えている。



square twist flow 1



square twist flow 2



single twist flow

[1] L. Woltjer. On the theory of hydromagnetic equilibrium. *Reviews of Modern Physics*, 32(4):914, 1960.
[2] J. B. Taylor. Relaxation of toroidal plasma and generation of reverse magnetic fields. *Physical Review Letters*, 33(19):1139, 1974.
[3] J. B. Taylor. Relaxation and magnetic reconnection in plasmas. *Reviews of Modern Physics*, 58(3):741, 1986.
[4] K. Bajer and H. K. Moffat. On a class of steady confined Stokes flows with chaotic streamlines. *Journal of Fluid Mechanics*, 439(1906):411-429, 1992.