

R008-18

C会場：11/27 AM2 (10:30-12:00)

11:00~11:15

連結階層シミュレーションを用いた無衝突プラズマにおけるプラズモイド不安定型磁気リコネクションモデルに関する研究

#芥川 慧大¹⁾, 今田 晋亮¹⁾

¹⁾ 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

A study of plasmoid unstable magnetic reconnection model in collisionless plasma by multi-hierarchy simulation

#Keita Akutagawa¹⁾, Shinsuke Imada¹⁾

¹⁾ Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo

Magnetic reconnection converts magnetic field energy into plasma energy by changing the topology of magnetic field lines and it is a universal phenomenon in the universe, for example in the Earth's magnetosphere and the solar corona.

An open question in magnetic reconnection is the connection between the fluid and kinetic scales. In 2007, plasmoid instability was found that can explain fast magnetic reconnection in uniform resistivity in the framework of MHD, and it is expected to be applicable to solar flares. On the other hand, the solar coronal plasma should be treated as collisionless plasma when the current sheet becomes thin. In collisionless plasma, fast magnetic reconnection is realized by Hall effect. The size of a solar flare is about 10 Mm, while the dissipation region (~ion inertial length) is about 1 m. Therefore, it is not obvious whether the fast magnetic reconnection due to the Hall effect holds up to the solar flare scale, or the plasmoid instability arises at certain scales. We try to solve this problem by numerical simulation, but it is computationally impossible to realize solar flare scale in PIC simulation that can describe the plasma kinetics. MHD simulation is also inappropriate because they cannot describe the resistivity from first principles, which means the magnetic field dissipation due to the resistivity is artificially given that the system can be either Petschek-type or plasmoid unstable type magnetic reconnection.

In this study, we adopted the multi-hierarchy simulation to overcome this large scale gap and developed simulation code from scratch. This is a method to reduce the computational cost by using PIC simulation in the region where plasma kinetics is important, while other region is treated by MHD simulation. Although the actual solar flare scale cannot be handled at this stage, we set largest possible box size (100~1000 ion inertial lengths, with NVIDIA A100 GPU) and connected MHD and PIC in the inflow region. As a result, only one secondary plasmoid was generated in the electron diffusion region. It is different from the picture of plasmoid instability which many plasmoids are generated in the diffusion region. Furthermore, we will discuss the possible box size in the future.

磁気リコネクションとは、磁力線のトポロジーが変化することで磁場のエネルギーをプラズマのエネルギーに変換する物理過程であり、地球磁気圏や太陽コロナなど宇宙の様々な領域で起こる普遍的な現象である。

磁気リコネクション研究における未解決問題として、高速磁気リコネクションの物理及び運動論スケールと流体スケールの接続がある。2007年にMHDの枠組みで、一様抵抗の下で高速磁気リコネクションを説明できるプラズモイド不安定が発見され、太陽フレアに適用できると期待されている。一方で、太陽コロナは衝突優勢なプラズマで満たされているものの、カレントシートが薄くなると無衝突プラズマとして扱う必要がある。無衝突プラズマ中ではHall効果によって高速磁気リコネクションが実現されるが、太陽フレアのサイズはO(10 Mm)である一方で散逸領域(イオン慣性長程度)はO(1 m)となり、大きなスケールギャップがある。そのため、Hall効果による高速磁気リコネクションの描像が太陽フレアスケールまで保たれるのか、または特定のスケールでプラズモイド不安定のような構造になるのかは自明でない。我々は数値シミュレーションによるアプローチでこの問題の解決を試みているが、プラズマ運動論を記述することのできるPICシミュレーションで太陽フレアのスケールを扱うことは計算コスト的に不可能である。またMHDシミュレーションでは、抵抗による磁場散逸を人為的に与えるためPetschek型にもプラズモイド不安定型にもできてしまい、抵抗を第一原理的に記述できないため不相当である。

今回、この大きなスケールギャップを乗り越える手法として連結階層シミュレーションを採用し、そのコード開発を一から行った。これはプラズマ運動論が重要になる領域PICシミュレーションで扱いつつ、他の領域はMHDシミュレーションで扱うことで計算コストを抑える手法である。現段階で実際の太陽フレアスケールは扱えていないが、可能な限り大きなボックスサイズ(100~1000イオン慣性長、計算資源:NVIDIA A100 GPU)を用意し、インフロー領域でMHDとPICを接続した。結果として、2次のプラズモイドは電子拡散領域から1つだけ生成されるものであり、拡散領域から多数のプラズモイドが生成されるプラズモイド不安定の描像とは異なるものであった。本発表では、以上の内容に加えて、将来的に実現可能なボックスサイズについても議論する予定である。