

## スケール間結合現象再現に向けた連結階層 MHD-PIC シミュレーションの開発

#今泉 太晟<sup>1)</sup>, 吉川 顕正<sup>2)</sup>

<sup>(1)</sup> 九大, <sup>(2)</sup> 九大/理学研究院

### Development of MHD-PIC simulation for Reproducing multiscale coupling phenomena.

#Taisei Imaizumi<sup>1)</sup>, Akimasa Yoshikawa<sup>2)</sup>

<sup>(1)</sup> Kyushu university, <sup>(2)</sup> Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

The evolution of large-scale structure in the Earth's magnetosphere has been understood by assuming that the ideal MHD conditions are approximately satisfied. Global MHD simulations have reproduced the behavior of the global magnetosphere-ionosphere based on this concept, and have contributed to the understanding and prediction of plasma dynamics and space weather phenomena. However, for phenomena such as magnetic reconnection and other phenomena that involve a violation of the ideal MHD, the only way to describe the effect is to use the electric anomaly resistance and viscosity coefficient in Ohm's law, and to reproduce the phenomena, parameterization of the various coefficients based on observation facts and empirical laws is generally required. In order to reproduce the phenomena, parameterization of the coefficients based on observed facts and empirical rules is common practice. Naturally, this parameterization is not always consistent with the universality of plasma physics based on kinetic theory. For example, in the diffusion region, PIC simulation calculations have confirmed the formation of a peculiar electromagnetic field structure produced by the difference in inertial length between ions and electrons [Zenitani et al. 2016]. It has also been observed that in the nightside magnetosphere, the explosive flow structure formed by magnetic reconnection can cause secondary magnetic reconnection [Wang et al., 2014], and it has been shown that for the development of macro-scale electromagnetic field structure and plasma dynamics, the underlying plasma kinetic behavior of the underlying plasma particles is considered to be an essential contribution to the development of macroscale electromagnetic field structure and plasma dynamics.

The ideal global simulation is a first-principles three-dimensional PIC simulation of the full particle-electromagnetic field interaction evolution, but this is not possible due to computational resource constraints. In this study, we are developing a MHD-PIC coupled hierarchical simulation, in which a dynamic PIC method calculation domain is embedded in a part of the global MHD simulation, aiming at a smooth connection between micro and macro phenomena. In this presentation, we will report the current status of the development and discuss future prospects and problems.

地球磁気圏における大規模構造の発展は理想 MHD 条件が近似的に成立していると思倣することにより理解されてきた。グローバル MHD シミュレーションはこのようなコンセプトの下、大域的磁気圏-電離圏の振る舞いを再現し、宙空領域におけるプラズマダイナミクスや宇宙天気現象の理解、予測等に日々貢献している。しかしながら、磁気リコネクション現象をはじめとする理想 MHD の破れを伴う現象については、オームの法則において電気異常抵抗や粘性係数などでその効果を表現するしか手段が無く、且つ、現象の再現のためには、諸係数を観測事実や経験則に基づくパラメタリゼーションを行うことが一般的となっている。当然のことながら、このパラメタリゼーションは運動論に基づくプラズマ物理学の普遍性と常に合致するものではない。例えば拡散領域においてはイオンと電子の慣性長の違いから生み出される特異な電磁場構造が形成されることが PIC シミュレーション計算により確認されている [Zenitani et al., 2016]。また夜側磁気圏においては磁気リコネクションが形成する爆発的なフロー構造は二次的な磁気リコネクションを引き起こすことも観測されており [Wang et al., 2014]、マクロスケールな電磁場構造およびプラズマダイナミクスの発展に対して、その根底に存在するプラズマ粒子の運動論的振る舞いが本質的に寄与していると考えられる。

グローバルシミュレーションの理想は第一原理である三次元 PIC シミュレーションによる完全な粒子-電磁場相互作用の発展計算であるが、計算資源の制約上不可能である。本研究ではマイクロ現象とマクロ現象のスムーズな接続を目指して、グローバル MHD シミュレーションの一部領域に動的な PIC 法計算領域を埋め込んだ MHD-PIC 連結階層シミュレーションの開発を進めている。本発表では開発の現状と今後の展望、問題点について議論する予定である。