

## マルチスケール計算による磁気圏尾部リコネクションの計算機実験：ハイブリッドコード・KEMPOコード

### Computer experiments for magnetotail reconnection via multi-scale simulations: hybrid code and KEMPO code

# 村田 健史[1], 大村 善治[2], 松本 紘[2]  
# Takeshi Murata[1], Yoshiharu Omura[2], Hiroshi Matsumoto[2]

[1] 愛大・工・情報, [2] 京大・宙空電波  
[1] Computer Sci, Ehime Univ, [2] RASC, Kyoto Univ.

<http://mistynight.cs.ehime-u.ac.jp>

本研究は、マルチスケール計算機実験により、リコネクション素過程の解明を目指すものである。本研究では、まずハイブリッドコードにより、プラズマシートをはさむローブ領域に付加的に圧力を加える。これにより、磁気中性点近傍では、イオン、電子ともに、加速、加熱が見られた。次に、磁気中性点近傍を切り出し、この状態を初期状態として、1次元のフル粒子コード（KEMPOコード）の計算機実験を行う。この、フル粒子コードによる計算機実験により、磁気中性点において二流体不安定性の成長が見られた。講演では、マルチスケール計算手法によって得られた現象を紹介し、また、マルチスケール計算手法の技術的側面についても議論する。

1992年人工衛星 GEOTAIL の打ち上げにより、それまで詳しく調査されていなかった地球磁気圏尾部が重点的に観測されるようになった。観測される物理量は、過去の他の衛星の観測と比較して、時間分解能も精度も高い。すなわち、これまで以上にミクロスケールでの現象について、研究が進んでいる。この高精度の観測により、磁気圏の大規模プラズマ現象同様、ミクロ現象のメカニズムが解き明かされつつある。今後、研究は、マクロスケールやメソスケールの現象とミクロスケールの現象と統一的に説明する、マルチスケールのデータ解析に向かっていくと思われる。これは、計算機実験についても同様である。本研究は、マルチスケール計算機実験について、その手法を考察するとともに、リコネクション素過程の解明を目指すものである。

磁気リコネクションは大規模な磁気圏尾部ダイナミクスの発生において、それらの原因となる鍵であると考えられている。磁気圏尾部のプラズマシートで発生すると考えられているリコネクション現象は、これまで、シート中で異常抵抗が発生するという仮定を仮定して、研究が行われてきた。これからは、この抵抗がどのようなメカニズムによって発生し、また、リコネクションによって形成されるプラズマシートの物理量の配位が、その抵抗の成長をどのように増幅（または減衰）させるかを、理解する必要がある。

リコネクション現象を研究する手法として、大きな領域の計算を行えることから、これまでMHDシミュレーションが多く用いられてきた。磁気圏の構造やその時間的变化について、我々の知見の多くはこれらのMHDシミュレーションによる計算によりもたらされていると言ってもよいであろう。一方、近年、スーパーコンピュータの発展に伴い、粒子シミュレーションが盛んになりつつある。粒子シミュレーションは、プラズマの運動論的效果を解析できるため、MHDコードに比べて、よりミクロスケールで、現実に近い現象の解析が可能である。

本研究では、まず磁気中性点において、異常抵抗となり得るプラズマ波動不安定成長の自由エネルギー源が存在するかについて調べる。ここで用いる計算機シミュレーションコードは、2次元ハイブリッドコードである。具体的には、プラズマシートをはさむローブ領域に付加的に圧力を加えることにより、プラズマシートの圧縮状態を発生させる。この状態において、磁気中性点近傍では、イオン、電子ともに、加速、加熱が見られる。加速は、電子、イオンともに、主にcrosstail方向に生じる。次に、磁気中性点近傍を切り出し、この状態を初期状態として、1次元のフル粒子コード（KEMPOコード）による計算機実験を行う。このとき、初期パラメータは、ハイブリッドコードで得られたパラメータを用いる。ただし、電子に関しては、流体パラメータを粒子パラメータに置き換える必要があるため、Shifted-Maxwell分布を仮定する。イオン粒子パラメータは、磁気中性点近傍のイオン粒子を、そのまま用いる。

この、フル粒子コードによる計算機実験により、本研究では、プラズマシートの圧縮が大きな時間ステップにおけるミクロスケール計算で、二流体不安定性の成長が見られた。その結果、磁気中性点の近傍において、電流の減少を確認することができた。この結果は、プラズマシート圧縮が発生する際には、磁気中性点近傍においては、波動粒子相互作用による異常抵抗の発生がありえるということを示唆している。ここで次に、電流の減少をマクロなパラメータとして、さらにハイブリッドコード計算を進める。これにより、マクロ（メソ）スケールとミクロスケールの計算を、完全ではないが、準自己無撞着な方法で、計算することができる。この、ミクロスケールからマクロ（メソ）スケールへのフィードバックについては、現在、計算を行っているところである。講演では、この結果についても報告する。

本研究で用いたマルチスケール計算手法には、さまざまな問題点が残る。たとえば、ミクロスケールパラメータとマクロ(メソ)スケールパラメータをどのように交換するかについては、確立した手法はない。また、マクロ(メソ)スケール計算のどの部分を取り出してミクロスケール計算を行うかについても、明確な方法はない。講演では、本マルチスケール計算手法によって得られた現象を紹介するとともに、マルチスケール計算手法の技術的側面についても議論する。