

磁気圏尾部のリコネクション領域における電子の加速機構の研究

A Simulation Study of Electron Acceleration Mechanism in Magnetic Reconnection Regions

山本 輝哉 [1], 大村 善治 [1], 富永 文博 [1], 白井 英之 [1], 松本 紘 [1]

Teruya Yamamoto [1], Yoshiharu Omura [2], Takehiro Tominaga [1], Hideyuki Usui [1], Hiroshi Matsumoto [2]

[1] 京大・超高層

[1] RASC, Kyoto Univ, [2] RASC, Kyoto Univ.

近年、磁力線再結合モデルを再現した計算機実験は数多くおこなわれているが、MHDやハイブリッドコードが多く、MHDやハイブリッドコードでは、電子の力学的な動きを考えていないという問題点がある。GEOTAIL衛星の観測によると、リコネクション領域において、静電孤立波やラングミュア波の発生が観測されており、電子の加速がおこなわれているのではないかと考えられている。そこで、本報告では、2次元電磁粒子コードを用いて、磁気圏尾部の構造をモデル化し、磁力線再結合についての計算機実験をおこない、リコネクション領域における電子の加速機構について議論する。

近年、磁力線再結合モデルを再現した計算機実験は数多くおこなわれている。計算機実験に用いられるコードとして、MHDやハイブリッドコードが多く、粒子コードをもちいた計算機実験はあまりおこなわれていない。さらに、MHDやハイブリッドコードでは、電子を流体としてあつかっているため、電子の力学的な動きを考えていないという問題点がある。GEOTAIL衛星の観測によると、リコネクション領域において、静電孤立波やラングミュア波の発生が観測されている。これらの波は、プラズマシート付近で存在する電子ビームにより励起される。この電子ビームは、リコネクション領域において電子が加速されることによって発生すると考えられている。そこで、本報告では2次元電磁粒子コードを用いて、磁気圏尾部の構造をモデル化し、磁力線再結合(リコネクション)が発生する計算機実験をおこなう。さらに、リコネクション領域における電子の加速機構について議論する。以下にその内容を述べる。

1. 計算機実験で用いた磁気圏尾部の構造のモデルについて述べる。磁気圏の dawn to dusk 方向を +y、南北方向を +z、地球から太陽方向を +x とし、磁気圏尾部の x-z 平面を切り出したモデルをもちいる。初期値として、磁気圏尾部の安定な状態を数値的にモデル化したハリス定常解を改良したものをもちいる(文献1)。シミュレーション空間は、 $-L_x/2 < x < L_x/2$ 、 $-L_z/2 < z < L_z/2$ とし、プラズマシートの中心を $z=0$ とした。境界条件は、x 方向は周期境界、z 方向は固定端とした。磁場および粒子の密度分布は、 $B_x(z)=B_0 \tanh(z/w)$ 、 $n=n_0 \operatorname{sech}^2(z/w) + n_b$ とする。ただし、 B_0 、 n_0 、 n_b は定数であり、 w はプラズマシートの幅の半分をあらわしている。ハリス解において、プラズマシートの外側では粒子の密度が0であるため、 n_b はハリス解における粒子の密度を底上げするために加えられている。距離と時間は、それぞれイオン慣性長 $d_i=c/w_{pi}$ (c は光速、 w_{pi} はイオンのプラズマ周波数)、イオンのサイクロトロン周期 $1/(w_i)$ (w_i はイオンのサイクロトロン周波数) をもちいて規格化した。基本的なパラメータは、 $w=0.5$ 、 $T_e=0.2T_i$ 、 $M_i/M_e=25$ 、 $n_b=0.2$ (T_e は電子の温度、 T_i はイオンの温度、 M_e は電子の質量、 M_i はイオンの質量) と設定する。

リコネクションを発生させるためには不安定要素を初期におく必要があるため、粒子の密度分布に下に示すような値をくわえることにした。 $\psi=\psi_0 \cos(2\pi x/L_x) \cos(\pi z/L_z)$ 、 L_x 、 L_z 、 ψ_0 の値は、 $L_x=25.6 d_i$ 、 $L_z=12.8 d_i$ 、 $\psi_0=0.2$ とする。

2. 上で述べたモデルを用いて計算機実験をおこない、磁力線再結合の発生について考察する。磁力線再結合により、磁力線がX型に交差した磁気中性点または中性面(X-point)において、磁場エネルギーがプラズマの運動エネルギーに変換されるといわれている。そこで、磁力線再結合が生じたときに、プラズマの運動エネルギーがどのように変化するかを調べる。さらに、X-point付近の電子の速度分布や温度の時間変化を調べることによって、電子の加速についての考察を行う。

3. 1ではモデルの境界条件をz方向は固定端としたが、自由境界とした場合の計算機実験もおこない、固定端の場合と自由境界とした場合の違いについて比較検討をおこなう。

参考文献1) J.F.Drake :The Results of the GEM Reconnection Challenge ,AGU meeting ,SM72C-11 ,1998