

衝撃波遷移層における電子ダイナミクスとパラメータ依存性

Electron dynamics at the shock transition layer

島田 延枝[1], 星野 真弘[2]

Nobue Shimada[1], Masahiro Hoshino[2]

[1] 東大理, [2] 東大・理・地球物理

[1] Univ. of Tokyo, [2] Earth and Planetary Phys., Univ of Tokyo

主にイオンが持つバルクエネルギーが、衝撃波面でどのように場を介して、どのくらいの電子加熱、加速を生じるのかシミュレーションを用いて考察した。同じマッハ数でも、ベータ値が大きめなら非熱的電子の作られる割合が高く、ベータ値が小さめなら高温加熱電子が得られる。ベータ値が大きすぎても、波の成長が小さいため非熱的電子は作られず、あるマッハ数が与えられた時、最も効率よく非熱的電子が作られるベータ値が存在する。電子のジャイロ運動がホール形成に関わる運動と同期する場合、衝撃波電場からエネルギーをもらい、数プラズマ振動の間に電子を十倍程度の速度にまで加速する。これは衝撃波面での素早い電子加速過程としても面白い。

主にイオンが持つバルクエネルギーが、衝撃波面でどのように（波動）場を介して、どのくらいの電子の加熱、加速をもたらすのかについてシミュレーションを用いて考察した。電子ダイナミクスと非線型大振幅波動との関連は、近年衝撃波面での観測データからも注目を浴びている。実際、斜め～垂直衝撃波において reflected ions が存在する衝撃波遷移層で、電子とイオンの二流体不安定性によって生じた静電波動が成長し、最終的に電子ホールを形成して強い電子加熱、加速が生じる。熱的電子、非熱的電子への配分とその大きさは、イオンのバルクエネルギー、プラズマ温度、磁場強度という三つの物理量によって決定される（または、通常よく使われるパラメータでアルフヴェンマッハ数とプラズマベータ値の二つ）。シミュレーションの結果によると、同じアルフヴェンマッハ数でも、ベータ値が大きい方が非熱的電子の作られる割合が高く、ベータ値が小さい方が高温の衝撃波加熱電子が得られることが分かった。これはベータ値が大きめの場合、二流体不安定性の結果生じた静電波動の振幅があまり大きくなれずに、バルクの一部を trap & modify して残りを非熱的電子とし、ベータ値が小さい場合は、不安定性の結果生じる静電波動の振幅が大きく、バルクフローのほぼ全体 modify する傾向にあるためと考える。勿論、ベータ値がバルクエネルギーに対して大きすぎても、波の成長が小さいため非熱的電子は作られず、あるマッハ数が与えられた時、最も効率よく非熱的電子が作られるベータ値が存在することになる。非熱的電子形成には、電子ホールが関与している（他の機構については現在研究中）。電子のジャイロ運動がホール形成に関わる運動と同期する場合、その電子はジャイロ周期の半分（=ホールのポテンシャルを一往復）の間、バルクフローが作る衝撃波電場と反対方向に動くことになる。この過程は、数プラズマ振動時間の中に電子を十倍程度の速度にまで加速する。これは、衝撃波面での素早い電子加速過程としても面白い。衝撃波面での電子ダイナミクスをコントロールするパラメータとして、ホールダイナミクスの周期と電子のジャイレーション周期の比というマイクロなパラメータもある。後者が前者に対して大きい場合、ホールがうまく形成されず、加熱は効率よく起こらない。

電子ホールを担う静電波は、初期状態（衝撃波遷移層中の上流側）のプラズマ中では衝撃波面から上流へ向かう群速度を持つ為、このままでは衝撃波面の散逸に寄与できない。ところが reflected ions と電子温度の上昇に伴ってこの静電波の群速度は下流へ向かい、衝撃波散逸に寄与できることになる。更に reflected ions の速度分散の増大（または、温度上昇）によって、大振幅静電波の位相速度に近い reflected ions が出現してイオン自身も擾乱を受け加熱が加速する。Reflected ions の速度分散の増大には、入射イオンの反射点がイオンのジャイロ周期よりずっと短い時間で変化することも効いている。これは衝撃波面での磁場と電流密度の分布が電子ダイナミクスのオーダーで変化していることも意味し、衝撃波の cyclic behavior がマイクロスケールでどのように進むかという観点からも興味深いことである。