

衝撃波における電子加速

宇宙空間で生成される高エネルギー粒子（宇宙放射線）の生成機構を解明することは宇宙物理学における重要課題の1つである。これまでの研究では衝撃波が最も有力な加速媒体であり、太陽地球系においても、惑星間空間衝撃波や地球バウショックなどに伴って高エネルギー粒子が観測されている。もっとも、イオン加速の理解は進んでいるものの電子については未解決の点が多い。関係する時間・空間スケールが小さく、また、強い非線形性が存在することから、理論や数値シミュレーションによる研究が難しいからである。

そこで、数値実験では計算機能力の制限から未だにベキ型のエネルギースペクトルを再現できていないという事実に着目し、1991年に打ち上げられたGeotail衛星が取得した大量のデータを活かすことを考えた。具体的には電子がどのような条件のときにどれだけ加速されるかといった基本事項の確認から開始し、以下の結果を得た。まず、電子加速のパラメータ依存性を調べるため、衝撃波遷移層におけるエネルギースペクトルの統計解析を行った。ノイズが少なく、明らかにベキ型のエネルギースペクトルを呈している45例のイベントについて、マッハ数と衝撃波角（衝撃波法線方向と上流の磁場がなす角度）に対する依存性を調べた（図1、中央）。マッハ数が大きいほど、かつ、衝撃波角が大きいほどベキ指数（分布関数 $F(E) \propto E^{-\Gamma}$ における Γ ）が小さい、すなわち電子が加速していることが分かる。図中、黒い実線はホイッスラー波が上流に伝播可能な限界をあらわすホイッスラー臨界マッハ数を示している。ホイッスラー波が上流に伝播できる亜臨界領域（実線の左側、低マッハ数、低衝撃波角）ではベキ指数のばらつきは大きく（ $G=5.0-3.5$ ）、超臨界領域ではほぼ一定の値に収束している（ $G=3.5-3.0$ ）。以上の結果を補外すれば、地球のバウショック以外の衝撃波での電子加速説明の手がかりが得られる。たとえば、太陽フレアに伴う衝撃波（図1左）ではマッハ数は低いので、加速が弱いものと推察されるが、臨界を超えていればその限りではない。また、惑星間空間衝撃波で電子が加速されることが少ない理由は長らく不明であったが、惑星間空間磁場の平均的な方向から衝撃波角が小さく、そのため加速効率が弱くなっている可能性が出てきた（図1右）。

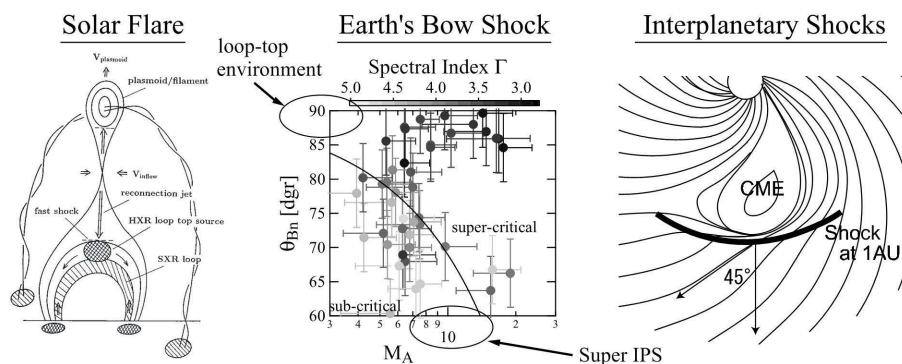


図:ベキ指数の統計解析と

Reference: Oka, M. et al., Whistler critical Mach number and electron acceleration at the bow shock: Geotail observation, 2006, Geophys. Res. Lett., 33, L24104.

(岡 光夫 記)