

地球バウ・ショックにおける電子加速の最高エネルギー

加藤 拓馬 [1]; 天野 孝伸 [1]
[1] 東大・理

Maximum energy of an electron acceleration at the Earth bow shock

Takuma Kato[1]; Takanobu Amano[1]
[1] University of Tokyo

The acceleration of non-thermal particles is an important subject in space physics. The shock accelerated non-thermal electrons have been observed at the Earth bow shocks (Gostling et al. 1989). These electrons are supra-thermal (with energies from 1keV to 100keV), and their distribution is power-law. However, acceleration models proposed in the past could not reproduce such observed spectra. Recent in-situ satellite observations of the Earth bow shock found wave-particle resonances between whistler waves and electrons at the shock transition region (Oka et.al. 2017). These results indicate that whistler waves play an important role for the acceleration of supra-thermal electrons.

We propose a new acceleration mechanism that takes into account the effect of stochastic pitch-angle scatterings by whistler waves during the course of the Shock Drift Accelerations (SDA), which is an adiabatic acceleration process for supra-thermal electrons at the shock transition region (Wu 1984, Leroy and Mangeney 1984). By introducing stochasticity with pitch-angle scatterings, the acceleration efficiency may be improved. We theoretically analyzed the energy spectrum of electrons by using a box model which considers the dependence of an electron distribution only on energy and pitch-angle. We showed that the electron energy spectrum becomes a power-law and its spectral index depends only on the magnetic field gradient in the limit of strong scattering. We also found the maximum energy attainable through the proposed model, and it scales linearly with the pitch-angle scattering coefficient. We have also confirmed these results by performing Monte Carlo simulations. We demonstrated that the proposed model is qualitatively consistent with observations. In this presentation, we quantitatively discuss the consistency between the theory of the proposed model and observations.

非熱的粒子の加速は宇宙空間物理における重要な物理過程の一つである。地球バウ・ショックにおいて非熱的な電子が、稀ではあるが人工衛星によって観測されている (Gostling et al. 1989)。これらの電子は、およそ 1keV から 100keV までのエネルギーを持っていて、またその分布はベキ型であることがわかっている。しかし、この分布を自然に説明するような加速モデルは未だに提唱されていない。また最近の衛星観測によると、非熱的電子が観測されるイベントにおいて、衝撃波遷移層における電子とホイッスラー波の共鳴が検出されている (Oka et al. 2017)。これは、地球バウ・ショックにおける電子加速にこの共鳴が重要な役割を果たしている可能性を示唆している。

これらの結果を受けて我々は、衝撃波ドリフト加速に、波動粒子相互作用によるピッチ角散乱を取り入れた新しいモデルを提唱する。衝撃波ドリフト加速とは、衝撃波遷移層における断熱的な加速機構である (Wu 1984, Leroy and Mangeney 1984)。このモデルにピッチ角散乱を取り入れることで、電子の加速効率をより向上することができる。我々は、このモデルに関する理論的な解析を行った。議論を簡単にするために、解析を行う際には、電子分布のエネルギー・ピッチ角依存性のみを考慮するボックス近似を用いた。この解析によって電子のエネルギー・スペクトルは、散乱が強く電子分布が等方的とみなせる場合には観測と整合するベキ型になるという結果が得られた。また、このモデルには加速できる電子の最大エネルギーが存在し、それはピッチ角散乱係数に比例することを示すことができた。これらの結果を確認するために、我々はこのモデルに関してモンテカルロシミュレーションを行った。その結果、シミュレーション結果が理論的な解析の結果と整合した。なおこの加速モデルは衛星観測の結果と比較が可能であり、比較を行った結果、定性的には観測結果に矛盾しないことがわかった。本発表では、主に加速モデルと観測結果の整合性に関してより定量的に議論する。