

太陽圏への高エネルギー粒子の輸送過程の数値実験

下川 啓介 [1]; 羽田 亨 [2]; 松清 修一 [3]
[1] 九大・総理工・大海; [2] 九大総理工; [3] 九大・総理工

Numerical simulation of the transport process of cosmic rays into the heliosphere

Keisuke Shimokawa[1]; Tohru Hada[2]; Shuichi Matsukiyo[3]
[1] ESST, Kyushu Univ; [2] ESST, Kyushu Univ; [3] ESST Kyushu Univ.

<http://www.esst.kyushu-u.ac.jp/~space/>

Cosmic rays are highly energetic charged particles found almost everywhere in space. Although the majority of galactic cosmic rays (GCRs) are prevented from entering the heliosphere, some fraction of them can reach deep inside it and can be observed at the Earth. It is not well understood how and from where the GCRs penetrate into the heliosphere. The heliosphere has two large scale discontinuities called the solar wind termination shock and the heliopause. The magnetic field inside the heliosphere typically shows the Parker spiral feature, while the field lines outside the heliosphere (local interstellar space) tilt from those of the solar wind. The trajectories of the GCRs transported into the heliosphere should be complicated because of such complex boundary structures of the heliosphere. Voyager spacecraft are now exploring in-situ the boundary region of the heliosphere and the boundary structures are intensively studied. Further, large scale MHD simulations are also performed and detailed structures of the boundary region are being revealed. In this study, we investigate the transport process of the GCRs into inside the heliosphere by performing test particle simulations using the electromagnetic fields produced by a large scale MHD simulation.

We follow the motions of a large number of test particles (protons) in the electromagnetic fields obtained from the MHD simulation which assumes steady state solar wind and interstellar plasma interactions. There are three typical types of magnetic field line configurations, i.e., interstellar magnetic field lines draping the heliosphere, spiral solar wind magnetic field lines swept away downward by the interstellar wind, and the field lines connecting these two at the heliopause. Here, we consider the test particles with different energies, 10, 100, and 1000 GeV. Initially, they are homogeneously distributed in the interstellar space far upstream of the heliosphere. Their initial velocities are along the local magnetic field. We found that the transport process varies depending on the particle energy. For 10 GeV protons, a majority of the particles travel around the heliosphere along the draping field lines or are mirror reflected at the front edge of the heliosphere. Nevertheless, some of other particles approach the heliopause and keep the motion in the vicinity of the heliosphere. Some of these particles reach deep inside the heliosphere along the solar wind current sheet with relatively short time. Some others travel tail ward along the heliopause and are captured at a certain position by a solar wind spiral field line to follow it toward the sun with relatively long time. For 1000 GeV protons, some particles can enter the heliosphere almost without being affected by the solar wind magnetic field due to their large gyro-radius. In the poster, we further estimate some quantities like the efficiency of transport, the time to reach deep inside the heliosphere, etc.

地球に到達する銀河宇宙線は、例外的に太陽圏内部に侵入した宇宙線の一部であり、これらが太陽圏境界のどの領域からどのような経路を経てやってくるのか、その詳細は現在まで不明である。太陽圏は、太陽から吹き出す超音速の太陽風プラズマと星間プラズマとの相互作用によって形成され、太陽風プラズマが超音速から亜音速に遷移する終端衝撃波や、星間プラズマとの接触不連続面である太陽圏界面と呼ばれる大規模境界構造が存在している。太陽からはスパイラル構造をもつ磁力線が伸びており、太陽圏界面を通過して太陽圏内に侵入した宇宙線は、基本的にこの磁力線に巻き付いて運動をされると考えられている。現在、ボイジャーによる太陽圏境界領域の直接探査が進行中であり、複雑な同領域の構造が観測的に明らかになりつつある。また、大規模 MHD 計算により太陽圏の全体像についての理解も進んでいる。本研究では、近年高精度化が進む大規模 MHD 計算とテスト粒子計算を組み合わせ、宇宙線の太陽圏への侵入過程の理解を目指す。

ここでは、定常太陽風を仮定した大規模 MHD 計算で得られた太陽圏の大規模電磁場構造を用い、この中で多数のテスト粒子の挙動を追った。MHD 計算では終端衝撃波や太陽圏界面といった構造が再現されている。基本的な磁力線構造として、太陽圏を引っかけながら迂回していく星間磁場と、星間風の影響を受けて吹き流される太陽風のスパイラル磁場があり、一部では両者が界面付近で繋ぎ変わった磁力線構造がある。テスト粒子として、10GeV、100GeV、1000GeV のエネルギーを持つ多数の陽子をこの電磁場構造の中に配置してその軌道を追跡した。初期条件として、粒子を星間空間にシート状に配置し、速度分布としてすべての粒子が磁力線に沿う向きを持つ場合と、一様なピッチ角分布を持つ場合について計算を行った。結果として、エネルギーに応じて侵入過程が定性的に異なることを見出した。10GeV のエネルギーでは、大多数の粒子は星間磁場に沿って太陽圏を迂回して通り過ぎるか、太陽圏前面部の強い磁場を感じてミラー反射されるが、一部太陽圏界面に沿って運動する粒子が存在した。界面に沿って運動する粒子のうち、一部の粒子は太陽風の電流シートに沿って比較的短時間で太陽圏内部にまで達する。また一部は、界面に沿って尾部の方に移動しながら、ある地点で太陽風のスパイラル磁場に捉えられ、これに沿って長い時間をかけて太陽近傍にまで到達することが分かった。1000GeV のエネルギーでは、ジャイロ半径が太陽圏スケール程度になるため、太陽圏の磁場構造の影

響を受けずにそのまま内部へと侵入するものが多くなる。発表ではさらに、粒子の侵入効率や内部境界への到達時間など、いくつかの統計量に関して定量的な評価を行う。