

太陽圏への銀河宇宙線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 galactic cosmic rays into the heliosphere

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

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. The heliosphere has two large scale discontinuities called the solar wind termination shock and the heliopause. The heliospheric magnetic field typically shows the Parker spiral structure and plays a dominant role in the transport process of GCRs. Voyager spacecraft have explored in-situ the boundary region of the heliosphere. 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 GCRs into inside the heliosphere by performing test particle simulations using the electromagnetic fields produced by a global MHD simulation.

In the last meeting we reported the results of analysis on some typical orbits of test particles (protons) in the electromagnetic fields obtained from an MHD simulation in which a global heliosphere is reproduced by assuming the time stationary solar wind conditions. The following points are revealed. Most of lower energy (~ 10 GeV) particles go around the heliosphere along the draped interstellar magnetic fields or are mirror reflected so that only a few particles can enter the heliosphere. When particle energy becomes large (~ 1000 GeV), such particles can relatively easily enter the heliosphere since their gyroradii are in the same order of the size of the heliosphere.

In this study, we calculate motions of larger number of particles with sufficiently long time and investigate statistics of the particles which finally reach the inner boundary at 50 AU. As initial conditions, 1 million particles homogeneously distributed in the interstellar space far upstream of the heliosphere on the surface of $1/8$ sphere at $R = 500$ AU. Their initial velocity distribution function is given by mono-energetic shell distribution. Sufficiently long time simulations with different particle energies from 10 GeV to 100TeV are performed and statistics of the particles finally reach the inner boundary is examined. It is found that the ratio of invading particles increases as their initial energy. The particles having relatively low energy (< a few 100 GeV) have higher probability of reaching the polar region, while the particles having middle energy (~ 1000 GeV) have higher probability of reaching the region of mid-latitude and mid-altitude. In the poster we will show the results of analysis on higher energy particles and, further, estimate energy distribution of particles outside the heliosphere.

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。太陽圏内は太陽からのスパイラル磁場が支配しているため、太陽圏界面を通過して圏内に侵入した宇宙線の挙動はこれに影響される。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きている。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解明を目指す。

昨年の講演会では、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て、太陽圏外から侵入する銀河宇宙線のテスト粒子計算を行い、 $10 \cdot$ 、 $100 \cdot$ 、 1000GeV の粒子の軌道を解析した。その結果、 10GeV の粒子の大多数は星間磁場に沿って太陽圏を迂回するか、太陽圏の手前でミラー反射され、ごく一部の粒子だけが太陽圏内に侵入できること、 1000GeV の粒子はジャイロ半径が太陽圏スケールと同程度になるため、比較的容易に太陽圏内部にまで侵入できることなどを示した。

本研究では、粒子数を増やし、十分長時間の計算を行って、内部境界 ($R=50\text{AU}$) に到達した侵入粒子の統計について議論する。初期条件として、単一エネルギーをもつ粒子を 100 万個用意し、前回使用した電磁場構造内に配置した。その際、空間分布を太陽圏前面の $R=500\text{AU}$ 地点の $1/8$ 球面上に一樣に配置し、速度分布としてシェル分布を与えた。 $10\text{GeV} \sim 100\text{TeV}$ の範囲で粒子エネルギーを変えた十分長時間の計算を行い、内部境界まで到達した粒子数が一定に落ち着いた後でそれらの統計を調査した。内部境界への粒子の到達率はエネルギーとともに上昇した。到達粒子の緯度-経度分布を調べたところ、 100GeV 程度以下の低エネルギーの粒子は極域に多く、 1000GeV 程度の粒子は中緯度・中経度域に多く偏ることが分かった。発表では、さらに高エネルギーの粒子についての解析結果を報告するとともに、上記の結果及び実際に観測されている宇宙線のエネルギー分布から、星間空間でのエネルギー分布の推定を行う。