

R007-14

Zoom meeting A : 11/1 PM1 (13:45-15:30)  
15:00-15:15

## 銀河宇宙線の太陽圏侵入過程に関するシミュレーション研究

#吉田 光太郎<sup>1)</sup>, 松清 修一<sup>1)2)</sup>, 鷲見 治一<sup>2)</sup>, 羽田 亨<sup>1)2)</sup>

<sup>1)</sup>九大・総理工,<sup>2)</sup>九大・国際宇宙天気科学・教育センター

## Simulation study on the invading process of galactic cosmic rays into the heliosphere

#Kotaro Yoshida<sup>1)</sup>, Shuichi Matsukiyo<sup>1),2)</sup>, Haruichi Washimi<sup>2)</sup>, Tohru Hada<sup>1),2)</sup>

<sup>1)</sup>IGSES, Kyushu Univ,<sup>2)</sup>ICSWSE, Kyushu Univ

Heliosphere is the region dominated by the plasma and the magnetic field of solar origin and has characteristic structures such as termination shock and the heliopause. Most of galactic cosmic rays (GCRs) are prevented from entering the heliosphere. A fraction of them can propagate deep inside the heliosphere and be observed at the earth. The motions of charged particles in the heliosphere are quite complex. The GCRs are transported under the influence of convection due to the solar wind flow and diffusion by complex magnetic fields in the heliosphere. However, the so-called diffusion convection model does not represent particle trajectories. Our goal in this study is to understand the invading process of GCRs in the level of particle trajectory.

We performed three-dimensional relativistic test particle simulations using electromagnetic fields reproduced by the global MHD simulation of the heliosphere assuming time stationarity (Washimi, et al. 2015). In the MHD simulation, the solar wind velocity, density, magnetic field strength and temperature at 1AU are assumed to be 400km/s, 5.0/cc, 35  $\mu$  G and 10<sup>5</sup>K respectively. These quantities are simply extrapolated to the inner boundary of the simulation domain at 50AU from the sun. For the outer boundary at 900AU, the corresponding parameters in interstellar plasma are 23km/s, 0.1/cc, 6,300K, and 3  $\mu$  G respectively. Initially, 5\*10<sup>7</sup> particles (protons) with Lorentz factor  $\gamma = 10$  ( $\sim 10$ GeV) or  $\gamma = 1000$  ( $\sim 1000$ GeV) are distributed just outside the heliopause. Their distribution function is given by a mono-energetic shell distribution.

As a result, we found that characteristics of particle trajectories change depending on the relative scales between particle gyroradii and spatial scale of heliospheric magnetic structures. In case of  $\gamma = 10$ , particle trajectories are strongly affected by local electromagnetic fields, since their gyro radius is much smaller than typical spatial scales of heliospheric magnetic structures. Most of the particles following draping interstellar field lines are mirror reflected at the heliopause or skirt around the heliosphere. A few particles invade into the heliosphere from the side or the tail region of heliopause. Some invading particles propagate deep inside the heliosphere along the solar wind current sheet. Some others travel for long time being trapped by the spiral solar wind magnetic field lines. In the case of  $\gamma = 1000$ , while most particles are mirror reflected at the heliopause or pass through the heliosphere, relatively many particles easily invade the heliosphere due to their large gyro radius. Some invading particles reach the inner boundary with almost linear motion. There are, on the other hand, some particles showing eccentric trajectories. Once they almost pass through the heliosphere but are strongly scattered back by interacting with turbulent magnetic field in the tail region and finally reach the inner boundary. In the presentation we discuss some statistics of the particles reaching at the inner boundary such as spatial distribution, energy dependence of the number of reaching particles, and so on.

太陽圏は終端衝撃波やヘリオポーズなどの特徴的な構造を持ち、太陽風のプラズマと磁場が支配的な領域である。そのため星間空間から到来する銀河宇宙線のほとんどは、太陽圏に侵入出来ず、ごく一部が太陽圏へ侵入し地球上で観測される。太陽圏内での宇宙線の運動は、太陽風による移流や各種磁場構造に起因する拡散の影響を受け、非常に複雑なものになる。従来、宇宙線の輸送は、それらの運動を仮定した移流拡散モデルにより議論されてきたが、粒子軌道にまでは踏み込むことができない。本研究の目的は、銀河宇宙線の侵入プロセスを粒子軌道レベルにまで踏み込み理解することである。

我々は、定常太陽風を仮定したグローバル MHD シミュレーションによって再現された太陽圏の電磁場データを用いてテスト粒子シミュレーションを行い、太陽圏への銀河宇宙線の侵入プロセスを調査した。MHD シミュレーションでは、1 AU での太陽風の速度、密度、磁場の強さ、および温度を、それぞれ 400km/s、5.0/cc、35  $\mu$  G、10<sup>5</sup>K とし、これらの値は内側境界 50AU に外挿される。星間空間に対応する外側境界 900AU での値は、それぞれ 23km/s、0.1/cc、6,300K、および 3  $\mu$  G とした。テスト粒子計算の初期条件としては、ローレンツ因子が  $\gamma = 10$  ( $\sim 10$ GeV) または  $\gamma = 1000$  ( $\sim 1000$ GeV) の粒子 (陽子) を 5  $\times 10^7$  個、ヘリオポーズの外側に配置し、速度分布関数をシェル分布として与えた。

結果として、粒子のジャイロ半径と太陽圏の磁場構造との相対的なスケールに応じ、粒子軌道の特徴が変化することがわかった。 $\gamma = 10$  の場合、ジャイロ半径は太陽圏の磁気構造より十分小さいため、粒子の軌跡は局所的な電磁場構造の影響を強く受ける。ドレイブ磁場に沿って進む粒子の殆どは太陽圏界面のヘリオポーズでミラー反射され、一部の粒子がヘリオポーズの側面または尾部から太陽圏に侵入する。侵入した粒子は太陽風電流シートに沿って内部まで伝播、または太陽風のスパイラル磁場に捕捉され伝播する。 $\gamma = 1000$  の場合には、ほとんどの粒子がヘリオポーズでミラー反射、もしくは太陽圏を通過する一方で、ジャイロ半径が大きいため、比較的多数の粒子が太陽圏へ容易に侵入する。侵入した粒子は、ほぼ直線的な動きでノーズ領域から内側境界に到達、またはテール領域で散乱され内側

境界に到達する結果となった。講演では、内側境界に到達した粒子の統計（空間分布、到達粒子数のエネルギー依存性など）についても議論する。