

R007-11

Zoom meeting D : 11/3 AM1 (9:00-10:30)

9:30~9:45

## 銀河宇宙線の振る舞いにおける太陽圏境界の役割に関する数値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>, 鷺見 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 roles of heliospheric boundaries in the behavior of galactic cosmic rays

#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

Most of the galactic cosmic rays (GCRs) coming from interstellar space are prevented from entering the heliosphere. Only a fraction of them can propagate deep inside the heliosphere and be observed on the Earth. The motion of a charged particle in the heliosphere is quite complex because of the solar modulation effects. Our goals in this study are to understand how the GCRs enter and reach deep inside the heliosphere and to determine the statistical behaviors of solar modulated GCRs at the level of particle trajectory.

We perform three-dimensional test particle simulation using electromagnetic field data of the heliosphere reproduced by an MHD simulation, which assumes that the solar magnetic field has positive polarity with zero tilt angle. Initially, a large number of monoenergetic protons are distributed in interstellar space and injected in random direction to the interstellar magnetic field.

In this presentation, we focus on the roles of heliospheric boundaries in particle orbit and statistics. For the particles with  $\gamma=10$  ( $\sim 10\text{GeV}$ ), invading particles propagate in the region where the local magnetic field is weak, e.g., the heliopause and the equatorial current sheet, where  $\gamma$  is the Lorentz factor. Particles are hard to propagate upstream the termination shock due to the supersonic outflow of the solar wind. Finally, a relatively large number of particles reach the high latitude inner boundary (at 50 AU from the Sun). Particles with  $\gamma=1000$  ( $\sim 1\text{TeV}$ ) level are almost insensitive to the small-scale structures of the heliosphere because of their large-gyro radius. Hence, Particles easily come into and out from the heliosphere. Some particles can resonate with the large-scale eddies in the tail region. Some other particles passing by the heliosphere are mirror reflected by the bottleneck structure of interstellar magnetic field surrounding the heliosphere and return to the heliosphere. The number of particles reaching the inner boundary is larger (smaller) at the tail (nose) side than average.

In the current simulation realistic effects such as the presence of MHD waves, the variation of magnetic polarity due to the solar activity, finite tilt angle of the solar magnetic moment, are omitted. These effects are essential for more accurate discussions and should be included in future works.

星間空間から飛来する銀河宇宙線のほとんどは太陽圏への侵入を妨げられる。圏内へ侵入した一部の粒子は、太陽変調による極めて複雑な運動を経験して地球で観測される。本研究の目的は、銀河宇宙線が太陽圏へどのように侵入して伝搬するのか、太陽変調による銀河宇宙線の統計的挙動、を粒子軌道のレベルで明らかにすることである。

本研究では、正極性、チルト角 0 度の定常太陽風磁場を仮定した MHD 計算で再現された太陽圏の電磁場データを用いてテスト粒子計算を行った。多数の単一エネルギーのプロトンを星間空間に配置して、その後の粒子の軌道およびその統計を解析する。

本講演では特に太陽圏境界の役割に焦点を当て、ローレンツ因子  $\gamma=10$  ( $\sim 10\text{ GeV}$ ) と  $\gamma=1000$  ( $\sim 1\text{TeV}$ ) の粒子の統計的振る舞いについて議論する。 $\gamma=10$  の粒子は、太陽圏界面や赤道面電流シートなど、局所的に磁場が弱い領域に多く分布する。また、超音速太陽風の流れにより、深部まで伝搬してきた粒子は終端衝撃の上流を伝播しづらなことが確認された。最終的に、比較的多くの粒子が内側境界（太陽から 50AU 地点）の高緯度域に到達する。一方、 $\gamma=1000$  の粒子は、ジャイロ半径が大きいため、太陽圏のローカルな構造の影響をほとんど受けない。そのため、粒子は太陽圏を容易に出入りできる。一部の粒子は、太陽圏尾部の乱流によって共鳴的に散乱されることが確認された。また太陽圏をかすめて通り去ろうとする粒子のいくつかは、太陽圏を取り巻く星間磁場のボトルネック構造によってミラー反射され、太陽圏に侵入する。そして内側境界に到達した粒子の数は、境界の尾部（前部）側で多く（少なく）なることが確認された。

現在の計算モデルにおいては、太陽活動の影響（MHD 波動、太陽磁場の極性の変化、チルト角の効果）は省いている。これらの効果はより正確な議論に不可欠であり、今後含める必要がある。