

R007-P01

ポスター 2 : 11/25 AM1/AM2 (9:00-12:00)

機械学習を用いた太陽圏を伝搬する銀河宇宙線の粒子軌道クラスタリング

#吉田 光太郎¹⁾, 松清 修一^{2,4)}, 大塚 史子³⁾, 羽田 亨⁴⁾

¹⁾ 九大・総理工, ²⁾ 九大・総理工, ³⁾ 九大総理工, ⁴⁾ 九大国際宇宙

Machine learning clustering of galactic cosmic ray trajectories in the heliosphere

#Kotaro Yoshida¹⁾, Shuichi Matsukiyo^{2,4)}, Fumiko Otsuka³⁾, Tohru Hada⁴⁾

¹⁾ Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University, ²⁾ Faculty of Engineering Sciences, Kyushu University, ³⁾ Department of Advanced Environmental Science and Engineering, Faculty of Engineering Sciences, ⁴⁾ Kyushu University, International Research Center for Space and Planetary Environmental Science

Galactic cosmic rays (GCRs), coming from interstellar space, propagate deep inside the heliosphere and reach the Earth. Their motion in the heliosphere becomes very complicated due to solar modulation. Our study aims to understand how the GCRs enter and reach deep inside the heliosphere at the level of particle trajectory, and to clarify the role of the heliospheric structure contributing to solar modulation.

In our research, we conduct test particle simulation using the electromagnetic field data of the steady heliosphere reproduced by global MHD simulation to investigate the behaviors of GCRs entering the heliosphere and propagating deep inside it. We analyze particle trajectories and particle statistics of GCRs with energies from ~ 10 GeV to ~ 1 TeV that reached the inner boundary defined at 50 AU from the sun. We previously reported the results of particle statistics obtained from the large-scale test particle simulations using 10 billion particles. It was found that particles with an initial Lorentz factor of $\gamma = 10$ (about 10 GeV) reach the mid-to-high latitudes of the inner boundary, while particles with $\gamma = 1000$ (about 1 TeV) are mainly distributed in the tail region of the inner boundary, causing strong anisotropy in their arrival distribution.

In order to clarify the role of the heliospheric structure, it is necessary to quantitatively evaluate the relationship between particle trajectories and particle statistics. However, the particle trajectories within the heliosphere are highly complex and difficult to extract their characteristics. Additionally, there is a need to process large trajectory datasets, making it challenging to identify the patterns of trajectory that significantly contribute to particle statistics. In this study, machine learning techniques are employed to tackle this challenge (S. Markidis., et al, 2020). Here, Principal Component Analysis and k-means clustering are applied to the trajectory datasets, enabling to cluster a large number of particle trajectories reaching the inner boundary at 50 AU. The trajectories of statistically important particles are then identified and analyzed. We report the details of the clustering method and its analysis results.

星間空間から太陽圏へ進入した銀河宇宙線は、太陽圏構造の影響により極めて複雑な運動を経験して地球まで到達する。本研究の目的は、銀河宇宙線が太陽圏へどのように進入し地球に到達するのか、粒子軌道レベルで理解し、宇宙線の太陽変調に寄与する太陽圏構造の役割を明らかにすることである。

我々の研究では、グローバル MHD 計算で再現された定常太陽圏の電磁場データを用いたテスト粒子計算を実施し、MHD 計算の内側境界 50AU に到達した 10GeV \sim 1TeV の銀河宇宙線に関して、粒子軌道と統計を調査している。昨年の本セッションでは、粒子数 100 億個の大規模テスト粒子計算を実施して得られた粒子統計の結果について報告した。初期のローレンツ因子 $\gamma = 10$ (約 10GeV) の到達粒子が内側境界の中高緯度に到達すること、 $\gamma = 1000$ (約 1 TeV) の到達粒子は主に内側境界の尾部領域に分布し、到達分布に強い異方性が生じることなどがわかっている。

太陽圏構造の役割を明らかにするためには、粒子軌道を粒子統計と紐づけて定量的に評価することが必要である。しかし、太陽圏内での粒子軌道は複雑で解析が困難、かつ大量の軌道のデータセットを取り扱う必要があるため、粒子統計に寄与する軌道を特定することは難題である。そこで機械学習の手法を用いてこの課題の解決に取り組む (S. Markidis., et al, 2020)。本手法では、軌道のデータセットに対して主成分分析と k-means 法を適用することにより、多数の粒子軌道をクラスタリングすることが可能である。本研究では到達粒子の軌道のデータセットを用いてクラスタリングを行い、粒子統計に寄与する粒子軌道を特定し解析する。本セッションでは、クラスタリング手法の詳細とその解析結果について報告する。