

R010-01

B会場：11/27 AM1 (9:00-10:15)

9:00~9:15

スードストリーマの1次元数値シミュレーションと経験則の構築

#戸頃 響吾¹⁾, 庄田 宗人¹⁾, 今田 晋亮¹⁾

¹⁾ 東大・理

One-dimensional numerical simulation and empirical construction of Pseudostreamer

#Kyogo Tokoro¹⁾, Munehito Shoda¹⁾, Shinsuke Imada¹⁾

¹⁾The University of Tokyo

The Earth's surrounding space, where human activities take place, is constantly exposed to the supersonic plasma flow from the Sun, known as the solar wind. The solar wind can sometimes cause disruptions to artificial satellites and power infrastructure, leading to potential chaos in social systems. To mitigate these impacts, it is essential to predict the density and velocity of the solar wind near Earth. The SUSANOO model, currently in operation by the National Institute of Information and Communications Technology, serves as an example of such predictive models. This model estimates the solar wind velocity at 25 solar radii using an empirical model based on the expansion factor of magnetic flux tubes (Wang & Sheeley 1990, Arge & Pizzo 2000), and calculates the solar wind velocity and structure beyond this point by directly solving the magnetohydrodynamic equations (Shiota et al. 2014). While this empirical formula is effective in regions with relatively simple magnetic structures, such as coronal holes, it has been suggested that it tends to overestimate the solar wind speed in the region between coronal holes of the same magnetic polarity, known as the pseudostreamer (Riley et al. 2015). This is thought to be due to the non-monotonic distribution of the magnetic flux tubes within the pseudostreamer, with roughly 20% of flux tubes exhibiting non-monotonic expansion factors. In other words, whenever a pseudostreamer appears, there is a risk of a significant decrease in the accuracy of space weather models, including SUSANOO. Therefore, this study aims to develop a new empirical solar wind speed formula that accurately accounts for the pseudostreamer. To consider the effects of the non-monotonic expansion of the pseudostreamer, we performed one-dimensional solar wind MHD numerical simulations, varying the shape parameters of the magnetic flux tubes for both monotonic and non-monotonic cases. As a result, we found that even under conditions that yield the same speed prediction in the Wang-Sheeley model, cases could arise where the speed is reduced by up to several hundred km/s, the density increases by about three times, and the temperature decreases to about half. These results are consistent with observational data indicating that the solar wind from pseudostreamers tends to have relatively low speeds. Furthermore, a parameter survey of approximately 80 cases indicated that the weighted integral of the expansion factor is a more effective feature than the convergence value of the expansion factor used in the WS rule, allowing a unified description of both regular coronal holes and pseudostreamers. Our findings suggest the potential for improving solar wind velocity models without new observational data.

人類の活動する地球周辺の宇宙空間には太陽からの超音速プラズマ流である太陽風が絶えず吹き付け、時には人工衛星や電力インフラなど社会システムに混乱を生じさせることすらある。その被害を抑えるためには地球近傍での太陽風の密度や速度を事前に予測する必要がある。そのような太陽風予測モデルとして、例えば情報通信研究機構で運用中されている SUSANOO モデルが挙げられる。このモデルでは磁束管の断面積拡大率を特徴量とする経験モデル (Wang & Sheeley 1990, Arge & Pizzo 2000) によって 25 太陽半径での太陽風速度を見積り、それより外側の太陽風構造は磁気流体方程式を直接解くことで太陽風速度とその構造を計算する (Shiota et al. 2014)。この経験則はコロナホールの比較的磁場構造が単純な領域では有効であるものの、スードストリーマという同一の磁気極性を持ったコロナホールの狭間の領域では太陽風速度を過大評価してしまうことが示唆されている (Riley et al. 2015)。これはスードストリーマの磁束管が非単調な拡大率 (expansion factor) の分布を持つためと考えられる。一般におおよそ 20% 程度の磁束管が非単調な拡大率を持つ。そのような磁束管から地球へ太陽風が吹く度に SUSANOO をはじめとする宇宙天気モデルは精度が一気に悪化する危険がある。そこで本研究ではスードストリーマにも精度の良い新しい太陽風速度経験則を目指す。スードストリーマの非単調な拡大による効果を考慮すべく、磁束管の形状が単調な場合と非単調な場合に分けて形状のパラメータを変化させ次元太陽風 MHD 数値計算を行った。その結果、WS 経験則において同一の速度予測を与える条件下でも速度が最大数百 km/s 低く、密度が約 3 倍高く、温度が約半分まで変化するケースが生まれた。これはスードストリーマからの太陽風は速度が比較的低いという観測結果と整合的である。また、約 80 ケースにわたるパラメータサーベイを実行した結果、WS 経験則で採用される expansion factor の収束値よりも expansion factor の重みつき積分値の方が特徴量として有効であり、通常のコロナホールもスードストリーマも統一的に記述できることがわかった。我々の研究成果は新たな観測データを用いることなく太陽風速度モデルを改善できる可能性を示唆する。