

R010-10

Zoom meeting B : 11/3 AM2 (10:45-12:30)

11:45~12:05

## 太陽風シミュレーション：物理ベースの宇宙天気予報に向けて

#庄田 宗人<sup>1)</sup>, 岩井 一正<sup>2)</sup>, 塩田 大幸<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 国立天文台・太陽, <sup>2)</sup> 名大 ISEE, <sup>3)</sup> 情報通信研究機構

## Simulations of the solar wind: toward the physics-based space weather prediction

#Munehito Shoda<sup>1)</sup>, Kazumasa Iwai<sup>2)</sup>, Daikou Shiota<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> SSO, NAOJ, <sup>2)</sup> ISEE, Nagoya Univ., <sup>3)</sup> NICT

Due to the widespread social infrastructures using space technologies, the human society becomes vulnerable to space weather disturbances that originate from the solar activities. Space weather forecasting, the technology to predict these disturbances in advance, will become increasingly important. One of the most important factors in space weather forecasting is the solar wind velocity and its spatial structure. To qualitatively and accurately predict them from other observables, it is necessary to we need to solve multiple unsolved problems, including: 1) the global structure of the solar magnetic field, 2) the density and velocity of the solar wind corresponding to each magnetic field structure (magnetic field line), and 3) the propagation of the solar wind from the vicinity of the Sun to the Earth. In the current widely used models, space weather forecasting is realized by predicting the global magnetic field by the potential-field source-surface method (PFSS method) and the empirical model of the solar wind velocity. Global MHD simulations of the heliosphere (e.g. SUSANOO) usually uses such empirical models as their inner boundary. However, it has been found that the optimal parameters of the empirical solar wind velocity, which is the basis of the space weather model of this kind, vary greatly with solar activity cycle and solar rotation phase. In addition, the empirical models are found to be incapable of reproducing the solar wind velocity in some specific magnetic configurations. The limited performance of the empirical model is one of the major obstacles to high-precision space weather forecasting.

In this study, we evaluate the performance of the first-principle solar wind simulations in predicting the solar wind velocity to investigate the possibility of a physics-based solar wind velocity model and space weather forecast model. In recent years, solar wind simulations have made rapid progress, and together with observations by the Parker Solar Probe, we have been able to reproduce the solar wind with very high accuracy. In particular, the model that the solar wind is heated and accelerated by magnetohydrodynamic waves has been found to be promising. In this study, we calculate the global magnetic field structure of the Sun using the PFSS method, simulated the solar wind acceleration along each magnetic field line based on wave scenario, and compared the obtained solar wind velocity with the IPS observation data to evaluate the velocity prediction performance of the simulation. The simulation results show that the physical model is able to predict the solar wind velocity at high latitudes with much higher accuracy than the existing WSA method. On the other hand, in the mid-to-low latitudes, the performance of the physical model was comparable to that of the WSA method. However, it cannot be said that the physical model is inapplicable in the mid-to-low latitudes because both the extrapolation of the magnetic field is prone to large errors in such regions. Our results imply that physics-based space weather forecasting, with the physics-based prediction of solar wind speed, is highly feasible.

宇宙を利用した社会インフラの充実に伴い、社会は太陽活動を起源とする宇宙天気の乱れに脆弱になる。したがって宇宙天気（の乱れ）を事前に予測する技術、宇宙天気予報は今後ますます重要になると考えられる。宇宙天気予報において最も重要なファクターの一つは太陽風速度およびその空間構造であるが、それらを定量的かつ正確に予測するには多くの課題が残されている。具体的には、1. 太陽の大局的磁場構造、2. それぞれの磁場構造（磁力線）に対応する太陽風の密度、速度、3. 太陽近傍から地球までの太陽風伝播の三点を正しく理解する必要があるがそのどれもが難しい。現状広く使われるモデルでは、大局磁場をポテンシャル磁場（PFSS法）で、各々の磁力線に対応する太陽風速度を経験則（WSA法）で予測する。また、太陽圏のグローバル磁気流体シミュレーションもこれらの経験則を内側境界として用いている（例えばSUSANOO）。しかしながらその根幹をなす太陽風速度の経験則は太陽活動周期ごと、太陽自転周期ごとに最適なパラメータが大きく異なることがわかっており、また、一部の磁場構造に対する再現性が悪いなど、高精度宇宙天気予報の大きな障害の一つとなっている。

そこで私たちは太陽風の第一原理シミュレーションの速度予測性能を評価することで物理ベースの太陽風速度モデル、宇宙天気予報モデルの可能性を検討した。近年太陽風シミュレーションの進展は目まぐるしく、太陽風探査機（Parker Solar Probe）の観測と合わせて非常に高い精度で太陽風を再現できるようになってきた。特に太陽風が磁気流体波動で加熱、加速されるというモデルが有力であることがわかってきた。そこで本研究では、1. 太陽の大局磁場構造をPFSS法で計算し、2. 各磁力線に沿って波動モデルに基づく太陽風加速シミュレーションを行い、3. 得られた太陽風速度をIPS観測データと比較することでシミュレーションの速度予測性能の評価を行なった。シミュレーションの結果、物理モデルは高緯度の太陽風について既存のWSA法に比べて遥かに高精度で速度を予測可能であることがわかった。一方中・低緯度ではWSA法と同程度の性能しか得られなかったが、中・低緯度は磁場の外挿法に大きな誤差が生じやすいため一概に物理モデルが適用できないとは言えない。私たちの計算結果は太陽風速度を物理モデルで予測する、物理ベース宇宙天気予報の可能性が十分高いことを意味する。