

## PINNs を用いた磁気リコネクション構造の再構築

#下岡 暉<sup>1)</sup>, 松清 修一<sup>2)</sup>, 諫山 翔伍<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 九大総理工, <sup>2)</sup> 九大・総理工, <sup>3)</sup> 九大総理工

## Reconstruction of MHD structures of magnetic reconnection using PINNs

#Hikaru Shimooka<sup>1)</sup>, Shuichi Matsukiyo<sup>2)</sup>, SHOGO ISAYAMA<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University, <sup>2)</sup> Faculty of Engineering Sciences, Kyushu University, <sup>3)</sup> Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences

Magnetic reconnection is an important phenomenon through which magnetic energy is converted to plasma kinetic energy. Understanding of its detailed mechanism is crucial for space plasma physics and fusion research. In recent years, the four-satellite MMS mission has revealed the detailed structures of the electron-scale magnetic diffusion region, which is important for understanding driving mechanism of reconnection. Additionally, advanced data analysis methods have enabled to reconstruct the magnetic field and plasma structures apart from satellite positions, while assuming two-dimensionality and temporal stationarity. In the future, multi-point observation using a larger number of satellites are demanded. This would allow for the simultaneous observation of both the MHD-scale structures and the embedded microscale structures, elucidating the role of the magnetic diffusion region in the formation of the overall structure. Furthermore, reconstructing the surrounding structures from multi-satellite data could unveil the three-dimensional structure of reconnection.

Given these prospects, this study explores the reconstruction of magnetic reconnection structures using Physics-informed Neural Networks (PINNs). PINNs leverage physical laws expressed by partial differential equations as loss functions, allowing to learn and predict unknown parameters that satisfy governing equations. By applying this method, we can reconstruct the surrounding structures from satellite data without assuming temporal stationarity. In this study, we simulate magnetic reconnection using MHD simulations and generate virtual satellite data. Subsequently, we use the satellite data and MHD equations for training, predicting the spatiotemporal structures of magnetic field lines, plasma velocity, and density around the observation points. Thus far, we have successfully predicted the spatiotemporal structures of symmetric reconnection using four virtual satellites. We will discuss the reconnection structure and the impact of the configuration and number of satellite formations on prediction accuracy.

磁気リコネクションは、磁力線のつながり変えに伴い磁気エネルギーをプラズマの運動エネルギーに変換する重要な現象であり、そのメカニズムの詳細の解明は、宇宙プラズマ物理学や核融合研究において極めて重要である。近年、4機のMMS衛星編隊による地球磁気圏観測が進み、リコネクションの駆動に重要な電子スケールの磁気拡散領域の詳細な構造が明らかになりつつある。また、観測データの解析手法の進歩により、空間2次元で時間定常という仮定の下で、衛星データから周囲の磁場とプラズマ構造を再構築する試みも進められている。今後は観測点を大幅に増やした、同時マルチスケール観測が望まれる。これにより、MHDスケールの全体と、それに埋め込まれる重要なミクロスケールの部分を多数の衛星で同時に観測し、全体構造の形成における磁気拡散領域の役割を解明することが期待される。さらに複数衛星のデータから周辺の構造を再構築することができれば、リコネクションの3次元構造が明らかとなる。

このような展望を踏まえ、本研究では Physics-informed Neural Networks (PINNs) を用いた磁気リコネクション構造の再構築を試みる。PINNsとは、物理法則に基づいた偏微分方程式を損失関数に用いることで、基礎方程式を満たすように未知パラメータを学習することができる手法である。この手法を応用することで、時間定常の仮定を排除し、衛星データから周辺構造を再構築することが可能となる。実際の衛星データに適用する前の精度検証として、MHDシミュレーションで磁気リコネクションを再現し、仮想衛星観測データを生成する。その後、観測データとMHD方程式を用いて学習し、観測点周辺における磁力線やプラズマの速度、密度などの時空間構造を予測する。これまでに、4つの衛星を使用して対称なリコネクション構造の時空間構造の予測に成功している。発表では、リコネクションの構造と、衛星編隊の配置及び数が予測精度に与える影響について議論する。