

## 物理法則に基づいた深層学習によるプラズマパラメータの推定

#宮村 勇生<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

## Estimation of plasma parameters by deep learning based on physical laws

#Yuki Miyamura<sup>1)</sup>, Shuichi Matsukiyo<sup>2)</sup>, SHOHO ISAYAMA<sup>3)</sup>

<sup>(1)</sup>IGSES, Kyushu Univ., <sup>(2)</sup>Kyushu Univ., <sup>(3)</sup>IGSES

In general the data observed in space and laboratory is only a part of the physical quantities which are needed to understand a physical phenomenon. In recent years, the machine learning technique has been intensively investigated to predict the physical parameters from a small number of observed parameters. In the method called Physics-Informed Neural Network (PINN), the spatio-temporal evolution of some physical parameters is learned as a training data and the other unknown parameters are estimated so that they satisfy the governing equations [1]. Unlike the conventional parameter prediction technique such as a pattern recognition, this method predicts a parameter based on the law in physics. Therefore, the prediction model is less likely to become a black box and a physical interpretation of the predicted data becomes clearer. Furthermore, in contrast to usual numerical simulation in which one has to solve a forward problem, this method has an advantage to be able to predict parameters without setting initial and boundary conditions.

In this study, the PINN is applied to Magnetohydrodynamics (MHD) phenomena. The MHD model considerably helps to understand various plasma phenomena in space and laboratory. We treat the MHD equations as the governing equations in the PINN and predict the spatio-temporal evolution of plasma parameters from the observed spatio-temporal training data sets of the magnetic fields and some plasma parameters. Firstly, this method is applied to the MHD shock tube problem to predict the evolution of the density, the velocity, and the pressure of a plasma from the training data set of the magnetic fields. When this method is established, the PINN is expected to make a significant contribution to understand MHD phenomena as a new parameter determination method. In this talk, we report the development status of the prediction model and discuss its future prospects.

[1]M. Raissi, A. Yazdani, and G. E. Karniadakis, “Hidden Fluid Mechanics: A Navier-Stokes Informed Deep Learning Framework for Assimilating Flow Visualization Data,” arXiv:1808.04327 (2018).

宇宙や実験室での観測で得られるデータは、現象を理解するのに必要な物理量の一部であることが一般的である。近年、少数パラメータを教師データとしてその他の物理パラメータを機械学習によって予測する手法が盛んに研究されている。中でも Physics-Informed Neural Network(PINN) と呼ばれる手法では、あるパラメータの時空間発展を教師データとして学習し、その他のパラメータが支配方程式を満たすように推定される [1]。本手法は従来のパターン認識等によるパラメータ推定とは違い、物理法則に基づくパラメータ推定であるため、予測モデルがブラックボックス化しにくく予測データの物理的解釈が得られやすい。また本手法では初期条件や境界条件を設定しなくてもパラメータを推定することができるため、ある初期条件と境界条件のもと順問題を解く数値シミュレーションと比べて、効率よく観測データから未知パラメータを推定できる。

本研究では PINN を電磁流体現象 [Magnetohydrodynamics (MHD)] に適用する。MHD モデルは宇宙および実験室における多様なプラズマ現象の理解に大いに貢献している。本研究の目的は、観測される磁場やあるプラズマパラメータの時空間データをトレーニングデータとして、PINN を用いてその他のプラズマパラメータの時空間発展を MHD 方程式を満たすように予測する事である。まずは MHD 衝撃波管問題に本手法を適用し、磁場の時空間発展データから不連続面を持つプラズマの密度、速度、圧力の時空間発展を予測する。本手法が確立されれば、新たなパラメータ同定手法として MHD 現象の解明に大きく貢献することが期待される。本講演では予測モデルの開発状況および今後の展望について述べる。

[1]M. Raissi, A. Yazdani, and G. E. Karniadakis, “Hidden Fluid Mechanics: A Navier-Stokes Informed Deep Learning Framework for Assimilating Flow Visualization Data,” arXiv:1808.04327 (2018).