

R004-01

D会場 : 11/25 PM2 (15:00-18:00)

15:00~15:15

## 拡張カルマンフィルタ法で訓練された再帰的ニューラルネットによる地磁気永年変化の予測 (IGRF-14 候補モデル)

#佐藤 匠<sup>1)</sup>, 藤 浩明<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 京大理地惑

### Using recurrent neural networks trained by the Kalman filter to produce geomagnetic secular variation forecasts for the IGRF-14

#Sho Sato<sup>1)</sup>, Hiroaki Toh<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

This study presents a machine-learning-based approach for predicting geomagnetic secular variation. The International Geomagnetic Reference Field (IGRF) is a standardized model that provides a comprehensive description of the Earth's magnetic field, updated every five years. The IGRF model includes a five-year linear prediction of the secular variation. Traditional forecasting methods heavily rely on complex geodynamo simulations, which are computationally expensive and may result in large forecasting errors when sudden changes occur.

In our research, we adopted an EKF-RNN model, where a Recurrent Neural Network (RNN) is trained using the extended Kalman filter (EKF) to predict the five-year changes in the geomagnetic main field. Among machine learning methods, RNNs (Elman, 1990) offer a data-driven approach to modeling temporal sequences with lower computational cost, making them suitable for predicting time-dependent phenomena such as geomagnetic variations. The EKF is an efficient data assimilation algorithm widely used in the geosciences. The EKF algorithm dynamically updates the RNN weights using the error covariance of the training data, improving the learning process and mitigating overfitting, a common issue with standard Backpropagation methods.

To verify the prediction accuracy of the EKF-RNN model, we conducted a five-year hindcast experiment for the training period from 2004.50 to 2014.25, using the datasets derived from the MCM model (Ropp et al., 2023). The MCM model is based on geomagnetic field snapshots obtained from hourly means collected at geomagnetic observatories worldwide, and CHAMP and Swarm-A Low-Earth-Orbit satellite data (Ropp et al., 2020).

The results showed that the short-term predictions of the EKF-RNN model had reduced errors compared to traditional simulation-based methods. This suggests that the EKF-RNN could serve as a superior alternative for predicting geomagnetic secular variation, potentially contributing to the accuracy and reliability of the 14th-generation IGRF.

本研究は、機械学習を用いて地磁気の永年変化を予測するための新しいアプローチを提示する。国際標準地球磁場 (International Geomagnetic Reference Field, IGRF) は、地球主磁場を包括的に記述する最も標準化されたモデルのひとつであり、5年ごとに更新される。IGRFとして提供されるモデルには、永年変化の5年線形予測が含まれる。

従来の予測手法は、複雑なジオダイナモ・シミュレーションに大きく依存している。従来の手法では計算コストが高く、突発的な変化が起こった際に予測誤差が大きくなる場合がある。我々の研究では、地磁気主磁場の5年間の変化を予測するために、拡張カルマンフィルタ (extended Kalman filter, EKF) を用いて再帰的ニューラルネットワーク (Recurrent Neural Network, RNN) を学習させる EKF-RNN モデルを採用した。

機械学習の中でも RNN (Elman, 1990) は計算コストが小さく、時間的シーケンスをモデル化するためのデータドリブンなアプローチを提供する。RNN は地磁気変動のような時間依存現象の予測に適しており、シミュレーションよりも計算コストが小さい。EKF は地球科学の分野で広く使われている効率的なデータ同化アルゴリズムである。EKF アルゴリズムは、教師データの誤差共分散を利用して RNN の重みを動的に更新している。これによって学習プロセスが改善され、予報誤差共分散の推定が可能になると同時に、標準的な誤差逆伝搬法でよく見られる過学習の問題が軽減される。

EKF-RNN モデルの予測精度を検証するために、2004.50 から 2014.25 までの学習期間を設定して、5年間の再予報実験を行った。訓練と検証のためのデータセットには、MCM モデル (Ropp et al., 2023) を用いた。MCM モデルは世界中の地磁気観測所で収集された毎時の平均値から得られた地磁気スナップショット、及び CHAMP と Swarm-A の低軌道衛星データを元に作成されている (Ropp et al., 2020)。

その結果、EKF-RNN モデルの短期予測結果は、シミュレーションに基づく従来の手法と比較して、誤差が減少することが示された。このことは、EKF-RNN が地磁気の経年変化を予測するための優れた代替手段となり、第 14 世代 IGRF の精度と信頼性に貢献する可能性を示唆している。