

# CNNによる時系列連続性を考慮した 宇宙自然電波の特性周波数検出 Characteristic frequency determination for time continuous plasma wave by CNN

近藤和真<sup>†1</sup> 長谷川達人<sup>†1</sup> 松田昇也<sup>†2</sup> 熊本篤志<sup>†3</sup> 土屋史紀<sup>†3</sup>  
笠原禎也<sup>†4</sup> 三好由純<sup>†5</sup> 笠羽康正<sup>†3</sup> 松岡彩子<sup>†2</sup> 篠原育<sup>†2</sup>  
福井大学<sup>†1</sup> ISAS/JAXA<sup>†2</sup> 東北大学<sup>†3</sup> 金沢大学<sup>†4</sup> 名古屋大学<sup>†5</sup>

## 1. はじめに

地球惑星科学の分野では、科学衛星によって自然電波計測を行い、惑星磁気圏物理を理解する取り組みが進められている[1]。観測されたデータは膨大であり、専門家の目視によって特定の現象を抽出するには膨大なコストがかかる。一方、近年様々な分野で機械学習の応用が行われており、中でも深層学習はデータを用いた学習によってその特徴表現を自動で獲得し、データの分類や回帰を行うことができる。従って、深層学習を用いた手法を用いることで、自然現象抽出の自動化が期待される。

先行研究として、Zhelavskayaら[2]は自然電波のパワースペクトルと専門的な知識に基づく追加特徴量を用いて、Multi-Layer Perceptron (MLP) による機械学習を行い、UHR放射と呼ばれる現象の特性周波数を推定する手法を提案している。これに対して、長谷川ら[3]の研究では、コンピュータビジョンの分野で高い成果を上げている Convolutional Neural Network (CNN) を用いたモデルを提案し、専門的な知識に基づく追加特徴量を用いずに、先行事例[2]のモデルより高精度の推定を達成している。

先行研究[2, 3]のモデルは、ある1時刻の自然電波パワースペクトルを入力とし、同時刻の特性周波数を推定する回帰モデルである。したがって、特性周波数が時系列に沿って連続的に変化する特性を考慮したモデルを構成することにより、より高精度に特性周波数の推定ができると考えられる。そこで本研究では、モデルの入力として用いるデータを、複数時刻のパワースペクトルに拡張し、時系列連続性を考慮した CNN モデルを提案する。また、先行研究[3]と同一条件で推定精度比較を行い、先行研究のモデルよりも高い精度で特性周波数の推定ができることを示す。

## 2. 提案手法

今回提案するモデルは、先行研究[3]のモデルと同様に、CNN を用いてプラズマのパワースペクトルから UHR 放射が現れる周波数 (UHR 周波数) を推定する。図1に先行研究のモデル[3]と提案モデルの違いを示す。提案モデルは連続した  $k$  時刻のパワースペクトルデータを入力し、その中心時刻に対応する UHR 周波数を推定することで現象の時系

列連続性を考慮する。入力が1次元から多次元が変わるため、時刻を横軸、周波数を縦軸とした画像と同様に取り扱い、2次元畳み込みを行う ResNet50[4]モデルで UHR 周波数の推定を行う。ResNet は 2015 年の ILSVRC の優勝モデルで、“shortcut connection”という接続を導入することで Neural Network における勾配消失問題に対処し、画像認識において大きな成果を上げている。

## 3. 検証実験

### 3.1. データセットと実験概要

検証実験で使用したデータは、ジオスペース観測衛星「あらせ」に搭載されたプラズマ波動観測器 PWE(Plasma Wave Experiment)/HFA(High Frequency analyzer)[5, 6]が 2017 年 4 月から 12 月の期間に観測した電界スペクトルである。今回の検証実験では、各月の 1, 11, 26 日のデータを訓練に、各月の 5, 18 日のデータを検証に用いている。

今回の提案モデルでは  $k$  時刻分のスペクトルデータからその区間の中心に対応する UHR 周波数を推定するため、今回使用する各日の全時刻のデータに対し、ウィンドウサイズを  $k$ 、ストライド幅を 1 として連続した  $k$  時刻分のスペクトルデータと対応する正解データを作成した。時刻幅  $k$  は可変のハイパーパラメータであり、時刻幅  $k$  を変動させたときの精度検証を行う。モデルの精度評価は先行研究になり平均絶対誤差 (MAE) を用いる。本実験では提案モデルと条件をそろえるために、先行事例[3]のモデルの出力層の直前に Batch Normalization 層を追加したものを実装し、これをベースラインとする。このモデルを同一条件で訓練し、提案モデルの精度と比較する。

### 3.2. 実験結果

図2に精度検証の結果を示す。橙の点線 (MAE=4.30) は先行研究[3]のモデルによる MAE である。先行研究の本文の精度よりも悪化しているのは使用したデータを減らしたことによるものである。青の実線は各時間幅  $k$  における MAE を示している。この結果から、提案モデルの精度はいずれの時間幅においても、先行研究の精度を上回ることがわかる。特に  $k=41$  にて最高精度 MAE=3.39 を達成している。こ

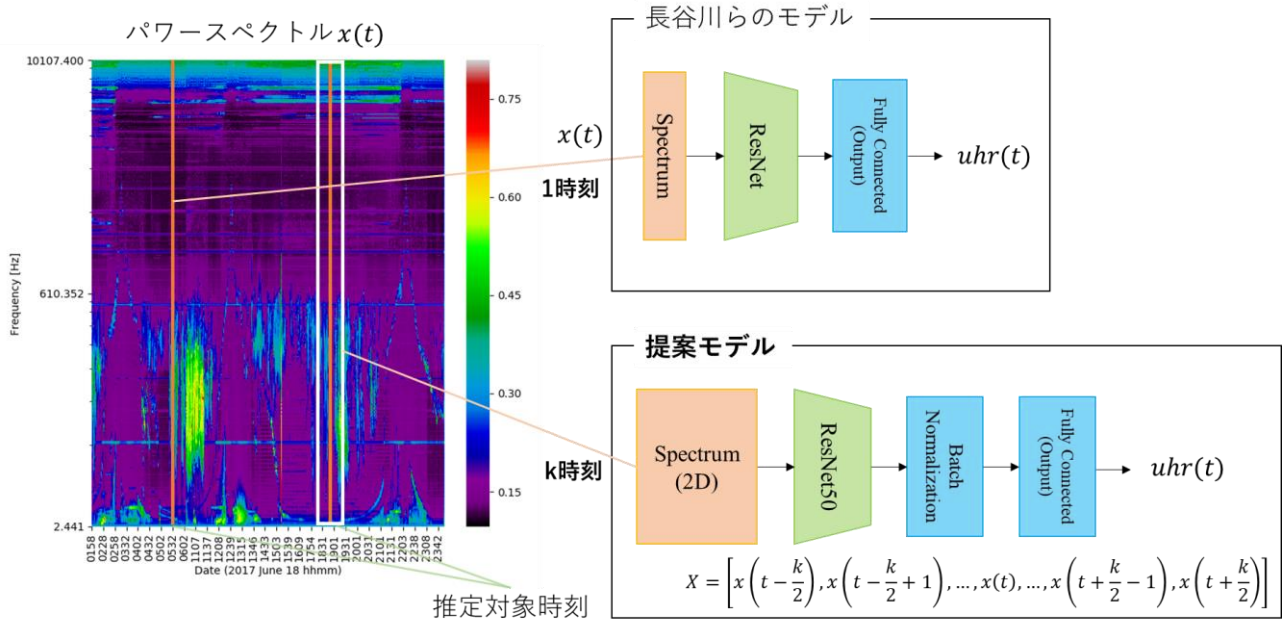


図1 先行研究[3]のモデルと本研究の提案モデルとの比較

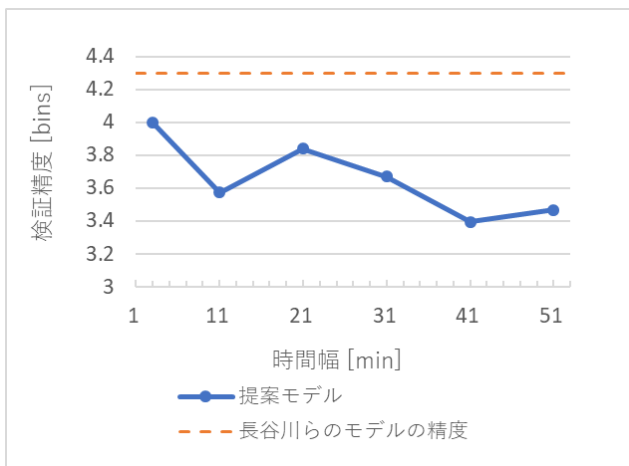


図2. 各時間幅における提案モデルの検証精度

これは提案モデルがある時刻の UHR 周波数の推定において、周辺時刻の情報を取り入れることができたためである。また、 $k=21$  で一度精度が悪化しているものの、入力する時間幅  $k$  を大きくすることによって精度が向上する傾向がみられる。これは周辺時刻の情報の増加とともに、より有用な特徴表現を CNN が獲得できたためであると考えられる。

#### 4. おわりに

本研究では、自然電波のパワースペクトルから特性周波数を検出するタスクについて、2次元の畳み込み層を用いた CNN を用いることで現象の時系列連続性を考慮したモデルを提案した。検証実験により、提案モデルは既存モデルより高い精度で特性周波数を推定できることを示した。検証

実験では、ある 1 時刻のパワースペクトルに加え、その周辺時刻のデータを利用することで推定精度が向上することが分かった。一方で、想定通りに現象の時系列連続性を捉えて推定を行えたかどうかは議論の余地があり、今後検証を進めていきたい。

#### 謝辞

本研究の一部は科学研究費助成事業基盤研究 (C) (17K05668) の助成によるものである。ここに謝意を表す。

#### 参考文献

- [1] Miyoshi, Y., Shinohara, I., Takashima, T. et al. Geospace exploration project ERG. *Earth Planets Space* 70, 101 (2018). DOI=<https://doi.org/10.1186/s40623-018-0862-0>
- [2] Zhelavskaya, I. S., et al. Automated determination of electron density from electric field measurements on the Van Allen Probes spacecraft. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, Vol. 121, No. 5, pp. 4611-4625 (2016). DOI=<https://doi.org/10.1002/2015JA022132>
- [3] Hasegawa, T. et al. 2019. Automatic Electron Density Determination by Using a Convolutional Neural Network, *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 163384-163394 (2019). DOI=<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2951916>
- [4] Kaiying, H. et al. 2016. Deep residual learning for image recognition. In *Proceeding of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Las Vegas, Nevada, United States of America, June 27-30, 2016)*, CVPR2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY, 770-778. DOI=<https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>.
- [5] Kasahara, Y., Kasaba, Y., Kojima, H. et al. The Plasma Wave Experiment (PWE) on board the Arase (ERG) satellite. *Earth Planets Space* 70, 86 (2018). DOI=<https://doi.org/10.1186/s40623-018-0842-4>
- [6] Kumamoto, A., Tsuchiya, F., Kasahara, Y. et al. High Frequency Analyzer (HFA) of Plasma Wave Experiment (PWE) onboard the Arase spacecraft. *Earth Planets Space* 70, 82. DOI=<https://doi.org/10.1186/s40623-018-0854-0>