

令和 2 年 5 月 21 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05668

研究課題名(和文)工学的アプローチに基づいた、宇宙自然プラズマ波動の自動識別・知識発見に関する研究

研究課題名(英文)Study on Automatic Detection of Plasma Waves Based on an Engineering Approach

研究代表者

松田 昇也 (Matsuda, Shoya)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・特任助教

研究者番号：20772213

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：2016年に我が国が打ち上げたジオスペース探査衛星「あらせ」に搭載された、プラズマ波動観測器PWEのプラズマ波動観測データを用いて、特に「ホイッスラーモードコーラス波動」と「混成共鳴放射」と呼ばれる現象の自動抽出を目指した。プラズマ波動観測データには、目的とする現象以外に、人工雑音や種々の自然現象が同時に受信されることがしばしばあり、これらのプラズマ波動現象の同定・抽出には、専門家による周波数スペクトルの目視確認に頼ることが一般的であった。しかしながら、大量の観測データを目視で確認するための負担は計り知れず、これを打開するためにCNNを用いた機械学習のアプローチで解決を狙った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

科学衛星によって絶えず観測されるデータは、近年では特に膨大な量となり、科学解析を行うために要するイベントセレクションには、膨大な労力を必要とされてきた。科学者の本来の責務である科学解析をより円滑に進めるために、従来まで多くの人手を要してきた現象抽出・分類を、近年着目されている機械学習技術を用いて解決し、円滑なサイエンスアウトプットを実現する一端を担った。

研究成果の概要(英文)：We studied an automatic detection technique of "Whistler-mode chorus waves" and "hybrid resonance radiation" by using the data observed by PWE aboard Arase. In this study, we proposed an automatic determination system of plasma waves by machine learning. We confirmed that the proposed method using CNN more accurately determined plasma waves than did the conventional method.

研究分野：地球惑星科学

キーワード：あらせ衛星 機械学習 プラズマ波動

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

地球の高度数百 km 以上の領域は地球磁気圏と呼ばれ、太陽や電離層から供給されたプラズマ粒子の運動が、地球の固有双極子磁場によって支配されている。近年の研究で、磁気圏内では「プラズマ圏( $\sim eV$ )」「リングカレント(数 keV $\sim$ 数十 keV)」「放射線帯(数 MeV $\sim$ )」に代表される領域で、6桁以上も異なるエネルギーのプラズマ粒子の共存していることがわかってきた。最新の観測では、これら幅広いエネルギーレンジのプラズマ粒子ダイナミクスが、自然プラズマ波動による加速・消失作用(エネルギー階層間結合)によって支配されている可能性が示唆されている。エネルギー階層間をつなぐ自然プラズマ波動は、その種類によって階層間結合の中での役割が異なる。科学衛星による観測技術向上に伴い、実観測データの量は充実する一方、現象の自動分類や特徴の自動抽出などは、自然発生する現象ゆえの難しさがあり、未だ発展途上である。

放射線帯をはじめとするジオスペース観測を目的として、2012年にアメリカが打ち上げた Van Allen probes に続き、日本のジオスペース探査衛星「あらせ」では、プラズマ波動の24時間連続観測によって観測データが大量に取得されるため、より一層、自動処理による現象抽出手法の確立が急がれる。本研究では、人工知能技術を用いた分野横断的研究によって、同課題の解決を目指す。

### 2. 研究の目的

本研究では、近年多分野に応用が進む「人工知能技術」に着目し、科学衛星で観測されたプラズマ波動現象の自動抽出・分類手法の検討を行う。放射線帯の消長に代表されるジオスペース環境変動の解明には、幅広いエネルギーレンジのプラズマ粒子と種々のプラズマ波動によるエネルギー階層間結合の理解が重要である。プラズマ波動の統計解析は、同結合系の理解に向けた重要な手立てであり、種々の現象・雑音を含む観測データからの任意の現象抽出作業は、その第一歩と言える。近年における地球磁気圏内の複数衛星同時運用と長時間観測に伴う観測データの増加により、専門家が現象抽出・分類に費やす時間と労力は増大し続けている。また、昨今の観測器性能の向上に伴い、抽出精度の要求は高まる一方である。科学の本質である現象解析を滞りなく実施するために、利用が簡便かつ高速・高精度な自動抽出手法の検討が必要である。

### 3. 研究の方法

2016年に我が国が打ち上げたジオスペース探査衛星「あらせ」に搭載された、プラズマ波動観測器 PWE (Plasma Wave Experiment) のプラズマ波動観測データを用いて、特に「ホイッスラーモードコーラス波動」と「混成共鳴放射 (Upper Hybrid Resonance emission)」と呼ばれる現象の自動抽出を目指した。ホイッスラーモードコーラス波動は、ジオスペースにおけるエネルギー階層間結合で最も重要な「相対論的電子」を生み出す機構として注目されており、現象の様態を理解することは、エネルギー階層間結合の実態を解明するうえで非常に重要である。また、混成共鳴放射が現れる周波数は、その場の電子密度と密接な関係があることが知られており、混成共鳴周波数から求まる電子密度は、波動粒子相互作用をはじめとする物理過程を正しく理解するための基礎パラメータとして広く活用されている。プラズマ波動観測データには、目的とする現象以外に、人工雑音や種々の自然現象が同時に受信されることがしばしばあり、これらのプラズマ波動現象の同定・抽出には、専門家による周波数スペクトルの目視確認に頼ることが一般的であった。しかしながら、大量の観測データを目視で確認するための負担は計り知れず、これを打開するために CNN (Convolution Neural Network) を用いた機械学習のアプローチで解決を狙った。

### 4. 研究成果

本研究によって得られた成果は、以下のとおりである。

#### ・ホイッスラーモードコーラス波動の自動抽出

ホイッスラーモードコーラス波動の自動抽出を行うために、複数の機械学習手法と特徴量抽出手法の組み合わせを検討し、各組合せで得られた結果の分類精度を比較した。学習には、あらせ / PWE によって観測された電磁界スペクトルデータを用いた。1時間毎に区切った周波数時間スペクトル(ダイナミックスペクトル)に波動が含まれるかどうかを、まずは専門家が目視で判定し、学習のためのラベルとした。ラベルとデータを機械学習系に入力して現象を自動判定させ、その精度を確認したところ、取り上げた複数の組み合わせ手法のいずれでも約 80%の精度で結果

が得られることと、ラベルの偏りやサンプル数の問題で精度にばらつきが見られることが分かった。高精度な分類を安定的に実現するために、ラベルの拡充を図るとともに、プラズマ波動の出現と対応関係が見られる外部パラメータ(現象が現れやすい周波数の情報、現象が観測されやすい位置の情報など)を取り込んで判定要素に加えることを今後検討したい。また、プラズマ波動の種類に依らない分類を目指し、コーラス波動以外のプラズマ波動現象(電磁イオンサイクロトロン波動、磁気音波など)も対象に加えて、さらなる課題発展につなげていきたい。

#### ・混成共鳴放射の特性周波数抽出

複数の学習モデルを実装して評価したところ、CNN(Convolution Neural Network)のResNetモデルを用いることで高精度の現象抽出が可能であることを発見し、実用化に向けた検証を進めた。あらせ/PWEのプラズマ波動観測データを用いて、精度向上に向けた検討と、領域や地磁気活動度別の精度調査を行い、プラズマ圏内では約7%以内の誤差で抽出に成功していることを明らかとし、手法を実用化するにあたって十分な精度を達成できていると判断した。一方で、トラフ領域では30-40%程度の誤差を生じる場合があることが分かっており、元来より抽出が難しい領域については、引き続きの検討の余地がある。今後は、抽出が難しい条件における教師データの拡充や、最新の学習モデルの導入・転移学習の活用などにより、条件に依らず高精度抽出を達成できる、ロバストな手法を立案することを目指したい。

研究期間全体を通して、工学的アプローチに基づくプラズマ波動解析手法について1件の学術論文が受理され、他に1件が査読中である。また7件の国内・国際会議で成果発表および投稿が受理されており、基盤研究として当初目標としていた成果を十分達成できたと考える。地球磁気圏で観測されるホイッスラーモードコーラス波動など、混成共鳴放射以外のプラズマ波動現象についても、イベントを自動抽出するシステムを立案することができ、将来研究への応用の糸口にも言及できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hasegawa T., S. Matsuda, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, Y. Kasahara, Y. Miyoshi, Y. Kasaba, A. Matsuoka, I. Shinohara	4. 巻 7
2. 論文標題 Automatic Electron Density Determination by Using a Convolutional Neural Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 163384-163394
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2019.2951916	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 壽慶 貴弘, 長谷川 達人, 松田 昇也, 笠原 禎也
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークを用いたプラズマ波動データの自動識別
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川 達人, 松田 昇也, 熊本 篤志, 土屋 史紀, 笠原 禎也, 三好 由純, 笠羽 康正, 松岡 彩子
2. 発表標題 CRNNを用いたプラズマ波動観測データからの特性周波数の自動検出
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Matsuda, T. Hasegawa, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, Y. Kasahara, Y. Miyoshi, Y. Kasaba, and A. Matsuoka
2. 発表標題 A Machine Learning Approach for the Determination of Upper Hybrid Resonance Frequencies Observed by Arase
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Matsuda, T. Hasegawa, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, Y. Kasahara, Y. Miyoshi, Y. Kasaba, and A. Matsuoka
2. 発表標題 Automatic determination of Upper Hybrid Resonance Frequencies by Convolutional Neural Network
3. 学会等名 JpGU Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 袖川 瑞, 長谷川 達人, 松田 昇也, 笠原 禎也
2. 発表標題 機械学習を用いたプラズマ波動現象の自動識別
3. 学会等名 電気学会北陸支部 平成29年度北陸地区学生による研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Matsuda, T. Hasegawa, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, Y. Kasahara, Y. Miyoshi, Y. Kasaba, and A. Matsuoka
2. 発表標題 Evaluation of Automatic Determined UHR Frequencies by a Convolutional Neural Network
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Matsuda, T. Hasegawa, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, Y. Kasahara, Y. Miyoshi, Y. Kasaba, and A. Matsuoka
2. 発表標題 Evaluation of Automatic Electron Density Determination by using a Convolutional Neural Network
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	長谷川 達人  (Hasegawa Tatsuhito)  (10736862)	福井大学・学術研究院工学系部門・講師    (13401)	