

R006-09

A 会場 : 11/25 PM2 (15:30-18:15)

17:45~18:00

## あらせ衛星で観測されたNWC送信局信号を用いた伝搬方向推定手法の検討

#牛山 大洋<sup>1)</sup>, 梅澤 祐伊<sup>1)</sup>, 笠原 禎也<sup>1)</sup>, 松田 昇也<sup>1)</sup>, 太田 守<sup>2)</sup>, 土屋 史紀<sup>3)</sup>, 熊本 篤志<sup>3)</sup>, 松岡 彩子<sup>4)</sup>, 三好 由純<sup>5)</sup>, 篠原 育<sup>6)</sup>

(<sup>1)</sup> 金沢大, (<sup>2)</sup> 富山高専, (<sup>3)</sup> 東北大, (<sup>4)</sup> 京都大学, (<sup>5)</sup> 名古屋大, (<sup>6)</sup> 宇宙機構/宇宙研

## Evaluation of a direction finding method using NWC transmitter signals observed by the Arase satellite

#Taiyo Ushiyama<sup>1)</sup>, Yui Umezawa<sup>1)</sup>, Yoshiya Kasahara<sup>1)</sup>, Shoya Matsuda<sup>1)</sup>, Mamoru Ota<sup>2)</sup>, Fuminori Tsuchiya<sup>3)</sup>, Atsushi Kumamoto<sup>3)</sup>, Ayako Matsuoka<sup>4)</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>5)</sup>, Iku Shinohara<sup>6)</sup>

(<sup>1)</sup>Kanazawa university, (<sup>2</sup>NIT(KOSEN), Toyama College, (<sup>3</sup>Tohoku University, (<sup>4</sup>Kyoto University, (<sup>5</sup>Nagoya University, (<sup>6</sup>ISAS/JAXA

Propagation direction of plasma waves is crucial for understanding the environment of the terrestrial inner magnetosphere. Analyzing the propagation characteristics of plasma waves, which change under the influence of the medium during the propagation process, leads to a better understanding of the three-dimensional plasma environment along the propagation paths. Several methods have been proposed to determine the wave normal angle (WNA) of plasma waves using electromagnetic field data obtained by scientific satellites. However, the estimation primarily requires the three components of the magnetic field. If one component is missing due to sensor degradation or other issues, it becomes difficult to perform the estimation using single plane wave models like the Means' method or the SVD method, which assume all three magnetic field components are available. Since October 2018, the Arase satellite has been unable to measure one component of the magnetic field due to the degradation of the onboard triaxial search-coil magnetometer. Therefore, it is necessary to explore other methods for estimating the WNA for the data measured after October 2018. This study aims to establish a reliable method to determine the WNA in an environment under only four components of the electromagnetic field (two components of electric field and two components of magnetic field) are available.

In this study, we evaluate the estimation accuracy of the MUSIC (Multiple Signal Classification) method by using the amplitude and phase information among electromagnetic fields calculated from the dispersion relation of plasma waves. Since the MUSIC method can estimate the WNA using smaller number of components due to the estimation principle, it is expected that it works with four components of the electromagnetic field. We apply this method to the waveform data measured by the waveform capture (WFC), which is one of the receivers of the Plasma Wave Experiment (PWE) on board the Arase satellite. We analyze the WNA of artificial signals from the NWC (North West Cape) transmitter in Australia and statistically evaluate the propagation characteristics to verify the validity of the estimation results. First, we define the accuracy of the estimated WNA as the angular width derived from the MUSIC spectrum in the zenith angle ( $\theta$ ) and in the azimuth angle ( $\phi$ ). These angular widths are determined within a range of -10 dB from the maximum value of the MUSIC spectrum. Next, using four observation events of the NWC signal during periods when all five electromagnetic field components were available, we draw scatter plots showing the absolute error between the four-component and five-component estimates on the horizontal axis and the accuracy of the four-component estimates on the vertical axis. We then determine the threshold for the accuracy of the four-component estimates that satisfies an absolute error within 10 degrees. Next, for events after October 2018, we derive four-component estimates where the estimated error is within 10 degrees after applying the above-mentioned threshold and investigate the relationship between amplitudes and WNAs, revealing a positive correlation between the signal amplitude and the stability of the WNA. Finally, we determine a typical WNA by taking a moving average of the sum of squares of the amplitudes with a 5-degree interval and normalized it by the observation time length. Investigating the relationship between the determined WNA and the magnetic latitude of the observation point, we find that the zenith angle ( $\theta$ ) of the WNA decreases from the transmission station towards the magnetic equator and then increases again towards the conjugate point.

In this presentation, we will show the statistical evaluation results of the estimation accuracy using the four electromagnetic field components from the NWC transmitter signals, along with a comparison to simulations conducted using ray tracing.

地球近傍の宇宙空間は内部磁気圏と呼ばれ、その環境の理解にプラズマ波動の伝搬方向は重要な情報となる。伝搬過程において媒質の影響を受け変化するプラズマ波動の伝搬特性を解析することは、伝搬経路に沿った3次元的なプラズマ環境の理解につながる。科学衛星による電磁界計測データからプラズマ波動のWNA (Wave normal angle) を求める様々な手法が提案されているが、推定には主に磁界3成分を要し、磁界センサの劣化等によって1成分が欠損した場合、Means法やSVD法のような磁界3成分を前提とした単一平面波モデルのアルゴリズムでは推定が困難となる。2018年10月以降、あらせ衛星は搭載された三軸サーチコイル磁力計の劣化により、磁界1成分が使用できない状態にあり、これ以後のデータについてWNA推定を行う方法の検討が必要である。そのため、本研究では電界2成分、磁界2成分の計4成分の観測情報のみで信頼性のある伝搬方向推定手法の確立を目的とする。

本研究では、電磁界間の振幅・位相情報をプラズマ波動の分散関係を用いて求め、MUSIC (Multiple Signal Classification) 法を利用してWNA推定を行う方法について、推定精度を評価する。MUSIC法は推定手法の原理上少ない成分

数でも推定が可能であるため、電磁界 4 成分でも推定できることが期待できる。評価にはあらせ衛星搭載のプラズマ波動・電場観測器 (PWE) の受信器の 1 つである波形捕捉受信器 (WFC) で取得された電界 2 成分、磁界 3 成分の波形データを用い、オーストラリアの NWC(North West Cape) 局からの人工信号の WNA 解析を行い、伝搬特性を統計的に評価することで、推定結果の妥当性を検証する。

まず、磁力線に対する WNA の天頂角を示す  $\theta$  方向、方位角を示す  $\phi$  方向における MUSIC スペクトルから、最大値-10 dB より得られる角度幅を推定角度に対する精度として定義する。次に、電磁界 5 成分が使用可能な期間の NWC 信号観測イベント 4 件より、電磁界 5 成分を用いた推定結果と 4 成分を用いた推定結果の絶対誤差を横軸に、4 成分を用いて推定した際の精度を縦軸にとった散布図を作成し、絶対誤差  $10^\circ$  以内となる 4 成分推定時の精度の閾値を決定する。次に 2018 年 10 月以降のイベントについて電磁界 4 成分推定を行い、前述した閾値を適用後に推定誤差が  $10^\circ$  以内となるデータについて、振幅-WNA の散布図を作成したところ、振幅が大きいほど WNA が安定する傾向があることを確認した。そこで、この散布図をもとに、振幅の 2 乗和を 5 度幅で移動平均をとり、観測時間で正規化することで、振幅を重みとした各イベントの最も支配的な WNA を決定した。最後に、すべてのイベントに対し、決定した WNA と観測地点の磁気緯度の関係を調査し、送信局から磁気赤道にかけて WNA が減少し、その後共役地点に向けて WNA が増加する傾向を確認した。

本発表では、NWC 局からの信号を用いた電磁界 4 成分での推定精度を統計的に評価した結果を、レイトレーシングによるシミュレーションとの比較とともに示す。