

ベイズ推定に基づく VLF 波動の伝搬ベクトル推定に関する研究

太田 守 [1]; 笠原 禎也 [1]; 後藤 由貴 [1]
[1] 金沢大

Study on direction finding method based on Bayesian inference

Mamoru Ota[1]; Yoshiya Kasahara[1]; Yoshitaka Goto[1]
[1] Kanazawa Univ.

Investigating characteristics of plasma waves observed by scientific satellites in the Earth's magnetosphere is the effective key to understand not only generation mechanisms of the waves but also a plasma environment which influences its generation and propagation conditions. In particular, direction finding of the waves is important for understanding the propagation characteristics of VLF waves. In order to find the directions, the wave distribution function (WDF) method was proposed[1, 2]. This method is derived from the concept that observed signals consist of a number of elementary plane waves and can be defined as wave energy density distribution. However, solving its equations is a so-called ill-posed problem and the solution is not determined uniquely, hence we must assume an adequate model as a solution. Although many models have been proposed until now[3, 4], we have to select the most optimum model depending on situations because each of the models has disadvantages as well as advantages. In the present study, we developed a new method for direction finding of the plasma waves measured by plasma wave receivers to solve problems of conventional methods. This method is based on Bayesian inference and its model parameters assume stochastic parameters.

Using computer-generated test data, we evaluated our proposed method, and compared with two conventional methods(MEM, PTM). Moreover, we studied the problem which may arise when applying the WDF method to real observed data. As a result, in the case of the noiseless data, our proposed method is almost correctly estimated not only the directions of the peaks but also the shapes of the WDF.

As a next step, we developed a new spectral analysis method based on compressed sensing[5]. This method assumes that data can be represented as sparse in frequency domain. As a result of numerical experiments, the method is very effective compared with a FFT using a window function, and it was shown that the method has both high frequency resolution and wide dynamic range. This method is applicable for data compression onboard a satellite and information extraction of observed data.

地球磁気圏内の科学衛星で観測されるプラズマ波動の特性の調査は、波動の伝搬機構だけでなく、励起・伝搬条件に影響を与えるプラズマ環境を理解するための重要な要素である。特に、VLF 波動の伝搬特性の把握のためには波動の伝搬方向が重要となり、伝搬方向の推定のために波動分布関数法が提案されている [1, 2]。この手法は観測される信号が複数の平面波から構成されているとみなし、それをエネルギー密度分布として表現する。しかし、この手法の求解は不良設定問題であるため解が一意に定まらず、解として適切なモデルを仮定する必要があった。これまでに多くのモデルが提案されてきたが [3, 4]、どのモデルも一長一短であるため解析対象に応じて適切なモデルを選択する必要があった。そこで、本研究では従来手法の問題点を克服するためにプラズマ波動観測器によって観測されるプラズマ波動の伝搬ベクトル推定手法を新たに開発した。本手法はベイズ推定に基づくものであり、そのモデルパラメータは確率変数として扱われる。

疑似データを用いて、提案手法の評価を行い、従来手法と比較を行った。更に、実観測データを波動分布関数法に適用した場合に起こりうる問題について評価・検討を行った。数値実験の結果、ノイズを含まない場合に提案手法が波源の到来方向だけでなく波源の広がりを含め良好な推定を行えることが分かった。

次に、我々は圧縮センシング [5] に基づく新たなスペクトル解析手法を開発した。本手法はデータが周波数領域においてスパースな表現が可能であることを仮定している。数値実験より、本手法が窓関数を用いる高速フーリエ変換に比べて非常に有用であり、また高い周波数分解能と広いダイナミックレンジを有していることが示された。またこの手法は衛星機上でのデータの圧縮処理や観測データからの情報抽出に応用が可能である。

参考文献

- [1] L. R. O. Storey and F. Lefeuvre, " The analysis of 6-component measurements of a random electromagnetic wave field in a magnetoplasma, 1, The direct problem ", Geophys. J. R. Astron. Soc., 56, 255, 1979.
- [2] L. R. O. Storey and F. Lefeuvre, " The analysis of 6-component measurements of a random electromagnetic wave field in a magnetoplasma, 2, The integration kernels ", Geophys. J. R. Astron. Soc., 62, 173, 1980.
- [3] F. Lefeuvre and C. Delannoy, " Analysis of random electromagnetic wave field by a maximum entropy method, " Annales des Telecommunications, vol.34, no.3-4, pp.204-213, 1979.
- [4] M. Yamaguchi, K. Hattori, N. Iwama, S. Shimakura, and M. Hayakawa, " A New Ground-Based Direction Finding Method Using a Linear Reconstruction of Wave Distribution Function of Magnetospheric VLF/ELF Radio Waves, " The transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, vol.76, no.11, pp.880-889, nov 1993.
- [5] E. J. Candes and M.B. Wakin, " An introduction to compressive sampling, " Signal Processing Magazine, IEEE, vol.25, no.2, pp.21-30, March 2008.