

VLF 波動の伝搬ベクトル推定手法の改良と評価

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

Improvement and Evaluation of Direction Finding Method for VLF Waves

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 and plasmasphere 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 plasma waves is most important for understanding these characteristics.

The wave distribution function (WDF) method was proposed for VLF waves in the Earth's magnetosphere/plasmasphere [1]. This method assumes that the observed signals are combinations of a continuum of superposed plane waves of different frequencies, propagating in different directions with no mutual phase coherence. In addition, this method also assumes that the observed signals are stationary and follow ergodic Gaussian random process with zero mean. Under these assumptions, the WDF method can estimate a WDF as directional distribution of wave energy density by using a spectral matrix which composes by cross spectra of observed signals. The WDF method is preferred when a wave source does not satisfy the plane-wave approximation or when it is widely extended. However, the WDF estimation is ill-posed problem, that is, the solution is not determined uniquely. Models as additional information for WDF must be needed to determine the solution uniquely. Many models have been proposed until now such as the Gaussian distribution model, and Markov random field model [2]. The estimation using these models works well if the sample number of observed signals is large enough to calculate spectral matrices exactly. Actually the number of sample observed by satellites is very few. We therefore must take into account that the spectral matrix which can be used for WDF estimation contains uncertainty.

To treat the uncertainty, we used the Bayesian inference, and we introduced probability density distribution which determines relationship between observed and theoretical spectral matrices. This introduction makes the WDF estimation enable to take into account the effect of sample number. We also studied Markov chain Monte Carlo (MCMC) methods as a Bayesian inference method for WDF estimation. Variational Bayesian method is also well known as a Bayesian inference method for complicated probability model. In this method, we need to get a proper class of approximate probability distribution. However, we cannot get it due to the complexity of probability distribution we set. We therefore must select MCMC methods, and evaluated the reliability and efficiency. Finally, we considered issues about the WDF method on the basis of results obtained by applying it to real data.

地球磁気圏及びプラズマ圏内の科学衛星で観測されるプラズマ波動の特性調査は、波動の伝搬機構だけでなく、その励起・伝搬条件に関わるプラズマ環境を知る上で重要である。特にプラズマ波動の到来方向は、これらの特性理解のために極めて有用な情報である。

磁気圏及びプラズマ圏内 VLF 波動の到来方向推定のために波動分布関数 (WDF) 法が提案されている [1]。この手法は、衛星で観測される信号が異なる周波数、到来方向でインコヒーレントな平面波の重ね合わせとして表されるとみなす。また、観測信号は、平均が 0 の定常ガウス過程に従うという仮定が課される。WDF 法では電場、磁場成分を含む観測信号のクロススペクトルにより構成されるスペクトルマトリクスを用いて、波動のエネルギー密度の到来方向分布 (WDF) を得る。WDF 法は、観測信号が平面波近似を満たさない波動や、広がった波源の到来方向推定手法として有用であるが、不良設定逆問題であるため情報を付加する何らかのモデルを仮定し、推定像を一意に定める必要がある。現在までにガウス分布モデルやマルコフ確率場モデルなど幾つかのモデルが提案されており、スペクトルマトリクスの計算に十分なサンプル数を用いることのできる場合には良好な推定が可能である。しかし、実際には衛星観測で得られるサンプル数は非常に少数であるため、推定にはその不確実性を考慮する必要がある。本研究では、この問題をベイズ推定により適切に取り扱い、理論的に導出されるスペクトルマトリクスと実測値との関係を示す確率分布を定義した。この確率分布はサンプル数を陽に取り扱うことができる。また、複雑な確率モデルのモデルパラメータ推定においては、変分ベイズ法とサンプリング法が良く知られている。本研究で扱う確率モデルの場合には変分ベイズ法の適用の際に必要な適切な近似事後分布形が定められないため、推定像の信頼性の観点からサンプリング法 [3] の適用を検討した。特にサンプリング法の一つであるマルコフ連鎖モンテカルロ法 [3] を用いたモデルパラメータ推定の信頼性と計算効率についての評価を行った。最後に、WDF 法を実観測データに適用し得られた推定結果から、手法の課題について考察する。

参考文献

- [1] Storey, L. R. O., and F. Lefevre, "The analysis of 6-component measurements of a random electromagnetic wave field in a magnetoplasma I. The direct problem," *Geophysical Journal International*, 56(2), pp. 255-268, 1979.
- [2] M. Ota, Y. Kasahara, and Y. Goto, "A new method for direction finding based on Markov random field model," *Radio Science*, July 2015.
- [3] Bishop, C. M., "Pattern Recognition and Machine Learning," Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 2006.