

南極自然 VLF 波動多点観測による電離層透過域の推定

尾崎 光紀 [1]; # 畑 勇治郎 [1]; 長野 勇 [1]; 八木谷 聡 [1]; 山岸 久雄 [2]; 佐藤 夏雄 [3]; 門倉 昭 [3]
[1] 金沢大・工; [2] 極地研・超高層; [3] 極地研

Estimation of the ionospheric exit point of natural VLF emissions by tri-unmanned ground stations in Antarctica

Mitsunori Ozaki[1]; # Yujiro Hata[1]; Isamu Nagano[1]; Satoshi Yagitani[1]; Hisao Yamagishi[2]; Natsuo Sato[3]; Akira Kadokura[3]
[1] Kanazawa Univ.; [2] Upper Atmos. Phys., Natl. Inst. Polar Res.; [3] NIPR

In order to estimate the dynamic structure of the ionospheric exit points of natural VLF whistler-mode waves such as polar chorus and auroral hiss, we have set up a low-power magnetic flux observation system at unmanned three sites [West Ongul (69.0 degrees latitude South, 39.5 degrees longitude East), Skallen (69.7 degrees latitude South, 39.4 degrees longitude East), and H100 (69.3 degrees latitude South, 41.3 degrees longitude East)] in Antarctica, which are located at the tips of a triangle of about 80 km.

This system has three VLF magnetic flux receivers installed at the three sites. Each receiver consists of two crossed vertical loop antennas to pick up NS and EW magnetic components and a multi-channel analyzer which measures continuously [with the time resolutions of 0.5 second at West Ongul, and 6 seconds at Skallen and H100] the mean power and phase difference of NS and EW components in 4 spaced frequency bands (500, 1 k, 2 k, and 6 kHz). The observational data at Skallen and H100 sites located distant from SYOWA station are transmitted to Kanazawa University, Japan, with quasi-real time by using the IRIDIUM communication system. The time accuracy among these three sites is kept by GPS. Three sets of receivers were successfully installed in December 2005 and January 2006. Since then our multipoint unmanned observation of natural VLF waves has been stably running.

The VLF emissions of magnetospheric origin propagating along the geomagnetic field lines (ducted propagation), penetrate down into the ionosphere, and are observed on the ground. The intensity and polarization distributions on the ground of down-going whistler-mode waves strongly depend on the locations of their ionospheric exit points. Down-going whistler-mode waves entering the earth-ionosphere waveguide above an observation site will generally appear to be right-hand polarization. At a distant observation site, the wave will appear as linear or left-hand polarization. Therefore, the ionospheric exit point and its spatial extent can be determined by the ground-based observations of VLF waves at multiple sites.

In this study, we apply the wave distribution function (WDF) method for the direction finding of the observed VLF waves. WDF method estimates the distribution of wave energy with the wave vector directions. In order to find a theoretical support to WDF estimation results, the distribution of the wave amplitude and polarization of the VLF waves injected as the down-going whistler-mode waves from the upper ionosphere is calculated by using the full-wave analysis. Combining the WDF results with the full-wave analysis of theoretical VLF wave distributions on the ground, we will discuss the dynamic structure of the ionospheric exit points.

極域自然 VLF 波動の電離層透過域の動的変動をとらえるために、2006年2月から2007年1月まで、南極昭和基地周辺の三つの無人観測点 [西オングル (S 69° 01' 04.7", E 39° 29' 51.8"), スカーレン (S 69° 40' 21.6", E 39° 24' 07.1"), そして H100 (S 69° 17' 44.9", E 41° 19' 04.6")] において、VLF 波動観測を行なっている。今回の我々の三つの無人観測点は、一辺を約 80 km とした正三角形の頂点となっている。

観測システムは、直交ループアンテナと MCA (Multi Channel Analyzer) によって構成され、太陽電池パネルと鉛蓄電池によって電力が供給される。MCA は、中心周波数を 500, 1 k, 2 k, 6 kHz とした 4 チャンネルよりなり、VLF 波動の磁界強度の時間平均値を高い時間分解能 (西オングルでは 0.5 秒サンプリング、Skallen そして H100 では 6 秒サンプリング) を確保しながら、連続的に観測を行なえる構成となっている。さらに、観測した磁界の偏波特性を得るために、直交ループアンテナの NS 方向と EW 方向成分の位相についても各チャンネルで観測を行なっている。こうして直交ループアンテナと MCA によって観測されたデータは、イリジウム衛星を介して金沢大学受信 PC に伝送され、日々最新のデータを取得できるようになっている。また、三つの観測地点の正確な時刻を把握するために、各観測システムには GPS レシーバを導入している。三つの無人観測システムはすでに 2005 年 12 月から 2006 年 1 月の期間に、無事南極に設置され、日々低ノイズで良質なデータを国内に送り続けてきている。

磁気圏に起源をもつ VLF エミッションは、磁力線に沿って (ダクト伝搬)、もしくはそれに沿わなく (ノンダクト伝搬) 電離層上部まで伝搬する。そして、ある条件のもとで下部電離層を透過したコーラスやヒスなどは地上で観測される。このようなホイスラモード波の電離層下降伝搬において、地上におけるその強度や偏波は、電離層透過域に強く依存することが分かっている。例えば、電離層透過域直下の観測点では、下降伝搬してきたホイスラモード波は、右回り偏波として捉えられるであろうし、さらに電離層透過域から遠方になるにつれ、直線、左回り偏波として検出されるであろう。したがって、自然 VLF 波動の地上多点観測から電離層透過域を特徴づけ、透過域を推定することが可能である。

多くの到来方向推定法の中でも今回は波動分布関数法に注目する。波動分布関数法は、観測点に到来する波動を無数の平面波の合成と考え、到来方向に対する下部電離層透過域の広がりを推定することができる。また、シミュレーション

による波動分布関数法の評価では、観測点天頂付近の電離層透過域に対し、その位置と広がりを高精度で推定できる報告が多数ある。そこで周波数 0.5 ~ 6.0 kHz に対し 1 辺約 80 km の三角形を形づくる観測点から得られる我々の観測データに波動分布関数法を適用すれば、実際の電離層透過域を精度よく推定できると期待される。

今回の発表では、この南極無人多点観測により得られたデータを用いて、波動分布関数法を用いた電離層透過域の推定結果を報告する。また、実観測データより推定された電離層透過域を評価するため、電離層上層のダクトからの VLF 放射について full-wave 解析を行う。full-wave 解析では、電磁波の異方性不均質媒質である電離層中の振る舞い、ならびに大地からの反射、地球磁場の影響を含めた理論解析が可能である。そのため、full-wave 解析による理論的解釈を含めた波動分布関数法の推定結果について考察する。