

多重反射波を考慮した地上観測ELF/VLF波動

分布関数推定法

*酒井 智弥 [1], 島倉 信 [1]

千葉大学大学院自然科学研究科[1]

Ground-based wave distribution function method for ELF/VLF waves, taking account of multiple rays in Earth-ionosphere waveguide

*Tomoya Sakai [1], Shin Shimakura [1]

Graduate School of Sci. and Tech., Chiba Univ.[1]

The wave distribution function (WDF) method is an important approach to obtain the information concerning the scale and location of the ionospheric exit region of the magnetospheric ELF/VLF waves, while the other ground-based direction finding techniques so far proposed provide only the direction and polarization of an assumed single plane wave. Wave source model of the WDF method taking account of the multiple rays in the Earth-ionosphere waveguide is briefly discussed. The waveguide effect has also been studied based on the multiple signal classification (MUSIC) method. The simulation results of both methods are shown to confirm the improvement of the source model. The inversion algorithm of integral equations of the WDF and wave polarization in the integration kernels is also reconsidered.

雷放電を起源とし、磁気圏プラズマ中を伝搬するホイッスラ波や、磁気圏に起源をもつヒス、コーラスなどに代表されるELF/VLF帯の電磁波は、磁気圏ダクトに補足され右廻り円偏波モードで伝搬し、電離層を透過後、地上で観測されるものと考えられる。従って、これらの波動の電離層透過域の情報はダクトの位置や大きさ、地球磁気圏プラズマの構造やELF/VLF波動の発生伝搬機構を解明する上で極めて重要である。

磁気圏を伝搬路とするこれらの波動の電離層透過点位置を地上観測によって推定する方法は種々存在するが、それらの多くは到来する波動を単一平面波と仮定し、観測点から見た波動の到来方位を推定するものである。通常、波動は地上1地点における水平磁界2成分と垂直電界1成分の計3成分として記録される。また、波長が数十～数百kmにも及ぶため、距離を離れた複数地点で観測をしても電離層の同じ領域を透過した波動を同時に捉えることは非常に困難である。よって、到来方位推定は本質的にはわずか3成分のデータから到来

方位、偏波を推定しなくてはならない極度に条件の悪い問題であるといえる。単一平面波の仮定は、悪条件の下でも推定を可能にするためのモデルの単純化であり、複数の方位から同時に波動が到来する場合に対応できないこと、および到来波動が電離層を局所的に透過し、単一平面波に近似できる場合でなければ正しく推定されるとは限らないことが問題である。

電離層を透過する領域が単一であっても大地・電離層間の多重反射波が存在し、複数の方位から波動が到来する。そこで我々はMUSIC (multiple signal classification)法を応用した推定法を提唱してきた。この手法では大地・電離層間の伝搬路をモデル化し、到来波動を直接波(単一平面波)だけでなく多重反射波の重ね合わせとすることで電離層透過点を波動の到来方位を偏波と共に推定できることを示してきた。この推定法を用いて多重反射波の影響を考察した結果、電離層で反射する度に受ける偏波変換によって推定偏波と方位角に現れる誤差を改善できることが判明した。しかしながら、このMUSIC法を応用した推定法は従来法の単一平面波のモデルを有限個の平面波に拡張したに過ぎない。波数が分布して電離層の広い領域を透過する場合は透過域の中心の方位が推定されることが確認されているが、透過域の広がりを求めることはできない。

そこで波数空間における波動エネルギーを推定可能な波動分布関数推定法(WDF法)を再検討する。従来のWDF法では到来する波動を無数の素波の集合として扱うことで電離層透過域をエネルギーの集中した領域として捉えることができるという特徴がある一方、多重反射波の影響が考慮されていないことや偏波の推定方法が確立していないことが問題となっている。MUSIC法でこれまでに有効性を確認してきた大地・電離層間伝搬路のモデルによる推定法の改良をWDF法にも適用することで、より正確な波動エネルギー分布が得られると期待する。本発表ではこのWDF法の改良とその効果を主に議論する。WDF法では素波のエネルギー分布関数についての積分方程式を逆問題として解く。改良においてはまず、その積分核を変更し、改良後の積分方程式の解が従来通り最大エントロピー法によって抽出されるかどうかを確認する。また、観測される直接波の偏波が磁気圏伝搬モードから右廻り円偏波を中心に確率分布しているという先見情報を利用して、積分核に含まれる偏波パラメータを推定する方法についても検討する。