

大地・電離層伝搬路モデルを含むELF/VLF波動の電離層透過域推定法

Estimation of Ionospheric Exit Region of VLF Waves Including Earth-ionosphere Waveguide Effect

酒井 智弥 [1], 島倉 信 [1], 鷹野 敏明 [1]

Tomoya Sakai [1], Shin Shimakura [1], Toshiaki Takano [2]

[1] 千葉大・自然科学

[1] Graduate School of Sci. and Tech., Chiba Univ., [2] Graduate School of Sci. and Tech., Chiba Univ.

大地・電離層間伝搬路モデルを含むMUSIC法を考案し、その有効性を確認した。多重反射波はELF/VLF波動の電離層透過域推定において天頂付近に推定結果を得る原因のひとつと考えられる。

多重反射波を考慮に入れた MUSIC法では電離層下端において波動のエネルギー分布の中心点が推定されることがシミュレーションによって確認されている。

また、1986年5月に南極基地Halley Bayで観測されたVLFヒスの到来方位推定を試みている。直接波のみの方位を求める従来の推定法では安定した解が得られなかったのに対し、考慮に入れる反射波の数を変えると汎関数に波動の到来を表す鋭い発散点が現れ、推定が可能となることがある。

雷放電や磁気圏に起源をもつELF/VLF波動は、磁気圏においてダクトとよばれる電子密度の高い領域に沿って伝搬し、電離層を透過後、地上にまで到来すると考えられている。地上で観測されたこれらの波動は地球磁気圏内伝搬路の構造や動態を探るための重要な情報源であり、電離層透過域を波動の到来方位から推定する手法が必要となる。

多くの到来方位推定法の中で特に波動エネルギー分布関数推定法(WDF法)は、到来する波動を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。

しかしながら解析結果には電離層透過域が常に観測点の天頂付近に集中する傾向が多く見られる。これはWDF法以外の推定法にも見られる問題であるが、その理由は未だ明らかになっていない。

そこで本研究では大地・電離層間伝搬路における多重反射に注目する。多重反射波は電離層透過域からの直接波よりも天頂よりに観測点へ入射するため、これが方位推定に与える影響を考察する必要がある。また、MUSIC法(multiple signal classification)と呼ばれる到来方位推定法に大地・電離層間の伝搬効果を取り入れた手法を考案し、従来のWDF法と比較する。MUSIC法では到来する波動を有限個の平面波と仮定するため、WDF法とは異なり電離層透過域は領域ではなく点として推定される。しかし、そのモデルの簡便性から、モードベクトルと呼ばれる観測系を表す既知の関数の線形結合で大地・電離層間伝搬路モデルを表現することができる利点がある。また、地上における水平磁界2成分と垂直電界1成分の計3成分観測によるVLF波動の到来方位推定にMUSIC法を適用した場合、波源(電離層透過域)がひとつならば到来方位と共に偏波の推定も可能である。電離層における反射の際に行われる偏波の変換を推定モデルに含むことで、付随する多重反射波を考慮した直接波の到来方位推定が実現できる。

多重反射波を考慮に入れたMUSIC法では電離層下端において波動のエネルギー分布の中心点が推定されることがシミュレーションによって確認されている。さらに多重反射波の影響を考慮しない従来の推定法では偏波と共に方位角の推定にも大きな誤差が現れることが判明した。このことは、多地点観測の方位のみの推定による電離層透過域推定を行った場合、多重反射波の影響を考慮しなければ推定に誤りが生じる恐れがあることを示唆している。

このような有効性の確認の上で現在、1986年5月に南極基地Halley Bayで観測されたVLFヒスの到来方位推定を試みている。ただし、MUSIC法の原理上必要となる雑音のスペクトルマトリクスを信号と異なる周波数帯から抽出している。結果として、直接波のみの方位を求める従来の推定法では安定した解が得られなかったのに対し、考慮に入れる反射波の数を変えると汎関数に波動の到来を表す鋭い発散点が現れ、推定が可能となることがある。これは電離層透過域が見通し外で直接波および一部の反射波が到来しない観測データに直接波を含むMUSIC法のモデルを適用したことが原因のひとつと考えられる。また直接波が到来している場合についても、磁気圏伝搬機構などによって波動の電離層の透過角が小さいという制限があり、多重反射波の方が直接波より強く観測されることも考えられる。方位推定の際にモデルに入れるべき反射波を決定する手法を確立するため、電離層透過モデルを含めた方位推定法を検討する。