

磁気圏ダクトを伝搬した VLF 局電波の地上到来方位推定

Ground-based direction findings of VLF wave propagating through the magnetospheric duct

酒井 智弥[1], 宇治川 智[2], 島倉 信[3]

Tomoya Sakai[1], Satoshi Ujigawa[2], Shin Shimakura[3]

[1] 千葉大, [2] 千葉大・自・電子機械, [3] 千葉大・自然科学

[1] IMIT, Chiba Univ., [2] Sci. and Tech., Chiba Univ., [3] Graduate School of Sci. and Tech., Chiba Univ.

VLF 局電波の共役点観測は磁気圏・電離圏 VLF 波動の伝搬機構, 磁気圏プラズマ動態の研究にとって非常に重要である。本研究では中緯度磁気共役点間における送受信実験で用いられた VLF 電波に地上到来方位推定法を適用し, 磁気圏ダクトの動態を考察する。また, ダクトから地上へ向かって放射される波動の電離圏伝搬シミュレーションによって推定結果の有効性を評価する。

解析対象は, 1989 年 8 月 19 日にロシアのハバロフスク(磁気緯度 39°N)から送信され, オーストラリアのセドゥナ(40°S)で受信された, 23.9kHz の局電波である。磁気圏ダクトを伝搬した波動に対して到来方位推定を適用することで, 波動が電離層を透過する領域を推定することができる。受信信号は経路による遅延時間が異なる 2 つの波動の混合となるが, 送信信号が 1 秒送波, 3 秒停波を繰り返す断続的な 23.9kHz の正弦波であるため, 磁気圏を伝搬した波動のみから信号が構成される部分を 4 秒間隔に得て解析することができる。

適用した到来方位推定法は MUSIC 法および波動分布関数(WDF)推定法である。MUSIC 法は観測点への到来波を単一平面波に近似し, 到来方位および偏波を推定する。電離層透過波のように到来方向に広がりがある場合は透過域の中心付近が推定されることが確認されている。MUSIC 法による入射角推定値は波動が観測点の天頂付近から到来していることを示しており, 到来方位が約 30 秒の周期で振動していることがわかる。また, 推定された偏波には非ホイットラモード(右回り円偏波)があり, 右旋から左旋へ切り換わる現象が見られた。

一方, WDF 法では波数空間における波動分布を推定することによって電離層透過域を波動分布が集中した領域としてとらえることができる。電離層透過域は観測点天頂を覆うように存在し, 分布の中心が東西方向に約 30 秒の周期で振動している。また, 波動が約 20 秒周期で強弱していることがわかる。

一般に地上到来方位推定結果は, 推定法が仮定するモデルに起因した系統誤差を含んでいる。そこで本研究では, 磁気圏ダクトから放射された VLF 局電波が電離層を貫通して地上へ到達する伝搬を Full-wave 法で解析し, 系統誤差を含む推定結果から物理現象を考察する。Full-wave による解析結果では, 電離層の異方性により電離圏を極方向に傾いて波動が下降伝搬するため, 地上の電磁界分布は入射高度における分布よりも 200km 程度極寄り(南寄り)に位置している。地上電磁界強度の最大点から数 100km 以内の地上観測点からはどの到来方位推定法でも電離層下端における透過領域の中心位置を推定できることを確認した。このことから, セドゥナ観測データの解析結果は観測点天頂付近にある波動の電離層透過域を正しく推定したものであるといえる。また, 東西方向の電離層透過域の振動は磁気脈動 PC3 に関連する磁気圏ダクトの振動によるものと考えられる。また, ホイットラモードと同じ左廻り偏波が推定されるのは電磁界分布の中心の近傍のみであり, 電離層透過域が移動することによって観測点の位置がこの近傍領域外になることが MUSIC 法の偏波推定誤差の原因であると考察する。