

VLF 局電波の電離層透過域の動態解析

Dynamics of ionospheric exit region of VLF transmitter waves

宇治川 智[1], 酒井 智弥[2], 島倉 信[2]

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

[1] 千葉大・自・電子機械, [2] 千葉大・自然科学

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

本研究の目的は VLF 帯送信局による送信電磁波を地球磁気共役点にある受信局で受信することで得られたホイ斯拉モード伝搬信号を解析し到来方位推定することで、電離層透過域の動態を明らかにしようとするものである。解析対象は 1989 年に旧ソ連の Khabarovsk の VLF 送信局(地磁気緯度 39 度)から送信され、オーストラリアの Ceduna(地磁気緯度 40 度)で観測された 23.9kHz の局電波を用いる。波動分布関数法(WDF 法)、または MUSIC 法を適用し、到来波動の電離層透過域を推定する。WDF 法では電離層透過域がエネルギー分布として推定され、複数波源に対しても有効である。一方、MUSIC 法では大地電離層間伝搬効果を考慮した電離層透過点推定が可能である。

電離層を透過し地上観測されるホイ斯拉波等は一般的に地球磁場に捉えられた電子群の生成するダクトに沿って伝搬するといわれている。しかし、ダクトの存在は明らかにされたものの全てのホイ斯拉波がダクト伝搬かどうかはわかっていない。特に低緯度でのホイ斯拉波がダクトに捕らえられて伝搬するには数百%のエンハンスメントファクタが必要であり、またそのようなダクトの確認はなされていない。そのために低緯度でのホイ斯拉波の伝搬様式はノンダクト伝搬であると考えられている。電離層透過波動は磁気圏の電子密度等の情報を持っており、電離層透過域を推定することにより磁気圏の動態解明にとって極めて重要な情報を得ることができる。

本研究の目的は VLF 帯送信局による送信電磁波を地球磁気共役点にある受信局で受信することで得られたホイ斯拉モード伝搬信号(水平磁界 2 成分、垂直電界 1 成分)を解析し到来方位推定することで、電離層透過域の動態を明らかにしようとするものである。

方位推定の対象となる電波には局電波、及び空電と呼ばれる自然雑音が考えられるが、本研究対象としては十分長く定常的な観測データが得られることから 1989 年に旧ソ連の Khabarovsk の VLF 送信局(北緯 48 度 30 分、東経 133 度 51 分、地磁気緯度 39 度)から送信され、磁気共役点であるオーストラリアの Ceduna(南緯 32 度 07 分、東経 134 度 51 分、地磁気緯度 40 度)で観測された 23.9kHz の局電波を用いる。ただし、到来波動には磁気圏をホイ斯拉モードで伝搬し電離層を透過してきたもの他に、大地電離層間の導波管効果によって到来する波動も含まれている。導波管モードに比べて、ホイ斯拉モード伝搬波動は時間遅れを持って到来するので観測データの前後にはそれぞれの単一のモード分が観測される。到来方位推定の解析対象はホイ斯拉モードで伝搬し到来する波動のみであるので導波管モードのデータをもとに混合モードからのホイ斯拉モード到来波動の抽出を行う。

方位推定法としては波動分布関数法(wave distribution function method;WDF 法)、または MUSIC 法(multiple signal classification) を用い、到来波動の電離層透過域を推定する。WDF 法は観測信号 3 成分の自己及び、相互スペクトル密度関数の推定値をもとに到来方位を推定する方法であり、電離層透過域はエネルギー分布として推定され、複数波源に対しても有効である。この解析法は積分方程式で表され、最大エントロピー法(MEM)を用いて推定する。この積分方程式の積分核は偏波依存性を持つがホイ斯拉モード到来波動を対象としているので円偏波であると仮定し推定を行う。また、偏波に対する先験情報が推定結果に及ぼす影響も考察する。一方、MUSIC 法は有限個の平面波の到来を仮定し方位推定を行うので、大地電離層間伝搬効果を考慮した電離層透過点推定が可能である。

これらの手法で推定された電離層透過域の時間変動を示し、伝搬機構を議論する。