

## 電離圏における HF 帯電波の正常波と異常波の伝搬経路と減衰計算

#阿部 祥大<sup>1)</sup>, 中田 裕之<sup>1)</sup>, 細川 敬祐<sup>2)</sup>, 大矢 浩代<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 千葉大学大学院融合理工学府, <sup>2)</sup> 電気通信大学大学院

### Calculation of propagation paths and attenuation of the ordinary and extraordinary modes for HF radio waves in the ionosphere

#Shota Abe<sup>1)</sup>, Hiroyuki Nakata<sup>1)</sup>, Keisuke Hosokawa<sup>2)</sup>, Hiroyo Ohya<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School of Science and Engineering, Chiba University, <sup>2)</sup>Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications

When radio waves propagate through the ionosphere, the propagation path of the radio wave varies with time since the refractive index is determined by the distribution of electron density. Additionally, the radio waves propagating through the ionosphere are attenuated by collisions between particles. This attenuation arises from the movement of electrons in the plasma, driven by the radio wave's electric field, leading to collisions with neutral particles and ions in the ionosphere. In this study, we have calculated the attenuation of High Frequency (HF) radio waves, considering the effect of the geomagnetic field.

In calculating the propagation paths of radio waves, the ray-tracing method was employed. Considering the effect of geomagnetic field, radio waves in the ionosphere propagate in two modes: Ordinary mode (O-mode) and Extraordinary mode (X-mode). We conducted calculations of attenuation of radio waves propagating through the ionosphere. The primary factor of this attenuation is collisions between particles and can be calculated by integrating the absorption coefficient  $\kappa$ , which is determined by the imaginary part of refractive index, along the propagation path. Assuming the comparison with HF Doppler observations, we calculated the attenuation in the propagation between Chofu(transmitter) and Sugadaira(receiver). The calculation results showed that the attenuation in the ionosphere during the daytime in equinoctial seasons is significant, with the values of about 10 dB for O-mode and 30 dB for the X-mode. The received signal strength was estimated by superimposing the O-mode and X-mode and then compared with that obtained by HF Doppler observations. As a result, a similar trend was obtained between the calculated and observed values with an error of about 8 dB .

In the presentation, detailed examinations of propagation characteristics for each mode and the received signal strength considering ionospheric attenuation, will be discussed.

電波が電離圏中を伝搬する際、電離圏の屈折率は時々刻々と変化する電子密度分布により決まるため、電波の伝搬経路も時刻によって異なる。また、電離圏中を伝搬する電波は粒子同士の衝突により減衰が生じる。これは、電波の電場によってプラズマ中の電子が動き、この電子が電離圏中の中性粒子やイオンに衝突することによって生じる。本研究では地磁気を考慮した HF 帯電波の減衰の計算を行った。

電波の伝搬経路の計算にはレイトラッキング法を使用した。地磁気の影響を考慮すると、電離圏中の電波は 2 つのモード（正常波・異常波、以下それぞれ、O-mode・X-mode）で伝搬する。本研究では電離圏中を伝搬する 2 つのモードの電波の減衰についてそれぞれ計算を行った。この減衰の主な要因は粒子同士の衝突であり、屈折率の虚数部から求められる吸収係数  $\kappa$  を伝搬経路に沿って積分することによって計算できる。HF ドップラー観測との比較を想定し、送信点を調べ、受信点を菅平として送受信点間での電波伝搬の際に生じる減衰の計算を行った。その結果、春秋の昼に減衰が大きく、その減衰量は正常波では約 10dB、異常波では約 30 dB という結果を得た。また、計算により得られた正常波・異常波を合成した際の受信強度を算出し、HF ドップラー観測により得られた受信強度と比較をした。その結果、計算と観測で似た結果が見られ、その差は約 8 dB であった。

発表では、各伝搬モードの伝搬特性を詳細に調べることと電離圏での減衰量から受信強度を算出し、実際に観測された電波の受信強度との比較を行い、その結果について紹介する。