

## Full Wave 法による北極域電離層中の MF 電波伝搬特性の研究

## Study of the characteristics of MF radio wave propagation in the north polar ionosphere with Full-Wave method

# 村上 智[1], 石坂 圭吾[2], 西尾 知浩[3], 岡田 敏美[3], 長野 勇[4], ジョセフ ホーキンス[5], 松本 紘[6], 宮澤 保夫[7]

# Satoshi Murakami[1], Keigo Ishisaka[2], Tomohiro Nishio[3], Toshimi Okada[4], Isamu Nagano[5], Joseph Hawkins[6], Hiroshi Matsumoto[7], Yasuo Miyazawa[8]

[1] 富山県大・工・電子情報, [2] 富山県大, 工, 電子情報工, [3] 富山県大・工・電子情報, [4] 金沢大・工, [5] アラスカ大学学生ロケットプログラム, [6] 京大・宙空電波, [7] 宮澤グループ

[1] Electronics and Informatics, Eng., Toyama Pref. Univ., [2] Electronics and Informatics, Toyama Pref. Univ., [3] TPU, [4] Electronics and Informatics, Toyama Pref. Univ., [5] Kanazawa Univ., [6] Electrical Engineering, Alaska Univ.

ASRP, [7] RASC, Kyoto Univ., [8] Miyazawa Group

現在電離層の標準的な電子密度分布を知る指標として国際標準電離層(International Reference Ionosphere : IRI)モデルが用いられている。しかし、現在行われている MF レーダやノーズコーン開頭式のロケットによる観測では高度 65km 以下の正確な電子密度を観測することは困難であるため、IRI モデルにおいても高度 65km 以下の電子密度は記述されていない。そこで、北極域の高度 65km 以下の電離層下部領域における電子密度分布調査を目的としたアラスカロケット実験が、2002 年 3 月にアラスカ・ポーカーフラットロケット実験場にて行われる。電子密度の調査は、アラスカ・フェアバンクス市内で受信可能な 257kHz の無線航行用ビーコン及び 660kHz, 820kHz の放送波の地上 - 電離層間の伝搬特性をロケットによって観測し、得られた伝搬特性を解析することによって電子密度分布を推定する MF 電波法、バイアス電圧の印加された電極を用いて電子及びイオン密度に依存する電子電流及びイオン電流を計測するラングミュアプローブ電子電流計測法の 2 つの方法を用いる。そのために、観測機器としてロケットには MF 電波受信器及びラングミュアプローブ電子電流計測装置(DC プローブ電流計測装置)が搭載される。

本研究では、電子密度分布を仮定して Full-Wave 計算法を用いたシミュレーションにより中波帯電波の地上 - 電離層間の伝搬特性を求める。これにより、高度 65km 以下の領域に存在すると考えられる電子が電波の伝搬へ与える影響を考察し、またロケット搭載用 MF 電波受信器設計に必要な基礎データを提供する。そして、実験後、得られた MF 帯電波の伝搬特性と Full-Wave 計算法により求めた伝搬特性が一致するように電子密度分布を修正・推定する。

Full-Wave 計算では電波伝搬特性を調査する場所、時間、電離層中の電子密度の高度分布及び中性粒子と電子の衝突周波数などの入力パラメータが必要である。本研究では、電子密度の高度分布以外の入力パラメータは地理的条件、COSPAR 国際標準大気モデル、IGRF2000 モデルを用い、実験日時を 2002 年 3 月 1 日 12:00LT として計算を行った。さらに地上での電波強度はアラスカ・ポーカーフラット実験場における電波受信実験の結果から決定する。そして Full-Wave 計算において電子密度の高度分布のみを変化させ、電子密度の高度分布と電波伝搬特性の関係を調べる。ここでは高度 65km 以下の電子密度分布を変化させる。

高度 65km 以下における電子密度の高度分布の影響を確認するために、3 つの異なる電子密度の高度分布を仮定して電波の伝搬特性を求め比較を行った。電子密度は高度 65 ~ 100km の範囲において IRI モデルを共通に用い、高度 40 ~ 65km の範囲において(1) IRI モデルから得られる高度 65km の位置における電子密度の値から高度 40km まで指数関数的に単調減少すると仮定したもの、(2) 高度 65km と同様の電子密度の値が高度 40km まで続くと仮定したもの、(3) 高度 40 ~ 65km まで電子が存在せず高度 65km から電離層があると仮定したものの 3 つを用いた。その結果、257kHz の電波の伝搬特性において、(2)の特性は(1)に比べて全体的に 1 ~ 2dB 程度減衰しており、特に高度 60 ~ 70km の領域において顕著に差があらわれた。また、(1)の特性は(3)に比べて高度 40 ~ 75km の領域において 2dB 減衰しており、更に高度 75 ~ 89km の領域に生じる定在波のパターンが大きく異なった。この様に、65km 以下の電離層下部領域における電子密度の高度分布が電波の伝搬に影響を与えることが確認できた。

次に、実際の電子密度分布に近いと考えられる(1)の分布を仮定した場合の電波の伝搬特性を求め、ロケットに搭載する受信器に必要な最小感度とダイナミックレンジについて検討を行った。257kHz の電波を例に取ると、地上における電波の強度は 64dB  $\mu$ V/m、電離層中における完全反射時の強度及び定在波強度はそれぞれ 19dB  $\mu$ V/m、10 ~ 30dB  $\mu$ V/m である。これらを十分に観測するためには受信器の最小感度は 10dB  $\mu$ V/m、ダイナミックレンジは 60dB 必要である。