

R005-P17

ポスター 3 : 9/26 AM1/AM2 (9:00-12:30)

HF ドップラー観測システムによる電離層 FM-CW 距離測定を試み

#並木 紀子¹⁾, 細川 敬祐¹⁾, 野崎 憲朗¹⁾, 坂井 純¹⁾, 富澤 一郎¹⁾, 有澤 豊志¹⁾

¹⁾ 電通大

Trial of Ionospheric FM-CW Distance Measurement by HF Doppler Observation System

#Noriko Namiki¹⁾, Keisuke Hosokawa¹⁾, Kenro Nozaki¹⁾, Jun Sakai¹⁾, Ichiro Tomizawa¹⁾, Toyoshi Arisawa¹⁾

¹⁾The University of Electro-Communications

Observations of ionospheric disturbances using the High Frequency Doppler (HF Doppler: HFD) sounding have been carried out in various latitudes since the early 1960s. In Japan, observations have continued for the past ~50 years, and the Doppler shifts imposed at the time of reflection at the ionospheric E and F regions have been used to study traveling ionospheric disturbances (TIDs), sporadic E (Es), and various ionospheric phenomena caused by energy input from the magnetosphere or lower atmosphere. The University of Electro-Communications (UEC) started HFD observations using the standard radio JY (Communications Research Laboratory) in 1977, and has conducted multipoint observations by operating a number of receivers at multiple stations in Japan. After the stop of HF JY transmission, in order to continue ionospheric researches using HFD, the experimental radio transmission station JG2XA was newly established in 2001 which employs radio waves at 5006 kHz and 8006 kHz, which are close to the frequencies used by JY. An overview of the HFD project data from the experiments are available at "<http://gwave.cei.uec.ac.jp/~hfd>".

Since the beginning of this transmitting station, CW for Doppler observation and Morse code as an identification signal for the transmitting station are transmitted. The Doppler shift from the target is obtained by receiving CW reflected at the ionosphere, which has a reflection surface in a specific electron density region. However, which reflection mode of the target resulted in the data was often determined by empirically or through comparison with another observation.

The following requirements are needed to improve the transmitter system: 1) need to be consistent with the existing observation data, 2) need to measure the reflection altitude quantitatively with a distance resolution of several kilometers, and 3) need to meet domestic radio regulations to obtain an additional radio wave license.

To measure the propagation distance, FM-CW is considered with a sweep range of 150 kHz and repetition of 20 Hz (Namiki et al., JpGU 2022). Frequency and time will be synchronized between transmitter and receiver precisely via GPS. An indoor experiment was conducted by transmitting conventional CW and additional FM-CW signal together. Both ranging and Doppler signal were detected simultaneously by a receiver with an additional sweep frequency converter (Namiki et al., SGPSS, 2022).

An addition of the FM-CW radio type and a change of the transmitting system were approved in March 2023. Transmission with the new system has been operational and the received data is being compared with the previous Doppler data. Since the start of the operation of the new system, -3 mHz steady deviation has been observed for both the 5006 and 8006 kHz transmission. This frequency bias is attributed to the frequency generator in the new system and is confirmed to be negligible for usual Doppler measurement within ± 4 Hz Doppler range (Namiki et al., JpGU, 2023).

If we measure the ionospheric height at a distance of about 80-570 km with our FM-CW ranging technique, the frequency of the baseband signal at the receiver side will range from 1.6 kHz to 15 kHz, which is far from the Doppler frequency range of ± 4 Hz. There is a need for receiving system different frequency processing to handle the ranging signal. We report the results of a study of data processing method for the coexistence of new FM-CW ranging and conventional CW Doppler observation.

短波ドップラー (HF Doppler: HFD) 法を用いた電離層擾乱の観測は、1960年代から様々な緯度帯において継続的に行われてきた。日本においても、過去50年ほどにわたって観測が継続され、電離圏 E、F 領域からの反射波に印可されたドップラーシフトを用いて、伝搬性電離圏擾乱やスプラディック E 現象、磁気圏もしくは下層大気からのエネルギー流入に伴う変動の研究が行われてきている。

電気通信大学では、1977年から短波標準電波 JY (通信総合研究所) を利用した HFD 観測を開始し、反射波を国内の複数点で受信することによる多点観測を実施してきた。短波 JY が廃止された後、2001年からは、HFDによる電離圏研究の継続のために、従来使用していた周波数に近い 5006 kHz と 8006 kHz の連続波 (Continuous Wave : CW) を送信する実験局 JG2XA を設置し、送受信局の運用を続けている。HFD プロジェクトの概要と測定データは "<http://gwave.cei.uec.ac.jp/~hfd>" にて公開されている。当設備では初期より、観測用の CW と送信局の識別信号として

のモールス信号が送信され、見かけ上特定の電子密度領域での反射面をもつ電離圏で反射された CW を受信して、ターゲットからのドップラーシフトが得られている。しかしながら、そのデータがどの反射モードのターゲットから生じた結果であるのかは、経験的に推測するか別の観測データとの比較で決定することが多かった。

送信設備改良への要求としては、(1) 従来の観測データとの整合性がとれること、(2) 従来経験的に推測していた現象の高度を、周波数ごとに異なる見かけの反射高度として数 km の距離分解能で定量的に測定すること、(3) 国内無線局の基準を満たして電波型式追加と構成機器変更の認可を取得すること、が挙げられた。

そこで、従来設備のデジタル化と高精度化への置き換えに合わせ、観測システムへ測距機能を追加するため電波高度計として普及している低出力でも感度の得られる FM-CW 型式の追加を検討した。GPS で離れた送受信点の時刻同期をとり、HF 帯 FM-CW による電離圏の距離測定を行うために、ターゲットの出現高度と仮の変動速度から見積もって 150kHz の帯域を 20Hz で掃引することを検討した (Namiki et al., JpGU, 2022)。FM-CW による電離圏距離測定の検討を元に、室内で現行の受信システムにミキサを追加した疑似距離測定実験を行い、現在ホモダイン検波で動作している CW ドップラー受信システムに物理的に装置を追加したヘテロダイン検波であっても、CW と FM-CW の同時観測が可能であることを確認した (Namiki et al., SGEPPS, 2022)。

この間、新送信設備のスプリアス基準を満たす変更工事を施し、2023 年 3 月に FM-CW 電波型式の追加と設備一式の更新が正式に認められた。新送信設備の実運用が開始され、新旧切替の前後で従来のドップラー観測データとの比較を行ったところ、複数の受信点と周波数で -3mHz の定常的なずれが認められたが、送信機の基準クロックがルビジウムから GPS へ置き換わった影響と考えられた。± 4Hz 範囲のドップラーシフトを観測するうえでは、無視できる程度の変化であることを確認した (Namiki et al., JpGU, 2023)。送信機の基準信号としてルビジウムと GPSDO を比較した結果、周波数発生装置内のバイアスであることが判明した。送信設備の改良は段階的に進められ、現在は CW を常時発信しながら FM-CW とモールスの送信を自動的に定時切替装置や保護装置の追加に取り組んでいる。距離測定のためには、送信機側の電波追加と同時に、受信機側の設定変更も必要とされる。実空間を飛来した電波の予測される高度は 80-570km 程度となることから、距離が周波数に変換された場合 1.6kHz から 15kHz の値域をとることが想定される。現在 ± 4 Hz を表示するクイックルックとは別の処理を施したうえで可視化し、距離情報を抽出する仕組みが求められている。受信アンテナ系統は共通のものを利用し、150 kHz 掃引の FM-CW と従来の CW ドップラー観測とを共存させるためのデータ処理方法を検討した結果について報告を行う。