

R005-40

B会場：9/25 PM2 (15:45-18:15)

17:45~18:00

## HF ドップラー観測を用いた異なる経路に沿って伝搬した地震に伴う電離圏擾乱の解析

#清水 紘平<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, (<sup>2)</sup> 電通大)

### Analysis of ionospheric disturbances propagating along different paths due to earthquakes using HF Doppler observations

#Kohei Shimizu<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 Communication Engineering and Informatics, University of Electro-Communications)

It is known that large-scale natural disasters such as earthquakes, tsunamis, and volcanic eruptions generate atmospheric waves, which cause ionospheric disturbances. The generation mechanisms of coseismic ionospheric disturbances can be classified into the following two categories.

- (a) Rayleigh waves propagating on the earth's surface from the epicenter excite acoustic waves that reach the ionosphere
- (b) Acoustic waves generated by ground motions at the epicenter reach the ionosphere directly

Although the characteristics of propagation along paths (a) and (b) have been analyzed in the previous studies, there are few studies that analyzed both types of disturbances generated by the an earthquake with an observation system. Therefore, the purpose of this study is to identify disturbances propagating along paths (a) and (b) using an HF Doppler (HFD) observation system, and to clarify the frequency characteristics of them.

HFD observation can observe the vertical motions of the ionosphere at the midpoint of transmitter and receives of radio waves at frequencies.

The observation system used in this study is conducted by the University of Electro-Communications and four other institutions. The transmitter is located at the Chofu campus of the University of Electro-Communications, and receivers used in this study are located at Iitate, Kakioka, and Oarai.

Propagation times of the acoustic waves along paths (a) and (b) were calculated and compared with HFD data. The propagation time along path (a) was calculated as the sum of the arrival time of the seismic wave just below the reflection point and the propagation time of the acoustic waves from the ground to the reflection points. The arrival time of seismic waves was determined using seismic data from F-net, a broadband seismic observation network operated by the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. The NRLMSISE-00 standard atmospheric model was used to obtain the vertical profiles of atmospheric temperature to calculate the acoustic wave propagation time. The propagation time along path (b) was calculated by ray tracing for the acoustic waves to reach each HFD reflection point.

In this study, frequency analysis data of HFD observation data and HFD waveform data were obtained for the Iwate Nairiku earthquake at 8:43 (JST) on June 14, 2008, the Sanriku-oki earthquake at 11:45 (JST) on March 9, 2011 and Hamadori earthquake at 17:16 (JST) on April 11, 2011.

In these data, there are two types of variations propagating along path (a) and path (b). The intensity of the disturbances was dominant in different frequency bands for the former and the latter, with the former being dominant in the broad frequency band from 20-60 mHz and the latter being dominant in the low frequency band below 20 mHz and in the high frequency band above 40 mHz.

In this study, the neutral air particle velocity along paths (a) and (b) is calculated from the Doppler frequency.

Assuming that the observed Doppler frequency is caused by acoustic waves propagating in the vertical direction or from the epicenter to the observation point, the neutral air particle velocity along paths (a) and (b) can be estimated by converting the plasma vertical velocity into the neutral air particle velocity.

Comparison of the neutral air particle velocities at the reflection heights of 5 MHz and 8 MHz radio waves at Iitate during the Sanriku-oki earthquake shows that the velocities for 8 MHz are smaller than those for 5 MHz. This result may be attributed to the attenuation of acoustic waves by the atmosphere. ☒ We will continue to analyze the characteristics of the vertically propagating acoustic waves excited by Rayleigh waves and the obliquely propagating acoustic waves generated by the ground motion at the epicenter by making comparisons for other events and observation points.

先行研究から、地震や津波、火山噴火などの大規模な自然災害により大気波動が生じ、電離圏擾乱が引き起こされることが知られている。その中でも、地震に伴う電離圏擾乱の発生メカニズムは大きく以下の2つに分類される。

- (a) 震源遠方へ地表面を伝搬したレイリー波により励起された音波が直上の電離圏に到達する。
- (b) 震央での地面動により生成された音波が直接電離圏に到達する。

これまでに (a)、(b) それぞれの経路に沿った伝搬特性について解析されてきたが、同一の地震から発生した両方の変動を同一の観測システムにて解析しているものは少なく、両者の違いについての解析は進んでいない。そこで、本研究では HF ドップラー (HFD) 観測システムを用いて、経路 (a)、(b) を伝搬した擾乱を識別し、それぞれの伝搬特性を明らかにすることを目的とする。

HFD 観測は電波が電離圏で反射する際にドップラー効果により生じる送受信周波数の差から電波の送受信点の midpoint における電離圏の上下動を観測するシステムであり、送信周波数によって反射される高度は異なる。本研究で用いる観測システムは電気通信大学他 4 機関で運用されており、最大 4 周波数の電波を受信可能である。本研究で用いた電波の送信局は電気通信大学調布キャンパスであり、受信局は飯館、柿岡及び大洗を用いた。

また、本研究では経路 (a)、(b) それぞれでの伝搬時間を計算し、HFD データとの比較を行った。経路 (a) での伝搬時間は HFD 観測点直下に地震波が到達した時間と音波が HFD 反射高度まで伝搬する時間の合計として算出した。この際、地震波到達時間の同定には防災科学技術研究所が運用している広帯域地震観測網 F-net のデータを使用し、各 HFD 反射点に最も近い地震計に地震波が到達した時間をもとに HFD 観測点直下に地震波が到達した時間を決定した。また、音波伝搬時間の計算に必要な高度別の大気温度パラメータの取得には NRLMSISE-00 標準大気モデルを用いた。経路 (b) での伝搬時間は、震央を波動源とし、音波が各 HFD 反射点まで到達する時間をレイトレーシングで算出した。

本研究では 2008 年 6 月 14 日 8:43 (JST) 発生の岩手内陸地震、2011 年 3 月 9 日 11:45 (JST) 発生の三陸沖地震、2011 年 4 月 11 日 17:16 (JST) 発生の浜通り地震について HFD 観測データと HFD 波形データの周波数解析データを得た。これらのデータでは、経路 (a) に沿って HFD 観測点まで伝搬した変動到達時間付近と経路 (b) に沿って HFD 観測点まで伝搬した変動到達時間付近にそれぞれ対応した変動が見られており、それぞれ経路 (a) に沿って伝搬した変動と経路 (b) に沿って伝搬した変動と考えられる。また、前者と後者では異なる周波数帯で変動強度が卓越しており、前者では 20-60 mHz での幅広い周波数帯での卓越が、後者では 20 mHz 以下の低周波数帯と 40 mHz 以上の高周波数帯での卓越が見られた。

したがって、これらの地震の HFD 観測ではレイリー波に励起された音波による擾乱と震源からの直接波による擾乱の両方が観測され、前者と後者では異なる周波数帯成分の卓越が見られるという結果が得られた。

また、本研究では経路 (a),(b) に沿って伝搬した音波に起因する中性粒子速度をドップラー効果による送信周波数と受信周波数のずれ (ドップラー周波数) から計算した。

ドップラー周波数はプラズマの移流と圧縮の影響を含んでいるため、移流と圧縮それぞれによる影響の割合を考慮することでプラズマの鉛直方向速度を計算できる。観測されたドップラー周波数を鉛直方向または震源から観測点に向かう方向に伝搬する音波によるものと仮定し、プラズマ鉛直方向速度を中性粒子速度に換算することで経路 (a),(b) に沿った中性粒子速度を推定できる。

三陸沖地震時の飯館における 5 MHz と 8 MHz 電波の反射高度での中性粒子速度を比較したところ、経路 (a),(b) の両方に関して 5 MHz よりも 8 MHz 高度における速度の方が小さいという結果が得られた。この結果は大気による音波の減衰に起因するものと考えられる。☒ 今後他のイベント、観測点についても同様の比較を行い、レイリー波によって励起された鉛直方向に伝搬する音波と震央での地面動により生成された斜め方向に伝搬する音波の特性について解析を進めていく。