

## GPS-TEC と HF ドップラーを用いた火山噴火に伴う電離圏変動の解析

# 長南 光倫 [1]; 中田 裕之 [2]; 大矢 浩代 [3]; 鷹野 敏明 [4]; 富澤 一郎 [5]; 津川 卓也 [6]; 西岡 未知 [6]

[1] 千葉大・工; [2] 千葉大・工・電気; [3] 千葉大・工・電気; [4] 千葉大・工; [5] 電通大・宇宙電磁環境; [6] 情報通信研究機構

## Ionospheric disturbances associated with volcanic eruptions observed by GPS-TEC and HF Doppler sounding

# Aritsugu Chonan[1]; Hiroyuki Nakata[2]; Hiroyo Ohya[3]; Toshiaki Takano[4]; Ichiro Tomizawa[5]; Takuya Tsugawa[6]; Michi Nishioka[6]

[1] Engineering, Chiba Univ.; [2] Grad. School of Eng., Chiba Univ.; [3] Engineering, Chiba Univ.; [4] Chiba Univ.; [5] SSRE, Univ. Electro-Comm.; [6] NICT

It is reported that ionospheric disturbances are caused by ground and atmospheric perturbations, e.g. earthquakes, tsunami, typhoons and volcanic eruptions. Even though the volcanic eruptions excite the atmospheric waves, there are few observations of ionospheric disturbances caused by volcanic eruptions. In this study, we have examined ionospheric disturbances associated with volcanic eruptions using GPS-TEC and HF Doppler (HFD) Sounding. Since the ionosphere is a dispersive medium, UHF radio waves, which is used in GPS system, are delayed. This Retardation is dependent on the frequency of the radio wave and the total electron content (TEC) between satellites and receivers. For example, GPS system mainly uses L1 and L2 band. From the difference of the delays between L1 and L2 band, therefore, TEC is determined. We analyzed TEC data observed in GNSS Earth Observation Network (GEONET) which is maintained by Geospatial Information Authority of Japan and assumed ionospheric pierce points (IPPs) are 300 km altitude. On the other hands, the ionosphere usually reflects HF radio waves. The frequency of the radio waves shifts due to Doppler effect when the reflection height moves vertically. Observing the difference of the frequencies between transmitted and received radio waves, the vertical motion of the ionosphere can be detected. We also analyzed HF Doppler sounding which is operated by Center for Space Science and Radio Engineering, The University of Electro-Communications (UEC). The receivers of HFD are located at Kashima (KSM) Kyoto (KYO), Oarai (ORI), Sugadaira (SGD), Shimizu (SMZ) which receive the radio waves (5.006 MHz) transmitted from Chofu campus of UEC.

We detected ionospheric disturbances associated with Mt. Asama eruption at 11:02 UT on Sep., 1st, 2004, both in GPS-TEC and HF Doppler shift frequency. This eruption is categorized as the vulcanian eruption, which accompanies strong explosions. Ionospheric disturbances were confirmed by HF Doppler shift frequency and GPS-TEC, about 9 minutes and about 12 minutes after the eruption, respectively. TEC perturbations showed N-shape variations, the same as TEC responses associated with earthquakes. HF Doppler sounding showed especially 2 features, one is spiky short period variation in 9~10 minutes after the eruption, and the other is long period variation in 10~20 minutes. We examined HFD reflection height using ionosonde located at Kokubunji and calculated acoustic ray tracing. The calculation results show that the delay of the spiky variation is consistent with the arrival time of the acoustic waves. We also analyzed spectral intensity of GPS-TEC and HF doppler sounding. Making spectral intensity map of TEC disturbances by using multiple GPS satellites and receivers, TEC variations at the frequency band of 7~12 mHz are shown at the south of the volcano. This is because the electrons move along the magnetic field lines and the magnetic field is detected to north-downward in Japan. The spectral intensity calculated by HF doppler shift frequency had peak at 3~5 mHz and 7~16 mHz. 3~5 mHz is due to acoustic resonance mode between the ground surface and the lower thermosphere as in variations of TEC associated with earthquakes, too. The perturbations around 7~16 mHz are also observed by GPS-TEC data, this caused that the pressure fluctuation excited by the explosion of the eruption directivity propagates to the upper ionosphere.

巨大地震や津波、台風、火山噴火といった下層の現象に伴い、大気波動が生じ、これにより電離圏変動が引き起こされることが知られている。火山噴火に伴い、大気波動が生じることは知られているが、火山噴火に伴う電離圏擾乱の観測事例はそれほど多くはない。そこで本研究では、火山噴火に伴う電離圏の変動について、GPS-TEC (Total Electron Content) と HF ドップラー (HF Doppler: HFD) を用いて解析を行った。電離圏は分散性媒質であることから、GPS で用いられる UHF 帯電波は遅延を受ける。この遅延は電波の周波数に依存するため、GPS 衛星の L1, L2 帯電波を用いて、衛星-受信局間の電子密度の積分値 (TEC) を推定することができる。本研究では、国土地理院の GNSS 連続観測システム (GNSS Earth Observation Network: GEONET) より導出されるものを使用し、電離圏貫通点は 300 km と仮定した。一方、HF ドップラーは電離圏が HF 帯電波を反射する性質を利用したものである。反射高度が変化すると HF 帯電波はドップラー効果を受け、送信波と受信波間の周波数に差 (ドップラーシフト) が生じるため、電離圏の上下動速度を知ることができる。本研究では、電気通信大学から送信され、各受信点 (鹿嶋:KSM, 京都:KYO, 大洗:ORI, 菅平:SGD, 清水:SMZ) で受信されるデータを用いた。

2004年9月1日 11:02UT (20:02LT) の浅間山噴火において、GPS-TEC、HF ドップラー共に変動が検出された。この噴火はブルカノ式噴火と呼ばれる噴火様式で、激しい爆発を伴うという特徴がある。時系列データにおいて、HF ドップラーでは噴火9分後に、GPS-TEC では噴火12分後に変動が見られた。GPS-TEC では N 型の変動が確認され、これは地震に伴う電離圏変動でも見られるものである。これに対し、HF ドップラーでは 2 つの特徴が見られた。ひとつは噴火9

～10分後に見られる短い周期を持つスパイク状の変動で、もうひとつは噴火10～20分後に見られる長周期の変動である。各受信点における反射高度をイオノグラムより推定し、音波のレイトレーシングを行なったところ、スパイク状の変動は音波の到達時間と一致した。さらに両データの周波数解析を行った。TECスペクトル強度分布図において、7～12 mHzの帯域において、火口南側での変動が確認された。これは電離圏中のプラズマは磁力線に沿って動くため、北半球では南側で変動が顕著になるためである。また、HFドップラー強度は、3～5 mHzと7～16 mHzの帯域において上昇が見られた。3～5 mHzの帯域は、地表～下部熱圏間の音波共鳴に起因するもので、地震に伴う変動でも見られるものである。これは時系列データにおいて噴火10～20分後に見られる長周期の変動に対応するものである。一方、7～16 mHzの帯域は、時系列データの噴火9～10分後に見られるスパイク状の変動に対応するもので、TECスペクトル強度分布図で変動が確認されている。以上より、火山噴火に伴い生じた大気波動が電離圏へと到達し、HFドップラーで観測され、さらにGPS-TECで変動が観測されたと考えられる。