

## VLF/LF 帯標準電波および大気電場観測ネットワークによる

## D 領域電離圏擾乱の研究

代表者 大矢 浩代 千葉大学・大学院工学研究院  
 共同研究者 土屋 史紀 東北大学・大学院理学研究科 PPARC

## 1. 目的

本課題の研究目的は、「VLF/LF 帯標準電波観測ネットワーク OCTAVE」データおよび大気電場ネットワークを用いて、グローバルサーキットによる下部電離圏変動を考慮し、高エネルギー粒子降下、太陽フレア、地震、火山噴火、および火球に関連した D 領域・下部 E 領域変動を調べることを目的とする。本研究で用いる「VLF/LF 帯標準電波観測ネットワーク OCTAVE」は東北大学惑星プラズマ・大気研究センター (PPARC) の土屋准教授が国内、東南アジア、北米、ヨーロッパおよびロシアに構築した標準電波の観測ネットワークで、下部電離圏で反射された電波を複数地点で受信することにより下部電離圏の鉛直方向の運動を観測するシステムである。現在、標準電波の受信点は国内 2 地点、海外 7 地点にあり、問題なく稼働している。標準電波観測は伝搬路に沿った下部電離圏電子密度変動の積分値として観測され、高感度・高時間分解能でモニタリングできるという利点がある。

## 2. 方法

2022 年度は、PPARC 飯館観測所に、大気電場計を新規設置した。また、OCTAVE および大気電場データを解析し、2022 年 1 月 15 日に発生したトンガ噴火に伴う D 領域電離圏擾乱、D 領域電離圏の地方時および季節変動の統計解析、北米での観測による ULF 変調された高エネルギー降下電子の現象、および太陽フレア時の D 領域電離圏電子密度の水平不均一性に関して解析を行い、論文および国際・国内会議で発表した。

## 3. 結果および考察

2022 年 1 月 15 日に発生したトンガ噴火に伴う D 領域電離圏擾乱が観測された。図 1 に台南（台湾）で受信した日本上空の 3 つの伝搬パスの振幅 (HPF: 1.7 mHz) および沖縄における地表での気圧を示す。青い線はラム波の到達時刻を、赤い線はペケリス波の到達時刻を示す。伝搬速度はラム波 307 m/s、ペケリス波 245 m/s で計算した。各伝搬パス・サイトで、トンガ噴火により発生したラム波およびペケリス波により、D 領域電離圏が変動していたことがわかる。これらの変動の周期は、どちらも 200-1000 s であるが、ペケリス波

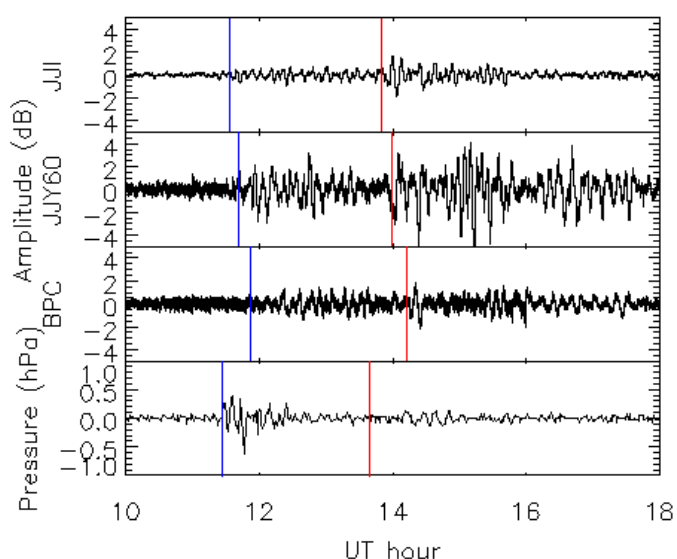


図 1 2022 年 1 月 15 日の台南受信の VLF/LF 振幅(HPF: 1.7 mHz)および沖縄での気圧変動。青い線はラム波の到達時刻を、赤い線はペケリス波の到達時刻を示す。

による変動のほうが VLF 波の振幅は大きかった。千葉における大気電場もラム波到着時刻に大きく変動している様子が見られたが、ペケリス波では変動が見られなかった (図 3)。ペケリス波は地表から成層圏付近まで振幅が小さく、成層圏付近で位相が逆転し、D 領域高度で振幅が大きくなるという特徴があり、それと一致している観測結果であった。

成果リスト

[1] Nozaki, Y., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, H. Nakata, and K. Shiokawa, Local Time and Seasonal Variations in the D-Region Ionosphere: Does It Reflect Sudden Stratospheric Warming Effects?, *URSI Radio Science Letters*, 4, DOI: 10.46620/22-0045, 2022.

[2] Tanaka, K., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, M. Teramoto, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, and H. Nakata, Ultra Low Frequency Modulation of Energetic Electron Precipitation in the D-Region Ionosphere in a Magnetically Quiet Time Using OCTAVE Very Low Frequency and Low Frequency (VLF/LF) Observations, *URSI Radio Science Letters*, 4, DOI: 10.46620/22-0049, 2022.

[3] Nakayama, M., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, K. Shiokawa, and H. Nakata, Horizontal Inhomogeneity of the D-region Ionosphere During a X-class Solar Flare by OCTAVE VLF Observations, *URSI Radio Science Letters*, 4, 2022 (accepted).

[4] Ohya, H., F. Tsuchiya, J. Chum, T. Omori, and K. Shiokawa, Variations in atmospheric electric field and VLF/LF transmitter signals associated with Tonga volcanic eruption of 15 January, 2022, JpGU2022, Chiba, Japan, 24 May, 2022 (Invited).

[5] Nozaki, Y., H. Ohya, F. Tsuchiya, H. Nakata, and K. Shiokawa, Diurnal and seasonal variations in the D-region ionosphere using LF transmitter signals, JpGU2022, Chiba Japan, 1 June, 2022.

[6] Nakayama, M., H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Shiokawa, Large solar flare effects on the D-region ionosphere using VLF/LF transmitter signals, JpGU2022, Chiba, Japan, 1 June, 2022.

[7] Ohya, H., F. Tsuchiya, J. Chum, T. Omori, and K. Shiokawa, Response of Atmospheric Electric Field and VLF/LF Transmitter Signals to Tonga Volcanic Eruption of 15 January, 2022, AOGS2022, Online, 1 August, 2022.

[8] Ohya, H., Variability and Role of the D-region Ionosphere Based on VLF/LF Wave Observations, URSI-JRSM2022, Chuo University, Tokyo, Japan, 1 September, 2022 (Invited).

[9] Ohya, H., F. Tsuchiya, M. Kamogawa, T. Suzuki, J. Chum, and T. Takamura, Variations in the D-region ionosphere associated with Tonga volcanic eruptions of 15 July 2022 using VLF/LF transmitter signals, VERSIM2022, Online, 8 November, 2022.

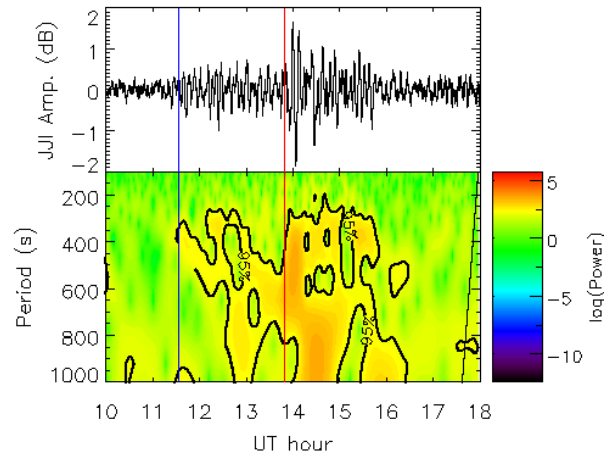


図 2 JJI-TNN パスの (上) 振幅および (下) ウェーブレットスペクトル。

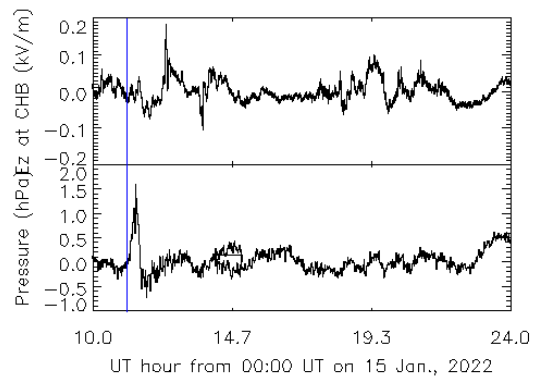


図 3 千葉における (上) 大気電場変動と (下) 地表の気圧。青線がラム波が到着した時刻を示す。