

島原地方における簡単な客観手法で作成した予測マップによる VHF 電波伝播異常と地震発生との相関

森田 笙 [1]; 日置 幸介 [2]; 茂木 透 [3]
[1] 北大・理・測地; [2] 北大・院理・地球惑星; [3] 北大・工

Correlation between earthquake and the anomalous of VHF radio waves indicated by objective algorithm prediction maps in Shimabara

Sho Morita[1]; Kosuke Heki[2]; Toru Mogi[3]
[1] Space Geodesy, Hokkaido Univ.; [2] Hokkaido Univ.; [3] Fac. Eng., Hokkaido Univ.

Electromagnetic precursors associated with the impending earthquake, such as variations of geoelectric current, total electron contents in the ionosphere, and anomalous transmission of radio waves in the VLF or VHF band, have been observed (e.g. Hayakawa, 1996). Recently, some researchers have discussed how these precursory phenomena relate statistically to the impending earthquake (Le et al., 2010, Orihara et al., 2012, Hattori et al., 2013, Han et al. 2014). Anomalous (i.e., beyond the line of sight) VHF-band radio-wave propagation is one such claimed short-term precursor; physical preparatory processes of earthquakes may produce/attract electromagnetic scatterers in the area over the source of the impending earthquake (Kushida and Kushida, 2002, Moriya et al., 2010). Hokkaido University has been monitoring this anomalous propagation in several regions in Japan. On April 14th 2016, an Mw 6.5 earthquake occurred in Kumamoto, which was followed by a nearby greater Mw 7.3 event on April 16th. Just before these events, anomalous propagation of the VHF radio wave from an FM station in Miyazaki was observed at Shimabara receiving station. Epicenters of these Kumamoto events were between the broadcast and receiving stations. To evaluate the statistical significance of the tendency that such anomalies precede impending earthquakes in this region, we made a spatio-temporal map of earthquake alarm (though for only one spatial grid, which is the region between the Miyazaki broadcast and the Shimabara receiving stations) based on the data for 2012 to 2016; after anomaly appears, we turn ON the alarm for a certain period of time L, and thus divide the whole observation period into 'Alarm ON', 'Alarm OFF', and 'Undecided (due to missing data)' periods. The alarm map was compared with the occurrence of local earthquakes with over M 4.5 after declustering. The associated p-value was not low enough to suggest the statistical significance. While, VHF radio wave intensity is stronger in summer, at the same time, also Sporadic E becomes active that is the phenomenon of increasing electron density at ionosphere. Sporadic E has the property of reflecting VHF radio wave, therefore, we compared large strength anomalies with analyzed Global Navigation Satellite System (GNSS) data, for example June 20, 2012 and April 3, 2016. The former observed VHF radio anomaly and Sporadic E simultaneously, otherwise the latter did not occur Sporadic E, only radio wave anomaly. From above, at least, it is confirmed that the anomaly of April 2016 was not concerned with Sporadic E.

Though it has not yet been accounted for statistical, with thinning out for all anomaly caused by Sporadic E similarly, the data and value could have a room to be improved.

2011年3月11日地震にともなう中緯度トラフの発達、磁気赤道上空のプラズマ密度増加

小山 孝一郎 [1]
[1] 成功大

Modification of ionosphere before 2011 March 11 earthquake

koichiro Oyama[1]
[1] NCKU ISAPS

Ionosphere disturbance which was seen prior to an earthquake which occurred on 11 March 2011 off the coast of Tohoku was studied. Ionosphere data which were used are: atomic oxygen ion density acquired with US satellite DMSP, and maximum plasma density obtained by ionosondes. Global Ionosphere Model (GIM) is used as side evidence to support findings of DMSP data and ground based data...

Although during the earthquake preparation period, magnetic disturbance is strong, global survey of ground based maximum plasma density shows that special disturbance is limited to earthquake area. Satellite data (DMSP and GIM) analysis shows three important findings before the occurrence of the earthquake; (1) Over geomagnetic equator enhancement of atomic oxygen ion density is found, (2) midlatitude trough is formed before the earthquake and it moves toward lower latitude as EQ day approaches, and (3) no clear difference of O⁺ behavior between east and west of the epicenter is identified. Night time NmF₂ at high latitude ionosonde stations such as Khavalsovsk, and Beijing shows 2 days oscillation from 5 March and disappears on the 12th March. As the latitude of the station is lower, 2 days oscillation becomes unclear, and the duration of the appearance is shorter.

In order to explain both ground based and satellite data consistently, one idea of enhanced east/west ward dynamo electric field during daytime/ nighttime is discussed. We presume gravity wave of very small amplitude (the period of 20-30 minutes, and horizontal scale of ≈ 1000 km) as a source of dynamo E field modification. Internal gravity wave of extremely small amplitude caused by ground motion interacts with planetary scales waves below 10 km, and is amplified.

The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (2011 太平洋東北沖地震、38°D 6.2N, 142°E 51.6E) 前後の上部電離圏の様子を DMSP (Defense Meteorological Satellite (Defense Meteorological Satellite Program) 衛星により得られた酸素原子イオン密度のデータ、および全世界のイオノゾンデで観測された最大電子密度を調べた。DMSP 衛星 (F13 1995-2015; F14 1997-2015) は 2011 年の期間においては高度約 850 Km、軌道傾斜角 98.8 度 で夕方 17 時ごろ、明け方 5 時ごろを通過する太陽同期軌道である。高い高度のために大きな地震の電離圏の影響を研究するには不相当であると思われたが、DMSP のデータは予想に反して新しい事実を提供することになった [Oyama et al. 2016]。これらは

1. 中緯度トラフ [Rodger et al., 1992; Yigen, E., and M. Moldwin, 2005] のより明瞭な形成とこれに伴う中緯度トラフの赤道側の酸素原子イオン密度の増加
2. 磁気赤道上空に酸素原子イオン密度の増加がみられる。この増加は中緯度トラフ赤道側の酸素原子イオン密度の増加と対でおこる。

DMSP における上記の発見は GIM (Global Ionosphere Model) でも確認された。

Khabarovsk, Wakkanai, Kokubunji, Beijing, Jeju などのイオノグラムには、地震発生前に二日周期の最大電子密度変動が約 1 週間みられる。上記の 2 つの発見は 2011 年 3 月 11 日の地震に限られたものでなく、1 に関しては 2011 年 2 月 2 日の北緯 54.97°、東経 199.54°E、D=35km、M5.9 の地震、および 2007 年 3 月 25 日の、北緯 37.3 度、東経 136.41 度、D=40km で発生した M6.9 の地震でも同じような振る舞いが見られる。2 に関しては 2008 - 2010 の期間に日本で起こった M > 7 の 10 個の地震のうち 8 個に同じく磁気赤道上空の電子密度の上昇がみられる [Ryu et al., 2016]

参考文献

Oyama, K. I., D. Minakshi, K. Ryu, C. H. Chen, J. Y. Liu, H. Liu, L. Bankov, and T. Kodama, Modification of ionosphere prior to large earthquakes- Report from Ionosphere precursor Study Group, Geosci., Lett., 1-10, 3:6, DOI 10.1186/s40562-016-0038-3, 2016

Ryu, K., K. -I. Oyama, L. Bankov, M. Devi, C.H. Chen, J.Y. Liu, and H. Liu, Precursory Equatorial Ionospheric Density Enhancement: Contribution from Mid-latitude Large Earthquakes in the North-East Asian Region, Adv. Space Res., 57, 268-280, 2016.

Rodger, A. S., R. J. Mofett, and S. Quegan, The role of ion drift in the formation of ionization troughs in the mid- and high latitude ionosphere- a review, J. Atmos.Terr. Phys., 54, 1- 30, 1992.

Yigen, E., and M. Moldwin, The altitude extension of the mid-latitude trough and its correlation with plasma pause position, Geophys. Res. Lett., 32, L09105, doi: 10.1029/2005GL022854, 2005.

D-region ionospheric signatures observed in LF standard radio waves after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

Hiroyo Ohya[1]; Fuminori Tsuchiya[2]; Hiroyuki Shinagawa[3]; Kenro Nozaki[4]; Kazuo Shiokawa[5]

[1] Engineering, Chiba Univ.; [2] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [3] NICT; [4] NICT; [5] ISEE, Nagoya Univ.

So far, a lot of studies for the F-region ionosphere associated with post-earthquake phenomena have been reported, although few studies for the D-region ionosphere have reported. It is difficult to observe the D-region electron density around 70 km altitude by MF/HF radio sounding method such as ionosondes, because both MF and HF radio waves penetrate at 70 km altitude in both night and day. In this study, we investigate the D-region signatures associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake using intensity and phase of LF standard frequency and time signals (SFTSs). The propagation paths are JJY Saga (60 kHz, SAG) -Rikubetsu (RKB) and BPC (68.5 kHz, China)-RKB (Japan). Both transmissions mainly propagate over the Japan Sea. Clear oscillations of the intensity over the SAG-RKB propagation path were observed about 372 seconds after the earthquake onset. The period of the oscillations was about 100 s. The oscillations in the phase were not seen clearly. The amplitude of the oscillations were about 0.1 dB. On the other hand, small oscillations of the intensity with the similar periods were found in BPC-RKB signal. The time difference between the earthquake onset and the SAG-RKB 100 s-oscillations was consistent with the propagation time of the Rayleigh waves (seismic waves) propagating from the epicenter to the LF propagation paths along the Earth surface, plus the propagation time of acoustic waves propagating from the ground to about 70 km altitude vertically. The occurrence time of the observed 100-s oscillations was agreement with a numerical simulation of acoustic wave propagation. By considering the propagation delay of the Rayleigh waves at individual radio wave reflection points, observation of the LF signals was shown to be consistent with the simulation using the wav-hop radio propagation theory. Thus, we conclude that the origin of the LF oscillations of the 100 s was the Rayleigh waves. In the presentation, we will discuss the amount of change of the D-region electron density during the LF oscillations.

Ionospheric volcanology: GNSS-TEC observation and modeling of the 2015 Kuchinoerabujima eruption

Yuki Nakashima[1]; Kiwamu Nishida[2]; Yosuke Aoki[2]; Giovanni Occhipinti[3]; Kosuke Heki[4]
 [1] Natural History Sciences, Hokkaido Univ; [2] ERI, The Univ. of Tokyo; [3] IPGP; [4] Hokkaido Univ.

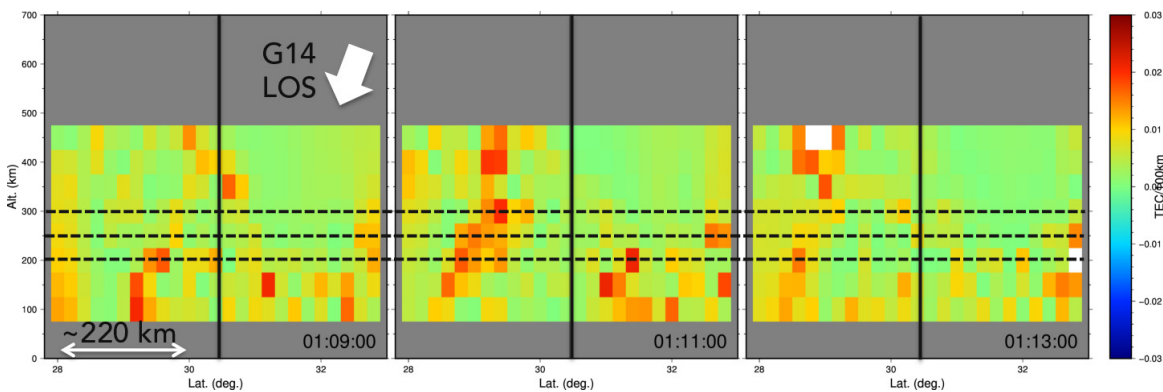
We investigate very low frequency (20 mHz) acoustic wave excited by the 2015 Kuchinoerabujima volcano eruption, Japan. The explosive volcanic eruption produces large pressure changes in the atmosphere resulting in acoustic waves, with a frequency mainly below about 20 mHz, that reach the thermosphere and induce strongly electron density fluctuation in the ionosphere. We succeeded in detecting perturbations in the total electron content (TEC) measurements with the Japanese dense array of Global Navigation Satellite System (GNSS) receivers, GEONET operated by GSI, and simultaneously pressure changes near surface with barometers (AIST, JMA and V-net operated by NIED) and broadband seismometers, (F-net operated by NIED) shortly after the eruption at 0:59 UT, May 29, 2015. We investigated the frequency components and travel times of the waves to better understand and constrain the volcanic source. Our observation suggested that the perturbation propagated with a spherical wave-front, in accord with ray tracing, and contain a pulse at 12 mHz and the acoustic continuous signature at 5 mHz.

We explain the former pulse centered at 12 mHz and visible in the TEC data as the main signature of the volcanic explosion as it's also visible in the barometric and seismic observations at the ground; and we explain the signal observed at around 5 mHz as a modal wave that leaks to the ionospheric altitude.

Additionally, we show preliminary results of GNSS tomography (Figure) and normal mode summation for a planet with atmosphere. The preliminary result is consistent with the ray tracing assuming of a point source located at the volcano position and spherical wave propagation proving that volcanic explosion are detectable in the atmosphere/ionosphere by TEC measured by GNSS.

The results presented in our presentation, could, in the near future, help to locate and constrain the volcanic source.

Acknowledgement: We would thank GSI, JMA, AIST and NIED that provide GNSS, barometer, microphone and broadband seismometer data.



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、火山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。

HF ドップラーと微気圧計を用いた台風に伴う電離圏擾乱の解析

益子 竜一 [1]; 中田 裕之 [2]; 大矢 浩代 [3]; 鷹野 敏明 [4]; 富澤 一郎 [5]

[1] 千葉大・融合理工; [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

Examinations of the ionospheric disturbances associated with typhoons using HF doppler and a Microbarometer

Ryuichi Mashiko[1]; Hiroyuki Nakata[2]; Hiroyo Ohya[3]; Toshiaki Takano[4]; Ichiro Tomizawa[5]

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

It is reported that the extreme climate phenomena, such as typhoons and tornados, excite the ionospheric disturbances, in addition to those excited by earthquakes. These are caused by the atmospheric disturbances generated around the ground propagating to upper atmosphere. However, the studies of the ionospheric disturbances associated with typhoons are very few because their amplitudes are very small as compared to the other phenomena. In this study, therefore, we have examined ionospheric and atmospheric variations associated with typhoons using HF doppler, maintained by the University of Electro-Communications and a microbarometer located at Numata, Gunma Prefecture.

We have examined the disturbances of doppler shift associated with 3 strong typhoons (No.7, CHANTHU; No.9, MINDULLE; and No.10, LIONROCK) in 2016. The lowest pressures of these typhoons were lower than 980 hPa and kept their intensity in crossing or approaching to Japan. The amplitude of doppler frequency fluctuations increased about 0.2 Hz when the typhoons were closest to Sugadaira Observatory. In dynamic spectral analyses, it is found that spectral intensity of disturbances at frequency from 5 mHz to 40 mHz were enhanced. This means that the disturbances whose periods are about several tens of seconds were dominant. Then microbarometer data also were analyzed in the same methods. Since spectral intensity of atmospheric pressure disturbances were also detected at 5 mHz to 40 mHz, it is found that atmospheric disturbances caused by typhoons propagate to upper atmosphere and excite the ionospheric disturbances.

地震に伴い電離圏擾乱が発生することが報告されているが、台風や竜巻等の激しい気象現象においても電離圏擾乱の発生が確認されている。これらはいずれも下層大気で発生した変動が上空に伝搬したことによるものである。しかし、台風に伴う電離圏変動は他の現象と比べて極めて小さいことから、未だ十分に行われていない。そこで本研究では、台風に伴う電離圏変動について、HF ドップラー観測データと、微気圧計を用いて解析を行った。HF ドップラー観測は電気通信大学によって運用されているものである。また、微気圧計は群馬県沼田市に設置したものである。

2016年に発生した台風のうち3事例(07号、09号、10号)で解析を行った。これらの台風は中心気圧が980hPa以下まで発達した強い台風であり、日本に接近・上陸した際も同程度の勢力を保っていたものである。また、台風07号と09号はそれぞれ日本の関東地方から東北地方にかけて通過しており、10号は関東地方に接近し、東北地方を通過した。いずれのイベントでも台風接近・通過日にドップラーシフト変動の増加が確認できた。変動は接近前後と比べ振幅が約0.2 Hz増加した。ダイナミックスペクトル解析では、5 - 40 mHzの周波数帯域で、台風通過日にスペクトル強度の上昇がみられており、数10秒周期の変動が卓越していることがわかる。次に微気圧計データを用いて同様の解析を行った結果、HF ドップラー観測と同様に、台風接近時に変動が観測され、そのスペクトルにおいても同様の帯域で変動が確認された。すなわち、地表付近で発生した大気変動が上空に伝搬して電離圏変動が発生したものと考えられる。

EISCAT_3D (次世代欧州非干渉散乱レーダー) 計画の進捗状況 (6)

宮岡 宏 [1]; 小川 泰信 [1]; 西村 耕司 [1]; 中村 卓司 [1]; 野澤 悟徳 [2]; 大山 伸一郎 [3]; 藤井 良一 [4]; Heinselman Craig [5]
[1] 極地研; [2] 名大・宇地研; [3] 名大 ISEE; [4] 名大・太陽研; [5] SRI International

Recent progress of EISCAT_3D (Next-Generation Incoherent Scatter Radar Project for Atmospheric and Geospace Science) (6)

Hiroshi Miyaoka [1]; Yasunobu Ogawa [1]; Koji Nishimura [1]; Takuji Nakamura [1]; Satonori Nozawa [2]; Shin-ichiro Oyama [3]; Ryoichi Fujii [4]; Craig Heinselman [5]
[1] NIPR; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] ISEE, Nagoya Univ.; [4] STEL, Nagoya Univ.; [5] SRI International

EISCAT 3D is the major upgrade of the existing EISCAT mainland radars, with a multi-static phased array system composed of one central active (transmit-receive) site and 4 receive-only sites to provide us 50-100 times higher temporal resolution than the present system. The construction of EISCAT 3D is planned to implement by 4-staged approach, starting from the core site with half transmitting power about 5MW and 2 receiving sites at Kaiseniemi (Sweden) and Karesuvanto (Finland) at the 1st stage. Sweden, Norway and Finland have successfully allocated their national fundings for the construction of the 1st stage by 2015, and UK has also decided a funding commitment in April 2017. After careful examinations and discussions on possible future funding scenarios, the EISCAT Council has finally decided on 1 June to kickoff the implementation of the 1st stage of EISCAT 3D from 1st September 2017 to be completed by the end of 2021 including a commissioning of the radar system.

The EISCAT 3D program in Japan, on the other hand, was applied to the Master Plan 2017 of the Science Council of Japan as a part of 'Study of Coupling Processes in the Solar-Terrestrial System' (PI: Prof. Toshitaka Tsuda, Kyoto Univ./ROIS), and has been granted as one of 28 high-priority programs of Master Plan 2017. In parallel to funding proposals for EISCAT 3D to the Ministry since 2014, the National Institute of Polar Research started development of the EISCAT 3D transmitter power amplifier (SSPA) modules to provide in-kind for the 1st stage of EISCAT 3D. In this paper, we overview the current status of the project and our development for the EISCAT 3D transmitter sub-system.

EISCAT 科学協会 (現加盟国: スウェーデン、ノルウェー、フィンランド、英国、日本、中国) が現在進めている EISCAT_3D (次世代欧州非干渉散乱レーダー) 計画の進捗状況について報告する。EISCAT_3D 計画は、送受信を担う主局と 4 箇所の受信局から成る多点フェーズドアレイレーダーシステムで、北極域大気への太陽風エネルギー流入とその影響の全容解明を目指す国際共同プロジェクトである。2008 年 12 月に ESFRI (欧州研究基盤戦略フォーラム) のロードマップに採択され、Framework Program の Design Study および Preparatory Phase Study の支援により基本設計、実施計画を策定し、北欧 3 国および英国が建設予算を内定した。EISCAT_3D は 4 期に分けて順次整備される計画となっているが、その第 1 段階の整備を本年 9 月より開始することを 6 月 1 日の EISCAT 評議会にて正式決定した。2021 年 12 月末までに整備を完了し、本格運用を開始する予定である。9 月 7 日には主局が置かれるトロムソ近郊のシーボトンにおいて、加盟国の関係者が参列して EISCAT_3D 起工式が開催された。

これと平行してトロムソ観測所においては、試験用サブアレイ (クロス八木アンテナ 91 本) 1 式から成る EISCAT_3D 試験システムを整備し、最終仕様の確定に向けて技術実証試験を進めている。日本は、第 1 段階で必要とするレーダー送信機 10,000 台 (計約 5MW) の開発・製造を分担する計画で予算要求を継続的に行っている。日本の EISCAT_3D 計画参加を含む大型研究計画「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」は、日本学術会議のマスタープラン 2017 重点大型研究計画 (全 28 件) に採択された。本体予算はまだ措置されていないが、昨年度に引き続き、本年度も上記の技術実証試験システムに使用する送信機の量産モデル開発と製造 (55 台) を進めている。本講演では、EISCAT_3D 計画全体の最新状況ならびに日本の取り組み状況を中心に報告する。

ノルウェー・トロムソにおける GNSS 受信機を用いた電離圏シンチレーションの多点観測

#坂本 明香 [1]; 大塚 雄一 [2]; 小川 泰信 [3]; 細川 敬祐 [4]
[1] 名大・ISEE; [2] 名大宇地研; [3] 極地研; [4] 電通大

Closely-spaced observations of ionospheric scintillation using GNSS receivers in Tromso, Norway

Sayaka Sakamoto[1]; Yuichi Otsuka[2]; Yasunobu Ogawa[3]; Keisuke Hosokawa[4]
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] NIPR; [4] UEC

sakamoto.sayaka@isee.nagoya-u.ac.jp

In the terrestrial ionosphere, electron density irregularities may cause variations of signal strength and/or carrier phase in trans-ionospheric satellite transmission signals received on the ground, which are commonly called ionospheric scintillations. Scintillations are categorized into amplitude scintillations and phase scintillations. Amplitude scintillations are observed as fluctuations of the signal strength, which are caused by interference between signals diffracted by irregularities. The amplitude scintillation index is defined as standard deviation of the received power normalized by its mean value. Phase scintillations are detected as high frequency fluctuations in the carrier phase, which are caused by variations in the refractive index due to temporal variations in electron density along the ray path between the satellite and receivers. The phase scintillations are normally quantified by the index, which is the standard deviation of the carrier phase. The phase scintillations occur both in equatorial and polar regions. In contrast, it is known that the amplitude scintillations in the equator are larger than those in the polar region.

In this study, we investigated GPS scintillations at high latitude using three dual frequency GNSS receivers in Tromso, Norway. The receivers have antennas installed 150-250 m away from each other and record the signal strength and carrier phase. Phase scintillations are monitored by estimating ROTI, which is the standard deviation of differences of the TEC time-series. We compared ROTI with the amplitude scintillation index S_4 . According to previous studies, amplitude scintillations at high latitudes was not remarkable. However, we observed weak scintillations at high latitude by using low noise receivers in this study. By comparing S_4 and ROTI observed for three years, from January 2013 to December 2015¬¬, we have found that both S_4 and ROTI have larger values at night mainly in spring and summer, and that S_4 increases do not always coincide with the ROTI increases. Therefore, we investigated increases of S_4 and ROTI on daily basis. The simultaneous increase of S_4 and ROTI occurs mainly in the morning and daytime. Either S_4 or ROTI increases mainly in the nighttime. Duration of S_4 increases tends to be longer than that of ROTI. Moreover, only ROTI increase in the daytime of summer. We have further found that duration of S_4 increases tends to be longer than that of ROTI. In this work, we study cross-correlation coefficients of signal intensities and drift velocities of the irregularities obtained from each pair of the three receivers, and then we observed increases of the velocities. In this way, we consider generation mechanisms of the ionospheric irregularities which result in scintillations in the polar region.

電離圏において電子密度不規則構造が存在すると、人工衛星からの送信された電波の信号強度やキャリア位相が変化することがある。これを電離圏シンチレーションと呼ぶ。電離圏シンチレーションには、受信信号の振幅が変動する振幅シンチレーションと、搬送波位相が変動する位相シンチレーションがある。振幅シンチレーションは、電子密度不規則構造により回折した異なる位相の信号と干渉し合うことによって発生する。振幅シンチレーション指数は、受信信号強度の標準偏差を平均信号強度で正規化したものである。一方、位相シンチレーションは、電波の伝搬経路上の屈折率変動による受信信号の位相変動であるため、電子密度の空間的・時間的変動によって引き起こされる。位相シンチレーション指数は、搬送波位相の標準偏差で定義される。位相シンチレーションは赤道域および極域のどちらにおいても発生するが、振幅シンチレーションは主に赤道域で大きく、極域では小さいことが知られている。

本研究では、ノルウェー・トロムソに設置されている3台の2周波GNSS受信機を用いて、高緯度における位相シンチレーションと振幅シンチレーションを調べた。受信機のアンテナは互いに150-250m離して設置し、50Hzのサンプリングで衛星からの信号の信号強度や位相を記録している。位相シンチレーション指数としてTECの時系列差分の標準偏差であるROTIを用いて、振幅シンチレーション指数 S_4 と比較・解析を行った。従来の研究では、極域における振幅シンチレーションは弱くノイズにかき消されてしまっていたが、本観測では低ノイズの受信機を使うことによって極域での弱い振幅シンチレーションも観測することができた。2013年1月から2015年12月までの約3年分の観測データをもとに S_4 とROTIの変動を調べ、 S_4 とROTIの増大が確認できた。 S_4 とROTIは主に春と冬の夜間に大きな値になっており、季節・地方依存性が見られた。しかしながら、 S_4 とROTIの増大は必ずしも一致していなかったため、両値の日変動を調べた。このとき、 S_4 とROTIが同時に増大した場合、 S_4 のみが増大した場合、ROTIのみが増大した場合に分類した。 S_4 とROTIは主に朝や日中に同時に増大した。一方のみが増大するのは夜間に多かった。また、同時に増大した場合で

も S₄ の方が長時間継続する傾向がみられた。本研究ではこれらの違いがみられた時の、3地点の信号強度の位相の時間差から計算した相互相関係数や電離圏電子密度のドリフト速度を調べ、ドリフト速度の増加がみられた。このようにして、極域におけるシンチレーションを起こす電離圏擾乱の生成機構について考察する。

地磁気静穏日変化の季節変化と太陽活動依存性

新堀 淳樹 [1]; 小山 幸伸 [2]; 能勢 正仁 [3]; 堀 智昭 [4]; 大塚 雄一 [5]
[1] 名大・宇地研; [2] 大分高専
; [3] 京大・理 地磁気センター; [4] 名大 ISEE; [5] 名大宇地研

Characteristics of seasonal variation and solar activity dependence of the geomagnetic solar quiet daily variation

Atsuki Shinbori[1]; Yukinobu KOYAMA[2]; Masahito Nose[3]; Tomoaki Hori[4]; Yuichi Otsuka[5]
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] NIT, Oita College; [3] DACGSM, Kyoto Univ.; [4] ISEE, Nagoya Univ.; [5] ISEE, Nagoya Univ.

Geomagnetic solar quiet (Sq) daily variation is observed as a regular waveform at ground magnetometer stations from mid-latitudes to the equator on the dayside. The Sq variation is mainly produced by large-scale ionospheric currents flowing in the E- and lower F1-regions (90-140 km) of the ionosphere. The Sq currents consist of two parts: one is the anti-clockwise current in the northern hemisphere, and the other is the clockwise current in the southern hemisphere. They are driven by the ionospheric electric field caused by the ionospheric dynamo action through interaction between charged and neutral particles in the E- and lower F1-regions of the ionosphere. Since the Sq currents concentrate in a height range of 90 -140 km, we can find several signals of long-term variation in the upper atmosphere from the analysis of long-term variation in the Sq field. In this study, we investigate characteristics of long-term variation in the monthly mean Sq variation in the X and Y components (Sq-X and Sq-Y) using long-term geomagnetic field data obtained at Memanbetsu (MMB) in mid-latitudes and Guam (GUA) near the equator from 1957 to 2016 with an aid of the Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork tools. Especially, we clarify local time and seasonal dependence of the sensitivity of Sq-X and Sq-Y to the solar activity. In the present analysis, we used long-term geomagnetic field data with 1-h time resolution obtained at MMB and GUA provided by the World Data Center for Geomagnetism, Kyoto University. In order to determine geomagnetic quiet days, we referred the geomagnetic activity index (Kp) with 3-h time resolution provided by the GeoForschungsZentrum (GFZ) Potsdam. In this study, we defined the quiet day when the maximum value of the Kp index is less than 3 for that day. As a good indicator of solar activity, we adopted the 10.7 cm solar radio flux (F10.7) provided by the Natural Resources Canada. In this analysis, we used the monthly average of the adjusted daily F10.7 corresponding to geomagnetically quiet days. For identification of Sq-X and Sq-Y, we first determined the baseline of the X and Y components from the average value from 22 to 2 h (LT: local time) for each quiet day. Next, we calculated a deviation from the baseline of the X- and Y-components of the geomagnetic field for each quiet day, and computed the monthly mean value of the deviation for each local time. As a result, Sq-X and Sq-Y show a clear seasonal variation and solar activity dependence. The amplitude of the seasonal variation in Sq-X and Sq-Y increases significantly during high solar activities, and is proportional to the solar F10.7 index. The pattern of the seasonal variation is quite different between Sq-X and Sq-Y observed in mid-latitudes and equator. The correlation analysis between the solar F10.7 index and Sq-X and Sq-Y shows almost the linear relationship, but the slope and intercept of the linear fitted line depend on both local time and month. This implies that the sensitivity of the Sq variation to the solar activity is different for different local times and seasons. The local time dependence of the offset value of Sq-Y at GUA and its seasonal variation suggest a magnetic field produced by inter-hemispheric FACs. From the sign of the offset value of Sq-Y, it is inferred that the inter-hemispheric FACs flow from the summer to winter hemispheres in the dawn and dusk sectors and from the winter to summer hemispheres in the pre-noon to afternoon sectors. The direction of the inter-hemispheric FAC in the dusk sector is opposite to the prediction by Fukushima's model. From the slope of the linear fitted line, we observe a weak solar activity dependence of the inter-hemispheric FACs, which shows that the intensity of inter-hemispheric FACs has positive and negative correlations in the morning-noon and afternoon sectors, respectively.

GAIAによって計算されたSq磁場変動の評価

藤田 茂 [1]; 村田 友香 [2]; 藤井 郁子 [3]; 三好 勉信 [4]; 品川 裕之 [5]; 陣 英克 [5]; 藤原 均 [6]
[1] 気象大; [2] 気象庁; [3] 気象大学校; [4] 九大・理・地球惑星; [5] 情報通信研究機構; [6] 成蹊大・理工

Evaluation of the Sq magnetic field variation obtained by GAIA

Shigeru Fujita[1]; Yuka Murata[2]; Ikuko Fujii[3]; Yasunobu Miyoshi[4]; Hiroyuki Shinagawa[5]; Hidekatsu Jin[5]; Hitoshi Fujiwara[6]

[1] Meteorological College; [2] Japan Meteorological Agency; [3] Meteorological College; [4] Dept. Earth & Planetary Sci, Kyushu Univ.; [5] NICT; [6] Faculty of Science and Technology, Seikei University

Geomagnetic variations reproduced by the Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy (GAIA) are compared with those observed at global magnetic observatory network in dead calm days in order to evaluate accuracy of the ionospheric current system calculated by GAIA. The results are as follows:

Correlation coefficients of the magnetic variations between the GAIA and observations are as high as 0.8 for the Y component. The X and Z components also show good correlation higher than 0.5 in many observatories.

There are some exceptional observatories with the low correlation. In the latitudes of the Sq current vortex center, the X component exhibits low correlation. The low correlation for the Y component appears in the magnetic equatorial region.

Essentially, the amplitude of the calculated Sq magnetic variation does not correspond to the observed one because GAIA does not consider induction of the conducting Earth. Calculated intensity of the horizontal geomagnetic variations (X and Y components) exhibit larger than the observed ones, whereas that of the vertical variation (Z component) shows depressed to the observed one. This tendency is consistent with the induction effect of the conducting Earth. Thus, we conclude that GAIA reproduces the ionospheric current system.

As a conclusion, we confirm that the ionospheric current distribution of GAIA is considerably realistic except the amplitude. If we do not care the amplitude difference, the global patterns of the ionospheric current and ground magnetic variation are regarded as proxies of the observed currents and ground magnetic variations, respectively. Therefore, we can utilize GAIA to elucidate unresolved issues about the Sq, for example, the atmospheric effect to the day-to-day variability of the Sq current system. In addition, it is proved that the Sq magnetic variations derived by GAIA can be used as the first guess of the 3D EM inversion problem for estimation of electrical resistivity in the mantle transition region. Furthermore, the inversion result will provide the new ionospheric current system compiled by induction of the Earth. This is one of the ultimately important researches that bridge the space science and the solid Earth geomagnetism.

InSAR で捉えたスホラディック E 層の非分散性成分の解釈

古屋 正人 [1]; 前田 隼 [2]; 日置 幸介 [3]

[1] 北大・理・地惑ダイナミクス; [2] 北海道大学附属図書館; [3] 北大・院理・地球惑星

An interpretation on the non-dispersive phase during the Es detected by InSAR

Masato Furuya[1]; Jun Maeda[2]; Kosuke Heki[3]

[1] Earth and Planetary Dynamics, Hokkaido Univ.; [2] Hokkaido Univ. Library; [3] Hokkaido Univ.

<http://www.sci.hokudai.ac.jp/~furuya>

Maeda et al. (2016, GRL) first succeeded in demonstrating an Es episode in Japan, using both GNSS TEC and an InSAR image derived from the Advanced Land Observation Satellite/Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar (ALOS/PALSAR); ALOS was launched in 2006 by Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). Maeda et al. (2016) could attribute the phase anomalies in the InSAR image to the Es episode, given the nearly identical location of the phase anomalies in InSAR data to those derived from GNSS TEC data.

We should note, however, that GNSS TEC is physically distinct from what InSAR phase anomaly indicates, because InSAR phase includes not only dispersive signal due to TEC but also non-dispersive phase delay that has been mostly attributed to polar molecules in the troposphere. In contrast to the dual frequency measurement by GNSS, SAR imaging has been performed with a single carrier frequency, and no-operational corrections for ionosphere have been done so far. However, it has been demonstrated that split-spectrum method (SSM) could virtually perform dual frequency imaging, thereby allowing for possibly operational correction of dispersive effects (Gomba et al. 2016, IEEE TGRS).

Applying the SSM InSAR to two Es episodes in Japan, we observe that small-scale dispersive signals due to the Total Electron Content (TEC) anomalies are accompanied with non-dispersive signals with similar scale at the same locations. We interpret that the latter non-dispersive signals would indicate the emergence of nitric oxide (NO) generated by the reaction of metals, Mg and Fe, with nitric oxide ion (NO+) during the Es. We discuss the implications for the observed Es signals.

衛星ビーコン観測からの絶対全電子数推定の自動化に関する研究

坂本 悠記 [1]; 山本 衛 [1]; Hozumi Kornyanat[2]
[1] 京大・生存圏研; [2] NICT

Study on automation of absolute TEC estimation from satellite-ground beacon experiment

Yuki Sakamoto[1]; Mamoru Yamamoto[1]; Kornyanat Hozumi[2]
[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] NICT

Studies of ionospheric structures by the satellite-ground beacon experiment were conducted mainly in southeast Asia. For example, meridional chain of five beacon receivers along 100E meridian showed meridional distribution of total-electron content (TEC) of the ionosphere, and we revealed time and spatial variabilities of equatorial anomaly (Watthanasangmechai et al, 2014, 2015). The data analysis was, however, not easy mainly because of difficulty in estimating bias of the measurement to get the absolute TEC.

In this presentation, we try to automate the bias estimation and lower the barrier for data analysis. The automatic bias estimation is divided in two stages. In the beginning, a rough estimation is done based on a single-station data. It is assumed that the TEC distribution is uniform in a small section of the data, and many bias candidates are obtained from all sections. The bias is then selected as the maximum frequent value. The second approach is the multi-station estimation. The basic idea is the same as two-station method, but we tried to find balance between stable bias finding by the Brute-effort way and reduce of computation time. We start the bias finding from matching between two stations, and then connect the data to those from the next station. Finally, the bias values of all stations were selected by the Brute-effort way with limited variation range. This multi-station bias estimation for one satellite pass takes about 80 s of computation by a usual desktop PC. Results of this analysis for the 100E meridional chain well resemble to those by Watthanasangmechai et al (2014, 2015). We organize these data into one NetCDF format that helps easier use of the data.

我々はこれまで東南アジア域を中心とした衛星＝地上のビーコン観測によって、電離圏の構造に関する研究を行ってきた。例えば東経 100 度沿いに構築された 5 地点の受信機からその経線に沿った電離圏全電子数 (TEC) の分布を明らかにし、赤道異常の時間・空間構造を示すことに成功している (Watthanasangmechai et al, 2014, 2015)。しかしながら、絶対 TEC 値を得るためのバイアス値の推定が困難で、解析時間がかかりすぎるため大量のデータ解析は容易ではなかった。

本研究では、データ解析への障壁を下げるためにバイアス推定の自動化を試みた。これは次の 2 段階に分けられる。第 1 段階として、1 つの観測地点のデータを用いて大まかな推定値を求める。TEC の分布を小さな区間のデータの集まりであると考え、その全ての区間から多くのバイアス候補値を求める。この段階でのバイアス値は最頻値とした。第 2 段階として、複数の観測地点のデータを用いる。基本的な考えは一般的な 2 地点法 (地上の 2 地点から観測される TEC 値が一致するとしてバイアス値を求める) と同様であるが、多地点データを用いた上で、自動的かつ効率的なバイアス推定を開発した。計算量削減のために、まず全ての隣接 2 地点間のバイアス推定を行った。続いてその推定値まわりの変動範囲を限定した上で、全ての観測地点のデータを用いた総当りを行い、最も確からしいバイアス値を求めた。1 衛星パスのバイアス推定に要する時間は、一般的な PC を使用して 80 秒である。またこの手法による絶対 TEC 値は、Watthanasangmechai et al (2014, 2015) による解析結果とほぼ一致した。これらの TEC データを扱いやすくするために NetCDF フォーマット化を進めた。

GPS-TECに基づく電離圏電子密度3次元トモグラフィの高速大量データ解析

水野 遼 [1]; 山本 衛 [1]; 齋藤 昭則 [2]; 齋藤 享 [3]

[1] 京大・生存圏研; [2] 京都大・理・地球物理; [3] 電子航法研・航法システム

Three-dimensional tomography of ionospheric electron density based on GPS-TEC: High-speed mass data analysis

Ryo Mizuno[1]; Mamoru Yamamoto[1]; Akinori Saito[2]; Susumu Saito[3]

[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.; [3] NAV Department, ENRI

Real-time information of the ionospheric electron distribution is important for the correction of the measurement errors in satellite navigation. We developed three-dimensional ionosphere tomographic analysis with GEONET and have analyzed in real time since April 1, 2016. The aim of this paper is to improve this real-time monitoring system. There are two points to be improved in this study. The first point is to analyze past data. For analyzing the past GEONET data, we keep the same way as to the real-time analysis. As the real-time system use 200 selected stations, we selected the same number of stations on January 1st of each year. Also, in order to improve computation speed of this analysis, we ported our analysis system to the super computer system A (Camphor 2) of Kyoto University. This super computer consists of 1800 nodes, and each node comprises 68 cores and 112GB of memory. We assigned 10-day data analysis to each node, and used 37 nodes to analysis one-year data. This whole one-year analysis takes about 10 hours, which corresponds to about 230 times improvement of the computation time. By using this system, we have analyzed GEONET data since 2009. For the data before 2009, there are some problems, i.e., data format difference. We now try to overcome these problems. Next, we will compare the tomography results with other observations of the ionosphere, and assess quality of the tomography analysis. We will also want to increase analysis area by including data from Korea and/or Taiwan.

電離圏電子分布を正確に知ることは、衛星航法における計測誤差の補正や電離層擾乱観測に基づく津波警報システム等に必要とされている。我々は、GEONET 観測網からの電離圏全電子数データをもとに、電離圏の3次元トモグラフィ解析を開発し、2016年4月からリアルタイム解析を開始した。本研究は、これを改良することを目的とする。具体的には、これまで蓄積されてきたTECデータの一括大量解析、トモグラフィ解析結果と他の観測データの比較、韓国や台湾のデータ導入による解析領域の拡大、解析結果のweb公開のレベル向上等である。

まず過去データの解析について、リアルタイム解析ではGEONET約1300点の基地局のうち、200点の観測データを使用している。過去観測データ解析についても、まずリアルタイム解析と同じ観測点を用いて同等の解析を進めることとした。ただし、解析期間が古くなるにつれて、観測点の数が減少する傾向にある。そのため、過去にさかのぼりながら、毎年1月1日に存在する基地局データをもとに、その年の解析に用いる200点を選定した。現在のリアルタイム解析では1解析の所用時間は約6分(研究室のPCで実施した場合は約4分)である。この速度では全過去データの解析に要する時間が数年になってしまうため、大幅な向上を目指して、大型計算機の並列処理を用いることとした。大型計算機としては、京都大学のスーパーコンピュータシステムA(Camphor 2)を使用した。この計算機は1800個のノードから構成されており、1ノードあたり68個の計算コアと112GBのメモリーを有する。1ノードに各10日分の解析を割当て、37個のノードを用いることで、1年分の解析を約10時間で完了できた。これは、現在のシステムの約230倍の速度向上に当たる。これまで全プログラムをpythonで開発してきたため、研究室のPCからスーパーコンピュータへの移植に当たってのプログラム変更はほぼ皆無で、並列化にかかわる部分の開発のみで実現できたことも、今回の開発の特徴とである。現在までに、最近8年分の電離層の3次元構造のデータベースが完成している。但しさらに過去のデータについては、データフォーマットの変更等の問題があるため、対処を進めている。

今後は、地域または季節などに起因する3次元解析システムの誤差の評価を行う。また、韓国と台湾からテスト用の観測データを提供いただいていることから、日本の観測データと合わせて解析を行うことで、より広範囲の解析を進める。

極域で観測された大気電場・ELF波動データの複合解析による全地球電気回路の研究

源 泰拓 [1]; 鴨川 仁 [2]; 門倉 昭 [3]; 佐藤 光輝 [4]
[1] 東京学芸大学; [2] 東京学芸大・物理; [3] 極地研; [4] 北大・理

A study of the global electrical circuit by analyzing atmospheric electric field and ELF waves data in the polar region

Yasuhiro Minamoto[1]; Masashi Kamogawa[2]; Akira Kadokura[3]; Mitsuteru SATO[4]
[1] Tokyo Gakugei University; [2] Dept. of Phys., Tokyo Gakugei Univ.; [3] NIPR; [4] Hokkaido Univ.

The global electric circuit is an electric current circuit between the ionosphere and the earth's surface. Lightnings and rainfalls in active cumulonimbus storm cells are regarded as the generation of an electromotive force in the circuit. In polar region, little air pollution which disturbs atmospheric electricity observation provides an ideal environment to monitor an ionospheric potential change. On the other hand, the magnetosphere-ionosphere current system above the polar region might affect the global electric circuit. Continuous atmospheric electric-field observations have been carried out routinely at Syowa Station (69.0S, 39.6E), located on East Ongul Island near the continent of Antarctica. First of all, we showed the relationship between atmospheric electric-field data and meteorological parameters such as cloud volume and wind speed to extract suitable periods for global electric circuit analysis. Meanwhile, ELF magnetic field waveform data obtained on West Ongul Island near Syowa station might indicate the total intensity of global lighting activity. In this study, we attempt to quantitatively discriminate the components of currents in global electric circuit such as lightnings and precipitations. This may contribute to the discussion about the interference between the global electric circuit and magnetosphere-ionosphere current system.

雷活動や活発な積乱雲における降雨が発電機の役割を果たし、電離圏と地球表面とを結ぶ地球規模の直流電気回路（グローバルサーキット）を形成している。極域は地表における電場計測にノイズをもたらす大気汚染がほぼないため、大気電場を通じた電離層電位のモニタリングに理想的な観測環境があるとされているが、その一方で、極域上空の磁気圏-電離圏電流系が電気回路に大きく寄与し、グローバルサーキットを変調する可能性がある。本研究では、南極昭和基地において定常的にかつ連続的に実施されている大気電場観測データと、雲量・風速などの気象パラメタとの関係性を検証し、大気電場観測値がグローバルサーキットを反映している時間帯を抽出した。一方、昭和基地近傍の西オングル島に設置されているELF波動観測は全球的な発雷をモニターできるとされている。このELF波動データと大気電場観測値を比較し、グローバルサーキットにおける、雷活動や降雨など対流圏内のファクターと、それ以外の要因に依る寄与を切り分ける。その成果を用いて、グローバルサーキットモデルの定量評価を行い、磁気圏-電離圏電流系が地表の電磁環境へ及ぼす影響を解明するための基礎資料とする。

95GHz 雲レーダ FALCON-I で観測された雲パラメータと大気電場との比較

中森 広太 [1]; 鈴木 康樹 [2]; 大矢 浩代 [3]; 鷹野 敏明 [4]; 河村 洋平 [5]; 中田 裕之 [6]; 山下 幸三 [7]

[1] 千葉大・工・人工システム・電電; [2] 千葉大・工・人工システム・電子電子; [3] 千葉大・工・電気; [4] 千葉大・工; [5] 千葉大・工; [6] 千葉大・工・電気; [7] 足工大・工学部

Comparison between atmospheric electric fields and cloud parameters using a 95-GHz radar FALCON-I

Kota Nakamori[1]; Yasuki Suzuki[2]; Hiroyo Ohya[3]; Toshiaki Takano[4]; Yohei Kawamura[5]; Hiroyuki Nakata[6]; Kozo Yamashita[7]

[1] Electrical and Electronic, Chiba Univ.; [2] Electrical and Electronics Engineering, Chiba Univ.; [3] Engineering, Chiba Univ.; [4] Chiba Univ.; [5] Engineering, Chiba Univ.; [6] Grad. School of Eng., Chiba Univ.; [7] Engineering, Ashikaga Institute of Technology

It is known that lightning and precipitations of rain droplets generated from thunderclouds are the generator of global atmospheric electric circuit. In the fair weather, the atmospheric electric fields are downward (positive), while they are upward (negative) during lightning and precipitations. However, the correlations between the electric fields, and the cloud parameters such as cloud cover, weather phenomenon, have not been yet revealed quantitatively. In this study, we compare between the electric fields and the cloud parameters, weather phenomenon using a field mill, the 95 GHz-FALCON (FMCW Radar for Cloud Observations)-I and all-sky camera observations.

In this study, we installed a Boltek field mill on the roof of Engineering Research Building-2 in Chiba University, Japan, (Geographic coordinate: 35.63 degree N, 140.10 degree E, the sea level: 55 m) on 1 June, 2016 to observe the electric fields. The sampling time and voltage range of the electric fields are 0.5 s and +/- 20 kV/m, respectively. On the other hand, the FALCON-I has been originally developed by our group, and has observed the cloud parameters throughout 24 hours every day. The reflectivity and the Doppler velocity of cloud particles can be derived by the FALCON-I with high spatial resolutions (48.8 m). In addition, the images of the clouds and precipitations are recorded with 30-s sampling by an all-sky camera using a CCD camera on the same roof during 05:00-22:00 LT every day. The distance between the field mill and the all-sky camera is 3.75 m, while the distance between the field mill and the FALCON-I is 76 m.

We developed the automatic procedure to estimate the cloud cover from cloud optical images using the RGB color values. We investigated the dependence of the distance between the field mill and the clouds on the atmospheric electric fields by dividing the zenith. We estimated the correlations between the electric fields and the cloud cover at each zenith for 19 days during 05:00-22:00 LT, June, 2016 & April, 2017. The correlation coefficient for the zenith of 90 degrees was largest in all the cases. When the zenith extended from 5.5 degrees to 57.5 degrees, the mean electric field and the standard deviation decreased by 0.18 kV/m and 0.16 kV/m for the cloud cover of 90-100%, respectively. The mean electric field decreased as the cloud cover increased.

During lightning occurrence at 08:30 & 10:30 UT, on 4 July, 2016, we found two kinds of variations in the electric fields. One was slow variation due to the movement of thunderclouds, and the other was rapid pulse-like variation associated with lightning discharges. As for the movement of thunderclouds, the electric fields increased when the anvil was located over the field mill, which was opposite direction of the previous studies. This change might be due to the positive charges in the anvil at more than 14 km altitudes. As for the rapid pulse-like variations of the electric fields, 12 peaks of the electric fields coincided with the occurrence of the lightning located within 37 km from the field mill using the JLDN lightning data.

On 23-24 November, 2016, we found the variations of the electric fields due to snowfall. In wavelet spectra, the period of the oscillation was about 66.7 min from about 19:00 UT on 23 November to 03:00 UT on 24 November. In the wavelet spectra of the cloud reflectivity derived from the FALCON-I, at about 2 km altitude, the periods of the cloud reflectivity were seen to be about 66.7 min from about 17:00 UT to 20:00 UT on 23 November, 33.3 min from 21:00 UT to 23:00 UT on 23 November, and 50.0 min from 23:00 UT on 23 November to 01:30 UT on 24 November. This was consistent with the period of the electric fields until around 20:00 UT on 23 November, although the periods of the cloud reflectivity were shorter than those of the electric fields thereafter.

雷雲から生成される雷や雨は、グローバルサーキットと呼ばれる地球上の大規模な回路の発電機となることが知られている。通常、フェアウェザー時には大気電場は下向き、雷・降雨時には上向きとなるが、大気電場と雲との定量的相関は明らかになっていない。本研究では、フィールドミルによる大気電場と、千葉大学で独自に開発された 95GHz 雲レーダ FALCON (FMCW Radar for Cloud Observations)-I および全天カメラによる雲との同時観測・比較をすることで、大気電場と雲量(ここでは上空画像面積に対する雲面積の割合)、気象現象との相関を明らかにすることを目的とする。本研究では、2016年6月-2017年4月のうち晴れ、曇りであった19日間、2016年7月4日の雷雨時、および2016年11月23-24日の降雪時の解析結果を示す。

大気電場観測のため Boltek 社のフィールドミルを 2016 年 6 月 1 日に、千葉大学西千葉キャンパス工学系総合研究棟 2 建物の屋上 (35.63 deg. N, 140.10 deg. E, 海拔高度 55 m) に設置した。サンプリングタイムは 0.5 s, 電圧レンジは +/- 20

kV/m である。一方,FALCON-I はフィールドミルから約 76 m 離れた地点で, 毎日 24 時間, 雲の定常観測を行っている。FALCON-I は, 高い距離分解能 (48.8 m) で雲の鉛直プロファイルや雲粒子のドップラー速度を観測できる。また CCD カメラを用いた全天カメラにより, フィールドミルと同じ建物の屋上にて毎日 05:00-22:00 LT の間,30 s ごとに上空画像を保存している。フィールドミルと全天カメラとの距離は 3.75 m である。

全天カメラにより取得される雲画像の RGB 値を解析し, 雲量を推定する雲量計測プログラムを作成した。また, 大気電場に対する雲の距離依存性を調べるため, 天頂角ごとの大気電場と雲量との相関を調べた。2016 年 6 月から 2017 年 4 月のうち晴れ, 曇りであった 19 日間 (05:00-22:00 LT) の大気電場と雲量との相関を取ったところ, 天頂角が 90 度のときに最も相関係数が大きかった。また天頂角が 5.5 度のとき, 雲量が 0-10% で大気電場は 0.65 ± 0.41 kV/m,90-100% で 0.23 ± 0.47 kV/m であり, 天頂角が 57.5 度のとき,0-10% で 0.65 ± 0.40 kV/m,90-100% で 0.05 ± 0.31 kV/m であった。天頂角が 5.5 度から 57.5 度になると, 雲量が 90-100% のときの大気電場は 0.23 kV/m から 0.05 kV/m と小さくなり, 標準偏差も 0.47 kV/m から 0.31 kV/m と小さくなった。雲量が 0-10% のときは天頂角に依存せず大気電場と標準偏差はほぼ一定であった。また, 雲量が増加するにつれて大気電場が小さくなった。

2016 年 7 月 4 日 08:30 - 10:30 UT の雷雨時に大気電場変動が確認された。この大気電場変動には, 雷雲の接近・通過に伴い正負正の緩やかな変動と, 急激なパルス状変動の 2 パターンの変動が見られた。前者について, 通常考えられている雷雲位置と大気電場変動の関係とは異なる結果が得られた。本イベントでは, アンビルが真上に来ると大気電場が正になり, 降雨時に大気電場が負に変化した。これはアンビル中の正電荷からの影響であると考えられる。後者の大気電場の急激なパルス状変動は 12 個観測された。JLDN の雷位置推定データと比較したところ, 大気電場のパルス状変動 12 個全てにおいて, フィールドミルから水平距離 37km 以内の雷の発生時刻と一致したことから, 近隣で発生した雷の影響であると考えられる。

2016 年 11 月 23 - 24 日の降雪時に, 千葉大学と柿岡観測所において大気電場が正負に大きく振動したことが確認された。2 地点の距離は 67.1 km である。2 地点の大気電場と雲の反射強度の Wavelet 変換を行ったところ, 千葉では 2016 年 11 月 23 日 19:00-24 日 03:00 UT で大気電場の周期は約 66.7 分で強度が強く, 柿岡では 23 日 21:00-24 日 04:00 UT で約 83.3 分でピークが見られた。また高度約 2 km で,23 日 17:00-20:00 UT の雲の反射強度の周期が約 66.7 分,23 日 21:00-23:00 UT では約 33.3 分,23 日 23:00-24 日 01:30 UT では約 50.0 分にあった。23 日 20:00 UT 頃までは千葉での大気電場の周期と一致しているが, それ以降は雲の反射強度の周期のほうが短いという結果となった。

シビア気象規模発達の直前予測にむけたアジア域における雷放電観測網の構築

佐藤 光輝 [1]; 高橋 幸弘 [2]; 山下 幸三 [3]; 久保田 尚之 [4]; 濱田 純一 [5]; 百田 恵理子 [1]; Marciano Joel[6]
[1] 北大・理; [2] 北大・理・宇宙; [3] 足工大・工学部; [4] 北大・理; [5] 首都大・都市環境; [6] ASTI, DOST

Construction of Lightning Observation Network in Asian Countries for the Intensity Development Prediction of Severe Weather

Mitsuteru SATO[1]; Yukihiro Takahashi[2]; Kozo Yamashita[3]; Hisayuki Kubota[4]; Junichi Hamada[5]; Eriko Momota[1];
Joel Marciano[6]

[1] Hokkaido Univ.; [2] CosmoSciences, Hokkaido Univ.; [3] Engineering, Ashikaga Institute of Technology; [4] Faculty of Science, Hokkaido Univ.; [5] Tokyo Metropolitan Univ.; [6] ASTI, DOST

Lightning activity is a good proxy to represent the thunderstorm activity and the precipitation and updraft intensities. Especially, thunderstorm activity is an important parameter in terms of the energy inputs from the ocean to the atmosphere inside tropical cyclone, which is one of severe weather events. Recent studies suggest that it is possible to predict the maximum wind velocity and minimum pressure near the center of the tropical cyclone by one or two days before if we monitor the lightning activities in the tropical cyclone. Many countries in the western Pacific region suffer from the attack of tropical cyclone (typhoon) and have a strong demand to predict the intensity development of typhoons. Thus, we started developing a new automatic lightning observation system. This lightning observation system consists of a VLF sensor detecting lightning-excited electromagnetic waves in the frequency range of 1-5 kHz, an automatic data-processing unit, solar panels, and batteries. Lightning-excited VLF pulse signals detected by the VLF sensor are automatically analyzed at the data-processing unit, and the extracted information, such as the trigger time and pulse amplitude, is transmitted to a data server via the commercial 3G communications. This observation system will be installed at Guam, Palau, and Manila in the Philippines in this summer. In addition, we are also developing another type of the lightning and weather observation system, which will be installed at 50 automated weather stations in Metro Manila and 10 radar sites in the Philippines. These instrumental development and installation are carried out under the 5-year project (SATREPS). At the presentation, we will show the initial results derived from the lightning observation system and will show the detailed future plan of the SATREPS project.

雷放電は強い上昇気流に伴い発達した雷雲内で生じるため、雷雲活動度、降水量、鉛直対流強度などに対し良い指標となりうると指摘されている。特に近年では、シビア気象の規模発達の直前予測に対して雷放電活動を監視することが有用であることが示され得ている。中でもシビア気象の1つである台風に関して、台風内部で発生する雷放電発生頻度を計測すると台風の最大風速や気圧を1-2日前に予測できるという先行研究も示されており、海洋から大気へのエネルギー流入と台風発達過程において雷雲が重要な役割を果たしていると考えられることから、雷放電活動のリアルタイム監視体制を構築することが急務となっている。特にアジア域では、台風などのシビア気象による災害が毎年のように発生しているにもかかわらず、気象観測網や雷放電観測網は十分に整備されていない。そのため、特にアジア域におけるシビア気象の規模発達の直前予測を目的として、我々は新たな雷放電観測システムを開発している。この観測システムは雷放電放射 VLF 波動を検出する電波受信器、データ処理装置、太陽電池パネル、蓄電池で構成され、雷放電電波を受信すると自動的に波形解析が行われて、波形トリガ時刻や振幅値がテキストデータとして 3G 電話回線でデータサーバに伝送される仕組みとなっている。商用電源や LAN を必要とせずに観測を継続できる点が大きな特徴で、観測システムを設置さえすれば直ぐに観測を始められる点が特徴である。今年の夏にこのシステムをグアム、パラオ、マニラに設置予定である。さらに、今年の4月から SATREPS のプロジェクトが始動し、この観測システムをさらに改良したシステムを開発して、マニラ首都圏の 50 箇所、フィリピン全土の 10 箇所に設置する予定である。講演では、グアム、パラオ、マニラに設置した観測システムの初期観測結果と、SATREPS プロジェクトの概要について紹介する。

地デジ放送波を用いた水蒸気観測の現状

川村 誠治 [1]; 花土 弘 [1]; 瀨瀬 丈晴 [1]; 太田 弘毅 [1]
[1] 情報通信研究機構

Current status of water vapor observation using digital terrestrial broadcasting waves

Seiji Kawamura[1]; Hiroshi Hanado[1]; Takeharu Kouketsu[1]; Hiroki Ohta[1]
[1] NICT

We, National Institute of Information and Communications Technology, are developing a method to estimate water vapor (propagation delay due to water vapor) near ground surface using digital terrestrial broadcasting waves. Our target is to improve the accuracy of numerical weather forecast through data assimilation. Measuring water vapor, which is the origin of raindrops, enable us to predict severe weather phenomena such as localized heavy rainstorms in urban areas with a longer lead time. A method to estimate water vapor using reflected waves and its results are already reported [1].

In this presentation, we will report (1) estimation of absolute values of propagation delay, (2) a method to estimate angles of arrival (AOA) of reflected waves, and (3) projects to deploy measurement systems around Tokyo area and their current status.

情報通信研究機構では、地上デジタル放送波の伝搬遅延を用いて地表面付近の水蒸気量を推定する手法の研究開発を進めている。主に水蒸気量変化に起因する伝搬遅延変動を精密に測定し、データ同化によって数値予報モデルの予報精度を向上させることを目標としている。水蒸気は雨粒としてレーダで観測される前の水であり、これを精密に測定することで局地的大雨等の時空間スケールの小さな現象の予測リードタイムをより長くできる可能性があると期待される。これまでに、反射法（直達波と反射波の位相差から観測地点と反射体の間の伝搬遅延変動を測定する手法）により妥当な水蒸気量推定ができていることが示されている [1]。

本発表では主に、(1) 遅延量の絶対値推定、(2) 反射波の到来角推定、(3) 関東域における多地点観測について報告する予定である。反射法では直達波と反射波の位相差の変動を測定するため、基本的に伝搬遅延の相対変化のみが観測される。ただし、周波数の異なる複数の放送波の位相差を用いることで空間中の波数を推定することが可能であり、これにより伝搬遅延の絶対値を推定することができる。また、反射法では被測定空間を同定するために反射体の特定が必要となる。観測を立ち上げる際に屋上で比較的簡便に実施できる到来角推定手法を検討し、実験を行った。その手法と結果を紹介する。最後に、現在進行中の関東域複数地点での多点観測を目指したプロジェクトとその現状について報告する。

[1] Kawamura, S., et al. (2017), Water vapor estimation using digital terrestrial broadcasting waves, Radio Sci., vol.52, pp. 367-377, doi:10.1002/2016RS006191.

Development of Software-Defined Multi-Channel Receiver System for the Equatorial Atmosphere Radar (EAR)

Nor Azlan Bin Mohd Aris[1]; Hiroyuki Hashiguchi[1]; Mamoru Yamamoto[1]
[1] RISH, Kyoto Univ.

Equatorial atmosphere is typically associated with the generation of most active convective motions which caused by absorption of strong solar radiations thus significantly affecting global atmospheric changes. However, the coupling processes in the equatorial atmosphere which incorporate hierarchical structure horizontally and vertically are still under debate specifically due to the sparseness of the observational data in the region. Furthermore, all the processes involved in the different layers of atmosphere were typically studied independently without a unified viewpoint which leads to a difficulty to identify the proper mechanism involved in the atmospheric changes and fluctuations.

Equatorial Atmosphere Radar (EAR) was established in June 2001 by the collaboration between Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University and Indonesian National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN) to improve the understanding of the equatorial atmospheric and its dynamical and electrodynamical coupling processes. EAR is a VHF Doppler radar operated at 47 MHz with an active phased-array antenna system and located at the equator at Kototabang, West Sumatra, Indonesia (0.20oS, 100.32oE, 865 m above sea level). It uses a quasi-circular antenna array with a diameter of approximately 110 m which consists of 560 three-element Yagi antennas. The maximum output power of the EAR is 100 kW.

Currently, the EAR has only a single receiving channel, and it still manages to produce interesting observations output regarding the atmospheric turbulence. Furthermore, with the availability of Radio Acoustic Sounding System (RASS) at the EAR site, it enables the observations of vertical profile of temperature thus make it possible to observe turbulence occurrence through continuous observations. The rapid development of multi-channel receiver system in most radar system allows for the implementation of more sophisticated observation technique such as spaced-antenna (SA) and spatial imaging observations. Here, we present the initial development of multi-channel receiver system for the EAR using general-purpose software-defined radio receivers.

The multi-channel digital receiver system will be developed using the combination of Universal Software Radio Peripheral 2/N210 (USRP2/N210) series and GNU Radio which allow the implementation of sophisticated software-defined radar receiver, yet at lower development cost compared to conventional radar hardware. The receivers are synchronized using 10 MHz reference clock and 1 pulse per second (PPS) signal. Signal processing such as filtering, range gating, and coherent integration will be performed in real time utilizing a personal computer and GNU Radio software and the data produced will be stored in an external hard disk for post processing.



複数の気象再解析データにおける熱帯上部成層圏・下部中間圏大気循環場の比較

富川 喜弘 [1]; Harvey V. Lynn[2]; Knox John A.[3]; 藤原 正智 [4]

[1] 極地研; [2] UBC; [3] U. Georgia; [4] 北大

Comparison of atmospheric fields in the tropical upper stratosphere and lower mesosphere between multiple reanalysis data

Yoshihiro Tomikawa[1]; V. Lynn Harvey[2]; John A. Knox[3]; Masatomo Fujiwara[4]

[1] NIPR; [2] UBC; [3] U. Georgia; [4] Hokkaido U.

Several kinds of meteorological reanalysis data have been used for climate and atmospheric science studies. Their accuracy and reality depend on the forecast model and data assimilation method used therein, but they have never been quantitatively evaluated. In order to overcome this problem, the SPARC Reanalysis Intercomparison Project (S-RIP), which is a coordinated activity to compare all reanalysis data sets, was established in 2012. In this presentation, we will introduce an S-RIP activity on the evaluation of atmospheric fields in the tropical upper stratosphere and lower mesosphere.

A case study on mesospheric bore with ISS-IMAP/VISI observation

Yuta Hozumi[1]; Akinori Saito[2]; Takeshi Sakanoi[3]; Atsushi Yamazaki[4]; Keisuke Hosokawa[1]
[1] UEC; [2] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.; [3] Grad. School of Science, Tohoku Univ.; [4] ISAS/JAXA

We report two mesospheric bore events based on O₂ airglow observation by Visible and near Infrared Spectral Imager (VISI) of the ISS-IMAP mission (Ionosphere, Mesosphere, upper Atmosphere and Plasmasphere mapping mission from the International Space Station). The mesospheric bore is moving front of sharp jump followed by undulations or turbulence in the mesopause region. Since previous studies of mesospheric bore were mainly based on ground-based airglow imaging that is limited in field-of-view and observing site, little is known about its horizontal extent and global behavior. Space-borne imaging by ISS-IMAP/VISI provides an opportunity to study the mesospheric bore with wide field-of-view and global coverage. A mesospheric bore was captured by VISI in two consecutive paths on 9 July 2015 over the south of African continent (48°S - 54°S and ~15°E). The wave front aligned with south-north direction and propagated to west. The phase velocity and wave length of the following undulation were estimated to 100 m/s and 30 km, respectively. Those parameters are similar to those reported by previous studies. Anti-clockwise rotation of the wave front was recognized in this event. Another mesospheric bore was captured on 9 May 2013 over the south Atlantic ocean (35°S - 43°S and 24°W - 1°E) with more than 2,200 km horizontal extent of wave front. The wave front aligned with southeast-northwest direction. Because the following undulation is recognized in the southwest side of the wave front, it is estimated to propagate to northeast direction. The wave front was modulated with 1,000 km wave length. This modulation implies inhomogeneity of the phase velocity probably due to the background ducting structure.

Temporal and spatial variations of storm-time ionospheric irregularities on the basis of GPS total electron content data analysis

Toshiaki Sugiyama[1]; Yuichi Otsuka[2]; Atsuki Shinbori[1]; Takuya Tsugawa[3]; Michi Nishioka[3]
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] NICT

It has been well-known that an enhancement of the ionospheric irregularity is caused by auroral particle precipitation and high-speed plasma convection. Recently, Cherniak and Zakharenkova [2016] reported strong ionospheric irregularities in the topside ionosphere during the main phase of a super storm that occurred on March 17-18, 2015 that were associated with storm-enhanced density (SED) formation at mid-latitudes and evolution of the SED plume to the polar tongue of ionization (TOI). However, since they did not analyze the GPS data with high time resolution in the low-middle latitudes of less than 40 degrees (MLAT: magnetic latitude), detailed temporal and spatial evolution of the ionospheric irregularities during geomagnetic storms remains unknown. In this study, we analyze long-term global observation data of Total Electron Content (TEC) and Rate of TEC Index (ROTI) provided by NICT in order to clarify the temporal and spatial evolution of storm-time ionospheric irregularities. ROTI is defined as 5-minute deviation of ROT (Rate of TEC change) which is variation rate of TEC between 30 seconds. The ROTI data are often used to identify small-scale (3-30 km) irregularities of plasma density. The two dimensional horizontal maps of ROTI and TEC can be obtained from worldwide GPS data every 5 minutes and 30 seconds respectively. For projecting ROTI and TEC on two dimensional map, we assumed there is ionized single layer at altitude of 300 km. In the present analysis, we used geomagnetic indices (Kp and Dst) provided by WDC for Geomagnetism, Kyoto University in order to identify several storm events.

We investigated behavior of ROTI during a large geomagnetic storm that occurred on March 17, 2015 with the minimum Dst index of -235 nT. This magnetic storm commenced at 05:00 UT on March 17. An intense ROTI enhancement was observed over North America at 07:45-11:00 UT on 17th and from 18:00 UT on 17th to 01:00 UT on 18th. At 07:45-11:00 UT, the enhanced ROTI region extends in the longitudinal direction and equatorward up to 41 degrees (GLAT: geographic latitude). From comparison with the UV data of wavelength 135.6 nm by the DMSP satellite, it is inferred that the ROTI enhancement is caused mainly by particle precipitations at auroral region. At 09:10-10:00 UT, the wavelike structures of the ROTI enhancement extending in the meridian direction was seen at the equatorial side boundary of ROTI enhancement. From the results of the HF radar data analysis, it can be thought that the wavelike structures are related to auroral undulations [Nishitani et al., 1994]. At 21:00-01:00 UT, the enhanced ROTI region extends only in the equatorward direction up to 36 degrees (GLAT) at 21:55 UT. During this period, SED was observed over North America. The enhanced ROTI region coincides with the inner and polar sides of SED. We further investigated behavior of ROTI during another geomagnetic storm that occurred on January 22, 2012. The minimum Dst index of this storm is -70 nT. In this case, we do not observe a remarkable expansion of the ROTI enhancement to mid-latitude. Although SED appeared from Europe to Iceland at 10:30-14:30 UT, there was no ROTI enhancement associated with this. In order to clarify a statistical view of storm-time ROTI behavior, we investigated local time and latitudinal dependence of ROTI on the Kp index. The average ROTI map for each Kp with 1-hour time interval was obtained using the ROTI data from 2012 to 2014. Since there were few events of which Kp index was larger than 5-, we examined ROTI map of which Kp index was from 0 to 4+. The ROTI enhancement corresponding to particle precipitation was always found irrespective of Kp index. The equatorial boundary of enhanced ROTI region expands to the lowest latitude at 00:00 LT (local time) and shrinks to the highest latitude at 12:00 LT. There were no ROTI enhancement in mid-latitudes. The equatorial boundary tended to expand to low latitude as the Kp index increases.

ISS-IMAPによる赤道プラズマバブルの観測ー磁気嵐時のバブル発生ー

中田 裕之 [1]; 高橋 明 [2]; 齊藤 昭則 [3]; 坂野井 健 [4]; 鷹野 敏明 [5]

[1] 千葉大・工・電気; [2] 千葉大・工・電気電子; [3] 京都大・理・地球物理; [4] 東北大・理; [5] 千葉大・工

Observation of equatorial plasma bubbles using ISS-IMAP - Occurrence of bubbles during geomagnetic storm -

Hiroyuki Nakata[1]; Akira Takahashi[2]; Akinori Saito[3]; Takeshi Sakanoi[4]; Toshiaki Takano[5]

[1] Grad. School of Eng., Chiba Univ.; [2] Artificial Systems Science, Chiba Univ.; [3] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.; [4] Grad. School of Science, Tohoku Univ.; [5] Chiba Univ.

<http://katla.nd.chiba-u.jp/~nakata/>

Equatorial plasma bubbles (EPBs) are large scale structures of depleted plasma density in the ionosphere. Ionospheric irregularities are included in EPBs and cause scintillation on wide-band radio waves. In this study, we examined seasonal-longitudinal dependence of the occurrence of EPBs using airglow images obtained by Ionosphere, Mesosphere, upper Atmosphere, and Plasmasphere mapping on board International Space Station (ISS-IMAP).

Since the depletion of electron density is associated with EPBs, EPBs are visualized as black lines in 630-nm airglow images. The occurrence rate of EPBs is calculated by the number of EPBs over the observation time. The occurrence rate determined by ISS-IMAP data is high at all longitude (but especially American region) in the equinoctial seasons. This result is consistent with the occurrence rate determined in the previous study, e.g., the observation using plasma density data on DMSP satellite. On the other hand, in summer, these occurrence rates are not consistent; the occurrence rate by ISS-IMAP is high at the American region as equinoctial seasons. We analyze EPB events observed during summer and it is shown that most of these events are subsequently to geomagnetic storm. Since it is reported that penetration electric fields near dusk are eastward and enhances in the stormtime occurred in summer, it is considered that prompt penetrating electric fields enhance the growth rate of EPBs.

赤道夕方側電離圏のプラズマ渦とプラズマバブル発生に対する太陽フレアの影響についてのGAIAモデルを用いたシミュレーション

松村 充 [1]; 塩川 和夫 [2]; 品川 裕之 [3]; 大塚 雄一 [2]; 陣 英克 [3]; 三好 勉信 [4]; 藤原 均 [5]
[1] 名大 ISEE; [2] 名大宇地研; [3] 情報通信研究機構; [4] 九大・理・地球惑星; [5] 成蹊大・理工

GAIA simulations of solar flare impacts on plasma vortex and plasma bubble generation in the equatorial evening ionosphere

Mitsuru Matsumura[1]; Kazuo Shiokawa[2]; Hiroyuki Shinagawa[3]; Yuichi Otsuka[2]; Hidekatsu Jin[3]; Yasunobu Miyoshi[4]; Hitoshi Fujiwara[5]

[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] NICT; [4] Dept. Earth & Planetary Sci, Kyushu Univ.; [5] Faculty of Science and Technology, Seikei University

In the post-sunset equatorial ionosphere, neutral wind and the steep gradient of plasma density produce a clockwise plasma vortex around geomagnetic field lines (looking North). The fast upward/poleward drift in the west side of the vortex is a generation factor of the plasma bubble. Meanwhile, solar flares intensify the EUV and X-ray radiation to decelerate the dayside upward/poleward drift. The flares could have effects also on the post-sunset vortex, but the effects had not been clarified.

In this study we improved the GAIA, a coupled global atmosphere-ionosphere model, to simulate how the plasma vortex and density respond to an X17 flare. As a result, we found the following effects: First, during the intense EUV and X-ray radiation, plasma density increased in the pre-sunset, drift velocity increased in the counterclockwise direction centering on the terminator line, and the density decreased in the post-sunset. After the flare irradiance decayed, the additional counterclockwise drift was decelerated and the original clockwise vortex carried the density enhancement to the topside/poleward side and the density depletion to the bottomside/equatorward side. The drift along the vortex was accelerated from the bottomside/equatorward side to the west side, and the density depletion penetrated to the topside/poleward side where the drift was decelerated. The velocity and density structure was maintained until six hours after the beginning of the flare. In the presentation, we will evaluate the effect of the flare on the plasma bubble with calculating the linear growth rate of the bubble.

日没後の赤道電離圏では、F領域のプラズマ密度の急勾配と中性風によって、磁力線を南からみて磁力線の回りに時計回りのプラズマの渦が磁力線を横切るようにつくられる。渦の西側では鉛直上向き/高緯度向きの速いドリフトは、プラズマバブルの発生要因となっている。一方、太陽フレアは極端紫外線・X線の放射を強めて昼側の電子密度を増やし、昼側の鉛直上向き/高緯度向きのドリフトを弱めることが知られている。フレアは昼側だけでなく日没後のプラズマ渦にも影響を与える可能性があるが、その詳細は明らかになっていない。

そこで本研究では、大気圏・電離圏結合全球モデルGAIAを改良し、X17の太陽フレアに対してこのプラズマ渦とプラズマ密度がどのように応答するのかについてシミュレーションを行った。その結果、まず、フレアによって極端紫外線やX線の放射が強まっている間は、日没前のプラズマの密度が増大し、渦の西側で日陰線を境にドリフト速度に反時計回りの変化がみられ、日没後のプラズマ密度が減少した。その後、フレアによる放射の増大が収まると、反時計回りのドリフト変化が弱まり、プラズマ渦に乗って密度増大が渦の高高度/高緯度側に、密度減少が低高度/低緯度側に移動した。渦の低高度/低緯度側から西側にかけてドリフト速度が発達するとともに、密度減少が渦の高高度/高緯度側にまで貫入し、そこでは逆にドリフト速度が弱められた。その速度構造はフレア開始の6時間後まで続き、密度は減少し続けた。本講演では、このような密度構造においてプラズマバブルの線形成長率を計算し、フレアがバブル発生に与える影響を評価する。

数値シミュレーションと赤道大気レーダー観測によるプラズマバブル上昇速度の推定

横山 竜宏[1]; Tulasi Ram Sudarsanam[2]; Ajith K. K.[2]; 山本 衛[3]; Niranjana K.[4]
[1] 情報通信研究機構; [2] IIG, India; [3] 京大・生存圏研; [4] Andhra Univ., India

Vertical rise velocity of equatorial plasma bubbles estimated from EAR observations and High-Resolution Bubble model simulations

Tatsuhiro Yokoyama[1]; Sudarsanam Tulasi Ram[2]; K. K. Ajith[2]; Mamoru Yamamoto[3]; K. Niranjana[4]
[1] NICT; [2] IIG, India; [3] RISH, Kyoto Univ.; [4] Andhra Univ., India

Equatorial plasma bubble (EPB) is a well-known phenomenon in the equatorial ionospheric F region. As it causes severe scintillation in the amplitude and phase of radio signals, it is important to understand and forecast the occurrence of EPBs from a space weather point of view. The development of EPBs is presently believed as an evolution of the generalized Rayleigh-Taylor instability. We have already developed a 3D high-resolution bubble (HIRB) model with a grid spacing of as small as 1 km and presented nonlinear growth of EPBs which shows very turbulent internal structures such as bifurcation and pinching. As EPBs have field-aligned structures, the latitude range that is affected by EPBs depends on the apex altitude of EPBs over the dip equator. However, it was not easy to observe the apex altitude and vertical rise velocity of EPBs. Equatorial Atmosphere Radar (EAR) in Indonesia is capable of steering radar beams quickly so that the growth phase of EPBs can be captured clearly. The vertical rise velocities of the EPBs observed around the midnight hours are significantly smaller compared to those observed in postsunset hours. Further, the vertical growth of the EPBs around midnight hours ceases at relatively lower altitudes, whereas the majority of EPBs at postsunset hours found to have grown beyond the maximum detectable altitude of the EAR. The HIRB model with varying background conditions are employed to investigate the possible factors that control the vertical rise velocity and maximum attainable altitudes of EPBs. The estimated rise velocities from EAR observations at both postsunset and midnight hours are, in general, consistent with the nonlinear evolution of EPBs from the HIRB model.

赤道電離圏においては、赤道スプレッド F/プラズマバブルと呼ばれる現象の研究が古くから行われている。プラズマバブルに伴う局所的なプラズマ密度の不規則構造が発生した場合には、電波の振幅、位相の急激な変動（シンチレーション）が生じるため、GPS 等による電子航法に深刻な障害を及ぼすことが知られている。現在までに、プラズマバブルの複雑な内部構造を再現可能な 3 次元数値モデルを開発し、非線形成長過程について明らかにすることに成功してきた。プラズマバブルの東西非対称性や、プラズマバブル内部の磁場変動等、これまでに観測されてきたプラズマバブルの特徴も良く再現されてきた。プラズマバブルは磁力線に沿った構造を持つため、影響を及ぼす緯度範囲はその到達高度に依存する。プラズマバブルは発生後に急速に高高度にまで発達するが、その上昇速度や到達高度は場合によって大きく変化する。しかし、その上昇速度を観測的にとらえることは容易ではなかった。赤道大気レーダー (EAR) は、高速にビームを走査することが可能であり、発達段階にあるプラズマバブルからのエコーの上端高度の変化から、プラズマバブルの上昇速度を推定することが可能である。一方、数値シミュレーションからは、様々な条件の下での上昇速度を推定できる。日没時と真夜中以降に発達するプラズマバブルについて、EAR 観測とシミュレーションから上昇速度を推定した結果、両者は比較的良好一致を示すことが示された。

Daytime TIDs over Japan by simultaneous ground-satellite observations by the GPS-TEC network and the CHAMP satellite

Aysegul Ceren Moral[1]; Kazuo Shiokawa[2]; Huixin Liu[3]; Yuichi Otsuka[2]; Michi Nishioka[4]; Takuya Tsugawa[4]
[1] ISEE, Nagoya University; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] None; [4] NICT

We report results of the daytime travelling ionospheric disturbances (TIDs) over Japan by simultaneous ground-satellite GEONET GPS receiver network and CHAMP satellite measurements. We used TEC (Total Electron Content) from GPS data and neutral and electron densities from the CHAMP satellite. For the years 2002 and 2008, we examined total of twenty events. From the events, fifteen of them have clear southward moving structures while the remaining five have clear northward moving structures in the GPS-TEC measurements are found. On 2002, simultaneous events are only observed in January (1 event) and February (4 events). All events from 2002 are southward moving events. On 2008, fifteen events are observed (January (3 events), February (5), March (1), May (1), June (1) September (1), October (2) and November (1)). CHAMP satellite measurements show quasi-periodic fluctuations for all events in the neutral and electron density data. We selected events with the criteria of CHAMP satellite crosses at least one clear TID phase front. To determine the both measurements are observing the same wave and to calculate the phase differences of those measurements, we fitted a sinusoidal function to the data and calculated frequencies and phase. In this presentation, we report of those TID structures seen in the simultaneous ground-satellite observations by GPS-TEC and CHAMP and identify the source of the daytime TIDs at middle latitudes.

GPS-地上受信機網により観測された中規模伝搬性電離圏擾乱の成長特性の研究

池田 孝文 [1]; 齊藤 昭則 [1]; 津川 卓也 [2]
[1] 京大・理・地球物理; [2] 情報通信研究機構

Study of the character of growth of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances observed by GNSS

Takafumi Ikeda[1]; Akinori Saito[1]; Takuya Tsugawa[2]
[1] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.; [2] NICT

Medium scale traveling ionospheric disturbance is one of phenomenon in ionosphere and has been long studied. Nighttime MSTID will be caused by Perkins instability, but linear growth time(e folding time) of Perkins instability is very slow as growth time from random thermal noise.

For this problem, we could solve by the geomagnetic connection between E-region and F-region, and inserting the sporadic E layer's polarized electric field as the energy source of growth. However, we have few examples of observational verification whether E-region is connected to F-region when a disturbance occurred. And Perkins instability's growth rate is independent from wavelength, but we observe more MSTID events which wavelength is 200km - 400km. Sporadic E layer has less than 100km periodic structure, which contradicts observation.

Therefore we think it is difficult to claim E-region and F-region connection as growth mechanism. To verify this idea, we studied the character of growth of nighttime MSTID.

Using this method, we statistically estimated growth rates of nighttime MSTID in japan in summer 2014 observed by GNSS. We applied three-dimensional spectral method for total electron content grid data ,and estimated propagation velocity. Using this velocity, we tracked movement of one wavefront of MSTID, and estimated the fastest growth time of each event by using wavenumber spectra when tracking. As a result, growth time is slower than 16 minutes. Propagation direction when growth time is fastest is southwestward(205 deg - 245 deg). Growth time is even faster when 240 degrees. This time is too slow as growth time of MSTID, and is within the range of one perkins instability expects.

We will show the detail about the relation between this growth time and both mechanisms, and also present the wavelength dependence of growth.

S-520-27号機観測ロケットによる中規模伝搬性電離圏擾乱発生時の自然電場・全電子数解析

西田 圭吾 [1]; 山本 衛 [2]; 石坂 圭吾 [3]; 田中 真 [4]
[1] 京大・生存圏; [2] 京大・生存圏研; [3] 富山県大・工; [4] 東海大・情教セ

Analysis of natural electric field and total electron content in the event of MSTID with sounding rocket S-520-27

Keigo Nishida[1]; Mamoru Yamamoto[2]; Keigo Ishisaka[3]; Makoto Tanaka[4]
[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] RISH, Kyoto Univ.; [3] Toyama Pref. Univ.; [4] Tokai Univ.

Sounding rockets S-520-27 and S-310-42 were launched on July 20, 2013 to measure plasma and neutral atmosphere simultaneously. The launches were conducted while an Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbances(MSTID) event was monitored in real-time by the GPS-TEC from GEONET. The generation mechanism of MSTID, which is an interesting phenomenon in F-region and shows wave structures with wavelengths of 100-200 km, was main subject of this experiment. Of particular importance was E/F-region coupling of the ionosphere and the interaction between atmosphere and plasma. The purpose of this presentation is re-analysis of natural electric field obtained by the double probe and total electron content (TEC) by dual band beacon (DBB) in order to deliver basic (and accurate) data for studying generation mechanism of MSTID. Analysis of natural electric field was completed for S-520-27, and we found that the direction of natural electric field fluctuated toward the northeast and southwest. This trend is similar to that observed by DMSP satellite (Shiokawa et al, 2003), and agree with the growth condition of Perkins instability that is considered contributing to the MSTID development. We will also improve signal processing of the DBB measurements and discuss 3D structures of electron density by using data from multiple ground receivers.

2013年7月20日にS-520-27, S-310-42号機観測ロケットによる実験が行われ、電離圏F,E領域の電離大気と中性大気が同時に観測された。実験の主な目的は、中規模伝搬性電離圏擾乱 (Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbances; MSTID) と呼ばれる北西-南東方向で波長が100-200kmのプラズマ波状構造の発生機構について、電離圏F-E領域の結合過程、中性大気が電離大気に与える影響の解明であり、地上のGPS観測網から電離圏全電子数のリアルタイムモニタを行い、MSTIDの発生を確認してロケット打上げを実施した。本研究では、S-520-27号機ロケットで得られた自然電場と、2機のロケットに搭載された2周波ビーコン送信機から得られたTECのデータを再解析し、MSTIDの発生機構の理解のためのデータを提供することを目的とする。自然電場解析の結果、観測領域に方向が北東、南西の自然電場が存在したことが分かった。これはDMSP衛星で観測されたMSTIDに伴う電場の方向 (Shiokawa et al, 2003) と類似しており、現象の発生に寄与すると考えられているPerkins不安定の成長に対して整合的である。さらにロケット-地上ビーコン観測については、信号処理手法を改善し、複数の受信点からTEC値を得ることで、電子密度の空間構造について考察する。

陸別・信楽の大気光画像を用いた中間圏重力波・TIDの水平位相速度分布：成層圏突然昇温・地方時依存性

土屋 智 [1]; 塩川 和夫 [1]; 大塚 雄一 [1]; 中村 卓司 [2]
[1] 名大宇地研; [2] 極地研

Phase velocity distribution of mesospheric and ionospheric waves in airglow images at Japan: Local time variation and SSW

Satoshi Tsuchiya[1]; Kazuo Shiokawa[1]; Yuichi Otsuka[1]; Takuji Nakamura[2]
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] NIPR

Atmospheric gravity waves (AGWs) transport momentum from the troposphere into the mesosphere and the lower thermosphere (MLT). The momentum deposit through wave breaking causes the large-scale pole-to-pole circulation. The vertical propagation of AGWs depends on the horizontal phase velocity. Thus, investigation of the horizontal phase-velocity characteristics of AGWs is essential for understanding the dynamical variation of middle and upper atmosphere. The propagation direction of medium-scale traveling ionospheric disturbances (MSTIDs) seems to be different at different latitudes. However, the cause which determines their propagation direction has not been sufficiently understood.

A new spectral analysis technique has been developed to obtain power spectra in the horizontal phase velocity by using the 3-D FFT technique [Matsuda et al., JGR, 2014]. Takeo et al. (JGR, 2017) studied horizontal parameters of AGWs and MSTIDs over 16 years by using airglow images at wavelengths of 557.7 nm (emission altitude: 90-100 km) and 630.0 nm (200-300 km) obtained at Shigaraki, Japan (34.8°N, 136.1°E) which is located at the middle part of Japan.

In this study, we have applied the same spectral analysis technique to the 557.7 nm and 630.0-nm airglow images obtained at Rikubetsu (43.5°N, 143.8°E), which is at the northern edge of Japan, for 16 years from 1999 to 2014. We compared features of horizontal wave spectra at Shigaraki and Rikubetsu over 16 years. We focus their dependence on local time and stratospheric sudden warming (SSW).

In summer, the propagation direction of AGWs seen in the 557.7-nm images is northeastward regardless of local time at both Shigaraki and Rikubetsu. However, in winter, the propagation direction is changed from southwestward to northwestward as time progresses from evening to morning at both stations. The meridional wind measured by the meteor radar mode of the MU radar at Shigaraki changes from northward to southward at altitudes around 95 km from evening to morning in winter. This suggests that the wind filtering by the mesospheric jet causes the observed local time dependence of AGW propagation directions. On the other hand, the propagation direction of MSTIDs in 630.0-nm images is southwestward regardless of the local time.

There is almost no change in the propagation direction of AGWs at both Shigaraki and Rikubetsu before and after the day of SSW defined by the peak stratospheric temperature in polar cap (60-90°N). However, the propagation direction of AGWs is changed from southwestward to northeastward at Rikubetsu on the day of the reversal of eastward zonal wind at 60°N and 10 hPa (about 35 km in altitude) by the SSW. This propagation direction change was not observed at Shigaraki. The propagation direction of AGWs is generally northeastward in summer and southwestward in winter. Thus the present observation suggests that the zonal wind reversal in the high-latitude stratosphere at SSW causes the seasonal variation of the propagation direction of AGWs in the mesopause region at middle latitudes at ~43.5°. For MSTIDs, propagation direction is not changed before and after the days with the peak temperature and the reversal of wind by the SSWs.

OH大気光イメージャ観測を用いた、南極昭和・Davis基地上空の中間圏重力波の伝播特性

木暮 優 [1]; 中村 卓司 [2]; 富川 喜弘 [2]; 江尻 省 [2]; 西山 尚典 [2]; 堤 雅基 [2]; Michael J. Taylor[3]; Yucheng Zhao[3]; P.-Dominique Pautet[3]; Damian Murphy[4]
[1] 総研大・複合・極域; [2] 極地研; [3] USU; [4] AAD

Propagation characteristics of mesospheric gravity waves over Syowa and Davis using OH airglow imager

Masaru Kogure[1]; Takuji Nakamura[2]; Yoshihiro Tomikawa[2]; Mitsumu K. Ejiri[2]; Takanori Nishiyama[2]; Masaki Tsutsumi[2]; Taylor Michael J.[3]; Zhao Yucheng[3]; Pautet P.-Dominique[3]; Murphy Damian[4]
[1] Polar Science, SOKENDAI; [2] NIPR; [3] USU; [4] AAD

Gravity waves transport their momentum and energy from the lower atmosphere to the upper atmosphere and cause the meridional circulation [Fritts and Alexander, 2003]. A practical forecast model poorly resolves the gravity waves, because the gravity waves are smaller than a horizontal resolution of the model; the gravity waves are parameterized in the model. However, the parameterizations do not completely represent the effect of the gravity waves. In particular, We have poorly understood their energy and phase speed over the Antarctic (e.g. Garcia et al. [2016] point out that the modern parameterizations could underestimate the gravity wave energy by 25%), because the observation studies are few. In order to show the feature of gravity waves over Syowa, we have observed the gravity waves over Syowa (69S, 40E) using some instruments (e.g., lidar and OH imager). In recent years, we also compared the gravity waves over Syowa and Davis(69S, 79E), which has similar terrain and meteorological condition to Syowa, to show their horizontal variation. Consequently, we found that their vertical variation was different between the two stations using our lidar [Kogure et al., 2017] and their propagation direction was different using our airglow imagers (but during only one month) [Matsuda et al., 2017]. Wind filtering or a large scale source difficulty cause these differences, and to reveal this unknown origin is need.

We analyzed the OH airglow imager data in 8 months (during March to October in 2016) over two stations by using Matsuda transform [Matsuda et al., 2014] to investigate propagation directions of gravity wave around 86 km altitude. Consequently, we found the large amplitude gravity waves with high grand-based phase speed (≈ 100 m/s) over Davis, but we did not find them over Syowa. The total power of gravity waves over Davis was twice as large as that over Syowa in July and August, but the total power over Davis was half as large as that over Syowa in October.

In this presentation, we will show the detail comparison results between the two stations, and we will also discuss the difference of the grand-based horizontal phase speed and their cause.

大気重力波は、下層大気から上層大気へ運動量・エネルギーを輸送し、南北循環を生じさせる。この循環により上昇・下降流が発生し、大規模に大気気温が変化する [Fritts and Alexander, 2003]。しかしながら、重力波は通常の予報モデルの分解能より小さな現象であるためその再現が難しく、モデルの内では重力波の役割をパラメータ化して取り込んでいる。しかし、このパラメータ化は完全に現実の重力波の役割を再現できていないわけではない。特に、南極域の観測研究が少ないため、エネルギー・位相速度等がよくわかっていない。たとえば、南極域上空の重力波のエネルギーは現在モデルに取り込まれているパラメータの4倍以上もあるとの指摘もある (Garcia et al., 2016)。南極域上空の重力波の特徴を明らかにするため、我々の研究グループは、南極昭和基地 (69S, 40E) 上空の重力波を様々な観測機器 (ライダーや大気光イメージャなど) で観測を行ってきた。近年では、比較的距離が近く、地形・気象条件が似ている、Davis 基地 (69S, 79E) 上空の重力波観測とも比較を行い、重力波の水平広がりを明らかにしてきた。その結果、ライダー観測から両基地の重力波の鉛直エネルギー変化が異なること [Kogure et al., 2017]、大気光イメージャ観測から高度 90 km 付近の重力波の伝播方向が大きく異なることを明らかにした (ただし、4月から5月の間の1ヶ月間のみ) [Matsuda et al., 2017]。これらの違いは、風によるフィルタリング効果や大きなスケールのソースの寄与では説明できず、この原因を明らかにすることが現在大きな課題となっている。

我々は、2地点の高度 86 km 付近の重力波の伝播方向の違いを Matsuda et al. [2017] より詳細に調べるために、2016年の8ヶ月間 (3-10月、同時観測日数は10日間) の2地点のOHイメージャ観測データを Matsuda transform を用いて解析した [Matsuda et al., 2014]。その結果、Davis 上空は比較的振幅が大きく、速い対地水平位相速度 (≈ 100 m/s) を持つ重力波が観測されたが、昭和ではそのような重力波は観測されていなかった。また、Davis 上空の重力波は、7-8月の全パワースペクトルが昭和より約2倍程度大きかったが、10月は逆であった。

本発表では、2地点の詳細な比較結果を示し、対地位相速度スペクトルの差異について議論する。また、その差異の原因についても議論する予定である。

Medium-scale gravity wave perturbations in the bottomside Fregion in tropical regions

Liu Huixin[1]
[1] 九大・理・地惑

Medium-scale gravity wave perturbations in the bottomside Fregion in tropical regions

Huixin Liu[1]
[1] None

Thermospheric gravity waves (GW) in the bottomside F region have been proposed to play a key role in the generation of equatorial plasma bubbles (EPB). However, direct observations of such waves are scarce. This study provides a systematic survey of medium-scale (<620 km) neutral atmosphere perturbations at this critical altitude in the tropics, using four years of in-situ GOCE satellite measurements of thermospheric density and zonal wind. The analysis reveals pronounced features on their global distribution and seasonal

variability: 1. A prominent 3-peak longitudinal structure exists in all seasons, with stronger perturbations over continents than over oceans. 2. Their seasonal variation consists of a primary semiannual oscillations (SAO) and a secondary annual oscillation (AO). The SAO component maximizes around solstices and minimizes around equinoxes, while the AO component maximizes around June solstice. These GW features resemble those of EPBs in spatial distribution but show opposite trend in climatological variations. This may imply that stronger medium-scale GW activity does not always lead to more EPBs. Possible origins of the bottomside GWs are discussed, among which tropical deep convection appears to be most plausible.

熱圏重力波が電離圏変動におよぼす影響について

三好 勉信 [1]; 陣 英克 [2]; 藤原 均 [3]; 品川 裕之 [2]
[1] 九大・理・地球惑星; [2] 情報通信研究機構; [3] 成蹊大・理工

Impacts of thermospheric gravity wave on the Ionospheric variability simulated by GAIA

Yasunobu Miyoshi[1]; Hidekatsu Jin[2]; Hitoshi Fujiwara[3]; Hiroyuki Shinagawa[2]
[1] Dept. Earth & Planetary Sci, Kyushu Univ.; [2] NICT; [3] Faculty of Science and Technology, Seikei University

It has been recognized that gravity waves (GWs) play an important role on the variability in the thermosphere/ionosphere. In this study, impacts of thermospheric GWs on the variability in the ionosphere are examined using a whole atmosphere-ionosphere coupled model (GAIA: horizontal resolution 100km). The GAIA contains the region from the ground surface to the upper thermosphere, so that we can simulate excitation of GWs in the lower atmosphere, their upward propagation into the thermosphere, and their impact on the thermosphere/ionosphere system. Furthermore, the GAIA includes coupling processes between neutral atmosphere and plasma. This means that GAIA can simulate ionospheric variability excited by the thermospheric GWs. We focus our attention on behaviors of Large-Scale Traveling Ionospheric Disturbances (LSTIDs) simulated by GAIA. The relation between the LSTIDs and thermospheric GWs are discussed in detail in this study.

下層大気起源の大気重力波が、熱圏領域まで伝播し熱圏電離圏変動に多大な影響を及ぼしていることが、近年の数値モデル及び観測による研究で明らかになりつつある。本研究では、大気圏電離圏結合モデル GAIA の高水平分解能版 (水平解像度約 100km) を用いて、熱圏重力波が、電離圏変動におよぼす影響について調べてみた。本研究で使用する GAIA は、対流圏から熱圏上端までを含んでいるため、下層大気での重力波の励起、熱圏への鉛直伝播、熱圏での碎波などの一連の過程を再現することが可能である。また、中性大気と電離大気の相互作用過程を含んでいるため、熱圏重力波が電離圏変動におよぼす影響についても明らかにすることが可能である。本研究では、熱圏重力波と大規模伝播性電離圏擾乱 (LSTID) の関連について、詳細な解析を行った。その結果、中高緯度域昼間の LSTID は、低緯度に向かって伝播することや、LSTID の振幅は、冬季のほうが夏季より大きいことなど、観測と一致する結果が得られた。そこで、LSTID の励起機構について詳細な解析を行った。本研究でのシミュレーションでは、太陽活動極小期と地磁気静穏時を仮定しているため、大部分の LSTID は、下層大気起源の重力波により励起されていることが分かった。さらに、熱圏重力波活動度の季節変化と LSTID の季節変化との関連や下層大気変動と LSTID との関連についても解析を行った。

Vertical motion of the neutral atmosphere in the winter polar MLT region using the sodium LIDAR at Tromsø

Satonori Nozawa[1]; Takuo Tsuda[2]; Yasunobu Ogawa[3]; Hitoshi Fujiwara[4]; Takuya Kawahara[5]; Norihito Saito[6]; Satoshi Wada[6]; Toru Takahashi[3]; Masaki Tsutsumi[3]; Tetsuya Kawabata[1]; Chris Hall[7]; Asgeir Brekke[8]
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] UEC; [3] NIPR; [4] Faculty of Science and Technology, Seikei University; [5] Faculty of Engineering, Shinshu University; [6] ASI, RIKEN; [7] TGO, UiTO; [8] Science and Technology, UiTo

We will present characteristics of vertical motion above Tromsø (69.6 deg. N, 19.2 deg. E) in the polar Mesosphere-Lower Thermosphere (MLT) between about 80 and 110 km, mainly based on sodium LIDAR data. Vertical motion of the neutral gases in the polar MLT is a peculiar issue, and its understanding is important in terms of substance transport as well as thermal structures. Observations of the vertical wind in the MLT region are rather difficult, because vertical velocities are generally thought to be about two orders smaller than horizontal wind velocities. For example, observations of vertical winds by radars (MF and meteor radars) are difficult. Thus, our understanding of the vertical motion in the polar MLT region is still limited. The sodium LIDAR operated at Tromsø is capable of simultaneous measurements of wind velocities as well as neutral temperature with five directions with a good accuracy (about 1 m/s and 1 K, respectively). By using the LIDAR data (about 2200 hr data) obtained from October 2012 to March 2017 together with EISCAT, MF, and meteor radar data and auroral image data, we will discuss the characteristics of the vertical motion in the polar MLT.

We have analysed 77 nights of LIDAR data sets obtained under good conditions. Wave structures are almost always prominent in wind and temperature data sets. We have found several events where the vertical wind blew with strength of about 10 m/s. In the night of January 14, 2015, the upward vertical wind with an amplitude of 10 m/s was found between 92 and 101 km lasting for a few hours; the region of vertical wind appearance went down from 101 km to 92 km. During the night, the semidiurnal tide was strong with an amplitude of 100 m/s. This might suggest that strong vertical motion exists when such waves pass by the MLT region, but it seems like this event was not the case. In another event found in February 8, 2013, upward flows were observed between 94 and 96 km at the same time for 15 min, while no vertical flows were found at and above 97 km and at and below 93 km. Of particular interest in the both cases is that a sporadic sodium layer (SSL) appeared nearby the height region where the upward vertical wind was observed at the same time (in the case of January 14, 2015) or 15 min later (in the case of February 8, 2013). In this presentation, we will address what conditions are needed for the vertical motion occurrence. We will discuss possible relationships between strong vertical wind occurrence and advent of SSLs, aurora effects or atmospheric stabilities.

ファブリ・ペロー干渉計を用いたサブストームオンセット時の熱圏風変動の解析

Xu Heqiucen[1]; 塩川 和夫 [2]; 大山 伸一郎 [3]; 大塚 雄一 [2]
[1] 名大; [2] 名大宇地研; [3] 名大 ISEE

Multi-event study of thermospheric wind variations at substorm onset using an FPI at Tromsø, Norway

Heqiucen Xu[1]; Kazuo Shiokawa[2]; Shin-ichiro Oyama[3]; Yuichi Otsuka[2]
[1] Nagoya Univ.; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] ISEE, Nagoya Univ.

<http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/dimr/members.html>

In this study, we focused on high-latitude thermospheric wind variations near the onset time of isolated substorms. Substorm-related energy inputs from the magnetosphere to the polar ionosphere modify the high-latitude ionosphere and thermosphere. For the first time, this study showed the characteristics of high-latitude thermospheric wind variations at the substorm onset. We also investigated the possibility of these wind variations as a potential trigger of substorm onset by modifying the ionospheric current system (Kan, 1993). A Fabry-Perot interferometer (FPI) at Tromsø, Norway provided wind measurements estimated from Doppler shift of both red-line (630.0 nm for the F region) and green-line (557.7 nm for the E region) emissions of aurora and airglow. We used seven-year data sets obtained from 2009 to 2015 with a time resolution of 13 min. We first identified the onset times of local isolated substorms using ground-based magnetometer data obtained at the Tromsø and Bear Island stations, which belongs to the IMAGE magnetometer chain. Totally, we selected 4 red-line events and 5 green-line events taken place at different local times. For all these events, the peak locations of westward ionospheric currents identified by the ground-based magnetometer chain were located at the poleward side of Tromsø. Then, we calculated two weighted averages of wind velocities for 30 min around the onset time and 30 min after the onset time of substorms. We evaluated differences between these two weighted averages to estimate the strength of wind changes. The observed wind changes at these substorm onsets were less than 49 m/s (26 m/s) for red-line (green-line) events, which are much smaller than the typical plasma convection speed. This indicates that the plasma motion caused by substorm-induced thermospheric winds through ion-neutral collisions is a minor effect as the driver of high-latitude plasma convection, as well as the triggering of substorm onset. The red-line events show increases of eastward winds from the pre-midnight to post-midnight sectors and decreases of northward winds except for the midnight sector. The green-line events show increases of eastward winds from the pre-midnight to post-midnight sectors, and increases (decreases) of northward winds before (after) midnight. We discuss possible causes of these observed wind changes at the onset of substorms based on the mechanisms of thermospheric diurnal tides, arc-induced electric field and Joule heating caused by the auroral activities that were identified by the cross sections of all-sky images, as well as the IMF-associated plasma convection model. From these results, we suggest that the high-latitude thermospheric wind variations at substorm onset are mainly caused by the competition between diurnal tides and plasma convection.

Recent activities and future plans of NICT ionospheric observations

Takuya Tsugawa[1]; Michi Nishioka[1]; Hisao Kato[2]; Hiromitsu Ishibashi[1]; Kornyanat Hozumi[3]; Takumi Kondo[3];
Takahiro Naoi[1]; Mamoru Ishii[1]
[1] NICT; [2] NICT; [3] NICT

National Institute of Information and Communications Technology (NICT) has been observing ionosphere by ionosondes and GNSS receiver networks in Japan and in the Southeast Asia for monitoring ionospheric condition and researching ionospheric disturbances. Domestic ionosondes have been replaced with Vertical Incidence Pulsed Ionospheric Radar 2 (VIPIR2) ionosondes which can separate the O- and X-modes of ionospheric echoes which would improve the accuracy of automatic scaling of the ionogram. We have tried to detect arrival directions of ionospheric echo using the 8ch receiving antenna array of the VIPIR2. In addition to ionosonde observations, we are providing high-resolution two-dimensional maps of absolute TEC, detrended TEC, rate of TEC change index (ROTI), and loss-of-lock on GPS signal over Japan using the dense GNSS network, GEONET, on realtime basis. We have developed ionospheric storm monitoring system based on the realtime observation data and a new ionospheric storm scale, I-scale, which is defined using the long-term ionospheric data in Japan. We have tried to develop a routine monitoring system of two-dimensional structures of sporadic E-layer using TEC and ROTI maps. In Southeast Asia, we has developed the Southeast Asia low-latitude ionospheric network (SEALION) for the purpose of monitoring and researching severe ionospheric disturbances, such as plasma bubble. SEALION mainly consists of five FMCW ionosondes in four countries in Southeast Asia. We are now developing a new FMCW ionosonde system which is GNU Radio based software defined system. We have a future plan to install a VHF radar and multi-GNSS receivers at Chumphon, one of SEALION stations at the geomagnetic equator to study plasma bubbles and their effects on precise GNSS positioning. In this presentation, we will introduce recent activity and future plan of ionospheric observation in NICT.

新しいデジタルビーコン受信機の開発状況

山本 衛 [1]; 岩田 桂一 [1]; 松永 真由美 [2]
[1] 京大・生存圏研; [2] 東京工科大・工

Current status of development of new digital beacon receiver

Mamoru Yamamoto[1]; Keiichi Iwata[1]; Mayumi Matsunaga[2]
[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] Tokyo Univ. of Tech.

We have successfully conducted observations of total-electron content (TEC) of the ionosphere using a satellite-to-ground beacon experiment. A unique dual-band (150/400MHz) digital receiver GRBR (GNU Radio Beacon Receiver) was developed based on the recent digital-signal processing technologies. Now there are 2 new beacon-satellite projects on the way. One is TBEx (Tandem Beacon Explorer), a project by SRI International, to fly a constellation of two 3U cubesats with triband beacon transmitters. Another one is a constellation of FORMOSAT-7/COSMIC-2 satellites, also with triband (or quad-band) beacon transmitters. All of these satellites will be placed into low-inclination orbits by the same launch vehicle in late 2018. This launch will provide great opportunities to enhance studies of the low-latitude ionosphere. We are now developing the new GRBR system that covers all frequencies (150/400/965/1067 MHz) for dual- or triple-band beacon experiment with these satellites. We will report current status of this development.

Observations of auroral spectra in EISCAT radar site, Tromso, Norway

Takuo Tsuda[1]; Keisuke Hosokawa[1]; Tetsuya Kawabata[2]; Satonori Nozawa[2]; Akira Mizuno[2]
[1] UEC; [2] ISEE, Nagoya Univ.

We have developed a compact spectrograph, which is capable of measuring optical emission intensity in visible range from ~480 nm to ~880 nm with a resolution of ~1.6 nm. The aperture, i.e. F-number, is ~4, and the data sampling rate is 1 Hz. We installed the spectrograph in European incoherent scatter (EISCAT) radar site, Tromso, Norway (69.6N, 19.2E), and started unmanned nighttime operation on 4 October 2016. The field-of-view (FOV) of the spectrograph is pointed at magnetic field-aligned direction. Since then, aurora observations have been done continuously during the last winter. In the presentation, we will introduce the spectrograph and its observations of aurora in EISCAT Tromso site.

オーロラスペクトログラフによる上部電離圏 N₂⁺ の共鳴散乱光観測

遠藤 友 [1]; 坂野井 健 [2]; 小川 泰信 [3]; 鍵谷 将人 [4]

[1] 東北大・理・地物; [2] 東北大・理; [3] 極地研; [4] 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター

N₂⁺ resonant scattering light observation in the sunlit topside ionosphere with the auroral spectrograph

Yu Endo[1]; Takeshi Sakanoi[2]; Yasunobu Ogawa[3]; Masato Kagitani[4]

[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] Grad. School of Science, Tohoku Univ.; [3] NIPR; [4] PPARC, Tohoku Univ

We report the ground-based optical remote-sensing of molecular ion upflow by measuring 427.8 nm N₂⁺ resonant scattering in the sunlit topside ionosphere. *Stormer* [1955] has summarized his work on sunlit aurora during the period from 1918 to 1943. He observed the sunlit aurora extending to 700-1100 km altitudes and found the strong emission of N₂⁺. *Bates* [1949] suggested that the N₂⁺ emission at 427.8 nm is resonant scattering in the sunlit region. *Wallace and McElroy* [1966] supposed that N₂⁺ ion is generated in F-region by the charge exchange reaction between O⁺ and N₂. Besides, satellite data showed N₂⁺ emission in the altitude range from 400 to about 1,000 km. The MSX satellite observed first the N₂⁺ emission probably caused by N₂⁺ upflow from the topside ionosphere [*Romick et al.*, 1999]. Ion upflow is essential for the source of ion outflow observed in the magnetosphere. O⁺ ion upflow occurs mainly during geomagnetically disturbed conditions [*Moen et al.*, 2004, *Abe et al.*, 1993]. While, the molecular ions such as N₂⁺ was considered to be difficult to outflow from E-region. However, these molecular ions were also measured at about 10,000 km altitudes [*Yau et al.*, 1993], and the influence of these ions on the magnetic dynamics and the evolution of planetary atmosphere is important.

Thus, we focus on N₂⁺ 427.8 nm emission data taken by Aurora Spectrograph (ASG) at Longyearbyen, Svalbard (geographic latitude : 75.2 deg and geographic longitude : 16.04 deg) for 13 years to investigate N₂⁺ upflow in the topside ionosphere. In addition to ASG, we use ESR data if it is operated.

The ASG consists of a fish-eye lens, slit, grism and a cooled CCD detector which covers the wavelength range of 420-730 nm with a 2.0 nm spectral resolution and field of view of 180 degrees along the magnetic meridian. The ASG have been operating since 2000, but measuring N₂⁺ emission 427.8 nm since 2004. In many cases, the field-of-view of ESR directs toward the geomagnetic field line (elevation angle : 81.6 degrees), and we can get the ion temperature, electron temperature, electron density and ion velocity from 100 to 600 km with spatial and time resolutions of 2.2-4.5 km and 6s.

The preceding study figured out that there is a high probability that the N₂⁺ outflow occurs in geomagnetically disturbed condition (Kp=4) [*Mizuno et al.*, 2005]. Therefore, we selected the data in the period one month before and after the winter solstice during from 2004 to 2016 in which we could get the auroral data even in the noon because of the high-latitude of the site and the Kp indices were greater than 4. As a result, we detected 10 events of the N₂⁺ resonant scattering light. On 22th January, 2012 (15 UT, Kp=4+), although the auroral arc which has N₂⁺ resonant scattering light passed over ESR, no O⁺ ion upflow was measured. Furthermore, on 21th December, 2015 (7UT), the stable single auroral arc stayed in the same region for about one and a half hours. Assuming the peak altitude of auroral 630 nm emission to be 250 km altitude, we estimated the altitude profile of N₂⁺ emission. We found the auroral 630 nm emission at 250 km altitude correlated well with N₂⁺ 427 nm emission at altitude of 300 km and 400 km with correlation coefficients of 0.749, and 0.641, respectively. These suggests that (1) O⁺ ion is generated by low energy electrons in cusp region and N₂⁺ is generated by the charge exchange between O⁺ and N₂ in the lower F-region, and (2) that N₂⁺ ion goes upward from F-region (not from E-region).

イオンアップフロー現象の光学リモートセンシングのために、我々はロンゲイヤービン・スバルバルにおけるオーロラスペクトログラフ (ASG) の 13 年間分のデータ解析から上部電離圏 N₂⁺ 共鳴散乱光を明らかにした成果を報告する。N₂⁺ 共鳴散乱光の報告は、古くは *Stormer* [1955] と *Bates* [1949] による高度 700-1100 km の日照領域における観測にまでさかのぼる。 *Wallace and McElroy* [1966] は O⁺ と N₂ 分子の電荷交換反応によって N₂⁺ が電離圏 F 領域で生成されるとしている。さらに、より高高度に存在する N₂⁺ 発光が MSX 衛星 [*Romick et al.*, 1999] や Reimei 衛星によって観測され、電離圏高度からの重イオンアップフロー現象として近年注目されている。電離圏 F 領域主成分である O⁺ などのイオンは地磁気擾乱時に磁気圏に流出していくことがよく知られている [*Moen et al.*, 2004, *Abe et al.*, 1993]。一方 N₂⁺ などの分子イオンは、電離圏 E 領域から上昇して地球重力脱出速度を超えることが困難のため、流出しにくいと考えられてきた。しかしながら、Akebono 衛星等により高度 10,000 km 付近で観測されており [*Yau et al.*, 1993]、その流出メカニズムに加えて磁気圏ダイナミクス機構や長期的な惑星大気進化への影響が注目されている。

そこで本研究では、上部電離圏における分子イオンアップフロー現象の特徴を明らかにするために、ノルウェー・ロンゲイヤービン (地磁気緯度 75.2 度, 経度 16.04 度) におけるオーロラスペクトログラフの 13 年間の観測データを用いて電離圏 N₂⁺ 共鳴散乱光を調べた。さらに、ノルウェー・ロンゲイヤービンにあるスヴァールバルレーダー (ESR) が稼働している場合には、ESR データも合わせ用いた解析を行った。

オーロラスペクトログラフは魚眼レンズ、スリット、グリズム、冷却 CCD カメラから構成される。波長範囲は 420 nm から 730 nm、波長分解能 2.0 nm、視野角 180 度 (磁気南北方向) である。観測は 2000 年から現在 (2017 年) までの冬季に連続的に行われているが、代表的な N₂⁺ の発光波長の一つである 427.8 nm が観測波長範囲に含まれるのは 2004

年以降の観測データである。ESR は磁力線方向 (仰角 81.6 度) の観測でイオン温度、電子温度、電子密度、イオン速度の物理量を得ることができる。

これまでの研究から N_2^+ アウトフローは地磁気擾乱時 ($K_p > 4$) に発生する確率が高いことが知られている [Mizuno et al., 2005]。そこで 2004 年から 2016 年の期間中、地上が日陰時かつ K_p 指数が 4 以上となる冬至前後 1ヶ月の ASG データに着目してデータ解析を実施した。その結果、電離圏 F 層で N_2^+ 共鳴散乱光が有意に起きていたイベントを合計 10 例検出することができた。これらのイベントの中で、ESR が稼働していた 2012 年 1 月 22 日 (15 UT, $K_p=4+$) には、共鳴散乱光を伴うアークが ESR ビーム上を通過したが、その時間帯に ESR では酸素イオン上昇流が観測されなかった。また、2015 年 12 月 21 日 (7 UT, ~10 MLT) の磁気嵐時にはロングイヤープンの南側 (仰角 15 度付近) でオーロラアークが 1 時間半程度同じ位置で発光しており、このイベントを用いて N_2^+ 発光と 630 nm 発光の時間変化が発光高度によってどのような違いをもつのかを調査した。今回は 630 nm 発光のピークを高度 250 km であると仮定し、 N_2^+ 発光の高度プロファイルを見積もっている。高度 300-400 km の 427 nm と 630 nm の発光強度には強い相関 (相関係数 0.749, 0.641) があり、より高い高度では両者の相関が弱くなることがわかった。これらのことから、(1) 昼側カusp領域付近では低エネルギー降下電子により電離圏 F 領域で O^+ イオンが生成され、その O^+ イオンと N_2 分子との電荷交換により N_2^+ イオンが生成されること、(2) その生成された N_2^+ イオンが (電離圏 E 領域からではなく) F 領域からさらに上昇することを示唆している。

南極域大気光イメージャと Swarm 衛星を用いた南極域極冠パッチの統計的性質に関する研究

香川 亜希子 [1]; 細川 敬祐 [1]; 小川 泰信 [2]; 門倉 昭 [2]; 海老原 祐輔 [3]
[1] 電通大; [2] 極地研; [3] 京大生存圏

Polar cap patches in Antarctica: a statistical analysis with WATEC imagers and Swarm satellites

Akiko Kagawa[1]; Keisuke Hosokawa[1]; Yasunobu Ogawa[2]; Akira Kadokura[2]; Yusuke Ebihara[3]
[1] UEC; [2] NIPR; [3] RISH, Kyoto Univ.

Polar cap patches are defined as regions of plasma density enhancements in the polar cap F region ionosphere. The electron density inside patches is 2 to 10 times larger than the background level. The production of patches is believed to be caused by intermittent intake of high-density solar EUV plasma on the dayside by the anti-sunward convection. However, we still do not know if this process is always working and creating patches or not.

In the past, the optical observations of patches were carried out only in the northern hemisphere. This is because it has been difficult to install/operate relatively large and expensive equipment in the severe environment in Antarctica. In this study, we make use of so-called WATEC imagers which are inexpensive and handy airglow imagers. The WATEC imagers have been operative at McMurdo (77.5 S, 166.4 E, -79.9 MLAT) and South Pole (90.0 S, -74.7 MLAT) stations. By applying several noise reduction processes (e.g., image integration) to the original raw images, we succeeded in visualizing polar cap patches in the southern hemisphere. In this study, we try to reveal statistical properties of Antarctic polar cap patches and discuss their generation mechanisms by comparing it with the past observations in the northern hemisphere. In addition, we use the electron density data from the Swarm satellite. Since the Swarm satellites provide high temporal resolution in-situ electron density data, it is possible to analyze the detailed internal structures of patches and clarify the irregularities in the electron density in the vicinity of patches.

The temporal resolution of the 630.0 nm observations of the WATEC imagers is 4 sec. After making noise-free images by averaging consecutive images for 1 minute (15 images), we applied an algorithm for automatically extracting patches to the images. As a result, we detected 551 events at McMurdo and 283 events at South Pole. Additionally, we separately identified patches directly created from PMAF (poleward moving auroral forms) on the dayside, which are 15 events at McMurdo and 130 events at South Pole. For these Antarctic patches, we investigated the UT dependence of their occurrence frequency in the statistical fashion. At both the stations, the occurrence frequency was larger when the observation points were located on the nightside. The reason why there is a time span in which the patches could not be detected in this study was not because that period is dominated by daytime high-density plasma but because patch generation mechanism itself was not operating during that time. Due to a large offset in location between the geographic and geomagnetic poles (AACGM model) in the southern hemisphere, there is some period while the entire polar cap was within the dark hemisphere and intake of daytime high-density plasma never happens. On the other hand, patches originated in aurora were detected near the dayside cusp where is the hotspot of PMAF. Since South Pole station is mostly located at the cusp on the dayside, those patches were detected more often at South Pole than McMurdo. Since they have detailed structures in the electron density much more than the plain polar cap patches, we analyzed such internal structures by using the high-time resolution electron density data from the SWARM satellite. We also carried out a statistical analysis of the SWARM electron density data from December 2013 to June 2017 and obtained similar UT variation in the occurrence of high-density plasma in the polar cap as that of the polar cap patches. This again implies that plain patches are produced by the intake of high-density plasma from the sunlit region. In the presentation, by comparing the derived statistical properties of polar cap patch in the southern hemisphere with those in the northern hemisphere, we will discuss the generation process of patches.

極冠パッチとは、極冠域電離圏 F 領域において局所的に電子密度が増大した領域である。極冠パッチの生成は、反太陽方向の極冠プラズマ対流の発生時に極端紫外線放射 (EUV) により大気の一部が電離した昼間側の高密度プラズマが日陰域に間欠的に取り込まれることによって生じると考えられているが、全ての極冠パッチがこの生成メカニズムで発生しているかは明らかになっていない。過去の極冠パッチの光学観測は北半球のみにおいて行われてきており、南半球における極冠パッチの光学観測事例は存在しない。その要因として、大型の光学観測機器を用い、観測環境が厳しい南半球極冠域での観測を行うことが難しかったことが挙げられる。本研究では、南極域のマクマード基地 (77.5 S, 166.4 E, -79.9 MLAT) 及び南極点 (90.0 S, -74.7 MLAT) に設置されている Watec カメラを用いた廉価な 630.0 nm 大気光イメージャによって得られたデータに画像処理を施し、南半球極冠パッチの光学観測を可能にすることに取り組んだ。南半球における極冠パッチの発生頻度を統計的に解析し、北半球で行われてきたこれまでの研究と比較することで、生成メカニズムに関する情報を得ることを目的としている。それに加え、SWARM 衛星による高時間分解能電子密度データを用いることで、光学データだけでは捉えることができない極冠パッチ内部の微細構造について解析を行い、極冠パッチ内部の電子密度擾乱についても考察を行う。

ノイズ軽減のための画像積分処理を施した時間分解能 1 分の画像に対して、極冠パッチ検出のためのアルゴリズムを作

成し、極冠パッチのイベント数をカウントした。この結果、2015年4月1日から2015年8月31日の冬期において、マクマード基地では551例、南極点では283例の極冠パッチを検出することができた。この他に、PMAF (Poleward Moving Auroral Forms) によって分離されたオーロラの一部が、高密度プラズマの塊として極冠プラズマ対流に沿って輸送される現象がマクマード基地では15例、南極点基地では130例検出された。さらに、これらのイベントに対して発生頻度のUT依存性を調べた。その結果、極冠パッチの発生頻度はUTに対して一様ではなく、両地点ともに極冠パッチの検出がほぼ存在しない時間帯が連続で約10時間確認された。北半球の光学観測では、観測視野が磁氣的昼間側に位置した時、日照領域に支配されてしまうため、一般的に光学観測が不可能であることが知られている。しかし、本研究で極冠パッチの検出が確認できない時間帯が存在した要因は、その時間で視野が日照領域に支配されていたわけではなく、パッチの生成自体が行われていなかったためである。これは、南半球の地理極とAACGM系の磁極のオフセットの関係から、極冠域が日陰領域に完全に入り込み、高密度プラズマが取り込まれない時間帯が存在することによって生じると考えられる。北半球のオフセットは小さいために常に極冠域に日照領域が存在するが、南半球のオフセットは大きいため極冠域に日照領域がシフトしない時間帯が約10時間存在する。従って、南半球ではより顕著なUT依存性が現れたと考えている。

一方、オーロラ起源のパッチは極冠プラズマ対流の時間変化が激しい昼間側カスプ付近に視野が位置した時間帯に多く検出された。オーロラ起源のパッチは、日照領域の高密度プラズマから発生した極冠パッチと比較して、非常に細かい電子密度構造を持つ。そのため、高時間分解能のSWARM衛星データを用いて極冠パッチ内部の密度擾乱を解析した。さらに、2013年12月から2017年6月までの電子密度データを用いて極冠域プラズマ密度のUT変化及び季節変化を算出した。その結果、日照領域から取り込まれた高密度プラズマの輸送変化を確認することができ、光学データで算出した極冠パッチのUT依存性とほぼ一致する結果が得られた。発表では、これらの光学データと衛星データの統計解析より、南半球で観測される極冠パッチの統計的性質について調べた結果を報告し、北半球との比較を行うことで極冠パッチの生成メカニズムを議論する予定である。

磁気北極付近における大気光観測を用いた CME, CIR 発生に伴う極冠パッチの性質

岡村 紀 [1]; 細川 敬祐 [1]; 塩川 和夫 [2]; 大塚 雄一 [2]
[1] 電通大; [2] 名大宇地研

Characteristic of patches during CME and CIR interval by optical observations near the northern magnetic pole

Kazu Okamura[1]; Keisuke Hosokawa[1]; Kazuo Shiokawa[2]; Yuichi Otsuka[2]
[1] UEC; [2] ISEE, Nagoya Univ.

Polar cap patches are regions of high electron density in the polar cap F region ionosphere. Patches are produced by the interaction between the spatial distribution of the dayside high-density plasmas and their anti-sunward transport across the polar cap by the high-latitude plasma convection. Patches are known to be often observed during intervals of southward interplanetary magnetic field (IMF) conditions. However, it has not been discussed the relationship between the variations of IMF and the characteristics of patches. In this study, we focus our attention on the difference in the variation of IMF between periods of CME (Coronal Mass Ejection) and CIR (Co-rotating Interaction Region). During intervals of CME, plasma convection efficiently transports the high-density daytime plasma towards the polar cap by the expansion of the high-latitude convection due to the prolonged southward IMF; thus, huge and bright patches should be observed. In contrast, during intervals of CIR, there are observed lots of fluctuations in the IMF orientation, then the corresponding frequent changes in the high-latitude convection can chop the TOI (Tongue of Ionization) into small patches. The purpose of this study is to clarify the dependence of the characteristics of patches on the variations in the IMF by comparing patches during CME and CIR.

In this study, we make use of measurements by two all-sky airglow imagers of Optical Mesosphere Thermosphere Imagers (OMTIs), one at Eureka, Canada (80.5 N, 273.6 E, 88.5 MLAT), which was newly installed in October 2015, and the other at Resolute Bay, Canada (74.7 N, 265.0 E, 82.9MLAT). We are able to carry out 24h continuous measurement at an almost fixed point near the magnetic pole.

In this study, we analyze two intervals on December 10, 2015 under the influences of CIR and December 14, 2015 under the influences of CME during which patches were observed in Eureka and Resolute Bay simultaneously. The method of the analysis is 1) make keograms, which is time-series of the north and south cross-section of all-sky images, and movies from all-sky images, 2) extract patches from all-sky images and keograms by visual inspection, 3) find the number of patches, average luminosity and average occurrence interval and compare these values between the cases of CME and CIR. On December 10, 2015, the number of patches is 27, the average luminosity is 208 Rayleigh, and the average occurrence interval is 24 min. On December 14, 2015, the number of patches is 20, the average luminosity is 265 Rayleigh, and the average occurrence interval is 22 min. We predicted that the occurrence interval of the patch can be different due to the difference in the variation of IMF between the cases of CME and CIR. However, it was found that the observed number of patches, average luminosity and average occurrence are almost the same between the two cases.

Regarding the average luminosity, of course the IMF variations during the CME and CIR can affect the characteristics of the high-latitude plasma convection, but in both cases the convection expands large enough to capture the daytime plasma into the polar cap; thus, there is almost no difference in the characteristics of patches between CME and CIR. During interval of CME, plasma convection stably transports the high-density daytime plasma towards the polar cap by the expansion of the high-latitude convection. Even during intervals of CIR, plasma convection regularly transports the high-density daytime plasma towards the polar cap from one direction by the stable of the positive IMF By. Because stable transportation of the high-density dayside plasma is possible in both cases, there is almost no difference in the number and average occurrence of patches during the CME and CIR period.

This result suggests that the characteristics of patches depend more on the location of terminator than the variations in IMF.

極冠パッチは、極冠域 F 領域電離圏で観測される高電子密度領域であり、太陽からの極端紫外線により電離された日照域のプラズマが極冠域のプラズマ対流によって反太陽方向へと輸送されることによって生じると考えられている。また、極冠パッチは、反太陽方向のプラズマ対流が強まる IMF (Interplanetary Magnetic Field) が南向きの時間帯に高い頻度で観測されることが知られている。しかし、これまでの研究では、IMF の変動、特に CME (Coronal Mass Ejection) や CIR (Co-rotating Interaction Region) といった強い太陽風の擾乱の特性と極冠パッチの性質の関係性について十分に議論がされてこなかった。そこで、本研究では、CME と CIR の時間帯で IMF の変動パターンが異なることに着目し、それらがパッチの性質に何らかの違いをもたらすかどうかを調べた。CME 発生時は IMF $B_z < 0$ の状態が長く続くことによりプラズマ対流が広がり、多くの日照域プラズマを極冠域に取り込むことができるため、発光強度の高い巨大なパッチが観測されると考えられる。また、CIR 発生時は IMF B_z の時間変化が激しいことによってプラズマ対流の時間変化が激しくなり、TOI (Tongue of Ionization) を細かく分断し、極冠域に取り込むため、発光強度の低い細かいパッチが観測されると考えられる。本研究の目的は、このような CME と CIR の時間帯で発生する IMF の変動パターンの差が極冠パッチの性質の違いをもたらすという仮定の検証を行うことでパッチの生成メカニズムを議論する。

2005 年から継続しているカナダ・レゾリュートベイ (74.7 N, 265.0 E, 82.9MLAT) における観測に加える形で、2015 年の

10月から磁気北極により近いイウレカ (80.5 N, 273.6 E, 88.5 MLAT) において、OMTIs (Optical Mesosphere Thermosphere Imagers) 全天大気光イメージャの観測を開始した。30秒の露光時間で2分毎に630.0 nm 大気光の撮像を行っている。イウレカでは、MLAT/MLT 極座標系においてほぼ定点と考えられる場所での24時間連続観測が可能である。

本研究では、イウレカとレゾリュートベイ両方においてパッチが観測可能かつ、CIRの影響が到来した2015年12月10日とCMEの影響が到来した12月14日の1200-2400 UTに着目して解析を行った。この2つの事例は、日付が近いことに加え、解析ではUTの時間幅を限定して考えるため、パッチのUT依存性、季節依存性については無視して議論を行うことができる。解析は、1) 全天画像から南北断面の時系列データであるケオグラムと動画を作成し、2) 動画とケオグラムを比較して目視でパッチを検出し、3) 各期間において、検出個数、平均発光強度、平均発生間隔を求め比較を行う、という3段階からなる。2015年12月10日に検出されたパッチは計27個、平均発光強度は208 Rayleigh、平均発生間隔は24分であった。同様に12月14日に検出されたパッチは計25個、平均発光強度は287 Rayleigh、平均発生間隔は21分であった。CMEとCIRではIMFの変動パターンが異なりパッチの主な生成要因であるプラズマ対流に影響を与えるので、パッチの発生頻度に差が生じると予測していたが、CMEとCIR時ではパッチの平均発光強度、発生個数、平均発生間隔に多少の差はあるものの、大きな差はないことが判明した。平均発光強度に差が生じなかったのは、IMFの成分によってプラズマ対流の振る舞いは異なるが、双方ともIMFの強度は十分に大きく、プラズマ対流が日照域にまで拡大したために、高密度プラズマを効率良く極域に取り込んでいるためであると考えられる。また、CME発生期間では、対流が広がることにより日照域プラズマを極冠域へ安定的に供給できるのに対し、CIR発生期間では対流の大きさは変化するが、IMF Byが正でほぼ一定であったことにより一方向からの安定的な供給が可能である。このように双方とも安定した日照域プラズマの供給が可能であるので発生個数と平均発生間隔に差が生じなかったと考えられる。以上より、パッチの性質はIMFよりも時間によって変化するターミネータの位置に依存することが示唆される。

発表では、CMEとCIR時における極冠パッチの発生頻度に関する解析をもとに、生成メカニズムについての議論を行う予定である。

カナダのイウレカで観測される極冠パッチの統計的性質: UT, 季節, IMF By 依存性

永田 倫太郎 [1]; 細川 敬祐 [1]; 塩川 和夫 [2]; 大塚 雄一 [2]
[1] 電通大; [2] 名大宇地研

Statistical characteristics of polar cap patches in Eureka, Canada: dependence on UT, season and IMF By

Michitaro Nagata[1]; Keisuke Hosokawa[1]; Kazuo Shiokawa[2]; Yuichi Otsuka[2]
[1] UEC; [2] ISEE, Nagoya Univ.

Polar cap patches are regions of high density plasma in the polar cap F region ionosphere. The electron density within patches is 2 to 10 times higher than that in the surrounding region. It has been suggested that patches are produced by long-distance transportation of high-density plasma from the dayside sunlit area towards the dark central polar cap region by the anti-sunward convection during negative Bz conditions. Polar cap patches have been observed in many places in the polar cap. To date, however, most stations were located at magnetic latitudes around 80 degrees. Thus, continuous observations at a fixed point in the magnetic coordinate system have not yet been done due to the rotation of the Earth. This makes it difficult to follow the statistical characteristics of patches, especially seasonal and UT dependence of their occurrence.

In order to observe patches near the magnetic pole continuously, we have been operating an all-sky airglow imager (ASI) of Optical Mesosphere Thermosphere Imagers (OMTIs) in Eureka, Canada (80.0 N, 85.9 W, 89 MLAT). The ASI has three optical filters, but we only use 630.0 nm airglow images taken every 2 min to observe polar cap patches. The imager at Eureka can observe a region near the magnetic north pole from an almost fixed point in the magnetic coordinate system; thus, it is now possible to monitor the polar cap ionosphere for 24 hours during a period near the winter solstice.

In this study, we investigate the occurrence distribution of polar cap patches by using data from Eureka and clarify the factors controlling the generation of patches. In particular, the results are compared with numerical simulation of Bowline et al. [1996] which employed TDIM model to predict the occurrence distribution of patches. Since their simulation assumes the transportation of dense plasma from the dayside as a generation mechanism of patches, if the statistical results are consistent with the simulation we will be able to prove the suggested process for the production of patches.

We have used 630.0 nm all-sky images from two winter seasons from 2015 to 2017. The amount of data used is 87 days in 2015 and 89 days in 2016, respectively. We automatically identified the appearance of patches from the time-series of the optical intensity at zenith and made a list of patches. Then, we manually checked all the patches in the list and discarded other phenomena such as polar cap aurora which were miss-identified by the automated detection. By using this list of patches, we analyzed how the occurrence of patches depends on UT, season, and IMF. As a result, the seasonal/UT dependences of patches derived from the current statistics are consistent with those simulated by Bowline et al. [1996] during the southward IMF conditions. This indicates that patches are created by the transportation of dense plasma from the dayside. In contrast, the seasonal/UT dependences of patches do not agree with the simulation during the northward IMF condition. This suggests that patches are generated by a different process, probably direct creation of dense plasma due to particle precipitation, during the northward IMF conditions. We also investigated the dependence of patch occurrence on the IMF By statistically. When the IMF By is positive, the number of polar cap patches was twice of that in the negative IMF By cases. This is probably because the pattern of plasma convection is more appropriate for patches to be transported toward the magnetic pole during the positive IMF By conditions.

極冠域電離圏 F 領域高度において観測される電子密度が背景より 2 倍から 10 倍高い領域のことを極冠パッチと呼ぶ。極冠パッチは、太陽からの極端紫外線によって電離された日照領域の高密度プラズマが、極冠域を流れる反太陽方向のプラズマ対流に乗って夜側の日陰域へと輸送されることによって生成されると考えられている。極冠域の反太陽方向のプラズマ対流は、IMF が南向きの時に強まることから、IMF Bz が負の値を取ることが、極冠パッチの生成条件であるとされている。しかし、パッチの発生頻度は IMF の By 成分や季節、UT にも依存していることがこれまでの数値シミュレーションによって指摘されている。

これまで極冠パッチが観測されてきたのは磁気緯度が 80 度付近の領域であり、自転の影響により観測する MLT が時間的に遷移してしまうため、極冠パッチの発生頻度の特性、とりわけ UT 変化を追うことが難しかった。この問題点を克服するために、現在の地磁気北極に近いカナダのイウレカ (北緯 80.0 度, 西経 85.9 度, 磁気緯度 89 度) において、Optical Mesosphere Thermosphere Imagers (OMTIs) の全天大気光イメージャによる観測を 2015 年 10 月から行っている。全天大気光イメージャが 2 分毎に取得する 630.0 nm 大気光の発光強度は電離圏電子密度におおよそ比例するため、極冠パッチの二次元観測ができる。イウレカでは、磁気緯度がほぼ 90 度であるために、磁気北極を常に観測することができる。また、緯度が高いため、冬至付近の期間には 24 時間連続で極冠域電離圏のモニタリングが可能である。

Bowline et al. [1996] は、プラズマ対流によって反太陽方向に取り込まれた日照域プラズマがパッチの唯一のソースであるという前提のもとで、Time-Dependent Ionospheric Model (TDIM) というモデルを用いて極冠域電離圏 F 領域の電子密度の時間変化を再現している。このモデ゙ル計算の結果、極冠パ゚ッチの出現場所は IMF By に伴って形状を変えるプラズマ対流に強く依存し、パッチの密度は複雑な UT 依存性と季節依存性を持つことが示され

ている。しかし、この結果はあくまでも数値シミュレーションによって得られたものであり、実際の極冠パッチがどのような IMF By 依存性、UT 依存性、季節依存性を示すのかについては未だに明らかになっていない。

本研究は、イウレカで観測された極冠パッチの出現特性を統計的に解析し、Bowline et al. [1996] の数値実験結果との比較を行う。これにより、Bowline et al. [1996] が暗黙のうちに前提としている日照域プラズマの取り込みによるパッチの生成メカニズムの妥当性を検証する。これまでの2年間の観測で得られた計176日間（2015年87日間、2016年89日間）のデータから天頂の輝度値の時系列プロットを作成し、プロットのピーク検出と背景輝度値の算出を行った。ピークにおける背景からの増分に関して閾値を設定することで極冠パッチ自動検出した。このデータから極冠オーロラなど、明らかに極冠パッチでないものを目視で取り除いた。以上の操作によって抽出した極冠パッチのリストに基づいて、極冠パッチの輝度値（電子密度）が UT や季節、IMF By, Bz などに対してどのような依存性を示すかを調べた。

輝度値の UT に対する依存性を調べたところ、イウレカのローカルタイムが夜の時間帯には、輝度値が小さい極冠パッチが多く発生するのに対して、昼側では極冠パッチの発生数は少ないが輝度値が高いものが多いことがわかった。また、IMF By, Bz それぞれに対し正負で場合分けしたうえで、横軸に UT、縦軸に1年の通し日を取ってパッチの輝度の分布をプロットした結果、IMF Bz が負の時に極冠パッチの観測頻度は少し高いものの、観測された個数に大きな差は見られなかった。IMF Bz が負の時、イウレカのローカルタイム夕方付近から夜にかけて極冠パッチの輝度値が徐々に低くなっていくこと、冬至付近の夜に最も極冠パッチの輝度値が低く秋分・春分方向に徐々に輝度値が高いものが増えることから、パッチは顕著な季節変化及び UT 変化を示すことが明らかになった。これは、Bowline et al. [1996] の数値計算の結果と一致するものであり、IMF が南向きの時は、従来唱えられてきた反太陽方向のプラズマ対流によって極冠パッチができるというメカニズムが妥当であることを意味する。IMF Bz が正の時は、極冠パッチの輝度値の分布に数値計算と同じ傾向の季節変化、UT 変化は見られなかったことから、粒子降下などの他の電離源によってパッチが生成されていることが示唆される。また、IMF By が正の時には、負のときよりも約2倍の頻度で極冠パッチが観測されることも明らかになった。これは、イウレカの全天イメーgerが視野に含んでいる磁気極上空では IMF By が正の時に日照域プラズマが取り込まれやすい極域プラズマ対流のパターンになっているものと考えられる。

脈動オーロラによって生成された電離圏分極電場

高橋 透 [1]; Ilkka I. Virtanen[2]; 細川 敬祐 [3]; 小川 泰信 [1]; Anita Aikio[2]; 宮岡 宏 [1]
[1] 極地研; [2] Univ. Oulu; [3] 電通大

Electric field modulations in the ionosphere induced by pulsating aurora

Toru Takahashi[1]; Ilkka I. Virtanen[2]; Keisuke Hosokawa[3]; Yasunobu Ogawa[1]; Anita Aikio[2]; Hiroshi Miyaoka[1]
[1] NIPR; [2] Univ. Oulu; [3] UEC

A pulsating aurora (PsA) is a quasi-periodic modulation of the auroral luminosity with a period from a few seconds to a few tens of seconds. It is well known that the intensity of the PsA is typically excited by the precipitation of electrons in the energy range from a few keV up to a few tens of keV. The high energy electrons release their energy into the ionosphere by modulating the ionospheric parameters such as electron density.

In a previous study, ion velocity variations harmonized with PsA were observed by SuperDARN radar. The main cause behind this phenomenon has been considered to be the polarization of the electric field, which is generated by the enhancement of the ionospheric conductance inside PsA patches. A previous EISCAT radar observation has revealed the response of electron density and Hall conductance to the appearance of the pulsating auroras. However, it is still not clear what is the exact relationship between the variations of the direction of the electric field, the ionospheric conductance, and the optical pulsation.

On November 9, 2015, the EISCAT Tromsø UHF and VHF radar operated with the KAIRA instrument installed at Kilpisjärvi, Finland. This simultaneous observation provided the electric field in the F region, the electron density/temperature, and ion velocity/temperature with a temporal resolution of 5-sec. PsA patches were captured by the all-sky camera at Tromsø from 02:00 to 02:25 UT, with a predominantly period of 12 seconds. In this time interval, we found that the Pedersen conductance increased when during of the PsA ON phase. Furthermore, the electric field direction turned from south-eastward to south-westward while the southward electric field slightly weakened as the Pedersen conductance increased. Thus, the direction of the electric field inside of the PsA patches appeared to be north-westward. This direction was consistent with the polarization of the electric field created by the enhancement of the Pedersen conductance. In this presentation, we will summarize these results and explain the generation mechanism of the polarization electric field caused by the PsA.

脈動オーロラは数秒から数十秒の周期で明滅し、数 keV から最大 MeV の高エネルギー粒子によって作られている。脈動オーロラに対する電離圏変動の理解は磁気圏—電離圏結合を理解する上で重要である。

オーロラの明滅に同調して変化をするイオン速度が SuperDARN レーダーによって観測された。この現象は、脈動オーロラが明滅を行う領域である脈動オーロラパッチの内部に生成される分極電場が原因であることが仮説として提唱された。その後、EISCAT とカメラの同時観測によって分極電場の生成に寄与すると考えられる脈動オーロラと同調した電離圏下部の電気伝導度の増大が報告された。これらのことから、脈動オーロラパッチ内部に生成される分極電場の生成メカニズムを明らかにするために電気伝導度と電場の同時観測による、より詳細な調査が求められていた。

2015年11月9日00:00-04:00 UTに、EISCAT UHF レーダー、VHF レーダーとキルピルヤルビに設置された KAIRA による特別実験が行われた。この特別実験では電子密度・温度、イオン速度・温度の他に F 領域の電場が同時に 5 秒の分解能で観測された。観測時間内の 2:00-02:25 UT において、トロムソ上空に周期約 12 秒の脈動オーロラが出現した。この時間帯、EISCAT と KAIRA の観測と SuperDARN の観測から、背景電場は南東向きであることがわかっている。EISCAT の電子密度データから Hall および Pedersen 電気伝導度を導出すると、Pedersen 電気伝導度の増加が、脈動オーロラの輝度が増加する "ON" の時間において見られた。この時間の電場を抽出すると、東西電場が東向きから西向きへ転じていること、背景の南方向の電場がわずかながら弱められていることがわかった。このことから、脈動オーロラパッチ内部に、北西の分極電場が形成されていたと考えられる。これは、オーロラパッチ内部で Pedersen 電流が増大することによって生成される分極電場と向きが一致する。これらの結果は先行研究で提唱された仮説と整合的であり、観測により、分極電場の観測及び、その生成メカニズムを明らかにする上で重要な結果である。本講演では、これらの観測及び解析結果の詳細を発表する予定である。

PBI 数値シミュレーション～オーロラオーバルとオーロラストリーマーの相互作用について～

青柳 優介 [1]; 吉川 顕正 [2]
[1] 九大・理・SEE ; [2] なし

PBI numerical simulation the 'the interaction of aurora streamer and aurora oval'

Yusuke Aoyagi[1]; Akimasa Yoshikawa[2]
[1] SEE; [2] ICSWSE/Kyushu Univ.

In this study, we numerically investigate nature of PBI, which take into account evolution of the electric conductivity and the induced electric field.

PBI (Poleward Boundary Intensification) which occurred at the poleward boundary of nightside aurora oval has been considered to be the ionospheric manifestation of the distant reconnection in the magnetotail so far [Lyons, 2011].

Recently, Ohtani & Yoshikawa [2016] proposed new model of PBI that Field Aligned Current (FAC) accompanied by the fast polar cap flow excited the upward polarization FAC as the PBIs at the conductivity gradient region when it approaches the aurora oval. In their model, the polarization FAC is calculated under the electrostatic approximation with given conductivity distribution. In this study, we work on the advanced problems that Ohtani & Yoshikawa [2016] have not yet take into account. Two main points of important physical element are not considered in the previous model.

The first point is the time evolution of the electric conductivities. The polarization FAC excited by approaching aurora streamer to the aurora oval produces plasma density fluctuation by current closure and accelerated electron precipitations, which leads to changes of conductivity. The second point is introduction of the induced electric field. Ohtani & Yoshikawa [2016] use the electrostatic approximation for calculating ambient electric field of fast polar cap flow, however, existence of Hall effect at the ionospheric E-layer, simultaneously produces both electrostatic and induced electric fields. For self-consistent treatment of PBIs evolution, we need to take into account the induction electric fields in the plasma density drift process.

In this presentation, we will introduce detail of our advanced PBI model and am going to report an initial result of new simulation.

本研究では、極域電離圏において、電気伝導度の時間発展と誘導電場を考慮に入れた PBI の数値シミュレーションについて報告する。

夜側のオーロラオーバルの境界層で起こる PBI (Poleward Boundary Intensification) は、地球磁気圏尾部での夜側磁気再結合 (distant reconnection) による電離圏への投影によるものであるとして考えられてきた。[Lyons, 2011]. しかし、近年の Ohtani & Yoshikawa [2016] の論文にて、この PBI 起源に関する新たなモデルが提唱された。このモデルでは、昼間側で生じた高速の極冠流に付随する沿磁力線電流 (FAC) がオーロラオーバルへの接近に伴い伝導度勾配領域で更なる分極性 FAC を励起し、この FAC の上向き電流系が PBI に対応すると解釈している。Zou et al., [2014]

は詳細な観測により PBI の発生についていくつかのキーとなる特徴をまとめており、Ohtani & Yoshikawa [2016] はその観測的特徴について distant reconnection 起源では説明が困難であり、かつ、分極性 FAC モデルによってその困難さが解消されることを示している。

Ohtani & Yoshikawa [2016] では与えられた伝導度分布の下、高速極冠流に伴う電流系を静電近似で求めることにより分極性 FAC を再現した。本研究では、Ohtani & Yoshikawa [2016] ではまだ考慮されていない発展課題に取り組む。先の論文では主に以下二点の重要な物理要素がシミュレーションで考慮されていない。一点目は電気伝導度の時間発展である。オーロラストリーマーのオーロラオーバルへの接近に伴い励起される分極性 FAC は電流クロージャーと電子加速により、電子密度を変動させ、さらにこの密度揺動は刻一刻と変化する電場構造に伴ってドリフトし、その結果、電気伝導度の構造変化を生じさせる。この時間発展を考慮するにあたり、電子の連続の式をベースに密度移流と粒子の振り込みに伴う電子の密度変動を方程式に組み込み、分極性 Alfvén 波として発展していく様子を再現する。二点目は誘導電場の導入である。先行研究ではこの周辺の電場を静電場近似でシミュレーションを行っているが、E 層での高速プラズマ流は Hall 効果の存在により静電場と誘導電場で同時に発生しており、伝導度の時間発展を与えるプラズマ密度の電場ドリフトを自己無同着に再現するためにはこの誘導電場の効果を考慮することは必須であると考えられる。本講演ではこれらのロジックをまとめたモデルを紹介するとともに、新たなシミュレーションの初期結果について報告する予定である。

津波起因海洋ダイナモ効果の三次元計算から示唆される津波励起の電離層電流系

南 拓人 [1]; 藤 浩明 [2]; 市原 寛 [3]

[1] 東大・地震研; [2] 京都大学・大学院・理学・地磁気センター; [3] 名古屋大学地震火山研究センター

Tsunami-generated electric current system in the ionosphere constrained by simulations of tsunami motional induction

Takuto Minami[1]; Hiroaki Toh[2]; Hiroshi Ichihara[3]

[1] ERI, Univ. Tokyo; [2] DACGSM, Kyoto Univ.; [3] Nagoya University

<http://eri-ndc.eri.u-tokyo.ac.jp/jp/ohrc/member.html>

Earthquakes and tsunamis cause a variety of electromagnetic (EM) phenomena. Especially, tsunamis trigger two major phenomena: (1) tsunami motional induction, where EM variations are generated by conductive seawater moving in the geomagnetic main field, and (2) tsunami-atmosphere-ionosphere (TAI) coupling, where rapid sea surface deformations due to tsunamis cause atmospheric gravity waves reaching ionosphere and driving electric current system there. Although both phenomena are important because of their potential to contribute to tsunami early warning, it is sometimes difficult to distinguish these effects in magnetic data observed at ground/seafloor observatories, based on the frequency or the starting time of the variations (Minami, 2017). To identify these effects, we require an accurate model for either of tsunami motional induction or of TAI coupling. However, magnetic variations obtained from previous TAI simulations are not reliable at ground level because they do not include the effect of conductivity structure of the Earth's interior and of conductive seawater (e.g., Kherani et al., 2016). On the other hand, it is known that EM variations due to tsunami motional induction are not affected significantly by conductivity structures beneath the seafloor (Shimizu and Utada, 2014), which allows us to calculate the fields accurately when a reliable tsunami source model is available. We have already developed a three-dimensional simulation code for EM fields generated by tsunami motional induction. In this study, we try to constrain the form of electric current system in the ionosphere from the perspective of ground and seafloor magnetic observations, by subtracting the effect of tsunami motional induction, for the case of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake tsunami.

We first calculated tsunami seawater velocity by using the modified COMCOT code (Kawashima and Toh, 2016) with an existing source model (Satake et al., 2013). Secondly, our developed code was applied to calculate EM fields associated with tsunami motional induction. Finally, we subtracted the obtained magnetic variations due to motional induction from the observed magnetic data at the on-land observatory, ESA, and the seafloor one, B14, which are located at 180 km west and 200 km east of the epicenter, respectively. As a result, we found that ESA and B14 have the opposite peak in the eastward component at 12 - 15 min after the tsunami origin, while they have similar negative peaks in the downward component at 15 - 20 min. For both the eastward and downward peaks, each peak at ESA precedes that at B14 by a few minutes. Note that we have already subtracted the magnetic variation not related to the tsunami from the magnetic data by using magnetic transfer functions between B14 or ESA, and the Memambetsu observatory. The resulting variations at ESA and B14 can be accounted for by a pair of southward and northward electric currents in the ionosphere that exists respectively in the west and east of the epicenter and propagates outward. Although the distances from the epicenter to ESA and B14 may corresponds to the peak-time differences, we need to investigate the effect of induction associated with the conductivity structure of the Earth's interior and conductive seawater.

In the presentation, we show the magnetic variations at ESA and B14 due to tsunami-generated electric current system in the ionosphere, which are obtained after subtraction of the estimated effect of tsunami motional induction. Furthermore, we plan to report some results of attempts at representing the variation associated with the TAI coupling by a numerical simulation with the pair of southward and northward electric current in the ionosphere mentioned above.

巨大地震・津波の発生時には、多様な電磁気学的現象が生じる。中でも、巨大津波の発生時には、海水が地球主磁場を運動することで生じる海洋ダイナモ効果 (e.g., Toh et al., 2011) に加え、津波による海水面変動が引き起こす大気重力波が電離層に到達することで生じる電離層ダイナモ効果 (e.g., Tsugawa et al., 2011) が知られている。これら二つの現象は、いずれも津波早期予測への応用が期待される重要な現象であるが、地上・海底の観測磁場データにおいて、変動周期や変動開始時刻から上記の効果を区別するのは困難な場合がある (Minami, 2017)。磁場変動の原因特定のためには、上記二つの現象いずれかの高精度なモデルが必要であるが、津波による電離層ダイナモ効果の数値計算は、これまでのところ、固体地球の電気伝導度構造を考慮しておらず、地上・海底観測のデータと比較することが難しい (e.g., Kherani et al., 2016)。他方、津波による海洋ダイナモ効果は、地殻・マンツルの電気伝導度構造の影響をほとんど受けないことが知られており (e.g., Minami et al., 2015; Shimizu and Utada, 2014)、高精度な津波モデルが利用可能な場合には、数値計算を用いて地上・海底磁場変動を精度よく再現することが可能である。我々は、これまでに三次元有限要素法を採用した海洋ダイナモの電磁場計算コードを完成させている。本研究では、2011年東日本太平洋沖地震津波を対象に、海洋ダイナモ計算結果を地上・海底の観測磁場データから差し引くことで、磁場データ中の津波励起電離層電流に起因する変動を明らかにし、さらに、津波イベント中の電離層内の電流分布に対し地上・海底磁場データから拘束をかけることを目指した。

本研究ではまず、既存の津波ソースモデル (Sakake et al., 2013) を用いて、修正 COMCOT コード (Kawashima and Toh,

2016)による津波シミュレーションを行った。次に、得られた海水速度場をソースとして三次元電磁場計算を行い、海洋ダイナモ起因の電磁場を計算した。計算された海洋ダイナモ由来の磁場変動を、津波波源西側の陸上観測点である江差(ESA)、並びに、波源東側の海底観測点 B14 から差し引いた結果、津波発生後 12 分頃と 15 分頃に ESA と B14 の東西成分が異符号(ESA で東向き、B14 で西向き)のピークを持つこと、また、津波発生後 15 分と 20 分後に、ESA と B14 の鉛直下向き成分が同様の負(鉛直上向)のピークを持つことが明らかとなった。すなわち両観測点において、水平成分のピークの後に、鉛直成分のピークが現れている。(ここで、ESA、B14 のデータからは、あらかじめ津波に関連しない外部起因磁場変動分を、女満別観測点との磁場 transfer function を用いて差し引いてある。)この結果は、震央から ESA、B14 までの距離がほぼ同じ(ESA まで約 180 km、B14 まで約 200 km)であるため、波源で発生した一対の南北電流(西側に南向き電流、東側に北向き電流)が、波源から各々東西外向きに伝搬したと仮定すれば、定性的に説明できる。両観測点の変動ピークの時刻は水平・鉛直成分とも、ESA が数分先行していたが、このピーク時刻の解釈には、波源からの距離だけでなく、良導体である海水による誘導効果等を含めた詳細な議論が今後必要と考えられる。

本発表では、ESA と B14 観測点を中心に、津波海洋ダイナモ効果による磁場変動を陸上・海底観測データから差し引いた後に現れる、津波起因の電離層電流による磁場変動を紹介する。また、本研究では今後、上で述べた対となる電離層内の南北電流を数値計算で表現し、ESA と B14 の変動ピークの再現を試みる予定であるが、その結果も併せて報告したい。

S-310-44号機によるSq電流系付近のDC/AC電場観測

石坂 圭吾 [1]; 阿部 琢美 [2]; 熊本 篤志 [3]; 田中 真 [4]; 吉川 顕正 [5]; 松下 拓輝 [6]

[1] 富山県大・工; [2] J A X A宇宙科学研究所; [3] 東北大・理・地球物理; [4] 東海大・情教セ; [5] なし; [6] 九大・理・地惑

DC and AC Electric Field Measurements near the Sq Current System by S-310-44 Sounding Rocket

Keigo Ishisaka[1]; Takumi Abe[2]; Atsushi Kumamoto[3]; Makoto Tanaka[4]; Akimasa Yoshikawa[5]; Hiroki Matsushita[6]

[1] Toyama Pref. Univ.; [2] ISAS/JAXA; [3] Dept. Geophys, Tohoku Univ.; [4] Tokai Univ.; [5] ICSWSE/Kyushu Univ.; [6] Earth and Planetary Sciences, Kyushu Univ.

The Sq current system occurs in the lower ionosphere in the winter daytime. The Sq current system is appeared the specific plasma phenomenon such as electron heating, strong electron density disturbance. S-310-37 sounding rocket had been performed in the past, however it was not possible to observe the electric field component. It is one of the reasons that the photo electron caused by the sunlight that is irradiated to the rocket body, and affect the electric field observations. It is very difficult to remove the influence of the photo electron from the observed data. If it is possible to put the electrode of the electric field sensor outside of the region where there becomes the photo electron around the rocket body, the influence of the photo electron can be reduced. Therefore, the antennas need a length as long as possible to observe the electric field. Accordingly, the antennas of S-310-44 sounding rocket is 4m tip-to-tip that is twice as length than the antennas of S-310-37 sounding rocket. The purpose is to reduce the influence of the photo electron moreover to measure the electric field more accuracy.

It was carried out S-310-44 sounding rocket experiment at 12:00 LT on January 15, 2016. This rocket passed through the Sq current focus. In addition, scientific instruments that are equipped on the rocket also operated normally. The electric field detector was able to observe the DC electric field up to 100Hz and the waveform of AC electric field up to 6400Hz in the altitude from 100km to 160km. There was not seen the effect by photo electron in the DC electric field data. The observed DC electric field is included in the induced electric field ($v \times B$ electric field) in addition to the natural electric field. The $v \times B$ electric field is caused by the rocket to pass through the magnetic field. It is necessary to remove the $v \times B$ electric field from the observed data in order to determine the electric field vector near the Sq current system. The $v \times B$ electric field is calculated by using the attitude of the rocket and the magnetic field data from the IGRF. The DC electric field reached a maximum 15 mV/m at altitude 110 km and then decreased as the altitude increases. The spectrum of AC electric field in the frequency range from 2 kHz to 3 kHz look to enhance at the altitude of about 100 km. This electric field component observe during the rocket ascent only. Therefore, it is possible that the electric field component is the plasma wave related to the Sq current system. It was found that the electron temperature at the altitude from 100 km to 110 km was about 150 K larger than the background by using the fast Langmuir probe measurement. This suggests an existence of electron heating region in the Sq current focus. Therefore we guess the large DC electric field and the spectrum of the VLF band electric field are related for the Sq current system.

We will derive the vector of the DC electric field and VLF plasma waves, and then investigate whether the large electric field is affecting the electron heating region in the Sq current focus.

中規模伝搬性電離圏擾乱発生時における電離圏中の DC 電場観測

山本 淳史 [1]; 石坂 圭吾 [2]; 田中 真 [3]; 山本 衛 [4]; 阿部 琢美 [5]

[1] 富県大・工・情報; [2] 富山県大・工; [3] 東海大・情教セ; [4] 京大・生存圏研; [5] JAXA宇宙科学研究所

DC electric field measurement in the ionosphere during MSTID occurrence

Atsushi Yamamoto[1]; Keigo Ishisaka[2]; Makoto Tanaka[3]; Mamoru Yamamoto[4]; Takumi Abe[5]

[1] Information Systems Engineering,

Toyama Prefecture University; [2] Toyama Pref. Univ.; [3] Tokai Univ.; [4] RISH, Kyoto Univ.; [5] ISAS/JAXA

S-520-26 sounding rocket experiment was launched at Uchinoura Space Center (USC) in Japan at 5:51 JST on 12 January, 2012. The purpose of this experiment is the investigation of the bonding process between the atmospheres and the plasma in the thermosphere. This rocket was launched during medium scale traveling ionospheric disturbance (MSTID) occurrence. MSTID is a large wavy structure of electron density in the northwest - southeast direction. It is correlated with the DC electric field. The S-520-26 payload was equipped with Electric Field Detector (EFD) with two set of orthogonal double probes. Inflatable tube antenna (ITA) and ribbon antenna (RA) were equipped in order to measure the electric field. The antenna length of ITA is 5.0 meters, and the antenna length of RA is 2.4 meters. The tips of each boom were attached the electrodes to the probe, and it performed observe the electric field by measuring the electric potential difference between the probes.

The rocket passes through the magnetic field, so it observes the induced electric field ($v \times B$). Therefore, the observed electric field includes the DC electric field and the $v \times B$ electric field, so it is necessary to subtract the $v \times B$ electric field. Accordingly, the $v \times B$ electric field was calculated using the rocket attitude data, magnetic field data and so on. In addition, we converted the $v \times B$ electric field from the geographical coordinate system to the spin coordinate system using the spin component, and subtracted the $v \times B$ electric field of the spin coordinate system from the observation data. Furthermore, we removed the spin component from the subtracted data, and we removed pulse noise by photoemission using the moving average. Then, we derived the DC electric field vector in the ionosphere.

We analyzed the electric field data during from 180 seconds to 380 seconds at altitude from about 254 to 297 km. This is because, the observation started time of the rocket's attitude data was 180 seconds, and the DC electric field could not be observed due to lithium emission at the time of rocket descent. There was the difference of the 1/4 wavelength in the wave form of two electric field strength observed from ITA and RA. This result indicates that the two antennas are extended orthogonally.

As a result of calculating, we derived DC electric field. The direction of the DC electric field vector changed from the southwest to the northeast direction. The intensity of the DC electric field was about 0.2 ~5.6 mV/m. Specifically, the intensity of the DC electric field is about 0.2 ~1.0 mV/m at an altitude about 254 ~284 km (during an ascent), about 1.5 ~3.8 mV/m at an altitude about 285 ~297 km (during an ascent) and 297 ~290 km (during a descent), and about 2.5 ~5.6 mV/m at an altitude about 289 ~254 km (during a descent).

In this study, we analyzed DC electric fields in ionosphere using electric field data observed by EFD which carried by an S-520-26 sounding rocket. From the analysis results, the direction and intensity of the DC electric field differed between ascending and descending. For that reason, I think that the magnitude of electron density at each observation point is different. In the future, we will investigate the plasma dynamics in the ionosphere by comparing the result with the data of other observation instruments.

2012年1月12日05時51分(JST)に鹿児島県内之浦宇宙空間観測所からS-520-26号機観測ロケットが打ち上げられた。本ロケット実験は熱圏中性大気とプラズマ結合過程の解明を目的としている。本ロケットは中規模伝搬性電離圏擾乱(MSTID)発生時に打ち上げられた。MSTIDは北西-南東方向の電子密度の大きな波状構造であり、電場と相関関係がある。本ロケットには電離圏中の電場を観測するため、ロケットの頭胴部にセンサ部、プリアンプ部、メインエレクトロニクス部からなる電場観測装置(EFD)が搭載された。EFDのセンサ部にはインフレータブルチューブアンテナ(ITA)とリボンアンテナ(RA)が搭載された。ITAの全長は5m、RAは2.4mである。各アンテナの先端10cmには、プローブとなる電極が取り付けられており、プローブ間の電位差を計ることによって電場の観測を行う。

ロケットが観測する電場は、自然電場とロケットが磁場を通過した際に生じる誘導電場の合成電場である。そのため、自然電場を求めるためには、磁場データとロケットの飛行速度から誘導電場の値を算出する。そして、誘導電場を地理座標系からスピン座標系に変換するために、アンテナの角度、ロケット方位角、ロケット天頂角、偏角を用いてスピン(アンテナ)成分を求める。電場の観測値からスピン座標系の誘導電場を減算することで自然電場を求める。求めた自然電場からスピン成分を取り除き、光電子放出によるパルス性ノイズを取り除くための移動平均を行う。これらの手順から、地理座標系での電離圏中のDC電場のベクトルを導出する。

本研究では、ロケットの姿勢データの観測開始時間の関係と、下降時ではリチウム放出によってロケット周辺の自然電場が観測できないことから、ロケット打ち上げ後180秒から380秒まで(高度約254~297km)の電場データの解析を行った。ITA、RAより観測された2つの電場強度の波形には、1/4波長の差があった。これより2つのアンテナは直交して伸展されたことが確認できた。解析結果から、自然電場ベクトルの方向は、南西方向から北東方向へ変化しており、自然電場の強度は約0.2~5.6mV/mであることが確認できた。具体的には、高度約254~284km(上昇時)では約0.2~1.0mV/m、高度約285~297km(上昇時)と297~290km(下降時)で約1.5~3.8mV/m、高度約289~254km(下降時)

で 2.5~5.6 mV/m であった。

本研究では、S-520-26 号機観測ロケットに搭載された EFD により観測された電場データを用いて、ロケット打ち上げ後 180 秒から 380 秒までの電離圏中の自然電場の解析を行った。自然電場の方向と強度が上昇時と下降時で異なる理由として、それぞれの観測地点の電子密度の大きさが異なるためではないかと考える。今後は、他観測機器のデータと比較し、電離圏中のプラズマの運動の調査を行う。そして、電離圏中のプラズマダイナミクスの解明のための基礎データを提供する。

衛星搭載合成開口レーダー観測に対する中規模伝搬性電離圏擾乱の影響

齊藤 昭則 [1]; 池田 孝文 [1]; 津川 卓也 [2]
[1] 京大・理・地球物理; [2] 情報通信研究機構

Effect on the space-borne synthetic aperture radar observation by medium-scale traveling ionospheric disturbances

Akinori Saito[1]; Takafumi Ikeda[1]; Takuya Tsugawa[2]
[1] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.; [2] NICT

The effect on the space-borne synthetic aperture radar (SAR) by medium-scale traveling ionospheric disturbances (MSTIDs) has been investigated using the ALOS/PALSAR data and ground-based GNSS data. The radio wave of synthetic aperture radars on satellites propagates through the ionosphere, and its propagation speed is delayed according to the ionospheric plasma density and the radio wave frequency. The delay affects the observation of SAR when there is the intense gradient of the ionospheric plasma density with the scale-size of SAR's field-of-view. At mid-latitudes, MSTID causes this ionospheric gradient. The high occurrence rate of MSTID makes frequent interference of the space-borne SAR observation by the ionospheric structures. The ionospheric effect is intense in the L-band SAR, such as ALOS/PALSAR and ALOS-2/PALSAR-2 because of its lower frequency than the other space-borne SAR. A proxy of the ionospheric disturbances was newly developed to evaluate the ionospheric effect on the space-borne SAR. The ionospheric disturbances were evaluated by the total electron content observation by ground-based GNSS receiver network. The proxy is used to select the SAR measurement that has small ionospheric effect. This helps the selection of pair of scene for interferometric SAR. In the presentation, the effect of MSTIDs on the SAR observation, and the proxy to select the ionosphere-free scene are discussed.

地上隣接2観測点での磁場の差分データを用いた、MSTIDに伴う地上磁場変動の統計解析

大筆 想 [1]; 河野 英昭 [2]; 津川 卓也 [3]; 西岡 未知 [3]; 塩川 和夫 [4]; 大塚 雄一 [4]; 魚住 禎司 [5]; 阿部 修司 [6]; 吉川 顕正 [7]; MAGDAS/CPMN グループ 吉川 顕正 [8]
[1] 九大・理・地惑; [2] 九大・理・地球惑星; [3] 情報通信研究機構; [4] 名大宇地研; [5] 九大・イクセイ; [6] 九大・ICSWSE; [7] なし; [8] -

Statistical analysis of magnetic-field variations associated with MSTIDs using data difference at two adjacent stations

Sou Ofude[1]; Hideaki Kawano[2]; Takuya Tsugawa[3]; Michi Nishioka[3]; Kazuo Shiokawa[4]; Yuichi Otsuka[4]; Teiji Uozumi[5]; Shuji Abe[6]; Akimasa Yoshikawa[7]; Akimasa Yoshikawa MAGDAS/CPMN Group[8]
[1] Earth and Planetary, Kyushu Univ.; [2] Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ.; [3] NICT; [4] ISEE, Nagoya Univ.; [5] ICSWSE, Kyushu Univ.; [6] ICSWSE, Kyushu Univ.; [7] ICSWSE/Kyushu Univ.; [8] -

MSTID (Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance) is a phenomenon in which disturbances in the ionospheric electron density propagate. Nightside MSTIDs generally propagate in the southwest direction and have wavelengths of 100 to 300 km, moving speeds of 50 to 100 m/s, periods of 0.5 to 1.5 h, and amplitudes of 5 to 15% [Shiokawa et al. 2003]. For an MSTID event, Shimono [master thesis, 2016] performed cross-correlation analyses of sets of two TEC timeseries data [acquired from NICT GPS-TEC database] above a magnetometer; as a result, he obtained a propagation speed consistent with that estimated from the 2D movie of TEC, as expected. On the other hand for the magnetic field, he used the difference between the data from two adjacent magnetometers; the reason for using the difference was to eliminate global-scale perturbations. By using these magnetic difference data, he obtained the propagation speed which was the same, within the error range, as that obtained from the TEC data.

In this study, we removed some arbitrariness existing in the above-summarized previous research. The method to remove the arbitrariness was to include error estimates in the calculation. As the method to estimate errors, we used the bootstrap method. As a result, in selecting a peak in the calculated cross-correlation function, it became reasonable to select one of the peaks whose error bars overlapped.

Improvements were also made in the method of calculating the propagation speed. That is, we calculated the correlation function of two sets of difference data from two adjacent station pairs, the time lag from the correlation function, and the propagation speed from the distance between the two station pairs and the time lag. (In Shimono [2016], the distance between two station pairs was not considered in selecting station pairs for propagation-speed calculation.)

In this paper we analyzed an event different from the event of Shimono [2016]. The number of magnetic-field stations used for the analysis was seven.

At the meeting we will also present the analysis results of 12 other events, and we will compare the results from the 13 events.

MSTID (Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance; 中規模伝播性電離圏擾乱) は、電離圏電子密度の擾乱が伝搬する現象である。日本上空で夜間に出現する MSTID は一般的に南西方向に伝播し、波長 100~300km、移動速度 50~100 m/s、周期 0.5~1.5h、振幅 5~15% である [Shiokawa et al. 2003]。

先行研究 [下野、修士論文] において、MSTID 1 イベントについて、日本国内の磁力計のデータの解析、また、磁力計上空の TEC データ [NICT GPS-TEC データベースより取得] の解析、がそれぞれ行われ、その MSTID の伝搬の性質が調査された。2 点ペアの TEC データ間の相互相関関数を複数の 2 点ペアについて計算し解析した結果、同イベントの 2 次元 TEC movie から見積もられるのと同様の伝搬速度が得られた。一方、磁力計のデータについては、2 点ペアの磁場データ間の相互相関関数が最大となる時間差は全ての 2 点ペアにおいてほぼゼロとなった。先行研究では、これはグローバルな磁場変動成分の重畳によるものと考え、2 点ペアでの磁場データの差分を複数ペアについて求め、それを用いて相互相関解析を行ったところ、期待される伝搬性が得られ、その伝搬速度は上記 TEC データから求めた値と誤差の範囲で一致した。しかし、先行研究の時点では、相互相関解析過程において若干の恣意性が残っていた。

本研究では、その恣意性の除去を目的として解析法の改良を行った。具体的には、まず、相互相関関数 (MSTID の周期に近い周期で増減を繰り返す) の各極大値について、その誤差 (エラーバー) を計算するルーチンを追加した。誤差の計算方法としてはブートストラップ法を使用した。この結果、エラーバーがオーバーラップする全ての極大値 (ピーク) は同等の有意性を持つと判断でき、ピークの選択の有意性を定量的に評価できるようになった。

また、伝搬速度計算のための磁場観測点ペアの組み合わせ法にも改良を行った。具体的には、先行研究ではまず基準点となる観測点ペアを決め、全観測点ペアについてその差分データと基準点ペアでの差分データから相互相関関数を計算していたが、本研究では、全観測点を (TEC から決定した) MSTID 波面の法線方向に沿って並べ、隣接する 2 観測点でペアを作って対応する差分データを求め、さらに、隣接する 2 ペアそれぞれの差分データから相互相関関数を計算するようにした。これは、一般に距離が大きいほど誤差も大きくなる為である。

本論文では、先行研究のイベントとは別のイベント 1 例についての解析結果を報告する。また、更に別の 12 イベントについても解析し、その結果を (異なるイベント間の比較も含め) 報告する。

Relation between the sequential occurrence of plasma bubble and the pre-reversal enhancement of eastward electric field

Prayitno Abadi[1]; Yuichi Otsuka[2]; Kazuo Shiokawa[2]
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] ISEE, Nagoya Univ.

We analyze the 3-m ionospheric irregularities and the height variation of equatorial F-region observed by the Equatorial Atmosphere Radar (EAR) at Kototabang (100.3E, 0.2S, dip. Lat.: 10.1S) in Indonesia and ionosondes at Chumphon (99.3E, 10.7N, dip. Lat.: 3N) in Thailand and at Bac Lieu (105.7E, 9.3N, dip. Lat.: 1.5N) in Vietnam, respectively, during March-April from 2011 to 2014 to investigate the relation between the sequential occurrence of the equatorial plasma bubble (EPB) in the period of 19-22 LT and pre-reversal enhancement (PRE) of evening eastward electric field. Our initial findings can be summarized as follows: (1) the zonal spacing of two EPBs ranges from less than 100 km up to 1000 km with a maximum occurrence around 100-300 km, and this result is consistent with the previous study [e.g. Makela et al., 2010]; (2) the probability of the sequential occurrence of the EPB enhances with the increase of PRE strength; (3) the zonal spacing of the sequential occurrence of the EPB is less than 300 km for the weaker PRE (lower than 30 m/s), whereas the zonal spacing is more varied for the stronger PRE (higher than 30 m/s). We note that the PRE strength is an important factor for the sequential occurrence of the EPB. Though we also consider another factor, that is the zonal structure of seed perturbation, and the zonal spacing of the EPBs may fit with the wavelength of the zonal structure of seed perturbation. We particularly attribute the result (3) to the effects of PRE and seed perturbation on the sequential occurrence of the EPB, that is, we suggest that the weaker PRE could cause the sequential occurrence of the EPB when the zonal structure of seed perturbation has a shorter wavelength. For further investigation, we will analyze the zonal structure of seed perturbations using a network of GPS receivers in the western part of Southeast Asia. We will analyze the zonal wavy structure in the TEC as a manifestation of the seed perturbations.

多地点からの大気光観測を用いたプラズマバブルの広域撮像

高見 晃平 [1]; 細川 敬祐 [2]; 斎藤 享 [3]; 小川 泰信 [4]; 陳 佳宏 [5]; 穂積 裕太 [2]; 齊藤 昭則 [6]; 塩川 和夫 [7]; 大塚 雄一 [7]

[1] 電通大; [2] 電通大; [3] 電子航法研・航法システム; [4] 極地研; [5] 成大・地科; [6] 京都大・理・地球物理; [7] 名大宇地研

Simultaneous optical observations of plasma bubbles from multiple stations

Kohei Takami[1]; Keisuke Hosokawa[2]; Susumu Saito[3]; Yasunobu Ogawa[4]; Chia-Hung Chen[5]; Yuta Hozumi[2]; Akinori Saito[6]; Kazuo Shiokawa[7]; Yuichi Otsuka[7]

[1] none; [2] UEC; [3] NAV Department, ENRI; [4] NIPR; [5] Earth Science, NCKU; [6] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.; [7] ISEE, Nagoya Univ.

Plasma bubbles are regions in the nighttime equatorial F-region ionosphere where the electron density is significantly depleted. Plasma bubbles are known to affect the accuracy/stability of GNSS (Global Navigation Satellite Systems) because the steep gradient and small-scale irregularities within or in the vicinity of bubbles can disturb GNSS signals propagating through the ionosphere. The 630.0 nm airglow observations with ground-based all-sky imagers have been used for imaging the two-dimensional structures of plasma bubbles in the last two decades. However, such systems are typically large and expensive; thus, it has been difficult to carry out large-scale imaging of plasma bubbles from multiple stations. If we could use small and low-cost cameras distributed in multiple stations, it would be possible to visualize the large-scale structure of plasma bubbles.

In this study, we evaluate the feasibility of multi-point observations of plasma bubbles by small and low-cost all-sky airglow cameras. For this purpose, a low-cost airglow camera has been tested at Ishigaki (24 N, 124 E) in Japan since August 2014. This system consists of a small camera (WAT-910HX), a fisheye lens and an optical filter for the 630.0 nm airglow. Both the exposure time and temporal resolution of the measurement is 4 s. One of the problems of the low-cost airglow camera is its low S/N ratio due to thermal noises because the CCD of the camera is not cooled. On this point, we confirmed that such thermal noises significantly decrease by integrating raw images for a few minutes. At the same time, however, the integrated images can be blurred because plasma bubbles move with a speed of approximately 100 m/s. By taking the trade-off between the improvement of S/N ratio and blurring effect by the image integration into account, an integration of 30 images (~120 s integration time) was found to be appropriate for observations of bubbles with the low-cost camera. In this case, the estimated S/N ratio was about 15 dB. We also derived the S/N ratio of a cooled-CCD imager of OMTIs operative at the same site and it was approximately 37 dB. This means that the performance of the low-cost airglow camera cannot exceed that of conventional cooled-CCD imagers. However, the spatial structure of plasma bubbles seen in the OMTIs images are well identified even in the low-cost camera data. In addition, by subtracting 1-h averaged background image from the current image, we succeeded in imaging the detailed structure of plasma bubbles by the low-cost airglow cameras.

We also tried to observe large-scale structures of plasma bubbles by combining the low-cost camera in Ishigaki, another all-sky imager in Tainan, and the VISI instrument of ISS-IMAP. We simply combine 630.0 nm airglow data from these instruments. In the presentation, we introduce two examples of simultaneous observations of plasma bubbles. On February 14, 2015, a plasma bubble was observed at the same time with the low-cost camera in Ishigaki and VISI. On March 13, 2015, same traces of plasma bubbles were imaged simultaneously from Ishigaki and Tainan for a few hours. By investigating these two events, we clarify how the imaged spatial structure of plasma bubbles is dependent on the viewing geometry and discuss the feasibility of large-scale optical imaging of plasma bubbles from multiple stations on the ground and space.

赤道電離圏において、F領域の電子密度が局所的に大きく減少した領域が観測されることがある。この領域のことをプラズマバブルと呼ぶ。プラズマバブルは、周囲との間に極端に大きな電離圏全電子数の勾配と小規模不規則構造を作り出すためGPS測位の精度や安定性に影響を及ぼすことが知られている。従来、プラズマバブルの空間構造を観測する際には、大型の大気光イメージャによる630.0 nm大気光のイメージングが用いられてきた。しかし、観測システムが高価で観測点が少ないため、複数点からの広域撮像は行われてこなかった。安価で簡易な観測システムによってプラズマバブルを観測することができれば、観測点の増加につながり、広域イメージングが可能になると考えられる。

本研究では、安価で可搬性の高い大気光カメラを用いてプラズマバブルの広域ネットワーク観測が行えるかどうかについて、実際の観測に基づいた検証を行った。小型大気光カメラによる観測は、2014年8月26日から石垣（北緯24度、東経124度）にある電子航法研究所の観測施設において実施している。観測機器はカメラ（Watec WAT-910HX）、魚眼レンズ（Fujinon YV2.2*1.4A-2）、中心波長632 nm、半値幅10 nmの光学フィルターによって構成されている。カメラは約4秒の露光時間（時間分解能も同じ）を持ち、毎晩18 JSTから06 JSTまで連続的に観測を行っている。

小型カメラで撮像された大気光画像にはノイズが多く含まれ、プラズマバブルを観測する際の障害となる。これは非冷却CCDカメラを用いているために生じる熱雑音が原因であると考えられる。そこで4秒の原画像を数分にわたって積分しノイズを削減した。また、積分する画像の枚数毎にS/N比（ $S/N=10\log_{10} \sigma_s^2/\sigma_n^2$ ）を見積もった結果、原画像では8.04 dB、10枚積分（40秒）では13.8 dB、20枚積分（80秒）では14.1 dB、30枚積分（120秒）では14.4 dBとなり、積分する時間を長く確保すれば十分なS/N比を確保できることが分かった。但し、プラズマバブルは約100 m/sで移動するため、積分時間を長くすると画像がぼやけ詳細構造の判別が難しくなるという問題が発生する。積分によるS/N比

の向上と処理画像におけるプラズマバブルの見え方を比較検討した結果、30枚積分（120秒）がプラズマバブルの撮像に関しては適切な選択であると判断した。また、同じ観測地点に設置されている大型の冷却 CCD イメージャ（OMTIs）で撮像された画像についても S/N 比を算出した結果、37.3 dB となり、小型カメラで撮像された画像をどれだけ積分しても、冷却 CCD イメージャのパフォーマンスを超えられないことが分かった。しかし、冷却 CCD イメージャで撮像されたプラズマバブルの空間構造は小型カメラでも十分に視認できることから、小型カメラによるプラズマバブルの観測は可能であると考えている。これに加え、連続画像から大気光の背景値を推定し、30枚積分した画像との差分を取ることで、小型カメラによっても、枝分かれ構造などのバブルの詳細な空間分布を可視化することができることが分かった。

以上に加えて、石垣の小型大気光カメラと台湾に設置されている冷却 CCD カメラによる地上観測、ISS-IMAP の VISI による衛星からの光学観測を組み合わせ、バブルの広域イメージングがどの程度可能かについても検証を行っている。観測機器はそれぞれ 4 秒、185 秒、1 秒の露光時間を持っており、今回は波長 630.0 nm の大気光画像を用いた。2015 年 2 月 14 日に石垣の小型カメラと ISS-IMAP VISI によって、2015 年 3 月 13 日には石垣と台湾のイメージャによって、プラズマバブルが同時に観測されている。発表ではそれぞれの事例について、プラズマバブルの形状、速度を解析した結果を報告し、複数地点からの広域イメージングのフィジビリティを検証する。地上の複数地点、もしくは地上と宇宙からプラズマバブルを撮像する場合、視線の方向によって見え方が異なることが予想されるが、異なる 2 地点からの見え方の違いからプラズマバブルの空間構造に関してどのような情報が引き出せるかについて検討した結果も報告する予定である。

GPS 電波掩蔽観測を用いた地震に伴う高度方向の電離圏擾乱の解析

井上 雄太 [1]; 中田 裕之 [2]; 大矢 浩代 [3]; 鷹野 敏明 [4]
[1] 千葉大・融合理工; [2] 千葉大・工・電気; [3] 千葉大・工・電気; [4] 千葉大・工

Examination of vertical profiles of ionospheric disturbances associated with earthquakes using GPS radio occultation measurement

Yuta Inoue[1]; Hiroyuki Nakata[2]; Hiroyo Ohya[3]; Toshiaki Takano[4]
[1] Grad. School of Sci. and Eng., Chiba Univ.; [2] Grad. School of Eng., Chiba Univ.; [3] Engineering, Chiba Univ.; [4] Chiba Univ.

It is reported that ionospheric disturbances are caused by giant earthquakes. One of the causes is the infrasound wave excited by surface waves propagated on the ground from the epicenter. The characteristics of the ionospheric disturbances horizontally propagated after large earthquake have been reported by using a network of ground-based GPS receivers. On the other hand, the vertical propagation of coseismic ionospheric disturbances are rarely reported.

In this study, to examine vertical propagation of the ionospheric disturbances, we have examined electron density profiles observed by GPS radio occultation measurements by FORMOSAT-3/COSMIC satellites. The profile data is available at CDAAC (COSMIC Data Analysis and Archive Center) utilized by UCAR (University Corporation for Atmospheric Research).

We analyzed the earthquakes whose magnitude is larger than M7.9 during April 2007 and January 2017. Density profiles obtained within 30 degrees of latitude and longitude and 1 hour of earthquakes are analyzed. To extract the coseismic disturbances, we calculated the mean value of the electron density in the vertical direction using five-point data (corresponds to about 10 km) and determined the disturbance from the difference between the mean value and the raw data. Variations of about 5000 electrons per cubic centimeter at both altitudes of about 620 km and 360 km were observed in association with earthquake of M 7.9 occurred off Samoa at 17:48 on 29th September 2009 (UTC). We will present propagation velocity of the seismic waves from the horizontal distances from the epicenter to the observation point to compare the theoretical values with the differential data.

大規模な地震発生により、電離圏擾乱が発生することが報告されている。これは、地面変動や津波により生じた音波や大気重力波が電離圏高度まで伝搬するためである。地震発生後の電離圏中での水平方向の伝搬特性は、GPS-TEC 観測などを用いて明らかにされつつあるが、鉛直方向の伝搬を捉えた例は少ない。

そこで、本研究では、地震に伴う電離圏擾乱の変動について、特に高度方向の変化に注目し、FORMOSAT-3/COSMIC 衛星による GPS 電波掩蔽観測で得られる電子密度の高度プロファイルデータの解析を行った。電子密度プロファイルデータは、UCAR(University Corporation for Atmospheric Research)により運用されている CDAAC(COSMIC Data Analysis and Archive Center) から入手した。

2007年4月から2017年1月の約10年間で発生したM7.9以上の地震を解析対象とし、震央を中心として緯度経度幅30度以内の地震発生後約1時間までに取得されたデータを抽出し、解析を行った。変動を抽出する際、得られた電子密度プロファイルデータを用いて、高度方向に5点のデータ(距離約10kmに相当)を用いて平均を求め、得られた平均値と元のデータとの差を求め、変動成分を抽出した。一例として、協定世界時の2009年9月29日17時48分にサモア沖で発生したM7.9の地震による、2つの異なる波形データにおいて、高度620kmと360kmで約5000 el/cm³の同程度の変動が見られた。発表では、震央から観測点までの距離から伝搬速度を求めた結果について述べる。

LF 帯標準電波観測における電離圏高度と電気伝導度との相関

町 康二郎 [1]; 中田 裕之 [2]; 大矢 浩代 [3]; 鷹野 敏明 [4]
[1] 千葉大・融合理工; [2] 千葉大・工・電気; [3] 千葉大・工・電気; [4] 千葉大・工

Correlation between ionospheric altitude and the disturbance of the Pedersen conductivity in observation of LF radio waves

Kojiro Machi[1]; Hiroyuki Nakata[2]; Hiroyo Ohya[3]; Toshiaki Takano[4]

[1] Grad. School of Sci. and Eng., Chiba Univ.; [2] Grad. School of Eng., Chiba Univ.; [3] Engineering, Chiba Univ.; [4] Chiba Univ.

Low Frequency (LF) radio waves are reflected in the lower ionosphere. The phases of received LF radio waves vary with the lengths of ray paths when the reflection height moves vertically. Therefore, the height variation of the ionosphere is observed by the phase of received LF radio waves. The method for the observation of the lower ionosphere is very rare. Since the LF observation is one of the useful method for the observation of the lower ionosphere, it is expected that it supplies important data for examining the lower ionosphere. This study examines the characteristics of the phase change of the LF Standard-time and Frequency Signal Emission. The observation target is the standard radio waves of 60 kHz, which are transmitted from Hagane-yama station. The radio waves are observed by crossed loop antenna at Numata, Gunma Prefecture and Sugadaira, Nagano Prefecture.

In sunrise and sunset time, it is expected that the phase of the sky waves vary extremely as the height of ionosphere varies. However, the variation is small because the signals of both sky and direct waves are mixed. Therefore, the sky wave was separated using the polar coordinate representation of the received radio wave. The variation of the ionospheric height was calculated from the phase of sky waves, and this was compared with the variation of conductivity. For example, daily variation, on Apr. 4, 2016, show that the height variation in ionosphere(12 km) is nearly twice that in pedersen conductivity of ionosphere (7.8 km). On the other hand, the variation pattern of reflection height is similar to seasonal and daily variation pattern of the conductivity. Therefore, it is considered that the reflection height is influenced by the conductivity. The difference of the height variation may be caused by the following two reasons; 1) the absolute height of the ionosphere is assumed in calculating the height variation of the ionosphere, and 2) the spatial resolution of the conductivity derived by IRI model is not enough to express that of real ionosphere.

LF 帯電波は下部電離圏で反射する。電離圏擾乱によって電離圏高度が変化すると電波の反射高度が変動し、電波の伝搬経路長が変化する。この時、受信される電波の位相も変化するため、LF 帯電波の位相変動を観測することで電離圏高度の変動を観測することができる。下部電離圏を観測する方法は極めて少なく、LF 帯電波観測は有用な観測法の1つであり、下部電離圏を研究する上で重要なデータを提供することが期待される。そこで本研究ではLF 帯電波の位相変化から電離圏における電離圏擾乱の特性の解析について研究を行った。観測対象は60 kHzの標準電波で、送信点は佐賀県と福岡県の県境のはがね山である。本研究では群馬県沼田市と、長野県上田市菅平高原に受信点を設置し Crossed Loop Antenna による観測を行った。

観測では、送信点から地表付近を伝搬し、直接アンテナに到達する地表波と、電離圏で反射して到来する空間波の両方が受信される。そのため、これらを分離する必要がある。日の出、日の入付近では電離圏高度が大きく変化することから、空間波の位相も大きく変化すると考えられる。そこで、地表波と空間波の両方を含む受信波の日の出、日の入のデータを極座標表示することで空間波を分離した。分離した空間波の位相変化から、電離圏の高度変化を算出し、その変化と伝導度の変化を比較した。地表波と空間波の分離については、空間波の強度が地表波に比べ小さいため、ノイズの影響を受けやすく、約1/3程度の日数で分離が出来ている。日変化の例として、2016年4月4日の電離圏の高度変化は12 kmで、伝導度の高度変化は7.8 kmで、2倍近くあったが、時間的な変動には相関が見られた。季節変化においては、同様に相関が見られたことから、LF 帯標準電波の反射は伝導度により影響を受けていることがわかる。LF 帯観測により導出した高度変化と伝導度分布の高度変化については、2倍近い違いが見られた。これは、LF 帯の高度変化の推定の際、絶対高度を仮定する必要があること、モデルの低高度での分布の分解能がそれほどよくないことが考えられる。

S-310-40号機観測ロケットにより観測された中波帯電波の伝搬特性解析

岡 大貴 [1]; 石坂 圭吾 [2]; 阿部 琢美 [3]; 熊本 篤志 [4]

[1] 富山県大・工・情報; [2] 富山県大・工; [3] J A X A 宇宙科学研究所; [4] 東北大・理・地球物理

Analysis of propagation characteristic of MF band radio waves observed by S-310-40 sounding rocket

Daiki Oka[1]; Keigo Ishisaka[2]; Takumi Abe[3]; Atsushi Kumamoto[4]

[1] Toyama Pref. Univ.; [2] Toyama Pref. Univ.; [3] ISAS/JAXA; [4] Dept. Geophys, Tohoku Univ.

It is possible to receive a distant AM radio broadcast at night that cannot receive it in the daytime. This is because D layer disappears at night. MF band radio waves which have been absorbed by D layer are reflected by E layer. Therefore, MF band radio waves propagate in the distance.

We observed radio wave of NHK Kumamoto 2nd broadcasting (873 kHz) which cannot be received in the daytime at Uchinoura Space Center during the period from November 24 to November 28. As a result, we found time that radio wave intensity has been decreased sharply from 2 to 4 hour of after sunset. As one of the reason, we guessed that a region of high electron density occurred on lower ionosphere at night. Therefore, we launched S-310-40 sounding rocket at Uchinoura Space Center on 19 December 23:48 (JST) in order to investigate an abnormal radio wave propagation at night. The rocket was equipped with LF/MF band radio receiver (LMR). The LMR received 4 radio waves of 873 kHz (NHK Kumamoto 2nd broadcasting), 666 kHz (NHK Osaka 1st broadcasting), 405 kHz (Minami Daitou radio navigation beacons), and 60 kHz (JJY). Moreover, this rocket carried the fast Langmuir probe (FLP), the impedance probe (NEI) too. In this study, we investigate the propagation characteristics of radio waves and estimate the electron density profile by the intensities of 873 kHz and 60 kHz radio waves. In addition, we compare the electron density estimated from the LMR and the electron density observed by FLP and NEI. In the propagation characteristics of radio wave, we calculate the propagation vector of radio waves by using a Doppler shift frequency calculated from the characteristic wave components obtained by the frequency analysis. Radio waves received by the sounding rocket are influenced by the polarization, the magnetic field of the Earth and Doppler effect. Therefore, it is possible to obtain characteristic wave components by the frequency analysis, and then we can calculate the Doppler shift frequency. Then, we solve Booker's equation by using the propagation vector, and estimate an electron density profile. Consequently, we can obtain the propagation characteristic of radio wave when radio waves propagated unusually, and we can estimate electron density in the ionosphere. As a result of estimation of electron density profile in ionosphere, electron density in lower ionosphere was $2.3 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ at an altitude of about 106 km, and it was one order lower than the normal electron density. we think that 873 kHz radio wave propagated to the space without being completely reflected at reflection altitude. If it had such the propagation, we estimate that the radio wave cannot be received in the place where the radio wave can be received normally at night.

地上において AM ラジオ放送を受信していると、昼間は受信することができない遠方からの放送を夜間に受信することがある。これは夜間において電離圏の D 層が消滅し、D 層で吸収されていた中波帯電波が E 層によって反射され、遠方へと伝搬するからである。

鹿児島県・内之浦宇宙空間観測所 (USC) において、昼間は受信できないが夜間は受信可能な NHK 熊本第 2 放送電波 (873kHz) を用いて、2011 年 11 月 24 日から 28 日にかけて、日没前から冬期夜間の電波受信実験を行った。その結果、日没後において約 2-4 時間の間受信電波強度が急激に減少するときがあり、その時には 873kHz 電波が受信されないことが確認された。この原因の 1 つとして、夜間の電離圏下部領域において高電子密度領域が突発的に発生したと推測される。そこで、夜間における電波の異常伝搬を調査することを目的し、2011 年 12 月 19 日 23 時 48 分 (JST) に鹿児島県内之浦宇宙空間観測所から S-310-40 号機観測ロケットが打ち上げられた。本観測ロケットには長・中波帯電波受信機 (LMR) が搭載されており、873kHz(NHK 熊本第 2 放送)、666kHz(NHK 大阪第 1 放送)、405kHz(南大東無線航行用ビーコン)、60kHz(標準電波) 電波が受信された。また、観測ロケットには、高速ラングミュアプローブ (FLP)、インピーダンスプローブ (NEI) が搭載された。本研究では、873kHz と 60kHz 電波の受信強度を用いて、電波伝搬特性の解析および電子密度高度分布の推定を行う。電波伝搬特性の解析では、周波数解析により受信電波を特性波に分離し、分離したデータからドップラーシフトを計算することによって電波の伝搬ベクトルを求める。観測ロケットが受信する電波は、地球磁場と電波の偏波の向き、ロケットの飛行速度と方向により生じるドップラー効果により周波数が変化する。そのため、周波数解析により受信した電波から特性波成分を求めることが可能となり、ドップラーシフトを計算することができる。電子密度分布の推定では、得られた電波の伝搬ベクトルから Booker の方程式を解き、電子密度分布を推定する。以上に示した方法を用いることで、異常伝搬時の地上-電離圏間の電波伝搬特性が得られ、電離圏中の電子密度分布を推定することができる。そして、電離圏中の電子密度分布を推定した結果、電離圏下部領域における電子密度の値は $2.3 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ となり、通常の電子密度よりも 1 桁程度低い値となった。このことから、中波帯電波は電子密度が低いために完全反射されず、そのまま上空へ伝播したと考えられる。そして、このような伝播をしていたとすると、通常夜間に電波を受信できる場所において、電波が受信できなくなったと予想される。

国際宇宙ステーションからの観測による大気光の大規模構造の推定

北村 佑輔 [1]; 齊藤 昭則 [1]; 坂野井 健 [2]; 大塚 雄一 [3]; 山崎 敦 [4]; 穂積 裕太 [5]
[1] 京都大・理・地球物理; [2] 東北大・理; [3] 名大宇地研; [4] JAXA・宇宙研; [5] 電通大

Estimation of global scale airglow structure by observation from International Space Station

Yusuke Kitamura[1]; Akinori Saito[1]; Takeshi Sakanoi[2]; Yuichi Otsuka[3]; Atsushi Yamazaki[4]; Yuta Hozumi[5]
[1] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.; [2] Grad. School of Science, Tohoku Univ.; [3] ISEE, Nagoya Univ.; [4] ISAS/JAXA; [5] UEC

We analyzed the dependence of large scale structure of night time 630nm airglow on the season, latitude and longitude using ISS-IMAP/VISI observational data from the International Space Station. The airglow data was compared with the total electron content(TEC) data by the IRI model, and the airglow data by the IRI model and the MSIS model. ISS-IMAP/VISI is an airglow imager on board the International Space Station. The airglow was observed about three years from August 2012 to August 2015. It takes the nadir images of the airglow in 630nm, 730nm and 762nm. The 630nm airglow emit around 250km altitude, and the enhancement of emission by the midnight temperature maximum(MTM) is observed after midnight. MTM is a thermospheric neutral temperature anomaly at the midnight and propagates poleward after midnight. It was also reported that MTM is dependence on longitude known as wave 4. We confirmed dependencies of the 630nm airglow on local time and longitude by statistical analysis using VISI observational data of three years. The neutral wind is proposed to have an influence on latitudinal variation of the MTM, but this is not reproduced in the airglow estimation by the IRI and MSIS models. We identified the MTM events with ISS-IMAP/VISI observational data, and compared it with airglow by the IRI and MSIS models. The influence of the neutral wind and electric field on latitudinal variation of airglow will be discussed in the presentation.

国際宇宙ステーションからの ISS-IMAP/VISI の観測データを用いて、波長 630nm 夜間大気光大規模構造の季節・緯度・経度への依存性について解析し、IRI モデルによる Total Electron Content(TEC) や IRI モデルと MSIS モデルによる大気光の推定値と比較した。ISS-IMAP/VISI は 2012 年 8 月から 2015 年 8 月までの約 3 年間にわたり国際宇宙ステーションに搭載された大気光の観測器である。天底方向を向いて波長 630nm、730nm、762nm などの大気光を観測していた。波長 630nm の大気光は高度 250km 付近で発光しており、真夜中以降では Midnight Temperature Maximum(MTM) による発光が観測されている。MTM は真夜中付近で熱圏の温度が上昇する現象で、local time の経過とともに極方向に伝搬することが知られており、wave 4 の影響などの経度依存性も指摘されている。ISS-IMAP/VISI の 3 年間の観測の統計的な解析により、波長 630nm 夜間大気光大規模構造の local time 依存性や経度依存性の特徴について解明する。また、MTM の緯度分布には南北方向の中性風の強さが影響していると考えられているが、IRI モデルと MSIS モデルを用いた大気光の推定ではこの分布をうまく再現できておらず、ISS-IMAP/VISI の観測データから MTM のイベントを特定し、モデルと比較することで風や電場が大気光の緯度分布に与える影響を考察する。

地球照分光観測による地球アルベドのモニタリング

須藤 佑実 [1]; 鈴木 秀彦 [2]
[1] 明治大; [2] 明治大

Monitoring of the Earth's albedo by an earthshine observation

Yumi Sudo[1]; Hidehiko Suzuki[2]
[1] Meiji Univ.; [2] Meiji univ.

Spectroscopic observations of the earthshine: an irradiance on the Moon surface from the shining Earth, is known as the one of methods to indirectly measure the Earth's albedo. As the results of the observations of the earthshine, it has been found that the Earth's albedo decreased between 1984 to 2001, and turned to an increasing trend between 2001 and 2003 [Palle et al., Science, 2004]. Such variations on Earth's albedo are thought as a result of change in the mean cloud amount over the Earth. Change in the Earth's albedo is one of the important factors as well as an internal factor such as greenhouse effects which cause a global environmental change since it can directly modify the total amount of incoming energy from the Sun to the Earth.

In this study, a spectrometer for the earthshine has been developed to achieve stable and continuous monitoring of the Earth's albedo from ground. The spectrometer can be combined with any telescopes and consists of a CCD camera and a grating spectrometer (Hamamatsu Photonics PMA-12 C10027-01). By using this system, image of the Moon within a field of view of the telescope and spectrum from an arbitral area in the image can be simultaneously obtained. A total of six nights from January to July, 2017 has been conducted by using the spectrometer and a small telescope in Kawasaki City and Hokuto City, Japan. The earthshine spectrum is converted to absolute radiance by using a calibration data obtained with an integrating sphere, and corrected for atmospheric extinction. Then, the absolute radiance spectrum of the earthshine at the top of atmosphere is divided by the Moon albedo to obtain irradiance at the Moon surface from the shining earth. The irradiance is proportion to an apparent area of the bright surface of the Earth viewing from the Moon. Finally, a mean albedo of the earth at the observation time is deduced by correcting this geometry and normalized by known solar radiance flux at the Earth's surface.

In this talk, details of the observation system, analysis methods, and the prompt results of the Earth's albedo observation will be presented.

地球の日照面からの光が月面を照らす地球照を分光観測することによって、地球の平均アルベドを推定することができる。[Palle et al., Science, 2004] で報告された地球照観測による地球アルベドモニタリングの結果では、1984年から2001年にかけて地球アルベドが低下し、2001年から2003年の間にはこの傾向が逆転したことが報告されている。その原因のひとつとして考えられたのが、地球を覆う平均雲量の変動である。地球アルベドの変動は、地球へ入力されるエネルギー総量を直接変化させるため、グローバルな環境変動を引き起こす要因として、温室効果ガスの増加などの内的要因と並び重要である。

そこで本研究では、地球照の地上分光観測による地球アルベドのモニタリングを長期間安定して達成することを目指している。開発した地球照観測用の分光装置は、任意の天体望遠鏡と接続が可能であり、視野確認用の CCD カメラと回折格子分光器（型番）で構成されている。本装置ではイメージ情報と分光情報を同時に取得でき、月面イメージ中の任意の領域からのスペクトルを取得することが可能である。これまで、2017年1月から2017年7月からまでに神奈川県川崎市、山梨県北杜市において地球照観測を計6晩（上弦期2晩、下弦期4晩）実施した。地球照スペクトルは、積分球による較正データにより絶対輝度に変換され、大気減光による補正を経たのち、月面アルベドで除することで、月面における地球日照面からの照度に変換することが可能である。この照度は月面から地球を眺めたときの地球日照面の面積に比例するので、このジオメトリを補正した上で太陽放射フラックスを除することで、観測時期における地球日照面における平均アルベドを導出することが可能である。

本発表では、観測装置および地球アルベド導出手法の詳細と、現在までに得られている地球アルベドの観測結果について報告する。

ハワイにおけるスプライト観測 初期解析結果

坂野井 和代 [1]

[1] 駒澤大学

Observations of Transient Luminous Events on Maui, Hawaii - Preliminary Results -

Kazuyo Sakanoi[1]

[1] Komazawa Univ.

Video camera observations of transient luminous events related with lightning in thunderstorms were conducted on Maui(156W, 20N), Hawaii from 2016/10 - 2017/08.

Preliminary Results of those observations will be introduced in this presentation.

2016年10月～2017年8月において、米国ハワイ諸島マウイ島(156W、20N)において雷雲上空での発光現象(スプライト/ブルージェット等)の観測を行った。周囲を海洋で囲まれるハワイ諸島では、雷雲活動はそれほど活発ではなく、スプライト等の発生頻度は低いと考えられており、スプライト観測はこれまで行われていない。しかしながら、ジャイゲンティック・ジェットと呼ばれる現象は、海洋で多く発生することがわかっている。

本発表では、ビデオカメラによるマウイ島からの地上観測で得られた、数例のスプライト/ブルージェットのデータについて、ハワイで観測されるこれらの現象の特徴を紹介する。

トロムソにおけるナトリウムライダーの夏期定常観測に向けて：単結晶サファイアを用いた磁気光学狭帯域フィルタ開発

川原 琢也 [1]; 野澤 悟徳 [2]; 斎藤 徳人 [3]; 津田 卓雄 [4]; 和田 智之 [3]; 高橋 透 [5]; 川端 哲也 [2]
[1] 信州大・工; [2] 名大・宇地研; [3] 理化学研究所基幹研; [4] 電通大; [5] 極地研

Development of a Sapphire Faraday filter for the daytime observation of the sodium lidar at Tromso

Takuya Kawahara[1]; Satonori Nozawa[2]; Norihito Saito[3]; Takuo Tsuda[4]; Satoshi Wada[3]; Toru Takahashi[5]; Tetsuya Kawabata[2]

[1] Faculty of Engineering, Shinshu University; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] ASI, RIKEN; [4] UEC; [5] NIPR

An Nd:YAG laser-based sodium temperature/wind lidar was developed for the measurement of the northern polar mesosphere and lower thermosphere at Tromsø (69.6N, 19.2E), Norway. The highly stable laser system is first of its kind to operate virtually maintenance-free during the observation season (from late September to March) since 2010. To upgrade the system to daytime observation, we plan to use a Faraday filter for the ultra-narrowband optical filter. The problem of the filter is its transmission stability that is potentially sensitive to the chemical reaction between high-temperature atomic Na vapor and a Na cell glass. We solve this problem by making the cell with Sapphire. Sapphire is extremely chemically stable material. In this talk, we present the idea of Sapphire cell, the problems to solve, and a new Faraday filter design.

ノルウェー・トロムソ（北緯 69 度）に位置する EISCAT レーダーサイトで、我々はナトリウム温度・風ライダーで極夜の観測を継続している。2010 年に観測を開始してから、(1) 1/1000 pm の精密なレーザ波長制御もエラーがなく継続観測が可能、(2) 観測中に消耗品の交換が不要、(3) ハウジングの温度環境を含めた徹底した安定性の追求により光学アライメントがずれない（観測中の補正が不必要）、などを実現し準自動観測を継続してきた。これを夏期観測に発展させるために、狭帯域の磁気光学フィルタ（ファラデーフィルタ）の導入を検討している。このためにはフィルタ透過率の安定性が必須である。ファラデーフィルタ導入の問題点は、フィルタに用いるナトリウムセルが高温ナトリウム蒸気との反応により時々刻々と透過特性が変化することで、これは市販のセルを用いる場合避けられない。そこで、化学反応に極めて安定な単結晶サファイアを用いてセルを製作する新技術によりこれを解決する。本発表では製作の思想、問題点、偏光実験結果などをまとめ、昼間観測への展望を示す。

南極昭和基地における波長可変共鳴散乱ライダー観測の現状

江尻 省 [1]; # 西山 尚典 [1]; 津野 克彦 [2]; 津田 卓雄 [3]; 阿保 真 [4]; 和田 智之 [5]; 川原 琢也 [6]; 中村 卓司 [1]
[1] 極地研; [2] 理研; [3] 電通大; [4] 首都大・システムデザイン; [5] 理化学研究所基幹研; [6] 信州大・工

Current status of observations with a new frequency-tunable resonance scattering lidar at Syowa Station in Antarctica

Mitsumu K. Ejiri[1]; # Takanori Nishiyama[1]; Katsuhiko Tsuno[2]; Takuo Tsuda[3]; Makoto Abo[4]; Satoshi Wada[5];
Takuya Kawahara[6]; Takuji Nakamura[1]

[1] NIPR; [2] RIKEN; [3] UEC; [4] System Design, Tokyo Metropolitan Univ.; [5] ASI, RIKEN; [6] Faculty of Engineering,
Shinshu University

The National Institute of Polar Research (NIPR) is leading a prioritized project of the Antarctic research observations. One of the sub-project is entitled the global environmental change revealed through the Antarctic middle and upper atmosphere. Profiling dynamical parameters such as temperature and wind, as well as minor constituents is the key component of observations in this project, together with a long term observations using existent various instruments at Syowa, Antarctica (69S). As a part of the sub-project, we developed a new resonance lidar system with multiple wavelengths. The lidar has a capability to observe temperature profiles and variations of minor constituents such as Fe, K, Ca⁺, and aurorally excited N₂⁺. The lidar system installed at the Syowa Station by the 58th Japan Antarctic Research Expedition (JARE 58). In this presentation, we will report current status of the lidar observations at Syowa and show primary observation results.

南極観測事業において国立極地研究所が推進する重点研究観測の中で、中層・超高層大気観測研究はサブテーマ I に位置付けられており、地表から超高層大気にいたる大気の変動をとらえる計画で、大型のレーザーやライダーなどの測器の開発・導入・観測を進めている。ライダープロジェクトとして、2011 年から昭和基地で上部対流圏から中間圏まで ($\sim 70\text{-}80\text{km}$) の温度プロファイルを観測していたレイリー/ラマンライダーを更新し、観測高度をさらに上空、超高層大気にまで広げ、より高高度での大気重力波の活動や、オーロラ活動に伴うイオン化学反応を介した大気微量成分の組成変動など、超高層大気中の様々な力学・化学過程を通じた大気の変動をとらえるべく、国内で波長可変共鳴散乱ライダーの開発を行ってきた。送信系には波長可変のアレキサンドライト・レーザーと第 2 高調波発生器を用いており、インジェクションシーダーの波長を波長計で制御することで、基本波として 768-788 nm、第 2 高調波として 384-394 nm のうち任意の波長のレーザーパルスを得ることが出来る。これにより南極昭和基地において、カリウム原子 (770 nm)、鉄原子 (386 nm)、カルシウムイオン (393 nm)、窒素イオン (390-391 nm) の原子とイオンを狙って、高度 80 km 以上の大気温度、原子やイオンの高度分布などを測定する。このライダーは、第 58 次南極地域観測隊により今年 1 月に南極昭和基地に設置され、3 月にカリウム原子密度観測に成功し、7 月にカリウム層および鉄層を利用した温度・鉛直風観測、更にカルシウムイオン密度観測を試みた。本講演では、これらの観測の初期結果と共に、新しいライダーによる観測の現状を報告する。

MUレーダー実時間アダプティブクラッター抑圧システムの開発

久保田 匡亮 [1]; 橋口 浩之 [2]; 山本 衛 [2]
[1] 京大・生存圏研究所; [2] 京大・生存圏研

Development of MU radar real-time processing system with adaptive clutter rejection

Kohsuke Kubota[1]; Hiroyuki Hashiguchi[2]; Mamoru Yamamoto[2]
[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] RISH, Kyoto Univ.

Strong clutter from a hard target such as a mountain, a building, or an airplane often cause problems of observations with atmospheric radars. In order to suppress the clutter, it is effective to use norm-constrained and directionally constrained minimization of power (NC-DCMP), which makes null toward the direction of the clutter. It has been applied to the Middle and Upper atmospheric (MU) radar, but it was processed in off-line. We successfully implement the clutter rejection by NC-DCMP into the on-line processing system of the MU radar. Accordingly, the recording amount of observation data can be reduced. However, NC-DCMP mainly suppresses the clutter from a stationary target such as a mountain or a building, but it is insufficient to suppress the clutter from a moving target such as an airplane. This study introduces the new clutter rejection system of the MU radar, which can suppress both the ground clutter and the airplane clutter.

We have applied the NC-DCMP real-time processing to the MU radar since November 2015. However, as mentioned above, NC-DCMP is insufficient to suppress the clutter from a moving target such as an airplane. In the previous study, a two-stage NC-DCMP has been proposed as a method to suppress the airplane clutter. This method consists of two procedures: First, airplane clutter reproduced using the NC-DCMP based on the estimated arrival direction of the airplane echo is subtracted from the original received signal. Next, ground clutter is suppressed using NC-DCMP. In the previous study, real-time processing is impossible, because all directions are searched to estimate the arrival direction. Therefore, we consider limiting the search area of the arrival directions by using Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B), which is the system in which the airplanes broadcast various information such as positions, altitude, and speed with high accuracy. We compared the latitude, longitude, and altitude by ADS-B to the estimated result of Capon method, which estimates the direction of the airplane clutter. As a result, the location information data by ADS-B is useful for estimating the arrival of the airplane clutter.

大気レーダー観測において、サイドローブで受信される山や建造物からのエコー（地形性クラッター）や航空機からのエコー（航空機クラッター）が大気エコーと重なることで風速推定精度を悪化させるという問題がある。クラッター抑圧手法として、NC-DCMP(Norm-Constrained and Directionally Constrained Minimization of Power)が提案され、オフラインにおいてMUレーダーの実観測データに適用し、有効であることが実証されている。NC-DCMPとは、所望波の方向に対する応答を方向拘束により保ち、更にウェイトベクトルの大きさに関する拘束によりメインローブの形状を保持したまま、全体の出力を最小化するアダプティブアンテナの最適化アルゴリズムである。

本研究では、NC-DCMPを用いてMUレーダーの実観測データを実時間に処理するシステムを開発し、2015年11月より運用を開始している。このMUレーダーのクラッター抑圧システムはNC-DCMPを実観測データに適用し、特に地形性クラッターの抑圧に効果を発揮している。しかしながら、NC-DCMPは移動する目標に対しては高い効果を得ることができないため、航空機クラッターを十分に抑圧することはできていない。先行研究では、航空機クラッターを抑圧する手法として2段階NC-DCMPが提案され、オフラインにおいて検討が行われている。先行研究では、航空機クラッターの到来方向推定に際して、上空を全探索している。本研究では、リアルタイムにクラッター抑圧をするシステムの開発を目指しているため、航空機クラッターの探索範囲の限定を行い処理の高速化を行う必要がある。

本研究では、航空機クラッターの到来方向の限定を行うためにADS-B(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)を使用する。ADS-Bは、GPS信号を用いて航空機が絶えず、精度の高い位置情報や高度などを放送するシステムである。ADS-Bで取得した航空機の位置情報と信号の到来方向推定手法であるCapon法での航空機クラッターの到来方向推定結果の比較により、ADS-Bのデータを航空機クラッターの到来方向推定に利用可能であることが示唆された。

大気成層構造の小型無人航空機・MUレーダー同時観測

橋口 浩之 [1]; 森 昂志 [1]; Luce Hubert[2]; Kantha Lakshmi[3]; Lawrence Dale[3]; Mixa Tyler[3]; Wilson Richard[4]; 津田敏隆 [5]; 矢吹 正教 [1]

[1] 京大・生存圏研; [2] ツーロンヴァール大学; [3] コロラド大; [4] LATMOS-IPSL, UPMC; [5] 京大・生存研

Simultaneous observations of atmospheric structure with UAV and the MU radar

Hiroyuki Hashiguchi[1]; Takashi Mori[1]; Hubert Luce[2]; Lakshmi Kantha[3]; Dale Lawrence[3]; Tyler Mixa[3]; Richard Wilson[4]; Toshitaka Tsuda[5]; Masanori Yabuki[1]

[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] Toulon-Var University; [3] Univ. of Colorado; [4] LATMOS-IPSL, Pierre and Marie Curie University; [5] RISH, Kyoto Univ.

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/~hasiguti/>

Turbulence mixing is an important process that contributes to the vertical transport of heat and substance, but it is difficult to be observed because its scale is very small. The atmospheric radar transmits the radiowave and receives backscattered echoes from turbulence to measure wind velocity profiles with high time resolution, so it has advantage in the observation of atmospheric turbulence. The MU (Middle and Upper atmosphere) radar is the atmospheric radar located at Shigaraki, Koka, Shiga Prefecture, has the center frequency of 46.5 MHz, the antenna diameter of 103 m, and the peak output power of 1 MW, and has been operated since 1984. In 2004 it is upgraded to enable radar imaging observation which provides us the improved range resolution data. The MU radar can be most accurately image the turbulence structure and is the most powerful tool to study the relationship to meso-synoptic scale phenomena. For example, although atmospheric turbulence due to the Kelvin-Helmholtz instability is known to occur in strong wind shear region, continuous turbulence structure under the cloud base has been imaged by the MU radar.

In recent years, small unmanned aerial vehicle (UAV) has been attracting attention as an observation tool of the lower atmosphere. As Japan-USA-France international collaborative research, ShUREX (Shigaraki, UAV-Radar Experiment) campaign using simultaneously small UAVs developed by the University of Colorado and the MU radar has been carried out in June of 2015-2017. The UAV is a small (wing width about 1 m), lightweight (about 1 kg), low cost (about \$1,000), reusable, autonomous flight possible using GPS, and it is possible to obtain a high-resolution data of the turbulence parameters by the temperature sensor of 100-Hz sampling, in addition to temperature, humidity, and barometric pressure data of 1-Hz sampling. Take-off and landing of the UAV was carried out at a pasture in 1-km southwest from the MU Observatory. The flight method previously programmed in advance takeoff before, it is also possible to change the flight method after takeoff according to the situation. It is possible to continuously fly about one hour.

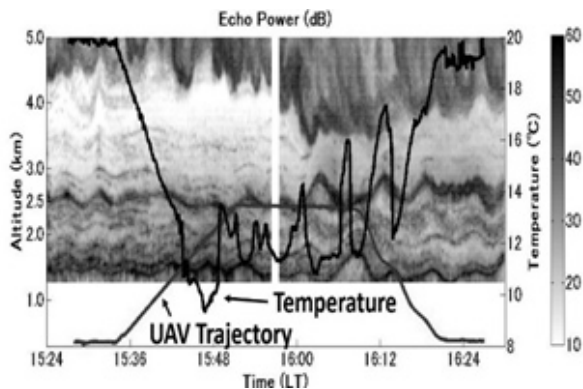
The time-altitude cross-section of the echo intensity obtained with the range imaging mode of the MU radar and temporal variations of UAV altitude and temperature measured by the UAV are shown in the figure. At 15:50-16:10, the UAV was flying horizontally, but large temperature variations were observed. Temperature variations correlated with the vertical fluctuation of the strong echo layer existing around the flight altitude, and a good correlation was found with the vertical flow observed by the MU radar. From the vertical profile of the temperature measured by UAV in the following time period, it is confirmed that a deep temperature inversion layer existed and a strong echo layer accompanied it. By modeling the measured temperature profile and assuming that the temperature profile varies up and down according to the echo layer, temperature variation was reproduced. It was almost consistent with the observation result.

乱流混合は熱や物質の鉛直輸送に寄与する重要なプロセスであるが、そのスケールが極めて小さいことから観測が難しい現象の一つである。地上から上空に向けて電波を発射し、大気の流れに散乱されて戻ってくる電波を受信することで、上空の風向風速等を高時間分解能で測定する大気レーダーは、大気乱流からの散乱エコーを観測すること、時間・空間的に連続観測可能である点で、大気乱流の観測装置として優位にあるが、従来空間分解能に限界があった。MUレーダーは滋賀県甲賀市信楽町に設置された、中心周波数 46.5MHz、アンテナ直径 103m、送信ピーク出力 1MW の大気観測用大型レーダーであり、1984 年から運用されているが、2004 年に高機能化への大幅改修が行われ、レーダーイメージング(映像)観測が可能となった。その後、イメージング観測手法の開発・改良が重ねられ、現在ではレンジ分解能が飛躍的に向上した観測が可能となっている。MUレーダーは現在のところ乱流を最も正確に映像化でき、それらの発生・発達・形成メカニズムや、メソ〜総観規模現象との関連を研究する上で最も強力な測器である。例えば、風速の変化が大きいところでは、ケルビン・ヘルムホルツ不安定により乱流が発生することが知られているが、雲底下で持続的に乱流が存在する様子が MUレーダー観測によりイメージ化されている。

近年、下層大気の観測手段として小型無人航空機(UAV)が注目されている。2015~2017年の6月に気象センサーを搭載した小型 UAV と MUレーダーとの同時観測実験を実施した。日米仏の国際共同研究により、コロラド大で開発された UAV を用いて、MUレーダーとの同時観測実験(ShUREX(Shigaraki, UAV-Radar Experiment)キャンペーン)が行われた。UAV は、小型(両翼幅約 1m)、軽量(約 1kg)、低コスト(約 \$1,000)、再利用可能、GPS による自律飛行可能で、ラジオゾンデセンサーを流用した 1Hz サンプリングの気温・湿度・気圧データに加えて、100 Hz の高速サンプリングの気温セン

サーによる乱流パラメータの高分解能データを取得可能である。UAVの離着陸は、信楽MU観測所から南西へ約1kmの利用休止中の牧草地を借用して行った。飛行方法は予め離陸前にプログラムしておくが、状況に応じて離陸後に飛行方法を変更することも可能であり、約1時間の連続飛行が可能である。

図にMUレーダーのレンジイメージングモードで得られたエコー強度の時間高度変化とUAVに搭載されたセンサーで得られた気温の時間変化を飛行高度とともに示す。15時50分～16時10分にUAVは水平飛行しており、4-5分周期でMUレーダーを中心とした半径400-500mの円を描いて半時計周りに旋回していたが、水平飛行中にも関わらず、大きな気温変化が観測された。気温変化は飛行高度辺りに存在する強いエコー層の上下変動と相関があり、MUレーダーで観測された鉛直流とも良い相関が見られた。その後の時間帯にUAVで測定された気温の鉛直プロファイルから、深い温度逆転層が存在し、強いエコー層はそれに伴うものであると考えられる。測定された気温プロファイルをモデル化し、その気温プロファイルがエコー層と同様に上下変動していると仮定して、気温変化を再現したところ、概ね観測と整合的な結果が得られた。



成層圏準2年周期振動が中間圏・下部熱圏領域の大気大循環に与える影響

山口 航平 [1]; 三好 勉信 [2]
[1] 九大・理・地球惑星; [2] 九大・理・地球惑星

The influence of the stratospheric QBO on the general circulation in the mesosphere and lower thermosphere

Kohei Yamaguchi[1]; Yasunobu Miyoshi[2]
[1] Earth and Planetary Sciences, Kyushu University.; [2] Dept. Earth & Planetary Sci, Kyushu Univ.

The Quasi-Biennial Oscillation (QBO) is an oscillation of the zonal wind in the equatorial lower stratosphere with a period of about 27 months. In this study, impacts of the stratospheric QBO on the general circulation in the mesosphere and lower thermosphere (MLT) are examined using long-term simulation data obtained by Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy (GAIA). Our analysis indicates the stratospheric QBO affects the zonal mean zonal, meridional and vertical winds in the MLT region through the modulation of upward propagating tides. Moreover, impacts of the stratospheric QBO on interannual variations in the minor constituents in the lower thermosphere, such as NO, are also discussed.

準2年周期振動(QBO)とは赤道上空の下部成層圏で、東風と西風が約27ヶ月周期で交代する現象である。最近の研究により中間圏下部熱圏(MLT)領域における大気潮汐波が、QBOの影響を受けていることが明らかになりつつある。そこで本研究では、QBOにより変調された大気潮汐波が砕波することにより、中間圏・下部熱圏領域の大気大循環にどのような影響を与えているか調べることにした。方法としては、大気圏-電離圏結合モデル(GAIA)での長期積分結果を用いて、MLT領域における大気波動の時空間スペクトル解析を行うことで、成層圏QBOの影響を特定した。さらに大気波動による東西平均東西風の加速量やラグランジュ的な平均子午面循環の年々変動を解析した。これらの解析を基に成層圏QBOがMLT領域の大気大循環におよぼす影響を定量的に明らかにする。この結果を基に、一酸化窒素などの大気微量成分の年々変動への影響についても調べる予定である。詳細な結果は当日発表する予定である。

赤道ライダーとEARにより観測されたケルト火山起源成層圏エアロゾルの輸送と鉛直風の関係

阿保 真 [1]; 柴田 泰邦 [1]; 長澤 親生 [1]
[1] 首都大・システムデザイン

Vertical transport of Kelut volcanic stratospheric aerosols observed by the equatorial lidar and the EAR

Makoto Abo[1]; Yasukuni Shibata[1]; Chikao Nagasawa[1]
[1] System Design, Tokyo Metropolitan Univ.

The transport of substance between stratosphere and troposphere in the equatorial region makes an impact to the global climate change, but it has a lot of unknown behaviors. We have performed the lidar observations for survey of atmospheric structure of troposphere, stratosphere, and mesosphere over Kototabang (0.2S, 100.3E), Indonesia in the equatorial region since 2004. Kelut volcano (7.9S, 112.3E) in the Java island of Indonesia erupted on 13 February 2014. The CALIOP observed that the eruption cloud reached 26km above sea level in the tropical stratosphere, but most of the plume remained at 19-20 km over the tropopause.

By CALIOP data analysis, aerosol clouds spread in the longitude direction with the lapse of time and arrived at equator in 5 days. After aerosol clouds reached equator, they moved towards the east along the equator by strong eastward equatorial wind of QBO.

In June 2014 (4 months after the eruption), aerosol transport from the stratosphere to the troposphere were observed by the polarization lidar at Kototabang. At the same time, we can clearly see down phase structure of vertical wind velocity observed by EAR (Equatorial Atmosphere Radar) generated by the equatorial Kelvin wave.

We investigate the transport of substance between stratosphere and troposphere in the equatorial region by data which have been collected by the polarization lidar at Kototabang and the EAR after Kelut volcano eruption. Using combination of ground based lidar, satellite based lidar, and atmosphere radar, we can get valuable evidence of equatorial transport of substance between the troposphere and the lower stratosphere.

我々は赤道直下のインドネシア・コトタバン (0.2S, 100.3E) の EAR サイトにおいて、地球大気の大気熱収支に重要な影響を及ぼす赤道領域の対流圏の雲・エアロゾル分布の連続観測を、波長 532nm の小型ミールライダーを用いて 2004 年から現在まで 13 年間継続しており、さらに 2014 年からは対流圏上部から成層圏のモニターを目的に偏光ライダー観測を行っている。

2014 年 2 月 13 日に噴火したインドネシアジャワ島のケルト火山 (7.9S, 112.3E) はその噴煙が最大高度 26km まで達し、多くの火山ガスは高度 19~20km 付近の成層圏に注入された。衛星ライダーである CALIOP データを解析した結果、高度 20km より高い領域の Kelut 火山起源のエアロゾルが噴火後緯度方向に広がり 5 日で赤道に達し、その後赤道上空では QBO による顕著な強い東向きの風により経度方向に輸送され、約 1ヶ月で地球を 1 周し、3 周まで周回する様子が見られた。4 周目に入る 6 月になると東向きの風が弱まり経度方向の動きは明瞭でなくなった。

一方非球形粒子は、主に高度 20km 以下にとどまり顕著な経度方向への輸送は見られず、インドネシア上空では 6 月にピーク高度が低下する様子が赤道ライダーにより観測された。この時期の EAR の鉛直風観測結果からは、ケルビン波により鉛直風シア高度が下がっていく様子が見られた。これはケルビン波による成層圏から対流圏へのエアロゾルの鉛直輸送を地上ライダー及び赤道大気レーダにより観測したものと考えられる。

大気光イメージング観測による関東平野上空の山岳波の研究

奥田 雅大 [1]; 石井 智士 [2]; 鈴木 秀彦 [3]
[1] 明治大; [2] 明治大; [3] 明治大

Study of mountain waves in middle and upper atmosphere by airglow imaging beside Mt Fuji

Masahiro Okuda[1]; Satoshi Ishii[2]; Hidehiko Suzuki[3]
[1] Meiji Univ.; [2] Meiji Univ.
; [3] Meiji univ.

The objective of this study is to understand propagation and generation mechanisms of mountain waves which play a major role in middle and upper atmospheric dynamics. An airglow imaging observations have been conducted to capture the signatures of mountain waves in the upper mesosphere since Nov. 2015 at Kawasaki (35.6°N, 139.5°E), Japan. Since the observation site located at the center of the Kanto plain which is sandwiched by mountain rich area (including Mt. Fuji) and the Pacific Ocean, occurrence of abundant numbers of mountain wave events would be expected. OH Meinel (7-3) band in the near infrared wavelength (~890 nm) is chosen for the imaging observation to reduce the contaminations caused by artificial lights from the central area of Tokyo.

The data on clear nights from Nov. 2015 to the present have been checked. However, only two events of a wave structure with zero apparent horizontal phase speed (i.e. mountain wave) have been identified during the period.

To verify the observation results, a ray-tracing calculation have been conducted. In the ray-tracing, we assume that the highest mountain, Mt. Fuji as an excitation source of mountain waves. A re-analysis meteorological data, MERRA-2 is adopted as a background atmosphere. As a result, it is found that mountain waves generated by Mt. Fuji with shorter horizontal wavelength ($\leq 20\text{km}$) are difficult to reach the OH layer due to reflection and absorption in the path over the entire season. This result is consistent with the observation since we mainly focused on the wave structure with horizontal wavelength of an order of FWHM of Mt Fuji (~10km) in the analysis. On the other hand, the model indicates that mountain waves having larger horizontal wavelength (>math>20\text{ km}</math>) can reach the OH layer, especially in March and October. Therefore, re-analysis of the imaging data by focusing on longer wavelength components (>math>20\text{km}</math>) would increase the detection numbers of mountain wave events.

In this talk, behavior of the mountain waves over Kanto Plain is discussed based on the results of the observations and Ray-tracing. The image analysis method to deduce stable wave structures with longer wavelength will be also discussed.

本研究では、中層大気におけるエネルギー・運動量収支を理解するうえで重要な大気重力波のうち、励起源が地上に固定されている山岳波動の超高層大気への影響を、大気光イメージング観測とモデルの両面から解明する事を目指している。

大気光イメージング観測は、明治大学生田キャンパス (35.6°N, 139.5°E) において、2015年12月より継続中である。この観測拠点は西部に富士山をはじめとする山岳地形、東南部には太平洋を望むという位置関係から地形性の重力波の同定に有利であると期待される。観測波長帯としては都市域からの人工光を抑えるために近赤外域 OH-Meinel(7-3) バンド (~890nm 付近) をターゲットとしている。2015年11月から現在までに得られた晴天時データを解析した結果、これまでに2016年2月8日と2016年3月2日の2例のみが、対地水平位相速度を持たない重力波構造(山岳波)として確認された。

そこで、山岳波と推定される重力波のイベントについて、この妥当性を検証するためにレイトレーシングを行った。レイトレーシングでは、関東平野周辺の山岳地形の中でも突出して標高の高い富士山を励起源と仮定し、背景大気として再解析データ MERRA 2 を用いた。結果として、水平波長が富士山の半値全幅程度の山岳波動の多くが、全季節にわたって途中経路での反射や吸収によって OH 大気光層まで伝搬できていなかった可能性が示された。このことは、対地位相速度を持たない重力波構造が、約2年間の観測期間において2例しか確認されていない観測事実と整合する。一方で、水平波長が20 km以上山岳波動の波束については、3月や10月において高度60kmまで到達できる可能性が高いことも示された。山岳地形のスケールに比べて波長の大きい大気波動成分については、これまでに得られた観測データの解析においては注目していなかったため、今後の解析手法の改良によって山岳波イベントがさらに抽出できる可能性がある。

本発表では、これまでに得られた観測とレイトレーシングとの比較結果に基づき、関東上空の上部中間圏における山岳波の振る舞いについて得られた知見を報告する。また、イメージデータからの山岳波イベントの抽出手法についても議論する。

火星下部熱圏における大気重力波の季節変動

中川 広務 [1]; Medvedev Alexander[2]; 黒田 剛史 [3]; Yigit Erdal[4]; 寺田 直樹 [5]; 寺田 香織 [6]; 藤原 均 [7]; 関 華奈子 [8]; Hartogh Paul[2]; Groller Hannes[9]; Yelle Roger V.[10]; Montmessin Franck[11]; Schneider Nicholas M.[12]; Jakosky Bruce M.[13]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] ドイツ・マックスプランク研; [3] NICT; [4] MPI; [5] 東北大・理・地物; [6] 東北大・理・地物; [7] 成蹊大・理工; [8] 東大理・地球惑星科学専攻; [9] なし; [10] University of Arizona; [11] LATMOS; [12] LASP, Univ. of Colorado; [13] LASP, CU Boulder

Seasonal variations of small-scale waves in the martian lower thermosphere

Hiromu Nakagawa[1]; Alexander Medvedev[2]; Takeshi Kuroda[3]; Erdal Yigit[4]; Naoki Terada[5]; Kaori Terada[6]; Hitoshi Fujiwara[7]; Kanako Seki[8]; Paul Hartogh[2]; Hannes Groller[9]; Roger V. Yelle[10]; Franck Montmessin[11]; Nicholas M. Schneider[12]; Bruce M. Jakosky[13]

[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] MPS, Germany; [3] NICT; [4] MPI; [5] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [6] Geophys., Tohoku Univ.; [7] Faculty of Science and Technology, Seikei University; [8] Dept. Earth & Planetary Sci., Science, Univ. Tokyo; [9] none; [10] University of Arizona; [11] LATMOS; [12] LASP, Univ. of Colorado; [13] LASP, CU Boulder

Small-scale gravity waves (GWs) are recognized as an important part of the terrestrial climate system. They affect the dynamics, composition, and thermal structure of the terrestrial middle atmosphere and thermosphere. On Mars, similar important role of GWs of tropospheric origin in the middle and upper atmosphere is being increasingly appreciated.

Since October 2014, comprehensive studies of the Martian atmosphere have been performed with NASA's Mars Atmosphere and Volatile EvolutionN (MAVEN) mission. In-situ measurements of the upper atmosphere, down to 130 km, revealed that the wave structures ubiquitously exist in ions and neutrals in the upper thermosphere. Numerical simulations were able to reproduce these structures qualitatively and explain them by GWs propagating from below, but also found a certain degree of discrepancy between numerical modeling and measurements. Wave structures, which are presumably associated with GWs, have also been detected by remote sensing with Imaging Ultraviolet Spectrograph (IUVS) at altitudes between 30 and 150 km. IUVS measurements provide opportunities for investigating possible links between GWs in the Martian troposphere and thermosphere. In this paper, a global distribution of small-scale temperature perturbations in the Martian lower thermosphere (100-130 km) associated with GWs has been obtained from stellar occultation measurements by MAVEN/IUVS obtained between March 2015 and January 2017. It includes the campaigns which were performed in the season of Ls 315, 22, 64, 124, 159, 186, 227, 262, and 298. The dataset covers all longitudes, and latitudes between 60S and 40N.

Over all campaigns, more than 100 profiles that have altitude sampling better than 5 km and whose altitude coverage is larger enough to detect waves between 100 and 130 km. The observed perturbations demonstrate wave signatures with vertical wavelengths of 10-20 km and amplitudes of up to 10% of the mean temperature and 15-20% of the mean density. Large amplitude waves are broadly found in low and middle latitudes. It is not correlated with those at the lower atmosphere (lower than 30 km), where potential energy of GWs peaks in the tropics.

Two comprehensive Martian general circulation models (MGCMS), a GW resolving MGCM and the Max Planck Institute MGCM incorporating a state-of-the-art whole atmosphere GW parameterization have been used to interpret the observations. MGCS simulations demonstrate that the background winds play an important role in the vertical propagation of GWs generated in the lower atmosphere, which can explain the vertical decay of the orographically-generated GW harmonics in the tropics. This is a known phenomenon which occurs due to a preferential filtering by alternating mean winds in low latitudes. On the other hand, westerly zonal jets in high latitudes favor vertical propagation of harmonics with intrinsic phase speed (lower than zero). These waves penetrate to the upper atmosphere with minor attenuation, grow in amplitudes and create the regions of enhanced GW activity in high latitudes. Unfortunately, the IUVS did not cover high latitudes in this period, it is important to further validate GW processes in high latitudes with further observations in the future. Seasonal variations of GW activity were addressed in detail.

GWs are expected to induce vertical mixing in the martian upper atmosphere by driving global meridional circulation via momentum deposition and by generating turbulence. The vertical mixing induced by such high-altitude waves should play a crucial role in the control of the homopause, which separates the homosphere and the heterosphere. The location of the homopause influences the thermospheric composition and thereby the species escaping to space. Here, we will also discuss the relationship between GW activity and observed homopause height by MAVEN.

中緯度スプラディック Na 層と太陽活動との関係に関する統計的解析

酒井 大士 [1]; 阿保 真 [1]
[1] 首都大・システムデザイン

Statistical analysis on the relationship between solar activity and mid-latitude sporadic Na

Daishi Sakai[1]; Makoto Abo[1]
[1] System Design, Tokyo Metropolitan Univ.

The meteoric atom layers produced in the mesosphere and lower thermosphere are closely related with temperature structure, wind field, atmospheric waves, ion and electron density distribution. As a valuable tracer of this area, they have been observed by the resonance scattering lidar. As a characteristic phenomenon in this region, metal layer which have narrow width and high peak density called sporadic metal layer is observed. The sporadic Na layer frequently observed in summer at Hachioji(35.6N) in Japan and Beijing(40.2N) in China in mid-latitude [1,2]. The sporadic E layer is also frequently occurred in this area. This suggests that the neutralization of the Na ions in the sporadic E layers is a source of the Na atoms. However, the sporadic Na layer at Hefei(31.8N), Wuhan(30.5N) and Haikou(19.5N) in China are frequently observed in winter where the sporadic E layer is hardly occurred [2,3]. There remains many unknown production mechanism of sporadic metal layers.

On the other hand, the influence of solar cycle on the critical frequency of the sporadic E layer (foEs) are reported. Zuo et al. show that foEs are correlated with the solar activities in daytime and anti-correlated at night using data of Alma ata (43.2N), Maui (20.8N) and Boulder (40.0N) [4]. Pezzopane et al. also show the results of a high correlation between solar index and foEs during daytime [5]. Therefore, we investigated the relationship between solar cycle and foEs using the ionosphere data at Kokubunji, and analyzed relationship between the parameters of the sporadic Na layer and solar cycle using data of sporadic Na observed at Hachioji between 1991 and 2001.

References

- [1] C. Nagasawa, and M. Abo, *Geophys. Res. Lett*, 22, 263-266, 1995.
- [2] X.K.Dou et al., *J. Geophys.Res.*, 118, 6627-6643, 2013.
- [3] X.K.Dou et al., *Ann. Geophys.*, 27, 2247-2257, 2009.
- [4] X.-M. Zuo et al., *Chinese J. Geophys.*, 45, 803–809, 2002.
- [5] M. Pezzopane et al., *J. Space Weather Space Clim.*, 5, A31, 2015.

中間圏・下部熱圏領域に生成される流星起源の金属原子層は、中間圏界面近傍の温度構造、風速場、大気波動、イオン、電子密度分布などに密接に関係しているため、この高度領域の貴重なトレーサとしてライダーによる観測が行われている。またこの領域の特徴的な現象として sporadic 金属層と呼ばれる、層幅が狭くピーク密度の高い金属層が観測される。中緯度である日本の八王子 (35.6N) や中国の北京 (40.2N) では夏季に sporadic Na 層の発生頻度が高いという観測結果 [1,2] と、この地域の sporadic E 層の発生頻度が高いことから、中緯度においてはウィンドシアにより生成された電離層 sporadic E 層の構成要素である金属イオンが、中性 sporadic 金属原子層のソースになるとの説が提唱されている。しかし、中国の合肥 (31.8N)、武漢 (30.5N)、海口 (19.5N) では sporadic E 層の発生頻度が低い冬季にも、頻繁に sporadic Na 層が観測されており [2,3]、sporadic 金属層の発生機構は未だ未解明な点が多い。

一方 sporadic E 層の臨界周波数 (foEs) と太陽活動の関係に関する研究が行われており、Zuo らはアマルティ (43.2N)、マウイ (20.8N)、ボルダー (40.0N) で昼間の foEs と太陽活動度には正の相関が、夜間の foEs と太陽活動度には負の相関があることを示した [4]。また Pezzopane らはイタリアのローマ (41.8N) でも昼間の foEs と太陽活動度には強い正の相関があることを示した [5]。そこで今回我々は国分寺の電離層データを用いて太陽活動度と foEs との関係調べるとともに、1991 年~2001 年に八王子でライダーにより観測された sporadic Na 層のデータを用いて、sporadic Na 層のパラメーター (密度、高度、継続時間、層幅) と太陽活動度との関係について統計的解析を行った。

参考文献

- [1] C. Nagasawa, and M. Abo, *Geophys. Res. Lett*, 22, 263-266, 1995.
- [2] X.K.Dou et al., *J. Geophys.Res.*, 118, 6627-6643, 2013.
- [3] X.K.Dou et al., *Ann. Geophys.*, 27, 2247-2257, 2009.
- [4] X.-M. Zuo et al., *Chinese J. Geophys.*, 45, 803–809, 2002.
- [5] M. Pezzopane et al., *J. Space Weather Space Clim.*, 5, A31, 2015.

極域下部熱圏での降下粒子によるイオン・一酸化窒素生成

藤原 均 [1]; 三好 勉信 [2]; 陣 英克 [3]; 品川 裕之 [3]; 埜 千尋 [3]; 野澤 悟徳 [4]; 小川 泰信 [5]; 片岡 龍峰 [5]; Liu Huixin[6]
[1] 成蹊大・理工; [2] 九大・理・地球惑星; [3] 情報通信研究機構; [4] 名大・宇地研; [5] 極地研; [6] 九大・理・地惑

Modeling of ionization and NO production by precipitating particles in the polar lower thermosphere

Hitoshi Fujiwara[1]; Yasunobu Miyoshi[2]; Hidekatsu Jin[3]; Hiroyuki Shinagawa[3]; Chihiro Tao[3]; Satonori Nozawa[4];
Yasunobu Ogawa[5]; Ryuho Kataoka[5]; Huixin Liu[6]

[1] Faculty of Science and Technology, Seikei University; [2] Dept. Earth & Planetary Sci, Kyushu Univ.; [3] NICT; [4] ISEE, Nagoya Univ.; [5] NIPR; [6] None

In order to understand cooling of the thermosphere during/after geomagnetic storms and coupling between the upper and lower atmospheres, impacts of precipitating particles on the polar mesosphere and thermosphere should be investigated. For example, some researchers reported the overcooling in the upper thermosphere due to enhancements of nitric oxide (NO) during the recovery phase of severe geomagnetic storms. In addition, some recent observations have revealed the mesospheric and stratospheric ozone depletion by NO produced in the lower thermosphere and mesosphere during enhancements of particle precipitation. These studies suggested energetic, radiative, and chemical coupling between the thermosphere, mesosphere, and stratosphere through precipitating particles into the lower thermosphere and mesosphere. We have investigated the coupling processes from observations of the polar ionosphere/thermosphere and mesosphere with the EISCAT radar system and Na lidar and from numerical simulations with GAIA (Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy). In this presentation, we will show some examples of the ionospheric variations obtained from the EISCAT observations and modeling of ionization and NO production in the polar lower thermosphere. The EISCAT observations on March 27, 2017 shows enhancements of the electron density in the 70-100 km altitude range, suggesting the NO production in the region.

上部熱圏の大気冷却過程や超高層大気・下層大気の結合過程を理解する上で、下部熱圏・中間圏への降下粒子の影響を調べることは重要課題の1つとなっている。例えば、大磁気嵐に伴う一酸化窒素(NO)の増大によって引き起こされる磁気嵐回復相での上部熱圏の過冷却について、いくつかの研究が実施されてきた。また、比較的高エネルギーを持った降下粒子の影響による中間圏・成層圏でのオゾン減少が観測的に明らかになってきた。これらの研究により、極域への降下粒子の影響によって、熱圏・電離圏全域のエネルギー過程・運動が、大気放射・化学・力学などの複合的な結果として生じていること、超高層大気・下層大気の結合過程に降下粒子の影響が及んでいる可能性が示唆されている。本研究グループでは、上記のエネルギー・力学的な、また領域的な結合過程を理解するために、極域でのEISCATレーダー観測、Naライダー観測を実施するとともに、大気圏・電離圏結合モデル(GAIA)による数値シミュレーションを実施してきた。例えば、2017年3月27日のEISCATレーダー観測では、高度70-100kmにおいて電子密度の増大が見られたことから、この領域に侵入した降下粒子の影響によって電離圏変動が起きるとともに、NO生成なども生じていたことが予想される。本研究では、EISCATレーダーによる観測例とともに、現在進めている降下粒子のモデリング研究について紹介する。

Characteristics of winter time mesosphere echoes over Syowa and Davis in the Antarctic obtained using PANSY and MF radars

Masaki Tsutsumi[1]; Kaoru Sato[2]; Toru Sato[3]; Damian Murphy[4]

[1] NIPR; [2] Graduate School of Science, Univ. of Tokyo; [3] Communications and Computer Eng., Kyoto Univ.; [4] Australian Antarctic Division

Characteristics of winter time mesosphere echoes have been investigated over Antarctic stations of Syowa (69.0S, 39.6E) and Davis (68.6S, 78.0E) using PANSY radar at Syowa (47 MHz) and MF radars at Syowa (2.4 MHz) and Davis (1.94 MHz). At Syowa low altitude MF radar echoes below about 70 km showed a similar seasonal, day-to-day and local time variations with those of the PANSY radar. Polar mesosphere winter echoes (PMWEs) by the PANSY radar and the low altitude MF echoes mostly coexisted appearing during day time and also for a few hours after sunset, while summer echoes in the lower height region were absent in both radar observations suggesting a close relationship in the generation mechanisms of 47 MHz and 2.4 MHz echoes. In other words winter time low altitude MF echoes can be used as a proxy of PMWEs in VHF. A preliminary comparison between Syowa and Davis MF radar winter echoes showed clearly different day-to-day variations suggesting that PMWEs have a longitudinal structure.

Angles of arrival of Syowa MF echoes were estimated using the interferometry capability of Syowa radar and showed a more isotropic nature in winter. Because gravity wave activity is much higher in winter than in summer over Syowa [Yasui et al., 2015] and also over Davis [Dowdy et al., 2007], higher turbulence energy in winter caused by gravity wave breaking may be responsible for the generation of the winter echoes and their isotropic behaviour. Comparison of gravity wave activity and MF echo power will further be conducted.

イメージおよびライダー観測による雲のフラクタル次元計測

弘田 瑛士 [1]; 鈴木 秀彦 [2]
[1] 明大; [2] 明治大

Measurement of a fractal dimension of clouds by imaging and lidar observations

Eiji Hirota[1]; Hidehiko Suzuki[2]
[1] Meiji Univ.; [2] Meiji univ.

The shape of atmospheric clouds is strongly related with its generation mechanism, advection history, and background atmospheric parameters. Certain types of the clouds are also empirically known as a presage of a specific meteorological condition in a near future. Thus, categorizing cloud shapes by eye inspections is one of the important works for observers in a weather station. Although precise classification of clouds is useful for estimating both current and future atmospheric conditions, this kind of an observation can be conducted only by well-trained observers. An objective classification of clouds based on a cloud image and an algorithm would greatly benefit nonprofessional people by providing local weather information to them. In addition, linking atmospheric parameters and shape of ordinal clouds in troposphere and lower stratosphere would provide many insights for understanding the atmospheric conditions in region with non-ordinal clouds such as polar stratospheric and mesospheric clouds.

In this study, a fractal dimension: a geometrical parameter representing complexity defined for shapes with self-similarity through the wide range of the scale, is focused on as a possible proxy for the cloud classification. First measurements of the fractal dimension of tropospheric clouds had been conducted by Lovejoy [1982] and many inspired works have been reported up to Today [eg. Batista-Tom´s et al., Meteorological Soc, 2016; Lohmanna et al., Solar Energy, 2017]. Most of these works have showed fractal dimensions determined from cloud images projected on two dimensional planes. This means that they only use horizontal cross section of a cloud shape for a determination of the fractal dimension. Thus, horizontal and vertical cross sections of cloud shape are simultaneously measured by imaging and lidar observations to improve the robustness of the cloud classification in this study.

In this talk, the result of the measurements of fractal dimensions of cumulus (Cu) and altocumulus (Ac) with imaging and lidar methods conducted during June to August 2017 in Kawasaki city, Japan will be presented.

雲の形態はその発生メカニズムと、背景大気の状態および運動効果（拡散、移流）の履歴を反映している。また、特定の気象現象の予兆として発生する雲なども知られていることから、雲の種類（十種雲形）を特定することは、気象状況を把握・予報する上で重要となる。雲の種類の特異・記録は有人の気象台において熟練された観測者による目視によって行われている。この判定が雲の写真データなどに基づき自動的に出来れば、雲に関する専門知識を有していない一般の人でも、雲の写真を撮るだけで、その場で雲種を知ることができ、その後の天気推移予測などの情報を得ることが可能になる。また、雲の形状と背景大気状態に明確な対応関係を見いだせれば、雲の形状を各高度パラメータ推定のための指標の1つとして利用することができると思われる。さらに背景大気のダイナミクスと雲形状の関係に関する知見は、十種雲形に含まれない上部成層圏や中間圏に存在する雲（極中間圏雲や極成層圏雲）の形状の情報から、直接計測が難しい同領域の大気パラメータを推定する上でも役立つと思われる。

そこで本研究では、この雲形分類を、イメージング観測及びライダー観測によるデータを組み合わせ、より客観的に行う手法の開発を目指している。本研究では雲の幾何学的特徴である自己相似性 (Lovejoy, Science, 1982) に着目し、光学的手法 (イメージおよび LIDAR) による雲の形状測定結果から輪郭形状の複雑さの指標であるフラクタル次元を雲種ごとに導出し、その輪郭形状の幾何学的特徴量を定量化する。これまでも雲のフラクタル次元に着目し、雲の分類を試みた先行研究はあるが (例えば [BatistaTomas (2016)] や [Lohmanna(2017)]), いずれもイメージデータに基づいた水平断面構造のみの解析に留まっていることから、本研究ではイメージ観測だけでなく、ライダー観測による雲底形状 (鉛直断面形状) の情報も取り入れることで雲形・雲種をより正確に分類する手法の実践をしている。本稿では、初期結果として、明治大学生田キャンパス (神奈川県川崎市) で 2017 年 6 月から 2017 年 8 月の期間に実施したライダーおよびイメージングの同時観測によって得られた、高度 1km~10km の積雲と高積雲について、その幾何学的特徴量 (フラクタル次元) を導出し比較した結果を報告する。

ELF-VLF帯電界と静電界の同時計測に基づいた積乱雲の帯電と放電の監視

山下 幸三 [1]; 大矢 浩代 [2]; 濱田 純一 [3]; 岩崎 博之 [4]; 若月 泰孝 [5]; 高橋 幸弘 [6]; 松本 淳 [3]

[1] 足工大・工学部; [2] 千葉大・工・電気; [3] 首都大・都市環境・地理; [4] 群馬大・教育; [5] 茨城大・理・地環; [6] 北大・理・宇宙

Monitoring of charge and discharge in thunderstorm based on electrostatic measurement and radio observation in ELF- VLF bands

Kozo Yamashita[1]; Hiroyo Ohya[2]; Jun-ichi Hamada[3]; Hiroyuki Iwasaki[4]; Yasutaka Wakatsuki[5]; Yukihiro Takahashi[6]; Jun Matsumoto[3]

[1] Engineering, Ashikaga Institute of Technology; [2] Engineering, Chiba Univ.; [3] Geography, Tokyo Metropolitan Univ.; [4] Education, Gunma Univ.; [5] Science, Ibaraki Univ.; [6] CosmoSciences, Hokkaido Univ.

Recently, several networks to monitor lightning activity have been newly constructed to utilize lightning data for nowcast of severe weather associated with thundercloud, such as heavy rainfall, tornado, and downburst. By using established observation network, activity of cloud-to-ground (CG) lightning discharge whose electromagnetic radiation is enough strong has been mainly monitored. One of the most remarkable progresses in the recent lightning observation is a total lightning observation, which makes it possible to detect not only CG lightning discharge but also intracloud (IC) lightning discharge. Preceding studies indicates that IC lightning discharge occurs in the early stage of thunderstorm activity. Detection of IC would be one of the most effective ways for the nowcast of thunderstorm activity that causes severe weather.

Main interest of this study is the relationship between electrification and discharge in thundercloud. For early detection of thunderstorm activity, detection of electrification before lightning discharge is examined. As an observation of lightning discharge, electric field associated with lightning discharge is measured with radio observation in ELF-VLF bands and slow antenna system. As a monitoring of thunderstorm electrification, measurement of electrostatic field is carried out. Sensors to measure electrostatic and electric fields have been already distributed in the Kanto region, Japan. In this presentation, results of simultaneous measurement of electrostatic and electric fields during summer season in 2016 are summarized.