

巨大太陽フレア時の電離圏全電子数変動に対する中性大気組成の影響についての GAIA シミュレーション

松村 充 [1]; 塩川 和夫 [1]; 大塚 雄一 [1]; 品川 裕之 [2]; 陣 英克 [2]; 三好 勉信 [3]; 藤原 均 [4]; 埜 千尋 [2]; 新堀 淳樹 [5];
津川 卓也 [2]

[1] 名大宇地研; [2] 情報通信研究機構; [3] 九大・理・地球惑星; [4] 成蹊大・理工; [5] 名大・宇地研

GAIA simulations of neutral composition effect on total electron content variations driven by an intense solar flare

Mitsuru Matsumura[1]; Kazuo Shiokawa[1]; Yuichi Otsuka[1]; Hiroyuki Shinagawa[2]; Hidekatsu Jin[2]; Yasunobu
Miyoshi[3]; Hitoshi Fujiwara[4]; Chihiro Tao[2]; Atsuki Shinbori[5]; Takuya Tsugawa[2]

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

Solar flares enhance EUV and X-ray radiation to promote the ionization of the Earth's atmosphere on the dayside, which increases the electron density of the ionosphere. When the Total Electron Content (TEC) between a satellite and a receiver of the Global Navigation Satellite System (GNSS) increases, the system is degraded. So, it is important to understand the spatial characteristics of TEC variation produced by flares. Earlier studies reported that the spatial distribution of TEC variations depends on solar zenith angle (SZA) [Zhang et al., 2003] and neutral composition [Tsugawa et al., 2007; 2008], and it is controversial which factor is more important. In this study, we incorporated the Flare Irradiance Spectral Model (FISM) [Chamberlin et al., 2007; 2008] in the Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy (GAIA) [Jin et al., 2011] to analyze how the neutral composition affects the TEC variations due to X9.3 flare on September 6, 2017. Simulations show that the spatial distribution of TEC variations depends more on atomic oxygen (O) density than SZA near the peak time of flare irradiance. At the time, compared with the O density, molecular nitrogen (N_2) and oxygen (O_2) contribute less to the TEC variations. This indicates that the ionization of N_2 and O_2 is less important to the TEC variations, and the chemical reaction between atomic oxygen ion (O^+) and N_2 or O_2 does not control the TEC variations. In the presentation, we will show that how the neutral composition affects the TEC variations after the flare irradiance decays.

太陽から放射される極端紫外線や X 線の増大現象 (フレア) は、地球大気の電離を昼側で強め、電離圏の電子密度を増大させる。測位衛星と受信機間の電子密度の積分値 (全電子数, TEC) が増大すると測位精度が低下することが知られており、フレアによる TEC 変動の空間特性を理解することは重要である。先行研究では、TEC 変動の空間分布は太陽天頂角 [Zhang et al., 2003] や中性大気組成 [Tsugawa et al., 2007; 2008] に依存することが報告されているが、どちらにより強く依存するかについては議論の余地がある。本研究では、全球大気圏電離圏結合モデル GAIA [Jin et al., 2011] にフレア対応太陽放射モデル FISM [Chamberlin et al., 2007; 2008] を組み込み、2017 年 9 月 6 日の X9.3 フレア時の TEC 変動に対して中性大気組成がどのような影響を及ぼすのか解析を行った。その結果、フレアによる放射が最大になる時刻付近では、TEC 変動の空間分布は太陽天頂角よりも酸素原子 (O) の密度に強く依存することが明らかになった。またこのとき、O の密度に比べて窒素・酸素分子 ($N_2 \cdot O_2$) の密度の影響は小さいこともわかった。このことは、O の電離に比べて $N_2 \cdot O_2$ の電離は TEC 変動への寄与が小さいこと、また、酸素原子イオン (O^+) と $N_2 \cdot O_2$ との化学反応は TEC 変動をほとんど抑制しないことを示している。さらに本講演では、フレアによる放射が減衰した後、中性大気組成が TEC 変動にどのような影響を与えるかについても解説する。

磁気嵐に伴う全球全電子数変動の特徴について

惣宇利 卓弥 [1]; 大塚 雄一 [2]; 新堀 淳樹 [3]; 津川 卓也 [4]; 西岡 未知 [4]
[1] 名大 ISEE; [2] 名大宇地研; [3] 名大・宇地研; [4] 情報通信研究機構

Characteristics of temporal and spatial variations of global GPS total electron content during magnetic storm

Takuya Sori[1]; Yuichi Otsuka[2]; Atsuki Shinbori[3]; Takuya Tsugawa[4]; Michi Nishioka[4]
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] ISEE, Nagoya Univ.; [4] NICT

Total electron content (TEC) tends to increase and decrease during the main and recovery phases of the geomagnetic storms [e.g., Tsurutani et al., 2004]. The storm-time TEC enhancement is interpreted as an effect of the upwelling ionospheric plasma by penetration electric field into the mid- and low-latitude ionosphere [Spiro et al., 1988] and equatorward thermospheric winds [Fuller-Rowell et al., 1994]. Trichtchenko et al. [2007] reported that the ionospheric $f_o F_2$ (ordinary ray critical frequency of F2 layer) has an extremely large value at 12 UT over Japan for a geomagnetic storm event which occurred on 8 November, 2004, and showed that the $f_o F_2$ model cannot reproduce such the storm-time ionospheric variations. Maruyama [2006] also reported that the TEC enhancement appears during the storm main and recovery phases, and pointed out that the midlatitude TEC enhancement observed after the sunset is related with storm enhanced density (SED). However, since most of the previous studies focus on the temporal and spatial variations of TEC in a specific region and the time and spatial resolutions of the TEC data were not enough high, the detail features of global TEC variation associated with the development and decay of the geomagnetic storm have not yet been clarified. The purpose of the present study is to investigate the characteristics of global ionospheric variations during the geomagnetic storm using global GPS-TEC data with high temporal and spatial resolutions provided by National Institute of Information and Communications Technology (NICT), and to understand the mechanism. The GPS-TEC data used in this study have spatial and temporal resolutions of $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ in longitude and latitude and 5 minutes, respectively. Here, we first calculated a difference value (dTEC) between storm-time TEC and average TEC of 10 geomagnetically quiet days. In this calculation, we referred to a list of geomagnetically quiet and disturbed days provided by World Data Center for Kyoto University. Next, we created a two-dimensional map of rTEC (dTEC normalized by the average TEC of 10 geomagnetically quiet days), and analyzed the temporal and spatial variations of rTEC for a geomagnetic storm which occurred on 8 November 2004 with the minimum SYM-H value of -400 [nT] at 6 h (UT). As a result, the normalized rTEC in America, Europe and Japan showed a large enhancement with the maximum values of 12, 2 and 5 during the main phase, respectively. The rTEC enhancement in Japan was maintained even after the onset of the recovery phase, and the maximum value reached ~ 17 . In order to investigate the specific signature of rTEC in Japan in detail, we created the figures showing time and latitude cross-section of rTEC at a longitude of 140°E . As a result, we found that an extremely high rTEC appears near 12 h (UT) (21 LT) propagating from high to low latitudes. Such the extremely high rTEC also appears in the low-latitude North America (20°N) at 4 h (UT) (21 LT). These enhanced rTEC regions were located in 40°N magnetic latitude (Japan) and 30°N magnetic latitude (North America). Furthermore, the enhanced rTEC region in Japan propagates westward with the velocity of 317 [m/s], nearly equal to the Earth's rotating velocity of 339 [m/s] at this latitude. In addition, we compared the DMSP satellite drift meter data provided by ISR (Institute for Scientific Research) with GPS-TEC data in order to verify if such the westward velocity exists in the high rTEC regions. As a result, the westward ion drift velocity (~ 250 [m/s]) over Japan actually exists to 40°N magnetic latitude, and decreases to 106 [m/s] at the higher latitude (45°N magnetic latitude). From the above results, it is found that the westward ion drift velocity near the high rTEC region is almost consistent with the propagation velocity of the high rTEC one. Therefore, we conclude that the storm-time high rTEC structure is almost fixed near 21 h (LT).

電離圏の電子密度分布は太陽紫外線による超高層大気 of 電離による生成と中性大気との再結合過程のバランスによって決まるため、太陽光のあたる昼側で電子密度が増加し、夜側では減少する。また、その電子密度分布は、緯度と経度によって変化し、磁気嵐などの地磁気擾乱によっても大きく変動する。その全球的な変動特性を知るために全電子数 (Total Electron Content: TEC) がよく用いられる。これまでの研究結果から、磁気嵐の主相、回復相において TEC が増加、減少することが知られている [e.g., Tsurutani et al., 2004]。TEC を増加させる物理機構として中・低緯度電離圏に侵入した電場による電離圏プラズマの上昇 [Spiro et al., 1988] と赤道方向に吹く熱圏風による効果 [Fuller-Rowell et al., 1994] が考えられている。Trichtchenko et al. [2007] によれば、2004 年 11 月 8 日に発生した磁気嵐イベントにおいて電離圏 $f_o F_2$ (ordinary ray critical frequency of F2 layer) が日本上空の 12 UT において非常に大きな値を示したのに対して $f_o F_2$ の 24 時間先の予測モデルデータにはその変動が見られず、この磁気嵐時の電離圏変動をモデルから再現できなかったことが報告されている。Maruyama [2006] もまた日本の稠密 GPS 観測網のデータを用いてその磁気嵐の主相・回復相において TEC が増大することを示し、夕方過ぎに高緯度で観測された TEC 増加は storm enhanced density (SED) 現象に関連していると指摘している。しかしながら、これまでの研究の多くは、領域ごとの TEC の時間・空間変動に着目し、TEC の時間・空間分解能が低かったことから磁気嵐の発達・衰退過程における TEC の世界的でかつ詳細な時間・空間変動特性がよくわかっていない。そこで本研究では、情報通信研究機構 (NICT) から提供されている高時間・空間分解能を持つ全球 GPS-TEC データを用いて、磁気嵐に伴う全球的な電離圏の変動特徴を調べ、そのメカニズムを解明することを目的とし

ている。本研究で用いる GPS-TEC データの空間分解能は、0.5 度 X0.5 度であり、時間分解能は 5 分である。ここでは 10 日静穏時の平均 TEC に対する擾乱時と静穏時の差分 TEC を求め、その水平二次元分布の時間・空間変動を解析した。2004 年 11 月 8 日に発生した磁気嵐は、SYM-H 指数において最小値-400 [nT] を 6 UT でとり、その後、1 日程度かけて回復している。その結果、主相の間、アメリカ、ヨーロッパ、日本における差分 TEC 値は静穏時よりも増加し、その値は、それぞれの地域において 12、2、5 であった。その後回復相になると、日本においてのみ、TEC 比の大きな増加が見られ、その値は、およそ 17 であった。そこで、日本の経度 (東経 140 度) における 11 月 8 日の差分 TEC 比のケオグラムを調べたところ、12 UT 付近で特に高い差分 TEC 比が現れることが分かり、この構造は高緯度側から低緯度側に伝播することが分かった。このような非常に高い差分 TEC 比は、日本の高緯度側 (北緯 43 度) の 12 UT (21 LT) 付近と、北アメリカ大陸の低緯度側 (北緯 20 度) の 4 UT (21 LT) 付近にも現れていた。この値を調べると、日本では 17 以上であり、北アメリカ大陸では 12 以上であった。これらの構造の位置をそれぞれ磁気緯度で表すと、日本では磁気緯度 40 度であり、北アメリカ大陸では磁気緯度 30 度であった。また、これらの高い差分 TEC 比の構造は西向きに伝播しており、日本上空でその速度は 317 [m/s] であった。この緯度帯における地球の自転速度は、339 [m/s] であり、ほぼ一致していた。しかし、北アメリカでの構造の伝播速度は、経度方向に広がった TEC データが不足していたため、その速度を導出することができなかった。さらに、高 TEC 領域の西向き伝播速度を求めるため、ISR (Institute for Scientific Research) で公開されている DMSP 衛星ドリフトメーターのデータと GPS-TEC データとの比較を行った。その結果から、日本付近では磁気緯度 40 度ほどまで西向きイオンドリフト速度が大きくなっており、その速度は、約 250 [m/s] であった。その少し高緯度 (45 度) で西向き速度は約 106 [m/s] に減少していた。北アメリカに関しては、磁気緯度 30-50 度で増加した西向き速度が観測され、その最大値は、磁気緯度 45 度で 1000 [m/s] を超えていた。以上の結果から、高い TEC 比の構造が存在する磁気緯度における西向きイオンドリフト速度は、高い差分 TEC 比を持つ構造の伝播速度にほとんど一致していることが分かった。したがって、この磁気嵐イベントにおける高い差分 TEC 比の構造は 21 LT 付近に固定したものであると言える。

スプラディック E 層発生の変動メカニズムと予測

品川 裕之 [1]; 陣 英克 [1]; 三好 勉信 [2]; 藤原 均 [3]; 埜 千尋 [1]
[1] 情報通信研究機構; [2] 九大・理・地球惑星; [3] 成蹊大・理工

Mechanism and prediction of variations in the sporadic E layer occurrence

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

Sporadic E (Es) layer is a narrow layer with high electron density, which occasionally appears in an altitude region between about 90 km and 120 km. Since Es layer has significant influences on radio communications and broadcast, the prediction of occurrence of Es layer is one of the most important phenomena in space weather forecast. It is now widely accepted that Es is formed by combination of neutral wind shear and metallic ions originated from meteor ionization in the lower thermosphere. The neutral wind shear is generated by atmospheric tides propagating from the lower atmosphere.

Some studies have suggested that the variations in the Es layer occurrence are caused by the variations in the influx rate of meteors. For some periods, however, the patterns of the meteor influx variations do not agree with the seasonal variations of Es layer, and therefore, it is suggested that the variation in the Es layer are due to the variations in atmospheric tides. Although seasonal variations in atmospheric tides generally agree with the variation in Es layer occurrence, there are still problems: (1) previous observations indicate that in the altitude region between 100 km-110 km there is no clear seasonal or variations in neutral wind shear, and (2) scales of the neutral wind shears in the region are typically small and are not be able to gather enough metallic ions to produce Es layers. Those problems imply that mechanism of Es layer variations is not so simple. The mechanism of the day-to-day variations in Es layer is even less understood.

In order to understand the mechanism of Es layer variations, we analyzed the simulation data of the atmosphere-ionosphere coupled model, GAIA. We calculated the vertical ion drift velocity driven by neutral wind and the vertical ion convergence rate, and compared them with foEs obtained by the ionosonde observations. We found that (1) correlations between the downward ion drift or the vertical ion convergence and foEs are low in 100 km-110 km altitudes, and (2) variations in the downward ion drift or in the vertical ion convergence agree fairly well with variations in foEs in 120 km-130 km altitudes.

The results suggest that downward drift of the metallic ions in the region above 110 km is generated through horizontal neutral winds and the magnetic field. As the ions are transported downward, the electron density increases through the vertical ion convergence, reaching the 100 km-110 km altitude region, where small-scale neutral wind shear could generate a narrow Es layer.

We will also report the analysis of prediction of the daily variations of Es layer, and discuss the possibility of occurrence prediction of Es layer.

高度約 90 km から 120 km の間の領域に現れる厚さが薄く電子密度の高い層であるスプラディック E (Es) 層は、短波通信や放送にさまざまな影響を及ぼすことが知られており、その予測は宇宙天気予報における重要課題の一つである。Es 層の発生には明確な季節依存性があり、夏季には頻繁に発生するが、冬季にはあまり発生しない。また、顕著な日々変動も見られ、その予測は困難であると考えられてきた。

Es 層の基本的な生成メカニズムとしては、流星起源の金属イオンが下部熱圏の中性風シアによって集められて形成されるという考え方でほぼ一致しており、中性風シアについては、主に下層大気から伝搬してくる潮汐波によるものであるとされている。

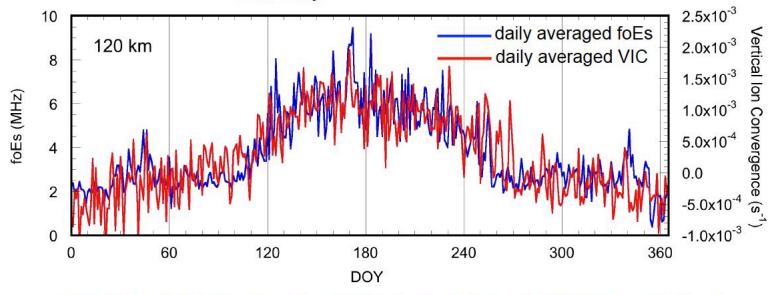
Es 層発生の季節変動は、以前は流星の入射量で説明しようとする研究があったが、変動のパターンが合わない時期があることなどから、最近では潮汐波などの大気波動のシアの変動が主な要因であるという考え方が主流となりつつある。潮汐波の季節変動は大まかには Es 層発生の季節変動に似ているが、まだいくつか問題がある。特に、(1) これまでの観測では、Es 層が最もよく現れる高度 100 km - 110 km の領域では中性風シアは不規則であり、季節変動はほとんど見られない、また、(2) この領域のシアのスケールでは周囲の金属イオンを集めても観測されているような高密度の Es 層を形成することができない、などの指摘があり、「中性風のシアで金属イオンを集める」という単純なメカニズムではないことがわかってきた。日々変動については具体的なメカニズムはさらにわかっていない。

本研究では、この Es 層変動のメカニズムを解明するため、全大気圏-電離圏結合モデル GAIA のシミュレーションデータとイオノゾンドの観測データを用いて、電離圏 E 層の中性風によるイオンの鉛直ドリフト速度や鉛直イオン収束率と、Es 層の大きさを表す foEs との関係を調べた。その結果、高度 100 km - 110 km での下向きイオンドリフトと鉛直イオン収束率はどれも、foEs との相関が低いのに対し、高度 120 km - 130 km 付近の下向きイオンドリフトと鉛直イオン収束率はどちらも、foEs の変動とかなり良く一致することがわかった。

この結果は、高度 110 km より高い E 層上部領域にある金属イオンが、熱圏下部の中性風と磁場による下向きドリフトによって密度を増大しつつ下向きに運ばれ、最終的に高度 100 km - 110 km の領域のスケールの小さいシアによって Es 層の形成に至ることを示唆している。

本発表では、この結果をもとに、日々変動の予測に関する解析を行った結果も報告し、GAIA を用いた Es 層の予測可能性について議論する。

Kokubunji 2009



国分寺の高度120kmにおける日平均したイオンの鉛直収束率 ($-\partial W/\partial z$) と日平均したfoEsの比較 (2009年)

磁気擾乱時における中低緯度領域電磁誘導応答の研究

中原 美音 [1]; 吉川 顕正 [2]; 魚住 禎司 [3]; 藤本 晶子 [4]
[1] 九大・理・地惑; [2] 九州大学地球惑星科学専攻; [3] 九大・イクセイ; [4] 九工大

Electromagnetic induction responses to geomagnetic disturbances at low-and-mid-latitudes

Mio Nakahara[1]; Akimasa Yoshikawa[2]; Teiji Uozumi[3]; Akiko Fujimoto[4]
[1] SEE, Kyushu Univ.; [2] ICSWSE/Kyushu Univ.; [3] ICSWSE, Kyushu Univ.; [4] Kyutech

Geomagnetically Induced Current (GIC) is known as one of the phenomena caused by geomagnetic disturbance phenomenon. The horizontal component of the ground electric field is useful for estimation of GIC [Pulkkinen et al., 2007]. However, direct measurement of Ground Induced Electric field (GIE) has scarcely done and frequently, GIE is estimated by using observed magnetic field fluctuations.

Although many of damage on infrastructures by GIC are reported in the high latitude region, the study of GIC has been started even in Japan with low-mid geomagnetic latitudes [Watari et al., 2009]. The purpose of this study is to understand the process up to the observation and prediction of GIC in Japan located in the middle and low latitudes.

We investigated relation between geomagnetic field variation on the ground and observed GIE at 3 observation points (Memanbetsu, Kakioka, and Kanoya) for 1 year in 2015. It was found that many types of space weather phenomenon such as magnetic storm, the substorm, and dayside geomagnetic pulsation induce GIE. In this presentation, we will pick up the development of GIE observed at Memanbetsu during substorm, and discuss how excitation of GIE is relating to the development of substorm current wedge.

地上の磁場は様々な宇宙天気現象と連動して、日々変動している。そのような地磁気擾乱現象が引き起こす現象の一つとして GIC(Geomagnetically Induced Current) が知られている。GIC の推定には地表の電場の水平成分が有用 [Pulkkinen et al., 2007] と言われており、地表に誘導される電場については現実的な磁場変動を用いることによる推定が議論されている。GIC による被害報告は高緯度領域に多いが、地磁気的な緯度が低い日本でも GIC の検討が開始されている [S. Watari et al., 2009]。本研究では中低緯度領域に位置する日本で、磁気擾乱現象から GIC の観測、予測に到るまでの過程理解を目的とし、地磁場変動が地電場に及ぼす影響を検証した。GIC の主要な起電力となりうる地表の誘導電場 (GIE) に着目し、2015 年の 1 年間、3 観測点 (女満別, 柿岡, 鹿屋) の磁場、電場成分を目視で検証、磁場と電場の変動の特徴を推定した。データの検証から、地上電場の変動に宇宙天気現象が関わっていることがわかり、特に磁気嵐、サブストーム、昼側地磁気脈動などで特徴的な電場変動を示すことがわかった。今回は女満別におけるサブストーム時の電場の発達について取り上げ、GIE 発達の時間依存性、GIE 発達時の磁場変動について議論し、S. Watari et al., 2009 で得られた GIC の発現特性との違いについても言及する予定である。

EEJ、CEJ とプラズマバブルの関係

秋山 鷹史 [1]; 吉川 顕正 [2]; 藤本 晶子 [3]; 魚住 禎司 [4]
[1] 九大・理・地惑; [2] 九州大学地球惑星科学専攻; [3] 九工大; [4] 九大・イクセイ

The relationship between plasma bubbles and EEJ, CEJ

Takafumi Akiyama[1]; Akimasa Yoshikawa[2]; Akiko Fujimoto[3]; Teiji Uozumi[4]
[1] Earth and Planetary Science, Kyushu Univ.; [2] ICSWSE/Kyushu Univ.; [3] Kyutech; [4] ICSWSE, Kyushu Univ.

Plasma bubble is one of the ionospheric disturbance phenomena occurring after sunset in the magnetic dip equator. The plasma bubble causes amplitude and phase fluctuation (scintillation) of received radio waves from satellite and resultant communication troubles and positioning error of signal receivers. It is known that plasma bubbles are generated due to Rayleigh-Taylor instability, so eastward electric fields are required for the development of plasma bubbles. EEJ (equatorial electrojet), which is unique phenomenon in the magnetic equator, enhances the eastward current at the dayside ionospheric E region, and may be related to plasma bubble development. It is also supposed that generation of plasma bubbles is suppressed when CEJ (counter electrojet) which makes westward electric field near sunset occurs. Therefore, in this study, we analyzed the EEJ and the plasma bubble incidence. In addition, we analyzed events that occurs CEJ and plasma bubble on the same day, and investigated the characteristics of magnetic field fluctuation.

In this study, we used EE-index which is suitable for investigation of morphology of EEJ as magnetic field variation. We use the station not only at Langkawi (Malaysia) in Southeast Asia, but also at Huancayo (Peru) in South America, and we tried to analyze the longitudinal dependence of features.

As a result, we found that plasma bubbles tend to occur as the total current amount of EEJ is larger. In the previous study, the relationship between the equatorial enhanced component of EEJ and plasma bubbles were investigated and there was no correlation between them [Uemoto et al, 2010]. So, it may be necessary to consider the EEJ including Sq current. In addition, when the CEJ and plasma bubble occurred on the same day, it was found that the magnetic field variation after the CEJ tends to fluctuate northward. This may suggest that an eastward electric field like pre-reversal enhancement was generated. Furthermore, we found that the CEJ when the plasma bubbles occur is mainly due to the lunar tidal effect. We could say that the tidal effect is an important factor in the generation process of plasma bubbles.

太陽活動下降期における静止軌道 MeV 電子の長期変動について

小原 隆博 [1]; 松本 晴久 [2]; 古賀 清一 [3]
[1] 東北大・惑星プラズマセンター; [2] 宇宙機構; [3] なし

Variation of MeV electron flux at geostationary orbit during solar activity declining phase

Takahiro Obara[1]; Haruhisa Matsumoto[2]; Kiyokazu Koga[3]
[1] PPARC, Tohoku University; [2] JAXA; [3] JAXA

In order to consider basic physics of large increase of MeV electrons at geostationary orbiting (GEO) satellite during magnetic storm, we have examined JAXA satellite data for solar activity declining phase. Results demonstrated that there is a seasonal dependence for the increase of MeV electron intensity and the increase depends on the IMF (interplanetary magnetic field) polarity; i.e. a large increase of MeV electrons takes place during a toward sector in the spring season, while an increase takes place during an away sector in the autumn. This is likely explained by Russell-McPherron effect.

We also confirmed that the total intensity of MeV electron flux at GEO decreases gradually with the decreases of solar wind velocity during the solar activity declining phase. In the last solar cycle, the minimum flux of MeV electrons at GEO was seen in December, 2009, which coincides with the minimum of the geomagnetic aa index. This is closely related to the completely no sub-storm activity in that month.

JAXA 静止軌道衛星による MeV 電子の観測データを基に、太陽活動下降期の長期変動を調べた。その結果、静止軌道 MeV 電子の増加は、春と秋に顕著である事、太陽風磁場 (IMF) の polarity に依存している事が確認された。即ち、増加は、春季においては toward セクターで、秋季では away セクターで顕著であった。これは、Russell-McPherron 効果として知られている事実と符合する。Russell-McPherron 効果の際たる事象は、サブストームの発生頻度が春季と秋季に増加する事で、MeV 電子の増加もサブストームの発生と強い関係がある事を示唆する。

JAXA 静止軌道衛星による MeV 電子観測データから興味ある事実が見つかった。前太陽活動サイクルに於いて、静止軌道 MeV 電子フラックスは、2009 年 12 月に最低値を (ほぼゼロ) を示した。この時、磁気活動の大きさを示す aa 指数は最小値を示した。磁気活動が全く起こらない場合、静止軌道 MeV 電子フラックスがゼロであった事実は、MeV 電子増加がサブストームの発生と強い関係がある事を示す。

講演では、上記の観測事実を示すと共に、サブストーム活動が如何にして MeV 電子増加を引き起こすかについても議論する。

宇宙天気予報改善に向けた太陽風の観測的研究課題ーグローバルな太陽風の観点から

徳丸 宗利 [1]
[1] 名大 ISEE

Observational research subjects of the solar wind for improvement of space weather forecast

Munetoshi Tokumaru[1]
[1] ISEE, Nagoya Univ.

<http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/~tokumaru>

Precise prediction of the solar wind variations is an essential issue in the space weather forecast. Since intense solar eruptions rarely occurs these days owing to marked reduction in the solar activity, prediction of the non-transient fast wind is getting particularly important. Many attempts to predict the solar wind at the earth from solar observations have been made using the most up-to-date computer simulations. However, those reliabilities are insufficient. In this talk, I will review subjects in observational studies of the solar wind to be addressed to improve the space weather predictions.

太陽風の変動を正確に予測することは宇宙天気予報における根本的な課題である。太陽活動が顕著に低下し、大きな爆発現象が希になった近年、過渡的でない高速風の予測は一層重要になっている。太陽面観測から地球へ到来する太陽風を予測する試みは最新の計算機シミュレーションを用いて実施されてきたが、その信頼性は未だ十分ではない。本講演では、宇宙天気予報を改善させるため太陽風の観測的研究においてどんな課題があるかについてレビューする。

太陽風の予測を困難にしている最大の原因は、太陽風を加速する機構が未だ解明されていないことである。太陽風加速機構として有力視されているのは、太陽からのアルベン波が駆動するもの（波動モデル）とナノフレアによって駆動する（リコネクションモデル）の2つがある。波動モデルはエネルギー方程式の散逸項として組み込まれて、数値計算による太陽風の再現が行われている。しかし、太陽面の観測量と波動による加速効果との関係はよく分かっていないので、現実的な数値計算を行うため散逸項に観測から求めた太陽観測データと太陽風速度との経験的な関係式が用いられている。例えば Wang & Sheeley モデル（1990）では磁力線拡大率 f と太陽風速度 V の逆相関関係が仮定されていて、これを数値計算の散逸項に反映させることで現実的な太陽風を再現可能となる。一方、リコネクションモデルは、波動モデル同様にその過程が未だよくわかっていないので、数値計算により精度良く太陽風を再現するには観測に基づく経験則を導入せねばならない。ここで注意したいのは、1AU 以内なら太陽風の分布はこの仮定が専ら決めるので高度な3次元 MHD コードを使わなくとも、動径方向に等速度で伝搬すると仮定した場合でもかなり精度よく太陽風を再現できることである。WS モデルとその改良版は太陽風予測にしばしば使われてきたが、最近のその精度が問題視されるようになった。このため太陽風加速を決定する新たな観測量を見つける試みがされている。今年から実施される Parker Solar Probe による太陽風加速域の直接測定からは、太陽風を駆動する源（波動かリコネクションか）について決定的なデータが期待される。波動モデルの場合、太陽面の観測量と波動、そして太陽風との関係が明らかになれば、太陽風の予測精度を向上させることができる。但し、これまでの電波による遠隔測定では太陽風を加速するのに十分な磁気波動は検出されていない。

もう一つ Parker Solar Probe によって検証されるのは太陽風の2成分性である。Helios, Ulysses の太陽風探査により、太陽風は 300-400km/s の低速風と 700-800km/s の高速風の2成分より成るといふモデル（bimodal solar wind）が構築された。このモデルでは中間の太陽風は、伝搬過程における高速風と低速風の相互作用によって生まれる。よって Parker Solar Probe による太陽近傍での観測からは相互作用がない高速風・低速風の特徴を調べることが可能となる。高速風と低速風は速度だけでなく組成等にも有意な違いが見られ、両者の起源の違いを反映していると考えられる。高速風の起源は大規模なコロナホールであるのに対して低速風の起源は未だ定まっていない。前述した WS モデルや MHD モデルでは大きな磁力線拡大率を持つ開いた磁場領域が低速風の流源となるが、低速風の電離状態のデータからは閉じた磁場領域に一定時間捕捉されていたことが示唆され、ループ磁場がリコネクションを起こして低速風が流出するというモデルも提案されている。その場合、太陽風の予測にはリコネクションによるコロナ磁場の形状変化まで含めた解析が必要になる。

太陽風と共に惑星間空間磁場（IMF）の予測も宇宙天気予報にとって重要である。太陽から遠ざかれば太陽風のダイナミックスが IMF の形状を決めるため、コロナ磁場の観測結果から太陽風モデルによって IMF を再現することが可能となる。しかし、宇宙天気予報で重要な IMF 南北成分については、コロナ磁場観測の精度の問題やその値が通常小さく擾乱が支配的であることから太陽風モデルの改良が進んでも正確な予測は困難と思われる。そこで期待されるのが、電波のファラデー回転を使った地上から IMF を決定する試みである。これを実現するには極めて多くの天体電波源について同時にファラデー回転を決定する必要がある。得られたファラデー回転データから IMF、特に磁気ロープの3次元分布が決定でき、地球に到来する IMF の南北成分を事前に知ることが可能となる。この IMF の遠隔測定は目下建設中の大型低周波電波アレイ SKA（Square Kilometer Array）で目指す重要サイエンス項目の1つとなっている。

太陽内部と表面をつなぐ大規模シミュレーション

堀田 英之 [1]; 飯島 陽久 [2]; 草野 完也 [3]
[1] 千葉大; [2] 名大 ISEE; [3] 名大 S T E 研

Large-scale connecting the solar interior and the surface

Hideyuki Hotta[1]; Haruhisa Iijima[2]; Kanya Kusano[3]
[1] none; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] STEL, Nagoya Univ.

The solar convection zone is filled with turbulent thermal convection which is responsible for the energy transport and the generation of the differential rotation and the magnetic field. In terms of the space weather, the solar interior is the ultimate origin of the activities. It is important to understand the details of the solar convection. The solar convection is a multi-scale phenomenon. The convection temporal and spatial scales at the base of the convection zone are 200 Mm and a month, while those at the solar surface are 1 Mm and minutes, respectively. The large-scale magnetic field is thought to be generated around the base of the convection zone and the sunspots emerge at the solar surface. It is important to connect the deep convection zone and the solar surface to understand the origin of the space-weather activities. Thanks to recent development of the massive supercomputers, we succeed in carrying out a comprehensive calculation covering the whole convection zone for the first time. The calculation shows that the solar surface layer has unexpectedly weak influence to the deep convection. In the presentation, we show detail analysis and future applications of the calculation.

サイクル24最大の太陽フレアに伴う宇宙環境擾乱 : I. 連続Xクラスフレアの発生過程

伴場 由美 [1]; 井上 諭 [2]; 今田 晋亮 [3]; 草野 完也 [4]; 塩田 大幸 [5]
[1] ISAS/JAXA; [2] 名大 ISEE; [3] 名大・ISEE; [4] 名大 S T E 研; [5] NICT

Space Environment Disturbances by the Biggest Flares in Solar Cycle 24 : I. Generation of the sequential X-class flares

Yumi Bamba[1]; Satoshi Inoue[2]; Shinsuke Imada[3]; Kanya Kusano[4]; Daikou Shiota[5]
[1] ISAS/JAXA; [2] ISEE, Nagoya University; [3] ISEE, Nagoya Univ.; [4] STEL, Nagoya Univ.; [5] NICT

Solar active region (AR) NOAA 12673, which appeared on the solar surface in September 2017, showed us amazing growth of magnetic field and produced numbers of flares including four X-class flares. We focused on the sequential X2.2 and X9.3 flares that occurred while rapid growth of the AR on September 6, because latter the X9.3 flare caused increase of high energy protons and disturbances in ionosphere and magnetosphere. We aimed to understand onset mechanism of the X-class flares. Hence we analyzed the data obtained by Hinode and Solar Dynamics Observatory (SDO), and compared the analysis results to nonlinear force-free field (NLFFF) modeling.

We revealed that the key feature to trigger the X-class flares is the negative polarity region that emerged in the east in the AR and rapidly intrude into the positive polarity region. Highly sheared fields were located along the intruding negative field, and those were elongated and were pressed along with the intruding motion. Then the sheared fields were reconnected, and this could be a trigger of the X-class flares. Hinode and SDO observed proxies of the magnetic reconnection, such as fast (over 100 km/s) down flow and brightening in the solar corona, over the intruding negative field approximately 2 hours before the X2.2 flare onset. The NLFFF modeling produced several small flux ropes that lying along the magnetic polarity inversion line. We found that one of the flux ropes is already unstable (or close to unstable) and we confirmed that eruption in the magnetohydrodynamic simulation. Therefore, the intruding motion of the negative field would drive the flux rope further unstable state. This would cause the X2.2 small eruption. Following the X2.2 eruption, we further found that the twisted magnetic fields that lying under the small flux rope that erupt in the X2.2 flare reconnected and produced a new flux rope, which is larger and highly twisted. This new flux rope shows dramatic eruption. We suggest that this eruption causes the X9.3 flare. In fact, the continuous intruding motion of the negative field is observed after the X2.2 flare, therefore it would play an important role in producing the X9.3 flare.

From these results, we propose a scenario that the sequential X2.2 and X9.3 flares were triggered by push-mode-like magnetic reconnection corresponding to the intruding motion of the negative polarity field. We also discuss possibilities of other triggering scenario such as emerging flux that has specific features of so-called the reversed shear type.

2017年9月に太陽表面に現れた太陽活動域 (AR) NOAA12673 は、その急速な成長に伴い、4つのXクラスフレアを含む多くのフレアを生じた。特に、9月6日のX9.3フレアは、今太陽活動サイクル24最大のフレアで、高エネルギー陽子の増加と磁気圏・電離圏の擾乱を引き起こしたことから、宇宙天気的にも注目に値するイベントであった。そこで我々は、このX9.3フレア、およびその直前(約3時間前)に発生したX2.2フレアの2つのXクラスフレアに着目し、これらの発生過程を理解することを目的として、ひので衛星およびSolar Dynamics Observatory (SDO) 衛星のデータ解析を行った。また、観測データより得られた結果を非線形フォースフリー磁場 (nonlinear force-free field : NLFFF) モデリングと比較を行い、X2.2フレアからX9.3フレアへと至る磁気フラックスロープの噴出過程を考察した。

観測データ解析より、AR東側に浮上し、同西側の正極領域に急速に貫入する負極の磁場構造が、2つの連続するXクラスフレアを引き起こすうえで重要であることを見出した。これらの正極・負極間の磁気中性線上には、シアした磁気アーケードが存在していた。これらのシアした磁気アーケードは、負極の貫入運動により押し付けられ、磁気リコネクションし、これが連続するXクラスフレアを発生させた可能性がある。ひので衛星は、最初のX2.2フレア発生の約2時間前に、負極の貫入運動に伴うコロナ中でのダウンフロー(100 km/s程度)を観測しており、これは前述のアーケード磁場どうしのリコネクションに伴うプラズマの運動を捉えたものと考えられる。また、NLFFFモデリングでは、磁気中性線に沿って小さなフラックスロープが複数生成される様子が見られた。これらのフラックスロープの一部は、フレア発生前にすでに不安定(あるいは不安定に近い状態)であり、磁気流体シミュレーション(MHD)においてフラックスロープの噴出が確認された。これらのことから、前述の負極の貫入運動は、フラックスロープをさらに不安定な状態に移行させ、X2.2フレアの噴出の発生の原因となったと考えられる。また、シミュレーションでは、X2.2フレアで噴出したフラックスロープの下部に存在していた捻れた磁力線群が、X2.2フレアの噴出後に磁気リコネクションし、より大きく、より捻れたフラックスロープを新たに形成する様子が見られた。この新たに形成されたフラックスロープの噴出により、X9.3フレアが発生した可能性が考えられる。負極の貫入運動は、X2.2フレア発生前からX9.3フレア発生後まで連続的に観測されており、シミュレーション結果と併せて、連続する2つのXクラスフレアのいずれの発生に対しても重要な役割を担ったと解釈できる。

発表では、ひので衛星および SDO 衛星の観測データ解析結果と、NLFFF モデリング、MHD シミュレーションの詳細な比較結果に基づき、負極磁場の貫入運動に伴う X2.2 および X9.3 フレアの発生シナリオについて議論する。

サイクル24最大の太陽フレアに伴う宇宙環境擾乱:II. 太陽磁場噴出の電磁流体力学シミュレーション

井上 諭 [1]; 塩田 大幸 [2]; 伴場 由美 [3]
[1] 名大 ISEE; [2] NICT; [3] ISAS/JAXA

Space Environment Disturbances by the Biggest Flares in Solar Cycle 24:II. Magnetohydrodynamic Simulation of the Solar Eruptions

Satoshi Inoue[1]; Daikou Shiota[2]; Yumi Bamba[3]
[1] ISEE, Nagoya University; [2] NICT; [3] ISAS/JAXA

Solar active region 12673, which was observed in September 2017, produced several M- and X-class flares, one of which is X9.3 flare which was recorded as the largest flare observed in the solar cycle 24. Due to this flare, much amount of the coronal plasma and magnetic fields were erupted toward the interplanetary space, which eventually gave lots of influences on Magnetosphere and Ionosphere.

In order to understand the initiation and dynamics of the solar eruption associated with X9.3 flare, we conducted the magnetohydrodynamic (MHD) simulation. We first performed an extrapolation of the three-dimensional (3D) magnetic field based on the observed photospheric magnetic field, under a nonlinear force-free field (NLFFF) extrapolation. Because the NLFFF provides the realistic magnetic environment. The observed magnetic field was used prior to the X2.2 flare which was observed approximately 3 hours before the X9.3 flare. Our NLFFF successfully produced multiple magnetic flux ropes (MFRs), which are a cluster of the magnetic twisted lines, lying along the magnetic polarity inversion line. Next we performed the MHD simulation using the NLFFF as the initial condition. Consequently, the simulation showed a dramatic eruption. Even though one of small MFRs becomes unstable and erupts upward, we found that, during the eruption, a large coherent flux rope composed of highly twisted magnetic field lines is formed through the reconnection between the small MFRs. Furthermore, a writhing motion in the eruptive flux rope was also confirmed. This writhing motion might contribute to the southward magnetic field observed in vicinity of the Earth. We report the detailed dynamics of the MFR obtained in the simulation.

2017年9月に観測された活動領域12673は、複数回のM、Xクラスフレアを引き起こした。特に、9月6日に発生したX9.3フレアは、太陽サイクル24において最大級のフレアとなったことから話題となった。またこの大フレアに伴い、大量のプラズマガスと磁場が惑星間空間に放出され、地球磁気圏・電離圏に多大な影響を及ぼした。

本研究は、これらの大フレアに伴う太陽磁場噴出の要因とダイナミクスを理解するために、電磁流体力学(MHD)シミュレーションを実施した。まず、より現実的な磁場配位を初期条件として与えるために、X2.2フレアが発生する約20分前(X9.3フレアが発生する約3時間20分前)の太陽表面の観測磁場データを用いて、3次元の太陽活動領域・コロナ磁場を非線形フォースフリー磁場近似に基づいて数値的に外挿した。非線形フォースフリー磁場は、磁気中性線上に強く捻れた磁力線の束である磁気フラックスロープをよく再現した。特に、複数のフラックスロープが多重に磁気中性線上に存在することを明らかにした。次に、外挿された磁場を用いて、MHDシミュレーションを実施した。その結果、磁気フラックスロープの不安定化に伴い、磁場の大規模放出の再現に成功した。特に、複数の磁気フラックスロープ同士が磁気リコネクションを介すことで、巨大でかつ強く捻れたコヒーレントな磁気フラックスロープが形成されることがわかった。さらに、新たに形成された巨大な磁気フラックスロープは、放出されながら回転し始めることも明らかになった。この磁気フラックスロープの回転は、地球近傍で観測された南向き磁場を作り出すための要因の一部となるかもしれない。本講演では、フレア前の3次元磁場構造、フレアに伴い再構成される磁気フラックスロープの3次元構造とそのダイナミクスを詳細に報告する。

サイクル24最大の太陽フレアに伴う宇宙環境擾乱3:南向き磁場のモデリング

塩田 大幸 [1]; 八代 誠司 [2]; 井上 諭 [3]; 伴場 由美 [4]
[1] NICT; [2] CUA; [3] 名大 ISEE; [4] ISAS/JAXA

Space Environment Disturbances by the Biggest Flares in Solar Cycle 24 III: Modeling of the southward magnetic field

Daikou Shiota[1]; Seiji Yashiro[2]; Satoshi Inoue[3]; Yumi Bamba[4]
[1] NICT; [2] CUA; [3] ISEE, Nagoya University; [4] ISAS/JAXA

In early September of 2017, several halo CMEs occurred associated with large flares in Active region NOAA 12673, which include two X class flares, and their disturbance of solar wind reached the Earth. Strong southward magnetic field higher than 30 nT reached to the Earth on September 7, and cause disturbances on magnetosphere and ionosphere of the Earth, which cause impacts on ground base infrastructures of communications and navigations. The strong southward magnetic field is interpreted to be formed by strong compression of a portion of the flux rope in the CME associated with M5.5 flare on September 4 due to the shock in front of the CME associated with X2.2 and X9.3 flares, when the portion passed through the Earth position. However, the origin of the southward magnetic field is uncertain because the magnetic structure of NOAA 12673 did not have southward magnetic field. Dynamic processes in the corona might play an important role in the formation of the southward magnetic field.

From the point of view of space weather forecast, the prediction of southward magnetic field is an important task and the dynamic processes in the corona is a cause of uncertainty. Recently we have developed a new prediction system of southward magnetic field in CMEs based on the MHD simulation of inner heliosphere (SUSANOO, Shiota and Kataoka 2016). SUSANOO is capable of simulating propagation and interaction of CMEs in solar wind and predicting of solar wind and interplanetary magnetic field comes to the Earth. The prediction system is capable of ensemble simulation considering the uncertainty due to dynamic processes in the corona (cf. previous presentation).

We report the investigation of in situ measurements of solar wind and CMEs in the period and the detail of our prediction system and results of the tests using the observations of these events.

2017年9月初旬に、太陽表面に現れた太陽活動域 NOAA 12673 で発生した X クラスフレア 2 つを含む一連の太陽フレアに伴い複数のハロー CME が発生し、その影響が地球へ到来した。9月7日には 30nT を超える強い南向き磁場が到来し、電磁気圏の擾乱が引き起こされて地上の通信・測位に影響が及んだ。この強い南向き磁場は、9月4日発生した M5.5 フレアに伴う CME のフラックスロープの南向き磁場の部分がちょうど地球を通過している間に、X2.2、X9.3 フレアに伴う CME の衝撃波が地球を通過したため、衝撃波後面に形成された圧縮された強い磁場が地球に到来したと考えられる。しかし、CME の発生領域の NOAA 12673 の磁場構造は南向き磁場を持っていないため、地球に到来した南向き磁場がどのような経緯を経て形成されたかについては、コロナにおけるダイナミクスが大きく寄与しているなどの解釈がなされている(前公演)。

宇宙天気予報の観点からは、南向き磁場の予測が重要なタスクであるが、このコロナにおけるダイナミクスによる磁場の変化は、その不確定要素の一つとして考えられる。情報通信研究機構では、内部太陽圏 MHD シミュレーション SUSANOO (Shiota & Kataoka 2016) を用いた CME 南向き磁場予測システムを開発している。SUSANOO では、フラックスロープを内包した複数の CME が太陽風中を伝搬し、相互作用する過程を計算し、地球に到来する太陽風・惑星間空間磁場を予測することができる。現在、開発中のシステムでは、この不定性を考慮してパラメータを変えた複数のケースを計算するアンサンブル予測が可能になっている。

本講演では、2017年9月のイベントの太陽風・CME in situ 観測と予測モデルの詳細を紹介するとともに、2017年9月のイベントをテストケースとして、ダイナミクスによるコロナの不定性をどのように入れるかと予測結果の違いを調査した結果を報告する。

Radiation Dose Nowcast for the Ground Level Enhancement on 10-11 September 2017

Ryuho Kataoka[1]; Tatsuhiko Sato[2]; Shoko Miyake[3]; Daikou Shiota[4]; Yuki Kubo[5]

[1] NIPR; [2] JAEA; [3] Ibaraki College; [4] NICT; [5] NICT

A ground level enhancement event occurred on 10-11 September 2017, associated with an X8.2 solar flare on the western limb of the Sun. We report the results of our manually conducted nowcast using Auto-WASAVIES (Sato et al., 2018, Space Weather). The maximum radiation dose rate at a flight altitude of 12 km was estimated to be approximately 3 uSv/h, which is less than half of the dose rate due to galactic cosmic rays. We also discuss a possible quasi-parallel shock-acceleration mechanism that may have led to the exceptionally soft proton energy spectrum as ground level enhancement events.

樹木年輪から探る過去の大規模 SPE

三宅 芙沙 [1]

[1] 名大・ISEE

Investigation of past extreme SPE using tree-rings

Fusa Miyake[1]

[1] ISEE, Nagoya Univ.

Radiocarbon is one of the cosmogenic nuclides, which is produced by cosmic rays in the atmosphere. After the production, ^{14}C is oxidized rapidly and forms $^{14}\text{CO}_2$. Since trees absorb CO_2 and fix carbon in tree-rings, ^{14}C concentrations in tree-rings would record past cosmic-ray intensities.

Rapid ^{14}C increases in AD 775 and AD 994 were found by measurements of ^{14}C concentrations in tree rings. It is considered that these ^{14}C increases are occurred by a huge input of cosmic-ray particles to the Earth. The most probable explanation of the origin of this cosmic ray input is extreme Solar Proton Events (SPEs). I will discuss a connection of rapid ^{14}C increase events and SPEs, and a search of past ^{14}C increase events.

スプラディック E 層による VHF 航空航法無線異常伝搬の観測と発生統計

坂井 純 [1]; 富澤 一郎 [2]; 細川 敬祐 [1]; 斎藤 享 [3]
[1] 電通大; [2] 電通大・宇宙電磁環境; [3] 電子航法研

Statistical study of VHF anomalous propagation due to Sporadic E over the air navigation band

Jun Sakai[1]; Ichiro Tomizawa[2]; Keisuke Hosokawa[1]; Susumu Saito[3]
[1] UEC; [2] SSRE, Univ. Electro-Comm.; [3] ENRI, MPAT

The sporadic E layer (Es) is an isolated region of high-density ionisation in the E-region ionosphere which is usually transient and localised. The electron density of typical Es often exceeds that of day-time F2 layer and its plasma frequency may reach above 10 MHz. A patch of Es reflects very-high frequency (VHF; 30-300 MHz) radio waves with frequencies up to about 100 MHz in oblique propagation. This has been known as anomalous propagation by the Es (here we abbreviate it as EsAP) for long time. However, comprehensive observation of EsAP in the relatively higher part of VHF range, especially above 100 MHz, has not been performed to date. This is partly due to the sporadic nature of the events, and partly due to the fact that the impact of the Es on radio operation in this frequency range has not been clearly identified.

A band of frequencies between 108 MHz and 118 MHz is allocated to aeronautical navigation (NAV) such as VHF Omni-Directional Range (VOR) and Instrument landing system (ILS) localizer (LOC). Within the band, about 200 separate frequencies (channels) are allocated these stations. As the number of stations exceeds the number of channels, several stations share a single frequency in such a way that the distance between any of two such stations is longer than the range of normal VHF propagation. Furthermore, in addition to above conventional NAV systems, a new system called Ground Based Augmentation System (GBAS) VHF ground-air Data Broadcast (VDB), which has started operations in the world, will also share the same frequency range. Under normal conditions, owing to the frequency allocation scheme mentioned above, VHF signals from several stations will not interfere the desired signal. When an Es presents it is possible that one (undesired) signal interfere another (desired) signal through EsAP, and may affect the stable operation of NAV systems. However, the impact of EsAP in this frequency band has not been assessed quantitatively.

We have been recording the intensities of NAV band radio waves in Chofu (35.4N, 139.3E) and Kure (34.2N, 132.8E) since 2012 to study the occurrence of the Es with respect to time and location. Using the archived three-year data we have performed statistical study and found that there have been several occasions in which the strength of an undesired signal exceeded the strength of the desired signal. In some cases the strength of the undesired signal reached the critical level documented in NAV radio receiver standards. These results indicate that EsAP is an active subject in the context of space weather.

In this talk we present the detailed statistics of EsAP in NAV radio band.

日本における GBAS 電離圏脅威モデルのためのプラズマバブル発生頻度及びスケールサイズ解析

中村 真帆 [1]; 斎藤 享 [2]; 吉原 貴之 [3]
[1] 電子航法研; [2] 電子航法研; [3] 電子航法研

Occurrence frequency and scale size analyses of plasma bubbles for a GBAS ionospheric threat model in Japan

Maho Nakamura[1]; Susumu Saito[2]; Takayuki Yoshihara[3]
[1] NAV Department, ENRI; [2] ENRI, MPAT; [3] ENRI

Ground-Based Augmentation System (GBAS) using Global navigation satellite systems (GNSS) is planned to be implemented in Japan in the near future. Since ionospheric delay variations of which scales about several tens of kilometers are the main error sources of GBAS, an ionospheric threat model which defines the characteristics of ionospheric delay variations is needed.

In order to create an optimized ionospheric threat model, it is important to understand the statistical characteristic of ionospheric gradient such as the spatial scales and the occurrence frequency, over Japan.

In this research, the data used are obtained from GEONET. The single-frequency-carrier-phase based and code-aided technique which is not subject to the frequency-biases [Saito and Yoshihara, Radio Sci., 2017] to estimate ionospheric delay variations. In addition, dual-frequency observations for ionospheric delay variations are also used for the speeds and spatial scale analyses of the ionospheric gradients [Saito and Yoshihara, Radio Sci., 2017]. Furthermore, an auto detection system of plasma bubbles candidates was constructed.

This paper presents spatial scales analyses and the occurrence frequency of plasma bubbles and the magnetic latitudinal dependency using data for several years from magnetic low-latitude and magnetic mid-latitude in Japan.

衛星航法 (GNSS) は、次世代の航空航法として導入が進んでおり、日本においても静止衛星型衛星航法補強システム (SBAS) が運輸多目的衛星用衛星航法補強システム (MSAS) として運用されているほか、地上型衛星航法補強システム (GBAS) の導入が進められている。これらの航空用ディファレンシャル GNSS システムにおいては、電離圏遅延量 (全電子数) の数十キロスケールの空間変動が大きな誤差要因であり、その性質をそれぞれの GNSS システムに即した形で記述する電離圏脅威モデルが必須である。電子航法研究所では、日本における GBAS 導入に備え、安全性を十分保ちつつその性能を最大限引き出すために、プラズマバブル等に伴う電離圏脅威モデルの構築を行っている。これまでにアジア太平洋地域の GNSS 観測データを用いた GBAS 電離圏脅威モデル [Saito et al., GPS Solutions, 2017] が構築されているが、これを日本の電離圏環境下で安全性を保ちつつ合理的に脅威モデル空間を縮小し可用性を最大化するための最適化を進めている。このためには GBAS において脅威となるスケールサイズのプラズマバブルの発生頻度や発生特性、緯度分布等を調べる必要がある。

本研究では周波数間バイアスの影響を受けない L1 信号のみを用いた Single-Frequency Carrier-Based and Code-Aided 法 [Fujita et al., JAAA, 2011; Saito et al., ION GNSS 2012] により電離圏遅延量勾配を推定するとともに、2周波観測を用いた電離圏遅延量時間変動を利用し電離圏遅延量勾配の速度・空間スケールの変動解析 [Saito and Yoshihara, Radio Sci., 2017] を行う。データは、GEONET により観測されたものを用いる。これまでにプラズマバブル候補を自動的に抽出するシステムを構築し、磁気低緯度の低い沖縄付近と磁気中緯度の性質がより強い本州付近における数年間のデータについて解析を行った。本講演では、これらの解析データに基づいて得られたプラズマバブルの発生頻度とその空間スケール特性について、磁気緯度変動に注目して報告する。

IMFの太陽風密度依存性

荒木 徹 [1]
[1] 京大理

IMF dependence on solar wind density

Tohru Araki[1]
[1] none

The scatter plot of Dst index versus the square root of the solar wind dynamic pressure ($Pd^{0.5}$) shows two boundaries. The upper boundary (Dst0) which linearly increases with increasing $Pd^{0.5}$ shows the minimum level of the ring current. For a fixed value of Pd, the Dst (ring current) decreases with decreasing negative Bz from this minimum level. There is a lower boundary which decreases with increasing $Pd^{0.5}$. We found that this is because the IMF-Bz component converges to zero when $Pd^{0.5}$ converges to zero. We also checked the separate effect of the density (N) and velocity (V) of the solar wind and found the decrease of N is essential.

Although it is usually believed that IMF is determined independently of solar wind plasma, the Bz component of IMF becomes smaller with decrease of the dynamic pressure or density of the solar wind. This means that IMF shows a typical spiral pattern for rare solar wind.

The IMF dependence on the solar wind dynamic pressure or density described above was first studied for the period 1979-1981. Here we check other periods, 1999-2001 (solar maximum) and 2007-2009 (solar minimum).

Dst 指数を太陽風動圧の平方根 ($Pd^{0.5}$) に対してプロットすると、上下二つの境界が現れる。線形に増加する上部境界は、リングカレント最小のレベルが $Pd^{0.5}$ とともに増加することを意味する。Pd を固定すると、最小リングカレント (最大 Dst) レベルが決まり、Dst はそのレベルから IMF-Bz の負方向への増加と共に減少する。

一方、下部境界は、 $Pd^{0.5}$ の増加と共に減少する。この原因を調べる過程で、IMF には、Pd が減少すると正負の IMF-Bz が共に零に収斂し、典型的なスパイラルパターンが出現するという性質があることが判った。さらに、この Pd の減少が太陽風速度ではなく密度の減少によることも判った。Pd 又は N が減少すると、負の Dst を作っていた負の IMF-Bz が小さくなり、Dst も減少する。

一般に、IMF は、太陽風パラメータとは独立に決まっていると考えられているが、実際には、動圧・密度に依存しているのである。

これまで、上記性質は 1979-1981 年のデータ (1 時間値) を用いて調べてきた。ここでは、他の期間 1999-2001 (太陽活動極大期)、2007-2009 (極小期) について調べた結果を報告する。

Propagation of Pi2 pulsation from nightside to dayside: Observations and modeling of global current system

Shun Imajo[1]; Akimasa Yoshikawa[2]; Teiji Uozumi[3]; Shinichi Ohtani[4]; Aoi Nakamizo[5]; Peter Chi[6]

[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] ICSWSE/Kyushu Univ.; [3] ICSWSE, Kyushu Univ.; [4] The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory; [5] NICT; [6] IGPP, UCLA

Pi2 pulsations are irregular geomagnetic oscillations with a period of 40-150 s that are distributed globally from a source in the nightside magnetosphere. In the presentation, we will address how the nightside Pi2 signal propagates to the dayside region, which is the opposite hemisphere of the source region. A notable feature of the dayside Pi2 is the amplitude enhancement at the magnetic equator, which is associated with ionospheric currents. To clarify effects of ionospheric currents on the dayside Pi2, we examine Pi2 pulsations near the dawn and dusk terminators where the conductivity gradient is large. Following features are found: (1) the D (east-west) component reverses its phase near the dawn and dusk terminators, (2) the meridian of the D component phase reversal near the dusk terminator is shifted more sunward than that near the dawn terminator, and (3) the amplitude of the D component in the morning is larger than that in the early evening. We confirm that longitudinal distributions of phase and amplitude are controlled by the relative location of the terminator rather than by the local time. These terminator effects can be explained by a change of magnetic effects from the nightside field-aligned current to the meridional ionospheric current flowing on the sunlit side of the terminator, and vice versa. The meridional current is expected to be a part of the polar-to-equatorial ionospheric current system. The equivalent current associated with the dayside Pi2 flowed into the equator region from higher-latitude regions via meridional equivalent currents in the prenoon and postnoon sectors. The equivalent current system nearly simultaneously oscillated with a Pi2 period and exhibited a prenoon-postnoon asymmetry that the meridional component was larger in the prenoon sector than in the postnoon sector. Finally, we numerically test the magnetospheric-ionospheric current system for Pi2 consisting of FACs localized in the nightside auroral region, the perpendicular magnetospheric current flowing in the azimuthal direction, and horizontal ionospheric currents driven by the FACs. The calculated magnetic field successfully reproduces the observational features reported by previous studies and present our studies. Based on observations and the model calculation, we conclude that the oscillation of the magnetospheric-ionospheric current system is a plausible explanation of Pi2s on the dayside and near the terminator.

宇宙天気研究をめぐる動向と課題

石井 守 [1]
[1] 情報通信研究機構

Current status and the issues to be solved in Japanese Space Weather Research and Operation

Mamoru Ishii[1]
[1] NICT

<http://swc.nict.go.jp/>

For space weather forecast operation, 2018 is a memorial year not only for Japan but also for the world. For Japan it is the 30 years anniversary since operational space weather forecast has started.

The United States has been progressing the preparedness for extreme space weather disasters based on 'Space Weather national strategy' and 'Space Weather work plan' published on 2015 by the White house. As one of the actions for establishing international framework, US government hosts annual symposium named 'Space Weather as a Global Challenge', and we NICT hosts the third symposium on 2018 with US/DoS, Japan Embassy and JAXA.

This year is also the fiftyth anniversary since the first United Nations Conference on the Exploration and Peaceful Uses of Outer Space (1968-2018) which is called 'UNISPACE+50'. The seven theme priorities were declared at the ceremony held on June in Vienna, and the fourth is 'International framework for space weather services'.

International Civil Aviation Organization (ICAO) has been discussing to use the space weather information as a mandatory for civil aviation. Now candidates of ICAO space weather center are nominated including Japan and will be assigned in September 2018, and start the operation on November.

On the other hand, Japanese government has not discussed the impact of space weather on the social activities. There are no counterparts in Japan for corresponding to the actions in UN and US.

I would like to report the update of international space weather framework and discuss the present our issues to be solved in Japan.

2018年は我が国の定常宇宙天気予報業務が始まって30年の節目の年であるが、これにふさわしく多くの変革を迎えようとしている。

米国では2015年にホワイトハウスによって発表された'Space Weather National Strategy'および'Space Weather Work Plan'に基づく極端宇宙天気現象に対する備えを着々と進めている。このうち国際連携の構築については、'Space Weather as a Global Challenge'シンポジウムを各国連携のもとに毎年開催しており、2018年には在米日本大使館において、米国防務省等とともにNICTが共催の形で開催した。

2018年はまた、国連で宇宙平和利用会議が開催されて50年(UNISPACE+50)の年でもあり、6月にウィーンで開催された式典において発表された7つの重点テーマのうち4つ目が'International framework for space weather services'であった。この具体的な活動が世界各地で展開されつつある。

ICAOにおいては、宇宙天気情報を航空気象の一つとして民間航空運用で使用することを義務化する動きが大詰めを迎えつつある。2018年9月にはICAO宇宙天気センターが指名され、11月には実際に情報が配信される予定となっている。我が国は現在最終候補の一つであり、その動向が注目される。

我が国では2017年9月6日のX9.3太陽フレア発生により多くの報道がなされたこと等をきっかけとして、その意識は少しずつ変わってきているように見られるものの、これまで宇宙天気政策が政府全体で検討されたことはない。上記に示したUNISPACE+50や米国の動向については国としての対応が求められるものの、それに対応する部署が未定なのが現状である。

また、米国では既に10を超える宇宙天気関連の民間企業が設立され、American Commercial Space Weather Association (ACSWA)と呼ばれる連合体も存在している。このような活動が宇宙天気関連の研究者の受け皿となっているのが現状である。

講演では、これらの実態について報告するほか、現在我が国が抱える課題について検討していきたい。

統合的な宇宙天気研究を促進させる UDAS EGG の開発

阿部 修司 [1]; 田中 良昌 [2]; 梅村 宜生 [3]; 新堀 淳樹 [3]; 上野 悟 [4]; 能勢 正仁 [3]
[1] 九大・ICSWSE; [2] 国立極地研究所/総研大; [3] 名大・宇地研; [4] 京大・理・附属天文台

Development of UDAS EGG for accelerating integrative space weather research

Shuji Abe[1]; Yoshimasa Tanaka[2]; Norio Umemura[3]; Atsuki Shinbori[3]; Satoru UENO[4]; Masahito Nose[3]
[1] ICSWSE, Kyushu Univ.; [2] NIPR/SOKENDAI; [3] ISEE, Nagoya Univ.; [4] Kwasan and Hida Obs. Kyoto Univ.

The Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork (IUGONET) is a scientific community promoting the multidisciplinary research using various kinds of observation data in the solar terrestrial science by many Japanese institutes conducting observational research. We have three main products. IUGONET Type-A is a web-based service to provide data information and visualization. IUWAF (IUGONET Universal Web Application Framework) is a standardized framework that abstracts the core modules of IUGONET Type-A, and allow it to use on the other research fields. UAS (iUgonet Data Analysis Software) is a data analysis software working under SPEDAS (Space Physics Environment Data Analysis Software).

We developed program templates, called as UDAS egg (UDAS Easy Guide to Generate your load routines), for easily reading various kinds of data on SPEDAS. Users can easily load, analyze and visualize the data owned by each researcher by replacing a few codes (about 10 lines in total) marked on the template according to the instructions. In addition, this function was added to the latest version of the SPEDAS executables for users who do not own IDL licenses. Currently, only data formats written in CDF and ASCII are acceptable in UDAS egg, but we are improving it for supporting other scientific data formats. This function allows users to utilize data for interdisciplinary study, and supports the development of integrated space weather research.

We holds many data analysis workshops each year in Japan and overseas countries. This workshop is lectured by IUGONET developers and participants can practically learn analysis methods. In this fiscal year, workshops has been held or scheduled in Malaysia (on 1st International Conference on Space Weather and Satellite Application in August), two times in Japan (on Japan Geoscience Union Meeting 2018 in May, organized with Harris Geospatial Solutions KK, and joint workshops including IUGONET annual meeting in September), and in India (on 15th International Symposium on Equatorial Aeronomy in October). These workshops contribute to improving the analytical research capacity of both Japanese and foreign young researchers.

超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究 (IUGONET) は、太陽地球系科学分野の観測・研究を行なう国内機関が連携し、機関や研究分野の枠を超えた多種多様な観測データの利活用と融合研究を推進するコミュニティである。IUGONET では、観測データのメタデータとクイックルック、データ解析方法を一元的に提供するワンストップウェブサービス IUGONET Type-A、本サービスの設計部を抽象化し、他分野での利用も可能にした標準化フレームワーク IUWAF (IUGONET Universal Web Application Framework)、太陽地球物理学分野における統合解析ソフトウェア SPEDAS (Space Physics Environment Data Analysis Software) のプラグイン UDAS (iUgonet Data Analysis Software) を開発し、公開している。

我々は、読み込みルーチンが準備されていないデータを SPEDAS 上で簡単に読み込むためのテンプレート集 UDAS egg (UDAS Easy Guide to Generate your load routines) を開発し、公開した。指示に従ってテンプレートコード上にマークされた箇所 (計 10 行程度) を書き換えることで、研究者が所有する独自のデータを即時に読み込み・解析・可視化することが可能になる。さらに、IDL のライセンスを所有していないユーザー向けに SPEDAS コミュニティが提供している実行形式ファイルの最新版にも、本機能が追加された。現在、読み込みできるデータ形式は CDF とテキストのみであるが、他の科学データ形式への対応も視野に入れ開発を継続している。本機能は、分野を超えたビッグデータの利活用を可能にし、統合的な宇宙天気研究の発展をサポートする。

また、我々は国内外にて毎年多くの解析講習会を開催している。本講習会は IUGONET 開発員が講師を勤め、参加者はプロダクトとデータに実際に触れながら解析手法を実践的に学ぶことができる。今年度は 5 月に日本国内 (日本地球惑星連合 2018 年大会、Harris Geospatial 株式会社との共同主催)、8 月にマレーシア (1st International Conference on Space Weather and Satellite Application にて)、9 月に日本国内 (IUGONET を含む合同研究集会にて)、10 月にインド (15th International Symposium on Equatorial Aeronomy にて) にてそれぞれ開催または予定されている。本講習会は国内外の若手研究者の解析研究能力の向上と人材そのものの育成に資するものである。

背面投影型デジタル地球儀 Dagik Earth のための半球面マルチタッチパネルの開発

廣田 尚樹 [1]; 小山 幸伸 [2]
[1] 大分高専; [2] 大分高専

Development of the hemispherical multi-touch panel for rear projection digital globe Dagik Earth

Naoki Hirota[1]; Yukinobu KOYAMA[2]
[1] N.I.T.O.C; [2] NIT, Oita College

Until now, user interfaces such as keyboard, mouse, track ball, Wii remote controller, Wii balance board, Kinect, Leap Motion, infrared remote controller, QR code reader, have been used for the rear projection digital globe Dagik Earth. However, user interface that manipulates contents by touching the digital globe itself has not been realized. Then we tried to develop it.

As a result, we realized it under an environment blocking natural light. In this presentation, we report the current status of development.

背面投影型 Dagik Earth には、これまでキーボード、マウス、トラックボール、Wii リモコン、バランス Wii ボード、Kinect、Leap Motion、赤外線リモコン、QR コードリーダーなどに代表される様々なコントローラーが試行されてきた。しかしながら、デジタル地球儀そのものに触れてコンテンツを操作するユーザインターフェースは実現していなかった。そこで我々は、背面投影型デジタル地球儀 Dagik Earth のための半球面マルチタッチパネルの開発に着手した。現在、自然光を遮光した環境下においては、その動作確認がとれたので報告する。

磁気インピーダンスセンサーを用いた低価格地磁気観測システムの開発

河野 実裕 [1]; 小山 幸伸 [2]
[1] 大分高専; [2] 大分高専

Development of the low cost geomagnetic observation system by using magneto-impedance sensor

Mihiro Kawano[1]; Yukinobu KOYAMA[2]
[1] NITOC; [2] NIT, Oita College

To observe the geomagnetic field change accompanying the occurrence of aurora in order to calculate highly reliable geomagnetic indices, a dense magnetometer network in the auroral belt is necessary. In order to construct this dense observation network, a low cost observation system is desirable. In order to reduce the cost of the entire observation system, it is also necessary to lower the cost of equipment other than sensors.

In this presentation, we explain inexpensive observation system focusing on the signal processing unit.

オーロラの発生に伴って生じる磁場変化をなるべく正確に捉え、信頼度の高い地磁気指数を算出するためには、極域オーロラ帯に稠密な磁力計ネットワークを展開することが必須である。この稠密観測網を構築するためには、地磁気観測システムの低価格化が望ましい。その観測システム全体を低コスト化するためには、安価なセンサーを用いる以外に、AD変換などの信号処理部の低価格化も不可欠である。本発表では、安価な観測システムの信号処理部について報告を行う。

中国電力における地磁気誘導電流観測と初期解析報告

橋本 久美子 [1]; 北村 健太郎 [2]; 菊池 崇 [3]; 海老原 祐輔 [4]; 家森 俊彦 [5]; 亘 慎一 [6]
[1] 吉備国大; [2] 徳山高専; [3] 名大 ISEE 研; [4] 京大生存圏; [5] 京大; [6] 情報通信研究機構

Geomagnetically induced current measurement in the Chugoku region

Kumiko Hashimoto[1]; Kentarou Kitamura[2]; Takashi Kikuchi[3]; Yusuke Ebihara[4]; Toshihiko Iyemori[5]; Shinichi Watari[6]

[1] KIU; [2] NIT,Tokuyama.; [3] ISEE, Nagoya Univ.; [4] RISH, Kyoto Univ.; [5] Kyoto Univ.; [6] NICT

As a part of PSTEP project, an instrument of the geomagnetically induced current (GIC) measurement was installed at Higashi-Yamaguchi electric power substation in Chugoku region on 23 March 2018. The Chugoku region is characterized by power lines parallel to coasts extending east and west. In order to examine the coast effect of the GIC, we analyzed correlations between the GIC and magnetometer data from Agawa for Space weather events, such as magnetic sudden commencements, magnetic pulsations, substorm positive bay etc. Our initial results show that the GIC at Higashi-Yamaguchi substation well correlates with east-west component of magnetic field or north-south component of the induced electric field. On the other hands, GICs at Shin-Fukushima and Shin-Tsukuba substation in the Kanto region that are located near a coast extending north and south are strongly related with north-south component of magnetic field or east-west component of the induced electric field. These results are consistent with the coast effect.

科学研究目的の地磁気誘導電流 (GIC) 計測は 2005 - 2008 年に情報通信研究機構と名古屋大学が北海道電力で連続観測を行い、GIC と地磁気変動の東西成分 (B_y) の相関が高いことを示した (Watari et al., 2009)。GIC と B_y の相関は、従来から GIC の海岸線効果などの可能性が指摘されていたが、一方で、高緯度の地磁気誘導電流が地磁気南北成分による誘導とされ、誘導電流発生メカニズムや地磁気変動との定量関係はいまだ確立されていない。特に中緯度の GIC のデータが少ないため、国内での計測データの蓄積が必要である。そこで、PSTEP プロジェクトでは、2017 - 2018 年に東京電力管内の新筑波、新富士、新福島の 3ヶ所の変電所に GIC 計測機を設置した。さらに、2018 年 3 月 23 日に中国電力株式会社山口電力所の協力を得て、PSTEP プロジェクトの一環として、東山口変電所に GIC 測定機を設置した。中国地方はほぼ地磁気緯度線に沿って東西に伸びる海岸線が特徴で、基幹送電線は海岸線に平行なものと、山陽と山陰を南北に結ぶもので構成されたシンプルな構造である。そのため、宇宙天気事象にともなう地磁気変動の南北成分 (B_x)、東西成分 (B_y) の寄与の切り分けが期待できる。4ヶ所で計測された GIC と吾川 (京都大学地磁気世界資料解析センター) の磁力計データ、および地磁気変動 (B_x, B_y) から算出した誘導電場 (E_y, E_x) との相関関係の解析を行なった。磁気急始、地磁気脈動、サブストームポジティブベイ、非対称赤道環電流などの様々な時間スケールの宇宙天気事象について行なった初期解析では、東山口変電所の GIC は多くの場合、 B_y 成分あるいは B_y の誘導電場 (E_x) と高い相関を示した。一方、同じ事例について新筑波と新福島変電所では、 B_x/E_y と高い相関を示し、海岸線効果から期待される傾向が得られた。しかし、東山口変電所でも、 B_x/E_y 成分の寄与が強く現れる事例もみられた。また、新富士変電所の GIC は、他 3 点とは異なり宇宙天気事象による誘導電流が現れにくい傾向がみられ、周囲の複雑な海岸線の形状以外の要因の可能性も示唆される。

地面・送電線結合系における地磁気誘導電流の発生機構に関するシミュレーション

栗栖 一樹 [1]; 海老原 祐輔 [2]; 中村 紗都子 [3]
[1] 京大・生存圏; [2] 京大生存圏; [3] 京大生存研

Simulation study on the generation of geomagnetically induced current (GIC) in terms of ground-transmission line coupling

Kazuki Kurisu[1]; Yusuke Ebihara[2]; Satoko Nakamura[3]
[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] RISH, Kyoto Univ.; [3] RISH, Kyoto Univ.

http://space.rish.kyoto-u.ac.jp/people/2016/kazuki_kurusu/index-j.html

During geomagnetically disturbed conditions, geomagnetic induced currents (GICs) can cause severe damages on the power grid. Recent observation has revealed that extreme solar flares may occur in our Sun. If such an extreme solar event occurs, the impact on our life would be catastrophic. Under this circumstance, the need for GIC research is increasing for better understanding of the cause of the GIC. Previously, many researches have calculated the GICs for given geomagnetically induced electric field (GIE) by assuming an equivalent electrical circuit. The GIE is often calculated by the temporal variation of the magnetic field, and is assumed to be independent of the existence of the transmission line. However, the existence of the transmission line may alter the ambient electric field including GIE because the conductance of the transmission line is extremely high in comparison with the ground conductivity. We calculated both the GIE and GIC simultaneously by using 3-D Finite-Difference Time-Domain (FDTD) method to investigate the interaction between the ground and the transmit line. To excite the electromagnetic wave, a plane of the uniform electric field is placed at 60 km altitude with its amplitude varying sinusoidally with a period of 1 sec. Due to the limitation of the computational resource, the thickness of the transmission line is set to be 2 km. For this particular study, we tested the influence of different conductance of the transmission line on GIC, and the influence of different conductance of the ground on GIC. The simulation results are as follows. When the conductivity of the transmission line increases, GIC increases linearly until a particular threshold. When the conductivity of the transmission line exceeds the threshold, GIC is saturated, and is less sensitive to the conductivity of the transmission line. When the conductivity of ground increases, GIC is almost constant. These results indicate that GICs may be independent from ground conductivity or potential difference on earth surface for particular conditions. We will discuss the reality of the calculated value.

地磁気誘導電流は太陽活動由来の擾乱現象により、送電網を流れる電流である。近年の観測では巨大な太陽フレアが起こる可能性が示唆されている。そのような太陽フレアが起きた場合、私たちの生活に壊滅的な被害をもたらす危険性がある。GIC のリスクを把握するためには GIC の性質を正しく理解することが必要である。多くの先行研究では、送電網の等価回路に地磁気誘導電界 (GIE) を与えることで GIC を計算してきた。GIE は磁場の時間変化やモデル計算によって一方的に与えられており、送電網からは独立であると考えられていた。しかし、超高圧送電網の電気伝導度は地面の電気伝導度よりも極めて高いため、送電網の存在によって GIE を含む周囲の電磁界が変化する可能性がある。私たちは FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法を使用して大気中・地面・送電網を伝わる場を同時に計算し、地上と送電網の相互作用を調べた。一様な電界を高度 60km に配置し、ソース電界の振幅は 1 秒の周期で正弦波状に変化させた。計算資源の制約から、送電線の厚さは 2km に設定されている。今回は主に、送電線の電気伝導度を変えた場合と地面の電気伝導度を変えた場合の相互作用について検討した。シミュレーションの結果は以下のとおりである。送電線の伝導度を増加させると GIC は特定の閾値まで線形的に増加した。送電線の伝導率が閾値を超えると GIC は飽和し送電線の伝導率に対して変化しなくなる。また、地面の電気伝導度をある範囲内で変えても、GIC はほとんど変化しなかった。これらの結果は、ある条件のもとでは GIC が地面の伝導率や地表の電界から独立している可能性があることを示している。シミュレーション結果に基づき、現実の場合について議論する予定である。

大気圏-電離圏結合モデル GAIA の高精度化と検証

陣 英克 [1]; 三好 勉信 [2]; 埜 千尋 [1]; 品川 裕之 [1]; 藤原 均 [3]; 松村 充 [4]
[1] 情報通信研究機構; [2] 九大・理・地球惑星; [3] 成蹊大・理工; [4] 名大宇地研

update and validation of a whole atmosphere-ionosphere coupled model GAIA

Hidekatsu Jin[1]; Yasunobu Miyoshi[2]; Chihiro Tao[1]; Hiroyuki Shinagawa[1]; Hitoshi Fujiwara[3]; Mitsuru Matsumura[4]
[1] NICT; [2] Dept. Earth & Planetary Sci, Kyushu Univ.; [3] Faculty of Science and Technology, Seikei University; [4] ISEE, Nagoya Univ.

As more activities of humans expand to the space, our society is more affected by space weather. Today, it is known that communications and navigation using radio propagation between ground facilities and between ground-to-space are subject to the ionospheric state, and that the orbits and operations of satellites are affected by the thermospheric state. Therefore, accurate nowcast and forecast techniques of the upper atmospheric states are becoming more important.

So far, we have developed a whole atmosphere-ionosphere coupled model, called GAIA, by self-consistently coupling several numerical models. The meteorological reanalysis data is utilized in the model with a simple data assimilation method so the model can reproduce realistic variations which originate from the lower atmosphere.

In this study, we report several improvements of the model we have made recently, such as photochemical reactions, calculation method for ion and electron energetics, lower thermosphere parameterization, and so on. The validation of the update model is also shown by comparing the model results with observations.

電離圏・熱圏の変動や擾乱は地上間の通信や地上-人工衛星間の電波伝搬、また衛星の軌道や姿勢などに影響を与えることが知られており、超高層大気の状態を把握・予測することは重要である。これまで我々は、複数の領域モデルを結合させることにより、地表から熱圏上部までの中性大気と電離圏を包含する大気圏電離圏結合モデル (GAIA) を開発した。このモデルにより、下層大気の大気対流活動が大気波動の伝播と電気力学作用を介して電離圏まで影響する様子などが明らかにされている。さらに我々は、GAIA の下層大気部分に気象再解析データを簡易的なデータ同化手法によって取り込み、現実的な下層大気に基づく超高層大気のシミュレーションを数十年分実施し、各現象の解析を行ってきた。

一方、現実ベースのシミュレーション結果と電離圏や熱圏の地上・衛星観測と比較すると、太陽活動が高い時期における電子密度分布や熱圏上部の質量密度など観測を良く再現できない場合があることも明らかとなった。これまでの調査から、電離圏モデルの計算を簡易化した部分や電離圏・熱圏下部における不確定なパラメータなどが原因と関連しているほか、モデルに取り込まれていない要素 (磁気圏からの電流や粒子の降込みなど) も観測の再現性に影響すると考えられる。

そこで、本研究では GAIA モデルの計算方法の改良やパラメータの調整を通じて熱圏・電離圏の再現性の向上を図る。具体的には電離圏の光化学反応式や組成の追加、電子・イオン温度の計算方法の改良、熱圏下部の不確定パラメータの調整、極域における磁気圏からの電流・粒子の降込みの導入などを行った。本発表では、これらの取組により、電離圏・熱圏の分布や太陽活動や季節に伴う変動や極域からの流入による擾乱の再現性の向上について観測との比較により検証する。

Real-time magnetosphere simulator for space weather using REProduce Plasma Universe code

Yasubumi Kubota[1]; Aoi Nakamizo[1]; Kaori Sakaguchi[2]; Mitsue Den[1]; Yuki Kubo[2]; Tsutomu Nagatsuma[1]; Takashi Tanaka[3]

[1] NICT; [2] NICT; [3] REPPU code Institute

Surface charging of artificial satellite is one of risks caused by dynamical variations of space environment. It occurs when a satellite exposes high energy electrons around 10 keV created by plasma injection accompanied with substorm. Therefore we want to predict timing and electron energy of plasma injection using magnetosphere-ionosphere coupling global MHD simulation. Now we are developing a real-time numerical simulator for space weather forecast using magnetosphere-ionosphere coupling global MHD simulation called REPPU (REProduce Plasma Universe) code. The feature of the simulation code is highly robust to extreme solar wind parameters because the unstructured grid system has no singular point and is able to calculate in the uniform accuracy over the whole region. We use the real-time solar wind data formatted in the GSM coordinate system observed by DSCOVR spacecraft. Magnetic-dipole axis is fixed to z-direction in our simulation. Therefore daily variation of magnetic-dipole axis is not reproduced. Instead, we convert the input direction of the solar wind velocity and magnetic field into that which tilts including daily variation of magnetic dipole axis in x-z plane. In the method the solar wind structure is not exact. However we can relatively reproduce the magnetosphere response including daily variation of the magnetic-dipole axis against solar wind. The resolution is 7682 grids in the horizontal direction and 240 grids in the radial direction.

In this presentation, we compare the simulation results with the CPCP, AE index, and plasma variations observed by geostationary orbit satellites. Density and temperature of plasma injection derived from MHD simulation tends to estimate larger and smaller values than observation respectively because the MHD simulation does not include kinetic heating effects. We have to interpret MHD simulation results for prediction of electron density and temperature. We will discuss how to interpret electron density and temperature between observation and MHD simulation.

再帰型ニューラルネットワークを用いた太陽風パラメータからのサブストーム規模の予測

河村 光次郎 [1]; 藤本 晶子 [2]; Ohtani Shinichi[3]; 徳永 旭将 [2]
[1] 九工大・情工; [2] 九工大; [3] なし

A prediction of substorm intensities from solar wind parameters based on a LSTM neural network

Kojiro Kawamura[1]; Akiko Fujimoto[2]; Shinichi Ohtani[3]; Terumasa Tokunaga[2]
[1] Kyutech; [2] Kyutech; [3] The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory

<http://www.ccr.kyutech.ac.jp/professors/iizuka/i3/i3-2/entry-4413.html>

In order to understand global response characteristics of the magnetosphere for interplanetary disturbances, we introduced a recent machine learning technique. Despite the recent successes of deep learnings in diverse recognition tasks, predictions of nonlinear phenomena in a complex system are still challenging. The present work is intended to investigate comprehensively the possibility of deep learning for reproduction of magnetospheric responses. For a pilot study, we performed predictive classification tests by deep learning on a prediction of substorm intensities using solar wind data.

For a successful prediction of substorm activities, learning of a magnetospheric hysteresis is most likely essential, at least several hours before a substorm onset. We adopted a specific recurrent neural network architecture called a stacked Long Short-Term Memory (LSTM) network for a deep learning model. It is widely recognized that the stacked LSTM network has many memory units and it can learn both long and short temporal structures. If the prediction is successful, it is expected that some meaningful knowledges about magnetospheric responses, including a typical response time of substorms for interplanetary disturbances, can be extracted by analyzing memory units in the trained the stacked LSTM network.

We have performed the predictive classifications in some simplified settings. Firstly, time series of geomagnetic auroral electrojet (AE) indices were classified into 7~11 groups based on AL value. Next, we trained parameters of the stacked LSTM network using several years of OMNI solar-wind data with 1-min resolution and corresponding classified AE indices. Solar wind data that we used here includes time series of tree components of IMF, bulk velocities, temperatures and dynamic pressures. All of lacking data were corrected by a linear interpolation before training. Then, we examined whether a latest class of AE indices was predictable or not from latest solar wind data in several hours with time series. As a result, the accuracy rates of the prediction exceeded 80% for training data in some settings. In the presentation, we will show the details of our experiments and share some results of predictive classifications. Also, we will discuss the present issues and future tasks.

惑星間空間での擾乱に対する磁気圏の大局的な応答特性を理解するため、我々は近年進歩が著しい機械学習技術を導入した。ディープラーニングは多様な認識タスクにおいて成果を上げているが、複合系における非線形現象の予測は依然としてチャレンジングな課題である。本研究は、磁気圏の応答特性を再現する上でのディープラーニングが持つ可能性について、包括的調査を行うことを目的としたものである。その先行的調査として、我々はディープラーニングに基づき太陽風データからサブストーム規模の判別予測をする実験を行なった。

サブストーム活動度を予測するためには、少なくともオンセット前数時間の磁気圏の履歴を学習することが本質的に重要であると思われる。我々はディープラーニングモデルとして、積層 LSTM ネットワークと呼ばれる特殊な再帰型ニューラルネットワークを採用した。この積層 LSTM ネットワークは多くのメモリーユニットを持ち、短周期から長周期まで時間構造を学習できるとされている。もし、この予測が上手く行ったならば、学習済みの LSTM ネットワークのメモリーユニットを解析することで、磁気圏応答に関するいくつかの重要な知見（惑星間擾乱に対する典型的なサブストームの応答時間など）を抽出できると期待できる。

我々は問題を単純化したいくつかの設定で判別予測の実験を行なった。まず始めに、AE 指数を AL 値に基づき 7~11 のグループにクラス分けした。次に、いくつかの衛星で得られた数年分の OMNI 太陽風データ 1 分値と、それに対応するクラス分けされた AE 指数を用いて、積層 LSTM ネットワークのパラメータを学習した。ここで用いられた太陽風データには、惑星間空間磁場 3 成分と、風速、温度、ならびに動圧の時系列が含まれている。全てのデータ欠損は学習の前段階で線形補間により補正した。その後、太陽風時系列データ数時間分を用いて、最新の AE 指数のクラスを予測できるかどうか検証を行なった。その結果、いくつかの実験において、学習データに対する予測精度が 80% を超過することを確認した。講演では、本実験の詳細と現状について共有し、現時点での課題と将来の展望について述べる。

Global response of Magnetic field and Ionosonde observations to intense solar flares

Akiko Fujimoto[1]; Akimasa Yoshikawa[2]; Akihiro Ikeda[3]
[1] Kyutech; [2] ICSWSE/Kyushu Univ.; [3] KNCT

Intense X-ray fluxes during solar flares are known to cause enhanced ionization in the Earth's ionospheric D, E and F region. This sudden change of ionospheric electron density profile is serious problem to radio wave communication and navigation system. The ground magnetograms often record the sudden change in the sunlit hemisphere during the enhanced X-ray flux, due to the sudden increase in the global ionospheric current system caused by the flare-induced enhanced ionospheric conductivity. This geomagnetic field disturbances are known as "solar flare effects" (SFEs) or geomagnetic crochets [Campbell, 2003]. The typical SFE is increase variation on the equatorial magnetic data. On Ionosonde observation during solar flare event, the High-Frequency (HF) radio wave blackout is often detected in ionogram due to the sudden disturbance in ionosphere.

We investigated the magnetic field and Ionosonde responses to two intense solar flare events occurred on 6 and 10 September 2017. We demonstrated the magnetic field variation (named as gsfe) due to the ionospheric disturbance resulting from solar flare, the delay time from the onset of X-ray solar flare and the duration of gsfe. We found that Dayside gsfe increased around the noon sector along the magnetic equator and decreased at the high latitude in the summer hemisphere in the morning sector. The delay time is short around the lower latitude and high latitude, and long at the middle latitude. The duration of gsfe at high latitude is longer than the lower latitude. There is no response in night side magnetometer data. We found HF radio wave blackout in ionogram at dayside Ionosonde stations. The duration of blackout is dependent of latitude and local time of Ionosonde stations. There is the different feature of ionogram at night side. The gsfe is shorter than the ionospheric response, possibly due to the different ionosphere layer (lower or upper) generating the effect of solar flare.

Variation of Schumann Resonance during the intense solar activity from October to November, 2003

Akihiro Ikeda[1]; Teiji Uozumi[2]; Akimasa Yoshikawa[3]; Akiko Fujimoto[4]; Shuji Abe[5]

[1] KNCT; [2] ICSWSE, Kyushu Univ.; [3] ICSWSE/Kyushu Univ.; [4] Kyutech; [5] ICSWSE, Kyushu Univ.

Solar flare is the extraordinary activity of the sun. At the time of solar flares, the solar X-ray flux increases and are often followed by solar proton events (SPEs). The activities affect on a wide sphere of the Earth's ionosphere. The electron density and altitude profile of its vary in the ionospheric D region up to the F region.

The Schumann resonance (SR) is the global resonance of electromagnetic waves generated by global lightning activity. SR parameters, which are amplitude and frequency, reflect the properties of both global lightning activity and the state of the Earth-ionosphere cavity. Recently, it is revealed that the SR is also affected by the solar activities. We newly aim to utilize SR for monitoring of the variation of the ionosphere caused by solar activities (e.g., solar flare and solar proton event). For the first step, we investigated relationship between SR parameters and intense solar activities on Oct.-Nov., 2003.

We examined the fundamental mode of SR (SR1) at Kuju, Japan (KUJ, M.Lat. = 23.4 degree, M. Lon. = 201.0 degree) by comparing with solar X-ray (0.05-0.3 nm) and Proton flux (40-80 MeV). The data of X-ray and Proton flux were obtained by the GOES series of the satellites on a geostationary orbit.

The enhancement of solar X-ray flux occurred on 18 Oct., 2003. This enhancement lasted for 19 days before it recovered to a previous level. During the period, the SR1 frequency in H followed the variation of the X-ray flux. Thus, the variation of the SR1 frequency seems to reflect the electron density in the ionospheric D-region during the solar flare.

During the enhancement of the X-ray on 18 Oct to 06 Nov, 2003, the prominent SPEs occurred several times as the enhancement of the Proton flux in 40-80 MeV. They started on 26 Oct., 28 Oct., 02 Nov, and 05 Nov. These SPEs were accompanied with the decrease of the SR1 frequency in D (horizontal eastward component). This tendency is more clearly in D component than H component. It is assumed that the SR1 frequency in D component relates to the polar ionosphere which is strongly affected by solar proton events.

Variations of South Atlantic Anomaly due to Space Weather Conditions

KIROLOSSE M. GIRGIS[1]; Tohru Hada[2]; Shuichi Matsukiyo[3]
[1] IGSES, Kyushu Univ.; [2] IGSES, Kyushu Univ; [3] ESST Kyushu Univ.

http://www.esst.kyushu-u.ac.jp/~space/index_e.html

South Atlantic Anomaly (SAA) is considered as a source of hazardousness for Low-Earth Orbit (LEO) satellites. This region involves high-energetic charged particles, emerging from the trapped radiation belts. The reason behind this precipitation is the anomaly in the Earth's magnetic field itself; the weakness of the magnetic field strength at this region, attracts those energetic particles to inhabit it. Few studies had been carried out to investigate SAA's behavior, with respect to space weather conditions. In this research, we consider the variations of the anomaly, from the point of view of magnetic field and charged particles population, by adopting Tsyganenko models and test particle simulations, respectively, corresponding to the solar wind ram pressure, Interplanetary Magnetic Field (IMF) and geodipole tilting angle. Those SAA variations are described by several variables such as: height, area, minimum magnetic field value and maximum charged particle density (SAA's center), movement of SAA's center (latitude and longitude) and charged particle penetration depth. Results revealed quantitatively, the correlation between the variation of each SAA's parameters, related to the space weather conditions.

Study on significant surface charging environment in the medium earth orbit

Masao Nakamura[1]; Tsuyoshi Teraoka[2]

[1] Dept. of Aerospace Eng., Osaka Prefect. Univ.; [2] Osaka Prefecture Univ.

Study on spacecraft significant surface charging in the medium earth orbit (MEO) is important for spacecraft designs and operations, because the significant charging sometimes cause spacecraft anomalies due to discharging arcs. We study the surface charging environment using the Electric Field and Wave instruments (EFW) and the Helium Oxygen Proton Electron (HOPE) data of the Van Allen Probes. We find that significant charging events (<-50 V) are located about 25000 km further away from the center of the Earth and in the mid-night to dawn region. The very significant charging (<-1000 V) events are only observed in eclipse. The relationship between surface potential and electron temperature suggests that the high electron temperature is a necessary but not sufficient condition for significant charging. We will discuss the significant surface charging environment through the charging processes in the time history of the high energy electron fluxes.

南極昭和基地での宇宙線観測による宇宙天気研究II

門倉 昭 [1]; 片岡 龍峰 [1]; 宗像 一起 [2]; # 加藤 千尋 [2]; Evenson Paul[3]; 内田 悟 [4]; 海見 走 [4]
[1] 極地研; [2] 信州大・理; [3] Delaware Univ.; [4] 信州大理

Space weather study with CR observations at Syowa Station, in the Antarctic II.

Akira Kadokura[1]; Ryuho Kataoka[1]; Kazuoki Munakata[2]; # Chihiro Kato[2]; Paul Evenson[3]; Satoru Uchida[4]; Sou Kaimi[4]
[1] NIPR; [2] Physics Department, Shinshu Univ.; [3] Delaware Univ.; [4] Science, Shinshu Univ.

In Feb., 2018, a new CR observation with a Neutron monitor and a muon telescope was started at Syowa Station, in the Antarctic. We report the conditions of the observation and initial analysis results.

2018年2月から南極昭和基地において中性子モニタとミュオン計を用いた宇宙線観測を開始した。本講演では観測の現状とデータの初期解析結果を報告する。

科学データ事業 WDS の現状と展望

村山 泰啓 [1]
[1] 情報通信研究機構

Current Status and Perspectives of World Data System

Yasuhiro Murayama[1]
[1] NICT

<http://isds.nict.go.jp/>

The current status and future perspectives of World Data System (WDS) is discussed in this poster paper. It has been ten years since WDS establishment as an international academic data enterprise and committee. So-called "new paradigm" of Open Science as well as new Research Data Sharing and management (RDS/RDM) have been emerged in discussions of international science framework by communities of international science ecocycle, scientific data, and science policy/funders, and have been grown up to a global trend. WDS is active as an essential element in the international development and programmes. Also, the earth and planetary science is one of world-leading communities in terms of multidisciplinary research and community-data sharing in the last century. New principles, standards, and scientists' expected norms are discussed by earth science communities such as AGU, EGU, JpGU and so forth, targeting new framework of the new ways of scientific research, recognition and evaluation of scientific achievement and scientists for the future community.

科学データ事業、国際委員会である World Data System の ICSU による決議・設置から 10 年となる今、その現状と展望を議論したい。近年急速に活発に議論されるようになってきた「新しいパラダイム」と言われるオープンサイエンスや研究データ共有 (RDS)、研究データマネジメント (RDM) は、今後の新しい社会と科学のあり方を考える上でも、研究者がよりアクティブに研究活動ができる環境を堅持していくためにも、不可欠な議論と考えられている。地球惑星科学分野はとくに分野横断研究や分野内でのデータ相互利用などの歴史も長く、またこうした新たなパラダイムについて活発な議論を行う AGU、EGU など国際コミュニティが存在する。WDC・FAGS から WDS への改組時に、地球科学分野に偏らない全学術領域のデータ事業となっはいるが、これを活用して今後の当学会、関連研究領域の将来像、また相対的に立ち遅れていると言われる国内のデータ整備、データ利活用の為の基盤整備などとともに WDS の国際事業運営などをふくめて検討を行いたい。

極端宇宙天気現象の日本経済に与える影響評価

塩田 大幸 [1]; 石井 守 [2]
[1] NICT; [2] 情報通信研究機構

Estimation of Japanese economic impact of extreme space weather

Daikou Shiota[1]; Mamoru Ishii[2]
[1] NICT; [2] NICT

Extreme space weather due to very powerful CMEs may potentially cause high geomagnetic induced currents (GIC) and then damage electricity transmission infrastructures. The cut off electric supply can cause regional blackout, which can lead severe damage on the regional economic activities. Oughton et al. (2017) quantified such impact on an extreme space weather event on US economy and indirect losses in the global economy, applying several patterns of blackout zone due to aurora.

Recently we have been developing an estimation model of economic impact in Japan due to extreme space weather, utilizing regional Input-Output table of Japanese economy applying several patterns of blackout zone due to GIC similar to Oughton et al. (2017). We will report the current status of the model development and present initial results.

極めて大規模なコロナ質量放出が引き起こす極端宇宙天気現象は様々な社会影響を及ぼす可能性があり、その一つに地磁気誘導電流が流れることによる送電施設の損耗が挙げられる。ある地域に向けた電力の供給が止まると、広域に停電が発生し、その停電によってさまざまな経済活動が損害を受ける。Oughton et al. (2017) は、極端宇宙天気現象の規模に応じて停電が発生する地域が異なる複数のケースに対して、米国経済に及ぶ影響とそれによって間接的に世界経済に及ぶ影響を経済モデルを用いて試算した。

本研究は、Oughton et al. (2017) の手法、極端宇宙天気現象の規模に応じて停電が発生する地域が異なり、その影響規模が変わっていくモデルを日本経済に適用することで、極端宇宙天気現象の日本経済への影響を試算するモデルを開発している。このモデルでは、総務省および経済産業省が発行した産業連関表を使用している。講演ではこのモデルの紹介と開発状況を報告する。