

太陽フレアに関する最近の「ひので」観測 Recent Hinode Observations of Solar Flares

清水 敏文^{1*}, 坂尾 太郎¹, 今田 晋亮¹, 渡邊 恭子¹

SHIMIZU, Toshifumi^{1*}, SAKAO, Taro¹, IMADA, Shinsuke¹, WATANABE, Kyoko¹

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

¹ ISAS/JAXA

太陽活動の上昇と共に、2011年に入り、XクラスやMクラスといった大きなフレアが太陽面上で起こり始めた。「ひので」は、2011年2月15日に発生したX2.2フレアを皮切りに、大きなフレアの幾つかについて観測に成功している。X線望遠鏡(XRT)は、フレア発生の自動検知機構を使って、高速の軟X線画像撮影やプレフレア期の観測を行っている。可視光磁場望遠鏡(SOT)は、光球磁場や彩層CaIIH線で活動領域を監視し、XRTのフレア検知をトリガーとして、白色光フレア(連続光)や彩層(CaIIH, Ha)の高速撮影を行っている。極紫外線撮像分光装置(EIS)は、フレアハンディンクスタディと呼ばれる粗い空間マッピングで約6分ごとにEUV輝線の分光マップを取得している。観測チームは、フレア観測をさらに最適化するための努力を続けている。取得できるテレメトリ量に強い制限があり、また望遠鏡の観測視野が狭いことが、フレアの捕捉を難しくしている。いつどこでフレアが発生するかが分からないからである。現在行われている「ひので」観測は、活動領域やフレアを最優先の観測ターゲットと設定している。Max Millennium Flare Watchが発表されると、「ひので」はその活動領域の観測に集中する。さらに、「ひので」運用チーム独自でフレア発生可能性を判断して、いち早くフレアに特化した観測に切り替える仕組みも昨秋から導入した。すでに興味深いフレアが観測されている。本講演では、フレア研究における「ひので」観測の重要性を強調しながら、幾つかのフレアの観測例を紹介する。

キーワード: 太陽フレア, ひので, 軟X線, 紫外線, 可視光

Keywords: solar flare, Hinode, Soft X-ray, UV, Optical

情報通信技術との連携による宇宙天気研究の現状と将来ビジョン ~ 「多すぎるデータ」と「少なすぎるデータ」を乗り越えて ~

A prospective vision of future space weather research and operation

村田 健史^{1*}, 亘 慎一¹, 長妻 努¹

MURATA, Ken T.^{1*}, WATARI, Shinichi¹, NAGATSUMA, Tsutomu¹

¹ 情報通信研究機構

¹NICT

情報通信研究機構 (NICT) は、日本で唯一の宇宙天気予報を業務として行う研究機関であり、20年以上にわたり宇宙天気研究と環境情報提供 (予報) 業務を行ってきた。この道のりを図式的に示すと、(1) 太陽から磁気圏・電離圏までの因果関係を理解するための科学研究フェーズ、(2) これらの科学研究成果に基づいた宇宙天気の実現のための観測技術開発、シミュレーション技術開発など、予報・予測技術開発を含んだ技術開発フェーズから成り立っていたと言える。(1) は、基礎物理的な過程を明らかにしたが、皮肉なことに、実用的な宇宙天気予報のための定量予測が容易ではないことも明らかにした。(2) は、基礎物理 (科学) 的なデータを定常的に収集 (または生成) することに成功したが、因果関係の複雑さやデータ (観測データもシミュレーションデータも) の多さと少なさにより、実用的な宇宙天気予報を達成したとは言いがたい。ここで、データの多さとは太陽から電離圏まで、また、観測からシミュレーションまで、多種多様で大量のデータがあるにも関わらず、それらを統合的に解析する手法を我々は実現していないことを意味する。データの少なさは、例えば観測データについては惑星間空間、磁気圏、電離圏のどの領域を考えても、宇宙天気現象をモニタリングし、また予測するためのデータとしては、時空間的に欠落している箇所が多いことを意味する。またシミュレーションデータについては、計算サイズの制限により再現できる (予測できる) 現象に限界があり、また、シミュレーションの仮定 (多くの場合は流体モデル) が予報に十分ではないことを意味する。

宇宙天気予報は、これらを乗り越えて、実用性のある宇宙空間の電磁環境予測を目指している。天気予報 (気象) の困難さを考えると、宇宙環境の予測がいかに容易ではないかは明らかであり、世界中の宇宙天気予報機関は真の宇宙天気予報実現の難しさの前に、ブレークスルーを見いだせないでいる。(地上の) 天気予報はデータ同化技法により完全とは言えないまでも実用性のある天気予報を達成したのに対して、宇宙天気予報は「データの多さと少なさ」の問題があるために、データ同化手法を導入する段階にすら至っていない。

NICTでは、この「データの多さと少なさ」に立ち向かう方法論として、(3) インフォマティクス (情報通信技術) の導入を決めた。宇宙天気観測が人工衛星や地上観測を基盤とし、コンピュータシミュレーションがスーパーコンピュータを基盤とするのと同様に、インフォマティクスの基盤として有効であるのがクラウドである。NICTでは、科学研究用クラウドとしてNICTサイエンスクラウド (OneSpaceNet : OSN) を構築している。OSN上に5PBを超えるストレージシステムを実装し、この上にあらゆるデータ (観測データもシミュレーションデータも) を格納することに成功した。さらに、400コアを超えるCPUを用いて、これらのデータを高速に分散処理する環境も整いつつある。磁気圏シミュレーションの高時間分解能データ処理と可視化、磁気圏シミュレーションによる太陽風感応実験、1000³スケールの大規模惑星シミュレーションデータ処理、GPS-TECの自動データ収集とTECマップ作成、長期間 (目標は25年間) 電離圏変動シミュレーション、放射線帯高エネルギー粒子予測モデル構築、多地点地磁気データ処理によるグローバルな地球磁場変動 (二日周期) 現象の解析など、サイエンスクラウドを活用した様々な研究成果が本学会期間中にも報告される。

インフォマティクスが宇宙天気の持つ「データの多さと少なさ」に対するブレークスルーになりえるかどうかは、まだわからない。本講演では、インフォマティクスによる宇宙天気研究の可能性について議論したい。

キーワード: 情報通信技術, インフォマティクス, 宇宙天気研究, サイエンスクラウド

Keywords: Informatics, Space Weather, Science Cloud

SDO 衛星による非噴出型フレアの観測 Confined Solar Flares observed by the Solar Dynamic Observatory

八代 誠司^{1*}, Gopalswamy Nat²
YASHIRO, Seiji^{1*}, GOPALSWAMY, Nat²

¹ 米国カトリック大学, ²NASA ゴダード宇宙飛行センター

¹The Catholic University of America, ²NASA Goddard Space Flight Center

Since coronal mass ejections (CMEs) are main cause of solar energetic particle events and geomagnetic storms, the CME forecasting is essentially important for the space weather. During 2011 February ? 2012 January, 21 major flares (\geq M5 level) occurred. We examined their association of coronal mass ejections (CMEs) by viewing the white light images obtained by the LASCO C2 and STEREO COR1 coronagraphs. We found that, out of the 21 major flares, four lacked the associated CMEs. The four confined flares were an M6.6 flare on 2011 February 18, an X1.5 flare on 2011 March 9, an M5.8 flare on 2011 September 24, and an X1.9 flare on 2011 November 3. We examined flare locations in the active region using the SDO/AIA and SDO/HMI data and found that each flare occurred at the center of the AR. We confirmed that the confinement by the overlying magnetic field is responsible for the confined major flares.

大磁気嵐における放射線帯電子の変動

Dynamic behavior of the radiation belt electrons during the big magnetic storm

小原 隆博^{1*}, 疋島 充², 古賀 清一², 越石 英樹², 松本 晴久²

OBARA, Takahiro^{1*}, HIKISHIMA, Mitsuru², KOGA, Kiyokazu², KOSHIISHI, Hideki², MATSUMOTO, haruhisa²

¹ 東北大学 惑星プラズマ大気研究センター, ² 宇宙航空研究開発機構

¹PPARC, Tohoku Univ., ²JAXA

磁気嵐の開始とともに、放射線帯外帯電子は、大きく変動する。JAXA 衛星などの観測により、磁気嵐主相時、以下の様相が明らかになって来ている。即ち、i) MeV 電子は、基本的に消失する。ii) 300keV 電子は、かなりの部分、消失する。iii) 30~100keV は、逆に新たに発生・増加する。iv) 電子フラックスの増加と減少を分けるエネルギーの境界値は、普通 100keV~300keV 程度のところにあるが、磁気嵐が大きいくほど、境界は高エネルギーに移る傾向がある。

以上の観測事実は、磁気嵐によって、放射線帯に存在していた高エネルギー電子の消滅が、広いエネルギーに渡って起こるが、それと同時に、中エネルギー電子の補給と加速が同時に起こっていることを、示している。

大きな磁気嵐について、今回、特に注目して調べたが、外帯の 300keV 電子は、スロット領域 ($L=2.5$ 程度) に移動した。30~100keV 電子の注入は、時にスロット領域に近いところまで ($L\sim 3.5$ 付近) まで、及んでいた。

これら中エネルギー~高エネルギー電子を、短い時間で、スロット領域まで移動させるには、非常に大きな磁気圏対流電場の存在が必須で、大磁気嵐に限って、そのような大電場が出現すると思われる。言葉を換えれば、巨大電場の発生が、巨大磁気嵐の原因とも考えられる。

スロット領域に運ばれた電子は、磁気嵐の回復相にて、ゆっくりと放射線帯内帯に移動する。これは、拡散過程と思われる。この状況は、外帯に特徴的なピッチ角分布を持つ注入電子が、内帯に侵入する過程をトレースすることで識別できる。

一方、外帯の中心部 ($L=4$ 付近) には、通常の磁気嵐と同じように、MeV 電子の増加が起こっている。大磁気嵐でも、外帯の変動は、同じように起こっている。

講演では、観測から得られた増加や拡散の時定数を定量的に議論しながら、大磁気嵐における放射線帯電子の挙動の詳細を発表する。

キーワード: 放射線帯電子, 磁気嵐, スロット, 粒子加速, 拡散

Keywords: Radiation Belt Electron, Magnetic Storm, Slot Region, Electron Accerelation, Doffusion

地磁気静穏日変化に見られる超高層大気の長期変動について Long-term variation in the upper atmosphere as seen in the geomagnetic solar quiet (Sq) daily variation

新堀 淳樹^{1*}, 小山 幸伸³, 能勢正仁³, 堀 智昭², 大塚雄一², 林寛生¹, 津田敏隆¹

SHINBORI, Atsuki^{1*}, Yukinobu Koyama³, Nose Masahito³, Hori Tomoaki², Otsuka Yuichi², Hayashi Hiroo¹, Tsuda Toshitaka¹

¹ 京都大学生存圏研究所, ² 名古屋大学太陽地球環境研究所, ³ 京都大学大学院理学研究科付属地磁気資料解析センター
¹RISH, Kyoto Univ., ²STEL, Naogya Univ., ³DACGSM, Kyoto Univ.

電離圏・熱圏領域における中性大気は、太陽放射に起因する熱対流や、太陽、月などの潮汐力によって大規模な運動を行っているが、この運動によるダイナモ作用によって発生する電離圏電流が地磁気静穏日 (Sq) 変化を作ることは古くから知られている。そして、この電離圏電流は、オームの法則から、電離圏電気伝導度、分極電場、および中性大気風の3種類のパラメータに依存する。よって、Sq場の振幅を調べることは、電離圏・熱圏領域におけるプラズマ密度や中性大気風などの長期変動の理解に欠かせない。近年、Elias et al. [2010] は、Apia、Fredericksburg と Hermanus の3観測点でのSq場の振幅が1961年-2001年の約40年間で、5.4-9.9%だけ増加していることを見出した。彼らは、地球磁場の永年変化に伴う電離圏電気伝導度の変化がSq場の振幅の長期トレンドの大部分を決めているが、残りは、地球温暖化ガスの冷却効果による電離圏電子密度増加に伴う電気伝導度の変化であると言及している。しかしながら、Elias et al. [2010] の研究は、以下の3つの問題点を含んでいる。(1) 3観測点だけで得られた2001年までの観測データの長期解析しかしておらず、全球的な変動を捉えるに至っていない。(2) 太陽活動の変動を取り除くのに太陽黒点数を用いていることから、無黒点数の時期が比較的多い太陽活動極小期におけるSq場の振幅と太陽活動との定量的評価ができていない。(3) Sq場の変動の源となる電離圏・熱圏領域における中性大気風の変動を解析していないため、その長期変動によるSq場の振幅への影響が明らかとなっていない。そこで本研究では、2009年度から開始したIUGONETプロジェクト(超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究)から提供される地磁気やMF、流星レーダーで得られた電離圏・熱圏領域における中性風の長期観測データを用いて、電離圏・熱圏大気の長期変動がSq場の振幅へ与える影響を定量的に明らかにすることを目的とする。本解析で使用した観測データは、UV、EUV領域の太陽放射強度の指標としての太陽F 10.7指数、184点の地磁気観測点から得られた地磁気1時間値である。ここで、Sq場の振幅は、地磁気Kp指数の値が1日を通じて4未満である日を選定し、その期間の中で地磁気の最大と最小の差として定義した。解析の結果、全ての観測点で得られたSq場の振幅には、太陽F10.7指数との間に強い相関関係が存在し、典型的な太陽11年活動周期を示していた。また、比較的太陽活動が活発であった19と22サイクル時のSq場の振幅は増加傾向にあるが、逆に太陽活動が比較的の不活発であった20サイクル時では、Sq場の振幅が減少傾向にある。さらに、太陽F 10.7指数とSq場の振幅のフーリエ変換した結果、F10.7フラックスのスペクトルは、5.2、7.5、及び10.5年にピークを持ち、その周期におけるスペクトルのピークは、Sq場の振幅のスペクトルピークの周期に合致していた。これらのスペクトルのコヒーレンスをとると、相関係数が0.8以上の値を持っていることから、これらのSq場の振幅変動は、太陽活動によるものと断定できる。また、Sq場のスペクトルには、太陽F 10.7指数には現れない半年と1年周期にピークが現れており、これは、地球側の変動に起因するものと考えられる。この結果を受けて、太陽F 10.7指数とSq場の振幅から2次の回帰曲線を求め、そこからのずれの経年変動を調べた。その結果、太陽活動を差し引いたSq場の振幅には、約20年ごとに減少と増加の期間が入れ替わる傾向が全ての観測点で見出された。一方、太陽風のエネルギーを駆動源とする極域の2セル対流によって作られる極域Sq(Sqp)変化の振幅の長期変動にも中低緯度のものと同様の傾向が見られた。このことから、Sq場とSqp場の長期トレンドは、地磁気の永年変化や超高層大気の長期変動に伴う電離圏電気伝導度の変化に関係したものと考えられる。よって、このことを実証するために、IRI-2007とMSIS-00モデルから計算される電離圏伝導度の長期変動を調べる必要がある。

キーワード: IUGONET, メタデータデータベース, 解析ソフト, 地磁気日変化, 電離圏電気伝導度, 超高層大気

Keywords: IUGONET, metadata database, Integrated data analysis software, geomagnetic solar quiet daily variation, ionospheric conductivity, upper atmosphere

ひので EIS により観測されたフレア初期相における彩層蒸発速度の温度依存性 Chromospheric evaporation observed with Hinode/EIS: temperature dependent upflow in the impulsive phase

北川 直優^{1*}, 横山 央明¹

KITAGAWA, Naomasa^{1*}, YOKOYAMA, Takaaki¹

¹ 東京大学地球惑星科学専攻

¹Department of Earth and Planetary Science, Univ. of Tokyo

The analysis of a chromospheric evaporation in a M-class flare observed with the EUV Imaging Spectrometer (EIS) onboard *Hinode* was conducted. We report for the first time the dependence on temperature of the chromospheric evaporation in the growing flare loops.

The solar flares are the most energetic phenomena in the solar atmosphere, which release the magnetic energy through magnetic reconnection. The coronal plasma is heated up to a few tens of MK in the slow shocks extended from the reconnection point. In that regime, thermal conduction becomes dominant, and the chromosphere at reconnected flare loops, dense and cool ($T \sim 10^4$ K) plasma experiences impulsive heating by reaching thermal conduction front. The gas pressure of the heated chromosphere suddenly raises to around 10MK, which results in so called *chromospheric evaporation*, fast upflow along the flare loop with the sound speed ($\sim 500 \text{ km s}^{-1}$ at 10MK). This phenomenon has been firstly reported by Antonucci et al. (1982), in which the chromospheric evaporation was detected as the blueshifted component in the emission lines of highly ionized Ca XIX (mainly radiated by a few tens of MK). Although their data has very low spatial resolution, they revealed that the evaporation had occurred at the footpoints of flare loops by using other instruments. In the late 1990's, Czaykowska et al. (1999) firstly reported spatially resolved observation of chromospheric evaporation in the gradual phase observed with the Coronal Diagnostic Spectrometer (CDS) onboard the *Solar and Heliospheric Observatory (SOHO)*, from which the authors reported relatively strong blueshift ($\sim 100 \text{ km s}^{-1}$) of Fe XIX line profiles and the gradient in the Doppler velocity indicating the continuous reconnection. The chromospheric evaporation in the impulsive phase was also observed with *SOHO/CDS* as reported by Teriaca et al. (2003, 2006). They estimated the momentum balance of upflow in the corona and downflow in the transition region, resulting in the good agreement (in the order) which supports the evaporation scenario. Recent observation by *Hinode/EIS* has shown the existence of fast upflow up to 400 km s^{-1} in the Fe XXIII (~ 10 MK) line profiles at the footpoints of flare loops during the early phase of a flare (Watanabe et al. 2010). Fast upflows in the warm line (Fe XVI; 2-3MK) was also discovered in a small B class flare observed with *Hinode/EIS* (Del Zanna et al. 2011). However, the dependence of upflow velocity on temperature has not intensively studied yet.

In this study, we analyzed the ongoing chromospheric evaporation which occurred in the impulsive phase of a M1.2 class flare observed with *Hinode/EIS* on 2011 September 9. This flare had started soon after the filament erupted, followed by the formation of compact flare loops ($L \sim 10,000 \text{ km}$). Investigating the line profiles carefully, we found the enhanced blue wings in hot emission lines (Fe XXIII and Fe XXIV; a few tens of MK) which indicate the upflow from the solar surface of around 400 km s^{-1} . This value is slightly smaller than the sound speed at the temperature of 10MK ($\sim 500 \text{ km s}^{-1}$), which supports the chromospheric evaporation scenario when considering the projection effect. Not only those hot emission lines, other coronal lines at the evaporation site also show the velocities near the sound speed in each formation temperature. The upflow is switched into downflow at several MK, and intriguingly, cooler lines ($\log T < 6.2$) show the downflow near the sound speed as same as the upflow. As a collateral evidence, the density derived by Fe XIV line ratio indicated the density of 10^{11} cm^{-3} , which also supports the evaporation from the dense chromosphere. Fortunately, the EIS spectroscopic slit cut across old and new flare loops simultaneously, which enables us to discuss the temporal evolution of the evaporation flow.

キーワード: 太陽, フレア, 彩層蒸発, ひので, 輝線, ドップラー速度

Keywords: Sun, flares, chromospheric evaporation, Hinode, emission line, Doppler velocity

極域から磁気赤道域にかけて形成される Cowling チャンネル Formation of Cowling channel from Polar to Equatorial Ionosphere

吉川 顕正^{1*}, 大谷 晋一², 中溝 葵³, 魚住 禎司¹, 湯元 清文¹

YOSHIKAWA, Akimasa^{1*}, OHTANI, Shinichi², NAKAMIZO, Aoi³, UOZUMI, Teiji¹, YUMOTO, Kiyohumi¹

¹九州大学 宙空環境研究センター, ²ジョンズホプキンス大学応用物理研究所, ³名古屋大学 太陽地球環境研究所
¹Space Environment Research Center, Kyushu University, ²The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, ³Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

Possible mechanism for formation of global Cowling channel from polar to equatorial ionosphere along the dawn and dusk terminator line is discussed. In our model, the global (primary) Hall current accompanied by the two-cell type convection has divergent component when they cross the conductivity gradient region at the terminator-line and resultant polarization charge are induced along it. The secondary electric field accompanied by this induced charge generates the secondary Hall current, which flows along the terminator line and also diverges when they cross it. The induced secondary charges at the end of equator side produces the electric field along the magnetic dip equator line and becomes the driver of the equatorial electrojet or counter-electrojet components according to the sign of their polarization charge. Resultantly, the global Cowling channel connecting between polar to equatorial ionosphere via the terminator-line and magnetic-dip equator could be formed. This mechanism can be applied to the equatorial electrojet disturbances accompanied by the solar wind variations such as DP2-type magnetic field disturbances and many phenomena associate the equatorial enhancement and depression of the geomagnetic field disturbances.

キーワード: 太陽風, 極域電離圏, 赤道電離圏, カウリングチャンネル, グローバル結合

Keywords: solar wind, polar ionosphere, equatorial ionosphere, Cowling channel, Global coupling

フレアループ上部に発生する高速のプラズマ運動について A High-Velocity Motion of Active Region Loops Triggered by a 2011 Feb 18 Flare

青木 邦哉^{1*}, 原 弘久²

AOKI, Kunichika^{1*}, HARA, Hirohisa²

¹ 東京大学, ² 国立天文台

¹University of Tokyo, ²NAOJ

We report a high-velocity plasma motion near the lop-top region of large-scale active-region loops after the occurrence of the M-class flare at the solar active region NOAA 11158 on 2011 Feb 18.

The motion was detected during the impulsive phase of the M-class flare by the Doppler-shift measurement in Fe XXIV line at 192Å with the Hinode EUV imaging spectrometer (EIS). Hinode/EIS continuously observed this region with a raster scanning mode and a strongly blue-shifted Fe XXIV line was observed in a period of 10:11 to 10:16 UT. We performed a spectral fitting using double Gaussian functions to estimate Doppler velocity and have found that the Doppler velocity near the loop-top region reaches 200-400 km/s.

In order to identify the high-velocity component from the temporal evolution of the coronal structures, we use high-cadence EUV images from Atmospheric Imaging Assembly (AIA) on Solar Dynamics Observatory (SDO), which provides high-resolution full-disk images taken at nine EUV wavelengths bands. The high-velocity motion was clearly recorded in the sequence of images at the AIA 131Å band. Before the appearance of the high-speed plasma, we have found that one of the loops that rose vertically up to ~300 km/s interacted with other loop structures located above it. The configuration between these loops allows the occurrence of a magnetic reconnection in the loop-top region.

We interpreted the high velocity motion in the loop-top region, detected with EIS and AIA, as a bulk motion of reconnected loops toward a relaxed state.

全大気圏-電離圏結合モデル(GAIA)を用いた宇宙天気研究 Whole atmosphere-ionosphere coupled model (GAIA) for space weather research

品川 裕之^{1*}, 陣 英克¹, 三好 勉信², 藤原 均³, 藤田 茂⁴, 田中 高史², 村田 健史¹

SHINAGAWA, Hiroyuki^{1*}, JIN, Hidekatsu¹, MIYOSHI, Yasunobu², FUJIWARA, Hitoshi³, FUJITA, Shigeru⁴, TANAKA, Takashi², MURATA, Ken T.¹

¹ 情報通信研究機構, ² 九州大学, ³ 成蹊大学, ⁴ 気象大学校

¹NICT, ²Kyushu University, ³Seikei University, ⁴Meteorological College

地球周辺の領域である「ジオスペース」は、太陽風、磁気圏、電離圏、中性大気圏からなるシステムである。この領域の現象は、さまざまな時間・空間スケールを持ち、その物理過程も大きく異なっている。特に、磁気圏、電離圏、熱圏の領域はお互いに強く結合しており、領域間の相互作用は非線形で極めて複雑である。さらに、太陽光や太陽風の変動によって、その振る舞いは一層複雑になる。また、近年の観測から、下層大気起源の大気波動や、下層・中層大気の変動の変化などが熱圏や電離圏にまで大きな影響を及ぼしていることも明らかになった。このような複雑な系を理解するには、すべてのジオスペース領域を矛盾無く結合した数値モデルが必要不可欠である。我々のグループは、全大気圏-電離圏結合モデル (GAIA: Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy) を開発し、宇宙空間や地上からの様々な影響を含むさまざまな現象の再現と解析を行っている。我々はすでに、これまで未解明であったいくつかの超高層現象の再現と解明に成功しており、このモデルを次世代の宇宙天気研究 / 予報ツールとして発展させようとしている。本発表では、このモデルの研究例として、(1) 2012年5月21日の金環日食による超高層大気変動、(2) 下層大気現象の電離圏への影響、(3) 下層大気と磁気嵐の擾乱を両方含んだ場合の超高層大気変動、などについての結果を報告するとともに、今後の開発計画を紹介する。

キーワード: 大気圏, 電離圏, 結合, モデル, シミュレーション, 宇宙天気

Keywords: atmosphere, ionosphere, coupling, model, simulation, space weather