

あかつき搭載 LIR を用いた測光観測により得られた金星雲頂温度の時間変動 Temperature variation of the cloud top of Venus obtained by photometry observation by LIR onboard Akatsuki

福原 哲哉^{1*}, 島 侑奈¹, 神山 徹², 今村 剛³, 二口 将彦⁴, 田口 真⁴
Tetsuya Fukuhara^{1*}, Yuuna Shima¹, Toru Kouyama², Takeshi Imamura³, Masahiko Futaguchi⁴, Makoto Taguchi⁴

¹ 北海道大学, ² 産業技術総合研究所, ³ 宇宙科学研究所, ⁴ 立教大学
¹Hokkaido University, ²AIST, ³ISAS, ⁴Rikkyo University

The Japanese Venus Climate Orbiter called Akatsuki was designed to study the meteorology of the Venusian atmosphere, which differs to that of the Earth in composition, density and circulation. Akatsuki was to orbit around Venus in an elongated equatorial orbit with almost the same angular velocity during most of the orbital period as that of the super rotation of the atmosphere at the cloud top altitudes, like a geosynchronous satellite. A 3-D structure of the atmosphere was to be reconstructed by multi-depth imaging using four cameras operating in the mid-infrared to near ultraviolet regions and using the radio occultation technique. The Longwave Infrared Camera (LIR), which mounts an uncooled micro-bolometer array (UMBA), is one of a suite of cameras onboard Akatsuki, designed to take mid-infrared images of Venus with a single band-pass filter of 8.2-12 μm . LIR detects thermal radiation emitted from the layer where the cloud optical depth equals unity. The noise equivalent temperature difference (NETD) of LIR is 0.3 K and absolute temperature can be determined with an accuracy of 3 K. In addition, a cloud tracking technique could retrieve the horizontal wind vector field at the cloud-top height. Unfortunately, Akatsuki failed to enter the orbit because trouble occurred with the propulsion system on December 7, 2010. At present the spacecraft is orbiting the Sun, and it will have a chance to encounter Venus in 2015. During the spacecraft cruising, LIR successfully acquired 52 photometry data of day-side Venus between February and March 2011 at a distance of 1.2-1.7 $\times 10^7$ km. The spatial resolution of LIR and an apparent diameter of Venus being almost equivalent, Venus' disk in the image extends to several pixels that include both Venus and the background radiation. All brightness pixels that included Venus were summarized and the background radiation component were removed from them to estimate a Venus' brightness component. Furthermore, it has been converted to the brightness temperature by using calibration data acquired in the laboratory before the launch and brightness temperature variation of the disk have been obtained. However, the discrete data set has large data gaps. Then, the Lomb-Scargle periodogram, which is better suitable than Fast Fourier Transform, has been applied and been obtained a spectrum. The result shows spectrum peaks at 5-day and 8-day period. The 5-day period may be caused by the super rotation, and the 8-day period may be a planetary-scale wave that has the phase velocity of ~ 50 m/s.

キーワード: 金星大気, あかつき, LIR
Keywords: Venus, atmosphere, Akatsuki, LIR

金星探査機 Venus Express から明らかにする金星雲もや層の描像 Study of the Venus cloud upper haze

高木 聖子^{1*}, Arnaud Mahieux², Valerie Wilquet², AnnCarine Vandaele², 岩上直幹¹
Seiko Takagi^{1*}, Arnaud Mahieux², Valerie Wilquet², AnnCarine Vandaele², Naomoto, Iwagami¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ²Belgian Institute for Space Aeronomy

¹Graduate School of Science, the Univ. of Tokyo, ²Belgian Institute for Space Aeronomy

過去の金星観測により、金星雲・上部もや層（高度 70-90 km）の存在は確認されているものの、その知見は 40-70 km に存在する硫酸雲に比べて格段に少ない。「もや層とは 70 km 以下の雲の上にある光学的に薄い領域」という共通認識がある他は、もや層に働く物理・化学やもやの正体など、不明な点は数多い。現状では金星雲全体を理解しているとは到底言えず、長年謎の雲生成・維持メカニズム解明のための材料が欠如している。金星探査機 Venus Express (ESA, 2006 年よりデータ取得) に搭載された赤外分光計 Solar Occultation at InfraRed (SOIR) は、太陽掩蔽法によりあらゆる緯度・経度において高度 60-220 km の金星大気・雲を継続的に観測している。金星雲全体の生成・維持メカニズム解明を将来目標に、もや層の描像を明らかにすることが本研究の目的である。

本研究では 2006-2009 年までの SOIR データを取得・解析し、もや層の消散係数高度分布と特定高度における消散係数時間変動、もや混合比と特定高度における混合比時間変動を導出した。その結果、高度 90 km 以上では鉛直拡散よりもやの生成が支配的であることが明らかになった。また、高度 70-90 km ではもやの生成より鉛直拡散が支配的であることが明らかになった。各高度におけるもやの生成・消失量は 1 次元拡散方程式を解き見積もった。過去示された SO・SO₂ 混合比高度分布・時間変動・緯度分布 (Belyaev et al., 2012, Marcq et al., 2008) と本研究との比較から、もやには硫化物が含まれていることが推測された。

キーワード: 金星, 雲, Venus Express, SOIR

Keywords: Venus, cloud, Venus Express, SOIR

偏光撮像装置 HOPS で探る金星上層ヘイズ Venusian upper hazes observed by Imaging-Polarimetry system HOPS

榎本 孝之^{1*}, 佐藤 毅彦², 仲谷 善一³, 中串 孝志⁴, 佐藤 隆雄⁵, 大月 祥子⁶, 細内 麻悠⁷

Takayuki Enomoto^{1*}, Takehiko Satoh², NAKATANI, Yoshikazu³, Takashi Nakakushi⁴, Takao M. Sato⁵, Shoko Ohtsuki⁶, Mayu Hosouchi⁷

¹ 総合研究大学院大学, ² 宇宙航空研究開発機構, ³ 京都大学, ⁴ 和歌山大学, ⁵ 情報通信研究機構, ⁶ 専修大学, ⁷ 東京大学
¹ Grad. Univ. Advanced Studies, ² Japan Aerospace Exploration Agency, ³ Kyoto University, ⁴ Wakayama University, ⁵ NICT, ⁶ Senshu University, ⁷ University of Tokyo

金星上層大気中存在する微粒子によって散乱される光の偏光を観測することで、その物理パラメータを抽出することが出来る。Kawabata et al. [1980] は Pioneer Venus Orbiter (PVO) 搭載の Orbiter Cloud Photopolarimeter (OCPP) データを用いて金星面の偏光度マップを取得し、極域に多量のヘイズ粒子が分布していることを突き止めた。その後の観測によって、Kawabata [1987] や C. J. Braak et al. [2002] はヘイズの光学的厚さが時間に伴って急減していたことも報告している。ヘイズや雲の変動は、太陽光吸収の緯度バランス、大気運動を変える可能性がある。

OCPP で得られる 2 次元偏光マップは、過去の地上観測では行えなかったローカルな特徴を選択的に抽出することを可能にした。我々は OCPP と同様に 2 次元偏光度マップを取得出来る惑星専用の撮像装置 HOPS (Hida Optical Polarimetry System) を開発し、金星上層ヘイズのモニターを目的とした観測を行っている。

HOPS は Wollaston プリズムと半波長板を組み合わせた光学系からなり、観測波長は 930, 647(650), 548(546), 438nm である。観測は半波長板の位置角を 0° から 22.5° おきに变化させ、計 4 回の撮影で 1 セットとしている。これらのデータの演算により「装置の感度」「大気透明度」の影響を取り除き、直線偏光度を精度良く求めることが出来る。しかし、各撮影時間中に地球大気の揺らぎによる影響を受け、位置合わせや偏光度の演算に誤差を生じさせることは惑星のように高い分解能を要する観測では問題となる。

2012 年 5, 8, 10 月に京都大学飛騨天文台にて観測を行った。観測時の金星の太陽位相角はそれぞれ約 128, 85, 58 度、視直径は 42, 21, 14 秒角である。65cm 屈折望遠鏡を通して CCD 面上に投影される像は 1pix あたり 0.3 秒角程度となり、8 月の金星視直径約 21 秒角を観測した際には、直径は約 70pix になった。このスケールで偏光度マップを得られれば、PVO と同様にローカルな特徴を十分に抽出できる。

観測結果のクイックルックとして、Kawabata et al. [1980] に示された偏光度との比較を観測波長の近い 548nm と 930nm のデータに関して行った。548nm での全面偏光度は過去の観測と整合的であるが、930nm での PVO データが -2 ~ -1% であるのに対し、-3 ~ -2% と負の偏光度がやや強い傾向であった。赤道域と極域のそれぞれについて偏光度を比較すると、極域の偏光度は PVO データよりも負の偏光度が強いことが分かり、このことが全面偏光度を相対的に低くしたと考えられる。これらの値は 1960 年代の地上観測データよりも負の偏光が弱く、PVO 金星到達時の状況に近いヘイズ分布の可能性を示唆するものであると言える。

今後はさらに多くの位相角について観測を行っていく計画である他、定量的な評価を行うために偏光を含む放射伝達計算コードを開発中である。

キーワード: 金星, ヘイズ, 2 次元偏光観測, 地上観測

Keywords: Venus, Haze, Imaging-Polarimetry, Ground-based observation

Latitudinal cloud structure in the Venusian northern hemisphere evaluated from VEX/VIRTIS with GCM Latitudinal cloud structure in the Venusian northern hemisphere evaluated from VEX/VIRTIS with GCM

黒田 壮大¹, 黒田 剛史¹, 笠羽 康正^{1*}, P. Drossart², G. Piccioni³, 池田 恒平⁴, 高橋 正明⁵

Morihito Kuroda¹, Takeshi Kuroda¹, Yasumasa Kasaba^{1*}, P. Drossart², G. Piccioni³, Kohei Ikeda⁴, Masaaki Takahashi⁵

¹ 東北大, ²Observatoire de Paris, ³INAF-IAPS, ⁴JAMSTEC, ⁵Univ. Tokyo

¹Tohoku Univ., ²Observatoire de Paris, ³INAF-IAPS, ⁴JAMSTEC, ⁵Univ. Tokyo

The latitudinal characteristics of Venusian northern cloud, i.e. opacity, top temperature and top altitude are evaluated from the Venus Express/VIRTIS observations. The cloud optical thickness in the polar region (~65 degN) is ~1.5 times larger than in middle latitudes. It suggested that in the polar region the amount of cloud particles is larger or the properties of cloud particles are different. The averaged cloud top temperature is uniform in 0 - 40 degN (232±2 K), gradually decreases north to 70degNN (223±5 K), and increases again to north pole (233±6 K). On the other hand, the averaged cloud top altitude is monotonously decreasing from equator (68.2±1.6 km) to north pole (58.3±1.0 km). Since the cloud top altitude sharply decreases beyond the polar region (~65 degN), the structure of Venusian polar vortex is affected by the decreasing of cloud top. The abundance of carbon monoxide under the cloud layer was measured using Band Ratio Technique constructed by Tsang et al. (2009). As a result, the mixing ratio increases from 16±3 ppm at equator regions to 24±5ppm at 70 degN, and it decreases to 19±5 ppm at 80 degN. Furthermore, there is a negative correlation between the CO abundance and cloud top temperature, and the peak of CO abundance is located in the cold collar regions (~70 degN). Since CO under the cloud is transported from the upper layer, the CO enhancement in the cold collar can be interpreted the down-welling region of planetary-scale circulations, i.e., the Hadley-Circulation. We tried to evaluate the suggestion with a Venusian General Circulation Model (GCM). As a result, the cloud top altitude is monotonously decreasing from equator (67.3 km) to north pole (59.3 km) and the cloud top temperature is almost same from equator to 40o N (234 K), and gradually decreasing to 70 degN (228 K), and increasing toward north pole (242 K) again. In addition, the mean meridional stream-function indicates the existence of down-welling of Hadley-Circulation at the cloud top regions around 70 degN. It can be interpreted that the Venusian polar vortex structures (polar dipole and cold collar) seen from infrared wavelength are created from decreasing of cloud top due to the Hadley-Circulation.

キーワード: 金星, 雲, 高度, 緯度, Venus Express, GCM

Keywords: Venus, Cloud, altitude, latitude, Venus Express, GCM

硫酸雲輸送/蒸発/凝縮過程の金星 GCM への導入

Development of a sulfuric acid cloud transfer/condensation/evaporation scheme in a Venusian GCM

加藤 史也^{1*}, 新田光², 黒田剛史¹, 黒田壮大¹, 笠羽康正¹, 高橋正明²Kato Fumiya^{1*}, NITTA, Akira², KURODA, Takeshi¹, KURODA, Morihiro¹, KASABA, Yasumasa¹, TAKAHASHI, Masaaki²¹ 東北大学, ² 東京大学¹Tohoku University, ²University of Tokyo

我々は金星中層大気の大気循環および化学過程とそれらの放射効果が大気力学に及ぼす影響について、金星大気大循環モデル (Venus General Circulation Model, VGCM) を用いた研究に着手している。本発表では Ikeda [2011] により開発された VGCM に硫酸雲の蒸発/凝縮過程を導入し、硫酸雲量の緯度・高度分布について観測と整合する計算結果が得られたので、それを中心に紹介する。

金星の高度約 50-70km に存在する硫酸雲は、放射効果により金星の垂直・水平温度構造に大きな影響を与えうる。この硫酸雲は、SO₂ が O や H₂O と反応して H₂SO₄ となり、これが雲粒 (硫酸エアロゾル) となることで生成される。過去の観測結果によると、硫酸エアロゾルはその粒径の大きさによって 4 つのモードに分類でき、粒径が小さい順にモード 1 (0.3 μm)、モード 2 (1.0 μm)、モード 2' (1.4 μm)、モード 3 (3.56 μm) とされている [Crisp, 1986]。モード毎に鉛直分布や熱の吸収効率が異なり、その緯度・高度分布を数値モデルで再現することは、金星大気の大規模循環を再現するための重要な要素となる。

我々は、Ikeda[2011] が地球の大気大循環モデル CCSR/NIES/FRCGC AGCM をもとに開発した VGCM を用いて金星大気の大気循環の研究を進めている。このモデルは、緯度方向に 32 個、経度方向に 64 個の格子点を持ち、鉛直方向を 52 層 (地表から高度 95km まで) に区切り、物理過程と化学過程を求めており、現実の金星大気で観測されたスーパーローテーションやハドレー循環を含む東西・南北風の再現に成功している。なお現段階のモデルでは、大気の放射加熱・冷却効果は Crisp[1986] および Pollack et al. [1993] の定義に基づき鉛直・水平方向に固定的に仮定された雲および分子の分布をもとに計算されており、変化する雲分布と整合する放射効果の導入、雲形成に係る光化学過程等の導入は今後の課題である。

このモデルを用いて、Kuroda et al. [2013] では、各モードの硫酸エアロゾルをトレーサーとして導入し、大気大循環と重力沈降によるそれらの動きを追跡した。この数値実験では、小さな粒子 (モード 1,2) については高度分布が平衡状態に達するものの、大きな粒子 (モード 2',3) については重力沈降が卓越するため、1 金星日分計算すると高度 30km 付近まで高度分布のピークが下降してしまい、観測とかけ離れた結果になっていた。

このため本研究においては、このモデルにさらに硫酸の蒸発や凝縮の過程を含め、低高度の高温環境下での硫酸エアロゾルの蒸発と、上空での硫酸雲の凝縮を再現した。

この蒸発/凝縮過程は、硫酸の飽和蒸気圧曲線 [Ayers, 1980] を基にして計算されており、各地点における飽和質量混合比と、モデル内の質量混合比とを比較して、蒸発/凝縮を、次のような簡潔な仮定の下で決定している。すなわち、飽和質量混合比に対して、モデル内の質量混合比が過飽和であれば過飽和分を硫酸エアロゾルとして瞬時に凝縮させ、また未飽和であればその地点に存在する硫酸エアロゾルを瞬時に蒸発させる、というものである。前者において生成される硫酸エアロゾルは、観測 Crisp[1986] にもとづいた、各モードの高度ごとの存在比に準拠させて、4 つのモードに分配している。また後者においては、潜熱が生じて温度場に影響を与えるため、その温度変化を逐次近似法で求めることにより、計算過程にとりこんでいる。

この改良の結果、概ねどの緯度でも高度 50 km 以下ですべてのモードの硫酸粒子が蒸発するようになる。1 金星日分 (約 117 地球日) の経過後、モード 3 粒子は高度約 50 km で安定して存在するようになった。

またモード 2 粒子において、蒸発/凝縮過程を導入していないモデル [Kuroda et al., 2013] と比較したところ、赤道から中緯度にかけて高度 60-80km での硫酸エアロゾルの量が大きく減少し (質量混合比にして最大で -4.87×10^{-7} kg/kg)、一方全域で高高度 (80km 以上)、高緯度では高度 60km 付近において、硫酸エアロゾルの量が増加した (最大で $+4.37 \times 10^{-7}$ kg/kg)。これは、硫酸エアロゾルがより高温の赤道中層大気周辺で蒸発し、ハドレー循環により高高度領域や両極付近へ輸送されたうえで再凝結する過程が見えているものであると考えられる。これらの結果はいずれも観測と整合するものであり、より現実的になったと言える。

我々は今後、より観測結果に近い雲の緯度・高度分布の再現を目的とし、モデルの改良を行っていく。本発表においては、放射過程と雲形成に係る化学過程までを含めた計算結果の紹介を行う予定である。

キーワード: 金星, GCM, 硫酸雲, 大気物質循環

Keywords: Venus, GCM, sulfuric acid cloud, atmospheric material transport

地上観測による金星 O₂ 大気光層温度分布 Temperature distributions in the Venus O₂ night airglow layer by ground-based observations

大月 祥子^{1*}, 岩上 直幹², Severine Robert³
Shoko Ohtsuki^{1*}, Naomoto Iwagami², Severine Robert³

¹ 専修大学, ² 東京大学, ³ Belgian Institute for Space Aeronomy

¹ Senshu University, ² University of Tokyo, ³ Belgian Institute for Space Aeronomy

Venus 1.27-micron O₂ night airglow can be used as a probe of chemistry and dynamics at around 95 km. The enhanced rotational temperature at around the anti-solar point found from the O₂ airglow has been supposed to indicate the evidence of downflow. However, the nightside temperatures at 90-100 km found by SPICAV/VEX differ from those by the airglow.

We conducted 5-days monitoring observation of the airglow to detect the planetary-scale waves with CSHELL/IRTF from 11-15 July 2012. The 1.27-micron O₂ night airglow in the Venus atmosphere can pass through the Earth's atmosphere with a help of the Doppler shift. We obtained spectral image cubes at the wavelength of R-branch of the airglow band, which includes several rotational lines. In order to cover spectral information continuously, a slit drifted across Venus' nightside disk. The spatial resolution of the image is governed by seeing. The typical seeing was 0.6'' to 1.5'' in our observing run and corresponds to 200-450km at the center of Venus' disk. Under such conduction, we may detect airglow structures of small scales due to atmospheric waves; this is smaller than the region of enhanced airglow having a horizontal scale of ~3000km. We can also derive the hemispherical distribution of the rotational temperature. To coincide with our observations, SOIR/Venus Express stellar occultations were conducted. We can try to compare our horizontal temperature map and vertical temperature profile from SOIR data.

キーワード: 金星大気, 大気光, 地上観測

Keywords: Venus atmosphere, airglow, ground-based observation

火星大気中における短周期重力波および音波の伝搬特性 The propagation characteristics of short-period gravity waves and acoustic waves in the Martian atmosphere

渡邊 歩佳^{1*}, 今村 剛²
Ayuka Watanabe^{1*}, Takeshi Imamura²

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 宇宙科学研究所

¹Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ²Institute of Space and Astronautical Science

周期が浮力振動数前後の短周期の重力波や音波の観測は一般に困難である。そのため、観測データを比較的得やすい長周期の波に比べ、理論的にも観測的にもそのような短周期の波に関する研究はあまりなされていない。しかし、短周期の波は長周期の波に比べて分子拡散による影響が小さいため、より高い高度まで到達することができる。たとえば熱圏でそのような波が消散する際に背景大気にエネルギーを供給し、大気構造に影響を与えることが考えられる。

今回は火星の大気を想定して計算をおこなった。火星では大気ダストが太陽光を吸収し熱源となることが知られている。近年、ダストによる太陽光吸収が短い時間スケールで大気を暖めて高い高度へダストを輸送する現象が重要であることが指摘されている。そのようなイベントにともなって短周期の重力波や音波が励起されて上層へと伝搬することが考えられる。そこで、それらの波が熱圏高度まで伝搬して大気へ与える影響を調べるべく、火星大気における短周期重力波および音波の伝搬特性を非静力学の線形モデルにより調べた。

キーワード: 音波, 重力波, 火星大気

Keywords: acoustic waves, gravity waves, Martian atmosphere

火星電離圏撮像に関する実現可能性について Feasibility study of the Mars ionospheric imaging

山崎 敦^{1*}, 中川 広務², 坂野井 健³, 田口 真⁴

Atsushi Yamazaki^{1*}, Hiromu Nakagawa², Takeshi Sakanoi³, Makoto Taguchi⁴

¹ 宇宙研, ² 東北大, ³ 東北大 PPARC, ⁴ 立教大

¹ISAS, ²Tohoku Univ., ³PPARC/Tohoku Univ., ⁴Rikkyo Univ.

The planetary atmospheric escape to the outer space is a universal phenomenon for planets, and the escape flux will determine the atmospheric evolution of each planet. Mars of the non-magnetized planet has dry and tenuous atmosphere, and it is a severe environment for the survival of living matter. The observations of the recent Mars Express (MEX) spacecraft have shown that the molecular ion, whose outflow flux is very small conventionally, is escaped in large quantities. In addition, it is pointed out that there is possibility for low energy ions less than a few eV to be escaped. The quantity of escape rate of the atmosphere is one of indispensable values for the study of atmospheric evolution, but it is a physical amount to have the big error. It is caused by the fact that the physical mechanism to cause the escape of the molecular ions and low energy ions is not understood. Many physical mechanisms to the atmosphere escape derived by the solar wind and the solar radiation are suggested, including ionospheric ion outflow, ion pickup, sputtering, Jeans escape, and the outflow caused by the photochemical reaction.

We study possibility of the imaging observation instruments to obtain the two-dimensional structure that has not yet been performed for identification of these scatter mechanism until now. In particular, it is one of aims to catch the two dimensional structure of the ionopause where ionospheric ions escape. A fact that emission intensity of the outflow is very low and the albedo of the main body of Mars is very strong as a stray light, is a reason for the very difficult observation. However, because this observation method is thought as an instrument bringing a breakthrough for study on atmospheric evolution, and because it is predicted that it is an essential technique to future planetary probe, we started the research and development of the basic technology. In this paper an optics design of Mars ionosphere observation equipment is argued for example, and it is hoped that it is a beginning of the universal technique to detect the faint emission around the bright light source.

キーワード: 火星電離圏, 撮像観測, 大気散逸, 大気進化

Keywords: Mars ionosphere, Imaging observation, Atmospheric escape, Atmospheric evolution

太陽風-非磁化惑星相互作用の多流体 MHD シミュレーションコードの開発 Development of multi-fluid MHD simulation code of interaction between the solar wind and unmagnetized planets

小山 響平^{1*}, 関 華奈子¹, 寺田 直樹², 寺田 香織²
Kyohei Koyama^{1*}, Kanako Seki¹, Naoki Terada², Kaori Terada²

¹名古屋大学太陽地球環境研究所, ²東北大学大学院理学研究科

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ²Graduate School of Science, Tohoku University

固有の磁場を持たない非磁化惑星においても、太陽風磁場のドレーピングにより誘導磁気圏が生じる。このドレープした磁場でのイオンの加速、太陽風磁場の電離圏中への染み込みと電離圏イオンの剥ぎ取りに代表される太陽風誘導散逸機構が、非磁化惑星の大気散逸において重要な役割を果たしていると考えられている。惑星大気の散逸は、大気の進化と維持に関する重要な現象であり、グローバルな散逸過程を理解するには数値シミュレーションによる研究が有効な手段である。先行研究の太陽風と非磁化惑星の上層大気との相互作用のシミュレーションではハイブリッドや MHD コードが広く用いられているが、Mars Express で観測された分子イオンの散逸 [Carlsson et al., Icarus, 2006] や、O⁺と H⁺の速度差 [Lundin and Dubinin, ASR, 1992] など、実際の観測結果を良く説明できるモデルは未だ開発されていない。非磁化惑星周辺における多種イオンのダイナミクスを数値的に再現するには、複数のイオン種をそれぞれの流体としてとらえる多流体 MHD (Multi-Fluid MHD) 近似が有効である。とくに Multi-Fluid MHD は ion-ion collision を方程式に含むので、イオン同士の衝突が電離圏の対流に与える影響を数値的に解くことが期待できる。本発表では [Terada et al., JGR, 2009] と [Najib et al., JGR, 2011] を参考に開発中の Multi-fluid MHD モデルについて、定式化と初期結果を報告する。

キーワード: 非磁化惑星, 電離圏, 多流体シミュレーション

Keywords: unmagnetized planet, ionosphere, multi-fluid simulation

SPRINT-A/EXCEEDのミッションデータ処理と指向制御 Mission data processing and attitude control of the SPRINT-A/EXCEED mission

土屋 史紀^{1*}, 山崎 敦², 坂野井 健¹, 上水和典³, 吉岡 和夫², 村上 豪², 笠羽 康正¹, 鍵谷 将人¹, 吉川 一朗⁴
Fuminori Tsuchiya^{1*}, Atsushi Yamazaki², Takeshi Sakanoi¹, Kazunori Uemizu³, Kazuo Yoshioka², Go Murakami², Yasumasa Kasaba¹, Masato Kagitani¹, Ichiro Yoshikawa⁴

¹ 東北大学, ²ISAS/JAXA, ³ 国立天文台, ⁴ 東京大学

¹Tohoku University, ²ISAS/JAXA, ³NAOJ, ⁴The University of Tokyo

The mission data processing and attitude control of extreme ultraviolet (EUV) spectroscopy (EXCEED) onboard the SPRINT-A satellite are presented. SPRINT-A is an earth-orbiting extreme ultraviolet spectroscopic mission being developed by ISAS/JAXA. Two mission instruments are installed in EXCEED, an EUV spectrograph and a target guide camera, and the final quantification of them has been completed in the beginning of 2013. It is planned to launch on August 2013 and will begin observation of Venus and Jupiter on October. Collaboration with Hubble Space Telescope is approved on January 2014. The target guide camera is designed to capture a part of a target planet disk whose light is reflected from the front side of a slit. Mission data processor (MDP) acquires the image every 3 seconds, calculates the centroid position of the disk on the image, and sends it to the attitude control system. While the pointing accuracy of the bus system is at most 2 arc-minutes, scientific requirement for spatial resolution is 10-arcsec to derive radial structure of Io plasma torus and detect plasma emissions from ionosphere, exosphere and tail separately (Venus and Mars). The attitude control system keeps the centroid position with an accuracy of 10 arc-seconds to achieve the spatial resolution required. This pointing correction algorithm is applied to correct slow changes in the pointing direction which is mainly caused by changing thermal input from the sun and earth to the satellite. Though vibrations from reaction wheels installed in the bus system could cause random pointing error, the amplitude is estimated to be 1 arc-second for SPRINT-A. To test the centroid calculation algorithm, a small pinhole image was taken by the guide camera with flight-model optical layout. The size and brightness of the pinhole were equivalent to those of Jupiter. Changing the pinhole position, acquiring and processing of the image and centroid calculation were repeated many times. The designed algorithm has been confirmed to work well and the stability of the centroid position was found to be less than 0.3 arc-second. Final interface test between EXCEED and attitude control system is planned on March 2013.

ガリレオ探査機の観測に基づくガニメデ周辺のプラズマ環境の研究 Study of the plasma environment near Ganymede by the Galileo spacecraft observation

渡辺 真矢^{1*}, 小野 高幸¹, 熊本 篤志¹, 加藤 雄人¹
Shinya Watanabe^{1*}, Takayuki Ono¹, Atsushi Kumamoto¹, Yuto Katoh¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

¹Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

ガニメデは木星の衛星の一つで、太陽系で唯一固有磁場を持つ衛星として知られている。また、木星の磁気圏内を公転しているため、およそ10時間の周期で共回転する木星磁気圏プラズマが、176 km/sの相対速度で常にガニメデに吹き付けている。そのため、ガニメデ磁気圏と木星共回転プラズマとの相互作用により、ガニメデ周辺には特殊なプラズマ環境が実現されていると考えられる。

ガニメデの磁気圏やプラズマ環境の研究は行われているものの、磁気圏とプラズマの相互作用やガニメデの磁気圏の様相には未解明の点が多く残されている。

本研究では、ガリレオ探査機に搭載された Plasma Wave Subsystem (PWS) と Magnetometer (MAG) の観測結果を用いて、ガニメデ周辺のプラズマ波動の解析を行った。ガニメデ磁気圏内のいくつかの波動の中でも特に Upper-hybrid resonance(UHR) 周波数に注目し、全6回のガニメデフライバイのうち UHR 波動が明瞭にみられた4回の観測結果(G01,G02,G07,G29)を解析し、UHR 周波数を同定した。さらに、得られた UHR 周波数の解析結果と、MAG の観測結果から求めた電子サイクロトロン周波数 f_{ce} を用いてガニメデ磁気圏内の電子密度の空間分布を求めた。ガニメデ磁気圏内の f_{ce} はおよそ5~20 kHzであった。その結果、 f_{UHR} はおよそ20~100 kHzで、ガニメデに近いほど大きい値を取り、ガニメデに最も接近した G02 の高度264 km 付近での電子密度はおよそ200 cm⁻³ になると見積もられた。

また、ガニメデのまわりの磁力線は、(1) 両端がガニメデに繋がる磁力線 (closed)、(2) 一端は木星でもう一端がガニメデに繋がる磁力線 (partially closed)、(3) 両端が木星に繋がる磁力線 (open) の三種類に分類することができる。MAG の観測結果とガリレオ探査機の軌道から磁力線の空間構造を推定し、磁力線の各領域で考えられる電子の分布やプラズマ波動について、過去のシミュレーション研究を参考に考察する。さらに、PWS の高時間・高周波数分解能の10 kHzモードの waveform data を解析し、同定された電子密度分布のより詳細な空間構造についての解析を試みる。これらの結果に基づき、太陽風と惑星との相互作用や、固有磁場を持つ惑星とその衛星との相互作用と比較することで、ガニメデの特徴を議論する。

キーワード: ガニメデ, 木星, プラズマ波動, 磁気圏

Keywords: Ganymede, Jupiter, plasma waves, magnetosphere

木星シンクローン放射の短期変動：磁気圏変動現象との関係 Short-term variation of Jupiter's synchrotron radiation: Their relation with the magnetospheric events

三澤 浩昭^{1*}, 水口 岳宏¹

Hiroaki Misawa^{1*}, Takahiro Mizuguchi¹

¹ 東北大学惑星プラズマ・大気研究センター

¹ Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Tohoku University

It is known that Jupiter's synchrotron radiation (JSR) has information on dynamics of the deep inner magnetosphere. Our Tohoku University group has implied that Jupiter's synchrotron radiation in several tens MHz sometimes shows rapid flux variations (RFV) by more than several tens % within a few to several days. It is quite difficult to explain its physical process by present theories on particle transport, such as radial diffusion because of their too fast change. This phenomena recalls the fast particle acceleration and transport in the earth's magnetosphere during substorm events. It is already confirmed that there are substorm like events also in Jupiter's magnetosphere, however, and it has not been revealed whether the events affect the deep inner region.

In order to reveal unknown dynamics of the RFV events in JSR, we have tried to investigate relationship between the RFV events and electromagnetic phenomena in Jupiter's magnetosphere. We have surveyed plasma and magnetic field data observed by Galileo. For searching the RFV events, we have used the daily JSR monitoring data at 327MHz observed using the large radio telescopes of STE Lab, Nagoya University. In this presentation, we show some results of characteristics of the RFV events and make preliminary discussion on their origin.

キーワード: 木星, シンクローン放射, 短期変動, 放射線帯, サブストーム

Keywords: Jupiter, synchrotron radiation, short-term variation, radiation belt, substorm

木星低緯度領域におけるオーロラ放射の出現特性 Occurrence characteristics of Jovian auroral emissions in the low-latitude region

山本 和幸¹, 三澤 浩昭^{1*}, 土屋 史紀¹, 小原 隆博¹

Kazuyuki Yamamoto¹, Hiroaki Misawa^{1*}, Fuminori Tsuchiya¹, Takahiro Obara¹

¹ 東北大・理・惑星プラズマ大気

¹Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.

木星は巨大な磁気圏を持ち、極域にはオーロラ発光が存在する。この中で、main oval と Io footpath の間の領域で定義される低緯度領域には、明るいパッチ状のオーロラや、main oval から Io footpath 付近まで伸びた extended オーロラが主に昼過ぎのローカルタイムでみられることがある。この領域のオーロラ活動は内部～中間磁気圏の活動を反映していると考えられるが、どのような磁気圏活動が低緯度オーロラ発光に寄与しているかについての研究は十分にされていない。そこで、本研究はハッブル宇宙望遠鏡 (HST) や NASA の InfraRed Telescope Facility (IRTF) による紫外域や赤外域の観測データを用い、低緯度オーロラの変動特性や出現要因を探ることで、内部～中間磁気圏の活動様相を明らかにすることを目的として実施された。

2007年に行われた HST による木星紫外オーロラのキャンペン観測のデータから、低緯度オーロラは数 10 時間に渡って継続して出現する可能性があること、さらに、時間の経過に伴いシステム 経度の正方向、すなわち共回転から遅れる方向へ、発光域が移動していた可能性があることが示唆された。また、この移動速度は、紫外オーロラ発光に寄与する降下電子の典型的なエネルギーから想定される磁気ドリフトだけでは説明出来ないことも示された。Voyager や Galileo による磁気圏プラズマの直接計測から、内部～中間磁気圏におけるプラズマのバルク速度は共回転速度と比べて数%～十数%ほど遅いことが示されている。この値は本研究で見積もられた extended オーロラの遅れの観測値に近い値であることから、観測された低緯度オーロラの共回転からの遅れは、対象域の木星磁気圏のプラズマ固有の共回転からの遅れを主に反映したものである可能性が高いと考えられる。

また、低緯度オーロラの出現要因を調べるため、Galileo が磁気圏周回探査を行っていた期間について、Galileo の磁気圏データと NASA/IRTF の赤外オーロラ観測データの照合を行い、両者の関係を探った。Mauk et al. [Nature, 2002] では、injection 現象と対応するパッチ状の低緯度オーロラ発光の出現が 1 例紹介されている。本研究では、低緯度オーロラ出現と、injection 現象、injection 現象の出現と相関を持つとされるガリレオ衛星の位置や太陽風動圧、また、nKOM 現象との対応を検証した。赤外オーロラ観測では、1995年～2004年の計 53 日の観測機会に対し、4 例の低緯度オーロラ現象が認められた。しかし、Galileo の直接計測データとの照合では、injection 現象についてはこの 4 例は何れもデータ欠損のため直接的な関係を調べることができず、またそれ以外の現象についてはいずれも明確な対応は確認されなかった。HST の紫外オーロラ観測から同定した低緯度オーロラの継続時間は数日程度であることが示唆されたが、injection 現象の典型的な継続時間は高々 12 時間程度であると報告されており、その点において injection との関連性は低い可能性がある。このことも考え合わせると、低緯度オーロラには injection 現象に依らないコンポーネントも存在する可能性が新たに示唆される。この新コンポーネントの出現要因の同定は将来の観測・解析における課題となる。

[謝辞] HST により観測された紫外オーロラデータはボストン大学の J. T. Clarke 教授により提供された。また、NASA/IRTF により観測された赤外オーロラデータは JAXA/ISAS の佐藤毅彦教授により提供された。両者に対し、ここに深く謝意を表す。

キーワード: 木星, 木星磁気圏, オーロラ, インジェクション

Keywords: Jupiter, Jovian magnetosphere, aurora, injection

木星デカメータ電波 S バーストの繰り返し周期の統計解析 Statistical analysis of the repetition frequency of S-bursts of Jovian decametric radiation

柿本 優¹, 熊本 篤志^{1*}, 小野 高幸¹, 加藤 雄人¹, 三澤 浩昭¹
Suguru Kakimoto¹, Atsushi Kumamoto^{1*}, Takayuki Ono¹, Yuto Katoh¹, Hiroaki Misawa¹

¹ 東北大学大学院理学研究科

¹Tohoku University

Repetition frequency of S-bursts of Jovian decametric radiation has been statistically analyzed based on the datasets of ground-based observations performed at the observatories of Tohoku University since 1985. In the Jovian magnetosphere, the radio waves are generated in decametric wavelength range due to the interactions between the rotating magnetic field and the satellite Io. Among them, the S-bursts are intense emissions which show quasi-periodic frequency drift on a time scale of msec. The typical repetition frequencies are within 2-400 Hz [Carr and Reyes, 1999]. Based on the studies of the Earth's ionospheric Alfvén resonator (IAR), Ergun et al. [2006] proposed that the periodicity of the S-bursts was caused by the Jovian IAR. According to the hypothesis, it is expected that the repetition frequency of S-bursts and IAR increase as the solar zenith angle at the Io footprint increases and plasma density in the Jovian ionosphere decreases. In order to verify the Jovian IAR hypothesis, we have analyzed repetition frequency of S-bursts.

We have analyzed datasets obtained by ground-based observations performed at the observatories of Tohoku University since 1985. The datasets obtained by new HF receiver system installed at Yoneyama observatory (141.2E, 38.6N) in 2012 are also utilized in the analyses. The frequency range, frequency and time resolutions of the new HF receiver system were 21.5 - 37 MHz, 1.2 kHz, and 0.8 msec, respectively. As a result of the statistical analysis of the datasets since 1985, it was found that the repetition frequency of S-bursts decreases as the increase of solar zenith angle at the Io footprint on the Jovian ionosphere. The result was opposite to the expectation. Some previous studies reported that the activity of the Earth's aurora depends on the solar zenith angle in the ionosphere [Newell et al., 1997]. They explained that it was because the growth of the feedback instability in IAR depended on the conductivity of the ionosphere. If the auroral electron precipitations increase in Jovian IAR when the solar zenith angle increase just as in the Earth's IAR, we can expect that the repetition frequency of S-burst decreases due to the increase of the plasma density and the temperature in the ionosphere.

Keywords: Jovian decametric radiation, S-bursts, Ionospheric Alfvén resonator, Solar zenith angle dependence, Jovian ionosphere, Feedback instability

エンケラドストラス [OI] 630nm 発光の時間変動 Time variability of [OI] 630nm emission from Enceladus torus

兒玉 晋洋^{1*}, 鎌谷 将人¹, 岡野 章一²
Kunihiro Kodama^{1*}, Masato Kagitani¹, Shoichi Okano²

¹ 東北大・理・地球物理, ²Institute for Astronomy, University of Hawaii
¹Geophys. Sci., Tohoku Univ., ²IfA

土星の内部磁気圏には大量の水系粒子が存在しておりエンケラドストラスと呼ばれる。

2011年5月に行なわれたエンケラドス中性トラス中の酸素原子禁制線発光 ([OI]630nm) の観測では、総露光時間 1200 分のデータを足し合わせることで、その発光の検知に成功した。また、これまでその発光の原因となるプロセスを電子衝突励起を考えたが、H₂O や OH 等の水系の分子の光解離によっても発光する可能性があることがわかってきた。これらは太陽活動 (紫外線) の変化によって発光強度が変動することを示唆しているが、質の良いデータが少なかったために時間変化を追えていないのが現状であった。しかし、データの解析手法を改良することによって今まで使えなかったデータも使用できるようになり、時間変動を追えるようになった。

本発表ではトラス発光の時間変化について発表する予定である。

キーワード: エンケラドス, 土星, 地上観測
Keywords: Enceladus, saturn, groundbased