

Temporal evolution of periodicity of Venusian UV brightness observed with Pirka telescope

Masataka Imai[1]; Yukihiro Takahashi[1]; Shigeto Watanabe[1]; Makoto Watanabe[1]
[1] CosmoSciences, Hokkaido Univ.

The dynamical mechanism of Venusian superrotation, which is the phenomenon that the Venus atmosphere moves westward at a velocity 60 times faster than the planetary rotation, is still unknown. But several theses suggest planetary scale waves are associated with the superrotation [e.g. Yamamoto and Tanaka, 1997]. And also these waves are considered to form planetary scale UV features in Venus. Pioneer Venus spacecraft observed that the propagation of planetary scale UV features causes the periodical variation of UV brightness with the period 4-5 days. [Del Genio and Rossow, 1982, 1990].

The purpose of our study is to identify the source of planetary scale waves in Venus. We carried out the ground-based observation of UV brightness. We have already observed Venus routinely from mid-August 2013 to end of June 2014 that cover almost one Venus year. Such kind of long monitoring has not been carried out since the Pioneer Venus observation. Our instrument is Multi-Spectral Imager (MSI) installed at the Pirka telescope. The Pirka is 1.6-m a telescope primary decided to observe solar system planets. Our observation provides information about the periodicity of brightness variations at 365 nm from equatorial to mid-latitudinal regions in both hemispheres, which is associated with the Venus superrotation.

At the beginning of observation in August 2013, we detected about 5-day periodical brightness change from equator to both northern and southern mid-latitudes. We supposed this periodical change indicates the propagation of planetary waves. Our results clearly showed the amplitude of brightness variation in the equatorial region decays to the latitudes of 30°N and 30°S. Bright and dark pattern had a symmetric structure about the equator and is considered as a high-contrast Y-feature (UV feature) such as Pioneer Venus Orbiter found. On the other hand, after the mid-September 2013, there was no significant brightness variation in the latitudinal region lower than 30° latitude while near 60°N and 60°S the brightness still showed periodical variation. These periodical variations in both hemispheres were synchronized though the periodicity was more obvious in southern hemisphere. We also analyzed images taken by Venus Monitoring Camera (VMC) on-board Venus Express spacecraft from Aug 1 to Nov 31, 2013. UV features in global scale are captured only in southern hemisphere because Venus Express is in elliptic orbit with apocenter in southern hemisphere. But, we found a good correlation between MSI and VMC. We also found 5-day periodical variation in these data until the beginning of October 2013. Coupling our ground-based telescope and spacecraft observation data, we found that disappearance of periodical wave structure was started in equatorial region at first and after a half-month or later waves were vanished in both hemispheres.

5 um spectro-imaging of the Venus dayside

Sakimi Kano[1]; Naomoto Iwagami[1]
[1] U Tokyo

Venus dayside was observed in the 5 um region by using IRTF/CSHELL spectrometer at Mauna Kea in May 2014 for 10 mornings under clear skies. The purpose of this operation is to obtain information about atmospheric waves at the cloud top region (70 km), and to compare it with that at 60 km region found in the 1.7 and 2.3 um spectral window regions. Such procedure may produce useful information to investigate the mechanism for the super rotation. The wavelength regions used are 4.70, 5.04 and 5.50 um, and drift scan was used to get longitudinal information.

大気組成の鉛直分布を考慮した MGS 電波掩蔽観測データの気温再導出

野口 克行 [1]; 池田 さやか [2]; 黒田 剛史 [3]; Paetzold Martin[4]
[1] 奈良女大・理・情報; [2] 奈良女大・院・人間文化; [3] 東北大・理; [4] ケルン大

Rederivation of Martian atmospheric temperature in MGS radio occultation measurements considering vertical composition ratios

Katsuyuki Noguchi[1]; Sayaka Ikeda[2]; Takeshi Kuroda[3]; Martin Paetzold[4]
[1] Nara Women's Univ.; [2] Nara Women's Univ.; [3] Tohoku Univ.; [4] Univ. Cologne

We estimated the Martian atmospheric composition change caused by CO₂ condensation using the Ar measurements obtained by Gamma Ray Spectrometer (GRS) onboard the 2001 Mars Odyssey. We applied this estimation of the composition change to the rederivation of the radio occultation (RO) measurements of Mars Global Surveyor (MGS) obtained at polar latitudes of the winter hemisphere, because the MGS RO standard product which is available to the public did not consider the atmospheric composition change by CO₂ condensation. In the rederivation, we considered the vertical distribution of atmospheric composition ratio by using numerical model data.

電波掩蔽観測は、惑星大気の気温・気圧の高度分布を高い高度分解能かつ高い精度で求められる手法である。電波掩蔽観測の導出においては大気組成比を仮定しなければいけないが、火星では大気主成分である二酸化炭素 (CO₂) が主に極夜で大規模に凝結するため、大気組成比が標準値から大きく外れる時期が存在する。しかし、従来の電波掩蔽観測データ処理では大気組成比が標準値のまま処理されており、火星極夜における気温データが正しくない恐れがあった。本研究では、観測データと数値モデルを駆使して大気組成比の推定を行い、米国の火星探査機マーズグローバルサーベイヤー (MGS) の電波掩蔽観測データに応用して気温の再導出を行った。CO₂ は極夜においては地表面に直接凝結すると考えられるため、地表面付近では CO₂ 濃度が大幅に減少するような鉛直分布が想定される。現時点では、信頼できる火星大気組成の鉛直分布の観測データがないため、モデルによる計算結果を用いてその妥当性を評価した。

太陽風侵入イベント時におけるマグネトシース-火星電離圏境界層の特徴の研究

松永 和成 [1]; 関 華奈子 [1]; 原 拓也 [2]; Brain David A.[3]; Lundin Rickard[4]; 二穴 喜文 [4]; Barabash Stas[4]
[1] 名大 STE 研; [2] SSL, UC Berkeley; [3] LASP, Univ. of Colorado at Boulder, USA; [4] IRF

Characteristics of boundary layer between the magnetosheath and Martian ionosphere during solar wind penetration events

Kazunari Matsunaga[1]; Kanako Seki[1]; Takuya Hara[2]; David A. Brain[3]; Rickard Lundin[4]; Yoshifumi Futaana[4]; Stas Barabash[4]

[1] STEL, Nagoya Univ.; [2] SSL, UC Berkeley; [3] LASP, Univ. of Colorado at Boulder, USA; [4] IRF

Deceleration of the solar wind due to the mass loading by planetary heavy ions forms the magnetic pile-up region around unmagnetized planets such as Mars and Venus. The Martian magnetic pile-up region diverts shocked solar wind plasma around the planet at altitudes typically in excess of 800 km [e.g., Vignes et al., 2000]. Mars Global Surveyor (MGS) measurements have shown, on one hand, that shocked solar wind (magnetosheath) electron occasionally penetrates into much lower altitudes (400km) [e.g., Brain et al., 2005; Crider et al., 2005]. Our previous statistical study of these solar wind penetration events using MGS magnetic field and electron observations revealed that both solar wind dynamic pressure (P_{sw}) and the orientation of the interplanetary magnetic field (IMF) control the occurrence of the events. However, MGS could not observe the solar wind regions due to its orbital design.

In this study, we focused on the simultaneous observation of the penetration events by MGS and Mars Express (MEX). MEX possess the ion mass analyzer (IMA) and electron spectrometer (ELS), which are parts of plasma packages of Analyser of Space Plasma and Energetic Atoms (ASPERA-3). A part of its one orbit, MEX observed the solar wind region, since the orbit of MEX is elliptical orbit. We can thus obtain the solar wind density and velocity. Among the simultaneous observation data by MEX and MGS, we identified 26 simultaneous events of the solar wind penetration. The solar wind penetration event on January 20, 2005 is observed during the high P_{sw} periods, while the event on February 20, 2005 is during the low P_{sw} periods. From these two typical events, we investigated characteristics of the boundary layers between the magnetosheath and the ionosphere. We found that the electron flux shows a gradual decrease in the boundary in the high P_{sw} event. On the one hand, intermittent appearance of both the magnetosheath plasma and the ionosphere plasma in the boundary is during the low P_{sw} event. The signature of the boundary layer resembles with the K-H instability signature seen in LLBL (low-latitude boundary layer) in the Earth's magnetotail [e.g., Hasegawa et al., 2006]. We also report the results of statistical analysis of 26 simultaneous observation events.

新たな金星大気オービターの可能性

今村 剛 [1]; 安藤 紘基 [2]; 岩田 隆浩 [3]; 山崎 敦 [3]; 笠井 康子 [4]; 佐川 英夫 [4]
[1] JAXA 宇宙科学研究所; [2] ISAS/JAXA; [3] JAXA・宇宙研; [4] NICT

A concept of a new Venus orbiter mission

Takeshi Imamura[1]; Hiroki Ando[2]; Takahiro Iwata[3]; Atsushi Yamazaki[3]; Yasuko Kasai[4]; Hideo Sagawa[4]
[1] ISAS/JAXA; [2] ISAS/JAXA; [3] ISAS/JAXA; [4] NICT

A concept of a Venus orbiter mission is being studied. The mission will focus on the photochemistry in the middle atmosphere, which plays key roles in the climate system of Venus. The principal instrument will be a submillimeter sounder to measure abundances of trace gases including radicals that drive catalytic cycles. Satellite-to-satellite radio occultation using a subsatellite is considered to obtain 3-D dynamics data, which is essential to understand the circulations of atmospheric substances. Studies of atmospheric escape and its relation with the chemistry and dynamics of the atmosphere are also considered.

大気化学に焦点を当てた金星周回ミッションを検討している。金星大気化学の問題意識として、(1) 硫酸エアロゾルの生成機構とそのアルベドの気候影響、(2) 大気散逸と地殻からの物質供給による大気組成の変遷、が挙げられる。これらのいずれにおいても成層圏光化学が重要な役割を担う。金星には、海が無いことの一つの帰結として、地球の光化学において微量ながら重要な役割を担う硫黄と塩素が大気中に桁外れに多く存在する。そのために、様々なラジカルが駆動する触媒サイクルが、エアロゾルの生成、未知の太陽光吸収物質の生成、CO₂ 大気（光分解に対する）安定性、上層大気の水蒸気量、水素の散逸につながる水素分子の生成などを通じて気候を支配していると思われている。

その一方で、金星の大気化学に関しては様々な反応系が提案されているものの、未だコンセンサスがなく、観測ともあまり整合しない。たとえば、CO₂ が光分解して生成するはずの酸素分子が観測で検出されていない一方で、光化学モデルは観測による上限値よりも何桁も多い量を予想している。酸素分子の量は、エアロゾル生成の要である SO₂ の酸化過程をはじめ、大気化学を支配する重要パラメータである。Venus Express が見いだした高高度での SO、SO₂ の増大も現在の大気モデルでは説明できない不思議な現象である。金星の気候はエアロゾル層の高いアルベドに支配されているが、そのアルベドを決める硫酸生成率、太陽光吸収物質の組成、凝結核の組成は分かっていない。太陽光吸収物質や凝結核としては硫黄の重合体や塩素化合物のほか様々な物質が候補に挙げられている。これら微量物質が金星成層圏でどの程度存在しうるかは反応系に依存する。金星からどのようにして水が失われたのか、火成活動や彗星の衝突で供給される水はどのように失われるのかといった問題にも大気化学が関わっている。たとえば金星では、水蒸気に含まれる水素のある割合が H や HCl に変換されたうえで上層大気に到達し、H、H₂ として熱圏中を拡散し、電離を経て宇宙空間に散逸すると想像されている。しかしその具体的な経路は曖昧である。

このような問題意識のもとに、金星周回衛星からサブミリ波サウンダや高分散赤外分光を用いて、鍵となるラジカルやその前駆体の 3 次元分布とその時間変動を明らかにするミッションの検討を始めた。大気組成の観測だけでなく、3 次元力学データを同時に取得し、化学輸送モデルを用いて化学物質の循環と変質過程を明らかにすることが重要である。そのために、子衛星を分離して親子衛星間の衛星間電波掩蔽を行い、多地点で高鉛直分解能・高精度の温度データを得ることを考えている。電波掩蔽によって、硫酸エアロゾルが蒸発して生じる硫酸蒸気の分布も観測し、これも物質循環とエアロゾル物理の補助情報とする。子衛星にプラズマパッケージ、親衛星に XUV 撮像器を搭載することによる大気散逸との同時観測も検討中である。衛星間電波掩蔽による電離圏電子密度の 3 次元構造データも大気散逸研究のためのユニークな情報となる。

衛星間電波掩蔽による 3 次元データは、成層圏に加え、これまで分からなかったエアロゾル層内部の力学を 3 次元精密診断することも可能にする。このようなデータセットから、力学的不安定、空気塊の移流、大気波動の効果により生成する乱流層を可視化し、輸送過程を明らかにするとともに、大気大循環の力学の深化も望めるはずである。

金星雲層高度での惑星規模大気波動の鉛直伝搬に伴う大気加速

神山 徹 [1]; 今村 剛 [2]; 中村 正人 [3]; 佐藤 毅彦 [4]; 二穴 喜文 [5]
[1] 産総研; [2] JAXA 宇宙科学研究所; [3] 宇宙研; [4] 宇宙研; [5] IRF

Zonal wind speed acceleration due to vertical propagation of planetary-scale waves in the upper cloud region of Venus

Toru Kouyama[1]; Takeshi Imamura[2]; Masato Nakamura[3]; Takehiko Satoh[4]; Yoshifumi Futaana[5]
[1] AIST; [2] ISAS/JAXA; [3] ISAS; [4] ISAS, JAXA; [5] IRF

Recently it was found that the low-latitude zonal wind and the amplitudes of Kelvin and Rossby waves at the cloud top of Venus show long-term variations in a synchronized manner. For the purpose of explaining this synchronization, we investigated the influence of the background zonal wind profile on the upward propagation of Kelvin and Rossby waves at altitudes 60-80 km. Results from a linearized primitive equation model suggests that Kelvin waves can reach the cloud top height when the background wind speed is slow, whereas Rossby waves can reach the cloud top when the background wind speed is fast. These features obtained from the model are consistent with the observations.

Since the momentum deposition by these waves can accelerate or decelerate the mean flow, these waves may contribute to the variation of the background wind. The calculated spatial distributions of the momentum dissipation indicate that the Kelvin waves accelerate the low-latitude atmosphere. On the other hand, the Rossby waves decelerate mainly the mid-latitude atmosphere.

金星には自転速度をはるかに上回る速度で大気が回転する「スーパーローテーション」と呼ばれる現象が知られている。金星を覆う雲の頂上 (~70km) において風速は極大となり、 100m s^{-1} にも達する西向きの高速帯上風が、その発見から 40 年以上にわたって存在し続けている。8 年以上にわたる Venus Express による継続観測により、このスーパーローテーションに金星年スケールの興味深い時間変動が報告されている。2006 年から 2010 年にわたっては約 10m s^{-1} の振幅で 1 金星年程度の周期で準周期的に東西風速が増減する一方 (Kouyama et al., 2013)、2006 年から平均的に風速が増大する傾向が見られている (Khatuntsev et al., 2013)。加えて雲頂高度において、風速が比較的遅い時期には「赤道ケルビン波」的な風速擾乱が卓越し、比較的速い時期には「ロスビー波」的擾乱の卓越がしばしば観測されている (Kouyama et al., 2013)。このような背景風速が速い・遅いといった違いと卓越する大気波動の間に関連性についての知見はまだ得られていない。そこで本研究では雲層下部高度において励起された惑星規模のケルビン波・ロスビー波が、どのような背景風速条件の場合であれば雲頂高度においても観測されうるかを Cobey & Schubert(1982) にもとづく線形計算により調査した。

金星の雲層高度では擾乱に対して強い放射減衰 (時定数 5~10 日, Crisp, 1989) が働く。このため下層で励起された大気波動がもし遅い鉛直伝搬速度を持つ場合、雲頂上高度に伝わる前に減衰してしまう。波動の鉛直伝搬速度はケルビン波、ロスビー波ともに背景東西風速度と波の位相速度の差、内部位相速度に比例するような関係があることが知られている。そこで線形計算においては速い・遅い時期を模擬した風速分布それぞれにおいて、観測されている位相速度を持つ両波動を与えその伝搬の様子を調査した。その結果、背景風速の速い場合においてはロスビー波が、遅い場合においてはケルビン波が風速の振幅を保ったまま雲頂高度まで伝搬可能であることが分かった。またこのようなケルビン波は 1 日あたり 0.1m s^{-1} 、100 日で 10m s^{-1} もの東西風速加速を赤道域においてもたらすことが推定された。一方ロスビー波は主に中緯度で強い東西風速の減速をもたらす。

金星日面通過時に観測された金星縁の光を用いた金星大気の研究

金尾 美穂 [1]; 中村 正人 [2]; 今村 剛 [3]

[1] 宇宙科学研究所; [2] 宇宙研; [3] JAXA 宇宙科学研究所

The study of the atmosphere from the refracting light of Venus limb observed on the transit of Venus

Miho Kanao[1]; Masato Nakamura[2]; Takeshi Imamura[3]

[1] ISAS; [2] ISAS; [3] ISAS/JAXA

We study the refracting light along the limb of Venus on the images acquired by the SOT onboard HINODE during the transit of Venus on 5-6 June 2012. The purpose is to show the distribution of the cloud particles' number density to the latitude.

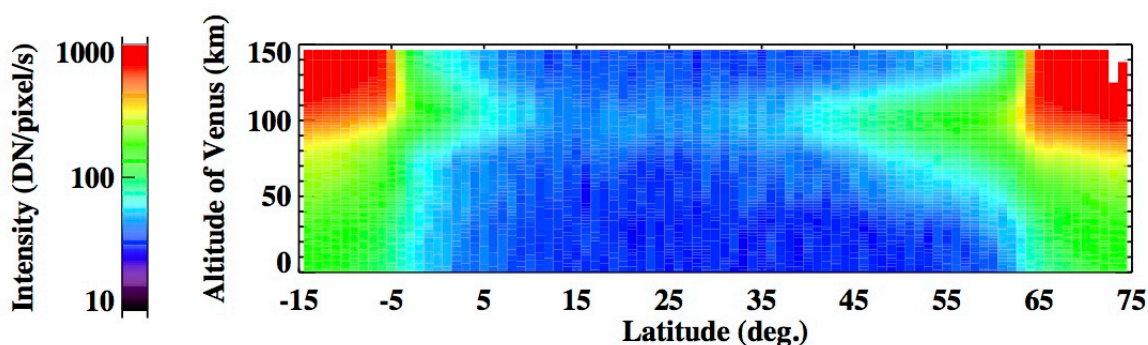
With the defined position of Venus by the least-squares method to the limb radius of the dark Venus on the solar disk, the intensity of the refracting light (80 DN/pixel/sec) is shown to decrease at the altitude around 80 km, suggesting the scatter of the cloud particles in the atmosphere.

We will examine the CO₂ number density from the images at 388.36 nm from the 3rd contact to the 4th contact. The position and intensity of the source on the solar disk is calculated using the refraction angle defined from the supposed CO₂ number density profile to obtain the transmittance profile. The calculated transmittance profiles would restrict the CO₂ number density profile, and lead to the latitudinal distribution of the cloud particles' number density by the comparison with the transmittances at the optical wavelengths.

2012年6月5日、6日の金星日面通過時に、太陽観測衛星ひのでに搭載されたSOTが撮像した太陽面の画像に記録された金星縁における光強度を用いて、金星中性大気中の雲粒数密度の緯度方向の分布を導出することが目的である。黄道面上で金星と地球の位相角が同一となる日面通過時に地球方向から観測すると、太陽光は厚い金星の二酸化炭素大気によって屈折し、太陽面の外側の金星縁を明るく照らす。屈折角度は高度60kmを透過する光でおよそ0.5度程度である。

日面経過の第三接触と第四接触の間、0.3 arcsecの空間分解能で取得された画像には、太陽面上の暗い金星面と共に、太陽面の外側に金星縁に沿っておよそ80 DN/sec程度の太陽光を捉えた(図. 2012年6月6日4:3734に観測された金星縁に沿った光の強度分布)。太陽面上の暗い金星縁部分から算出した金星中心位置を用いると、高度100km付近で明るい屈折光は80km以下で弱まり、雲粒による散乱を強く示唆している。空間分解能は緯度方向に約0.1度、高度方向に約11kmに相当する。

VIRAモデルを用いて金星大気に入射する太陽光の屈折角度から、光源である太陽面上の位置と明るさを特定し、波長388.36nmにおける大気の透過率の高度プロファイルを得る。得られた透過率を画像毎に、また太陽面上の暗い金星縁から得られる透過率とも比較することで、制約される緯度毎の金星大気中の二酸化炭素の密度について議論する。得られる透過率プロファイルは、可視光領域における透過率と比較し、雲粒の数密度分布の導出に繋げる。



Cassini 探査機搭載 ISS データを用いた木星対流圏エアロゾルの推定：非球形粒子を用いた考察

佐藤 隆雄 [1]; 佐藤 毅彦 [2]; 榎本 孝之 [3]; 笠羽 康正 [4]
[1] 宇宙研; [2] 宇宙研; [3] 総研大・物理・宇宙; [4] 東北大・理

Jovian tropospheric aerosols deduced from the Cassini ISS limb-darkening data: A discussion of nonsphericity of aerosols

Takao Sato[1]; Takehiko Satoh[2]; Takayuki Enomoto[3]; Yasumasa Kasaba[4]
[1] ISAS/JAXA; [2] ISAS, JAXA; [3] Space and Astr., SOKENDAI; [4] Tohoku Univ.

To obtain new observational constraints on the single scattering phase functions of aerosols in the Jovian upper troposphere, we have analyzed Cassini Imaging Science Subsystem (ISS) imaging data obtained at a wide range of solar phase angles (0-140 degrees) in two spectral channels (BL1: 455 nm, CB2: 750 nm) for a bright zone (STrZ) and a dark belt (SEBn). In this study, we applied the Mie theory for spherical particles to the tropospheric aerosols for simplicity. We found that the real refractive index (n_r) of aerosols is much higher ($n_r = 1.85$) than previous experimental values of n_r for NH_3 ice particles. This would strongly suggest the idea that aerosols in the upper troposphere are not composed of pure NH_3 ice.

Jovian tropospheric aerosols have been expected to consist of nonspherical particles from the atmospheric temperature in the upper troposphere. Application of Mie scattering theory to the tropospheric aerosols in Jupiter is a controversial issue when deducing the scattering properties from remote sensing data. We investigate how much robustness there is in the results obtained from our latest study, by comparing the best-fit Mie scattering phase functions derived from the Cassini ISS limb-darkening data with those for various nonspherical particles. Assuming that shape of nonspherical particles in the upper troposphere is spheroidal, we calculate the scattering phase functions for a wide variety of real refractive index, effective radius, and ratio of long axis to short axis. T-matrix method is used for this calculation. The scattering phase functions for spheroidal particles which have a near value ($n_r = 1.45$) of real refractive index for NH_3 -ice ($n_r = 1.42$) are found to have weaker backward scattering compared with our best-fit Mie scattering phase functions. It is obvious that these scattering phase functions cannot reproduce the observed limb-darkening data. Conversely, several scattering phase functions for spheroidal particles ($n_r = 1.85$) have similarity to our best-fit Mie scattering phase functions with respect to the strength and shape of scattering phase function. According to this preliminary investigation, we can say that Jovian tropospheric aerosols are not composed of pure NH_3 -ice particles even though we focus on the nonsphericity of these aerosols.

In this presentation, we will show the simulated limb-darkening curves calculated with the scattering phase functions for nonspherical particles, along with the observed limb-darkening curves.

木星表層の雲には、東西に延びる帯状構造 (白色に見える部分を zone, 茶褐色に見える部分を belt とよぶ) や大赤斑に代表される渦構造等の特徴がある。これらの模様の違いは、雲層構造やエアロゾルの光学的特性の違いを反映している。これらの物理情報をリモートセンシング手法から得るためには、エアロゾルによる多重散乱を扱う必要があり、その散乱特性 (散乱位相関数) の理解が必要不可欠となる。

我々は、Cassini 探査機に搭載された Imaging Science Subsystem (ISS) の木星フライバイ観測データ (観測期間: 2000年 - 2001年3月, 太陽位相角: 0 - 140度) を用いて、エアロゾルの散乱位相関数を推定してきた。この研究では、2波長 (BL1: 有効波長 455 nm, CB2: 有効波長 750 nm) で観測された典型的な zone (the South Tropical Zone: STrZ) と belt (the north component of the South Equatorial Belt: SEBn) 領域について解析を行った。簡便のため、エアロゾルの散乱には Mie 散乱理論を適用できると仮定した。この仮定のもとに得られたエアロゾルの屈折率は $n_r = 1.85$ となり、表層雲を構成していると考えられてきた NH_3 氷の実験値 ($n_r = 1.42$) より、はるかに大きい値となった。この結果は、 NH_3 氷が分光観測によって見つかっていないという先行研究を支持するものである。

一方で、対流圏に浮かぶエアロゾルは非球形粒子であると考えられてきた。球状粒子の散乱を記述する Mie 散乱理論の適用については、常に議論をよぶ問題である。そこで我々は、いくつかの非球形粒子の散乱位相関数と Cassini 探査機データから得られた Mie 散乱位相関数を比較することで、Mie 散乱理論のもとに得られた結果のどこまでがロバストな結果であるのか評価した。非球形粒子として回転楕円体を仮定し、さまざまな屈折率、有効半径、長軸短軸比の組み合わせに対して、それらの散乱位相関数を計算した。散乱位相関数の導出には、T-matrix 法を用いた。これによると、表層雲の候補である NH_3 氷 ($n_r = 1.42$) に近い屈折率 ($n_r = 1.45$) をもつ回転楕円体の散乱位相関数は、有効半径や長軸短軸比に関係なく、Cassini 探査機データから得られた Mie 散乱位相関数に比べ、後方散乱が弱いことが分かった。このような散乱位相関数の形状では、観測データを再現することは不可能である。一方、高屈折率 ($n_r = 1.85$) である回転楕円体の散乱位相関数の中には、散乱の強さ、位相関数の形状ともに、Cassini 探査機データから得られた Mie 散乱位相関数に類似するものがあり、実際に観測データを再現できるか試行する価値がある結果を得た。このことから、非球形粒子にまで目を向けた場合でも、表層雲は純粋な NH_3 氷からなるわけではない、と言えるだろう。

本発表では、実際に非球形粒子の散乱位相関数を用いたモデル計算結果と観測データの比較も含めて、議論する。

東北大学ハレアカラ 60cm 望遠鏡のファーストライト：超高分解能赤外レーザーヘテロダイナミック分光器による惑星大気観測

中川 広務 [1]; # 笠羽 康正 [2]; 青木 翔平 [1]; 村田 功 [3]; 岡野 章一 [4]
[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理; [3] 東北大院・環境; [4] 東北大・理・PPARC

First light at Haleakala 60cm dedicated telescope : Observations of planetary atmospheres using IR heterodyne spectroscopy

Hiromu Nakagawa[1]; # Yasumasa Kasaba[2]; Shohei Aoki[1]; Isao Murata[3]; Shoichi Okano[4]
[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] Tohoku Univ.; [3] Environmental Studies, Tohoku Univ.; [4] PPARC, Tohoku Univ.

First light of our Tohoku 60cm-telescope (T60) has been finally held at the top of Mt. Haleakala on September 2014, under the international collaboration between University of Hawaii and Tohoku University. This small telescope is solely dedicated for our continuous monitoring of planetary atmospheres and located an ideal site for infrared spectroscopy. A new infrared heterodyne instrument is developed for this dedicated telescope. Ultra-high resolution spectroscopic measurement (R1,000,000) provides fully resolved molecular features to address the key physical parameters such as atmospheric temperature profiles, abundance profiles of the atmospheric compositions and their isotopes, and wind velocity with 10m/s accuracy. Frequency tuneability over a wide range provided by a room-temperature type quantum cascade laser oscillators allows many molecules of atmospheric and astronomical interest in mid-infrared to be observed. A compact digital Fast Fourier Transfer spectrometer is first applied for infrared heterodyne spectroscopy as a spectrometer to obtain stability, flexibility, and wide dynamic range. The instrument is set on the Coude focus of the T60 to demonstrate the feasibility. New continuous measurements of planetary atmospheres may open unique opportunity for understanding its variable nature and evolutions.

我々が福島飯館からハワイ・ハレアカラ山頂に移設を進めてきた東北大学 60cm 望遠鏡 T60 がハワイ大学協力のもと今年9月に移設完成となり、いよいよファーストライトを迎える。口径は小さなながらも、我々の惑星観測に特化した観測を連続して実施できるメリットがあり、またハレアカラ山頂にあることから赤外分光観測に優位である。ファーストライトにおいて、常設装置の一つである赤外レーザーヘテロダイナミック分光器がまず実装され、火星・金星大気観測を狙う。赤外レーザーヘテロダイナミック分光法は、様々な分子線が存在する中間赤外域において 100 万を越える非常に高い波長分解能を有することで、既存装置では捉えることのできない惑星大気のような様々な物理量を得ることができる。我々は新たに赤外レーザーヘテロダイナミック分光器を開発し、専用望遠鏡群 T60・PLANETS に搭載することで、既存装置では不可能な連続観測を実現し、惑星大気中のダイナミクス・光化学反応・気象現象など、それらの時空間変動を明らかにする。波長可変な量子カスケードレーザを複数搭載することで、観測可能な分子種を選べることができ、また、デジタル分光器を赤外ヘテロダイナミック分光に初めて用いることで、よりコンパクトで安定なシステムの構築を実現した。主に火星や金星大気の 7.7, 9.6, 10.3 ミクロン帯の観測を実施し、中間圏風速場・温度場計測、水同位体計測、H₂O₂ や CH₄ などのトレースガス検出を企図する。本発表では、装置の性能や目指す観測対象、初期結果などについて議論する。

深宇宙探査技術実証機 DESTINY

川勝 康弘 [1]; 船木 一幸 [2]
[1] JAXA/ISAS; [2] JAXA

Deep Space Explorer DESTINY

Yasuhiro Kawakatsu[1]; Ikkoh Funaki[2]
[1] JAXA/ISAS; [2] JAXA

DESTINY which stands for "Demonstration and Experiment of Space Technology for INterplanetary voYage" is a mission candidate for the next space science small program. The next mission is planned to be decided in 2015, and the select one is scheduled to be launched in 2019.

As illustrated in the Figure, DESTINY will be launched by an Epsilon launch vehicle and firstly placed into a low elliptical orbit, where then its altitude raised by the use of ion engine. When the orbit raising reaches the Moon, DESTINY subsequently is injected into transfer orbit for L2 Halo orbit of the Sun-Earth system by using lunar gravity assist. Upon arrived at L2 Halo orbit, DESTINY will conduct its engineering experiment as well as scientific observations for at least a half year. If conditions permit, DESTINY will leave L2 Halo orbit, and transfer to the next destination.

On the way to L2 Halo orbit, DESTINY will conduct demonstration and experiment on key advanced technologies for future deep space missions. Major items of the technology demonstration are listed as follows. 1) High energy mission by Epsilon rocket.

We investigate appropriate rocket configurations and flight path designs, and evaluate the performance of Epsilon rocket to insert spacecraft into high energy orbits. It provides basic data of Epsilon rocket application to deep space missions.

2) Ultra-Lightweight solar panel.

In order to generate large electric power to run m20 ion engine, "Ultra-Lightweight Solar Panel", which is under development at JAXA, is applied and its performance is evaluated. This solar panel is estimated to achieve power to mass ratio at least double to conventional ones. Future application is expected in outer planet probes (JMO, MELOS) or probes with large ion engines.

3) Large scale ion engine m20.

DESTINY is inserted into an elliptical orbit and reaches to a Halo orbit by its own orbital maneuver. For this maneuver, a large ion engine (m20) which is under R&D at JAXA will be adopted and its performance is evaluated. This ion engine has thrust five times as much as m10 used by Hayabusa and will be expected to be applied to large probes such as SOLAR-D or Hayabusa Mk2.

4) Advanced thermal control.

In order to manage large amount of heat generated by the large ion engine, advanced thermal control techniques by way of Loop Heat Pipe will be adopted.

5) Orbit determination under low thrust operation.

DESTINY will reach to Halo orbit by running ion engine over long duration. In order to reduce burdens to shut down the ion engine each time of orbit determinations, orbit determination under ion engine operation is conducted and its performance is evaluated.

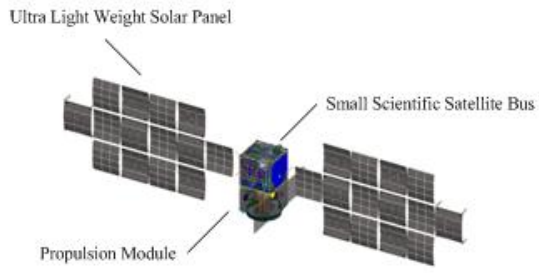
6) Automatic/autonomous onboard operation.

In order to increase the efficiency of operation, autonomous and highly functioned spacecraft management system is developed demonstrated on board. This technique is expected to be adopted especially in the deep space missions usually operated under severe communication condition.

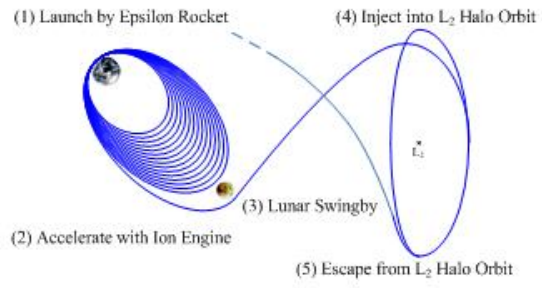
7) Halo orbit transfer and maintenance.

DESTINY will reach to Halo orbit and maintains the orbit more than one period. In order to reduce the risks of Halo orbit insertion and suppress the amount of orbital maneuvers, the orbit control technique using dynamical system theory is used and its operability is evaluated. This technique will be adopted in SPICA, which will be operated in Halo orbit.

DESTINY itself is an engineering experiment probe which destines L2. However, its mission profile is naturally applied to lunar missions and escape missions by forking the profile at the lunar encounter. Moreover, the spacecraft's high astronautic performance makes its application to other launch method attractive, such as dual launch with GEO satellite or another deep space probe. The significance of DESTINY from the point of its opening new opportunities for low-cost deep space mission is discussed in the presentation as well.



DESTINY Overview



Mission Profile

深宇宙探査技術実験機 DESTINY による太陽系科学

岩田 隆浩 [1]; 川勝 康弘 [2]; 江副 祐一郎 [3]; 亀田 真吾 [4]; 桂華 邦裕 [5]; 村上 豪 [6]; 今村 剛 [7]; 安藤 紘基 [6]; 小郷原 一智 [8]

[1] JAXA・宇宙研; [2] JAXA/ISAS; [3] 首都大・理工・物理; [4] 立教大; [5] 名大・STE 研; [6] ISAS/JAXA; [7] JAXA 宇宙科学研究所; [8] 宇宙研

Solar System Sciences using DESTINY: Demonstration and Experiment of Space Technology for Interplanetary Voyage

Takahiro Iwata[1]; Yasuhiro Kawakatsu[2]; Yuichiro Ezoe[3]; Shingo Kameda[4]; Kunihiro Keika[5]; Go Murakami[6]; Takeshi Imamura[7]; Hiroki Ando[6]; Kazunori Ogohara[8]

[1] ISAS/JAXA; [2] JAXA/ISAS; [3] Tokyo Metropolitan University; [4] Rikkyo Univ.; [5] STEL; [6] ISAS/JAXA; [7] ISAS/JAXA; [8] JAXA/ISAS

Demonstration and Experiment of Space Technology for Interplanetary Voyage (DESTINY), which is a candidate mission of Epsilon Launch Vehicle, plans to observe using scientific instruments with the mass of up to 10 kg during transfer and Halo orbit of sun to earth Lagrange point L2 or L1. Applied missions of DESTINY will be able to go to Venus and Mars with higher mass of payloads. We will indicate the possible instruments and model missions for solar system sciences.

イプシロンロケットによる小型衛星として提案している深宇宙探査技術実験機 DESTINY の実証機では、10kg 程度の理学観測機器を搭載し、太陽地球ラグランジュ点 L2 または L1 への遷移軌道中およびハロー軌道到達後に観測を行う計画である。また、DESTINY 応用ミッションとして検討している、実証機に続く実用機やイプシロン増強型を用いたミッションでは、探査可能範囲が金星・火星に広がるとともに、ペイロード質量も増大する。これらの各フェーズでの太陽系科学観測の可能性、ならびに具体的なモデルミッションの例について述べる。

探査機搭載用粒子分析器開発に向けた較正システムの構築

伊藤 史宏 [1]; 平原 聖文 [1]; 下山 学 [1]; 石黒 恵介 [1]; 有見 弘毅 [1]; 小木 曾 舜 [1]
[1] 名大・STE 研

Construction of a calibration system for developing space-borne particle analyzers

Fumihito Ito[1]; Masafumi Hirahara[1]; Manabu Shimoyama[1]; Keisuke Ishiguro[1]; Kouki Arimi[1]; Shun Kogiso[1]
[1] STEL, Nagoya Univ.

To study physical phenomena in the terrestrial/planetary ionosphere and magnetosphere, we have been developing space-borne particle analyzers for planetary atmospheres with new technologies. As developing these analyzers, it is necessary to construct an appropriate calibration system for them. For the calibration, we set the analyzer in a vacuum chamber, and irradiate an ion beam towards it, and investigate its response. We have already been constructing a calibration system (beam line) which can irradiate ion beams of which energy per charge range are from 10keV/charge to 150keV/charge. It is necessary, however, for the system to irradiate suprathermal ion beams of several tens eV/charge. Particularly the system provides the other species of atomic ion beams: H^+ , He^+ , He^{2+} , O^+ , Ar^+ , and N^+ over the energy per charge range from 10eV/charge to 10keV/charge in addition to the other species of molecular ions like H_2^+ , N_2^+ , O_2^+ , and CO_2^+ .

As proceeding with the ERG(Exploration of energization and Radiation in Geospace) project, it is also required to construct a proper calibration system for electron sensors which are installed in the ERG satellite. To calibrate them we have to irradiate electron beams of around several keV/charge.

We have been constructing a new beam line which can irradiate ion beams (10eV/charge~10keV/charge) and electron beams (100eV/charge~10keV/charge). The beam line is mainly composed of seven parts: (a) ion source, (b) electron source, (c) electro-magnetic ion mass spectrometer, (d) beam expander, (e) main acceleration, (f) vacuum chamber, (g) multi-axial turntable. In the ion source, introduced gases from a gas cylinder are ionized by thermal electrons emitted from filaments. The ionized particles are initially accelerated and discriminated by the electro-magnetic ion mass spectrometer. When we irradiate electron beams, these beams are generated in the electron source and introduced to the beam expander linearly (in this case we have to remove the electro-magnet). The beams are expanded by electrostatic 2D raster scanning, and parallelized through the deceleration and acceleration in the beam expander. The beams are accelerated or decelerated for the specific energy in the main acceleration. The analyzer is set on the turntable in the chamber. Incident angles of the beam are controlled by changing the elevation and azimuth of the turntable system. We have also been developing a system which can control beam properties centrally and remotely by using a computer. As interfaces, we used RS-232 and wireless LAN, and we made programs with LabVIEW.

So far, we have constructed the system except for the electron source. Then we set up a MCP measurement system to measure beam intensities and cross-section profiles. We made up to get ion beam properties and beam intensities reduced and beam cross-sections were spread with decreasing the beam energy. However, low energy beams have large angular dispersions because they are curved well by the geomagnetic field especially when these mass are small. To cancel the geomagnetic field, we will construct a system which is composed of triaxial square Helmholtz coils. We calculated the strength of the magnetic field generated by the system with a simulation software.

We will present the updated status of calibration system with the beam properties.

我々は地球惑星電磁気圏における物理現象の理解を深めることを目的として、惑星大気を対象とする新規技術を用いた探査機搭載用粒子分析器の開発を行っている。それらの開発の進行に伴い分析器の較正装置が必要とされている。我々が開発を行っている粒子分析器の較正は、宇宙空間を模擬したチェンバー内に分析器を置き、特性の明確なイオンビームを照射し、それに対する分析器の応答を調査することにより行われる。我々は、既に 10keV/charge ~ 150keV/charge のエネルギー範囲のイオン・電子ビームを照射する装置(ビームライン)の構築及び整備を行っている。しかし開発中の分析器は惑星大気の観測を行うことを想定したものであり、較正には 10eV 程度の超熱的イオンビームを照射する必要がある。具体的には H^+ 、 He^+ 、 He^{2+} 、 O^+ 、 N^+ 、 Ar^+ といった単原子イオンビームに加え、 H_2^+ 、 N_2^+ 、 O_2^+ 、 CO_2^+ のような分子イオンビームを生成する必要がある。

また、地球の放射線帯の研究を目的とした ERG(Exploration of energization and Radiation in Geospace) プロジェクトの進行に伴い、ERG 衛星に搭載される電子計測器の較正装置も必要とされている。そのためには数 keV 程度の低エネルギー電子ビームを照射する必要がある。

そこで我々は新たに 10eV/charge 程度以上の超熱的・低エネルギーイオン及び 100eV/charge~10keV/charge の低エネルギー電子が照射可能な超熱的イオン・低エネルギー電子ビームラインの構築を進めている。超熱的イオン・低エネルギー電子ビームラインは主に 7つの部位(イオン源、電子源、電磁石型質量分析器、ビーム径拡張器、主加速器、真空チェンバー、真空用ターンテーブル)から構成されている。ガスボンベからイオン源に導入された中性ガスは、フィラメントから放出された熱電子によってイオン化される。発生したイオンは初期加速され、電磁石型質量分析器によってイオン種が弁別され、ビーム径拡張部に導入される。電子を照射する場合は、電子源から加速された電子がビーム径拡張部に直線的に導入される(この場合は電磁石を取り外して使用する)。イオン・電子ビームは垂直方向の電場の二次元ラスタ走査によってその径が拡大され、さらに加減速を経て平行化される。平行化されたビームは所定のエネルギーまで加減速され、真空チェンバーに導入される。一方、較正する分析器は真空チェンバー内のターンテーブルの上に置かれ、ターン

テーブルの方位角、仰角を制御することで分析器へのビームの入射角度を変化させることができる。我々は、分析器の較正を効率よく行うためにビームの特性を1つのプログラム上で一元管理及び遠隔操作できる制御システムの構築を進めている。機器のインターフェースとしてRS-232、無線LANを用いて遠隔制御を行う。プログラミング言語はLabVIEWを使用した。

現段階ではビームラインの構築は電子源を除いて完了しており、2次元MCP計測系を整備して生成したビーム強度及びその断面図の観測を行った。その結果、超熱的イオンのビーム特性の取得に成功し、エネルギーが低くなるほどビームの断面は広がりビーム強度が減少する傾向が得られた。しかし、低エネルギーの電子・イオンビームは地球磁場の影響を受けやすく、特に質量が小さい粒子のビームほど地球磁場により曲げられビームの角度分散が大きくなることが問題である。これらの影響を軽減するため、我々は三軸の正方形ヘルムホルツコイルからなる磁場制御システムの構築を行う予定である。実際にビームライン周辺にヘルムホルツコイルを設置した場合の磁場強度の計算を、シミュレーションソフトを用いて行った。

本発表では、構築したビームラインの概要及び生成したイオン・電子ビームの特性、構築しつつある磁場制御システムについて報告する。

水星ナトリウム大気の長期時間変動

安田 竜矢 [1]; 亀田 真吾 [1]; 鍵谷 将人 [2]; 米田 瑞生 [3]; 岡野 章一 [4]

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

Long-term temporal variation of Mercury's sodium exosphere

Tatsuya Yasuda[1]; Shingo Kameda[1]; Masato Kagitani[2]; Mizuki Yoneda[3]; Shoichi Okano[4]

[1] Rikkyo Univ.; [2] PPARC, Tohoku Univ; [3] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [4] PPARC, Tohoku Univ.

Mercury has a very thin atmosphere. It has been observed by space probes Mariner 10 and MESSENGER, and by ground-based observations, to have hydrogen (H), helium (He), oxygen (O), sodium (Na), potassium (K), and calcium (Ca) atoms in its atmosphere. These atoms emit light, with resonance scattering caused by energy from sunlight. Because of its high intensity, the emission of sodium atoms is well suited for studies by ground-based observations. The source processes of Mercury's exosphere are considered to be solar-photon-stimulated desorption, 'sputtering' by impacting solar wind particles crashing into Mercury's surface and releasing atoms, and interplanetary dust vaporization. Combination of these three processes is considered to arise, but the primary process among them is unknown as yet.

At the Haleakala Observatory in Hawaii we have observed daily variation of Mercury's sodium exosphere. The observations were performed using a 40 cm Schmidt-Cassegrain telescope, a high-dispersion spectrograph, and a charge coupled device (CCD) camera. During observation seasons, elongation between Mercury and sun is more than 15 degrees, and observation time varies from 30 min to 1 h before sunrise or after sunset. The exospheric emission observed from the ground is part rather than entire dayside. The ratio of the observed emission varies by phase angle. Thus, we estimated the number of sodium atoms above entire dayside, using the exospheric model and assuming constant exospheric temperature.

Interplanetary dust is roughly concentrated on the ecliptic plane. Mercury's inclination is 7 degrees, and the distance from the ecliptic plane varies from day to day. Analysis of observational results shows that the number of sodium atoms correlates highly with distance from the ecliptic plane. The correlation coefficient is -0.871. This result indicates that interplanetary dust vaporization may contribute significantly to the exospheric yield. The impact of interplanetary dust mixes grains at the surface and replaces depleted grains with fresh grains. This is known as gardening. In addition, interplanetary dust contains sodium and therefore supplies sodium atoms. Because of these supply processes, interplanetary dust is important not only as sodium vaporization, but also as a means of increasing the exospheric yield by other processes.

水星は極めて希薄な大気を持つ。水星大気に対してこれまでに、水星探査機 Mariner 10 と MESSENGER のフライバイによる観測、および地上観測が行われてきた。これらの観測により大気中の H、He、O、Na、Mg、K、Ca の存在が明らかにされた。これらの原子は太陽光のエネルギーを受けて共鳴散乱により発光する。これらの中でもナトリウムは発光強度が高く、地上観測に適しているため多くの観測が行われてきた。水星のナトリウム大気の生成過程は、太陽光による表面原子の脱離、太陽風イオンによるスパッタリング、微小隕石の衝突による水星表面や隕石中の原子の気化などが考えられている。これらの過程は複合して起こると考えられているが、主な生成過程は未だ明らかにされていない。

本研究ではハワイ・ハレアカラ観測所の口径 40cm の望遠鏡を使用して水星ナトリウム大気光の分光観測を行い、水星大気中のナトリウム原子数の日ごとの変動を調べた。水星は太陽に最も近い惑星であるため、観測に適した時間は限られている。私たちは水星と太陽の離角が 15 度以上の時期に、日の出前または日没後の 30 分から 1 時間程度の時間内に観測を行った。地上から観測できる大気光は昼側全体ではなく一部であり、観測できる大気光の割合は位相角によって変化する。そのため一定の大気温度を仮定した大気モデルをもとに、位相角ごとに観測可能な大気光の割合を計算し、昼面全体のナトリウム原子数を推定した。

惑星間空間の微小隕石はおおよそ黄道面に集中して対称に分布している。水星の公転面は黄道面に対して 7 度傾いており、黄道面からの距離は日ごとに変化する。観測データを解析した結果、ナトリウム原子数が黄道面からの距離に対して相関係数 $r = -0.871$ の強い反相関を示す結果が得られた。この結果は微小隕石の衝突が大気生成に大きく寄与している可能性を示唆している。微小隕石の衝突は惑星表面下から物質を拡散し新しい表面を露出させる効果（ガーデニング効果）を持ち、また隕石自体にナトリウム原子を含むため、水星にナトリウム原子が供給されると考えられている。これらの効果により、微小隕石衝突は表面原子を気化して放出させるだけでなく、他の過程による大気生成を増加させる過程としても重要であると考えられる。

Global configuration of Mercury magnetosphere with large offset dipole

Manabu Yagi[1]; Kanako Seki[2]; Yosuke Matsumoto[3]; Dominique Delcourt[4]; Francois Leblanc[5]

[1] PPARC, Tohoku Univ.; [2] STEL, Nagoya Univ.; [3] Chiba University; [4] LPP, Ecole Polytechnique, CNRS; [5] LATMOS-IPSL, CNRS

Based on observations by MESSENGER, Mercury's magnetosphere is thought to be a miniature of the Earth's magnetosphere. These two magnetospheres have several characteristics in common, however, some critical differences are also evident. First, there is no atmospheric layer, but only tenuous exosphere. Second, the kinetic effects of heavy ions might not be negligible because Mercury's magnetosphere is relatively small compared to the large Larmor radii. Trajectory tracings is one of the dominant methods to estimate the kinetic effect of heavy ions which originate the exosphere, though the results of the simulation are quite sensitive to the electric and magnetic field. Therefore, it is important to provide a realistic field model in the trajectory tracings. In order to construct a large scale structure, we developed a MHD simulation code, and adopted to the global simulation of Mercury's magnetosphere. We performed four solar wind conditions of the northward IMF, and the results showed that the global configurations such as the location of magnetopause depend heavily on the dynamic pressure, while the solar wind electric field contributes little to the magnetospheric configuration. On the other hand, the results of statistical trajectory tracings of exospheric sodium ions depend not only on the dynamic pressure but also on the solar wind electric field. In the results, we identified two efficient acceleration processes and formation of the 'sodium ring' which is formed by the accelerated ions drifting around the planet by magnetic gradient of the dipole field. When the solar wind dynamic pressure is low, acceleration by magnetospheric convection is efficient in the vicinity of Mercury. When the dynamic pressure is high, entry of the accelerated ions picked-up in the magnetosheath into the magnetosphere becomes dominant. The entry point of sodium ions changes due to the variation of the solar wind electric field, which causes a difference in the sodium ring's shape for the same solar wind dynamic pressure cases. Recent observation by MESSENGER revealed the weaker dipole field of Mercury than the past estimation based on Mariner 10 as well as large offset of dipole which could change the global configuration of Mercury's magnetosphere and behavior of sodium ions. In the presentation, we will also discuss the ongoing simulation including the above configuration of intrinsic magnetic field of Mercury especially focus on how will this affect the acceleration mechanisms.

Study of ion acceleration in Ganymede's polar magnetosphere based on Galileo spacecraft observations

Shinya Watanabe[1]; Yuto Katoh[1]; Atsushi Kumamoto[2]; William S. Kurth[3]; George Hospodarsky[3]; Donald Gurnett[3]
[1] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [2] Dept. Geophys, Tohoku Univ.; [3] Dept. of Physics and Astronomy,
Univ. of Iowa

Ganymede is one of the Jovian moons and is known as the only satellite that has an intrinsic magnetic field [Gurnett et al., 1996]. Ganymede is located in the Jovian magnetosphere and is immersed in the magnetospheric plasma corotating with Jupiter's rotation [e.g. Kivelson et al., 1998]. Since the spatial scale of Ganymede's magnetosphere is comparable to the Larmor radius of magnetospheric ions, the characteristic plasma environment is formed around Ganymede through the interaction between Ganymede's magnetosphere and Jovian magnetospheric plasma. Although previous studies discussed the morphology of Ganymede's magnetosphere and its plasma environment, most of the details are still unknown and understanding of the interaction is necessary to reveal processes occurring in Ganymede's magnetosphere.

In the present study, we discuss the plasma environment observed in Ganymede's polar region by the Galileo spacecraft. First, we identify the Upper-Hybrid Resonance (UHR) frequency observed by the Plasma Wave Subsystem (PWS). We then determine the electron density at the point of observation by estimating the electron plasma frequency from both the identified UHR frequency and the electron cyclotron frequency derived from the magnetometer observation results. We analyze four Ganymede encounters including those on orbits G01 and G02 which have been analyzed in the previous study [Gurnett et al., 1996]. Based on the results of the analysis, we obtain the distribution of the plasma density in the altitude range from 264 km to 5,262 km and find that the number density decreases rapidly with increase distance from Ganymede. At an altitude of 264 km corresponding to the closest approach during G02 encounter, the density reaches approximately 200 cm^{-3} , and the density in the region away from Ganymede converges to the plasma density of the Jovian magnetosphere. In order to study the physical process governing the plasma density profile, we examine an ion outflow from Ganymede's polar region. Since the most dominant ion species in Ganymede's magnetosphere has been considered to be O^+ [Vasyliunas and Eviatar, 2000], we assume that the obtained plasma density distribution reflects that of the O^+ density in Ganymede's magnetosphere. Based on the obtained distribution, we find that the density distribution can be expressed by $r^{-5.98}$, where r is the distance from Ganymede. Assuming that the flux is conserved along the trajectory of outflowing ions, we estimate that the ions are accelerated to between 3 and 7 times the assumed initial velocity. We propose that the acceleration process of outflowing ions is controlled by the convection electric field in Ganymede's polar magnetosphere applied through the interaction between Jovian magnetospheric plasma and Ganymede's magnetosphere. In order to evaluate the proposed acceleration mechanism, we carry out a test particle simulation of oxygen ions outflowing from Ganymede's polar region and quantitatively discuss both the trajectory and variation of kinetic energy of oxygen ions in Ganymede's polar magnetosphere.

LWA1で観測された木星電波モジュレーションレーンについて

今井 一雅 [1]; 島内 良章 [1]; 今井 雅文 [2]; Clarke Tracy[3]; Higgins Charles A.[4]; Skarda Jinhie[5]

[1] 高知高専・電気情報工学科; [2] 京大・理・地惑; [3] Naval Research Laboratory; [4] Middle Tennessee State University; [5] Stanford University

Jupiter's decametric modulation lanes observed by LWA1

Kazumasa Imai[1]; Yoshiaki Shimanouchi[1]; Masafumi Imai[2]; Tracy Clarke[3]; Charles A. Higgins[4]; Jinhie Skarda[5]
[1] Kochi National College of Technology; [2] Department of Geophysics, Kyoto University; [3] Naval Research Laboratory; [4] Middle Tennessee State University; [5] Stanford University

The Long Wavelength Array (LWA) is a low-frequency radio telescope designed to produce high-sensitivity, high-resolution images in the frequency range of 10-88 MHz. The Long Wavelength Array Station 1 (LWA1) is the first LWA station completed in April 2011, and is located near the VLA site in New Mexico, USA. LWA1 consists of a 256 element array, operating as a single-station telescope. Each LWA1 beam provides dual orthogonal linear polarizations such that it is possible to reconstruct the full Stokes parameters for each tuning.

The modulation lanes in Jupiter's decametric radiation, which were discovered by Riihimaa [1968], are groups of sloping parallel strips of alternately increased and decreased intensity in the dynamic spectral plots. In the Imai et al. [1992a, 1992b, 1997] model for the production of modulation lanes, the lanes are assumed to be a manifestation of interference fringes from the line source consisting of the points along the axis of the Io-activated flux tube. We show that the modulation lane method is a powerful tool to determine the important parameters of Jupiter's radio sources [Imai et al., 2002].

We present LWA1 observations of modulations lanes detected across a Jovian decametric Io-C burst that contains both right and left hand circular emission. The modulation lanes cross both handedness of polarization, may suggest that the emissions may be coming from the same hemisphere. Our data show similar powers for both hands of polarization which may imply that other processes are necessary to explain the L-O emission, like refractions, reflections, or mode conversions. Alternately, if the emissions are coming from opposite hemispheres, the propagation paths of each source emission through an interference screen that comprises of field-aligned columns of enhanced plasma density from the Io torus would need to be remarkably similar to form the continuous modulation lanes across both polarizations. These results add important information for our understanding of the emission mechanism at Jupiter.

地上赤外観測による金星大気波動現象の解析、VMC/Venus Express および北大ピリ カ天文台の紫外画像との比較研究

細内 麻悠 [1]; 神山 徹 [2]; 岩上 直幹 [3]; 大月 祥子 [4]; 高木 征弘 [5]; 今井 正堯 [6]
[1] 東大・理・地惑; [2] 産総研; [3] 東大・理; [4] 専修大; [5] 京産大・理; [6] 北大・理・宇宙

Study of the Venus atmospheric waves by the ground observations, and comparing with VMC/Venus Express and Pirka telescope

Mayu Hosouchi[1]; Toru Kouyama[2]; Naomoto Iwagami[3]; Shoko Ohtsuki[4]; Masahiro Takagi[5]; Masataka Imai[6]
[1] Earth & Planetary Science, Univ. of Tokyo; [2] AIST; [3] U Tokyo; [4] Senshu Univ.; [5] Faculty of Science, Kyoto Sangyo
University
; [6] CosmoSciences, Hokkaido Univ.

To figure out meteorological phenomenon in the Venus, we are searching wave phenomenon in the Venus. Especially, we would like to know vertical changes of waves.

We performed 4 times infrared spectroscopic measurements of the Venus' dayside to find out atmospheric wave structures at 60 km in the cloud layer by quantifying CO₂ absorption. The apparent rotation periods of wave-like signature was derived and it may be interpreted as superposition of the mean zonal flow and waves such as the Kelvin and the Rossby.

The last observation (performed in May 2014) has simultaneous observations by VMC/Venus Express and Pirka telescope (Hokkaido Univ.). Comparison among them will be the great step to know vertical structures of the Venus waves.

金星の大気現象を解明するため、大気波動現象、特にその鉛直構造を解明しようとしている。

過去地上赤外観測を行い、60km 付近の大気波動現象の研究を行ってきた。2014年5月に行った最新の観測は、VMC/Venus Express および北大ピリカ天文台と同日観測を行っており、その比較から金星大気波動の鉛直構造を解明できることが期待されている。

金星大気大循環モデルへの硫酸雲生成・消失過程と大気化学過程の導入

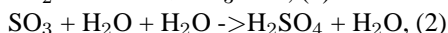
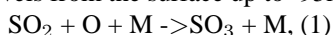
伊藤 一成 [1]; 黒田 剛史 [2]; 笠羽 康正 [2]; 寺田 直樹 [3]; 池田 恒平 [4]; 高橋 正明 [5]
[1] 東北大院理; [2] 東北大・理; [3] 東北大・理・地物; [4] 環境研; [5] 東大・大気海洋研

Implementation of the formation/extinction processes of sulfuric acid clouds and atmospheric chemistry into a VGCM

Kazunari Itoh[1]; Takeshi Kuroda[2]; Yasumasa Kasaba[2]; Naoki Terada[3]; Kohei Ikeda[4]; Masaaki Takahashi[5]
[1] Pat, Tohoku Univ.; [2] Tohoku Univ.; [3] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [4] NIES; [5] AORI, Univ. of Tokyo

Venusian sulfuric acid cloud deck exists in the altitude of 50km-70km. The distribution of clouds is affected by the meridional circulation, and in turn affects the atmospheric general circulation on Venus through the radiative effects of clouds. Therefore, understanding the nature of the formation, extinction and transport of Venusian sulfuric acid clouds is important for the study of atmospheric circulations on Venus. However, the distributions of clouds implemented in previous VGCMs (Venus General Circulation Models) have assumed to be constant based on the observations, as well as their radiative effects. The simulations that takes into account the effects of the temporal and spatial variations of clouds on the atmospheric dynamics have not been performed yet.

We have developed a system to reproduce the distributions of clouds and to investigate the interactions between atmospheric circulations and distributions of clouds. Up to now, we have implemented the transport, condensation/evaporation and the growth of sulfuric acid aerosols into a VGCM based on the CCSR/NIES/FRCGC AGCM [Ikeda, 2011]. Note that the results of the cloud distributions should affect the thermal distributions by radiation, but at this stage, the thermal distributions are assumed to be constant as well as the former code. In the previous version [Kato, 2014], the results of sulfuric acid vapor did not reproduce the observational fact that the SO₂ mixing ratio rapidly decreases at the altitude about 40km, therefore the distribution of clouds extends to unrealistic lower altitude. In the update code, we show the effects of chemical processes that decompose the sulfuric acid vapor. In our simulations, the horizontal resolution is set to T21(about 5.6 degree) and the vertical grid consists of 52 sigma-levels from the surface up to ~95km of altitude. We implemented the chemical reactions (1)-(4) listed below.



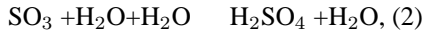
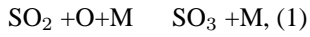
In the results so far, we could reproduce the vertical profile of sulfuric acid vapor mixing ratio consistently with observations: In the lower altitude, the H₂SO₄ mixing ratio rapidly decreases below the cloud layer (about 40-45km altitude). In the cloud deck, the peak of their mixing ratio became ~65km in the model with chemical processes as observations, while ~55km in the model without chemical processes. We could also reproduce the extinction of SO₂ and formation of sulfuric acid vapor in the upper cloud region (about 67-75km altitude), and the formation of SO₂ and extinction of sulfuric acid vapor in the lower cloud region (about 50km altitude). This is consistent with the formation/extinction processes suggested by a two-dimensional model in Imamura and Hashimoto [1998]. In this paper, we will also show further the analyses of the interactions between the meridional circulation and formation of sulfuric acid clouds, as well as the trace of SO₂/H₂O distributions.

After the completion of self-consistent reproductions of sulfuric acid clouds in our VGCM, we will add the thermal effects of on the atmospheric general circulation on Venus.

金星の高度約 50-70km には全球的に濃硫酸の雲が存在している。この硫酸雲の分布は大気循環による影響を受け、また放射によるその熱放射・吸収が大気循環へ影響を与えるため、その生成・消失の数値モデル内における再現は重要と考えられる。しかし、これまでの VGCM (Venus General Circulation Model) では、雲の緯度・高度分布は観測に基づく一定値とされ、雲の熱放射・吸収量もまた一定とされており、その変動および大気循環との相互作用の再現は試みられていない。

そこで我々は、VGCM 上に硫酸雲の生成・消失過程を組み込み、金星大気における硫酸雲の分布変動とその大気循環との相互作用の解明が可能なシステムの構築を進めてきた。これまでに、CCSR/NIES/FRCGC AGCM をもとに開発された VGCM [Ikeda, 2011] をベースとして、雲分布の大気循環による変動を追跡可能とすべく、硫酸エアロゾルを導入してその輸送、蒸発/凝縮、雲粒成長過程をモデル化して雲分布の再現を試みた。(なお、結果として得られる雲分布は大気の熱放射・吸収の量・空間分布に影響を与えるが、現段階ではこちらはまだ従来コードを踏襲して一定のままとしている。) 2014 年春期までのコードでは、観測で見られる雲層下(高度約 40 - 45km)での硫酸蒸気量混合比の急激な減少が再現されず、このため雲分布の下限高度が非現実的な値となっていた [加藤修士論文, 2014]。

本講演では、この問題の解決に向けて行った、硫酸蒸気を分解する化学過程の導入による効果を紹介する。本コードは、地表から高度 95km 付近までを水平分解能 T21(グリッド間隔約 5.6 度)、鉛直シグマレベル 52 層で計算を行った。これに以下の (1) ~ (4) の化学反応を導入している。



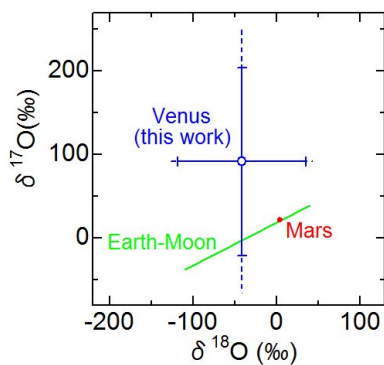
これにより、低高度で硫酸蒸気が分解するようになり、雲層下（高度約 40 - 45km）での硫酸蒸気量混合比の急激な減少を再現できた。また、上記化学過程の導入前のモデルでは硫酸蒸気量混合比のピークが 55km 付近と低かったが、化学過程導入後の新モデルでは 65km 付近となり、これも観測の再現に成功した。雲層の上部（高度約 67 - 80km）での SO_2 の消失および硫酸蒸気量の生成、雲層の下部（高度約 50km 付近）での SO_2 の生成および硫酸蒸気量の消失も再現された。これは Imamura and Hashimoto [1998] の 2 次元モデルにより示唆された硫酸蒸気の生成、分解過程と整合する。

本講演では、このコードにおける子午面循環と硫酸雲生成の関係、 SO_2 、 H_2O 等の分布再現の評価結果を併せて示す予定である。これら硫酸雲の生成・消失に係る一連の過程が VGCM 内で矛盾なく再現できるようになれば、この雲分布が与える大気熱放射・吸収への影響、およびそれによる金星大気大循環への影響の評価に踏み込むことが可能となるであろう。

Ground-based IR observation of oxygen isotope ratios in the Venus atmosphere (revised)

Naomoto Iwagami[1]; Severine ROBERT[2]
[1] U Tokyo; [2] Belgian Institute for Space Aeronomy

The oxygen isotope ratios $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ in the Venus atmosphere were measured simultaneously by ground-based IR spectroscopy. The CO_2 absorption lines in the 2648 cm^{-1} (for $^{17}\text{O}/^{18}\text{O}$) and 4582 cm^{-1} (for $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) regions were observed using the IRTF/CSHELL spectrometer. The deviations of the isotope fractions are found to be $\delta^{17}\text{O} = +92 \pm 158$ permil and $\delta^{18}\text{O} = -42 \pm 85$ permil as compared to the terrestrial standard (HITRAN 2012) where the uncertainties include both random and systematic errors. Such combination agrees with the Earth-Moon fractionation line within the errors. This is consistent to the fact that the proto-Venus matter was also well mixed with the proto-Earth-Moon matter.



Venus Express 電波掩蔽観測による金星下層大気構造についての研究

安藤 紘基 [1]; 今村 剛 [2]
[1] ISAS/JAXA; [2] JAXA 宇宙科学研究所

Study of the Venusian lower atmosphere by radio occultation in Venus Express mission

Hiroki Ando[1]; Takeshi Imamura[2]
[1] ISAS/JAXA; [2] ISAS/JAXA

Venus is surrounded by thick cloud which is composed of sulfuric acid from 50 to 70 km altitudes. Atmospheric structure above the cloud layer has been investigated by optical measurements in Pioneer Venus and Venus Express missions and ground telescopes. Below the cloud layer, on the other hand, vertical temperature and zonal wind velocity profiles were observed by probe measurements in Venera and Pioneer Venus missions. However only particular place can be observed by probe measurement, thus spatial structure of the atmosphere cannot be investigated. Measurements by an optical equipment and a ground telescope cannot observe the Venusian atmosphere below the cloud layer. Therefore, there is almost no knowledge about the structure of the lower atmosphere. One of the method to overcome this current situation is radio occultation technique, which can measure the vertical temperature distribution with high accuracy and resolution. In this study we analyzed the radio occultation data obtained in Venus Express mission to retrieve the vertical temperature profile and investigate the structure of the lower atmosphere.

In this study we analyzed the data obtained from July 2006 to June 2010. The number of the data is 280. In this analysis we assumed that the temperature distribution does not have the dependencies to the hemisphere and local time. We obtained the meridional distribution of the temporal and zonal mean of the temperature and found that it was qualitatively consistent with that obtained in Pioneer Venus mission. We also calculated that of the atmospheric stability. Above 62 km altitudes the atmosphere is basically stable. Below 62 km altitudes, on the other hand, the low stability layer exists from 47 km to 56 km altitudes in the low and middle latitudes, which reflects the convection layer in the Venusian cloud layer. Below 47 km altitude there is a little stable layer. This feature has also been seen in the probe measurements in Pioneer Venus mission. In the high latitude region, on the other hand, the low stable layer consecutively exists from 40 to 57 km altitudes. We expect that this might be attributed to not only convection but also dynamical and chemical factors which keep the atmospheric stability averagely low.

金星は、高度 50-70 km に渡って存在する分厚い硫酸の雲によって全球的に覆われている。雲層より上の領域における大気構造は、Pioneer Venus や Venus Express といった昨今の衛星ミッションにおける光学観測や望遠鏡による地上観測によって数多く研究されてきた。一方、雲層より下の大気構造については、過去の Venera ミッションや Pioneer Venus ミッションにおけるプローブ観測によって温度や風速が調べられているが、プローブではある特定の場所しか調べることができず、空間情報に乏しいという欠点がある。また、光学観測や地上観測を用いても金星の分厚い雲によって阻まれてしまうため、それらから雲層より下の大気構造を把握することは困難である。故に、金星雲層より下の大気構造についての知見は、皆無に等しいというのが現状である。これを打開できる手段の一つとして、気温の高度分布を高精度（温度測定誤差 ~ 0.1 K）かつ高分解能（鉛直分解能 ~ 1 km）で測定できる電波掩蔽観測が挙げられる。本研究では、欧州宇宙機関 ESA が打ち上げた金星周回衛星 Venus Express における電波掩蔽観測のデータを解析することで、金星雲層より下の鉛直温度分布を計算し、これまで見ることが出来なかった金星雲層より下の大気構造について考察した。

本研究では 2006 年 7 月から 2010 年 6 月までに得られた観測データを解析し、全部で 280 個の鉛直温度プロファイルを得た。今回の解析では、温度分布には半球依存性やローカルタイム依存性は無い、と仮定した。得られた温度分布を緯度 10° ごとに集積し、それぞれの緯度帯でそれらを高度方向に 1 km ずつ平均することで、40-85 km における金星大気温度の子午面断面図を求め、それは過去に Pioneer Venus の電波掩蔽観測で得られた結果と定性的には整合していた。また得られた温度分布を用いて大気の静的安定度の子午面断面図も計算した。高度 62 km より上の領域では、大気は安定な状態であることが分かる。特に高緯度には、大気安定度が大きくなっている領域が高度 65 km 周辺にあるが、これは高緯度特有の局所的に冷たい領域（cold collar）の存在によるものである。一方、高度 62 km より下の領域では、低緯度や中緯度においては高度 47-56 km にて安定度の低い領域が広がっており、これは金星雲層中に存在する対流層を反映している。また、それより下の高度領域では弱安定な領域が存在していることが分かる。この様な高度方向の大気安定度の特徴は、過去の Pioneer Venus ミッションにおける数少ないプローブ観測と定性的に整合している。一方、高緯度では中立安定な領域が高度 40-57 km まで連続して広がっていることがわかる。金星雲層の雲底では下層大気からの赤外放射を吸収し温度が高くなるため、雲底より下では大気は安定になると考えられるが、実際の観測結果はそれと矛盾するものである。故に高緯度で見られる鉛直方向に連続的に広がる低安定度層は、対流層の影響だけでなく平均的に大気安定度を低く保つような力学的または化学的要因によるものと考えられる。

SOIR/Venus Express から明らかにする金星上部もや層の描像

高木 聖子 [1]; MAHIEUX Arnaud[2]; ROBERT Severine[2]; WILQUET Valerie[2]; DRUMMOND Racheal[2];
VANDAELE Ann Carine[2]; 岩上 直幹 [3]
[1] 東海大、TRIC; [2] BISA; [3] 東大・理

Study of the Venus' upper haze observed with SOIR on board Venus Express

Seiko Takagi[1]; Arnaud MAHIEUX[2]; Severine ROBERT[2]; Valerie WILQUET[2]; Racheal DRUMMOND[2]; Ann
Carine VANDAELE[2]; Naomoto Iwagami[3]
[1] Tokai Univ. TRIC; [2] BISA; [3] U Tokyo

Venus is completely shrouded by a thick cloud deck floating at 45-70 km. The major material of the cloud deck is thought to be H_2SO_4 - H_2O droplets. The upper haze on Venus lies above the cloud layer surrounding the planet, ranging from the top of the cloud (70 km) up to as high as 90 km. However, upper haze remains to be completely elucidated due to a small number of observations.

The Solar Occultation at InfraRed (SOIR) on board Venus Express (ESA) is designed to measure the atmospheric transmission at high altitudes (70-220 km) in the IR (2.2-4.3 μm) with high resolution by solar occultation. The SOIR data obtained in 2006-2009 are analyzed to examine the upper haze at altitude above 90 km. Vertical and latitudinal distribution of haze extinction, optical thickness, and mixing ratio are calculated in using SOIR data statistically. Extinctions and optical thickness at low latitude are two times thicker than those of high latitude. One of the notable results is that mixing ratios increase at altitude above 90 km at both high and low latitudes. It is speculated that sources of haze are transported upward from under altitude 90 km and haze is produced at high altitude. From comparison with the vertical distributions of SO and SO_2 mixing ratios reported by Belyaev et al. (2012), it is speculated about the correlation between sulfuric compound and haze.

金星は地球とほぼ同じ大きさ・密度を持ち、太陽系形成時には互いに似た惑星として誕生したと考えられているが、90気圧もの二酸化炭素大気や全球を一様に覆う硫酸雲(高度 47-70 km)の存在など、地球とは全く異なる様相を見せる。

過去の金星観測により、硫酸雲の上に存在するもや層(70-90 km)が確認されている。しかし、もや層観測は絶対的に不足しているため、もや層の知見は硫酸雲に比べて格段に少なく、その描像は不明と言わざるを得ない。雲の一部であるもや層の描像が明らかでないことも大きく起因し、金星雲全体の生成・維持メカニズムは長年謎のまま残されてきた。将来的に金星雲の生成・維持メカニズムを解明するにあたり、まずもや層の描像を解明する必要がある。

現在、金星周回機 Venus Express(ESA)搭載の赤外分光計 Solar Occultation at InfraRed(SOIR, 2.3-4.2 μm)は、太陽掩蔽法により高高度(70-220 km)の金星大気・雲を2006年より継続観測している。これまで殆ど観測がなかったもや層の情報を豊富に取得している。研究では、SOIRの観測データを2006年から約3年分解析し、90 km以上にもや(「上部もや層」とする)が存在すること、上部もや層の新たな知見(消散係数・光学的厚さ・混合比の高度・緯度分布)を初めて統計的に明らかにした。高低緯度共に混合比が高度90 km以上で増加していることから、存在も確認されてこなかった上部もや層において、もやが新たに生成されていることが初めて明らかになった。また、SO・ SO_2 混合比が高高度で増加する傾向との類似性から、もやと硫黄化合物との化学的関係を示唆した。

本発表では、これまでに得られた金星上部もや層に関する成果と、得られた解析結果から推測される高高度のもやの生成メカニズムを示す。また、本成果を踏まえ、今後のあかつき等の金星探査・研究計画も提案する。

電波ホログラフィ法による金星大気の電波掩蔽データの解析

宮本 麻由 [1]; 今村 剛 [2]; 安藤 紘基 [3]; 津田 敏隆 [4]; 青山 雄一 [5]

[1] 東大・理・地惑; [2] JAXA 宇宙科学研究所; [3] ISAS/JAXA; [4] 京大・生存研; [5] 極地研

Radio holographic analysis of Venus' radio occultation data

Mayu Miyamoto[1]; Takeshi Imamura[2]; Hiroki Ando[3]; Toshitaka Tsuda[4]; Yuichi Aoyama[5]

[1] Earth and Planetary Science, The University of Tokyo; [2] ISAS/JAXA; [3] ISAS/JAXA; [4] RISH, Kyoto Univ.; [5] NIPR

Gravity waves are considered to drive the atmospheric general circulation by vertical transportation of momentum and energy. Gravity wave breaking occurs via local instabilities such as convective instability and shear instability as the amplitude of the wave increases in the course of upward propagation. Turbulence following the gravity wave braking plays an important role in the diffusion of atmospheric substances, momentum, and energy.

Gravity waves with vertical wavelengths from a few tens of meters to kilometers have been observed in the Earth's atmosphere by radiosondes and radars. Also in the atmospheres of other planets, gravity waves are observed by various methods including radio occultation. The radio occultation method relies on the measurement of the frequency shift of the received signal caused by the bending of radio waves in the radial gradient of the refractive index in the atmosphere.

The geometrical optics method has long been used for the analysis of radio occultation data. However, this method cannot disentangle multipath rays and vertical resolution is limited by the size of the Fresnel zone (~1 km). Because of this limitation, only a limited part of the gravity wave spectrum has been covered, and thus the propagation and dissipation mechanisms of the gravity waves in other planets are poorly understood.

Radio holographic methods have been proposed for processing of radio occultation signals in multipath regions and obtaining atmospheric profiles with high resolution. One of them is the Full Spectrum Inversion (FSI), which was recently applied to GPS occultation data of the Earth's atmosphere. By applying this technique to Venus Express radio occultation data, we derived temperature profiles with high vertical resolution. In this presentation, the vertical wave number spectra will be compared among different altitudes, latitudes, and longitudes, and the spatial distribution of unstable layers will be investigated for studying propagation and dissipation of the gravity waves.

重力波は浮力を復元力とする波動で、運動量やエネルギーを鉛直輸送して大気大循環を駆動すると考えられている。また上方伝搬と共に波の振幅が大きくなると、対流不安定やシア不安定といった局所的な不安定を介して碎波し、それに伴う乱流は物質やエネルギーや運動量の拡散に重要な役割を果たすと考えられている。地球大気では、ラジオゾンデやレーダーにより鉛直波長が数十 m ~ 数 km の重力波が観測され、小スケールの波の構造まで良く理解されている。一方、他の惑星では地球と同様の気象観測は機会が限られるため、主に電波掩蔽観測によって得られる高度方向の温度分布から、波に伴う温度擾乱を取り出して重力波の性質が議論されている。しかし従来の電波掩蔽データの解析においては電波を1本の光線として扱う幾何光学解法が用いられているため、屈折率の勾配が大きい領域を通過した電波は、複数経路の電波と重なり地上で同時に受信されてしまうため、分離できない。また、電波の回折効果により鉛直分解能が1 km 程度に制限されるため、これでは幅広い重力波スペクトルのうちのごく一部分しかとらえておらず、地球以外の惑星における重力波の伝搬・散逸過程はほとんど理解されていない。

そこで我々は、近年の地球大気におけるGPS掩蔽観測で用いられている電波ホログラフィ法 (Jensen et al., 2003) という、受信信号の振幅と位相の時系列全体を同時にスペクトル解析して分解能を上げる解法を金星大気に応用した。このことにより、鉛直波長 100 m 程度という高分解能な金星大気の温度の鉛直分布が得られた。

次に、得られた温度の鉛直分布から重力波に伴うと思われる温度擾乱を抽出し、それらの鉛直波数スペクトルを求めた。また、温度の鉛直分布からは大気安定度の鉛直分布も求めた。本発表では鉛直波数スペクトルの高度や経度・緯度ごとの比較や、安定度の鉛直分布における不安定層の分布について調べ、重力波の伝搬特性と碎波の性質について議論する。

多流体MHDシミュレーションに基づく太陽風磁場進入時の火星電離圏CO₂⁺鉛直分布にイオン種間衝突が及ぼす影響の研究

小山 響平 [1]; 関 華奈子 [2]; 寺田 直樹 [3]; 寺田 香織 [4]
[1] 名大・STE 研; [2] 名大 STE 研; [3] 東北大・理・地物; [4] 東北大・理・地物

Effects of ion-ion collisions on vertical CO₂⁺ profiles in Martian ionosphere under magnetic field penetration: Multi-fluid MHD

Kyohei Koyama[1]; Kanako Seki[2]; Naoki Terada[3]; Kaori Terada[4]
[1] STEL, Nagoya Univ; [2] STEL, Nagoya Univ.; [3] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [4] Geophys., Tohoku Univ.

The escape of the planetary atmosphere is an important phenomenon related to evolution of the atmosphere, and numerical simulations are an effective method to understand the global atmospheric escape processes. Since Mars does not have a global intrinsic magnetic field, the upper atmosphere interacts directly with the solar wind. The cold ion outflows the ionosphere driven by the interaction is considered as an important escape mechanism for heavy ions from Mars. In order to realize the observed large amounts of CO₂⁺ escape observed by Mars Express [Carlsson, Icarus, 2006] through the outflows, high density of CO₂⁺ at high-altitude ionosphere is required. The ionospheric model developed by Fox and Hac [2010] assumed velocity difference for each ion species in the ionosphere to reproduce the density distribution of heavy ions including CO₂⁺ in high-altitude ionosphere. This result suggests velocity difference is important to reproduce the CO₂⁺ density in high-altitude ionosphere. Najib et al. [JGR, 2011] used Multi-fluid MHD, which is the model allows each ion species to take individual velocities, to simulate the solar wind-Mars interaction. The collisions between different ion fluids (ion-ion collisions) was not included in their model. In our previous study, we developed Multi-fluid MHD code that includes the ion-ion collisions, and applied it to simulations of Martian ionosphere under conditions of no magnetic field. The results suggested that the velocity difference between ion species enhances upward transport of CO₂⁺ and the ion-ion collision limits the upward transport of CO₂⁺. This limitation is important to determine relative abundance of each ion species in the high-altitude ionosphere.

In this study, we investigate the effects of the ion-ion collision as well as the velocity difference of each ion species on the vertical density profile of CO₂⁺ under the existence of magnetic fields. In order to simulate the solar wind penetration from the above, we put the transverse magnetic field at the upper boundary of the ionosphere. We conducted three cases of the simulations. Case 1: Multi-fluid MHD including the ion-ion collisions, Case 2: Multi-fluid MHD without the ion-ion collisions, and Case 3: Multi-species MHD (no velocity difference between ion species). In the presentation, dependences of vertical profile of CO₂⁺ density on the imposed magnetic field strength (equivalent to the solar wind dynamic pressure) and the boundary conditions of the vertical velocity at the upper boundary will be reported.

速い抵抗性リコネクションによる金星電離圏フラックスロープの生成

阪本 仁 [1]; 寺田 直樹 [2]
[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理・地物

Formation of flux ropes in the Venusian ionosphere by fast resistive magnetic reconnection

Hitoshi Sakamoto[1]; Naoki Terada[2]
[1] Geophysics, Tohoku Univ; [2] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.

<http://pat.gp.tohoku.ac.jp/wordpress/>

Although Venus has no intrinsic magnetic field, magnetic field exists in the upper atmosphere through the interaction with the solar wind. In the dayside ionosphere of Venus, small magnetic rope-like structures called flux ropes were often observed when solar wind dynamic pressure was low. Pioneer Venus Orbiter (PVO) observed flux ropes on more than 70% of the orbits passing through the dayside lower ionosphere, and found its occurrence rate maximizes at 170km altitude [Elphic et al., 1983].

So far some models to generate the flux ropes in the dayside ionosphere of Venus have been proposed (K-H instability [Wolff et al., 1980], nonlinearity associated with the Hall effect [Kleeorin et al., 1994]), but the generation mechanism is yet to be understood. In this study, we propose a new model to generate flux ropes based on recently proposed fast resistive magnetic reconnection [Loureiro et al., 2007]. This fast resistive reconnection occurs in a very long Sweet-Parker (SP) current sheet. The growth rate in the linear stage is proportional to the one-quarter power of the Lundquist number, and the current sheet is unstable under the condition that the Lundquist number is more than 10 to the power of 4. According to MHD simulation results [Samtaney et al., 2009], a chain of plasmoids is formed after reconnection at many points in the current sheet. Such a chain structure is similar to flux ropes. In the dayside ionosphere of Venus, a very long current sheet can form when the polarity of the interplanetary magnet field (IMF) is reversed, where the fast resistive magnetic reconnection occur. Therefore, we considered a model to generate flux ropes through the formation of a very long current sheet and subsequent fast resistive reconnection in the dayside ionosphere of Venus, and then examined its applicability. The outline of the generation model we propose in this study is as follows: First, IMF carried by the solar wind penetrates into the dayside lower ionosphere when solar wind dynamic pressure is high. Then, the field reversal structure resulting from an IMF turning penetrates there, and a very long SP current sheet is created. Finally, flux ropes are generated through the fast resistive reconnection in the current sheet.

In order to examine the applicability of our model, we have estimated the altitude profiles of the Lundquist number, the growth rate of the fast resistive reconnection, and the SP current sheets thickness by using the result of a hybrid simulation in the upper atmosphere of Venus [Terada et al., 2002]. From the profiles, we have chosen the altitudes corresponding to specific Lundquist numbers, and considered that the fast resistive reconnection can occur if the following conditions are satisfied at the chosen altitudes. First one is that the fast resistive reconnection can grow sufficiently. Second one is that the SP current sheet thickness is larger than the observed minimum current sheet thickness [Elphic et al., 1983]. Consequently, we have found that our model is applicable at altitudes near 170 km (Lundquist number is 10 to the power of 5 at this altitude).

Based on this result, we have performed an MHD simulation with the parameters at 170km altitude to compare our model with the PVO observation. Our simulation results show that flux ropes are generated by the fast resistive reconnection, and the growth time is approximately 300s. In the nonlinear stage, the coalescence between the flux ropes occurs in several times the growth time. This coalescence has an effect to broaden the spatial interval between the flux ropes. The resultant spatial interval is approximately 200~300km, which is consistent with the PVO observation. These results suggest the validity of our model.

金星は固有磁場を持たない惑星だが、太陽風との相互作用により、超高層大気中には磁場が存在する。金星の昼側の電離圏では、太陽風の動圧が低い時に磁力線がロープのようにねじれたフラックスロープと呼ばれる微細構造がしばしば観測される。Pioneer Venus Orbiter (PVO) は、昼側の下部電離圏を通過する軌道の 70 パーセント以上でフラックスロープを観測し、その観測頻度が 170km で最大となることを報告した [Elphic et al., 1983]。

フラックスロープに関して、これまでにいくつかの生成モデル (K-H 不安定 [Wolff et al., 1980], ホール効果に起因する非線形効果 [Kleeorin et al., 1994]) が提案されたが、いまだにその生成メカニズムはよくわかっていない。本研究では、最近提案された速い抵抗性の磁気リコネクション [Loureiro et al., 2007] に基づく、新しいフラックスロープの生成モデルを提案する。最近提案された速い抵抗性リコネクションは、非常に横に長い Sweet-Parker タイプの電流シートの中で起こる。その成長率はルンキスト数の 4 分の 1 乗に比例し、ルンキスト数が 10 の 4 乗より大きいときに、横長の電流シートは不安定となる。MHD シミュレーションの結果 [Samtaney et al., 2009] によれば、電流シート内の多数の点でリコネクションが起きたのちに、鎖状にたくさんのプラズモイドが形成される。このような鎖状の構造はフラックスロープに似ている。金星の昼側の下部電離圏においても、惑星間空間磁場の極性が反転する時に、速い抵抗性リコネクションが起こる非常に横に長い電流シートが形成される可能性が考えられる。そこで我々は、金星の昼側電離圏において、横に長い電流シートの形成によって生じる速い抵抗性リコネクションを介したフラックスロープ生成のモデルを考察し、その

適用可能性を検討した。我々が今回提案するモデルの概要は次の通りである。まず太陽風の動圧が高い状態を考えると、太陽風が運んでくる惑星間空間磁場が下部電離圏まで潜り込む。次に惑星間空間磁場の向きが変化し、反平行に並んだ磁場が潜り込めば、金星の昼側の電離圏で、横長の電流シートが形成される。形成された電流シートの中で、速い抵抗性リコネクションが起きることにより、フラックスロープが生み出される。

我々はこのモデルの適用の可能性を検討するために、まず先行研究の金星超高層大気のハイブリッドシミュレーションの結果 [Terada et al., 2002] を用いて、金星電離圏におけるルンキスト数、速い抵抗性リコネクションの成長率、Sweet-Parkerタイプの電流シートの厚み、それぞれの高度分布を求めた。得られた高度分布から、ルンキスト数に関して典型的な大きさを持つ高度をいくつか抽出した。そして、抽出したそれぞれの高度で、以下の2つの条件を満たすときモデルが適用可能と考察した。1つ目の条件は、速い抵抗性リコネクションが十分速く成長するという時間的な条件であり、2つ目の条件は電流シートの厚みが観測で得られている電流シートの最小の厚み [Elphic et al., 1983] 以上になるという空間的な条件である。結果によると、およそ高度 170km (ルンキスト数が 10 の 5 乗) 付近で、我々のモデルは適用可能ということが予測された。

この結果を踏まえ、PVO の観測結果とモデルの描像を詳しく比較するために、我々は高度 170km におけるパラメータを用いた MHD シミュレーションを行った。計算結果によれば、速い抵抗性リコネクションにより、フラックスロープが生成され、成長時間は 300s 程度であった。非線形段階では、隣り合うフラックスロープの合体も見られた。合体は成長時間の数倍程度の時間で起こり、フラックスロープの空間間隔を広げる効果があることが確かめられた。十分時間発展した後では、フラックスロープの空間間隔は 200~300km 程度であり、PVO の観測で得られ空間間隔とおよそ一致しており、これらの結果は我々のモデルの妥当性を示唆している。

Mars Express 搭載赤外フーリエ分光器 PFS を用いた火星中間圏 CO₂ ice clouds の観測

佐藤 佑紀 [1]; 笠羽 康正 [2]; Giuranna Marco[3]; 青木 翔平 [4]; 中川 広務 [4]; 黒田 剛史 [2]
[1] 東北大、理、惑星大気; [2] 東北大・理; [3] IAPS,INAF,Italy; [4] 東北大・理・地球物理

Observation of CO₂ ice clouds in the Martian Mesosphere using PFS onboard Mars Express

yuki sato[1]; Yasumasa Kasaba[2]; Marco Giuranna[3]; Shohei Aoki[4]; Hiromu Nakagawa[4]; Takeshi Kuroda[2]
[1] PAT,Tohoku Univ.; [2] Tohoku Univ.; [3] Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali, INAF,Italy; [4] Geophysics, Tohoku Univ.

The atmosphere of Mars consists of 95% carbon dioxide. It condenses as surface ice on the winter poles and as clouds in the coldest parts of the atmosphere, such as the polar night. Recent discovery has been the formation of CO₂ ice clouds not only in the winter pole, but also in the Mesosphere near the equator in spring and summer. Very recently these clouds have been also detected at mid-latitudes in late autumn. Observatoire pour la Mineralogie, l'Eau, les Glaces et l'Active (OMEGA) aboard Mars Express provided the spectral signature of CO₂ ice clouds, which exhibits single distinct peaks at 4.26 μm inside a CO₂ gas absorption at 4.3 μm . Optical properties of CO₂ ice clouds (particle radius and opacity) were also estimated by shadow observation and radiative transfer model, but the particle size obtained by former observation has not an agreement with the calculated estimation by the latter model. Particle size of CO₂ ice estimated by observation is found to exceed 1 μm .

We tried to estimate the optical properties of these cloud particles by Planetary Fourier Spectrometer (PFS) aboard Mars Express, with the highest spectral resolution ($\sim 1.3 \text{ cm}^{-1}$) in the spectral ranges among the current instruments orbiting around Mars. The spectral resolution of PFS is about ten times higher than that of OMEGA ($\sim 11.0 \text{ cm}^{-1}$). It allows us to investigate the optical properties of CO₂ ice clouds. In this study, we attempt to detect CO₂ ice clouds as the first step.

PFS has a number of simultaneous measurements for CO₂ ice clouds with OMEGA. We analyzed the data for ten orbits where OMEGA detected CO₂ ice clouds with nadir geometry. Spectra obtained by PFS shows a feature like the signal of CO₂ ice clouds with spike shape at around 4.25 μm . PFS showed the spike more clearly with high spectral resolution, though the position of the spike feature slightly shifted toward shorter wavelength in comparison with the spectra obtained by OMEGA. In order to verify whether this signal is real or not, we compared with the data obtained by PFS with that by OMEGA. Since the spike at 4.25 μm showed up only when observation area of PFS was consistent with where OMEGA detected CO₂ ice clouds, we can conclude that the spectral feature obtained by PFS is due to CO₂ ice clouds. In some spectra obtained by PFS, we found the spectral feature with two peaks at 4.25 μm and 4.28 μm . This spectral feature was seen only by PFS because of its high spectral resolution. We assumed that the difference of spectral features (single- and double-peak suggest different characteristics of clouds, for example size distribution of cloud particle, particle shape and condensation nuclei. For further investigations, we calculated synthetic spectrum by using the discrete-ordinate-method (DISORT) radiative transfer model assuming several size distributions, and estimating the particle radius of CO₂ ice clouds. As a first result, synthetic spectra calculated by radiative transfer model showed that particle radius of CO₂ ice was less than 1 μm .

火星大気の95%を占めるCO₂は、中低緯度では高度60km以上の中間圏領域で凝結し、雲として存在している。この雲は、欧州火星探査衛星 Mars Express に搭載された OMEGA による赤外線分光観測によって、CO₂ 氷からなることが示された。すなわち雲の散乱がみられる領域では、4.3 μm 帯の強いCO₂ 大気吸収の中でCO₂ 氷に起因するとみられる4.26 μm 近傍のピークが確認された。さらに、OMEGA 観測で見られたCO₂ 雲による地上影の解析と放射伝達モデルを用いた簡易的な解析の2つの手法から雲粒子の光学的特性(粒子半径、光学的厚さ、高度)が見積もられた。影の解析によって得られた粒子半径は1 μm 以上となったが、放射伝達モデルによって定性的に見積もられた粒子半径はこの結果と不一致であった。CO₂ の雲粒径を放射モデルによって見積もるには、CO₂ 氷を含むスペクトルをより高い波長分解能で観測し、より厳密に計算スペクトルとのフィッティングを行う必要がある。放射モデルを用いた計算によるとCO₂ 氷によるピークの半値幅は約7.5 cm^{-1} 程度である。

今回我々は、同じく Mars Express に搭載された赤外フーリエ分光器 PFS による同対象の解析を試みた。PFS は、OMEGA の約10倍の波長分解能をもっている(約1.3 cm^{-1})。従って、PFS はCO₂ 氷のピークを解析するために十分な波長分解能を有している。解析の第一ステップとして、PFS による中間圏CO₂ 雲の検出可能性を評価した。PFS と OMEGA は、両機器が nadir 観測している時には、同時観測が可能となる。我々は、OMEGA がCO₂ 雲を観測した10のorbitにおけるPFSのデータ解析を行った。PFS は OMEGA と比べて約20倍程度視野が広いが、PFS の観測スペクトルにおいて、OMEGA で得られた時間帯・領域において同様のCO₂ 氷の特徴的なスペクトルを見いだした。PFS においてはより高波長分解能でCO₂ 氷のスペクトルピークがより鋭く明瞭に示され、OMEGA (波長分解能: 約11.0 cm^{-1}) の観測から推定されたピーク位置4.26 μm よりも波長の短い4.25 μm にピークを有することを見いだした。OMEGA においてCO₂ 氷の特徴が見られた時間帯・領域においては必ずPFSでもその特徴を見いだしている。PFSでは、またいくつかのデータにおいて4.25 μm と4.28 μm のふたつの位置にピークが現れるケースがある。このダブルピークは、PFSの高

波長分解能観測によってのみ見られる構造である。このシングルピークとダブルピークのスペクトルの相違は、観測した雲の光学的特性の違いを示していると考えている。本講演では、放射伝達モデルの1つである DISORT 法を用いたリトリーバルによる、雲の光学的特性（雲の粒径分布や光学的厚さ）の見積もり結果を報告したい。

放射伝達モデルの初期結果によると、PFS で観測された CO₂ 氷雲の粒子半径は 1 μ m 未満であった。

火星地表面における放電現象検出用交流磁界受信機の開発

安宅 祐香 [1]; 石坂 圭吾 [2]; 尾崎 光紀 [3]; 八木谷 聡 [4]; 小嶋 浩嗣 [5]; 山本 真行 [6]; 佐藤 光輝 [7]; 高橋 幸弘 [8]
[1] 富山県立大; [2] 富山県大・工; [3] 金沢大・理工・電情; [4] 金沢大; [5] 京大・生存圏; [6] 高知工科大; [7] 北大・理; [8] 北大・理・宇宙

Development of AC magnetic receiver for the detection of discharge events on Mars

Yuka Ataka[1]; Keigo Ishisaka[2]; Mitsunori Ozaki[3]; Satoshi Yagitani[4]; Hirotsugu Kojima[5]; Masa-yuki Yamamoto[6]; Mitsuteru SATO[7]; Yukihiko Takahashi[8]
[1] Toyama Pref. Univ.; [2] Toyama Pref. Univ.; [3] Electrical and Computer Eng., Kanazawa Univ.; [4] Kanazawa Univ.; [5] RISH, Kyoto Univ.; [6] Kochi Univ. of Tech.; [7] Hokkaido Univ.; [8] CosmoSciences, Hokkaido Univ.

The discharges in the Martian low-pressure atmosphere are likely to be existed, however, observation of discharges has never been carried out in the previous landing explorations on the Mars. Although the Mars global surveyor (MGS) tried to detect electromagnetic waves from the Martian discharges, Gurnett et al., 2010 reported that the intensity of terrestrial-like discharges is that 1/10000 weaker than terrestrial events. However, if the events are 'slower' than Earth's cloud to ground discharge, such events radiate electromagnetic wave. The electromagnetic waves generated near the ground level cannot reach to the orbiter because the ionosphere of the Martian environment with weak intrinsic magnetic field can be reflect all of the electromagnetic waves. Thus, discharge measurement on the Martian ground is necessary and important.

For observation of the Martian discharges, 1-axis electric field and 2-axes magnetic field up to 50 kHz are required to make sure the direction-finding of the lightning-excited electromagnetic waves. The combination measurement of one vertical electric field and two horizontal magnetic field (B) is essential in order to detect the propagation direction of the electromagnetic waves generated by the Martian discharge because it enable us to estimate the Poynting vector ($P = E \times B$). Low frequency electromagnetic waves are important for monitoring atmospheric events because of their long-distant propagating characteristics more than 1000 km. An AC magnetic field receiver with the orthogonal loop antenna is designed for the direction-finding function. We will present the specification of the AC magnetic receiver and the results of the prototype receiver. Our instrument is designed for electromagnetic wave measurements that have never been operated on the Martian surface. Therefore it will be first measurement of electromagnetic waves on the Martian surface.

惑星観測を目指した極周回成層圏望遠鏡 FUJIN

前田 惇徳 [1]; 田口 真 [2]; 吉田 和哉 [3]; 坂本 祐二 [4]; 中野 壽彦 [3]; 荘司 泰弘 [5]; 高橋 幸弘 [6]; 仲本 純平 [7]; 今井 正
亮 [6]; 渡辺 誠 [6]; 合田 雄哉 [6]

[1] 立教・理・物理; [2] 立教大・理・物理; [3] 東北大・工; [4] 東北・工; [5] 宇宙科学研究所; [6] 北大・理・宇宙; [7] 北大・
理・地学

The Circumpolar Stratospheric Telescope FUJIN for Observations of Planets

Atsunori Maeda[1]; Makoto Taguchi[2]; Kazuya Yoshida[3]; Yuji Sakamoto[4]; Toshihiko Nakano[3]; Yasuhiro Shoji[5];
Yukihiro Takahashi[6]; Jumpei Nakamoto[7]; Masataka Imai[6]; Makoto Watanabe[6]; Yuya Gouda[6]

[1] Sciences, Rikkyo Univ.; [2] Rikkyo Univ.; [3] Space Engineering, Tohoku Univ.; [4] Space Engineering, Tohoku Univ.; [5]
JAXA; [6] CosmoSciences, Hokkaido Univ.; [7] Earth Sciences, Hokkaido Univ

It is important to conduct long-term continuous observations for studies on time-dependent events in the planetary atmospheres and plasmaspheres. The FUJIN project aims at continuous observations of planets using a telescope lifted by a balloon in the polar stratosphere. FUJIN-2 will be launched at ESRANGE in Kiruna, Sweden in the window from July to August in 2015. The gondola will be recovered in Scandinavia after one or two days flight. Since Venus will reach inferior conjunction on August 16, 2015, it will be a good chance to observe the nightside of Venus. Jupiter will be seen close to Venus, but its apparent diameter will be small just before conjunction on August 27, 2015. Jovian atmospheric dynamics will be studied from cloud motion derived from images in the visible bands such as NH_3 800 nm and CH_4 890 nm. When Mercury will be apart from the Sun during a part of the launch window, we will observe Mercury's sodium atmosphere and tail as an optional observation.

During daytime SCPs (Solar Cell Panels) of which the nominal maximum power is 540 W generates electric power for FUJIN-2, and during nighttime Li-ion batteries supply electric power. Under the flight condition of FUJIN-2 we estimate that the SCP can supply power more than 250 W in average. Considering power required for charging the Li-ion battery the electric power which the system can consume is about 290 W and 150 W during daytime and nighttime, respectively.

FUJIN mainly observes the planets during daytime. Because atmospheric scattering of sunlight is a main source of background for the ground-based observations of planets during daytime, installation of a hood on a telescope is not very effective. On the other hand atmospheric scattering at an altitude of 32 km, which is an expected altitude of FUJIN balloon experiments, is less than 1% of the ground level. It is important to suppress stray light inside of the telescope especially for detection of faint phenomenon. When a target body is apart from Sun more than 15 deg, an oblique cylindrical CFRP hood of 1500 mm long and slant angle of 15 deg is installed on the telescope. The hood can be rotated around the optical axis of telescope so that the hood blocks direct sunlight entering the telescope whenever observing an object located in any direction from the Sun.

The control system of gondola (control moment gyros (CMGs) and a decoupling mechanism (DCP)), the drive circuit of motors, the interface of CCD, the hood and its rotation system, and an extension of an airtight chamber of electric system are under development. Optical alignment of the telescope will be adjusted, and the image quality will be tested. After all of the sub-systems are integrated, a thermal vacuum test under the stratospheric environment will be conducted. According to the test result the electric power required for the heaters will be determined. The functional tests will be completed by March in 2015, and the FUJIN-2 gondola will be shipped to ESRANGE.

惑星の大気圏やプラズマ圏で起こる変動現象を研究するためには、長時間の連続観測が重要である。我々は気球を用いて極域成層圏に浮かべた光学望遠鏡による惑星連続観測を目指した FUJIN プロジェクトを遂行している。FUJIN プロジェクトの2号機 FUJIN-2 は2015年7~8月のウィンドウにスウェーデン・キルナのエスレンジで放球され、1~2日間のフライトの後、スカンジナビア半島内で回収される予定である。金星は2015年8月16日が内合で、夜面の観測好機である。木星は8月27日に合になるので視直径が小さいが、金星に近いところに見えているので観測しやすい。木星は NH_3 800 nm、 CH_4 890 nm などの可視光バンドで雲の動きから大気ダイナミクスを観測する。また、水星が金星の近くに見えている時期もあり、オプションとして NaD 589 nm で水星ナトリウム大気及びテイルの観測を実施する。

日照中は公称最大出力540Wの太陽電池パネルで発電し、日陰中はリチウムイオンバッテリーから電力を賄う。FUJIN-2のフライト条件下では、搭載される太陽電池パネルは日照中に平均250W以上の発電が可能であると見積もられている。日照中の余剰電力でリチウムイオンバッテリーを充電することを考慮すると、日照中は290W日陰中は150Wの電力を観測機器に供給することが可能である。

FUJINによる惑星観測は基本的に日照中に行う。地上では大気の散乱光が明るいので、フードを装着する効果は小さいが、気球高度での大気散乱は地上の1/100以下であり、暗い現象を観測するときに、望遠鏡内部での迷光を除去することが重要になる。太陽が目標天体から15度以上離れているときに、望遠鏡内部に太陽直達光が当たらないように、長さ約1500mmの円筒を角度15度で斜めに切り落とした形のフードを装着する。素材は軽く強度のあるCFRPを用いる。観測時に太陽が目標天体に対してどのような方向にあっても対処できるように、フード周りに回転機構を備え付ける。

現在、ゴンドラ制御系(コントロールモーメントジャイロ及びデカップリング機構)、モーター駆動回路、CCDカメラインターフェース部、フード及び回転機構、電源系気密容器を製作している。今後の開発スケジュールは、まず、望遠鏡の光軸を調整し、解像度を確認する。全てのサブシステムがそろったところで、成層圏環境を模擬した熱真空試験

を行う。この試験結果により、ヒーター電力を見積もり、最終的な消費電力を決定する。2015年3月までに各種試験を終了し、観測へ向けて機材を搬出する。

系外惑星大気観測装置のための基礎実験

池澤 祥太 [1]; 亀田 真吾 [1]
[1] 立教大

Basic experiments on equipment for observing exoplanet atmospheres

Shota Ikezawa[1]; Shingo Kameda[1]
[1] Rikkyo Univ.

Recently, exoplanet atmospheres are being vigorously researched. For example, transmission spectroscopy of exoplanets has revealed atmospheric compositions. However, long-term variation of the atmospheric loss have not been observed. By comparing the loss of exoplanet atmospheres with that of solar system planets, it is possible to study exoplanet environments and understand the atmospheric loss process caused by the interaction of the planet's atmosphere and stellar wind. Therefore, long-term observations of atmospheric loss are important. However, this is difficult because the period of use of space-borne or ground-based telescope is limited. In this work, we aim to develop equipment for long-term observation of sodium in exoplanet atmospheres. Because sodium has high absorption efficiency, it can be more easily detected. The observation target is a hot Jupiter HD 209458b because sodium absorption ($\sim 0.1\%$) has been already detected by transmission spectroscopy in its atmosphere (Snellen et al., 2008).

We chose the Fabry-Perot interferometer for the spectroscopic observation because it has high spectral resolution and can be smaller than a grating spectrometer. The Fabry-Perot interferometer transmits light at wavelength specific to the incident angle. When the collimated light from exoplanet enters the Fabry-Perot interferometer directly, the monochromatic light can transmit. In this case, obtaining the absorption spectrum of the atmospheric absorption line is impossible. As a solution, we use light emitted from an optical fiber, which spreads by the core diameter. Owing to the posture change of the observation equipment, there is a possibility that the distribution of the intensity of emitted light varies more than the sodium absorption. In this study, we investigated the variation of the emitted light intensity for different focusing position on the end face of the optical fiber. Then, we estimated the pointing accuracy requirements of the observation equipment. We found that the pointing accuracy should be less than or equal to 1.5 arcsec in order to maintain the variation of light intensity distribution below $\sim 0.1\%$. We demonstrated that an equipment specialized in pointing accuracy such as the MOST (Microvariability and Oscillations of Stars) microsatellite (Grocott et al., 2009), is capable of observing exoplanet atmospheres.

近年、系外惑星の観測が精力的に行われてきている。トランジットを起こす一部の系外惑星では惑星大気を透過した主星からの光を分光観測することにより、惑星大気の組成などが明らかになってきている。しかしながら、大気散逸現象の長期観測による物質散逸の時間変動を捉えることはいまだできていない。系外惑星と太陽系惑星での大気散逸現象を比較することで、恒星風と惑星大気の相互作用による大気散逸過程の理解や系外惑星の環境・状態の推定をすることができる。そのため系外惑星の大気散逸現象の長期観測は重要である。しかし、実際には観測装置の使用期間が限られていることから長期観測は現実的ではない。そこで本研究ではすでにナトリウム原子スペクトルの0.1%の吸収が検出されている (Snellen et al., 2008) 系外惑星 HD 209458b のナトリウム大気を観測対象とした小型宇宙望遠鏡の開発を目指している。ナトリウムは吸収効率が高く微量でも検出可能性を上げられるため、散逸現象を捉える目的では有用である。また、私たちは分光器として、波長分解能が高く回折格子型と比べ小型化が可能なファブリペロー干渉計を選んだ。

ファブリペロー干渉計は回折格子のように光を分散するのではなく、入射角に応じて波長を選択的に透過する。惑星系からの光はほぼ平行光であるため、直接ファブリペロー干渉計に光を入射させた場合、単一の波長のみを透過することになる。この場合には惑星大気吸収線のスペクトルを得ることはできない。そのため吸収スペクトルを得るためには面光源が必要になる。そこで私たちは惑星からの平行光を光ファイバーに集光し、その出射光を面光源として利用する方法を考案した。しかし、光ファイバーを面光源として利用する際、観測装置の姿勢変化によって光ファイバー端面上での集光位置が移動し、出射光光量分布が変動してしまう可能性があった。そのため本研究では光ファイバー端面上での集光位置を移動させた時の出射光光量分布の変動を調べる実験を行い、観測装置の要求指向精度を見積もった。その結果、光量分布変動を0.1%に抑えるためには焦点距離400mmの望遠鏡で約1.5秒角以下の指向精度が必要なことが示された。この結果はカナダ宇宙庁の小型衛星 MOST (Grocott et al., 2009) のような指向精度に特化した小型宇宙望遠鏡であれば系外惑星大気の観測が可能であることを示している。

BepiColombo 日欧共同水星探査ミッション：MMO プロジェクト最新状況報告

早川 基 [1]; 前島 弘則 [2]; BepiColombo MMO プロジェクトチーム 早川 基 [3]
[1] 宇宙研; [2] JAXA/ISAS; [3] -

BepiColombo Euro-Japan Joint mission to Mercury: MMO Project Status update

Hajime Hayakawa[1]; Hironori Maejima[2]; HAYAKAWA, Hajime BepiColombo MMO Project team[3]
[1] ISAS/JAXA; [2] ISAS/JAXA; [3] -

<http://www.stp.isas.jaxa.jp/mercury/>

BepiColombo is a ESA-JAXA joint mission to Mercury with the aim to understand the process of planetary formation and evolution in the hottest part of the proto-planetary nebula as well as to understand similarities and differences between the magnetospheres of Mercury and Earth.

The baseline mission consists of two spacecraft, i.e. the Mercury Planetary Orbiter (MPO) and the Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO). The two orbiters will be launched in 2016 by an Ariane-5 and arrive at Mercury in 2024. JAXA is responsible for the development and operation of MMO, while ESA is responsible for the development and operation of MPO as well as the launch, transport, and the insertion of two spacecraft into their dedicated orbits.

MMO is designed as a spin-stabilized spacecraft to be placed in a 600 km x 11400 km polar orbit. The spacecraft will accommodate instruments mostly dedicated to the study of the magnetic field, waves, and particles near Mercury.

Selection of the PI responsible instruments was finished on 2004. MMO final AIV is on-going and expected to be finished in this year. MMO will be transferred to ESA/ESTEC in next March and join Mercury Cruise System level final AIV. Mission CDR for whole BepiColombo is scheduled in this year.

11th BepiColombo science working team (SWT) meeting, which discusses science related matters, will be held on Sep. 2014 at Tokyo. In this paper, we will report the latest information of MMO project status.

紀元前から知られる水星は、「太陽に近い灼熱環境」と「軌道投入に要する多大な燃料」から周回探査は困難であった。米国マリナー 10 号による 3 回のフライバイ観測 (1974-5) は、この小さな惑星にはあり得ないと考えられていた磁場と磁気圏活動の予想外の発見をもたらしたが、その究明は 30 年以上続く夢に留まってきた。これらの探査耐熱技術の進展に代表される技術革新が、ようやく大きな壁を取り除きつつあり、2011 年 3 月からは米国 MESSENGER の周回軌道からの観測を行っている。「ベピ・コロombo (BepiColombo)」は、欧州宇宙機関 (以下、ESA) との国際分担・協力によりこの惑星の磁場、磁気圏、内部、表層を初めて多角的・総合的に観測しようとするプロジェクトである。固有磁場と磁気圏を持つ地球型惑星は地球と水星だけで、初の水星の詳細探査 = 「初の惑星磁場・磁気圏の詳細比較」は、「惑星の磁場・磁気圏の普遍性と特異性」の知見に大きな飛躍をもたらすし、磁場の存在と関係すると見られる巨大な中心核など水星の特異な内部・表層の全球観測は、太陽系形成、特に「地球型惑星の起源と進化」の解明に貢献する。また、MESSENGER によってなされた数多くの発見は BepiColombo によって解き明かされる事が期待されている。

本計画は、観測目標に最適化された 2 つの周回探査機、すなわち表面・内部の観測に最適化された「水星表面探査機 (MPO)」（3 軸制御、低高度極軌道）磁場・磁気圏の観測に最適化された「水星磁気圏探査機 (MMO)」（スピン制御、楕円極軌道）から構成される。ISAS / JAXA は、日本の得意分野である磁場・磁気圏の観測を主目標とする MMO 探査機の開発と水星周回軌道における運用を担当し、ESA が残りの全て、すなわち、打ち上げから惑星間空間の巡航、水星周回軌道への投入、MPO の開発と運用を担当する。

両探査機に搭載する数々の科学観測装置は、2004 年の搭載機器選定以降開発は着々と進行し、日本側は一昨年 9 月より FM の総合試験を実施しており、年末に終了の予定である。また ESA 側開発のモジュール (MPO, MTM) も各々の NFM 総合試験を実施しており、来年の上半期には終了する予定である。MMO FM は今年度末に ESA/ESTEC に輸送され、来年夏より開始されるスタックレベル (MCS: Mercury Cruise System) の総合試験に参加する。本試験は来年末まで実施され、その後射場へと輸送され 2016 年 7 月に予定されている打ち上げに備える事になる。なお、BepiColombo 全体のミッション CDR は本年後半に予定されている。

水星到着後の観測は、選ばれた装置開発チームに留まらず、広く日欧研究者で構成する「BepiColombo 科学ワーキンググループ」(年 1 回程度開催) で立案・実施される。本講演では、これら科学観測に関連した状況、日本側が製作を担当する MMO の状況並びに ESA 側進捗状況について最新状況を報告する。

Test-particle simulation of keV electron elastic collision with H₂O molecule originated from Enceladus

Hiroyasu Tadokoro[1]; Yuto Katoh[2]

[1] none; [2] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.

Water group neutrals (H₂O, OH, and O) in Saturn's inner magnetosphere play the dominant role in loss of energetic electrons and ions because of abundance of the neutral particles [e.g., Paranicas et al., 2007; Sittler et al., 2008]. The observations of injected electrons and ions in the inner magnetosphere suggest that these particles do not survive very long time due to the neutral cloud originated from Enceladus [e.g., Paranicas et al., 2007; 2008]. Thus, the previous study suggested that the neutral cloud contributes to loss processes of plasma in the inner magnetosphere. However, little has been reported on a quantitative study of the electron loss process due to electron-neutral collisions. We focus on elastic collision of 1 keV electron as a typical energy in this study. In the present study, we examine the variation of energetic electron pitch angle distribution at the magnetic equator and loss rate of precipitated electrons into Saturn's atmosphere through pitch angle scattering due to elastic collisions with neutral H₂O along Saturn's magnetic field line around Enceladus. We conduct one dimensional test-particle simulation for monoenergetic electrons along Saturn's dipole magnetic field line around Enceladus when the co-rotating electron flux tube passes the dense H₂O region in the vicinity of Enceladus (~6.4 minutes). Results show that the equatorial electron pitch angle distribution near the loss cone (<20 degrees and >160 degrees) decreases with time through pitch angle scattering due to elastic collisions and that the distribution around 90 degrees shows significant scattering due to the dense region of H₂O. It is found that the electrons of ~19 % to the total number of equatorial electrons at the initial condition are lost in ~380 seconds. The calculated loss time is fourth faster than the loss time under the strong diffusion.

木星磁気圏の磁場の南北擾乱に関する研究

北川 普崇 [1]; 笠原 慧 [2]; 木村 智樹 [3]; 埜 千尋 [4]; 藤本 正樹 [5]

[1] 東大・理・地惑; [2] ISAS/JAXA; [3] JAXA/ISAS; [4] LPP, Ecole Polytechnique; [5] 宇宙研

Study of disturbance in north south component of magnetic field in the Jovian magnetosphere

Hirotaka Kitagawa[1]; Satoshi Kasahara[2]; Tomoki Kimura[3]; Chihiro Tao[4]; Masaki Fujimoto[5]

[1] EPS, Univ. of Tokyo; [2] ISAS/JAXA; [3] JAXA/ISAS; [4] LPP, Ecole Polytechnique; [5] ISAS, JAXA

Jovian magnetotail disturbance in north south component of magnetic field was thought to be a result of magnetotail reconnection. However the previous study revealed that the disturbances in the dusk side do not have a signature of reconnection jet fronts. We studied about the disturbances. We found that the locations of disturbances have dependence on latitude.

木星磁気圏の磁場の南北擾乱は尾部において磁気リコネクションが引き起こしたと考えられてきた。しかしながら主に夕方側の磁場の南北擾乱の形はリコネクションのジェットフロントの特徴を示さないことが判明した。そこで本研究では磁場の南北擾乱について解析を行った。その結果擾乱の起こる経度に依存性があること等が分かった。これらの解析の結果について報告する。

木星磁気圏ダイナミクスに関する研究-III：内部磁気圏へのエネルギー輸送過程の 解明

水口 岳宏 [1]; 三澤 浩昭 [2]; 土屋 史紀 [1]; 小原 隆博 [3]; 笠原 慧 [4]

[1] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [2] 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター; [3] 東北大・惑星プラズマセンター;
[4] ISAS/JAXA

Study of dynamics of the Jovian magnetosphere-III: energy transportation process to the inner magnetosphere

Takahiro Mizuguchi[1]; Hiroaki Misawa[2]; Fuminori Tsuchiya[1]; Takahiro Obara[3]; Satoshi Kasahara[4]

[1] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [2] PPARC, Tohoku Univ.; [3] PPARC, Tohoku University; [4]
ISAS/JAXA

We have researched response of the Jovian inner magnetosphere to the substorm-like event which occurred in the night side of the middle/outer magnetosphere. The transport of magnetic flux tube is one of important issues in the global dynamics of the Jovian magnetosphere [Kivelson et al., 2005]. The magnetic flux tubes are carried outward from the Io plasma torus with the slowly outflowing plasma. As they move outward, alternative flux tubes should be returned to the torus through rapid inflow of lower-dense flux tubes. Goal of this study is to reveal the role of the substorm-like event in the transport of magnetic flux tube in the Jovian magnetosphere and proceeding processes of the global-scale magnetospheric variations.

In this study, substorm-like events were identified by using the in-situ observation data obtained by the Plasma Wave Subsystems (PWS), Energetic Particle Detector (EPD) and Magnetometer (MAG) onboard the Galileo orbiter. X-lines where the substorm-like events are thought to start were located at around 60-80 R_J [Woch et al., 2002]. Narrowband Kilometric radiation (nKOM) which was remotely observed by PWS was used to find response of the inner magnetosphere to the substorm-like event. The source of nKOM is suggested to be located at the outer edge of the Io torus (8-10 R_J) [Reiner et al., 1993].

In the preceding studies, Louarn et al. (2001, 2014) reported nKOM correlated with inward flow burst during Jovian substorm-like event reported by Woch et al.(1998) and Krupp et al.(1998). The report implies that the generation mechanism of nKOM relate with the return of magnetic flux tube to inner magnetosphere. However, it has not been revealed well yet how inner and outer magnetospheres couple each other during substorm-like event. On the other hand, Dubyagin et al.(2011) reported about deeply penetrating flow burst at the terrestrial magnetosphere. They reported that an inward flow burst penetrated into the inner magnetosphere when its entropy was less than that of the inner magnetosphere, while flow burst did not penetrated when its entropy was larger than that of the inner magnetosphere.

We have analyzed Jupiter's several inward flow events which are expected to relate with tail reconnection and nKOM radiation by using the data obtained by Galileo in order to reveal that how reconnection events at the outer magnetosphere couple with the inner magnetosphere. We have applied Dubyagin's entropy analysis method to Jupiter's cases to investigate penetration of inflow plasma, and also have analyzed correlation between the spatial structure of nKOM source regions and that of inward flow burst to investigate proceeding processes of the global-scale events.

In this presentation, we will show preliminary results on relations of inward flow burst caused by Jovian substorm-like event and energetic phenomena of the inner magnetosphere.

The Radio & Plasma Wave Investigation (RPWI) for JUICE: Contribution plan from Japan

Yasumasa Kasaba[1]; Hiroaki Misawa[2]; Fuminori Tsuchiya[3]; Yoshiya Kasahara[4]; Tomohiko Imachi[4]; Tomoki Kimura[5]; Yuto Katoh[6]; Atsushi Kumamoto[7]; Hirotsugu Kojima[8]; Satoshi Yagitani[4]; Keigo Ishisaka[9]; Yoshizumi Miyoshi[10]

[1] Tohoku Univ.; [2] PPARC, Tohoku Univ.; [3] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [4] Kanazawa Univ.; [5] JAXA/ISAS; [6] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [7] Dept. Geophys, Tohoku Univ.; [8] RISH, Kyoto Univ.; [9] Toyama Pref. Univ.; [10] STEL, Nagoya Univ.

We present the Radio & Plasma Waves Investigation (RPWI) for implementation on the ESA JUICE mission [PI: J.-E. Wahlund (IRF-Uppsala, Sweden)].

RPWI consists of a highly integrated instrument package that provides a whole set of Langmuir probe and electromagnetic wave measurements. RPWI focus, apart from cold plasma studies, on the understanding of how, through electro-dynamic and electromagnetic coupling, the momentum and energy transfer occurs in the space environments encountered by JUICE and with the icy Galilean moons: RPWI would be able to study the electro-dynamic influence of the Jovian magnetosphere on the exospheres, surfaces and conducting oceans of Ganymede, Europa and Callisto. RPWI would also be able to monitor the sources of radio emissions from auroral regions of Ganymede and Jupiter, and possibly also from lightning activity in Jovian clouds. Moreover, RPWI will search for exhaust plumes from cracks on the icy moons, as well as micron sized dust and related dust-plasma surface interaction processes occurring near the icy moons of Jupiter.

The RPWI consortium consists of experienced international teams who provide a long heritage record from several previous ESA/NASA/JAXA missions and a track record of collaboration with each other. The team also includes members who are experts in numerical modeling of all relevant physics and Jovian space environments to enhance the science return from the investigation. Followings are the participating organizations: [Sweden] Swedish Inst. Space Physics (IRF); Royal Inst. Technology (KTH). [France] Lab. de Physique des Plasmas (LPP); LESIA - Obs. de Paris; CNRS-LPC2E, Univ. d'Orleans; CNRS-IRAP, Univ. Paul Sabatier 9; Univ. de Versailles Saint-Quentin (LATMOS). [Poland] Space Research Centre of the Polish Academy of Sciences. [Czech] Inst. Atmospheric Physics; Astronomical Inst. [UK] Imperial College London; Univ. Sheffield [Austria] Space Research Inst. [Germany] Univ. Cologne. [Japan] Tohoku Univ.; Toyama Pref. Univ.; Kyoto Univ.; Kanazawa Univ.; ISAS/JAXA; Nagoya Univ. [USA] Space Science Lab., UC Berkeley; Univ. Iowa; Johns Hopkins Univ.; NASA/GSFC; Boston Univ.; Univ. Michigan.

RPWI sensors consist of 4 Langmuir probes (LP-PWI) for determination of the vector electric field up to 1.6 MHz and cold plasma properties (including active measurements by LP sweeps and mutual impedance sounding) up to 1.6 MHz, and a tri-dipole antenna system (RWI) for monitoring of radio emissions (80 kHz - 45 MHz).

From Japan, we are planning to provide the RWI preamp and its receiver with the onboard data reductions, modifying from the BepiColombo PWI and ERG PWE developments. Real development already starts from 2014.

A wave structure of haze in Jupiter's polar regions observed by the ground-based telescope

Yuya Gouda[1]; Yukihiro Takahashi[1]; Makoto Watanabe[1]
[1] CosmoSciences, Hokkaido Univ.

In Jupiter's polar regions, there is stratospheric haze that formed by scattering aerosol particles. Those structures show up as bright caps in the image captured with deep methane band filter at 889 nm. In latitudinal range of 60° - 70° S, their edges were seen as wave structure propagating in longitudinal direction by the Cassini ISS in 2000 and the Hubble Space Telescope (HST) from 1994 to 1999 [Barrado-Izagirre *et al.*, 2008].

In previous work, it has shown that wavenumber of Jupiter polar wave at 67° S was 12-14 and their westward phase velocity in System3 was 0-10 m/s. It is pointed out that this wave is a planetary Rossby wave, although the wave structure in the vertical direction is not clear. Final goal of this study is to determine whether or not the polar wave at 67° S is Rossby wave. Here, we investigate the meridional and vertical wavenumber, the phase speed of the wave structure and zonal wind speed at 67° S.

In this paper, we will introduce the observational results about the wave structure in Jupiter's polar regions from 2011 to 2014 by the ground-based telescope. From those observation we found three points. First, the phase speed of the wave structure is estimated to be about 3 m/s. Second, the wave structures at different latitudes show north-south asymmetry. Third, the wave structure at 67° S in the vertical direction varied between altitude of 361 mbar and 750 mbar.

LWA1で観測された木星電波モジュレーションレーンのデータ解析

島内 良章 [1]; 今井 一雅 [1]; 今井 雅文 [2]; Clarke Tracy[3]; Higgins Charles A.[4]; Skarda Jinhie[5]

[1] 高知高専・電気情報工学科; [2] 京大・理・地惑; [3] Naval Research Laboratory; [4] Middle Tennessee State University; [5] Stanford University

Data analysis of Jupiter's decametric modulation lanes observed by LWA1

Yoshiaki Shimanouchi[1]; Kazumasa Imai[1]; Masafumi Imai[2]; Tracy Clarke[3]; Charles A. Higgins[4]; Jinhie Skarda[5]
[1] Kochi National College of Technology; [2] Department of Geophysics, Kyoto University; [3] Naval Research Laboratory; [4] Middle Tennessee State University; [5] Stanford University

We present new results in the study of Jupiter's decametric emission obtained using the newly commissioned Long Wavelength Array Station 1(LWA1). The LWA1 provides excellent spectral and temporal resolution of Jupiter's decametric radio emissions over the bandwidth of 10-40 MHz. The array consists of 256 dual polarization dipole stands.

The modulation lanes in Jupiter's decametric radiation are groups of sloping parallel strips of alternately increased and decreased intensity in the dynamic spectral plots. We present LWA1 observations of modulations lanes and the developed data analysis software to measure the slope of the modulation lanes.

木星電波の放射機構を解明するために、時間経過による各周波数成分の強度変動を表すダイナミックスペクトラムの解析・研究が進められてきた。この木星電波ダイナミックスペクトラム構造には様々なものがあるが、Lバースト上に現れる斜めの縞状構造であるモジュレーションレーンを調べることによって、木星電波源の構造や位置の情報を得ることが可能となることを、我々は示してきた。

この木星電波モジュレーションレーンを調べるための有力な観測手段として、世界最高レベルの感度を持つ広帯域低周波電波望遠鏡(LWA1: Long Wavelength Array Station 1)があり、我々は、このLWA1を用いて木星電波モジュレーションレーンのデータ解析を行っている。このLWA1は、ニューメキシコ大学のグループにより建設された低周波宇宙電波の研究を目的とするアレイアンテナで、256基の直交したV字型の広帯域な2系統のアクティブ・ダイポールアンテナで構成され、右回りと左回りの偏波観測が可能で、受信したアナログ信号は超高速サンプリングによりデジタル化され、データ処理の後、アーカイブされている。

木星電波モジュレーションレーンの重要なパラメータとして、その傾き(Slope)がある。この傾きの算出に当たっては、従来、手計算により求められてきたが、LWA1の大量の木星電波データについて調べるために、我々は画像処理を用いて自動的に計算することができるプログラムを開発した。画像処理プログラムは、OpenCVのライブラリを用いてC言語で記述した。モジュレーションレーンの画像データに対して、生成した直線画像と2通りの方法で演算を行った。一つの方法としては、生成した直線のピクセル数と直線に対応したダイナミックスペクトラムの黒のピクセル数の比率でモジュレーションレーンの角度を求めた。2つ目の方法は、直線と対応するダイナミックスペクトラム上の画素値の平均から求めた。前者の方法では、モジュレーションレーンが鮮明に確認できる場合には適応できるが、閾値で判断しているため、電波強度が弱い部分については求めることが難しく、直線に対応するモジュレーションレーンの全体の傾向が反映されないことがわかった。後者は、画素値の平均で求めているため、直線に対応する部分の強度を考慮することができることがわかった。画像処理で角度を決定することにより、周波数・時間軸とその軸のピクセル値の比で傾き算出を行うことが可能となる。またその他に、各周波数成分の時系列データに対して相互相関関数を計算し、時間差と相関係数値を求めることにより傾きを算出する方法についても検討した。

今回の解析では、ダイナミックスペクトラムから、1例のイベントに対して、そのダイナミックスペクトラムを一定の周波数範囲と一定の間隔で約1200枚の画像を切り出し、モジュレーションレーンが確認できる画像について処理を行った。この処理の結果、モジュレーションレーンが鮮明に確認できる場所では、画像処理による結果と手計算での傾きがほぼ同じ値を示していることがわかった。今後、LWA1による木星電波モジュレーションレーンの傾きを自動的に計算するプログラムにより、多くの電波源のケースについて、統計的な解析を行っていきたいと考えている。

木星電離圏アルフベン共鳴モデル検証のための木星デカメータ電波Sバースト地上観測データの統計解析

熊本 篤志 [1]; 佐々木 悠朝 [2]; 加藤 雄人 [3]; 三澤 浩昭 [4]

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

Statistical analyses of S-bursts of Jovian decametric radiation for verification of Jovian ionospheric Alfvén resonator model

Atsushi Kumamoto[1]; Yuasa Sasaki[2]; Yuto Katoh[3]; Hiroaki Misawa[4]

[1] Dept. Geophys, Tohoku Univ.; [2] Geophysics, Tohoku Univ.; [3] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [4] PPARC, Tohoku Univ.

Jovian ionospheric Alfvén resonator (IAR) model has been investigated based on the statistical analyses of ground-based observation datasets obtained 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 plasma around the satellite Io. Among them, the S-bursts are most 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 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 increase as the solar zenith angle at the Io footprint increases and plasma density in the Jovian ionosphere decreases. For the purpose of the verification of the Jovian IAR hypothesis, we performed statistical analyses of the repetition frequency of S-burst observed at Jovian radio observatories of Tohoku University since 1985. The analysis results clarified that the repetition frequency of S-bursts decreases as the solar zenith angle (SZA) at the Io footprint increases. It was different from our initial expectations that the repetition frequency increased in the nightside due to decrease of the scale height of the ionosphere. We therefore explained it by assuming that the scale height in the nightside increases due to precipitations of auroral electrons, which was also inferred in the Earth's auroral field lines. [Newell et al., 1997]. In the present study, we have performed further verifications of the Jovian IAR model through the determination of source altitude of the S-bursts based on the additional statistical analysis.

The eigen frequency of the IAR is determined by $f_{IAR} = 1.2 v_{AI} / (2\pi h)$, where v_{AI} is Alfvén velocity in the ionosphere, and h is scale height of the ionosphere [Lysak et al. 1988]. Assuming that the magnetic field at $r = 1 R_J$ is 13 G, and the peak proton number density in the ionosphere is $2 \times 10^5 / \text{cc}$, the v_{AI} is 6.5×10^7 m/s. Based on the statistical analysis of S-burst spectrograms obtained since 1985, the eigen frequency of IAR f_{IAR} can be estimated from the average repetition frequency, which is about 35 Hz when SZA = 75 deg., and 10 Hz when SZA = 85 deg. By using the equation $\lambda_{IAR} = v_{AI} / f_{IAR}$, we can estimate the wavelength of Jovian IAR to be 1800 km when SZA = 75 deg., and 6500 km when SZA = 85 deg. We have performed statistical analysis of emission frequency of S-burst. The results suggests that the average emission frequency of S-burst is 28 MHz when SZA = 75 deg., and 22 MHz when SZA = 85 deg. The emission frequency of Jovian decametric radiation indicates the local electron cyclotron frequency at the source. The altitude of the S-burst sources at 28 MHz and 22 MHz are 6400 km, and 12800 km, respectively. We can therefore point out that the S-burst sources are located about 2-4 Alfvén wave length above the bottom of the Jovian IAR, where the conductivity is maximum in the Jovian ionosphere, and that the S-burst source altitude changes depending on the change of the Alfvén wave length.

In order to confirm the hypothesis mentioned above, we are planning continuum observations of S-burst of Jovian decametric radiation in wide frequency range from 20 to 40 MHz with the wideband receiver. Initial results of the observations will be reported in the presentation.