

金星上部もや層の研究 Study of the Venus' upper haze

高木 聖子^{1*}; Arnaud Mahieux²; Valerie Wilquet²; AnnCarine Vandaele²; 岩上 直幹¹
TAKAGI, Seiko^{1*}; ARNAUD, Mahieux²; VALERIE, Wilquet²; ANNCARINE, Vandaele²; IWAGAMI, Naomoto¹

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

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

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、欧州の金星周回機 Venus Express 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も豊富に取得している。私は博士課程 2 年次に、SOIR を担当している Ann C. Vandaele 博士に受入を認められ、ESA の研究機関 Belgian Institute for Space Aeronomy に身を置き研究する機会に恵まれた。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・SO₂ 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。

キーワード: 金星, 雲, もや層

Keywords: Venus, upper haze, Venus Express, SOIR, cloud

欧州探査衛星 PFS を用いた火星中間圏に存在する CO₂ の氷雲の観測 Observation of CO₂-ice cloud in the Martian mesosphere by using PFS onboard Mars Express

佐藤 佑紀^{1*}; 笠羽 康正¹; Marco Giuranna²; 青木 翔平¹; 中川 広務¹; 黒田 剛史³
SATO, Yuki^{1*}; KASABA, Yasumasa¹; MARCO, Giuranna²; AOKI, Shohei¹; NAKAGAWA, Hiromu¹; KURODA, Takeshi³

¹ 東北大学 惑星大気物理学, ²IAPS, INAF, Italy, ³ 東北大学 惑星プラズマ大気研究センター

¹ Planetary Atmosphere, TOHOKU University, ² IAPS, INAF, Italy, ³ Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, TOHOKU University

Almost all of constituent of martian atmosphere is CO₂ (95%). It condenses at very high altitude (60~100km) and become cloud. CO₂-ice cloud have been observed by many instrument, but it was difficult to clearly judge whether observed cloud is made of CO₂ or not. However OMEGA, visible and near-infrared imaging spectrometer onboard Mars Express, have provided the first spectroscopic identification of a cloud as being composed of CO₂ (Montmessin et al, 2007) CO₂-ice cloud has characteristic spectral feature emission peak at 4.26 μ m. Recent study reported that CO₂-ice cloud distributes around equator in spring equinox to early summer and mid latitude in local autumn. (Maattanen et al, 2010, Montmessin et al, 2007, 2006, Clancy et al 2007) However, it is not clear about cloud feature (particle size or opacity).

We try to observe CO₂-ice cloud using high spectral resolution instrument PFS, infrared fourier spectrometer onboard Mars Express. Strong point of PFS is that spectral resolution is ten times greater than that of OMEGA and We can see spectral feature of CO₂-ice cloud (spike at 4.26 μ m) more clearly. Another point is that PFS and OMEGA observe almost the same point, so two instruments can observe CO₂-ice cloud at the same time. For the first step, we check the data where OMEGA observed CO₂-ice cloud (10 orbits) and found CO₂-ice cloud like feature all of the 10 orbits. However emission peak appears at shorter wavelength (at 4.25 μ m). In order to judge whether this signal is real or not, we compared PFS spectra and OMEGA spectra observed at the same point. When PFS observe signal at 4.25 μ m, OMEGA also show strong signal at 4.26 μ m, so we can say PFS signal is real. In some orbit, PFS observed different signal from that of OMEGA. It is double spike feature at 4.25 μ m and 4.28 μ m which OMEGA can not resolve. It is possible that double peak feature shows different cloud feature, for example, particle size. Now we are trying radiative transfer model and discuss how cloud spectral feature changes when we changes cloud parameter (size distribution, altitude, cloud opacity).

キーワード: 火星, 雲

Keywords: Mars, CO₂-ice cloud

巨大惑星を想定した雲対流の 2 次元数値計算 Numerical Modeling of Moist Convection in Giant planets

杉山 耕一郎^{1*}; 中島 健介³; 小高 正嗣²; 倉本 圭²; 林 祥介⁴

SUGIYAMA, Ko-ichiro^{1*}; NAKAJIMA, Kensuke³; ODAKA, Masatsugu²; KURAMOTO, Kiyoshi²; HAYASHI, Yoshi-yuki⁴

¹JAXA 宇宙研, ²九大理・地球惑星科学, ³北大理・宇宙理学, ⁴神戸大理・地球惑星科学

¹ISAS/JAXA, ²Graduate school of Science, Kobe University, ³Department of Cosmo sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University, ⁴Graduate school of Science, Kobe University

巨大惑星には活発な積雲が存在することが知られている。巨大惑星の雲対流は、地球大気の場合と同様に、大気の成層構造と物質分布の決定に重要な役割を担っ

ていると考えられている。しかし、厚い雲に覆われた巨大惑星の雲層を遠隔観測するのは困難であり、巨大惑星における雲対流と平均的大気構造との関係については未だ明らかとなっていない点が多い。この問題に対し我々は、複数成分の凝結および化学反応を考慮した 2 次元雲対流モデルを開発し、木星大気条件において、雲の生成消滅が繰り返された結果として決まる統計的平衡状態での大気構造を調べてきた (Sugiyama et al., 2009, 2011, 2014)。本発表では、木星以外の巨大惑星 (土星, 天王星, 海王星) を想定した同様の 2 次元数値計算を実行し、雲対流と平均的大気構造との関係を議論する。

モデル方程式として準圧縮系方程式 (Klemp and Wilhelmson, 1978) を用い、雲微物理過程は地球の暖かい雨のパラメタリゼーション (Kessler, 1969) を用いて表現する。放射過程は陽に計算せず、水平一様かつ時間変化しない熱強制で代用する。木星以外の巨大惑星では、雲層における正味の放射加熱・冷却の鉛直プロファイルは観測されていないため、木星の観測結果に基づき 2 bar 高度から対流圏界面の間を冷却する。統計的平衡状態に至るまでの計算時間を短縮するため、熱強制の値は木星大気における観測値より 2 桁大きい -1 k/day とする。

鉛直計算領域は、土星で 500 km, 天王星と海王星で 600 km, 水平計算領域は各ケースとも 960 km とする。鉛直計算領域の大きさ、および下部境界での温度圧力は熱平衡計算 (Sugiyama et al., 2006) に基づき決定した。解像度は水平方向と鉛直方向共に 2 km とする。初期の鉛直温度構造は、下部境界から対流圏界面までは断熱的とし、その上部は温度一定とする。凝結成分気体の存在度は太陽組成を基準に数通り与える。

一例として、以下では凝結成分気体の存在度は太陽組成の 1 倍とした場合の土星条件での数値計算結果を示す; 当日は天王星・海王星条件での結果や、凝結成分気体の存在度を広く変化させた計算も示す予定である。雲対流層内の流れ場は、上昇域よりも下降域の方が強く狭いという特徴が見られる。この特徴は狭くて強い上昇流と広くて弱い下降流によって特徴付けられた木星大気の雲対流計算の結果 (Sugiyama et al., 2009) と明らかに異なる。その一方で、凝結性成分気体と凝結物の平均的鉛直分布の特徴は木星大気の雲対流計算の結果と整合的である。H₂O 持ち上げ凝結高度に形成される安定層が流れ場に対する境界として作用しており、鉛直速度の自乗平均はその高度において局所的な最小値を取る。活発な対流によって、H₂O と NH₄SH の雲粒は NH₃ 持ち上げ凝結高度より上空まで移流される。雲対流層内はよく混合されるため、NH₃ と H₂S 蒸気はそれぞれの持ち上げ凝結高度ではなく H₂O 持ち上げ凝結高度より高度と共に減少を始める。

キーワード: 巨大惑星, 湿潤対流, 数値計算, 雲解像モデル

Keywords: atmosphere of giant planets, moist convection, numerical modeling, cloud resolution model

雲解像モデルを用いた金星重力波の2次元数値実験 Two dimensional numerical study on Venusian gravity waves by using mesoscale model

安藤 紘基^{1*}; 杉山 耕一朗¹; 今村 剛¹; 小高 正嗣²; 中島 健介³

ANDO, Hiroki^{1*}; SUGIYAMA, Ko-ichiro¹; IMAMURA, Takeshi¹; ODAKA, Masatsugu²; NAKAJIMA, Kensuke³

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 北海道大学, ³ 九州大学

¹ ISAS/JAXA, ² Hokkaido University, ³ Kyusyu University

昨今、地球だけでなく金星大気中でも重力波がよく観測されるようになった。例えば、O₂の大気光観測によって高度110kmにて水平波長が100 km程度の重力波が見られている。また金星周回衛星に搭載された紫外光カメラの撮像観測により、雲頂(高度70 km)で水平波長が60-150 kmの重力波が確認されている。しかしこれらの観測では、ある特定の高度での重力波しか見ることができず、波の鉛直伝播特性を考察することや運動量フラックスを見積もることが難しい。また、電波掩蔽観測によって高度65-90 kmの範囲で得られた鉛直温度分布から、重力波に伴う温度擾乱が検出され、そのスペクトル解析から鉛直波長5-10 kmの波が卓越することが示されている。しかしこの観測では水平方向に物理量を積分してしまうため、上記の様な小規模な重力波を捉えることは出来ず、また水平波長や水平位相速度について知ることができない。このように、現段階では重力波が金星大気の運動に与える影響を観測のみから理解することは難しい。

本研究では、金星雲層中の対流層から生成される重力波について対流生成も含めて2次元の数値計算を行い、波の伝播特性や位相速度、波に伴う大気の加速・減速率について考察する。過去にも重力波が金星大気の運動に及ぼす影響に関する理論研究はあるが、いずれも地球の重力波観測に基づいた経験的なスペクトルをモデルに組み込んでいる。また対流そのものの挙動についてはImamura et al. (2014)で計算されているが、高度60 kmより上は考慮していない。故に重力波の励起から伝播に至るまで全て網羅した理論研究は、本研究が初めてである。

モデル方程式として準圧縮系方程式(Klemp and Wilhelmson, 1978)を用いる。計算の水平領域は50 km、鉛直領域は金星の高度35-100 kmとした。また解像度は水平方向に400 m、鉛直方向に250 mである。境界条件は上・下端にて、応力なし・鉛直流なし・温位フラックスなしとし、側面は周期境界とする。また波の反射を抑えるために、上端から20 kmと下端から5 kmの範囲でそれぞれスポンジ層を設けた。初期に与える温度の鉛直分布は、放射対流平衡の下での温度分布(Ikeda et al. 2010)を用いた。この時の静的安定度は、高度48-55 kmで中立層、その上下に安定層を持つように分布している。放射過程は陽に計算せず、水平一様かつ時間変化しない熱強制を与え、正味の放射加熱・冷却の鉛直分布はIkeda et al. (2010)に準ずる。初期では大気は静止しているとし、対流運動を駆動するために最大振幅1 Kの温位擾乱を高度45 kmに与え、そこから15日分の計算を行った。その結果、高度48-55 kmにて対流が生じており、対流層内の鉛直流の大きさ最大で約3 m s⁻¹である。また対流の水平スケールは約10 km程度である。対流層の上に位置する安定層では、対流によって励起された重力波が鉛直に伝播している様子が見られる。また高度60-80 kmにおける波に伴う鉛直流のホフメラー図を見ると、今回の計算では鉛直波長が約4 kmの波が卓越しており、波の周期は $\sim 5 \times 10^3$ sであった。また水平波長は50 km程度であった。これらの値は重力波の分散関係式を満たしている。また波の水平位相速度は ± 10 m s⁻¹程度であり、過去の紫外画像解析から推定された値と同程度である。当日は、より計算領域を広く取った上で数値計算を行った結果も提示し、実際の観測結果との比較について詳しく議論する予定である。

キーワード: 金星大気, 重力波, 数値計算

Keywords: Venus atmosphere, Gravity waves, Numerical study

IRTF/CSHELL 観測による金星 O₂ 大気光の時間変動 Temporal variations of Venus O₂ night airglow using IRTF/CSHELL

大月 祥子^{1*}; 岩上 直幹²; Robert Severine³; 佐川 英夫⁴; 神山 徹⁵; 佐藤 隆雄⁶

OHTSUKI, Shoko^{1*}; IWAGAMI, Naomoto²; ROBERT, Severine³; SAGAWA, Hideo⁴; KOUYAMA, Toru⁵; SATO, Takao M.⁶

¹ 専修大学, ² 東京大学, ³ Belgian Institute for Space Aeronomy, ⁴ 情報通信研究機構, ⁵ 産業技術総合研究所, ⁶ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

¹ Senshu University, ² University of Tokyo, ³ Belgian Institute for Space Aeronomy, ⁴ National Institute of Information and Communications Technology, ⁵ Information Technology Research Institute, ⁶ Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency

Venus 1.27-micron O₂ night airglow is the indicator of the general circulation at about 95 km in Venus. Recent observations reported that the airglow emission showed the temporal variations with a period of a few hours and days [e.g. Ohtsuki et al., 2008; Gerard et al., 2008]. Such variations may be caused by the upward momentum transport and fluctuations by atmospheric waves. In recent years, the importance of planetary-scale waves on the general circulation of the Venus atmosphere has been recognized. Forbes and Konopliv [2007] suggested the propagation of planetary-scale waves originated in the cloud deck into the upper atmosphere. However, effects of planetary-scale waves on the Venus upper atmosphere have not been investigated yet.

We conducted 5-days monitoring observation of the airglow to detect the planetary-scale waves with IRTF/CSHELL from 11-15 July 2012, 3 and 5 February 2014. The 1.27-micron O₂ night airglow in the Venus atmosphere can pass through the Earth's atmosphere with a help of the Doppler shift. We obtained spectral image cubes at the wavelength of R-branch of the airglow band, which includes several rotational lines. In order to cover spectral information continuously, a slit drifted across Venus' nightside disk. The spatial resolution of the image is governed by seeing. The typical seeing was 0.6" to 1.5" in our observing run and corresponds to 200-450km at the center of Venus' disk. Under such conduction, we may detect airglow structures of small scales due to atmospheric waves; this is smaller than the region of enhanced airglow having a horizontal scale of ~3000km. We can also derive the hemispherical distribution of the rotational temperature. To coincide with our observations, SOIR/Venus Express stellar occultations were conducted. We can try to compare our horizontal temperature map and vertical temperature profile from SOIR data.

In this presentation, we will show temporal variation of the airglow distributions in July 2012 and report a preliminary result of our new observations in February 2014.

ハワイ・マウナケア山頂における赤外ヘテロダイン分光惑星観測計画 Observing plan for planetary atmosphere using IR heterodyne spectroscopy in 2014

中川 広務^{1*}; 青木 翔平¹; 笠羽 康正¹; 村田 功¹; 佐川 英夫²
NAKAGAWA, Hiromu^{1*}; AOKI, Shohei¹; KASABA, Yasumasa¹; MURATA, Isao¹; SAGAWA, Hideo²

¹ 東北大学, ² 情報通信研究機構

¹Tohoku University, ²National Institute of Information and Communications Technology

We propose a new developed infrared heterodyne instrument, called Mid-Infrared LAser Heterodyne Instrument (MILAH), for our dedicated telescope at the top of Mt. Haleakala, Hawaii. It addresses the key physical/meteorological parameters, such as the atmospheric temperature profiles, abundance profiles of the atmospheric compositions and their isotopes, and wind velocity. The observational sensitivity of MILAH is discussed in this paper. The scientific target of MILAH is to understand highly variable phenomena in the planetary atmospheres. The nature of atmospheric activity in various time-scale will be investigated by continuous monitoring with our dedicated telescope, in order to increase our understanding of planetary atmospheric dynamics, photochemistry, and meteorology. New measurements with high spatial/spectral resolutions constrain the three-dimensional distributions of temperature and compositions. The D/H and other isotopic ratios, diagnostic of the terrestrial atmosphere evolution, will be accurately measured in H₂O and CO₂. The atmospheric chemistry will be studied by monitoring O₃, H₂O₂, H₂O, and HDO. Mapping of the H₂O isotopes reveal the mechanism of complex interaction between regolith-aerosols-atmosphere-polar caps on Mars. Direct measurements of wind velocity and temperature allow the first monitoring of the middle atmosphere oscillations to investigate the effects of the gravity waves from the lower atmosphere on the upper atmosphere for various seasons and dust loadings. A number of organics molecule bands in the mid-infrared regime will be accurately measured in planetary/cometary/stellar atmospheres. In addition to these interconnected objectives, serendipitous searches with our advantage of dedicated use for astronomical/atmospheric transient events which occur at frequent and unpredictable intervals (e.g. dust storm) will enhance our knowledge of the composition and dynamics of the astronomical sources.

キーワード: 赤外分光, ヘテロダイン, レーザー, 観測, 惑星大気, 同位体

Keywords: infrared spectroscopy, heterodyne, laser, observation, planetary atmosphere, isotopes

次期火星探査機のための視覚的軌道設計 Visual Orbit Design for the Next Mars Exploration Mission

小倉 聡司¹; 川勝 康弘¹; 松岡 彩子¹; 田口 真^{2*}

OGURA, Satoshi¹; KAWAKATSU, Yasuhiro¹; MATSUOKA, Ayako¹; TAGUCHI, Makoto^{2*}

¹宇宙科学研究所, ²立教大学

¹ISAS/JAXA, ²Rikkyo University

In December, 2011, the working group concerned with the Japanese next Mars exploration mission began to study the use of orbiters to investigate the mechanisms of carbon dioxide and water escape from the Martian atmosphere, and the role played by the solar wind. This will be the successor to the first Japanese mission to Mars involving the NOZOMI spacecraft, and two different orbiters will be deployed around the planet. Orbiter-A will carry out in-situ observations of electric and magnetic fields, particles, plasma and the atmosphere at an altitude of about 100 km above the Martian surface. Orbiter-B will capture images of the escaping atmosphere and monitor solar-wind conditions. The mission life will be a Mars year. This paper describes a visual method for determining the orbits of both spacecraft, and presents examples of possible orbits.

The orbital constraints proposed by the working group are as follows.

Orbital constraints for Orbiter-A

A1. The periapsis altitude is around 150 km.

A2. The apoapsis altitude is between 5000 and 7000 km.

A3. The period during which periapsis occurs on the dayside of the planet is more than two thirds of the mission life.

Orbital constraints for Orbiter-B

B1. The apoapsis altitude is about 4-6 R_M .

B2. The period during which the orbiter is exposed to the solar wind is more than three quarters of the mission life.

B3. The period during which the orbiter can image the local time zone of 12-15 h at the planetary limb is more than three quarters of the mission life.

Orbital constraints for combined observations by both orbiters

C1. The number of times during which Orbiter-B is exposed to the solar wind and can also image Orbiter-A, whose solar zenith angle and altitude are less than 60 deg and about 300-800 km, respectively, is more than one hundred during the mission life.

C2. When C1 is satisfied, the angle between the line-of-sight of the imager onboard Orbiter-B and the velocity vector of Orbiter-A is within 90 ± 20 deg.

The orbital elements are obtained by solving the Lagrange planetary equations for a two-body boundary-value problem, taking only the J2 perturbation into account. Constraint A3 is chosen as an example for explaining the visual method of orbital design. The orbiter's longitude of ascending node and argument of periapsis in a Mars-Sun fixed coordinate system are taken as design variables, and the orbital constraint is used as an evaluation function. A contour map for a period in which periapsis occurs on the dayside is plotted in a coordinate system in which the longitude of ascending node and argument of periapsis are the X and Y axes, respectively. A mission profile is placed on the map, along which the changes in the longitude of ascending node and argument of periapsis during the mission period are plotted. The mission profile can be placed at anywhere on the map, since its shape can be kept almost constant by selecting an initial position determined by the position and direction of the spacecraft during Mars orbit insertion. By looking at the map, it then becomes easy to identify an appropriate initial point for the mission profile that maximizes the period during which periapsis occurs on the dayside.

By the method described above, it is possible to visually determine rough values for the longitude of ascending node and argument of periapsis that are suitable for the mission. This technique is also applicable to the general design of orbits around a planet by choosing a coordinate system appropriate for the given orbital constraints.

キーワード: 火星大気散逸, 火星探査機

Keywords: atmospheric escape of Mars, Mars orbiter

極周回成層圏望遠鏡による惑星観測-FUJIN プロジェクト- A Circumpolar Stratospheric Telescope for Observations of Planets ? FUJIN

前田 惇徳^{1*}; 田口 真¹; 吉田 和哉²; 坂本 祐二²; 中野 壽彦²; 荘司 泰弘³; 高橋 幸弘⁴; 仲本 純平⁴; 今井 正亮⁴; 渡辺 誠⁴; 合田 雄哉⁵

MAEDA, Atsunori^{1*}; TAGUTI, Makoto¹; YOSIDA, Kazuya²; SAKAMOTO, Yuji²; NAKANO, Toshihiko²; SHOJI, Yasuhiro³; TAKAHASHI, Yukihiko⁴; NAKAMOTO, Jumpei⁴; IMAI, Masataka⁴; WATANABE, Makoto⁴; GODA, Yuki⁵

¹ 立教大学理学部, ² 東北大学大学院工学研究科, ³ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ⁴ 北海道大学大学院理学院, ⁵ 北海道大学理学部

¹College of Science, Rikkyo University, ²Graduate School of engineering, Tohoku University, ³JAXA/ISAS, ⁴Graduate School of Science, Hokkaido University, ⁵School of Science, Hokkaido University

惑星の大気圏やプラズマ圏で起こる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。気球を用いて極域成層圏に望遠鏡を浮かべて惑星を連続観測することを目的として FUJIN プロジェクトを遂行している。システムの性能確認を目的とした FUJIN-1 実験は 2013 年 5、6 月に北海道大樹町で実施される予定であったが、JAXA 側の気球制御システムの不具合により見送られた。しかし、それまでに実施された各種地上試験結果を総合して、FUJIN-1 の目的は達成されたと判断し、FUJIN-1 実験は終了した。新たに北極域での本格実験を行う FUJIN-2 の開発に着手した。成層圏の風向きが変わる 4、5 月期及び 8、9 月期に短期間ではあるが風速がきわめて小さい状態が発生する。FUJIN-2 はその機会を狙ってスウェーデン・キルナの気球実験施設である ESRANGE で放球し、1-2 日間の観測の後、スカンジナビア半島内にゴンドラを降下させ回収する。現在の計画では、FUJIN-2 実験は金星が観測好機となる 2015 年 4、5 月に実施される予定である。夏期の極域成層圏で卓越する東風に気球を乗せると、キルナからアラスカまで約 1 週間、ほぼ等緯度に沿って地球を一周してキルナまで戻すのに約 2 週間余りかかる。それを利用し、FUJIN-3 は極周回実験に臨む。FUJIN-2 をベースに高感度 CCD カメラ及び液晶チューナブルフィルターを搭載し、2017 年夏期に金星、木星、水星を観測する。さらに将来的には 1 メートルクラスの望遠鏡を備えた次世代観測機器にアップグレード、推進力を備え極に近い地点へ移動するゴンドラ、スーパープレッシャー気球による通年観測を実現するために、今後技術的検討及び要素開発を進める。

キーワード: 極周回, 成層圏, 望遠鏡, 金星, FUJIN プロジェクト

Keywords: Circumpolar, Stratospheric, Telescope, Venus, FUJIN-project

金星超高層大気における速い抵抗性磁気リコネクション Study of fast resistive magnetic reconnection in the upper atmosphere of Venus

阪本 仁^{1*}; 寺田 直樹¹
SAKAMOTO, Hitoshi^{1*}; TERADA, Naoki¹

¹ 東北大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Tohoku University

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 40 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 [Kleorin 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、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空間磁場が下部電離圏まで入り込む。次に惑星空間磁場の向きが変化し、反平行に並んだ磁場が入り込めば、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高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抜き出した。そして、抜き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フラックスロープのねじれの半径 [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) から高度 230km (ルンキスト数が 10 の 6 乗) の範囲で我々のモデルは適用可能ということが予測された。発表では、これら適用可能な高度におけるパラメータを用いた MHD シミュレーションの計算結果も紹介する予定である。

キーワード: リコネクション, 電離圏, 金星
Keywords: reconnection, ionosphere, Venus

ガリレオ探査機の観測に基づくガニメデ極域磁気圏のイオン加速の推定 Estimation of the ion acceleration in the Ganymede polar magnetosphere by the Galileo spacecraft observation

渡辺 真矢^{1*}; 加藤 雄人¹; 熊本 篤志¹; 小野 高幸¹; Kurth William S.²; Hospodarsky George²
WATANABE, Shinya^{1*}; KATO, Yuto¹; KUMAMOTO, Atsushi¹; ONO, Takayuki¹; KURTH, William S.²; HOSPO-
DARSKY, George²

¹ 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻, ²Department of Physics and Astronomy, University of Iowa Iowa City, Iowa, USA.

¹Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University, ²Department of Physics and Astronomy, University of Iowa Iowa City, Iowa, USA.

ガニメデは木星の衛星の一つで、太陽系で唯一固有磁場を持つ衛星として知られている [Gurnett et al., 1996]。また、ガニメデは木星の磁気圏内を公転しているため、木星と共回転する磁気圏プラズマとの間で相互作用が生じ、ガニメデ周辺には磁気圏が形成されている。ガニメデ磁気圏の空間スケールは、木星磁気圏プラズマを構成するイオンのラーマー半径が無視できない程度であることから、特殊なプラズマ環境がガニメデ周辺に実現されていると考えられる。今日、ガニメデの磁気圏やプラズマ環境の研究は行われているものの、磁気圏とプラズマの相互作用やガニメデの磁気圏の様相には未解明の点が多く残されている。

本研究では、ガリレオ探査機の観測結果を用いてガニメデ極域のプラズマ環境を議論する。まず、Plasma Wave Subsystem (PWS) の観測結果から Upper-Hybrid Resonance (UHR) 周波数を同定することで、その場の電子密度を求めた。私達は、先行研究で行われていた軌道 (G01, G02) に加え [Gurnett et al., 1996]、新たな軌道 (G07, G29) での解析も行った。ガニメデ磁気圏で主要なイオン種である一価の酸素原子イオンの数密度がこの電子密度と等しいとし [Vasyliunas and Eviatar, 2000]、ガニメデ表面からの距離が 264 km から 5262 km までの領域におけるイオン密度の高度分布を求めたところ、距離に伴って密度が顕著に減少する傾向が示された。次に、得られた高度分布に基づいて、ガニメデ磁気圏極域からのイオンの流失について考察した。まず、極域電離圏から磁気圏に向かってガニメデ電離圏起原のイオンが流出する過程において、イオン流出の経路上でフラックスが一定であると仮定した。観測された密度分布を冪乗の関数で近似して、断面積が距離の 2 乗に比例するとした場合と 3 乗に比例するとした場合に、フラックスを一定にするために必要な速度を求め、イオン流出速度の高度変化を推定した。その結果、密度は距離 r に対して $r^{-5.98}$ で変化すること、高度 500 km における速度は断面積が距離の 2 乗に比例する場合は 17.3 km/s、3 乗に比例する場合は 14.5 km/s に達すると見積もられることが明らかとなった。過去の研究では Vasyliunas and Eviatar, [2000] が G02 軌道 (高度 264 km~2000 km) の PLS の観測に基づいてイオン流出速度を 18 km/s と示した例がある。本研究の結果は、今までとは異なるアプローチでイオンの流出を指摘するものであると考えられる。本研究ではさらに、その流出プロセスを考察するための計算機シミュレーションを構築中であり、その進捗状況についても報告する。

Keywords: Ganymede, magnetosphere, outflow, acceleration

恒星観測を用いたひさき衛星搭載 EXCEED の機上較正 In-flight calibration of HISAKI/EXCEED by stellar observations

村上 豪^{1*}; 吉岡 和夫¹; 山崎 敦¹; 木村 智樹¹; 土屋 史紀²; 鍵谷 将人²; 吉川 一朗³
MURAKAMI, Go^{1*}; YOSHIOKA, Kazuo¹; YAMAZAKI, Atsushi¹; KIMURA, Tomoki¹; TSUCHIYA, Fuminori²; KAGI-TANI, Masato²; YOSHIKAWA, Ichiro³

¹宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ²東北大学惑星プラズマ・大気研究センター, ³東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

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

The extreme ultraviolet (EUV) telescope EXCEED (Extreme Ultraviolet Spectroscope for Exospheric Dynamics) onboard the Japan's small satellite HISAKI (SPRINT-A) will be launched in August 2013. The EXCEED instrument will observe tenuous gases and plasmas around the planets in the solar system (e.g., Mercury, Venus, Mars, Jupiter, and Saturn). One of the primary observation targets is Jupiter, whose magnetospheric plasma dynamics is dominated by planetary rotation. In the EUV range, a number of emission lines originate from plasmas distributed in Jupiter's inner magnetosphere. The EXCEED instrument is designed to have a wavelength range of 52-148 nm with a spectral resolution of 0.3-1.0 nm. The spectrograph slits have a field of view of 400 x 140 arc-seconds (maximum), and the attitude fluctuations are stabilized within 5 arc-seconds. The optics of the instrument consists of a primary mirror with a diameter of 20cm, a laminar type grating, and an EUV detector using microchannel plates (MCPs). The surfaces of the primary mirror and the grating are coated with CVD-SiC.

After the launch of the HISAKI satellite and the initial check out of the instrument for 2 months, we performed in-orbit calibrations of the EXCEED instrument by stellar observations. We observed the standard stars GD71, HZ2, and FEIGE110, and measured the absolute sensitivity and the spatial resolution of the EXCEED instrument. As a result, the absolute sensitivity was $\sim 1\text{-}2\text{ cm}^2$ and the spatial resolution was ~ 16 arc-seconds. In this presentation, we report the overview and initial results of the in-orbit calibration of EXCEED.

キーワード: ひさき, 極端紫外, 惑星分光観測衛星
Keywords: HISAKI, EXCEED, EUV

Hisaki/EXCEED と地上望遠鏡によるイオプラズマトーラスの協調観測 Coordinated observation of Io plasma torus using Hisaki/EXCEED and ground-based telescopes

鍵谷 将人^{1*}; Andrew Steffl²; Badman Sarah³
KAGITANI, Masato^{1*}; ANDREW, Steffl²; BADMAN, Sarah³

¹ 東北大学, ²Southwest Research Institute, ³University of Leicester

¹Tohoku university, ²Southwest Research Institute, ³University of Leicester

EXCEED is an EUV spectrograph onboard an earth-orbiting space telescope, Hisaki (SPRINT-A). One of the primal mission goal of Hisaki/EXCEED is to reveal radial transport of mass and energy in the Jovian magnetosphere. At the beginning of January 2014, intense campaign observations of Jovian aurora and Io plasma torus were made using Hisaki/EXCEED, Hubble Space Telescope and other ground-based telescopes covering wavelength range from EUV through IR. We will present results of spectroscopic observation of Io plasma torus using the R.C. spectrograph attached to Kitt-Peak 4-meter telescope and an Echelle spectrograph attached to Haleakala 40-cm telescope.

The 4-meter R.C. Spectrograph was set up covering 550nm through 800nm which could successfully detect NaD (589nm), SIII 631.2nm, SII 671.6/673.1nm, and OII 731.9/733.0nm as well. A field-of-view was 98 arcseconds along the slit and the slit center was pointed at the dawn or dusk edge of the centrifugal equator. We could get 54 spectra from the observation during January 4th through 10th, 2014.

The Haleakala spectrograph is a high-resolution echelle spectrograph with an integrated field unit (IFU) which enables to capture 2-d distribution of [SII] 671.6/673.1nm emission with spectral resolution of 67000 over a field-of-view of 41" by 61". The 40-cm telescope was observing Io plasma torus all over the night during the observing campaign period.

Based on preliminary analysis of the EUV spectrum from EXCEED/Hisaki, visible spectrum from Kitt-Peak 4-meter and Haleakala 40-cm, emission peaks of SIII and OII was located outward compared to the SII emission peak which is consistent with results from previous studies. More accurate analysis including pointing calibration and flux calibration are ongoing, the result will be presented at the meeting.

キーワード: Hisaki/EXCEED, イオプラズマトーラス

Keywords: Hisaki/EXCEED, Io plasma torus

2014年1月に行われた木星熱圏・放射線帯観測の初期解析結果 Coordinated observation of Jupiter thermosphere and radiation belt in January 2014

北元^{1*}; 三澤 浩昭¹; 土屋 史紀¹; 藤澤 翔太¹; 坂野井 健¹; 笠羽 康正¹
KITA, Hajime^{1*}; MISAWA, Hiroaki¹; TSUCHIYA, Fuminori¹; FUJISAWA, Shota¹; SAKANOI, Takeshi¹; KASABA, Yasumasa¹

¹ 東北大学

¹Tohoku Univ.

In order to evaluate the solar UV/EUV heating effect on the Jovian radiation belt, we made coordinated observations for both temperature of the Jovian thermosphere using an infrared telescope and synchrotron radiation from the radiation belt (JSR) using a radio interferometer. JSR is the most effective probe for the dynamics of the Jovian radiation belt through remote sensing from the Earth. Recent intensive observations for JSR reveal short term variations of JSR with the time scale of days to weeks, but their causalities are not understood well. It is theoretically expected that the Jovian thermosphere is heated by solar UV/EUV radiation, and planetary atmospheric neutral wind is driven by solar UV/EUV heating. Then, induced dynamo electric field is mapped into the radiation belt and induces radial diffusion. From this scenario, the total flux density of JSR is expected to correlate with the solar UV/EUV flux.

Previous studies confirmed that the total flux density of JSR varied corresponding to the solar UV/EUV variations though it is unclear whether the temperature of the Jovian thermosphere actually varied during this event. The purpose of this study is to confirm whether sufficient solar UV/EUV heating occurs on the Jovian thermosphere and it actually causes variations of JSR total flux density. We made coordinated observations of the NASA Infra-Red Telescope Facility (IRTF) and the Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT). From the infrared spectroscopic observations, we measured thermospheric temperature of H_3^+ ion. From the radio interferometer, we measured the total flux density and brightness distribution of JSR.

The IRTF is a 3 m infrared telescope located in Mauna Kea, Hawaii. The IRTF observations were made on Jan 3, 8, and 13 in 2014. We used the high spectral resolution spectrometer, CSHELL, and observed H_3^+ 3.9530 microns emission (Q(1,0)) and 3.4547 microns doublet emission (R(4,3) and R(4,4)). We assumed local thermodynamic equilibrium at the equatorial region and calculated thermospheric temperature from the two emission line ratio. The GMRT is a large radio interferometer located in India. The GMRT observations were made from Dec 31 to Jan 16 with a few days interval. The typical duration of observation time was 2 hours per day, and the observation frequency was 235 and 610 MHz. During this period, the SOHO satellite showed that the solar EUV flux increased from Dec 26, reached at the maximum flux on Jan 8, and then decreased to Jan 16. A preliminary analysis of the IRTF data showed that the temperature increased from Jan 3 to Jan 8, and decreased from Jan 8 to Jan 13. This is the first result that shows the temperature response of Jovian upper atmosphere to the solar UV/EUV heating. We will also introduce analyzed results of the GMRT data and discuss the relationship between Jovian thermosphere and radiation belt.

キーワード: 木星, 熱圏, 放射線帯, 赤外観測, 電波干渉計

Keywords: Jupiter, thermosphere, radiation belt, infrared observation, radio interferometer

LWA1 で観測された木星電波のデータ解析 Data analysis of Jupiter's decametric radio emission observed by LWA1

島内 良章^{1*}; 今井 一雅¹; Clarke Tracy²; Higgins Charles A.³; 今井 雅文⁴
SHIMANOUCI, Yoshiaki^{1*}; IMAI, Kazumasa¹; CLARKE, Tracy²; HIGGINS, Charles A.³; IMAI, Masafumi⁴

¹ 高知工業高等専門学校, ²Naval Research Laboratory, ³Middle Tennessee State University, ⁴ 京都大学
¹Kochi National College of Technology, ²Naval Research Laboratory, ³Middle Tennessee State University, ⁴Kyoto University

木星電波は 1955 年に発見されて以来、多くの観測が行われ研究されてきたが、その電波放射機構は完全に解明されていない。この木星電波を解析するにあたって良く使われる手法として、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解析がある。この低周波宇宙電波のダイナミックスペクトラム解析において、世界最高レベルの感度を持つ 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ある。LWA1 は、256 基のアレイアンテナで構成されており、右回りと左回りの偏波を観測可能とするため、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、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てデータ処理の後、アーカイブされている。

我々は、木星電波の放射機構を解明するために、LWA1 で観測されたデータをデータ解析言語である IDL によって解析を行っている。観測されたダイナミックスペクトラムデータは、天文分野でよく用いられる FITS ファイルでアーカイブされている。我々が作成した IDL のプログラムは、自動的にカレントディレクトリ内の FITS ファイルを探索し、ヘッダの情報を読み取ることができ、自動的に時系列順に並び替えて、配列数・時間軸・周波数軸をヘッダからの情報をもとにダイナミックスペクトラムを生成することができる。また、作成した IDL プログラムにより、任意の時間の周波数や強度を抽出や、時間分解能が大きいデータに関しては拡大処理することも可能で、右回り・左回り偏波成分を独立に抽出することも可能である。

今回解析した木星電波の Io-C 電波源のデータのダイナミックスペクトラムでは、LWA1 の 22MHz から 28MHz の観測周波数帯で、モジュレーションレーンの縞状構造を明瞭に確認することができた。また、右回り偏波と左回り偏波のダイナミックスペクトラム上で、モジュレーションレーンの縞状構造がつながっていることから、同じ磁極側で放射された電波であることが推定された。今後、LWA1 で観測された多くの木星電波のデータの解析をこの手法で行うことにより、木星電波の放射モードを特定する上で極めて重要な情報を得ることができると我々は考えている。

キーワード: 木星電波, デカメートル波, データ解析, 電波源, 電波放射機構, LWA1

Keywords: Jupiter radio, decametric wave, data analysis, radio source, radio emission mechanism, LWA1

木星オーロラ電波の長期変動特性 - II Long Term Variations of Jupiter's Auroral Radio Emissions - II

三澤 浩昭^{1*}; 米田 瑞生²; 森岡 昭¹; 土屋 史紀¹; 水口 岳宏¹
MISAWA, Hiroaki^{1*}; YONEDA, Mizuki²; MORIOKA, Akira¹; TSUCHIYA, Fuminori¹; MIZUGUCHI, Takahiro¹

¹ 東北大学惑星プラズマ・大気研究センター, ² 東北大学惑星プラズマ・大気研究センター / ハワイ大学天文学研究所
¹PPARC, Tohoku Univ., ²PPARC, Tohoku Univ. / IFA, Univ. Hawaii

It is known that Jupiter's auroral radio emission (hereafter JAR) shows long term variations with the time scale of about a decade. The variations were first considered to be initiated by the solar activities in 1960's, however, longer term analyses in 1970's showed the variations relate with the Jovicentric declination of the earth (De). So far, their plausible causalities are considered to be brought by 1) De relating to amount of reachable rays to the earth, and 2) the geocentric declination of Jupiter relating to incidence angle of the radio wave to the terrestrial ionosphere. However, considering solar cycle dependence on the terrestrial auroral radio activity (e.g. Kumamoto et al., 2003), the solar activity control may not be negligible for the long term variations. Furthermore, we have not known well long term relationship between JAR and Jupiter's substorm-like process which may be controlled by Io's volcanic activity.

In order to assess the previously proposed causalities and the other effects, we have investigated occurrence features of JAR using the radio wave data observed outside the terrestrial ionosphere; i.e., by the WIND satellite after 1995. We have derived year-scale occurrence probabilities for 0.7 - 14 MHz around Jupiter's occultation periods, where the frequency range includes both Jupiter's decameter and hectometer radio emissions (so-called DAM and HOM, respectively). As the result, the yearly-scale occurrence probabilities show almost monotonous decrease from 1995 to 2005, then gradual increase after 2005, but change to somewhat complex nature with increase and decrease after 2009. The tendency is roughly similar for DAM and HOM, and also quite roughly similar for Io-related and non-Io-related DAMs. On the other hand, the JAR variation features do not seem to correspond to individual variation of De, solar activity and solar wind, but seem to somewhat correlate with those of Iogenic gas luminosity. These results imply that multiple causalities and/or Jupiter's internal process(es) control the long term variations.

Acknowledgements: We would greatly appreciate M. Kaiser and the WIND/WAVES team for providing the radio wave data.

キーワード: 木星, オーロラ電波, 長期変動, イオ火山活動, イオ起源ガス

Keywords: Jupiter, auroral radio emission, long term variation, Io's volcanic activity, Iogenic gas