

## ピリカ望遠鏡による金星雲の循環周期観測 Observation of the periodicity of cloud rotation in Venus with Pirka telescope

今井 正亮<sup>1\*</sup>, 高橋 幸弘<sup>1</sup>, 渡部 重十<sup>1</sup>, 渡邊 誠<sup>1</sup>, 濱本 昂<sup>1</sup>

Masataka Imai<sup>1\*</sup>, Yukihiko Takahashi<sup>1</sup>, Shigeto Watanabe<sup>1</sup>, Makoto Watanabe<sup>1</sup>, Ko Hamamoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学・大学院理学院・宇宙理学専攻

<sup>1</sup>Department of CosmoSciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

The Super-rotation, which is a phenomenon that Venusian atmosphere moves westward at a velocity 60 times faster than the solid planet rotation, is a unique atmospheric system of Venus. Its mechanism and even the fundamental properties, such as the variation of the rotation period, are still unknown. When we observe the Venusian atmosphere in ultraviolet range, the dark pattern, which is considered to represent the distribution of UV-absorber above the clouds, can be seen. The time variation of this pattern suggests the wind circulation of the atmosphere and/or the atmospheric wave propagating at an altitude of 70 km or higher, being related to the super-rotation. Del Genio & Rossow (1982, 1990) reported the brightness of the Venus cloud has a variation in periodicity changing from four to five days and this change occurred independently for each latitude band. Our purpose is to monitor this change of the period in brightness based on the long-term observation with Pirka telescope and to investigate its mechanism.

Multi-Spectral Imager (MSI) mounted on the 1.6 m Pirka telescope, owned and operated by the graduate school of science in Hokkaido University, is used to take UV images of Venus. The Pirka telescope is primarily dedicated to the observations of solar planets, and MSI can set the exposure time very short ( $\sim 0.04$  s) and change the center wavelength of narrow band transmittance using liquid crystal tunable filters rapidly. Thanks to Pirka telescope and MSI, we can observe in the daytime of the earth and monitor the planetary scale UV-features ( $> 5,000$  km) over 8 hours in 1 day with 1 or 2 month interval. Using MSI data, it is possible to investigate the time variation of cloud brightness in UV covering the full super-rotation time scale (over 4 days) and to compare the variations at different latitudes.

We estimated the brightness of each latitude band and calculated the relative brightness to equatorial region at 365 nm for the data observed in July 2012. Size of each examined area is  $10^\circ \times 10^\circ$  (longitude  $\times$  latitude), which is larger than the atmospheric seeing size at the observation site. This method makes it possible to work through the problem of correcting the earth's atmosphere effect so that we can compare the time variations between different latitudes. We found the typical time variation seems to be related to the super-rotation. This results show piecewise continuous distribution of UV features in the direction of longitude and suggest that features propagate in synchronization among  $50^\circ\text{S} - 50^\circ\text{N}$ . For further investigation, we also analyze the VCM/Venus Express data to estimate the absolute change of brightness along some latitude band. We will be able to obtain the absolute brightness distribution for each latitude band from combining the MSI and the VMC data and to compare the results among different observation periods.

Keywords: venus, super-rotation, grand base observation, pirka telescope

## 金星雲頂における風速の推定 Estimation of wind at the cloud top of Venus

池川 慎一<sup>1\*</sup>, 堀之内武<sup>2</sup>  
Shinichi Ikegawa<sup>1\*</sup>, Takeshi Horinouchi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院環境科学院, <sup>2</sup> 北海道大学地球環境科学研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, <sup>2</sup>Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

金星大気におけるスーパーローテーション生成メカニズムの有力な仮説の一つとして、子午面循環に着目したギョーラシメカニズムがある。これを検証するためには、観測から乱流による運動量輸送を見積もる必要がある。そのためには、数千 km 以下の細かな空間分解能で風速を推定する必要があると考えられる。しかし、今までの風速推定は、それに必要な空間分解能や精度が保証されていない。本研究の目的は、相互相関法による風速推定の改良と風速推定の精度評価の確立である。本研究で使用したデータは、欧州宇宙機関の金星探査機 Venus Express に搭載されている VMC (Venus Monitoring Camera) の紫外画像である。過去の研究では、1 ペアに基づいた風速推定が行われていたが、本研究では多数のペアを使用して風速推定を行った。画像ごとのノイズが無相関と仮定した場合、多数のペアを使用することでノイズは減少し、有効自由度は増加する。従って、風速推定の精度は向上することが期待できる。本研究では、風速推定の精度は相関係数の誤差をもとに求めた。また、複数の評価指標を用いることにより、客観的な推定結果の精度評価が可能になった。その結果、多数の画像を使用することで風速推定の精度が向上することが示された。

キーワード: 金星, スーパーローテーション, 風速推定

Keywords: Venus, super-rotation, estimation of wind

## 金星の雲層における対流の数値実験 Numerical modeling of cloud-level convection on Venus

樋口 武人<sup>1\*</sup>, 今村 剛<sup>2</sup>, 前島 康光<sup>3</sup>, 池田 恒平<sup>4</sup>, 高木 征弘<sup>5</sup>, 杉本 憲彦<sup>6</sup>

Takehito Higuchi<sup>1\*</sup>, IMAMURA, Takeshi<sup>2</sup>, MAEJIMA, Yasumitsu<sup>3</sup>, IKEDA, Kohei<sup>4</sup>, TAKAGI, Masahiro<sup>5</sup>, SUGIMOTO, Norihiko<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構, <sup>3</sup> 気象研究所, <sup>4</sup> 海洋研究開発機構, <sup>5</sup> 京都産業大学, <sup>6</sup> 慶應義塾大学

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>3</sup>Meteorological Research Institute, <sup>4</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>5</sup>Kyoto Sangyo University, <sup>6</sup>Keio University

金星は高度約48kmから70kmに存在する濃硫酸の雲に覆われている。この雲は入射する太陽光の約80%を反射し、金星のエネルギー収支において大きな役割を果たしている。この雲層の下部50kmから55km付近には中立成層があることが気温計測から知られており、この層は下層大気からの上向き熱放射が雲底で吸収されることにより大気が加熱されるために生じる対流層であると考えられる (Crisp et al., 1990)。対流は雲の中の物質輸送の重要な担い手であり、金星の雲システムを理解する上で重要な物理過程である。

地球と同様に金星においても緯度ごとの放射エネルギー収支はバランスしておらず、低緯度帯では過剰な短波加熱があり、高緯度帯では逆に過剰な放射冷却がある。このエネルギーの不均衡は雲層における対流の構造に影響を与えると考えられる。さらに、雲層高度の大気はスーパーローテーションによって流され、周期的に変化する放射加熱を受けている。したがって、雲層における対流の振る舞いを理解するには対流の緯度依存性と日変化を理解する必要がある。Baker et al. (1998; 2000) は、金星の雲層における対流の数値実験を行い、対流の強度、縦横比、対流層の上下にある安定層にプルームが貫入するなどの特徴的なプロセスを議論した。しかし、対流の緯度依存性や日変化が考慮されていないことと、現実的な放射加熱・冷却が取り入れられていないことが問題点として挙げられる。

本研究では、非静力学気象モデル CReSS (Tsuboki and Sakakibara, 2007) を使って対流モデルを構築し、金星の雲層における対流の緯度依存性と日変化について調べた。長波放射による加熱・冷却は池田 (2010) の一次元放射対流平衡計算で求められた分布を用い、短波放射による加熱はローカルタイムと緯度の関数として扱う。鉛直流の大きさは Vega 気球観測の結果や混合距離理論からの見積りと整合的であり、モデルがもっともらしい対流強度を再現しているといえる。緯度依存性に関しては、低緯度よりも高緯度で深く強い対流が生じるという結果が得られた。このことは電波掩蔽観測によって示された雲層内の中立成層の領域が高緯度ほど厚いという結果 (Tellmann et al., 2009) と定性的に整合的であり、重力波の振幅が高緯度ほど大きいという結果 (Tellmann et al., 2012) も説明する。また、スーパーローテーションの東西移流効果によって生じる日変化に関しては日中よりも夜間で深く強い対流が生じるという結果となった。このような地球とは逆の緯度とローカルタイムへの依存性は、金星の雲層内の対流を駆動する下層大気からの長波加熱が緯度やローカルタイムによってほとんど変化しないのに対して、変動の大きな短波加熱が雲層高度の成層を安定化して対流を抑制する働きを持つといった、特殊な対流駆動メカニズムによって生じる。

キーワード: 金星, 雲, 対流

Keywords: Venus, cloud, convection

## 熱赤外と近赤外波長で見られる金星雲の明暗模様の起源 Origins of Contrasts in Venus Seen at Thermal Infrared and Near-Infrared Wavelengths

佐藤 隆雄<sup>1\*</sup>, 佐川 英夫<sup>2</sup>, 神山 徹<sup>3</sup>, 今村 剛<sup>1</sup>, 佐藤 毅彦<sup>1</sup>

Takao M. Sato<sup>1\*</sup>, Hideo Sagawa<sup>2</sup>, Toru Kouyama<sup>3</sup>, Takeshi Imamura<sup>1</sup>, Takehiko Satoh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, <sup>2</sup> 情報通信研究機構, <sup>3</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup>Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>2</sup>National Institute of Information and Communications Technology, <sup>3</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

The middle atmosphere (60-100 km) of Venus plays an important role in determining its own environment. Venus is completely shrouded by a curtain of dense clouds (50-70 km) with total optical thickness of 20-40 at visible wavelengths. The upper sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) clouds reflect ~76% of the incident solar radiation back to space. More than 70% of the solar energy absorbed by Venus is deposited at altitudes higher than 64 km mainly due to absorption of unknown UV absorbers mixed in the upper cloud. This horizontally and vertically unusual heating in the cloud layer excites the thermal tides, which are key process to understand the atmospheric super-rotation. In order to elucidate this mysterious atmospheric phenomenon, it is fundamental to investigate horizontal and vertical thermal structure in the middle atmosphere.

Mitsuyama et al. observed Venus at three thermal infrared (hereafter TIR) wavelengths (8.59, 11.24, and 12.81 micron) with the Cooled Mid-Infrared Camera and Spectrometer (COMICS), mounted on the 8.2-m Subaru Telescope, during the period of October 25-29, 2007. Thermal radiations at these wavelengths are most sensitive to altitudes of ~70 km. The spatial resolution of images was ~500 (km/pixel). This was the first time that such high spatial resolution full-disk images had been obtained. After processing images with high-pass filter, they found a horizontal Y-shape structure, which was similar to that seen in UV, varying its shape from day to day.

In this study, to understand what determine the observed contrast (1-2 K) of thermal radiations in equatorial latitudes at these TIR wavelengths, we investigate sensitivity of atmospheric parameters with radiative transfer calculations. A cloud model (Eymet et al., 2009) which is based on the results of Venera 15 (Zasova et al., 2007) is adopted in our calculations. There are four candidates that can be responsible for this contrast: temperature profile, cloud top altitude, and optical thicknesses of mode 1 and mode 2 particles. Conversely, optical thicknesses of mode 2' and mode 3 particles are not sensitive to thermal radiations at these TIR wavelengths. To narrow down the contrast source, we also examine the contrast of reflectance at 968 nm (hereafter NIR) obtained by Galileo Solid State Imager (SSI). From the calculation, the optical thicknesses of all the considered four cloud particles (mode 1, mode 2, mode 2', and mode 3) can reproduce the observed contrast of reflectance (1-2%) while the other parameters (temperature and cloud top altitude) are insensitive to reflectance. We find that variations of optical thicknesses of mode 1 and mode 2 particles can satisfy the observed contrasts both of TIR and of NIR simultaneously. However, it has been pointed out that the altitudes that contribute most to the observed radiance at NIR (58-64 km) are lower than those at UV (62-70 km) based on the results of cloud-tracked zonal velocity [e.g., Sanchez-Lavega et al., 2008]. It would suggest that optical thicknesses of mode 1 and mode 2 particles are less variable in equatorial latitudes and the obtained thermal contrasts seen in TIR result from the variation of temperature profiles and/or cloud top altitudes rather than those of optical thicknesses of mode 1 and mode 2 particles.

キーワード: 金星, 熱赤外, 近赤外

Keywords: Venus, Thermal infrared, Near-infrared

## 金星雲上酸素同位体比の赤外分光測定 Quantification of oxygen isotope ratios in the Venus atmosphere by IR spectroscopy

岩上 直幹<sup>1\*</sup>, はしもと じょーじ<sup>2</sup>  
 Naomoto Iwagami<sup>1\*</sup>, George HASHIMOTO<sup>2</sup>

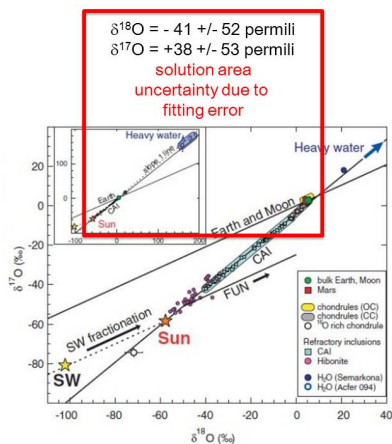
<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 岡山大学  
<sup>1</sup>University of Tokyo, <sup>2</sup>Okayama University

The oxygen isotope ratios  $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$  and  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  in the solar system are known to show a clear systematic relation. And the relation differs planet by planet. For example, the  $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$  ratio as a function of  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ratio in Mars appears to be larger than that in the Earth-Moon system by 0.05 %. This fact indicates that the proto-Earth-Mars matter was so well mixed but with a systematic difference. In such a way, the isotope ratios may provide information about the origin and evolution of the planets. However,  $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$  ratio in Venus has never been quantified, and may provide further information about the mixing history of the early solar system if measured.

The ratios may be quantified by ground-based  $\text{CO}_2$  IR spectroscopic measurements. By assuming a use of IRTF CSHELL spectrometer with a nominal resolution of 40000, we looked for suitable wavenumber regions to quantify the  $^{17}\text{O}/^{18}\text{O}$  and  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ratios. The suitable region for the former is found at  $2648\text{ cm}^{-1}$  as shown in the figure, and the latter at  $4582\text{ cm}^{-1}$ . In the figure, the top two curves show the earth and solar structures disturbing the quantification, and the middle two curves show the Venus  $\text{C}^{17}\text{O}^{16}\text{O}$  and  $\text{C}^{18}\text{O}^{16}\text{O}$  structures indicating a feasibility to quantify the  $^{17}\text{O}/^{18}\text{O}$  ratio.

isotope  
 quest 3  
 preliminary result

Error in HITRAN  
 $\Delta S \sim 2\text{-}5\%$  for  $^{17}\text{O}$   
 $\Delta S \sim 10\text{-}20\%$  for  $^{18}\text{O}$   
 $\Delta S \sim 10\text{-}20\%$  for  $^{16}\text{O}$



## 金星日面通過時に観測された屈折光を用いた金星高層大気の研究

### Venus upper atmosphere derived from the Hinode's high resolution images acquired during the transit of Venus

金尾 美穂<sup>1\*</sup>, 中村 正人<sup>1</sup>, 清水 敏文<sup>1</sup>, 今村 剛<sup>1</sup>, Sterling Alphonse<sup>2</sup>, 坂野井 健<sup>3</sup>, 笠羽 康正<sup>3</sup>, 山崎 敦<sup>1</sup>

Miho Kanao<sup>1\*</sup>, Masato Nakamura<sup>1</sup>, Toshifumi Shimizu<sup>1</sup>, Takeshi Imamura<sup>1</sup>, Alphonse Sterling<sup>2</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>3</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>3</sup>, Atsushi Yamazaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宇宙科学研究所, <sup>2</sup>NASA Marshall Space Flight Center, <sup>3</sup> 東北大学

<sup>1</sup>ISAS, <sup>2</sup>NASA Marshall Space Flight Center, <sup>3</sup>Tohoku University

太陽観測衛星「ひので」に搭載された可視光磁場望遠鏡 (SOT) は、2012年の金星日面通過において解像度 0.2 秒という未だかつてない高い空間分解能で、太陽面上を移動する金星を捉えた。金星が太陽縁に外接する 6月5日 22:15:46.09 から内接する 22:29:53.4 までの時間帯に、388.35nm から 668.40nm までの範囲の 5つの波長で、ピクセルサイズ 0.1 秒 (金星位置では 20km) の 2次元画像データを取得した。太陽ディスク面の外側には、金星縁に沿った輪状の弱い発光を観測した。この発光の由来を同定し金星大気中の物理情報を引き出すことが本講演の目的である。

今回解析に用いたデータでは、輪状の発光は金星の北緯 87 度から南緯 17 度までの領域において観測されている。光の強度が最大となる金星の高度は 65km から 74km の範囲にあると見積もった。光の強度が最大となる高度は高緯度領域では低緯度領域に比べて 9km 低い。高度方向に積分した輪状の発光の強度は、低緯度領域では高緯度領域の約半分と緯度が低いほど暗い傾向にあり、北緯 25 度から 35 度で最も弱い。

観測された金星リムに沿った輪状の発光が、太陽光が金星大気を屈折して透過した光であると仮定し、二酸化炭素大気の密度と温度のモデルを用いて屈折角度を計算した。この結果、発光は金星高度約 50km から 95km までの金星大気を透過、屈折している可能性を明らかにした。二酸化炭素大気によって受けるレイリー散乱の減光率を計算した結果と、観測された屈折光の消散率から、金星大気中の粒子の減光率を予測し粒子の高度分布を議論する。

キーワード: 金星上層大気, ひので, 惑星大気

Keywords: Venus upper atmosphere, Hinode

## 高波長分解能赤外ヘテロダイン分光器を用いた惑星大気研究 Study of planetary atmospheric dynamics, photochemistry, and meteorology using Mid-Infrared LAsER Heterodyne Instrument

中川 広務<sup>1\*</sup>, 青木 翔平<sup>1</sup>, 笠羽 康正<sup>1</sup>, 村田 功<sup>1</sup>, 岡野 章一<sup>2</sup>

Hiroumi Nakagawa<sup>1\*</sup>, Shohei Aoki<sup>1</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>1</sup>, Isao Murata<sup>1</sup>, Shoichi Okano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学・理, <sup>2</sup> ハワイ大学

<sup>1</sup>Geophysics, Tohoku University, <sup>2</sup>University of Hawaii

In this paper, an overview of the science addressable with Mid-Infrared LAsER Heterodyne Instrument (MILAHl) will be given. The list is certainly not exhaustive and proposals for future projects are very welcome. With the configuration described below the instrument MILAHl can be used for research in the atmospheres of solar system objects, i.e. planets, moons, comets, the Earth and the Sun. Extra solar objects like stars and stellar envelopes, proto-planetary disks or even exoplanets are possible targets of interest. MILAHl is easily transportable and widely usable for second-generation instrument for the airborne observatory, and large telescope project at Antarctic (Ichikawa, private communications).

Many molecules of atmospheric and astronomical interest exhibit rotational-vibrational spectra in the middle infrared regime. Fully resolved molecular features with high spectral resolution are possible retrieval of many physical parameters, such as density, velocity, pressure, excitation condition, temperature, and the vertical information from single line profile.

In mid-infrared wavelength region, the highest spectral resolution is provided by the infrared heterodyne technique (Kostuik and Mumma, 1983). It is for the applications to astronomy and planetary atmospheric science in 7-13 micron wavelength at a spectral resolution of up to  $10E7-8$  with a very high sensitivity. Infrared heterodyne spectroscopy has been applied to study of planetary atmosphere (Goldstein et al., 1991; Kostuik, 1996; Kostuik et al., 2000; Fast et al., 2006; Fast et al., 2011; Sonnabend et al., 2012; Sornig et al., 2012) to date.

We have developed a new infrared heterodyne instrument, called Mid-Infrared LAsER Heterodyne Instrument (MILAHl), for our dedicated new telescope (1.8m) at the summit of Mt. Haleakala, Hawaii. This project would be milestone in order to increase our understanding of various temporal variability (diurnal, seasonal, and solar cycle effect) of planetary atmospheric dynamics, photochemistry, and meteorology.

Remarkable advantages of this instrument are as follows: (i) ultra-high velocity resolution (up to 10 m/s, corresponding to  $10E7$  wavelength resolving power) with a bandwidth of two times 1 GHz, (ii) previously unheard of compactness within 1 plate (600mm x 600mm) including the calibrators, (iii) excellent system noise temperature less than 2700 K at 9.6 micron wavelength. In order to provide wider wavelength range, a room-temperature type quantum cascade laser was applied for the first time. Its operating spectral range achieved to be 5 cm<sup>-1</sup>. As the backend spectrometer, a compact digital FFT spectrometer was also first applied for our system in order to obtain (a) a high frequency resolution, (b) stability and flexibility, and (c) a wide dynamic range. In this paper, an expected S/N will be discussed using measured spectra of stratospheric ozone in the terrestrial atmosphere.

First light of this instrument would be performed in the summer 2013 at the same summit using our 60cm-telescope in the verification process. First candidates for test measurements are Mars and Venus.

キーワード: 惑星大気, 赤外, ヘテロダイン, 分光, 観測

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

## ミリ波 SPART 望遠鏡による太陽系惑星中層大気モニタリング Monitoring Observations of the Middle Atmospheres of Solar Planets at Millimeter-Wave Band with SPART Telescope

前澤 裕之<sup>1\*</sup>, 森部 那由多<sup>2</sup>, 佐川 英夫<sup>3</sup>, 西村 淳<sup>1</sup>, 池田 喜則<sup>1</sup>, 大崎 茂樹<sup>1</sup>, 堀内 洸介<sup>1</sup>, 大西利和<sup>1</sup>, 徳丸 宗利<sup>2</sup>, 福井康雄<sup>2</sup>, 水野 亮<sup>2</sup>, 近藤 秀作<sup>2</sup>, 半田一幸<sup>4</sup>, 前川淳<sup>4</sup>, 高橋茂<sup>4</sup>, 川辺良平<sup>4</sup>, 久野成夫<sup>4</sup>

Hiroyuki Maezawa<sup>1\*</sup>, Nayuta Moribe<sup>2</sup>, Hideo Sagawa<sup>3</sup>, Atsushi Nishimura<sup>1</sup>, Yoshinori Ikeda<sup>1</sup>, Shigeki Osaki<sup>1</sup>, Kouske Horiuchi<sup>1</sup>, Toshikazu Ohnishi<sup>1</sup>, Munetoshi Tokumaru<sup>2</sup>, Yasuo Fukui<sup>2</sup>, Akira Mizuno<sup>2</sup>, Shusaku Kondo<sup>2</sup>, Kazuyuki Handa<sup>4</sup>, Jun Maekawa<sup>4</sup>, Shigeru Takahashi<sup>4</sup>, Ryohei Kawabe<sup>4</sup>, Nario Kuno<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 大阪府立大学, <sup>2</sup> 名古屋大学, <sup>3</sup> 情報通信研究機構, <sup>4</sup> 国立天文台

<sup>1</sup>Osaka Prefecture University, <sup>2</sup>Nagoya University, <sup>3</sup>National Institute of Information and Communications Technology, <sup>4</sup>National Astronomical Observatory

Investigation of the abundance and time variation of minor constituents of planetary atmospheres and of the isotopes of these constituents provides important information about the dynamical and chemical balances and evolutionary processes of the atmospheres. To study how activities of the Sun, a typical G-type star in our galaxy, influence the physical conditions and (photo)chemical reaction network of the middle atmospheres of Venus, Mars, and gas-giant planets, we started monitoring observations of the spectral lines of the minor constituents such as carbon monoxide ( $J = 1-0$ : 115 GHz) in the Martian and Venusian middle atmosphere by using the SPART (Solar Planetary Atmosphere Research Telescope) which is the 10-m single dish telescope taken from the Nobeyama Millimeter Array System of Nobeyama Radio Observatory of Japan. In 2012 we installed a 200 GHz band SIS heterodyne detector onto the SPART newly to apply the retrieval analysis to the spectral line data precisely. Updates of the instruments and the computer system with Linux/Python-software enabled us to carry out highly-efficient monitoring and on-the-fly mapping observations toward Venus and Jupiter as well as dark clouds at the 200 GHz Band remotely. We will present the current status of this project at the conference.

キーワード: 太陽系, 惑星大気, 電波望遠鏡, ヘテロダイン分光, 太陽活動

Keywords: Solar Planets, Planetary Atmosphere, Radio Telescope, Heterodyne Spectroscopy, Solar Activity



## MGS 衛星によって観測された火星磁気フラックスロープの特徴について Characteristics of the Martian magnetic flux ropes observed by the Mars Global Surveyor

原 拓也<sup>1\*</sup>, 関 華奈子<sup>1</sup>, 長谷川 洋<sup>2</sup>, David A. Brain<sup>3</sup>, 齊藤 (長谷川) 実穂<sup>1</sup>  
Takuya Hara<sup>1\*</sup>, Kanako Seki<sup>1</sup>, Hiroshi Hasegawa<sup>2</sup>, David A. Brain<sup>3</sup>, Miho Saito (Hasegawa)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名大 STEL, <sup>2</sup> 宇宙科学研究所, <sup>3</sup>Laboratory for Atmospheric and Space Physics (LASP), University of Colorado at Boulder  
<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory (STEL), Nagoya University, <sup>2</sup>ISAS/JAXA, <sup>3</sup>LASP, Univ. of Colorado at Boulder

Mars is a unique planet because it locally possesses strong crustal magnetic fields mainly located in the southern hemisphere [e.g., *Acuna et al.*, 1999]. The Martian electromagnetic environment can thus become highly complicated and variable, since the interplanetary magnetic field (IMF) embedded in the solar wind interacts with the Martian crustal magnetic fields. Whereas it is known that the Martian upper atmosphere is escaping to the interplanetary space due to the interaction with the solar wind [e.g., *Lundin et al.*, 1989; *Barabash et al.*, 2007], the contribution of crustal magnetic fields to atmospheric escape from Mars has not yet been well understood.

Flux ropes are characteristic magnetic field structures seen throughout the solar system, e.g., at the Sun, in the interplanetary space, and at the Earth magnetosphere often in association with substorms. Flux ropes are also observed at planets such as at Venus and Mars [e.g., *Russell and Elphic*, 1979; *Vignes et al.*, 2004], which do not possess a global magnetic field. Recently, *Brain et al.* [2010] found a large-scale isolated magnetic flux rope filled with Martian atmospheric plasma located downstream from the crustal magnetic fields with respect to the solar wind flow based on their analyses of the magnetic field and suprathermal electron measurements from the Mars Global Surveyor (MGS) spacecraft. They suggested that the magnetic flux rope could intermittently carry significant amounts of atmosphere away from Mars by a bulk removal process such as magnetic reconnection between the IMF and the crustal magnetic fields. They proposed that this process might occur frequently and account for as much as 10 % of the total present-day ion escape from Mars.

We here investigate characteristics of the Martian magnetic flux ropes based on a reconstruction method using the MGS magnetic field data. This method is referred to as the Grad-Shafranov (GS) reconstruction technique, which is capable of recovering the two-dimensional spatial configuration of the magnetic flux ropes from single spacecraft data. We assumed that it has a magnetohydrostatic, two-dimensional magnetic field structure [*Hu and Sonnerup*, 2002]. Since there is no ion detector onboard MGS, we assumed a typical density and temperature of the Martian ionosphere at the spacecraft altitude in order to calculate the input thermal pressure for the model. It is also assumed that the spacecraft velocity is the dominant component causing apparent movement of the magnetic flux rope relative to the MGS spacecraft. The resultant structure can provide a reliable observational restriction on the spatial scales of magnetic flux ropes. We applied the GS reconstruction technique to approximately 80 magnetic flux rope events observed by MGS. In the presentation, we will report not only the dependences of the flux rope orientation on the solar zenith angle and the crustal magnetic field, but also the relationship between the magnetic flux rope axis derived from the GS method and the typical plasma convection direction. We will also discuss the characteristics of the size of the magnetic flux rope depending on the observed geographic location.

### References:

- Acuna et al. (1999), *Science*.
- Barabash et al. (2007), *Science*.
- Brain et al. (2010), *Geophys. Res. Lett.*
- Lundin et al. (1989), *Nature*.
- Hu and Sunnerup (2002), *J. Geophys. Res.*
- Russell and Elphic (1979), *Nature*.
- Vignes et al. (2004), *Space Sci. Rev.*

キーワード: 火星, 磁気フラックスロープ, Grad-Shafranov 方程式, 残留磁化, Mars Global Surveyor 衛星, 非磁化惑星  
Keywords: Mars, Magnetic flux rope, Grad-Shafranov equation, Crustal magnetic field, Mars Global Surveyor, Non-magnetized planet

## MGS 探査機により観測された火星 400km 高度への太陽風侵入の非対称性 Asymmetric penetration of solar wind perturbations down to 400-km altitudes at Mars observed by Mars Global Surveyor

松永 和成<sup>1\*</sup>, 関 華奈子<sup>1</sup>, 原 拓也<sup>1</sup>, Brain, David A.<sup>2</sup>

Kazunari Matsunaga<sup>1\*</sup>, Kanako Seki<sup>1</sup>, Takuya Hara<sup>1</sup>, BRAIN, David A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学 太陽地球環境研究所, <sup>2</sup>Laboratory for Atmospheric and Space Physics (LASP), Univ. of Colorado at Boulder, USA

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>2</sup>Laboratory for Atmospheric and Space Physics (LASP), Univ. of Colorado at Boulder, USA

Since Mars has no intrinsic global magnetic field, the solar wind can directly interact with the Martian upper atmosphere. It is thought that solar wind encountering Mars can penetrate into the point where the solar wind dynamic pressure and the plasma thermal pressure in the Martian ionosphere are almost balanced and the shocked solar wind flow is deflected around the boundary. However, the actual interaction can be complicated because of the plasma processes and the existence of crustal magnetic fields. It has been also pointed out that the crustal magnetic fields can locally push the boundary between the solar wind and the Martian magnetic pileup region (MPB ; magnetic pileup boundary) upward and cause the asymmetric structure of MPB. [e.g., Brain et al., 2003] The Kelvin-Helmholtz (K-H) instability at the Martian ionopause is one of important candidate processes to cause the modification of the asymmetric structure of the ionopause. In the plane perpendicular to the interplanetary magnetic field (IMF), the convection flow in the induced magnetosphere due to the draped field around the planet causes the asymmetry of the radial electric field direction, i.e., the hemispheres of the upward and downward convection electric fields. In the hemispheres of the upward solar wind convection electric fields, the wavy structures at the ionopause surface generated by the K-H instability tend to be enhanced. This enhancement may make the shocked solar wind (magnetosheath) plasma penetrate into lower altitudes than usual [e.g., Terada et al., 2002]. The Mars Global Surveyor (MGS) observations showed that MPB typically located at 800~1200km altitudes in dayside. However, this boundary location can change significantly depending on solar wind conditions. While previous studies indicate that the solar wind can penetrate into lower altitudes than usual when the solar wind pressure is high [Brain et al., 2005], the frequency of the solar wind penetration and its quantitative dependence on the solar wind conditions are not yet well understood. In this study, we focused on penetration of the magnetosheath, down to 400-km altitude at Mars. Using MGS data, we investigated the observational frequency and characteristics of the penetration events. We used data from the MGS mapping orbits from April 1999 to November 2006, while the spacecraft was in a nearly circular orbit at ~400 km altitudes. The mapping orbit is a polar orbit fixed in the local time at 2 am/pm, and the spacecraft orbital period is roughly two hours. When MGS passed through the magnetosheath-like region, fluctuations of the magnetic field and the high-energy electron flux were increased [e.g., Crider et al., 2005]. We first selected the time intervals when the power spectral density of the magnetic field fluctuation above 0.1Hz was higher than 1000 nT<sup>2</sup>/Hz, and the differential electron flux above 400eV was greater than 5\*10<sup>4</sup>/(cm<sup>2</sup>\*s\*sr\*eV). Then, we eliminated inappropriate events such as the plasma sheet crossings by inspection. We identified 218 events for the period of interest. The dependence on the solar wind dynamic pressure around Mars, the polarity of IMF, and the motional electric field around Mars are investigated. We use both the solar wind proxy data by Brain et al. [2006] and the time-shifted ACE data. The results show that the penetration events tend to be observed during high solar wind dynamic pressure period. The ACE data indicated that, the occurrence frequency of the away polarity of IMF is almost comparable to that of the toward polarity. However, it was found that the penetration events tend to be observed during the away polarity of IMF in the northern hemisphere of Mars. This condition corresponds to the frequent observations in the upward electric field hemisphere and consistent with the asymmetric structure of MPB by the enhanced wavy structures at the ionopause generated by the finite Larmor radius effects in the K-H instability.

キーワード: 火星, 電離圏, 太陽風, MGS, 誘導磁場, 非磁化惑星

Keywords: Mars, Ionospheres, Solar wind, MGS, induced magnetic field, unmagnetized planet

## 火星大気散逸のモデリング Modeling of the Martian atmosphere escape

宮澤 淳次<sup>1\*</sup>  
Junji Miyazawa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学  
<sup>1</sup>Hokkaido University

火星は大気が希薄で乾燥した惑星である。しかし火星表面には水が流れた痕跡があり、数十億年前は、現在よりはるかに高い気圧で暖かく湿った大気であったと考えられている。大気が希薄になった理由の一つとして、宇宙空間への大気散逸が考えられる。火星は地球より低重力であり、また固有磁場が存在しないので、

太陽風の影響を受けやすい。様々な大気散逸過程が考えられているが、その散逸過程の詳細は明らかにされていない。そこで、我々は衝突の効果を取り入れた大気散逸のモデリングを構築し、火星周辺での大気分布を求めた。本講演では、衝突の効果を取り入れた、大気分布と散逸量について報告する。

キーワード: 火星, 大気散逸  
Keywords: Mars, Atmospheric Escaping

## DSMCモデルによる過去の火星外気圏に関するシミュレーション研究 A simulation study of the ancient Martian exosphere of Mars with a DSMC model

寺田 香織<sup>1\*</sup>, 寺田 直樹<sup>1</sup>  
Kaori Terada<sup>1\*</sup>, Naoki Terada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Tohoku University

In this paper, we investigate the ancient oxygen and hydrogen exosphere of Mars using a one-dimensional multi-species direct simulation Monte Carlo (DSMC) model. The evolution of thermal and non-thermal escape rates depends on the history of the solar EUV intensity. The astronomical observations of stars that are analogous to the sun shows the solar EUV luminosity is gradually decreasing. 3.7 billion years ago, from which the loss mechanisms that still active today are dominant, the solar EUV luminosity is estimated to have been about 7 times the present one. We estimate the exobase altitude and the temperature at the exobase level, and the rates of oxygen escape due to the dissociative recombination of  $O_2^+$  and atomic hydrogen Jeans escape for three different solar EUV intensity cases, which correspond to 1, 3, and 6 times the present low solar activity.

We use an upper thermosphere-exosphere full-particle model using a DSMC method coupled with a photochemical model. The DSMC method is a method of solving the Boltzmann equation and a common and effective approach for simulation of rarefied gas flow dynamics. Traditionally, a one-fluid approximation is used for modeling of thermosphere. But a one-fluid approximation is not sufficiently adequate at upper-thermosphere where the Knudsen number is larger than 0.01. In such a transition domain (between collision and collision less domains), the collision frequency is not high enough that the commonly used thermal conductivity coefficient is adequate and that physical quantities of each species are equal to each other.

The computed exobase temperature of H is lower than that of the other species (O,  $N_2$ ,  $CO_2$ ). A hydrostatic equilibrium of H is not established owing to thermal escape of H. It produces an upward flow and a thermal energy is converted to a flow energy. Even the exobase temperatures of O,  $N_2$ , and  $CO_2$  are significantly lower than those of previous studies. The differences are mainly caused by the difference in an approach of molecular thermal conductivity.

## 初期地球型惑星大気における流体力学的散逸と太陽フレアの影響 Hydrodynamic escape from early terrestrial atmospheres and effects of solar flares

古橋 尚典<sup>1</sup>, 寺田 香織<sup>1</sup>, 佐々木 貴教<sup>2</sup>, 関 華奈子<sup>3</sup>, 藤原 均<sup>4</sup>, 寺田 直樹<sup>1\*</sup>, 笠羽 康正<sup>1</sup>

Naomichi Furuhashi<sup>1</sup>, Kaori Terada<sup>1</sup>, Takanori Sasaki<sup>2</sup>, Kanako Seki<sup>3</sup>, Hitoshi Fujiwara<sup>4</sup>, Naoki Terada<sup>1\*</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 東京工業大学大学院理工学研究科, <sup>3</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>4</sup> 成蹊大学理工学部

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>2</sup>Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology,

<sup>3</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>4</sup>Faculty of Science and Technology, Seikei University

現代の地球型惑星の大気や表層に存在する水量は、原始大気や惑星集積末期に集積した物質に含まれていたと考えられる水量と比べて非常に少ない。この多量の水の消失を説明するためには、大規模な宇宙空間への散逸や地殻・マントルへの取り込みが必要となる。いくつかある散逸過程の中でも、流体力学的散逸は、大規模な大気散逸を引き起こすメカニズムであり、初期惑星大気の進化に大きな影響を与えたと考えられている。本研究は、流体力学的散逸が、初期地球型惑星大気の進化に及ぼす影響を定量的に評価し、また、太陽フレアが流体力学的散逸に及ぼす影響を調査することを目的とする。流体力学的散逸は、中性ガスの熱的散逸の一種であり、惑星大気が太陽からの強いX線や極端紫外線(EUV)放射を受けることによって膨張し、上向きのフラックスを持つことで発生する。一方、太陽フレアは、X線やEUV放射の急激な増加を伴い、惑星の超高層大気を一時的に加熱する。太陽系の初期(太陽年代1億年の時代)には、現在の太陽フレアよりも2桁ほど大きな規模のフレアが1日に数回発生していたことが示唆されており(Audard et al., 1999)、太陽フレアが初期惑星大気の流体力学的散逸に及ぼす影響を調べることは重要と考えられる。しかしながら既存のモデルでは、太陽フレアの影響を調査することは困難であった。例えば、Tian et al. (2008)のモデルは時間変動を追うことができず、Sasaki (2007)のモデルでは大気的主要な冷却効果や化学反応などの効果が考慮されていないなどの問題があった。そこで本研究では、地球型惑星大気の時間変動を追うことができる遷音速多成分流体力学的散逸モデルの開発を進め、その第一歩として、H<sub>2</sub>分子単一大気に対して様々な条件を変えて散逸率や大気構造の変化を調べ、またその太陽フレアに対する応答を調べた。その結果、以下のことが分かった。

まず、地球、金星、火星の各時代(太陽年代1億年、10億年、45.6億年)において、大気構造と散逸率を調べた。その結果、流体力学的散逸にとってはEUV放射の強さよりも惑星質量の方が重要なパラメータであり、EUV放射の増大に対して、質量の重い惑星の方がより大きな影響を受けることが分かった。また、Raymond et al. (2006)によって見積もられている惑星形成期における初期水量に対して、地球ではその歴史の中で全てを散逸させることができず、火星では全散逸が可能であることが分かった。

次に、地球質量・公転軌道の条件で、太陽フレアが流体力学的散逸に及ぼす影響を調べた。太陽EUV放射は1-20nmの波長域については最大60倍、20-105nmの波長域については最大6倍増加させた太陽フレアを導入した。その結果、H<sub>2</sub>分子単一大気の外圏底温度は1.5時間ほどで12K上昇し、フレアから8時間以上経過した後も6K程度温度は上昇したままだった。その後、元の温度に戻るまでに1週間ほどかかることが分かった。また、外圏底付近で見積もった散逸率はフレア後2時間ほどで最大に達し、元の4.0倍程度まで増大した。上端(20惑星半径の高度)付近では、1.5倍程度まで増大した。外圏および上端での散逸率は1回のフレアで10%前後の上昇が見られ、これも温度と同様に長い時定数で元の散逸率に戻るということが分かった。連続フレアを導入した場合には、温度、散逸率の蓄積効果が発生することを確認した。

キーワード: 大気散逸, 大気進化, 金星, 火星, 地球

Keywords: Atmospheric escape, Atmospheric evolution, Venus, Mars, Earth

## 地上観測による、水星ナトリウム原子密度の時間変動

### Temporal variation of Mercury's sodium density by observed using ground-based telescope at Haleakala observatory

布施川 綾花<sup>1\*</sup>, 大六 隼人<sup>1</sup>, 亀田 真吾<sup>1</sup>, 鍵谷 将人<sup>2</sup>, 岡野 章一<sup>2</sup>

Ayaka Fusegawa<sup>1\*</sup>, Hayato Dairoku<sup>1</sup>, Shingo Kameda<sup>1</sup>, Masato Kagitani<sup>2</sup>, Shoichi Okano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>立教大, <sup>2</sup>東北大

<sup>1</sup>Rikkyo Univ., <sup>2</sup>Tohoku Univ.

水星は非常に希薄な大気を持つ。過去にはNASAの水星探査機 Mariner 10 と MESSENGER のフライバイによる観測、及び地上観測が行われてきた。また、MESSENGER は 2011 年 3 月より世界初となる水星周回軌道上での観測を開始し、2013 年 2 月現在も観測を続けている。これらの観測により、大気中の H、He、O、Na、Mg、K、Ca が検出されている。水星大気の生成過程として現在考えられているのは、太陽光による光脱離、太陽風イオンパattering、微小隕石の衝突による気化などであるが、主な生成過程は未だ明らかにされていない。水星表面から放出された原子は、太陽光のエネルギーを受けて共鳴散乱により発光する。特にナトリウム原子による発光は他の原子よりも発光強度が高く、地上観測にも適している。また、過去のナトリウム大気光の観測より大気密度の時間変動、発光強度の南北非対称が明らかにされている。このような特徴を持つナトリウム大気光の観測を行い、水星大気の主な生成過程を解明することが本研究の目的である。

私たちは 2011 年 4 月よりハワイ・ハレアカラ観測所の望遠鏡を使用し、水星ナトリウム大気光の分光観測を行っている。観測結果より、ナトリウム原子密度の時間変動を求めた。水星大気の主な生成過程が太陽風イオンパatteringである場合、ナトリウム原子密度の変動には太陽風磁場の変動が影響している可能性がある。この予測を検証するために、ナトリウム原子密度の時間変動と太陽風磁場の時間変動を比較した。なお、太陽風磁場の時間変動は MESSENGER の観測結果より求めた。

さらに、ナトリウム原子密度を大きく変動させる要因として、コロナ質量放出 (CME) の水星への到達が考えられる。過去には、水星方向への CME が確認されてから数日間ナトリウム量が増加し続けたと報告されている [Potter et al., 1999]。私たちが観測を行った 2011 年 11 月 23 日と 2012 年 1 月 2 日に MESSENGER により CME の到達を示唆する磁場変動が観測された。しかし、両日ともナトリウム原子密度に大きな変動は見られなかった。これらの結果を踏まえ、大気生成過程を考察する。

キーワード: 水星大気, ナトリウム, 地上観測

Keywords: Mercury's exosphere, sodium, ground-based observation

## 木星大気雲対流の直接数値計算: 雲対流の間欠性に関する考察

### Numerical Modeling of Moist Convection in Jupiter's Atmosphere: the mechanism of the intermittent cloud activity

杉山 耕一郎<sup>1\*</sup>, 中島 健介<sup>2</sup>, 小高 正嗣<sup>3</sup>, 石渡 正樹<sup>3</sup>, 倉本 圭<sup>3</sup>, 西澤 誠也<sup>4</sup>, 高橋 芳幸<sup>5</sup>, 林 祥介<sup>5</sup>

Ko-ichiro SUGIYAMA<sup>1\*</sup>, Kensuke Nakajima<sup>2</sup>, Masatsugu Odaka<sup>3</sup>, Masaki Ishiwatari<sup>3</sup>, Kiyoshi Kuramoto<sup>3</sup>, Seiya Nishizawa<sup>4</sup>, Yoshiyuki O. Takahashi<sup>5</sup>, Yoshi-Yuki Hayashi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 北大・低温研, <sup>2</sup> 九大理・地球惑星科学, <sup>3</sup> 北大理・宇宙理学, <sup>4</sup> 理化学研究所 AICS, <sup>5</sup> 神戸大理・地球惑星科学

<sup>1</sup>Institute of low temperature science, Hokkaido University, <sup>2</sup>Graduate school of Science, Kobe University, <sup>3</sup>Department of Cosmo-science, Graduate School of Science, Hokkaido University, <sup>4</sup>RIKEN AICS, <sup>5</sup>Graduate school of Science, Kobe University

木星大気雲層の平均的な温度、凝結物、凝結成分気体の鉛直分布は、内部加熱/放射冷却によって駆動される多数の雲の生成消滅が繰り返された結果として維持されるものである。この問題に取り組むために、我々は H<sub>2</sub>O と NH<sub>3</sub> の凝結と NH<sub>4</sub>SH の生成反応を考慮した 2 次元雲解像モデルを開発し、それをを用いて雲層において実現べき大気構造の調査を行ってきた (Sugiyama et al., 2009, Nagare Multimedia; Sugiyama et al., 2011, GRL, 38, L13201). Sugiyama et al. (2011) の得た大きな特徴は、間欠的に強い積雲が H<sub>2</sub>O 凝結高度から対流圏界面まで発達することである。雲対流に伴う鉛直輸送によって、平均的な凝結物分布や温度分布は従来の平衡熱力学計算の結果を元にした 3 層構造から大きく変化する。しかし、彼らは、雲対流構造の変動や平均的大気構造を示すことに注力していたため、雲対流活動の間欠性に関する考察を十分行っていない。そこで、本発表ではより詳細に上記の特徴を調べ、それをもたらすメカニズムに関して議論する。

間欠的な雲対流活動に対応して雲層内で得られるノコギリ歯状の温度変化は、活発な積雲の発達に伴って発生する潜熱が放射の代替として与えた一様冷却に比べて非常に大きいことを意味する。活発な積雲活動が開始する時刻では、雲層上部で駆動される下降流が H<sub>2</sub>O 凝結高度より下方まで到達し、それが潜在的な不安定を解放するトリガーとなっている; 補償流としての上昇流によって活発な積雲が発生する。活発な積雲活動が終了する時刻では、凝結性成分を多く含む相対的に重い気塊が H<sub>2</sub>O 凝結高度から対流圏界面まで上昇できなくなる。この状態は定量的には雲仕事関数 (浮力の鉛直積分, Arakawa and Schubert, 1974) の値がゼロとして表すことができる。間欠性の周期はおおよそ活発な積雲活動による温度上昇と冷却率によっておおまかに見積もることができる。

キーワード: 木星大気, 湿潤対流, 数値計算, 雲解像モデル

Keywords: Jupiter's atmosphere, moist convection, numerical modeling, cloud resolving model

## 木星極域波動のスペクトル撮像観測 Multi-spectral imaging of jupiter's circumpolar wave

濱本 昂<sup>1\*</sup>, 高橋 幸弘<sup>1</sup>, 渡邊 誠<sup>1</sup>, 渡部 重十<sup>1</sup>, 福原 哲哉<sup>1</sup>, 佐藤 光輝<sup>1</sup>, 今井 正堯<sup>1</sup>, 尾崎 彰士<sup>1</sup>

Ko Hamamoto<sup>1\*</sup>, Yukihiko Takahashi<sup>1</sup>, Makoto Watanabe<sup>1</sup>, Shigeto Watanabe<sup>1</sup>, Tetsuya Fukuhara<sup>1</sup>, Mitsuteru Sato<sup>1</sup>, Masataka Imai<sup>1</sup>, Akihito Ozaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学研究院宇宙理学専攻

<sup>1</sup>Department of CosmoSciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

Jupiter's polar region is covered by haze, which is bright in images taken in the strong methane absorption band around 889 nm. The edge of polar haze region shows circumpolar wave with averaged zonal wavenumbers of 12 at planetographic latitude of -67 degrees. Previous studies showed that the zonal wave velocity has annual variability, however, variation in few months is uncertain because of poor sampling period of previous observations. Furthermore, the polar wave was only detected at 889 nm, there is no observation to detect the circumpolar wave at another wavelength in methane absorption band indicates different altitude.

In this study, to investigate the variation of zonal velocity of the circumpolar wave in time scale shorter than a year, we continually observed Jupiter in 5 terms from 2011 to 2012 using 1.6-m Pirka telescope and multi-spectral imager. In these observations, images were captured at wavelengths of 727 nm, 750 nm and 889 nm, corresponding to continuum, medium methane absorption and strong methane absorption, respectively. From data analysis of these observations, we recognized wave structures at 727 nm and 889 nm at -67 degrees. We conclude that the zonal wave velocity is smaller than  $\sim 3$  m/s during the period from October to November in 2011, which is consistent to previous observations.

In addition to above observations, we conducted the spectral scan of jupiter in strong methane absorption band (872 - 950 nm), at 3 nm step to investigate the vertical structure of the circumpolar wave. As a result, we succeeded in imaging the different feature of horizontal wave structure.

In future work we will try to detect the variation of the zonal wave velocity in a period shorter than a year. Furthermore, we will calculate the sounding level of each wavelengths in methane absorption band and estimate quantitatively the vertical variation of the wave structure.

Keywords: Jupiter, haze, circumpolar wave, ground-based observation



## The direct observation of the vertical profile of the Jovian H<sub>2</sub> and H<sub>3</sub><sup>+</sup> IR auroral emissions

### The direct observation of the vertical profile of the Jovian H<sub>2</sub> and H<sub>3</sub><sup>+</sup> IR auroral emissions

宇野 健<sup>1</sup>, 坂野井 健<sup>1</sup>, 笠羽 康正<sup>1\*</sup>, 鍵谷 将人<sup>1</sup>, 埜 千尋<sup>2</sup>, Badman Sarah<sup>3</sup>  
Takeru Uno<sup>1</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>1</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>1\*</sup>, Masato Kagitani<sup>1</sup>, Chihiro Tao<sup>2</sup>, Sarah Badman<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大・理, <sup>2</sup>LPP, Ecole Polytechnique, <sup>3</sup>Univ. Leicester  
<sup>1</sup>Dep. Geophysics, Tohoku Univ., <sup>2</sup>LPP, Ecole Polytechnique, <sup>3</sup>Univ. Leicester

Jupiter has the strongest and largest magneto-sphere in the solar system, energized by its strong magnetic field and fast planetary rotation. It is

driven by the dynamical and electromagnetic coupling between the Magnetosphere, Ionosphere, and Thermosphere.

This MIT coupling system is the key element for the energy transfer from planetary rotation to overall electro-magnetic activities like intense aurora.

The investigation of this strong system is important for comparative understanding of other magnetospheres, i.e., Earth, Sun, stars, high-energy objects, etc.

We have studied this system by numerical simulations (ex. Tao et al., 2009, 2010) and have compared them with infrared aurora (2-4 microns) taken with a ground-based telescope.

These emissions are from the Jovian polar atmosphere at sub-microbar pressure level (the Pedersen conducting layer), where is the key region for the MIT coupling.

Since the Jovian atmosphere mainly consists of hydrogen molecules, the dominant auroral emission lines are H<sub>3</sub><sup>+</sup> and H<sub>2</sub>.

The former represents the plasma component, produced by high-energy electrons injected from the magnetosphere through ion chemistry and excited by thermal collisions in the ionosphere.

The latter is from the neutral component, caused by the thermal excitation.

The evolution of the techniques of infrared observation enabled the detection of the infrared aurora of the outer planets from ground-based telescope.

In our CSHELL observation in Aug.-Sep. 2009, we got the maps of brightness of Jovian H<sub>3</sub><sup>+</sup> aurora at 4 um and H<sub>2</sub> aurora at 2.12 um.

It clearly shows morphological difference in the southern polar region.

In Sep.-Oct. 2010, we have observed Jovian H<sub>2</sub> and H<sub>3</sub><sup>+</sup> lines at 2.1 um in the auroral zone using SUBARU/IRCS.

The wide spectral coverage (1.96 - 2.42 um) and high spectral resolution (R = 20,000) of SUBARU/IRCS, allowed us to derive the spatial distributions of neutral temperature.

But, no obvious difference of H<sub>2</sub> and H<sub>3</sub><sup>+</sup> morphologies was detected, due to the CML which unsuitable for Northern aurora.

キーワード: 木星, 赤外線, オーロラ, H<sub>3</sub><sup>+</sup>, H<sub>2</sub>

Keywords: Jupiter, infrared, aurora, H<sub>3</sub><sup>+</sup>, H<sub>2</sub>

## NIIHAMA プロジェクト：木星赤外オーロラの連続モニター NIIHAMA Project: Continuous monitoring of Jupiter's infrared auroras

佐藤 毅彦<sup>1\*</sup>, 藤本 正樹<sup>1</sup>, 鍵谷 将人<sup>2</sup>, 岡野 章一<sup>3</sup>, Pierre Martin<sup>3</sup>, Jeff Kuhn<sup>3</sup>  
Takehiko Satoh<sup>1\*</sup>, Masaki Fujimoto<sup>1</sup>, Masato Kagitani<sup>2</sup>, Shoichi Okano<sup>3</sup>, Pierre Martin<sup>3</sup>, Jeff Kuhn<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 宇宙航空研究開発機構, <sup>2</sup> 東北大学, <sup>3</sup> ハワイ大学

<sup>1</sup>Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>2</sup>Tohoku University, <sup>3</sup>University of Hawaii

木星の巨大な磁気圏に展開する物理は、磁場の強さとその速い自転（およそ 10 時間周期）、さらに衛星イオの火山を起源とする多量のプラズマにより、複雑なものとなっている。木星のオーロラは 1970 年代からその存在が知られているものの、その生成・維持のメカニズムについてはまだまだあまりよく分かっていない。こうしたことを背景に NIIHAMA プロジェクトは、木星の赤外オーロラを長期かつ連続的にモニター観測するため計画された。そのために特別にデザインされた赤外線カメラをハワイ大学ヒロ校の所有する Hoku Kea 望遠鏡に取り付けて観測を行う計画である。

NIIHAMA という名称は、「オーロラのモニター観測を目的とし Hoku Kea 望遠鏡に装着する近赤外撮像装置」の英語を縮めたものである。このカメラは、「あかつき」搭載の 2 ミクロンカメラに使われている技術をもとに開発された。検出素子は三菱電機製の 1024x1024 画素 PtSi 素子である。6 ポジションのフィルターホイールには、J、H、K のフィルターとともに波長 3.4 ミクロンの木星赤外オーロラ用フィルターを装着している。カメラ全体は住友重機械工業（愛媛県新居浜市）が製作した。

太陽がほぼ一ヶ月の周期で自転するのに伴い、太陽風プラズマのセクター構造も周期的に変動する。この変動がもたらすオーロラの変動と、木星自身が生み出すオーロラの変動をきちんと分離し議論するために、一ヶ月以上の連続モニター観測を行うというのが NIIHAMA プロジェクトの戦略である。米国 JUNO ミッションが 2016 年に木星に到着すればこうした観測・研究が「その場」観測にもとづきなされることになる。NIIHAMA プロジェクトは、高価な探査ミッションが「その場」観測を行うよりも前に、重要な事前情報をもたらすものになるはずである。今夏に打ち上げられる SPRINT-A/EXCEED ミッションとの連携も高い科学的意義をもつと思われ、広く議論を行いたい。

## 太陽紫外線による熱圏大気加熱が木星放射線帯に及ぼす影響 -電波・赤外望遠鏡観測にもとづく考察-

### Investigation of the solar UV/EUV heating effect on the Jovian radiation belt based on radio/infrared observation

北元<sup>1\*</sup>, 三澤 浩昭<sup>1</sup>, Anil Bhardwaj<sup>2</sup>, 土屋 史紀<sup>1</sup>, 宇野 健<sup>3</sup>, 埜 千尋<sup>4</sup>, 坂野井 健<sup>1</sup>, 笠羽 康正<sup>3</sup>, 森岡 昭<sup>1</sup>

Hajime Kita<sup>1\*</sup>, Hiroaki Misawa<sup>1</sup>, Anil Bhardwaj<sup>2</sup>, Fuminori Tsuchiya<sup>1</sup>, Takeru Uno<sup>3</sup>, Chihiro Tao<sup>4</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>1</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>3</sup>, Akira Morioka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学 惑星プラズマ・大気研究センター, <sup>2</sup>SPL, Vikram Sarabhai Space Centre, <sup>3</sup> 東北大学 惑星大気物理学分野, <sup>4</sup>Laboratoire de Physique des Plasmas, Ecole Polytechnique

<sup>1</sup>Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Tohoku University, <sup>2</sup>SPL, Vikram Sarabhai Space Centre, <sup>3</sup>Planetary Atmosphere Physics lab., Tohoku University, <sup>4</sup>Laboratoire de Physique des Plasmas, Ecole Polytechnique

In order to confirm the solar UV/EUV heating effect on the Jovian Synchrotron Radiation (JSR), we made coordinated observations using radio interferometer and infrared telescope. JSR is the emission from relativistic electrons in the Jovian radiation belt, and it is the most effective probe for the dynamics of the Jovian radiation belt through remote sensing from the Earth. It is theoretically expected that the solar UV/EUV heating for the Jovian thermosphere drives neutral wind perturbations, then the induced dynamo electric field increases radial diffusion. The solar UV/EUV heating is also expected to change the brightness distribution of JSR; i.e. the global enhancement of radial diffusion causes inward shift of equatorial emission peak position.

Previous studies confirm 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 the variations of the total flux density and brightness distribution. We made coordinated observations of the Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT) and the NASA Infra-Red Telescope Facility (IRTF). From the radio interferometer, we measured the total flux density and brightness distribution of JSR. From the infrared spectroscopic observations, we estimated the temperature variations of the Jovian upper atmosphere from  $H_3^+$  emission.

The GMRT observations were made from 6th Nov to 17th Nov in 2011 at the frequency of 235/610MHz. The IRTF observations were made from 7th Nov to 12th Nov. We used high spectral resolution spectrometer, CSHELL, and observed  $H_3^+$  Q(1,0-) 3.953 microns emission. Slit position was located along the sub-solar point and dusk side limb. During the period, solar UV/EUV flux variations expected on Jupiter increased monotonically. The GMRT 610 MHz observation shows that the total flux density increased from 6th Nov to 13th Nov by about 5%, corresponding to the solar UV/EUV variations. The IRTF observation shows that equatorial  $H_3^+$  emission also increased from 7th Nov to 12th Nov by 20-30%, that is, temperature at the equatorial region was expected to increase. On the other hand, radio images showed that the equatorial emission peak position moved outward by 0.2 Jovian Radii.

These observation results showed that the variation of JSR at this time was caused by not global but non-uniform enhancement of radial diffusion. This non-uniform change can be explained by a numerical simulation study of the Jovian upper atmosphere. It is expected that temperature variations induced by the solar UV/EUV enhancement propagate from the auroral latitude to the low latitude region. These temperature variations cause enhancement of radial diffusion at the outer region which shift the equatorial peak position outward. Hence, we propose the scenario that radial diffusion increased not globally but locally at the outer region only around  $L=2-3$  during this period.

The further confirmation of the solar UV/EUV heating effect on the Jovian radiation belt is deferred to future studies in ground-based observations. Detail mapping of  $H_3^+$  emission and daily base observation is necessary to confirm that the temperature variations actually propagate from the auroral latitude to the low latitude region. In addition to that, temperature measurement using intensity ratio of  $H_3^+$  emission line is needed for more reliable results.

キーワード: 木星, 放射線帯, 熱圏, 電波干渉計, 赤外

Keywords: Jupiter, Radiation Belt, Thermosphere, Radio Interferometer, Infrared

## 土星電離圏におけるプラズマ密度及び温度 Plasma density and temperature in Saturn's ionosphere

堺 正太郎<sup>1</sup>, 渡部 重十<sup>1\*</sup>  
Shotaro Sakai<sup>1</sup>, Shigeto Watanabe<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学院宇宙理学専攻  
<sup>1</sup>Department of CosmoSciences, Hokkaido University

An average electron density in Saturn's mid-latitude ionosphere obtained from radio occultations by Cassini spacecraft was about  $10^4 \text{ cm}^{-3}$  at the altitude of 2000 km where density had a peak and gradually decreased with the increasing altitude. It was about  $100 \text{ cm}^{-3}$  at the altitude of 10000 km. The topside temperature is about 650 K. Plasma densities calculated by some models also were similar to the observations. However, electron densities from those models were calculated at the altitude below 4000 km. We have developed a plasma density-temperature model of Saturn's mid-latitude ionosphere including the magnetospheric effects. We used the magnetospheric plasma density and temperature as outer boundary conditions. The ion density is about  $10^4 \text{ cm}^{-3}$  at the altitude of 2000 km. It is similar to the densities from radio occultations. On the other hand, temperature is 2000 K or higher at the altitude of 2000 km. The higher temperature is necessary if the density is about  $100 \text{ cm}^{-3}$  at the altitude of 10000 km. In this presentation, we will also discuss how the magnetospheric ion is affected by ionospheric environments (e.g. ionospheric conductivity and temperature).

キーワード: 土星, 電離圏, 磁気圏-電離圏結合  
Keywords: Saturn, Ionosphere, Magnetosphere-ionosphere coupling

## 地球オーロラ電波の自転周期変調

### Universal time control of AKR: Earth is a spin-modulated variable radio source

森岡 昭<sup>1\*</sup>, 三好 由純<sup>2</sup>, 栗田 怜<sup>1</sup>, 笠羽 康正<sup>1</sup>, 三澤 浩昭<sup>1</sup>, 小嶋 浩嗣<sup>3</sup>

Akira Morioka<sup>1\*</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>2</sup>, Satoshi Kurita<sup>1</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>1</sup>, Hiroaki Misawa<sup>1</sup>, Hirotsugu Kojima<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>3</sup> 京都大学生存圏研究所

<sup>1</sup>Tohoku Univ., <sup>2</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>3</sup>RISH, Kyoto Univ.

The earth's radio emission from the auroral region with kilometric wave length (auroral kilometric radiation (AKR)) is known to be transient emissions generated by rapidly accelerated electrons together with sudden auroral activation in the polar magnetosphere. In contrast, the characteristics and relationship with the auroral acceleration of rather continuous AKR emissions are not well understood. We examine the emission using long-term data and report that the continuous AKR emission frequency changes with universal time (UT) as Earth rotates, indicating that Earth is a spin-modulated variable radio source. The observed UT variation of AKR frequency means that the acceleration altitude changes periodically with planetary rotation. The observations indicate that the diurnal wobble of the tilted geomagnetic field in the solar wind flow alters the magnetosphere-ionosphere (M-I) coupling state in the polar magnetosphere, giving rise to periodic variation of auroral particle acceleration altitude. These observations of planetary radio wave properties provide insight into magnetosphere-ionosphere coupling process of the planetary magnetosphere.

キーワード: 惑星電波, 地球オーロラ電波, 自転周期変調, 変光電波惑星

Keywords: planetary radio wave, auroral kilometric radiation, spin modulation, variable radio source

## 惑星磁気圏の構造とダイナミクスを決めるパラメータ Key parameter of planetary magnetospheric configuration and dynamics

深沢 圭一郎<sup>1\*</sup>

Keiichiro Fukazawa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>九州大学情報基盤研究開発センター

<sup>1</sup>Research Institute for Information Technology, Kyushu University

It has long been recognized that the rapidly rotating magnetospheres of Jupiter and Saturn differ greatly from that of the Earth where rotational effects are largely confined to the plasmasphere. In addition to rapid rotation Jupiter and Saturn both have sources of plasma within the magnetosphere: the volcanos on Io and the ice geysers on Enceladus while the main sources of plasma at the Earth are the solar wind and ionosphere. The magnetic moments of the two rotating gas giants are much larger than that at Earth although the surface field at Saturn is about the same as the Earth's because of its larger radius. At the Earth magnetospheric dynamics are largely controlled by the interplanetary magnetic field and reconnection while at Jupiter and Saturn the solar wind dynamic pressure is more important. Internal processes are also more important at Jupiter and Saturn than at the Earth.

We have performed the MHD simulation of Earth, Jupiter and Saturn then found the each magnetosphere has a unique character. In particular, we have obtained the vortex configuration in magnetospheric convection from Saturn's results and it seems that the formation of vortex may be related to the cushion region where is the space between plasma corotation region and magnetopause. From the simple calculation, the cushion region is controlled by the planetary rotation speed and intrinsic magnetic field. Thus in this study we perform the MHD simulation of magnetosphere with changing the speed of rotation and magnitude of magnetic field to see how the magnetospheric configuration varies. In addition, we discuss the simulation results compared to the previous results of Jovian and Kronian magnetosphere.

## 木星 substorm-like event の発生過程の研究：磁気圏プラズマ密度の評価による内部駆動仮説の検証

### Study of occurrence processes of the Jovian substorm-like events: Examination of an internal drive hypothesis

水口 岳宏<sup>1\*</sup>, 三澤 浩昭<sup>1</sup>, 土屋 史紀<sup>1</sup>, 小原 隆博<sup>1</sup>, 笠原 慧<sup>2</sup>

Takahiro Mizuguchi<sup>1\*</sup>, Hiroaki Misawa<sup>1</sup>, Fuminori Tsuchiya<sup>1</sup>, Takahiro Obara<sup>1</sup>, Satoshi Kasahara<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学惑星プラズマ・大気研究センター, <sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

<sup>1</sup>PPARC, Tohoku University, <sup>2</sup>ISAS/JAXA

Galileo 探査機の観測により、木星磁気圏尾部において高エネルギー粒子の動径方向への flow burst や、磁場の南北成分の変化が準周期的に観測された。これらはリコネクションやプラズマシートの引き伸ばしを示唆する現象と考えられ、地球の substorm に似た現象として substorm-like event と呼ばれるようになった。

その駆動メカニズムとしては、速い自転による共回転とイオ起源の重イオン（硫黄、酸素）による遠心力によって磁気圏尾部が引き伸ばされ、リコネクションの発生によるプラズモイドの放出が繰り返されることで準周期性が発生するとする、内的要因によるメカニズムが先行研究 (Kronberg et al., JGR, 2007; Woch et al., GRL, 1998 等) で提唱されている。

本研究では Galileo に搭載された観測機器のうち、プラズマ波動観測機 (PWS)、高エネルギー粒子観測機 (EPD) および磁場観測 (MAG) のデータを用いた解析を行い、磁気圏尾部のプラズマシート内のプラズマ密度に着目し、現象の発生頻度との関係を明らかにすることで、内的要因による駆動説の観測的な検証を目的として研究を行った。

最初に本研究では、PWS で得られたプラズマ周波数から磁気圏尾部での電子密度を求め、substorm-like event の発生頻度との比較を行った。substorm-like event の発生頻度の導出は、Vogt et al. (2010) で示された磁場の南北成分を用いる方法と、nKOM を substorm-like event 発生指標として用いる方法で行った。その結果、substorm-like event の発生頻度と磁気圏尾部での電子密度の間には正の相関が見られ、磁気圏尾部に供給されたプラズマが多いほど substorm-like event が発生しやすくなることを示す結果となった。

次に本研究では Kronberg et al. (2007) で示された手法を用いて磁気圏尾部へのプラズマ供給量の推定を行った。一部の軌道の解析を行った結果、磁気圏尾部へのプラズマ供給量が減少すると、磁気圏尾部での電子密度や substorm-like event の発生頻度も減少するという傾向が見られた。

さらに本研究では substorm-like event の発生頻度の長期変化についての考察を行った。substorm-like event の発生頻度は 1996 年から 1999 年にかけて長期的に減少する傾向が見られた。これに対して、Nozawa et al. (2005) によるイオ・トラスの分光観測ではトラスのプラズマ密度が 1997 年から 2000 年にかけて減少しているという結果が示された。これらのことからトラスのプラズマ量が減少した結果、磁気圏尾部へのプラズマ供給量や磁気圏尾部での電子密度が減少し、substorm-like event の発生頻度が減少したという内部駆動説を支持する結果が示唆された。

さらに、太陽風の影響に関しても考察したところ、太陽風の動圧と substorm-like event の発生頻度の間には高い相関は見られず、太陽風動圧の変動にも substorm-like event の周期に対応するような周期性は確認されなかった。したがって、太陽風のみで substorm-like event の周期性を説明することは出来ないと考えられる。

以上のことから、本研究では substorm-like event の周期性をコントロールする要因として、磁気圏内部からのプラズマ供給による内部駆動説を支持する結果を得た。

キーワード: 木星, 木星磁気圏, 磁気圏ダイナミクス, サブストーム, プラズマ密度, Galileo

Keywords: Jupiter, Jovian magnetosphere, magnetospheric dynamics, substorm, plasma density, Galileo

## LWA1で観測された木星電波 Io-C モジュレーションレーンについて Jupiter's decametric Io-C modulation lanes observed by LWA1

今井 一雅<sup>1\*</sup>, Clarke Tracy<sup>2</sup>, 福島 光一<sup>1</sup>, 氏原 明也<sup>1</sup>, 今井 雅文<sup>3</sup>  
Kazumasa Imai<sup>1\*</sup>, Tracy Clarke<sup>2</sup>, Koichi Fukushima<sup>1</sup>, Akiya Ujihara<sup>1</sup>, Masafumi Imai<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 高知高専・電気情報工学科, <sup>2</sup>Naval Research Laboratory, <sup>3</sup> 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻  
<sup>1</sup>Kochi National College of Technology, <sup>2</sup>Naval Research Laboratory, <sup>3</sup>Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University

Frequency-time dynamic spectra of Jupiter's decametric emissions display a complex structure on several different time scales. One of the characteristic spectral patterns on a few seconds time scale is the modulation lanes, which were discovered by Riihimaa in 1968. We have developed a model for the mechanism responsible for their production in which the free parameters have been adjusted to provide a very close fit with the observations [Imai et al., 1992;1997;2002].

In our model, we propose the existence of a grid-like interference screen composed of field-aligned columns of enhanced or depleted plasma density located along the longitudinal direction near satellite Io's orbit. We assume that the radio emitting frequency is very close to the cyclotron frequency at the source, and the shape of the radio beam structure is a thin-walled hollow-cone which has a fixed opening cone half-angle. The line of radio source consisting of the points along the axis of the Io-activated flux tube is also assumed to be located downstream, shifted eastward in the longitudinal direction from the instantaneous Io flux tube, for the case of Io related emissions. As a band of frequency components emitted from near the foot of an excited tube of magnetic flux passes through the screen, interference patterns of slightly different orientations are produced by the radio emissions at the different frequencies. The corotation of this set of interference patterns with Jupiter results in the sloping modulation lanes of the observed dynamic spectrum.

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. The first Jupiter radio observation using LWA1 was made by Tracy Clarke (PI) from December, 2011. The observed Io-C dynamic spectrum on March 10, 2012 shows the modulation lanes of both left and right hand polarization components share the same lane structure. It indicates that the both left and right hand Io-C radiations are emitted from the southern hemisphere. And the locations of the radio sources along the Jupiter's magnetic field should be very close. This is very important information to understand the Jupiter's radio emission mechanism.

### References

- [1] K.Imai, L.Wang, and T.D.Carr, A Model for the Production of Jupiter's Decametric Modulation Lanes, *Geophysical Research Letters*, Vol.19, No.9, pp.953-956, 1992.
- [2] K.Imai, L.Wang, and T.D.Carr, Modeling Jupiter's Decametric Modulation Lanes, *Journal of Geophysical Research*, Vol.102, No.A4, pp.7127-7136, 1997.
- [3] K.Imai, J.J.Riihimaa, F.Reyes, and T.D.Carr, Measurement of Jupiter's Decametric Radio Source Parameters by the Modulation Lane Method, *Journal of Geophysical Research*, Vol.107, No.A6, 10.1029/2001JA007555, 2002.

キーワード: 木星電波, デカメートル波, モジュレーションレーン, 電波源, 電波放射機構, LWA  
Keywords: Jupiter radio, decametric wave, modulation lane, radio source, radio emission mechanism, LWA



## 短距離基線干渉計観測による微弱な木星デカメータ電波の出現判定 Objective detection of weak Jovian decametric radiation by using a short baseline interferometer system

中城 智之<sup>1\*</sup>, 青山 隆司<sup>1</sup>, 大家 寛<sup>2</sup>  
Tomoyuki Nakajo<sup>1\*</sup>, Takashi Aoyama<sup>1</sup>, Hiroshi Oya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 福井工業大学, <sup>2</sup> 東北大学

<sup>1</sup>Fukui University of Technology, <sup>2</sup>Tohoku University

### 1. 序

木星デカメータ電波 (DAM) は、木星オーロラ帯から放射される電磁波であり地球のオーロラキロメータ電波 (AKR) に対比されるが、AKR とは異なり、惑星の自転が主なエネルギー源であると考えられるため、DAM の観測は木星型磁気圏の活動を捉える重要なツールとなっている。しかし、従来の DAM の出現判定では、受信信号の強度変化やスペクトル形状を目視で判定する方法が採用されており、微弱な信号の判定結果が主観に左右されるという問題点があった。そこで本研究では、微弱な DAM の客観的な出現判定法の確立を目的として、短距離基線干渉計によって観測されたフリンジ波形のデータ解析を行った。

### 2. 福井工業大学あわらキャンパスの短距離基線干渉計システム

本研究では、福井工業大学あわらキャンパスの基線長 100m 級の 3 基線短距離基線干渉計によって 2007 年から 2010 年にかけて観測されたフリンジ波形データを解析に使用した。本干渉計システムでは、23.31MHz の固定周波数での連続観測が行われており、干渉処理の結果のフリンジ波形を 5Hz でサンプリングし HDD に保存するシステムとなっている。

### 3. フリンジ相関法による微弱な DAM の出現判定

観測されたフリンジ波形から木星起源のフリンジ波形を検出するため、観測フリンジと木星から電波が一定の強度で放射され続けたと仮定して計算されるフリンジ波形の相関係数を求め、ある閾値を越えた場合に機械的に DAM と判定した。相関係数を求める際の積分時間は 2 時間に設定し、1 分ごとに相関係数を求めた。2 時間の積分時間は、本干渉計システムで得られるフリンジの周期が最小で 30 分程度と長いために必要となるもので、典型的な DAM の継続時間と比較すると長い。したがって本研究では、継続時間の長い DAM のみを検出することになる。また、閾値として、観測期間において得られた全ての相関係数の確率分布の 4 を採用した。

### 4. 出現判定の妥当性の評価

本研究で DAM と判定した信号 (以下、検出信号) について、以下の 3 つの観点から判定の妥当性を検討した。

#### (1) 従来の CML - イオ位相角ダイアグラムとの比較

本研究による検出信号について CML - イオ位相角ダイアグラムを作成し、標準的なダイアグラムと比較した結果、よく似た出現頻度パターンが得られ、検出信号が木星起源であることが示唆された。

#### (2) 検出日と太陽風ショック構造の木星到達予想日との比較

観測条件の良い衝の前後 1ヶ月の期間において、検出信号の検出日と太陽風ショック構造の木星への到達予想日との比較を行った。比較に用いる検出信号として、非イオ電波に分類される信号のみを用いた。また、太陽風データは WIND 衛星の観測結果を用い、太陽風のスパイラル構造を考慮して、木星への到達予想日を計算で求めた。比較の結果、太陽風ショック構造の木星への到達予想日の前後 1 日の範囲でほとんどの検出信号が検出されており、検出信号が木星起源であることを強く示唆する結果となった。

#### (3) ナンセイ観測所の高感度スペクトル計との比較

観測条件の良い衝の前後 1ヶ月の期間において、検出信号の検出日とフランスのナンセイ観測所での DAM 検出日の比較を行った。ナンセイ観測所のスペクトルデータは WEB 上に公開されており、2007 年から 2010 年の全データをダウンロードして画像化し、スペクトル上のアーク構造と呼ばれる出現パターンを目視で検出することによって DAM の出現判定を行った。比較の結果、2009 年および 2010 年では、本研究で得られた検出信号の検出日は概ねナンセイでの DAM 出現日と一致、あるいは相補的な関係にあり、本研究の検出方法の妥当性が補強された。一方、2007 年および 2008 年では、本研究では信号が検出されているが、ナンセイ観測所では明確な DAM を確認できなかった。このことは、本研究の信号検出方法がナンセイと比較して積分時間が極めて長く、その結果、検出感度が高いためと考えられる。

### 5. 考察と今後の展望

以上の結果から、本研究で検討した短距離基線干渉計データに対するフリンジ相関法解析が微弱な DAM の検出に非常に有効であることが確認された。解析の結果として、太陽風ショック構造が木星に到達する日の前後 1 日の間に DAM が放射される例が多いことが示唆された。加えて、従来 DAM の出現頻度が極めて低いと考えられてきた非イオ B 領域のイオ位相角 240 度付近で出現頻度が高くなっており、従来の認識とは異なる新しいイオ関連電波が検出されている可能性がある。今後、観測を継続してこれらの結果の確認を行うと同時に、本研究では検出できない継続時間の短い DAM の検出を目的として、基線長が数 km 級の干渉計システムを構築していきたい。

# Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PCG31-25

会場:301A

時間:5月23日 17:15-17:30

キーワード: 木星, デカメータ, 電波, 干渉計, 太陽風

Keywords: Jupiter, decametric, radio, interferometer, solar wind

## ハワイ・ハレアカラ山頂への惑星 / 系外惑星専用望遠鏡設置計画 : IX - ファースト ライトへ

### Development of the Telescope Dedicated to the Observations of Planets and Exoplanets at Haleakala, Hawaii: IX

笠羽 康正<sup>1\*</sup>, 坂野井 健<sup>1</sup>, 鎌谷 将人<sup>1</sup>, 中川 広務<sup>1</sup>, Isabelle Scholl<sup>2</sup>, Jeffrey Kuhn<sup>2</sup>, 岡野 章一<sup>2</sup>, 小原 隆博<sup>1</sup>, 平原靖大<sup>3</sup>  
Yasumasa Kasaba<sup>1\*</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>1</sup>, Masato Kagitani<sup>1</sup>, Hiromu Nakagawa<sup>1</sup>, Isabelle Scholl<sup>2</sup>, Jeffrey Kuhn<sup>2</sup>, Shoichi Okano<sup>2</sup>,  
Takahiro Obara<sup>1</sup>, Yasuhiro Hirahara<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大, <sup>2</sup> ハワイ大, <sup>3</sup> 名古屋大

<sup>1</sup>Tohoku Univ., <sup>2</sup>Univ. Hawaii, <sup>3</sup>Nagoya Univ.

We have run the project to develop the telescope dedicated to the observations of planets and exoplanets at the summit of Mt. Haleakala of Maui Island, Hawaii, under the international consortium formed with the Institute for Astronomy (IfA) / Univ. of Hawaii (UH) and several groups in USA, Mexico, Canada, and Europe. This telescope project consists of several parts: The main is the new construction of the 1.8m off-axis telescope named 'PLANETS'. We also have two sub telescopes, i.e., the 80cm telescope operated by Univ. Hawaii, and the 60cm telescope operated by Tohoku Univ.

Clear sky and good seeing condition are definitely important for any ground-based observations. The Haleakala High Altitude Observatories at the summit of Mt. Haleakala is not the highest place (elv. 3050m), but one of the best sites with clear skies, good seeing, low humidity conditions. It can easily be operated by its good accessibility from Japan, the airport, the town, associated with a good engineering facility, ATRC (Advanced Technology Research Center) of the IfA/UH.

At there, our group has been operating a 40cm Schmidt-Cassegrain telescope, observing faint atmospheric and plasma features such as Io plasma torus, Mercury, Lunar sodium tail, and so on. Atmospheric escapes from Mars and Venus and the exoplanets close to mother stars are also possible topics as the next extensions.

The 1.8m PLANETS (Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra Terrestrial Planets) telescope will have the first light in 2014, in the earliest case. It has an off-axis primary mirror (provided from Tohoku Univ.) with a diameter of 1.8 m. With the support of state-of-the-art adaptive optics and masking technologies, we can avoid diffraction due to a spider structure that holds a secondary mirror and to minimize the scattered light from mirror surfaces as far as possible. With the instruments set to Gregorian focus on an equatorial mount and Coude focus for large-sized spectrometers, it can provide us a unique facility for spectroscopic and polarimetric observations of faint environments around the bright bodies, like planetary environments, stellar disks, etc. In 2013, we start the polishing for the a ultra-smooth mirror surface, the roughness of less than 1/20 lambda, with a new polish technology called HyDra, a water jet polishing technology developed by a group at Univ. Nac. Aut. de Mexico (UNAM). (This project is also a test for this new technology applied to off-axis mirrors.)

The UH 80 cm with equatorial mount is completely optimized to the polarimetric studies. It is served by Harlinton Center for Innovative Optics (Canada), and operated by IfA/UH with Kiepenheuer Inst. Sonnenphysik (Germany). The Gregolian optics for the PLANETS will be tested at there.

The 60 cm Cassagrain telescope is now at our Iitate Observatory. We started the reformation of its equatorial mount optimized to the Hawaiian latitude, and will move it to Haleakala before the summer of 2013. It is small-sized but unique because it has Coude focus for relatively large-sized instruments. It will not only be used for the infrared / spectroscopic observation which cannot be done by the current 40cm, but also the instrument testing for the PLANETS.

In the end of 2013, ISAS Exceed EUV space telescope will run on the orbit. In early 2014, joint observation with HST for Jovian activities will be executed. This 60cm telescope will supply the simultaneous and continuous imaging and spectroscopic data for Jovian infrared auroras.

We also continuously run the 40cm Schmidt telescope will also serve the Io torus imaging spectroscopic information.

For promoting the project, M. Kagitani has been staying in Maui and contributing to the optical fiber Echelle spectrograph development. From June 2012, S. Okano officially belonged to ATRC. The instruments developed in our group, i.e., NIR/MIR Echelle spectrograph and MIR heterodyne spectrograph will also contribute to these telescopes.

# Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PCG31-26

会場:301A

時間:5月23日 17:30-17:45

キーワード: 赤外線, 光学, ハレアカラ天文台, 望遠鏡, 惑星

Keywords: infrared, optical, Haleakala Observatory, Telescope, Planet

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

福原 哲哉<sup>1\*</sup>, 島 侑奈<sup>1</sup>, 神山 徹<sup>2</sup>, 今村 剛<sup>3</sup>, 二口 将彦<sup>4</sup>, 田口 真<sup>4</sup>  
Tetsuya Fukuhara<sup>1\*</sup>, Yuuna Shima<sup>1</sup>, Toru Kouyama<sup>2</sup>, Takeshi Imamura<sup>3</sup>, Masahiko Futaguchi<sup>4</sup>, Makoto Taguchi<sup>4</sup>

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

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

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

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

高木 聖子<sup>1\*</sup>, Arnaud Mahieux<sup>2</sup>, Valerie Wilquet<sup>2</sup>, AnnCarine Vandaele<sup>2</sup>, 岩上直幹<sup>1</sup>  
Seiko Takagi<sup>1\*</sup>, Arnaud Mahieux<sup>2</sup>, Valerie Wilquet<sup>2</sup>, AnnCarine Vandaele<sup>2</sup>, Naomoto, Iwagami<sup>1</sup>

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

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

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

本研究では 2006-2009 年までの SOIR データを取得・解析し、もや層の消散係数高度分布と特定高度における消散係数時間変動、もや混合比と特定高度における混合比時間変動を導出した。その結果、高度 90 km 以上では鉛直拡散よりもやの生成が支配的であることが明らかになった。また、高度 70-90 km ではもやの生成より鉛直拡散が支配的であることが明らかになった。各高度におけるもやの生成・消失量は 1 次元拡散方程式を解き見積もった。過去示された SO・SO<sub>2</sub> 混合比高度分布・時間変動・緯度分布 (Belyaev et al., 2012, Marcq et al., 2008) と本研究との比較から、もやには硫化物が含まれていることが推測された。

キーワード: 金星, 雲, Venus Express, SOIR

Keywords: Venus, cloud, Venus Express, SOIR

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

榎本 孝之<sup>1\*</sup>, 佐藤 毅彦<sup>2</sup>, 仲谷 善一<sup>3</sup>, 中串 孝志<sup>4</sup>, 佐藤 隆雄<sup>5</sup>, 大月 祥子<sup>6</sup>, 細内 麻悠<sup>7</sup>

Takayuki Enomoto<sup>1\*</sup>, Takehiko Satoh<sup>2</sup>, NAKATANI, Yoshikazu<sup>3</sup>, Takashi Nakakushi<sup>4</sup>, Takao M. Sato<sup>5</sup>, Shoko Ohtsuki<sup>6</sup>, Mayu Hosouchi<sup>7</sup>

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

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

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

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

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

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

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

キーワード: 金星, ヘイズ, 2 次元偏光観測, 地上観測

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

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

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

黒田 壮大<sup>1</sup>, 黒田 剛史<sup>1</sup>, 笠羽 康正<sup>1\*</sup>, P. Drossart<sup>2</sup>, G. Piccioni<sup>3</sup>, 池田 恒平<sup>4</sup>, 高橋 正明<sup>5</sup>

Morihito Kuroda<sup>1</sup>, Takeshi Kuroda<sup>1</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>1\*</sup>, P. Drossart<sup>2</sup>, G. Piccioni<sup>3</sup>, Kohei Ikeda<sup>4</sup>, Masaaki Takahashi<sup>5</sup>

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

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

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

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

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



## 硫酸雲輸送/蒸発/凝縮過程の金星 GCM への導入

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

加藤 史也<sup>1\*</sup>, 新田光<sup>2</sup>, 黒田剛史<sup>1</sup>, 黒田壮大<sup>1</sup>, 笠羽康正<sup>1</sup>, 高橋正明<sup>2</sup>Kato Fumiya<sup>1\*</sup>, NITTA, Akira<sup>2</sup>, KURODA, Takeshi<sup>1</sup>, KURODA, Morihiro<sup>1</sup>, KASABA, Yasumasa<sup>1</sup>, TAKAHASHI, Masaaki<sup>2</sup><sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 東京大学<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>University of Tokyo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

キーワード: 金星, GCM, 硫酸雲, 大気物質循環

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

## 地上観測による金星 O<sub>2</sub> 大気光層温度分布 Temperature distributions in the Venus O<sub>2</sub> night airglow layer by ground-based observations

大月 祥子<sup>1\*</sup>, 岩上 直幹<sup>2</sup>, Severine Robert<sup>3</sup>  
Shoko Ohtsuki<sup>1\*</sup>, Naomoto Iwagami<sup>2</sup>, Severine Robert<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 専修大学, <sup>2</sup> 東京大学, <sup>3</sup> Belgian Institute for Space Aeronomy

<sup>1</sup> Senshu University, <sup>2</sup> University of Tokyo, <sup>3</sup> Belgian Institute for Space Aeronomy

Venus 1.27-micron O<sub>2</sub> night airglow can be used as a probe of chemistry and dynamics at around 95 km. The enhanced rotational temperature at around the anti-solar point found from the O<sub>2</sub> airglow has been supposed to indicate the evidence of downflow. However, the nightside temperatures at 90-100 km found by SPICAV/VEX differ from those by the airglow.

We conducted 5-days monitoring observation of the airglow to detect the planetary-scale waves with CSHELL/IRTF from 11-15 July 2012. The 1.27-micron O<sub>2</sub> night airglow in the Venus atmosphere can pass through the Earth's atmosphere with a help of the Doppler shift. We obtained spectral image cubes at the wavelength of R-branch of the airglow band, which includes several rotational lines. In order to cover spectral information continuously, a slit drifted across Venus' nightside disk. The spatial resolution of the image is governed by seeing. The typical seeing was 0.6'' to 1.5'' in our observing run and corresponds to 200-450km at the center of Venus' disk. Under such conduction, we may detect airglow structures of small scales due to atmospheric waves; this is smaller than the region of enhanced airglow having a horizontal scale of ~3000km. We can also derive the hemispherical distribution of the rotational temperature. To coincide with our observations, SOIR/Venus Express stellar occultations were conducted. We can try to compare our horizontal temperature map and vertical temperature profile from SOIR data.

キーワード: 金星大気, 大気光, 地上観測

Keywords: Venus atmosphere, airglow, ground-based observation

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

渡邊 歩佳<sup>1\*</sup>, 今村 剛<sup>2</sup>  
Ayuka Watanabe<sup>1\*</sup>, Takeshi Imamura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 宇宙科学研究所

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

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

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

キーワード: 音波, 重力波, 火星大気

Keywords: acoustic waves, gravity waves, Martian atmosphere

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

山崎 敦<sup>1\*</sup>, 中川 広務<sup>2</sup>, 坂野井 健<sup>3</sup>, 田口 真<sup>4</sup>

Atsushi Yamazaki<sup>1\*</sup>, Hiromu Nakagawa<sup>2</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>3</sup>, Makoto Taguchi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 宇宙研, <sup>2</sup> 東北大, <sup>3</sup> 東北大 PPARC, <sup>4</sup> 立教大

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

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

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

キーワード: 火星電離圏, 撮像観測, 大気散逸, 大気進化

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

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

小山 響平<sup>1\*</sup>, 関 華奈子<sup>1</sup>, 寺田 直樹<sup>2</sup>, 寺田 香織<sup>2</sup>  
Kyohei Koyama<sup>1\*</sup>, Kanako Seki<sup>1</sup>, Naoki Terada<sup>2</sup>, Kaori Terada<sup>2</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup>東北大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Tohoku University

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

キーワード: 非磁化惑星, 電離圏, 多流体シミュレーション

Keywords: unmagnetized planet, ionosphere, multi-fluid simulation

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

土屋 史紀<sup>1\*</sup>, 山崎 敦<sup>2</sup>, 坂野井 健<sup>1</sup>, 上水和典<sup>3</sup>, 吉岡 和夫<sup>2</sup>, 村上 豪<sup>2</sup>, 笠羽 康正<sup>1</sup>, 鍵谷 将人<sup>1</sup>, 吉川 一朗<sup>4</sup>  
Fuminori Tsuchiya<sup>1\*</sup>, Atsushi Yamazaki<sup>2</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>1</sup>, Kazunori Uemizu<sup>3</sup>, Kazuo Yoshioka<sup>2</sup>, Go Murakami<sup>2</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>1</sup>, Masato Kagitani<sup>1</sup>, Ichiro Yoshikawa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup>ISAS/JAXA, <sup>3</sup> 国立天文台, <sup>4</sup> 東京大学

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

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

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

渡辺 真矢<sup>1\*</sup>, 小野 高幸<sup>1</sup>, 熊本 篤志<sup>1</sup>, 加藤 雄人<sup>1</sup>  
Shinya Watanabe<sup>1\*</sup>, Takayuki Ono<sup>1</sup>, Atsushi Kumamoto<sup>1</sup>, Yuto Katoh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

<sup>1</sup>Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

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

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

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

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

キーワード: ガニメデ, 木星, プラズマ波動, 磁気圏

Keywords: Ganymede, Jupiter, plasma waves, magnetosphere

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

三澤 浩昭<sup>1\*</sup>, 水口 岳宏<sup>1</sup>

Hiroaki Misawa<sup>1\*</sup>, Takahiro Mizuguchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学惑星プラズマ・大気研究センター

<sup>1</sup> Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Tohoku University

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

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

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

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



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

山本 和幸<sup>1</sup>, 三澤 浩昭<sup>1\*</sup>, 土屋 史紀<sup>1</sup>, 小原 隆博<sup>1</sup>

Kazuyuki Yamamoto<sup>1</sup>, Hiroaki Misawa<sup>1\*</sup>, Fuminori Tsuchiya<sup>1</sup>, Takahiro Obara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大・理・惑星プラズマ大気

<sup>1</sup>Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.

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

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

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

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

キーワード: 木星, 木星磁気圏, オーロラ, インジェクション

Keywords: Jupiter, Jovian magnetosphere, aurora, injection

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

柿本 優<sup>1</sup>, 熊本 篤志<sup>1\*</sup>, 小野 高幸<sup>1</sup>, 加藤 雄人<sup>1</sup>, 三澤 浩昭<sup>1</sup>  
Suguru Kakimoto<sup>1</sup>, Atsushi Kumamoto<sup>1\*</sup>, Takayuki Ono<sup>1</sup>, Yuto Katoh<sup>1</sup>, Hiroaki Misawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Tohoku University

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

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

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

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

兒玉 晋洋<sup>1\*</sup>, 鎌谷 将人<sup>1</sup>, 岡野 章一<sup>2</sup>  
Kunihiro Kodama<sup>1\*</sup>, Masato Kagitani<sup>1</sup>, Shoichi Okano<sup>2</sup>

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

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

2011年5月に行なわれたエンケラドス中性トーラス中の酸素原子禁制線発光 ([OI]630nm) の観測では、総露光時間 1200 分のデータを足し合わせることで、その発光の検知に成功した。また、これまでその発光の原因となるプロセスを電子衝突励起を考えたが、H<sub>2</sub>O や OH 等の水系の分子の光解離によっても発光する可能性があることがわかってきた。これらは太陽活動 (紫外線) の変化によって発光強度が変動することを示唆しているが、質の良いデータが少なかったために時間変化を追えていないのが現状であった。しかし、データの解析手法を改良することによって今まで使えなかったデータも使用できるようになり、時間変動を追えるようになった。

本発表ではトーラス発光の時間変化について発表する予定である。

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