

ハレアカラ観測所T60/DIPOL-2を用いた系外惑星の偏光観測

Polarimetry of exoplanets using T60/DIPOL-2 at the Haleakala observatory

前田 東暁¹、*坂野井 健¹、鍵谷 将人¹

Haruaki Maeda¹, *Takeshi Sakanoi¹, Masato Kagitani¹

1. 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター

1. Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University

Many exoplanets have been found since the first discovery of exoplanet in 1995, and observation methods have been developed so far. In this study we particularly focus on polarimetry of the exoplanets. Light scattered at exoplanetary atmosphere is polarized with a periodic variation of its revolution. Thus, we expect to obtain exoplanetary orbital element and exoplanetary atmosphere information from phase, amplitude, wavelength dependence of polarization. The measurement of exoplanetary polarization is characterized by photon noise limited, which enable us to observe with a small-sized telescope. Since 2000, several groups attempted to detect the polarimetry of exoplanets. Some groups suggested that the polarization degree less than 10^{-4} exists, however other groups reported that there is no significant variation in exoplanetary polarization. In this study, we purpose to establish the measurement method of exoplanetary polarization using DIPOL-2 installed on the Tohoku 60 cm telescope(T60) at Haleakala, Hawaii, and also aim to develop the data analysis method which is required to estimate the exoplanetary polarization very accurately.

DIPOL-2 observation data involve exoplanetary polarization as well as instrumental polarization. Thus, we need to subtract the instrumental polarization precisely from the observed data. In case that the instrumental polarization is too large compared with exoplanetary polarization, it might be impossible to detect exoplanet polarization. To verify the stability of instrumental polarization, we carried out two kinds of observations of non-polarized standard stars as follows. One is the observation of 44 non-polarized standard stars, and the other is the continuous observation of a non-polarized standard star HD142373. Observations of 44 non-polarized standard stars were performed on 90 nights during the period from May 2015 to October 2016. From the useful dataset for 39 stars, we estimated Stokes Q and U of instrumental polarization are 1.20×10^{-5} and 2.63×10^{-6} , respectively. From continuous observation of a non-polarized standard star HD142373 in August 2016, we also estimated the lower limits of variabilities in Stokes Q (σ_Q) and U (σ_U) of the instrumental polarization as 1.0×10^{-5} and 8.8×10^{-6} , respectively. These variabilities in instrumental polarization defines the estimation limit of exoplanetary polarization.

On the exoplanetary observation, we first estimated the expected amplitude of stokes parameter and observation S/N based on previously known parameters of exoplanet, such as the distance between exoplanet and main star, and brightness of main star. From this estimation, we selected three target exoplanets, HD189733 b, τ Boo b, ν And b.

From the data analysis of HD189733 b, we could not obtain significant periodic variation in stokes parameters obtained in past observation by Berdyugina et al. [2011]. Standard deviations in observed stokes parameters were close to the those of instrumental polarization, and therefore it seems further accurate observation is required to evaluate the polarization parameters for HD18933 b. On exoplanet τ Boo b and ν And b, the standard deviation in observed data was larger than expected estimation errors including photon shot noise and uncertainty of instrumental polarization (Stokes Q=65%, and Stokes U=128% for τ Boo b, and Stokes Q=20%, and Stokes U=39% for ν And b). Therefore, we conclude that

the data should show exoplanetary polarization although any significant orbital phase dependence in exoplanetary polarization was not seen. This may be due to insufficient accuracy of estimated instrumental polarization parameters, and thus we suggest further accurate calibration of instrumental polarization and its dependence on telescope environment, such as temperature, air pressure, viewing angle and seasonal dependence, should be needed in future study.

キーワード：系外惑星、偏光、ハレアカラ

Keywords: exoplanet, polarization, Haleakala

重イオン放出弱磁場小型天体のプラズマ環境に関する粒子シミュレーション

PIC simulation on the plasma environment of a weakly magnetized small body with heavy ion emission

*臼井 英之¹、沖 知起¹、寺田 直樹²、三宅 洋平¹、加藤 雄人²、八木 学³

*Hideyuki Usui¹, Satoki Oki¹, Naoki Terada², Yohei Miyake¹, Yuto Katoh², Manabu Yagi³

1. 神戸大学 大学院 システム情報学研究科計算科学専攻、2. 東北大学 大学院 理学研究科地球物理学専攻、3. 理科学研究所 計算科学研究機構

1. Department of computational science, Graduate school of system informatics, Kobe University, 2. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University, 3. Advanced institute for computational science (AICS), RIKEN

本研究の目的は、外圏(exosphere)起源の重イオンを放出する、弱い固有磁場を持つ小型天体と太陽風との相互作用を3次元電磁粒子シミュレーションにより再現し、小型天体のプラズマ環境を理解することである。

日欧共同で進められているBepiColombo水星探査ミッションにより水星磁気圏における様々なプラズマ現象の観測が期待されている。これまでの観測から、水星の固有磁場を形成する磁気モーメントは地球のものよりも約2000倍程度小さく、地球磁気圏の約1/20のサイズの小型磁気圏が形成されると予想されている。また水星には電離圏が存在せず、希薄な外圏大気が存在する。明確な電離圏がない磁気圏の電流構造において外圏起源のイオン(Na⁺など)がどのような役割を果たすかは興味深い。また、水星本体が磁気圏の中に占める割合が大きいことも特徴の一つである。このような特異な水星磁気圏の巨視的構造については、磁気流体力学(MHD)シミュレーションを用いたモデル化も試みられている。しかし、水星表面近傍から放出される重イオンや光電子と太陽風・磁気圏との運動論的な相互作用の理解は進んでいない。特に昼間側やカスプにおいて、イオンラーマ半径と同程度のスケール長でしかないプラズマ構造が予想されている。そこで、本研究では、全粒子シミュレーションを用いて、重イオン放出弱磁場小型天体のプラズマ環境を運動論的観点から再現する。

モデルでは、弱い磁気ダイポールを持つ小型球体をプラズマ流の中に置き、その表面近傍からNa⁺に相当する重イオンと光電子を同量放出し続ける。昼間側において、ダイポール中心から磁気圧と太陽風動圧が釣り合う点までの距離を代表長Lとすると、今回のモデルでは、Lに対するL地点でのイオンラーマ半径の比が1から1/10程度となるような磁気ダイポールを球体に与える。水星環境ではイオンラーマ半径はLに対して1/100程度であるが、あえてプラズマの運動論的效果を強調させるためにラーマ半径を大きくしたモデルを採用する。パラメータとしては、Lに対する球体半径rの比、放出重イオンと光電子の密度、速度がある。

これまでに実施した準備的なシミュレーション結果により、小型磁気圏の形成、朝方夕方の磁気圏構造の非対称性、重イオンと光電子放出起源の赤道面での天体近傍環状電流、重イオンと光電子の電荷分離による地表近くでの強い電界形成などの基本的な物理は確認できた。これらの基本物理現象が上に述べたパラメータに対してどのように依存しているのかを解析する。

キーワード：プラズマ粒子シミュレーション、弱磁場惑星、水星磁気圏、外圏

Keywords: plasma particle simulation, weakly magnetized planet, Mercury's magnetosphere, exosphere

Reconsideration of the relation between Jupiter's auroral radio activities and Io's volcanic variations

*三澤 浩昭¹、米田 瑞生²、土屋 史紀¹

*Hiroaki Misawa¹, Mizuki Yoneda², Fuminori Tsuchiya¹

1. 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター、2. キーペンハウアー太陽物理学研究所

1. Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Kiepenheuer Institute for Solar Physics

It has been discussed for a long time how the logenic heavy plasma affects to Jupiter's magnetic activities. Kronberg et al. (JGR, 2007) proposed a conceptual model for periodic magnetospheric variations by assuming that magnetospheric reconfigurations are caused by ion mass loading from the internal plasma sources. This proposal implies that enhancement of logenic plasma enhances internal magnetic variations. On the other hand, Shay and Swisdak (PRL, 2004) indicated that magnetotail reconnection rate is reduced when heavy ions (O+) are contained larger. This idea implies the opposite response of Jupiter's magnetosphere to plasma enhancement.

Tohoku University has conducted campaign-base optical observations for logenic gas around the opposition period of Jupiter since 1999. From the observations, significant variations of logenic gas have been identified several times in 1999, 2003, 2007 and 2015 (Nozawa et al., JGR, 2004; Yoneda et al., GRL, 2010; GRL, 2013; Icarus, 2015). These phenomena give good opportunities to examine how magnetospheric activities respond to the logenic plasma enhancement.

We have analyzed Jupiter's auroral radio emission in hectometer to decameter wave ranges by using the WIND/WAVES data to investigate relation between Jupiter's magnetospheric variations and Io's volcanic events. So far, a negative correlation was reported for the event in 2007 (Yoneda et al., GRL, 2013), while we suggested a positive correlation for the recent event in 2015. To clarify more precise characteristic of the mutual relation, we have extended the analysis for the other volcanic events by evaluating variations of the emission power. In the presentation, we will show the results and reconsider causalities for the variability of magnetospheric response to Io's volcanic variations.

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

キーワード：木星、電波、イオ火山活動

Keywords: Jupiter, radio emission, Io volcanic activity

磁気圏keV電子とEnceladus衛星起源H₂O分子の弾性衝突によるピッチ角散乱

Pitch angle scattering due to elastic collisions between magnetospheric keV electrons and neutral H₂O molecules originated from Enceladus

*田所 裕康¹、加藤 雄人²

*Hiroyasu Tadokoro¹, Yuto Katoh²

1. 武蔵野大学、2. 東北大学

1. Musashino University, 2. Tohoku University

The observations of injected plasmas in the inner magnetosphere suggest that these particles do not survive very long time due to the neutral cloud originated from Enceladus [e.g., Paranicas et al., 2007; 2008]. These neutrals in the inner magnetosphere play the dominant role in a loss process of energetic electrons and ions [e.g., Paranicas et al., 2007; Sittler et al., 2008]. However, little has been reported on a quantitative study of the electron loss process due to electron-neutral collisions. In this study, we focus on the elastic collisional loss process with neutrals. Conducting one dimensional test-particle simulation, Tadokoro et al. [2014] examined the time variations of equatorial pitch angle distribution and electrons within loss cone through 1 keV electron pitch angle scattering due to electron-H₂O elastic collisions around Enceladus when the electron flux tube passes the region of the dense H₂O molecules in the vicinity of Enceladus (~380 sec). The result showed that the electrons of 11.4 % are lost in ~380 sec. Next remaining issue is loss rate of electrons with other energy. In this study, we show a preliminary result of the loss rate of electrons with 500eV-50keV. We also show the comparison of the loss rate between the high H₂O density region (in the vicinity of Enceladus) and the low H₂O density region (in the Enceladus torus).

キーワード：土星、エンケラドス、ピッチ角散乱

Keywords: Saturn, Enceladus, Pitch angle scattering

火星上部熱圏・外圏を伝搬し散逸する内部重力波のDSMCシミュレーション

DSMC simulations of internal gravity waves propagating and dissipating in the Martian upper thermosphere and exosphere

寺田 香織¹、*寺田 直樹¹、Medvedev Alexander²、Yigit Erdal³、中川 広務¹、関 華奈子⁴、黒田 剛史^{1,5}、品川 裕之⁶、藤原 均⁷、笠羽 康正¹

Kaori Terada¹、*Naoki Terada¹、Alexander S. Medvedev²、Erdal Yigit³、Hiromu Nakagawa¹、Kanakano Seki⁴、Takeshi Kuroda^{1,5}、Hiroyuki Shinagawa⁶、Hitoshi Fujiwara⁷、Yasumasa Kasaba¹

1. 東北大学大学院理学研究科、2. Max Planck Institute for Solar System Research、3. Department of Physics and Astronomy, George Mason University、4. 東京大学大学院理学系研究科、5. 情報通信研究機構 統合ビッグデータ研究センター ビッグデータ利活用研究室、6. 国立研究開発法人情報通信研究機構、7. 成蹊大学理工学部

1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Max Planck Institute for Solar System Research, 3. Department of Physics and Astronomy, George Mason University, 4. Graduate School of Science, University of Tokyo, 5. Big Data Analytics Laboratory, Big Data Integration Research Center, National Institute of Information and Communications Technology, 6. National Institute of Information and Communications Technology, 7. Faculty of Science and Technology, Seikei University

多成分火星上部熱圏・外圏 Direct Simulation Monte Carlo (DSMC) モデル [Terada et al., 2016] を用いて外圏にまで到達する内部重力波の数値シミュレーションを行い、内部重力波が上部熱圏・外圏の密度・流速・温度構造に及ぼす影響を研究した。Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN) の観測期間と同等のコンディションの下、複数のモードの重力波の昼側上部熱圏・外圏における鉛直伝播のローカルシミュレーションを行った。その結果、MAVEN に搭載されている Neutral Gas Ion Mass Spectrometer (NGIMS) が観測したような、外圏底における大きな振幅の密度擾乱 [e.g. Yigit et al., 2015; Terada et al., 2017] を、下層・中層大気から伝播してきた重力波によって生じさせるには、200 km 以上の鉛直波長が必要であることが分かった。また鉛直波長 200 km の重力波は、高度 150 km より高高度の上部熱圏から外圏を強く加速・加熱し、CO₂ の混合比を増加させることが分かった。その加速は水平方向に約 1200 m/s/sol、加熱は約 100 K/sol に達する。イオノポーズ近傍の CO₂ の混合比の増加は約 80 %/sol であり、外圏にまで達する内部重力波は CO₂⁺/O⁺ と O₂⁺/O⁺ の流出フラックス比を増加させると推測される。

References

Terada et al. (2016), JGR, doi:10.1002/2015JE004961.

Terada et al. (2017), JGR, doi:10.1002/2016JA023476.

Yigit et al. (2015), GRL, doi:10.1002/2015GL065307.

キーワード : Gravity waves, Upper thermosphere, Mars

Keywords: Gravity waves, Upper thermosphere, Mars

Dense cold ion outflow observed in the Martian induced magnetotail by MAVEN

*乾 彰悟¹、滑川 拓¹、関 華奈子¹、堺 正太郎¹、松永 和成^{1,2}、Brain David³、McFadden James⁴、Halekas Jasper⁵、Mitchell David⁴、Connerney Jack⁶、Jakosky Bruce³

*Shogo Inui¹, Taku Namekawa¹, Kanako Seki¹, Shotaro Sakai¹, Kazunari Matsunaga^{1,2}, David A. Brain³, James P. McFadden⁴, Jasper S. Halekas⁵, David L. Mitchell⁴, Jack E.P. Connerney⁶, Bruce M. Jakosky³

1. 東京大学大学院理学系研究科、2. 名古屋大学大学院理学研究科、3. コロラド大学ボルダー校LASP、4. カリフォルニア大学バークレー校SSL、5. アイオワ大学天文物理学科、6. NASA ゴダード宇宙飛行センター

1. Graduate School of Science, University of Tokyo, 2. Graduate School of Science, Nagoya University, 3. Laboratory for Atmospheric and Space Physics, University of Colorado, Boulder, 4. Space Sciences Laboratory, University of California, Berkeley, 5. Department of Physics and Astronomy, University of Iowa, 6. NASA Goddard Space Flight Center

Geological studies have suggested that Mars had a warm climate and liquid water on surface about 4 billion years ago. Now, Mars has a cold surface temperature and little water on surface. Escape of greenhouse gases such as CO₂ to space is considered as the plausible reason to cause the drastic climate change. On one hand, mechanisms enabled the large amount of the CO₂ loss is far from understood. The planetary ion escape through interaction between the solar wind and the Martian upper atmosphere is one of the candidate mechanisms to achieve the atmospheric escape. To understand atmospheric loss from Mars, MAVEN (Mars Atmosphere Volatile Evolution) has observed the ion escape from Mars as well as space environment around Mars since November 2014. In this study, we investigate detailed characteristics of a dense cold ion outflow event observed in the Martian induced magnetotail based on the MAVEN observations.

From 14:55 to 15:35 UT on December 4, 2014, MAVEN traversed the wake region and observed cold ions in the induced magnetotail of Mars. Around 15:01 UT, it crossed the current sheet from the dusk-southern to dawn-northern quadrants of the magnetotail. The former (latter) corresponds to the downward (upward) electric field (E) hemisphere in the MSE (Mars-Sun-Electric field) coordinates, since the direction of the solar wind electric field was directed roughly to Z axis of the MSO coordinates. In the wake region, the negative spacecraft charging enable us to detect ambient cold ions. The observation shows a clear asymmetry both in the cold ion density and composition against the current sheet crossing: In the southern downward-E hemisphere, the density is high (>100 1/cc) and heavy ion rich, where the main component is O₂⁺ with O₂⁺/O⁺ ratio of ~2.6. However, in the northern upward-E hemisphere, the heavy ion density drops more than 1 order of magnitude and proton becomes the main component. It should be noted that the high heavy ion density was observed also at high altitudes (>2000km).

At the time of the cold dense heavy ion observation, the strong crustal magnetic fields located on the dayside of Mars. Therefore, the MAVEN observed the cold dense heavy ion outflow in the magnetotail region which corresponds to the downward-E hemisphere as well as most likely the downstream of the mini-magnetosphere formed by interaction between the solar wind and the strong crustal magnetic fields. The result might mean that the combination of the mini-magnetosphere and the downward-E hemisphere facilitates the cold ion escape from Mars. We also tried to precisely estimate the number density of CO₂⁺ ions by eliminating the O₂⁺ contamination using a fitting method based on the data from The Supra-Thermal And Thermal Ion Composition (STATIC) instrument onboard MAVEN. The preliminary result of the CO₂⁺ density estimation will be shown.

キーワード：火星、大気流出、MAVEN

Keywords: Mars, Atmospheric escape, MAVEN

Variations of ion escape from the past to present at Mars

*堺 正太郎¹、関 華奈子¹、寺田 直樹²、田中 高史^{3,4}、品川 裕之⁵

*Shotaro Sakai¹, Kanako Seki¹, Naoki Terada², Takashi Tanaka^{3,4}, Hiroyuki Shinagawa⁵

1. 東京大学大学院理学系研究科、2. 東北大学大学院理学研究科、3. 九州大学、4. REPPUコード研究所、5. 情報通信研究機構

1. Graduate School of Science, University of Tokyo, 2. Graduate School of Science, Tohoku University, 3. Kyushu University, 4. REPPU Code Institute, 5. National Institute of Information and Communications Technology

The present Mars has thin atmosphere consisting mainly of CO₂ and does not have liquid water at the surface. The recent space missions gave some evidences for existence of liquid water in the past Mars. It suggests that Mars have experienced atmospheric loss from the past through present. One of the important mechanisms of atmospheric escape is the ion loss. The ion escape is largely controlled by the magnetic configuration, solar wind and solar XUV (X-ray and extreme ultraviolet) irradiances. Terada et al. (2009) showed that the ion escape rate was at most five orders of magnitude higher under the past active solar condition than under the present ones.

The magnetic field is also an important factor in determining the ion escape rate. The present Mars does not have intrinsic global magnetic field, but is leaving the magnetism in its crust, which is known as the crustal magnetic field. The existence of crustal field suggests that Mars had a global magnetic field of interior origin in the past and the different escape mechanism from the present. The magnitude was perhaps about 0.1 G which is corresponding to the strength of the present magnetic field of the Earth's surface (Curtis and Ness, 1988).

We present the ion escape rates calculated by different magnetic configurations and solar conditions, and compare the results with the Terada et al. (2009) ones. The three-dimension and multi-species magnetohydrodynamics (MHD) modeling are used for the simulation. We will discuss the variation of escape rate due to the differences of magnitude of magnetic field, solar XUV irradiances, and solar wind density.

References

Curtis, S. A., and N. F. Ness (1988), Remanent magnetism at Mars, *Geophys. Res. Lett.*, 15, 737-739, doi:10.1029/GL015i008p00737.

Terada, N., et al. (2009), Atmosphere and water loss from early Mars under extreme solar wind and extreme ultraviolet conditions, *Astrobiology*, 9, 55-70, doi:10.1089/ast.2008.0250.

キーワード：火星、イオン流失、大気散逸

Keywords: Mars, Ion escape, Atmospheric escape

超小型火星探査機のTHz帯ヘテロダイン分光リモートセンシングによる火星大気観測プロジェクト

Observation project of the Martian atmosphere by THz-band heterodyne spectroscopic remote sensing with Mars micro-satellite/landers

*前澤 裕之¹、松本 怜¹、西田 侑嗣¹、青木 亮輔¹、真鍋 武嗣¹、笠井 康子²、Larsson Richard²、黒田 剛史²、落合 智²、和地 瞭良³、高橋 亮平³、阪上 遼³、中須賀 真一³、西堀 俊幸⁴、佐川 英夫⁵、中川 広務⁶、笠羽 康正⁶、今村 剛⁷

*Hiroyuki Maezawa¹, Matsumoto Satoshi¹, Yuji Nishida¹, Ryosuke Aoki¹, Takeshi Manabe¹, YASUKO KASAI², Richard Larsson², Takeshi Kuroda², Satoshi Ochiai², Akifumi Wachi³, Ryohei Takahashi³, Ryo Sakagami³, Shin-ichi Nakasuka³, Toshiyuki Nishibori⁴, Hideo Sagawa⁵, Hiromu Nakagawa⁶, Yasumasa Kasaba⁶, Takeshi Imamura⁷

1. 大阪府立大学、2. 情報通信研究機構、3. 東京大学工学系研究科、4. 宇宙航空研究開発機構、5. 京都産業大学理学部、6. 東北大学、7. 東京大学大学院新領域創成科学研究科

1. Osaka Prefecture University, 2. National Institute of Information and Communications Technology, 3. School of Engineering, the University of Tokyo, 4. The Japan Aerospace Exploration Agency, 5. Faculty of Science, Kyoto Sangyo University, 6. Graduate School of Sciences, Tohoku University, 7. Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

近年、火星では赤外望遠鏡やキュリオシティなどによりメタンが検出され、その起源については、生物の可能性も含めた活発な議論が展開されている。また、2010年には、ハーシェル宇宙望遠鏡に搭載された Heterodyne Instrument for the Far Infrared(HIFI)により、低高度で酸素分子の濃度が増加する様子が捉えられ謎を呼んでいる。系外惑星のバイオマーカーの挙動を探る上でも、こうした分子の変動を大気化学反応ネットワークの観点から詳細理解することが喫緊の課題となっている。

現在、東京大学航空工学研究科の中須賀研究チームが火星への超小型深宇宙探査機/着陸機の検討を進めており、我々はこれに搭載可能な簡易なTHz帯のヘテロダイン分光システムの開発検討を進めている。火星大気の入射速度とのトレードオフの関係から超小型衛星に搭載できる重量に制限があるため、現時点で観測周波数帯は450 GHz帯、750 GHz帯の2系統で検討しており、地球の地上望遠鏡からでは地球大気のコタミにより観測が難しいO₂やH₂O、O₃や関連分子、それらの同位体の同時観測を見据えている。これにより、昼夜や季節変動に伴う大気酸化反応素過程に迫る予定である。これらの分子の放射輸送計算も実施し、バージニアダイオード社の常温のショットキーバリアダイオードミキサ受信機(等価雑音温度:4000 K)、分光計にはマックスプランク研究所が開発したチャープ型分光計(帯域1GHz)を採用することで、火星の地上から十分なS/Nのスペクトルが得られる見込みである。重量制限から追尾アンテナなどは搭載せず、ランダーではホーンアンテナによる直上観測を想定している。着陸はメタン発生地域近傍の低緯度の平原を検討中であるが、現時点ではまだランダーとオービターの両方の可能性が残されている。ランダーによる観測の場合は、off点が存在しないため、通常のChopper wheel法による強度較正が行えない。そこで、局部発振源による周波数スイッチと、2つの温度の黒体/calibratorを用いた較正手法を検討している。システムを開発していく上でPlanetary protectionも慎重に進めていく必要がある。本講演では、これら一連のミッションの検討状況について報告する。システムや熱設計の詳細は、本学会において松本他がポスターにて検討状況を報告する。

キーワード：テラヘルツ、超小型探査機/着陸機、惑星大気、ヘテロダインリモートセンシング、バイオマーカー、火星

Keywords: Terahertz, Micro-satellite/lander, Planetary Atmosphere, Heterodyne Remote Sensing, Biomarker, Mars

超小型衛星による火星着陸機搭載THzヘテロダイン分光装置の開発検討 Study of THz-band heterodyne spectroscopy system on board Mars micro-satellite/lander

*松本 怜¹、西田 侑治¹、青木 亮輔¹、真鍋 武嗣¹、前澤 裕之¹、笠井 康子²、黒田 剛史²、落合 智²、Richard Larsson²、西堀 俊幸³、佐川 英夫⁴、和地 瞭良⁵、中須賀 真一⁵

*Satoshi Matsumoto¹, Yuji Nishida¹, Ryosuke Aoki¹, Takeshi Manabe¹, Hiroyuki Maezawa¹, Yasuko Kasai², Takeshi Kuroda², Satoshi Ochiai², Larsson Richard², Toshiyuki Nishibori³, Hideo Sagawa⁴, Akifumi Wachi⁵, Shin-ichi Nakasuka⁵

1. 大阪府立大学、2. 情報通信研究機構、3. 宇宙航空研究開発機構、4. 京都産業大学、5. 東京大学

1. Osaka Prefecture University, 2. National Institute of Information and Communications Technology, 3. Japan Aerospace Exploration Agency, 4. Kyoto Sangyo University, 5. Tokyo University

近年、ハーシェル衛星(ESA)のサブミリ波帯観測により、酸素分子が低高度において増加する傾向が捉えられた。火星では、局所的なメタンの発生も観測されているが、これらはいずれも、まだその起源がよく分かっておらず、生物起源の可能性も含め、火星大気における基本的な化学反応ネットワークの理解が重要な課題となっている。我々は、東京大学工学系研究科の中須賀研究チームが検討を進めている超小型火星周回機や着陸機により、火星大気中のO₂、H₂O、O₃、COや同位体分子などの昼夜・四季を通じたりモートセンシングを実現すべく、0.4、0.7 THzヘテロダイン分光装置の開発検討を進めている。検出部には衛星搭載用に開発されたショットキーバリアダイオードミキサと局部発振信号に逡倍型の固体発振器を内蔵したヘテロダイン受信機を、分光計にはチャープ型分光計を採用する計画である。超小型のため、現在の検討段階では搭載できるパッケージは6kg程度以下の制限があるため、システムの熱設計が1つ重要な課題となる。着陸候補の1つである火星の低緯度地域の平原の温度は、1公転周期の季節変動と日照変化によって外気は、190 Kから280 K程度まで変動する(Mars Climate Databaseより)。火星の大気圧程度の熱流体も考慮した熱解析シミュレーションを実施したところ、熱伝導と輻射を効果的に利用すれば、少なくとも夜間にはシステムの昇温を抑えて(80度程度以内)、オペレーションが可能であることを確認できた。日中での観測も実現させるべく、高温時は熱伝導をより効果的に使えるようにするなどのさらなる検討を進めている。本講演では、火星の地上からの観測を想定した放射輸送モデルの計算結果や、これらのTHzヘテロダイン分光装置の開発検討状況について報告する。

キーワード：火星、超小型着陸機、THzリモートセンシング、惑星大気、ヘテロダイン分光

Keywords: Mars, Micro-satellite/lander, THz-band remote sensing, Planetary atmosphere, Heterodyne spectroscopy

新規開発ファイバ面分光ユニットを用いた金星雲観測計画 Observation plan of Venus cloud tops with new developed fiber IFU

*山田 学¹、鍵谷 将人²、山崎 敦³

*Manabu Yamada¹, Masato Kagitani², Atsushi Yamazaki³

1. 千葉工業大学惑星探査研究センター、2. 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター、3. 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

1. Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology, 2. Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, 3. Institute of Space and Astronautical Science / Japan Aerospace Exploration Agency

金星は全球が分厚い硫酸の雲におおわれており、可視光で見る金星はピンポン玉のように特徴に乏しい。一方、金星の上層雲には太陽放射のうち200nmから500nmの波長を吸収する物質が含まれており、高速の風が吹き荒れているさまを見せる雲の模様を作り出す。200nm から320nm はSO₂による吸収で良く説明できるが、320nm より長い波長での吸収を担う物質はいまだ同定されていない。これまで実施された観測は主に365nmを中心波長とする単バンドしか使っていなかったが、異なる波長の空間構造の違いを比較することでこの非同定吸収物質の性質や数を明らかにできる可能性がある。2015年12月に金星周回軌道に投入されたあかつきに搭載された紫外カメラ(UVI)は、非同定中心波長283nm と 365nm のバンド分光による連続観測を続けており、これら波長の違いによる空間構造の違いと相似があることが判明しつつある。UVIのバンド幅は15nm程度であり、UVIの二波長の間でどのような変化をしているのか知ることはできない。本研究は、この波長間を埋める波長・空間構造を地上より観測することで、365nm付近で見える非同定吸収といわれるものが、いったい何を観測していることになるのかの考察を可能にすることを目的とする。

我々はファイバアレイを用いた分光イメージャを開発してきた。分光イメージングは同時に複数の波長で二次元の画像を取得でき、金星の非同定吸収物質を観測するのに適している。百数十μm程度の細いファイバを数百本用いたファイバアレイの新しい製造方法を考案し、実用化に向けて改良を加えてきた。これをもちいて地上から金星の雲を面分光する光学系を検討している。

本発表では、新しく考案した、ファイバアレイ内の個々のファイバ素線の入射、出射の対応付けを決める新しい方法の紹介のほか、開発中の光学系の性能と、2017年6月頃の金星西方最大離隔をターゲットとしたハレアカラ観測所の望遠鏡をもちいた観測計画を報告する。

キーワード：ファイバ面分光、紫外観測、金星大気

Keywords: Fiber integral field units, Ultraviolet observation, Venus atmosphere