

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PCG033-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

## タイタン上層大気のイオン組成の高度分布モデル A modeling of Titan's ionosphere

中岡 啓<sup>1\*</sup>, 渡部 重十<sup>1</sup>, 堺 正太郎<sup>1</sup>  
kei nakaoka<sup>1\*</sup>, Shigeto Watanabe<sup>1</sup>, Shotaro Sakai<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>Dep. CosmoSciences. Hokkaido Univ.

タイタン上層大気のイオン組成の高度分布モデル

中岡 啓 (1), 渡部重十 (1), 堺正太郎 (1)  
(1) 北海道大学大学院理学院宇宙理学専攻

カッシーニに搭載されている Langmuir Probe がイオン分子量のデータを得た。高度 1200-1800 km で、イオンの分子量は 20-40amu となったが、1200 km で 60 を超えた [Wahlund et al., 2005]。しかしながら、具体的なイオン組成の高度分布や日変化はまだ解明されていない。

我々は、イオンと電子数密度の高度分布を得るためにイオン組成モデルを構築した。窒素とメタンからなる大気を考え、大気密度の日変化やイオンの運動を考慮して計算した結果、主要なイオン数密度は  $\text{HCNH}^+$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5^+$  であった。本発表では、モデリングとカッシーニによる観測との比較検討結果を述べる。

キーワード: タイタン, 上層大気, イオン組成, 高度分布, 電離圏

Keywords: titan, upper atmosphere, ion composition, altitude distribution, ionosphere

## LLFAST (月低周波電波望遠鏡) を用いた木星電波観測の研究 A study of Jovian Radio Wave Observation using LLFAST (Lunar Low Frequency Astronomy Telescope)

岩田 隆浩<sup>1\*</sup>, 今井 一雅<sup>2</sup>, 中城 智之<sup>3</sup>, 近藤 哲朗<sup>4</sup>, 竹内 央<sup>1</sup>  
Takahiro Iwata<sup>1\*</sup>, Kazumasa Imai<sup>2</sup>, Tomoyuki Nakajo<sup>3</sup>, Tetsuro Kondo<sup>4</sup>, Hiroshi Takeuchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JAXA 宇宙科学研究所, <sup>2</sup>高知高専, <sup>3</sup>福井工大, <sup>4</sup>情報通信機構

<sup>1</sup>ISAS/JAXA, <sup>2</sup>Kochi N. C. Tech., <sup>3</sup>Fukui Univ. Tech., <sup>4</sup>NICT

木星からの強力なデカメートル波 (DAM) の電波放射機構は未知の部分が多く、電波放射機構を解明することによって、宇宙空間プラズマ物理学の重要な本質に迫ることが可能になると考えられている。この木星電波放射機構を解明するためには、木星電波放射源の空間的な情報を得ることが最も重要なポイントとなる。しかしながら、地上での VLBI 観測では木星位置での最高分解能は 1000km であることから、電波源サイズを同定することは不可能であった。また探査機による in-situ 観測では、木星全体を見渡して電波源のダイナミカルな姿を描くための視野が得られない。このため、地上では得られない高分解能と探査機では実現できない広視野とを併せ持つ観測手法が期待されてきた。月低周波電波望遠鏡: LLFAST (Lunar Low Frequency Astronomy Telescope) は、「かぐや」に続く次期月探査機 (仮称: SELENE-2) の月周回オービターへの搭載が提案されている電波望遠鏡である。月周回軌道上の LLFAST と地上の電波観測局から構成される基線により、20-25MHz 帯 (単一鏡観測では 15-25MHz) での木星電波の宇宙空間 VLBI 観測を行うことにより、木星電波源に迫る 20km の高い空間分解能での観測を実現する。

放射機構の解明に取り組むためには、電波源の構造や、これと密接に関係している電波ビームの形状を明らかにすることが不可欠である。これまでの地上からの経年観測と探査機の in-situ 観測 [1]、および modulation lane 法による位置推定 [2] からは、主要な放射形状モデルである conical-sheet beam (emitting cone) モデル [3] と search-light beam モデル [4] が提唱されているが、これらの放射モデルを実証できる分解能と視野が得られていないのが現状である。特に、磁力線方向に数 km、緯度方向に数百 m の拡がりを持つと推定される電波源 (コヒーレント領域) のサイズの上限を押さえることは、放射機構を解明する上で極めて重要である。しかし、地上 VLBI 観測では分解能が不足すること、in-situ 観測では電波放射の全体像が判らない (地球 AKR でも同様の制約に見舞われてきた) ことから、電波源サイズは決定できていない。これを解決するには、ちょうど月-地球基線に相当するスペース VLBI の空間分解能と視野が最適であり、今まで見ることでできなかった電波源のミクロな構造を初めて見る事が可能となる。また月-地球基線の空間分解能を用いることにより、個々の電波源の構造に加えて、木星とイオをつなぐ磁力線間の電波源の様子を詳細に知ることができる。これによって、磁力線に沿ったエネルギー注入の分布を経度方向に調べて、木星-イオ間のエネルギー輸送状態の解明が可能となる。

一方、放射の素過程のモデルとして、双極子磁場に沿って極域に降り込む電子ビームを起源とする CMI (cyclotron maser instability) モデル [5] と、静電的プラズマ波動から電磁波へのモード変換を予測する Mode Conversion モデル [6] が提示されている。これら 2つのモデルは、木星電波源の偏波特性において異なる関係を予測し、前者では北半球から右回り、南半球から左回りの偏波が観測され、一方後者では南半球からの右回り偏波が卓越する。しかしながら、地上観測では電離層の影響により偏波特性が検出困難なこと、in-situ 観測では木星全体での分布が判らないことに加えアンテナ構成・衛星姿勢等の観測制約により、この偏波特性の詳細も未同定であった。この偏波分布と特性を同時に観測して素過程を決定するため、月-地球基線スペース VLBI の空間分解能・視野が必要である。特に、電波源の位置について南北半球のいずれかを決定するためには十分な遅延時間推定精度が必要であり、このためには地球電離層の影響の小さい低雑音の電波環境が必要不可欠である。

References - [1] Carr et al. (1983), In Physics of the Jovian Magnetosphere, 226. [2] Imai et al. (2002), JGR, 107, A6, 10.1029/2001JA007555. [3] Dulk (1967), Icarus, 7, 173. [4] Imai et al. (2008), AGU Fall Meeting, SM41B-1673. [5] Wu & Lee (1979), ApJ, 230, 621. [6] Oya (1971), Radio Sci., 6, 1131.

キーワード: 木星, イオ, DAM, 宇宙空間 VLBI, SELENE-2

Keywords: Jupiter, Io, DAM, space-VLBI, SELENE-2

## VLA データ解析から得られた木星シンクロトロン放射の短期変動現象 Short term variations of Jupiter's synchrotron radiation derived from VLA data analysis

北元<sup>1\*</sup>, 三澤 浩昭<sup>1</sup>, 土屋 史紀<sup>1</sup>, 森岡 昭<sup>1</sup>  
Hajime Kita<sup>1\*</sup>, Hiroaki Misawa<sup>1</sup>, Fuminori Tsuchiya<sup>1</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>1</sup> Planet. Plasma Atmos. Res. Cent. Tohoku Univ

木星シンクロトロン放射は放射線帯内の磁場にトラップされた相対論的電子からの放射であり、地球から木星放射線帯をリモートセンシングし、そのダイナミクスを理解する上で効果的な観測手段である。長年にわたり木星シンクロトロン放射は、その強度変動が安定なものだと考えられていた。しかし、シューメーカーレービー第9彗星が木星に衝突した1994年以来、精力的に連続観測が行われ、数日から数週間の時間スケールでフラックスが変動しているということが明らかになった。

Brice and McDonough (1973) は、このような短期変動の要因として以下のようなシナリオを提唱している：太陽紫外線により熱圏大気が加熱され、中性風の擾乱を引き起こし、ダイナモ電場の擾乱が誘発されることにより放射線帯内部で動径拡散が増大する。この結果、放射線帯粒子のベータトロン加速が起こりシンクロトロン放射のフラックスが増大する。Miyoshi et al. (1999) は 2.3GHz で短期変動現象を確認し、この変動と太陽紫外線変動との間に正の相関があったことを報告した。Tsuchiya et al. (2010) は 325MHz、785MHz でシンクロトロン放射の短期変動があったと報告した。Santos-Costa et al. (2009) は 2002年10月から12月に行われた米国の電波干渉計 VLA (Very Large Array) の観測から、5GHz のシンクロトロン放射の輝度分布が経度によって異なる変動を示していたことを明らかにした。しかしながら短期変動のメカニズムや輝度分布変動と太陽紫外線との関係は未解明である。

木星シンクロトロン放射と太陽紫外線との関係をより明確に理解するためには、電波干渉計によって短期変動発生時の空間分布の変動を調べる必要がある。そこで我々は VLA のデータ解析を行った[\*]。動径拡散が増大した場合、放射線帯電子は内側に輸送されるため、放射輝度分布の内側への移動や、断熱不変量が保存することによるピッチ角分布の変化、すなわち緯度方向の空間分布の変化が生じることが予想されている。データは2000年1月から2月にかけて行われた6日間の集中観測時のものを用いた。周波数は327MHzである。観測期間では、木星で想定される太陽紫外線強度はゆるやかな減少を示していた。初期解析結果では太陽紫外線に対応したシンクロトロン放射強度の変動が見られたが、この時の空間分布の変化は、予測とは異なり、東西に非対称な輝度分布が、徐々に対称な構造に変化していくような様相を示していることがわかった。講演ではこの輝度分布のローカルタイム依存性や磁気経度依存性の解析に基づき、変動の原因について議論する予定である。

\* NRAO (National Radio Astronomy Observatory) の公開データを使用。

### 参考文献:

- Brice, N. M. and T. R. McDonough, *Icarus*, 18, 206-219, 1973.  
Miyoshi, Y. et al., *Geophys. Res. Lett.*, 26, 9-13, 1999.  
Santos-Costa, D., et al., *Astron. Astrophys.*, 508, 1001-1010, 2009.  
Tsuchiya, F. et al., *Adv. in Geosci*, 19, 601, 2010.

キーワード: 木星, 放射線帯, シンクロトロン放射, 電波干渉計

Keywords: Jupiter, radiation belt, synchrotron radiation, radio interferometer

PCG033-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

## 電波スペクトル解析に基づく木星磁気圏の太陽風応答特性 Solar wind response of Jupiter's magnetosphere viewed from the radio spectra analysis

三澤 浩昭<sup>1\*</sup>, 土屋 史紀<sup>1</sup>, 森岡 昭<sup>1</sup>

Hiroaki Misawa<sup>1\*</sup>, Fuminori Tsuchiya<sup>1</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>1</sup>PPARC, Tohoku University

It is well known that aurorae and auroral radio emissions in the earth are primarily driven by interaction between the solar wind and the magnetosphere, while in case of Jupiter, it is thought that some internal processes, probably initiated by the rapid planetary rotation, primarily drive the auroral activity and the solar wind is a limiting control parameter. There are many in situ and remote observations support the idea, however, the role of the solar wind to the magnetic phenomena and pure characteristics of internal processes have not been revealed well.

In order to investigate characteristics of the solar wind and non solar wind controls on Jupiter's magnetic activities in detail, occurrence characteristics of Jupiter's radio emission, particularly in the hectometric wave range observed with WIND/WAVES, have been analyzed. The analysis period is particularly selected for June to September in 2008, when the solar activity was considerably calm and predicted solar wind condition at Jupiter was stable and also showed clear periodicity synchronized with the solar rotation. The results of the analysis show that there are 3 types of HOM: 1) Solar wind related HOM, 2) Non solar wind related and short lived HOM, and 3) Non solar wind related and quasi-periodic HOM. This implies that locations and/or plasma conditions in the source and propagation regions varies with the solar wind variations and effects of the solar wind variations reach to the inner magnetosphere.

Acknowledgement: 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, 磁気圏, 太陽風応答, 電波

Keywords: Jupiter, magnetosphere, solar wind response, radio emission

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PCG033-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

## 南北向き IMF 時における高解像度土星磁気圏シミュレーション

## The high resolution MHD simulation of Kronian magnetosphere for northward and southward IMF

深沢 圭一郎<sup>1\*</sup>, 荻野 竜樹<sup>2</sup>, 湯元 清文<sup>3</sup>

Keiichiro Fukazawa<sup>1\*</sup>, Tatsuki Ogino<sup>2</sup>, Kiyohumi Yumoto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, <sup>2</sup>名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>3</sup>九州大学宙空環境研究センター

<sup>1</sup>EPS, Kyushu Univ., <sup>2</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>3</sup>SERC, Kyushu Univ.

In a series of studies we have reported vortices at the dawn magnetopause at Saturn in simulations when IMF was northward which we interpreted as resulting from the Kelvin Helmholtz (K-H) instability. Studies of the K-H waves using quasi-local simulations at the Earth have shown that the formation of the vortices can be highly dependent on the grid spacing used in the simulations. In particular there can be secondary variations in the vortex structure. However these simulations did not include the magnetic curvature which affects the occurrence of KH instability because they do not treat the global configuration. On the other hand, it has been hard to simulate the global magnetosphere with a sufficiently small grid interval to investigate these effects on the global configuration. Recently thanks to the developments of computer and numerical calculation techniques, we have been able to perform the global magnetospheric simulations of the magnetosphere with relatively high resolution (small grid spacing). As the results of this simulation of Kronian magnetosphere, we found that the formation process and configuration of vortex were different from the previous low resolution simulations for northward IMF. In particular, the growth rate of KH wave seems to be high and waves are appeared around dusk side clearly. On the other hand, we have not obtained the vortex configuration for southward IMF. In this study we will show the results of high resolution global simulation of the Kronian magnetosphere, analysis of the vortices, changes in the configuration of magnetic field lines related to the vortices and their effects on aurora at Saturn.

キーワード: 土星, 磁気圏, 数値シミュレーション

Keywords: Saturn, magnetosphere, numerical simulation

## BepiColombo 日欧共同水星探査ミッション：MMO プロジェクト最新状況報告 BepiColombo Euro-Japan Joint mission to Mercury: MMO Project Status update

早川 基<sup>1\*</sup>, 前島 弘則<sup>1</sup>, BepiColombo MMO プロジェクトチーフ<sup>1</sup>  
Hajime Hayakawa<sup>1\*</sup>, MAEJIMA, Hironori<sup>1</sup>, BepiColombo MMO Project Team<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宇宙研・宇宙機構

<sup>1</sup> ISAS/JAXA

紀元前から知られる水星は、「太陽に近い灼熱環境」と「軌道投入に要する多大な燃料」から周回探査は困難であった。過去の探査は、米国マリナー10号による3回のフライバイ観測(1974-5)及び米国MESSENGERによる2回のフライバイ観測(2008)のみである。この探査は、この小さな惑星にはあり得ないと考えられていた磁場と磁気圏活動の予想外の発見をもたらしたが、その究明は30年以上続く夢に留まってきた。耐熱技術の進展に代表される技術革新が、ようやく大きな壁を取り除きつつある。「ベピ・コロンボ(BepiColombo)」は、欧州宇宙機関(以下、ESA)との国際分担・協力によりこの惑星の磁場、磁気圏、内部、表層を初めて多角的・総合的に観測しようとするプロジェクトである。固有磁場と磁気圏を持つ地球型惑星は地球と水星だけで、初の水星の詳細探査＝「初の惑星磁場・磁気圏の詳細比較」は、「惑星の磁場・磁気圏の普遍性と特異性」の知見に大きな飛躍をもたらす。また、磁場の存在と関係すると見られる巨大な中心核など水星の特異な内部・表層の全球観測は、太陽系形成、特に「地球型惑星の起源と進化」の解明に貢献する。

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

両探査機に搭載する数々の科学観測装置は、2004年の搭載機器選定以降開発は着々と進行し、日本側の予備設計審査は平成20年3月に行われた。ESA側の予備設計審査は平成21年10月末に終了した。JAXAの開発するMMOは昨年11月に単体の熱モデル試験が終了し、現在は本年下半期に行われる全体構造モデル試験の為に熱モデルから構造モデルへの変更作業中である。昨年3月からサブシステムレベルでの詳細設計審査(CDR)を開始した。来年初めから単体としては最終の総合試験を開始する予定である。

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

キーワード: 水星, 惑星探査, 国際協力

Keywords: Mercury, Planetary Exploration, International Collaboration

PCG033-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

## 超伝導ミキサ素子の設計のための数値シミュレーションコードの開発 Development of Numerical Simulation Code for THz-Band Superconducting Hot-Electron Bolometer Mixer Designing

津村 全<sup>1\*</sup>, 梅田 隆行<sup>1</sup>, 前澤 裕之<sup>1</sup>, 荻野 竜樹<sup>1</sup>

Tamotsu Tsumura<sup>1\*</sup>, Takayuki Umeda<sup>1</sup>, Hiroyuki Maezawa<sup>1</sup>, Tatsuki Ogino<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory

THz region is an unexplored frequency band in heterodyne sensing technology fields, because a conventional SIS mixer does not work due to superconducting Cooper pair breakdown by photon absorption in the THz band. To overcome this obstacle, an alternative THz-band heterodyne device known as a hot-electron bolometer (HEB) mixer is studied, and successful laboratory experiments have already been reported. However, physical mechanisms of the HEB mixer device are not yet sufficiently understood. Thus we develop a new numerical simulation code to understand physical processes in the HEB mixer device, which aims to improve the fabrication process for superconducting HEB mixer microbridges. Since the microbridge consists of a coplanar line structure, we numerically model the coplanar line by using the FDTD (Finite-Difference-Time-Domain) method. We also introduced superconductors into the FDTD code by solving the London equation. By modeling the time dependence of the superconductivity by the power of input signals, the present mixer device has detected the intermediate frequency of a radio signal and a reference signal.

Keywords: detector, superconductor, terahertz, Heterodyne Sensing, Radio Astronomy

PCG033-P08

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

## 超伝導 HEBM 検出素子の開発による THz 帯ヘテロダイン分光観測 THz band heterodyne spectroscopy with superconducting HEBM receiver

前澤 裕之<sup>1\*</sup>, 山本智<sup>2</sup>, 中井直正<sup>3</sup>, 瀬田益道<sup>3</sup>, 水野亮<sup>1</sup>, 入交芳久<sup>5</sup>, 小川英夫<sup>6</sup>, 大西利和<sup>6</sup>, 福井康雄<sup>4</sup>  
Hiroyuki Maezawa<sup>1\*</sup>, Satoshi Yamamoto<sup>2</sup>, Naomasa Nakai<sup>3</sup>, Masumichi Seta<sup>3</sup>, Akira Mizuno<sup>1</sup>, Yoshihisa Irimajiri<sup>5</sup>, Hideo Ogawa<sup>6</sup>, Toshikazu Ohnishi<sup>6</sup>, Yasuo Fukui<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻, <sup>3</sup> 筑波大学大学院数理物質科学研究科, <sup>4</sup> 名古屋大学大学院理学研究科, <sup>5</sup> 情報通信研究機構, <sup>6</sup> 大阪府立大学

<sup>1</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>2</sup>Univ. of Tokyo, <sup>3</sup>University of Tsukuba, <sup>4</sup>Nagoya Univ., <sup>5</sup>NICT, <sup>6</sup>Osaka Prefecture Univ.

我々は、NbTiN 超伝導細線を集積した次世代の THz 帯ヘテロダイン検出素子、ホットエレクトロンボロメータミクス (HEBM) の開発を推進している。これまでミリ・サブミリ波帯で威力を発揮してきた従来の Nb 型超伝導 SIS ミクス素子は、超伝導ギャップ周波数を超えた THz 帯ではクーパー対が壊れ、機能を失ってしまう。一方、HEBM 検出素子は動作原理的に観測周波数に上限を持たない特徴をもつ。現在、我々の HEBM 素子では、Si ウエハ/AlN 薄膜上に数 nm の厚みの NbTiN 細線を形成し、これらを 2 次元ツインスロットアンテナに集積している。電波は超半球レンズを用いて準光学的に集光し、1-4 THz 帯で実験評価を進めている。最近では、1.5 THz 帯で 1600 K、3 THz 帯で約 2000 K の透過雑音温度 (校正値) も得られている。また、低振動のパルス管 4K 冷凍機を用いることで、1.5 GHz の中間周波出力の安定性は 10 秒以上を実現しつつある。今後さらに NbTiN 細線の微細化を進め、高感度化・高帯域化を図る計画である。

この THz 帯領域は一般に未開拓の波長域と呼ばれているが、地球や惑星大気、星間空間に漂う重要なガス種のスペクトル線が多く存在している。今後、名古屋大学南半球宇宙観測センターの NANTEN2 望遠鏡や地球大気微量分子観測装置、情報通信研究機構による気球搭載型超伝導サブミリ波リム放射サウンダ、筑波大学をはじめとする南極天文コンソーシアムによって構想が進んでいる南極 THz 望遠鏡などに HEBM 検出素子を搭載していけば、地球・太陽系惑星の中・高層大気中の未計測の微量分子・原子・ラジカル (OH など) の観測も可能になると期待される。本講演では、我々の NbTiN 超伝導細線を集積した HEBM 検出素子の開発の進捗について報告する。

キーワード: テラヘルツ, 超伝導デバイス, ヘテロダイン分光

Keywords: terahertz, superconductor device, heterodyne spectroscopy



## 超高波長分解能惑星分光観測を可能にする中間赤外レーザーヘテロダイン分光システムの開発

### Heterodyne infrared spectroscopy for ultra high-spectral resolution observations of planetary atmosphere

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>1</sup>

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

<sup>1</sup> 東北大学・理

<sup>1</sup>Tohoku University

中間赤外線域は、分子の振動・回転遷移に伴う強い吸収線が豊富に存在し、地球を含む惑星大気研究、例えば地球の大気汚染物質や温室効果気体など微量大気の生成・消滅・循環の理解、希薄な惑星大気の組成や構造、その時間変動の把握にと、非常に重要な分光観測領域として位置づけられてきた。特に、惑星・天体大気を地上から観測する場合、同一波長域に重なる地球大気の強力な吸収成分との分離のために非常に高い波長分解能が必要となる ( $>1E5$ )。この領域での分光手段として、「分散素子分光」および「フーリエ分光 (FTIR)」が主流であるが、双方とも高波長分解能を求めると装置が巨大なものとなり、現況大型望遠鏡に搭載されている装置 (例えば、TEXES/IRTF) でも  $1E5$  程度が限界である。

既存装置の波長分解能を圧倒的に凌駕し、高感度・小型化を実現可能とする唯一の方法が赤外レーザーヘテロダイン分光方式である。本方式による分光システムを用いて、NASA/GFSC およびドイツ・ケルン大学の2グループで惑星観測が実施されており、既存装置よりも一桁以上高い波長分解能 ( $1E7-8$ ) は、惑星大気微量成分の検出のみならず、圧力ブロードニングによる高度分布の導出、ドップラーシフトによる大気運動の直接検出など、他方式では不可能だった観測を可能とし、独創的な成果を挙げている [Sonnabend et al., 2008; Kostuik et al., 1983]。我々東北大学でも 1980 年代より本方式を地球大気微量成分研究に採用し成果を挙げてきたが [Taguchi et al., 1990]、2007 年末より量子カスケードレーザー (QCL) を用いた分光器の再開発に着手し、本格的に惑星観測への応用に動き出した。現在、東北大ハワイ大惑星専用望遠鏡 PLANETS への常設・惑星大気の常時モニタを目指し、開発を進めている。

本発表では、(i) PLANETS 搭載用小型赤外ヘテロダイン分光システムの開発状況と性能評価結果、(ii) QCL と炭酸ガスレーザーとの干渉実験結果、そして (iii) 外部共振器開発状況 について報告する。

我々の受信機は 8-12  $\mu\text{m}$  の波長域に対応しており、9.6  $\mu\text{m}$  および 10.3  $\mu\text{m}$  の DFB 型 QCL、8.0  $\mu\text{m}$  の FP 型 QCL の局発光が運用可能な状態にある (いずれも浜松ホトニクス社製)。後者は FP 型 QCL と外部共振器を組み合わせる事で、通常の波長可変領域を 100 倍以上広げる事を想定し、複数分子種の同時観測を目指す。QCL はペルチェ冷却ヘッドに搭載され、常温駆動が可能である。波長分解能は波長安定化装置 Diplexer 等を組み込む事で  $1E7$  を達成目標とし、帯域はデジタル分光器 (アジレント社製) の制約上 1GHz となる (10 km/s at 10  $\mu\text{m}$ )。感度は、先行研究より量子雑音限界の 2-3 倍程度まで高められる事が期待されるが、現在は定在波や外部ノイズの除去・RF 改修によりシステム雑音の軽減に努めている。これらの達成により、地球型惑星 (火星・金星など) 大気のダイナミクスや重要微量分子の素過程理解に貢献する。

キーワード: ヘテロダイン, 分光, 赤外, 量子カスケードレーザー

Keywords: heterodyne, spectroscopy, infrared, quantum-cascade laser

## MELOS 火星大気散逸観測オービターの検討報告 Examination of MELOS Orbiters for Martian Atmospheric Escape Study

松岡 彩子<sup>1\*</sup>, 阿部 琢美<sup>1</sup>, 石坂 圭吾<sup>2</sup>, 熊本 篤志<sup>3</sup>, 栗原 純一<sup>4</sup>, 関 華奈子<sup>5</sup>, 田口 真<sup>6</sup>, 寺田 直樹<sup>7</sup>, Futaana Yoshifumi<sup>8</sup>, 八木谷 聡<sup>9</sup>, 山崎 敦<sup>1</sup>, 横田 勝一郎<sup>1</sup>, 尾川 順子<sup>10</sup>, MELOS 火星大気散逸観測オービター検討グループ<sup>1</sup>  
Ayako Matsuoka<sup>1\*</sup>, Takumi Abe<sup>1</sup>, Keigo Ishisaka<sup>2</sup>, Atsushi Kumamoto<sup>3</sup>, Junichi Kurihara<sup>4</sup>, Kanako Seki<sup>5</sup>, Makoto Taguchi<sup>6</sup>, Naoki Terada<sup>7</sup>, Yoshifumi Futaana<sup>8</sup>, Satoshi Yagitani<sup>9</sup>, Atsushi Yamazaki<sup>1</sup>, Shoichiro Yokota<sup>1</sup>, Naoko Ogawa<sup>10</sup>, MELOS Martian Atmospheric Escape Study Group<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> 富山県立大学工学部, <sup>3</sup> 東北大学理学部惑星プラズマ大気研究センタ, <sup>4</sup> 北海道大学理学部, <sup>5</sup> 名古屋大学 STE 研, <sup>6</sup> 立教大学理学部, <sup>7</sup> 東北大学理学部地物, <sup>8</sup> IRF スウェーデン, <sup>9</sup> 金沢大学工学部, <sup>10</sup> 宇宙航空研究開発機構月惑星探査センター

<sup>1</sup> ISAS/JAXA, <sup>2</sup> Toyama Pref. Univ., <sup>3</sup> Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku, <sup>4</sup> CosmoSciences, Hokkaido Univ., <sup>5</sup> STEL, Nagoya Univ., <sup>6</sup> Rikkyo Univ., <sup>7</sup> Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku, <sup>8</sup> IRF, Sweden, <sup>9</sup> Kanazawa Univ., <sup>10</sup> JSPEC/JAXA

火星の大気の変遷には、太陽風との相互作用が大きく影響したと考えられているが、今現在の火星においてさえ、大気と太陽風との相互作用の物理プロセスは明らかになっていない。

地球と異なり、現在の火星は惑星固有の磁場を持たない。その結果、太陽風は低い高度にまで達し、火星の大気と直接相互作用して、火星大気の一部は散逸される。この過程は、長い間には火星大気の組成を変化させるまでの作用を及ぼし、火星大気や、ひいては地上・地下の二酸化炭素（ドライアイス）や水・氷の変遷に大きく影響した可能性があると考えられている。大気散逸の様子は、太陽活動や太陽との距離によって影響を受けるため、大気の長期的な変遷を考えるためには、様々な太陽の状態について相互作用の働きを知らなければならない。

現在、次期火星探査ワーキンググループによって検討されている火星探査プロジェクトは、火星に関する多角的な科学的視点からサイエンス目標が検討されている。このうち我々のグループは、大気散逸に焦点を当て、2つのオービターによって散逸の全体像とプロセスを同時に観測することを計画している。1つのオービター（大気散逸その場観測衛星）によって、大気散逸が起きているその場のプラズマや中性粒子の観測を観測を行い、もう1つのオービター（リモート観測衛星）によって、散逸する大気等から発せられる光をリモートで撮像し、また同時に太陽風をモニターするというものである。大気散逸の物理プロセス、グローバルな全体像、物理プロセスを決める太陽風のモニターを同時に行うことは、複数衛星によって初めて可能となる、真に大気散逸の全容解明に迫る観測である。

現在我々は、2024年頃の太陽活動極大期における火星観測を行う大気散逸観測オービターの実現に向けて、サイエンス・観測機器・衛星の検討を行っている。まず海外の類似ミッションに対する優位性や差別化を意識しながら、サイエンス目標の定量的・具体的な策定を行う。更に、現在の機器技術でサイエンス目標を達成できるのか、どのような技術開発が必要なのか、今後の開発計画を明らかにする。更に、この計画を実現させるための衛星構成や、軌道計画を検討する。

本講演では、これらの課題について検討を行った途中経過を報告する。

キーワード: 火星, 大気散逸, 惑星探査, 太陽風

Keywords: Mars, Atmospheric escape, Planetary exploration, Solar wind

PCG033-P11

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

## Mars Express 高速中性粒子データにおけるノイズ・シグナル成分の分類と特性解析 Classification and evaluation of noise and signal components in ENA data from Mars Express

中野 慎也<sup>1\*</sup>, 二穴 喜文<sup>2</sup>

Shin'ya Nakano<sup>1\*</sup>, Yoshifumi Futaana<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 統計数理研究所, <sup>2</sup> スウェーデン宇宙物理研究所

<sup>1</sup>The Institute of Statistical Mathematics, <sup>2</sup>Swedish Institute of Space Physics

火星探査機 Mars Express および金星探査機 Venus Express に搭載されている高速中性粒子センサ Neutral Particle Imager (以下 NPI) のノイズ特性, シグナル特性の解析を行った。NPI センサには 32 のチャンネルが付いており, それぞれが別の方向から到来する中性粒子を感知している。しかし, ある特定のチャンネルのデータのみ何らかのノイズが重畳し, そのチャンネルだけが異常な値を示すという場合がある。そこで本研究では, 32 チャンネルのうち 4 チャンネルのデータに対して混合ガウス分布モデルを当てはめ, 特定のチャンネルが異常値を示している場合とそうでない場合とを分類し, さらに異常値の見られるデータを幾つかのパターンに類型化した。次に, 探査機の姿勢や空間的な位置がどのような条件の場合に各パターンがノイズが顕れやすいかを調べ, 異常値の原因について考察し, また, どのような条件であれば科学的に意味のあるデータとして利用可能かを議論する。

キーワード: 火星, 高速中性粒子, ENA, 金星

Keywords: Mars, energetic neutral atom, ENA, Venus

PCG033-P12

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

## 非磁化惑星からの電離層起源のイオンの流出：火星と金星の比較 Heavy ion escape processes for non-magnetized planet: The comparison between Mars and Venus

久保田 康文<sup>1\*</sup>  
Yasubumi Kubota<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 宇宙研  
<sup>1</sup> ISAS/JAXA

火星、金星は磁気双極子モーメントが非常に小さく、全球的な固有磁場がほとんどない。そのため、太陽風は電離層と直接相互作用する。火星探査衛星 Mars Express のイオン観測によると、火星夜側  $1R_M$  高度で  $O^+$ ,  $O_2^+$ ,  $CO_2^+$  などの電離層起源と考えられる重イオンが観測される。一方、金星探査衛星 Venus Express の観測では  $O^+$  は観測されているが、 $O_2^+$ ,  $CO_2^+$  のような電離層下層で生成するようなイオンの観測は報告されていない。本研究では電離層を考慮した3次元 MHD シミュレーションを用いて、電離層から  $O^+$ ,  $O_2^+$ ,  $CO_2^+$  の流出過程について火星、金星の違いを調べるため、太陽風圧力を変化させて（平均的な太陽風圧力を1として0.1-10まで）流出過程、流出量を調べた。

その結果、火星では太陽風圧力が弱い場合 (0.1) は  $O_2^+$ ,  $CO_2^+$  は昼側電離層下層から吹き出し夜側に輸送されその一部が流出し流出量は  $O_2^+$  で  $3 \times 10^{23}/s$  である、また強い場合では (10)、太陽風磁場が電離層内に侵入し昼側電離層下層から  $O_2^+$ ,  $CO_2^+$  を磁気張力によって夜側に輸送し流出させ流出量は  $O_2^+$  で  $9 \times 10^{23}/s$  であることがわかった。一方、金星では太陽風圧力が弱い場合 (0.1) は、電離層上層で生成する  $O^+$  は吹き出す、電離層下層で生成する  $O_2^+$ ,  $CO_2^+$  は吹き出さず、そのため、 $O_2^+$ ,  $CO_2^+$  は夜側に輸送されずほとんど流出しない、流出量は  $O_2^+$  で  $10^{21}/s$  である。また太陽風圧力が強い場合 (10) では、火星と同様に太陽風磁場が電離層内に侵入し昼側電離層下層から  $O_2^+$ ,  $CO_2^+$  を磁気張力によって夜側に輸送し流出させることがわかった。流出量は  $O_2^+$  で  $5 \times 10^{23}/s$ 。火星と比較して、金星の電離層は吹き出す場合が多く（本研究の太陽風が弱い場合）そのため、 $O_2^+$ ,  $CO_2^+$  の流出が観測される場合が少ないと考えられる。一方、太陽風圧力が強い場合は火星と同程度  $O_2^+$ ,  $CO_2^+$  は流出するので、質量分解ができる観測を行えば、 $O_2^+$ ,  $CO_2^+$  が観測されると考えられる。

キーワード: 火星, 金星, 大気流出, シミュレーション  
Keywords: Mars, Venus, escape, simulation

## 太陽 X 線・紫外線強度の短時間変動に対する熱圏・電離圏の応答

### Response of the Martian thermosphere and ionosphere to short-term variations of the solar X-ray and EUV flux

市川 義則<sup>1\*</sup>, 藤原 均<sup>1</sup>, 笠羽 康正<sup>1</sup>, 寺田 直樹<sup>1</sup>, 寺田 香織<sup>1</sup>, 星野 直哉<sup>1</sup>

Yoshinori Ichikawa<sup>1\*</sup>, Hitoshi Fujiwara<sup>1</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>1</sup>, Naoki Terada<sup>1</sup>, Kaori Terada<sup>1</sup>, Naoya Hoshino<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科

<sup>1</sup> Tohoku University, Science

現在の太陽活動状態では、火星における大気散逸過程は熱圏・電離圏で生成される O<sub>2</sub><sup>+</sup>の解離再結合が主要なプロセスであると認識されており、それによって生成される非熱的酸素 (O\*) が外気圏でコロナを形成しつつ散逸していると考えられている。そのため、O\*の散逸量を正確に見積もるためには外気圏における O\*の空間分布だけでなく、熱圏・電離圏における O<sub>2</sub><sup>+</sup>の振舞いに対する理解も必要とされる。これまでに、太陽活動の極大期・極小期の変動や季節変動に対する熱圏・電離圏における温度、風速、組成比の変動が多くの研究で見積もられており、太陽フラックスの長時間変動による火星熱圏・電離圏の応答が O\*の散逸量を考える上で非常に重要な役割を持っていると認識されている [Valeille et al., 2009]。一方、近年の Mars Global Surveyor (MGS) の観測により、太陽フレアによって火星電離圏が激しく変動する様子が示された [Mendillo et al., 2006]。Mendillo et al. (2006) の研究では、太陽フレアによって 1.8-5nm の短波長域における X 線の急激な変動が指摘された。また、X 線の影響が最も大きいとされる高度 80-120km の下層電離圏における光電離率の増加に伴い、大規模な太陽フレア時において O<sub>2</sub><sup>+</sup>の生成率は太陽フレアの起きる前に比べて高度 110km で 2 倍ほど増加することが見積もられ、下層熱圏・電離圏における中性粒子やイオンの組成に影響を与えていると指摘されている。さらに、太陽風の急激な増加に伴って電離圏上層部からの O\*の散逸量が著しく増加することがモデル計算によって示された [Kaneda et al., 2009]。Kaneda et al. (2009) の研究では、異なったイオノポーズの変動の仕方により、イオノポーズ以下のイオンの組成が異なることが示唆されている。定常状態では太陽風動圧と O\*の散逸率が逆相関なのに対し、非定常状態ではそれらは正相関になることが示されており、太陽風の急激な増大によって、太陽活動の極大期・極小期のような長時間変動に対する応答とは大きく異なった O\*の振舞いがあることが指摘されている。これにより、太陽フレアなどによる太陽フラックスや太陽風動圧の短時間変動に対する熱圏・電離圏における中性粒子やイオンは、従来のモデルで示されている太陽活動の長期的変動においては見られなかった応答を示すため、太陽活動の短時間変動に対する熱圏・電離圏の温度、風速を含めた応答を定量的に見積もり、その変動がどの程度外気圏に影響を及ぼすのかを調べることは、O\*コロナの空間分布や散逸量の変動を正確に見積もる上で非常に重要である。

本研究は、火星熱圏・電離圏の大気大循環モデル (MTGCM) を開発し、太陽 X 線・紫外線強度の短時間変動に対する火星熱圏・電離圏の応答を調べることを目的とする。その第一段階として、過去に東北大学で開発された金星熱圏の大気大循環モデル (VGCM) から火星熱圏の大気大循環モデルを開発した。大気大循環モデルでは大気のダイナミクス、エネルギー収支、組成変化をそれぞれ運動方程式、エネルギー保存の式、連続式を解くことによって大気の構造が記述され、今回開発されたモデルでは高度 100-200km における火星超高層大気の流れ、温度、大気組成が先行研究 [Bougher et al., 1990] と同様に再現できている。本研究では、VGCM では考慮されていない 0.1-5nm の短波長域における光電離率を考慮することによって、太陽 X 線・紫外線強度の短時間変動に対する火星熱圏・電離圏における風速、温度、大気組成の応答を調べる。

キーワード: 火星, 熱圏, 電離圏, 大気大循環モデル, 太陽フレア

Keywords: Mars, Thermosphere, Ionosphere, General Circulation Model, Solar flares