

JUICEによる木星系科学探査：日本チームの参加 Scientific exploration of Jovian System by JUICE Mission: Participation of Japanese team

佐々木 晶^{1*}; 斎藤 義文²; JUICE JAPAN²
SASAKI, Sho^{1*}; SAITO, Yoshifumi²; JAPAN, Juice²

¹ 大阪大学理学研究科宇宙地球科学専攻, ² 宇宙科学研究所・宇宙航空研究開発機構

¹Dept. Earth and Space Science, Osaka University, ²ISAS/JAXA

The largest planet in the solar system, Jupiter, is a rapidly rotating hydrogen-helium gaseous body with strong magnetic field and associated magnetosphere. Recent discoveries of exoplanets suggest that Jupiter should represent a body not only in the solar system but also in the universe. Jupiter has various satellites: four large satellites, Io, Europa, Ganymede, and Callisto, were discovered by Galileo 400 years ago. Three of them except Io are icy moons.

The Jupiter system was observed by several flyby missions such as Pioneer 10 and 11, Voyager 1 and 2, Cassini, New Horizons and investigated by Galileo orbiter and its atmospheric entry probe. Galileo spacecraft data was very limited without capability of its high-gain antenna. So far we knew about Jovian system much less than the Saturnian System, where Cassini spacecraft has been continuously observing. JUNO mission will start observation of Jupiter in 2016. But since the main target of JUNO taking polar orbits is structure and composition of Jupiter, observation of satellites would be limited.

JUICE (Jupiter Icy Moon Explorer) is the ESA first Large-class mission of Cosmic Vision 2015-2025 program. The emergence of habitable worlds around gas giants, and the focus is to characterise the conditions of habitable environments among the Jovian icy satellites, with special emphasis on the Ganymede, Europa, and Callisto. JUICE will be launched in 2022, and will arrive at Jupiter in 2030. After several fly-bys to Europa and Callisto, JUICE will be inserted into an orbit around Ganymede in 2032 and will continue scientific observations for eight months until the end of nominal mission in 2033.

The discussion for the international collaboration for Jupiter mission between ESA and Japan (JAXA) started in 2006. Initially JAXA proposed a magnetospheric orbiter whereas ESA and NASA proposed Ganymede and Europa orbiters, respectively. After the selection of JUICE by ESA in May 2012, six Japanese groups were invited to participate in the mission as Co-Is with instrument development for model payloads. Finally through the selection process of instrument development teams, four of Japanese team partners were selected for the official JUICE instruments. These are GALA (Laser altimeter), SWI (Sub-millimeter wave instrument), PEP (Particle environment package), and RPWI (Radio & Plasma Wave Investigation). Moreover three Japanese scientists are invited to participate in the initial scientific analysis as Co-Is of JANUS (Optical cameras) and J-MAG (Magnetometer). And it is proposed that a longer Mast (for J-MAG) could be supplied from Japan.

キーワード: 木星系, 地下海, 生命存在領域, 氷衛星

Keywords: Jovian System, Subsurface Ocean, Habitable zone, Icy satellites

JUICE-GALA レーザ高度計 Development of JUICE/Ganymede Laser Altimeter (GALA)

並木 則行^{1*}; 塩谷 圭吾²; 小林 正規³; 木村 淳⁴; 荒木 博志¹; 野田 寛大¹; 鹿島 伸悟¹; 宇都宮 真⁵;
石橋 高³; 押上 祥子¹; 小林 進悟⁶; 藤井 雅之⁷; Hussmann Hauke⁸; Lingenauber Kay⁸;

Oberst Juergen⁸

NAMIKI, Noriyuki^{1*}; ENYA, Keigo²; KOBAYASHI, Masanori³; KIMURA, Jun⁴; ARAKI, Hiroshi¹;
NODA, Hiroto¹; KASHIMA, Shingo¹; UTSUNOMIYA, Shin⁵; ISHIBASHI, Ko³; OSHIGAMI, Shoko¹;
KOBAYASHI, Shingo⁶; FUJII, Masayuki⁷; HUSSMANN, Hauke⁸; LINGENAUER, Kay⁸; OBERST, Juergen⁸

¹ 国立天文台・RISE 月惑星探査検討室, ² 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所, ³ 千葉工業大学・惑星探査研究センター, ⁴ 東京工業大学・地球生命研究所, ⁵ 宇宙航空研究開発機構, ⁶ 放射線医学総合研究所, ⁷ (株) ファムサイエンス, ⁸ ドイツ航空宇宙研究所

¹RISE/NAOJ, ²JAXA/ISAS, ³Chiba Institute of Technology/PERC, ⁴Tokyo Institute of Technology/ELSI, ⁵JAXA, ⁶National Institute of Radiological Sciences, ⁷Famsience Inc., ⁸DLR Institute of Planetary Research

“地球以外に生命を宿す天体は存在するのか”という問いは、人類の知的好奇心の究極に位置する科学的命題である。木星系の大氷衛星であるガニメデやエウロパ、カリストでは、H₂O 主体の氷に覆われた表層の下に全球的な液体層、いわゆる“地下海”の存在が示唆されている。液体水の存在はすなわち生命生存の可能性に直結し、地球生物学の他天体への拡がりは「アストロバイオロジー」としてその重要性がこれまでも広く認識されている。しかし、地下海の存在は電磁気的観測や表面地形の解釈から導き出された“可能性”に過ぎない。ESA が主導する木星系探査計画 JUICE ではこの存否を確認することが最重要課題である。

JUICE の搭載機器であるレーザ高度計 GALA はレーザ光の往復飛行時間を測定することによって探査機と天体表面までの距離を測定する。探査機と天体重心の位置情報をもとに、測定距離から地形が求められる。これにより地形の平均場としての全球地形モデルが得られるのと同時に、木星からの潮汐力により生じる固体潮汐の振幅（地形の時間変化）の大きさを測定することで、地下海の存否が推定できる。また、地下海の存在によって引き起こされると予測される回転変動（秤動）も、レーザのフットプリント位置のずれとして条件さえ整えば観測可能であろう。さらに、クロスオーバー解析によって、高度計データは探査機の軌道改良にも役に立ち、その結果、天体の重力場係数、慣性能率比、潮汐ラブ数の精度向上につながり、内部構造が制約できる。

一方、レーザ高度計によって全球的に得られる地形情報は、氷衛星の構造変動履歴をうかがう窓となり、様々な地形の形態とその分布の把握を通して氷地殻構造と内部進化の理解に大きな寄与をもたらす。具体的には、過去に発生した伸張応力が作り出したと考えられる溝構造や、氷地殻が局所的に融解している、あるいは薄くなっている場所に存在すると予想される内部湖などを検出しその形態を解明することが期待できる。こうした情報は氷衛星が示す多様な地質活動（熱・物質輸送様式）の理解につながるだけでなく、氷という揮発性（低融点）物質主体のテクトニクス様式をケイ酸塩鉱物でのそれと対比することによって他の固体惑星の地質活動や地球のプレート・テクトニクスを再考察することにも寄与する。

太陽系固体惑星の主要構成成分は岩石と氷であり、固体惑星のサブカテゴリのひとつである地球型惑星は、雪線の内側で形成したために岩石主体となった。一方で木星系以遠に存在する固体天体は、主構成成分のひとつに氷を持っている。その中でもガニメデは岩石と氷をほぼ等量の割合で保持し水星以上のサイズを持っていることから、地球型惑星と並ぶ固体惑星のもうひとつのサブカテゴリというべき存在である。近年発見が続いている多様な太陽系外惑星の中で、ガニメデのように岩石と氷からなる天体は現在発見されてはいないが存在が十分に予想されることから、ガニメデの理解は重要である。

GALA は、ドイツ、スイス、スペイン、日本の国際共同チームにより開発される。基本設計は水星探査機 BepiColombo 搭載のレーザ高度計 BELA をベースにしており、トランシーバユニット (TRU)、制御 (制御・時間計測・インターフェース) ユニット (ELU)、レーザ電子回路ユニット (LEU) の3つのユニットで構成されている。このうち、日本チームは TRU の中の反射光受信部 (受信光学系および検出器) を担当する。検出器バックエンドのエレクトロニクスは、測距データ処理系を担当するスイスのベルン大学が担当する。また、レーザ発振・送信部と全体のインテグレーションは、PI である Hauke Hussmann の所属する DLR (ドイツ航空宇宙センター) が担当する。

GALA は現在は概念検討段階にあり、電気系、光学系については概念検討を終えて、構造設計と熱設計を進めている。2015年3月のプロジェクト準備審査後に概念設計を開始する予定である。受光望遠鏡は有効直径 300 mm の金属鏡で、主鏡と副鏡合わせた反射率は 0.85 以上、受光視野は 450 μrad を要求している。鏡材料はアルミを用い、金メッキを施す。後段光学系は屈折系と反射系のいずれかを熱解析結果をふまえて選択する。バンドパスフィルタは BELA の実績を元に、Nd-YAG レーザの波長 1064 nm を中心に 8 nm の幅を持ち、透過率 0.8 以上、400~1200 nm の阻止率は OD 0.4 以上が求められている。検出器は「はやぶさ」シリーズや「かぐや」で実績のある Si-APD を採用する。プリアンプ、TE

PPS01-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 18:15-19:30

クーラー, 温度センサを内蔵した HIC (Hybrid IC) としてパッケージ化することが可能である.

キーワード: ガニメデ, 氷衛星, 惑星探査, レーザ高度計

Keywords: Ganymede, Icy satellite, Planetary exploration, Laser altimeter

JUICE-GALA : Focal Plane Assembly と Analog Electronics Module の検討 JUICE-GALA : Concept of Focal Plane Assembly and Analog Electronics Module

小林 正規^{1*}; 石橋 高¹; 塩谷 圭吾²; 宇都宮 真²; 並木 則行³; 野田 寛大³; 押上 祥子³; 鹿島 伸悟³;
荒木 博志³; 木村 淳⁴; 小林 進悟⁵; 藤井 雅之⁶; Hussmann Hauke⁷; Lingenauber Kay⁷;
Oberst Jurgen⁷

KOBAYASHI, Masanori^{1*}; ISHIBASHI, Ko¹; ENYA, Keigo²; UTSUNOMIYA, Shin²; NAMIKI, Noriyuki³;
NODA, Hiroto³; OSHIGAMI, Shoko³; KASHIMA, Shingo³; ARAKI, Hiroshi³; KIMURA, Jun⁴;
KOBAYASHI, Shingo⁵; FUJII, Masayuki⁶; HUSSMANN, Hauke⁷; LINGENAUER, Kay⁷; OBERST, Jurgen⁷

¹ 千葉工業大学惑星探査研究センター, ² 宇宙航空開発機構宇宙科学研究所, ³ 国立天文台 RISE 月惑星探査検討室, ⁴ 東京工業大学地球生命研究所, ⁵ 独立行政法人 放射線医学総合研究所, ⁶ FAMサイエンス, ⁷ ドイツ航空宇宙センター

¹ Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology, ² ISAS, JAXA, ³ RISE Project, National Astronomical Observatory of Japan, ⁴ Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology, ⁵ National Institute of Radiological Sciences, ⁶ FAM Science Co., Ltd., ⁷ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

2022年打ち上げ予定のESA木星探査計画(JUICE; JUperiter ICy moons Exploler)でレーザ高度計(GALA, Ganymede Laser Altimeter)の搭載が予定されている。GALAはドイツ、日本、スイス、スペインの4国で共同開発され、日本チームはレーザ反射光受信望遠鏡、バックエンド光学系(BEO)、APDセンサモジュールが収められる焦点面アセンブリ(FPA)およびアナログの電子モジュール(AEM)の開発を担当している。

GALAの受光系では、観測対象の固体表面からの反射パルス信号を受信望遠鏡で集光して、続くBEOに導入する。BEOは反射光をAPDセンサの表面に焦点を合わせるように設計される。GALAで使用するAPDは、宇宙搭載のレーザ高度計で多くの経験を持っているExcelitas Technologies社の製品を採用した。

採用するAPDモジュールは、APD、プリアンプ(トランスインピーダンスアンプ、TIA)、温度センサ、ペルチエ素子を含むハイブリッドICで構成されている。TIAの出力信号の帯域は120MHzとする。このAPDセンサは1060nmで約40%まで高められた量子効率を持っていて、1064nmのYAGレーザを利用する装置には有利な仕様となっている。FPAには二重冗長になっている光ファイバが、レーザヘッドモジュール(LHM)で発生するレーザパルスの一部をAPDセンサに導入するように、FPAに取り付けられる。APDモジュールによるTIAは入力光パルスに対応する電圧信号はAEMに送られる。導入されたレーザパルスから容認されたりターンパルスまでの波形がアナログ・デジタル変換(ADC)回路によってデジタルデータに変換され、デジタルサンプリングされた波形信号は距離測定モジュール(RFM)に送信される。RFMでは、「整合フィルタ matched filter」によってS/N比を最適化し、送信および受信パルスのタイミングの検出および受信パルスの幅、波高値を測定することで、正確な距離測定をしたり、送信パルスが反射した地形を調べたりすることができる。

本講演では、JUICE-GALAのFPAおよびAEMの開発状況について報告する。

キーワード: JUICE, GALA, レーザ高度計, APD, ガニメデ, アナログ回路

Keywords: JUICE, GALA, Laser altimeter, APD, Ganymede, analogue signal processing circuit

JUICE-GALA : 受信望遠鏡の光学設計 JUICE-GALA : Design of receiver telescope and related optics

鹿島 伸悟¹; 荒木 博志^{1*}; 塩谷 圭吾²; 宇都宮 真²; 並木 則行¹; 野田 寛大¹; 押上 祥子¹; 木村 淳³; 小林 正規⁴; 石橋 高⁴; 小林 進悟⁵; 藤井 雅之⁶; Hussmann Hauke⁷; Lingnauber Kay⁷; Oberst Jurgen⁷ KASHIMA, Shingo¹; ARAKI, Hiroshi^{1*}; ENYA, Keigo²; UTSUNOMIYA, Shin²; NAMIKI, Noriyuki¹; NODA, Hiroto¹; OSHIGAMI, Shoko¹; KIMURA, Jun³; KOBAYASHI, Masanori⁴; ISHIBASHI, Kou⁴; KOBAYASHI, Shingo⁵; FUJII, Masayuki⁶; HUSSMANN, Hauke⁷; LINGENAUER, Kay⁷; OBERST, Jurgen⁷

¹ 国立天文台, ² 宇宙航空研究開発機構, ³ 東京工業大学 地球生命研究所, ⁴ 千葉工業大学 惑星探査研究センター, ⁵ 放射線医学総合研究所, ⁶ (株) ファムサイエンス, ⁷ DLR, ドイツ宇宙航空センター

¹National Astronomical observatory of Japan, ²Japan Aerospace Exploration Agency, ³Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology, ⁴Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology, ⁵National Institute of Radiological Sciences, ⁶Fam Science Co., LTD., ⁷DLR, German Aerospace Center

2022年打ち上げ予定のESA木星探査計画(JUICE; JUpiter ICy moons Exploler)でレーザ高度計(GALA, GAnymede Laser Altimeter)の搭載が予定されている。GALAはドイツ、日本、スイス、スペインの4国で共同開発され、日本チームはレーザ反射光受信望遠鏡、バックエンド光学系(BEO)、APD検出器、アナログエレキ部の開発を担当している。

受信望遠鏡は口径250mm~300mmのカセグレン型(反射式)で、集光した光束はBEOを通してAPD受光面に導かれる。受光視野は450 μ rad. で出射レーザの広がり角100 μ rad. をカバーしつつAPDに対するノイズの影響を小さくする。この仕様に対し口径300mm、主鏡-副鏡間隔が160mm以下のモデルを設計した。同時にBEOについて平面ミラー1枚と屈折レンズ2枚を用いる方式と曲面ミラー2枚を用いる方式も設計し、いずれも成り立つことを確認した。またBEO中の狭帯域フィルター(1064nmを中心に帯域8nm)もメーカー供給可能との見通しを得ている。望遠鏡の主鏡、副鏡、支持機構はアルミ素材を用いてアサーマル構造とし、鏡面には金蒸着を施す予定である。2015年度中に金蒸着アルミ材、フィルター等の熱真空・放射線の耐性試験を予定している。またレーザ送信光学系(ドイツ側担当)と受信望遠鏡(日本側担当)の光軸合わせの方法確立も重要課題である。

GALA受信光学系は光学系だけの検討では決まらず、現在進行中の重量リソース調整及び熱、構造設計の結果に依存するところも大きい。本講演ではGALA受信光学系について最新の検討・開発状況を報告する。

キーワード: JUICE, GALA, 望遠鏡, バックエンド光学系, ガニメデ, アサーマル

Keywords: JUICE, GALA, telescope, BEO, Ganymede, athermal

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

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

笠羽 康正^{1*}; 三澤 浩昭¹; 土屋 史紀¹; 笠原 禎也²; 井町 智彦²; 木村 智樹³; 加藤 雄人¹;
熊本 篤志¹; 小嶋 浩嗣⁴; 八木谷 聡²; 石坂 圭吾⁵; 三好 由純⁶; RPWI-Japan team¹
KASABA, Yasumasa^{1*}; MISAWA, Hiroaki¹; TSUCHIYA, Fuminori¹; KASAHARA, Yoshiya²; IMACHI, Tomohiko²;
KIMURA, Tomoki³; KATO, Yuto¹; KUMAMOTO, Atsushi¹; KOJIMA, Hirotsugu⁴; YAGITANI, Satoshi²;
ISHISAKA, Keigo⁵; MIYOSHI, Yoshizumi⁶; RPWI-JAPAN, Team¹

¹ 東北大・理, ² 金沢大, ³ JAXA 宇宙研, ⁴ 京都大 生存圏研, ⁵ 富山県大, ⁶ 名古屋大 STE 研

¹Tohoku Univ., ²Univ. Kanazawa, ³ISAS/JAXA, ⁴RISH, Kyoto Univ., ⁵Toyama Pref. Univ., ⁶STEL, Nagoya Univ.

We present the current status of Radio & Plasma Waves Investigation (RPWI) [PI: J.-E. Wahlund (IRF-Uppsala, Sweden)] on the ESA JUICE mission to Jupiter (launch: 2022). RPWI consists of a highly integrated instrument package that provides a whole set of Langmuir probe and electromagnetic wave measurements, and will study the electro-dynamics of the Jovian magnetosphere and the affected exospheres, surfaces, and conducting subsurface oceans of Ganymede, Europa and Callisto.

RPWI first focuses on cold plasma around Jupiter and its satellites by 4-axis Langmuir probe combined with 3-axis search coil sensor, for the understanding of how the momentum and energy transfer occurs through electro-dynamic and electromagnetic coupling in Jovian environments with icy moons. Exhaust plumes from cracks on icy moons will also be studied, as well as micron sized dust and related dust-plasma surface interaction processes.

RPWI also first provides the spatially resolved information of radio sources in auroral regions of Ganymede and Jupiter and possibly lightning activity of Jovian clouds, by the first 3-axis measurement in radio frequency. As a byproduct, reflected Jovian emission can be expected from the boundary of crust (ice) and subsurface ocean (conductive water), which could be observed as the Lunar surface reflection in terrestrial auroral kilometric radiation seen by Kaguya Lunar Radar Sounder.

For these objectives, RPWI sensors consist of 4 Langmuir probes (LP-PWI) for determination of the vector electric field up to 1.6 MHz and cold plasma properties (including active measurements by LP sweeps and mutual impedance sounding) up to 1.6 MHz, a tri-axial search coil magnetometer (SCM) for determination of the vector magnetic field up to 20 kHz, and a tri-dipole antenna system (RWI) for monitoring of radio emissions (80 kHz - 45 MHz). From Japan, we will provide the RWI preamp and its High Frequency receiver with the onboard software, modifying from the BepiColombo PWI and ERG PWE developments. We will also provide Software Wave-Particle Interaction Analyzer (SWPIA) function to RPWI DPU, for the onboard quantitative detection of electromagnetic field - ion interactions, modifying from the ERG SWPIA developments.

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

JUICE-SWI サブミリ波分光計 JUICE-SWI Submillimeter-wave instrument

笠井 康子^{1*}; 関根 康人²; 黒田 剛史³; 佐川 英夫⁴; 真鍋 武嗣⁶; 西堀 俊幸⁵
KASAI, Yasuko^{1*}; SEKINE, Yasuhito²; KURODA, Takeshi³; SAGAWA, Hideo⁴; MANABE, Takeshi⁶; NISHIBORI, Toshiyuki⁵

¹ 情報通信研究機構, ² 東京大学, ³ 東北大学, ⁴ 京都産業大学, ⁵ 宇宙航空研究開発機構, ⁶ 大阪府立大学
¹NICT, ²University of Tokyo, ³Tohoku University, ⁴Kyoto Sangyo University, ⁵JAXA, ⁶Osaka Prefecture University

In the JUICE mission, we are developing the Submillimetre Wave Instrument(SWI) which is a spectrometer with two frequency bands in 600 GHz and 1.2 THz region to observe submillimeter-wave emission from molecular species in atmosphere such as CH₄, H₂O, 17-O, 18-O, D/H ratio, CS, HCN and CO, as well as surface emission of satellites and the planet. Japanese contribution is the main- and sub- reflector of the antenna, and motors.

The chemical and isotopic compositions of volatiles on geologically non-active Callisto may preserve information of the composition of icy planetesimals formed in the Jupiter-forming region. Based on the observations of Callisto's atmosphere, the SWI Japan will try to constrain dynamics and chemistry of both the outer solar nebula and circum-Jovian subnebula, using their chemical model of protoplanetary disks and N-body simulations.

Also, the compositions of the atmospheres (and plumes) of Europa and Ganymede would provide information on particular geochemical processes in their subsurface oceans. Using results of the observations, the SWI Japan team will be able to investigate the availability of biogenic elements, conditions of geochemical reactions, and habitability, based on their high-pressure hydrothermal experiments and chemical models of subsurface oceans.

キーワード: SWI, Submillimeter-wave, Oxygen isotope
Keywords: Oxygen isotope, Submillimeter-wave, SWI

ギャップはガス惑星の成長を止められるのか？ Can gap suppress gas capturing growth of giant planets?

谷川 享行^{1*}; 田中 秀和²
TANIGAWA, Takayuki^{1*}; TANAKA, Hidekazu²

¹ 産業医科大学医学部, ² 北海道大学低温科学研究所

¹University of Occupational and Environmental Health, ²Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

We study the final masses of giant planets growing in a protoplanetary disk by using a toy model, which employs simulation-based two empirical formulae for gap depth and accretion rate of area of protoplanetary disks. This model enables us to calculate time evolution of mass of giant planets. We find that gap opening is not effective to suppress gas capturing growth of giant planets: a Jupiter-mass planet is easily formed in a disk with small viscosity (α is 10^{-3}) and a small disk surface density ($\sim 1/10$ of the minimum mass solar nebula model). Hot jupiters, which are thought to be formed outer region and then move inward by type II migration, could be formed in-situ (at 0.1 AU for example).

Keywords: gap, protoplanetary disk, giant planet

氷衛星表層地形における応力の起源 Origins of stresses in the lithosphere of icy satellites

依田 優大^{1*}; 木村 淳²; 栗田 敬¹
YODA, Masahiro^{1*}; KIMURA, Jun²; KURITA, Kei¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 東京工業大学地球生命研究所

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ²Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology

Surface geological features on the Moon, terrestrial planets and icy satellites reflect past interior activity which effects surface stress.

Most geologic features on icy satellites suggest a possibility that the surface have fractured and extended due to tensional stress. In case of large icy satellites such as Europa and Ganymede, it also well-recognized that the surface stresses were directly generated from the past interior activity. On these surfaces, elastic lithosphere is divided from asthenosphere due to the large viscosity contrast between the base of icy shell and the surface. Therefore we assume that surface features have been formed by the stress of elastic lithosphere that directly affected by the current and past interior activity.

We will discuss origins of stresses of elastic lithosphere of icy satellites. On surfaces of Europa and Ganymede, we can see many extensional features, stripes, bands and ridges, which have been interpreted as a sign of past interior activity, especially global volume expansion (Greenberg *et al.*, 1998). In previous studies, various origins of such extensional features have been suggested.

In case of Europa, stress associated with icy convection (McKinnon (1998)) and tidal deformation (Greenberg *et al.*, 1998) discussed but the resultant of amplitude of surface stress is too small to create the observed extensional features. Therefore we thus focus on global expansion as important source of surface feature. The growth of the surface Ice-I layer is proposed for the expansion quantitatively (Kimura *et al.*, 2007). Hillier and Squyres (1991) discussed thermal stress on small satellites of Saturn and Uranus including contribution of the phase transition of water ice, and they suggested that thermal stress is another source of surface features. Although they included an effect of temperature change due to phase transition, they neglected a contribution of volume change due to the phase transition and thermal history. Kimura *et al.* (2007) discussed surface stress on surface of Europa, and they considered stress due to temperature change and volume change of phase transition. Furthermore they also simulated interior thermal history coupling with stress calculation. Surface stress due to temperature change associated with the temperature evolution in the lithosphere and the stress raised by the excess pressure in the asthenosphere are coupled. Therefore this method is consistent with the physical process of phase transition.

In the case of Ganymede though the amount of the expansion seems significant the origin is still enigmatic. Therefore in this report we try to formulate a kind of Stefan problem which takes into account of the self-consistent adaptation of pressure build-up by phase change of Ganymede. We consider the heat transfer in the lithosphere by temperature-dependent rheology in the scheme of MLT (Kimura *et al.*, 2009) and the elastic lithosphere which accumulate stress is estimated by estimated the thermal history of Ganymede.

References

Greenberg, R., P. Geissler, G. V. Hoppa, B. R. Tufts, D. D. Durda, R. Papalardo, J. W. Head, R. Greeley, R. Sullivan, and M. H. Carr, Tectonic processes on Europa, Tidal stresses, mechanical response, and visible features, *Icarus*, 135, 64-78, 1998.

McKinnon, W. B., Geodynamics of icy satellites, in *Solar System Ices*, edited by B. Schmitt *et al.*, pp. 525-550, Kluwer Academic Press, Dordrecht, 1998.

Hiller, J. and S. W. Squyres, Thermal stress tectonics on the satellites of Saturn and Uranus, *J. Geophys. Res.*, 96, 15665-15674, 1991.

J. Kimura, Y. Yamagishi, and K. Kurita, Tectonic history of Europa: Coupling between internal evolution and surface stresses, *Earth, Planets and Space*, Volume 59, pp. 113-125, 2007.

J. Kimura, T. Nakagawa, K. Kurita, Size and compositional constraints of Ganymede's metallic core for driving an active dynamo. *Icarus* 202, 216-224, 2009.

PPS01-P08

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 18:15-19:30

キーワード: 氷衛星, 混合距離理論, 熱応力, 相変化, 表層地形

Keywords: Icy Satellites, The Mixing Length Theory, The Thermal Stress, Phase Transition, surface feature

SUBARU/IRCS 観測による木星赤外オーロラの水平・鉛直構造 Horizontal and vertical structures of Jovian IR aurora emission observed by SUBARU / IRCS

藤澤 翔太^{1*}; 笠羽 康正¹; 坂野井 健²; 埜 千尋³; 北 元²; 鍵谷 将人²

FUJISAWA, Shota^{1*}; KASABA, Yasumasa¹; SAKANOI, Takeshi²; TAO, Chihiro³; KITA, Hajime²;

KAGITANI, Masato²

¹ 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻, 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 Research Institute in Astrophysics and Planetology

¹ Dep. Geophysics Graduate School of Science Tohoku University, ² Planetary Plasma and Atmospheric Research Center,

³ Research Institute in Astrophysics and Planetology

2014年2月・2015年1月に行ったSUBARU 8.2m望遠鏡による木星赤外オーロラの水平・鉛直構造観測の結果速報を行う。本観測では、Adaptive Optics (AO) を活用して170km程度の空間分解能を実現した。これにより、赤外オーロラの水平分布だけでなく鉛直分布(スケール高は200-400km程度)の解析も可能となった。この観測はHisaki/EXCEEDの1-3月の2015年木星観測キャンペーンに連動して行っている。

木星磁気圏では、高速自転により生成される電流系によって「磁気圏-電離圏-熱圏(MIT)結合システム」が形成されている。このシステムでは、熱圏での粒子間衝突を介して中性大気から電離大気へ自転角運動量が輸送され、さらにこれが沿磁力線電流を介して磁気圏へ運ばれ、磁気圏プラズマを駆動する。これにより供給された磁気圏活動のエネルギーは、極域電流・降下電子の形で電離圏・熱圏の中性大気-電離大気結合域へと戻ってくる。降下電子は木星上層大気と衝突し、紫外(UV)オーロラを光らせまた大気を加熱する。この加熱により、電離大気(H3+)・中性大気(H2)の熱励起発光が生成され、赤外オーロラとして観測される。このH3+とH2の水平発光強度分布が一致していない事が過去のK-band分光観測で報告されてきた[Raynaud et al., 2004; Uno, 2013]。これは、両者の発光高度の違い、H3+発光はより電子降込の影響が大きい高温・高高度、H2発光域は電離圏電流によるJoule加熱の影響が大きい低温・低高度との解釈であった。しかし、我々が2011年12月に行ったSUBARU赤外分光による初のAO観測では、北半球赤外線オーロラの鉛直発光分布において、H2は590-720km、H3+は680-900kmの高度に発光強度のピークを持ち、予想された明確な高度差は見られなかった[Uno et al., 2014]。

この追跡のため、2014年2月13-14日と2015年1月30-31日にSUBARU/IRCS(波長分解能約10,000)を用いた木星赤外オーロラ観測を行った。前者の観測ではAOを効かせ南半球の赤外線オーロラの水平・鉛直構造の取得を行い、後者の観測では南北両半球でAOを効かせた赤外線オーロラの水平・鉛直構造の取得を行った。Slit(5arcsec長)は、AOが有効な時間帯には水平・鉛直分布の導出を目的として木星limbに垂直(自転軸平行)に当て、AOが無効な時間帯(Galileo衛星が適切な場所でない時間帯)には、木星自転によるslit視野移動の影響を小さくすべくオーロラオーバル上で木星自転方向に平行にあてた。また、同時にH3+ Fundamental line ($v=1-0$)の空間分布をフィルターイメージで取得している。特に、後者のデータセットは好条件下で、L-band (3.2-4.0 μ m)においてH3+ Fundamental、K-band (2.0-2.4 μ m)においてH3+ Overtone ($v=2-0$)・Hot overtone ($v=3-1$)およびH2 (S1)の輝線をそれぞれ多数同時取得しており、相互の相対的空間分布・強度比とその時空間変動を初めて高精度で議論可能なものとなる。この観測の前後にはHisaki/EXCEEDが北半球UVオーロラの全発光量を観測しており、全発光量およびそこから演繹される降下電子の総量とエネルギー分布との比較も行う予定である。

現在2014年2月の南半球観測データの解析を行いUno et al., 2014と同様に(1)水平分布では、メインオーバル域においてH2の発光がH3+の発光よりもコントラストが弱いこと、(2)鉛直分布では、H2・H3+の発光高度ピークに大きな違いを見出せないことを追確認した。今後H3+、H2発光のline強度比から導出される電離・中性大気温度の水平・鉛直分布を比較し、この原因を探ろうとしている。

また、2015年1月の両半球に跨るデータセットでH3+のL-bandとK-bandの発光分布・強度比較を初めて行う。H3+分子は降下電子とH2分子との衝突で生成され、高エネルギーの電子ほどより低高度まで侵入できることから、その密度・発光強度は降下電子エネルギーの情報を含む。エネルギー準位のより高いK-band輝線はより高温の高高度域、エネルギー準位の低いL-band輝線は低温の低高度域に対応することが理論的に予測されるが、両者の準同時観測による発光・強度の比較は報告がない。本観測ではHisaki/EXCEEDからもたらされる平均的降下電子エネルギー分布情報を用いて、L・K-band間発光強度比と振込電子エネルギーとの対応を初検討する。

キーワード: 木星, オーロラ, 赤外線, 分光

Keywords: Jupiter, aurora, Infrared, spectroscopy

地上望遠鏡とひさき衛星とによるイオプラズマトーラスの協調観測
Coordinated observation of Io plasma torus using Hisaki/EXCEED and ground-based telescopes

鍵谷 将人^{1*}; 米田 瑞生¹
KAGITANI, Masato^{1*}; YONEDA, Mizuki¹

¹ 東北大学

¹Tohoku university

EXCEED is an EUV spectrograph onboard an earth-orbiting space telescope, SPRINT-A(Hisaki). One of the primal mission goal of Hisaki/EXCEED is to reveal radial transport of mass and energy in the Jovian magnetosphere. An intense campaign observations of Jovian aurora and Io plasma torus were made using Hisaki/EXCEED and ground-based telescopes from December 2014 through February 2015. We will present results from [SII] 671.6/673.1nm observation of Io plasma torus using a 60-cm telescope at the Haleakala observatory feeding to a monochromatic imager.

The monochromatic imager consists of a coronagraph and a narrow-band filter (FWHM=0.9nm). The coronagraph has an occulting mask and a Lyot stop to reduce contamination by diffraction from Jupiter. Field-of-view, 8 arc minutes, is wide enough to cover both sides of the plasma torus. A platescale and integration time are 1arcsecond/pixel and 20 minutes respectively. We could get 280 images from the observation during December 2014 through January 2015.

Based on a preliminary analysis of the Haleakala 60-cm, we have found variability of dawn-dusk shift of plasma torus which is believed to be related to dawn-dusk asymmetry in EUV brightness as well as sudden brightening of plasma torus. Latest result will be presented at the meeting.

ひさき衛星により観測された土星内部磁気圏中の中性酸素原子トーラス Observations of neutral oxygen torus in the inner magnetosphere of Saturn by Hisaki

田所 裕康^{1*}; 土屋 史紀²; 木村 智樹³; 埜 千尋⁴; 山崎 敦³; 村上 豪³; 吉岡 和夫³; 吉川 一朗⁵
TADOKORO, Hiroyasu^{1*}; TSUCHIYA, Fuminori²; KIMURA, Tomoki³; TAO, Chihiro⁴; YAMAZAKI, Atsushi³;
MURAKAMI, Go³; YOSHIOKA, Kazuo³; YOSHIKAWA, Ichiro⁵

¹ 東京工科大学, ² 東北大学, ³ ISAS/JAXA, ⁴ Research Institute in Astrophysics and Planetology, ⁵ 東京大学
¹ Tokyo University of Technology, ² Tohoku University, ³ ISAS/JAXA, ⁴ Research Institute in Astrophysics and Planetology,
⁵ Tokyo University

Water group neutrals in Saturn's inner magnetosphere play the dominant role in loss of energetic electrons and ions because of abundance of the neutral particles Enceladus [e.g., Paranicas et al., 2007; Sittler et al., 2008]. Understanding of the temporal and spatial distribution of the neutrals is required to understand the plasma-neutral dynamics in the inner magnetosphere of Saturn. Water molecules mainly originating from Enceladus lead to the productions of hydroxyl radicals and oxygen atoms through dissociation reactions. In this study, we focus on oxygen dynamics in the inner magnetosphere of Saturn. The atomic oxygen in the magnetosphere of Saturn was discovered by UVIS/Cassini [Esposito et al., 2005]. Melin et al., [2009] reported the spatial distribution of oxygen and the variation of the total number of oxygen with time scale of several days — several tens of days. In this study, we examine the time and spatial distributions of neutral oxygen in the inner magnetosphere of Saturn observed by Hisaki. The daily variation of oxygen is first detected by the EXCEED onboard Japanese Earth orbiting satellite Hisaki. We also show the daily variation of spatial distribution such as dawn-dusk distribution and Enceladus phase angle observed by Hisaki.

キーワード: ひさき衛星, 土星, 中性酸素, Enceladus 中性トーラス
Keywords: Hisaki, Saturn, neutral oxygen, Enceladus neutral torus