

## JUICE-GALA ガニメデレーザ高度計の目指すサイエンス

# 竝木 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 [6]; 押上 祥子 [7]; 小林 進悟 [8]; 藤井 雅之 [9]; Hussmann Hauke[10]; Lingenbauber Kay[10]; Oberst Juergen[11]  
[1] 国立天文台; [2] 宇宙研; [3] 千葉工大; [4] 東工大 ELSI; [5] JAXA; [6] 千葉工大; [7] 名大; [8] 放医研; [9] ファムサイエンス; [10] DLR; [11] DLR Institute of Planetary Research

### Scientific Objectives of JUICE/Ganymede Laser Altimeter (GALA)

# Noriyuki Namiki[1]; Keigo Enya[2]; Masanori Kobayashi[3]; Jun Kimura[4]; Hiroshi Araki[1]; Hirotomo Noda[1]; Shingo Kashima[1]; Shin Utsunomiya[5]; Ko Ishibashi[6]; Shoko Oshigami[7]; Shingo Kobayashi[8]; Masayuki Fujii[9]; Hauke Hussmann[10]; Kay Lingenbauber[10]; Juergen Oberst[11]

[1] NAOJ; [2] JAXA/ISAS; [3] Chiba Institute of Technology/PERC; [4] Tokyo Institute of Technology/ELSI; [5] JAXA; [6] Chitech/PERC; [7] Nogoya Univ.; [8] NIRS; [9] Famsience Inc.; [10] DLR Institute of Planetary Research; [11] DLR Institute of Planetary Research

<http://www.miz.nao.ac.jp/rise/>

'Is there a life elsewhere in the universe?' It is a fundamental question deeply rooted on intelligence of human beings. And a clue of this question may be found on Ganymede. After magnificent achievements of Galileo and Voyager missions, an existence of thick liquid water layer has been implied for three icy satellites of Jupiter, Ganymede, Europa, and Callisto. This layer is now understood as subsurface oceans under icy crust. The evidence of ocean, however, is not widely accepted, because it depends on an inference of electromagnetic observation and surface morphology. Looking for new evidences and clues for these important issues, a new mission to Jupiter system is planned by European Space Agency. It is the Jupiter Icy Moon Explorer (JUICE). 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 Ganymede Laser Altimeter (GALA) is one of the instruments selected for JUICE. A fundamental goal of any exploratory space mission is to characterize and measure the shape, topography, and rotation of the target bodies. A state of the art tool for this task is laser altimetry because it can provide absolute topographic height and position with respect to a body centered reference system. The GALA data are particularly important for confirming the global subsurface ocean and further characterization of the water-ice/liquid shell. If the ocean exists beneath icy crust, dynamic response of the ice shell to tidal forces is so large that temporal variation of the topography as great as several meters is expected. In addition, small eccentricity of orbit of Ganymede causes the forced physical librations and spin-axis obliquity that will be observed as lateral shifts of footprint of laser beam at the surface. Further, improved determination of spacecraft orbits by cross-over analysis contributes to precise estimate of low degree harmonics of gravity field. We thus aim to estimate accurate tidal Love numbers,  $h_2$  and  $k_2$ , to infer internal density structure of the satellite.

Global topographic data derived by GALA are also important for the study of tectonic history at the surface, elastic and viscous structure of ice crust, and thermal evolution of interior of the icy satellite. For example, linear structures such as ridges and grabens reveal extensional stresses in the past. Such stress variation is closely related with thermal history of Ganymede. As well, possible cryo-volcanic features may indicate partial melting of the crust and consequent subsurface lake. These observations on various geologic activities lead to new understanding of transport of heat and materials from the inside to the surface. Further, a comparison of styles of tectonics of ice crust and that of silicate lithosphere will likely shed a new light on theory of plate tectonics of the Earth.

GALA uses the 'direct-detection' (classical) approach of laser altimetry. Laser pulses are emitted at a wavelength of 1064 nm by using an actively Q-switched Nd:Yag laser. The pulse energy and pulse repetition frequency are 17 mJ at 30 Hz, respectively. The emission time of each pulse is measured by the detector. The beam is reflected from the surface and received at a 25 cm diameter F/1 telescope. The returning laser pulse is refocused onto a silicon avalanche photodiode (APD) through back-end optics including a narrow bandpass interference filter for isolating the 1064 nm wavelength. The APD-signal is then amplified, sampled and fed to a digital range finder. The minimum acceptable SNR is approx. 1.2. This system determines the time of flight, pulse intensity, width and full shape. The GALA instrument is developed in collaboration of institutes and industry from Germany, Japan, Switzerland and Spain.

“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。木星系の氷衛星であるガニメデやエウロパ、カリストでは、 $H_2O$  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「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氣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の主ターゲットであるガニメデは、地球型惑星に比肩するサイズであり、金属核起源の固有磁場を持っている。

氷衛星は地球型惑星と並ぶもうひとつの固体惑星の代表的な様式と言えるが、ガニメデに対してはこれまで数回のフライバイ探査にとどまっており、その知見は極めて限定的である。JUICEは史上初めての衛星周回探査によってガニメデの全容を把握する。期待される起源と進化の描像は太陽系内天体の多様性の起源を紐解く鍵となるだけでなく、太陽系内天体の認識に根ざした従来の概念を覆す多様な系外惑星の理解にも大きな寄与を果たす。

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。

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、地下海が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、慣性率比、潮汐ラプ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。

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。