

木星圏探査機 JUICE 搭載レーザ高度計 (GALA) の科学目標

木村 淳 [1]; 鎌田 俊一 [2]; 松本 晃治 [3]; 塩谷 圭吾 [4]; 竝木 則行 [3]; 小林 正規 [5]; 荒木 博志 [3]; 野田 寛大 [3]; 石橋 高 [6]; Hussmann Hauke [7]; Lingenbauber Kay [7]; Oberst Juergen [8]; JUICE レーザ高度計チーム 木村 淳 [9]
[1] 阪大・理・宇宙地球; [2] 北大・創成; [3] 国立天文台; [4] 宇宙研; [5] 千葉工大; [6] 千葉工大; [7] DLR; [8] DLR Institute of Planetary Research; [9] -

Science Objectives of the Ganymede Laser Altimeter (GALA) for the JUICE mission

Jun Kimura [1]; Shunichi Kamata [2]; Koji Matsumoto [3]; Keigo Enya [4]; Noriyuki Namiki [3]; Masanori Kobayashi [5]; Hiroshi Araki [3]; Hiroto Noda [3]; Ko Ishibashi [6]; Hauke Hussmann [7]; Kay Lingenbauber [7]; Juergen Oberst [8]; Jun Kimura JUICE/GALA Team [9]

[1] Earth & Space Science, Osaka Univ.; [2] Creative Res. Inst., Hokkaido Univ.; [3] NAOJ; [4] JAXA/ISAS; [5] Chiba Institute of Technology/PERC; [6] Chitech/PERC; [7] DLR Institute of Planetary Research; [8] DLR Institute of Planetary Research; [9] -

The Jupiter Icy Moons Explorer (JUICE), led by European Space Agency, has started development toward launch in 2022 (arrival at Jupiter in 2029, and Ganymede orbit insertion in 2032), and we are now developing the GALA instrument onboard JUICE spacecraft collaborating with German Aerospace Center (DLR) and other institutions in Europe. GALA will acquire the key information for understanding the evolution of Jovian icy moons and to play an essential role in the JUICE's purpose: exploration of deep habitat.

Jovian icy moon Ganymede, which is the largest moon in the Solar System and the primary target of the JUICE, can be said to be one of the typical solid bodies along with terrestrial planets in terms of its size and the intrinsic magnetic field originated from the metallic core. However, current knowledge provided by previous explorations is extremely limited since it comes from only several fly-bys. The JUICE will unveil the whole picture of Ganymede by the first orbiting in the history around extra-terrestrial moon. Expected new big picture of the origin and evolution of Ganymede will not only be a key to unveil the origin of diversity among the Solar System bodies, but also contribute to an understanding of exoplanets with a wide diversity.

The GALA will measure a distance between the spacecraft and the surface of icy moons and acquire the topography data (globally for Ganymede, and fly-by region for Europa and Callisto). It will be a first-ever laser altimetry for the icy object. Such information makes surface geologies clear and tremendously improves our understanding of the icy tectonics. By comparing their tectonic styles on the rocky planets/moons, GALA data leads to reconsider the Earth's plate tectonics. In addition, the GALA will confirm a presence/absence of the subsurface ocean by measuring tidal and rotational response, and the gravitational information reflecting the interior structure will be greatly improved. Furthermore, strength and wave-form of reflected laser pulse have an information about surface reflectance at the laser wavelength and small-scale roughness. Finally, we can see degrees of erosion and space weathering without being affected by illumination condition through GALA measurements.

In order to interpret and understand such measurements, accumulated studies for the Earth over the years will be effectively utilized: e.g., the data for surface topography, roughness and albedo will lead to describe the icy tectonics through the knowledge from terrestrial glaciology and experiments on impact and deformation process. The tidal measurements by GALA will also be a window to see its interior based on our knowledge and experiences cultivated through the past geodetic observations, e.g., the SELENE mission for the terrestrial Moon.

Characterization of the icy moons will be achieved not only from the GALA measurements but also synergy of other scientific instruments onboard JUICE spacecraft, for examples, surface images taken by optical camera (JANUS) will confirm the position of GALA laser footprint to complement the point data of GALA for precise topographic mapping. A radar sounder (RIME) and a radio science experiment (3GM) probe the interior structure, especially interior of the icy crust to figure out an occurrence of tectonic features. A visible and infrared imaging spectrometer (MAJIS), an ultraviolet imaging spectrograph (UVS) and a sub-millimeter wave instrument (SWI) will acquire a surface and atmosphere compositional data. A magnetometer (J-MAG) monitors moons' inductive response to the Jovian magnetic field and probes the subsurface ocean with the help of a particle environment package (PEP) and a radio and plasma wave investigation (RPWI). The GALA works closely together with these instruments and plays a leading and a supporting role to clarify the whole picture of Ganymede and other icy moons.

欧日の協同体制で準備が進められている木星氷衛星探査計画 JUICE (2022年打ち上げ, 2029年木星系到着, 2032年ガニメデ周回軌道投入)において, 我々はドイツ航空宇宙センター (DLR) などと協力してレーザ高度計 GALA の開発を進めている. GALA は, JUICE 探査機から標的の天体表面へとレーザを発射し, 表面で反射し探査機へ戻ってくるまでの時間を計ることで距離を測定 (レーザ測距) する. これによって, 天体表面の詳細で定量的な起伏の情報や, 天体全体の形状とその時間変化を測ることができる. こうした観測を通して, GALA は「JUICE が掲げる『生命居住可能領域の探査』の本質的役割を担い, 氷に支配された天体の進化の解明に不可欠な情報を史上初めて獲得する」ことを目指している.

JUICE の主ターゲットは, 木星系最大にして太陽系最大の衛星, ガニメデである. ガニメデは, 水星を超える惑星級のサイズ, 衛星唯一の金属核起源の固有磁場, 大規模なテクトニクス, そして地下海が存在可能性などを持つ点で, 氷天体が持ち得る多様な特徴を併せ持つ代表的な存在と言えるが, 過去の数回のフライバイ探査にとどまる知見は極めて

限定的である。JUICEは、史上初めての（地球の月以外の）衛星周回探査を行うことによってガニメデの全容を把握し、見出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。

GALAによる観測は、氷天体に対する世界初のレーザ測距となる。ガニメデでは周回軌道からの全球測定、エウロパおよびカリストではフライバイに伴う測定を行う。これにより、多様な地形形態とそれらの分布が把握でき、氷衛星の地質活動（氷テクトニクス）の理解が飛躍的に進展するだけでなく、その活動様式をケイ酸塩鉱物でのそれと対比することで、地球のプレート・テクトニクスの再考察にも繋がる。また、木星との潮汐応答（変形や回転変動）の測定を通して地下海の存否が判別できるほか、内部構造に関わる因子の精度が大きく向上する。さらに反射パルスの強度と形状は、レーザ波長での表面反射率や10 m規模の粗度を反映するため、表面の風化侵食の程度や組成の情報を、日射角などの観測条件に依存しないデータとして得ることができる。こうした観測と理解の過程には、地球における長年の研究の蓄積が活かされることは言うまでもない。例えばGALAが得る表面地形や粗度・アルベドのデータは、地球の極域や氷河に関する雪氷学や衝突・変形実験などによって得られた知見を通して氷テクトニクスの描像へと繋がる。また潮汐に関するデータは、地球や月（かぐや）、小惑星（はやぶさ1,2）を対象に長年培われた測地学を基盤として、氷衛星の内部を見通す窓となる。

GALAの観測が直接的にもたらす氷テクトニクス、表面組成、そして地下海など内部構造に関する情報は、他の搭載機器からも多角的な視点で考察を得ることができる。例えば、カメラ（JANUS）が得る画像データはGALAの計測位置を特定し、点の情報を面的な表面地質の理解へと繋げる最も重要な連携機器である。氷層を透過するレーダのRIMEや重力場測定を行う3GMは地質の産状や内部構造の把握に寄与し、可視・近赤外撮像分光計（MAJIS）や紫外撮像分光計（UVS）、サブミリ波観測器（SWI）は、様々な波長で表層の組成に関する情報を得る。磁力計（J-MAG）は木星磁場の変動に伴う衛星の電磁感応をモニターし、プラズマ環境観測パッケージ（PEP）や電波・プラズマ波動観測器（RPWI）による観測のサポートを得て地下海の規模や組成（電気伝導度）を制約する。このようにGALAが得る観測データは、他機器が取得するデータと密接に関係し合い、それらの科学目標の基盤あるいはサポート的役割を担う。