

みんなでふたたび木星へ、そして氷衛星へ その8 ～JUICE搭載ガニメデレーザ高度計GALA: 打ち上げ・軌道上初期チェックの報告～

塩谷 圭吾^{1,2}, 小林 正規³, 荒木 博志^{4,2}, 木村 淳⁵, 野田 寛大^{4,2}, 竝木 則行^{4,2},
押上 祥子¹, 東原 和行¹, 齋藤 義文¹, リンゲナウバー カイ⁶,
スターク アレクサンダー⁶, フスマン ハウケ⁶, GALAチーム

(要旨) ガニメデレーザ高度計GALAを搭載したJUICEの打ち上げが成功しました。南米仏領のギアナ宇宙センターより、アリアン5ロケットにて、2023年4月14日のことでした。

GALAは軌道上から氷天体表面を測距する科学観測機器です。GALAはその機能によって、氷衛星の鉛直方向の地形情報を取得し、また特にガニメデに対しては潮汐応答を測定することで、地下海等の内部構造の調査に臨みます。GALAは氷天体に適用される初めてのレーザ高度計です。また、レーザ高度計で潮汐変形等を直接測定して内部海の存否に迫る試みもGALAが世界初です。GALAの開発では、日本チームはGALAの中心部とも言える3つ(も)のハードウェアモジュールを開発しました。待望のGALAの軌道上初期チェックの結果は非常に良好で、安堵しました。本稿では打ち上げとGALAの軌道上初期チェック、および期待される実性能等について簡潔に報告します。

1. JUICE打ち上げ成功

1.1 打ち上げ: 仏領ギアナ宇宙センターにて

ガニメデレーザ高度計GALA* [1-3]を搭載した木星氷衛星探査機JUICE** [4-7]の打ち上げが成功しました(図1, 図2)。南米仏領にあるギアナ宇宙センターより、フライト番号VA260が与えられたアリアン5ロケットにて、当初の打ち上げ予定より1日遅れた2023年4月14日のことでした。

この打ち上げのため、我々(著者)のうち塩谷、小林、東原、齋藤が現地に出張しました。打ち上げの時を塩谷、小林、東原は射場から13 kmの距離にあるイビスビューポートで迎えました。宇宙研を代表しての出張という面もあった齋藤は、射場から距離5.1

kmのトーカンビューサイトにて、別行動でした。

前日、打ち上げができなかったのは天候条件のためでした。雨季のため、打ち上げが行われた当日の天候も見た目には前日と同様の曇天だったので、再度の延期になるかと心配されました。しかし打上げ延期のアナウンスはありません。射場付近を警戒するフランス空軍のヘリコプターが、2機編成で我々の上空を通過して行くことから、打ち上げが迫っていることを実感します。フランス語のカウントダウンが進行するにつれ、さらに緊張感が高まります。

そして点火、リフトオフ。時刻は現地時間午前9時14分。上昇を開始したロケットは、すぐに低層の雲に入って視認できなくなりました。大幅に遅れて来る音響。これほどの時間差の音響遅れを視覚聴覚ではっきり体感するのは稀なことで、音響が届いた時、本当に打ち上げがなされたことと、そのスケールを実感しました。打ち上げの約3分後にノーズフェアリング開、28分後に探査機分離のアナウンス。沸き起こる

1.宇宙航空研究開発機構

2.総合研究大学院大学

3.千葉工業大学

4.国立天文台

5.大阪大学

6.ドイツ航空宇宙センター
enya.keigo@jaxa.jp

* GAnymede Laser Altimeter

** JUperiter ICy moons Explorer

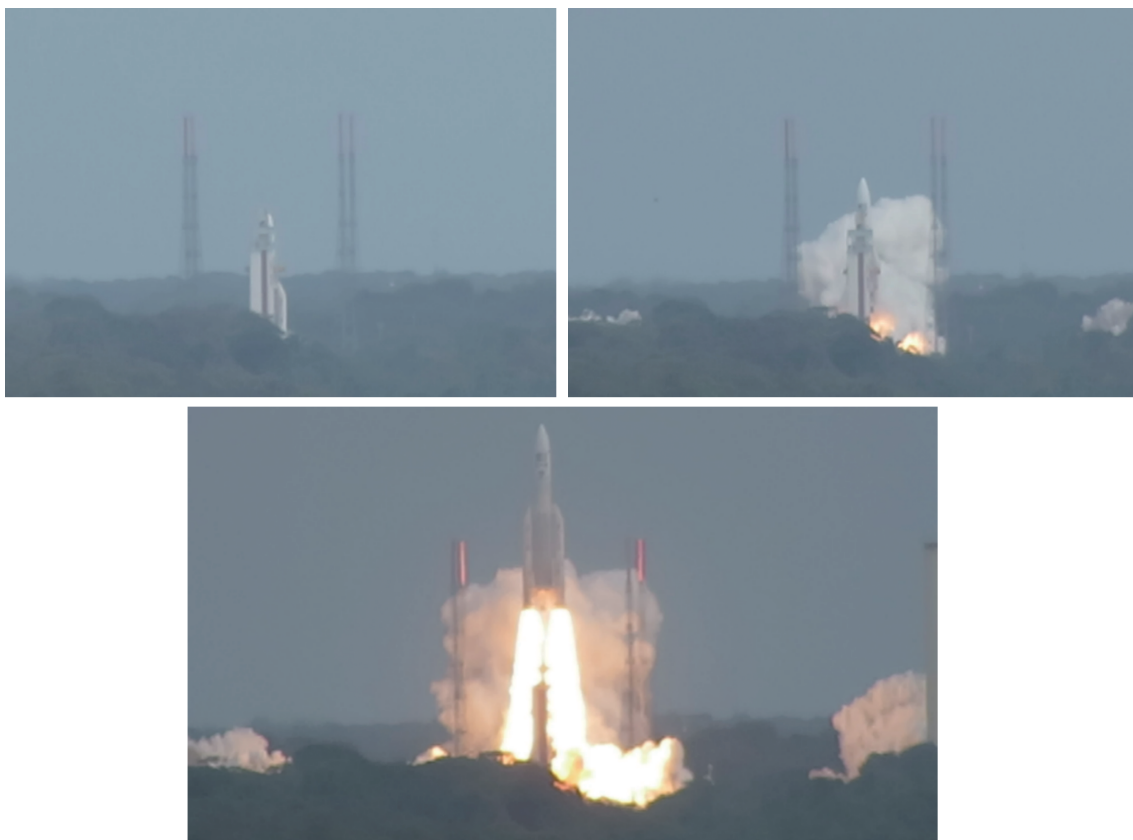


図1: JUICE打ち上げ(小林正規撮影の動画より)。2023年4月14日, ギアナ宇宙センターより, アリアン5ロケットにて。画像の時系列は左上, 右上, 下の順。射場より13 kmの距離にあるイビスビューポートより撮影。

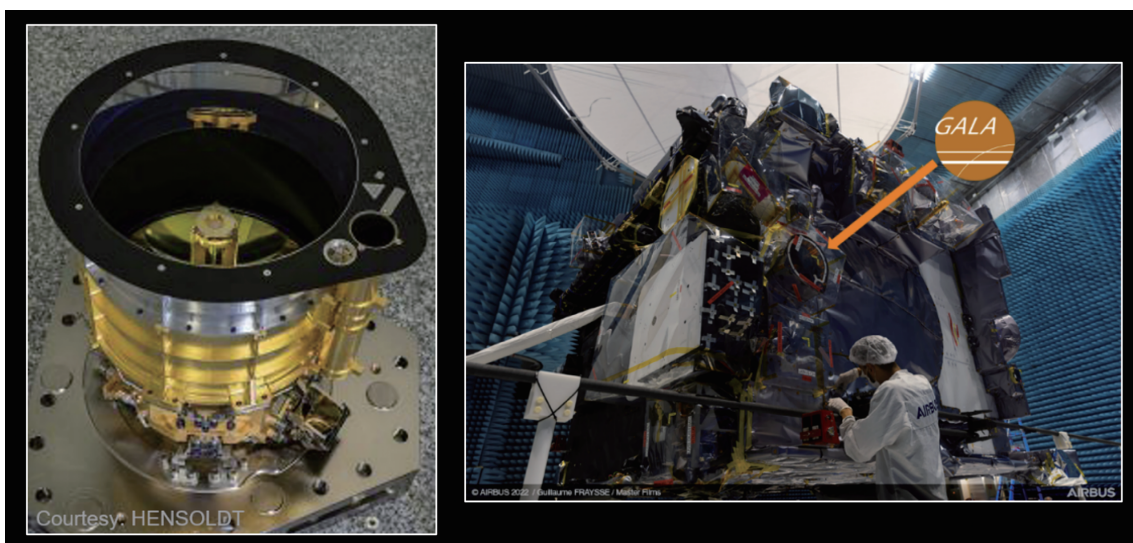


図2: (左) GALA光学系フライトモデル(クレジット: HENSOLDT)。 (右) GALAを搭載して試験中のJUICE(クレジット: AIRBUS)。

歓声。そして探査機は正常に軌道投入され、JUICEの打ち上げは成功しました。

1.2 JUICEの今後

JUICEは今後、多くのスイングバイを経た後、木星系に向かいます。具体的には2024年に月・地球スイングバイ、2025年に金星スイングバイ、2026年に2回目の地球スイングバイ、さらに2029年に最後の地球スイングバイを行います。木星軌道投入は2031年、そしてカリストとエウロパのフライバイ観測を行い、最終目的地であるガニメデ軌道に投入されるのは2034年の予定です。打ち上げ後の燃料の残量が良好なことから、ガニメデ周回高度500 kmでのノミナル観測に加えて、高度200 kmでの30日間の観測追加が現実になりつつあるのは朗報です。

2. GALAの概略

本節ではGALA及び日本チームの寄与(図3)について簡潔に述べます。GALA全体に関する詳細(装置・サイエンス・プロジェクト推進を含む)については、過去の遊星人記事および論文に記しましたので、それらをご参照ください[1-3]。

2.1 科学目標

GALAはJUICEに搭載された科学観測機器のひとつです。その科学目標として、我々は以下を掲げています[1-3,8-10]。

- (i) 地形情報にもとづく氷テクニクスの理解
- (ii) 潮汐応答の測定を通じた内部構造の理解
- (iii) 表面の小規模粗度と反射率の理解

潮汐応答の測定では、より具体的にはガニメデの表面変位や経度秤動の大きさ、およびそれらの位相ずれの測定を行います(図4)。そして内部海の存否や状態の制約を含む内部構造の理解に迫ります。

2.2 GALAの機能

GALAは軌道上から氷天体表面を測距するためのレーザ高度計です。測距は、GALA自身がレーザパルスを出して、天体表面で反射されて返ってきた

パルス(リターンパルス)を受信し、その往復にかかった時間を計測することで行います。GALAは単素子のレーザ高度計ですので、1ショットのレーザパルスによって測距できるのはパルスに照射された1領域(スポット)のみです。GALAはJUICEが軌道上を移動することによって測距スキャンを行います。レーザパルスの波長は1064.5 nm、照射頻度はノミナル30 Hz(そのほか 50 Hz モード有り)です。天体表面上での照射スポットサイズの設計値は50 m、ノミナルスポット間隔は50 mです(軌道高度500 km、照射頻度30 Hzを想定した場合)。

他方、GALAの中では、射出用に生成したレーザパルスのごく一部(スタートパルス)を、リターンパルスと共通のAvalanche PhotoDiode (APD)検出器およびそれ以降の信号処理系によって検出します。スタートパルスとリターンパルスの検出器および信号処理系を共通にすることは、両者の時間差を高精度で検出することに寄与しています。また、リターンパルスの時間的広がりや強度から、レーザ照射地点の表面粗さや反射率を推定することができます。

2.3 観測天体

GALAの科学観測の対象となる天体はカリスト、エウロパ、そしてガニメデです。これらのうちカリストとエウロパに対してはフライバイ観測のみ可能で、全球的な観測はできません。特にエウロパで予定されている2回のフライバイは、エウロパが同一の軌道位相にあるタイミングで行われるため、潮汐応答の検出ができません。

他方、ガニメデに対しては、周回軌道(ノミナル高度500 kmの極軌道)に入って繰り返しスキャン観測を行うことができます。そのためガニメデにおいては、前述の科学目標の全てに挑むことができます。

2.4 国際協力

GALAの開発はドイツ、日本、スイス、そしてスペインの4か国による国際協力によって遂行しました。PIであるドイツチームの拠点はドイツ航空宇宙センター(DLR)です。日本チームはGALAの中心部とも言える、以下の3つのハードウェアモジュールを開発しました(図3)。

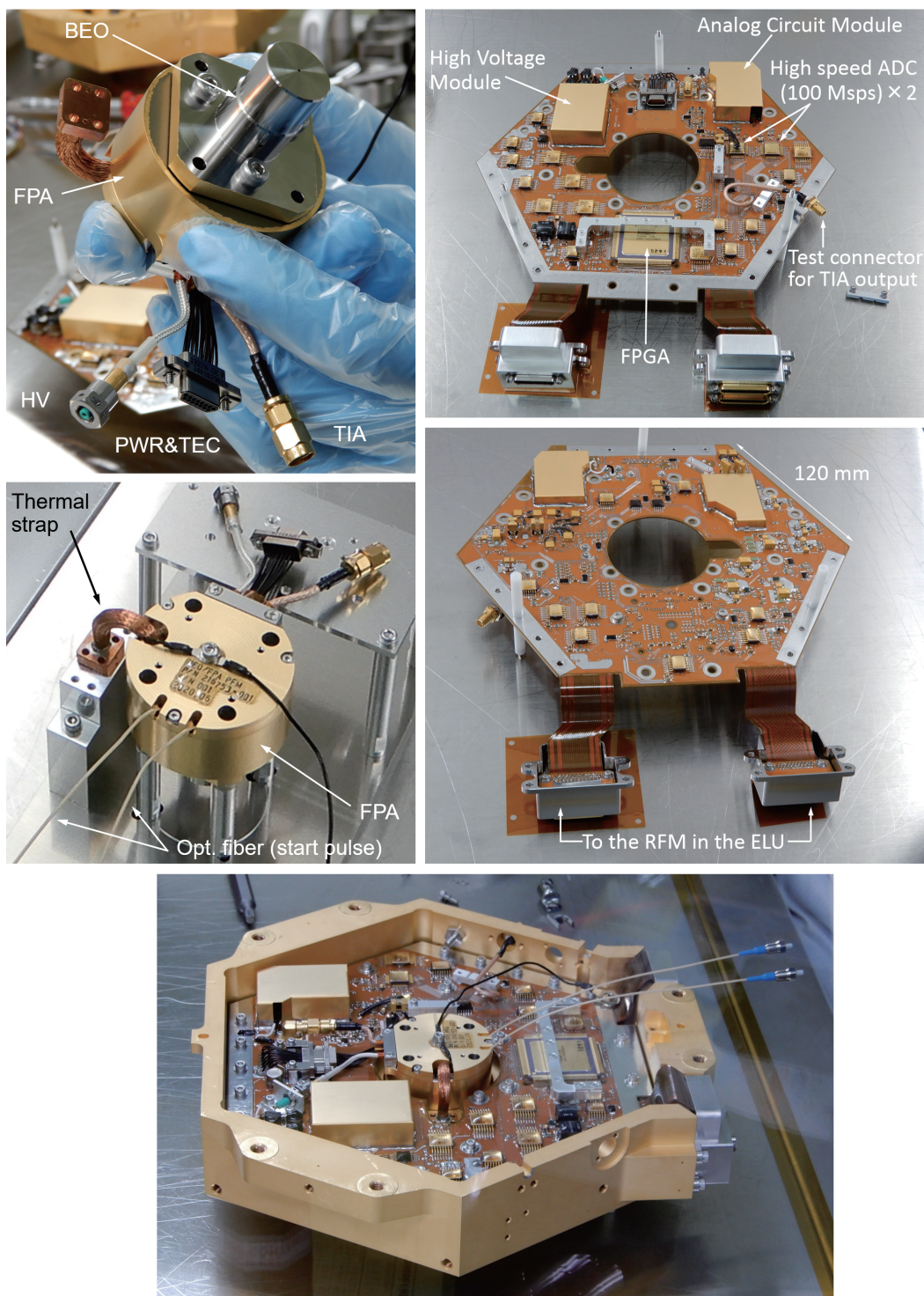


図3: GALA日本チームが開発したハードウェア(フライトモデル)[2]. 左上段および左中段: BEOとFPAを組み合わせた状態で、リターンパルス入射側およびその反対側から見た図. 右上段および右中段: AEMの両面. 下段: BEO, FPA, 及びAEMを組み合わせ、統合試験用の構造体にインストールした状態.

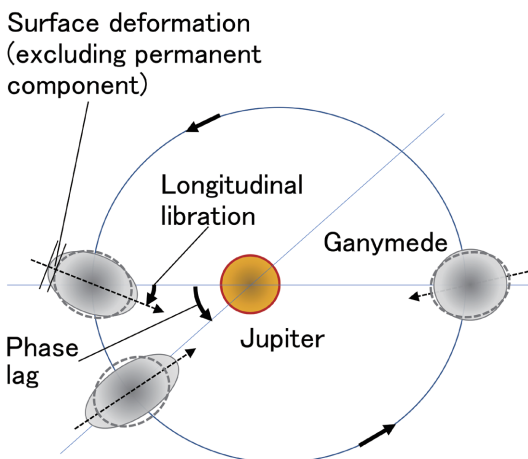


図4: 潮汐によるガニメデの表面変位(surface deformation), 位相ずれ(phase lag), および経度秤動(longitudinal libration)の概念図. GALAの実性能は, 厚さ数km以上の内部海が存在する典型的なケースと内部が完全な固体のケースを識別可能と考えられる[表面変位は永久変形(permanent component)を除いたもの. 模式図であり天体・軌道のサイズ比は現実と異なっており, 物理量は強調して描いてある]. Enya et al. (2022)の図5を改変[2,3].

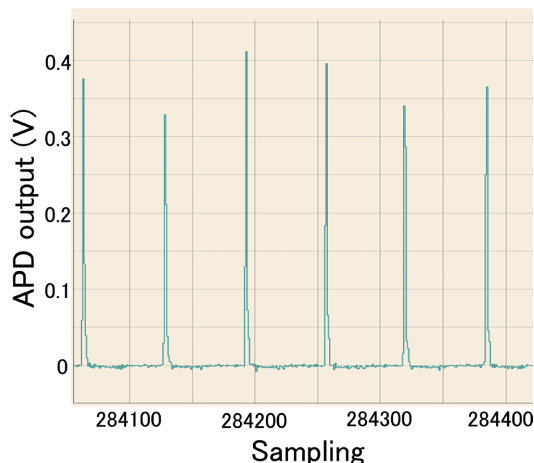


図5: 軌道上初期チェックにおけるend-to-end試験で取得に成功したデータ(スタートパルス使用). 2023年5月15日に取得. 横軸はサンプリング, 縦軸はAPD検出器の出力. このデータはパルス周波数30 Hzについてのものだが, 50 Hzの試験も同様に成功している(図にプロットされているのはパルスの前後のサンプリングのみである).

- ・Backend Optics (BEO): 後置光学系
- ・Focal Plane Assembly (FPA): 検出器モジュール
- ・Analogue Electronics Module (AEM): アナログエレクトロニクスモジュール

これらのハードウェアの他に, 日本チームではGALA全体の性能をシミュレートするソフトウェア(パフォーマンスモデル)を, ドイツチームと独立に開発しました[11].

3. 軌道上初期チェック

待望のGALAの電源初投入および軌道上初期チェックは, 2023年5月15日に行われました. 日本チーム関係者の数名リモートで参加しました. 初期チェックは時差の関係で日本時間の深夜まで及びました. 結果について結論を先に書きますと, 予定された確認項目の全てが適正でした. つまりパーフェクトと言ってよい, 非常に良好な結果でした. 大いに安堵しました. 以下では, 初期チェックの内訳について簡

単に記します. (データ公開に関する制約もあるため, ここでは一部を紹介するに留めます).

3.1 House Keeping (HK) データ

HKデータとは, 各部の温度など機器の状態を表すものです. GALAの軌道上初期チェックでは, 全てのHKデータが適正值であることが確認できました.

3.2 機能・性能

前述のスタートパルス経路を用いて, レーザパルス発生装置から始まってFPAへの導入光路, APD検出器, AEMおよびそれ以降の信号処理系, さらには地上へのダウンリングまでを通した試験を行いました(end-to-end試験). レーザパルス発生装置は冗長系になっているので, それら(主系・サブ系)のそれぞれについて試験しました. その結果, 主系・サブ系のいずれにおいても, 試験した end-to-endの全過程の機能が正常に動作していることを確認できました. 図5はend-to-end試験で取得することに成功したパルスです. そして主要な特性として, 以下が定量的に確認されました.

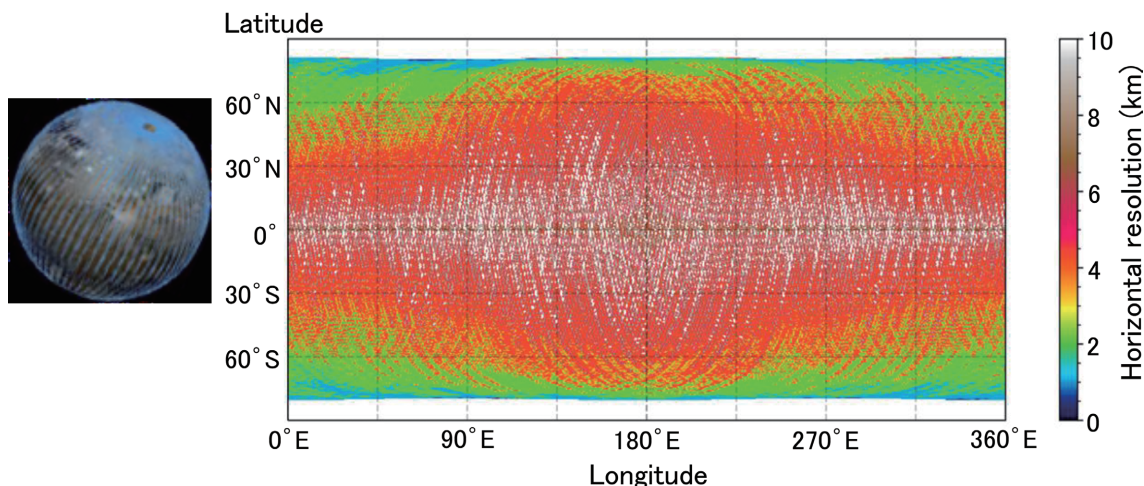


図6: ガニメデに対する観測スキャン。左図は模式図で、全てのスキャンは描かれていない。右図は観測期間を通じたスキャン間隔。横軸は経度、縦軸は緯度を表す。観測スキャンは赤道域で粗で、高緯度になるにつれ密になって行くが、両極付近には全くスキャンされない領域ができる。極域を除いたスキャン間隔は10 km より密、南北緯度60度以上のスキャン間隔は5 km より密である。

- ・レーザ強度: 適正
- ・パルス幅: 適正
- ・パルス周波数: 適正
- ・検出器ノイズ: 適正(要求値の約1/3を達成)

ただし今回の軌道上初期チェックでは、レーザを射出し天体で反射させて受信する試験(リターンパルス試験)は行っていません。これは反射体となる天体が無いためで、予定通りです。スタートパルス系とリターンパルス系の多くは共通ですので、リターンパルス系のかなりの部分は試験が済んでいます。とはいえ、リターンパルス試験が残された重要課題であることは間違いありません。我々は2024年8月に予定されている月イングパイの機会に、リターンパルス試験を行うことをESAと調整・準備中です。

4 期待される実性能

この節では、軌道上初期チェックおよび打ち上げ前の地上実験の結果から期待される、ガニメデにおけるGALAの実性能について述べます。本来、複雑な込み入った話題ですので、ここではかいつまんで記述します。

4.1 スキャン観測の密度

前述のように、GALAはJUICE探査機の移動とともに、天体表面の1地点にレーザパルスを照射して測距することを繰り返します。その際の1ショットのレーザパルスに照射される領域(スポット)の直径と間隔について、期待される実性能は以下です(ノミナル軌道高度 500 km, 測距頻度30 Hz を想定した場合)。

- ・照射スポット直径 = 49 ± 3.4 m
- ・照射スポット間隔 = 50.2 ± 4.5 m

これらの値は、GALAの地上実験の結果およびJUICE探査機の軌道を想定して導出したものです。いずれも設計値は50 m でしたので、これらの値は設計と良く整合しています。

図6は、探査機がガニメデを周回して観測スキャンを繰り返すことによるスキャンの密度を表したものです。観測スキャンは赤道域で粗で、高緯度になるにつれ密になって行きます。ただし両極付近には全くスキャンされない領域ができます。ノミナル観測期間の継続的スキャンによって、最終的には極域を除いたスキャン間隔は10 kmより密になり、南北

緯度60度以上でのスキャン間隔は5 kmより密になります。

4.2 測距の精度と地形情報の取得

GALAによる測距の精度はリターンパルスの強度や波形に依存し、それらは天体の表面状態や軌道高度などの多くのパラメータに依存します。そのため、ここではGALAチーム内で「ノミナル測定条件」としている典型的な例を示します。具体的には表面アルベド45.6%、表面傾斜 8° (照射スポットサイズ50 mでの表面粗さ1.7 mに相当)、軌道高度500 kmであり、またGALAの機器パラメータは観測期間終了時に期待されるものを想定します。

この条件で期待される往復パルスの時間差計測の精度を、GALAと天体表面の照射スポットの間の距離に換算した値(レンジングの精度)は以下です。

・レンジング精度: 0.25 m

これは期待されるGALAの実性能を簡潔に表す数値のひとつで、優良な値と言えます。

ただし、得られたレンジングのデータを地形の絶対高度に換算する際には、JUICE探査機の位置と姿勢の情報の誤差が寄与します。探査機の姿勢が寄与するのは、GALAおよびその光軸方向が探査機に固定されているためです。機器パラメータのみならず、天体表面の状態、さらに探査機に起因する誤差が影響することが、測距の精度についての議論を複雑にしている要因です。

GALAは要求仕様を満たす実性能をもって、氷天体に対する初のレーザ測距を行い、木星氷衛星の定量的な地形情報を初めて取得します。従来は撮像データによる地形の陰影や画像の立体視を用いて地形高度を推定していましたが、こうした手法を適用できる領域は極めて限られる上に不定性が大きいという問題がありました。GALAが得る測距データはこれらを根本的に解決します。例えば衝突クレータの深さから氷の物理特性を推測し、またエウロパのカオス(局所崩壊地形)やガニメデのグループ(正断層群地形)といった特徴的な地形の情報を得ることで、氷殻内部の高密度(限局的な液体)領域の有無や、氷殻の弾性厚さ(リソスフェア厚さ)、熱流量の推定な

どへ繋がるものと期待されます。

4.3 内部海検出の可否

GALAは地形情報の取得のみならず、全球形状の継続的なモニタリングを通して衛星の潮汐応答(特に潮汐変形)の測定を行い、内部海の有無に関する制約づけを目指します(図4)。しかし潮汐変形の変位と内部海の有無との関係は複雑で、海があれば変位が大きくなるというような単純なものではありません。潮汐変位は、内部海(氷殻)の厚さや氷殻の粘性率、剛性率などに依存し、一般には海が厚いほど、また氷殻の粘性率や剛性率が小さいほど、変位が大きくなります[8-10]。逆に、海が無くても氷の粘性率がかなり小さい場合には、氷が液体のように振る舞うことで変位が大きくなる可能性もあります。

ここで、ガニメデの潮汐変形に関するモデル計算の結果を用いて、典型的な物性や構造を仮定した場合に予想される結果を紹介します[9,10]。内部海が数km以上の厚さをもって存在し、氷の融点粘性率が 10^{13} Pa \cdot s以上、剛性率が1-5 GPaである場合、ガニメデ表面の潮汐変位は約5-8 m (peak-to-peak) となります。一方、内部海が存在しない場合に期待される表面変位は3 m以下と推定されます。我々は確認されたGALAの実性能に基づき、両者の違いは識別可能だと結論しています。また、氷の融点粘性率が 10^{13} Pa \cdot s未満の場合は氷が液体のように振る舞うため、海が存在しない場合でも海がある場合と同程度の変位が生じ得ます。しかしこうした場合でも、潮汐変形の位相ずれ(図4)を測定することで、確認されたGALAの実性能によって海の有無を識別できると考えています。潮汐変位だけではなく位相ずれ等を求めることが必要かつ有効であることは、日本発の観点です[9,10]。

GALAのデータから潮汐変位および位相ずれを求める際には、GALAの機器パラメータと探査機由来の誤差を考慮した上で、長期間の全球的観測による大量のデータを集約し、測距スキャンの交点を利用して精度を高める解析(クロスオーバー解析)を行います。上記の検出可否のシミュレーションにおいても、そのようなデータの集約・解析を想定しています。

4.4 GALAのデータ・誤差・解析の特徴

GALAの測距では、レーザパルス1ショットあたり、根本的にはレンジングの結果、つまりパルス往復の所要時間という一つの値が得られるに過ぎません。この値は単体では基本的に科学的情報をもたらしません。このことは、1ショットの撮像でも相応の情報が読み取れるカメラ等の観測機器とは対照的です。

GALAにおける測定誤差の扱いは、GALA以外の要因も大きく寄与するため複雑です。具体的には前述のように、測距の精度はガニメデ表面の状態に依存し、また探査機の位置・姿勢も考慮する必要があります。

さらに研究対象とする様々な科学目的にも依存します。例えば連続する測距によるスキヤンの比較的狭い区間を用いて、天体表面上の起伏が分かれば良いという狙いの場合、探査機由来の誤差の影響は小さくなります。逆に広域・長期間のデータを必要とする科学目的においては、探査機由来の誤差の影響は強く、また複雑になります。探査機由来の誤差の影響は、地形の相対的な起伏が分かればよいのか、絶対高度が必要な科学目的かによっても全く異なるものになります。

以上のことから、GALAでは特に、科学目的に応じて多かれ少なかれデータを集約して、誤差について入念に評価して扱うことが不可欠です。このような課題はこれから先にあるハードルです。ただし幸いなことに、GALAの軌道上初期チェックでは要求通りの実性能が確認されています。状況は予定通りであり、特に問題が発生している訳ではありません。大きなハードルは、やり甲斐のある研究課題でもあるのです。

GALAの科学目的のうち潮汐変形や位相ずれの導出には、特に長期間にわたる観測による多くのデータを集約した上、クロスオーバー解析を適用する必要があります。探査機が十分な回数ガニメデを周回し、ガニメデ全球の形状と重力場を測定することが必要なため、潮汐変位が十分な精度をもって測定されるのは、JUICEがガニメデの周回軌道へ投入されてからしばらく経過した後になります。

5. 将来に向けて

5.1 所感: 打ち上げを終えて

GALAの提案から11年、打ち上げまでの道のりは長いものでした。その思いもあったためか、今回の仏領ギアナ宇宙センターへの出張は、普段の海外出張とは趣が異なっていました。移動はパリで1泊した後、オルリー空港からギアナに向かいます。大陸間便ですが国内便です。オルリー空港では、長年、苦楽を共にしたドイツチームと合流。他にもJUICE関係者が多くいます。ヨーロッパ中から、また日本から集結した関係者が、同じ方向を向いて出発します。言葉にしなくても、同じことを思っていると感じました。— JUICE打ち上げの成功。

現地ではギアナ宇宙センターの存在感は大きく、カイエンヌ空港には関連する展示や多くのポスター、旗などが掲げられていました。最先端の宇宙センターも周りは熱帯南米の密林で、ロケットとのコントラストが美しく、新鮮でした。

打ち上げの当日、ドイツチームと祝った夕食は、雨季が始まった熱帯の夜の空気の中、近年で最も気持ちが良い美味しいものでした。そして、これからの軌道上試験やクルージング期間の活動、そしてガニメデでの科学観測を、眼前にある現実の課題として、あらためて身に染みて感じました。

GALAの開発は、これまで経験した他のプロジェクトと比較しても大変なものでした。その理由のひとつに、日本が機能の全く異なる3つ(も)のハードウェアモジュールの開発を引き受け、それらのうち2つのモジュールについては、フライトモデルまで宇宙研が設計責任を負って実際に開発したことが挙げられます。またコロナ禍の影響も、日本が関与するJUICE機器のなかでGALAが最も強く受けたと思います[7]。GALAの開発・プロジェクト推進から得た教訓は多岐に渡りますので、別の機会にあらためて述べたいと思います。

5.2 軌道上リターンパルス試験

幸いにしてGALAの軌道上初期チェックの結果はパーフェクトと言ってよい、良好なものでした。スタートパルスを用いたend-to-end試験にも成功して



図7: 2023年3月1—3日にドイツ航空宇宙センター(ベルリン)で開催された、打ち上げ前の最後のGALAチームミーティングにて。

います。ただし第3節に記したように、天体表面での反射を経たレーザーパルスを用いた試験は、まだできていません(その理由は天体が無いことなので予定通りであり、問題が生じている訳ではありません)。スタートパルス系とリターンパルス系の多くは共通ですので、リターンパルス系のかなりの部分は試験が済んでいます。とは言え、リターンパルス試験が残された重要課題であることは間違いありません。

そのため2024年8月に予定されている月スイングバイの機会に試験を行うことが、近未来のGALAの運用における重要な課題となります。

5.3 データ解析システムの構築と科学検討: 細く長く

その先はクルージング期間が長く続きます。クルージング期間中には運用のほか、ドイツチーム等と共

同でデータ解析システムを構築します。また科学検討を継続して、実際のデータが得られた段階で直ちに観測結果と比較して、最善の考察ができるようにしておくことも必要です。科学検討にはGALA単体の科学課題およびGALAと他の機器を組み合わせで行う統合サイエンスが含まれます。

これらの課題はいずれも、最終的な科学成果を導出し、それを最大化するためには必要不可欠な過程です。前述のように、特にGALAでは科学目的に応じて誤差を取り扱い、データを集約して解析できるよう、事前にシステムを構築して準備しておくことが重要です。これらの課題はハードウェアの開発や探査機の打ち上げ、軌道上チェック等に比べると、細く長く行うものだという特徴があります。

これらの課題は大きなハードルですが、状況は予定通りであり問題ははありません。大きなハードルは、

やり甲斐のある研究課題でもあります。

5.4 国際関係: 協力と、競争と、友好と

国際協力は国際競争でもあります。クルージング期間中の課題に日本チームが継続的にしっかり寄与して初めて、重要な科学成果が日本にもたらされるのだと思います。クルージング期間の我々の活動には、ミッション全体の成果を導出し最大化すること、日本の成果を最大化することという、2通りの意義があるのです。

また、ミッション全体の科学成果のためにも、日本に成果をもたらすためにも、欧州側と良い関係を構築・維持することも重要です。もちろん本来の仕事をちゃんとやっていることが前提ですが、その上で、国際的に仲良くすることも仕事のうちと考えています。幸いなことに、GALAにおける日本チームと欧州チームとの関係は良好です(図7)。

5.5 長期的なチームの維持・発展

日本チームとその活力を長年にわたって維持しなければいけません。この種のことは成り行きにまかせると衰弱しがちですので、意識的に務めて行きます。若手の新メンバーの参加は特に歓迎したいところです。

5.6 そして氷衛星の科学観測へ

今後しばらくは日本と欧州を行き来しながら上記の課題をこなし、時々シンポジウムを行う、といった活動が続く見通しです。その先は、いよいよJUICEが木星圏に到達し、カリスト・エウロパのフライバイ観測、そしてガニメデ周回軌道に入っの科学観測を行うこととなります。楽しみです。

このようなGALAに興味を持たれた方や参加してみたいと思われた方は、まずはお気軽に我々にコンタクトして頂ければ幸いです。

参考文献

- [1] Hussmann, H. et al., 2019, CEAS Space J. 11, 381.
- [2] 塩谷圭吾ほか, 2020, 遊星人 29, 153.
- [3] Enya, K. et al., 2022, Adv. Space Res. 69, 2283.
- [4] Grasset, O. et al., 2013, Planet. Space Sci. 78, 1.
- [5] 木村淳ほか, 2013, 遊星人 22, 146.
- [6] 関根康人ほか, 2023, 遊星人 32, 128.
- [7] 齋藤義文ほか, 2023, 遊星人 32, 222.
- [8] Steinbrügge, G. et al., 2015, Planet. Space Sci. 117, 184.
- [9] Kamata, S. et al., 2016, J. Geophys. Res. 121, 1362.
- [10] Kimura, J. et al., 2019, Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan 17, 234.
- [11] Araki, H. et al., 2019, Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan 17, 150.

著者紹介

塩谷 圭吾



宇宙科学研究所 准教授. GALA Japanプロジェクトマネージャー. 宇宙用機器開発およびプロジェクト推進により新しい科学研究を目指す. 太陽系探査と系外惑星科学の両分野で活動する. 主な科学目標は氷衛星の地下海, 宇宙における生命関連環境・物質および宇宙生命そのものの探究.

小林 正規

荒木 博志

木村 淳



大阪大学大学院理学研究科助教. 東京大学大学院理学系研究科博士課程修了. 博士(理学). 東京大学地震研究所研究員, 宇宙航空研究開発機構招聘研究員, 北海道大学博士研究員, 東京工業大学地球生命研究所研究員を経て, 2016年10月より現職. 専門は惑星物理学, 惑星進化学. 日本惑星科学会, 日本天文学会, 生命の起原および進化学会などに所属.

野田 寛大

自然科学研究機構国立天文台助教. 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程修了. 博士(理学). オーストリア科学院宇宙科学研究所PDを経て2003年より現職. 専門は惑星測地学など.

竝木 則行



自然科学研究機構国立天文台 教授/RISE月惑星探査プロジェクト長. 総合研究大学院大学 天文科学コース 教授. Massachusetts Institute of Technology, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Geophysics専攻, Ph.D.取得. 九州大学理学部地球惑星科学科 助手, 同 助教, 千葉工業大学 惑星探査研究センター副所長を経て2014年4月より現職. 専門は惑星科学. 日本惑星科学会に所属. 日本惑星科学会会長を務める.

押上 祥子

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所月惑星探査データ解析グループ研究開発員. 九州大学大学院理学部地球惑星科学専攻博士後期課程修了. 博士(理学). 名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻研究員, 国立天文台RISE月惑星探査検討室研究員, 工学院大学学習支援センター講師, 国立天文台天文シミュレーションプロジェクト研究支援員などを経て2019年5月より現職. 専門はリモートセンシングデータ解析, 惑星地質学. 日本惑星科学会, 日本地球惑星科学連合, 日本リモートセンシング学会に所属.

東原 和行

齋藤 義文

リンゲナウバー カイ

スターク アレクサンダー

フスマン ハウケ