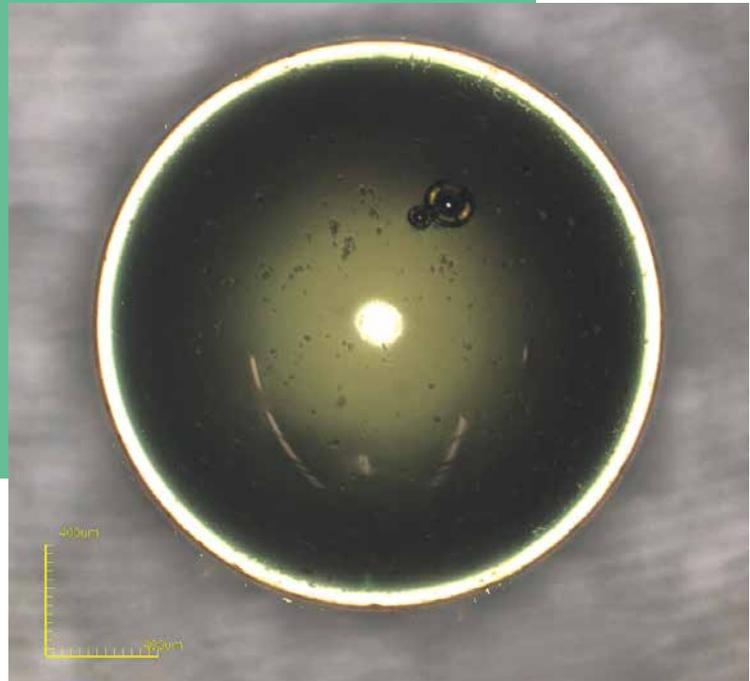


国際宇宙ステーション(ISS)「きぼう」の 静電浮遊炉ELFを用いて合成されたガラス

「きぼう」に設置された、静電気(クーロン力)で試料を容器なしで保持することができる静電浮遊炉ELFをもちいて、2,000°C以上の高融点の酸化物の液体の密度や粘性の測定が行われています。写真のガラスは地球のマントルの構成物質であるMgO-SiO₂をELFを用いてガラス化させたものです。この物質はもともとガラスになりにくい性質がありますが、ELFを使うと容器がないことからガラスにすることができます。



1mm

The Forefront of Space Science

宇宙
科学
最前線

国際宇宙ステーション「きぼう」で 「ガラスのなぜ？」に迫る—宇宙実験と地上実験の協奏—

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 先端材料解析研究拠点 主席研究員 小原 真司(こはら しんじ)

2021年5月18日のスイスのジュネーブにおける国連総会にて、2022年を国際ガラス年(International Year of Glass 2022)とすることが定められました[1]。国際ガラス年の構想は2018年に横浜で開かれたガラスの国際会議で打ち出され、ガラスの科学と芸術と文化に関わる世界中の多くの人々が、その実現に向けて努力を積み重ねてきました。世界79ヶ国から International Commission on Glass (ICG) に集まった1,500通を超える賛同書をもとに様々な活動が行われた結果、今回の国連での採択に至りました。2022年は、世界中でガラスの過去、現在、そして未来を祝福するとともに様々なイベントが開催される予定です。

ガラスは、ガラス容器、窓ガラス、光学レンズ、光ファイバー等、我々の生活に欠かせない基盤材料です。その歴史は古く、紀元前4,000年以前の古代メソポタミアで使われていたとされています。しかし、我々にとって身近な存在であるガラスについては、実は驚くほど、分かっていないことがたくさんあります。

図1に典型的なガラスであるシリカ(SiO₂)ガラス(a)とSiO₂結晶(α-クリストバライト、(b))の原子構造を示しま

す。密度がほぼ等しいこの2つの材料は、ともに、SiO₄四面体の頂点に位置する酸素(赤丸)を共有することによりネットワークを形成していますが、四面体のつながり方に大きな差異があります。図のように、規則性があるのが結晶、規則性に乏しいのがガラスです。しかし、どのような物質でもガラスになるわけではなく、ガラスになる物質とならない物質があります。ガラスへのなりやすさ(ガラス化)を示す指標として「ガラス形成能」という用語をしますが、この形成能は作製条件や組成に大きく依存し、一意的に決定できるものではありません。このため、物質各々のガラス形成能は経験的に理解されているだけであり、多様なガラスの創製は、多くが経験則や勘に頼って行われてきました。ガラス形成メカニズムの解明は21世紀に入った現在でも、ガラス科学におけるチャレンジングな研究テーマと言えます。

典型的なガラスは、原料を加熱して液体にした後、急冷(冷却)することによって作製されています。ガラス化に伴う密度の変化は、物質によって様々ですが、我々のグループが主として取り扱う酸化物系材料では、一般に密度は、結晶>ガラス>液体となります。一方で、液体が固化してガラス

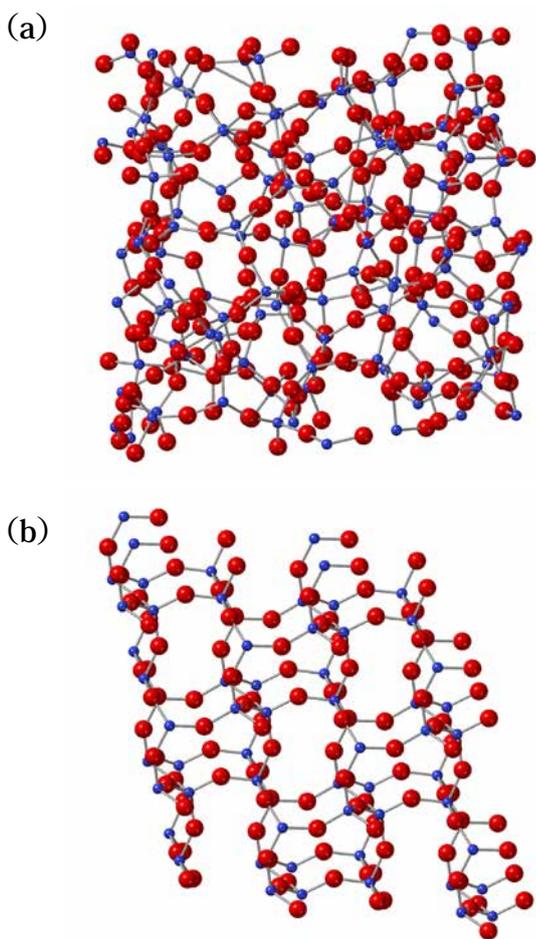


図1: (a) ガラス(シリカガラス)と(b) 結晶(α -クリストバライト)の構造。赤丸/酸素、青丸/シリコン。

になる(ガラス化の)際は、物質の粘性が急激に増大します。したがって、ガラスになる前の液体の粘性、密度といった熱物性を詳細に調査することが、材料のガラス化メカニズムの解明における鍵と言えます。言い換えれば、液体がガラス化する際に起こる密度、粘性の変化を理解することができれば、これまで明らかになっていないガラス形成のメカニズムを解明できると期待されます。

これまで我々は、液体を急冷することによって容易にガラス化する物質とガラス化しにくい物質の原子配列や電子状態を、大型実験施設における放射光X線や中性子を使った実験と、スーパーコンピューターを使った計算機実験を組み合わせで調査してきました。しかし、急冷する前のガラス液体は非常に高温で、熱物性の評価そのものが困難です。また、1,500°C以上の高温液体は物理的に温度を上げて液体にすることはできても、①液体を保持する容器に制限がある、②融解や容器と液体との反応によって組成が変動してしまう、③界面の存在によってガラスの結晶化(より熱力学的に安定な結晶へ相転移する)が進行し、バルクガラスが得られない、等の問題がありました。

そこで考案された方法が、液体試料を容器なしで浮遊する「浮遊法[2]」です。浮遊法にはいくつかの種類がありますが、静電気(クーロン力)で液滴を浮遊させる静電浮遊法は、最も真球に近い液体が得られるという特徴があります。液体を真球として保持できれば、その画像から液体の体積を求めることができ、重量を精密に評価することにより、密度を導出

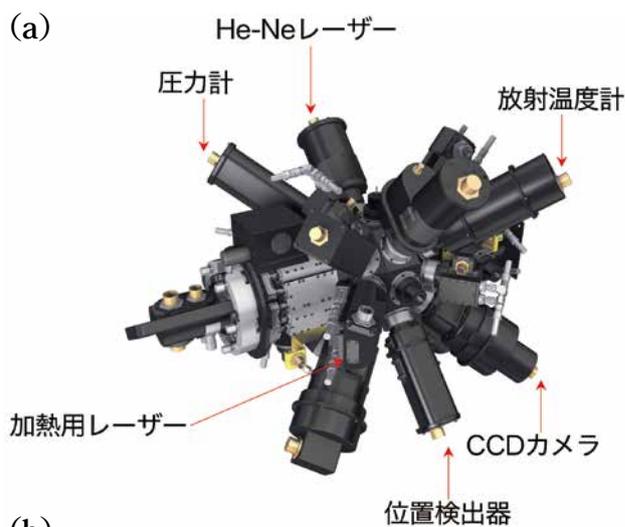


図2: 宇宙用静電浮遊炉ELFの(a) 模式図と(b) ISS「きぼう」での実験の様子。

することができます。一方、粘性は静電浮遊炉では電気を用いて液体を振動させることができるので、この振動の減衰時間を測定することで導出することができます。しかし、地上においては、地球の重力を打ち消すために高電圧が必要で、放電を抑えるために実験は真空下で行う必要があり、酸化物には不向きでした。

これに対して、国際宇宙ステーションISS「きぼう」に設置した静電浮遊炉ELF(図2)[3]を用いて実験を行なう場合、微小重力下なので、高電圧は不要になります。よって、大気下での実験が可能となり、地上では測定が困難な酸化物液体の熱物性データを取得することが可能になります。我々は、このELFを用いてガラスにならない液体やガラスのなりやすさ(ガラス形成能)が異なった酸化物液体の密度、粘性の計測に取り組んでいます[4]。

浮遊法の特徴として、容器と液体との界面が存在しないために、広い温度範囲で過冷却液体を実現できることが挙げられます。図3(a)にガラスにならない液体である Er_2O_3 (酸化エルビウム、融点: 2,413°C)の密度の温度依存性[3]を示します。非常に広い温度範囲で密度の温度依存性を計測できています。図3(b)に図3(a)の密度を用いてコンピュータシミュレーションを行うことにより得られた構造モデル[3]を示します。この液体には OEr_4 クラスタがネットワークを形成して非常に酸素の充填率の高い構造が形成され、それが原因でこの液体がガラス化しないことが明らかになりました。

MgO-SiO_2 組成については地球のマグマの構成物質とし

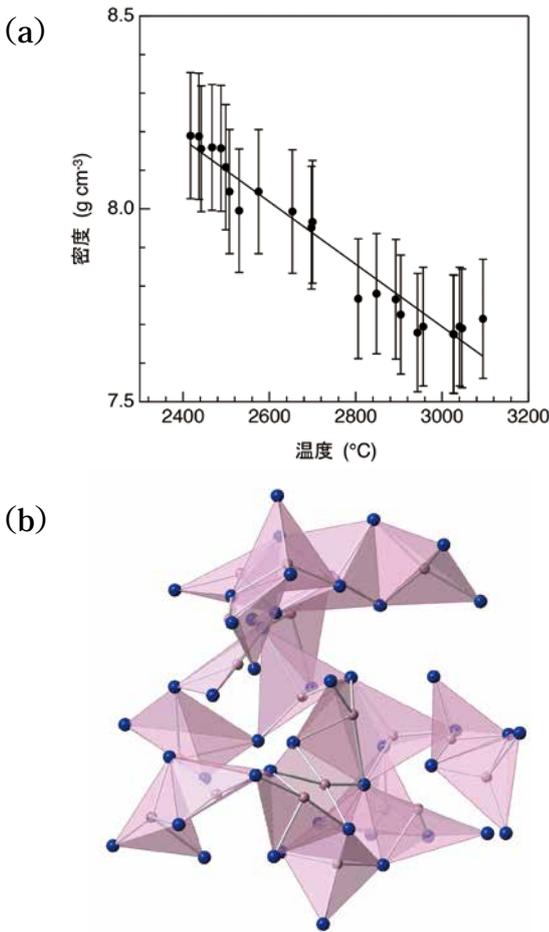


図3：(a) ELFで測定された Er_2O_3 液体の密度の温度依存性[3]と (b) コンピューターシミュレーションから得られた Er_2O_3 液体に存在する OEr_4 ネットワーク。ピンクの丸/酸素、青丸/エルビウム。

て、 MgSiO_3 (輝石) と Mg_2SiO_4 (かんらん石) が挙げられますが、ガラス形成能は前者 (MgSiO_3) より、後者 (Mg_2SiO_4) が低く、バルク状の Mg_2SiO_4 ガラスは無容器法を用いないと合成することは不可能でした。最近、我々は、一連の酸化物ガラスの粘性の温度依存性を計測することに世界で初めて成功しています。表紙の写真はELFを用いて宇宙で合成された MgO-SiO_2 ガラスを示します。

さらに我々は、ガラスおよび液体の原子配列や電子状態の解明に向けて、大型放射光施設Spring-8でX線回折実験(図4(a))を、米国オークリッジ国立研究所で中性子回折実験(図4(b))を実施しています。これらの測定には、不活性ガスで試料を浮遊させるガス浮遊炉を用いています。前述のように、液体の回折実験は難易度が高く、1つの実験データから得られる情報も限定されていることから、重元素に敏感なX線と軽元素、とくに酸素に敏感な中性子の両方の実験データが必要となります。放射光X線はビームが絞れ、その強度も高いことから比較的容易に実験が行えました。一方、中性子回折実験ではX線よりビームが絞れず、またその強度も低いことから、S/N比の高いデータを取得することが困難でした。実際に、一度目の実験では満足のいくデータは取得できず、2年の年月を経てようやく解析に耐えうるデータを取得できました。そして、第一原理分子動力学計算を駆使して、精密なガラスと液体の原子構造および電子状態の取得に成功し、現在、結晶・ガラス・液体の原子配列と電子状態の解明に取り組んでいます。

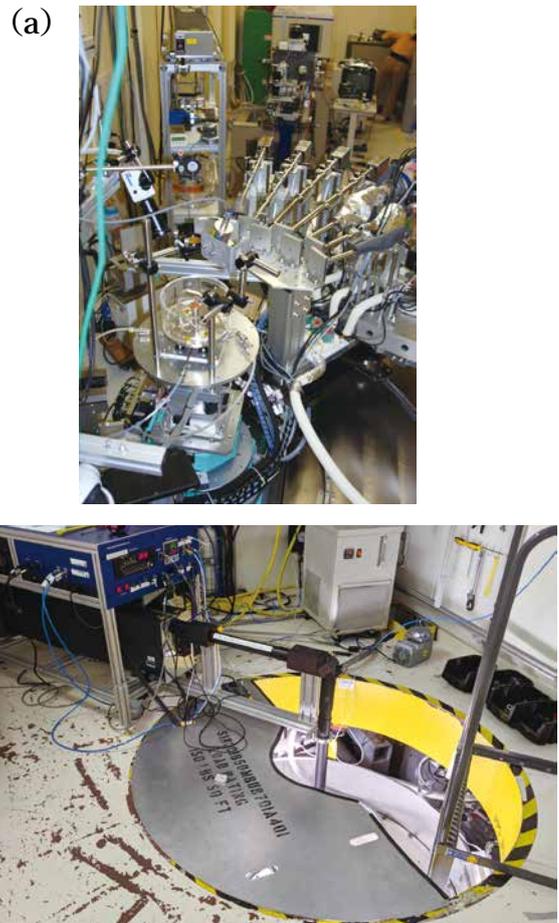


図4：(a) 大型放射光施設Spring-8に設置された放射光高エネルギー X線回折実験用ガス浮遊炉と (b) 米国オークリッジ国立研究所の中性子施設SNSに設置された中性子回折実験用ガス浮遊炉。

宇宙用のELFの開発には、地上用装置にはじまり、長い年月と多額の予算が投入されて行われてきました。我々の試料は、2018年9月にHTV-7によりISSに運ばれましたが、ソユーズの事故による宇宙飛行士の不足等により、実験は何度も延期となりました。本格的に実験が始まったのは、2020年の秋からですが、当初は浮遊させることすら困難で、著者も「密度1点でも測定するのが限界か?」と半ば諦めていました。しかし、根気よく装置の改良が行われてようやく目的を達成することができました。ここに到達できたのはJAXAのELF開発グループの地道な努力の賜であり、JAXAスタッフにはこの場を借りてお礼を申し上げます。また、米国での中性子回折実験等、日本宇宙フォーラムからは予算の補助をいただいたことにもお礼を申し上げます。今後は、測定結果を論文等で発信して行く予定です。

[1] <https://iyog2022.jp>
 [2] 尾原 幸治、水野 章敏、岡田 純平、小原 真司、石川 毅彦、放射光X線散乱と無容器浮遊法による液体の構造・物性研究, 放射光, 33, 112 – 119 (2020).
 [3] H. Tamaru, C. Koyama, H. Saruwatari, Y. Nakamura, T. Ishikawa, and T. Takada, Status of the electrostatic levitation furnace (ELF) in the ISS-KIBO. Microgravity Sci. Technol., 30, 643–651 (2018).
 [4] 小山 千尋、小原真司、田原 周太、小野寺 陽平、石川 毅彦、ガラスにならない Er_2O_3 液体が持つ特異構造, 放射光, 34, 30 – 36 (2021).

小型月着陸実証機SLIMとNASA深宇宙追跡網の適合性試験

小型月着陸実証機「SLIM」では、日本から非可視の時間帯での運用も想定しています。そのため、NASAジェット推進研究所の深宇宙追跡網ディープスペースネットワークを利用した通信を行うため、打ち上げに先立って適合性試験を行いました。



テストサイトに乗り込む出張メンバー。その背中からは満足のいく結果をこの適合性試験で得るまで帰らないという、ミッション成功への覚悟を感じることができた。

適合性試験では、SLIM着陸機やその他に搭載された通信機とNASAのシステム及びその先にある相模原の管制システムと正しくやり取りができることの確認を行います。昨年6月に着任し、これがJAXAで最初の出張となる筆者を含む6名は、COVID-19オミクロン株で各国の水際対策が強化されたため昨年12月5日にNASAのテストサイトDTF-21に乗り込み、同月18日までの2週間無事に帰国できるのかという不安と闘いながら適合性試験を

行いました。今回の出張のサクセスクライテリアとしては、PCR検査をパスし全員出国・帰国できたことをもってミニマムサクセス、適合性試験を無事終了されたことをもってフルサクセス、SLIMプロジェクトの面白さをNASAの皆さんに宣伝できたことをもってエクストラサクセスといった感じでしょうか。

適合性試験の概略を述べますと、通信機及びそれを動作させるために必要な地上試験用機材を持ち込み、通信機をNASA側のシステムと有線にて接続した状態で信号のやり取りを行い、通信性能に問題がないこと、信号のフォーマットに齟齬がないことを確認しました。確認というとただの作業にも聞こえますが、この試験を通じて地上局側の設定を実際の通信機の特性に合ったものにしていくという意味も持ちますので一筋縄ではいきません。各メンバーの八面六臂の活躍により最終的には全ての試験項目について満足のいく結果を得て、かつ6名全員健康というフルサクセスな状態で帰国日を迎えることができました。他機関のエンジニアとの交流を通じて、エクストラサクセスも達成できたと筆者は信じています(蛇足ですが、筆者は乗っていた飛行機でオミクロン株陽性者が発生したため帰国後隔離され、クリスマスをパイプ椅子に座りながら過ごしました)。

(宇佐美 尚人)

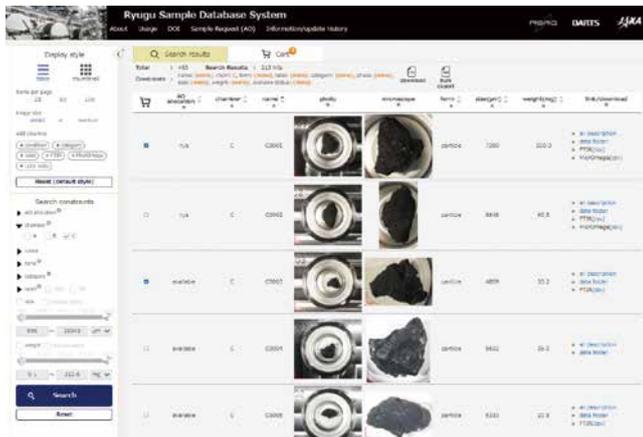
リュウグウ試料カタログ公開、研究公募開始

今年1月より、リュウグウ試料データベースをWebカタログとして公開しています。JAXAキュレーション設備にて、探査機「はやぶさ2」が持ち帰った試料を初期記載^{*1}した成果を一覧にしたものです。試料写真もたくさん掲載しており、眺めるだけでも楽しいものです(リュウグウは本当に黒かった!)。広く世間一般の方にもご覧になっていただき、リュウグウを始めとする様々な太陽系小天体の姿に想いを馳せる一助になれば幸いです。

カタログのトップページの一覧をご覧になっていただくと、name欄に、A0001やA0002という記号が表示されています。これは試料の名前です。AやCのアルファベットは、探査機「はやぶさ2」が2回のタッチダウンによりサンプルキャッチャーのA室と

C室に回収した由来を示すものです。「はやぶさ2」帰還後、キュレーション施設ではサンプルキャッチャーから試料を取出し、一粒ごとに小皿に取り分けて番号を付けています。カタログでは、検索や表の並べ替えなど、インタラクティブな操作が可能です。面白そうな試料を探したり、お気に入り試料を並べたオリジナルカタログを作成したりと、触って遊べるカタログを目指しています。また、カタログには試料サイズや重量を始め、可視・赤外光の反射率データ(FTIR^{*2}、MicrOmega^{*3}など)など、研究活用可能な科学データも公開されています。

さて、JAXAキュレーションチームでは、リュウグウ試料の研究公募を開始しています。これは、国内外を問わず、主に惑星物質科学の研究者を対象とした呼びかけです。世界各国から研究提案を求め、科学技術の貢献に有望な提案に対し、リュウグウ試料を提供します。今年3月から4月には多くの野心的な提案が集まることを期待しており、5月に審査して6月から採択した提案に対して試料を配布する予定です。(西村 征洋)



webカタログ画面

リュウグウ試料データベース (Webカタログ):

<https://darts.isas.jaxa.jp/curation/hayabusa2/>

リュウグウ試料研究公募システム: <https://jaxa-ryugu-sample-ao.net/>

*1 JAXAキュレーションチームが実施する、サンプルのカタログ化作業の際の予備的な分析を「初期記載」と呼ぶことにしています。

*2 フーリエ変換赤外分光光度計(Fourier Transform Infrared Spectrometer)のこと。赤外線を照射し、その反射スペクトルを測定し、特定の波長での吸収から測定対象にふくまれる物質を特定する。

*3 フランス宇宙天体物理学研究所が開発したハイパースペクトル顕微鏡。「はやぶさ2」着陸機MASCOTに搭載されていた測定機器とほぼ同型で、分析対象の可視・赤外反射スペクトルを高い空間分解能で測定し、サブmmの鉱物や有機物相を検出することができる。

南極域でのスーパープレッシャー気球による大気重力波観測

大気重力波観測を目的としたスーパープレッシャー気球による飛行実験LODEWAVE (Long-Duration balloon Experiment of gravity WAVE over Antarctica) のため、南極昭和基地(南緯69.0度、東経39.6度)より3機の気球が2022年1月6日、2月4日、6日に放球されました。これは、国立極地研究所が中心となって実施する第63次南極地域観測隊の活動の一環として行われたもので、宇宙研からは新規に開発されたスーパープレッシャー気球を提供しています。

大気重力波は、数千kmにわたって伝搬する大気の波動です。地球全体の大気循環を駆動しており、その観測は気象・気候研究やその予測のためにとても重要です。近年、この観測は人工衛星によっても可能になってきましたが、空間分解能が十分とはいえ、精密な観測が、スーパープレッシャー気球と大型大気レーダーによって行われています。南極では、2005年、2010年と過去に2回のスーパープレッシャー気球によるキャンペーン観測がフランスを中心とする国際共同研究グループによって実施されており、2012年からは南極昭和基地大型大気レーダー(PANSYレーダー：Program of the Antarctic Syowa MST/IS Radar)が稼働するようになりました。前者は気球が空気塊と共に移動することを利用するもので、飛行高度における水平断面を測定することができます。一方、後者は、地上から放射した電波の空気塊による散乱を観測するもので、基地上空の時間、高度断面が測定できます。両者は相補的な観測となっており、PANSYレーダーとの同時観測による大気重力波の三次元的な理解が今

回の実験の目的でした。

スーパープレッシャー気球は、気球内にガスを密閉し、日照の有無にかかわらず、気球の体積を一定に保つことで、一定の高度を飛行する気球です。気球内のガスは日照により高圧になるために耐圧性能が要求され、ガスを閉じ込め続けるために高い気密性が必要となります。このため、気球の皮膜に網をかぶせることで耐圧性能を向上させ、皮膜を2層にすることで気密性能を高めた気球を新規に開発し、今回の実験に利用しました。我が国では初めてのスーパープレッシャー気球による科学観測実験です。

放球された気球は、それぞれ2～3日間にわたって飛行し、水平浮遊高度18kmにおける気圧、気温、飛行位置の精密観測が実施された後、南極大陸上に降下しました。今回利用された気球の体積は186m³、搭載機器重量は2.7kgと、とても小さなシステムであり、5人ほどの少人数で放球、運用の一連のオペレーションを実施することができました。より長時間の飛行が可能な気球を開発し、南極域上空の様々な場所を飛行させ、気象データを定常的に提供することで、より精度の高い気象・気候予測を実現させたいと考えています。



南極昭和基地CヘリポートでのLODEWAVE2号機の放球(63次隊撮影)。

「退職を迎えて」

芳仲 敏成 (よしなか としなり)

本年3月で、宇宙物理学研究系 北村 良実准教授、学際科学研究系 黒谷 明美准教授、宇宙飛行工学研究系 石井 信明教授、森田 泰弘教授、堀 恵一教授、あきる野実験施設 芳仲 敏成主任開発研究員が、定年を迎えます。本号では、芳仲さんにこれまでの仕事を振り返って頂きました。他の皆様には、今後別の機会に執筆をお願いしております。お楽しみに。

1985年4月に宇宙開発事業団(NASDA)に入社して37年経った。「JNASDA、NAL、ISASの3機関で様々な仕事をしてきた」と実感する。振り返ると、

(1985-1991 筑波、浜松町)

人工衛星の音響試験、総合試験棟音響試験設備の概念検討や基本設計、さく6号(ETS-VI)の熱構造系の開発に関わった。

(1991-2012 筑波)

宇宙往還機の耐熱材料(主にC/C(Carbon/Carbon)材)の開発、高温輻射率測定装置の導入やアーク風洞試験設備の改修に関わった。その経験を踏まえて耐熱材料の再突入環境下での現象について、東北大学、東京大学、九州大学、Stuttgart大学宇宙航行研究所(IRS)、イタリア宇宙航空研究所と一緒に実験し結果を評価した。IRSとの共同研究で1年間(1997年)ドイツに滞在した。高温加熱時にC/C材料の表面にSiO₂被膜が形成されるが、その成長が重要なことが明らかになった。Excel VBAを独学してsource codeを書き、SiO₂被膜の成長を数値計算した。

(2012-2015 調布)

低ソニックブーム設計概念実証(D-SEND)をはじめ航空技術部門のProject等の安全・品質管理に関わり、現場の安全確保、不具

合処置、安全審査資料作成支援を行った。福島第1原発近辺の空中での放射線計測に関わった時(2013年11月)に浪江を訪れた。2011年3月11日そのままだったのは忘れられない。

(2015-2022 相模原)

固体ロケット(イプシロンロケット2段Motor(M35)、debris低減技術実証等)、液体ロケット(再使用ロケット、N₂O/エタノール推進ロケット等)の燃焼試験、人工衛星推進系スラスタ試験に関わった。計画立案、実験準備、推力校正と計測、試験設備の運転を行った。実験実施側と実験施設側の両方に所属している強みを生かした。また、イプシロンロケットの打上げでは射場安全や警備をしたが、安全信頼性での経験を生かした。

小学生の頃、内之浦での打上げのニュースを聞いてロケットにあこがれたが、実際に関わったのは社会人生活最後だった。まさかできるとは思っていなかったので幸運だった。入社してから、どんな仕事も選り好みせずに真摯に取り組んだ。その過程で得た経験が、思わぬ所で役立った。この姿勢が幸運につながったと思う。



イプシロンロケット5号機打上げ(JAXA デジタルアーカイブスより)

「観測ロケット2機」

太陽系科学研究系 准教授

浅村 和史 (あさむら かずし)

観測ロケットは地球の超高層領域を直接探査する方法の1つです。観測時間は10～15分ほどで、長時間軌道上で翔び続けられる人工衛星に比べて短いものの、観測ロケットならではの利点もあります。例えば、観測ロケットは打上げ場所をある程度選ぶことができ、ターゲットとする自然現象が発生しているタイミングを見計らって打上げを決断できます。また、観測ロケットの水平方向の飛翔速度は1～2km/s程度以下と遅く、地球低軌道では7～10km/s程度にもなる人工衛星に比べ、超高層空間の微細な構造をじっくり観測できます。

これまで観測機器を開発し、オーロラ現象や、地球から宇宙空間に向かう大気の流出現象の解明を目指した観測ロケット実験に参加してきました。そして、2021年度冬季は2つの観測ロケット実験が重なりました。1つはSS-520-3号機です。春に日本での噛み合わせ試験を終え、機材輸送を経て10月からノルウェー・スピッツベルゲン島ニールソンでの作業が始まりました。輸送された機材が組み上げられ、ロケットになってゆく過程で観測機器の動作試験も行われ、データが機器担当の地上機材まで正常に配信されるか、また、そのデータの中身は正常か、機器の動作は思った通りか、などを確認します。また、観測器の清浄度維持のため、窒素ガスを観測器内に常時供給しました。窒素はガスボンベから供給するため、ボンベと観測器をチューブでつなぎます。ところが、ロケット頭胴部の移動やその他の作業で一時的にガス供給の中断を余儀なくされる場合があり、そのタイミングでチューブとボンベの処置が必要です。ロケットの動きとボンベ交換のタイミングを気にする日々でした。一方で食事時間も気になります。ニールソンでは食堂で食事をとりますが、その時間が決まっています。食事時間を逃してはいけません。また、集落にある売店は数日に一度、飛行機が来た時に数時間しか開きません。売店の開店情報に敏感になる必要もあります。さらに、夕食の後にはジムに行って走り、サウナに入る、という日課もありました。この日課は数人で共有しており、なかなか優先度の高いものでした。夜になるとオーロラ活動も気になってきます。webで近くの全天カメラ画像などをチェックし、これは、と思ったら外に出る支度をして空を見上げます。ニールソンはオーロラ現象にとってはかなり高緯度にあり、オーロラはそれほど見えないのでは、と思っていました。ところが予想に反し、オーロラ爆発など躍動的なオーロラや紫色のオーロラなどが現れました。

打上げの1週間ほど前には数日間だけ100kmほど南のロングイヤーベンに戻り、SvalSat局でのロケット追尾準備作業もありました。SvalSatは多くの衛星を追尾する商業受信



(上) SS-520-3号機観測機器チームと滞在全般を助けていただいた極地研の松下さん(左端)。ニールソンで作ったかまくらと。



(左) ニールソンのオーロラ。

局です。SvalSatとJAXA双方の技術者で機器設置・設定と動作確認のほか、打上げ当日の射場とのやり取りや流れを確認します。双方ともフレキシブルに対応し、打上げ準備が整ってゆきました。

忙しい日々でしたが、ロケットが良い条件(電離圏、磁気圏、太陽風など)で打ち上げられ、搭載機器も観測に成功し、感慨深いものとなりました。

SS-520-3号機の後にはLAMPです。LAMPは日本から4台の搭載観測器を提供しているNASAの観測ロケットで、明滅するオーロラ(脈動オーロラ)と宇宙から降りこむ超高エネルギー電子の関係の解明を目的としています。打上げは2022年2～3月期の予定で、12月初めから米国バージニア州NASA Wallops Flight Facility (WFF) で噛み合わせ試験がありました。ここでは観測器とロケットシステム機器との各種インターフェース試験や環境試験など打上げに向けた準備を行います。何か不具合があるとその場での対処が求められるので緊張の期間でしたが、機械的にも電気的にも、また地上支援機器も順調に動作しました。途中、大雪によるWFFの閉鎖などのアクシデントもありましたが、噛み合わせ試験は1月中旬に終わり、機体と関連機器は射場(アラスカ州・フェアバンクス市ポーカークラット)に移動しました。

2月半ばからは射場での打上げ運用が始まります。半年間のノルウェーとアメリカ長期滞在も終盤にさしかかっています。

2023年にはスウェーデンで次世代型三次元大型大気レーダー EISCAT-3Dが稼働を始めます。私たちはEISCAT-3Dの視野内に観測ロケットを打ち上げるLAMP-2の検討を進めています。

研の集団

— 科学衛星・探査機のことなら
おまかせください —

第2回

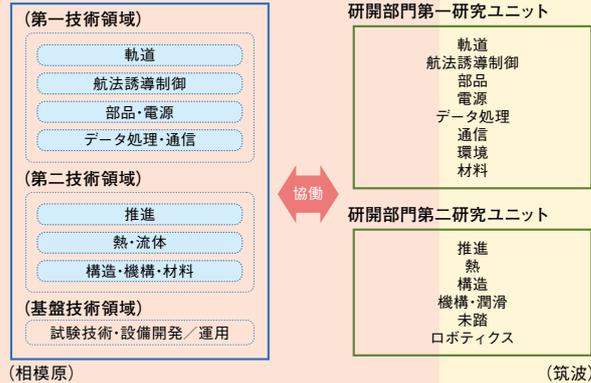
専門・基盤技術グループ(前半)

専門・基盤技術グループは、宇宙科学ミッションに必要な専門技術の研究開発を組織的に推進するため、従来からこれを担ってきた各サブシステムの教育職・一般職混成の専門家集団と、各種の試験技術や設備の開発・運用等を担当してきた基盤技術グループを集約し、2021年4月に発足しました(図1)。ここでは、2回に分けて、各分野(これも本稿ではグループと呼びます)が研究開発部門等と協働でプロジェクト支援や研究開発を実施している状況を紹介し、これらの活動を有機的な人材育成の場として機能させることも、専門・基盤技術グループの大きな狙いとなっています。

軌道グループ(技術リーダー：津田 雄一教授)は、ミッション立案の重要な要素の1つである軌道設計技術、軌道決定技術を担っています。軌道設計は、ミッション立案の初期段階から重要な役割を果たします。古典的な二体問題の解析から、N体問題の特性を積極的に利用した軌道設計まで、様々な数値解析上のノウハウが必要です。軌道決定は、どのミッションでも必要な基盤技術であり、通信・地上系システム・ネットワーク技術・軌道力学など、これまた広範な知識やスキルが必要です。これまでの軌道関連の仕事は、抜群にskillfulな方々が個人商店的に賄っていました。しかし、宇宙研のミッションも、地球周回から月へ、地球重力圏境界へ、小惑星へ、外惑星衛星へ、遠方天体へと広がりを見せつつあり、チームとしての軌道解析能力を磨き上げ、ミッションの可能性を広げていきます。

航法誘導制御グループ(技術リーダー：坂井 真一郎教授)は科学衛星の姿勢制御や探査機の航法誘導制御について、初期段階のミッション検討から、プロジェクト段階での開発まで、様々な形で支援して来ました。「ひので」や「はやぶさ」以前から、「ひさき」、「あらせ」、現在開発中のSLIMまで、実際の現場で活躍しています。姿勢制御・航法誘導制御はミッション自体と密接な関係があり、ミッションの検討・推進から切り離せないことがほとんどです。これまでは、グループとして動く仕組みが十分整っておらず、姿勢制御や航法誘導制御について相談したくても、どこに・誰に相談したら良いか、少し分かり難いところがありました。今後は、ミッション初期検討でのご相談な

専門・基盤技術グループ



専門・基盤技術グループの構成。各技術分野で研開部門と協働しており、特に相模原の研開部門とは日々一体的に活動している。各技術やプロジェクト支援の相談は、グループ長や技術領域とりまとめ(福田・小川先生・伊藤さん)、各技術リーダー(本文参照)にお寄せ下さい。

り、フェーズが進んだ段階での技術的な“悩み事”なり、お気軽にご相談下さい。「宇宙機を思いのままに動かす」ための方法を、一緒に考えていきたい思います。

部品グループ(技術リーダー：小林 大輔准教授)と電源グループ(同：豊田 裕之助教)は、共通事項が多いことから普段の活動を共にしています。部品グループでは、研開部門や探査ハブ、外部の大学・企業と協働しながら、長期にわたる深宇宙探査に堪える部品技術を宇宙科学固有の専門技術として獲得するという、難しい課題に取り組んでいます。また、最先端の研究に携わることで磨いたセンスを駆使しながら、部品選定ガイドラインを用意したり、搭載部品をチェックすることでプロジェクトを支援しています。深宇宙探査は、電源技術にも新しい課題を突き付け続けます。15年ほど前、宇宙研は金星や水星に探査機を送り込むため、高温・高照度に耐える太陽電池パネルの開発と、長期に渡るミッション期間中にバッテリーの劣化を抑制する運用方法に取り組み、「あかつき」と「みお」に結実しました。そして今、深宇宙探査は外惑星に向かおうとしています。我々は、低照度・低温環境で力を発揮する太陽電池やバッテリーの開発に注力しています。

データ処理・通信グループでは、宇宙機搭載システムから地上システムまで密に連携が取れた活動を実施しています。科学衛星・探査機では、プロジェクト毎の開発を最小にするため、標準部品・標準機能など様々な粒度で設計を再利用しています。データ処理グループ(技術リーダー：松崎 恵一准教授)では、宇宙研が戦略をもって宇宙機システムを構築するための標準通信・データ処理のアーキテクチャを、JAXAの設計標準として制定しました。また、このアーキテクチャに従った宇宙機を管制するソフトウェアを科学衛星運用データ利用ユニット(C-SODA)と連携して維持・開発しています。さらに、近い未来の科学衛星・探査機にむけ、衛星シミュレータを簡便に構築するための技術や、搭載ネットワーク技術の研究も行っています。通信グループ(技術リーダー：冨木 淳史准教授)では、増え続けるサイエンスデータとミッション自由度拡大の両立を目指し、通信機の究極的小型化高信頼化、送信電力の増大化のための新しい半導体プロセスの採用、地上系システムへのソフトウェア無線技術の融合、といった3つの柱を中心にJAXA横断的な研究開発体制の構築を進めています。これらの技術により、宇宙開発の低コスト化に大きく寄与することができます。

福田 盛介(ふくだ せいすけ)

》ブラックホールをX線で見たい

ASTRO-Hが残した宿題に答える

——X線分光撮像衛星XRISM(クリズム)プロジェクトのPI(研究主宰者)をされています。XRISMは、X線天文衛星ASTRO-H(ひとみ)の代替機ですね。

ASTRO-Hが2016年2月に打ち上げられ、X線マイクロカロリメータから送られてきたスペクトルを見た瞬間、ものすごい衝撃を受けました。私は長い間X線天文衛星に携わり、さまざまなX線スペクトルを見てきましたが、それらとは全く違っていただけです。例えるなら、ブラウン管テレビと8Kテレビくらい違う。これから新しいX線天文学の世界が始まる、と期待が膨らみました。しかし、打上げの翌月に異常が発生してしまったのです。

運用終了が決まったとき、ASTRO-Hが目指したサイエンスをこれで終わらせてはもったいない、絶対復活させなければならぬ、と思いました。国内外の研究者からもASTRO-Hの復活を望む声が上がリ、さまざまな再発防止策を講じた上でXRISMプロジェクトが始まったのです。XRISMには、ASTRO-Hと同じX線反射鏡とX線マイクロカロリメータ、X線CCDカメラが搭載されます。

——XRISMは、どのような謎の解明を目指しているのですか？

銀河団が、どのようにできて、現在の姿になったか。元素が、どこでつくられ、どのように宇宙に散らばり再び集まるのか。それらを明らかにすることが、XRISMの大きなテーマです。

ASTRO-Hは、ペルセウス座銀河団中心部の高温プラズマの動きを観測しています。その結果は、私の予想とは違っていました。私たちが考えていた銀河団の進化のシナリオは間違っていたのかもしれない、という事態になっています。しかしASTRO-Hは1つの銀河団しか観測できなかったため、それが特殊な例なのか、普遍的なのかが分かりません。XRISMではたくさんの銀河団を観測して、ASTRO-Hが残した宿題の答えを出したいと思っています。

きっかけは波動エンジンと相対性理論

——子どものころは、どういうことに興味がありましたか？

『鉄腕アトム』のお茶の水博士を見て、博士と呼ばれる人がいるんだ、かっこいいな、と思っていました。幼稚園児のころです。SFが好きで、小学生のころは学級文庫にあったアイザック・アシモフやアーサー・C・クラークなど、子ども向けのSFを片っ端から読んでいました。SFの魅力は、やはりセンス・オブ・ワンダーです。例えば、スペースコロニーが登場するSFを読んだ後

宇宙物理学研究系 特任教授

田代 信(たしろ まこと)

1963年、福岡県生まれ。東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。博士(理学)。東京大学大学院理学系研究科助手、埼玉大学理学部助教授などを経て、2007年より埼玉大学理工学研究科教授。2017年より宇宙科学研究所特任教授を併任。



に、物が落ちるのを見ると、「おおっ！重力だ」と思う。自分のいる世界が今までとは違って見える感覚が好きです。新しい科学に触れたときも、同じ感覚を覚えます。

——なぜX線天文学の道に？

大きなきっかけは、小学生のころに見ていた『宇宙戦艦ヤマト』の波動エンジンです。超光速でワープできる波動エンジンってすごいなと思う一方で、本当は相対性理論というものがあり、光速より速く移動することはできないということを知りました。しかも、速く移動すると、早く年を取るといふ。そんな不思議なことがあるのかと、物理に興味を持ったのです。

理学と工学が一体となって

——XRISMプロジェクトには、国内外20を超える大学が参加しています。

私が教授を務める埼玉大学の宇宙物理実験研究室も参加しています。自分たちの研究室で開発した装置が宇宙に行くというのは、非常に楽しく、やりがいがあるものです。一方で、理学の世界で育ってきた私がPIになってあらためて感じたのは、理学と工学はやり方や考え方が違うということ。理学の人は、最高の性能のものを1つつくって新しい観測をする、ということを考えています。工学の人は、壊れず確実に動作しトラブルが起きたときにリカバリーできるものをつくる、ということを考えています。

もともと宇宙研には理学と工学が協力してプロジェクトを進めるという文化がありますが、XRISMではさらに意識してコミュニケーションを密に取りながら一体となって進めることを重視しています。その重要性は、ASTRO-Hの反省からあらためて学んだことでもあります。今は2022年度に予定している打上げに向けて、みんな、気合いが入っています。

——今後、観測したい天体はありますか？

ブラックホールです。ブラックホールは、私が物理の世界に入るきっかけとなった相対性理論によって存在が予言された天体であり、その姿を見たいと、ずっと思っていました。ブラックホールの姿を最初に捉えるのはX線だと信じていたのですが、2019年に電波望遠鏡で先に撮影されてしまい、あれっ!? と思っているところです。しかし、ブラックホールにぎりぎりまで近づいた物質は超高温に熱せられてX線を出すので、ブラックホールに最も近い場所の情報を届けてくれるのはX線のはずです。X線でブラックホールに肉薄し、その姿をぜひ見たいと思っています。

編集後記

今月も国際色豊かな宇宙研の活動をお伝えします。宇宙科学最前線に、「世界中の多くの人々がその実現に向けて努力を積み重ねてきました」とあります。人々の努力が無駄にならない世界であってほしいものです。世界が早く平穏な日々に戻ることを切に願います。
(坂東 信尚)



ISASニュース No.492 2022年3月号

ISSN 0285-2861

発行/国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
発行責任者/宇宙科学広報・普及主幹 藤本 正樹
編集責任者/ISASニュース編集委員長 山村 一誠
デザイン制作協力/株式会社 アズディップ

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1 TEL: 042-759-8008