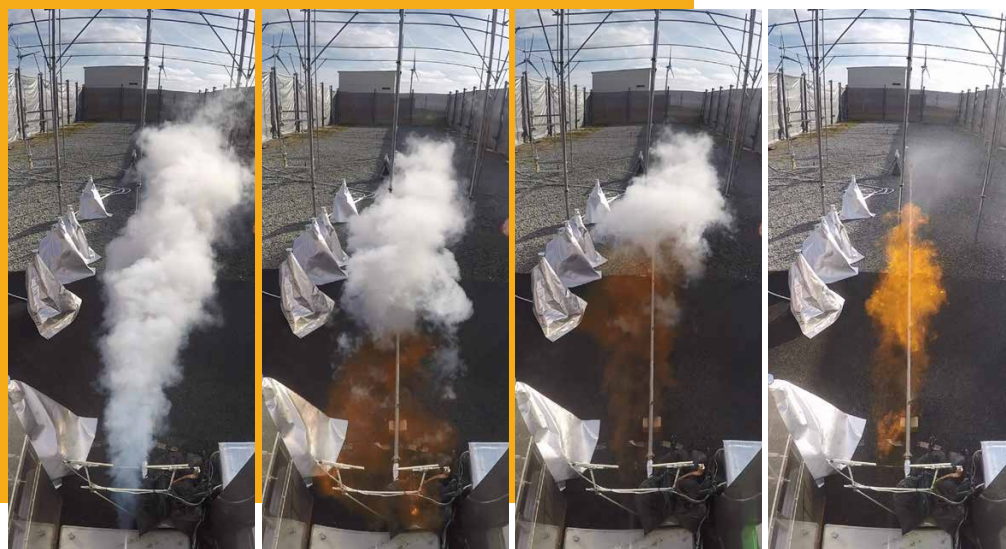


安全な水素利用技術の確立を目指して

宇宙研が岩谷産業株式会社と共同で実施した超高压液体水素の拡散燃焼実験の様子。一番左の写真は着火前の極低温水素ジェット、右3つの写真は着火後の火炎伝播の様子を示す。火炎の左側には着火時の爆風圧を計測するセンサが並ぶ。水素ステーションの安全基準提案の根拠となる漏洩水素の濃度分布や爆風圧分布などの実験データを取得し、圧力 82MPa の液体水素設備に対する隔離距離として 10m を提案した。本提案を受け、経済産業省により 2019 年に法律（高压ガス保安法・一般高压ガス保安規則・第七条）の改正が行われた。



着火前の
極低温水素ジェット

着火

火炎の伝播

塩水噴霧による
火炎の着色

The Forefront of Space Science

宇宙
科学
最前線

宇宙研と水素

宇宙飛行工学研究系 特任准教授 小林 弘明(こばやし ひろあき)

日本における宇宙と水素の関わりは、1970年代、故長友信人先生を中心とする液体ロケットの研究まで遡ることができる。手作りの水素液化機の開発から始まり、1973年10月13日に推力100kg級水冷却燃焼器を用いて日本初の液体水素／液体酸素エンジンの燃焼実験に成功（ISASニュース2007年8月号参照）、1975年には推力1ton級再生冷却燃焼器を用いて燃焼実験に成功するという、日本における基幹ロケット開発の端緒を開く成果を挙げた。以降、7ton級～10ton

級エンジン、さらには再使用ロケット（図1）を中核として、水素利用技術の研究開発が行われてきている。筆者も、宇宙研の棚次研究室に所属してから20年以上、日常的に水素を取り扱う生活を送ってきた。

ここで、ロケットが水素を使う理由について簡単に説明する。ロケットを推進するエンジンの燃費性能は、「比推力」という指標を使って評価される。比推力は、推進剤（燃料と酸化剤）1kgを使って推力1kg（9.8N）を発生し続けられる時間として定義され、単位は秒である。推進剤重量が打上げ重量の約9割を占めるロケットでは、この値を1秒でも大きくすればロケットの打上げ能力を顕著に向上することができる。熱力学の関係式を用いて式変形すると、比推力はエンジンが排出するガスの温度の平方根に比例、分子量の平方根に反比例することがわかる。つまり「ガスの温度が高く分子量が小さいほど燃費性能がよい」ということになる。多くのロケットでは、酸素と過剰な水素を燃焼反応させることで、比較的分子量の小さい H_2O （分子量18）と水素（分子量2）を主成分とした排気ガスを生成し、450秒程度の比推力を実現している。ケロシンやメタンなど炭化水素燃料を用いる場合は、生成される分子量44の CO_2 等が燃焼ガスの平均分子量を大きくするため、水素燃料の場合より比推力が小さくなる。ちなみに化学ロケットエンジンの比推力を最高にする



図1 再使用ロケットに液体水素を充填する準備作業の様子

推進剤の組み合わせは水素とフッ素で、分子量10のフッ化水素HFを生成し、比推力は500秒を超えるが、フッ素自体の取り扱いが非常に困難なことから実用ロケットには採用されていない。また、水素は粘性が低く比熱が大きいという物性から、冷媒としての性能が非常に優れており、エンジンの構造冷却に利用されている。炭化水素燃料を冷媒とする際に問題となる高温による分解析出反応がないのもメリットである。

将来の水素利用

ロケットの推進剤として優れる水素は、今後も地上からの打上げに利用され続けるであろう。また、将来の月・惑星探査においては、現地製造した推進剤を宇宙機に再補給する技術が必要とされており、月・惑星に水が豊富に存在し利用できるという前提で、水素・酸素の製造と利用が世界各国で真剣に検討されている。水があまり存在しないと判明した場合においても、豊富に存在する酸化物（月においては酸化アルミ、火星においては二酸化炭素など）を還元し、酸素を製造するために必要な水素は重要資源となり、水素を中核とする物質・エネルギーの利用サイクルが形成されると予想される。水素は、軌道間輸送機の推進剤としても利用が想定されており、電気推進のうち比較的排気速度の小さいレジストジェットやアークジェットに適用することで1,000秒程度の比推力が得られる。ただし、イオンエンジンやホールスラスタなど推進剤の大部分をプラズマ化する電気推進に対しては、分子量の小ささが逆効果となり適用が難しいとされる。

今後は、世界的な潮流となっている民間主導のロケット開発や再使用化、さらには有人化に対して、これまでに培われた水素利用技術がどのように利用され、さらに発展するかということが注目される。例えば、従来ロケットの打上げにおいては、想定される最大の事故が起きることを前提として保安距離を設定し、遠隔で運用してきたが、これからのロケットは、宇宙から戻ってくること、人が乗ること、航空機のような大量高頻度の運用を前提として、身近に水素のある状況に対して安全性を担保しなければならない。また、従来のロケットの打上げ費用における推進剤のコスト割合はそれほど大きくなかったが、ロケットが再使用化されることで機体調達のコストが大幅に低減されれば、推進剤調達のコストは相対的に大きなものとなる。特に水素燃料の単価を安くしないと、誰でも宇宙に行くことのできる未来社会を実現することはできない。

一方で、日本のエネルギー需給を巡る構造的課題として、きわめて低いエネルギー自給率とCO₂排出規制への対応があり、水素は、エネルギー供給の多様化と低炭素化を実現する切り札とされている。日本では、安全性を前提としたうえでエネルギーの安全保障と環境適合を両立する手段として、世界に先駆けて水素社会を実現することを目指し、水素調達・供給コストの大幅低減と水素大量消費社会に向けた技術確立しようとしている。ここで実施される大規模水素サプライチェーン実証では、これまでのロケット打上げ時の利用量とは桁違いの大量水素消費が想定されている。今後の宇宙開発は、地上の水素社会実現を目指す活動と共通の課題を持っており、積極的な連携が望まれる。地上における大量水素消費と宇宙における水素利用では異なる点も多いが、水素を液化して高密度状態で貯蔵や輸送を行い、ポンプや圧縮機によっ

て昇圧して利用するという基本的な部分は共通である。液体水素を貯蔵・輸送する際の蒸発損失を抑制すること、利用する際の状態変化を効率よく安定に行う技術が重要となっている。このため宇宙研は、地上と宇宙の水素利用に共通する技術について、国内外の大学や研究機関、民間企業と積極的に連携し、研究開発を行っている。

宇宙研で取り組む水素研究

筆者らは、地上と宇宙の水素利用に共通する技術として、水素の液化や固化、蒸発など状態変化に関する現象解明と課題への対応を目的とした研究に取り組んでいる。まず、ロケットが水素をどのように状態変化させ利用しているかについて、図2に示す水素の相図を使って説明する。ロケットは、領域I_aとI_bの境界（飽和蒸気圧曲線）上にある液体水素を、タンク加圧によって領域I_aに転移させ、ポンプ昇圧の障害となる液中の気泡を除去する。そしてポンプ昇圧によって領域IVを経由してIII_aへ、さらに燃焼室の噴射器で領域III_bに、そして大気あるいは真空中に放出して領域IIへ転移させる。今後商用化される水素発電でも、ロケットにおける水素と同様の状態変化が行われる。これら水素の相転移における熱流体現象は、可燃性かつ極低温流体という実験対象としての取り扱い困難さゆえに未解明な部分が多く、ポンプキャビテーション問題など、水素機器やシステム開発における多くの課題発生源ともなってきた。宇宙研の能代ロケット実験場では、ロケット向けの大型液体水素貯槽と、液体水素を最大90MPaまで加圧供給する設備、水素の大量放出や爆発実験が可能な屋外実験エリアが整備されており、水素の相転移に関する実現象の観測をベースとした研究が行われている。最近の研究成果例を以下に紹介する。

(1) 領域Iにおける研究

極低温流体である液体水素は、周囲からの入熱によって容易に沸騰状態となる。水素の沸騰は、配管中の気液混合状態を大きく変動させ、流量制御を困難なものとする。このため従来のロケットでは、液体水素を高圧化し、沸騰水素を領域I_aの液単相に転移させてから送液していた。しかし、これからのロケットの安全性向上には推進剤の供給圧力を出来るだけ下げることが望ましく、このため低圧の沸騰水素流動を安定化する技術が求められている。水や冷凍機の冷媒などを対象とする沸騰流動現象の研究は従来から多数行われている

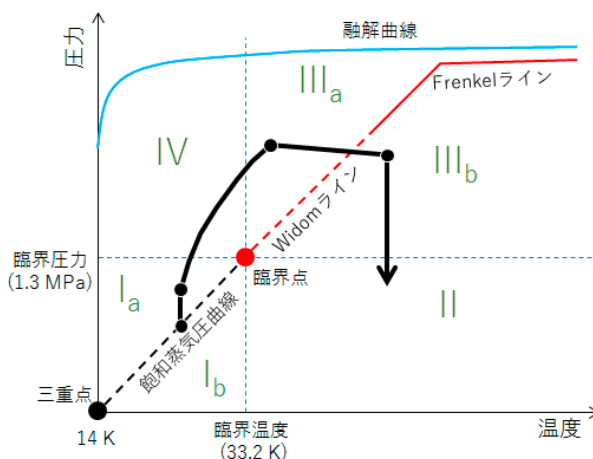


図2 水素の三態と温度・圧力の関係を示す相図
ロケットにおける典型的な状態変化を黒い矢印で示す。

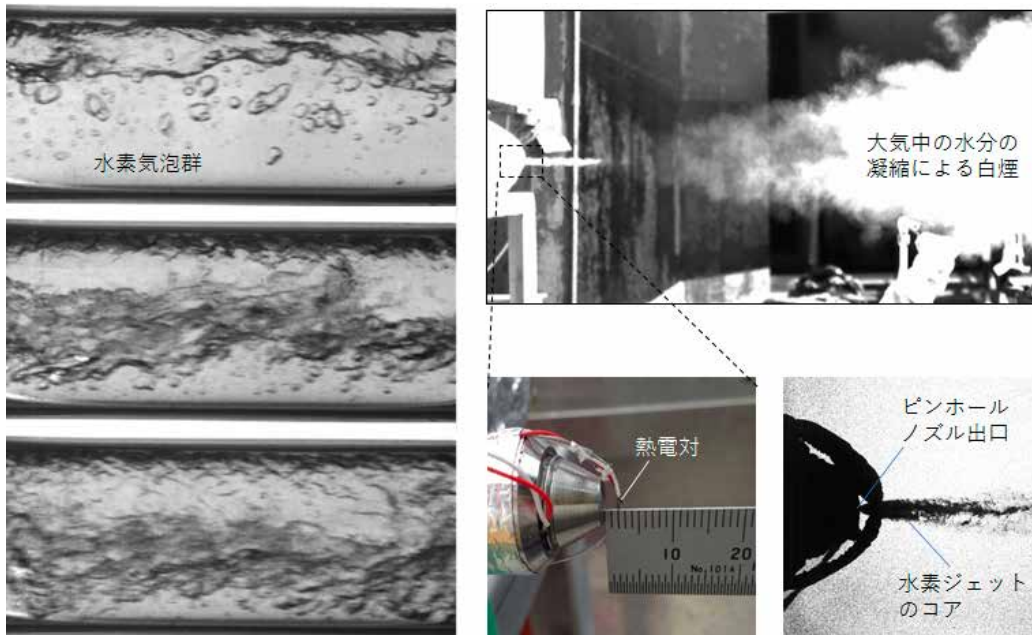


図3
左：沸騰水素流動の可視化
右：超臨界水素流動の可視化

が、他の流体に比較して表面張力と粘性率が小さい水素は、大きな液滴や気泡を維持することが困難で、沸騰水素の流動を精度よく予測できるモデルはこれまでに存在しなかった。筆者らは、配管中を流れる沸騰水素の流動可視化技術(図3左)とボイド率(気液の体積割合)を高精度に計測する技術を開発し、重力の影響まで含めた沸騰水素の流動予測モデルの構築に取り組んでいる[1]。沸騰水素の熱流動に関する現象解明と安定化技術は、ロケットのみならず、月・惑星や軌道間輸送機など、将来の水素利用に向けた重要な技術基盤となると期待される。また、本研究の成果をベースとした気泡検知や流量計測技術を地上の大規模水素サプライチェーン実証にも適用すべく、民間との共同研究を実施している。

(2) 領域Ⅲにおける研究

液体水素を閉止された容器内で放置すると、圧力と温度が臨界点を上回り、領域Ⅲに入る。ここは超臨界と呼ばれ、流体の表面張力が消失し気液界面が維持できなくなる領域である。拡散性に優れる超臨界流体は、ロケットエンジンの噴射器において混合を促進し、燃焼効率の向上に寄与する効果が期待されている。超臨界流体に関する最近の研究から、領域Ⅲは、Widomラインと呼ばれる飽和蒸気圧曲線の延長線によって、液体的な領域Ⅲ_lと気体的な領域Ⅲ_gに分かれることが判明した[2]。Widomライン上では定圧比熱の極値が存在し、このラインを跨ぐ状態変化では、領域Ⅰの沸騰に類似する「疑似沸騰」が起きるとされる。これにより、超臨界流体の噴射においても液噴射に類似した観測可能なコアが形成され、コア内部の温度・密度は一定値を保つ。従来研究によれば、臨界点から高压側に離れるにしたがって定圧比熱の極値が小さくなり、臨界圧比10でコアは消失するとされていた。しかし、筆者らが水素ステーションのリスク評価を目的として超高压液体水素を用いた漏洩拡散実験を行ったところ、水素では臨界圧比50以上の条件においてもコアが観測されることが判明した(図3右)。もし、このコアが領域ⅢからⅠへの等エントロピー膨張過程で生じる沸騰水素であるならば、「ガス水素の漏洩」を前提として10年以上かけて構築されてきた水素ステーションのリスク評価手法を根本から見直さなくてはならず、ことは重大であった。しかし、高

速度カメラを用いた観測やコアの温度分布計測などにより慎重に現象解明に取り組んだ結果、このコアは沸騰水素ではなく超臨界水素の疑似沸騰であることを突きとめた[3]。結果、水素ステーションにおける超高压液体水素漏洩のリスク評価において、従来の評価手法を適用できることが示された。本実験で取得した水素ステーション離隔距離の根拠データが、2019年の高压ガス保安法改正に反映されている。

おわりに

2017年に決定された日本の「水素基本戦略」では、大規模な国際水素サプライチェーンを構築し、水素調達コストを既存エネルギーコストと同レベルまで大幅に低減するという、水素社会を世界に先駆けて実現するための方針が示されている。宇宙研は、大学や民間企業と幅広く連携して「水素コミュニティ」を形成し、地上と宇宙の水素利用に共通する技術について研究開発を行うことで、水素社会の実現に向けた動きを加速しようとしている。水素社会が実現されれば、液体水素を燃料とするロケットの打上げコストを大きく低減し、誰でも自由に宇宙へ行くことのできる未来の到来さえ期待される。水素社会の実現を目指す取り組みは、多くの人々が夢見てきた「宇宙社会」をも実現するポテンシャルを持つのである。

参考文献

- [1] Yuki Sakamoto, Hiroaki Kobayashi, Yoshihiro Naruo, Yuichiro Takesaki, Yo Nakajima, Atsuhiko Furuichi, Hiroki Tsujimura, Koki Kabayama, Tetsuya Sato, "Investigation of the void fraction-quality correlations for two-phase hydrogen flow based on the capacitive void fraction measurement," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 44, no. 33, pp. 18483-18495, Jul. 2019.
- [2] Simeoni GG, Bryk T, A. Gorelli FA, Krisch M, Ruocco G, Santoro M, Scopigno T. The Widom line as the crossover between liquid-like and gas-like behavior in supercritical fluids. Nat Phys 2010;6:503-507
- [3] Hiroaki Kobayashi, Yu Daimon, Yutaka Umamura, Daiki Muto, Yoshihiro Naruo, Kota Miyabe, Temperature measurement and flow visualization of cryo-compressed hydrogen released into the atmosphere, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 43, Issue 37, no. 13, pp. 17938-17953, September 2018.

「はやぶさ2」、第2回タッチダウン成功!

ISASニュース7月号には表紙写真だけ速報でお伝えしましたが、第2回タッチダウン成功の状況を報告します。これで、「はやぶさ2」は、リュウグウにおけるクリティカルミッション(リスクを伴うミッション)をすべて終了したことになります。

7月10日10:46(時刻は、機上の日本時間。以下同様。なお、秒単位は切り捨て)、探査機は高度20kmのホームポジションから予定通りに秒速40cmで降下を開始しました。同日21:06には速度を秒速10cmに減速し、降下を続けます。そして、7月11日09:40、探査機は高度30mに到達し、この高度でホバリングを開始しました。

ここからが緊張の山場になるのですが、管制室にいる我々は何もすることはできません。探査機が自分で判断(=自律機能)しながら動いていくのを見守るだけです。また、管制室で見ることができるデータはドップラーデータのみです。ドップラーデータとは、探査機が送ってくる電波の周波数のことで、我々は探査機の視線方向の速度のみ知ることができるのです。タッチダウンのときは探査機の高利得アンテナ(HGA)を地球に向けてことができなくなるため、通信は低利得アンテナ(LGA)に切り替わります。そのために探査機の情報を送ることができなくなり、電波の周波数のみ取得できることになるのです。

09:48、探査機が降下を再開しました。探査機がターゲットマーカを捕捉すると降下を開始するので、ターゲットマーカ捕捉が成功したようです。ドップラーデータを見てみると、探査機は順調に降下しているようです。すると急にドップラーデータが変化しました。高度計測がLRF(レーザレンジファインダ)に切り替わったようです。そして、09:56、高度8.5mに到達し再度ホバリングを開始。その後、姿勢を最終的なタッチダウン姿勢に変更して水平移動をした後、10:04に最終降下を開始。10:06にタッチダウン! 探査機はすぐに上昇。

ここで管制室では拍手が起こりました。ドップラーデータは継続して取得されています。このことは、探査機は生きている(=少なくとも致命的には壊れてはいない)ということを示しています。みんながほっとした瞬間です。その後、10:24にはアンテナがLGAからHGAに切り替わり、探査機からテレメトリ(データ)が届き出しました。急いで確認すると、探査機の状態は正常で、さらに予定通りのシーケンスが実行されたことも確認できました。ここで津田プロマネから成功宣言があり、管制室には大きな拍手が起こりました。

運用はそのまま継続され、探査機からは画像データも続々と届きました。広角の光学航法カメラ(ONC-W1)や小型モニタカメラ(CAM-H)の画像を見ると、明らかにタッチダウンが成功したことがわかります。さらに、普段はあまり使わないもう1つの広角の光学航法カメラ(ONC-W2)からの画像も届きました。それは、衝突装置(SCI)でつくられた人工クレーターが斜め上方から撮影されているものでした(図1)。このようなアングルで人工クレーターが撮影されたのは今回が初めてです。

第2回タッチダウンについては、「やるべきか、やらざるべきか」の議論がありましたが、今回の成功は、きちんと技術的にその成立性を詰めて実行した賜だと思います。また、1回目、2回目とタッチダウンが成功したことで、タッチダウンの成功は単なる偶然ではなくて、技術的に確立した結果だと言えます。これは、今後の日本の太陽系天体探査において、大きな一歩と

なりました。

もちろん、これで終わりではありません。「はやぶさ2」は、今年の年末までリュウグウに滞在して、いろいろな運用を行います。そして、地球帰還という最後の大事な仕事が残っています。引き続き気を引き締めて、運用を続けます。(吉川 真)

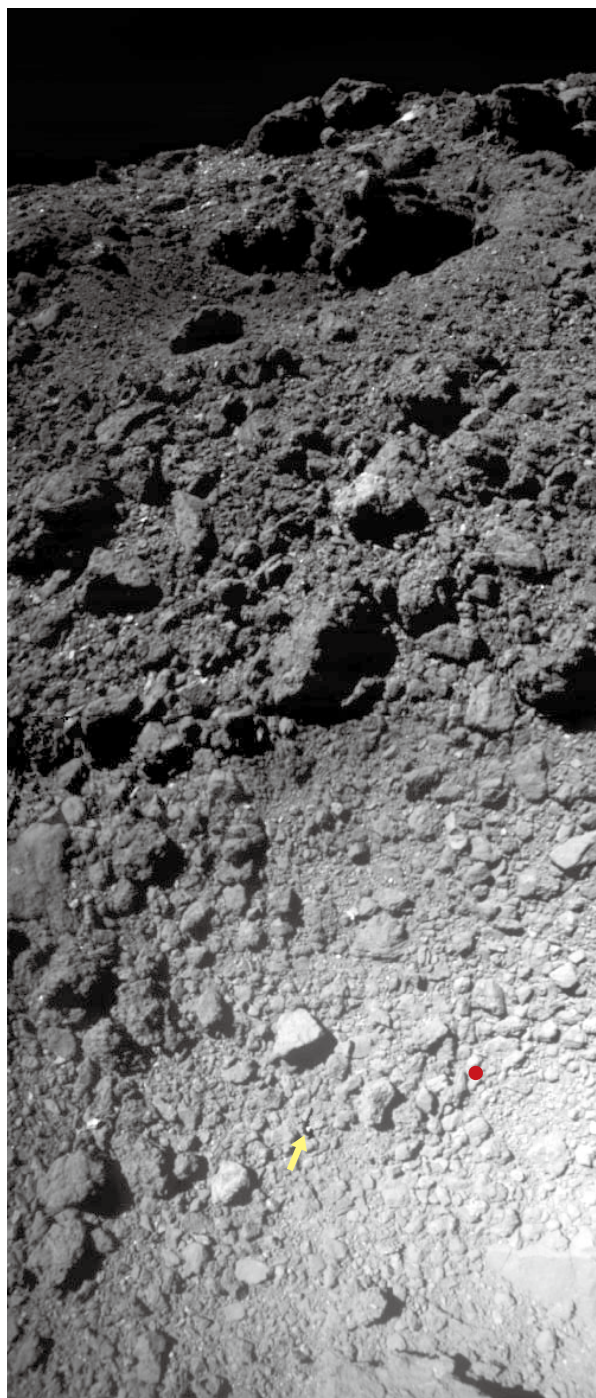


図1 人工クレーターからタッチダウン地点までの画像。上半分がONC-W2、下半分がONC-W1によって、7月11日10:04(機上、日本時間)に、高度8m付近から撮影された。画像の上の方にある小さくぼみが、衝突装置によって作られた人工クレーター。矢印の先にある白い点がターゲットマーカ。またその右の赤色の丸はサンプラーホーンが接地した位置を示す。(画像のクレジット: JAXA、東京大、高知大、立教大、名古屋大、千葉工大、明治大、会津大、産総研)

「みお」の高圧電源機器チェックアウト、順調に進行中!

BepiColombo探査機は、2018年12月から進められてきたイオンエンジンの連続運転を経て、水星に向けた航路を順調に航行しています。水星磁気圏探査機「みお」は、2019年6月24日から7月5日にかけて、搭載科学観測機器の高圧電源部のチェックアウトを実施しました。「みお」には11の科学観測機器が搭載されており、このうち7つのプラズマ粒子観測装置と、ナトリウム大気カメラに高圧電源が搭載されています。観測装置に入射してきたプラズマを正確に検出するためのMCP (Micro-channel Plate)



ドイツ・ダルムシュタットの欧州宇宙運用センター (ESOC) における、水星磁気圏探査機「みお」高圧電源機器チェックアウトの様子。夏の装いでチェックアウトに挑むプロジェクトメンバーの、真剣な眼差しが光る。筆者撮影。(ISASニュース 2018年12月号の表紙写真との比較を推奨)

は、機器により最大5kV程度の高電圧を必要とします。他方で、衛星における高圧電源の使用は、衛星に深刻な影響を与える可能性がある放電事故のリスクと常に隣り合わせです。そのため、高圧部の設計や、衛星本体・機器の表面状態の管理には、開発段階から細心の注意を払ってきました。運用においても同様で、機器のステータスを注視しながら、長い時間をかけて、ゆっくり、ゆっくりと規定値まで昇圧していきます。

高圧電源の昇圧は、大変な緊張感が伴うオペレーションではありますが、観測機器にとっては、初めて観測可能状態となるため、胸が高ぶる瞬間でもあります。水星に向けて航行中の「みお」は、周囲をMOSI (MMO Sunshield and Interface Structure) に囲まれているため、開口部に視野がある限られた観測器のみが自然現象を捕らえる可能性があります。今回の高圧電源機器チェックアウトでは、7つのプラズマ粒子観測装置すべてがトラブル無く昇圧を成功させ、自然現象の観測機会に恵まれたMEA (Mercury Electron Analyzer) では、惑星間空間を流れる太陽風の電子を捕らえることに成功しました。現象が見えだしたときの観測機器チームは、流星はプロと言わんばかりの落ち着きを保ちながらも、観測データを表示する画面を食い入るように見つめていたのが印象的でした。7月末から8月初旬にかけては、ナトリウム大気カメラの高圧電源部チェックアウトを実施する予定です。(松田 昇也)

金星探査機で太陽コロナをさぐる

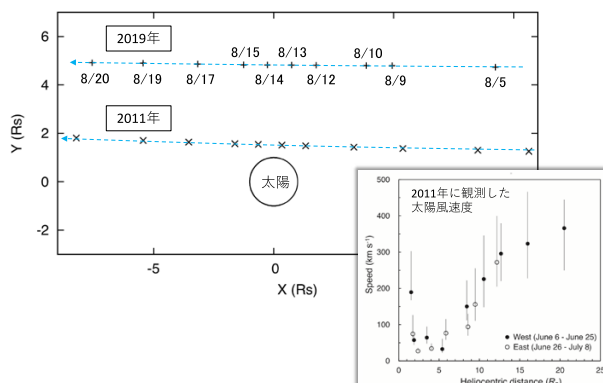
8月半ば、金星が地球から見て太陽のほぼ反対側を通過しました。「あかつき」は金星の周回衛星なので、「あかつき」も太陽の反対側を通ることになります。これを外合と言います。この時期、太陽のまわりに広がる高温のガスであるコロナのために「あかつき」との通信に支障がでるため、金星観測はお休みです。かわりに待ってましたとばかりに太陽コロナの観測を行います。

太陽の表面(光球)の温度は約6千℃であるのに対し、コロナの温度は100万℃を超えます。この高温のためにコロナは太陽の重力を振り切って太陽風として惑星間空間に流れ出します。コロナ

が加熱される仕組みはよくわかっていませんが、光球からコロナの底にかけて急激に温度が上がるプロセスについては「ひので」などの太陽観測衛星によって理解が進んでいます。光球からコロナに伝わる波動や、磁力線がたぎ替わる際のエネルギー解放によって加熱されるというのが有力です。一方で、太陽半径の何十倍も離れたところまで持続的に加熱されることも太陽風の加速のために必要ですが、この領域では観測がほとんどありません。そこで私たちは、太陽の反対側から地球に向けて電波を送信して、コロナを通過した電波を地球で受信します。電波の周波数と強度がコロナの影響で揺らぐことを利用してコロナ中の現象を調べるのです。受信には臼田宇宙空間観測所に設置されている宇宙物理学研究系の観測設備であるVLBI観測装置を用います。

私たちはこのような観測を2011年にも行いました。金星観測のために搭載した超安定発振器のおかげで周波数が安定した電波を送信することができました。このときの観測では、長周期の音波と思われる密度変動を検出するとともに、光球から太陽半径の数倍の距離で太陽風が急激に加速される様子も明らかにしました。

太陽の活動度はおよそ11年の周期で変化していて、これにもなって太陽風の状態も変化します。このときコロナではどのような変化があるのか。それを調べるために、私たちは2016年と2018年の外合のときにも同様の観測を行いました。そして今回の観測です。2011年以降太陽活動度が低下し続けているので、それに伴うコロナ加熱や太陽風加速の変化を調べられます。成果にご期待ください。(今村 剛)



2019年8月の外合と2011年の外合の前後の、「あかつき」の見かけ上の動き。Y軸は太陽の北極方向で、横軸と縦軸の単位は太陽半径。右下の太陽風速度分布は2011年に計測したもの。主に低速風を観測した2011年に対し、今回は主に高速風を観測すると思われるので、異なる結果となることが予想される。

X線分光撮像衛星XRISMに係る欧州との協力

2019年6月14日、X線分光撮像衛星(XRISM)プロジェクトに係る協力について、JAXAと欧州宇宙機関(ESA)の間で協定が取り交されました。^{*1} 昨年10月2日に交わしたNASAとの覚書^{*2}とあわせ、日米欧3機関の協力のもとでXRISM計画を進めていくことが公式に確認されました。これによりESAは、欧州各機関が担当する、主検出器Resolveのフィルターホイール部の開発に対するサポートと、ループヒートパイプや星センサーなどの装置の調達、そして、観測計画と科学成果創出活動のために科学者の派遣を行います。

欧州の協力は、ASTRO-Hでおこなった国際協力の枠組みを引き継ぐものです。ASTRO-Hの運用停止後、ASTRO-Hで装置開発に携わったオランダ宇宙研究所(SRON)やジュネーブ大の研究者との相談は早くからはじめていました。翌2017年5月には、当時、



2019年5月に宇宙科学研究所でひらかれたXRISM team meetingの参加者。日米欧のチームメンバーが一同に会した。

宇宙科学国際調整主幹だった山田亨教授と筆者がESTECを訪問、ESAの天文ワーキンググループ(Astronomy Working Group: AWG)に対して、XRISM計画へのESAの参画を訴えました。ASTRO-Hの教訓を踏まえたプロジェクト業務改革を含む対策、ASTRO-Hの成果、そしてXRISM計画の概要と期待される成果、ESAへの要望という内容でした。正直、厳しい反応も覚悟してのプレゼンテーションでしたが、結果として、とても前向きな反応をいただくことができました。なかでもASTRO-HのX線マイクロカロリメータがとらえた銀河団のX線スペクトルと、その意味するものを説明したときには、聴衆の目が輝き、会場の空気が変わったように感じました。ASTRO-Hが垣間見せ、XRISMが引き継ぐ新しい世界を、AWGの方々にも感じとっていただけたのだと思います。

もちろん科学成果を得るためには、広い意味での技術の裏付けと、チーム一丸となつての取り組みが必要です。この2年間にXRISMプロジェクトは、さまざまな機関・組織の支援をいただき、開発を進めて来ました。2019年5月には、XRISMに科学・技術の両面から携わるメンバーが宇宙研に集まり、14～17日の4日間にわたってXRISM team meetingをもちました。開発の進捗、見通し、そして科学観測計画について、チームメンバー同士の忌憚のない議論が交わされました。2017年から数えて、2021年度の打上げ・観測開始まで、ちょうど折り返し地点を過ぎたところです。衛星づくりとしてはここから正念場、心をこめて進めていきます。(田代 信)

*1 <http://www.isas.jaxa.jp/topics/002172.html> *2 <http://www.isas.jaxa.jp/topics/001901.html>

第18回「君が作る宇宙ミッション(きみっしょん)」開催

7月29日から8月2日の5日間、高校生向け体験型イベント「君が作る宇宙ミッション(きみっしょん)」を相模原キャンパスにて開催いたしました。

きみっしょんでは「自ら考え、自ら決定し、自ら作業する」を理念として掲げており、高校生が主体的に宇宙ミッションの立案・検討を行います。今年は、課題作文で選抜された高校生18名が3班に分かれ、のべ45名の大学院生のサポートのもと、自分たちのミッションを作り上げるべく、背景・目的・手段を議論しました。今回は、特に「人に伝える力を養う」ことに力を入れ、意見を交わす時間を多く取り入れることを意識して行いました。

8月1日の夕方に行われた最終発表会では、多くのJAXA職員・研究員の方々にご参加いただき活発な議論が行われました。プロの研究者の方々から鋭い指摘を受けたり、貴重なアドバイスやお褒めの言葉をいただいたりしたことで、高校生たちは強い刺激を受けたことと思います。

きみっしょんでは、高校生の進路選択の幅を広げることを目的にミッション作成以外にも様々なイベントを企画しています。今年の「所内見学」では、「再使用ロケット」などを見学させていただきました。また、実際にISASで宇宙プロジェクトを進めている方のお話を伺う「特別講義」では、最近2度目のタッチダウンに成功した「はやぶさ2」のプロジェクトマネージャである津田雄一先生の講義を受けました。どのイベントも高校生にとってとても有意義な時間になったようで、多くの質問が高校生から出てき

ました。さらに、大学院生の研究を紹介する「院生ミニ講義」や、高校生の進路相談の場として「座談会」を設けました。普段関わることの少ない大学院生との交流は、高校生が自らの進路を考えるうえで、大いに参考になったことでしょう。

一方で、運営に携わった大学院生にとっても、きみっしょんは大きな刺激になりました。普段関わることの少ない他分野の大学院生や研究者の方々と意見を交わすことで、自分の研究を振り返るきっかけを得られたことでしょう。私個人としても、研究と両立しながらの準備は非常に骨が折れましたが、企画会議などで生まれる他愛もない会話はどれも刺激的なもので、非常に充実した時間を過ごすことができました。

最後に、きみっしょんの運営・開催にご協力いただいた皆様に御礼申し上げます。すでに来年度のきみっしょんへ向けて動き始めております。今後もぜひご期待ください。(坂岡 恵美)



第18回君が作る宇宙ミッションの参加高校生と大学院生スタッフ。

「みお」つくし

世代も国境も越え水星へ挑むベピコロンの物語

水星／「惑わない星」より



水星磁気圏探査機「みお」の機体概要

「みお」の最初からの開発メンバーの一人である私にとって、かわいらしい「みお」という名より、私の宇宙研人生の約2／3を共にしたMMO (Mercury Magnetospheric Orbiter) という開発名が未だにしくります。この探査機を構造屋の観点からおおまかに説明します。

「みお」の外観を図1に示します。本体は外径1.8mの円に内接する八角柱で側面の高さは1.06m、アンテナを含めた高さは2.4mになります。重量は約280kgです。観測装置を表1に示します。この探査機は、水星周囲の磁場や電場を観測するために、長さ5mのマスト2本と長さ15mのワイヤアンテナ4本を伸ばしてスピンする必要があります。したがって、独楽と同じように回転軸を中心に対称な形になるスピン安定型の探査機になっています。

探査機の姿勢やスピンの速さは、スタースカナと2つのスピン太陽センサからの情報で決められます。姿勢制御系は、太陽光の方向や水星の赤道面に対して探査機の姿勢を一定の角度に保ち、マストなどに本体の陰が落ちないように制御します。姿勢やスピンの速さを変える場合は、本体底面に2式、側面に4式搭載されたスラスタから窒素ガスを噴射します。また、スピンのふらつきはニューテーションダンパで抑える仕組みになっています。

地球との通信は、高利得アンテナ (HGA) と中利得アンテナ (MGA) を使って行われます。より多くの情報をやりとりできるHGAは2つのモータを使うことで本体はスピンしていても常に地球に同じ面を向けるように制御されています。そのため、長時間太陽光に晒される続けるところが出てくるので、HGAは小さくてもアンテナとしての効率がよく、高温にも耐えられるように開発されました。開発初期の頃、耐熱性の高い特殊な材料を探しに現理事長と富士山の麓の方に行ったことを思い出します。

やっかいだったのは熱対策で、水星の周りでは地球の周りよりも最大11倍もの強さの太陽光を受けます。金属の板をこの太陽光に晒すと500℃を超えてしまうような素敵な熱さになります。まさに、炎の上でぐるぐると回されながらローストされていくかたまり肉のような状態になるのです。そのような灼熱地獄の中でも、探査機内部の搭載機器をほぼ常温に保つ必要があります。そこで、太陽光からの熱入力を極力小さくしながら搭載機器を収納する空間を確保するために、太陽光に晒される側面の高さを抑えた平べったい形にしました。搭載機器は上下わずか30cm強の空間に収納されています。側面のパネルには電力を得るために太陽電池を貼らなければなりませんが、色が黒いため最大230℃になります。したがって、高温になっても非常に強い太陽光を安定して電力に変え

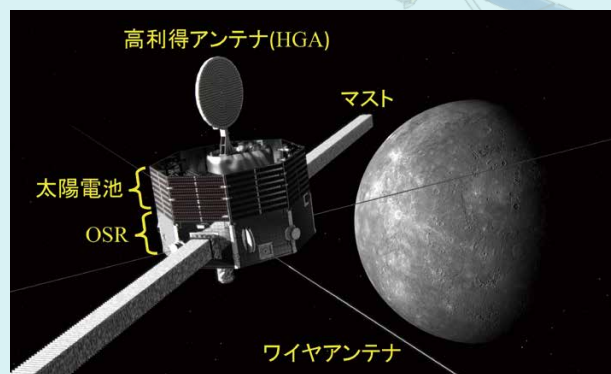


図1 「みお」と水星

装置名称	観測内容
MPPE プラズマ／粒子観測装置	水星本体および磁気圏・内部太陽圏の電子／イオン、高速中性粒子の密度・速度・温度・エネルギー分布と組成を計測
MGF 磁場計測装置	水星本体起源磁場、水星磁気圏・内部太陽圏磁場を計測
PWI プラズマ波動・電場観測装置	水星磁気圏と内部太陽圏を電場・電磁波動・電波で観測するとともに、電子密度・温度を計測
MDM 水星ダスト計測器	水星本体・内部太陽圏・恒星間からのダストを検出
MSASI 水星大気分光撮像装置	水星の希薄なナトリウム大気の分布と変動を分光撮像

表1 「みお」の観測装置

る太陽電池が開発されました。しかし、高温になった太陽電池を貼り付けたパネルの裏側に搭載機器があるとその機器も熱くなってしまいます。そこで、裏側に搭載機器があるパネルの下側には太陽光を反射して熱入力を抑えるOSRと呼ばれる鏡を貼り付け、本当は高さを抑えたいパネルを泣く泣く上側に伸ばして太陽電池を貼り付けました。だから、探査機はミラーボールのようになっていて、側面パネルの上半分に太陽電池が貼り付けられているのです。それでも探査機内部に入ってくる熱や搭載機器が出した熱は、探査機の底面から宇宙空間に逃がします。

「みお」は水星近傍までサンシールドで太陽光から守られています。ESAの探査機MPOから分離すると初めて強烈な太陽光に晒されることとなりますが、スピンを前提とした熱対策を施しているため、分離時にスピンをかける必要があります。これには、細いプラスチック製の棒を組み合わせた軽量の機構で分離しながら同時にスピンをかけられるという日本が誇る技術が採用されています。

長年に渡る開発において、熱さに対して鍛え抜いた「みお」は、現在、惑星間空間を航行中です。

構造担当 峯杉 賢治 (みねすぎ けんじ)

国際協働は文化交流から

— ネパール初訪問記 —

宇宙教育センター長

佐々木 薫 (ささき かのり)

読者の皆さま初めまして、JAXA宇宙教育センター長の佐々木です。当センターは海外機関と連携した宇宙教育活動も重視し、その一環としてアジア太平洋地域宇宙機関フォーラム (APRSAF) 宇宙教育分科会 (SEWG) の常任共同議長機関として同地域での宇宙教育活動の推進役を担っています。本年11月下旬に日本で開催されるAPRSAF/SEWGで共同議長を務めるネパール科学活動研究センター (NESARC) のアドヒカリ氏との打合せのため本年6月ネパールに初訪問したのでその時のお話をしたいと思います。アドヒカリ氏は若手宇宙エンジニアの育成に長年従事されリタイア後にNPO (NESARC) を設立、青少年の人材育成に尽力されています。ちょうどISSの「きぼう」からネパール初の人工衛星 (Nepalisat-1) を放出するにあたり、首都カトマンズでパブリックビューイング (PV) が計画され、このタイミングで打合せを実施することとなりました。宇宙ミッションは状況変化による日程変更は日常茶飯事。今回も気を揉みました。というのも放出予定日 (6月17日 (月)) と同週の金曜に、福井で開催されていた国際シンポジウム (ISTS) の教育セッションで議長を務めることになっており前日までの帰国が必須、臨機応変にネパール内での予定を組み替えることが必要でした。Aプラン、Bプラン... とオプションを備えていたのが功を奏して (?) 全て当初の予定どおりに進行しました。往路は羽田からカトマンズ入り、復路は関空着で福井直行という旅程だったのでその意味で確かに東奔西走でした。アドヒカリ氏との打合せでは今回のSEWGのテーマやアジェンダ調整がメインで、国連の国際目標であるSDG's (持続可能な開発目標) も意識し、「新たな宇宙時代に向けた多様な人材育成の推進」と「そのための教員・指導者育成」を宇宙を素材に推進する、となりました。今後各国それぞれの取組みに関する発表が多く集まることを期待するところです。

初ネパールということで訪問したからこそ感じられたエピソードをつらつらと。

1. 豚も食べない

ネパリ (ネパール人) はヒンズー教徒が多く (81.3%)、牛は神聖な生き物。加えて豚は宗教上の理由ではなく習慣的に食べないそうです。レストランのポークメニューはほぼ外国人向け、ネパリとしては選択肢にはないそうです。肉類は他にチキンとマトンがメニューにあり、これらはよく食されるそうです。



PVで衛星放出を見守るアドヒカリ氏 (中央横顔) とその前の女性が筆者。Nepalisat放出画面キャプチャ (上段左右)、モモ (上段中央)、カドマンズ大学訪問時に戴いた特徴的な木製額縁に合成してみました。

2. マトンは何?

現地懇親会での雑談中、「(ネパリも食する) マトン、つまり羊はどの地域で飼っているの?」と尋ねたところ、「食べないよ!」というネパリからの反応。「羊毛が取れるのに。」「道中、ヤギ (goat) をあちこちで見ただろう、それだよ。オスヤギを食べる。メスはミルクが取れるので食べない。」確かにあちこちでヤギを見かけてはいましたが... (車に乗せられるのを嫌がるヤギがいたがあれはもしかして???) 理屈はわかったが何でマトン? (ヤギ肉は辞書ではchevon) どうやらネパールでは (噂によるとインドも) ヤギ肉をマトンと言っているようです。日本でよく見るインド・ネパール料理店に「マトン」や「ラム (仔羊)」メニューはありますが、果たしてどちらか確かめてはいません。

3. インド人とネパール人

隣国インドへの数回の出張経験から、独特の英語の抑揚、車の割り込み方など、類似点を感じていました。そこで自国民による認識を聞いてみると異口同音に「インド人をマイルドにしたらネパール人だよ。」確かに会議などでもネパリの自己主張は比較的穏やかな印象です。リーダーシップもグイグイというよりは、プロセスごとの合意ベースで進めるところなど。また日本人の感覚に近いところ、例えば、遠慮深さや人を慮る姿勢があるなと感じました。個人差はあるにしても、大国に挟まれた小さな国の処世術としてそうした方法が根付いているのかもしれない。

4. モモ

ネパールでは是非食べるべき郷土料理。ベジモモとチキンモモがあります。小麦粉の皮でミンチにした肉や野菜を包んで蒸した料理でビールのつまみに最高です。

5. 遙かなるエベレスト

カトマンズは標高1,200mの高地とはいえ盆地のせいか毎日霞み空。近くの山は見えてもそれ以遠は雲の向こう。そこで空から雄大な山脈を拝もうと帰りの飛行機は左ウイング窓側を確保。離陸から30分後、当初から一面の雲海でしたがちょこんと突き出ている岩塊が。「頭を雲の上に出し」は富士山ですがそんな感じ。ネパールに行く飛行機は右、帰りは左の窓側の席がお勧めです。 (字数制限のためこれにて終)

編集後記

例年、夏休み期間に行っていた相模原キャンパスの特別公開は11月2日に開催予定です。夏休みの自由研究に困っている皆さん、ISASニュースも参考に、何か世の中の面白いことを是非見つけてください。今月の宇宙科学最前線は、内容は軽くない水素のお話です。(坂東 信尚)



ISASニュース No.461 2019年8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 生田 ちさと
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