

「はやぶさ2」JONC-Tに
よって撮影された
リュウグウ



2018年6月26日、12:50
(日本時間)頃の撮影。リュウグ
ウまでの距離は約22 km。形は、
予想していなかった“コマ(独
楽)型”をしており、大きさ(直
径)約900 mの天体表面には
大小のクレーターや、非常に多く
のボルダー(岩塊)が見られる。
自転軸はこの画像でほぼ垂直方
向になるが、赤道に沿って膨らみ
(リッジ)も見られる。(4P参照)
© JAXA、東京大学、高知大学、
立教大学、名古屋大学、千葉工
業大学、明治大学、会津大学、
産業技術総合研究所

宇宙科学最前線

衝撃波の数値計算と イプシロンロケットの空力解析

横浜国立大学大学院 工学研究院 システムの創生部門(併任:理工学
機械・材料・海洋系工学専攻 航空宇宙工学教育分野/機械工学教育分野)

北村 圭一 (きたむら けいいち)

衝撃波の数値計算における課題

私自身が航空宇宙工学に興味を持ち始めたのは高校時代でした。東京工業大学工学部機械宇宙学科に進学した私は、そこで JAXA(当時は航空宇宙技術研究所)の研究者の方による特別講義を聴講し、「流体力学はこんなにも航空機の実際の飛行・設計に役立てられているのか!」と驚きました。そして大学院では名古屋大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻の流体力学講座(中村 佳朗研究室)に進みました。

大学院では衝撃波が発生する二段式宇宙往還機の空気力学を研究テーマとしました。幸い名大には極(ごく)超音速(マッハ8.1、つまり音速の8.1倍の速度)流れを実現できる衝撃風洞装置があり、そこで実験を行っているメンバーがいたため、私はその数値解析を担当しました。しかし取り組んでみると、宇宙機にとっても重要な「衝撃波背後(下流)の空力加熱」が数値計算でうまく再現できませんでした。空力加熱とは空気力学的な作用(ここでは特に、衝撃波背後の高温状態と薄くなってしまう境界層)により周囲の気体から宇宙機に熱が伝わる現象です。この加熱が大き過ぎると宇宙機に致命的な損傷

を与え、2003年にはスペース・シャトル「コロンビア」の空中分解事故にもつながってしまいました。

数値計算による衝撃波背後の空力加熱の再現には、博士後期課程に進学後も悩み続ける事になります。なぜなら関連する研究例は多くなく、また調べれば調べるほど、極超音速の空力加熱を完璧に扱える計算方法が見当たらなかったためです。中には上手に極超音速機の空力加熱を数値計算で美しく捉えている研究例もありましたが、私が同じ方法を真似しても満足の行く結果を得る事ができませんでした。当時の私はとても混乱しました。

そこで博士後期3年生の時に米国ミシガン大学へ1年間、交換留学をしました。ミシガンでは数値流体力学(Computational Fluid Dynamics Conference, CFD)の大家 Roe 先生の下で流体の数値計算法の研究を行いました。その結果、既存のどの方法を用いても、極超音速流れでは「カーバンクル現象」と呼ばれる衝撃波における不安定解(図1左)やその亜種が現れてしまう事を明らかにしました。つまり、空力加熱を完璧に再現できる方法は存在していなかったのです。不安定解は手法や条件によって現れたり現れなかったりするのですが、中には

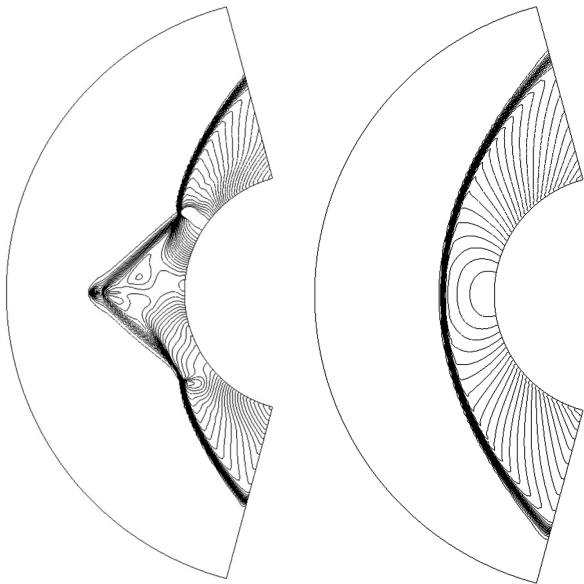


図1 宇宙機先頭部を模擬したCFD（圧力等高線）。従来法で「カーバンクル現象」が起き、衝撃波形状がおかしくなっている状態（左）と、SLAU2により正常な数値計算が行われた例（右）。

たまたま現れなかった場合のみを載せてしまう事で「カーバンクル現象を解決した」と謳っている論文もありました（著者らの意図ではなかったと思いますが…）。これにより、「CFDによる空力加熱の再現は可能だ」と考える研究者やユーザも少なくなく、業界自体が混乱していました。我々はこの問題を整理し、カーバンクル現象の起こりやすい状況や、比較的起こらない方法を体系的に調べ上げてAIAA Computational Fluid Dynamics Conference（2007年、米国マイアミ）にて発表しました。聴衆の反響は大きく、講演後にトイレに隣に来た人が「We have (an) excellent speaker!」とほめて下さった事が今でも研究の大きな励みになっています。なおこの成果は1年半後、AIAA Journalに掲載されました^{*1}。

衝撃波を安定に捉える 流体数値計算法『SLAU2』の提案

AIAAで発表後まもなく帰国し、2008年3月に名古屋大学中村先生の下で無事に博士（工学）の学位を取得した私は、翌4月よりJAXA情報・計算工学センター（現・第三研究ユニット、居室は宇宙科学研究所内）でプロジェクト研究員としてお世話になることになります。センター長の嶋さんはCFD手法の国内で数少ない研究者（しかも現役）で、当時開発中だった計算手法SLAU（Simple Low-dissipation Advection-Upstream-splitting-method）の研究を私もお手伝いする事になりました。SLAUは従来の圧縮性CFD手法の弱点であった低速流れ（非圧縮流れ）における問題（数値的な散逸量が過大となり、解がおかしくなってしまう）を簡単な定式化で解決したものです。また高速流れ、つまり衝撃波においても比較的安定な性質を有していました。しかしそれでも、異常解が現れてしまう場合もありました。そこで私はミシガン大学での研究を活かし、SLAUや類似手法の性質を詳細に調べ上げました。そして高速流れにおいては、数値的な散逸（解をぼやけさせる代わりに、計算を安定化させる）を衝撃波内部においてのみ、マッハ数に応じて大きくさせる事で、カーバンクルを大幅に回避する事に成功しました（図1右）（当時調べた限りでは、カーバンクルを完全に回避しました）。この改良手法をSLAU2と名付け、Journal of Computational Physicsに発表しました^{*2}。現在、SLAUとSLAU2を併せると圧縮性流体の計算法としては7割程度の国内シェアを占めます。またSLAU2は前身のSLAUと異なり、理想気体以外にも利用できる事から、燃焼、混相流、超臨界流体、電磁流体などへと適用されてきており、JAXAソルバFaSTARやLSFLOW、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「革新的燃焼技術」による燃焼解析ソルバHINOCAなどに標準実装され社会で広く活用いただいています（最近では、スタンフォード大学のSU2（Stanford University Unstructured）コードにも実装され始めているようです）。

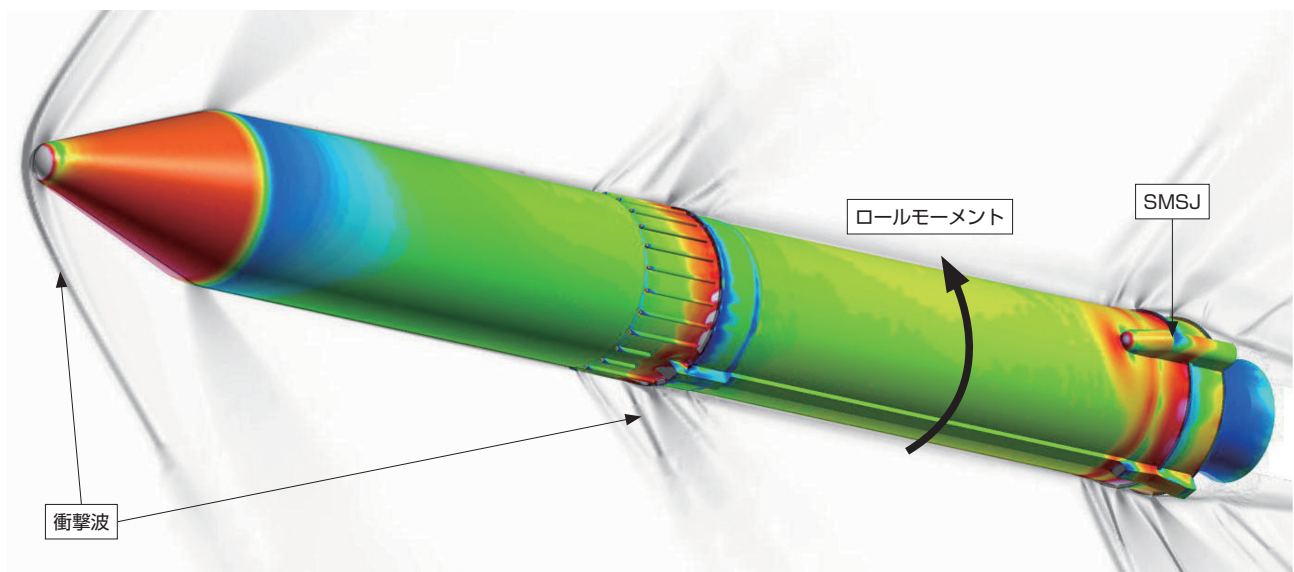


図2 イブシロンロケット空力解析例（マッハ1.5飛行時）。機体の色は圧力（白が最も高く、次いで赤。青が最も低い）。機体先端や突起先端の白色箇所でも最も高い圧力を受けている事が分かります。

提案手法を用いたイプシロンロケットの空力解析:「ロールモーメント」の予測

一方で JAXA 研究員としては、好きな研究のみを行うというわけにはいきません。私は当時開発中であった次期固体ロケット（仮称）の空力 WG（ワーキンググループ）と、その空力解析（CFD により空気による力やモーメント、周囲流れ等を明らかにする事）に必要な CFD ソフトウェア LS-FLOW の開発チームに参加しました。1 年目はロケットの風洞試験（JAXA 宇宙科学研究所の遷・超音速風洞を利用）に参加しながらも、思うように数値計算結果が得られない日々が続きました。しかし 2 年目辺りからようやく LS-FLOW の検証を終え、風洞実験結果と付き合わせながら次期固体ロケットの空力計算が行えるようになりました。研究論文の執筆と異なり、成果を身近な人にすぐに喜んでもらえる…そんな「モノ作り」の楽しさを知った貴重な時期でした。そして 3 年目くらいにロケットの名称が「イプシロン」に定まった頃、複数の論文にイプシロン空力研究の成果を発表できるようになりました。

ロケットの空力課題の一つに、「ロールモーメント」と呼ばれるものがあります。これはロケットの基軸周りに発生する回転モーメントの事で、もしこれが発生した場合にはロケット後端に搭載した 3 軸ジェット（SMSJ、Solid Motor Side Jet と呼ばれる）による姿勢制御が必要となります（図 2、数々の突起部から衝撃波が発生し、これによりロールモーメントが作られている様子が分かります）。しかし 3 軸ジェットに積載できる燃料に限りがあるため、必然的にこれによる姿勢制御能力にも限界があります。一方でこのモーメントは、その値が小さすぎる故に実測が困難でした（ノイズに埋もれてしまう）。そこで数値シミュレーションによりこれを予測する必要があるわけでした。我々は自ら実施した風洞試験による綿密な検証を行った後、提案手法である SLAU および SLAU2、内製ソフトウェア LS-FLOW、そして JAXA スパコン JSS（JAXA's Supercomputer System）を駆使して、イプシロンに働くロールモーメントが「プロジェクトが想定している範囲内の大きさである事」「前身の M-V ロケットと同程度の大きさである事」を示しました。これにより、2011 年当時の設計内容を大きく変更する事無く 2013 年の初号機打上げに至ったものと聞いております。この成果は Journal of Spacecraft and Rockets に収められています^{※3}。

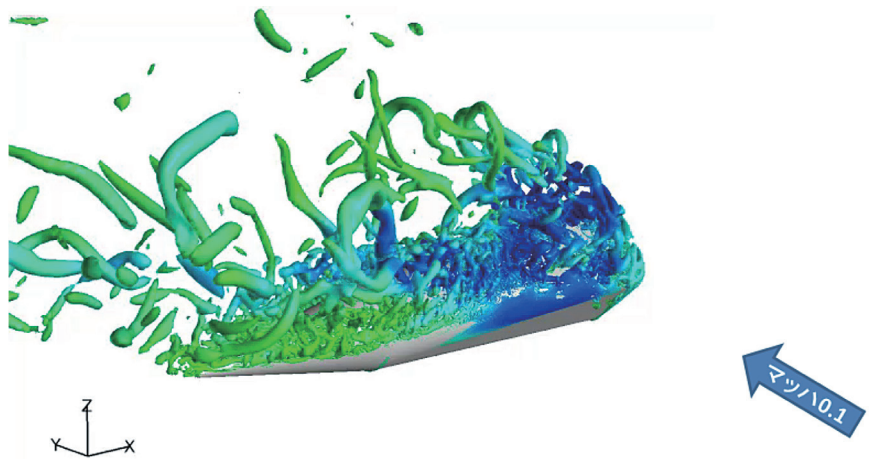


図3 細長物体周り高迎角（150度）流れの空力解析例（マッハ0.1飛行時）。迎角150度とはほぼ後ろ向きの飛行状態であり、通常の飛翔体は経験しません。よって空力的知見も乏しいのですが、今回の数値計算により大小様々なスケールの渦が機体各所から発生する様子が捉えられました（色は圧力で、青が低圧）。

JAXA 退職後、私は日本学術振興会特別研究員 PD として NASA グレン研究所の客員研究員、その次に名大助教を経て現職に就きました。現在では上記の研究を更に発展させ、ロケット一般に働くロールモーメントへの突起部の影響や、JAXA 再使用ロケットに役立つ大迎角空力特性について大学院生たちと一緒に研究を進めており（図3）、既に論文を複数発表したり^{※4, 5, 6, 7}、学生優秀発表賞を受賞^{※8}したりしています。ここでも、（主に学生たちが）JAXA の遷・超音速風洞装置やスパコンを利用させていただいております。やはり「JAXA のロケットに貢献できる」という研究は学生の高いモチベーションにつながっている事を実感しております。JAXA—大学間の連携は多くの宇宙科学の問題を明らかにし、また確実に学生を大きく成長させています。昨今の情勢を鑑みますとルールのある程度の厳格化は避けられないのかも知れませんが、今後もぜひともこの JAXA—大学連携を続けさせていただきたいと切に願っております。何卒宜しくお願い致します。

謝辞

最後になりますが、名古屋大学（現・中部大学）指導教員の中村 佳朗先生、JAXA 情報・計算工学センターの嶋 英志センター長（JAXA 研究員時代の上司）、ミシガン大学 Roe 教授、同卒業生の Farzad Ismail 博士、JAXA イプシロンロケットの空力研究でお世話になった JAXA 野中 聡先生、葛生 和人先生（現・東海大学）、藤本 圭一郎様、入門 朋子様、福添 森康様、計算力学研究センターの青野 淳也様、イプシロンロケットプロジェクトチームの皆様、横浜国立大学北村研究室のメンバーに感謝申し上げます。

参考文献

- ※1 Kitamura, K., Roe, P., and Ismail, F. "Evaluation of Euler fluxes for hypersonic flow computations," *AIAA Journal*, Vol. 47, No. 1, pp. 44-53. doi:10.2514/1.33735 (2009)
- ※2 Kitamura, K., and Shima, E., "Towards shock-stable and accurate hypersonic heating computations: A new pressure flux for AUSM-family schemes," *Journal of Computational Physics*, Vol. 245, pp. 62-83. doi:10.1016/j.jcp.2013.02.046 (2013)
- ※3 Kitamura, K., Nonaka, S., Kuzuu, K., Aono, J., Fujimoto, K., and Shima, E., "Numerical and Experimental Investigations of Epsilon Launch Vehicle Aerodynamics at Mach 1.5," *Journal of Spacecraft and Rockets*, Vol.50, No.4, pp.896-916. doi:10.2514/1.A32284 (2013)
- ※4 Aogaki, T., Kitamura, K., and Nonaka, S.: Numerical Study on High Angle-of-Attack Pitching Moment Characteristics of Slender-Bodied Reusable Rocket, *Journal of Spacecraft and Rockets*, (掲載決定)
- ※5 Inatomi, A., Kitamura, K., and Nonaka, S.: Numerical Analysis on Reusable Rocket Aerodynamics with Reduced-Yaw-Force Configurations, *Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan "ISTS Special Issue"*, (掲載決定)
- ※6 Aogaki, T., Kitamura, K., and Nonaka, S.: Computational Study on Finned Reusable Rocket during Turnover, *Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan "ISTS Special Issue"*, (掲載決定)
- ※7 Harada, T., Kitamura, K., and Nonaka, S.: Roll Moment Characteristics of Supersonic Flight Vehicle Equipped with Asymmetric Protuberance, *Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan "ISTS Special Issue"*, (掲載決定)
- ※8 河内 和親、原田 敏明、北村 圭一（横浜国立大学）、野中 聡（JAXA）、"非対称突起物を有する細長物体空力特性についての超音速風洞試験"、日本航空宇宙学会 第49 周年会講演会、1B09（2018 年 4 月）

「はやぶさ2」、小惑星リュウグウに到着

2014年12月3日に種子島宇宙センターから打ち上げられてから1,302日、ついに「はやぶさ2」がその探査の目的地である小惑星リュウグウ(Ryugu、確定番号162173)に到着しました。リュウグウ到着は、2018年6月27日、午前9時35分(日本時間)です。見えてきたリュウグウは、意外なものでした。

「はやぶさ2」は、6月3日に往路のイオンエンジン運転を終了し、その後は望遠の光学航法カメラ(ONC-T)でリュウグウを撮影しながら接近していく光学電波複合航法を行いました。6月3日の時点で、リュウグウまでの距離は3,100 kmで、リュウグウに対する接近速度は2.6 m/sほどでした。その後、10回の軌道制御を行って相対速度をだんだん落とし、リュウグウから約20 kmのところまで相対速度をほぼゼロとし、リュウグウに到着したわけです。

ONC-Tで撮影されたリュウグウは、最初は点状でしたが、細長い形状はしていないとか、少し角張っているとか、接近するにつれだんだんその形状が見えてきました。そして最終的に見えてきたものは、ちょうどそろばんの珠(たま)のような形の小惑星でした(表紙参照)。これは、誰も想像していなかったものです。このような

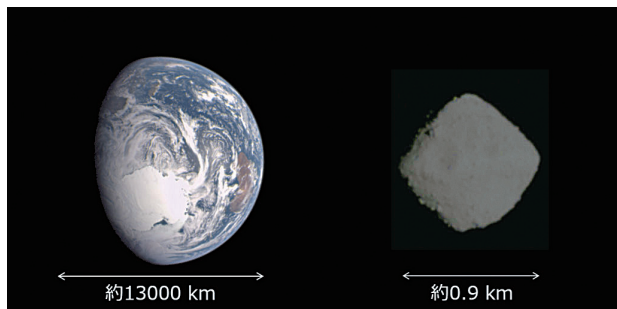


リュウグウ到着記念の集合写真。

形の小惑星は、英語ではトップ・シェイプと呼ばれています。トップとは、こま(独楽)のことです。このような形の小惑星がいくつもあることは近年のレーダーの観測などで分かっていたのですが、すべて自転周期が2時間から4時間ほどと短いものでした。リュウグウは自転周期が7時間半ほどですから、誰も「こま型」だとは思わなかったわけです。

さらに、自転軸の向きは黄道面にほぼ垂直で、当初予想されていたように極端には傾いていないことも分かりました。これは、今後のミッション計画にとっては都合がよいものです。一方で、表面には大小様々なクレーターが見られますし、さらには非常に多くのボルダー(岩塊)で覆われていることも分かりました。また、赤道部分はリッジ(山の尾根)のような「張り出し」が見られます。これらのことは、タッチダウンにとっては難度が高くなることが予想されます。

リュウグウの姿は、新しい惑星科学の開幕を予感させます。今後、詳しい探査により新たな驚きが多く待っていることでしょう。(吉川 真)

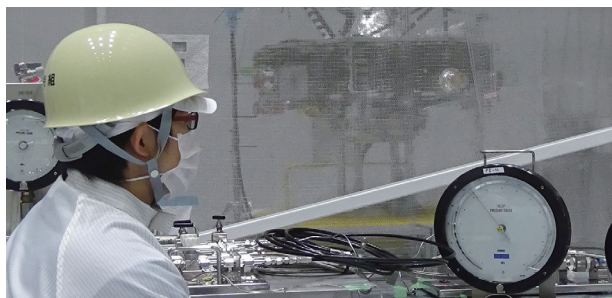


ONC-Tによって撮影された地球とリュウグウ。地球は、地球スイングバイの直後(2015年12月4日)に撮影されたもの。リュウグウは、2018年6月21日の多バンド画像からb.v.wバンド(波長0.48、0.55、0.70 μm)を用いて天然色化したもの。
©JAXA、東京大学、高知大学、立教大学、名古屋大学、千葉工業大学、明治大学、会津大学、産業技術総合研究所

水星磁気圏探査機MMO最終充填

北緯5度、赤道直下の南米ギアナ。季節は雨季で、ほぼ毎日激しいけどすぐに止むスコールと強い日差しの中での生活です。街の外はジャングルで、街の中は基本フランス語だけど中には英語を話す人もいる白人・黒人・アジア系など様々な人種から構成されています。

そんな仏領ギアナで、水星探査計画 BepiColombo の日本担当の磁気圏探査機 MMO(Mercury Magnetospheric Orbiter) の打上げに向けて、作業が進んでいます。4月末にオランダから CSG(ギアナ宇宙センター: Le Centre Spatial Guyanais) に空輸しました。5月からは簡易電気試験やバッテリー・SEDの組付けなど、概ね準備が整った所で RCS(Reaction Control System)の気密試験・最終充填を実施しました。



5月29日～6月6日にかけてギアナ宇宙センター(CSG)で行われた水星磁気圏探査機MMOの推進系の加圧作業の様子。

搭載燃料は、超高圧の窒素ガスです。調圧弁で一定圧力に制御されたガスの噴射で姿勢制御を行います。MMOは水星周回軌道に到着後、SED(Spin and Ejection Device)

によりスピンしながら分離されます。初期チェックアウト後、磁気センサ等搭載の伸展物を展開して観測を行います。RCSの主な役割は、1) 伸展物展開で低下するスピンレートをスピンアップすることと、2) 通常運用で太陽風によりMMOが少しずつ傾くのを立て直すことです。

気密試験は水星軌道上の最悪温度 60℃を想定して 27.7 MPa まで加圧し、タンク・バルブ等からガスが漏れないかを調査しました。試験ガスには分子量の小さいヘリウムガスを用います。これで漏れない事を確認し、分子量が大きく漏れにくい窒素ガスを 23.2 MPa まで最終充填しました。打上げから水星到着まで6年半も期間が有るので、気密試験はとても重要になります。僅か

なりリークも長期間では無視出来るものではありません。

CSGの広いクリーンルームではESA担当のMPO (Mercury Planetary Orbiter)、MTM (Mercury Transfer Module)、MOSIF (MMO Sunshield and Interface structure)と一緒にいる壮観な状況の中でスクリーンメッシュの防護壁に囲まれた中で実施しました。

その後は、最後の詳細電気試験、MLI等の取付、BepiColomboとして組上げ、MPO・MTMへの推進薬(ヒドラジン/四酸化二窒素/キセノンガス)充填を経て、アリアン5へ搭載し、打上げを待つ事になります。MMOに充填した窒素ガスを使うまで、まだまだ長い道のりです。(志田 真樹)

※ MMOの愛称は「みお」に決まりました。(6月8日発表)

平成30年オーストラリア気球実験

JAXAでは北海道大樹町でさまざまな理学観測や工学実証のために大気球実験を実施していますが、昨今成層圏の風が不安定で数時間以上の気球飛翔を実現することが困難になっています。一方で、天文や宇宙線物理などの分野で高精度、高感度の観測を行おうとすると、20時間程度以上の長時間観測が必要となり、大型で高価な観測器を陸上で回収して再利用することも求められてきました。また、日本からは観測が困難な銀河中心などを対象とした南半球での気球実験も要望されてきました。

宇宙科学研究所では「長時間観測」、「陸上回収」、「南天」といったキーワードを必須とする研究に対応するために海外でも大気球実験を実施してきました。過去インドやブラジルなどで大気球実験を実施してきましたが、2010年以降オーストラリアでの定期的な実験実施を目指して準備を進め、2015年に理学観測1実験を実施し、オーストラリア気球実験の第一歩を踏み出しました。そして今回、本格的なオーストラリア気球実験キャンペーンを計画し、今年2月16日から大気球を放球する北部準州アリススプリングスでの現地準備を開始しました。

今回のキャンペーンでは「気球搭載遠赤外線干渉計による晩期型星の高解像撮像(FITE)」、「気球によるMeVガンマ線天体国際共同観測(SMILE-II+)」、そして2015年にも実施した「エマルジョンガンマ線望遠鏡による宇宙ガンマ線観測(GRAINE)」の3実験を計画しました。約一カ月の現地準備の後、SMILE-II+とGRAINEの2実験は4月初めまでに準備完了となりました。

SMILE-II+は成層圏風が弱いターンアラウンドという時期の4月7日に放球され、アリススプリングス周辺を高度37 km以上で飛翔し続け、26時間余の観測を実現できました。オンボードの観測データを含むペイロードは翌日回収され、京都大学で解析が始まっています。



GRAINE実験 放球直前の様子。

その後4月26日にGRAINEを放球し、東向きの成層圏風によって1,000 km東方のクイーンズランド州まで飛翔し、高度35 km以上で15時間弱の観測を行いました。飛翔中のガンマ線事象を記録したエマルジョンフィルムは翌日回収され、シドニー大学で現像されたのち神戸大学、名古屋大学で解析されています。残るFITE実験は、現地実験準備が遅れ、また最後の放球機会と期待した5月中旬に地上風の状況が悪化したため、残念ながら実験実施を見送ることとなりました。

現地実験班の様子は本号に坂井さんが寄稿されています。また今回得られた科学成果についてはいずれ各実験グループに本誌で報告していただきたいと考えています。大気球実験グループは既に次のオーストラリア気球実験キャンペーンに向けた準備を始めています。オーストラリア側の相手方である豪連邦科学産業研究機構やニューサウスウェールズ大学とより強固な協力関係を築いて、今後も継続的に日本国内では実現困難な気球実験の機会を提供していきたいと考えています。(吉田 哲也)

再使用ロケット研究の現状

ISASニュース2015年3、5、6月号の以来、再使用ロケットについての記事がありませんでしたので、最新の状況についてご紹介します。

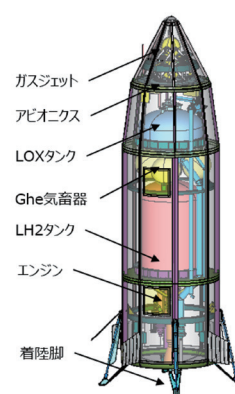
これまで何度かご報告しました再使用観測ロケットの技術実証プロジェクトは2016年度に終わりました。再使用観測ロケットは、高度100 km以上まで飛翔して発

射点に戻ってくる垂直離着陸型のロケットで、機体・エンジンを使い捨てずに100回以上繰り返し使うというものです。

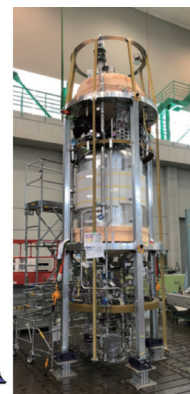
この技術実証プロジェクトにおいて、従来のロケットにはない技術的な課題を解決するためエンジンや機体システムに関する技術実証に取り組み、100回以上の繰り返し使用が可能なエンジンを開発するなど、再使用観測ロケットの運用システム開発に向けて大きく前進しました。この技術実証の次のステップとして、これまでの研究から得られた技術や成果を最大限に活用して小型の実験機を構築し、繰り返し飛行実験により運用や誘導制御などシステムレベルでの技術獲得を目的とした研究活動に取り組んでいます。

この再使用ロケット実験機(RV-X)は2003年まで飛行実験を繰り返したRVTよりも一回り大きく(全長約7m)、より将来に向けた技術を獲得するためのシステムとなっています。実験機のエンジンは技術実証で開発した再使用エンジンを機体に搭載できる形態に改修して取り付け、エンジン開発を担当したメーカなどとの共同研究で進めています。

昨年度の後半から推進系や構造系など、実験機の組み立て作業を開始し、いよいよこの7月より能代ロケット実験場にて推進系の特性を確認するための地上実験など



再使用ロケット実験機RV-Xの組み立て作業。



が始まります。飛行実験に向けたさまざまなデータの取得や、安全かつ効率的な運用方法の確認など進めていきます。

この実験機をさまざまな新しい技術を実証するためのプラットフォームとして活用し、我々が次のゴールとして目指す再使用観測ロケットや、さらなる将来の再使用型宇宙輸送システムの構築に向けて研究活動を加速したいと考えています。みなさま、応援よろしくお願いします。チームのみなさん、頑張りましょう。(野中 聡)

X線分光撮像衛星プロジェクト、始動

2018年7月1日、X線分光撮像衛星プロジェクト(X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission: XRISM)が始動しました^{※1}。

2016年4月に運用を終えたX線天文衛星ASTRO-H(「ひとみ」)が軌道上で取得した科学データは、設計どおりの高いエネルギー分解能を達成し、わずか1カ月の観測ながら10編を超える観測成果論文の出版に結びつきました。これはASTRO-Hのコンセプトの科学的価値を示しており、銀河団やブラックホールの謎の解明につながることを強く期待させるものでした^{※2}。そのため、ASTRO-H代替ミッションの早期実現に対する強い要望を国内外の宇宙物理学コミュニティからいただき、これまでNASA、ESA、大学等の協力を得てプロジェクト化に向けた準備を進めてきました。

代替ミッションの開発方針としては、限られたリソースの中で確実にミッションを実現するため、“Better is the enemy of good enough”を標榜しASTRO-Hの開発成果を最大限活用することとしました。一方、ASTRO-Hの教訓を分析し、リスク低減のために必要と判断した設計変更は確実に取り込むべく検討を行いました。一例として、軌道上で何等かの異常が発生した場合でも衛星の安全を確保するため、「姿勢制御サブシステム」、「衛星システム」、「地上系を含めた総合システム」の多層にわたる状態監視・安全措置を施すことによってロバスト性向上を図ります。

プロジェクトマネジメント体制についても、ASTRO-Hの教訓を踏まえて改善します。NASAが共同プロジェクトとして参画することで、NASAの経験・知見を取り入れてシステムズエンジニアリングを強化しま



奈良女子大学での全体会議(2018年5月)。

す。また、プロジェクトマネージャ(PM)のもと、科学成果創出に責任をもつプリンシパルインベスティゲータ(PI)と、技術的なシステム実現に責任をもつプロジェクトエンジニア(PE)を配置し、良い意味で意見を対峙させ、最適解を見つけます。

科学面では、科学成果創出を担う研究者で組織するサイエンスチームを発足させ、5月には第1回の全体会議を奈良女子大学で開催しました。遠隔参加を併せて100名を超える科学者、技術者が参加し、3日間にわたり活発な議論を行いました(写真)。次回は10月に金沢で開催する予定です。

X線分光撮像衛星(XRISM)プロジェクトは、内外の多くの協力を得て、2020年度の打上げを目指します。

(前島 弘則)

※1 プロジェクト移行を機に、プロジェクト準備段階に使用していた名称「X線天文衛星代替機(X-ray Astronomy Recovery Mission: XARM)」を一新しました。

※2 http://www.jaxa.jp/press/2016/07/20160707_hitomi_j.html

リュウグウの乙姫殿、お宝をいただきます。

近日参上
「はやぶさ2」

HAYABUSA2

リュウグウの乙姫殿、お宝をいただきます。

参上
「はやぶさ2」

HAYABUSA2

リュウグウの乙姫殿、お宝をいただきます。

参上
「はやぶさ2」

HAYABUSA2

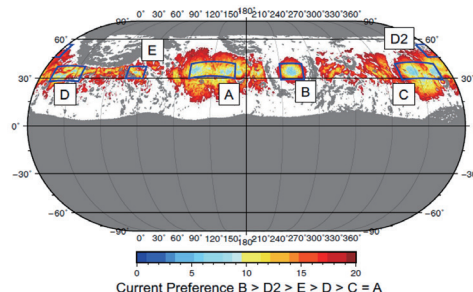


Landing Site Selection

Landing Site Selection (LSS) とは、着陸点選定を意味します。「はやぶさ2」では、サンプリング地点、MASCOT、MINERVA-IIの着陸点を決める活動です。LSSは、理工一体さらに国内外のサイエンティストとエンジニア一体で進めなければ成立しないプロセスであり、はやぶさ2プロジェクトのチームワークが試されることになります。

小惑星サンプリング地点は、主に科学的成果が最大となる地点を選択します。「はやぶさ2」は小惑星に到着するとすぐに、リモートセンシング機器で小惑星を詳細に観測します。その後速やかに解析を進め、小惑星上で最も「魅力的」な領域を探し出します。未知である小惑星環境に依りますが、「はやぶさ2」は、最大3回のサンプリングが可能です。サイエンスチームは、この3回のサンプリングチャンスを視野に入れて判断し、どこのサンプルであれば、太陽系の起源の解明に近づくことができるのかを検討します。また、MASCOT、MINERVA-IIは母船のサイエンス機器とは異なったスケールの観測を行うことができ、それらの着地点も一緒に決めることも重要です。

しかしながら、「はやぶさ2」はリュウグウのどこからでもサンプリングできるわけではありません。サンプルを採取するためのタッチダウンは、「はやぶさ2」母船にとってはリスクを伴う運用であり、できるだけ安全な場所からサンプリングを実施する必要があります。具体的



仮想のリュウグウについてLSSの訓練を行ったときの図。タッチダウンの安全性を数値で表現して小惑星上に色別で示してある。数値が小さいほど安全。灰色は危険な地域、白は数値が20以上。訓練では、特に安全な領域としてラベルが記載されている6カ所が選ばれたが、その中で科学的に最もよい場所がBということになった。

には、表面温度が低いことや表面に大きな岩がないことなどを確認する必要があります。また、「はやぶさ2」を小惑星へ降下していく際には、地球との通信や航法誘導が成立している必要があります。このような制約のため、科学的成果が最大となる地点と安全にタッチダウンできる領域が一致しない可能性があります。そのため、サイエンティスト、エンジニアが一緒になって議論し、互いの要求を理解し合い、目標点を決定します。

LSSは、すべては未知なるリュウグウ次第です。この原稿を執筆している時点でリュウグウは見えきましたが、麗しの乙姫がどんなところに住んでいるかは分かっていません。願わくは、リュウグウの乙姫に微笑んでもらえますように。

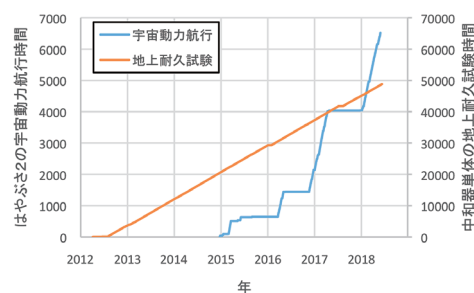
「はやぶさ2」システム担当 山口 智宏（やまぐち ともひろ）

イオンエンジン往路完走と中和器の地上耐久試験状況

2018年1月10日から開始していた「はやぶさ2」の第3期イオンエンジン運転は6月3日14:59(日本時間)に393 m/sの増速を完了し、これにて往路の運転はすべて終了しました。往路の総増速量は約1,015 m/s、試験運転を含め少なくとも1台のイオンエンジンが稼働していた宇宙動力航行時間は6,515時間で、これまでに24 kgの推進剤キセノンを消費してなお42 kgが残っています。「はやぶさ2」のイオンエンジンは「はやぶさ」搭載品を改良して1台あたりの最大推力を8 mN（ミリニュートン）から10 mNに増強しています。打上げ後はほとんどの時間を9 mN以上で極めて安定に稼働し、3台のスラスターすべてがほぼ10 mNの過去最高推力を維持して往路の運転を終えました。

「はやぶさ」では10,000時間から15,000時間の運転後に発生した中和器3基の不具合により一時は地球帰還が危ぶまれました。「はやぶさ2」では中和器の長寿命化のために放電室内壁をプラズマから防護し、電子放出に必要な電圧が低減されるように磁場の強化を行いました。試作中和器で実使用環境を忠実に模擬した毎週1回のオンオフによる高温・低温のサイクルを印加する耐久試験

を2012年夏から実施し、2014年12月の「はやぶさ2」打上げ時点では宇宙作動が予定されている時間の2倍に相当する2万時間を



2018/6/3往路完走時点までの「はやぶさ2」イオンエンジンの宇宙作動実績（6,515時間）と中和器の地上耐久試験実績（48,550時間）。

無事にクリアしています。41,770時間経過後の放電室内部観察でも特に異常は見られず、往路の運転完了の6月3日時点で48,550時間に到達しており、今後とも可能な限り試験を続行する予定です。この地上耐久試験の順調な進捗は「はやぶさ2」での今後の地球帰還までの復路イオンエンジン運転に対する自信を与えてくれるだけでなく、DESTINY+やOKEANOSなどの将来計画の検討の根拠にもなっています。

「はやぶさ2」イオンエンジン担当 西山 和孝（にしやま かずたか）

豪州の中心で 気球に魅せられて

研究開発部門 第四研究ユニット

坂井 智彦 (さかい ともひこ)

2018年の3月から5月半ばまで大気球実験に受信班として初めて参加させていただきました。実験場所は、豪州の中心アリススプリングス、周囲に広大なアウトバックの風景が広がる空港脇のBalloon Launch Stationにて行われました。放球場といっても新旧のハンガー（格納庫）が2棟、それに小さな小屋が数棟あるだけのこじんまりとした佇まいでした。

実験は日本から持ち込んだ機器の設営から始まります。現場は工事現場そのもの、現場監督吉田 哲也先生の指示のもと、フォークリフトが入り乱れクレーンもひっきりなしに動きます。放球リハーサルが終わるまで約1カ月間、40度近くになる炎天下のもと、突撃してくるハエをものともせず、メーカ、宇宙研一丸となって一気に進めます。宿に戻ると一変して皆さんの個性が発揮されます。飲み派は、ビールが主食の繊細な班長を筆頭に、皆から好かれていじられる最年長、自虐ネタ満載の陽気なムードメーカ、幸せそうな笑顔のままダウンする同期。体力派では、永遠に泳ぎ穴掘りを続けた冒険家、半ば強制的に目覚めたランナー、実験機器もウエイトに見えてしまうアスリート。趣味では、器用に創作する若きパティシエ、日本料理研究家のパパさんなど、本業が何かわからなくなる人達でした。そして宿でも日夜課された使命に務めた遺志を継ぐもの、影の努力を見せずにさりごとく人達、あと、なんでもできるゆえに1,000 km 東のロングリーチ受信コンテナを一人孤独に守っていた方もいました。

放球日は前日深夜から作業が始まります。放球場所まで気球、ゴンドラ、ガス、放球台車を運び、気球の通り道に何十枚ものマットを敷き、動作チェックを行ったのち風の判断を待ちます。No Goの判断がでた時は、何日かかけて周到に準備してきたことが一からやり直します。その時の吉田先生の毅然とした後ろ姿が印象的でした。Go判断が下った場合はガス入れが始まります。気球の高さは膨らんだ状態で約130 m、その姿はまるで巨大なモンスターが何もない平原に突如現れたかのごとく圧巻でした。手足（注入口）をゆらゆらとさせてはためいている巨大な生き物のようで、朝日に照らされて輝き、何とも言えない荘厳な風景でした。

放球は唐突に始まります。ランチャー班の飯嶋 一征さんの



旧ハンガー前にて現地スタッフとFITE チームと一緒に。

いつもと変わらない抑揚を抑えた声で3、2、1放球という掛け声のみです。運用は長い時で次の日の日中まで続きますが、これを準備作業で現場を駆けずり回ってたくたになった人も区別なく全員でこなします。ロングリーチ方向に飛ぶ時には、放球後セスナに乗って気球を追い越し、先回りして待ちかまえます。現地の受信コンテナに入ると、おなじみになった受信機から聞こえる復調音。ピコン・ピコンとリズムよく刻み、時折ジャーという測距音。受信班の斎藤 芳隆さんがこの音を聞かないと落ち着かないと言うように、なんだか気球の鼓動を聞いているかのような安心感がありました。

観測が終了すると今度は気球を着地させます。どこに落とすかは井筒 直樹さんの航路予測頼み。刻々と変わる予報のもと、地図とにらめっこしながらベストな着地点を決めます。0:00にShow Up（出勤）して、24:00手前に無事着地、次から次へと変わっていくさまはさながらテレビドラマの『24hours』の世界のようでした。さらに実験はこれで終了でなく、最後に回収が待っています。ここで登場するのが回収班の福家 英之さん。行き先にどんな困難が待ち受けてようとも、七つ道具を携え、現地の百戦錬磨の強者達を率いて道なき道を進み、鮮やかに回収してきました。

各自が専門分野を持った最小限の体制、先人達から引き継いだ歴史の重み、サイエンス側から牽引する大学、気球には宇宙研を凝縮した世界がありました。サイエンスの方々が人生をかけて実験に挑んでいるのが直に伝わる距離感、朝会夕会のテンポのよさと問題発生時の喧噪、SEの手法を織り交ぜ自分たちで知恵を絞る気球班、そこにはまだまだ実験をしているという小刻みのよい感覚がありました。おりしも実験期間中に異動を知らされ、15年お世話になった相模原ともお別れ、その最後を締めるのに相応しい2カ月半でした。新たな東奔西走の日々が始まりましたが、フットワークが軽くそれでいてタフな皆さんの姿を思い浮かべると、不思議と前向きに乗り切れそうな気がします。何もかも自分たちが限られた中で手を動かして解決しないと前に進まない、そんな決して大きくはないプロジェクトの意気込みが、もっともっとJAXA全体に広がればと思います。



ISASニュース No.448 2018年7月号
ISSN 0285-2861

発行 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

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

本ニュースは、インターネット(<http://www.isas.jaxa.jp/>)でもご覧になれます。

デザイン制作協力/株式会社アドマス

編集後記

「はやぶさ2」のリュウグウ到着をお伝えすることができて、編集担当として、またこのミッションに関わってきた者としても嬉しいのです。これから1年半のランデブー期間、様々なドラマが待っていると思います。どうぞ期待！ (田中 智)

*本誌は再生紙（古70%）、
植物油インキを使用しています。

R70
古紙/パルプ配合率70%再生紙を使用

VEGETABLE OIL INK