



JAXA火星探査航空機 の概念図

JAXAを中心とした研究グループでは航空機を使って火星大気中を飛行探査する手法を検討している。飛行探査が実現されると、複雑で起伏に富む火星地表の形状に左右されることなく、中・低高度から詳細で広域な探査が可能となる。地表の画像撮影や磁場観測などを視野に入れており、探査ローバーや周回衛星では困難なデータの取得が期待される。

宇宙科学最前線

火星を飛行探査する火星探査航空機

九州大学大学院 総合理工学研究院 准教授

安養寺 正之 (あんようじ まさゆき)

火星の飛行探査

太陽系惑星の中で地球の隣に位置し、かつて生命が存在したのではないかと考えられている火星は私たちを強く魅了する。これまでの探査によって、エベレストの約3倍の標高を誇るオリンポス山や長さが約4,000kmにもわたるマリネリス峡谷など、起伏に富んだ火星のダイナミックな地形や、地球と同様にプレートテクトニクスの可能性を示唆する残留磁場分布など、火星の様々な様相が明らかになってきた。これらの成果はNASAやESAが中心となって送り込んできた人工衛星や着陸探査機によるものだ。筆者らはこのような人工衛星や着陸探査機ではできない新しい探査手法として、火星探査航空機を使った上空からの飛行探査を構想している。航空機探査が可能となれば、探査ローバーのように火星の複雑な地形に左右されることなく、水平・垂直方向に自由に探査することができる。また人工衛星では撮影が困難な場所、例えば峡谷の断層面の画像撮影などができれば、火星内部の地層の歴史を知る手がかりとなり、惑星地質学的意義は大きい。さらに目標に近づいて低・中高度からデータ取得が可能なことから、人工衛星から得られた残

留磁場分布よりも高解像度なデータ取得が可能となり、プレートテクトニクスの仮説を補強する重要なデータとなり得る。このように広い探査領域を確保しつつ、より詳細なデータ取得が可能となることから、日本独自のサイエンスミッションの確立とその成果に期待が寄せられる。本記事では、世界に先駆けて火星の飛行探査に挑戦する火星探査航空機の開発の一端として、主翼や機体全体の空力研究について紹介する。

直面する空力課題

幸いにも、火星の重力加速度は地球の約3分の1程度となるため、火星大気飛行に必要な揚力も約3分の1でよい。これだけ見れば、火星で飛行機を飛ばすことはさほど難しくないように思われる。しかし、話はそう単純ではない。火星で航空機を飛ばすことは一体何が難しいのか。流体力学的に最も強く影響するのは火星の大気密度である。火星の大気密度は地球とは大きく異なり、地球の約100分の1程度と非常に希薄となる。このような希薄環境では得られる揚力も100分の1程度と圧倒的に小さくなる。このため、わずかに存在するこの希薄

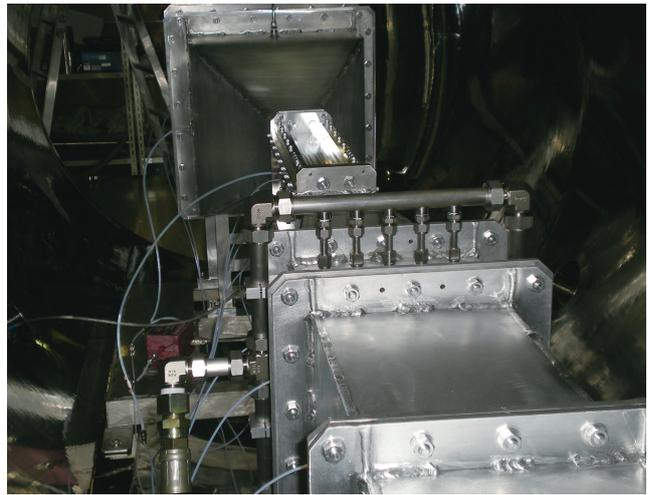


図1 火星での飛行を模擬する火星大気風洞の概観(左)。超音速エジェクター(右)。真空チャンバー内部に吸い込み式風洞が設置され、風洞測定部の下流側に設置したエジェクターから高圧ガスを噴射することで上流側の測定部に流れを誘起する。真空チャンバーの直径は約1.8m。

気体の力を利用して飛行を成立させるだけの揚力を得なければならず、航空機を飛ばすには過酷な環境と言える。さらに様々な制約条件が加わる。例えば、火星探査航空機は画像撮影などの探査を目的としているため、揚力を稼ぐために過度に飛行速度を上げることができない。また、火星までは直径1m程度のカプセルに翼を折り畳んで収納するため、主翼面積もほとんど限られている。このようなことから、飛行を成立させる揚力確保には、機体の軽量化に加えて翼自体の空力性能を大幅に向上させることが必須の課題となる。

低い大気密度は翼周りの流れの物理にも影響し、結果的に空力性能にも影響する。と言うのも、翼周りの気体の流れは密度や温度、ガス種によって変化するため、地球上の飛行で空力性能が良いものが火星でも性能が良いわけではない。むしろその逆とも言える。例えば、火星飛行の条件下では、上下対称な流線型の翼よりもただの平板や板を少し曲げた円弧型の単純な形の翼の方が何倍も高い揚力が発生するなど、火星では民間航空機用の翼設計では予測しきれない独特な空力特性を示す。こう言ったことから、火星大気飛行条件で翼の空力性能を正確に把握し、なおかつ高い空力性能を持つ主翼の設計開発が要求される。

火星での飛行を地上で模擬する火星大気風洞

筆者は東北大学大学院在籍時に火星での飛行を地上で模擬して、翼の空力性能を検証できる実験装置、「火星大気風洞」(図1)の開発に取り組んだ。風洞試験では流れの相似法則を利用して幾何学的な相似(物体形状や姿勢)が力学的にも相似になるようレイノルズ数^{*1}(Re数)とマッハ数(M数)を実際の飛行条件に合わせる。ところが火星では、Re数が 10^4 オーダー(民間航空機のRe数は $10^7 \sim 10^8$ 程度)と非常に低くなり、さらに火星での音速が低いことからM数も上がりやすいため、飛行速度によっては遷音速に近い高亜音速領域(M=0.7程度)となる。したがってこのような低Re数の高亜音速領域は、地球上の航空機設計でほとんど直面することのない、非常に特殊な気流領域である。このため、火星での飛行条件のRe数とM数を同時に満たし、空力検証ができる風洞自体が世界的に存在せず、空力特性の詳細

は未知の気流領域であった。

この火星大気風洞は風洞自体を真空チャンバーの中に入れる大胆な構造をとり、チャンバー内部で火星と同じような減圧環境を作って気流を発生させる、というコンセプトである。しかし、このような構成では設計当初、「減圧環境でいかに高速気流を発生させるか」という課題にぶつかった。一般的に風洞はそのほとんどがファン駆動であるが、これだと減圧環境では駆動効率が著しく低下するため、目標とする高速気流を発生できない。そこで、種々の方式を検討した結果、ポンプや一部のエンジンなどで使われている高圧噴射器に着目し、より大きな投入エネルギーで高い誘起流速が期待できる超音速エジェクターを駆動装置として採用した。これは測定部の下流から噴射される高圧ガスによって上流側の測定部に流れを誘起する駆動システムであるが、世界的にも風洞の駆動装置としてエジェクターが使用された事例はほとんどなかった。しかし、普通ではない環境での飛行に挑戦しようとしているので、常識にとらわれない発想のもと、このエジェクターを採用することにした。入念な気流の検定試験や地道にオペレーションシステムを構築することによって、ついに目標とする気流領域をカバーできる風洞を開発することができた。

飛行成立に向けた高性能主翼開発

2011年当時、ISAS/JAXAへと研究の場を移した筆者は火星探査航空機を検討するワーキンググループ(WG)に所属し、飛行を成立させる高性能な主翼開発に向けて、その手がかりを探っていた。実はRe数だけであれば、地球上でも火星での飛行と同等の低Re数領域で飛行するものがある。その特徴は物体のスケールが小さく、またゆっくりと飛行するものであり、昆虫や模型飛行機などがそれに相当する。昆虫などの生物の飛行が火星航空機の飛行に近い物理である点は学術的にも大変興味深い。生物の飛行では羽ばたき運動が関連して現象が複雑となるため、検討段階では航空機設計への直接的な適用は難しいと判断された。そこで固定翼を使うハンドランググライダー(HLG)に着目した。特にHLGのフリーフライトで当時の世界記録保持者であった石井満氏が制作し、愛好家の間でも高性能として知られていた“石井

 宇宙科学最前線を読み解くキーワード解説「レイノルズ数」もご覧ください → 6ページ ※1

—石井翼型 -- NACA0012



図2 石井翼型(実線)と一般的な対称翼型 NACA0012(点線)の比較。

翼型” (図2) に狙いを定めた。石井翼型は主流方向の長さ(翼弦長)が1mの場合、厚みは最大でもわずか7cm程度と非常に薄いのが特徴である。実用的には構造強度が確保できる限界に近い厚みと言える。また下面形状も独特で、特に翼の後端部分では、上面にぐっと反り返った形状となっている。この翼型は一体どの程度性能が良いのか、またなぜこの形状で性能が良いか、その物理的なメカニズムを明らかにすることで火星探査航空機の主翼設計の切り口にしようとした。

筆者らは火星大気風洞や感圧塗料センサーなどの関連計測技術を駆使し、Re数だけでなくM数も火星での巡行飛行に合わせた入念な風洞試験を実施した。これに加えて、数値流体解析グループと共同で翼周りの詳細な流体物理の解明に迫った。その結果、当時、世界的に低Re数領域で優れた翼とされていたイリノイ大学のSD7003翼型よりも石井翼型は広い迎角範囲で15~20%程度も高い空力性能を持つことが示された。また低Re数領域では翼面上で層流剥離^{※2}しやすいが、石井翼型は翼の後縁付近まで付着流れを維持し、前縁からの絶妙な膨らみ具合と平坦に近い中央付近の形状によって早期の層流剥離を防いでいることが分かった。さらに迎角の上昇に伴って、前方で剥離したとしてもすぐに再付着させることで、剥離泡と呼ばれる強い低圧領域を形成し、揚力を高める要因を作るなど、石井翼の巧みな形状が生み出す物理的な特徴の全容が明らかとなった。これらの結果をもとにして、その他の翼型とも性能比較していくことで、石井翼型からさらに高い空力性能を得るための改良に向けた設計指針を見出した。

高度36kmで挑んだ実飛行試験

石井翼型の詳細な空力特性を把握していたことや、当時想定されていたペイロードでは石井翼型でも飛行が成

立する見込みがあったことから、WGで設計された火星探査航空機の初号機では石井翼型が主翼として採用された。残念ながら火星大気風洞では2次元形状の小さな模型しか検証できないため、全機形状のような大きな模型では一般的な低速風洞や火星大気風洞に近い減圧風洞(ISAS/JAXAの惑星環境風洞)を使用するしかない。Re数のみを合わせた場合、M数が現実よりも非常に小さくなってしまい、高亜音速領域で生じる気体の圧縮性効果が空力に及ぼす影響がどの程度か見積もることができない。空力設計の観点からは数値計算以外にも、火星に持っていき前に全機モデルを使って何とか圧縮性効果まで検証しておく必要があった。そんな要求に応えるために実施したのが高度36kmで挑戦した高高度飛行実証試験(MABE-1)である。高度30km以上の世界では、火星と同じくらい大気が薄く、平均温度も約-35℃となり、重力とガス種の影響を除いて空気力学的には火星飛行とほぼ同じRe数、M数で試験が可能となる。この試験はISAS/JAXAが提供する大気球による飛行機会を得て、2016年6月12日に北海道大樹航空宇宙実験場にて実施された。大気球を使って高度36kmまで機体を上昇させ、そこから機体を切り離して滑空飛行させることで飛行中の空力データの取得を試みた。残念ながら予定していた時間全てでデータを得ることはできなかったが、高度36kmの高高度での飛行試験による全機空力データを初めて取得する成果を上げることができた。現在は、得られたデータの詳細な解析を進めており、今後の風洞試験や数値解析との比較によるフィードバックによって機体設計手法の確立を目指している。

謝辞

本記事の執筆は、筆者が2017年3月9日に第9回宇宙科学奨励賞を授与されたことに関連します。受賞対象となった研究の共著者である浅井圭介先生、永井大樹先生、藤井孝藏先生、大山聖先生、野々村拓先生、青野光先生、沼田大樹先生に深く感謝致します。また本記事で紹介した結果の一部はISAS/JAXAが提供する大気球による飛行機会を利用して得られたものです。火星探査航空機WGの皆様、飛行試験でお世話になったISASの大気球実験グループの皆様に厚くお礼申し上げます。



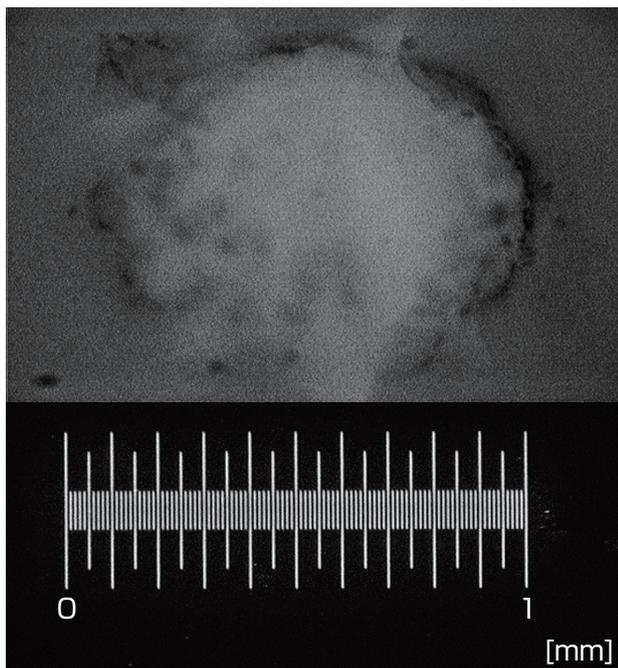
図3 火星探査航空機の初号機(左上)。機体が搭載されたゴンドラ(下)。



ISAS/JAXAの大気球(左)。放球前の様子(右)。機体はゴンドラに搭載された状態で大気球によって高度36kmまで上昇する。目標高度でゴンドラの蓋を開けて機首を下に向けた状態で機体を切り離し、滑空させた。

※2 物体表面に沿った時間的・空間的に安定した流れ(層流)が物体から剥がれてしまう現象。

「たんぽぽ」初年度試料の今:ExHAM(簡易曝露実験装置) 1号機試料は詳細分析、2号機試料は初期分析の真只中



たんぽぽ初年度エアロゲル上で発見された宇宙塵の衝突痕（提供：たんぽぽプロジェクト）。

2015年から4年間、国際宇宙ステーションにて運用中のアストロバイオロジー宇宙実験「たんぽぽ」では、微粒子を捕まえるエアロゲル製パネルが、年間最多で15枚も地球に帰還します。そのため、速やかに初期分析と試料配分を行わないと、全国の研究者の共同作業である詳細分析が滞りかねません。また微粒子を分析する際の最大の污染源は、人間による長時間作業です。そこで宇宙研では、無塵室内に設置した自作の「CLOXS（捕

集微粒子用位置同定・観察・掘削システム）」を室外から操作することにより、「無塵室を無人化」したまま、学生でも専門家と同等の繊細さで分析できるようにしました。さらに卓上スーパークリーン生成装置を組み合わせ、全作業をISO クラス1（1/10,000mm サイズの微粒子が1m²あたり10個以下）相当の清浄な環境で行えるようにしました。

1年超の宇宙曝露後に回収された8枚のExHAM1号機初年度エアロゲルの初期分析は、2016年9月26日より開始されました。初期分析開始100日後、つまり2016年末までには、優先順位の高い試料の第一弾をエアロゲルから抽出し、各詳細分析チームへ配分できました。その際、0.1mm以上の超高速衝突痕を60個以上同定しました。捕まった微粒子の軌道力学上の制約から、物質分析を待たずに彗星か小惑星起源の宇宙塵だと判定できるケースもありました。地球周回軌道での試料採取から宇宙塵やスペースデブリの分布を直接計測したのは、日本では1996年のSFU衛星以来、20年ぶりです。現在は全国の大学・研究機関にて、宇宙塵中の有機物、地球エアロゾル中の微生物などを探る分析が進行中です。

続いて、2015年11月11日から2017年3月10日まで、16カ月間曝露されたExHAM2号機初年度エアロゲル試料3枚が、今年4月6日に宇宙研へ搬送されました。現在、初期分析を実施中です。今夏にはさらに、ExHAM1号機の2年目試料1ダースが地球に帰還する予定です。日本のアストロバイオロジー宇宙実験初の科学成果を創出する日々は続きます。（矢野 創）

「宇宙学校・さがみはら」「宇宙科学講演と映画の会」開催



今年も多くの方においでいただきました。

ゴールデンウィーク後半のスタート日であった5月3日、相模女子大学グリーンホールにて春恒例の大イベントを催しました。午前中は「宇宙学校・さがみはら」、午後からは第36回「宇宙科学講演と映画の会」です。午前中は約420名の参加者があり、午後からは、約450名の方々に宇宙科学の講演を聞いていただき、新作短編映画「『あらせ』始動。ヴァン・アレン帯への新たな挑戦」のお披露目を行いました。

「宇宙学校・さがみはら」の1時間目の“先生”は北川幸樹、“授業”はイプシロンロケットを中心とした内容。

2時間目は名古屋大学／三好 由純氏による「あらせ」衛星にまつわる授業でした。「宇宙学校」企画は“生徒”と“先生”の質疑応答が中心です。子供たちからの元気いっぱい・好奇心いっぱいの質問。会場スタッフからは「質問が専門的…」とのつぶやきも聞かれました。

一方、「宇宙科学講演と映画の会」の講演は二つとも、ある意味でチャレンジな内容でした。一般向けの講演会では「易しく」「（難しい内容を）かみ砕いてわかりやすく」をモットーとすることが多いのですが、最初の講師である橋本 樹明は、あえて難しいものは「難しいのだ」と伝えて真の理解につなげる、ということに挑戦しました。一方、2人目の講演者、藤本 正樹は「そもそもなぜ惑星探査なのか」という宇宙科学の核心にせまるようなお話しでした。結果、講演は大成功で、閉会後も質問するための行列ができていました。

最後にこのたびの企画では、特に相模原市役所の職員の方にお世話になり、また支援していただきました。この場をお借りしてお礼申し上げます。（生田 ちさと）

宇宙科学探査交流棟(仮称)、建築工事開始



交流棟(仮称)の完成イメージ。イラスト作成/中央宣伝企画株式会社

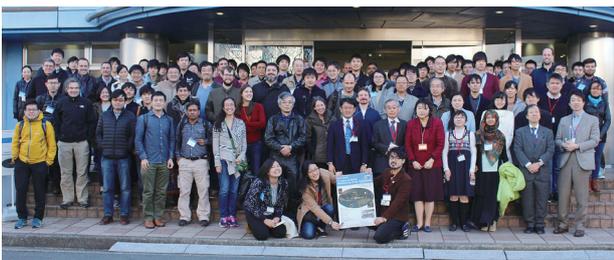
初夏の風吹く相模原キャンパスでは「宇宙科学探査交流棟(仮称。以下、交流棟)」の建築工事が始まりました。今年完成した「宇宙探査実験棟」(2016年5月号参照)と並ぶ位置に、建築面積約1,115㎡の交流棟がこの夏には姿を現します。8月25～26日に開催する相模原キャンパス特別公開のときには、(がらんどうではありますが)建物の中をご覧いただける予定です。

その後は来年1月頃の本オープンをめざして建物内の整備を進めます。企業、大学、研究機関の関係者とJAXA職員とが交流するスペースや、宇宙科学関連の展示を整備していきます。宇宙探査イノベーションハブの活動紹介をはじめ、JAXAにおける宇宙科学の取り組みを紹介する展示、さらにプレゼンテーション環境も備え、ここで多くの来訪者を迎えて交流が生まれる空間とする計画です。相模原キャンパスには現在も研究・管理棟の口

ビーに展示室がありますが、狭隘なため大人数の団体利用に対応することができないなど、見学のご要望にお応えしきれない状況が続いていました。交流棟オープン後には団体見学も交流棟で受け入れることになり、向かいの市立博物館とも相互利用の連携強化を図って、今まで以上に多くの方に見学いただけるよう準備を進めているところです。現在の展示室は、交流棟への引越作業のため、誠に勝手ながら2017年9月1日以降はお休みさせていただく予定です。

宇宙科学の取り組みを紹介する展示内容については、昨年度より相模原キャンパス在勤のJAXA職員からなる展示物検討チームや、外部有識者を含む宇宙科学研究所広報委員会で検討を重ね、展示ゾーンの設定や新たな展示物のアイデア、目玉となる展示などを議論してきました。展示ゾーンは多岐にわたる研究活動を包括する「地球から宇宙へ」「宇宙の進化と生命の起源」というふたつのテーマを設定し、これに沿って展示ストーリーを構成することとしています。また、研究活動の臨場感を伝えるため、科学衛星のエンジニアリングモデルや輸送システムの実験機、「はやぶさ」の帰還カプセル、地球外物質試料、歴史資料なども活用していこうということになりました。JAXA内外の交流を生み出すスペースとして、また宇宙科学の取り組みに触れる場としての交流棟に、どうぞご期待ください。オープンについてはISASニュースでもお知らせします。(広報 大川 拓也)

国際会議「MAXIの7年間の連続観測」開催、集録刊行



MAXI7年会議に集った研究者たち

おかげさまで全天X線監視装置MAXIは連続観測7年を迎えることができました。MAXIは6個のブラックホール新星を発見し、発見レースの首位を争っています。国際宇宙ステーション(ISS)の常時コンタクトと地上インターネットの発展を活かしたMAXI発のリアルタイム速報により、時間領域の高エネルギー天文学をけん引してきました(ISASニュース2016年9月号)。7年の節目として、2016年12月5～7日に理化学研究所(埼玉県和光市)にて「7 years of MAXI: Monitoring X-ray Transients」を開催しました。全天監視という性格に7年間のデータと研究が蓄積されたことで、実に幅広い内容の会議を開くことができました。本命の大きく広がった軟X線放射やコンパクトX線連星の変動観測、

HETE-2の流れをくむ「X線」ガンマ線バースト、新参の重力波対応天体、名脇役の恒星フレアに穴馬の潮汐破壊現象などについて発表がありました。タイミング良く「ひとみ」の成果セッションも設けることができ、参加者はこれまで5回開かれたMAXIの国際会議中最多の143名、外国人は12か国28名、口頭/ポスター発表は48/63件でした。バンケットでは松岡勝MAXI主任の喜寿(77歳!)と常深博SSC主任の定年を祝うイベントもあり、各国参加者の親睦も深まりました。トランジェント研究の世界ではグローバル化が進んでいます。MAXI、Swift/BAT、Fermi/GBM、Integralは言うに及ばず、会議では2015年9月に打ち上げられたインドのAstro-satや、2016年9月に打ち上げられた中国のPOLARの初期成果も紹介されました。6月に打上げ予定のアメリカのX線観測装置NICERとはISS上でのMAXIとの即時連携が期待されます。3月末には集録も刊行されました。MAXIホームページから取得可能です。写真満載の紙冊子をご希望の方は筆者までご連絡ください。なお、開催において宇宙科学振興会から援助を頂きましたことをここに御報告し、感謝の意を表します。

(理化学研究所 三原 建弘)

文部科学大臣表彰、科学技術部門 受賞

平成 29 年度文部科学大臣表彰 科学技術賞（研究部門）を、金星探査機「あかつき」に関わる JAXA 研究者 3 名と、超小型深宇宙探査機「PROCYON」に関わる研究者 3 名（東京大学所属 2 名、JAXA 所属 1 名）が受賞しました。代表して中村 正人教授と富木 淳史助教からのメッセージを掲載します。



中村研究室に飾られた記念の盾

「探査機あかつき金星周回軌道投入計画とその制御に関する研究」という題目で戸田知朗、鈴木（廣瀬）史子と共に文部科学大臣表彰されました。今回の受賞は、2010 年の投入失敗から 5 年間、再び探査機を金星に持っていくための JAXA、大学、メーカーを包含するプロジェクトチーム全体の堅忍不拔の志に対して、チームを代表して我々 3 名が表彰されたものと考えております。あかつきに対するこれまでの皆様のご支援とこれから頂くサポートに深く感謝致します。この投入を契機に科学データが続々と地球に送られてきています。科学担当チームは全力を挙げてデータの解釈をし、大量の論文が書かれつつあることをここに報告いたします。（中村 正人）



代表として授与式に出席した左から筆者、船瀬龍先生、小泉宏之先生

大学と宇宙研の若手が中心となって、世界に先駆けて 50kg 級という過去最小クラスの深宇宙探査機「PROCYON」を開発し、その後の軌道上運用の成果により、超小型衛星の活動領域を地球近傍から、より遠くの深宇宙空間に広げることができました。こうしたプロジェクトチームの功績が、平成 29 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞（研究部門）（受賞業績：世界初の超小型深宇宙探査機の研究）として評価されたことを、大変うれしく思います。今後も超小型探査機を通じて、将来の多種多様な宇宙科学ミッションの実現に貢献できるよう、努力していきたいと思っております。（富木 淳史）

Keyword

今月のキーワード

レイノルズ数

気体や液体の流れを扱う流体力学の世界では、対象としている物体が非常に大きなものであっても、それをスケールダウンさせた小さな模型を使ってその物体周りの流れの特性を理解することができる、便利な相似法則が存在します。シンプルな例として、大きさが異なる 2 つの球の周りの流れを考えてみます。球なので形は全く同じですが、大きさが異なる上に球の周りを流れる流速が違えば、2 つの球の周りの流体现象も異なってきます。しかし、両者の間で物理量に基づいたあるパラメータを一致させることができれば、たとえ球の大きさが異なっても物理的な流れのパターンは同一となり、片方の球に働く力が分かれば、他方の球に働く力も幾何学的もしくは力学的な倍率を掛けることで求めることができます。この、工学的に非常に有用なパラメータが「レイノルズ数 (Re 数)」です。一般的な表現をすると、物体の形状や姿勢など幾何学的な相似が、力学的にも相似であることを示す相似パラメータの 1 つになります (レイノルズの相似法則)。

Re 数は物理的には流体が持つ粘性力と慣性力の相対的な大きさを表し、密度、流速、物体の代表的な長さ、

流体の粘性 (粘性係数) で構成される無次元パラメータです。自動車や航空機など、実際の工学的な問題の場合 Re 数は 10^5 から 10^8 程度になることが多く、特に 10^6 以上の値になると高 Re 数と呼ばれ、流体が持つ慣性力の影響が大きくなります。高 Re 数では、流体中に「乱れ」が成長することで、時間的・空間的に不規則な流れである「乱流」が生じます。一方で、一般的に 10^5 以下の場合には低 Re 数と呼ばれ、物体が小さく、ゆっくりと移動するもの、例えば昆虫の飛翔や小型模型飛行機などの場合がそうです。特殊な例では、火星など大気密度が地球の 100 分の 1 程度と非常に希薄な環境で飛行する火星探査航空機なども、 10^4 程度の低 Re 数に相当します。低 Re 数では、物体表面に非常に近い領域 (境界層) で流体の粘性力の影響が大きく働き、流体が時間的・空間的に安定した層流となります。層流状態か乱流状態かなど、流れの特徴も Re 数によって整理することができるため、物体に働く空力特性を評価する上でも流体力学上、最も重要なパラメータの 1 つと言えます。

(安養寺 正之)

「そして衛星開発は続いていく」

●ファンクションマネージャ 福田 盛介

「れいめい」から「ひさき」、今回の「あらせ」、次のSLIMと、泥臭いながらも一貫して衛星開発の現場で過ごしていることをうれしく思っています。仁田さんがお尋ねの変わること／変わらないことですが、あまり気負わず、いかにプロジェクトに参加する全てのメンバーや関係者の力を結集し、衛星をつくり上げていくことを「楽しむ」かを大事にしています。青臭いですが、チーム全体のモチベーションを上げることが、素晴らしいミッションを達成するための一番の近道だと信じています。

ERGには出たり入ったりしましたが、昔のメールを検索すると、2006年の10月頃に、亡くなられた小野高幸先生と、標準バスへの要求仕様についてやり取りしています。迅速な成果創出が小型科学衛星シリーズのモットーでしたが（SPRINTはそういう意味です）、やはり10年かかったことには忸怩たるところがあります。小野先生とのやり取りの内容は、EMC（電磁適合性）、スピントイミングのミッション部への配信、データレコーダ容量等々。この10年、標準化と個別のミッション要求の間で、メーカーさん共々頭を悩ましたあれやこれやです。ともあれ、三軸ポインティングの「ひさき」とスピン安定の「あらせ」を、同一設計のバスで無事に軌道投入でき、理学の皆さんに観測で使い倒していただけることは、感慨ひとしおです。

バス部取りまとめという所掌でしたので、現場で混乱の芽を摘み取るべく全体を見渡しているつもりでしたが、JAXA／メーカー含めて各サブシステム関係者の能力と努力のたまもので、天と地がひっくり返るような大きな不具合は起きず、無事に開発を完了できました。お前の天と地はもともとから…というお叱りがありそうですが、実際に標準バスの効果が出て、ERGのシステム試験での不具合は「ひさき」開発時と比べて激減しました。これは、シリーズや継続の大事さを示唆していると思うのですが、最近がらんとしたC棟に入ると、何だか危機感を感じます。どんどん衛星プロジェクトを立ち上げ、回していかなくては、会議資料だけ作るのがうまくなってしまいましたので。



内之浦イプシロン管制センターでの坂井（左）と福田（右）。独り言が相手に聞こえる距離感が肝。

（福田から坂井 真一郎さんへ）

「れいめい」、「ひさき」、「あらせ」と一緒に仕事をしてきましたが、今回の打上げ前は、システムの私から見ても、姿勢系はひと際大変だったと思います。いつもクールに仕事をこなす坂井さんが、さすがにまずいと思った局面はありましたか？

【「事故」を経た第一歩を踏み出して】

●姿勢制御系担当 坂井 真一郎

「まずいと思ったことはあったか」ですが、打上げを控えたあの頃、「天候で打上げが遅れるかも」といった話題が出るたびに坂井が目をは輝かせていたことは、ご記憶の方が多いかと思います。

あの頃、時間が足りない焦っていたのは、自分の準備不足でした。「れいめい」、「ひので」、「ひさき」と初期運用に参加する中で、「自分でも計算・シミュレーションする」というスタイルがすっかり身につけてしまいました。それは例えば、インターフェース条件や仕様範囲を超えたような広いパラメータ空間を設定した総当たりシミュレーションにより「〇〇が起きたら何が起これるか」を自分なりに把握する、といった作業です。計算機をかき集めて台数で勝負するわけですが、いずれにせよ、今回はそういった自分の準備に割ける時間が足りず、いささか焦っていました。

その分、事前の総点検や審査会は充実していましたので、そのおかげで全体として運用の確実性を高められたことも事実です。例えば、姿勢制御のダイナミクスシミュレータと搭載計算機に、地上系までが接続された運用模擬環境は、「れいめい」では準備できたものの、「ひさき」等では実現できていませんでした。今回は総点検での指摘もあって、この環境で運用訓練を実施することができ、これにより、メーカー側・ISAS側での役割分担を含めた練度を格段に向上できたと思います。また、運用時の承認プロセスを明確に定めたことも、結果として確実な運用に大きく寄与したと実感しています。

これらはいわば、科学衛星の初期運用に対する新しいプロセスや視点の導入だったと理解しています。そこには、ASTRO-H事故を経て我々が学ぶべきものが確かにあり、今後につなげるべきものが確かにあると思います。その上で、つまりそれらをきちんと消化して自分たちのものとした上で、科学衛星の実情に即して最適化・効率化していくことが、「事故」を超えていくための今後の課題だと思っています。

なお結果として、今回の初期運用については個人的に、ある種の「やりきった」感を抱いています。それは、地上姿勢決定についてプロジェクト研究員 Ersin Soken 君の、伸展シミュレーションについて大学院生の太田祐介君のサポートもあってのことですし、伸展シミュレータを残してくださった小松敬治先生の、ニューテーションパCFD数値解析を実施くださった研開部門根岸秀世・梅村悠両氏のおかげでもあります。この場を借りてお礼を申し上げたいと思います。

（坂井から竹内 伸介さんへ）

質量特性の精密管理、伸展物の減衰特性評価、ニューテーションダンパの流体解析などなど、竹内さんと一緒に検討する機会がいつもより多かったように思います。ホントのところ、ヤバいと思っていたものも中にはありましたか？

《次号に続く》

成功の目安は100mg、でも、「はやぶさ2」には正直、ティースプーン1杯持ち帰ってほしい



地球外物質研究グループ グループ長
太陽系科学研究系 特任教授

垣本 尚義 (ゆりもと ひさよし)

1958年、和歌山県生まれ。1980年、筑波大学第一学群自然科学類卒業。1985年、同大学院博士課程修了。筑波大学地球科学学助手・講師、東京工業大学理学部助教授を経て、2005年、北海道大学大学院理学院教授。2016年3月よりクロスアポイントメント制度でJAXA 地球外物質研究グループ長・教授。日本地球化学会会長。

▶ 「はやぶさ2」のサンプル保管・配分の施設を設計 ——昨年3月、文部科学省のクロスアポイントメント制度を活用してJAXAに来られました。なぜ宇宙研に。

クロスアポイントの活用は宇宙研の教育職では初と聞いています。2015年に「はやぶさ」および「はやぶさ2」のキュレーションを行う新組織、地球外物質研究グループが発足し、そのグループ長募集がありまして応募したわけです。「はやぶさ」には学生のころ、打上げ前の計画段階から関わってきましたし、帰還後はプロジェクトチームの一員として、小惑星イトカワから持ち帰ったサンプルの初期分析にも参加しました。もともと僕の専門は太陽系の起源と進化で、地球に飛来する隕石の情報をもとに太陽系の歴史をひもときたいと思っていますから、この機会を逃がすわけにいかないと思って。今は札幌と相模原で7：3の生活です。宇宙研には週1日か週2日くらいいます。

——この1年間、主にどのような仕事を。

2014年12月に打ち上げられた「はやぶさ2」は、C型小惑星リュウグウのサンプルを採取して、東京オリンピック後の2020年12月に帰還します。そのサンプルを保管し、研究者に配分するための施設の設計を主にやってきました。今は最終設計が終わり、これから製作に入ろうという段階です。ここでの問題は、採取したサンプルを地球に汚染されないままの状態に保つこと。地球上に宇宙の真空をつくるのは不可能ですが、人間にできうる限りの真空をつくり、そこでサンプルの入ったカプセルを開く。開いた後も、地球に汚染されない環境を維持するため世界最高純度の窒素ガスを使います。そのあたりのノウハウは「はやぶさ」の経験の蓄積があります。「はやぶさ」以外にも、例えばJAXAが共同研究のパートナーになっているNASAの小惑星探査機「オシリス・レックス」が持ち帰るサンプルのキュレーションや、火星

の衛星の探査計画などにも携わっています。

▶ 宇宙研の研究室に太陽系をつくりたい ——宇宙への興味が芽生えたのはいつですか。

小学校高学年ころから天体望遠鏡で木星を観察したりしていました。中学校に入るとジャコビニ流星群だとか火星の大接近だとか、天文イベントが続いていて、そこから自然に天文や惑星への興味が強くなっていったという感じです。でも、僕が本格的に宇宙の研究を始めたのは博士号を取ってからです。それまでは地球科学を専攻していて、博士論文も地球の深海の石をテーマにしたものでした。だから隕石から入っていったのかもしれませんが。地球の石から宇宙の石に研究対象が移っていっただけで、僕の中では決して不思議ではない。そんなこともあって、宇宙の太陽系の、それも大きな惑星ではなく、年代が古い小天体に興味を持ってずっとやっています。

——宇宙研で仕事をされて、どのような印象を持ちましたか。

まず、みなさん非常に一生懸命にやられていること、そしてすごくポテンシャルがあると感じました。グループ長として、これからこの地球外物質研究グループの活動をより活発にして、JAXAの中での存在感を高めていきたいと考えています。「はやぶさ2」が帰ってくるまでは、比較的ゆったりした時間があるので、例えば今、宇宙研の研究室の中に太陽系をつくり、地球外物質をつくるというような研究をやってみたいと思っています。恒星の周りですごく小さな粒子ができて、それが集まって地球に成長するわけですが、それをリアルに再現する装置ですね。研究室の中に作る宇宙で、物質が物質が10nmから1万kmに進化する様子を原子・分子レベルで研究します。他には、採取したサンプルを、宇宙空間で探査機に載せたロボットが分析する装置の開発などもやっています。サンプルが地球に戻って来るまでには、冥王星くらいになると100年かかりますから。

——「はやぶさ2」には何を期待していますか。

地球に飛来する隕石の80%はイトカワのような小惑星から来ることがわかっていますが、残りの20%がどこから来るのかわかっていません。しかし、宇宙にはその20%の物質からなる小惑星の方が多いのです。今「はやぶさ2」が目指している小惑星リュウグウは、イトカワよりも始原始的な天体で、同じ岩石質の小惑星でありながら有機物や含水鉱物をより多く含んでいると考えられます。僕らの予想が正しければ、それは炭素質隕石のようなものです。有機物がたくさん入っているので、これを研究していくことで地球上の生命の素が宇宙からどういふふうに来て、宇宙の物質からわれわれのような生物に進化したか、その糸口がつかめると思う。「はやぶさ2」は、100mgのサンプル採取で成功と公表していますが、正直なところ、ティースプーン1杯くらいはぜひ持ち帰ってほしいですね。



ISASニュース No.434 2017年5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

〒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/>)でもご覧いただけます。

デザイン制作協力／株式会社アドマス

編集後記

太陽・宇宙プラズマなどの磁気プラズマ流体では、「磁気」レイノルズ数が使われています。磁気流体力学は電導性の流体を扱うように拡張された流体力学なので、似た概念が使われるのは当然でしょうか。(清水 敏文)

*本誌は再生紙(古70%)、植物油インキを使用しています。



古紙/パルプ配合率70%再生紙を使用

