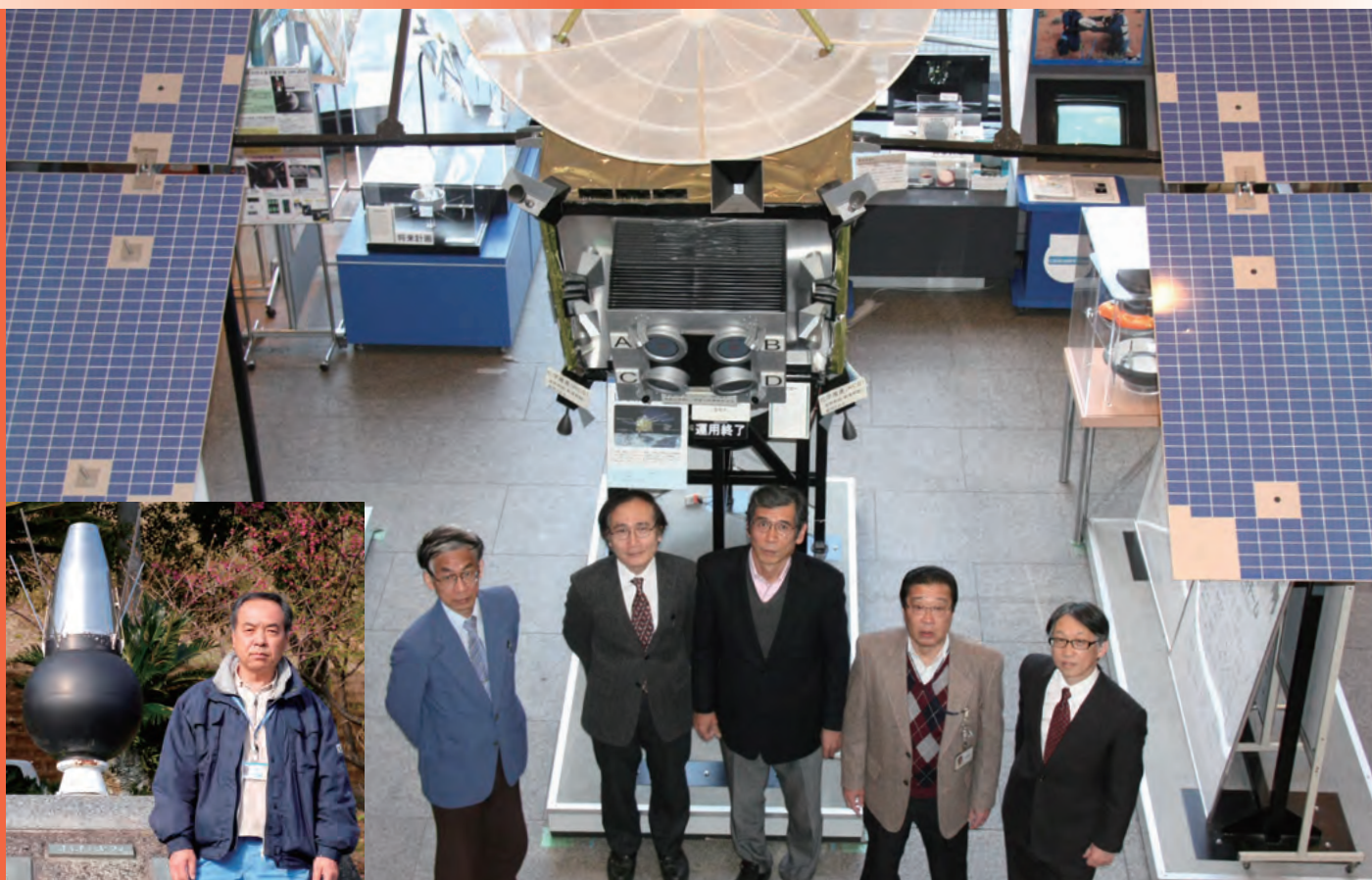




左から、感應寺治城さん、齋藤 宏さん、池田博一さん、八田博志さん、吉田裕二さん、清水幸夫さん。

送る言葉

常田佐久

宇宙科学研究所長

今年も退職なさる方々をお送りする季節となりました。本年度は、池田博一さん、感應寺治城さん、齋藤 宏さん、清水幸夫さん、八田博志さん、吉田裕二さん（五十音順）の6名の方々です。

池田さん（宇宙機応用工学研究系 教授）は低雑音集積回路の専門家で、アナログ・デジタル回路やデバイスの設計で難しい問題が出たときにお世話になったプロジェクトも多いと思います。感應寺さん（内之浦宇宙空間観測所 主任）は、内之浦のネットワーク・射場系設備の維持・管理を担当、ロケット打上げ業務では特に通信班で活躍されました。齋藤さん（衛星運用・データ利用センター衛星運用グループ）は、衛星運用・試験とそれらを支える設備の維持・運用スケジュール調整・不具合対応など衛星運用に関係するすべての分野で活躍されました。清水さん（S&MA マネージャ）は、当初電気推進機の研究開発に従事されていましたが、安全・品質保証

のマネージャとして宇宙科学ミッションに貢献されました。八田さん（宇宙飛翔工学研究系 教授）は、耐熱材料および複合材料の専門家として、ATREXエンジンやロケットノズルなどの耐熱材料の開発などに貢献されました。吉田さん（観測ロケット実験室）は、一貫して宇宙研の固体ロケットを担当してきました。観測ロケット実験で吉田さんにお世話になった方も多いと思います。

これらの方々を担当されていた職務のバラエティーの広さはそのまま、少人数で効率よく宇宙科学ミッションを遂行してきた宇宙研の幅の広さを表していると思います。礎となったこれらの方々の努力の上に、若い世代が今後いかに創造的にそれぞれの持ち場でミッションを遂行するかが問われています。退職される6名の方々には大変お世話になりました。今後のご健康と活躍を祈っております。

（つねた・さく）

アナログ集積回路開発雑感

池田博一

宇宙機応用工学研究系 教授

私が宇宙研に着任したのは平成17(2005)年4月1日ですから、宇宙研にお世話になったのは、直前までの客員の期間を合わせてやっと10年というところ。この10年の間、宇宙機応用工学研究系(宇宙探査工学研究系を含めて)に所属し、アナログ集積回路、特に放射線センサー用の集積回路の開発研究をさせていただきました。

集積回路の開発を始めたのは、高エネルギー物理学研究所(現 高エネルギー加速器研究機構)に在職中の、年号が昭和から平成に変わる少し前でした。厚木市の森の里にNTTのLSI研究所があって、高速バイポーラ集積回路やサブマイクロメートル(μm) CMOS集積回路を用いた要素技術の開発を行っていました。そこで集積回路開発の手ほどきをしていただきました。手始めに超高速バイポーラ集積回路を用いた前置増幅器を設計、試作しました。大強度のハドロンコライダーへの適用をもくろんだもので、中性子によるバルクダメージ、電離放射線によるトータルドーズ効果の評価が主たるテーマでした。回路設計は、大型計算機をTSS(タイムシェアリングシステム)で利用するというものでした。レイアウトのマシンは、いわゆるミニコンにカルマ社のCADを載せて何台かの大型CRTモニターをぶら下げたもので、プロッタは真正のバーサテックだったように思います。

宇宙研とのお付き合いもバイポーラの集積回路が端緒でした。富士通のアナログマスタースライスを用いて、パルスシェイプディスクリミネータという回路を構成したものでした。この回路では、一部の重要な時定数を構成する抵抗や容量は外付けにしたものでしたが、今ではこのような回路を、外付けなしのCMOS集積回路として構成することができるようになっています。

CMOS集積回路の技術的トレンドとしてムーアの法則というのが知られています。集積回路上のトランジスタの数は

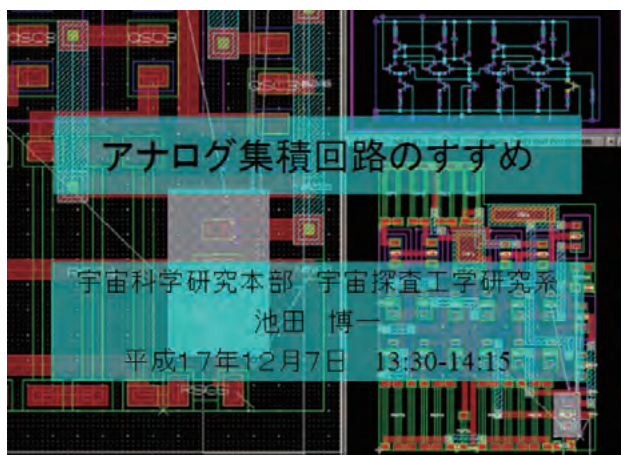
2~3年ごとに2倍になるというのですが、アナログ集積回路では、このペースで集積度が上がっているわけではありません。容量や抵抗素子は、トランジスタの縮小トレンドから取り残されています。また、 $1/f$ ノイズやオフセットばらつきを所定の値に収めるためには、トランジスタのサイズを極限まで切り詰めるわけにはいかないからです。それでも四半世紀の間に、アナログ集積回路も $1.2/0.8\mu\text{m}$ あたりから $0.18/0.13\mu\text{m}$ あたりまで微細化が進んできています。

宇宙研に来てから手掛けたのは、 0.35 、 0.25 、 $0.18\mu\text{m}$ のCMOSプロセスを用いて放射線計測、特にX線を低雑音で捉えることのできる信号処理回路の方式を確立することでした。しかし、集積回路を製作するステップは、要求仕様、回路設計、露光マスクレイアウトの設計、そうしてやっと半導体プロセス、組み立ておよび実装、最後に試験基板とPCでのデータ収集プログラムを用いての評価と、たくさんの工程があります。それぞれにおいて、あるいは工程間の設計データの受け渡しにおいて、致命的な誤りが生じやすいものです。実際、試作品の評価にも至らないような悔やまれる案件もありました。

そこで私は、宇宙研に着任した年の月

例講演会において、「大規模かつ複雑なアナログ集積回路を短期間で効率的に、しかも一定の確実性をもって開発することができる仕組み」が重要であることをお話ししました。具体的には、特定の目的で開発されたIP(回路要素の設計データ)をほかの目的にも転用可能な形で用意していく中で、そのレパートリーと完成度を向上させていくことができるのではないかという提案でした。その後、若手の方々の力を得て、完成度の高いIPが蓄積されてきています。しかし、上記のような意味でのIPは商用のIPとは趣を異にしている、それ自体の完成を目指すものではありませんから、不断の積み重ねの過程そのものによって初めてその有効性が発揮されるものだと思います。総合研究大学院大学の授業や開発案件の機会を捉えてアナログ集積回路の設計手法の伝授に努めてきたところですが、“You may lead a horse to the water, but you can't make him drink.”と、恩師のつぶやきを思い出すところでもあります。

最後に、宇宙研において充実した日々を過ごさせていただいたことを感謝するとともに、宇宙研と宇宙科学のさらなる発展を祈念致しまして、拙文の結びとさせていただきます。(いけだ・ひろかず)



月例講演会スライドの表紙。『ISAS ニュース』2006年8月号にも同じタイトルで寄稿しています。

40年の思い出と感謝

感應寺治城

内之浦宇宙空間観測所 主任

昭和49（1974）年に当時の東京大学宇宙航空研究所附属鹿児島宇宙空間観測所に入所以来、早いもので40年近くが過ぎ、今年の3月で定年退職を迎えることとなりました。

当時は地元出身の職員も21名いて、町内の軟式野球、ソフトボール、軟式テニス、バレーボールとさまざまなスポーツ大会で優勝、準優勝と好成績を残していました。しかし年を追うごとに一人また一人と定年退職され、また公務員削減政策のあおりも受けて職員の補充がなく、地元出身者は年々少なくなっていました。

入所しすぐにL-4SC-3号機のロケット実験班（KE班：Kagoshima Equipment Group）として携わり、打上げの瞬間をM管制室で迎えたときの、地響きともいえるごう音にはびっくりしたことを思い出します。K-9M、S-310、S-520、M-3C、M-3H、M-3S、ST-735、MT-135、M-3S II、パイパー、スーパーロッキー、M-Vと、数々のロケット打上げに参加しました。KE班／OP班（Orbit Planning Group）として測風気球による高層風観測を行い、取得データをもとにランチャーの発射角算出に携わり、打上げ大成功の喜びと失敗の落胆を経験しました。

当時から老朽化した設備の管理をしながら衛星追跡の仕事も兼務していました。筑波から送られてくる予報値データはDATAXによる紙テープでの受信、今はなき18mパラボラアンテナのプログラム追跡装置も紙テープでした。もちろんFAX、パソコンの類もなく、レーダー六要素などはTELEX（紙テープ）で送る時代でした。

昭和56年に宇宙科学研究所鹿児島宇宙空間観測所となり、昭和57年から59年まで宇宙科学研究所（駒場）の観測部へ配置換え、周東晃一郎氏には計算機（FORTRAN）について教えていただき大変お世話になりました。内之浦

に帰ってきてからはコンピュータ、パソコンの導入が急速に進み、順応するのに苦労しました。旧筑波データ処理課から送られてくる予報値も計算機で取り込む時代が来て、各衛星の予報値から週間予報をFACOM 9450Σで表示するためのソフトウェアをBASICで作りました。今でもそのレイアウトが追跡の週間予報で利用されているのを見ると、当時苦労したことが懐かしく思い出されます。

三陸大気球観測所での大きな観測機器を搭載した大気球の放球、能代実験場での再使用ロケット飛翔体実験にも参加しました。南国育ちの私にとって吹雪（極寒）の中での夜間作業は足の先からしびれ大変でしたが、宿での酒はうまかった。平成21年のノルウェーのアンドーヤでのS-310-39号機実験は、正月早々に成田をたって、コペンハーゲン、オスロ（1泊）経由でアンドーヤまでの長旅でした。打上げは天候や現

象待ちによる度重なる延期で、約1ヶ月の滞在となりました。お世辞にもうまいとは言えない食事でしたが、毎日のように夜空を見上げオーロラが現れるのを眺めていました。帰りのナルビックからキルナまでの車窓に映った、銀世界の山頂に輝く久しぶりに見る太陽のまぶしさも、驚きでした。

振り返ると、いろいろな地域に出張して数々の実験に参加できたこと、たくさんの方々と知り合えたことを幸せに思います。JAXAに統合後は内之浦射場設備の保全とH-II A、H-II Bロケット打上げ隊の射場通信班、近年はイプシロンロケット射場整備から試験機の打上げまでと忙しい毎日でしたが、良き先生方や先輩、仲間たちに恵まれ、さまざまな体験ができる仕事に従事でき、感謝の気持ちでいっぱいです。長い間、大変お世話になりました。ありがとうございました。

（かんのうじ・はるき）



KE班の仲間たち。筆者は後列右から2人目。

あっちにフラフラ、こっちにフラフラしたall-about者

齋藤 宏

衛星運用・データ利用センター衛星運用グループ

大学卒業後、民間会社、地方公務員を経て、ハレー彗星ミッションを担当する宇宙科学研究所の門をたたくことになり、臼田宇宙空間観測所技官に採用された。M-3S II -1, 2号機で打ち上げられたハレー彗星探査機「さきがけ」「すいせい」を臼田宇宙空間観測所で追跡する現場組となったが、深宇宙は未経験。イモはんだ付けレベルのため、先輩から技能職としては使い物にならないと見限られた。計算機はある程度使いこなせるらしいとのことで、姿勢制御(CNE)班の中谷一郎先生の研究室に異動になり、先輩の丹下甫澄さんのもとの手取り足取り指導していただく日々が始まった。同時に臼田観測所の技官としても、月に2週間は臼田観測所でハレー彗星探査機をメーカー運用者と一緒に追跡することが数年続いた。

当時の臼田64mシステムは、日に何度も止まってしまうことがあり、局運用管制と臼田アンテナ制御計算機のシステム改修をすることになった。ノイズや瞬時停電の影響を受けやすい主受信・復調装置を無停電電源からの供給に変更し、アンテナ制御部や大出力送信装置を自動電圧調整(AVR)装置経由にした。さらに、非常用自家発電装置から、無停電電源装置とAVR装置へ停電時に電力供給ができるように変更した。アンテナ制御系ではミニコンを更新し、タスクコントロールテーブル方式による計算機負荷の分散を図り、システムダウンしにくいシステムとした。この改修は、『宇宙科学研究所報告』第55号「臼田64mφアンテナ新運用システム」(1988年6月)にまとめている。

駒場から相模原キャンパスに移る前に、丹下さんが退職されることになり、CNE飛翔解析、3軸モータ試験解析を引き継ぐことになり、川口淳一郎助教授(当時)の実質采配下で動くことが多くなった。また、臼田気象観測装置を再整備し相模原管制センターへ気象をリアルタイム伝送する話も舞い込み、鳥海道彦さんと組んでマルチタスクシステ

ムを構築し、『宇宙科学研究所報告』第62号「臼田気象観測システム」(1989年3月)にまとめた。M-Vテレメトリ表示システムでも、既存計算機を利用してLANと光伝送ケーブルを導入し、ロケットテレメータセンターとM管制室を光伝送LANで接続し、宮崎ダウンレンジ局も含むリアルタイム処理システムに改修した。おまけで内之浦LANも開通させた。

この時期(1994年ごろ)、衛星管制もミニコンからワークステーション(WS)へ移行という潮流があり、伝送系も、WANとLANを使用したネットワークへの移行となった。世界標準がないため、山田隆弘先生を中心にNECの栗山裕一さん、久保雅嗣さん、富士通の遠地卓二さん、永田修司さんをはじめとするメンバーで、標準的に使用されているTCP/IPプロトコルをベースに、宇宙データ転送プロトコル(SDTP)をつくった。WS識別子・ソケット通信する方式も、現用中である。次に、故松方純先生が考案した、衛星運用ネットワークを拠点に論理的に接続するLAN/WAN構成は、現在も基本的に同じで、伝送遅延が問題にならないように、衛星運用LANをReal/Non-Real/高速Real/Mainteに区分けし、WANではReal帯域優先とした。衛星管制システムは、同じWSで複数衛星を切り替え稼働可能にすることを基本とし、衛星ごとに衛星管制ソフトを個別に管理することでコストを低減させ、データ伝送系も共通化した。設計から約20年が経過している現在も、これらの衛星管制システム/データ伝送システムは現役である。

また、相模原の飛翔体環境試験棟(C棟)の衛星試験系も、ネットワーク対応の衛星管制、デジタル信号を変調せずに送るベースバンド系に衣替えした。とはいえ、予算が少ないため、RF系部分は昔のまま衛星管制とベースバンド系装置とコマンド出力装置/テレメ入力装置を追加し、衛星電源系を改修するという、お決まりパターンであった。保

守契約期間切れのWSから部品取り=修理をしながら試験し、「あかり」「ひので」を射場へ送り出した。試験系で構築した装置は、臼田局・内之浦局の送信系に成長していった。JAXAになってからは、大橋清一さんを招聘職員として迎え、新規衛星向けにC棟既存装置を改修することが続く。

衛星運用関係で苦労したのは、やはり「はやぶさ」の地球帰還である。小惑星イトカワ到着後に「はやぶさ」からの電波が途絶え、ビーコンを探す運用が始まった。当初は、提示された期間は頑張るかあと思ったものだが、7週間ぶりにビーコンを受信できたときは、運があるなあと感じた。

「はやぶさ」地球帰還(2010年6月13日)前の数週間は24時間常時2アンテナでの追跡という、当初聞かされていない要求が出てきた。「はやぶさ」地球帰還と「あかつき」「IKAROS」の初期運用が重なり、追跡局(臼田局・内之浦局)をどう使い分けるかが大きな問題になった。「はやぶさ」を臼田64m、「あかつき」を内之浦34mとし、「IKAROS」は臼田64mか内之浦34mに空きができたなら運用、という調整案を、馬場肇さん、林山朋子さん、長谷川晃子さん、小生の4人でつくり、関係プロジェクトと何度も打ち合わせをした。「はやぶさ」はDSN局を多数確保でき、カプセル回収という映画話にもなった。そのとき以上の競合が、2015年秋~冬の時期に発生する可能性が非常に高く、大伝送量の周回衛星を内之浦主体、探査機を相模原管制にしないとシステム運用も厳しく、機材の大量不足などの懸念事項がある。

あっちにフラフラ、こっちにフラフラ、まわりの方々にご迷惑を掛け続けたall-about者も、何とかフェーズアウトできればと思っています。ありがとうございました。(さいとう・ひろし)

ホットライン通話装置を付けて不具合対応していたなあ。衛星管制の壁紙です。レア画面、分かりますか？



宇宙科学研究所を退職するに当たり

清水幸夫

S&MA マネージャ

目黒区駒場の東京大学宇宙航空研究所（東大宇航研）の正門をくぐったのは昭和 50（1975）年の 4 月だった。当時私は、私立大学の工学部航空宇宙学科 4 年に在籍していた。卒業研究の指導教官から東大宇航研の佐藤浩教授を訪問するよう指示されていた。それは私からの希望で、卒研生として東大宇航研で電気推進機の実験をやりたいからである。私の所属大学では電気推進を指導する教員がおらず、施設・設備がなかったことが大きな理由である（佐藤先生は平成 25 年晩秋に永眠された）。

私が宇宙に興味を持ったのは、近所に住んでいた一つ年上のいとこの影響が大きい。小学校 6 年生の夏休みのある夜、彼は私に双眼鏡を渡して、あれが「かんむり座」、あれが「プレアデス星団」、そしてあれが「二重星」などと、星々の輝きを教えてくれた。そして私が高校 3 年生になったばかりのとき、彼はある学会誌の解説記事を読ませてくれた。その記事には、「将来のロケットには原子力が使われ、その研究が行われている」というような記事であった。その記事を読んだことが、大学で航空宇宙の技術を学び、自分でもエンジンをつくってみたいと考えるきっかけになった。後で知ったことだが、実際に米国では 1960 年ごろから原子力ロケットエンジンの研究が行われていた。

そして私が東大宇航研で出会ったのは、MPD アークジェットと呼ばれる電磁加速型のプラズマエンジンであった。佐藤先生から「現在イギリスへ留学中の栗木恭一助教授に付くように」とおっしゃっていただき、とうとう電気推進機の研究に関わる事ができた。当時の栗木研究室は、所属大学院生が一人であった。私は彼の研究、すなわち MPD アークジェットの推力測定の実験のお手伝いをする事で、その方からいろいろとご指導いただいた。その後、宇航研の非常勤職員となり、「たんせい 4 号」の MPD アークジェットの搭載前

の性能実験や鹿児島宇宙空間観測所での上り準備作業にも携わることができた。

「たんせい 4 号」搭載の装置開発と並行して、故 大辰蔵教授が提案された「人工オーロラ実験（正式名：粒子加速器を用いた宇宙実験 SEPAC）」が米国のスペースシャトルを使った科学観測装置公募に採択され、栗木研究室の MPD アークジェットも日本の実験装置の一つとして搭載されることになった。現在この MPD アークジェットは、宇宙で実験された装置（フライトモデル）として相模原キャンパスのロビーに展示されている。写真は、1978 年 11 月に NASDA 筑波のスペースシャトル前室の絶縁室（7.5kV の電気的な帯電を想定した部屋）の中で計測器に囲まれている筆者である。

その後も研究室では MPD アークジェットの研究開発が進み、1995 年には宇宙実験・観測フリーフライヤ SFU に EPEX（宇宙での電気推進実験装置）として搭載された。この SFU も若田光一宇宙飛行士によって宇宙から無事に回収され、現在、上野にある国立科学博物館にフライトモデルとして展示されている。

1980 年代後半になり、栗木研究室は都木恭一郎 助教授や國中均 助手（現教授）を擁し、國中助手が発明したマ

イクロ波イオンエンジンの研究開発も始まった。SFU が回収された 1996 年、MUSES-C（後の「はやぶさ」）計画が立ち上がり、イオンエンジンが重要な要素を担うこととなり、栗木・都木研究室を挙げて開発が行われた。「はやぶさ」の電気推進エンジンの原型は 1985 年にそのアイデアが生まれたが、当初はプラズマエンジンを搭載する提案であった。私もプラズマエンジンの研究開発を行いながら、イオンエンジンの開発試験の支援を行うこととなった。そして、このイオンエンジンは、いくつかの課題を克服し、最終的に小惑星探査機「はやぶさ」に搭載されることになった。

2003 年に「はやぶさ」が打ち上げられてからの 7 年間、ほぼ毎日イオンエンジンの運用が続き、運用当番の一人として毎月 1 週間ほどの頻度で運用管制に当たった。

JAXA に統合されてからは安全や品質保証の業務を担当し、「あかり」「ひので」「すざく」「IKAROS」「あかつき」「ひさき」、BepiColombo MMO、ASTRO-H、ERG など電気推進機を搭載しないプロジェクトにも関わることができた。もちろん「はやぶさ 2」も退職ぎりぎりまで支援を続ける。

一つの装置が実際に宇宙へ飛び立つまでには長い時間を必要とする。自分が研究開発した実験装置を宇宙で実際に運用できる機会に恵まれる研究者や技術者は限られている。私は、実際に手掛けた装置が宇宙で動くことをいくつか体験できた幸せ者である。小学生のときに見上げた夜空に美しく輝く星々や高校時代に読んだ記事が、宇宙用エンジンやいくつかの人工衛星・探査機との出会いに結び付いた。

（しみず・ゆきお）



1978 年、SEPAC 実験装置の NASDA シャトル試験にて。

宇宙研で過ごした24年

八田博志

宇宙飛行工学研究系 教授

宇宙研に赴任したのは1990年の4月であった。それまで三菱電機のパワーエレクトロニクス研究所に勤務していたが、人工衛星用の炭素繊維強化複合材料に関する研究開発を行っていた。そのとき、すでに39歳になっており、企業の研究所では管理職になる年齢に達しており、自分自身では研究がやりにくい状況になり始めていた。宇宙研で高温材料部門を立ち上げるので、高温材料を研究してみないかとお誘いがあり、特に高温材料を専門に研究してきたわけではなかったが、その誘いに乗った次第である。

そのころは、アメリカでは宇宙往還機の開発に関連してセラミックス系や炭素系の耐熱複合材料の研究が盛んに行われていた。日本でも通産省（当時）の次世代基盤技術開発制度の中で炭素繊維強化炭素基（C/C）複合材料の研究開発が産官学協力して進められており、実用化に向けたC/C複合材料の改良や航空宇宙分野への適用方法が盛んに検討されていた。耐熱複合材料に夢と希望が最大限に膨れ上がった時代であった。

宇宙研では棚次巨弘教授を中心として宇宙往還機用のエンジン（ATREXと呼んでいた）の開発が立ち上がっており、このエンジン開発には超高温材料の適用が不可欠ということから、新たな研究部門として高温材料工学部門が設置されたと聞いている。この部門には東京大学から大蔵明光教授が私の1年前に着任しており、大蔵教授が長年手掛けてきたC/C複合材料をATREXに適用しようという研究を始めた。それ以来、C/C複合材料に関して、大型複雑形状物の成形技術や、強度弾性率などの機械特性や熱特性などを取得しての非破壊検査技術の検討など、さまざまな研究開発を行ってきた。この開発研究は、C/C複合材料製の燃焼室とプラグノズルを試作し、熱風洞試験までを行い、システム特性を取得する直前まで継続し

てきた。しかし、JAXAへの統合を機にこの研究プロジェクト自体が打ち切られた。ただし、その成果はほとんど論文として公表してきた。その後は、超音速機のエンジン開発プロジェクトへと研究は引き継がれ、発展させることとなった。

上記のように、宇宙研での私の24年に及ぶ研究はC/C複合材料に関する研究がほとんどであったが、最近まわりを見回してみると、C/C複合材料に関する研究はあまり行われなくなってきた。そこで、アメリカ、フランス、日本の研究者による共同研究を促進してこの分野を発展させようという意気込みで、Workshopを企画した。夢をもう一度、ということである。第1回を2006年にアメリカのワシントンDCで、第2回を2008年に京都で開催した。写真は、2009年にドイツで行われた関連学会を利用して3ヶ国の主要研究者が集まり、フランスで予定されていた第3回の開催趣旨を議論したときの様子である。しかし、フランスでの開催は延期され、来年セラミックス基複合材料を含んだ

拡張した形で再出発を果たすようである。耐熱複合材料は高温での応用には不可欠の材料である。C/C複合材料の研究が下火になったのは、高温耐酸化性に弱いという弱点を克服できなかったことに起因するというのが、この分野の共通認識である。私どもも努力はしたが、この課題を解決するには至らなかった。

24年間宇宙研にお世話になり、研究室からも7人の博士をはじめとする技術者が育っていった。研究室助手を務めてくれた方も3人いるが、それぞれ地位を得て活発な研究を行っている。彼らをはじめとする研究者の努力により、C/C複合材料を含む耐熱複合材料の欠点が克服され、耐熱複合材料が再び脚光を浴びる日が来ることを願うものである。また、総合研究大学院大学をはじめとし、いろいろな大学から多くの学生が私どもの研究室に来てくれ、研究活動だけでなく登山、サイクリング、スキーなど遊びを共にしてくれたことも楽しい思い出である。

（はった・ひろし）



第3回C/C複合材料 Workshopの打ち合わせ風景。左手前が筆者。

ロケットひとすじ

吉田裕二

観測ロケット実験室

ロケットと出会って30余年たちました。ついに今年度で定年退職。あっという間に、このときを迎えたような気がします。

私は昭和56（1981）年に新設された文部省宇宙科学研究所のロケット部門（ロケット班）の所属となり、今日まで一貫してロケットの現場仕事に従事してきました。当初はロケットのことは右も左も分からず、とんでもないところに来てしまったというのが実感でした。ロケット班には2人の超ベテランの先輩がいらっしゃいました。時にはやさしく、時には厳しく鍛えていただき、今日の私があると思います。

ロケット班の仕事は観測ロケット、Mロケットに関することすべてが守備範囲でした。当時、宇宙研ではロケットの打上げ実験が中心で、年間スケジュールもロケット主体で組まれていました。従って我々がほかとの調整をしてスケジュールを作成していました。ロケットは打上げまでには飛翔前試験として計器合せ・噛合せ試験などが実施されるわけですが、それらの取り仕切りもすべてやっていました。

またM-3Ⅱ、M-Vロケットの開発では、各段の地上燃焼試験で秋田の能代ロケット実験にも参加しました。通常の内之浦の打上げ実験をやりつつ地上燃焼試験をこなすわけですから、出張の連続であったのは言うまでもありません。年間200日を優に超えていたと思います。サンプルリターン（後の「はやぶさ」の射出機構）やベネトレータ貫入試験といった将来のプロジェクトに向けた開発試験や研究室レベルの小実験にも、数多く参加させていただきました。液体水素／液体酸素エンジンの開発試験にはタービン起動に小さな固体モータを採用した経緯から、これもまた液水／液酸実験班員になりました。

そんなわけで飛翔ロケットはもとより、さまざまな宇宙研実験に参加してきたことは、私自身にとって大きな財産になったと思います。数多くの実験などに参加してきて、それぞれにたくさんの思い出や苦労話は尽きません。その中でも私自身にとって大きな転機となった実験があります。

S-310-15号機、所内打上げ

観測ロケットの打上げ実験は、メーカーの技術者が参加して組み立て・打上げオペレーションまで行います。昭和60年のS-310-15号機の飛翔前試験が始まる前に、松尾弘毅先生から呼ばれました。「吉田君、所内メンバーだけでロケットを打ってみたいかね?」。突然のお話でしたので即答しかねるところですが、なぜか「はい」と言っていました。さてどうしようか……。ロケット班所内メンバーは4～5名ほど。みんな超ベテランであり、若手は私だけ。飛翔前試験はメーカー技術者に参加いただいて技術をレクチャーしてもらい、射場オベが始められました。

予想通り作業は大変でした。組み立てには点火系・構造系とあって、通常ならば並行して作業が進行するのですが、我々は慣れていないこともあり、結局シリーズでの作業を試みました。休憩する間もなく点火系・組み立て・検査をこなさなければなりません。終わると次の工程の準備。目が回るほど忙しいとはこのことだ、と実感しました。そして打上げ。カウントダウンの間、ずっと手を合わせて祈っていました。「打上げ成功」の声には、涙腺が緩んでしまいました。

ロケットの打上げはいつも緊張します。打上げ後の感動・感激も並大抵ではありません。しかし自分で手を下したS-310-15号機のそれは、それまでにないものでした。その後、5機ほどこの体制で打上げを実施しました。

所内打上げで「ロケットシステム」と「現

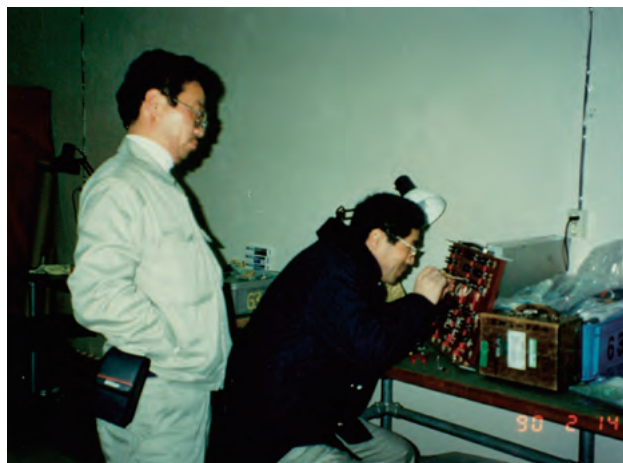
場の重要性」を学びました。

S-520-12号機、ノルウェー・アンドーヤ打上げ

1990年にオーロラ観測を目的にした観測ロケットS-520-12号機の打上げが計画されました。観測ロケットの初めての海外打上げ。この打上げのため少数精鋭(?)のメンバーが選ばれました。ロケット班は宇宙研から私とメーカーから2人。この実験でも一人で何役もこなさなければなりません。以前の所内打上げのように点火系・組み立て・検査、さらに調理（自炊生活のため）もやらざるを得ません。また慣れない現地施設・設備を使うため、向こうの射場メンバーとの調整もしなくてはなりません。英語が不得手な私にとって、言葉の壁はいかんともし難いわけです。ここは何とか「body language」で対応。オペスケジュールは余裕を持って組んでいたこともあり、何とか打上げ日を迎えました。しかしスタンバイするもオーロラが出ず逆行。結局7度延期して、8度目に無事打ち上がりました。

この実験で、オベにおける「チームワーク」と「忍耐」を学びました。

最後にロケットのおかげでいろいろな出会いを頂けたことが、私の「ロケットひとすじ」の中で一番の宝です。たくさんのロケット、宇宙研の皆さま、本当にありがとうございました。ISAS/JAXAが今後も素晴らしい成果を得て、ますます発展することを心から願っています。（よしだ・ゆうじ）



小野田淳次郎先生
のOJT?を受ける
筆者（左）（1990年、
S-520-12号機打上げ
時、アンドーヤ実験
場にて）

より高い空への挑戦

学際科学研究系 准教授

斎藤芳隆

人類が初めて空を飛んだのは1783年のこと。今から230年ほど昔にフランスのモンゴルフィエ兄弟やシャルルのつくった気球が、その始まりでした。より高い空へ。その野望は脈々と引き継がれ、今、私たちの薄膜高高度気球がその先頭を走っています。

気球が空に浮かぶのは、空気よりも軽いガスが袋に詰めてあるからです。モンゴルフィエ兄弟は熱した空気を詰め、シャルルは水素を詰めました。現在の科学実験用の大気球にはヘリウムガスが使われています。気球に生じる浮力は、「流体中の物体は、その物体が押しのけた流体の重さと同じ大きさの浮力を受ける」というアルキメデスの原理によって求めることができます。一辺が1mの立方体の袋にヘリウムガスを詰めたら、押しのけた空気の重さ1.2kgの浮力を受けるので、詰めたヘリウムガスの重さ0.2kgとの差の1kgの重さのものを浮かべることができる、というわけです。

気球を高くまで上げようと考えたときに問題となるのが、高さとともに空気が薄くなることです。高度16kmでは地上の1/10、32kmで1/100、48kmで1/1000といった具合で、地上で1kgあった浮力が高度48kmではたった1gにまで下がってしまうのです。従って、高くまで上がる気球をつくるには、体積を大きくして浮力を稼ぐことと、気球の重量を軽くすることが非常に大事です。

気球の到達高度の歴史は、体積の増大と気球材料の軽量化の歴史と重なります。モンゴルフィ

エ兄弟やシャルルの時代から1940年ごろまでは、気球皮膜にはゴムなどで気密性を高めた薄い布が使われていたようです。このころは、1935年にアメリカ海軍が体積10万 m^3 の気球で高度22kmに到達したのが最高到達高度でした。高さへの挑戦は純粋な高さへの憧れだけでなく、大気高層への好奇心からも進められ、シャルルによる高度上昇に伴う温度低下の発見に始まり、成層圏の発見、宇宙線の発見といった科学の成果へとつながっていきます。私たちの運用する科学実験用の大気球はこれが発展したもので、さまざまな宇宙や地球の観測、工学実験などに利用されているのです。

さて、1940年代になって、技術革新が起こります。ポリエチレンフィルムの工業生産が始まり、それが気球に使われるようになったのです。ポリエチレンには、軽く、安価で、しかも熱によって容易に溶着できるという長所があったため、気球の大型化、軽量化が一気に進みました。気球到達最高高度記録は1950年代に入って次々と塗り替えられます。人工衛星誕生前の、気球の到達高度がすべての飛翔体にとっての最高到達高度だった時代のことです。1972年にはNASA（アメリカ航空宇宙局）によって体積150万 m^3 の気球が高度51.8kmに到達するに至り、この記録は30年にわたりトップの座に君臨し続けることになります。

ようやく宇宙研の出番です。1990年代に入ると、宇宙研は薄い皮膜を用いて高い高度に到達する気球、薄膜高高度気球の開発に着手しました。一般に科学実験用の大気球の皮膜には20 μm 厚のフィルムが使われています。それを当時入手できた最も薄いフィルムであった6 μm 厚のフィルムでつくり始めたのです。ちなみに、レジ袋の厚みが10～20 μm 程度、ラップフィルムの厚みが10 μm 程度です。アメリカなどでは、重い観測装置を大きな気球で飛翔させる前に、6 μm 厚のフィルムでつくった小さな気球を飛ばして上空の風の様子を探っていました。自重が軽いので小さな気球でも同じ高度まで到達できます。その気球を大型化することで、とにかく高い高度に到達する気球を目指したのです。観測装置の中にはオゾン観

図1 スライダー放球装置とカラーを用いた放球
膨らんでいる気球の根元がカラーで締め付けられているため、気球が広がらず、風の影響を受けにくくなっている。



測器のように1kg程度の軽いものもあります。一方で20 μ m厚のフィルムは、1m²当たり20g程度の重さがあり、体積10万m³の気球ともなると300kgもの自重となります。軽い観測装置を飛翔させる場合、到達高度を決めているのは気球の重量なのです。

より高い高度を飛翔するものには人工衛星があります。しかし、気球が到達できる高度と人工衛星の飛翔する高度との間に滞在できる飛翔体は存在しません。人工衛星の高度を下げることは、空気抵抗が増すことを意味し、極めて困難です。気球の到達高度を向上させることで、高度50km以上の中間圏に滞在することが初めて可能になります。

高高度でのオゾン観測を念頭に置いて、何もかもが軽い気球の開発が始まりました。薄いフィルムを連続的に溶着できる装置の開発、表面実装部品を用いた搭載機器の軽量化、薄膜の大型気球を傷付けることなく放球する方法の開発などが並行して進められました。1997年には体積12万m³の気球で高度50.2kmに到達するに至ります。

最後に残った本丸が、気球フィルムの薄膜化でした。樹脂メーカーの協力により薄膜化にはメタロセン触媒を用いたポリエチレンが適していることが見いだされ、成膜メーカーの努力によって3.4 μ m厚のポリエチレンフィルムが誕生しました。気球メーカーは、それを貼り合わせて大気球とする技を磨きました。2002年には体積6万m³の気球が高度53.0kmに到達し、30年ぶりに気球到達最高高度記録を塗り替えることに成功しました。1972年の気球と比較すると、体積は1/25にすぎず、フィルムの薄膜化が極めて有効であったことが分かります。薄膜化にはメタロセン系ポリエチレンが不可欠だったのですが、それ自体は1970年代に開発されており、本来、素材の軽量化と気球の大型化が並行して進むべきところが、大型化の方が極端に先行して進んでいた状況にあったのです。

以後、宇宙研は自らの記録を自ら更新する道を歩み始めます。最初に取り掛かったのが、フィルムのさらなる薄膜化でした。そのためには、成膜装置自体の開発が必要であり、成膜メーカーの協力のもと、当初は既存の装置の改良から始め、結局最後には薄膜フィルムに特化した成膜装置を構築することとなりました。2003年には、早くも2.8 μ m厚のポリエチレンフィルムの成膜に成功し、翌年には体積5000m³の気球の飛翔に成功します。しかし、それからが苦難の道でした。上昇中の気球に穴が開いてしまうのです。この場合、素材自体が想定よりも弱い可能性と、皮膜にかか

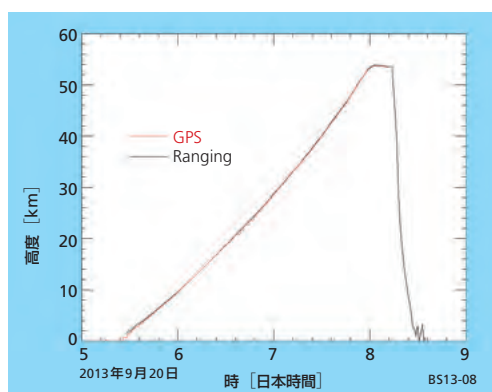


図2 気球の到達高度の時間変化
高度53.7kmに12分間にわたって滞在した。

る力が想定よりも大きい可能性とが考えられます。ごくまれにフィルムに弱い部分がある可能性や、弱い力が長い間かかることで破壊してしまう可能性など、さまざまな角度から素材の問題を調査しましたが、問題は見つかりませんでした。一方、皮膜にかかり得る力を推定することは、極めて困難です。気球が膨らみ切る前には、風に吹かれてしなやかに変形したり、フィルムに入っているしわが移動したりと、なかなか計算で推定することができません。そのため、うまく飛翔した気球と飛翔しなかった気球を比較した経験則により要求強度を推定し、保護テープの補強を行いました。

補強の一環として、気球頭部のフィルムを二重化する改良も行いました。これは直接的には、打上げ時にスプーラーなどが触れる部分を強化することが目的であり、もう一つには気球が膨張する前の低高度において頭部を保護することが目的でした。地上でガスが詰められた際に膨らんでいるのは、気球頭部のほんの一部でしかありません。膨らんだ部分だけで全体を持ち上げているため、大きな力がかかります。その部分のフィルムを二重にして強化したのです。通常の気球においては、気球の自重や搭載重量が大きい場合に使われてきた技術ですが、薄膜気球では初めての試みとなりました。

今回飛翔させた気球にはもう一つ、重要な改良が加えられています。排気口です。上昇するにつれて気圧が下がるため、気球に詰められたガスは膨張し、気球はだんだんと膨らみます。密閉された気球皮膜を用いると、その体積以上にガスが膨張しようとするために破裂し、気球は降下してしまうのです。これを防ぐため、一般的な気球の尾部には排気口が取り付けられており、膨張したガスが排気されることで気球は浮力を失い、同一高度に滞在することができます。排気口を取り付けることは重量を増すことにつながり、高度記録を更新するには不利な試みです。しかし、気球の利用者の立場で考えれば、実験できる機会が上昇中に限られなくなり、最高高度に滞在しての実験も実施できるようになることは大きなメリットとなるでしょう。

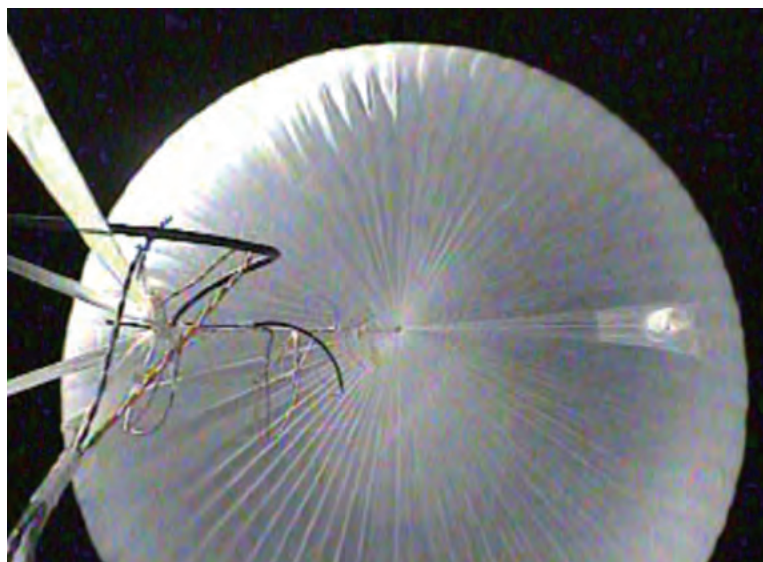


図3 搭載カメラで撮影された満膨張となった気球
右側の構造が排気口。

放球も新しい方法を取り入れました。スライダー放球装置とカラー（襟のこと。気球の下の方でガスが入っていない部分が広がらないように巻き付けておき、放球直前に取り外します）を使う方法を編み出し、事前の試験でうまく放球できることを確認してきました。これにより、風の条件に左右されず、より確実に放球できるようになりました。

さまざまな開発結果と皆の熱意を詰め込んだ体積8万m³の気球の飛翔機会は、2013年9月20

日に巡ってきました。気球の全長は81m、重量は36.7kg、荷姿を含めたつり下げ重量は4.5kgという構成です。薄曇りで、霧もなく、風もなく、絶好の放球日和に恵まれ、気球は図1のように順調に放球されました。先にお話したカラーで気球の膨らんでいるところを絞っているため、気球が広がらず、風の影響を受けにくくなっています。図2が気球高度の時間変化です。気球は順調に上昇し、無事、高度53.0kmを超え、高度53.7kmで水平浮遊に入りました。11年ぶりの高度記録の更新です。図3は搭載ビデオカメラから送られてきた映像で、気球がきれいに展開していることが分かります。右の方の構造が排気口です。ここからガスを放出する様子も観測され、以後、気球破壊コマンドにより穴を開けるまで12分間にわたり最高高度にとどまりました。

今回の実験により当初のもくろみであった高度50km以上の中間圏に滞在できる飛翔体の誕生が確認できました。次は、最高高度に滞在できるようになったことを生かし、10kg程度まで搭載重量を増やした気球の開発を進めたいと考えています。オゾン観測だけでなく、より幅広い科学実験に利用していただきたいからです。もちろん、より高い空への挑戦も続けます。

（さいとう・よしとか）

ISAS 事情

子どもサイエンスフェスティバル出展記

子どもサイエンスフェスティバルは、実験や工作を通して科学の楽しさを体験できる催しとして、神奈川県立青少年センターと開催地区の教育委員会などが主催し、1年に数回開催されています。神奈川県内の教育機関・科学館・研究所・高校の科学部・地元企業・科学ボランティア団体・NPO法

人などがさまざまな体験ブースを用意してこれに参加しており、JAXAも出展しています。

2013年度のフェスティバルは大和・相模原・藤沢・平塚の4大会が開催され、参加者数は計3234名でした。その多くは近隣の小学生ら親子連れで、JAXAの関係者とは初めて接する人がほとんどです。ここで相模原キャンパスの存在を初めて知り、興味を示してくださる方も少なくありません。広報・普及の観点からは、1000人規模のイベントに毎回出展できますし、地域連携の活動範囲を相模原だけでなく県内各地へと広げていく機会ですので、これら地元自治体が力を入れる教育普及の枠組みを積極的に利用しています。

JAXAブースでは、工作体験の新たな題材を試みています。宇宙構造物としての応用が研究されている一例として、圧縮に耐える棒構造を引っ張る力（tension）によって統合



いつも盛況の宇宙研ブース。写真は2月11日の藤沢大会。

(integrity) して均衡を保つテンセグリティ (tensegrity) という構造体の概念を紹介し、輪ゴムとストローを組み合わせで実際につくってみるブースを用意しました。実は、小学生には輪ゴムの掛け方が難しく、簡単ではありません。それでもブースは作業に熱中する参加者であふれ、親子で共に手を動かしながら時間をかけて完成させていく工作体験の場とな

りました。重力に頼らない宇宙構造物の考え方に触れて、思わず夢になった大人からの質問も相次ぎました。参加者からお礼の言葉をたくさん頂き、やりがいを感じるイベント出展でした。今後も宇宙に関心を持っていただけるような題材を携えて、各地へと出掛けます。(大川拓也)

「宇宙学校・おきのえらぶ」開催

2月2日(日)、鹿児島県沖永良部島の和泊中学校内にあるあかね文化ホールにて「宇宙学校・おきのえらぶ」が開催されました。テレビでしか見たことのないJAXA宇宙科学研究所の方々こんな小さな離島に来られるということで、当日は小学生を中心に100名以上の方が集まりました。

阪本成一校長先生による開校式で始まり、1時間目は野中聡先生による「宇宙を身近にするためのロケット」、2時間目は海老沢研先生による「エックス線で見えるブラックホール」というテーマで授業を行っていただきました。野中先生の授業では、ロケットの仕組みなどの説明に加えて宇宙旅行についても話をされており、子どもたちは真剣に聞き入っていました。海老沢先生の授業ではブラックホールという謎の多いテーマについて説明していただき、子どもたちも不思議な世界に浸っているようでした。

それぞれの授業後の質問時間には「宇宙に行くには、いくら掛かりますか?」や「どうやったら宇宙飛行士になれるか?」など、子どもらしい質問が多く聞かれました。中には、先生方が答えに困ってしまうような質問もありましたが、野中先生も海老沢先生も、また阪本先生も、丁寧に子どもたちに分かるように説明してくださいました。



子どもたちの質問に真剣に答える講師陣

島の子どもたちは引込み思案なところがあるので、質問が出るか不安でした。しかし、予想以上に活発に質問をする子どもたちを見ると、「本当に子どもたちは楽しんで授業を受けていたのだ。そして、この授業を受講したことで宇宙というものに興味を持ち始めている」と感じることができました。

また、私自身も今までは「宇宙」という言葉を聞いてもピンとこなかったのですが、すぐ近くに種子島という宇宙に一番近い島があること、そして近い将来には宇宙旅行がごく当たり前になってくるという話を聞いて、「宇宙」がものすごく近い存在だということに気付かされました。

今回の授業を受けたことで、子どもたちも「宇宙」をより身近に感じることができました。子どもたちの中にはJAXAの職員として働くことを夢見る子もいるかもしれません。今回の授業が子どもたちに大きな刺激と夢を与えてくださったと思います。小さな離島ではなかなか体験できない授業を提供していただき、本当にありがとうございました。将来、沖永良部出身のJAXA職員が地元で宇宙学校を開催してくれることを願っております。

(和泊町教育委員会事務局／末川貴彦)

「宇宙学校・つるがしま」開催

2月9日(日)に、埼玉県鶴ヶ島市女性センターで「宇宙学校・つるがしま」が開催されました。近隣の鳩山町にはJAXAの地球観測センターがあり、地球規模の環境変化や台風、火山など自然現象の調査などに活用されるデータが人工衛星から集められています。

開催日前日には関東甲信越地方



一斉に挙がる子どもたちの手。会場は熱気にあふれた。

に記録的な大雪が降り、会場周辺の雪かきをして参加者を迎えましたが、当日は県内外から小中学生、その保護者ら210名を超える方が参加されました。最寄り駅からのバスの運行が遅れ、事務局の方が駅から歩いて来られるというハプニングもありました。

1時間目は久保田孝先生から「探

「査口ロボットで宇宙を拓く」をテーマに探査機で研究した太陽系の惑星や宇宙に必要なロボットについて、2時間目は和田武彦先生から「次世代赤外線天文衛星SPICA」をテーマにSPICAの特徴と研究目的についての解説がありました。どちらも映像を活用して分かりやすく教えていただきました。

子どもたちからは、「陸上の動物をイメージしたロボットが多いけれど、宇宙では魚型の方がよくないですか」「どうして月は地球から遠ざかるのですか」「もしも宇宙でロボットが壊れたらどうするんですか」「宇宙はどんな形をしていますか」「熱い星は青くて、熱くない星は赤いのは、なぜですか」

など、たくさんの鋭い質問が続きました。子どもたちの成長した姿に、保護者として胸が熱くなるとともに、将来を思い描いて頼もしく感じられました。「なぜこの仕事に就いたのですか？ 楽しいですか？」の質問には、学生時代の努力が仕事に生かされていて、仕事楽しくて満足していることを伺いました。

宇宙科学の最先端に触れるだけでなく、人生の先輩としてお手本を見せていただきました。素晴らしい機会を頂き、阪本成一校長先生をはじめJAXAの皆さまに心から感謝申し上げます。
(鶴ヶ島市PTA連合会 会長／内野泰司)

「宇宙学校・さくらい」開催

2月22日(土)に、「宇宙学校・さくらい」が、奈良県の桜井市立図書館にて開催されました。参加者は小学校3年生から6年生の子どもたちと保護者の方方で、約120人でした。

開校式では、宇宙学校校長の阪本成一先生のあいさつがありました。

1時限目は、「金星探査機『あかつき』、2年後の金星再会を待つ」のテーマで、佐藤毅彦先生の授業でした。夜空の中でも一番明るく、燦然と輝く金星について詳しく教えていただきました。「あかつき」の金星軌道投入失敗の原因や月周回衛星「かぐや」との違いなど、みんな興味津々の様子で、一生懸命メモを取っている姿が印象的でした。

質問コーナーでは、一斉に「はいはい」と元気に手が挙がりました。質問内容は、宇宙好きな子どもたちが納得できる高度なもので、先生とのやりとりも大人顔負けでした。次から次へと手が挙がり、積極的な姿勢が見られました。

2時限目は、「宇宙ステーションと宇宙実験」のテーマで、吉崎泉先生の授業でした。「おしっこは、再生して飲みます」「えーっ!」。衝撃的な裏話から始まりました。高度な



子どもたちと講師の真剣勝負は休憩時間も続く。

水再生システムがあるので、とてもきれいな水に再生されると聞き、みんな感心していました。無重力の世界で実験や生活をするということは、物や人間の動きはどうなるのだろう……。質問コーナーでも、「こまを回したら?」「食事はどうやって取るの?」などに集中していました。宇宙飛行士になりたいという夢を持っている子どもたちですから、この時間も大いに盛

り上がりました。

最後に3人の先生方が、子どもたちのことや、JAXAで働くようになったきっかけを話してくださいました。都会で育った先生が、夏のキャンプで見た星の輝きに魅せられ感動したことが原点となったとのこと。そして、強く印象に残ったことをつかまえて将来につなげてほしいと、励ましの言葉で締めくくってくださいました。

出席してくれた子どもたちには、今日の授業の思い出が強く残ったことでしょう。この中から、将来の宇宙飛行士が出てくれるかもしれないと、うれしい予感もあった一日でした。ありがとうございました。

(桜井市立図書館 副館長／秋丸素子)

ロケット・衛星・大気球関係の作業スケジュール(3月・4月)

	3月	4月
ASTRO-H		一次適合試験(筑波)
BepiColombo		フライトモデル総合試験(相模原)
はやぶさ2		フライトモデル総合試験(相模原)



「はやぶさ2」の科学目標

渡邊誠一郎 名古屋大学大学院環境学研究科 教授
「はやぶさ2」プロジェクトサイエンティスト

「はやぶさ2」は地球接近小惑星 1999 JU₃ に向かい、各種リモートセンシング観測と表面物質のサンプルリターンに挑みます。対象小惑星はスペクトルタイプがC型で、炭素質コンドライトと呼ばれる有機物や水を含む始原的な隕石と同様な物質から成ると考えられています（「はやぶさ」が探査したイトカワはS型で水や有機物をほとんど含みません）。地上の望遠鏡観測によれば、直径約0.8kmのほぼ球形で、反射率が0.05と暗く、自転周期は7.62時間とされています。

さて、「膨大な数ある小惑星の一つに行って探査をする意義は？」という質問をよく受けます。例えを言えば、昔の僧侶や貴族、商人の日記を入手することには意義がある、ということでしょうか。日記が読まれるのは、著者への興味からだけではなく、同時代人の証言として、戦や政変、交易や人の交流、天災や飢饉など国の歴史を読み解くことができる資料価値があるからです。惑星は形成後の溶融のため形成期の情報を失っていますが、昇温が少ない小天体では太陽系形成期の情報が残りやすいはず。その記録を、その場での観測と地球に持ち帰った試料から読み解くことができれば、まさに太陽系の大動乱期を生きた天体の貴重な証言を得られるわけです。

つまり、我々は（特定の）小惑星の科学ではなく、小惑星探査を通して太陽系を理解する「小惑星からの惑星科学」を標榜しています。小惑星は、木星などの巨大ガス惑星の重力的影響で、成長が途中で止められた微惑星の化石であり、さらにはそれが後に衝突破壊されたことで、内部を構成していた物質も小惑星表面の瓦礫中に混じっている可能性があります。微惑星は惑星のもととなった天体として理論的に指定されていますが、その構造や特性は明らかになっていません。小惑星を直接探査することで、ガス惑星や地球型惑星の形成について実証的な知見を得られるはず。す。

「はやぶさ2」ミッションの主な科学目標は、①後代の熱的影響の少ない物質に記録された情報から太陽系形成史を読み解くこと、②天体表面での物質の進化（熱や水の関与した変成、有機物の複雑化など）と多様性の程度を明らかにすること、③微惑星の衝突合体・破壊過程に関して類似の天体である小惑星を通して理解すること、④小惑星帯での軌道進化・衝突破壊過程や地球軌道付近への物質供給過程を検証して地球初期物質進化への小惑星の寄与を明らかにすることです。

小型の地球接近小惑星 1999 JU₃ は、小惑星帯で形成されたより大きな母小惑星の衝突破壊で形成され、木星と土星からの重力により生じる長周期強制力（ ν_6 永年共鳴）を受けやすい軌道半径まで移動し、そこで軌道楕円が細長く変形されて近日点が内側に移動し、地球近傍にもたらされたと推定されています（図1）。C型小惑星であるため、揮発性が高い物質

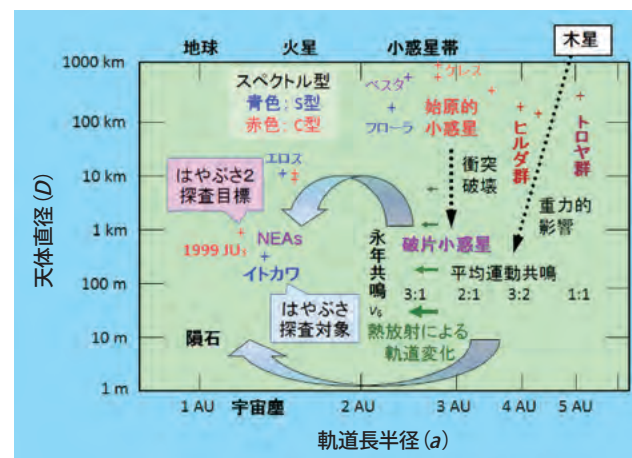


図1 小惑星帯からの物質供給過程
軌道長半径と天体直径の面上に各領域の最大小惑星を+で表示（青：S型、赤：C型、茶：その他の型）。小惑星帯の始原的小惑星が、衝突破壊による破片生成（黒矢印）、熱放射による軌道変化（緑矢印）と惑星摂動による急激な軌道変化（2つの淡青矢印、小惑星・木星の平均運動共鳴と ν_6 永年共鳴に起因）によって、地球接近小惑星（NEAs）となり、一部が隕石として地球に衝突する。



図2 小型搭載型衝突装置 (SCI) の実爆試験の様子 画面左から発射された銅球殻が標的の中央を貫通して右側の砂山に衝突した瞬間。

から太陽系初期（さらには形成以前）の情報を読み出せると期待され、母小惑星内部での鉱物—水—有機物相互作用による鉱物や有機物の多様化の過程が記録されている可能性があります。生命起源物質の宇宙での準備という観点から、アストロバイオロジー的価値は高いといえます。

本探査では、小型搭載型衝突装置 (SCI) により質量2kgの銅球殻を小惑星に衝突させ、人工クレーターを形成し、その衝突過程とクレーターを近接観測するとともに、可能であれば掘削された内部物質を試料採取することが計画されています（図2）。これは小惑星を使って微惑星の衝突特性を実証する狙いがあります。さらに表面のクレーター密度と放射性年代学（K-Ar衝突年代など）、SCI衝突実験を組み合わせることで、小惑星の衝突史と移動史を復元したいと考えています。これらは地球への水や有機物の供給に小惑星が果たした役割を解明する糸口となると期待されます。小惑星が書いた驚くべき日記を「はやぶさ2」は持ち帰ってくれることでしょう。

（わたなべ・せいいちろう）

AIAA SciTech 2014に 参加して

宇宙飛翔工学研究系 助教 奥泉信克

アメリカ航空宇宙学会 (AIAA) の SciTech 2014 という講演会に参加するため、1月中旬にメリーランド州のナショナルハーバーを訪れた。昨年までは4月に開催される構造・材料系の講演会 (SDM) によく参加していたが、今年からそれは流体力学や誘導・航行・制御などほかの分野と統合されて1月開催に変更された。そのため、年末年始に準備して慌ただしく出発することになった。

ナショナルハーバーは、ワシントンDC中心部から南に10kmほどの距離にある。成田空港からの直行便でダレス国際空港に日曜の午後2時半すぎに到着した。日本での事前の報道では北米は大寒波に見舞われているとのことだったが、空港に降りてみると雪や氷はどこにもない。ほっとしつつも防寒グッズで重くなったスーツケースを引きずって、同じ飛行機になった東京工業大学のポストクYS君とシャトルバンに乗り込み、会場近くのホテルに向かった。シャトルバンは複雑な経路を通り、70分ほどかかってようやくホテルに到着した。

チェックイン後、徒歩で会場に向かった。ナショナルハーバーは、「ハーバー」といっても海ではなくポトマック河畔にある。昔は大農場があったそうだが、会場のコンベンションセンターとホテルを中心として2007年ごろから開発された新しい街である。会場の建物は大きく豪華で、中央はガラス張りの高い天井で覆われた巨大なアトリウムとなっていた。会場に着くと予定通り受け付けが始まっていて、名札を印刷してプログラムなどを受け取った。プログラムの厚みは以前のSDMの数倍あったので、索引を頼りに自分が発表するセッションの時間と部屋を確認し、ホテルに戻った。

月曜日に講演会が始まると、会場には朝から多くの参加者が集まっていた。宇宙研の流体関係の先生

の姿も見られた。自分の発表は水曜日だったので、月曜と火曜は興味のある講演を聴きながら準備をした。会場は例年同様に整備されていたが、机と椅子と電源が自由に使える場所がないのが難点である。

水曜日の午前にはソーラーセイルのセッションがあり、私が共著者になっているIKAROSのソーラー電力セイルの形状や剛性の解析について、東工大のHSさんが講演してくれた。HSさんは留学経験豊富で、流ちょうな英語でストーリーの練られたプレゼンテーションを行って、聴衆にアピールしていた。私の講演は午後の軽量展開構造物の収納展開のセッションの最後で、最近早稲田大学と共同研究しているブームと膜面から成るシンプルな展開構造物のコンセプトから展開実験・シミュレーションに至る一連の研究成果について発表した。下手な英語のプレゼンテーションで、うまく伝わったかは定かでない。

夜にはHSさんらとSpacecraft Structuresの技術委員会に出席した。そこでは、NASAでソーラーセイルの開発に携わっている技術者の講演を、夕食を取りながら聴くことができた。内容は、1960年代のNASAのEchoバルーン実験、1993年のロシアのZnamya 2実験、1996年のNASAのインフレータブルアンテナ実験など世界の大型膜面構造物開発の歴史と、今年にも打ち上げられるNASAの大型ソーラーセイルSunjammerなどの計画をまとめたものだった。その中にはIKAROSも含まれていた。Znamya 2は、プログレス宇宙船を使って直径20mの円形膜をIKAROSと同じく遠心力で展開した先駆の実験だが、その展開を撮影した貴重な動画を見ることができた。

木曜日の午前には、NASAとメーカーの技術者数名による大型超軽量構造物の試験に関するパネルセッションがあり、各社の経験や課題について説明と議論が行われた。メーカーが自ら挑戦的な開発を行っていて、各社そろって学会発表してくれるのは、日本との違いであろう。大型軽量展開構造物は、柔軟で複雑に変形しやすく、地上試験が困難で解析が重要になるため、「試験のための設計」と「モデル化のための設計」が必要というパネリストの指摘に大いに共感した。午後には、昨年度の講演会受賞者の表彰式と受賞講演会に出席した後、バスと地下鉄を乗り継いでスミソニアン航空宇宙博物館に出掛けた。2001年以來2度目だったが、そのときはカバーをかぶっていたアポロ月着陸船や、ハッブル宇宙望遠鏡の構造モデル、スペースシップ1などの新しい展示があり、楽しめた。帰りには防寒グッズがやっと役に立った。

金曜日は講演会最終日だったが、早朝に再びシャトルバンに乗って一足早く帰路に就いた。SciTech 2015は2015年1月5日からフロリダで開催される。

(おくいずみ・のぶかつ)

ナショナルハーバーから北西にポトマック川を望む。遠くに見えるのは第28代大統領ウッドロウ・ウィルソン記念橋。





日本最大のロケット爆発事故

K-8-10

中部博雄

宇宙科学研究所 OB

昨年11月、観測ロケット不具合調査中に、うわさに聞いたことがある幻の録音テープ3巻を発見しました。それは、道川の秋田ロケット実験場で昭和37(1962)年5月24日、点火直後の19時50分に日本最大のロケット爆発事故を起こしたK-8-10号機の打上げ時の場内放送記録と、実験班57名に事故の聞き取り調査をした録音テープです。

事故原因は、ブースタ推進薬の亀裂による燃焼面積の増大により急激な圧力上昇が起き、チャンバーが爆発したものでした。この事故では、民家の土手瓦屋根約3平方メートル、かやぶき屋根約3平方メートル、物置小屋板1枚などが焦げる火災が発生しましたが、幸いにもけが人はありませんでした。

さっそく録音テープをデジタル化していただき聞いてみると、51年前の懐かしい先輩や先生方の声が鮮明に聞き取れました。記録する大切さをあらためて知ることができました。

さっそく証言を文書化しました。その抜粋を紹介します。(証言順、敬称略)

野村民也：状況は本部の窓から見ただけでほとんど分かりません。ただ大きな火の粉がバラバラ散ったのを目撃、長い間「ボー」というとどろき音を聞いただけです。(実験主任)

高中泓澄：カウンターを読んでいた。秒読みは60秒を過ぎてから時々場内に注意、「危険です！出ないでください!!」を与えておりました。カウントは240秒で止めました。(通信班)

森 大吉郎：最初パツと火が出てすぐ消えました。暗い中で何かがちょっと上がったときにパンパンと火花が出て大変だと感じました。ランチャーの下の方で長時間燃えていました。30秒たって大きな音がしました。後ろの方でボンボンと燃える音がしました。ノズルが抜けて、たき火状態で燃えている感じでした。(副主任)

松尾弘毅：最初少し浮いたのが見えました。火がこちらに飛んできましたので、伏せろと言われてそれっきりです。(記録班)

平田安弘：目の前に火の塊が落ち避難しているテストスタンドに煙が進入してきました。不安で、ただ恐ろしいばかりでした。(ランチャー班)

横山幸嗣：テレメータ室におりました。実際の爆発を見ることはできませんでした。伏せろという合図で全員伏せました。(テレメータ班)

今澤茂夫：ブースタ点火よりチャンバーの破裂まで組み立て小屋の前で見ました。テストスタンドの中に避難しました。(ランチャー班)

玉木章夫：点火と同時にたくさんバラバラと火がこぼれて、ロケットの一部が三角小屋の方に向かってきました。急いでテストスタンドの奥に避難しました。(ロケット班)

秋葉鐙二郎：爆発したことが認められました。ゆっくり炎が飛んでいきました。しばらくしてメインが土手に落下してから振動的な音が続いていました。その後、本部裏まで逃げました。(ロケット班)

佐伯信吾：最初、花火みたいになって、これがロケットの打上げだと思っていました。その後やっと気が付いて逃げました。(ロケット班)

林 紀幸：初めにブースタが海に飛び、その後メインに火が付いて飛んできました。その



K-8-10号機の爆発

ときばかりは生きた気がしなかった。(ロケット班)

内之浦宇宙空間観測所の射場における事故では、L-4Sの失敗が続いていた昭和44年9月26日に、K-10C-2号機が姿勢制御用過酸化水素の漏れを起こし、ブースタを残してメインが発射してしまう事故が起きています。

昭和37年から昭和45年のL-4S-5号機による「おおすみ」の打上げ成功までの8年間で176機中18機(K-8-10, K-9M-1, 4, 5, L-2-1, 2, K-8L-3, L-3H-1, 4, PT-210-1, 2, S-300-1, 4, K-10C-2, L-4S-1~4)のロケット系異常により、致命的な不具合が続きました。成功率89.8%でした。つらい宇宙開発の黎明期です。

過去50年間の打上げ失敗や多くの不具合を教訓として、問題点を克服してきた積み重ねが日本独自の技術を育て、その集大成として小惑星探査機「はやぶさ」や「イプシロンロケット」のプロジェクトを成功裏に達成することができました。

つまり、過去の不具合の上に今日の成功があることを決して忘れてはいけません。

不具合はプロジェクト達成までの真の姿を垣間見ることができる貴重な資料であり、これらを調査し整理することは、次のプロジェクトに生かすため、後世に残すべき重要な財産だと思っています。私はそれを続けていきたい。(なかべ・ひろお)

宇宙から広がる多様な興味を育みたい

宇宙飛行工学研究系 助教

竹前俊昭

—— 現在、どのような仕事をされていますか？

竹前：主に観測ロケットの打上げに携わっています。スケジュールを立てたりメーカーとの調整を行ったりするなど打上げ全般に関わるとともに、ロケットに搭載するタイマーと点火系や火工品を担当しています。火薬を使う火工品は人工衛星や探査機にも使われています。例えば太陽電池パネルは、火薬が燃えた圧力でカッターが押し出され、折り畳んだパネルを止めているワイヤを切断して展開します。今年打上げ予定の小惑星探査機「はやぶさ2」には、たくさんの火工品が使われています。今「はやぶさ2」に組み込んだ火工品が、2018年に小惑星に到着してサンプルを採取するときや、2020年に地球に帰還してサンプルを入れたカプセルを切り離す際に使われます。ミッションの最後を見届けるまで、安心できないですね。

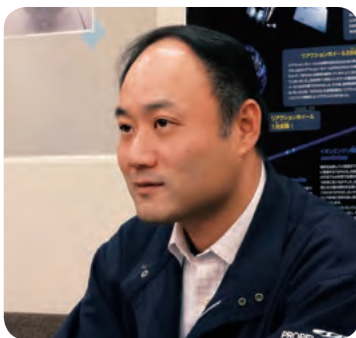
—— 学校の先生から、宇宙研に移られたそうですね。

竹前：高校生のときに日本宇宙少年団（YAC）に入り、現在も関わっています。大学卒業後、母校の中学・高校で2年間講師を務めていたとき、YAC理事でもあった的川泰宣先生（JAXA名誉教授）と教材づくりを介して知り合いました。その後、私立高校に本採用となった1年目の冬に、的川先生から「宇宙研の対外協力室で、マスコミヤ一般の人たちの窓口となる仕事を手伝ってくれる人を探している」と誘われました。教師に未練はありましたが、宇宙の仕事に就けるチャンスはめったにありません。教師とは違う形で子どもたちに関わることもできると思い、宇宙研に移ることにしました。

対外協力室に入ると、宇宙研の現場を知っておいた方がよいと、M-Vロケットの打上げの仕事も経験することになりました。もともとロケットが大好きなので打上げ現場の仕事が面白くなり、その比重が増えていきました。現在、宇宙教育センターの仕事もしています。これからは、打上げ現場の仕事を大切にしつつ、宇宙教育に少しずつ比重を移していきたいと考えています。

—— 教育に関心を持つようになったきっかけは？

竹前：大学生のとき、「鳥人間コンテスト」で人力飛行機を飛ばすサークルに所属していました。究極の性能を追求した飛行機は戦闘機です。飛行機が大好きな仲間たちの話題は、戦闘機の



たけまえ・としあき。1969年、神奈川県生まれ。日本大学理工学部物理学卒業。私立中学校・高等学校で講師・教諭を経て、1996年、宇宙科学研究所対外協力室助手。2004年より現職。宇宙輸送ミッション本部イブシロンロケットプロジェクトチームおよび宇宙教育センター併任。

性能が中心でした。でも、戦闘機は戦争の道具です。技術が使われる目的を見ないで、その性能だけに関心を持つ姿に、私の技術に対する熱は急に冷めていきました。ものをつくり出す技術者になりたいと思っていま

したが、人を育てる教育が大切だと思うようになり、教師を志しました。

大学生のときからYAC横浜分団のリーダーも務めていて、高校生以下の団員の子どもたちと接してきました。最初は人力飛行機づくりや、ロケット技術などの知識を子どもたちに教えることで満足していました。そして将来は、天文学者やロケット技術者、宇宙飛行士になってほしいと思っていました。しかしそういう人たちだけで、社会は成り立っているわけではありません。宇宙という共通の根からさまざまな方向へ興味の枝を伸ばし、いろいろな分野で活躍する人に育ってほしいと思うようになりました。

—— 多様な関心を育む宇宙教育とは？

竹前：宇宙教育センターでは今、島根大学の先生と共同で宇宙を題材とした授業を行っています。先日、ある高校に呼ばれて、スペースコロニーに新しい理想社会をつくるとしたら、というテーマを考える授業を行いました。宇宙を題材としながら、戦争や貧困、飢餓など現実社会が抱える問題を考える必要があるテーマです。

海外へ行くと、日本のことを見つめ直す機会になります。同じように宇宙からの視点を持つことは、地球や生命、人類社会のことを考え、さまざまな分野に興味を持つことにつながると思います。例えば、宇宙における生命探査の難しさを知ることで、豊かな生命を育む地球の大切さをあらためて感じ、地球や生命への興味が広がることでしょう。

生命が海から陸へ進出したのと同じレベルの重大事件が現在進行中です。人類の宇宙への進出です。私たちは幸運にも、その生命史の重大事件に立ち会っているのです。多くの人が宇宙飛行士と同じような意識で地球や生命、社会を見つめることで、人類の価値観は大きく変わると思います。

ISAS ニュース No.396 2014.3 ISSN 0285-2861

発行／独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

発行責任者／ISASニュース編集委員会 委員長 森田泰弘

〒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／株式会社デザインコンビニア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト

編集後記

なんか熱っぽいと思ったらインフルエンザだったり、山梨で豪雪に見舞われて足止めを食ったり、観測提案の審査で海外のホテルに缶詰めになったりと、いろいろな理由でまとまった時間を失っている今日このごろです。

(阪本成一)

*本誌は再生紙（古紙100%）、植物油インキを使用しています。

R100
古紙配合率100%再生紙を使用しています

VEGETABLE
OIL INK