



X線分光撮像衛星XRISMの機体公開

打上げ予定日まで約1ヶ月と迫った7月21日、種子島宇宙センターでXRISMの機体公開を行いました。機体公開には、報道関係者が参加。竹崎展望台の記者会見室にて、前島 弘則プロジェクトマネージャ(写真左)がミッションの概要を説明し、続いて田代 信研究主宰者(同右)からXRISMが取り組む宇宙の謎について説明しました。会見後、関係者は第2衛星組立棟に移動し、2班に分かれてクリーンルーム内で取材を行いました。(p.4、p.5の関連記事参照)



The Forefront of Space Science

宇宙科学最前線

びっくりするコンピューターと魔法の方程式

宇宙機応用工学研究室 准教授 小林 大輔(こばやし だいすけ)

我々にはとうていできそうにない計算を、ひょいとやってくれるコンピューター。それを頭脳に持つロボットが映画に出てくると、冷徹で無慈悲なやつとして描かれることが多い。1か0かに切り分けるデジタル処理の様子が、そんなイメージを想起させるのだろうか。そんなクールなコンピューターがびっくりする、と知ったら、あなたはびっくりするだろうか。

こうして始まる「びっくりするコンピューター」という記事をしたためてはや10年^{*1}。続編を作るには時間がかかりすぎた気がするが、ようやくエピソード2を紹介できるようになった。冒頭の導入にクールなロボットというSFの世界をイメージした人は多いだろう。今回はそこに魔法使いが登場する。

コンピューターチップと電子記憶細胞

コンピューターのメイン部品は、メモリーやプロセッサーといったコンピューターチップと呼ばれるものだ。私たちのIT社会を支える重要な部品である。コンピューターチップの多くは1か0のデジタルで情報を処理している。メモリーと呼ばれるコンピューターチップを想定してみよう。そこには図1のよう

に、デジタルの1か0を記憶する電子回路でできた記憶細胞が並んでいる。「電子回路でできた記憶細胞」と毎回繰り返すのは大変なので、「電子記憶細胞」と呼ぶことにしよう。そこに「JAXA」という文字列を記憶させてみる。この文字列をデジタル変換する方法はいくつかあるが、一例では1001010 1000001 1011000 1000001になる。7つごとに区切りをいれたのは読みやすさのためで、7つの電子記憶細胞が集まって1つの文字を記憶していることに由来する。SF映画に出てくるクールなロボットであれば、このように情報をデジタル化して一瞬で記憶し、そして忘れない。だが、現実とは違う。自然からの電気ショックにびっくりして記憶をなくすことがある^{*2}。

自然からの電気ショック

自然にはコンピューターチップを目から星がでるほど強くたたきやつが存在する。宇宙線と呼ばれるものだ。「線」とあるが実際は星のかけら、具体的には原子核やさらに小さい素粒子だ。超新星爆発のような天文学的巨大大イベントでエネルギーをもらって、光の速さに近いスピードで飛んでいる。そんな小さな星のかけらが夜空を駆け抜けていく様子を想像すると、光り輝く「線」のイメージを持てるだろう。

宇宙線はコンピューターチップに強力な電気ショックを与え

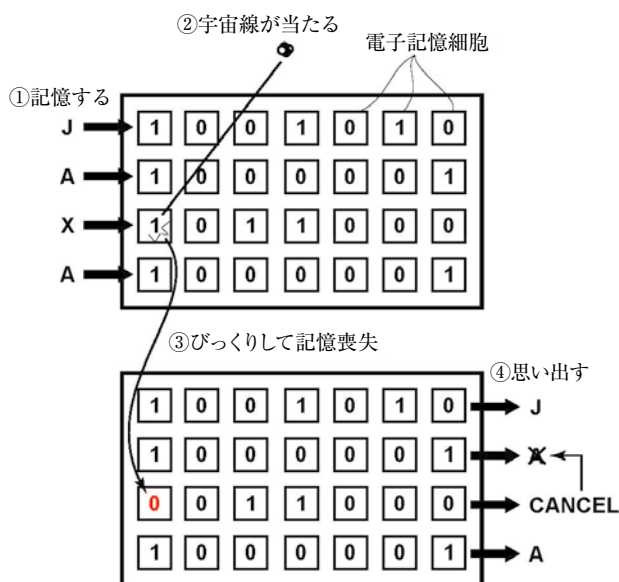


図1: メモリーにおける記憶喪失。JAXAがJAに。

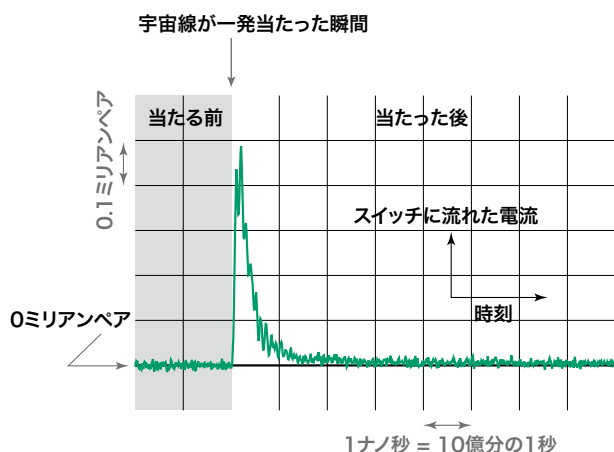


図2: トランジスタスイッチがびっくりする様子。量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所にあるサイクロトロンを使って調べた。観測データは同研究所牧野博士からのご提供。ISASニュース No. 374から転載。

る。その様子を心電図のように捉えたのが図2だ。電子記憶細胞はトランジスタと呼ばれる「電子スイッチ」のネットワークで作られている。そのスイッチを1つ取り出して宇宙線を当てたのが図2だ。宇宙線が当たる前はゼロミリアンペア、つまり信号がレベルゼロで平らになって落ち着いている。人間の心電図がこの状態で落ち着いたら一大事だが、こいつはコンピューターなので問題ない。宇宙線が当たった瞬間、信号が大きく跳ね上がっている。コンピューターがドキッとした瞬間だ。信号の高さは目盛り5つ分。ぶっちぎりに大きい。このスイッチは本来目盛り1つ分しか信号を出さないからだ。

びっくりするコンピューター

目から星がでるような強烈な電気ショックを受けた電子記憶細胞は正常ではいられない。一瞬で焼き切れるようなものを含めてさまざまなことが起きる。中でも、ショックのあまり記憶を失うことがよく知られている。1つの電子記憶細胞が記憶を失って例えば図1のように0011000になったとしよう。今回使った文字列変換ルールでは「キャンセル」の意味になる。

「X」という文字が「キャンセル」という命令に変わってしまう。今の例であれば、1つ前の文字「A」をなかったことにしてくれるという意味になる。宇宙航空研究開発機構JAXAのためにその身をささげていたロボットが「JAXAとは何のことでしょうか。私は農業協同組合JAのためにこの身をささげています」とクールに手のひらを返す。

宇宙線実験の難しさ

そんな手のひら返しができるだけ起きないように、コンピューターチップを作る人たちは対策をしている。大切なのは作ったコンピューターチップがどのくらい宇宙線に弱くてびっくりしやすいのかを知ることだ。そこで、自分たちが作ったチップに宇宙線をあてて確認する。自然の宇宙線を使う手もあるが制御できないという難しさがあるので、人工的につくって当てて確認する事が多い。

これが結構大変である。宇宙線を人工的に作るにはサイクロトロンやシンクロトロンと呼ばれる巨大な電子レンジのようなものが必要だ。電子レンジという比喻は悪くない。電子レンジはマグネトロンの応用だから。だが、大きさは随分違う。サイクロトロンやシンクロトロンはそれだけで研究所が必要なくらい大きい。そんな巨大な電子レンジを持っている人はなかなかなくて、いつも順番待ちだ（自宅に持っている人がいたらこっそり私に連絡してほしい）。巨大な電子レンジは電気代も格別で、昨今の電気代高騰は痛恨だ。コンピューターチップを作る人たちは、そんな痛みを耐えながら実験を繰り返している。

私のところには「最近見つけたこのコンピューターチップを宇宙で使いたいけど、どう？」と相談が来ることが多い。私ができる回答は「宇宙線実験しないと使えるかわからない。宇宙は宇宙線が多いから気をつけた方がよい。実験は早くて来年。お金かかるから覚悟しておいて」だ。質問した人の顔が苦虫をかみつぶしたような顔に変わる。

悔しい。だって「わからない」となら、誰だって言えるじゃないか。

四十代転職希望先は魔法使い

「誰でもいいなら君はクビだな」と所長に言われなくても説明しておこう。同業のほかの人に迷惑をかけてもいいけない。この実験、ノウハウの塊である。

半導体物理、集積回路設計や符号化理論といったコンピューター設計に必要な知識に始まり、相対性理論と量子力学が絡んだ素粒子物理、天体の起源に迫る天文学などをカバーする必要がある。実際的な知識も必要だ。例えば、コンピューターチップがどういう構造でできているのか、その構造をどうやって作ったのか。時にはその際にどんな材料を使ったのかまで知る必要がある。「当てたらわかる」と言うなかれ。それは、ちゃんと当てられたら話だ。

そうやってきっちり宇宙線を当てて手にしたデータは確実に珠玉だ。とはいえ、何でもかんでも「わからない」と実験しては負担が大きい。今風に言えばサステナブルじゃない。魔導書を開いて呪文を唱える魔法使いのごとく、説明書を開いてちよいちよいと計算するだけで宇宙線に対する信頼性を言えたら「映える」だろう。面白い。魔法使いに俺はなる。

目指せ！魔法使い

どうやったら魔法使いになれるのだろう。きっと本物は、食べると巨大化するキノコや引き抜くと悲鳴を上げる草とかをつぼに入れてグツグツ煮るのだろう。そんなマジックアイテムにあてのない私は自分の実験結果や他人の論文とかをかばんに入れてブツブツつぶやいた。きっと本物は、杖で地面に光る魔法陣を描くのだろう。私は鉛筆でノートに黒いグラフを描いた。悔しさをバネになんだかんだで20年くらい。ある日、次の呪文に行き着いた。

$$\lambda = 2K \frac{\sigma_{\infty}}{L_e^2}$$

あんまり呪文らしくないって？それもそのはず。この方程式は中学生でも解ける。

ちょっとだけ魔法が使えた

多くの呪文が人に読めない文字で書かれるように、私が作った呪文も読めないだろう。あえて読むならば、ラムダイコールニーケーシグマムゲンダイワルコトノエルイーノニジョウ。お、呪文らしくなった。だが、もう一度言うと、この呪文は中学生でも解ける簡単な方程式だ。等号(=)の左側にあるラムダ(λ)は、びっくりして記憶喪失する頻度を示す。宇宙線実験の最終目標はこれを知ることだ。右側の σ_{∞} と L_e は作ったコンピューターチップがどれくらいびっくりしやすいかを表す指標である。2つを組み合わせるとチップの「個性」を表現している。なお、コンピューターチップにもいろいろ種類がある。ここではSRAM (Static Random Access Memory) というメモリーを想定している。SRAMは私たちが普段使っているコンピューターの情報処理速度を決める大切な部品であると同時に宇宙線に弱いことでも知られている。最後に残された K は、そのチップが置かれる環境を表している。びっくりしやすいチップでも宇宙線が少なければびっくりする頻度は減る。チップと環境の両方の個性が必要だ。

図3はこの魔法を発動させた結果だ。魔法の方程式を使って描いたグラフ、すなわち魔法陣だ。見慣れない文字が多くていかにも魔法陣らしい。全部は説明しないが、大きい黒丸 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 が、私が魔法の方程式を使って予言した値である。世の中に公開されているSRAMを4つ例にとって個性(σ_{∞} と L_e)を調べて魔法を発動させた。小さい白丸は別の人が実験などで調べて報告した値である。横軸はコンピューターチップの「世代」を表していて右側に行くほど新しい。同じ世代では黒丸と白丸が重なってほしいのだが、どうだろう。そう悪くない。

S_1 の黒丸が2つあることに気づいただろうか。このグラフにはSRAMチップを宇宙の静止軌道に持っていった場合と、地上に置いた場合、それぞれについて求めたびっくりしやすさ(ラムダ値)を載せている。私が編み出した魔法の方程式には K を書き換えるだけで宇宙と地上の両方を予言できるという面白い特徴がある。魔法使いにあこがれる人は他にもいて、似たような魔法を唱えた人もいるけれど、両方を予言する魔法を唱えた人はいないはず。おや、と思った人はいるだろうか。宇宙線は宇宙にあるのでは？と。実際は地上にも降り注いでいる。前置きが長くならないようにここまでどちらでも読めるように工夫してきたつもりだがどうだろう。

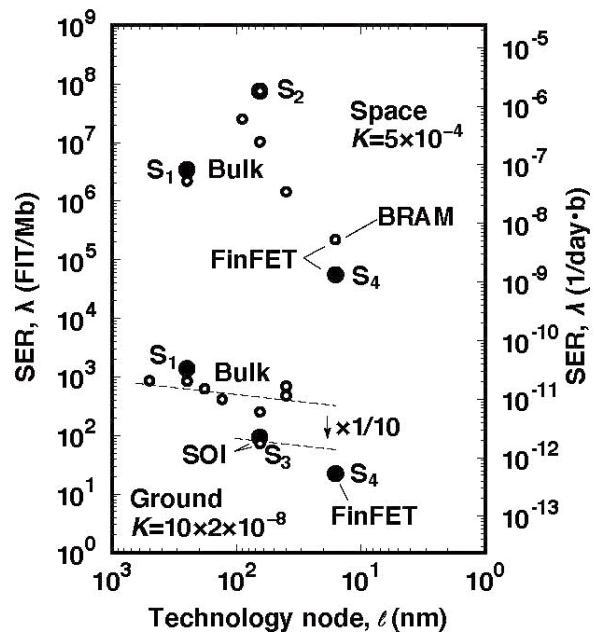


図3：魔法の方程式を発動させて描いた魔法陣。横軸はコンピューターチップの世代を表している。ナノメートルという単位で測った線幅を使う慣例に従っている。線幅が小さくなる(右に行く)ほど新しい。縦軸の左と右では単位が違うだけで、どちらもSRAMの「びっくりしやすさ(ラムダ値)」を表している。右は宇宙業界がよく使う単位で、1つの電子記憶細胞が一日に何回びっくりするかを示す。左は地上業界がよく使う単位で、100万個の電子記憶細胞が10億時間に何回びっくりするかを示す。ちょっとした文化の差である。また、図中のBulk, FinFET, SOIはコンピューターチップの作り方の違いを示している。こういう差や違いを超えて統一的理解しようとしたところにもこの魔法陣の面白さがある。図はD. Kobayashi and K. Hirose, "How Harsh is Space?—Equations That Connect Space and Ground VLSI," in Tech. Dig. 2023 Symp. VLSI Technol. Circuits, から転載。©応用物理学会 2023。なお、BRAMはBlock RAMと呼ばれるもので、SRAMとは厳密には違うがかなり似ているので参考値として掲載した。

宇宙線は地上にも宇宙にもある。だが、地上と宇宙では種類が違う^{*3}。なので、作ったチップの信頼性を調べるには、地上用と宇宙用の宇宙線実験が必要だ。それぞれ別の「ナントカトロン」が必要なので、例えば地上用にびっくりしないチップができて、宇宙で使えるかどうかを知るには別の実験が必要だ。これが先ほど例に挙げた苦虫ケースに他ならない。私の魔法を使うと、その実験を省略できるかもしれない。お互い換算できる可能性があるからだ。できると言い切るには調べたいことがあるし、この方程式ひとつですべてが解決するということもないだろう。研究という修行がまだまだ必要だ。でも、ちょっとだけ魔法が使えるようになった。わからないとしか言えなくて悔しい思いをしてきた問題を、中学生でも解ける方程式で解決できるかもなんてびっくりだ。これだから研究は面白い。

*1 ISASニュース2012年5月号

<https://www.isas.jaxa.jp/ISASnews/No.374/ISASnews374.pdf>

*2 コンピューターが記憶をなくすことを専門的にはシングルイベント・アップセット (Single-event upset) とかソフトエラー (Soft error) などと呼ぶ。なお、ソフトエラーはソフトウェアのエラーという意味ではない。本文にある通りハードウェアのエラーだ。

*3 地上のコンピューターをびっくりさせる宇宙線としては高速中性子線が、宇宙のそれとしては銀河宇宙線が代表的である。魔法の方程式はそれらを想定して導いた。原子核の構造まで知っている必要があるので夏休みの自由研究としては難しすぎるかもしれないが、興味をもった人は、地上の高速中性子線がどうしてできるのか調べてみてはどうだろう。あたかも空っぽのように見える空気(大気)が盾になっていることが分かると思う。宇宙飛行士の目から星が出るくらい銀河宇宙線は強力で、実際、目をつぶっていても目に当たると光るそうだが、私たちは普段そんな光に悩んではいない。銀河宇宙線はどこに行ったのだろう？

XRISM射場作業続報

種子島宇宙センターではXRISMの射場作業が計画通り進んでいます。

7月21日(金)、衛星の機体を報道関係者に公開しました(報道公開については、表紙とp.5のXRISM連載もご覧ください)。7月23日(日)には衛星を第2衛星組立棟(Second Spacecraft Test and Assembly Building; STA2)から衛星フェアリング組立棟(Spacecraft and Fairing Assembly building; SFA)に移動しました。SFA以降の作業は、衛星単独ではなくロケットとのJoint Operation(JOP)となります。

SFAでは衛星の推進系のタンクに推進薬を充填した後、ロケット側に引き渡し、フェアリングに収缶しました。今回の打上げは、XRISMと小型月着陸実証機(SLIM)の2機を同時に打上げます。打上げ後、XRISMはSLIMよりも先に分離されるため、SLIM格納部の上にXRISMを格納し、ロケットに搭載します。8月11日(金)にはフェアリングに収缶された衛星を大型ロケット組立棟(Vehicle Assembly Building; VAB)に輸送し、クレーンでつり上げ、H-IIA 47号機と結合しました。

通常の衛星であれば、この後は打上げを待つばかりとなるのですが、XRISMではロケットと結合してからも重要な作業を行います。XRISM衛星に搭載されるResolveという観測装置はセンサを極低温(50mK)に保つ必要があるために液体ヘリウムを用いるのですが、この液体ヘリウムは衛星をロケットに結合



SFAにおける衛星とフェアリングの結合作業。

した後に充填するのです。もちろん衛星はすでにフェアリングに収缶されているので、この「液体ヘリウムの充填作業」のためにフェアリングには特別なアクセスドアが設けられています。地上45mほどの移動式の昇降床に設置された「ダイビングボード」と呼ばれる作業台に作業者が腹這いで乗り、アクセスドア経由を通じてフェアリング内に入り(ダイビング)、衛星に配管を接続して液体ヘリウムを充填します。充填後は温度を維持するために24時間体制で冷凍機の運転と真空引き作業を行い、打上げに備えます。(夏苺 権)

能代真空燃焼試験棟での事故について

能代ロケット実験場(NTC)の真空燃焼試験棟において、2023年7月14日の午前9時に事故が発生しました。当時はイプシロンSロケット2段モータ(E-21)地上燃焼試験中でしたが、点火後約57秒の時点で異常が認められ爆発、事故となりました。真空燃焼試験棟は1982年に設置され、推力150tまでの固体モータの燃焼試験を行うことができる設備として、これまで様々な固体ロケットモータの燃焼試験(Mロケット34回、イプシロンロケット4回、スペースワン社のカイロスロケット2回)を実施してきましたが、完工以来初の事故となりました。幸いにも実験場内人員及び第三者についての人的被害は無かったものの、鉄骨2階建の真空燃焼試験棟は全焼し、その他、実験場内の各建屋でガラス・建具・外壁の破損被害を受けました。建物の消火活動にあたっては、能代消防署から計14台の車両を

派遣いただき午前11時に鎮火となっています。

今回の事故を受けて、宇宙科学研究所は國中所長のもとに「初動対応タスクフォース(TF)」及び「復旧検討対応TF」を設置し、対策をとることになりました。初動対応TFは実験場の緊急安全化計画と実行管理を担当し、復旧検討対応TFは真空燃焼試験棟の復旧にかかる構想検討と計画策定を担当します。真空燃焼試験棟の復旧には時間を要する見通しとなっております。また、今回の事故において、ロケットの爆発から人員を防護するロケット燃焼実験場としての安全対策は適切に機能しましたが、建物に対する安全対策は不十分な点があることが判明しました。NTCとしては、真空燃焼試験棟の早期復旧に向けて最大限に努力するとともに、今後はより安全に実験ができるように設備の改良を検討していきたいと考えています。

改めまして、NTCにおける地上燃焼試験の実施と、事故後の対応に大変お世話になった能代市役所、消防署、警察、漁協、浅内地区や協力会社の皆様に御礼申し上げます。また、近々、NTCでの実験を計画されていた宇宙科学コミュニティ等の関係者にはご不便をおかけする可能性があり、影響を最小にするよう努力します。

なお、今回の事故に関するロケット側の原因調査状況について*はJAXA宇宙輸送技術部門から文部科学省宇宙開発利用部会調査・安全小委員会で報告されています。(小林 弘明)



能代ロケット実験場正門より、事故直後の緊迫した様子。2023年7月14日撮影。

銀河を 吹き渡る 風をみる

連載

第11回

皆の想いをのせて宇宙へ ～打上げ直前～

2022年5号から始まった連載も遂に最終回です。そこで今回は、打上げ直前に種子島で行う射場作業や、相模原で行う運用準備について紹介します。

まず、種子島宇宙センターでの射場作業です。

2023年3月に衛星は、筑波宇宙センターから種子島宇宙センターへ搬入されました。種子島に到着してからも、気の抜けない重要な作業が続きます。衛星は第2衛星組立棟 (STA2)、衛星フェアリング組立棟 (SFA) と場所変えながら様々な試験や作業を行いました。現在は大型ロケット組立棟 (VAB) にて、衛星はフェアリングに格納された状態で、打上げに向けた最終的な作業が進んでいます。(射場作業の詳細は、2023年5月号及び今号の“ISAS事情”をご覧ください。)

また、7月21日には、メディアの方にXRISM実機を間近で取材して頂く“機体公開”の機会を設けさせて頂きました(今号表紙参照)。種子島で行う機体公開は、打上げ前の重要なイベン



JAXAが作成した打上げ告知ポスター。XRISM/SLIMの機体をメインとしたデザインです。打上げライブ放送もぜひお見逃しなく！



記者説明会の様子。メディアの方々からたくさんのご質問を頂きました。今後もSNS等でXRISMの最新情報を発信していきますので楽しみに。



運用リハーサルの様子。実際の運用と同じ人員配置で実施しています。参加者の緊張感が伝わってくる写真です。

トです。この日のためにプロジェクトでは、プレスキットや発表資料の作成などの準備を行ってきました。ご参加頂いたメディアの方々に報道頂いたことで、それを通じて多くの方々にXRISMについて興味を持って頂けたのではないかと思います。

続いて、相模原キャンパスでの運用準備を紹介します。

安全で確実な運用に向け、運用に必要な文書の整備や追跡管制隊の運用訓練をこれまで積み重ねてきました(本連載第10回*もご参照ください)。その総仕上げとして、実際の運用タイムラインに従いリアルタイム形式で運用模擬を行う“運用リハーサル”を繰り返し実施しました。そして、7月下旬に迎えた最後の運用訓練。これで予定した全ての運用訓練・リハーサルを完了しました。一連の活動を経て運用練度の向上を達成しましたが、その後も打上げに向けて、各自更なる準備を整えているところです。体調管理もしっかり行い、運用訓練の成果を確実に発揮できるよう、万全の状態で行うべく臨みたいと思います。

最後に、XRISM開発中はいろいろな出来事がありました。その様な中、JAXA、メーカー、大学関係者、海外機関等が力を合わせ、チーム一丸となって一つ一つ乗り越えてきました。

機体公開の際、メディアの方から“打上げに向けての意気込み”について質問がありました。「様々な困難を乗り越え、ようやくここまでたどり着いた。確実に打上げて運用し、衛星が地上試験の通りに動作すれば、必ず良い成果につながると確信している。」(前島PM)、「国内外の研究者から“XRISMを使ってこんなサイエンスをする予定だ”という声が続々と上がっており、非常にやる気に満ち溢れていると感じる。ぜひ、その世界の期待に応えたい。」(田代PI)、と応じたこの2人の想いはXRISMの開発に関わった全員の想いでもあります。世界中の研究者の想いと、その成果を楽しみに待っている方々の想いにしっかりと応えるべく、打上げ後もチーム一丸となって確実な運用を目指します。

いよいよ打上げです。銀河を吹き渡る風を見るXRISM(くりずむ)が切り開く新たなサイエンスの地平を楽しみに待っていてください。引き続き応援よろしくお願いします。

XRISMプロジェクトチーム：堀内 貴史(ほりうち たかふみ)

SLIM the MON Sniper

連載

第2回

降りられるところから、降りたいところへ

団結！SLIM推進系！

SLIMのミッション目的である「月面ピンポイント着陸」に向けて、軌道制御および姿勢制御、着陸降下時の速度制御に活躍するのが我々推進系です。推進系は探査機システムからの指令に基づいて、必要な推進力を発生させるシステムで、外観からもわかりやすい、化学反応を最終的な推力に変換するスラスタのみでなく、推進薬を貯蔵するタンクや、その推進薬を各スラスタまで導く配管、推進薬の流れを制御するバルブなど、様々なコンポーネントで構成されています。SLIM推進系は過去の探査機や衛星で採用された推進系と比べると、非常に個性的な設計になっています。すべてはSLIMのもう一つのミッション目的である「軽量の探査機システム」を実現するためであり、自分事ながら流石の特別仕様といった様相です。

SLIM推進系の系統図を図1に示します。スラスタは、500N級のメインスラスタ(OME)2基と20N級のスラスタ(THR)12基で構成され、燃料(ヒドラジン)と酸化剤(MON3)を一つの大きなタンク殻内の内部に仕込んだ金属共通隔壁で仕切る一体型タンク(TNK)になっています。タンクの内部デバイスやバルブ等の構成もシンプルなものとなっており、ダイアフラムを介した加圧による2液式ブローダウンシステムを採用しています。

いくつか、代表的なコンポーネントとその特徴を挙げると、OMEは金星探査機「あかつき」でも使用した、国産のセラミックスラスタを採用しておりますが、製造方法の信頼性向上に加えて、比推力性能も向上し推進薬量を含めた質量低減に貢献しています。THRは軌道上実績の多い金属スラスタですが、OME同様にSLIMで使用する広範囲な推力条件での使用に対して複数回の試験にて丁寧な検証を実施しました。TNKはSLIMの主構体として機体にかかる荷重を支えており、従来必要となる支持構造などが不要となることで、探査機の全体質量低減に大きく寄与しております。また、内部デバイスの一つPTFE(polytetrafluoroethylene)樹脂製の酸化剤側ダイアフラムはJAXAインハウスで開発したものであり、材料選定、要素試験、複数の設計検証試作モデル(BBM)試験を通じてその最適な設計を作り上げました。

上記に加え、書ききれない様々な質量低減、高性能化の開発を行いました。推進系を構成する各コンポーネントは、当然ながら様々なメーカーさんに関わっていただいて開発を進めてきたものです。推進系は1つのシステムでもあるので、全てのコンポーネントが組み合わさって正しく機能するように作り上げていくことが非常に重要になります。その意味でも、推進系史上特別に個性的なこのシステムは、多岐にわたるメーカーさん

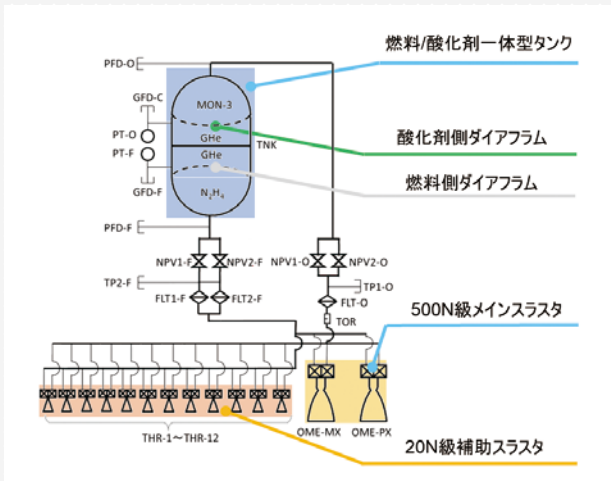


図1：推進系系統図。



図2：システム燃焼試験実施状況。

と、まさに一丸となって作り上げてきたと言えます。その象徴ともいえる1つが、システム燃焼試験(SFT、図2)でした。SFTは、フライトモデルとほぼ同一設計の推進系コンポーネントを組み合わせて、システム全体の作動特性やコンポーネントの連成挙動を検証し、問題の有無を確認する非常に重要な試験です。これはJAXAの旗振りのもと、IHIエアロスペースの試験場で、IHIエアロスペース製のTHRのみならず、三菱重工業が開発・製造したTNK及びOME、それらをつなげる三菱電機が製造した配管系を持ち込み、組み上げた上で試験を実施するという、これまた前代未聞の試験体制で実施されました。技術的なものだけでなく、企業間のルールなど様々なハードルを越えての試験でしたが、最後はSFTを成功させるという目的のもと組織の枠を超えた協力を得て、試験を良好に完了させることができたことに、ある種の感動を覚えたことを今でも記憶しています。

いよいよ始まる、SLIMの運用作業ですが、十分な準備をもってしても、緊張の連続が想像されます。強固な推進系システム関係者の結束によって、強い推進力で乗り越え、ピンポイント着陸を確実に成功させたいと思います。

推進系担当：道上 啓亮(みちがみ けいすけ)



東京大学名誉教授

牧島 一夫 (まきしま かずお)

「非標準」を選んだら

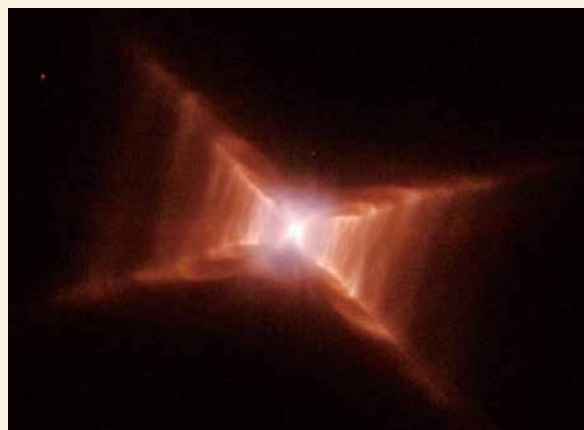
市民講演会などで Mac (アップル) を使うと、「マックは良いですか?」と質問されることがある。普及したとはいえ、世の中で Mac はまだ「非標準」なのだろう。「はい、もちろん良いですよ!」と答えるが、私が使ってきた6世代のラップトップはすべて Mac であり、「標準」のウィンドウズは所有経験がないので、公平な比較ではない。

私は、非標準が好きである。美術館など、皆が殺到しがちな午前より午後の終盤の方が概して空いているし、観光地でも案内書に書かれたコースを逆にたどると、混雑や渋滞が少ないことがある。学会などでホテルが満室なら隣町を探せばよいし、旅行でも人気の高い宿泊施設では、休日の晩が狙い目である。固定観念を捨て、「非標準」を取り入れるだけで、日々の生活が楽しくなる。

とはいえ「標準」には、そうなった理由があるわけで、四国の霊場八十八ヶ所を1番から88番まで順にたどる標準の「順打ち」に比べ、88番から遡って逆回りする非標準の「逆打ち」は、功德は大きい^{くどく}が歩きづらいそうである。つまり平凡で安全な「標準」に比べ、「非標準」にはより大きいリスクが伴う。だから旅行計画を立てる際など、案内書任せではない計画を選んだら、現地で頭を抱えるハメにならぬよう、自己責任で周到に下調べや準備を整え、思考実験として予行演習を行う必要がある。私はその過程がけっこう好きで、こうした作業が不可欠なことが、「非標準」を選ぶメリットの1つだとさえ思う。

実はこれは研究にも該当する。流行のテーマに群がると、あまり考えずに行動できるが、競争が激しく、また考えの自由度が少ないため、努力が実らないことが多い。そんなこともあり私は、流行の「標準的」な研究テーマに出会うと、「本当にそうなのか?」「皆が一緒に間違えているだけでは?」と密かに疑う習性がついてしまった。ただし疑うだけだと「ひねくれ根性」で終わってしまう。そこで自分の専門であるX線天文学に近いテーマの場合、疑念をもったら先入観を捨て、観測データ(特に自分が開発に関わった装置のデータ)を虚心坦懐に眺めるのである。実験装置や道具と同様、データもいじり回していると不思議と手に馴染んできて、先方からこちらに語りかけてくる。その語りの中に、理論家が唱えるような「標準」の学説とは異なる、「非標準」のシナリオが垣間見える場合があり、それを掘り上げて追求することが、いつしか私の好む研究スタイルとなった。

たとえば中性子星の磁場が減衰するという標準シナリオに対し、X線衛星「ぎんが」のデータから疑念を抱き、異説を提示した。銀河団プラズマの冷却流という通説は、「あすか」の観測と矛盾し、ほぼ棄却できたと思う。「ブラックホール周辺からの広がった鉄輝線」という神話にも、「すざく」の観測結果から反



ハッブル宇宙望遠鏡が撮像した「赤い長方形」と呼ばれている星雲。一生を終えつつある星が中心にあり、大量の炭素を含んだ、ガスや塵を放出している。星は最後に、白色い星となって終わる。太陽もいずれこの段階を迎えると予測される。

論を提起してきた。ただし「非標準」の「非」が取れて世界に受け入れられるには、長い時間が必要で、まだ先は遠い。さらに「非標準」を強調しすぎると生きづらいので、門下生たちにも、控えめに伝える程度でやってきた。

現在では情報の流通速度が急増した結果、異なる考え方が点在・共存していた状況が失われ、とかく思考が「標準」へと収束してしまう。これには危うい部分があり、何かおかしいと思っても、非標準を選ぶと流れに逆らい消耗なため、つい「標準」に迎合し、「赤信号みんなで渡れば怖くない」となりかねない。その好例が、「炭素=悪者」という思考だと思う。本来は、地球温暖化が進んでいる可能性があり、二酸化炭素(CO₂)の増加がその一因かもしれないから、CO₂の排出を減らそうという論理だと思うが、CO₂が温室効果ガスの代名詞として強調された結果、炭素自身が悪者にされかけている。脱炭素、ゼロカーボン、カーボンオフセットなどの標語が並び、企業も地方自治体も、大学まで、その流れに乗り遅れまいと躍起である。これは何かおかしい。

言うまでもなく炭素は、水素、ヘリウム、酸素に次ぎ、宇宙で4番目に存在量の多い元素である。宇宙の誕生後、星の内部の核融合で様々な元素が合成されるさい、炭素は出発点となった。写真に示すような終末期の星は、自分が合成した炭素を大量に含む、^{すす}煤だらけのガスを放出している。炭素はまた化学的に4本の腕をもち、多種多様な有機物を合成できるため、それらを用いて地球上に豊かな生命系が展開した。私たちの体も大量の炭素を含み、炭素なしには、地球も生命系も存在しえなかった。その重要な炭素を、このように悪者扱いして良いはずがあるまい。CO₂にしても、それは宇宙の星間ガス中や塵の表面に豊富に存在するし、有機反応の多くは水とCO₂を作って終わるから、CO₂を出さずにエネルギーを消費することは難しい。植物は、その水とCO₂という使用済みの化合物から、光エネルギーを利用し、逆に様々な有機物を合成するという離れ業をやっている。これも水・CO₂・光は、宇宙のどこでも普遍的に手に入るからであろう。つまりCO₂だって宇宙では標準的な化合物の1つである。

大切なのは、「温暖化を止めるためCO₂を削減する」という短絡化された視点を少し広げ、人類の生活レベルを劣化させることなく、エネルギーと物質の消費をいかに賢く抑え込むかを考えることにあろうと思う。ただしこの考えは「非標準」だから、それを大々的に喧伝すると、イバラの道になりそうだな。

東洋と西洋の境界、 イスタンブールへの旅

宇宙機応用工学研究系

橋本 樹明 (はしもと たつあき)

国際会議Recent Advances in Air and Space Technologiesに参加するため、2023年6月にトルコのイスタンブールへ渡航しました。総研大宇宙科学専攻の卒業生であるErsin Söken氏(現在、Middle East Technical Universityの准教授)からの依頼で基調講演をすることになったのですが、この学会の2007年には小澤 秀司理事(当時)、2009年には立川 敬二理事長(当時)が基調講演をしているようで、私では力不足ではないかと心配になりました。そこで、最初の挨拶ぐらいいはトルコ語で行おうと考え、テキスト^{*1}を買って直前1ヶ月間、にわか勉強をしました。

2021年6月にOMOTENASHIとEQUULEUSの探査機引き渡し^{*2}のためNASAケネディスペースセンターに出張したのですが、その際はコロナ禍真っ只中で、空港までの往復手段は公共交通機関の利用禁止、米国到着後10日間ホテル待機、帰国後は指定場所で3日間の隔離、その後11日間の自宅待機が必要でした。今回のような全く制限のない海外渡航は、2018年10月のドイツ出張以来でした。トルコ現地では「2年前から誰もマスクをしていない」ということで、私もトルコではノーマスクで生活しました。

国際会議は、参加者の大半はトルコの企業、大学の研究者、学生でしたが、会議は全て英語で行われ、米国や欧州からの参加者もちろはらという状況でした。日本のISTS (International Symposium on Space Technology and Science) のようだと例えば、宇宙工学コミュニティの方はわかってもらえるでしょうか。日本からの参加はUNISEC (大学衛星コンソーシアム) の川島レイさんなど、合計4名でした。なお、ちょうど同週にISTSが福岡県久留米市で開催され、私の発表がトルコでの基調講演の前日だったので、一日前に渡航してISTSでの発表はトルコのホテルから遠隔で行いました。

トルコは大学を中心に小型衛星開発が盛んであると理解していたので、OMOTENASHIで実証する予定だった超小型の月着陸技術である「セミハードランディング」^{*3}について話すことにしました。残念ながらOMOTENASHIは軌道上不具合で着陸を断念することになったので、これまでの地上試験での開



夕食会の風景。写真一番奥右が筆者、一番奥左が川島レイ氏、その手前がSöken先生。他は会議に参加していた教員、学生など。

発状況についての話をしました。講演内容の評価は定かではありませんが、トルコ語挨拶のところでは盛大な拍手をいただきましたので、勉強が報われました。なお、今年10月にはアゼルバイジャンに出張予定で、そこでもトルコ語が通じるようなので、トルコ語の勉強は続けるつもりです。

超小型衛星技術とは言え、月探査の講演は場違いかと思いきや、トルコも来年には月周回機を打上げて、最後は着陸制御の実験(彼らは「ハードランディング」と呼んでいました。)を行い、2029年には軟着陸を目指すようです。私は不勉強でしたが、トルコ宇宙機関が2018年に設立され、2021年11月にはJAXAとの協力協定も結ばれていました^{*4}。最終日には月探査のセッションがあり、20年以上月探査に関わって来た私は、大変興味深く聞きました。帰国便の時間が迫ったため、最後まで聞けずに空港へ移動する必要があったのが残念でしたが。

毎日、会議終了後の夕刻にはSöken先生や世話役の学生さん(東北大に短期留学した経験あり)が街のガイドや夕食をとみにしてくれ、イスタンブールを満喫することができました。会議の会場や主要な観光名所は欧州側にあるのですが、アジア側にもフェリーか地下鉄でボスポラス海峡を渡ると簡単に行けます。アジア側のレストランでは、Söken先生と一緒にシーフードとお酒(ラク)をいただきました。トルコ人の大半はイスラム教徒と言われているようですが、政教分離が行われており、アルコールを飲む人も多いようです。料理は、好き嫌いの多い私でも、どこのお店でもおいしくいただけました。案内してくれた人の店のチョイスが良かったのかも知れませんが、世界三大料理と言われるだけのことはありました。

今回、久々に国際会議に現地参加して、国際交流の楽しさをあらためて感じました。また学生との交流も重要なので、安全保証の観点から宇宙工学分野での外国人学生受け入れに制限が強い現状は、将来的に日本の科学技術の発展を妨げるのではないかと危惧します。

*1 大川博、ニューエクスプレスプラストルコ語、白水社/吉村大樹、トルコ語のしくみ、白水社など

*2 ISASニュース 2021年8月号 https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews485.pdf

*3 ISASニュース 2021年9月号 https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews486.pdf

*4 https://www.jaxa.jp/topics/2021/index_j.html#news19411

編集後記

ISAS ニュース 8月号は、打上げ直前となったX線分光撮像衛星XRISMと小型月着陸実証機SLIMとが無事に打ち上げられることを祈りながらの編集となりました。ここしばらく良くないニュースが多かったので、是非とも成功して欲しいです。

(高木 亮治)



ISASニュース No.509 2023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 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/株式会社トリッド

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台3-1-1 isasnews@isas.jaxa.jp

ISASニュースはインターネットでもご覧いただけます。▶<https://www.isas.jaxa.jp/>