

「宇宙県」を目指す福井への期待と宇宙教育

福井県教育総合研究所
特別研究員 中須賀 真一

福井県との出会いは2012年だったと記憶しています。内閣府の最先端研究開発支援プログラムの支援による「ほどよしプロジェクト(2010年~2014年)」で超小型衛星の開発・利用の基盤を日本に作るようとしていた私は、福井県で何か農業等への利用ができないかと、ある企業さんと話を進めていました。その中で、福井県次世代農業研究会の要望により一度福井で超小型衛星の話をしてくれないかということになり、超小型衛星の技術と利用、そして将来性に関する講演を福井工大でやりました。それが一つのきっかけになったのではないかと思います。福井県で超小型衛星を作ろうという機運が上がり、知事もそれに賛同され、本格的な衛星開発に向けた県を挙げての活動が2015年秋に宇宙産業創出研究会としてスタートしました。2015年暮れから翌年1月初頭にかけて福井県の工業技術センターのメンバーや企業さんを対象にした人工衛星設計のいろはを集中講義し、さらに東京大学の進めるPROCYONなどの衛星開発にも研修として参加していただくべく、セーレンをはじめとする福井県企業、鯖江精機、春江電子、山田技研など数社から優秀な技術者が来てくれ、その電子回路や加工に関する優れた技術にずいぶん助けられました。

やがて、2016年には知事の公約をもとに「福井県民衛星」の開発が正式に始まり、我々はそれを技術面で側方支援すべく、世界最小のロケットSS-520-4号機に搭載する3UのCubeSat(10x10x30cmで約3kgサイズの衛星)の開発を福井県の企業と一緒にすることとなりました。TRICOM-1と名付けられたこの衛星は2017年1月15日に内之浦から打ち上げられました。残念ながらロケットの失敗で軌道に到達できませんでしたが、途中でロケットから分離された衛星は海に落下するまでの約300秒の間、地上局と送受信ができ、衛星の頑丈ぶりを示すことができました。その後、捲土重来を期してJAXAが開発したSS-520-5号機により、我々も再度開発したTRICOM-1R(図1)は翌2018年2月3日、内之浦から見事に宇宙に打ち上がり、8月22日までの約6か月半の間、軌道上で様々な実験に成功しました。福井県の企業さんが衛星開発に本格的に取り組んだ初の試みだったといえます。その後、3U衛星は福井県の企業の得意のサイズとなり、東京大学のリードのもと、ルワンダ初の衛星RWASAT-1、水推進系を試験する衛星AQT-Dの開発へとつながり、2019年11月、これら2機は宇宙ステーションから宇宙へ放出されました。ルワンダの学生は福井県も訪問し、地上試験にも参加したと聞いています。その次が、ガンダムとザクの8cm大のモデルを搭載し、地球背景にその写真を撮って地上に送るG-Satellite(ガンダム衛星ともいわれる)で、これは2020年3月ごろに宇宙ステーションに輸送され、放出後は2020東京オリパラを応援するために使われます。この中の非常に大事な「展開機構」などは福井県企業の自信作です。

そしていよいよ2020年には福井県民衛星が打ち上がり、本格的な宇宙利用の幕が切って落とされようとしています。この衛星は、東京大学・東京工業大学の衛星開発メンバーが中心となり、卒業後の2008年に立ち上げたアクセルスペース社が、福井県の企業等からなる福井県民衛星技術研究組合と組んで製造し、海外のロケットでの打ち上げを予定しています。アクセルスペースは、約90kgのGRUSと呼ばれる衛星を使って30~50機のコンステレーション(地球全体に多数の衛星を配置するやり方)を構成して世界中の陸地を1日一回観測することを目指しています。大型衛星一機だと、細かいものを見分ける



図1 3UのCubeSat
TRICOM-1R
(2018年打ち上げ成功)

空間分解能はあがりますが、同じ場所を10日～40日に一回しか観測できず、頻繁な観測という観点（時間分解能といいます）では問題があります。そこで、低コストで多数開発が可能な超小型衛星を多数打ち上げることで、頻繁な観測が可能となり、たとえば、田や畑の日々の変化がわかったり、災害時にはできるだけ早く被災地の情報を集めたりすることができます。最近では、工場や港に来る船やトラックの数を数えることで企業の経済状態を調べるというようなニーズも出てきており、その際には一日一回の観測が非常に大事となります。アクセルスペース社は2.5mの分解能の衛星をそのような用途に使おうと、データ利用まで含めた研究開発を進めており、福井県民衛星（図2）はその大事な一機として大きな貢献が期待されています。日本初の「県の衛星」により、どんな新しい衛星利用が開拓されるのか、私だけでなく多くの宇宙関係者が楽しみに見守っています。

さて、少し超小型衛星の話をしていきましょう。2003年東京大学と東京工業大学の開発した2機の10cm立方1kgサイズの衛星（1UのCubeSatといいます）が打ちあがり、超小型衛星時代の幕開けをもたらしました。通常の数100kgから数トンの衛星のコストが数百億円、開発も4～6年ほどかかるのに対し、コストは数千円から数億円、開発期間も1～2年未満の超小型衛星（100kg以下の衛星を総称する）は、「安い・早い」宇宙開発を可能とし、これまで宇宙に参加できなかった新しいプレーヤー（大学、県、新興国など）や新しい利用ニーズ・ビジネスを生んできました。繰り返しが何度でもできることから先進的なミッションにも挑戦しやすくなり、また繰り返しの中で技術の成長やプロジェクトマネージャー・技術者の育成のスピードも格段に上がります。このメリットに目を付けた多くのベンチャー会社は、宇宙科学、地球観測、気象観測、通信、工学実験、エンターテインメントなど様々な分野でビジネスを始め、またアメリカやESAなどの政府機関もそれを助長すべく、大きな資金の投資を進めています。中大型衛星のミッションがすべて超小型衛星でできるわけではありませんが、超小型衛星でもできるミッションは超小型でやろうという動きが世界中で進んできており、その証拠として、今後毎年500機を超える50kg以下衛星が打ち上げられると予測されています。先ほど述べた「多くの衛星をコンステレーションにして頻繁に観測する」という計画は、まさにこの「安い・早い」、そしてもう一つ付け加えると「軽いので同じロケットでたくさん打ち上げられる」という超小型衛星の強い特徴を生かしたものだといえます。

超小型衛星は中大型衛星に比べ、極めて部品の点数も少なくシンプルな設計であることが、「安い・早い」につながります。とはいえども、しっかりとした衛星全体のシステム設計と要素技術がないと機能しません。衛星やロケットなどの宇宙システムの特徴は「非修理系」、つまり、故障が起こっても修理に行けない点にあります。超小型衛星は、少ない部品数であり、電力やサイズのリソースも限られるからこそ、過酷な宇宙環境でどう生き続けさせるかのノウハウが強く求められます。たとえば、衛星内に複数のコンピュータを置いて、それらが相互に監視し、相手がハングアップ（動かなくなる現象）したり、おかしいデータを出し始めたりしたら、その電源を切ってまた立ち上げるという「相互監視によるリセット」の仕組みをとったりします。このような工夫は、我々も2003年の1kg衛星からずっと使ってきており、おかげでこの最初の衛星は16年を超えて正常に動いています。皆さんもPCを使っているときに動作がおかしくなったら強制的に電源を切りますよね。それを衛星上でもやるというわけです。これは従来の中大型衛星では動作を継続しないといけないという縛りがあるために実施できない方法でしたが、多少の断続があってもよいと割り切れれば導入できる方策で、超小型衛星ならではの方法と言えます。また、衛星が故障しても何らかの情報が必ず地上に降りてくるのが大事で、そうしないと何が起きたのかもわからず、対策もとれないし、次のプロジェクトへのフィードバックもできません。そのため、衛星にビーコン送信とパケット送信という二つの地上への送信のルートを持たせ、通常は衛星の位置情報やごく少数の重要データの送信にビーコンを使い、それ以

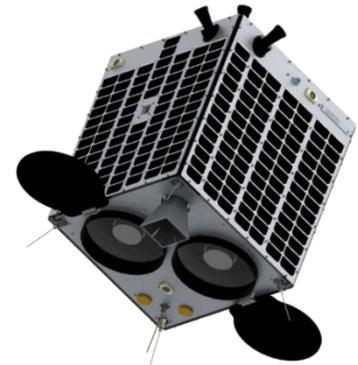


図2 福井県民衛星
(2020年打ち上げ予定)

外の大量のデータはパケット送信でやるという役割分担をしていますが、いざというときにはビーコン送信はできて、最低限の情報は地上で把握できる、というような仕組み（機能冗長といいます）を用意しておく方法をとってきました。

もう一つ衛星で難しいのは、データ処理系、電源系、通信系、姿勢制御系、ミッション系、熱・構造系、などさまざまな分野が寄り集まって衛星となっているので、それらの技術や技術者をうまく統合・管理していかないといけない、という点です。このような作業を「システムインテグレーション」といいますが、たとえば、ミッション系が高精度で衛星の姿勢をある方向に向けないといけないというと、姿勢制御系が高い機能を目指すこととなり、データ処理系は計算負荷が増大、電力もたくさん必要になって電源系への要求も高くなります。しかし、衛星トータルの予算や打ち上げのロケットから、そんなに大きな太陽電池パドルを載せられない、また衛星サイズから CPU の数にも制限がかかる、というようなことがよく起こり、その場合には姿勢の精度も多少あきらめないと衛星は実現できません。このように、系ごとにばらばらに設計することはできず、全体のバランスを考え、系の間で齟齬がない設計をしていかないといけないのです。この作業を「システム設計」といいます。また、衛星開発は超小型衛星といえども 1~2 年の長期にわたり、系ごとにチームができるので、各系の開発メンバーの統制をとって衛星の完成に向けて同じ目標に向かって進ませる「プロジェクトマネジメント」が非常に重要となります。これらは、多数の系からなり、開発人数も極めて多数になりがちな宇宙開発特有の要件だといえます。

そのような衛星の開発は、たとえば電子回路や構造系の設計・制作ができるだけではだめで、そのような要素技術が確実に要求通りに設計・製造できると同時に、異なる系を統合するシステム設計とプロジェクトマネジメントが必要となるのです。宇宙開発特有の教育はそれを教えることにあり、それは実践の中でやるのが最も効果的です。福井県の企業の皆さんには先に述べた衛星設計のいろはの集中講義の際にもお話をしましたが、その後の東京大学の衛星開発に参加していただく中で実践的に学んでいただけたと思っています。実際の衛星開発ほど重要な教育ツールはなく、また衛星も開発するだけではだめで、打ち上げた後「あの設計がどうなったのか」を見届けるまでやることで、本当に力がつきます。さらに言えば、それを繰り返して、一度目の失敗を 2 度目の衛星の設計に反映するというサイクルを短期に回すことで、一気に技術力はアップするのです。東京大学でも 2003 年の CubeSat 以降、11 機の衛星開発の中で、そのような実践の繰り返しによる教育を進めてきており、卒業生は大いに社会で活躍してくれています。

もう一つ優れた教材のことをお話しましょう。東京大学では、1999 年から CanSat（缶サット）というジュース缶サイズの超小型衛星モデルを学生に作らせて、それを気球やロケットで高空にあげて放出し、パラシュートで落下する際にさまざまな実験を行う教育をやってきました（図 3）。

ジュース缶サイズといえども、それはミニ衛星であり、小さいサイズで如何にミッションを達成するかシステムのいい勉強になります。また小さいサイズでも現場で実験しますので、「絶対成功したい」というモチベーションも高まります。さらには衛星のようにメンバーをいくつかの系にわけて開発することになるので、プロジェクトマネジメントの鍛錬の場にもなります。CanSat は宇宙開発で必要な様々な素養の訓練をぎゅっと圧縮した優れた教材なのです。



図 3 東京大学作 CanSat (2000 年)

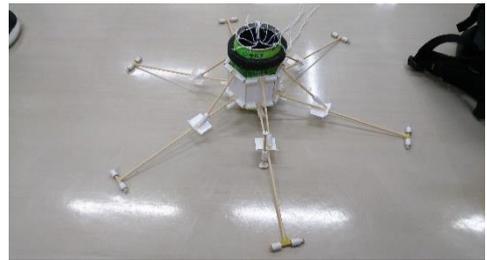
私は 2017 年から福井県の教育総合研究所と共同で、中高生に向けた CanSat のモノづくり教育をしてきました。私が衛星と CanSat の基本的な講義をしたあと、チームに分かれて、あるミッションを持った CanSat を作ってもらい、

それを気球で 50～100m ほどにあげて落下させ、そのミッションの優劣を競うコンペティション形式をとっています (図 4)。たとえば、「50m から落下して地面に到着するまでの時間のある秒数に近づける」とか、「着陸するときに直立する」や「途中で CanSat が二つに分離して、できるだけ離れた地点に着陸する」というような「お題」を与えるのです。電子工作までは必要ではなく、生徒さんは、チームの中で議論しながら、自分たちで作れる CanSat の中でどう工夫すればそれを実現できるかを真剣に考え、2 日ほどかけて開発します。思いもしなかったようなユニークなアイデアで勝負したチーム、素晴らしい工作技術でミッションを実現したチームもあり (図 5)、我々もとても楽しめました。大事なことは、「どうやればいいのか」をほんとに真剣に考えることで、そしてその真剣に考えるモチベーションを与えるのは「楽しい」そして「絶対勝ちたい」という強い思いです。CanSat をコンペティション形式で教育することは、そのモチベーションを与える意味で、とてもよいツールだと考えています。

福井県民衛星、いよいよです。でも、衛星が打ち上がるだけではもったいないと思います。日本全体の宇宙開発からの視点では、衛星利用の面でも福井が先導して引っ張ってくれることを期待したいです。そして、教育の視点では、それを契機に福井の子供たちが、「日本初の県衛星の打ち上げ県なんだ」という自覚と喜びを感じ、CanSat などを通して、「自分も宇宙開発を進める一員になりたい」と強く思ってくれることを期待して、筆をおきたいと思います。



**図 4 CanSat の気球実験様子
(2017 年 7 月)**



**図 5 落下後地面で直立した
生徒製作の CanSat
(2017 年 7 月)**