

超小型衛星による新しい宇宙開発利用の展開

中須賀 真一*

* 東京大学 大学院工学系研究科 東京都文京区本郷 7-3-1
* Graduate School of Engineering, University of Tokyo, Hongo 7-3-1,
Bunkyo-ku, Tokyo, Japan
* E-mail: nakasuka@space.t.u-tokyo.ac.jp

キーワード：超小型衛星 (micro/nano-satellites), 宇宙利用 (space utilization), 宇宙環境 (space environment), ミッション系技術 (mission technologies).
JL 0005/12/5105-0427 ©2012 SICE

1. 日本における超小型衛星の登場

近年、従来の数トン級衛星ではなく、100 kg~500 kg の「小型衛星」が世界各国の地図作成、安全保障、防災、都市計画、自然環境・気象観測、農産物の生産管理、科学調査等のさまざまな分野に利用され、また、大学・研究機関・企業等の宇宙利用のニーズが高まってきた。衛星小型化の技術競争の中で、日本は、100 kg 台の衛星開発では世界に遅れをとったが、次世代の宇宙利用を担う超低コスト・短期開発の 50 kg 程度以下の超小型衛星では、諸大学・高専が 2002 年ごろより 16 機の打ち上げ成功の実績を有し、重量や電力の制約の大きい超小型衛星で、超低コスト・短期開発とそこそこの性能・信頼性を両立したことは宇宙業界に大きな反響をもたらした。超小型衛星はもちろん中型・大型衛星と同レベルの機能は持ちえないが、超低コスト・短期開発のメリット生かした多数機のコンステレーション運用により同一地点の頻繁な観測を実施できたり、個人や企業・研究機関などによるパーソナルユースの衛星が可能になったりすることにより、従来にない新しい衛星利用法や利用者の登場が期待される。コストは安くても数がでることにより、宇宙の産業化・商業化につながるとの期待もある。

千葉工業大学による 2002 年の鯨観測衛星の打ち上げ、東京大学、東京工業大学が 2003 年に打ち上げに成功した「CubeSat」と呼ばれる世界最小の 10 cm 立方、1 kg の衛星 XI-IV および CUTE-1 を皮切りに、東京大学、東京工業大学がそれぞれ 3 機、北海道工業大学、日本大学、東北大学、香川大学、都立産業高専、創価大学、鹿児島大学、早稲田大学等がそれぞれ 1 機の衛星の開発・打ち上げに成功し、現在でも 15 を越える大学・高専での衛星作りが進んでいる。中でも東京工業大学の CUTE-1.7+APD (2006 年打ち上げ) では、低エネルギーのガンマ線バーストの分布を観測するなど宇宙科学への応用面でも目覚ましい成果をあげ、また、東京大学の PRISM では 8.5 kg の衛星では世界最高レベルの 30 m の地上分解能の画像取得に成功し、超小型衛星の地球観測分野への実利用に道を切り開いた。また、東京大学が現在開発中の位置天文衛星 Nano-JASMINE は、姿勢安定度 1 秒角という大型衛星並みの姿勢制御能力により、位置天文分野で世界のトップサイエンスを目指すなど、50 kg 以下の衛星では日本が質・量ともに世界のトップを

競っている。

2010 年には著者は内閣府の最先端研究開発支援プログラムからの研究資金を得て、大学および中小企業の連携によりオールジャパン体制での超小型衛星の研究・開発・利用コミュニティを構築する活動をスタートさせている。

本特集号では、この超小型衛星にターゲットを絞り、そこで利用される各種の技術・利用法、特にセンシングの技術を取り上げる。従来の中・大型衛星とは異なり、超小型衛星の持つサイズ・重量・電力の制限の中で、如何に有効なセンシングができるかが重要な研究課題である。また一方で、超小型衛星のメリットである「小型・超低コスト」を利用して将来多数機の打ち上げが容易になることを想定した新しい利用法・ミッションを創生することが、超小型衛星の特殊性を生かすために必要であろう。

まず本総論では、一つの例として、筆者の所属する東京大学での超小型衛星開発の歴史と、その中で筆者が感じた超小型衛星の特徴と有望な利用法のアイデアについて概観し、最後に実利用への展望を述べたい。

2. 東京大学の超小型衛星開発の歴史

2.1 初めての軌道上衛星：CubeSat “XI” シリーズ

CubeSat は、スタンフォード大学の Twiggs 教授より提案された 10 cm 立方、1 kg 以下の標準サイズの超小型衛星プロジェクトである。学生が衛星開発のすべてのプロセスを経験し、さらに打ち上げて実際の現場 (=宇宙) での挙動を知ることにより、実践的な宇宙工学教育を施すことができ、また、プロジェクトマネジメントの面でもきわめて有効な教育手段として注目されている。また、1.5~2 年という極めて短期・低コストで開発できることから、新規技術の迅速な宇宙実証、宇宙ビジネスの舞台として、新しい宇宙開発を切り拓く可能性も有望視されている。現在、世界で 100 以上の大学、宇宙機関が独自のプロジェクトを進めているが、東京大学・東京工業大学はいち早く完成させ、2003 年 6 月の打ち上げは、世界で最も早い打ち上げとなった。

東京大学が最初に打ち上げた CubeSat は XI-IV (X-factor Investigator 4, 「サイ・フォー」と読む。図 1) と呼ばれ、上記のような宇宙工学教育と超小型衛星バス技術の軌道上実証を大きな目的としている¹⁾。特に太陽電池以外はすべて民生品を使用しており、その軌道上での動作を

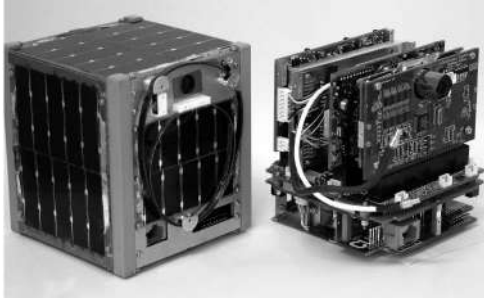


図1 XI-IV 外観と内部

確認し、今後の超小型衛星開発への土台を作ることが重要な要件である。また、東京大学では、超小型衛星のなしうる効果的なミッションとしてリモートセンシングを考えており、その第一歩として、小型 CMOS カメラによる地球の撮像とダウンリンクもアドバンスミッションとして搭載した。

XI-IV のサイズ・重量は公表された衛星の中では世界最小である。通信に使用するのはアマチュア無線周波数帯である。モールスピーコンを 430 MHz 帯で送信するほか、テレメトリダウンリンクを 430 MHz 帯、コマンドアップリンクを 144 MHz 帯で行う。ビーコン及びダウンリンクのフォーマットは、公開して全世界のアマチュア無線家の皆さんに受信の協力をしていただいている。太陽電池は宇宙仕様の効率 16% の単結晶シリコンを使っている。姿勢制御は、当初は能動制御も検討したが、10 cm 立方の衛星に制御系を搭載することは現段階では困難であると判断し、永久磁石を搭載してそれが地磁気の方角を向くことを狙った受動制御とした。そのため、太陽電池も翼にはせず、ボディーマウントにした。これらの判断には、これまでの 50 kg 以下の小型衛星の世界では、三軸制御+太陽電池パドル方式の衛星は三軸制御系の不調で十分な太陽発電ができず失敗に終わることが多かったという他国の経験も反映している。

ミッションは (1) 宇宙工学教育、(2) 民生品ベースの超小型衛星バスの軌道上実証、(3) アマチュア周波数帯を使った通信実験、がプライマリであり、さらにアドバンスミッションとして、(4) CMOS カメラを用いた地球画像の撮像とダウンリンク、を掲げた。ミッション期間として当初は 2 週間あれば、実験が完了するように計画した。

上記 (2) に関しては、以下の技術が主たる実証項目である。

- 低コスト、低電力の民生 CPU (8 bit PIC) を用いた OBC
- EEPROM を用いたオンボード記憶装置とその放射線耐性
- 相互過電流監視回路による SEL/SEU 防御回路
- 超小型アマチュア無線帯受信機およびビーコン送信機
- リチウムイオン電池および充電回路
- 15000 ピクセル 16 ビットカラー CMOS カメラおよび

オンボード画像評価機能

- 釣り糸によるアンテナおよび分離機構のローンチロックとニクロム線による切断機構
- POD 方式の CubeSat 用分離機構
- 民生品主体の地上局設備の設置・運用

放射線耐性に関しては、ミッション期間が短いことからトータルドーズ（長期にわたる放射線被ばくの影響により半導体等が劣化する現象）の効果はほとんど影響なしと判断し、SEL（シングルイベントラッチアップ：放射線により半導体にショート電流が流れる現象）および SEU（シングルイベントアップセット：1 と 0 が反転する現象）だけの耐性をつけることを検討した。具体的には、電源系を 3 系統とし、それぞれが異なる CPU（メイン CPU、送信機制御 CPU、受信機制御 CPU）に給電するようにし、どの系統が故障しても最低の情報がダウンリンクされるように工夫するとともに、3 系統がそれぞれに他の系統の電流を監視し、過電流を検知するとリセットをかける相互監視機能を実装した。

送受信機は今回のために 1200 bps のものを民間のメーカーと共同開発した。帯域がアマチュア帯なので市販のアマチュア無線用地上局装置がすべて利用でき、また、衛星軌道推定やダウンリンクデータの取得などで多くのアマチュア無線家の協力を仰げることは大きなメリットである。リチウムイオン電池は、当時まだ宇宙実証されていないものであるが、真空試験・温度試験などを通して問題がないことを確認し、メーカーの承認も得てあえて使用した。CMOS カメラは本来 640 × 480 ピクセルのものであるが、オンボードでの画像記憶とダウンリンクの通信容量を考慮し、間引いて使用することとした。釣り糸によるローンチロックとニクロム線による切断システムは小型衛星の分野ではよく利用されており、簡便で衝撃もなく比較的信頼度も高い。分離機構は、BOX タイプの分離機構 T-POD の中に CubeSat を挿入し、ロケットからの信号が来たら、しばらく待った後、ニクロム線で釣り糸を焼き切る方式でバネヒンジ接続の蓋を開け、バネで CubeSat を押し出すタイプのものである。

XI-IV は 2003 年 6 月 30 日にロシアの ROCKOT で打ち上げ成功し、2011 年現在も 8 年を越えて軌道上で正常に動作し続け、この間、図 2 のような地球画像を 200 枚以上

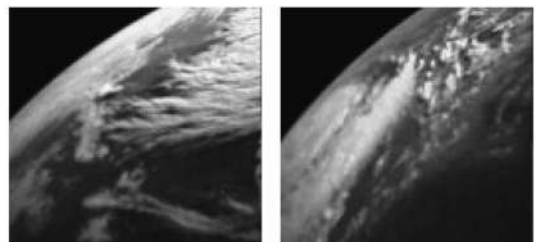


図2 XI-IV の撮った地球写真

地上にダウンリンクしてきている。

東大 CubeSat の 2 号機は XI-V (サイ・ファイブ) と呼ばれ、2005 年にロシアのロケット COSMOS で打ち上げられたが、この衛星には当時 JAXA が開発した放射線に強い新しい太陽電池を搭載し、軌道上で実験・実証している。新しく開発された技術を迅速に実証するのに、頻繁に打ちあがる超小型衛星を利用することは、「技術を旬なうちに軌道上で実証する」上で非常に効果的なのである。この太陽電池の軌道上実験はきわめてうまくいっており、「放射線で劣化しない」という長期の有用な軌道上データが蓄積されている。

2.2 実用にむけた挑戦：PRISM

こうした Cubesat 開発にて得られた知見を基に、東京大学では 2002 年により高度なリモートセンシング機能を有する超小型衛星の開発プロジェクトに着手した。“Pico-satellite for Remote-sensing and Innovative Space Missions” の頭文字から「PRISM」と名づけられたこのプロジェクトでは、より実用的な衛星を目指してリモートセンシングをメインミッションとし、大学で開発可能なサイズで、どこまで高い地上分解能を実現できるかに挑戦した。そこで、本衛星では、大型衛星が利用する反射光学系ではなく、「柔軟部材を用いた軽量・コンパクトな屈折式光学系」を目指した。また、取得画像の目標地表分解能は概念検討の結果 30m と設定された (図 3)。

前述のメインミッション達成のためには高性能な光学系のみならず多くの新規要素が必要となった。このため、PRISM は XI シリーズに比べ多くの点で高機能化が図られている。

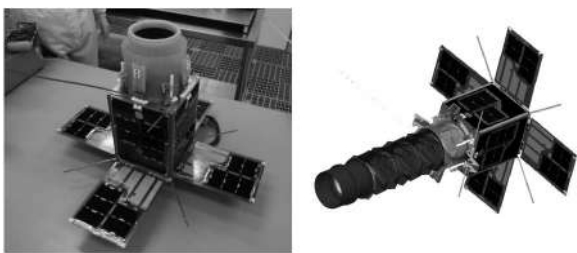


図 3 PRISM のフライトモデルと軌道上想像図

表 1 PRISM 仕様表

項目	諸元値	備考
サイズ	192*192*400 [mm ³]	ブーム展開前
質量	8.5 [kg]	
軌道	太陽同期軌道 軌道高度 660 [km]	H-IIA (GOSAT 相乗り)
消費電力	平均 3.5 [W]	GaAs セル利用
下り回線 周波数	CWE, AFSK, GMSK 437 [MHz] 帯	最大 9.6 kbps のダウンリンク
搭載姿勢 制御機器	磁気センサ (3 軸) ジャイロセンサ (3 軸) サンセンサ (5 個) 磁気トルカ (3 軸)	初の能動的 姿勢制御実験 (B-dot 則など 利用)
搭載 CPU	SH7145F H8-3048*2 PIC16F877*2	情報バスは CAN-BUS および シリアル接続

この一例として、磁気トルカやサンセンサを用いた高精度姿勢制御や高い通信容量を実現する GMSK 変調方式送信機の搭載、CAN バスラインで接続された複数の CPU によるマルチプロセッサ構造などが挙げられる。表 1 に PRISM の仕様をまとめる。

PRISM では屈折式直接焦点撮影方式が採用されているが、その理由は、この屈折式直接焦点撮影方式が、反射撮影方式や間接焦点撮影方式と比べて構造許容差が大きく、光学システムを専門としない研究室や工場での設計、製作および撮影試験が比較的容易であるためである。またレンズ位置を正確に制御しさえすればさまざまな収差も抑えられるとの判断もあった。

一方で、屈折方式の光学系において高分解能を達成するには、焦点距離の増大が必要となるが、10 kg 級の衛星にとって、十分な焦点距離を予め確保できるような大型の光学ベンチを搭載することは困難である。こうした背景から、伸展ブーム構造の望遠鏡による光学系が開発された²⁾。柔軟構造のブームで構成された望遠鏡を用いた光学系は過去に前例がなく、そのフェジビリティを軌道上で確かめることも、本衛星の重要なミッションの一つである。

PRISM は 2 種類のカメラを搭載しており、この伸展ブーム望遠鏡は NAC (Narrow Angle Camera) と呼ばれる望遠カメラでの撮像に用いられる。また、伸展ブームの挙動解析や望遠カメラの調整を目的とした WAC (Wide Angle Camera) と呼ばれる広角カメラが 3 基、ブームの脇に搭載されている。NAC には自動フォーカス機構も搭載されており、受光素子の位置の軌道上調整に利用される。

伸展ブーム (図 4) は弾性域のきわめて広い超弾性素材を螺旋状に配置したものに 5 枚のバッフル板をレンズと並行に配置し、収納状態からねじれながら展開する構造を構成した。また迷光を防ぐために遮光幕を折り紙状にして周りに配置し、回転しながら伸展する際に展開の妨げにならないように接合している。この伸展構造は、CAD で設計して数値解析により伸展の再現性を確認したのち、2 度にわたる無重量飛行 (ジェット機による) を実施して、(1) 伸展長の再現性の確認、(2) 伸展後の振動の減衰状況の確認、(3) 伸展時の衛星本体に与える衝撃力の確認、等を行って設計を固めた。

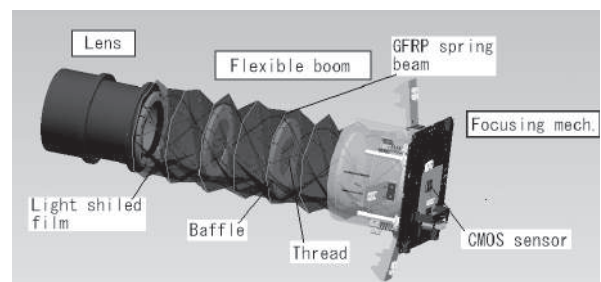


図 4 伸展式・屈折光学系の概要

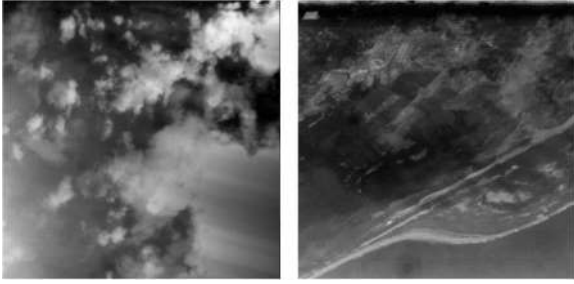


図5 PRISM 取得画像（雲と地上）

2009年1月、JAXAのH-IIAのピギーバック（GOSATの相乗り）で軌道以上に打ち上げられ、その後、順調に姿勢制御による回転運動の除去、伸展ブームの展開、光学系パラメータのチューニングを実施し、4月には図5のような雲や地上のリモートセンシング画像の取得に成功している。現在も引き続き光学系のチューニングと姿勢制御実験を継続している。

2.3 本格的宇宙科学を目指す：Nano-JASMINE

研究室の4機目の衛星 Nano-JASMINE は、国立天文台、京都大学、信州大学との共同開発による天文観測衛星である。1980年代に500億円以上をかけて欧州が作った1.4トン衛星ヒッパルカスとほぼ同じ機能を、約33kg、コストも数百分の1の衛星で実現しようという大きなチャレンジである。8等星程度までの約20万個の星の三次元の正確な地図を作り、星の固有運動を調べることが目的の「位置天文」というサイエンス分野の衛星であり、特に暗い星を長い露光時間で撮像するために、非常に高い姿勢安定度が必要で、また光学望遠鏡（ミッション系）の温度歪を防ぐためにきわめて高い温度安定度も必要であった。4年にわたる開発の中でさまざまな技術課題を解決し、2011年現在、ほぼフライトモデル（図6）が完成し、2013年、ウクライナのロケット、「サイクロン4」によるブラジルでの打ち上げを予定している。詳しくは同特集号の別論文を参照されたい。

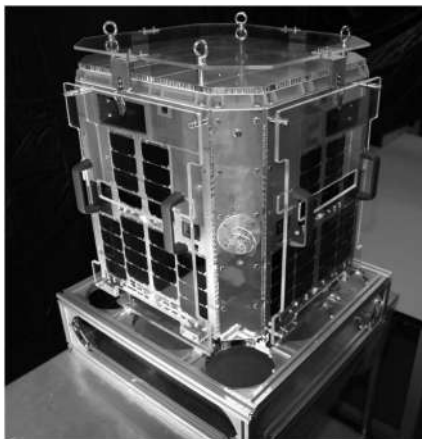


図6 完成した Nano-JASMINE の FM

3. 「ほどよし」超小型衛星プロジェクト

2010年には著者は内閣府の最先端研究開発支援プログラムからの研究資金を得て、「日本発の『ほどよし信頼性工学』を導入した超小型衛星による新しい宇宙開発・利用パラダイムの構築」というテーマでの超小型衛星の研究・開発・利用コミュニティを構築する活動をスタートさせた。ここでは、①超小型衛星に適合した信頼性の概念を「ほどよし信頼性工学」という名前で理論体系化する、②各種要素技術を世界トップレベルで開発し国内に超小型衛星用機器のプールを作る、③超小型衛星用試験方法をはじめ開発プロセスを刷新して短工期を目指す、④以上を統合して実施するため、オールジャパンの大学・中小企業を巻き込んだ組織作りを実施する、という4つの目標を掲げている。

4年と1ヵ月の期間の中で、上記の各テーマでの研究開発を進めるとともに、それを実証する場と利用を開拓する呼び水として5機の超小型衛星の開発・打ち上げをする予定である。図7はそのうちの1号機概念図で、7m分解能（GSD）、RGB+NIRの4バンドのリモートセンシング衛星としてその取得データを公開し、リモセンデータの利用実験を自由に企業や大学にさせていただこうという計画である。この最先端プログラムに興味をもたれる方が、利用面や、あるいは特殊な衛星技術面で参画されんことを期待している。

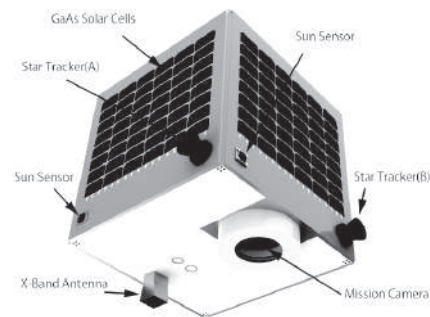


図7 ほどよし1号の概念図

4. 超小型衛星の特徴と意義

4.1 教育的意義

超小型衛星は宇宙工学教育に画期的な機会を提供してきている。1年程度の短期間で宇宙プロジェクトの1サイクル、つまり、アイデアの創出から衛星の基本アイデアの検討、設計、製作、地上試験、その成果のフィードバック、打ち上げ、運用、結果解析のすべてを経験させることで、たとえば、それぞれの段階で何に気をつけないといけないか、を体感させることができる。いいかげんな設計や製作、試験は必ずあとになってしっぺがえしが来るのである。また、工学においては、実際に設計し製作したものが、現実の環境の中でどのように動作するかを確認し、その結果を考察

して初めて教育が完了する。紙の上の設計を教員が採点するだけでは、学生も納得しないし、本当の意味での「評価」にはならない。現実からの厳しいフィードバックこそが最高の先生である。設計図の上では、常に物は「動くはず」である。しかし、世の中はそう甘くない。その厳しさを知ってつぎに反映することが大事である。失敗するともものすごく悔しい、だから「今度は絶対失敗しないぞ」、という思いが学生を成長させ、技術を発展させるのである。失敗は小さなプロジェクトのうちたくさん経験しておくべきであろう。何百億円もかかる大きなプロジェクトでは失敗はできないため、そのような勉強の機会是与えられるべくもない。

もう一つ大事な教育は、宇宙開発にとってきわめて重要な資質であるプロジェクトマネジメントやチームワークの素養の実践的な鍛錬である。学生は試行錯誤しながら、お金・人・時間の管理の仕方、効果的なミーティングの仕方、ドキュメントの残し方・利用の仕方を学んでいく。講義で「こうやるべきだ」と教えるだけでは身につかない。実践が何よりも大事である。プロジェクト進行を通して、そのような能力が明らかに高くなっていくのが目に見えるのである。

以上のように、超小型衛星が教育的に大きな意義を持つ理由をまとめると以下の4点になると思われる。超小型衛星プロジェクトにおいては、これらのすぐれた点を消さない、あるいは助長するような計画・開発方式が望ましい。

(1) 「本物」であること

小さくて機能は低くてもきちんとした「衛星」であり、宇宙にまで打ち上げられるという点が重要である。それが以下のような効果を生む。

- 宇宙に行くという意識が強いモチベーションを生む。
- 宇宙環境という「現場」は中・大型衛星と変わらない。

(2) 短期開発であること

- 「開発期間が2~3年」は学生が卒業するまでに全プロセスを経験できる。
- 「繰り返し開発」が容易になり、いきなり高いレベルを目指さずステップアップすることが可能になる。

(3) 適度なサイズと複雑度、コストであること

- 大学のラボで開発・試験できるサイズである。
- 超小型はサイズだけでなく複雑度も「超小型」である。
- 大学でもまかなえる予算規模である。

(4) 「顧客」「ユーザー」も自分自身であること

- ミッション設定の自由度があり、自身の研究分野（工学・理学など）の実証ができる。
- 目標レベル、信頼度レベルも自身で設定できるので、身のほどにあった衛星を目指す。

4.2 新しい技術・宇宙ビジネスの芽を培う土壌

アメリカ・ヨーロッパなどにおいては、国家が主体となって技術開発の舵取りを行い、国立研究所、大手メーカーに

研究委託をするような、いわゆる「トップダウン型」の技術開発と、大学、ベンチャー企業が、独自のアイデアをもとに試行錯誤的に新しい技術を研究開発し、それを大学を中心とした低コストで教育目的の小型衛星上で「気軽に」宇宙実証していくという、「ボトムアップ型」の技術開発が1980年代よりバランスよく行われ、宇宙開発の活力を生んできた。国側も、後者の有効性をしっかりと意識しており、後者の方式でたくさんの技術シーズが自由に生まれてくることを妨げず助長し、国はその中に、国としての宇宙開発のシナリオ、あるいは技術開発のロードマップに適合するものがないかを目を光らせていて、良いアイデアがあるとそれに多額の援助（Grant）を行って一気に開発に持っていく。このような政策を何年もとってきた結果、優れたアイデアと技術を持った大学、ベンチャーは成長し、宇宙開発の一翼をしっかりと担うまでに成長してきている。

小型高機能技術においては、特に、その基礎研究段階においては、アイデアの創出と試行錯誤がきわめて重要で、国家主導によるトップダウン的研究よりは、大学・ベンチャーの多くの頭脳による「多数のアイデアの創出+自然淘汰」的な研究開発スタイルが適していると思われる。そのような種をまくために、欧米では大学・ベンチャーへの研究資金援助を広くコンスタントに行ってきた。重要なのは、宇宙関連の学科・企業だけでなく、非常に広い分野にわたってプロポーザルを集め資金援助を行っていることであり、それが宇宙開発技術の底辺を広げ、新しい技術の目が出る可能性を広げている。日本でもH-IIAによる相乗り打ち上げ制度がスタートしたが、アメリカでは、すでに1990年代からはるかに多くの機会が大学やベンチャーに提供され、それが活力を生んできている。

小型衛星の開発においても、特に大学は、その自由な発想とフットワークの軽さ、多分野のコラボレーションがやりやすい、多くの労働力とアイデアを利用しやすい、という特徴を利用して、独自性を出している。大学においては、衛星の開発は教育の一環という位置付けであり、必ず成功してミッションを実行するものを作るというよりは、ミッションアイデアの創出、設計、製作、試験、運用のフェーズを学生に経験させることが目的であるため、失敗に対する許容度が大きい。その結果、通常の衛星ではリスクであるような先進的な技術を試すこと、民生品を使って安価に、かつ部分的には（コンピュータなどは）高機能のものを作って試すこと、非常に短期間に（1~2年）設計から打ち上げまで行うプロセスの実験、などが可能となり、宇宙開発の中で特色のある貢献を行っている。

たとえば、これらは小型高機能の部品やサブシステムの迅速・安価で「気軽」なテストベンチを提供しており、大手メーカーや国研などは、研究開発中の先進的な機器を、通常のお金のかかる衛星に搭載して試験する（この場合は失敗はあまり許されない）前に、そのような衛星にのせて

プレ試験を実施することが多い。例として、スタンフォード大学で製作し、2000年に打ち上げられたOPALという衛星から放出された超小型衛星（PICOSATと呼ばれる）では、DARPAのMEMSを利用した機器の試験も行われた。大学と大手メーカー・国研は、大学がそのような衛星テストベンチを提供する代わりに、大手メーカー・国研が打ち上げ機会や部品を提供するというような、きわめて効果的なgive-and-take関係を実現していることも宇宙開発の活性化につながっている。

超小型衛星は宇宙の事業化・ビジネスの世界においても試行錯誤の格好の題材となるであろう。従来の衛星が数100億円のプロジェクト費と5年を超える開発期間が必要である状況では、宇宙で何かをやりようとするほとんどの個人・研究機関・企業・地方自治体は手が出せずに、「宇宙の実利用は夢」のイメージのまま終わる。しかし、超小型衛星による宇宙利用の開拓により、1プロジェクトが数億円以下、開発期間も2年未満となれば、宇宙で新しいこと（ビジネス等）を試してみよう、と考える個人・企業が出てくるのが期待される。最初のステップが小さくとも、そこで成功経験が得られれば、つぎにはもっと大きなプロジェクトに投資してみようとするようになるだろう。要は、最初の一歩の「しきい」をどれだけ下げられるかが、宇宙利用が広がるかどうかの鍵であると考えられる。先に述べた「ほどよしプロジェクト」では「宇宙で何かをやりようとする人の数を100倍にしよう」を合言葉に、宇宙以外の分野の企業や研究者・県の関係者との交流を進め、新しい宇宙利用に向けての検討を開始し、良い感触を得てきている。

5. 最後に：超小型衛星の将来への期待

超小型衛星はその低コスト性、短期開発性により、すでに大学をはじめとして多くの新しい開発のプレーヤーを生んできた。しかし、開発者ばかりでは衛星の利用は広がらない。今後重要なことは、超小型衛星の利用側のコミュニティを醸成し、彼らのアイデアで新しい衛星のミッションが生まれ、それを実現するためのセンサー等のアイデアが多数提案され、多くの試行錯誤を経て自然淘汰の中で真に役に立つミッションが生まれてくることである。

たとえば一例として、衛星を使った地震予知を考えてみよう。地震の直前に地面から発生する電磁波により電離層が乱れ、それを検知することで、地震予知につながれないかという研究は以前より行われ、アメリカのQUAKESATやフランスのDemeterなどの衛星が打ち上げられた。地震と観測結果の変化の相関を示すデータは得られたと聞かすが、「これが観測されたら高い確率で地震だと言える」という絶対的な関係はまだ見つかっていない。今後大事なことは、さまざまなセンサーを衛星上に搭載して地震と観測結果の相関関係を調べ、単独ではなく複数のセンサーの観測

結果の統合により確度の高い地震予知ができることを目指すことであろう。そのためには、多くの衛星上での観測実験が必要で、低コストで短期開発の超小型衛星は、その用途には非常に適したものであるといえる。

以上は一例であるが、これはたとえば、可視画像による地球観測にも適用される。さまざまな波長で観測した結果を、地上での実際の状況（Ground Truth）と相関を取ることを、もっと多くの波長で試行錯誤的に実施し、最終的にどの波長での観測結果をどう組み合わせれば、地上の特定の状況を見つけられるか、それを見出す研究をより加速する必要がある。日本では、宇宙研・大学を中心とした宇宙科学のコミュニティ（ここでは徹底した研究と議論の成果をもとに衛星計画・観測機器計画が立てられるので、衛星のセンサーの観測結果は確実に宇宙科学に貢献する）以外には、利用側の研究体制が弱く、衛星を打ち上げた後、「さあ使ってください」と潜在利用者に衛星データを提示することが多いように思われる。それでは遅いのである。どんなセンサーを搭載すれば何がわかるか、それを事前に徹底的に研究し、その成果としてのセンサーを搭載するという流れを、すべての宇宙利用分野で構築する必要がある。超小型衛星のコミュニティで、利用コミュニティとの共同実験を実施してその先鞭をつけると同時に、国も、この重要性を認識して、施策に反映していただけることを期待したい。

(2011年12月17日受付)

参考文献

- 1) 中須賀真一, 酒匂信匡, 津田雄一, 永島隆, 船瀬龍, 中村友哉, 永井将貴: 東京大学 CubeSat-XI の軌道上実証成果と超小型衛星による低コスト化・短期開発化の試み, 電子情報通信学会和文論文集 B, **J88-B-1**, p.41 (2005)
- 2) Y. Sato, S. Nakasuka, et al.: Extensible Flexible Optical System for Nano-scale Remote Sensing Satellite “PRISM”, SPACE TECHNOLOGY JAPAN, 7-ists26, Tm13 (2009)
- 3) S. Nakasuka: Evolution from Education to Practical Use in University of Tokyo’s Nano-satellite Activities, Acta Astronautica, **66-7**, 1099/1105 (2010)

[著者紹介]

なかも 中須賀 真一 君 (正会員)



1988年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了, 工学博士。88年日本アイ・ビー・エム東京基礎研究所入社。90年より東京大学講師, 助教授, アメリカ・メリーランド大学およびスタンフォード大学客員研究員を経て2004年より航空宇宙工学専攻教授。超小型人工衛星の設計・製作・運用, 宇宙システムの知能化・自律化, 革新的宇宙システム, 宇宙機の航法誘導制御等に関する研究・教育に従事。日本航空宇宙学会, IAA 等会員。日本学術会議連携会員。著書に宇宙ステーション入門, 宇宙戦略論など。