科学の峰々 79

東京大学大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻 教授

中須賀（なかすか） 真一（しんいち） 先生 に聞く

“超小型衛星”の研究とこれからの宇宙開発&宇宙利用 下

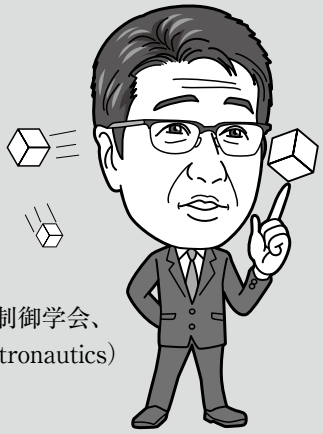
聞き手：南　明則　日本科学機器協会　広報委員
夏目知佳子　同　広報委員
藏満　邦弘　同　編集長
岡田　康弘　同　事務局長
（取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ㈱　安井久雄）

取材日：2014年5月19日
東京大学工学部7号館会議室

中須賀 真一先生のプロフィール

1961年　大阪府に生まれる
1983年　東京大学工学部航空学科卒業
1988年　東京大学大学院博士課程修了、工学博士（航空学専攻）
1988年　日本アイ・ビー・エム（株）東京基礎研究所入社
1990年　東京大学工学部航空学科 講師
1993年　東京大学大学院工学系研究科　助教授
1994年　東京大学先端科学技術研究センター 助教授
1996～1997年　アメリカ・メリーランド大学コンピュータサイエンス学科客員研究員
1998年　東京大学航空宇宙工学専攻 助教授
1999年　アメリカ・スタンフォード大学航空宇宙工学科客員研究員
2005年　東京大学航空宇宙工学専攻 教授

〈専門分野〉
宇宙関係：
宇宙システム工学、小型衛星の設計・製作、
宇宙機の知能化・自律化、
将来の新しい宇宙システム、航法・誘導・制御
知能工学関係：
ロボティックス、
人工知能（特に機械学習）とその宇宙応用



〈学会・学術関連〉
日本航空宇宙学会、日本ロケット協会、計測自動制御学会、
AIAA（American Institute of Aeronautics and Astronautics）

小型人工衛星の道を拓く「ほどよし」プロジェクト

――内閣府最先端研究開発支援プログラムに選ばれた「ほどよし」プロジェクトとは、どのようなものなのでしょうか。

中須賀　このプロジェクトは超小型衛星の分野で世界のトップを走ることを目指したもので、東京大学だけでなく、国内で10校ほどの大学や多くの中小企業とも連携しています。その具体的な取り組みの１つとして、新しい技術の開発が挙げられます。

これまで50kgぐらいの小型衛星にはコンポーネントがなく、小型衛星を作る場合、1から開発するか海外から購入するしかありませんでした。それでは手間も時間もかかります。そこで小型衛星のコンポーネントを開発し、日本国内で必要な機器がすべて揃うように開発を進めています。

2つ目の取り組みは、信頼性工学を考えることです。

例えば、国が作る人工衛星は絶対に間違いを起こさないという究極の信頼性を目指しています。しかし、高いレベルの信頼性を目指すと、その分コストが高くなってしまいます。それに対し、私たちの小型衛星はビジネスユースとして十分な耐久性を保ちながら、ほどほどの信頼度にとどめています。あえて、信頼度を高く設定しないことでコストを抑え、事業化、商業化の道を拓いていく姿勢が「ほどよし」というプロジェクト名に込められています。

3つ目の取り組みは、人工衛星の開発方法を変えることです。

大学の場合、そこで学ぶ学生たちが人工衛星を開発する上で重要な労働力となります。たくさんの試験を行い、試行錯誤を繰り返しながら、複雑な機械を作り上げていきます。しかし、こうしたやり方ではコストが高くなってしまいます。そこで、いかに効率良く衛星を作っていくか、作り方のイノベーションが求められています。サプライチェーンのネットワーク構築や、試験の回数を減らすために、これだけやれば大丈夫という試験方法を確立しようとしています。

そして４つ目の取り組みは、小型衛星の新しい利用方法を見つけていくことです。

日本の宇宙開発は「ロケットや人工衛星を作りました。皆さん、どうぞこれを使ってください…」と言っているだけです。これでは使う人は出てきません。人工衛星を使ってもらいたいなら、どのような衛星を求めているのかを聞きながら、ニーズに応じた開発を進めていくべきでしょう。

それと同時に、小型衛星の使い手を新たに掘り起こしていき、これまで宇宙に目を向けていなかった人たちに対して、使い手になってもらうための話し合いをしています。つまり、さまざまな人たちが宇宙を気軽に利用できる世界を作っていくための取り組みです。

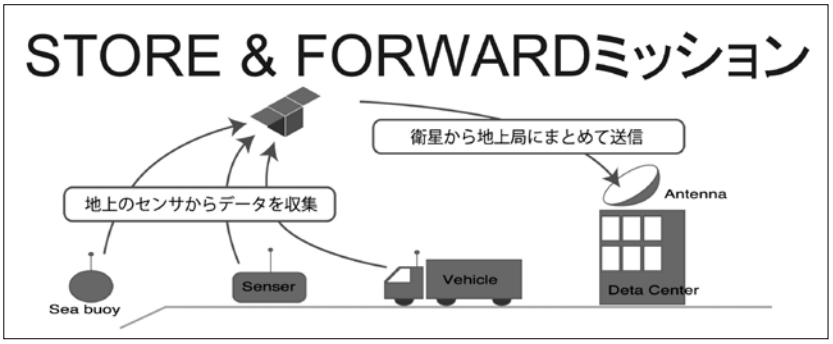
高性能のカメラを搭載し地上や宇宙のデータを収集

――「ほどよし」プロジェクトでは、どのような衛星を作っているのでしょうか。

中須賀　「ほどよし」プロジェクトでは、さきほど述べたように新しい技術、コストを抑えた信頼性工学、新しい開発方法、新しい利用方法を取り入れて、4基の小型衛星を開発しています。このプロジェクトは今年3月に終了し、4基の衛星は6月から秋にかけて、ロシアから打ち上げられます。（取材後、6月20日にロシア・ウラル地方のヤースヌイ基地から打ち上げ。詳細は8月号に掲載予定）

1号機はカメラ衛星です。6.7mの分解能を持つ光学カメラを搭載し、地球上の様子を鮮明に映し出すことができます。

2号機は東北大学が作っており、宇宙科学を研究するための衛星です。今回は5カ国、7つの研究所が計画したミッションを行います。将来、さまざまな国が宇宙科学の研究のために人工衛星を利用したいというとき、日本の衛星を使ってもらえるよう、そのきっかけとなることも



「ストア＆フォーワード」と呼ばれるデータ収集システム。

期待されています。

3号機は、地球観測用の40mと200mの分解能を持つカメラを搭載しています。

4号機は6mの分解能という、4基の中でも最も優れたカメラを積んでいます。

この3・4号機は地球の写真を撮る他に、地上のデータを収集する「ストア＆フォーワード」というミッションも持っています。地上に置いたセンサーの上を人工衛星が通過すると、センサーから電波が送信され、そのセンサーが感知したデータを人工衛星が収集する仕組みになっています。

そのミッションで、私たちが取り組んでいるのは、洪水に苦しんでいる国のデータを収集することです。地上に水位計を置き、時間とともに水位がどう変わっていくのか履歴を集め、そのデータを洪水対策のために世界中で役立ててもらおうと声をかけたところ、22カ国から返事が届きました。

また、3・4号機の内部にはテナントスペースと呼んでいる10cm立方の空間を用意していて、このスペースを自由に使ってもらおうと考えています。宇宙空間での実験や観測、あるいは、企業が自社のグッズを載せて宣伝に使ってもらっても構いません。将来的にはビジネスにすることも考えています。

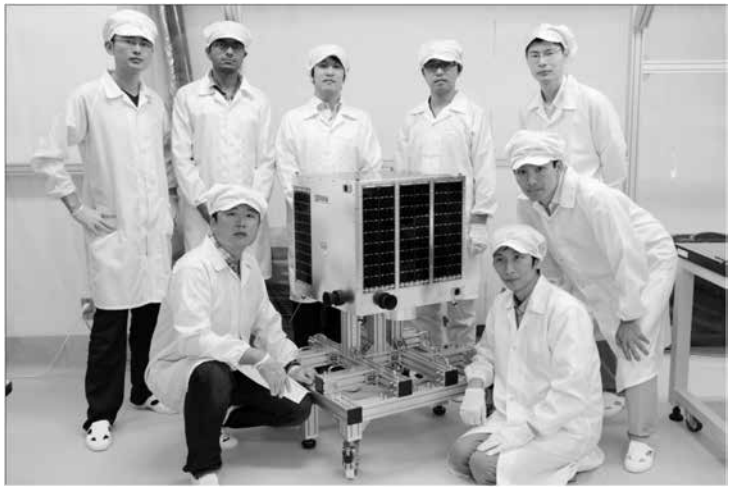
── 小型衛星のテナントスペースでは、どのような実験ができるのでしょうか。

中須賀　例えば、無重力を利用した実験をしたり、宇宙科学のためのセンサーを載せたりすることができます。電力は衛星から供給できますし、カメラを搭載しているので内部を撮影したり、情報をアウトプットすることもできます。また、宣伝のために自社のグッズを載せられるということもあり、すでにたくさんの問い合わせをいただいています。

企業、研究者、途上国などが小型衛星の大きな潜在顧客に

── 小型衛星のコストは、いくらぐらいになるのでしょうか。

光学カメラを搭載した「ほどよし」1号機



「ほどよし」1号機と開発に携わった研究員

「ほどよし」3号機の開発風景（東京大学の研究室にて）

約2年半の開発期間を経て完成した3号機（左）と4号機（右）

中須賀　これまでの人工衛星のコストは安くても100億円、高いと1000億円ぐらいになります。こうなると人工衛星を利用できるのは国ぐらいしかなくなり、企業、大学、地方自治体、あるいは途上国などは手を出すことができません。それに対して、私たちの衛星は、開発期間が2年、フルスペックでコスト3億円で作れます。スペックを下げれば数千万円で作ることも可能です。

そこまでコストが抑えられれば、大学の研究者は科研費で、企業は広告費で小型衛星を持つことも可能でしょう。途上国も3億円ぐらいなら出せると思います。去年、超小型衛星に関するシンポジウムを開いたのですが、世界から47カ国が集まりました。

現在、人工衛星を利用していない国は、世界に約150カ国あります。それらの国々は、小さな衛星にとっての大きな潜在市場となるわけです。小型衛星は大きな衛星に比べ機能は劣りますが、多くの人たちにとって宇宙へ踏み出す第一歩となるはずです。

さらに、衛星をどう展開していくべきか、意見を募ろうと思います。衛星を小さくし、企業や個人が利用できるようにすることで、もっと面白い使い方が出てくるに違いありません。

――小型衛星のビジネス展開に関する取り組みも、中須賀先生の研究室で行っているのでしょうか。

中須賀　2008年に小型衛星を作るベンチャー企業を立ち上げましたが、私自身がそこでオペレートすることはできないので、研究室の学生だった研究者たちがそのベンチャー企業の中で活動をしています。

――小型衛星のベンチャービジネスは、採算がとれるものなのでしょうか。

中須賀　ベンチャーの立ち上げは採算が取れることを確認してからスタートしているので、設立した最初の年から黒字になっています。

ISO国際標準を作ることで日本を小型衛星試験のメッカに

――ところで、小型衛星を開発製造する上で、どのような課題があるのでしょうか。

中須賀　挙げられる課題としては強度に関することで、ロケットから生じる振動や力に耐えられるようにしなければなりません。打ち上げられたロケットの加速度は最大8G（体重の8倍の引っ張る力）にも達するため、座屈といって、積んだ衛星が上からへこむように曲がってしまうことがあります。それに耐える強度が必要ですし、またロケットの共振周波数に一致しないよう、衛星の剛性を高くしておく必要があります。

また、宇宙では真空、放射線、太陽光による高温など、地球上とは比べものにならないほど厳しい環境になることも考慮しておかなくてはなりません。

大きな人工衛星の場合、それらの試験をすべて行うと10年、

短くても5〜6年はかかります。その点、小型衛星なら、これだけの試験をやれば良いというところを見つけておくことで、試験期間を短く設定することができます。

今は、その試験を九州工業大学にお願いしていますが、将来的には、小型衛星に関する試験の国際標準をISOに出願したいと思っています。日本からそうした国際標準を出すことによって、日本を小型衛星の試験のメッカにしたいと考えています。

── 海外へ向けた情報発信にも取り組まれているのでしょうか。

中須賀　これまでカンサットを使ったトレーニングプログラム（CLTP）を開いており、衛星を持っていない国の人々を招き、トレーニングを行っています。来てもらうのは学生ではなく先生方で、カンサットの作り方や、作り方を学生たちに教える方法を学んでもらっています。カンサットを日本で1度組み立て、打ち上げ実験まで行っています。その経験を踏まえて、自国でカンサットづくりに取り組んでもらいます。

CLTPは、これまでに4回開いており、南アフリカ、ケニア、ナミビア、ナイジェリア、チリ、ペルー、メキシコ、モンゴル、カザフスタン、ベトナムなど、20数カ国から先生方が参加されています。

このトレーニングプログラムにはカンサットを通して日本に目が向くことで、もう少し大きな衛星を作りたいというとき、日本に頼もうという流れを作っておくという狙いもあります。実際に、ベトナムからは小型衛星の依頼があり、製造が進んでいます。その他、カザフスタン、モンゴル、ブラジルなども私たちの小型衛星に関心を持ってくれています。

安く打ち上げられるロケットの研究開発に期待

── 人工衛星がより手軽に利用できるようになる一方、安く打ち上げられるロケットの研究開発は進んでいるのでしょうか。

中須賀　大きな人工衛星と一緒に小型衛星を打ち上げてもらうことの問題点は、私たちの好きなところに打ち上げられないことです。小さな人工衛星を打ち上げるためのロケットが、なんとしても欲しいと思っています。

北海道大学ではカムイロケットというハイブリッドのロケットを独自開発していますが、彼らのロケットは観測用のロケットで、高度200km以上に打ち上げて、軌道に入らずに戻ってくることを目標にしたものです。

── ロケットを軌道に投入するためには、より高度な技術やコストが必要になるのでしょうか。

中須賀　ロケットを高度200kmに打ち上げるのに比べ、高度400kmあたりに打ち上げ、軌道に投入するには、7倍のエネルギーが必要になります。

なお、高度300kmあたりに打ち上げた衛星は数週間後には落ちてきてしまいます。高度400kmだと、落ちてくるまでに1カ月ぐらいかかります。さらに、高度800kmになると、落ちてくるまでに125年ぐらいかかると言われています。ただし、衛星が地球から遠く離れれば離れるほど、撮影する画像の分解能は悪くなってしまいます。理想を言えば、衛星の目的に応じて乗せる軌道が選べるといいですね。

今のところ、私たちの衛星が東京上空を通過した後、地球をグルグルと回って、次に東京上空に現れるのは40日後です。すなわち40日間隔で衛星写真が撮影されていきます。

小型衛星には数多く打ち上げられるというメリットがあります。そのメリットを生かし、衛星が50基ぐらい回っていれば、同じ場所を5〜10時間間隔で撮影することが可能になります。連続で撮影することで地上の農作物の変化、松枯れ病、赤潮の対策などに効果を発揮するでしょう。

── 高度400kmにある国際宇宙ステーションはどのようにして高度を保っているのでしょうか。

中須賀　国際宇宙ステーションも放っておくと、地球へ落ちてきてしまいます。そうならないのは、高度350kmぐらいまで落ちてくると、物資を補給するロケットを使って、450kmあたりまで上昇させているからです。それを繰り返しながら、地球の周りを回っているのです

――昨今、宇宙ゴミが問題になっているようですが、役目を終えた人工衛星がゴミにならないよう、人工衛星の回収なども考えられているのでしょうか。

中須賀　宇宙ゴミに関して言うと、小さな衛星は悪く言われることもありますが、それほど問題はありません。それに対して、1tや2tの人工衛星や切り離したロケットなどは宇宙ゴミとぶつかる可能性も高く、万が一、ぶつかると小さな破片が宇宙空間に飛び散ってしまいます。ケスラーシンドロームと呼ばれていますが、あるレベルより宇宙ゴミの数が増えると、宇宙ゴミとロケットが衝突する危険性が一気に増え、最悪の場合、宇宙開発ができなくなるという危機的状況に陥ってしまうと言われています。今はその前段階にあり、宇宙ゴミを極力増やさないことが大切です。宇宙ゴミを回収する研究も進んでおり、将来的には宇宙ゴミの回収は良いビジネスになると思います。

一方、衛星の回収についてですが、衛星を大気圏に突入させ、燃やすことで回収します。25年以内に燃やし尽くさなければならないという決まりもあります。落とす方法には、幕を広げて表面積を大きくし、その抵抗を利用して数年かけて徐々に高度を下げていく方法と、ロケットエンジンを噴かして高度を下げていく方法の２つがあります。

考える癖を身に付け問題解決する力を育成

――中須賀先生は大学教授という立場で人材教育にも尽力されておられるわけですが、学生の教育、指導の面で若い世代にどう接しておられるのでしょうか。

中須賀　若い世代には、自分で考える癖をつけさせることが大切だと思っています。問題をこちらから与えるというのでは、考える癖が身につきません。

私は学生たちに問題を設定させています。どんなモノを作れば、役に立つのか。それを作り出すために必要なことは何か。1年から2年といった期間内に、自分たちでどこまで作れるのか。学生たちには「自分で設定した問題なのだから責任を持って最後までやり遂げなさい」と指導しています。

特に東大生は、一番面白くない受験勉強ばかりしてきたわけですから、問題を自分で作り、解いていくうちに、新たな問題が出てきて、答え方もたくさんあると気づく。その面白さに気づくと、彼らは放っておいても、自分で作った問題にのめり込んでいきます。それこそが本当の勉強だと私は思うのです。

――最後に、科学機器業界に対し、ご意見やご要望があれば、お願いいたします。

中須賀　科学機器を依頼するとき、その機器を使って何をやりたいかは私たちが持っていますが、その分野のノウハウは企業のほうが確実に持っているわけですから、もっと気軽にアドバイスや提案をもらえるとうれしいですね。

今日の大学では技術職員（昔の技官）が減ってきています。かつては、全国の大学に試験装置の扱いやメンテナンスに関して、ノウハウの塊のような人がいました。大学側はそのような人をどんどん減らす代わりに、企業へ外注するよう奨めます。そこで、科学機器業界の方々には、機器の提供だけでなく、実験をサポートしたり、次の機器にはこのようなものが良いと提案したり、技官のような存在になってもらえるとありがたいと思っています。

次号「科学の峰々」では
東京大学生産技術研究所
合原　一幸　先生に
お話しいただきます。