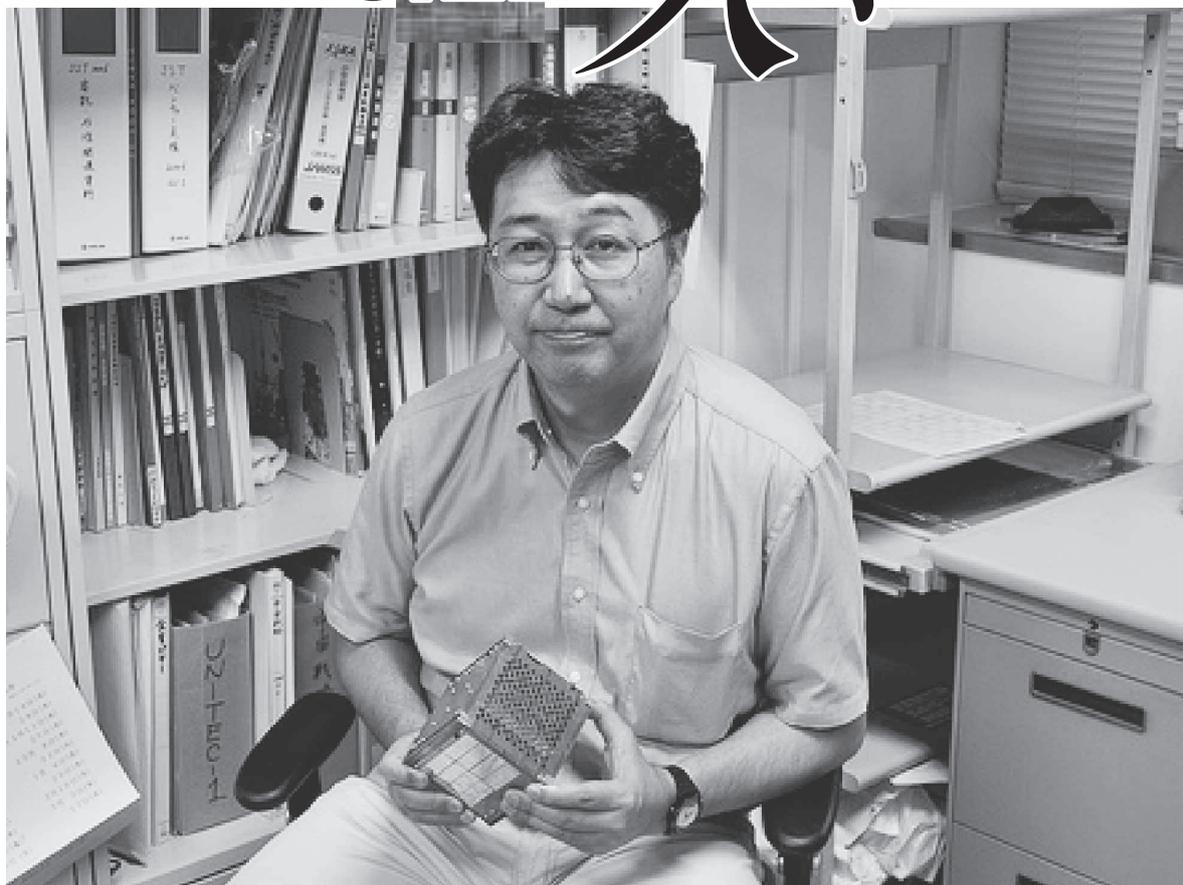


メカライフな No.22 人々



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 真一氏

今回のゲストは、世界で初めて1kgの超小型衛星の打上げに成功し、現在もさまざまな超小型衛星の開発や日本独自の新たな宇宙開発に取り組まれている、東京大学・大学院工学系研究科・航空宇宙工学専攻の中須賀真一教授である。2009年5月26日にお話をうかがったが、今後の衛星の利用方法、日本の宇宙開発の方向性、そして技術者としてのモノづくりの考え方など、とても幅広く、面白い内容をお聞かせいただいた。

宇宙へのきっかけと研究内容

メカライフ編集委員（以下、メカ） 中須賀先生が宇宙に興味を持ったきっかけは何ですか？

中須賀先生（以下、敬称略） 理屈ではなく、アポロ11号です。1969年7月20日にアポロが月に行きましたが、私

はそのころ8歳で、夜アメリカからの衛星中継を見ていました。イーグルという月着陸船が月に着陸したのですが、宇宙飛行士とヒューストンの基地が交信している音が耳にこびりついていて忘れられなかったですね。それが今の私の原点です。とても強烈な経験でした。そのような強烈な体験があれば宇宙を好きになる人が増えると思いますが、最近はなかなか機会がないことが残念ですね。

メカ 宇宙開発の醍醐味は何ですか？

中須賀 いちばんの醍醐味であり難しいところは、1度手を離れたら2度と修理に行けないことです。5年も7年も全くメンテナンスしないで動くものは地上では存在しないと思います。打ち上げる前に“宇宙で何が起るか”、“どんなことが起りやすいか”をすべて想像して対策しておかなければなりません。それは難しいことですが、逆

に醍醐味だいごでもありますね。すなわち一発勝負です。私たちはそれを醍醐味ととらえています。

もう一つはチームワーク。1人では衛星もロケットも作ることができないけれど、チームが効率的に機能して目標を成し遂げることに喜びがありますね。プロジェクトが成功したときはチーム全体で喜びが爆発します。そういうところも一つの醍醐味だと思いますね。

メカ 中須賀先生が行っている研究やプロジェクトの内容と目的について教えてください

中須賀 大きく分けて二つの柱で研究を行っています。一つは、将来の新しい宇宙システムの研究です。非常に小さな宇宙構造物、あるいは、大きな宇宙構造物の研究開発を行っています。たとえば、これまでの衛星とは比べ物にならないほど小さな衛星、超小型衛星です。超小型衛星というのは10kg以下、軽いものですと1kgぐらいしかない大きさです。この超小型衛星を使って何ができるのかを考え、それを実現するためにはどのような技術課題があり、その課題をどう解決すればよいかを検討しています。

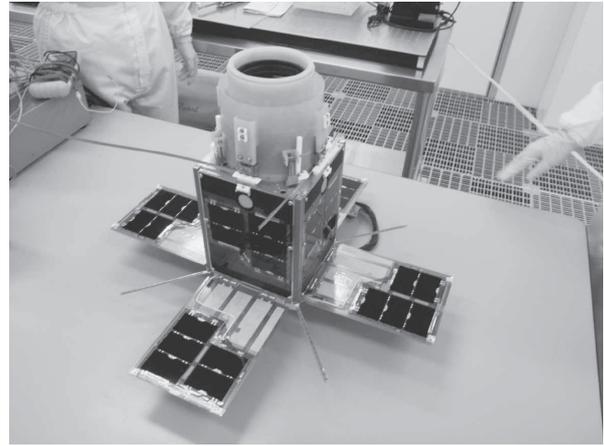
一方で、大きい宇宙構造物では「ふるしき衛星」を研究しています。たとえば宇宙で巨大膜を広げる場合、最初は膜をたたんでおいて、膜の四隅にはり付けた衛星が膜を広げるといったコンセプトです。用途としては超大型太陽発電衛星や巨大通信アンテナ、宇宙デブリの回収など多くの目的に利用できると考えています。

二つ目は、宇宙のシステムを知能化していく研究です。人工知能や情報処理技術を利用することによって、衛星やロボットが賢くなることを検討しています。たとえば、人工衛星が飛びながら、周りの状況を見て自分の動きを自ら決めていく。この学習を生かすことによって、緊急事態が起こっても衛星が自分で解決策を考えられるほどの知能を持たせたいと考えています。

メカ これまで中須賀先生の研究室ではどのような衛星を制作されたのですか？

中須賀 まず初めに「CanSat」を作りました。本当にジュース缶サイズの衛星ですが、大事なのはこのサイズに通信や計算機、メモリ、センサやアクチュエータといった衛星の機能を少なくとも一とおりに入れるということです。ただ宇宙までは行けないので、毎年アメリカの砂漠に持って行ってロケットを使い、高度4kmくらいまで打ち上げます。2001年からは面白いことをやろうということで、「come back competition」というものを始めました。これは私が提案したのですが、日米のいろいろな大学がCanSatの飛行性能を競うというものです。CanSatはGPSを利用することで自分の位置を飛びながら知ることができるので、目標の緯度経度を教えると今飛んでいるCanSatがどのようにかじを切れば目標点に向かって飛べるか自分で考えることができます。たとえばこれをパラグライダーで制御しながら目標点に向かって飛び、最も目標点の近くに帰ってきた人が勝ちということで、まさに「come back」competitionです。

また2003年と2005年には「CubeSat」という、質量



超小型衛星「PRISM」
〔提供：東京大学中須賀研究室〕

1kg、10cm立方の世界最小の衛星を打ち上げました。開発期間は1.5年から2年ぐらいですね。本当は打ち上げて2カ月ぐらい生きていけばすべての実験ができるように作ったのですが、実は1号機は5年、6月30日で6年になるのですが、まだピンピン生き残っています。秋葉原で売っているような民生品でも、上手に組み合わせれば、十分宇宙で動くものを作れるということがわかりましたね。2号機には（独）宇宙航空研究開発機構（JAXA）が新しく開発した太陽電池を乗せて、試験の手伝いをしています。

また2009年1月、伸展ブーム（特許申請中）を用いて30mの分解能で地球観測を行う質量8kgの「PRISM」という3号機を打ち上げました。今は星の位置を観測して星のマップや天文学の基礎データを作る「Nano-JASMINE」という衛星を開発しているところです。

小型衛星について

メカ 中須賀先生の研究室ではさまざまな小型衛星が開発されていますが、衛星の小型化の目的は何ですか？

中須賀 一つには、小さな人工衛星を作ることによって宇宙開発の敷居を下げたいという狙いがあります。今いちばん高価な衛星は2000億円しますが、何百、何千億円とかかるようでは宇宙を使って実験したいと思う人がいても、なかなか手を出せません。その人たちの多彩なアイデアをなんとか実現させてあげて、宇宙開発を活性化したい、というのが私たちの目的でもあります。先ほどの「CubeSat」は人件費も含めて正式に作ろうとすると1基約5000万円程度ですので、大型衛星の約1000分の一のコストで開発できます。

もう一つの目的として、これは自慢になりますが（笑）、われわれの衛星は機内持ち込みで運んでいます。機内持ち込みをした衛星というのは、過去なかったと思います。これは何が大事かと言うと、大きいと精密運搬など別送で運ばなければなりません。それでは非常にコストがかかる。それに自分と一緒にではないからどこか違う所に行ってしまうのではないか不安ではないかというわけです。仮に何年もかけて

作った衛星が消えてしまったら……たとえ保険でお金ももらえても、全然うれしくないですよ（笑）。だから手元に置く、ということは、とても大切です。私は、衛星のスタイルは20kg以下にしたいと思っています。20kgというのは飛行機でチェックインラゲージに預けられる限界です。それより重いものだと別送しなければいけない。ということで、衛星は小さいほうが良いという一つの例です。

メカ 小型衛星のメリットとデメリットについてそれぞれ教えてください。

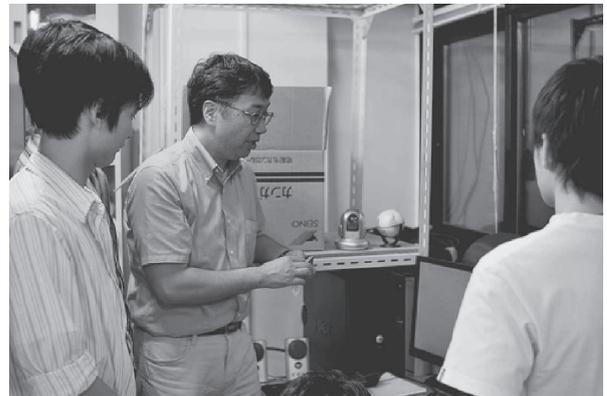
中須賀 小型衛星のメリットは、大きな衛星と比べて開発期間が短いことです。大型衛星の開発期間は、いちばん初めに構想してから5年、長いものでは12年もかかります。それでは最初に構想したときのアイデアが10年後に成り立つかどうかかわからないですよ。時代が変化して、衛星が完成するころにはすでに必要なくなってしまうかもしれない。衛星はアイデアを出したら、すぐに作ってすぐに打ち上げないといけない。それが今の宇宙開発は全くできていません。しかし小型衛星は開発期間が約2年だから、新しい技術をすぐに宇宙で試すことができます。このように、新しいアイデアを宇宙空間で安価に、そして迅速に試す場として小型衛星を使うというのも一つのメリットであると思います。

デメリットはたくさんあります。衛星が大きいほど大きな光学系を詰めるので、口径が大きくなる、焦点距離を長くできる、分解能を高くできる。大きな衛星でなければできないことがたくさんあります。とくに、通信面では差があります。かぐやの撮ったハイビジョンのような絵は小さな衛星では送れません。小型衛星では1秒間に送れる情報が少ないからです。宇宙でたくさんデータを取っても、なかなか地上に下ろせないというのは、小型衛星の難点ですね。大きな衛星と同じことができないのは当たり前ですが、小さな衛星でもできることはあるということ、それを見つけることが大事だと思います。

メカ 将来は、小型衛星を使ってどのようなことが実現できるとお考えですか？

中須賀 小型衛星は今までと比べて1000分の一くらい安いということに加えて軽量なので、ロケットにたくさん詰めます。そして打ち上げられた多くの小型衛星が互いに協調して仕事をするので、大きな衛星と違った役割を果たすことができます。たとえば大きな衛星1機だと、ある地域の上を一度通過してから次に通過するまで約42日かかります。多数の小型衛星を使えば、1機が通過してから30分後くらいにまた次の衛星が通過するので頻繁に地球を観察することができます。すると、たとえば災害が起こった地域の直後の様子を短い間隔で見ることができます。また、たとえば気象予測に用いれば、ゲリラ豪雨などを30分くらいの将来予測をできるようになります。大きな衛星1機ではできないことを小さな衛星で補い合うということです。生き物でいえば、アリみたいなものですね。賢い動物一人ではなくて、みんなで協調して一つのことを達成するということです。

メカ 小型衛星の開発で苦労したことは何ですか？



衛星運用についてお話をうかがう学生委員

中須賀 苦勞の連続でしたね。まずは打上げ機が見つからなかったことです。日本中にお願ひしましたが見つからず、次にいろいろな国にお願ひしたけれど無理で、最後にロシアの「ロコット」に拾ってもらいました。

技術的にもたくさん苦勞しました。まず正確に動かないということですね。複雑なシステムなので部品点数が多く、すべてが上手に動かないと衛星は動きません。どこか1箇所でも壊れていると動かない、そして動かない理由もわからない。簡単なシステムだと悪いところはすぐにわかりますが、複雑なシステムではどこがどのように影響しているのかわからないので、故障が起きたときに特定の点を見つけてそれを改修するのがとても大変です。これを2年間繰り返して、すべて改修したところでやっと衛星ができます。

そのほかに苦勞したことは、締め切りがあることです。スケジュールまでに終わらせないと、最悪打上げに乗せてもらえないということになります。研究だと「今後の課題」にしてしまえばいいですが、衛星に「今後の課題」と書いたら動きませんからね（笑）。実際にモノを作って、期限があるというのは厳しいです。でも、逆に言えば学生は鍛えられますよ。

宇宙開発全般について

メカ 宇宙開発や衛星技術の発展によって、どのような恩恵が人類にもたらされるのですか？

中須賀 一つは、GPSに代表されるように、人間社会が便利になるということです。また人間が安全に過ごすために、どのような対策をとるべきかという情報も得られます。たとえば宇宙から撮った写真を使って、災害が起こったときにどのように洪水が発生するのか、火山の煙がどのように流れるのか、ということを解明することに役立っています。また地震が発生したときに、衛星を使って離島に津波が近づいていることを知らせることもできます。

しかし私はもう一つ、地球を知るために衛星を使うことが大事であると思っています。地球というのは実は解明されていないことが多いのです。たとえば、今温室効果がガスで地球温暖化が起こっていますが、これは本当に危ない現象なのか、それとも温度サイクルのなかで見れば小さい変化で、大した現象ではないのかということがよくわかって

いません。そういうことは、地球がどのようなダイナミクスを持って動いているのかという地球モデルを作らないとわからないのです。そのモデルを作っていく学問のことを地球学と言っている先生もいますが、その地球学をもっと発展させていかなければならないと思います。地球を知るには、衛星から得られるいろいろな情報はとても役に立ちます。たとえば世界中の気温分布、世界中のオゾン層の様子、CO₂量の分布、こういう情報は非常に役に立つので、衛星からのデータを使って将来は「地球学」という地球を知るための学問に役立てていくことが非常に大事であると思っています。私は、個人的にはそれが今いちばん取り組みたいことです。宇宙を使って地球を知ることですね。それともう一つ、人類は地球上にとどまることはなくて、必ず宇宙に出て行くと思います。

メカ 宇宙開発が進むにつれて、将来的にSFのような世界は実現可能ということですか？

中須賀 そうです。絶対、人間は地球上にはとどまっていかないと思います。人間の遺伝子は地球上ではびこる限界があるので、必ず宇宙に行きたいと思っています。少なくとも、閉じた世界にいるもの、たとえば海の中にいた生物は陸に上がってきたわけですね。それと同じように地球上にいた生物は絶対に宇宙へ出ていきます。これは明らかで、宇宙開発はそのための予行練習だと思います。一所懸命外に出て行くための準備をしているという感じですね。

100年経ったら火星には基地ができていだろうし、月は多分人が普通に住んでいます。地球上はエネルギーもなくなってきた、だんだん住みにくくなってきていますよね。そういう状況を見ると、やはり人間というのは絶対に外に出て行くと思います。

メカ それでは今後、日本が宇宙開発の舞台で世界をリードするためにはどのようなことが必要だと思いますか？

中須賀 短い言葉でいうと「選択と集中」です。何でも全部やろうとしたら絶対アメリカやロシアには勝てません。なぜかと言うと、アメリカの宇宙予算は日本の30倍です。お金がありますから、いろいろなロケットも衛星も宇宙ステーションもすべてできるわけです。日本はアメリカの30分の一しか予算がないにもかかわらず、NASA（アメリカ航空宇宙局）のしていることを全部やろうとしています。それでは世界をリードすることはできません。どこかの分野で突き抜けられない限り、世界的なプレイヤにはなれないと、だから「選択と集中」をして、日本はある分野の世界のトップになることを目指すことが大事だと思います。

実は、そのためにいちばん良い世界が小型衛星です。これは手前味噌ではなくて、本当に日本人がいちばん得意な分野だと思います。携帯電話やミュージックプレイヤーを見れば一目瞭然です。小さいところに詰め込む技術というのは、日本が世界で勝負できるテクノロジーだといつも思います。日本人が、日ごろから小さい箱に詰め込む実践をしているものを知っていますか？

メカ お弁当ですか？

中須賀 そう、お弁当です!! 小さな衛星は弁当箱みたいなものだと思います。弁当箱には、ご飯だけでなく、いろ

いろなおかずをすき間なく、美しく詰め込んでいきます。機能つまり栄養も考えて、小型衛星と同じコンセプトですよ。

こういう世界ならば、日本が世界を牛耳っているのではないかなと思います。だから小さな衛星は日本に担当させようという国際的なコンセンサスを得るほどいいものを作りつづければいいと思います。今の日本にいちばん必要なことは、「選択と集中」です。

大学での衛星開発プロジェクトについて

メカ 衛星開発プロジェクトを進める際に、学生はどのような形でかかわることができるのですか？

中須賀 学生がメインプレイヤーです。全部学生がプロジェクトを進めるわけです。はっきり言って私がいちばん怠慢です(笑)。何もしていないわけではないですが、学生がチームを組んで、最初の設計から製造、それから外の企業への発注、試験、全部担当します。一方で私は、開発費を取ってくる、外部で実験をするためのアレンジをする、といったインフラを整えます。安全保障で輸出するための手続きや、周波数をとるための手続きなども、私が請け負います。それ以外のモノづくりに関してはすべて学生が担当します。衛星開発は、学生がすべて自分たちのプロジェクトマネジメントのもとで行う、というのが私の研究室の状況です。これは学生にとってはとても大変ですが、非常に勉強になるわけです。

実践的モノづくり教育という点で、実際にモノを作って現場で動かすということはすごく大事ですね。現場で動かせば、現場が先生になります。現場で動かして、いいものは正確に動きますが、どこかで手を抜いたものや、設計が悪かったり、作り方が悪かったりすると、絶対に成功しません。その意味で、現場こそが最もいい先生だと思っています。

メカ 大学が宇宙開発を行うということについて利点や限界があると思うのですが、それぞれについて教えてください。

中須賀 利点について、私たちが小型衛星を作るという観点からの役割でいうと、失敗が許されるということです。日本で打ち上げる衛星は、失敗が許されません。なぜかと



質問にお答えいただく中須賀先生



中須賀先生と学生委員

いうと、失敗したら500億円が台無しになってしまうからです。そうすると、絶対成功するものしか打ち上げられません。しかし私たちの衛星は小さいうに大学で打ち上げるので、失敗が許されるわけです。最悪の場合は失敗も研究の内だと言ってしまうから、新しい技術や、大きな衛星ではできない、新しい技術を試す場として、私たちの衛星を使ってもらえればいいと思います。そういう住み分けはあっていいですね。新しい技術にチャレンジするのだから多少失敗してもいいというくらいの世界、逆に言えば、それくらい新しい技術を目指す、それが大学の役割だと思います。

後は人材育成です。宇宙にとって大事な人材は何かというと、研究ができる人ではなく、信頼性の高いものを作れる人ですね。それはこの大学時代の衛星開発活動で身に付くだろうと思います。学生の間なら失敗が許されますが、もし500億円の衛星で「失敗したけれど、いい勉強になった」となっても許されないですよ（笑）。でも、CanSatくらいであれば失敗しても10万円くらいですから…プロジェクトが小さいときに失敗しなければいけないと思います。何をすれば失敗して、何をすれば失敗しないのかということをしっかり見極めた人が、500億円のプロジェクトに入るべきなのです。失敗を経験したことのない人が500億円のプロジェクトに入ると、何が大事かわからないのです。それが大きな問題ですね。大学時代にしっかり訓練を積んだ人が、宇宙開発の中で、厳しい世界で活躍して欲しいと思います。大学にはそういう役割がありますね。

限界はやはり資金ですね。お金や設備などのインフラという観点、あと人材の観点で言えば人数が少ないことが欠点です。

メカ 宇宙に関する研究をしていくうえで大切なことは何ですか？

中須賀 枠にとらわれない発想だと思います。CubeSatのようにサイズは決まっていますが、その中でどうやってもの

を詰め込むかということに関しては、アイデア勝負になります。宇宙というのは、こうしなければいけないということは決まっていない世界であり、非常に自由な世界です。なにをするのか、それをどう実現するか、すべてゼロから考える。こうすればいいという王道は宇宙にはありません。その中で新しいやり方を自分なりに見つけて、それを積み上げていくということが大切だと言えます。

おわりに

メカ 最後に学生や若手の技術者に向けて一言お願い致します。

中須賀 失敗しなさいということです。プロジェクトが小さいうちに失敗しなさい、ということですね。考え抜いた末、ベストを尽くして作ったものがうまくいかなかったときの失敗は、すぐ役に立ちます。だからこそ若いうちにそういう失敗をするべきだと思います。失敗を経験していない人は、大きなところでつまずきがちです。逆に言えば失敗してもめげることは全くなくて、非常に良い経験をしたと思うことが大切です。

それからもう一つはモノづくりを学ぶということなら、本当にありふれた言葉ですが「実際の現場で動かすものを作りなさい」ということですね。実験やシミュレーションも大切ですが、実際に物を作ると、いろいろなことが起こります。だからこそ、実際の現場で作ったものやアルゴリズムを動かしてみて、そこから得られるフィードバックを使って本当に役立つものを作っていくというプロセスを、若いうちにぜひ経験するといいですね。それこそ私がいつも学生に経験させたいと思っていることですし、みなさんにも経験していただきたいですね。現場がいちばんいい先生なのです。

(文責 メカライフ学生編修委員 石井雄大, 青木治雄, 居合 徹, 兼平さゆり, 猿木恭文, 田中 文, 塚田 匡, 中村恭子, 益子雄太郎, 宮寄哲郎)