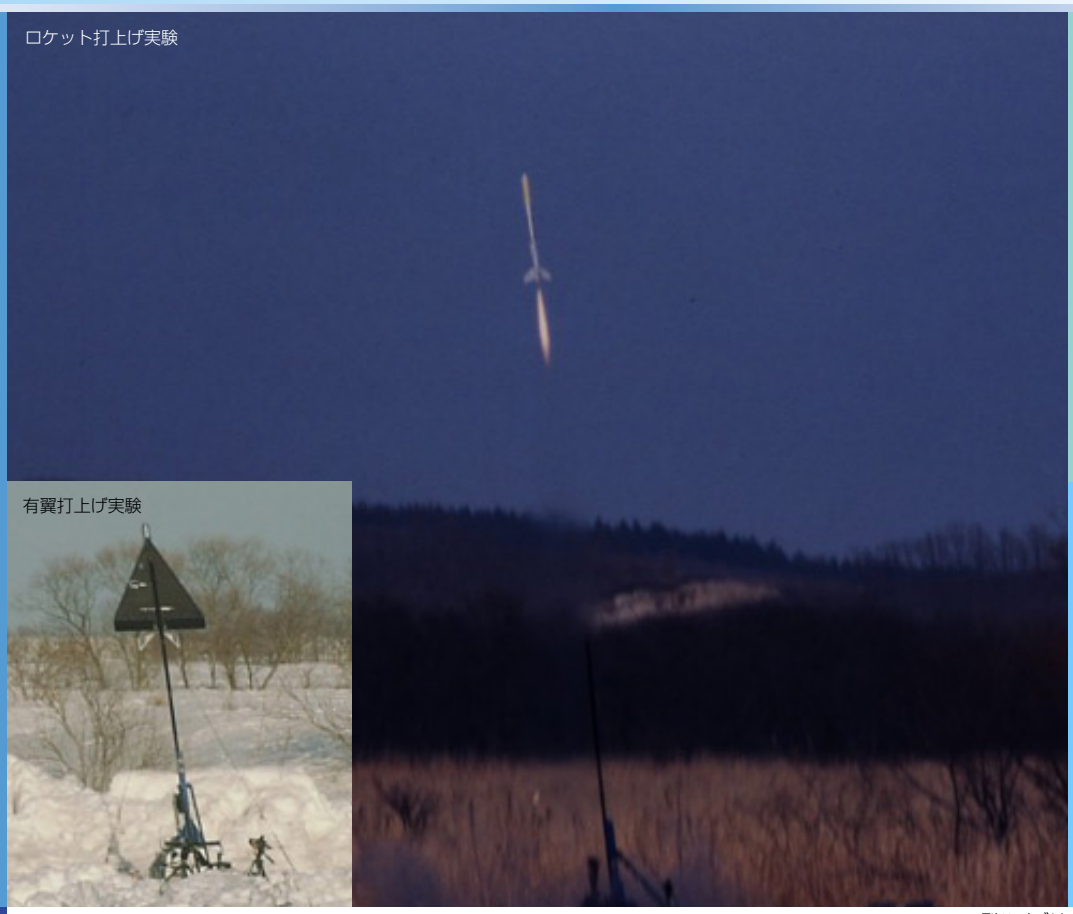
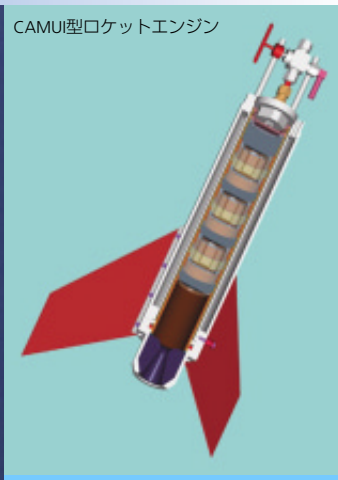
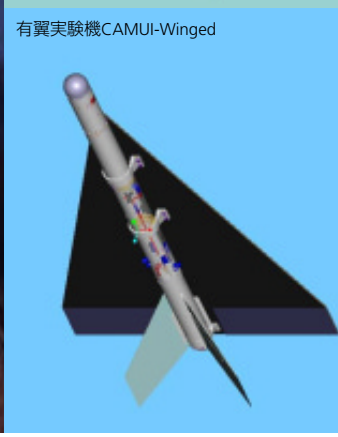
ISSN 0285-2861
JAXA 宇宙科学研究本部
ISASニュース
2004.12
No. 285


ロケット打上げ実験


CAMUI型ロケットエンジン

有翼打上げ実験


有翼実験機CAMUI-Winged

CAMUI型ハイブリッドロケット打上げ実証試験

宇宙科学最前線

ハイブリッドロケット CAMUI

永田晴紀
北海道大学大学院工学研究科機械科学専攻
宇宙環境工学講座助教授

はじめに

地上から打ち上げられるロケットの主な用途は，衛星を地球周回軌道に投入することであるが，それ以外に，50～1000km程度の高度まで弾道飛行させ，高層気象観測や微小重力実験などの学術用途に用いることもよく行われる。このような用途に用いるロケットをサウンディングロケットという。

地球温暖化が進行すると，成層圏オゾンの対流圏への降下量が増加し温暖化が加速することが化学・気候モデル実験によって明らかになる（Sudo K., Takahashi M., Akimoto H., Geophysical Research Letters, Vol. 30, pp. 24, 2003）など，近年，化学−気候相互作用に大きな関心が持たれている。成層圏大気成分を採取して地上の高性能な機器で分析し，微量化学成分の組成を明らかにする必要性が指摘されているが，高度50～60kmの高層成層圏は航空機でも気球でも到達できないため，サウンディングロケットが唯一のサンプリング手段となる。また，分単位の微小重力環境を得られる実験手段としてもサウンディングロケットが用いられる。これは，小型ロケットにより機体を高度100～200kmまで弾道飛行させることにより，微小重力環境を得るものである。

ロケット実験の単価は数千万円の桁となるのが一般的である上，実験機会も限られている。国内でロケット実験の機会が限られている理由は需要の少なさにあり，少ない需要は高い実験単価に起因する。しかし，需要そのものは決して小さくはなく，もし安価に利用できるのであればロケット実験の利用を希望するという気象研究者や微小重力研究者は，地球温暖化，オゾン層生成・破壊，燃焼，結晶成長，生

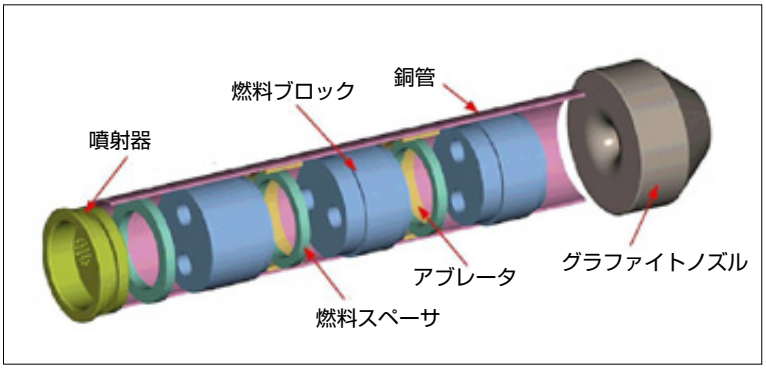


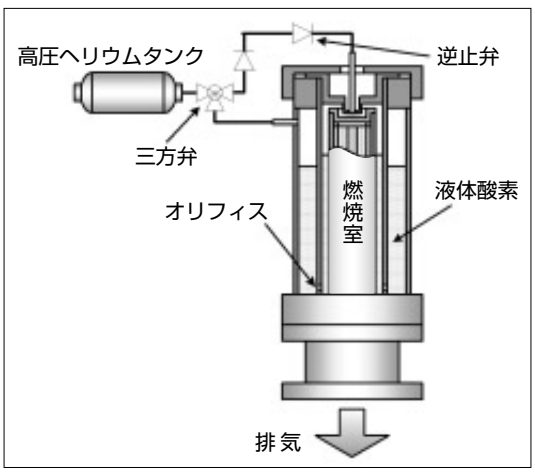
図1　CAMUI型燃焼室の概要

命科学の分野などに，広く存在する。これらは，ロケット実験単価を引き下げることにより顕在化する潜在需要である。

ロケット実験の単価が高い理由は，小型ロケットの単価が高いことである。現在，ロケット実験で使用されている小型ロケットは，そのすべてが推進剤に火薬を使用する固体ロケットである。これは，構造が複雑で重いという液体ロケットの短所が，小型ロケットではより顕在化するためである。固体ロケットの構造は，基本的には筒に火薬を充填し，ノズルと尾翼を取り付けているだけなので，機体の材料も製造工程も高額なものではない。それにもかかわらず機体単価が高額になる理由は，推進剤に火薬類を使用するためである。固体ロケットの価格の大部分は火薬類の管理コストであり，もし推進剤に火薬類を使用しない小型ロケットを開発できれば，機体再使用化によりロケット実験の単価を飛躍的に削減し，潜在需要を顕在化させることができる。

このような観点から，筆者らはハイブリッドロケットの研究開発を行っている。ハイブリッドロケットとは，推進剤に液体と固体の組み合わせを用いるロケットのことで，燃料側を固体とするのが一般的である。火薬類を使用しないために製造・運用コストを大幅に削減することが可能な上，液体燃料を使用しないため危険物すら取り扱わずに済む。ハイブリッドロケットのアイデアそのものは古く，1930年代までさかのぼることができる。しかし，固体燃料の燃焼が遅いという致命的な欠点を克服することができず，いまだに小型ロケット打上げへの適用例はない。地球の重力によって毎秒9.8m/sの速度を奪われる打上げ用途では，燃焼が遅いというのは致命的なのである。

図2　バルブレス液体酸素供給方式



CAMUI型ハイブリッドロケット

固体燃料の燃焼を速くし，ハイブリッドロケットを小型打上げロケットに適用するため，従来は中心にポートを設けた円柱状であった固体燃料を複数の円柱ブロックに分け，各円柱ブロックの前端面が同時並行的に燃焼する方式を考案した。縦列多段衝突噴流方式を英訳し，Cascaded Multistage Impinging-jetの頭文字を取ってCAMUIロケットと名付けた。

CAMUIロケットの燃焼室の概念を図1に示す。燃焼室に噴射された液体酸化剤は初段燃料ブロックの前端面に衝突し，生成した燃焼ガスは初段ブロックの2つのポートを通って下流に流れ，2段目ブロックの前端面に衝突する。衝突噴流により固体燃料への熱伝達が促進される効果を狙ったわけである。CAMUI方式では，燃料ブロックを薄く細分化することにより，理論上はいくらでも推力密度（単位燃焼室容積当たりの推力）を上げることが可能であるが，燃料の機械的強度および圧力損失から上限は存在する。筆者らの経験では，少なくとも従来型の3倍程度の推力密度は容易に得ることが可能であり，ハイブリッドロケットを固体ロケットレベルまで小型・高推力化することが可能となった。

小型打上げ機体の開発

ハイブリッドロケットを小型ロケットに適用するためには，推力密度を上げることと併せて，液体酸素供給系を小型機体に組み込むことが必要である。液体酸素は爆発の危険性および毒性がなく，高い比推力が期待できるが，極低温液体である液体酸素の供給システムを小型機体に組み込むのは容易ではない。極低温用バルブ一つとっても，汎用バルブに比べ大型である。また，CAMUI方式では従来型と違って燃焼室壁面が火炎にさらされるため，燃焼室壁面を冷却する必要がある。つまり，極低温液体による再生冷却方式を備えた供給システムを，小型ロケットに組み込む必要があるということである。

バルブの小型化および再生冷却ラインの簡素化を検討した結果，液体酸素流路にバルブを使用しないバルブレス供給方式を考案した。その概念を図2に示す。液体酸素タンクは，燃焼室の周囲に円環状に配置されている。液体酸素タンク内側壁面と燃焼室壁面との間は液体酸素流路となっている。液体酸素はタンク底部のオリフィスを通ってこの流路に流れ込み，燃焼室壁面を冷却しながら上方に流れ，噴射器から燃焼室へと噴射される。液体酸素タンクから燃焼室に至る流路にはバルブは存在せず，再生冷却流路も極めて簡素化されている。液体酸素の液面は噴射器よりも下方に位置するため，

タンクを加圧しない限り，液体酸素が燃焼室に供給されることはない。加圧用のヘリウムタンクは三方弁を介して液体酸素タンクとつながっており，供給開始前はガス化した酸素を燃焼室に排気することにより液体酸素タンクの圧力が上昇するのを防いでいる。

燃焼開始の手順は以下のようになる。点火前は，液体酸素タンクでガス化した酸素は燃焼室に排気されており，燃焼室はガス酸素で満たされている。このため，初段ブロックの前端面に取り付けられているニクロム線を通電加熱することにより，容易に点火することができる。このとき，酸素は自然蒸発により供給されているだけなので，推力はほとんど発生しない。点火を確認した後，三方弁を切り替え，ガス化酸素を燃焼室に排気するラインを閉じると同時に高圧ヘリウムタンクから液体酸素タンクに通じるラインを開くと，液体酸素の供給が開始される。実機の場合はこれが打上げの瞬間となるので，この三方弁のことを我々は打上げバルブと呼んでいる。バルブ切り替えにより推力は速やかに立ち上がり，定常燃焼に移行する。

打上げ実証試験

バルブレス供給方式が打上げ環境下でも正常に作動することを確認するため，打上げ実証試験を実施した。機体の概要を図3に示す。全長1.6m，外径89mm，燃焼室内径50mmである。燃焼室には高さ35mmの円柱形アクリルブロックが7個配置されており，その全重量は450gである。

燃焼室の外周部は液体酸素タンクで，エンジン部分の基本的な構造は図2と同じである。450gの燃料を約4秒で燃やし切ることにより，約50kgfの推力を発生する。エンジンの上は打上げバルブで，ハンドル部分は機体の外に出ており，発射台に取り付けられたアクチュエータで打上げバルブを切り替えることにより機体が打ち上げられる。打上げバルブの上はヘリウムタンク，その上はペイロード搭載部である。ペイロード搭載部はシリンダ構造となっており，底部に仕掛けられた少量の火薬により飛び出し，機体頭部のフェアリングを跳ね上げる。跳ね上げられたフェアリングは半割りになり，内部のパラシュートを解放する。機体の初期全備重量は10.5kg，到達高度は安全上の制約から約900mとした。

打上げ実験は2002年3月と2003年1月の2回，北海道大樹町において実施され，共に成功であった。打上げ実験の詳細についてはhttp://www.hastic.jp/camui/default.htmを参照されたい。なお，本機体による教育用途などでの打上げサービスは，NPO法人 北海道宇宙科学技術創成センター（HASTIC，http://www.hastic.jp/）から一般販売されている。

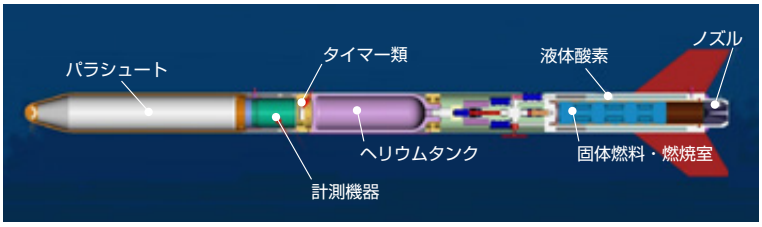


図3　打上げ実証試験機体の構成

実験用小型ロケットへの応用

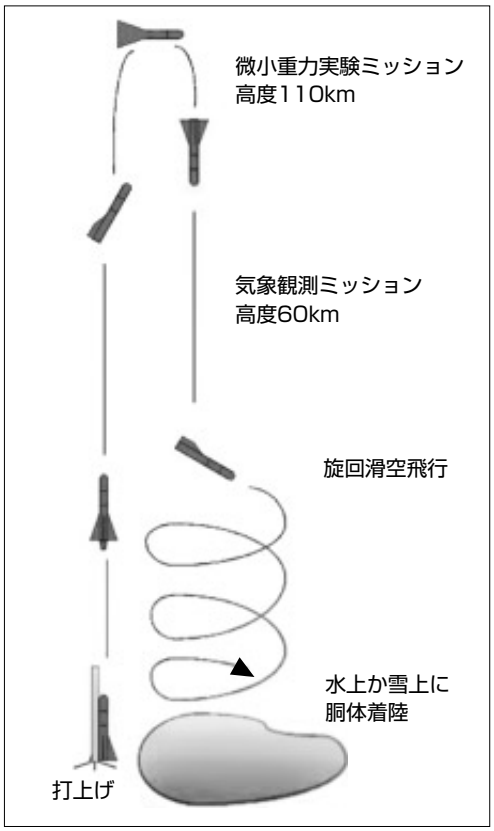
CAMUI型ハイブリッドロケットは，現在，高層気象観測および微小重力実験用小型ロケットへの適用を目指して大型化開発を進めている。ロケット実験の概要を図4に示す。気象観測ミッションでは，4kgの実験装置を高度60kmまで打ち上げ，大気成分のサンプリングを行う。微小重力実験ミッションでは，10kgの実験装置を高度110kmまで打ち上げ，高度70～110kmの弾道飛行の間に3分間の微小重力環境を提供する。

機体には翼が取り付けられており，大気圏突入後は回収地点の周囲を旋回滑空飛行しながら高度を下げる。打上げ時の抵抗を削減するため，可変翼とする。機体にはGPS装置が搭載されており，旋回方向の判断を自律的に行う。最後は，水上もしくは雪上に胴体着陸させて回収する。機体は，推進剤を再充填することにより再使用が可能である。初期重量と回収重量は，気象観測モデルで37kgおよび20kg，微小重力実験モデルで125kgおよび56kg程度となる。それぞれのモデルで0.8m^{2}および2.2m^{2}の翼面積により，共に40m/sの速度で滑空飛行する。燃焼室の内径は，両クラスでそれぞれ145mmおよび230mm，共に固体燃料にポリエチレンを使用し，400kgfおよび1tonfの推力を発生する。

平成17（2005）年度末までに気象観測モデルエンジンの開発を終了し，その後3年程度で微小重力実験モデルの開発を行いたい。打上げ単価は，気象観測ミッションで百万円台，微小重力実験ミッションで数百万円の前半に収まると予想している。

（ながた・はるのり）

図4　ロケット実験の概要



InFOCμS硬X線望遠鏡気球実験

「あすか」衛星など，これまでのX線天文衛星は，10keV以下の軟X線反射望遠鏡を搭載し，世界の天文学にとって重要な発見を重ねてきた。この軟X線領域では，熱的な放射が大勢を占めていた。ところが宇宙では密度が低く，衝突平衡に至る前に加速が進むと，粒子は高いエネルギーまでべき型のスペクトルを持つため，20keV以上で優勢な放射となる。この加速の過程そのものは，地球周辺のプラズマ領域などとも共通する，宇宙物理学の基礎過程である。

しかし，10keV以上の硬X線は十分に反射されず，望遠鏡ができなかった。一方，重／軽，2種の金属をナノメータスケールで積層する多層膜を創成すると，各界面で反射された波面がそろった場合，高い反射率が得られる。しかも，周期長を表層から基板まで徐々に変化させたSupermirrorでは，広い波長域で高い反射率を得られる。我々は白金／炭素を周期長，数ナノメータで20-100層積層し，入射角0.1-0.3度で20-60keVまで反射させることに成功した。

「あすか」，ASTRO-EⅡ用の高効率望遠鏡の反射鏡にこれらを成膜（レプリカ）することで，硬X線望遠鏡を作り上げている。しかし，入射角を0.3度以下にしているため，口径40cmの望遠鏡1台に2000枚の反射鏡を同心円状に配置している。名古屋大学ではNASAゴダード研究所と協力し，実験室でその量産を進めてきた。

これまでの軟X線に比べ透過力の高い25keV以上の硬X線は，40kmの高度に気球で上がれば観測が可能になる。我々は，1996年からNASAゴダードのガンマ線グループと共同気球実験InFOCμSプロジェクトを立ち上げ，名大がNASA/GSFCのX線グループとともに硬X線望遠鏡を製作，焦点面検出器，ゴンドラをNASA/GSFCが製作した。望遠鏡は口径40cm，焦点距離8mのものを1台搭載した。焦点面にはCdZnTeのピクセル検出器を置いた。姿勢は，仰角，方位角を制御する経緯台方式を用いた。

2001年7月5日，米国テキサス州のPalestineから第1回目の飛翔を行った。8mの光学台の初めての制御のため，7時間ほどの飛翔の最後の方で2～3分間だけ白鳥座X-1を視野にとらえ，100カウントほどで撮像集光性能だけは確認できた。

2004年5月31日，米国ニューメキシコ州のFort Sumnerから第2回の飛翔を行った。前回から望遠鏡の改良，検出器の改善を進めた上での実験であったが，仰角制御が動かず，ついに天体を見ることなく地上回収された。しかも回収時に岩山に激突し，装置に大きな損害が出た。

2004年9月16日，同じくFort Sumnerから第3回の飛翔実験を行った。前回の損傷はスペア部品で急きょ補修した。名大からは小賀坂，柴田，田村，吉澤，そしてGSFCの岡島の5人の若手が参加し，活躍した。打上げの数時間後から，A2142，ヘラクレス座X-1，NGC6240，白鳥座X-1，4U0115のポインティングを行った。姿勢が落ち着いていた3天体についてはすでに像も確実に得られ，パルサーからは周期も確認された。現在，すべてのデータについて詳細な解析が進められている。

今回の観測は，世界で最初の本格的な硬X線撮像望遠鏡による天体観測である。我々は，今後もなるべく多くの機会を通じ，硬X線撮像観測実験を進め，硬X線撮像観測技術とともに，硬X線領域の天文学を確立していきたい。その一環として，我々自身の手ですべてのシステムを作るNUSMIT実験をブラジルで行おうと計画している。さらに，この研究は，2011年度打上げを提案している次期X線天文衛星計画NeXTに直接つながるものであり，その先は2015～17年ごろ打上げ目標の国際共同計画XEUSに展開したいと考えている。

（國枝秀世）

宇宙学校・帯広

今年度は宇宙学校を3回，帯広，倉敷，東京で行うことになっていますが，帯広はその初回を飾るものでした。

ここしばらくは，3時限の「QアンドA」と映画のセットでしたが，今年度は「タウンミーティング」という新しい試みを始めました。

「タウンミーティング」，市民と語り合うというものです。JAXAでは，宇宙飛行士のいるところでタウンミーティングを始めましたが，宇宙科学研究本部では初めてです。この試みを入れるために，3時限の「QアンドA」を2時限としました。今まで宇宙学校は，講演から「QアンドA」へと変化してきたわけですが，ここでさらに市民とのやりとりを進めるものになったわけです。

市民との対話を意識したポスターは，講師でもあった黒谷さんがデザインしました。北海道の野原に動物たちと子供たちが集まり，空にはRVT（再使用ロケット）がホバーリングしています。黒谷さんは，この季節の原っぱの色，山の雪などについても工夫を凝らしておりました。前日，帯広十勝空港に降り立つ機中から地上を眺めた筆者は，「あ，黒谷さんの絵のとおりだ！」と，納得したものです。

会場は，駅すぐそばのとかちプラザ・レインボーホール。

「ネクタイはずしてリラックスしていこう」と提案した的川さんが校長先生。最初のあいさつは，成田に着陸後そのまま羽田から帯広入りの鶴田本部長，そして，帯広市長。

1時限目は,「はやぶさ」と電気推進の話をした矢野さんと清水さんペアーが講師でした。2時限目は,太陽系外惑星と宇宙生命の話をした村上さんと黒谷さんペアー。

それから,「M-V宇宙(そら)へ」の映画上映,48分間。

そしていよいよ,2時間にわたるタウンミーティング。司会は平林で,終始,市民の座るフロアで前の方に立ちました。初めに15分ほど,一般的な宇宙の話をしました。大きな宇宙のこと,宇宙が始まったこと,銀河や星ができてきたこと,わたしたちがこうして存在すること,そして,広い宇宙をわたしたちが飛行を続けていること。

それから,鶴田本部長,的川校長と4人の講師が,机なしで壇上から市民と向かい合うという場面設定にしました。壇はそれほど高くないので,緩やかな階段状のレインボーホールで,互いの目線の高さは適正と思われました。

まずは会場からの発言を求めました。それから,次第にさまざまなトピックの塊に変化していくことができました。会場に発言がなくて天使が通ることはありませんでした。そうして,いい雰囲気で2時間が終わりました。

終了後,打上げ懇親会をしました。帯広市長さんも,近くの大樹町の町長さんも出席されました。

これからは,宇宙学校をもっといいものにするための,独断偏見混じる反省,提言です。

「みんなで語る」3時限目の情景
(壇上向かって左よりM,T,M,K,S,Y諸氏)

●「QアンドA」

講師が最初に10分ほど話すことになっていましたが,実際は20分ほどで,講師が2人ですから40分近くを費やしてしまいました。その結果,1時限あたりに受けた質問は10個ほどにとどまりした。講師は手短に要領よく楽しく答える必要があります。もっと質問が飛び交い,やりとりが飛び交うのが好ましいと思います。また,目線を低く,しかも的を射た回答には,高い研究者の質が問われます。

●「タウンミーティング」

いろいろな問題を含んでいます。意義,目的,重要性は? 論ずべき中身は? 大人が対象,あるいは子供? しばらく試行しながら考えていく必要があるでしょう。

「タウンミーティング」という,他所から持ってきた横文字名に微かな抵抗感があります。また,地方にはなじみません。固有のいい名前が欲しいところです。最終便で羽田に向かう機中,ふっと名前が浮かびました。

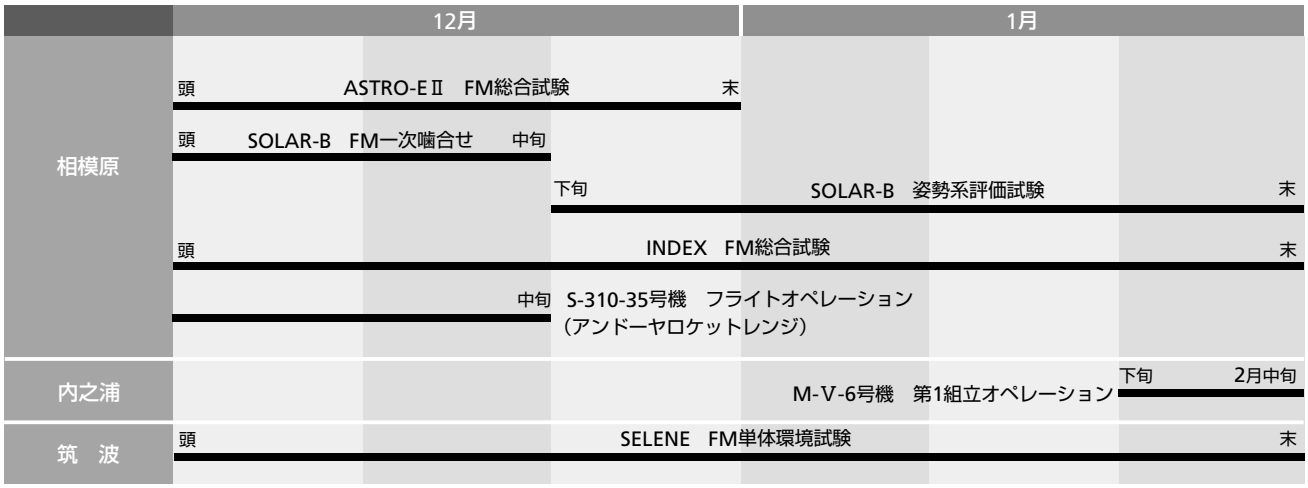
「歌垣」。古来,特別の日に,山や市に集まって遊び,歌い,踊り,男女は心を交わした機会。より優雅には,宮中での多数の男女の雅な歌舞の一つと聞きます。「友垣」という麗しい言葉もありますね。いずれも,垣を結ぶ絆からきているようです。

これは,タウンミーティングの「心を許して語り合う」に近いものですね。宇宙をテーマに宇宙の場で語り合う。それは,「宇宙垣」ではないかと思えたのです。「うちゅがき」と読むと,音は歌垣に近いのですが,真夏の公開日に配った「宇宙わ」の駄洒落(だじゃれ)世界ですね。それよりは,開放的で綺麗な発音,「そらがき」がいいかなと考えました。宝塚「宇宙(そら)組」の例もあります。

電話で的川さんに話すと,「ああ,いいかもしれないねぇ」という「うわの空」の返事でした。「類〔音〕語に「そばがき」がありますね。そば粉をこねただけの正直で素朴な味,これもタウンミーティングみたいじゃないですかぁ?」と,迫る筆者。「つるし柿」も食べられますが,これは「JAXA,しっかりしろいっ!」と,市民につるし上げられるとき。

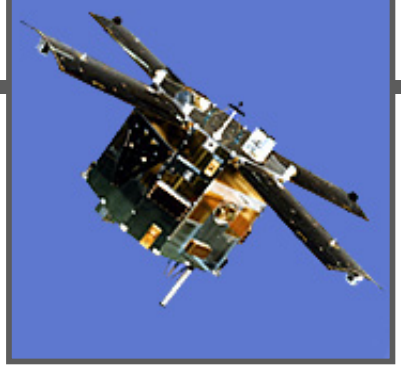
それはともかく,何か考えましょう。 (平林 久)

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(12月・1月)



(FM:Flight Model)

浩三郎の
科学衛星秘話


「あけぼの」

井上浩三郎

磁気圏観測衛星「あけぼの」その1

「きょっこう」,「じきけん」に続く，我が国第3番目の磁気圏観測衛星EXOS-Dが，1989年2月22日8時30分にM-3SⅡロケット4号機によって内之浦から打ち上げられ，近地点高度272km，遠地点高度10472km，軌道傾斜角75.1度，周期211.2分の所定の準極軌道に投入され，「あけぼの（曙）」と命名されました。

多くの人々を惹きつけてやまないオーロラは，地球の上層大気が磁気圏から降り注ぐ数キロ電子ボルトの粒子によって励起され，発光している現象といわれています。当時，5000～50000km上空に，オーロラ粒子を加速し強い電磁波を放射している領域（粒子加速域）のあることが分かっていました。「あけぼの」衛星は，この不思議な領域に突入し，その中でプラズマ諸量を直接測定すると同時に，上空からオーロラの撮影を行うことによって，オーロラ粒子加速のメカニズムを解明しようとするものでした。

「あけぼの」衛星の概要

写真に示すように対辺寸法1.26m，高さ1mのほぼ8角柱の形をしており，重量は約300kgです。4枚の68×121cmの太陽電池パドルを展開し，約280Wの電力を発生します。衛星の姿勢は，スピン安定方式の姿勢制御を採用し，磁気トルカにより常にスピン軸を太陽方向に向け，毎分7.5回転するよう制御されます。

通信系は，「あけぼの」の軌道から考えて通信回線に広いダイナミックレンジが要求され，そのため送信電力は4段切り替えが行えるようになっています。またこの衛星には，多くの技術開発が盛り込まれています。例えば，複雑な衛星システムの中枢頭脳となるDHU（データハンドリングユニット）と，これに結合するサブシステムがコンピュータ化されており，60Mbits記憶素子にバブルメモリの採用，そして3mと5mのセンサー搭載用のブーム，シンプレックスマスト，4本の30mワイヤーアンテナの伸展，さらにオーロラカメラ用制御テーブルの設置などです。また帯電や放電の過酷な状況に対処するために，全面を導電性に保つための細心の技術的配慮がなされています。

写真1　KSC第1可視。緊張の中で衛星の健康状態をチェックする「あけぼの」チームの面々

観測器はオーロラに関連した磁気圏の物理現象の解明のために，紫外線撮像カメラ（ATV）をはじめ合計8個が搭載されています。

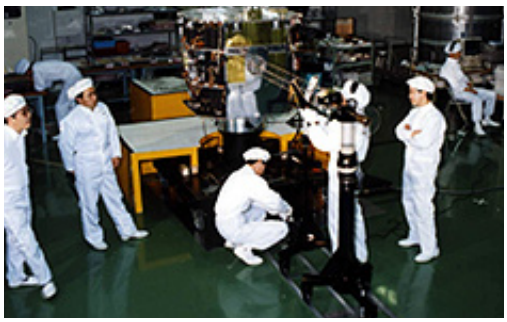


写真2　伸展マストの試験風景

機器の動作状況

所定の軌道に投入された「あけぼの」は，発射後462秒にキックモータの分離を行い，476秒にはヨーヨー・デスピナの作動により，衛星のスピンを毎分6.3回に落としました。

その後，南極昭和基地で衛星電波を受信し，テレメータ情報から9時30分39秒（日本標準時）に太陽電池パドルの展開が正常に行われ，衛星のスピンが毎分4.7回になったことが確認されました。

KSC（鹿児島宇宙空間観測所，現在の内之浦宇宙空間観測所）の第1可視（17時30分～18時44分）では，衛星の動作はすべて正常で，アンテナやマストの伸展作業が3月4日から3月9日にわたり順調に行われました。これによりいくつかの機器の観測が可能となりました。高圧電源投入は，衛星内部からのアウトガスや過去の経験を考慮して，打上げ後約1ヶ月の3月27日から4月3日にかけて慎重に行われました。

「あけぼの」の観測装置は多くの高圧電源を使用しており，軌道上の高圧投入時に放電事故を引き起こす危険性をはらんでいるため，投入方法も低い電圧から徐々に上げていくなどの手順を踏まえて実行されました。そして今回，放電に対する保護として初めてパリレン（商品名）という高分子材料の薄い膜によるコーティングが試みられました。その結果，一部に初期放電とおぼしき現象が見られましたが，ほぼ正常に作業を終了することができました。以上のように一連の動作を順調に終えた「あけぼの」は，定常観測に入りました。

（いのうえ・こうざぶろう）

宇宙の人

3人目

宇宙の巨人
～かみのけ座銀河団～

高エネルギー天文学研究系日本学術振興会特別研究員　古庄多恵

この世で大きいものってなんだろう？　小錦？　ぞうさん？　東京ドーム？　太平洋？　地球？　太陽？　あ，太陽系かな？　じゃあ，この太陽系の次に大きいもの，と言ったら思い付くだろうか？　それは，よく知られている天の川，すなわち私たちの銀河系である。銀河系は太陽のような星がなんと1000億個もいる巨大な星の「かたまり」なのだ。ここで，銀河系が宇宙で一番でっかいのかぁ，と納得してしまうのはまだ早い！　一般的にはあまり知られていないが，宇宙には銀河が数十個から数百個も集まってたむろしている「銀河団」というものがいるのだ。しかも，これまで分かっているだけでも，宇宙には軽く1万個を超える銀河団が存在している。

さらに大きいスケールで見ると，そういった銀河団がいくつか列になって並んでいる場所と，逆に銀河団がまったくないような空間とに分けることができる。これは宇宙の大規模構造と呼ばれるもので，銀河団が集まっている部分を超銀河団と呼び，その数はまだ両手で数えられるほどしか見つかっていない。超銀河団を構成する核となる場所には巨大な銀河団が居座っているのだが，その中でもダントツで大きいのが「かみのけ座銀河団」である（図1）。この銀河団の中には約1000個もの銀河が存在する（星の数にして約100兆個，星の数ほどあるとはまさにこのことだ）。分かりやすく身長と体重で言うと，身長は小錦の100兆×10兆人分，体重は小錦の100兆×100兆×100兆人分，ということになる（小錦の身長と体重を2m，200kgとして計算）。と言われても，分かりやすいどころかまったく想像が付かないだろうが，それくらいめちゃくちゃデカい！！のだ。

しかし，そんな宇宙の巨人「かみのけ座銀河団」も，初めから大きかったわけではない。では，いったいどうやってここまで大きくなったのだろうか？　世界に名の通るような巨大企業を想像してほしい。どんな大企業も，初めはせいぜい社員数人のごく小さな会社だったはずだ。それが，会社の力が強まってどんどん社員が増えて中小企業となり，次には自分より小さい企業を吸収して大企業となり，さらには同じ程度の大企業と合併して超巨大な企業となっていく。銀河団も同じである。初めは数個の銀河同士が重力で引かれて集まり，さらに重力が強まってどんどん銀河が増えると，銀河群（銀河数個の集まり）を吸収して小さな銀河団が生まれ，ついには銀河団同士が合体して超巨大銀河団になっていくのである。

企業がただの人間の集まりではなく，人々の働く意欲で満たされているように，銀河団もただの銀河の集まりではなく，銀河と銀河の間の一見何もないような空間は熱いガスで満たされている。これを銀河間ガスと呼び，巨大な銀河団ほど熱い。かみのけ座銀河団ではなんと1億度もの超高温だ。これほどの温度のガスは目に見えるような光ではなく，「X線」として輝いている（図2）。企業も，事業がうまくいかず社員の労働意欲が冷めてしまったり，新企画の発足に熱い闘志がみなぎったり，吸収合併といった大きな変化が起こると混乱したり対応にもめたりするように，銀河間ガスもその成長に応じて温度や密度分布が変わったり，一時的に乱れたりする。従って銀河間ガスの様子を調べる＝X線天文衛星で観測することで，銀河団の歩んだ歴史が分かる。少し前までは，ほとんどの銀河団はもはやこれ以上は成長しない落ち着いた状態にあると考えられていたが，近年のX線観測により，ほとんどの銀河団がまだ成長し続けていることが分かってきた。超銀河団の中心にどっしりと腰を落ち着けているように見える「かみのけ座銀河団」でさえ，最近の衝突による温度ムラがあり（図3），さらに新たな吸収合併をもたくらんでいるのだ（図2）。

我々JAXAも昨年大きな合体をしたばかりだが，銀河団に見習って確実に，よりよい成長をしていきたいものである。　（ふるしょう・たえ）

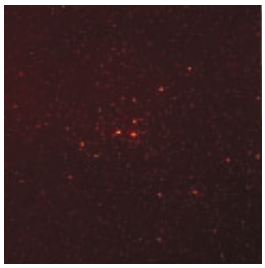


図1　Digitized Sky Surveyによる可視光で見たかみのけ座銀河団
点に見えるのは銀河で，約1000個もの銀河が集まっている。

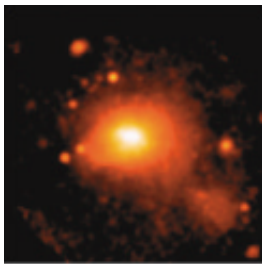


図2　ROSAT衛星によるX線で見たかみのけ座銀河団
可視光では何も見えないところも広がった銀河間ガスで満たされている。これからまさに吸収・合体すると考えられるガスの塊（右下）があった。

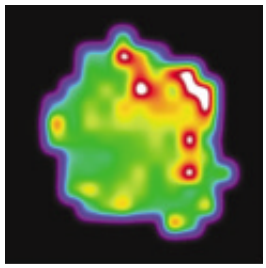


図3　あすか衛星から得られた銀河間ガスの温度マップ
最近の衝突合体の証拠となる非常に高温の領域（右上）が見つかった。

手渡しで育まれた文化

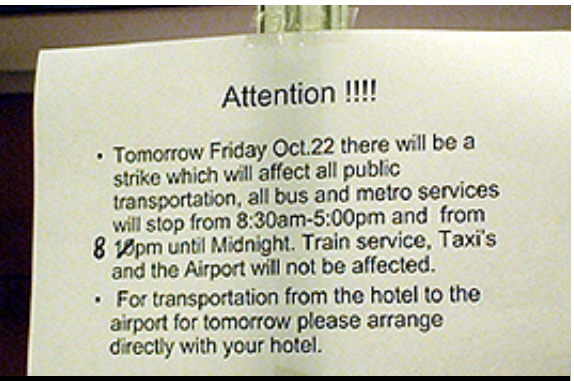
ローマ

尾崎正伸
高エネルギー天文学研究系助手

10月16日から22日にかけてローマで行われたIEEE（電気電子学会）の2004 NSS-MIC international conference という会議に出席した。ASTRO-EⅡ衛星の放射線バックグラウンド環境を評価するためのシミュレータの報告が目的である。ソフトウェアの研究発表はハードウェアやデータ解析のそれと比べ具体的な成果物を見せにくいという性質があり，また具体的な成果はソフトそのものよりもハードやデータ生成の成果として発表されることが多い。今回の会議の諸発表を見ても，同様の傾向が感じられた。ソフトの仕事を広めて使ってもらうには，いっそこの傾向に便乗して，成果物や使い方ノウハウを引用しやすい形で積極的に整理公開するという手法が有用なのかもしれない。

ローマの印象

「学会発表でローマに行く」と言うと，皆一様にうらやましそうな顔をした。世間一般ではどうやらあこがれの都らしい。しかし学生時代を通して社会科の成績が悪く，文化芸術にも興味がなかった身としては，どうにもピンとこない。観光ガイドを見ると「スリに注意」「釣り銭サギに気をつけろ」と，悪いイメージばかりが募っていく。そんなろくでもない先入観にまみれながらも，ヨーロッパ文化の屋台骨ともいうべき都市の空気につかってきた感想を記してみる。



会議最終日の翌日，帰国の日にストが決行された。しかし，程よい大きさにすべてを収めた都市は，きっとこの影響も柔軟に吸収してしまったことだろう。

つかってきたといっても，仕事で行っているので観光など当然ほとんどできていない。それでも，食事のために街を歩き回るその間に目に入ってきたローマは十分に刺激的だった。

ローマはイタリアにあり，イタリア人といえば「陽気なラテン系」が定型句だ。が，どうもこれは違うのではないかと思う。短い期間ながらイタリア人を眺めた感想は「良くも悪くも子供のような」だ。彼らは感覚に重きを置いて行動し，規則にルーズだ。誰にでも気さくに話し掛ける。口頭伝達を好み，掲示というものをあまりしない。感情をあまり隠さない。他人がどう思うかは事前にあまり斟酌（しんしゃく）しない。そして基本的に元気で親切だ。人といわず車といわず交差点では誰もが突進し，バス停には運行時間も書かれておらず，タクシー運転手は歌いわめき時にぼったくり，地下鉄は落書きにまみれ，自転車から地下鉄まで運転が荒い。通貨切り替えで便乗値上げが続発したらしいし，給料上げろと観光都市でストを打つ。

イタリアはまた，アートな国だという。これには深く同意する。ローマだから通りを見回せば名所旧跡だらけということは置いておくとして，内装の質感がどこもかしこも素晴らしい。会議場であるホテルや町中のレストラン，タクシー（真新しいものに限る）などは，いずれも上質の布や木に覆われ，可能なところは人に寄り添う曲線を描く。色使いは一見無造作に原色だらけなのに破綻（はたん）をきたさず見事な調和を成し，注意深く見るとどの色もこれ以外にあり得ないという絶妙な色調をピンポイントで押さえている。そして食事は安くて多くて，奇をてらわず，しみじみとうまい。イタリア人がそれらを特段気負う様子も見せず，それどころか認識しているふうすらないところを見ると，これらは完全に生活文化の一部なのだろう。明治以前に日本に渡ってきてさまざまな驚きを記した外国人たちが感じたのは，あるいはこのような感覚なのかもしれない。

積み重なる時

人々の大ざっぱさと文化のつくり込みは，実は密接に結び付いているのではないか。滞在中も帰国してからも，時々ぼんやりと考える。わたしたちが過ごすこの社会は，長年にわたって蓄積された文化文明の産物だが，その多くは世界中との緊密な情報交換の成果でもある。ものの考え方も，料理も建物も風俗も法律にしても，世界のさまざまな情報交換の結果として存在している。この情報交換は活版印刷の発明とともに飛躍的に増大し，近年まで当然これによるものが圧倒的な割合を占めていた。そして現在でも文字や音声，映像による遠隔通信が主流だ。

しかしローマは，これよりはるか以前から文化の発信地として存在し続けてきたはずだ。そして現在に至るまでカトリックの総本山として，変わらずヨーロッパ文化のハブの位置を占め続けている。そういう，自らの内から中身のほとんどを紡ぎ出してきた文化は，自然と人と人との直接のやりとりによる情報交換で練り上げられてきたに違いないし，そんな環境では明文化という大人の方法はあまり推し進められず，自然と阿吽（あうん）の呼吸で物事を進めていく割合が残るのではないか。そんな，文章よりずっと濃厚なコミュニケーション手段で伝えられてきたものは，言葉では表し切れない微妙なニュアンスまで受け継がれ，世界に冠たるアートを生み出したのではないだろうか。

ところで，学術活動というのもアートの一つだ。情報技術が発達し，離れた場所との情報のやりとりが格段に簡単になった現在だが，それでも大学や研究所という施設に人を集め，また機会を設けては世界の各所にわざわざ集まる意義は，きっとこの辺りにあるのだろうと思う。（おざき・まさのぶ）

宇宙政策研究者の孤独

鈴木一人
筑波大学大学院人文社会科学研究科
専任講師

宇宙開発を国際政治学から見る

最初に断っておかなければならないが，私は国際政治学者という宇宙開発の世界では一風変わった専門でやっている。これまで宇宙開発は，政治学者にとってあまりに技術的かつ複雑な世界であり，とうてい文系の人間には太刀打ちできないものと考えられてきた。しかし，実際のところ，宇宙開発はとても政治的な事業であり，紛れもなく政治学のテーマになり得るものである。宇宙開発のそもそもの始まりには軍事的な目的もあったし，宇宙開発が飛躍的に発展したのも，冷戦という状況があったからである。とはいえ，我が国では原則として軍事的なツールとしての宇宙開発を行わず，外交戦略の一環としての宇宙開発という位置付けもなされてこなかった。それ故，宇宙開発に関心を持つ政治学者はほとんどおらず，独り寂しく研究にいそしむ結果となっている。

ただ，あえて言うならば，欧米諸国においても学問として宇宙開発を国際政治や政治学の観点からとらえている人は意外と少ない。日本でも有名なジョージ・ワシントン大学のジョン・ログスドン教授も，元はといえば物理の専攻であり，いろんな経緯を経て宇宙政策分析にかかわることになった人である。純粋に政治学の訓練を受けて宇宙開発をやっている学者は，かなり少ないのが現状である。

宇宙政策研究者の今

同じ研究分野の人がいないというのは，良い面と悪い面がある。良い面は，どんなに若く実績が少なくとも，宇宙開発の世界では政治学での第一人者と認めてもらえることである。ある意味では珍獣に似た扱いになるのだが，ほかの人とは異なる視点を提供することとなり，重宝されることが多くなる。

悪い面はいくつかあるのだが，第一に本業の政治学の分野ではなかなか理解されないということである。政治学から見れば宇宙開発は貿易問題のごく一部，安全保障のごく一部，財政政策のごく一部にすぎない。学会報告や論文を書くときも，なぜロケット開発が重要か，衛星はどんな役に立つのかというところから説明しなければならないもどかしさがある。

第二に，研究が理解されないということは，研究仲間がいないということになる。政治学の世界はかなり分業がはっきりしており，テーマの類似性によって研究グループが形成される。私はもともとヨーロッパの宇宙開発を専門にしてきたので，ヨーロッパ研究というグループには属するが，そこで宇宙の話をしても理解されないため，いろいろと手を変え品を変え研究発表を行っている。

第三に，その結果としてやたらに忙しくなるということがある。宇宙開発の分野からは政治学者としての意見を求められ，専門の政治学の分野では宇宙開発＋αの仕事をしなければならなくなる。大学でも「国際政治経済学」「国際機構論」といった宇宙の話だけでは間が持たないような講義を担当しているため，広くイラク問題から郵政民営化の話までやらざるを得ないのが現状なのである。

宇宙政策研究者を育てよう

こうした孤独を解消し，仕事の負担を減らすにはどうしたらよいか。それは宇宙政策の研究をする学生・院生を育てることである。宇宙開発のための教育・アウトリーチは大きな課題であるが，科学者を育てるだけでなく政治学者も並んで育っていかなければ，我が国における宇宙開発の前途は暗い。その意味で，この原稿を依頼されたのが的川先生からであり，国際宇宙大学（ISU）のシンポジウムの席であったということは意味深なものがある。当面，宇宙政策を勉強する院生は，私が独力で育てなければならないのかもしれない。だが将来的には，JAXAが進める教育プログラムの一環として，またISUなどの国際的な場で，そうした学生を育てていくことを，我が国における宇宙開発を進めていく上でも，私の仕事を楽にし孤独を解消する上でも，ぜひ進めてもらいたいものである。

（すずき・かずと）

ゼミで行っている国際会議シミュレーションの様子。学生が各国大使になりきって，外交交渉を行うというシミュレーションであるが，残念ながらこのときはイラク復興に関する国連安全保障理事会での交渉がテーマであった。右端が筆者。

宇宙・夢・人

開発と教育を結ぶ

宇宙探査工学研究系助教授
水野貴秀

みずの・たかひで。1964年，岡山県生まれ。横浜国立大学大学院工学研究科博士課程後期電子情報工学専攻修了。専門はマイクロ波工学。1993年，マサチューセッツ工科大学客員研究員。1994年，宇宙科学研究所助手。1999年，助教授。月・惑星着陸用レーダーの開発，小型衛星INDEXのサブプロジェクトマネージャーを務める。

――月や惑星への着陸技術を開発しているそうですね。

水野：私が担当しているのは惑星着陸機に搭載する着陸用レーダーです。現在検討されている月着陸機の場合，軌道上から月面へ向かって斜めに降下し，着陸地点の真上10mくらいから制御を切ってストンと垂直降下することを検討しています。着陸用レーダーは，高度約3500～10mの間，着陸機の高度と速度を測り，制御系へデータを送ります。必要な測定精度は，速度が秒速10cm，高度も10cmくらいと厳しいものです。横方向の速度も正確に測って制御し，最後は真っすぐに降下しないと，着陸脚に大きな負担がかかってしまい，うまく着陸できません。

――どのようにしてレーダーで高度と速度を測るのですか。

水野：私たちは，ナノ（10億分の1）秒単位の瞬間的なパルス電波を発射するパルスレーダー方式を選択しました。ある決まった波長のパルス電波を地表へ発射して，戻ってくるまでの往復時間から高度を，ドップラーシフトによる波長のずれから速度を測定します。横方向の速度を測るため，垂直から30度傾けた方向へもパルス電波を出します。

しかし，100nm（1000万分の1m）の細さで発射したパルス電波のビームが，10倍以上に広がって戻ってきます。そのどこをとらえれば，高度と速度が正確に分かるのか。広がったパルス電波から精度よく高度と速度を導き出す技術を開発しています。

例えばアポロ計画では，月面に着陸すること自体が大きな目的だったので，着陸しやすい平らな地形を選びました。しかし，科学的に面白い場所はたいてい危険な場所です。安全性の観点ではクレーターの外に着陸したいのですが，理学系の研究者は，クレーターの真ん中にある，地中の物質が露出した場所を見たいと要求する。そこは石ころがごろごろしていて，着陸には危険な場所なんですが，私たちはその中でも比較的安全な場所をピンポイントで選んで着陸する技術を開発しているのです。

――今後，レーダー技術をどのように発展させていきたいですか。

水野：波長の短い電波であるミリ波やサブミリ波を使ったレーダーで，惑星表面の3次元地形図を精度よく描いてみたいですね。とにかく衛星搭載用として役に立つものを作りたい，という気持ちが一番強いです。

――もともと工学系に興味があったのですか。

水野：工夫して細かいものを作り上げていくことが好きですね。大学時代は陶芸に熱中して，自分で煉瓦を積んで窯まで作りました。窯の温度が上がって器に塗った釉薬（ゆうやく）が溶けると，朝日のようなきれいな色で光り輝きます。その光り輝く焼き物の様子を見た人は，みんな陶芸に取り憑かれてしまう。自分がデザインして，最初は土くれだったものが形あるもの，使えるものになる。ものができあがってくる喜び。それが僕の心には，この上なく素晴らしいこととして響くのです。

――小さいころの，もの作りの思い出は？

水野：小学校1年生のとき，夏休みの宿題でカブトムシの飼育箱を作りました。僕はカブトムシが土の中に潜る習性を知っていたので，飼育箱に土を入れておきました。しかし学校に持っていくと「水野君，土はいらないんじゃないの？」と先生に言われた。僕は口数が少ない方だったから，「そうですか」と言ったきり反論しませんでした。すると2～3日して，先生がわざわざ私の家まで謝りに来てくれたんです。「調べてみたら，カブトムシは土に潜ることが分かった。僕が不勉強だったために，貴秀君にあんなことを言ってしまった」と。小学校のほかの先生はあまり覚えていないのですが，その西村先生のことはよく覚えています。すごくいい先生でしたね。

――今は，ご自分が先生の立場ですね。

水野：着陸用レーダーの開発に加えて，オーロラを観測する小型衛星INDEXのサブプロジェクトマネージャーとして学生を指導しています。INDEXは若手技術者・科学者の育成も重要な目的の一つです。学生と一緒にもの作りをするのは，とても楽しいですね。話をしたり，いろいろな作業をさせるうちに，学生の興味や能力，そして性格が少しずつ分かってきます。実際の搭載機器開発や衛星プロジェクトの中で，それぞれの学生の興味や能力に合った適切なレベルの課題を見つけるのは簡単なことではありません。しかし，責任ある良い課題を与えると，実プロジェクトの緊張感の中で学生はあっという間に実力を付ける。若い力に驚かされます。学生が成長する姿を間近で見られることに，教育者として喜びを感じます。すごくうれしいですね。

ISASニュース No.285 2004.12 ISSN 0285-2861

発行／独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部
〒229-8510 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL: 042-759-8008

本ニュースに関するお問い合わせは，下記のメールアドレスまでお願いいたします。
E-Mail：newsedit@adm.isas.jaxa.jp
本ニュースは，インターネット
（http://www.isas.jaxa.jp/）でもご覧になれます。

＊本誌は再生紙（古紙100%）を使用しています。

R100 古紙配合率100%再生紙を使用しています

編集後記 早いもので2004年12月号のお届けです。今月号のキーワードは「育てる」でしょうか。研究者・技術者しかり，ロケット・衛星しかりですね。宇宙学校も新たなスタイルへと進んでいます。2005年が素晴らしい年になりますように。

（久保田 孝）

デザイン／株式会社デザインコンビビア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト