ISSN 0285-2861

▲ 遠山文部科学大臣本所視察（撮影：杉山吉昭，本文記事参照）

〈研究紹介〉

宇宙機の熱設計

宇宙科学研究所　小川博之

1．はじめに

私はこの4月で宇宙研に赴任して4年になります。元々は数値流体力学が専門で，今も研究を行っていますが，その他にもこの4年間にはいろんな仕事をさせていただきました。その中の一つに宇宙機の熱設計があります。今回は宇宙機の熱設計についての一般的な話を書こうと思います。

2．熱設計の目的

宇宙機に搭載される機器には，ミッション期間中正常に機能するために必要な「温度範囲」があります。例えば，一般に電子機器は作動温度が高温になると寿命が短くなりますし，バッテリは低温すぎても高温すぎても寿命が短くなります。光学センサなど，高温になると所定の性能を発揮しない機器もあります。宇宙機熱設計の目的は，打ち上げからミッション終了まで，各機器の温度を所定の温度範囲内に保つことです。

3．宇宙機の熱環境

地上では，宇宙機とその搭載機器の温度は周囲の空気の温度に支配されており，環境温度の制御も容易な為，通常「熱設計上」問題となることはありません。

宇宙機の打ち上げ時には，空気との摩擦および太陽光によって加熱されたフェアリングからの輻射伝熱とフェアリング内部の対流伝熱によって宇宙機が加熱されます。フェアリング開頭後は，空力加熱と太陽光直射，後に述べる地球アルベドと地球赤外輻射により，宇宙機は直接加熱される他，－270℃の宇宙空間への輻射伝熱により冷却されることになります。場合によっては，キックモータや最上段モータのプルームによる輻射加熱やモータケースからの熱伝導による加熱を受けることもあります。

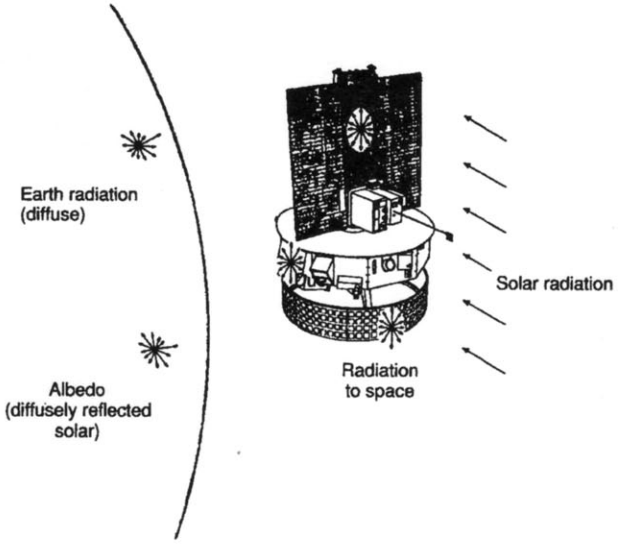


図１：宇宙機外部熱環境

宇宙空間軌道上の宇宙機は，図1に示すように(1)太陽光直射，(2)惑星アルベド，(3)惑星赤外輻射による熱入力を受けます。太陽光直射の熱流束は，太陽から1天文単位の距離において約1.37kW/m^2 です。惑星アルベドは太陽光が惑星で反射される割合で，惑星表面の状態によって異なりますが（地球の場合ですと，海，森林，雪氷，雲などによって異なります），熱設計解析では通常は平均値を用います。例えば地球は0.3，水星は0.06です。惑星赤外輻射はその名の通り惑星からの輻射ですが，熱設計解析では簡単の為，惑星を平均温度（地球は254K）の黒体と仮定して計算を行います。ただし水星および地球の月は，大気が無く自転周期が長い為，惑星（衛星）を1温度と仮定することができないので注意が必要です。

宇宙機からの熱出力は，－270℃の宇宙空間へ輻射伝熱によりなされます。

宇宙空間軌道上における熱入力，および宇宙空間への輻射熱伝達係数は，太陽と地球，宇宙機の位置関係で決まります。これらはTRASYS，NEVADA，RADCAD，ESARAD等の市販のプログラムで計算できます。それぞれ一長一短がある為，私はTRASYSとRADCADを使用しています。

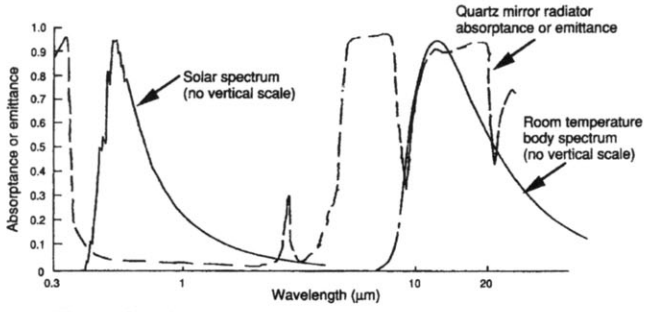


図２：太陽光スペクトルと室温の黒体輻射スペクトル。
破線はOSRの光学特性。

4．αとε

宇宙機全体の温度レベルは，図1に示すように，宇宙機が発生する熱，外部環境から受ける熱，および宇宙機から宇宙空間へ輻射で排出する熱のバランスで決まります。したがって熱設計においては，外部環境から受ける熱と宇宙空間へ排出する熱のマネジメントが重要なポイントです。

図2は太陽光スペクトルと室温の黒体輻射スペクトルを示したものです。それぞれのスペクトルが異なった波長領域に現れています。このことを利用すると，外部環境から受ける熱と宇宙空間へ排出する熱の比率を変化させることができます。例えば，図2において破線で示されているのは放熱面によく使われる鏡（OSR＝Optical Solar Reflector）の光学特性ですが，太陽光の波長領域では吸収率が低く，室温の波長領域で吸収率が高いことが分かります。キルヒホッフの法則により，ある波長における輻射率と吸収率は等しいですから，OSRは太陽光をよく反射し（吸収しない＝反射する），室温の波長の赤外線をよく輻射する光学特性であることが分かります。宇宙機の熱設計では，太陽光の波長領域における吸収率をα，宇宙機の温度の波長領域における輻射率をεと呼んでいます。表1に代表的な物質のα，εを示します。これらの物質を組み合わせることにより，宇宙機の熱の入出力を制御することができるわけです。

5．MLI

人工衛星表面に張られている金色の面，そのほとんどが多層断熱材 MLI（Multi-Layer Insulation）の表面です。MLIは機器と宇宙空間，あるいは機器間の輻射熱結合を小さくするために用います。MLIはアルミ蒸着フィルムとプラスチック製メッシュを交互に10層ほど積層したものです。輻射率の小さいアルミ面を，フィルム間の熱伝導をなるたけ小さくしながら重ねることにより，断熱効果を著しく高めることができます。MLIの断熱性能は，理論的にはフィルム枚数に比例しますが，現実にはメッシュなどを通しての熱伝導があるために，ある枚数以上では熱伝導が支配的になり，それ以上枚数を増やしても断熱性能は上がりません。

表１：代表的な太陽光吸収率αと赤外輻射率ε

表面物質	α	ε
OSR	0.07	0.79
白色塗料	0.17	0.92
黒色塗料	0.95	0.87
アルミ蒸着面	0.12	0.03

6．熱伝導材料

宇宙機内部の温度は，輻射伝熱と熱伝導によって支配されます。輻射は上述のように表面特性やMLIによって制御できます。熱伝導による熱の流れは適切な熱伝導率をもつ材料を使用することにより制御できます。熱伝導率の大きい材料にはアルミ・銅など，熱伝導率の小さい材料にはGFRP，高分子材料などがあります。

7．ヒータによる温度補償

これまでに述べた表面材料，MLI，熱伝導材料による熱制御方法だけでは，宇宙機の温度が外部からの熱入力と内部発熱量によって一意に決まってしまいますから，例えば，日陰に入る，消費電力が変化する，太陽光強度が変化する，表面特性が劣化するなどの熱的変動に対応できないことがよくあります。その場合には，通常は機器の温度上限を超えないように熱設計しておき，温度下限を超えないように電気ヒータで保温することで対処します。

8．熱解析

宇宙機の熱設計では，宇宙機を構成している部品や要素，構体の各部分に適当な数の節点を配置し，それらを結ぶ熱流路を考えてその伝熱コンダクタンスを定め，宇宙機に加わる，および宇宙空間に流出する熱流を対応する節点に配分して熱回路網を作って，熱解析を行います。各節点は固有の熱容量をもちます。伝熱コンダクタンスには(1)輻射コンダクタンス，(2)接触コンダクタンス，(3)熱伝導コンダクタンスがあります。(1)はTRASYSなどで計算でき，(3)は手計算で求めることができます。(2)は経験則で予測しますが，精度がよくない為，試験で確認する必要があります。

作成された熱回路網は市販のプログラムで解析します。SINDAやESATANなどがありますが，私はSINDAを使用しています。

9．熱設計の例：水星探査機

宇宙機の軌道，姿勢条件，機器の消費電力，機器の温度条件，機器の搭載場所が示されると，これらの要求条件を用いて熱数学モデルを作成し，光学特性や熱伝導材料を変えて，解析検討を要求条件が満たす最適な熱制御方式を決定するまで行います。ここが熱屋の腕の見せ所の一つです。

図3は現在進めている水星探査機の熱設計の結果です。地球近傍の11倍もの太陽光熱入力がある厳しい熱環境においても，熱解析の結果では搭載機器温度は−20〜＋63℃に保たれています。

現状は熱設計の基本的構想が固まった段階ですが，これから探査機システム設計の進行とともに詳細な検討を行っていきます。（了）

（おがわ・ひろゆき）

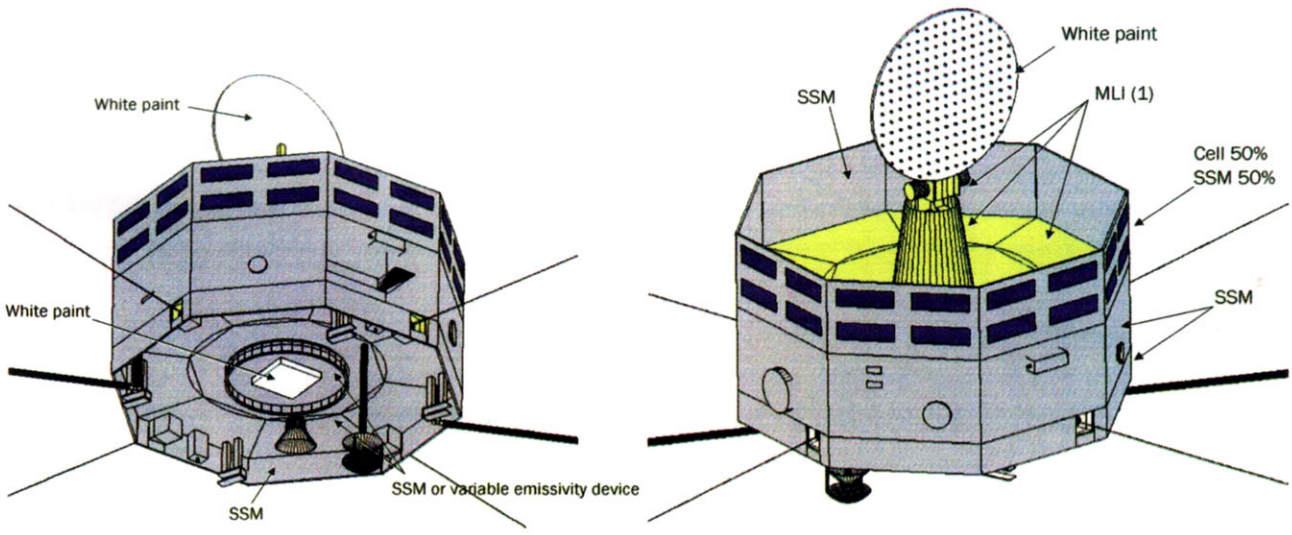


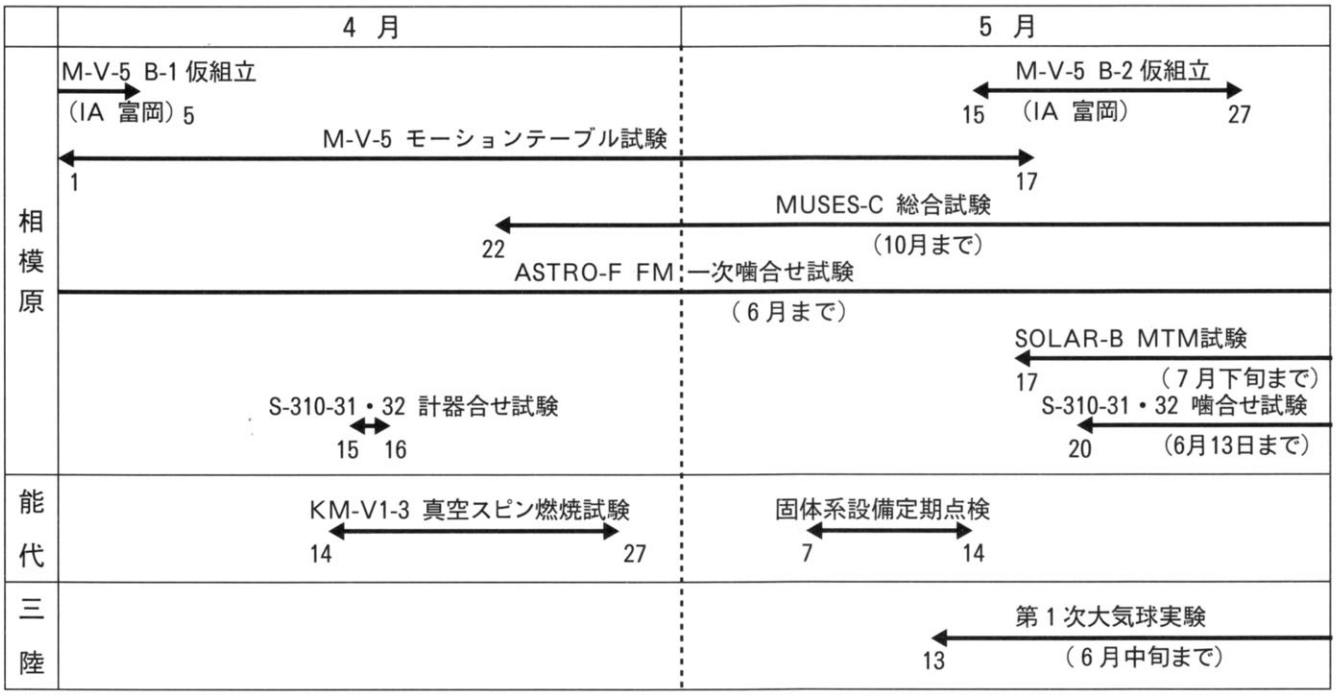
図3：水星探査機熱設計結果。SSMは Second Surface Mirror の略で OSR と同じもの。

お知らせ

★人事異動（教官）

発令年月日	氏　　名	異動事項	現（旧）職等
		（採　用）	
14. 4. 1	竹内伸介（たけうちしんすけ）	宇宙輸送研究系助手	
〃	羽生宏人（はぶひろと）	宇宙推進研究系助手	
		（昇　任）	
14. 4. 1	今村　剛	惑星研究系助教授	惑星研究系助手
〃	笠羽康正	惑星研究系助教授	宇宙科学企画情報解析センター助手
		（転　入）	
14. 4. 1	中村正人（なかむらまさと）	共通基礎研究系教授	東京大学大学院理学系研究科助教授
		（併　任）	
14. 4. 1	小林康徳	次世代探査機研究センター長 （併任の期間は平成15年3月31日まで）	次世代探査機研究センター教授
14. 4. 1	長瀬文昭	宇宙科学企画情報解析センター長 （併任の期間は平成15年3月31日まで）	宇宙科学企画情報解析センター教授
		（名称変更）	
14. 4. 1	中谷一郎	対外協力・連携推進室長	対外協力室長
〃	的川泰宣	対外協力・連携推進室教授	対外協力室教授
〃	竹前俊昭	対外協力・連携推進室助手	対外協力室助手
		（定年退職）	
14. 3.31	市川行和		共通基礎研究系教授
〃	齊藤猛男		宇宙推進研究系教授

★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（4月・5月）



ISAS 事情

★遠山文部科学大臣本所視察

（表紙写真）

2月25日，遠山文部科学大臣が本所相模原キャンパスを視察された。今村研究開発局長以下の随行であった。

各主幹との昼食，松尾所長による所の概要説明に続き，所内視察にうつり，太陽観測衛星「ようこう」のデータ解析室，飛翔環境試験棟でMUSES-C衛星の本体組立調整作業，SOLAR-B衛星の望遠鏡の組立調整作業等をご覧になった。

ちょうど作業中の衛星実機を見て頂けたことは幸いであったし，DASHの件の後の志気を鼓舞するとの目的も果たされ，帰路に就かれた。　（松尾弘毅）

★宇宙3機関統合準備会議最終回（第7回）

標記会議が平成14年3月27日に開かれ，昨年12月に新機関の機能・役割について中間まとめがなされたのに続いて，前号で述べたように新たに組織の骨格の在り方が加えられて，最終報告とされた。特に宇宙科学研究の在り方については，以下の様に重要な記述がなされている。

・宇宙科学研究所が大学共同利用機関として培ってきた世界最高水準の宇宙科学研究と大学院教育協力を通した研究者・技術者の人材育成機能を，新機関に承継し，更に発展させることが必要であり，これらの役割・機能が十分果たせる組織編成とするべきである。

・全国の国公立私立大学や国内外の研究者コミュニティの研究者が集まり，研究計画の選定はもとより研究成果の評価について厳しいピアレビューを行いつつ，共同研究を進める体制を構築するべきである。また，研究者の人事についても同様にピアレビューによって広範なコミュニティの中から優れた候補者を選考し新機関の長に推薦する「大学共同利用」システムを制度的・組織的に整備することが適当である。

（中略）

なお，新機関の長は，これらの「大学共同利用」システムによる組織運営を尊重すべきである。

・「大学共同利用」システムによる組織運営が行われる宇宙科学研究・教育に関する業務を行う組織に，大学院教育協力に関する役割・機能を担わせ，責任を持って大学院教育協力を行わせることが適当である。大学院教育協力の実施に当たっては，新機関の宇宙科学研究以外の研究開発を担う組織の研究者についても，「宇宙科学運営協議会（仮称）」における選考を経て，宇宙科学の諸分野における大学院教育協力に積極的に参画するよう努めるべきである。

これにより基本が定まり，新年度にかけて具体的な検討を深めて行くことになる。　（松尾弘毅）

★M-24SIM-3大気燃焼試験

本試験はM-V型ロケットの信頼性向上のために企画された一連の燃焼試験の3回目であった。対象となるモータは，平成15年度夏期に打ち上げられるM-V 2号機第2段に使用されるM-24モータである。過去2回の

M-34-3TVC および M-14-3TVC では既に製造されていた飛翔用のモータをそのまま燃焼試験に供したが，今回は，打ち上げが中止となってその用途を模索していた，宇宙開発事業団 H-II 7号機の SRB の一部を利活用させていただいた。4セグメント構成の SRB のうち2セグメントを組み合わせると，ちょうど M-24 の評価に適していると考えられたからである。

今回の試験は，ノズルスロート部材をグラファイトから熱構造的により信頼性の高い3次元織りカーボン・カーボン複合材へ変更したことにともなう，M-24用ノズルの設計の最終的な確認試験が我々の主目的であったが，同時に固体推進薬の経年変化に関する知見取得という宇宙開発事業団側の目的も併せ持った両機関の共同研究であった。昨年の NAL-735 が航技研と宇宙研の共同研究であったことを考えれば，3機関連携が能代から始まったと言っても過言ではない。

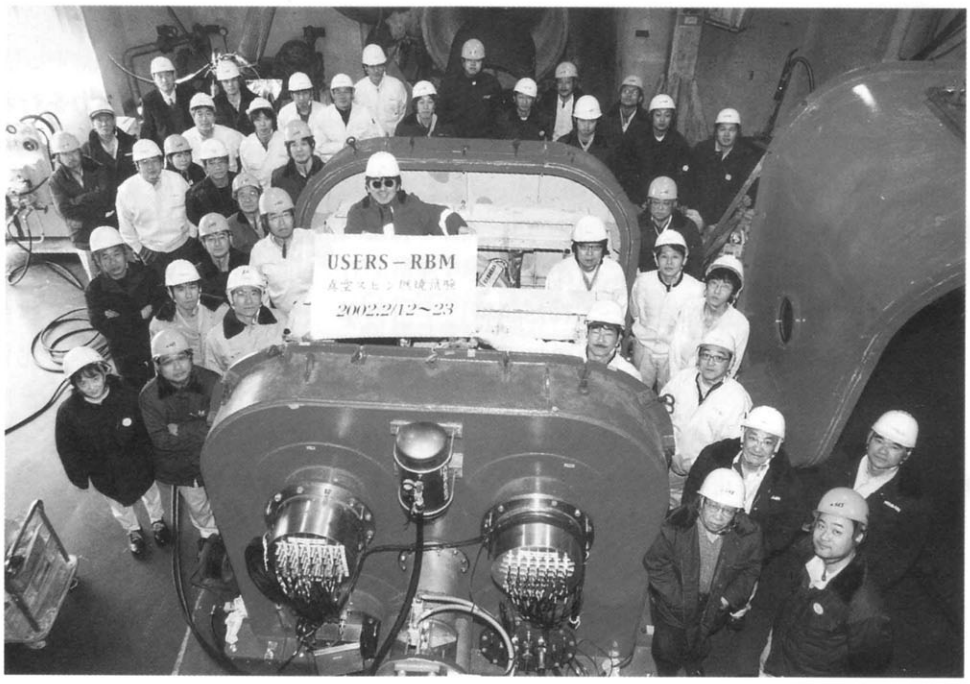
燃焼試験の準備作業は，飛翔型の2セグメント構成モータという共通点を持つ M-14-3TVC とほぼ同じで，12月の厳しい作業を経験した実験班員にとっては「手馴れた」ものだった。燃焼試験は着火・燃焼ともに正常で，燃焼後のノズルの状態も非常に良好であり，M-24ノズルの設計はこれで最終決定の運びとなった。

最後に，引退間際まで実験班員としてフルに活躍され，われわれ後輩に宇宙研実験班員魂を見せていただいた成田氏に，班員を代表して申し上げる。

「成田さん，長年のご指導ありがとうございました。そして，ご苦労様でした。」　　（堀　恵一）

★USERS_RBM 地上燃焼試験

USERS_RBM は H-II Aロケットで打ち上げを予定しているユーザーズ計画で，再突入モジュール部を大気圏に再突入させる際の軌道変更に使われる小型の固体ロケットモータです。モータの推進性能をより正確に把握するために，地燃モータは実機モータと同一設計かつ同一工程で製造しました。つまり，これ一つしかなく，やり直しの効かない「虎の子」モータです。また，地上試験は実機モータが燃焼する時と同じ真空＋スピン状態を模擬して実施しました。当初この試験は秋田県の能代ロケット実験場で実施する予定でしたが，スケジュールが混み合っていたため，愛知県武豊町にあるIHIエアロスペース社の燃焼試験設備で行うことになりました。写真は供試モータをセットしたスタンド（小型真空槽）ですが，ここで真空＋スピン燃焼試験を行うために，ISASあきるの燃焼試験施設から小型真空槽や関連設備を移設したり，スピンスタンド，冷却水供給設備，真空排気設備，クレーン設備などの支援設備を改修，増強しました。また，電源系，計測系，データ収録系等を冗長にしたり，指令電話，場内監視モニタなどの間接支援設備を充実したり。モータは小さいけれど支援体制は万全でした。結果は極めて良好で，これも実験班全員が意気投合して，試験に臨んでくれた成果と感謝しています。　　（石井信明）



★MUSES-C総合試験の状況

本年の11月下旬から12月に打ち上げ予定の第20号科学衛星 MUSES-C は，昨年12月からの総合試験を行ってきました。これまでに主に電気的な機能の確認が行われてきました。探査機は，第1次噛み合わせにて一旦全体を組み上げていますが，2月下旬にはふたたびその姿を現しました。今回は，熱制御材である MLI をまとい，打ち上げ時の姿そのものでした。探査機が組み上がるにつれて，しだいに見学をされる方も増えてきて，2月下旬には，遠山文部科学大臣もおいでになられました。

MUSES-C 探査機の外見上の特徴は，4つのクラス

タ配置のイオンエンジンと，再突入カプセル，サンプル採取装置でしょう。イオンエンジンを機体の横方向に配置する形態は，おそらく今後の低推力推進機関を用いる探査機では標準的になるのではないでしょうか。

NASA/JPL が打ち上げた同規模の技術実証探査機 DS-1 は電気推進機関で彗星フライバイを行いましたが，MUSES-C の狙っている目標は，その数倍の高さにあり，いかに抜きんでているかがわかります。世界レベルでも挑戦的との声もありましたが，おおいに背伸びをさせて作らせていただきました。この挑戦に大きな理解と支援をいただいた宇宙開発委員会をはじめ関係機関の方々に深く感謝いたします。

探査機は，いま一旦分解され，化学推進機関の艤装中です。4月下旬から再度組立てを行い，この夏には最終の打ち上げ形態を現す予定です。探査機から小惑星表面へ投下する航法用ターゲットに一般公募で署名を搭載すべく調整をすすめております。完成時期が折しも夏休みということで，子供さんにも一般公開でお目にかけたいと一同はりきっております。

（川口淳一郎）

★BepiColombo 理学委員会で承認

「BepiColombo」は，2つの周回衛星と1つのランダーによって，水星の内部構造や表層，大気，磁気圏の多岐にわたる謎の解明に一気に迫ろうとする ESAの大型水星探査ミッションであり，周回衛星の精密軌道決定による一般相対性理論の検証をも狙っています。その名前の由来は，水星の自転と公転の周期（58日と88日）が2:3の共鳴関係にあることを解明したイタリアの応用数学者 Giuseppe（愛称 Bepi）Colombo（1920-1984）にあります。本ニュースでも度々取り上げられており，また，昨年11月に行われた宇宙科学シンポジウムにおいても詳細な発表がありましたので，ご存知の方も多いとは思いますが，水星探査WGは，周回衛星の1つである MMO（Mercury Magnetospheric Orbiter）を担当する形の国際共同ミッションへの参加を検討してきました。同 WG の提案を受けて設置された宇宙理学委員会の下の評価小委員会は，科学的成果が大いに期待されることや我が国における将来の惑星探査ミッションの展開へのつながりを鑑みて，この計画が十分に価値のあるものであり，積極的に推進すべきであるという結論を得，1月30日に開催された宇宙理学委員会で正式に承認されました。ESA は現状では2009年7月末の打ち上げ，2012年10月の水星周回軌道投入を想定しています。宇宙理学委員会の承認を受けて，2003年度からのプロジェクト予算の概算要求をしていくことになります。（向井利典）

★科学論説委員等・科学記者との懇談会

さる3月14日，15日の両日，それぞれ恒例の科学記者・論説委員等との懇談会が，霞が関ビル東京會舘において開催されました。新聞社・テレビ局からの出席者は，前者が16名，後者が17名でした。

例年トピックの提供が多過ぎるとの意見が多かったため，今回は，昨年大気圏に突入して消滅したX線天文衛星「あすか」の成果（長瀬教授）と今年1月に打上げ予定の「MUSES-C」の概略（川口教授・上杉教授）に絞って話題提供を行い，3機関統合や DASH を含むその他の問題は冒頭の所長挨拶に取り込むかたちで進行しました。「あすか」も「MUSES-C」も関心は高かったようですが，やはりマスコミ側からの質問やコメントは3機関統合に集まり，異口同音に「これまで培ってきた日本の宇宙開発のレベルを必ず維持するように」との暖かくも厳しい意見が数多く聞かれました。閉塞状況が感じられる昨今の日本の情勢を反映して，「国民に夢を与えるプロジェクトをぜひ立ち上げるように」という意見も出ていました。政府筋では宇宙開発の経済効果を期待する声が大きい中で，長期的な国づくりという立場に立った力強い声援と受け止めるべきなのでしょう。

なお，MUSES-C はどこまで行けば成功なのかとか，その成功の確率についての質問が，上記2度の会合のいずれにおいても出されました。MUSES-C は，あくまで工学実験衛星です。小惑星のサンプル・リターンという究極のミッション・プロファイルを下敷きにして，①電気推進，②自律航行，③サンプル採取，④地球帰還という4つの工学的主要課題のそれぞれに，世界初あるいは世界的水準の技術を確立しようという欲張りなミッションです。行けるところまで行きたいわけですが，所長の当日のコメントにあったように，「小惑星とランデブーできたら大成功」というのが感覚的には本音でしょう。評価の基準は「世界の惑星探査の歴史にどれだけ新たな技術と知見を加えたか」の一点に尽きると思います。「私たちもこれから努力しますが，報道各社におかれましても，海外の技術水準も睨みながら，ぜひともそういった客観的な基準を確立していただきたい」という私たちの要望も述べつつ，今年の懇談会は終了しました。（的川泰宣）

★SPSSのホームページ開設

宇宙科学振興財団(SPSS)は宇宙科学研究所の研究事業，国際学会開催，若手研究者の国際学会出張支援，衛星コンテスト等の主催団体など色々な面で活動してきました。もっと知名度を上げて活用して頂くため，今回2月10日からホームページを開設しました。

これからの財団の事業の予定，ビデオ，宇宙グッズの販売なども掲載して幅広く宇宙科学の広報に向けて力を注いで行きます。財団として取り組むべき良いアイデアにお気づきの時はお知らせ下さい。

URL：http://www.spss.or.jp

皆様のご活用を期待しています。

（宇宙科学振興会常務理事　西村　純）

財団法人宇宙科学振興会

ホームページを開設しました

ご活用ください！

ＵＲＬ　　http://www.spss.or.jp/

〒229-8510
神奈川県相模原市由野台３－１－１
宇宙科学研究所内（内 6113）
Tel 042-751-1126　Fax 042-751-2165

宇宙を探る　第30回

月震計の開発

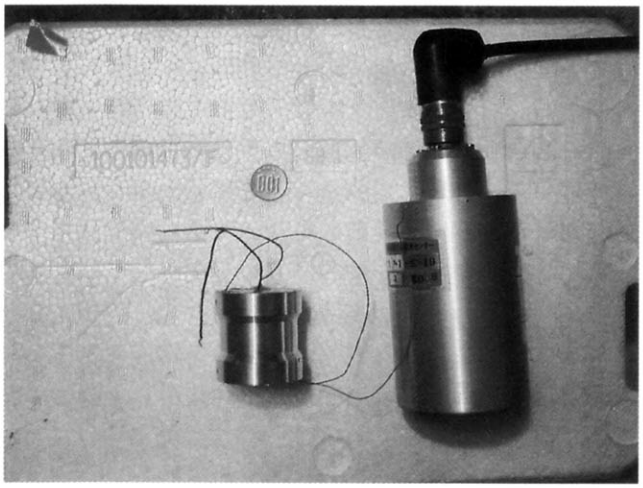
名古屋大学大学院理学研究科　山田功夫

月に起こる地震（月震）の観測は1969年アメリカのアポロ計画により始まった。約7年間の観測から月震活動はごく低く，その活動の消長は月に及ぼす地球や太陽の引力が影響していることが分かった。また，月内部を通過する地震波の解析から，月内部の弾性的性質の研究が進んだ。しかし，これらの観測は月の表側についてのみであり，月の裏側での観測はない。

LUNAR-A 月探査計画では主に月の裏側での観測を行う計画である。この計画ではカプセルに収められた月震観測システム等を月を回る衛星から放り投げ，月面に観測点を設置することになっている。この時，カプセルは 250m/s 以上の速度で月面に衝突し，1m ほど潜る。月面での日中は 200℃以上，夜は－100℃以下と温度変化が大きく，観測機器を正常に保つことが難しい。月面から1m潜り込んだ観測機器は1℃以内の変動におさまる。問題は月面に落ちたときの衝撃である。この衝撃は新幹線の正面衝突に匹敵し，一万G（地球重力の一万倍）に達すると推定される。全ての観測機器はこの衝撃に耐えねばならない。一方，月震活動は地震活動に比べ低く，短い観測期間（LUNAR-Aでは約1年）で多くの記録を得るには，より高感度の観測システムが要求される。当然のことながら，小型軽量で省電力なものでなければならない。

小型軽量で超高感度，一万Gの衝撃に耐えられる月震計観測システムの開発は15年ほど前に始まった。数々の実験から，電子機器など全ての機器は隙間を樹脂などで充填し，固めることで一万Gの衝撃にも耐えられることが分かった。ところが，地震計には振子が使われているように，振動の測定には振子が必要であり，ここには動く部分が残る。しかし，微小地震の振幅は1μm以下と小さく，振子の動きもこの程度で十分である。製作，調整の過程を考慮し，動きを 0.5mm 以下に押さえることで耐衝撃性を確保することができた。これら開発された月震計や電子機器は，秋田県能代市の宇宙科学研究所能代実験場に大砲のような射出装置を設置し，カプセルに詰め込んだ観測機器を月面に見立てた砂箱に打ち込み，その耐衝撃性を確める試験が繰り返し行われた。

遠方に起こった地震を効率よく観測するには月震計の振子の周期を長周期化し，その動きを効率よく電気信号に変換する仕組みが必要である。振子の周期はそのサイズで決まるが，その動きに磁石の反発力（吸引力）を付加することによって，特性は非線形となるが，微小な動きに対して周期の長い振子として振る舞う。現在では，電気回路などを利用した振子の長周期化も実用化されているが，LUNAR-A では省電力化という点で磁石を使った方法が採用された。その結果，本来の周期が約2.5Hzの振子を1.2Hzの振子として使用することができるようになった。一方，振子の動きを電気信号に変換する方法にもいろいろあるが，磁場の中で，コイルをおもりとした振子が動く方法が機構も簡単で省電力である。この方法で，動きを効率よく電気信号に変換するには，強い磁石と巻き数の多いコイルが必要となる。コイルの巻き数は，そのサイズや重量が制限されているなかで，より細い導線を使う必要がある。これまで，センチメートルサイズのコイルでは60μmの導線を巻くのが限度であったが，腕時計など超小型コイルを制作する技術を導入し，直径2cm，長さ1cmのコイルボビンに20μmの線を1万5千回以上（長さ2kmの導線）を巻く手順が開発された。また，永久磁石には保持力の強いNd-Co系磁石が採用された。この磁石は従来の地震計やスピーカーに使われているアルニコ系磁石に比べ，体積あたりの保磁力は5倍以上である。こうして1万Gの耐衝撃性を持ち，超高感度で小型軽量の月震計が開発された。写真は開発された月震計とよく使われる1Hzの地震計である。開発された月震計の重さは300gであるのに対し，1Hzの地震計は2.2kgと約1/7の重さである。



（やまだ・いさお）

東奔西走

CEE (Centro de Estudios Espaciales) 滞在

戸田知朗

チリの印象は朝。日本を夕方に出て翌日の夜に着く勘定だから，初めてのチリは誰しも涼やかな朝として映る。それでも日差しは既に強く，澄んでいる空も乾き切っている。そして，南半球の夏に一歩進んで空気を吸えば，動き出す人々の活気のままに自身も奮ってその日を送り，地球の裏側である日本のためには夜中まで残って，結局は出発から48時間以上を若さの証しとして耐え抜くのだ。若さを諦めればその限りではないのに，体がひとりでに消耗戦へと向かってしまうのは，研究生活から得た病気というもの。ALMA計画のために同国を訪れる国立天文台の自称若人たちも無意識に同じ病因を抱えているに違いない，と勝手な想像をする。NASDAも含め，宇宙を見上げる人々にとってこの国は，実は存外近しい国なのである。

今回はDASH実験の支援のためにCEEに来た。空港からホテル経由で，そのままCEEに向かってしまう。空港は首都サンチャゴの西，CEEは首都の北東，ロスアンデスという町の手前にある。高速道路を飛ばして約1時間の距離。チリには馴染みの葡萄畑と果樹園を過ぎたころ，低木の茂みが疎らに散らばって開けて閑散とした大地に数基のアンテナが見え始める。山肌も岩や礫が露わで，植物の緑は艶なく力強いというような世界。確かに厳しい自然環境なのだが，そこに暮らす人々の気持ちの温かみによって幾分和らいで見える。旧来の3基に加えてNASDAの2基の新しいアンテナの白が鮮やかである。扁平な所内の建物に比してこの2基は一際高く聳えていた。

敷地内には鮮やかな緑が多い。毎日水を撒いて人工的な芝と樹木は漸くに生き延びる。夏季は予報いらずの快晴続きであるこの乾いた地域では，こうでもしなければ植物は足りない。滞在中も快晴ばかりで，折からの近隣の山火事のために首都から遠いこの局の空も霞がちであった。それでもアンデスの恵みか，抱える水脈は豊富のようで緑のためには惜しみなく水を振舞う。

CEEはチリ大学の所管ではあるが，独立採算で自立の自負から醸し出されるのか，自由な雰囲気がとても気に入っている。そこに暮らす人たちは開放的で気さくなCEE村の人たちである。CEEの人々を知っている私には，仕事上も万事情報を共有して何の心配もなく彼らを信頼していい。この実験支援も結果からいってその通りであったと思う。慣れ親しんだ時代物の機械を大切に繰り，誇りと勤勉を忘れないその性格は付き合っていてとても気持ちがいい。彼らが気難しくなく陽気だという点を除けば，恐らくこういう人々には日本の町工場でも出会えるに違いないのだが，私にはとても懐かしく思えた。

職員は皆，退職後の生活を考え始めておかしくない年齢層の人々であるが，丈夫であり仕事熱心である。仕事柄しようがなくもあるのだが，昼夜を分かたず徹するのを躊躇しないのは私には寧ろ珍しかった。私の初めて知ったコロンビア人は，絵に描いたような南米気質だったから。どこへ行っても昼寝(シエスタ)は欠かさず，時間外労働は道徳悪であるという生活スタイルを守っていた。なるほど，必要以上に働くのは心を貧しくするだけだと彼らのいうのは，日本について思い当たらなくもない。当時も今も変らない私が，まもなく彼らに呆れられたのはいうまでもない。でも，探究心による研究者の疲労癖ばかりは純粋に別物だと思っている。何にせよ，これは彼らからすれば病であった。一方，チリには昼寝の慣習がないばかりか，仕事が生活上の必要悪であるという気分は微塵もない。健康的に好んで仕事をする気風を感じた。思えば，この南米にあって一時の軍政の混乱はあったものの経済的に最も安定してきた国はこのチリばかりである。彼らは，チリに根付いたスペインの移入者に北方のバスク出身などが多かったから変っているのだという。

この国の来年の葡萄酒は上々のようである。彼らが葡萄酒で祝してくれた私の健康は，研究生活にだけは当分訪れそうにない。

(とだ・ともあき)

「微小重力科学あれこれ」第8回

微小重力環境での物のぶつかり方の研究

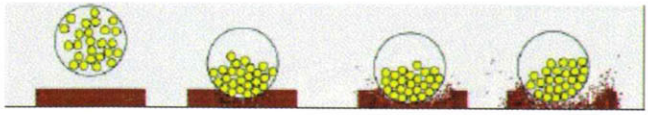
澤井 秀次郎

微小重力と関わりのある工学というと，「材料工学」や「燃焼科学」，「流体力学」といった分野がまず想起されるが，機械工学系分野でも面白いテーマがある。宇宙空間などの微小重力空間を浮遊する物体の運動は基本的に全てニュートン力学で記述されるため，それ自体は単純である。しかし，その運動に複数の物体間の衝突が絡んでくるととたんに難しく，そして面白くなるのである。この分野は当初，宇宙空間で複数の宇宙船が結合する「ドッキング技術」の問題として注目された。このときの代表的な研究アプローチは，ハードウェア試験とソフトウェア解析を組み合わせることであった。まず，ハードウェア試験では，水平テーブル上に，ホバークラフトのような低摩擦で浮上する物体を複数用意して，これらの物体をお互いに衝突させてデータを取る。このとき，たとえば2つの浮上物体にそれぞれドッキング機構の雄側と雌側を搭載して，ドッキングの様子を観測したりした。ただ，この試験では，物体の運動は2次元の平面内にすぎないので，このままでは，現実の3次元世界で起きることはわからない。そのため，計算機を用いたシミュレーションでその部分を補うということが考えられた。つまり，2次元空間での実験は，計算機内の3次元世界が現実とどの程度あっているかを検証するために利用される，というスタンスである。

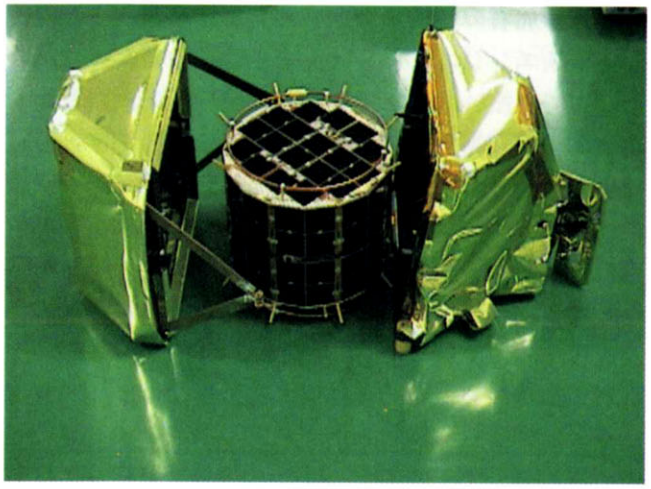
ただ，衝突する物体の形状や動きが複雑になると，なかなか2次元空間での試験だけでは済まされなくなってくる。そのため，衝突する2つの物体の運動を全て，計算機で計算して，それをモータを使って実際に再現しようという流れもあった。物体の衝突は，モータで運動を再現された物体に組み込まれた力覚センサで感知され，計算機に取り込まれる。計算機は，衝突のときに発生した作用・反作用の力やトルクの情報を得て，物体の運動を計算し直し，物体の運動を再現するモータへ指令を出し直す，というループを繰り返すものである。この方法は有効であり，実際，宇宙科学研究所に設置されている「9自由度ロボティクスシミュレータ」もこの流れに乗った装置である。ただし，これでも衝突が数多くの物体の間で連鎖的に起きる場合や，形状が著しく変化する場合，さらには衝突現象が極端に速い場合には限界がある。

そこで，機械力学の分野でも近年，落下塔などの微小重力実験手段を用いて直接，良好な微小重力環境での物体の挙動を見ようという動きがある。ここでは，そのうちの2つの研究について，簡単に紹介したい。

ひとつは，微小重力空間で低反発衝突を実現する機構についての研究である。宇宙空間では時として粘着性のある有機系物質が好まれないため，低反発を実現するのに，「お手玉」のような機構を考えた。外側の殻の中に玉をいくつか詰めたようなものである。この機構が床など他の物体に衝突した場合，定性的にいえば，内部の玉が多数回，お互いに衝突することで運動エネルギーを消散していき，低反発を実現する。しかし，実際に，定量的に現象を把握するためには，やはり実際に微小重力空間で衝突させてみることが重要である。実験時間の制約はあるが，現実の微小重力空間で起こる衝突を観測することで，計算機シミュレーションで必要な様々なパラメータのありようが明らかになるのである。



もうひとつは，移動ロボットの研究である。たとえば，微小重力天体上での移動手段を考えた場合，車輪を使っての移動というのは効率的ではない。というのも，タイヤを大地にグリップするような重力が働かないため，タイヤを回しても簡単に空転してしまうためである。そこで，天体表面を蹴り上げて，ホッピングしながら移動していく，ということが考えられる。宇宙科学研究所では，このようなタイプのロボットを微小重力実験などを通じて研究している。その成果の現れのひとつが，今年の冬に打ち上げ予定の「MUSES-C」衛星に搭載される予定の小惑星ホッピングローバ「ミネルバ」である。こちらは，微小重力空間での衝突現象を積極的に制御することで目的の行き先を目指すことになるため，制御系と衝突現象の相互関連を実際の微小重力空間で観測することが大切になる。



ここでは2つの例をあげたが，このように，一見，単純に思える微小重力空間での物体の運動の中にも，地球重力に慣れきってしまった我々人間の頭では，にわかにはわからないエキサイティングなことも潜んでいるのである。

（さわい・しゅうじろう）

「宇宙」へ吹く風

山根一眞

宇宙への風当たりが強い。長引く経済低迷の元で「利益」に結びつかない科学技術への挑戦は切り捨てるべしと口にする人たちが増えた。何たる情けなさだ。私は心から怒っている。宇宙という未知の世界への挑戦は，人類が誕生して数万年目にしてやっと迎えた人類史の大エポックだ。だが，そのような認識を持てない頭の小さい指導者が増えた。そういうリーダーが国にも企業にも増えたからこそ，日本は十年以上にわたる暗黒時代から抜けられないのである。

宇宙への挑戦は，彼らが言うように国民の期待に反することなのだろうか。否，だ。昨年，宇宙開発事業団はH-2Aロケット試験機1号機の打ち上げに前後して東京で2回，北九州市で1回の合計3回，「ロケットシンポジウム」を開催した。私はその3回の企画に参加し司会を務めた。シンポジウムには年に何十回と参加しているが，このシンポジウムほど感動したことはなかった。聴衆の参加者の半数は女性に，家族連れを優先としたのだが，応募者はたちまち定員を超え抽選を行ったほどだった。パネラーに日本のほぼ全宇宙飛行士を迎え，部屋を分けて参加者との膝詰めのディスカッションも行ったが，参加者の熱意は凄かった。いかに宇宙が若い世代にとって夢のある，未来への力をもたらす分野かを思い知らされた。「失敗は当たり前，そんなことにめげずに宇宙への挑戦を続けてほしい」というのが，参加者の一致した熱い意見だった。パネラーの宇宙技術エンジニアたちは，まさか一般の人たちからそこまでの熱いエールが寄せられるとは思っていなかった。ゲストパネラーとして参加したISASの的川泰宣先生も同じ思いだったと思う。

3回のシンポジウムを通じて，私は参加者に「宇宙へ行きたいか？」を問うたが，驚いたことに95%が挙手した。北九州市会場では，あるお年寄りが「財産など残さなくていいので1億円までなら出す」と宇宙旅行への期待を発言。30代半ばの男性は「私は6000万円なら行く」と訴えた。日本の宇宙開発では長いことなぜか「有人」は禁句だったが，大々的に有人宇宙飛行時代の計画を立てる時が到来していることを思わせた。

宇宙への風当たりが強くなってきたのは，NASDAやISASによる「失敗」への批判が背景にある。だが，失敗のない挑戦などあるわけがないのだ。失敗こそ前に進む力だ。最近，世界で最も視聴されているテレビ番組『ディスカバリーチャンネル』が，「ロケットが爆発炎上した理由」というびっくりする大番組を放送した。アリアン5やタイタン4の爆発炎上シーンがこれでもかと続き息を呑んだが，番組の主張は「宇宙開発にはこういう面があるが宇宙への挑戦は止めるべきではない」だった。これが，アメリカのジャーナリズムの姿勢だ。些細な失敗の糾弾にだけ情熱を燃やす日本のマスコミ人に，このテレビ番組を煎じて強引に飲ませてやりたい。アメリカは1998年から9か月間にロケットの失敗を6回も経験した。打ち上げ回数が乏しい日本は，それだけの失敗すらできないと私は受け止めている。

経験したことのない挑戦によって何がもたらされるのか。それがわからないのが挑戦なのだ。あらゆる文化的な進歩は，非凡者の挑戦によって思いがけずもたらされてきた。宇宙への挑戦を無駄と言う人たちは，明治初期に鉄道の開通は意味がないとその敷設を拒否した結果，地域を衰退させた首長と同じだと知るべきだ。元気がない時代には，人々は前向きな姿勢をとれなくなる。時代そのものが前進という意欲を失っている。今，私たちはそういう未来への力をそがれる時代に首まで漬かっているということを真摯に認識し，後ろ向きの姿勢を打破する努力を続けたい。

（やまね・かずま）
（ノンフィクション作家，
宇宙開発事業団非常勤嘱託＜広報アドバイザー＞，
内閣府宇宙開発調査会委員）

ISASニュース　No.253　2002.4　ISSN 0285-2861
発行：宇宙科学研究所（文部科学省）　〒229-8510 神奈川県相模原市由野台3-1-1　TEL 042-759-8008
The Institute of Space and Astronautical Science
◆本ニュースに関するお問い合わせは，上記の電話（庶務課企画・広報係）までお願いいたします。（無断転載不可）
＊なお，本ニュースは，インターネットでもご覧になれます（http://www.isas.ac.jp）。