



▲M-25-1TVC地上燃焼試験（撮影：前山勝則・新倉克比古）

## 〈研究紹介〉

# 衛星をつつむ金色の膜-ポリイミドの研究

宇宙科学研究所 横田力男

### 1. 金色の膜

ポリイミド(PI)という言葉初めて聞く人でも人工衛星表面に張られた金色の膜といえば多くの方が思い当たるのではないのでしょうか。PIは今から約40年前にデュボンのDr. Sroog によってはじめの論文が発表され、同時に超耐熱性フィルムKapton-Hとして工業化されました。初め私達はPIがアポロ月着陸船の外部表面熱保護膜として用いられてい

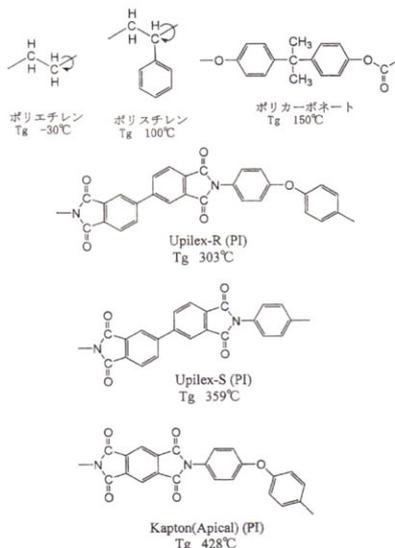


図1 3種の汎用高分子とポリイミドの単位構造とTg

ることも知らず、ポリエチレンや塩ビ等の汎用プラスチックに比べて200-300°Cも高温で使用できる(図1)高分子ということと数十倍高価ということから航空宇宙分野の特殊材料と認識していました。しかし'80年代を境にマイクロエレクトロニクス材料として脚光を浴び、今や耐熱・耐環境性の高い高性能素材として航空宇宙分野はもとより多くの産業分野で欠くことのできない材料となっています。もし物質にノーベル賞があればまっ先に与えられる素材です。

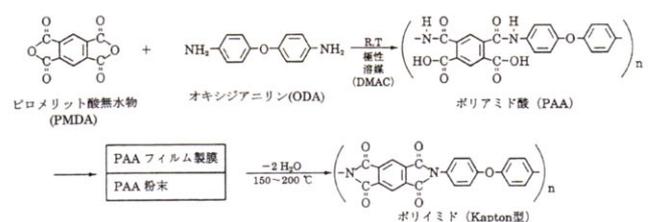


図2 ポリイミドの合成スキームと成膜工程

## 2. 化学構造の特徴と合成法

図1は、いろいろな高分子の化学構造と軟化温度(ガラス温度;  $T_g$ )です。ポリエチレンやポリスチレンに比べてUpilex-R, Upilex-S, Kapton-H(Apical)等のPIは高分子となる単位構造がこの順に長い平面構造をとるため自由に回転できる部分が減少し、その上分子間相互作用も大きいので物理的耐熱性ばかりでなく熱安定性も格段に優れます。PIの合成は通常、図2のように2段階法で行われます。はじめに芳香族酸二無水物(ここではピロメリット酸無水物; PMDA)と芳香族ジアミン(ODA)を極性溶媒中で反応させて易溶性ポリアミド酸(PAA)を合成します。次いでガラス板上に流延し50-60°Cで溶剤蒸発させてPAAフィルムとした後、熱または化学的にイミド化し不溶不融の耐熱性PIフィルムとします。ちなみにUpilex-Rを合成するにはPMDAのかわりにビフェニルの酸無水物(s-BPDA)を原料にすればよいことになります。

## 3. PI開発の現状

PIの開発経過は3つの流れに大別されます。第一は、Kaptonのように単位構造が幾何学的平面構造をとるピロメリットイミド環やUpilex-Sのような半屈曲性ビフェニルイミド環を含むPIはイミド化過程で各々の高分子鎖が紙を重ねるようにフィルム面に配向(高次構造)し金属並みの低熱膨張率を示します。その結果としてPIフィルムは融けたハンダに直接つけても殆ど収縮しない寸法安定性の高い耐熱性膜材料となります。写真1は超LSIの256本のリード線を取り出すUpilex-Sフィルム基板(TAB)です。肉眼では識別できないほど精密なパターンが描かれてパソコンの進歩に欠かせない膜材料です。第2は、電気的あるいは光学的性質に関連した透明性や低誘電特性の改善です。単位構

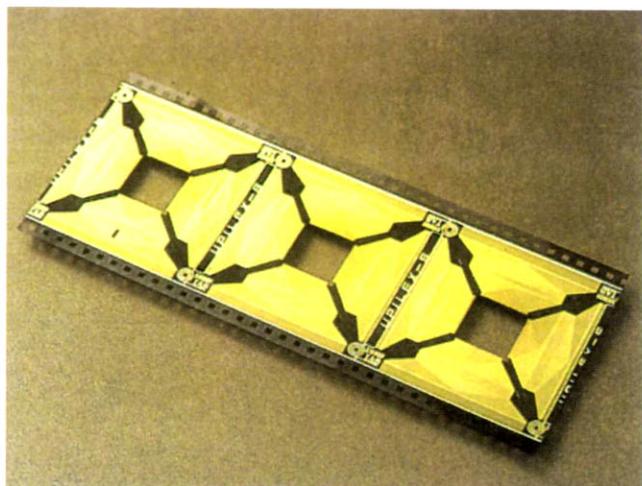


写真1 低熱膨張PI製の超LSI用TAB

造中の水素のフッ素原子への置き換えやナノ構造化、分子間電子移動をもたらす芳香環の脂環構造への置き換えによる透明性PIをつくる研究がオプトエレクトロニクス材料の開発として展開されています。最後は、軟化温度( $T_g$ )が200-250°Cと中程度の耐熱性を有し汎用プラスチックのように成形品に加熱加工できる熱可塑性PIの開発です。最近までPIの原料は入手が難しく構造を自由に選択する「分子設計」が簡単ではありませんでした。しかし近年世界規模で多様なモノマーが合成されPIの合成が容易になり新しい熱可塑性PIが工業化されています。

## 4. 宇宙航空材料への応用

宇宙機の熱保護膜(MLI);高分子材料は要求性能さえ満たされれば宇宙機や宇宙構造物に極めて有利で実際に多くの高分子材料が使用され、中でもエポキシ樹脂とPIは主要な高分子材料で、今日の人工衛星の主構造は軽量で高強度特性をもつ繊維強化エポキシ樹脂複合材料で作られています。一方、PIは他の高分子材料にはない優れた耐熱、耐宇宙環境性から用いられていることが特徴です。PIの単位構造は、主に芳香環とイミド環からなるために200°Cを越えても長時間の使用に耐え、加えて太陽光や放射線に対しても汎用高分子の100-1000倍も安定で宇宙環境10年の耐久性があります。このようなPIの代表例は機器外表面を覆う金色に輝く熱保護膜(フレキシブルサーマルブランケット, MLI)です。通常MLIはPIやPETの10-50 $\mu$ mのフィルムに金属を0.05-8 $\mu$ m蒸着させたものが使用環境によって5-10層で使用されます。膜間はPETの網で分離されているので高真空の宇宙では何重にも重なった魔



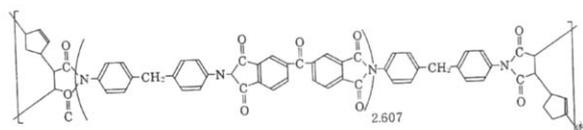
写真2 4枚のPIソーラバドルを拡げた宇宙ステーションISS (Space Flight, vol.43, No5. (2001)より転載)

法瓶のような役割をします。MLIは人工衛星内部を常に適正温度に保つ目的で衛星外部からの太陽光照射による熱の流入と搭載機器から発生する熱放射をうまく調節することです。

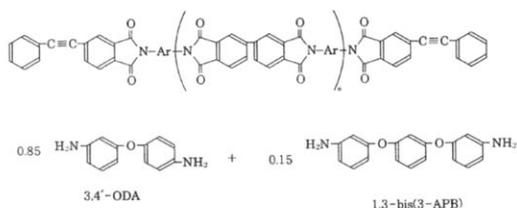
フレキシブル宇宙大型膜構造物への応用；PIの優れた耐宇宙環境性を最大限に活かした用途は大形膜構造物です。日本が'95年に打ち上げた無人実験衛星SFUのソーラアレイは太陽電池を貼り付けた厚さ0.1mmの2.4m×40cmの短冊状Upilex-Sフィルムを折り畳み収納し宇宙空間で伸展マストによって2.4m×9.7mに展開しソーラアレイとします。PIの抜群の耐宇宙環境性を活かした展開型軟構造物はソーラアレイを始め太陽発電衛星やソーラセイル等に应用展開が進むと予想されます。写真2はSTS-98スペースシャトルから撮影した4枚の巨大なPIソーラパドルを拡げた国際宇宙ステーションISSです。

### 5. ポリイミドの耐熱性複合材料

PIの優れた性質を高強度炭素繊維と複合化することは私達の長年の「夢」でした。しかし高温特性に優れるということは高い温度まで形を保つことなのでPIに高温熔融流動性を付与することは容易に実現しませんでした。そんな中で図3aのPMR-15は現在でも熱硬化性PIの代表例です。加熱すると化学反応し架橋する末

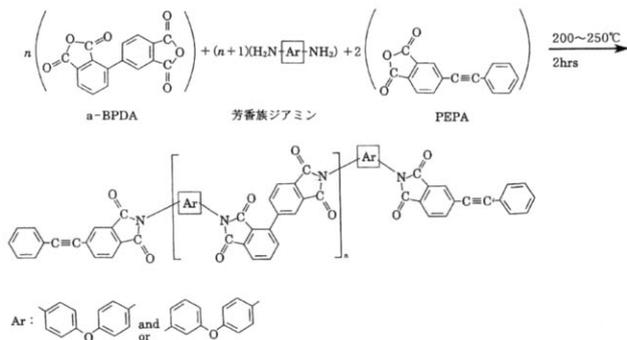


(a)PMR-15



(b)PETI-5

(Molecular weight-5000g/mol)



(c) TriA-PI; a-BPDA/ODA/PEPA

図3 熱硬化性PIの科学構造

端剤（ナジック酸誘導体）をPIの原料に混合して熱硬化PIとします。PMR-15は耐熱性樹脂の弱点の難溶解性を、アルコールに溶ける原料の段階で溶解させ巧みに逃れてます。しかし使用上限温度316℃は有機材料では最上級の耐熱性ゆえに単位構造は図1のPI同様に剛直でなければならず成形条件は厳しく硬化樹脂は脆いことが難点です。PETI-5（図3b）はこの点を改善した熱硬化性PIで、-56～+200℃の厳しい熱環境を飛ぶ超高速国際共同開発機HSCTの主翼材料として'94年にNASAラングレー研究所で開発されました。PETI-5は分子量5000のs-BPDA/3,4'-ODA;m-APB(Ar)で靱性を、末端剤PEPAのアセチレン結合の反応硬化により易成形性を分担します。371℃、1MPaの加圧下1時間でTg=270℃、破断のび32%を有するこれまでにない高靱性PI樹脂となります（図3b）。しかし主鎖構造に高温流動性（熱可塑性）がなければ成形は難しいために硬化前の樹脂のTgは200℃程度に抑えることが必要で素晴らしい樹脂ですが使用上限温度は250℃に留まります。

### 6. 私達の研究・無定形熱硬化性PI；TriA-PI

図1の芳香族PIはベンゾイミド環やピロメリットイミド環の幾何学的平面性と強い分子間相互作用ゆえに製造過程を通じ秩序構造を形成することが特徴です。その結果、Tgを越えても分子運動が抑制され普通の高分子のように軟化して低粘度とならないので非可塑性と言われます。いいかえればTgより十分高温にして高分子の鎖が熱切断しない場合でも秩序構造が壊れない限り流動性は期待できないことを意味します。

つまり単位構造に耐熱性の芳香族イミド環を用いれば、「分子間の秩序構造を形成し、Tgの高温側の分子運動性を低下させ、成形が難しい」という「難題」に直面しPETI-5を超えることはできません。これまで私達はPIの単位構造と秩序形成能化・高性能発現性に

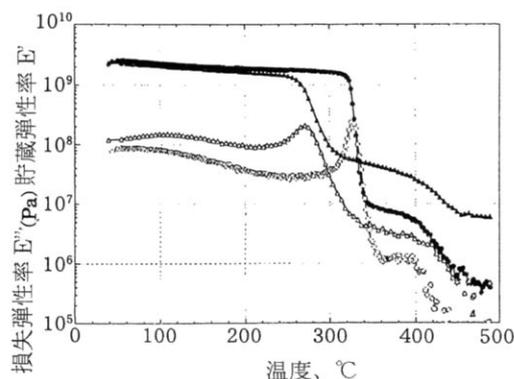


図4 非対称ビフェニル酸無水物(a-BPDA)を用いたPI(a-BPDA/ODA)とUpilex-Rの粘弾性変化；○ PI(a-BPDA/ODA) △ Upilex-R

ついて研究してきました。その結果、多くの原料モノマーの中で耐熱性ベンゾイミド環(s-BPDA)のかわりにこれまでまったく顧みられなかった立体異性体(a-BPDA)を用いたPI(a-BPDA/4,4'-ODA) (図4)は、s-BPDAから合成されるUpilex-Rに比べてT<sub>g</sub>は50℃ほど高く優れた耐熱性を有し、加えて易成形性の指標となる弾性率E'の値はT<sub>g</sub>の高温側で急激に低下(E' ≤ 107)することを見出しました。この原因はa-BPDA (図3c)のビフェニル結合が立体障害のために秩序構造をとれないで無定形となるため、T<sub>g</sub>を越えると汎用高分子に近い分子運動を可能にするからです。

図3cは「夢」の耐熱・耐酸化性と高靱性、熔融流動性、易成形性を両立させた新しい非対称芳香族無定形熱硬化性PI; (Asymmetric Aromatic Amorphous-PI (TriA-PI)の化学構造です。a-BPDAとODAからなる主鎖構造(単位構造)にPEPAを末端剤としてPETI-5同様に合成されます。表1のジアミンを4,4'-ODAとしたTriA-PI(n=4.5)はT<sub>g</sub>=343℃となり、320℃で1000Poiseの低熔融粘度となった後に真空バックを用いな

表1 耐熱性熱硬化PI硬化樹脂の物理的性質

	TriA-PI	PETI-5	PMR-15
T <sub>g</sub> (°C)	343	270	340
密度 (g/cc)	1.30	1.3	1.32
引張り強さ (MPa)	115	130	39
破断伸び (%)	>14	32	1.1

いでも370℃、1hrで容易に成形できます。熱硬化したTriA-PI(n=4.5)はこれまで最高の耐熱性PI樹脂であるPMR-15と同等の高いT<sub>g</sub>を有し破断のびは14%以上とPETI-5に近い高靱性樹脂となります(表1)。そのうえ硬化樹脂の高温耐久性は空气中、300℃、1000時間後も初期強度(曲げ)の70%の保持率を示しこれまでに例のない高性能耐熱性成形用PI樹脂であることが分かりました。現在、この樹脂を航空・宇宙機構造材への応用展開を図るための複合材料化を産、官、学連係のもとに進めています。写真3はISASの再使用型宇宙機(RLV)実験機の浮上の様子です。

(よこた・りきお)

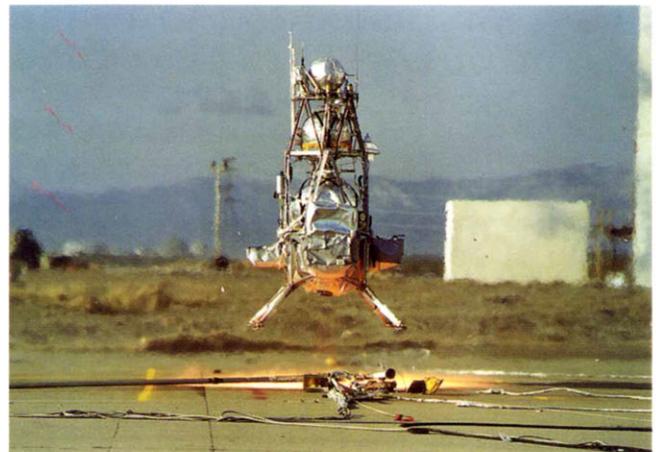


写真3 RLV実験機のNTCにおける浮上実験 (2000年11月)

## お知らせ



### ★ロケット・衛星関係の作業スケジュール (9月・10月)

	9 月	10 月
相模原	SOLAR-B PM総合試験 → 14	S-310-30 計器合せ試験 2 ↔ 3 MUSES-Cカプセル単体噛合せ試験 ← 26 → 26 READ 熱真空試験 ← 24 → 6
能代	ATREXエンジンシステム燃焼試験 (ATREX-12) → 7 M-34-3 TVC 真空燃焼試験 ← 8 → 24	再使用ロケット実験機 複合材タンク試験 ← 10 → 20 M-14-3 TVC 地上燃焼試験 ← 21 → 11/17 まで
三陸	第2次大気球実験 → 12	

### ★シンポジウム

宇宙構造・材料シンポジウム

開催日：10月26日 (金)

場 所：宇宙科学研究所本館2階大会議場

宇宙空間分子原子過程研究会

開催日：10月29日 (月)～30日 (火)

場 所：宇宙科学研究所本館2階大会議場

問い合わせ先：宇宙科学研究所管理部研究協力課共同利用担当

TEL：042-759-8019



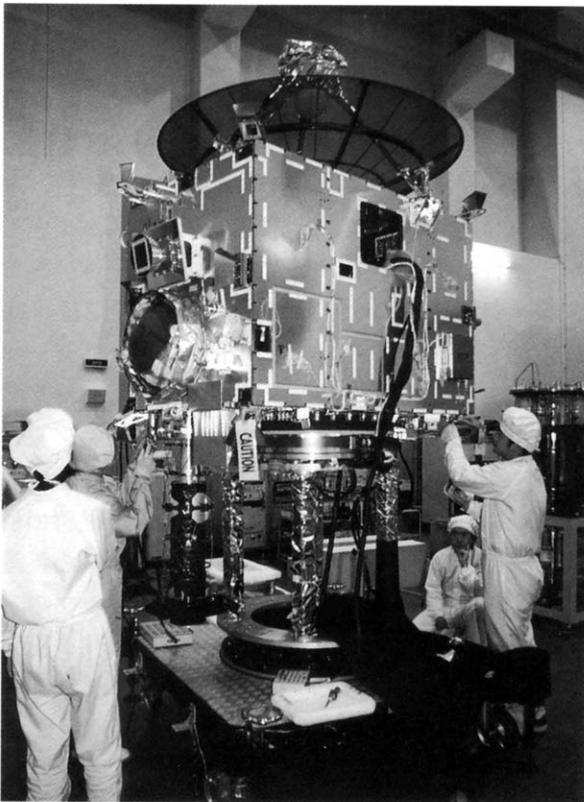
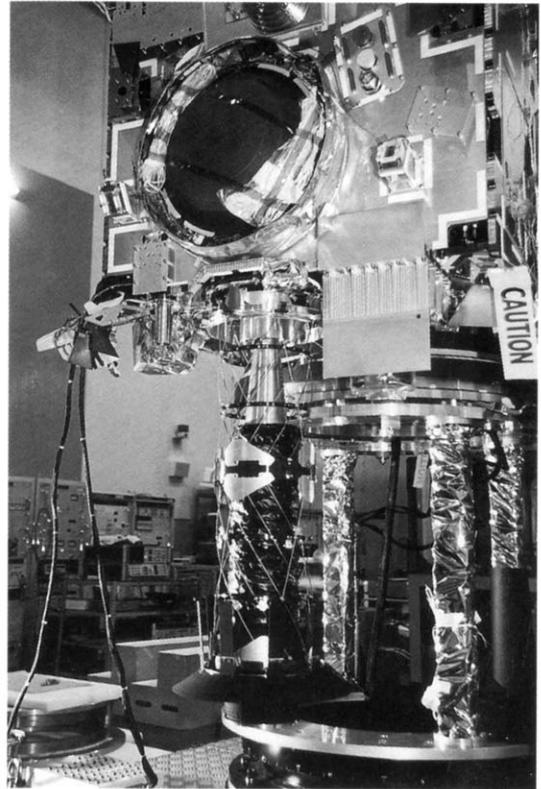
### ★MUSES-C第1次噛み合わせについて

第20号科学衛星、MUSES-Cは、本年度はじめの4月から約3か月半の間、第1次噛み合わせ作業を行って参りましたが、この7月17日に無事完了しました。ご承知のように、この作業では、実際の探査機に使われる飛翔モデルの部品を用いて、その機械的な合わせはもちろん、電気的な整合性や機能の確認を行うもので、ほぼ実探査機の打ち上げ、飛翔状態に近い形態まで組み上げる作業です。飛翔モデルは、このあと打ち上げ環境などに耐えるべく固定し、振動・衝撃などの環境試験を個別の機器ごとに加えることとなりますが、噛み合わせは、それらの作業に踏みきってよいことを確認するための重要なステップです。

事前にインタフェースを確認して製作してきたとはいいながら、実際に結合して試験をしてみるといろいろな点で「発見」があります。スケジュールの遅れがないよう、あるときは何週間も続けて土曜日を返上したり、深夜まで作業を延長するなど、関係の方々のみなみならぬご努力により、ほぼ予定通りに作業を完了させることができました。深く感謝申し上げます。

昨年の構造試験モデルとは異なって、飛翔モデルが組み込まれた探査機をみると、構想・計画段階が実施段階に移ったことが実感として伝わってきます。世界

ではじめての形式の探査機は、当然ながら前例はなく、コピーではないユニークで独創的な姿に仕上がっていますし、横にイオンエンジンを駆動させながらの試験など、独自の作業の連続でした。われわれは、もはや計画段階を超えたといえるでしょう。（川口淳一郎）



### ★SOLAR-B光学望遠鏡機械熱試験モデル組立、PM電気試験始まる

2005年度打ち上げ予定の第22号科学衛星SOLAR-Bは、日米英の国際協力で3台の観測機器（光学望遠鏡、X線望遠鏡、極端紫外線撮像分光装置）を開発・搭載する。開発は各国でそれぞれ鋭意進行中であるが、光学望遠鏡光学系部（日本が開発担当）の機械熱試験モデルの組立及びその評価試験が宇宙研C棟クリーンルーム及び機械環境室で開始されている。

光学望遠鏡は有効径50cmのグレゴリー反射式で、回折限界に近い光学性能発揮のためには、機械的衝撃、温度変化などによる光学系の位置保持精度がカギとなっている。望遠鏡主構造であるトラス、ミラーセルなどは超低膨張複合材（CFRP）でできており、PFM品のためクリーンルーム内にクラス100のクリーンブースを設置し、組立・評価はここで行っている。

主鏡・副鏡は軽量化された超低膨張ガラス（ULE）でできており、主鏡が打上げ衝撃に耐えられることが第一関門となる。このため機械熱試験モデル組立に先

立ち、アルミ製ダミー主鏡による振動・衝撃試験（7月10日～18日）、望遠鏡音響モデルによる音響試験（NASDAで実施、7月26日～30日）を行い、機械耐性の評価を行っている。8月半ばからは機械熱試験モデル組立を開始し、干渉計を用いた光学性能評価試験を行う。

これと並行して、C棟クリーンルーム及びチェックアウト室ではSOLAR-Bプロトモデル試験が7月16日より開始されており、搭載観測機器周りの電気インタフェースを中心とする確認作業が9月半ばまで続く。

（国立天文台 末松芳法）



#### ★M-25-1TVC地上燃焼試験について

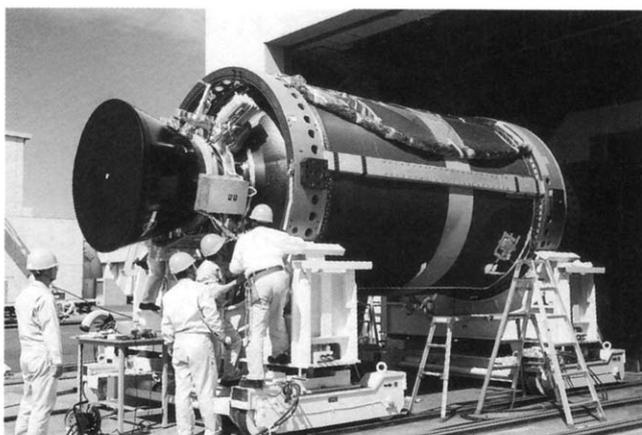
13日の金曜日。雨にけむる日本海。そして、遙か彼方から飛び込むアリアン失敗の知らせ・・・重苦しい空気の中で雲の切れ間を待つこと7時間、ようやくM-25-1TVCの燃焼試験が能代実験場で行われました。

このモータは、M-Vロケット第2段の改良型モータで、CFRP製のモータケースを用いた高圧燃焼により推進性能の向上を図っているのが大きな特徴です。今までより安くて軽くて良く燃えるモータです。ノズルスロートには3次元C/C材が用いられていますが、これはM-V-4号機の事故とは関係なく、高圧燃焼に耐えるために設計当初から導入されたものです。一方、TVC装置は同じく重量とコストの低減のために、こ

れまでの液体噴射方式から可動ノズル方式に変更しています。これによりオペレーションの簡素化も図られ、噴射用液体の漏洩という永遠とも思えたテーマにもとうとう終止符を打つことになりました。

さて、燃焼日に実験主任が気まぐれなお天道さまに振り回されたという笑い話への自戒はありますが、命がけの安全管理やひとつのミスを全体でカバーするという能代実験班ならではのチームワークの良さに改めて感動を覚えました。現段階での解析によると結果はとても良好で、来年予定されているMUSES-Cの打ち上げに向けて、大きな弾みをつけることができたと言えるでしょう。

（森田泰弘）



#### ★第8回APRSAFマレーシアで開催

さる7月23日から26日まで、クアラルンプール市のマレーシア・リモートセンシングセンター（MACRES）において、第8回アジア太平洋地域宇宙機関会議（APRSAF）が開催されました。東京以外で開かれたのは、第5回（1998年）に次いで2度目です。今回は栗木恭一宇宙開発委員（宇宙科学研究所名誉教授）が総合議長を務め、27カ国、5機関から計100名が出席しました。初日の午前中は、開会式につづく全体会議で基調講演・特別講演がなされました。初日と2日目は、地球観測・通信放送・教育普及という3つのテーマについて、それぞれ全体セッションと分科会が持たれました。そして3日目には、宇宙環境利用セッションが開かれ、午後の閉会セッションで幕を閉じました。閉会セッションでの勧告として、①自然災害被害の低減／衛星通信のためのパイロットプロジェクトの促進、②国際宇宙ステーション利用のためのアクセスの容易化、③人材育成・教材交換プログラムの効果的活用、④これら3つのアクションのためのウェブサイトの設置が提言されました。なお次回は韓国で開催される予定です。

（的川泰宣）

# 宇宙を 第23回 探子

## 飛行時間計測法を用いた中性ガス質量分析器

早川 基

この計測器の開発は今から10年くらい前の鶴田先生との以下の会話から始まりました。(何分にも怪しい記憶を元にかけていますので、会話の細かい所は違っているかもしれませんが、ご容赦を。)

鶴田先生(以降鶴)「うーん、くやしいな。」

私「どうしたんですか?」

鶴「いやね、いまPLANET-Bに搭載する機器の選定を行っているんだけどね。中性ガスの質量分析器は絶対必要だと思うんだよ。けど、日本には搭載用の中性ガス質量分析器を開発できるグループが無いんだ。おまけに搭載用の質量分析器は基本的に70年代から進歩していないんだよ。」

この後数ヶ月(?)して、

鶴「こういう方法で質量分析をすれば現在の分析器の大きな問題点が解消されると思うんだけどどう思う?」

私「確かにこれなら速度分布も測れるし原理もシンプルですね。」原理がシンプルなのと、簡単に作れるのとは大違いなんですけど、電場計測器の開発で苦勞をしたのに学習効果が無く飛行体搭載用の質量分析器の開発に手を出してしまいました。

現在飛行体に搭載されている中性ガス質量分析器は二種類(四重極子型と磁場偏向型)あるのですが、いずれも被測定ガスに電子を当てて電離し、その後被測定ガスの速度のばらつきが無視できる所まで加速をし、四重極子又は磁場偏向を用いて質量を分別する構造になっています。この為これら質量分析器では1. 入射ガスの速度分布の情報が得られない、2. 壁面に吸着した原子と反応した結果出来た分子と元々の被測定ガス中の分子との区別が付けられない、という問題点があります。1. は原理上の問題点なのですが、大気の散逸に重要な役割を持つ酸素原子はその生成過程から非熱的な分布をしていると考えられており、その分布を測定することは大変重要な意味を持っているだけに解決できれば大きな進歩となります。2. は壁面に吸着している酸素原子(O)と非測定ガスとの再結合の問題で例えば測定された物がNOである時に、これがNと壁面のOとが反応した物なのか、元々NOであったのかが区別出来ないと言うことです。この為に打ち上げ前に入射ガス種毎にどのような質量の物がどのくらい観測されるかの精密なキャリブレーションを行い、その結果を元に測定データを解釈し、元の非測定ガスの質量分布の推定を行う必要があります。

我々が開発を続けている質量分析器は原理は大変簡単で、非測定ガスに電子ビームを当てて電離させるこ

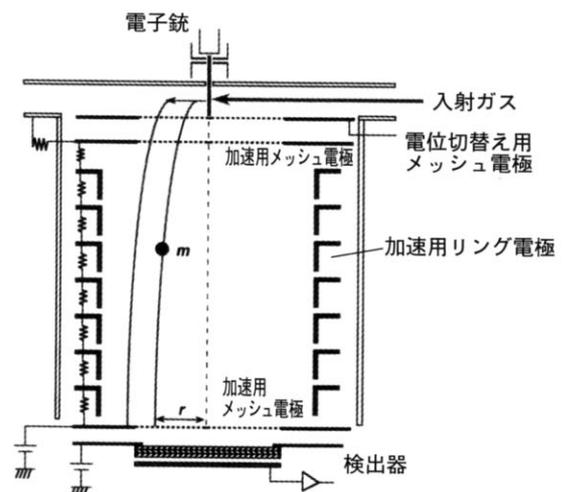
とは従来の方と同様なのですが、電離させた後に入射方向と直角に電場をかけることで電場に垂直な平面内の速度分布を保存させ、検出位置の分布から速度分布を求めます。また、電場を掛けてから粒子を検出するまでの時間差から質量が求められます。

非測定ガスの速度及びその広がりよりも飛行体の速度の方が随分と速いので、測定される分布は電離点から飛行時間に対応した分だけずれた点を中心に非測定ガスの速度分布に応じた広がりを持つのですが、途中で壁面に吸着したガスと再結合した物は重くなる為に速度が遅くなります。この結果その分布の中心は壁面のガスとの再結合をしなかった物とは異なりより電離点に近い所に来ることになります。この広がりを中心位置の違いから壁面に吸着したガスと再結合した分子が元からの物と区別されるわけです。

実験室で使っている装置の概念図を図に示します。

(一番下の検出器の部分は実際とちょっと異なります。)図では右側からガスが入って来て電離後下の方に加速されて測定されています。原理は簡単なのですが、実際に動かすにはそれなりにいろいろな難しさがありました。現在は、実験室レベルでは質量の分解・非測定ガスの温度の推定が出来る所までたどり着きました。数年後にはカナダが打ち上げる予定の衛星にこの測定器を積まないかという話があるので、それに向けての開発を行っている所です。興味のある方がいらっ

しゃいましたら一緒に開発してみませんか?



装置の概念図。右上の太い矢印が入射ガスを示す。中央で電離され下向きに加速され検出器に到達する。

## アルメニア見聞録

上田 佳宏

天文学に携わる人間なら、マルカリアン (Markarian) 銀河の名は必ず耳にしたことがあるに違いない。その名の由来となるマルカリアン博士が、アルメニア共和国・ビュラカン天文台にあるシュミット望遠鏡を用いて作成した活動銀河のカタログはあまりにも有名である。アルメニアの人々にとってマルカリアンは国民的英雄であり、通貨の100ドラム紙幣には彼の肖像画とビュラカン天文台の絵が描かれているほどである。

活動銀河サーベイをテーマとした第184回国際天文学連合 (IAU) コロキウムは2001年6月、この「由緒正しい」アルメニア・ビュラカン天文台において行なわれた。コロキウムには、日本からの参加者4人を含む十数か国から総勢50人あまりが参加し、電波、赤外、可視、X線にわたる多波長サーベイの最新の観測結果が発表され、活発な議論が行なわれた (とりわけ、天文台長のカチキアン氏はしばしば勝気な質問で発表者を困らせたので、我々は「勝気庵」先生と呼んだ)。私と共同研究者は「あすか」衛星によるX線サーベイの結果を発表したが、「はるか」の研究成果を発表する予定だった日本人研究者の方が、事情により直前になって参加できなくなったことは残念である。

現在ビュラカン天文台は口径2.6 mの光学望遠鏡を有しており、これを使って「あすか」のX線天体の光学追究観測を行なう可能性を尋ねてみたが、いろいろ問題があって断念せざるを得ないようであった。

アルメニア共和国はカスピ海と黒海のちょうど中間に位置する内陸国であり、旧ソ連に属していた。アルメニアはキリスト教を国教に採用した世界最初の国としても有名で、今年はその1700周年にあたる。2度ほど教会の中を見学する機会があったが、人々はたいへん信仰深く、装飾品の少ないシンプルな建築様式の教会で行なわれる儀式は、音楽と密着した、男女の聖職者のコーラスが織りなす芸術であり、さすがに名指揮者カラヤンを輩出した国だと妙に納得したものである。

到着した日、少し時間があったので町を歩いていると、ハムレットと名乗る英語教師が親しげに話しかけてきた。場所がイタリアだったら客引きに違いないと思って無視するところだが、彼は本当に親切で陽気な、おそらく典型的なアルメニア人で、町を案内しながらこの国の、多民族の支配を長くうけた複雑な歴史を解

説してくれた。共産主義崩壊前後の人々の暮らしの変化もいろいろと聞くことができた。興味をもってさらにこの国の歴史を学ぶうちに、ウラルト王国、ササン朝ペルシアなど、無味乾燥な暗記科目でしかなかった世界史の知識がオトギ話ではなかったことを知り、想像ただけでワクワクしてきたものだ。また、日本と聞いてとっさにヒロシマ・ナガサキという言葉が、彼を含めて滞在中計3人のアルメニア人の口から出てきたのはちょっと意外だった。

滞在中は、ホテルのバスルームにある蛍光灯がショートして燃え始めるなどちょっとしたトラブルも経験したが、人々は皆非常に親切で、とりわけコロキウム主催者側の参加者一人一人に対する気の使い方と歓待ぶりには、我々の主催する会議ではとてもここまで真似できないと頭が下がった。日用品の物価は東京の1/5くらい感覚である。「資本主義的」製品 (白いトイレトペーパーなど) が多少不足していること、昼間ホテルで水道が出ないことを除けば、過ごしやすい国であったと言える。ふらりと入った高級ホテルの中でガードマンが達者な日本語で「お手伝いシマショカ?」と話しかけてきたこともあったが、この国で東洋人は大変めずらしいらしく、とりわけ好奇心の抑えの利かぬ子供たちにはいつもジロジロと観察されるし (その場合こちらも負けずに観察して子供なのになんて彫りの深い顔だと感心)、時には写真をとらせてくれと頼まれたこともあった。アルメニア語はおろかロシア語も全くわからない私は言葉がほとんど通じなかったものの、身ぶり、手ぶり、絵談を使って大抵は切り抜け、本当に困ったときはうまい具合に英語のわかる人が現れて助けてくれたりもしたので、今後どんなに言葉の通じない国にいてもなんとかな生きていけるのではないかと変な自信を持つに至った。

国際会議に参加することは学術的交流を図る上で有用なのはもちろんだが、世界における日本の歴史・文化の独自性や、その経済・学問的立場を客観的に見つめる機会をも与えてくれる。将来、宇宙研キャンパスを千円札の裏に刷りこむためには、世界貢献という視野で、目指す科学の価値を考えることも必要なのかもしれない。(うえだ・よしひろ)



# リンゴは落ちて何処へ行く？

稲富裕光

宇宙科学研究所の一部門である宇宙基地利用研究センターは、様々な重力環境利用に関する研究の発案およびその育成を積極的に行ってきました。そして当センター自らも、落下塔での短秒時の自由落下や、電磁気力、超音波、クリノスタットなどによる模擬的な微小重力環境、また遠心機による過重力環境の創出により、重力が様々な物理化学的、生理学的現象にどのような作用を及ぼすかを広く探索してきました。

このシリーズでは、宇宙環境利用の中でも微小重力科学分野を中心に、専門家の方々に興味深いトピックスを毎回紹介して頂くことにします。今回はトピックスへの扉を開く役割のみを果たしたいと思います。

我々が通常用いる熱力学では、地上重力程度ではそのポテンシャルエネルギーの寄与は無視して議論されることが殆どです。しかし、例えば相転移のように熱的ゆらぎが流体力学的な擾乱に強く影響を受けると考えられている現象においては、その理解には温度、圧力等の熱力学的量に加えて重力を考慮する必要があります。

微小重力環境における研究は流体を主な対象とし、その目的は主に次の3点に集約できるでしょう。

- 1) 物性値の取得
- 2) 現象を記述する理論の検証と修正
- 3) 新たな技術の開発と応用

研究分野で分類すると

物質・材料工学 (凝固・結晶成長, 材料製造など)  
基礎物理化学 (非平衡現象, 低温物理, 原子物理 熱物性など)

流体物理 (二相流, マランゴニ対流, 沸騰現象など)  
燃焼科学 (液滴・噴霧燃焼, 燃焼合成など)

が主に挙げられます。

ちなみに、これらの分類は便宜的なものであり、実際にはそれらが複合的に関連する事例が数多く見られます。そして、微小重力実験の実施には地上実験に比べて多くの制約があるため、実験のための技術開発やシミュレーションの実施も重要な工学的研究課題です。

数年前までは、微小重力科学は新素材や極限環境といったややもすると“浮わついた”キーワードを伴ってクローズアップされてきました。しかし、現在は地上研究を踏まえた“地に足がついた”研究が積み重ね

られています。その背景として、従来はスペースシャトルや宇宙ステーションの利用でなければ実現できないとされてきた研究対象の一部を、技術及び理論の発展により地上実験で取り扱うことが可能になってきたことが挙げられます。落下塔、航空機、そして研究室規模の落下塔の利用が研究者にとってより身近になっており、地上での微小重力科学研究の成果の蓄積が今後一層加速されることでしょう。そして、宇宙空間はいわゆる“重力暗室”として理想的な場を提供する切り札であることは疑う余地はありません(高い賭け金が必要かも知れませんが)。

ニュートンがその名を有名にした果物、リンゴは木から落ちて何処に行ったのでしょうか？それは科学を進展させる種になり、そこから生えた芽が今や巨木となっています。その巨木が地上研究の成果やニーズを吸い上げて微小重力科学という花が咲き、たわわに実がなり、それが再び地上へ落ちて新たな種蒔きへと繋がっていく。このようなサイクルを繰り返して科学研究が発展していくことを願ってやみません。

(いなとみ・ひろみつ)





## 売り家と唐様で書く三代目

佐藤文隆

久しぶりにこの諺が頭に去来した。これをネタに文章を書くのは、多分、二十年ぶりである。「二十年」とは湯川秀樹が亡くなって二十年目の夏であるということに関連している。あの夏はカリフォルニアのパークレーで久しぶりに家族で生活したが、そこから帰って間もなくのことだった。夏休み後の最初の「プロGRESS」の編集委員会を先生は欠席され、同時に状況が伝わってきた。それからまもなくして、大きな波が押し寄せたように、慌ただしい諸事の対応に追われた記憶が鮮明に蘇る。こういう大きな人物が亡くなると、内部でも外部でも、ある一つの精神の勃興・衰退という枠にはめて、時代の推移というものを見たがるものである。「売家と唐様で書く三代目」という諺に接し、それが気になったのはそうした時期であった。

ここですこし注釈しておく。まず私は自分を「湯川の三代目である」と思っていることを認識していない人にはチンプンカンだろう。最近の若者には「湯川は素粒子、佐藤は宇宙だから関係ない」などと想像力のない者もおる。昔の話は繰り返さないが、去年は「伝記映像 湯川秀樹」というビデオ映画づくりで奔走し、いまも湯川記念財団の理事長をやっているような人間であることを知れば「三代目」は一目瞭然であろう。

注釈の第二はこの諺の意味である。金に困って家を売りに出さねばならなくなった商家の三代目の旦那が「売家」という貼り紙を書く字が見事な「唐様」である、という意味である。「唐様」とはもちろん中国風の意味だが、ここでは一般の人が触れないような高級文化の素養を指している。江戸の後期に現れた諺のようである。一代目はハングリーなバイタリティーを発揮して成功し、教養に関心を示す頃には年である。二代目は一代目の期待をもろに受け万事ぬかりなく仕事に精出すが、子供には甘くなる。三代目は物質的、精神的に自由で豊かな環境で育って高級文化を体現するが、商才はだめで商売は傾き、家まで売る羽目になる。諺はこういう世の習いを述べたものである。

さて、この諺を意識した背景が分かったと思うので、本論にはいる。当時、思ったことは「「売家」と書かない様に精進する」のか、それとも「その時に備えて「唐様」の字を書けるように精進する」のかである。この二つの選択は自明でない。少なくとも唐様にも書けないで「売家」を書く羽目になったら最低だと思った。また、唐様に書く技能があれば、それはそれで身も立つだろう、と。もちろん、この諺は「売家」と書く羽目になるなという警句だろう。しかし、一般に強力な社会が爛熟し、すえた匂いの雰囲気の中で、文化は出現する機会が多い。二十世紀初頭のウイーンを思い浮かべて言っている。

過去数年、大企業の倒産、産業の交代、など、日本の社会でも従来の価値感を揺るがす出来事が相次いだ。流行のタイムスケールが短くなっているように見える商売という次元で「売り家と唐様で書く三代目」の警句の重点がどちらにあると解釈すべきなのか？

「唐様にいくのを諫める」のか、それとも「次に備えて、唐様を磨け」と言ってるのか、もう自明ではない。「売家せずに、唐様も磨く」などと虫のいい道は中途半端で、「二兎を得ず」になる。

さて、商売ことはいいとして、科学や学問の世界ではこのことわざをどう読めばいいのであろう。こう言うと「二代目、三代目などという意識がこの世界では間違っている」と反論する者が現れるだろう。「科学は人物中立で誰その価値感でやってるのでない」と。そういう人を私は「可哀想」だと思う。

(甲南大学理工学部物理学科 さとう・ふみたか)



今月号から新しいシリーズ「微小重力科学あれこれ」が始まりました。ニュートンのリングは宇宙科学の最も重要な種子のひとつです。いま取り沙汰されている宇宙3機関統合の話が、新たなリングの実を稔らせる方向に進むことを願って止みません。

(周東)

ISASニュース

No.245 2001.8

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 042-759-8009

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(庶務課法規・出版係)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>)。