

▲M-V型ロケット新1/2段接手の静荷重試験（本文記事参照）（撮影：前山勝則）

〈研究紹介〉

高エネルギー物質の研究開発の動向について

宇宙科学研究所 堀 恵 一

1. はじめに

まずは固体推進薬の説明をしておきましょう。宇宙科学研究所のロケットが使用する固体推進薬はコンポジット推進薬と呼ばれ、基本的には3成分からなっています。含有率の高いものから順に...

酸化剤：空気のない宇宙空間でも燃料が燃えるために必要です。過塩素酸アンモニウム(Ammonium Perchlorate；以下、APと略記)が現用材料です。

金属燃料：燃焼の際の大きな発熱が性能向上に寄与します。また、ややこしい話ですが、振動燃焼を抑制してくれますし、推進薬の密度を向上してくれます。アルミニウムが現用材料です。

ゴム：燃料としても働きますし、粒子状の上記2成分を被い包み結合剤としても働きます。自身の安定性が推進薬の老化特性に影響を与えますし、自身の機械的

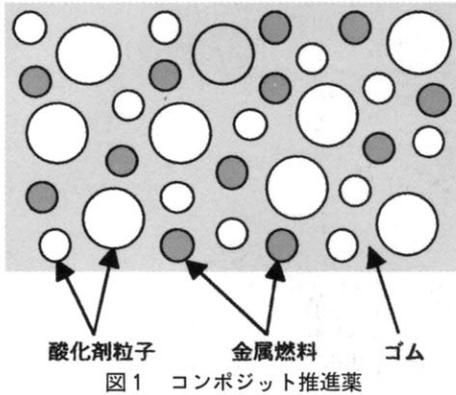
物性・固体粒子との相性が推進薬の機械的物性を決定するので重要です。もっぱら高分子(ポリマー)材料が用いられ、現用材料は末端水酸基ポリブタジエン(Hydroxyl-terminated Polybutadiene；以下HTPBと略記)です。

コンポジット推進薬の簡単な絵を書いておきましょう(図1)。だいたいのところがお分かりいただけでしょうか？

それでは本題に入りましょう。固体推進薬の開発は、他のロケットの部品・部材同様、あるいは以上に保守的です。新材料が開発されても、既存材料にとってかわるまでには軽く10年、中にはゆうに20年以上かかるものもあります。事実、推進薬の現用材料はゴム成分に微小変更があったことを除けば、20年以上同じものを使用しています。もちろん、色々な工夫があって性

能、燃焼特性、機械的物性は向上してきましたが、正直な話、性能面では限界にきているといってもいいでしょう。

もちろん、「推進薬屋さん」も手をこまねいていたわけではありません。新素材の開発に最大限の努力を傾注してきました。多くのものが出ては消え、次世代の材料候補として現在残っているのは酸化剤、ゴムで数種類に絞られました。その辺の事情について簡単に説明いたしましょう。

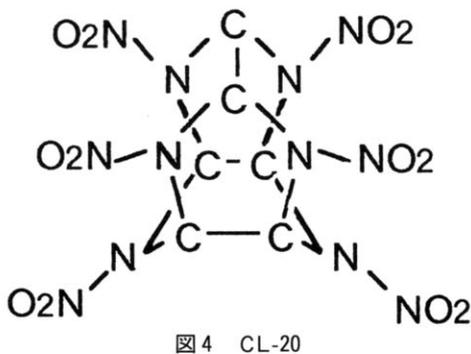
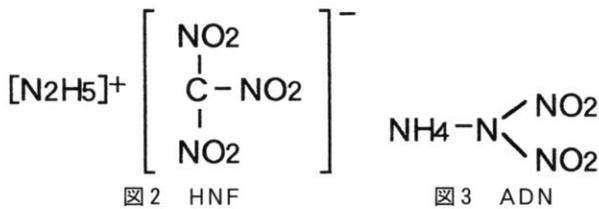


2. 次世代材料

2.1 酸化剤

現在、候補として残っているのは、HNF(Hydrazinium Nitroformate)、ADN(Ammonium Dinitramide)、CL-20(Hexanitrohexaaza Isowurtzitane)の3種です。と書いてもピンとこないでしょうから図2~4に分子構造を示します。

一見してわかるように、すべて分子内にNO₂(ニトロ基)が複数個あります。「ニトロ」と聞けば何となく「ヤバイ」という感じを持たれるでしょう。そうです。「ニトロ」がこれらの材料の力の源です。CL-20では、さらに化学結合の歪みエネルギーが加わります。



また、もう1つ大切なことは、これらの酸化剤はすべて塩素原子を含んでいません。現用のAPは塩素原子を含んでおり、その排出ガスは無害ではありません。これまでは、ロケットの排出ガスの絶対量の少なさからそれほど問題にはされてきませんでした。例えば、全世界で消費される固体ロケットの排出ガスを足しあわせても、世界中の火山から排出される酸性ガス量に比べはるかに少ないなどという比較が持ちだされたりします。もちろん、だからといって放っておいていいという法はありません。今後、排ガスのクリーン化への圧力が高まれば、これら新材料への代替が加速されるでしょう。

これら新材料の性質を表1にまとめておきましょう。

表1 酸化剤新材料の性質

酸化剤	HNF	ADN	CL-20
分子量	183	124	438
密度 (kg/m ³)	1860	1800	2040
生成熱 (kJ/kg)	-23.4	-67.4	-53.5
融点 (°C)	120	94	>195
酸素バランス (%)	21.8	25.8	10.9

HNF、ADNは性能的にはほぼ同等ですが、CL-20は両者に比べ生成熱・密度で優り、酸素バランスで劣っています。もっとも実際に使うとなると、安全性、安定性、ゴムとの相性、価格なども重要な要素となってきますので性能面の優劣だけでは順位はつけられません。

現状ですが、これら酸化剤の研究開発は欧米が優位にたっています。特にHNFはオランダが先端を走り、既に年間200kgを越える生産が可能なパイロットプラントを作り、いわゆる「実験室規模」から一歩ぬけたところで各種試験を行っています。推進薬を作ったの各種試験も精力的で、1回あたりの製作量は350gですが、製作上の安定度は十分に満足できるレベルにあり、実老化試験も1年を経過し問題はないそうです。燃焼特性・結晶形状で改善すべき点はありますが、もっとも実用化に近いのが、このHNFでしょう。今年6月にドイツで行われたシンポジウムでは、摩擦感度が「輸送に係わる」国連基準を満足するに至っていないとの報告がありました。彼等が既に、大量輸出を視野に入れているのは明らかです。

ADNはロシアが優位に立っています。基礎研究も盛んです。もっとも、まだ規模は小さく、少量の推進薬を作った燃焼特性を押え始めたところですから、他国との差は大きくはありません。日本も端緒についています。

CL-20はアメリカが先頭を走っています。ただし、この材料は安全性に難点があり、何とかその感度を落とすために製造・結晶化プロセスの最適化の研究が盛

んに行われておますが、少なくとも満足できる結果が得られたという報告は現在のところありません。その関係か、応用の指向がロケット用推進薬から爆薬へと、重みはずれてきたような気がします。

我が国の現状は、HNF、ADNについては製造法を確立し実験室規模での少量の製造は可能です。また、推進薬化しての研究も開始しており、前進はしております。しかし、CL-20については、現状ではノウハウの蓄積はありません。

2. 2 ゴム

ゴム材料の中でもっとも有望なのがGAP(Glycidyl Azide Polymer)です。図5に分子構造を示しますが、分子内にN₃基(アジド基)を有するポリエーテルです。これまでのゴム材料は、こと燃焼に関しては、酸化剤に「燃やしてもらおう」だけの存在でしたが、GAPは違います。アジド基が分解して窒素分子(N₂)を放出する際の発熱が大きく、燃焼に「積極的に」貢献します。事実、GAP単体で(酸化剤ぬきでも)ある程度圧力を上げてやると自己熱分解によりどんどん燃えていってしまうほどです。そのために、これまでのポリマーと区別して「高エネルギーポリマー」と呼ばれます。

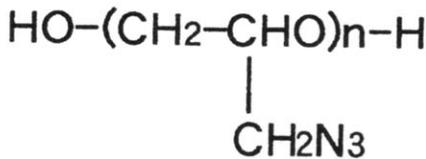
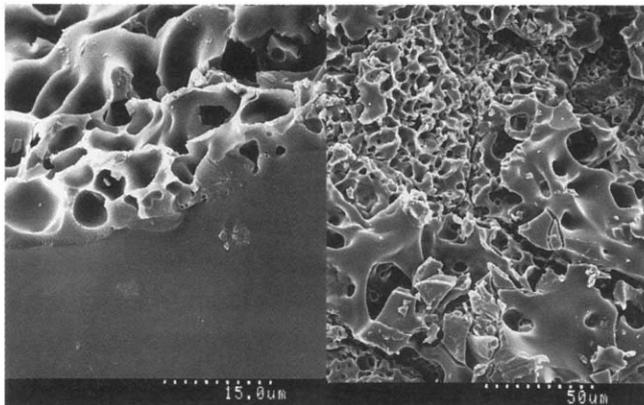


図5 GAP

酸化剤の開発では遅れ気味の日本ですが、GAPに関しては世界でもトップレベルにあります。既にパイロットプラントが稼働していますし品質も世界一といっているでしょう。それに相応し、研究面でも日本は進んでいます。筆者も以前、GAPそのものの燃焼(自己熱分解)機構の研究を行い成果を発表しました。以下、かいつまんで、ご紹介しましょう。

GAPの燃焼過程の中で、最初の段階はアジド基か



Sideview of the Sample Quenched at 0.89MPa

Topview of the Sample Quenched at 2.30MPa

写真1 消炎させたGAPのSEM写真(横)、写真2 同(上)

らの窒素ガスの離脱で、その段階はGAPの表面に形成される溶融層内に強く限定されます。断面が正方形で細長いGAPのサンプルを立てて火をつけて、お線香のように燃やし、急速減圧によって消炎させたサンプルを横からと上から観察した電子顕微鏡写真(SEM)を写真1と2に示します。

これらの写真から、燃焼表面には溶融層が存在し、その中で激しい発泡があったことがわかります。これらのガスの成分は化学分析の結果、窒素ガスであることがわかりました。他の実験結果と合わせて得られた燃焼モデル図を図6、7に示します。

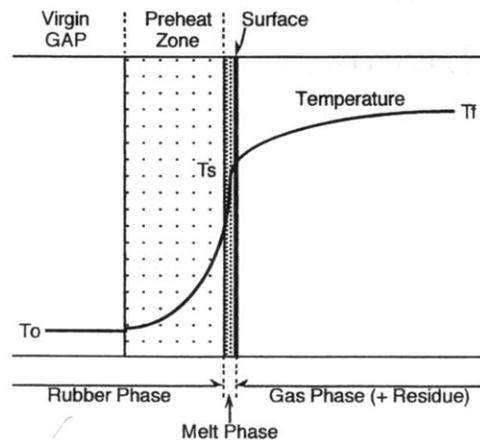


図6 GAPの燃焼モデル図

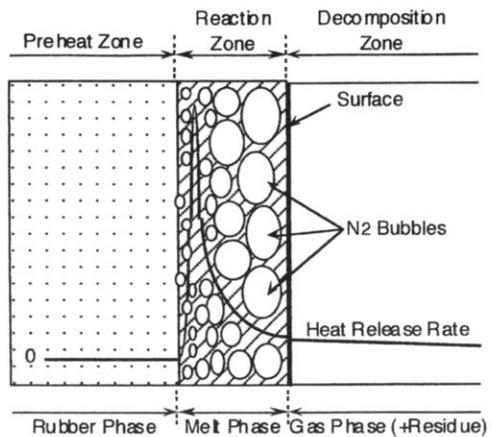


図7 GAPの燃焼モデル図(微細構造)

温度は最初の温度(T₀)から、厚さ200~300 μmの予熱帯(Preheat Zone)中で急激に上昇し、表面に存在する溶融層(Melt Phase)で約650Kの表面温度(T_s)に達します。その後、気相ではゆるやかに上昇を続け、最終的には約1300Kになります(T_f)。

燃焼表面の辺りを拡大したのが図7です。

表面の溶融層中で窒素ガスの発泡が激しく起こり、発熱速度はその中でδ関数的な挙動を示します。この挙動をもとに漸近解析という手法を使って、この部分の化学反応の活性化エネルギーを求めたところ、約150 kJ/mol・Kという結果を得ました。



写真3 減圧窒素雰囲気下でのGAP/APの燃焼状況

最近、GAPの燃焼限界を拡げる(もっと低圧でも燃えるように)ためにAPを加える研究を開始しました。写真3は、GAPにAPを40%加えたサンプルを約0.5気圧の窒素中で燃やした時の写真です。減圧下にもかかわらず活発に燃えているのがわかります。

ます。表2をごらん下さい。

現用の代表的な組成に比べ、GAP/HNF/Al、GAP/ADN/Alで約5.4%、GAP/CL-20/Alで約11.6%の上昇です。もちろん、この程度の上昇では、液体ロケットに及びませんし、ましてや空気のあるところでは次世代の夢のような輸送システムに対し比較の対象にすらなりません。

表2 各種推進薬の性能比較

推進薬組成(mass%)	密度比推力(s·g·cm ⁻³)
HTPB/AP/Al (12/68/18)	467
GAP/HNF/Al (25/55/20)	492
GAP/ADN/Al (25/55/20)	491
GAP/CL-20/Al (25/55/20)	521

しかし、我々にとっては、今回ご紹介した高エネルギー物質による代替が、本当の意味での「次世代」の、現実的な選択だと言えるでしょう。燃料を代えるだけでいいのですから。(ほり・けいいち)

3. まとめ

ながながと書いてきましたが、結局のところは、こういった新材料を使えば、どのくらい性能があがるのかというのがみなさんが一番知りたいところだと思います。

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	8/28 SS-520-2 嚙合せ より 14	SS-520-2 再本組 10 13 (日程: 暫定案)
鹿児島	MT-135-72,73フライトオペ 15 19	
能代	NAL-735 地上燃焼試験 24 (日程: 暫定案) 7	KM-V2-1 地上燃焼試験 17 (日程: 暫定案) 30
三陸	8/22 第2次大気球実験 より 5	

★人事異動(教官)

発令年月日	氏名	異動事項	現(旧)職等
		(所内昇任)	
12. 7. 16	佐々木 進	衛星応用工学研究系教授	衛星応用工学研究系助教授

★DASHの近況

DASH実験は、当初2000年冬期の打ち上げを目指して開発を進めてきたものであるが、打ち上げロケットの関係で、現在のところ1年の延期となる見通しである。打ち上げ

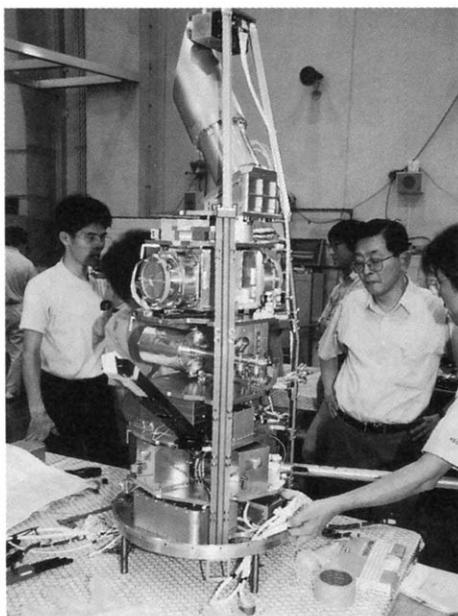
が延期になったため、スケジュールは多少のゆとりをもって進められて来ている。現在総合試験がほぼ終了に近づきつつあるが、いかんせん、そのサイズから言っても若輩もので、他の衛星スケジュールを縫いつつ行われている。振動試験など、ひやひやしながら見守っ

たこともあるが、幸い大きな問題が生じないですんでいる。この後、多少の取りこぼしの試験をこなすと、12月に予定されるフライトオペまでつかの間の休眠状態に入ることになる。一方、サハラ砂漠での実験機回収をするための訓練も行われて来ており、ほぼ全体の準備が整いつつある。今後は、回収のための備品送り出し作業が9月末あたりより開始し、11月末のフライトオペ準備の開始をもって作業が動き出すことになる。関係者の皆様、もうひとふんばりお願いします。

(安部隆士)

★SS-520-2号機の計器合せ

本年11月末にノルウェーのスバルバードロケット実験場から打ち上げられる予定のSS-520-2号機の計器合せが7月27～28日の2日間にわたって飛翔体環境試験棟で行われました。スバルバードロケット実験場は北緯79°、北極点まで約1000kmという世界最北端にある射場で、ここが選ばれた理由は勿論このロケット実験の目的のためです。磁気圏の昼間側境界を通る磁力線が極域の狭い所に楔状に集まってくるカスプと呼ばれる場所があります。カスプの磁力線が地上のどこに来るかは太陽風の動圧や磁場の極性によって変わりますが、平均的にはスバルバード、地磁気地方時は正午付近になります。11月末という打ち上げ時期は、上層大気および地上観測に対する太陽光と月光の影響を最低にするという条件から決められました。カスプには太陽風プラズマが低高度まで侵入してくると同時に上層大気イオンが磁力線に沿って地球から大量に逃げ出していることが、「あけぼの」衛星の観測結果などで見つかっています。普通は地球の重力に束縛されているはずの重イオンが脱出するためには、何らかの特別の加速・加熱機構が働いているはずで、それは1000km程度から上の高度で始まると考えられています。また、



ヨーロッパ非干渉性レーダ(EISCAT)を用いた最近の観測によると、電離圏イオンの上昇流は数百kmの高度から始まるという結果も出てきました。SS-520-2号機の目的は正にその加速・加熱の起きているところにロケットを打ち上げて、その物理機構を調べようというものです。この研究は最近注目を浴びているテーマの1つで、カナダ、ヨーロッパ、アメリカの研究者達も大きな関心を寄せており、一緒に共同研究するよう計画されています。

このロケット実験が提案されたのは4年以上も前のことですが、遂に最後の詰めの段階にさしかかってきました。今回の計器合せでは予想外の不具合も幾つか発見されましたが、いずれも対処可能なものばかりでした。今後、8月末からの噛み合せ試験、10月中旬の発送、11月中旬からの現地オペに向かって、追込みに入ろうとしているところです。(向井利典)

M-V事情

M-V型ロケット新1/2段接手の静荷重試験(表紙写真)

M-V型ロケットは、性能向上と低コスト化を目的とした開発が行われており、構造的には第2段モータケースのCFRP化、2/3段接手の短縮化、そして、1/2段接手の単純化が進められています。これらは5号機から適用される予定です。

現在の1/2段接手は、ファイア・イン・ザ・ホール分離時の2段モータからのガスを通すための1段側グリッド構造部と分離後に2段ノズルと衝突しないように3つのパネルに別れて分離するスキンストリング構造部で構成されています。また、紐状の火薬を用いて金属を溶断するFLSC分離接手がスキンストリング構造部の上下端2カ所に配されています。これに対して、新1/2段接手は、FLSC分離接手を1カ所にして、1段側だけでなく2段側も一体のグリッド構造に変更しました。そのため、分離時には現1/2段接手のような華々しく飛散するパネルはないため、少々寂しく感じられる方もいらっしゃるかもしれません。

この新1/2段接手が設計通りの強度と剛性を保持していることを確認するために、6月中旬から下旬にかけて、構造機能試験棟で静荷重試験を行いました。1/2段接手は、ロケットの中で最も大きな荷重が加わる場所で、その荷重は構造機能試験棟のテストスタンドの耐荷性能の限界に近い大きさです。そのため、1/2段接手だけでなく、テストスタンドも大丈夫か心配しながらの試験になりましたが、無事、所定の試験を終えて、十分な性能を有していることが確認できました。この後、KSCでの分離試験を予定しています。

(峯杉賢治)

稀ガスを用いた比例計数管(PC)は、大きな信号や大面積が得られるため、宇宙X線の検出器として重用されてきた。しかしPCでは、X線が作る1次電子群の数の揺らぎに加え、芯線のまわりの強い電場で電子が増幅される際の揺らぎが重なるため、エネルギー分解能が悪い。そこで1次電子群の数を保ちつつ、強い平行電場で引っぱり、加速された電子が稀ガスの原子に繰り返し衝突するさいの紫外線光を検出する方式が考案された。これがガス蛍光比例計数管(GSPC)で、PCに比べ、エネルギー分解能が2倍ほど向上する。

GSPCは「ひのとり」FLM装置(1981)として初めて宇宙に登場し、ついで図1に示すように、「てんま」(1983)のSPC装置として大きな足跡を残した。これらの装置は宇宙研において、田中靖郎、松岡勝、小山勝二、井上一、常深博、大橋隆哉らによりロケット実験を経て開発されたもので、8000Vに達する高電圧を使うため、開発は放電との闘いの連続であった。

「てんま」SPCは軌道上でみごとに作動し、銀河面に沿う超高温プラズマの発見、超新星残骸のプラズマの詳しい診断、パルサーなどの鉄輝線の研究、中性子星やブラックホールの降着円盤の観測的な検証など、多くの優れた成果を挙げた。これにより、鉄のK輝線とスペクトルの連続成分をバランス良く扱うという、日本の宇宙X線研究の基本が確立したと言える。

GSPCでは、キセノンガスからの紫外線パルスをもつフォトマルで検出する。そこで位置感度をもつフォトマルを用いれば、X線のエネルギーのみならず、入射位置

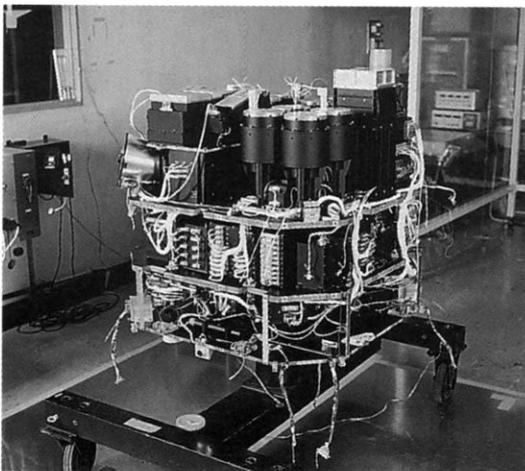


図1 「てんま」の上部。10台のGSPCが見える。

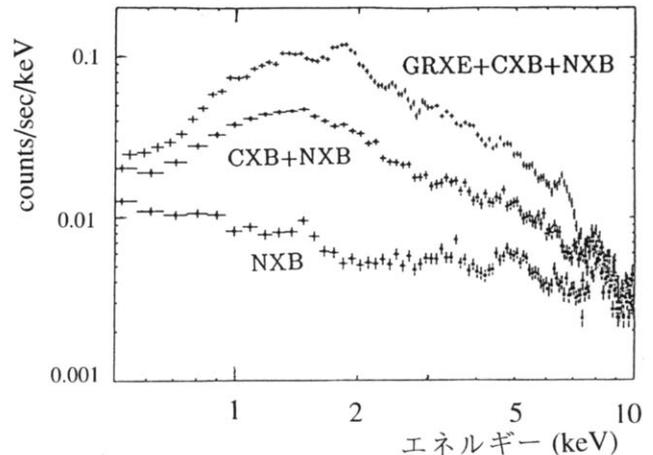


図2 「あすか」GISのスペクトルの例。

も検出でき、X線反射鏡の焦点検出器として用いられる。そのための開発はおもに東京大学で大橋らを中心に進められ、「あすか」GIS(撮像型蛍光比例計数管; Gas Imaging Spectrometer)装置として結実した。ここでも開発は、極薄ベリリウム箔のガス漏れ、紫外線を通す水晶窓の割れや帯電、高圧電源の放電など、トラブルの連続であったが、幸いGISは軌道上で7年にわたり安定に動作を続けている。同様な装置はイタリアのBeppoSAX衛星にも搭載され活躍している。

GISはエネルギーや位置の分解能では、「あすか」に一緒に搭載されたCCDカメラ(SIS)に譲るものの、広い視野、低く安定したバックグラウンド、硬X線に対する高い量子効率、5桁を越す強度ダイナミックレンジ、16 μ sに達する早い時間分解能など、SISと相補的な利点をもつ。このためGISは、銀河団や銀河面の超高温プラズマの詳しい診断、銀河団の中心における暗黒物質の階層構造の発見、ミリ秒パルサーからのX線の検出、新たなブラックホール連星の検証、宇宙X線背景放射の起源の探索など、広汎な成果を挙げており、そのデータは全世界で利用されている。

図2はGISのスペクトルの例で、下から順に、夜の地球、銀河面から離れた空、および銀河面の代表的なデータである。NXBは非X線バックグラウンド、CXBは宇宙X線背景放射、そしてGRXEは銀河面X線放射の成分を表わす。GRXE成分は超高温プラズマからの放射の特徴(高電離イオンの輝線)を示すが、このプラズマの加熱や閉じ込めの機構は今もって謎である。

(東京大学大学院理学研究科 まきしま・かずお)

アクトンさん、米天文学会ヘール賞を受賞

H. S. Hudson (UCSD), 小杉健郎 (宇宙研)

Haleは太陽磁場の発見者として、またパロマー天文台200インチ望遠鏡を作ったことでも知られる20世紀初頭の著名な天文学者である。アメリカ天文学会では毎年、彼の名を冠したHale賞を太陽物理学分野で大きな業績を挙げた研究者に贈っている。これまでの受賞者にはBabcock, Davis, De Jager, Parker, Wild等のそうそうたる名前が並んでいる。

このHale賞の2000年度の受賞者に「ようこう」チームのLoren Actonさんが選ばれた。Actonさん、おめでとう。この十数年、Actonさんは「ようこう」を中心に活躍してきた。彼の受賞は「ようこう」そのものが評価されたことでもあり、チーム一同この受賞を誇りに思っている。

Actonさんと「ようこう」

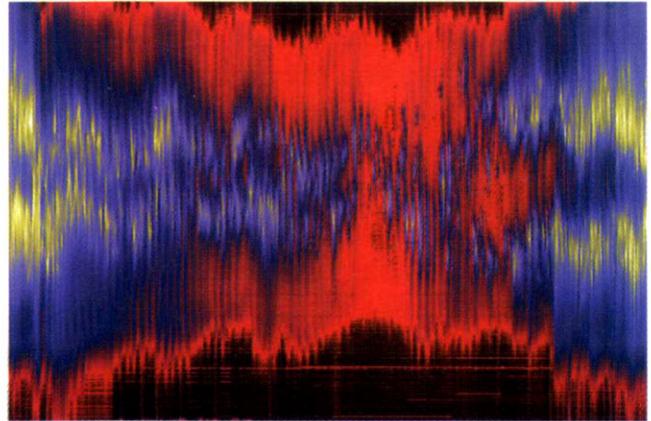
Actonさんは実験物理屋として、宇宙時代の幕開けいらい、さまざまな宇宙実験に参加してきた。ちなみにコロラド大学での彼の博士論文の研究テーマはX線による宇宙観測についてであった。

「ようこう」に先立ち、Actonさんが宇宙飛行士としてスペースシャトルに乗り込んだことを知らない人はいないだろう。彼は1985年、Spacelab-1ミッションで太陽観測を担当するミッション・スペシャリストの役目を立派に果たした後、天体物理学に復帰した。

1970年代いらい、Skylab(及びいくつかのロケット実験)で斜入射反射鏡が使われ、太陽コロナの華麗な軟X線像が得られるようになった。しかし、これらはいずれも写真フィルムを用いた撮像であり、CCDを用いた連続撮像が待望された。日本では宇宙研及び東京大学、国立天文台のグループを中心として、「ひのとり」の成功を引き継ぐ衛星計画が議論されており、この流れが日米国際協力での新しいタイプの軟X線望遠鏡へと結びついた。主要な役割を演じたのは、Actonさんの率いるロッキードのグループ、及び日本の常田佐久(現国立天文台教授)、小川原嘉明(現宇宙研名誉教授)であった。かくして、「ようこう」軟X線望遠鏡SXTが誕生し、今日までおよそ9年間にわたりダイナミックに変動する太陽コロナの姿を完璧に捉えつづけている。



写真：Rochester大学での授賞式のようす。Actonさん(左)。



図：SXTにより得られた太陽コロナの蝶形図。縦軸は中央が太陽緯度(真ん中が赤道)、横軸は時間。「ようこう」9年間の太陽コロナの明るさの変化を示す。

「ようこう」の科学成果

本年6月、Rochester大学にて行われたActonさんの受賞記念講演に沿って、「ようこう」の科学について若干補足する。

「ようこう」はSXTで太陽コロナの超高温成分を、硬X線望遠鏡HXT(宇宙研、東大理、国立天文台で共同開発)で高エネルギー現象を研究している。この両者の共同で、「ようこう」は太陽フレア及びコロナ・マス・エジェクション(CME)などの磁気爆発現象の核心に迫る画期的な成果をあげてきた。実際、SXTは2秒、HXTは0.5秒というかつてない高い時間分解能で爆発現象を観測し、たくさんの発見をなし遂げた。

フレア爆発もさることながら、Actonさんはミッション当初から『恒星としての太陽』に興味を持ち、長期間にわたる太陽コロナの変動をムービーにすることを重視してきた。これもCCDを持たないSkylabではできなかったことだからである。毎日約50枚の太陽全面画像を取得し、9年間にも及ぶ太陽コロナの変動をひとつの映画として記録して、我々は数えきれないほどの多くの発見—多くはフレア爆発と関連している—を導くことができた。「ようこう」データは国際的な太陽物理学コミュニティの共有財産となり、SOHOやTRACEなどの後続ミッションが活躍しはじめてからもその輝きを失っていない。今日では太陽物理学のどんな国際研究集会でも「ようこう」データを使った発表がないことは考えられない。

Actonさんの「ようこう」ムービーをさらに圧縮して、1枚の図で太陽コロナの変動のようすを概観しよう。これは軟X線で見た太陽コロナの明るさを東西方向にスタックし、太陽緯度ごとに輝度変動を記録したもので、太陽黒点の所謂『蝶形図』に相当する。太陽の11年周期変動を鮮やかにみてとることができる。

Actonさんは現在、モンタナ州立大学を半分リタイアした状態ながら、「ようこう」を中心とした研究活動を活発に続けている。

澤井秀次郎

昨年の10月より1年間の予定で、米国ミシガン大学に滞在しています。文部省在外研究員として調査・研究活動を行うためです。こちらでは、主に小惑星周りの宇宙機の運動、特に「ホバリング運動」について研究を行っております。この分野は非常に新しいため、過去の文献というものもほとんどなく、「とにかく何でも良いから手を動かせ」という状態です。具体的には、こちらの受入教官が開発したプログラムコードを元ネタに各種のシミュレーションをしたり、制御則の設計を行っています。この研究分野はまだまだ小さく、「過去もなかったけど、将来もなかった」なんてことにならないよう、私も数少ない関係者の一人として努力する必要があります。現在は、自分達の結果を使ってくれそうな宇宙計画はないものか、と探しているような状態で、先日は自分の職場(宇宙研)向けに売り込みのための計算をする、という珍しい経験もさせていただきました。

今まで知人に、「私はいまミシガンにいる」というと、必ず帰ってくる答えは、「それってどこ?」。この際ですから、簡単にご紹介したいと思います。私がいるミシガンは、アメリカ26番目の州です。五大湖沿いに位置し、デトロイト市が州内きっての大会場です。自動車産業に代表されるように工業化も進んでいますが、その一方で大自然も満喫できる場所。全米で入場者数が一番少ない国立公園もここミシガン州にあります。

さて、8ヶ月程ですが、アメリカに来て思うのはその広さです。アメリカは大国と言われていますが、人口だけを見れば日本の2倍程度。国民一人当たりの能力が日米でほぼ同じと仮定すると、その国力は倍・半分程度のはず。しかし、実際にはそれ以上の差を感じずにはられません。もちろん過去の歴史、積み重ねにも差はあるのですが、やはりそれ以上に大きいのは、懐の広さの差です。そして、その懐の広さの根元にあるのはその社会の多用性と思えます。

使い古された言葉をここで敢えてもう一度持ち出すのも恐縮なのですが、アメリカは多人種社会です。移

民の受入で発展してきた国だけに実に多くの人種が混在しています。そして、そういう様々な人々が日々隣同士で暮らしています。バックグラウンドの異なる人々の間での「国際紛争」とでも言えそうな争いはこの国の中では日常茶飯事です。極端な言い方をすれば、アメリカという国の中に国際社会が入ったような状態。将来、もし世界中の国々の国境の壁が低くなることがあるとしたら世の中はこういう風になるのだろうか、とも思えてきます。アメリカは、そこに住んでいると否応なしに国際化を迫られる場所。アメリカ人の持つ「多様な価値観」や「国際感覚」というものも、逆に言えば、アメリカのこの環境の中ではそういうものを身につけざるを得ないものがありそうです。

抽象的なことばかりを書き並べてみましたが、「それでは国際感覚を持った人は具体的にはどういう人なの?」という話もあろうか、と思います。これは人によってそれぞれ考え方が違うようで、私はいまだにその答えを探している最中ですが、少なくとも英語が喋れる、喋れないという問題ではなさそうです。私がアメリカに来て経験した中では、やはり自分のことを知らないといろいろと不都合がありそうです。以下に私が回答



に窮した質問のいくつかをご紹介します。

「俳句のリズムは、誰がいつ決めた?」

「京都の二条城は誰がいつ建てた?」

「聖徳太子が中国に送った書簡(日出る・・・)の結果、中国が取ったアクションは?」

恥をさらけ出すようですが、いずれも私には答えられませんでした。アメリカで人と話をすると、相手の人は日本人である私のバックグラウンドとして日本のことに興味を持つことがあるようです。こういう話をするとき、自分が得意な方向に話題を誘導していかないと、このような質問にあってしまいます。海外で生活するときこそ日本のことを自分なりに理解していないといけないのだ、と実感させられました。それにしても、このレベルの低さ。私の高校時代の恩師にはお知らせできません。(さわい・しゅうじろう)



探査機の位置、速度を知る

加藤隆二

惑星探査における軌道決定(位置、速度の決定)には、2つの目的があります。一つ目は、探査機との通信を確保するための軌道決定です。探査機は地球から遠く離れて航行するため、電波は弱くなり、地球周回衛星で行われる自動追尾は困難となります。そのため、探査機の位置を求め、地上局のアンテナを探査機の方向に正確に向け続ける必要があります。二つ目は、軌道制御のための高精度な軌道決定です。探査機を惑星の周回軌道に投入するため行う軌道制御では、事前に精度の高い位置、速度が必要となります。惑星の重力を利用したスウィングバイによる軌道制御時も同様です。

軌道決定に用いるデータは、レンジ、ドップラーの2種類です。地上局から送信された電波は、探査機で折り返され、再び地上局で受信されますが、その電波の往復時間が、レンジデータであり、送信周波数と受信周波数のずれが、ドップラーデータです。レンジデータに光速をかければ、往復の距離となり、また、周波数のずれは、視線方向の速度を表します。臼田深宇宙局におけるレンジデータのランダムな誤差はmのオーダー、ドップラーデータは、mm/sのオーダーです。しかし、この2種類のデータは、視線方向、すなわち1次元の位置、速度情報であり、この時系列データから3次元の位置、速度を求めなければなりません。そのために、探査機に働く加速度を考慮して計算した観測データと実観測データとの差の二乗が最小になるようにする最小二乗法を用いて、探査機の位置、速度を求めます。そのためには、ある程度長い時系列データが必要となります。

しかし、「のぞみ」のような惑星探査機では、可視時間は太陽と同じ

く約12時間になりますが、その部分は軌道の1/1000であり、1ヵ月でも軌道の1/16にすぎません。このように、軌道の一部分の1次元データ(視線方向の位置、速度)で全体の軌道を決定しなければならないわけです。しかし、幸いなことに地球は24時間で自転しているため、視線方向の速度が正弦波で変化します。7月1日現在の「のぞみ」では、探査機自体の視線方向の速度変化は、半日で約70m/sですが、自転の影響による速度の振幅は約360m/sとなり、後者のほうが大きくなっています。自転の影響の部分に着目すると、速度変化の大きい0m/sの 때가ちょうど探査機の方向に向いていることとなります。これは、ドップラーデータが、視線方向と直角の方向(但し赤道面に平行)の角度のずれを示す事となります。また、速度の振幅は探査機の赤道面からの角度により変わります。現在地球から約2億6000万kmの距離にある「のぞみ」では、視線方向と直角の方向(但し赤道面に平行)に700km、または、赤道面垂直方向に2000kmの位置のずれがあると、視線速度を表すドップラーデータには、約1mm/sのずれを生じます。すなわち、ドップラーデータには、視線方向の1次元速度情報以外に、視線方向と直角の方向の2次元の角度(位置)情報が含まれていることとなります。このデータと、視線方向の位置情報であるレンジデータと組み合わせた時系列データから、探査機の位置、速度が求められるわけです。このように、惑星探査機の軌道決定には、ドップラーデータが重要な役割を果たしていることがわかつておきます。

軌道決定の精度は、データの質以外に、探査機に働く加速度のモデル誤差も影響します。惑星探査機においては、太陽輻射圧のモデル誤差が大きな要因となります。太陽輻射圧は、探査機の形状、表面の材質等に関連するため、正確に表すことが困難な加速度で、いかにモデル化するかが重要となります。小惑星サンプルリターン探査機MUSES-Cでは、イオンエンジンを推力として用いており、このモデル化も重要となります。

惑星の周回軌道投入のような大きな軌道制御では、数回に分けて制御を行います。制御間の短い期間でいかに軌道を精度良く決められるかが求められており、この課題に向かい軌道決定精度向上のための努力が続けられています。

(かとう・たかじ)

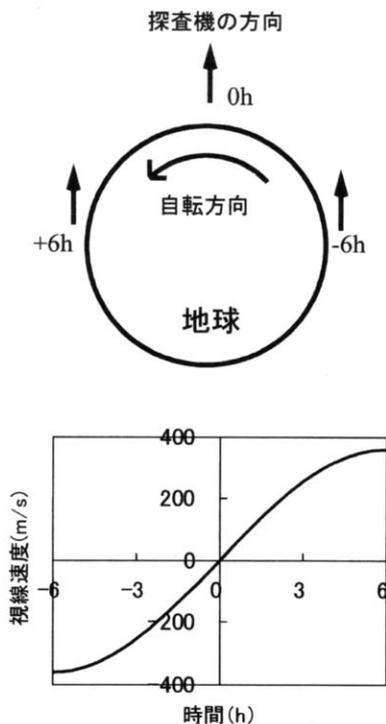


図1 地球の自転による視線速度の変化



ロケット開発今昔物語

村上卓司

先日パーティーでヘンミ計算機の方と同席した。1965年からロケット開発に携わった筆者達には、設計の際使用した計算尺のメーカーとして懐かしい会社である。今は電装関係の仕事が多く計算尺は作っていないそうである。大部分の設計計算は計算尺で済ましていたが、図面の寸法決定には計算尺では有効数字の桁数が足りない為、機械式デジタル計算機とでも言うべき、タイガー計算機が活躍した。タイガー計算機で平方根を静かに求めるには、熟練が必要であった。警告のベルが鳴ったからである。

配属されたのはM-4Sロケットの開発グループであった。M-4Sロケットは9種類25個のロケットモータで構成されていて、開発する設計部隊は、5人だけであったので、猛烈な忙しさであった。40日の間にスピン、デスピン、リスピンの3種類のモータとスピンスタンドの設計と製図を行った事もあった。小型モータなので初期燃焼面積を計算してイグナイター薬量を決定し、最大燃焼面積を計算して、スロート面積を決めてその条件下で各部の強度設計をし、全体の燃焼特性は実験で決まるという荒っぽい設計である。

効率の良いサイドフォース発生器

最初に手掛けた大型モータはM-4Sロケットの第2段モータM-20であった。L/Dの小さいモータであるため、燃焼中に発生する前端と後端の凸凹したかぼちゃの半分のような部分の面積を燃焼の進行に従って克明に計算する大変な作業がある。それをタイガー計算機で実施する気の遠くなる作業をしなければならなかった。M-4SロケットにはTVC装置は付かず、グラビティターン方式であったが、将来に備えて地上試験はTVC付きで行われた。燃焼試験の際、途中から横推力が段々大きくなり、TVC開発担当の同僚は、性能がよいと大喜びであったが、燃焼終了後行くと、ノズル壁に馬が出入りするほどの大穴があき、それが横推力を発生させていた事が解った。

衝突は黒板、ストーブでモータの風邪防止

M-3Cロケットの第3段モータの燃焼実験の時だったと思う。推進薬を性能の高い低バインダー組成にしたために、伸びの少ない物性になっていた。モータの温度が低下すると、推進薬の内孔に大きな歪が発生し、クラックに発展する危険があり、保温することになった。

当時の能代実験場は土手の向こうは、火気厳禁であって、建物も三角小屋以外は寒風が吹き荒れる砂浜であった。保温担当の小生としては、やむを得ず、土手の内側の第二計測室にモータを持ち込み、ガスストーブを燃やしてモータが風邪をひかないよう努めた。ロケットが直接ストーブにあたらないように間に黒板を挟んで、現場の工長と二人で監視した。モータも暖かかったろうが、監視役も楽で暖かい仕事であった。尚、その時の工長は後に会社の安全衛生主任(係長)になっている。

タンポ槍作り

燃焼実験前日の組立班の大仕事はノズル消火に使うタンポ槍の製作であった。ノズルスロート径に合わせて、長い棒の先にウェスを巻きつけてその上をガラスクロスで被うスタイルが標準的な物である。当日はタンポを水に漬けておき、燃焼実験直後にノズルに突っ込み空気の流入を遮断し消火するために使う。大型ロケットの場合はタンポ槍製作は大仕事で、水を含んだタンポの重さは数十キロにもなり、ノズルの直後に立たないで挿入する為に長い横棒をつけて6人がかりで入れたこともあった。今では炭酸ガスをパージしている。

キャップタイヤケーブル敷設機の発明、人間標準ロードなど、今から見ると奇妙な物が沢山ある能代の実験であったが、金のない中でやり繰りしながら工夫した楽しい現場でもあった。

(IHIエアロスペースエンジニアリング
代表取締役社長 むらかみ・たくじ)

ISASニュース

No.233 2000.8

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所(文部省) ☎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>)。)