

宇宙科学研究所

1999.9 No.222

「ようこう」で撮影した部分日蝕〔本文記事参照〕

〈研究紹介〉

未知剛体の自由回転運動の推定

大阪大学大学院基礎工学研究科 宮崎 文夫・升谷 保博

1. はじめに

私たちの研究室では宇宙ロボットの基礎技術について研究を続けているが、その念頭にあるのは「宇宙ロボットにおける本質的な課題は何か?」という問いである。その一つが「浮遊物体の運動認識」である。

ロボットマニピュレータで何か作業を行うために、画像などのセンサ情報に基づいて、その作業対象の物体の位置や姿勢あるいは運動を認識する状況を考える。地上の場合とは異なり、宇宙では、空間に浮遊して3次元的に運動している物体も扱わなければならない。対象を剛体に限定しても、その回転運動は回転軸が時間的に変動する複雑なものである。

宇宙空間における物体の位置や姿勢の推定の問題を扱ったこれまでの研究の多くは、ロボットの作業対象を人工衛星などのように既知の物体であると想定して、画像から抽出された特徴量をあらかじめ持っているモ

デルと照合したり、既知の慣性パラメータに基づくカルマンフィルタを用いている。

しかし、そのような方法は、デブリのような未知の物体を扱うには役に立たない。多様な活動を行う自律的な宇宙ロボットを実現するには、形状パラメータや慣性パラメータが全く与えられていない未知物体に対しても、画像などの情報から位置や姿勢や運動を推定・認識し、さらに未来の値を予測する技術を確立する必要がある。

このような背景の下で、私たちは、無重力下で自由運動する未知の剛体の観測データから運動を推定する二つの手法を提案した。本稿では、その問題設定と考え方を簡単に紹介する。

2. 剛体の自由運動

衛星軌道における剛体の回転運動は、外力モーメン

トが作用しないオイラーの運動方程式を用いてモデル化できる。その解は、自由運動の場合でも、一般には楕円関数で表される扱いの面倒なものになるが、一方で、これを幾何学的に解釈することが可能である（図1）。中心が空間に支持され、物体座標系とともに動く“ポアンソーの楕円体”が、空間に固定された“不変平面”に接して滑らずに転がっている状態で、楕円体の中心から接点へのベクトルがその瞬間の角速度に、平面の法線方向が角運動量ベクトル(一定)の方向に一致する。

よく知られているように、剛体の3つの主慣性モーメントのうち2つが等しい場合（軸対称）には、解は簡単になり、別の幾何学的な解釈として、空間に固定された円錐の周りを物体とともに動く円錐が滑らずに転がっていると表現できる。これは、別の見方をすれば、2軸の等速回転運動の重ね合わせである。

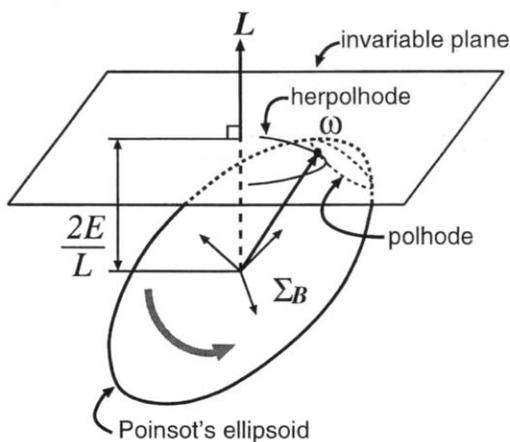


図1. 剛体の自由回転運動の幾何学的解釈

3. 推定手法

前節で述べたような剛体の自由回転運動を観測データの時系列から推定することを考える。ただし、対象の剛体の形状や質量分布は一切わかってないとする。このような状況では、未知パラメータが多いため、カルマンフィルタのようなオンライン推定は難しいと思われる。そこで、時系列データを蓄えてからオフラインで推定を行う方法を考える。

3.1 角速度の時系列に基づく推定

対象物体を撮影した画像の時系列に基づいて運動を推定する場合、相手が未知では、隠れなどのために特定の特徴点を長時間追いかけることは不可能である。このため、時系列で隣り合う画像間の特徴点の対応だけを用いることにする。2枚の画像間の特徴点の対応から、剛体の形状や運動を推定するという問題は、コンピュータビジョンの分野で古くから研究されている。

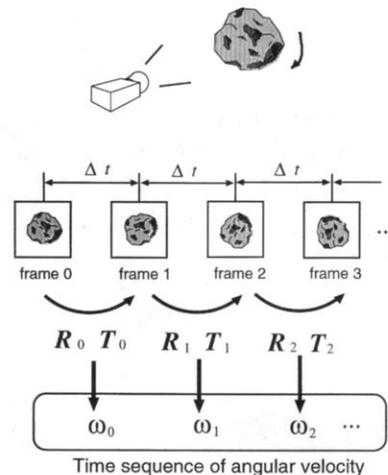


図2. 画像列から抽出される角速度の時系列

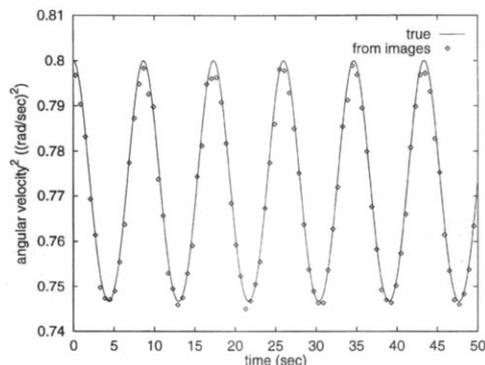


図3. 角速度ベクトルの大きさの2乗の時間変化

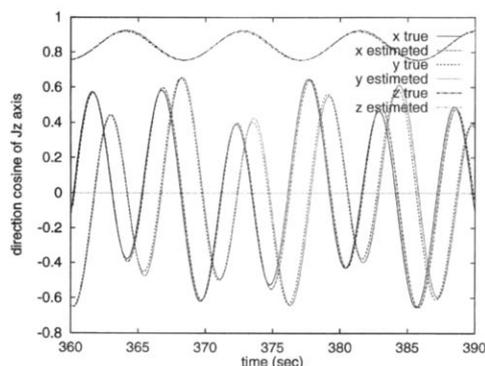


図4. 慣性主軸の方向余弦の推定値と真値

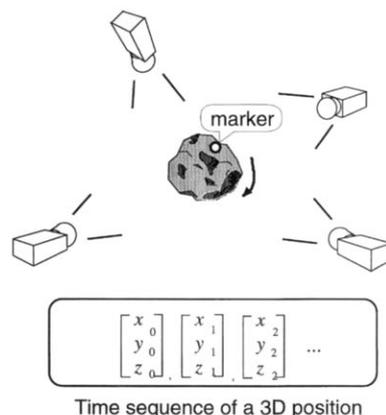


図5. 複数センサによって得られる物体上の1点の3次元座標の時系列

そこで、その成果を利用し、隣り合う画像データからその間の剛体の3次元的な回転成分を抽出し、さらに、その差分近似で得られる慣性座標系における角速度ベクトルの時系列を求める(図2)。この時系列から、オイラーの運動方程式の解を決めるパラメータを推定する手法を開発した。

オイラーの運動方程式の解の角速度ベクトルは、慣性座標系では単純な周期性を有しておらず、そのままでは扱いにくい。そこで、角速度ベクトルの先端が不変平面上にあるという性質と、角速度ベクトルの大きさが比較的簡単な周期関数で表現できるという性質を足掛かりにして処理を行う。推定結果として得られるのは、4つの時定数と、剛体の姿勢を表現するのに都合の良い中間座標系である。これらを用いると、剛体の主慣性軸方向の変化を時間の関数として表現できる。つまり、回転運動の予測が可能である。

提案した手法の有効性を確認するために、画像の解像度を考慮したシミュレーションを行った。その一例として、画像より抽出された角速度ベクトルの大きさの時間変化を図3に示す。これらから運動を推定した結果として、剛体の慣性主軸のうちの一つの軸の方向余弦の時間変化を図4に示す。

また、様々な質量分布や運動条件に対して系統的にシミュレーションを行ったところ、広い範囲で本手法が使えることがわかった。

3.2 剛体上の1点の位置の時系列に基づく推定

角速度の時系列に基づく推定では、位置情報の差分を用いるために、原理的に観測データに含まれる誤差に弱い。また、一般的な剛体運動を厳密に想定しているために処理が複雑である。

そこで、全く別の想定として、剛体上のある1点の3次元位置の時系列が得られる場合を考える。例えば、物体にマーカを付着させ、それを複数のカメラで継続的に追跡して、3次元座標を算出できるような場合である(図5)。運動のモデルとして、等速回転する軸が直列に結合した系を用いる。軸対称の剛体の自由回転運動は、このモデルで完全に表現することができる。また、一般的な剛体の場合も近似的に表現することを試みる。

等速回転運動の重ね合わせによって生じる点の運動をフーリエ変換すると、各軸の回転周波数自身とそれらの加減算の組み合わせからなる周波数に線スペクトルが現れる。ただし、異なる組み合わせが同一の周波数に重なる場合もあるため、観測できるスペクトルのピー

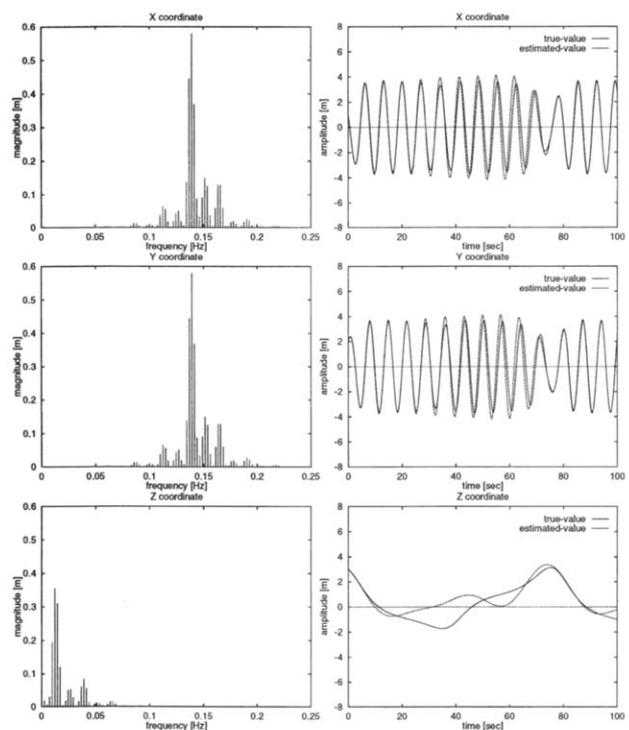


図6. マーカの運動のパワースペクトルと推定パラメータより計算した3次元座標の時間変化

クの数、1軸で1、2軸で2~4、3軸で6~13となる。

抽出された線スペクトルから推定を行うにあたって重要な問題は、軸の周波数の組み合わせとそれぞれの線スペクトルとの対応の決定である。この問題に対して、剛体の運動の場合は回転軸が1点で交わっていること、剛体の運動は3軸回転までで近似できると考えて軸数を3以内に限定することによって、ピーク周波数が重なる場合も含めて対応を決定する手順を明らかにした。

推定結果として得られるのは、運動モデルの各軸の方向と周波数である。

シミュレーションによって開発した手法の有効性を検討したところ、軸対称の剛体の場合は、観測データに10%程度の誤差が含まれていても、データ数が多ければ推定が可能であることがわかった。一方、非対称な剛体の場合の処理の一例を図6に示す。この場合は、厳密には等速回転運動の重ね合わせとして表現できないので、スペクトルには多数のピークが現れるが、その中から13本のピークを選び、3軸等速回転の重ね合わせとして処理を行い、推定されたパラメータに基づいて計算された点の位置と真値の時間変化の一部を示した。この例とは異なり、2軸の等速回転の重ね合わせとして近似する方が適当な場合もあり、系統的かつ定量的な評価は今後の課題である。

4. おわりに

本稿では、私たちの提案する未知剛体の自由回転運動の推定手法について簡単に紹介した。今後は、提案した手法とオンラインの推定を組み合わせることを検討したい。また、推定結果を宇宙ロボットの作業計画に活かす研究を進めていくつもりである。

(みやざき・ふみお, ますたに・やすひろ)

お知らせ

★シンポジウム

宇宙構造・材料シンポジウム

開催日：平成11年10月5日(火)～6日(水)

場所：宇宙科学研究所本館2階会議場

問合せ先：宇宙科学研究所研究協力課共同利用担当

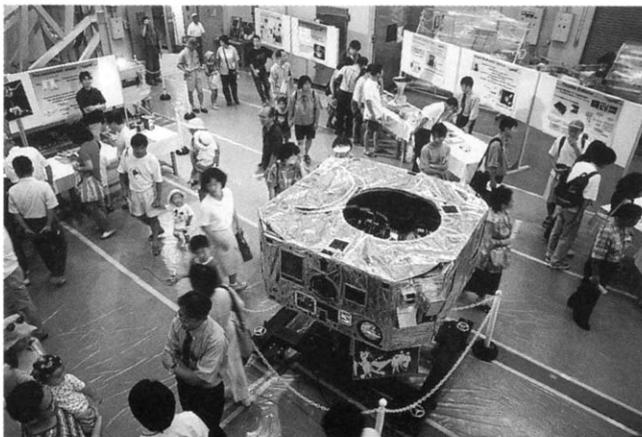
TEL：042-759-8019



★一般公開開催される

宇宙科学研究所の活動を広く所外の方々に理解していただくために、毎年恒例になっている相模原キャンパスの一般公開が7月31日(土)に開かれました。

今年は、5会場で41のブースが展示、実演、講演等を行いました。水ロケットを一生懸命作り、初めての打ち上げに目を輝かせ、作ったロケットを大切に抱えて帰る子供達。子供ミニミニ宇宙学校では、子供達の難問・奇問の連発に講師をつとめて下さった先生達が答えに窮する場面もありました。M-Vロケット実機体の大きさに驚き感激している人々、その他、各ブース



来場者でにぎわう会場

<参考文献>

- 1) Y. Masutani et al, "Estimation of general 3D motion of unknown rigid body under no external forces and moments", J. Advanced Robotics, Vol.9, No.6, pp.675-691 (1995).
- 2) H. Hirai et al, "Motion estimation of an unknown rigid body rotating freely in zero gravity based on complex spectrum of position of a point on the body", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation '98, pp.907-912 (1998).



★人事異動(教官)

発令年月日	氏名	異動事項	現(旧)職等
		(転出)	
11. 8. 1	小林 秀行	国立天文台電波天文学研究系助教授	衛星応用工学研究系助手
		(転入)	
11. 9. 1	國枝 秀世	宇宙圏研究系教授	名古屋大学大学院理学研究科助教授

を興味深げに見入っている人々で会場内は大盛況でした。今年は、子供放送局の開局記念として、子供達が実際に参加して、相模原キャンパスと鹿児島宇宙空間観測所を結んで3時間にわたって一般公開の様子が実況放送されました。

また、今年の2月に逝去された「ペンシル・ロケットと日本の宇宙開発の生みの親」である糸川英夫先生を偲ぶパネルも展示されました。開催当日は猛暑にもかかわらず、10,391人の人々が入場くださり、大変な賑わいと熱気に包まれた一日となりました。ご協力くださった400人を越える職員、学生の皆さんにこの場を借りて深くお礼申し上げます。(山上隆正)



子供放送局の参加を楽しむ子供達

★「MUSES-C用マイクロ波イオンエンジン18,000時間耐久試験達成」

平成14年度に打上げを予定している小惑星サンプルリターン衛星（MUSES-C）の惑星間航行用エンジンとなるマイクロ波イオンエンジンの地上試験モデルの耐久試験が終了した。従来のイオンエンジンは直流放電によりプラズマを生成し、イオンを静電加速する機構であるため放電電極損耗や静電加速用グリッド損耗がエンジン寿命を左右した。宇宙科学研究所では、マイクロ波を用いて無電極放電のプラズマ生成機構を採用し、極めて独創的なイオンエンジンの開発を進めている。一口で18,000時間とはいうものの、これはおよそ2年以上に亘る連続運転で、MUSES-Cの地球－小惑星－地球の往復惑星間航行に必要なミッション要求である。今回の試験は平成9年2月14日から始められ、途中、13,000時間から18,000時間にミッション要求が上乘せされる厳しさがあったものの今年7月28日に無事達成した。

耐久試験に供したモデルを用いて、推進性能試験やフライトモデルの設計に必要な確認試験を行う必要から合計6回の耐久試験の中断を余儀なくされたが、試験装置の有効利用や人員の制約から最善の試験が行われた。この試験でクリティカル部品と思われていた炭素繊維製の静電加速機構（グリッド）に当初予想されていた劣化はほとんど見られなかった。写真は、使用前には真円であったグリッドのイオン排出穴（直径2.6mm）が18,000時間の耐久試験後にスパッタリングによって六角形に侵食された様子を示す。しかしながら、この侵食による重大な性能劣化は無く、ミッション最終期の初期性能からの劣化はわずか数%程度である。

（清水幸夫）



六角形に変形したイオン排出穴

★ASTRO-E の近況

ASTRO-E総合試験は9月で開始から半年が過ぎまし

た。これだけ大規模な衛星となるとそろそろ個人が全てを隅々まで把握できる限界に近付いてきており、また電源やテレメトリなどの衛星の根幹を支えるシステムも従来の衛星から抜本的な設計思想の変更が行なわれています。その為かこの半年の間に各種インタフェースでいくつかの細かな不整合等が発覚したりもしました。また、搭載機器の複雑化と点数の増加、およびそれらを限られた体積に収納するための構造の複雑化により、試験中に何度も行なわれる組み立て・分解の手順もさながらパズルのようになっています。

ASTRO-Eには特性の異なる3台のX線検出器が載りますが、それぞれに限界性能を引き出すために工学的に厳しい要求が生じています。XRSは今までに無く微細なエネルギー分解能を特徴としますが、その為に大量のネオン・ヘリウムとそれを維持するためのデューワーを必要とし、また機械振動を極端に嫌います。HXDは硬X線での過去最高の感度を持ちますが、これの実現のためにかつてない大量の計装配線を必要とします。

XISは「あすか」のSISの発展型で、その性能を引き出すために放射冷却系に大変厳しい要求を突き付けます。

このような潜在的遅延要因にも関わらず、現在までのところ厳しい日程をやりくりする事で、関係者に必要な休みも確保しつつ当初予定していたペースでなんとか試験をこなしてきました。現在インタフェースと熱真空試験をほぼ終了し、今後は振動・衝撃等の機械環境の試験、最終調整と計測などが11月末まで続きます。

（尾崎正伸）

★「あけぼの」10周年ワークショップ

本年2月満10歳の誕生日を迎えた「あけぼの」衛星を記念してワークショップが開催された。「あけぼの」搭載の観測器の一つにカナダとの協力で搭載しているSMSという機器がある。極地域上空から逃げ出している酸素イオンの観測で功績の大きい観測器である。この観測器の責任者であるカルガリー大学のヤウ教授のグループが中心になってワークショップの準備が進められた。その結果、去る7月4-6日、カルガリーから車で一時間あまりのカナディアンロッキーの景勝地バンフでワークショップが開催されることになった。50人規模のワークショップであったがカルガリー大学のきめこまかい準備と快適な気候のおかげで、しばし、学問の世界を楽しむことができた。10年以上にわたり苦楽を共にしてきた古い友人たちも多数出席しており、同窓会の雰囲気漂うワークショップでもあった。さ

すがに10年の長期にわたる均質なデータの蓄積は出席者に感銘を与えたようで、長期変動を中心にした成果を特集号として学会誌（米国）に出そうという話に発展しつつある。「あけぼの」は今二つの課題を抱えている。一つは太陽活動の一周期にわたる観測を全うすること、もう一つはSDBと称している研究用のデータベース作成のペースをあげることである。今回のワークショップは両方の活動にも大きな励みとなったと考えている。（鶴田浩一郎）

★「ようこう」日蝕観測

「ようこう」は平成3年8月30日の打ち上げ以来、今年8月8日の夏を迎えようとしている。観測ターゲットを突然見失う「日蝕」観測は、この衛星には鬼門と思われてきたが、それも理屈が判って、今では地上との共同観測も合わせて、大いにサイエンスができるチャンスになっている。8月11日、大西洋に始まり、名だたる欧州の大都市を貫き、黒海を渡り、中近東・印度を經由して、ベンガル湾に終わる、「今世紀」いや「西暦一千年代」最後の皆既日蝕を、「ようこう」も2回の部分蝕として観測することができた。

KSCにおける衛星追跡は、月の本影が、ちょうど日本の地上観測隊（国立天文台／京都大学）がいる、トルコを通過している時（日本時間20時30分）に始まった。衛星の軌道条件はベストに近かったが、軌道傾斜角31度のこの衛星には、改めて欧州が高緯度に位置することを思い知らされた。

最初の部分蝕のデータ（表紙写真参照）は、多くの方のご努力により、即座に鹿児島から相模原に送られ、

21時20分までには、既に「ようこう」のホームページ（<http://www.solar.isas.ac.jp>）に掲載された。夏休みで久米宏氏のいない「ニュース・ステーション」（テレビ朝日）の放映に、無事間に合ったのはご承知の通りである。（国立天文台 渡邊鉄哉）

★第3回国連宇宙会議（UNISPACE III）開かれる

7月19日から31日までウィーンのオーストリアセンターで、第3回国連宇宙会議が前回から17年ぶりに開かれました。今回のテーマは「21世紀の人類に宇宙はどう貢献するか」で、世界各国の政治家、科学者、宇宙関係機関、企業などから3000人が参加しました。これと合わせて7月18日から23日まで展示会が開かれ、宇宙研も宇宙開発事業団と共同で日本ブースとして参加しました。宇宙研からはM-Vロケット、「はるか」、「のぞみ」などの1/10模型7点を出品しましたが、展示会には会議参加者や一般市民が多数見学に訪れましたが、ちょうど夏休みに入ったところで家族で楽しむ姿が目立ちました。（周東三和子）



見学に訪れ楽しむ家族

平成12年度 宇宙開発計画見直し要望

宇宙科学研究所では、平成12年度の宇宙開発計画に関して下記の4項を宇宙開発委員会に申し出たが、同委員会の計画調整部会の審議を経て、8月4日の委員会でいずれも承認された。

1. 第22号科学衛星（SOLAR-B）の開発について
太陽表面の微細磁場構造とその運動を高精度で観測し、太陽大気（コロナと彩層）の成因とフレアなどの太陽活動の原因を解明することを目的とする、第22号科学衛星（SOLAR-B）をM-Vロケットにより、平成16年度に打ち上げることを目標に平成12年度から開発したい。
2. 第17号科学衛星（LUNAR-A）の打ち上げ年度の変更について
第17号科学衛星（LUNAR-A）については、平

成11年度に打ち上げ予定であったが、ペネトレータの一部に見直しを要する部分が発見され、再試験に時間を要するため、平成14年度の打ち上げを目標に準備を進めたい。

3. 第20号科学衛星（MUSES-C）の打ち上げ年度の変更について
第20号科学衛星（MUSES-C）については、平成13年度に打ち上げ、小惑星ネレウスからのサンプルリターンを行う予定であったが、探査機の重量増に対応するため、目標小惑星を1989MLとし、打ち上げ年度を平成14年度に変更したい。
4. M系ロケットについて
第22号科学衛星（SOLAR-B）を平成16年度に打ち上げることを目標にM-ロケットの開発を引き続き進めたい。（松尾弘毅）

遠赤外線で宇宙の映像を見る

—「圧縮型」半導体センサーの多素子化—

土井 靖 生

遠赤外線—波長が数十～数百マイクロン（可視光の数
百倍の波長）の光—を測る検出器を手作りする話を紹
介しよう。波長の異なった『眼』で見ると、宇宙は様々
に異なった姿を見せてくれる。『遠赤外線的眼』に映
るのは星間空間に漂うマイナス200℃前後という極低
温のチリやガス。これらの物質は星々や我々の体へと
進化する基本物質である。遠赤外線は星々の誕生を探
り、宇宙の進化の歴史を紐解くには、欠くことの出来
ない波長である。

遠赤外線の観測にはゲルマニウム(Ge)に極く微量
のガリウム(Ga)を混ぜた半導体結晶(Ge:Ga素子)を
用い、光が結晶に吸収されて生じる電気信号を取り出
す。これで波長100マイクロン以下の光が検出できる。
更に長い波長まで観測したい場合には、裏技として、
この半導体結晶に強い圧力をかけて結晶構造を歪め、
無理やり観測できる波長を伸ばすことができる。あまり
スマートなやり方ではないが、今のところ波長200
マイクロン以下の遠赤外線に対してこの『圧縮型Ge:Ga
検出器』が、最も感度の良い検出器である。

詳細な宇宙の映像を得るためには、検出器の素子数
が多い方が良い。遠赤外線で見ると宇宙を見るために『圧縮
型Ge:Ga検出器』も多素子化したい。しかし、多素子
化に伴って、検出器が無制限に大きくなってしまっ
ては困る。遠赤外線は地球の大気をほとんど透過できず、
観測は大気の外の世界空間で行なう必要がある。検出
器一つが何kgにもなってしまったのでは、「スモール・
イズ・ビューティフル」の伝統を誇る宇宙研の人工衛
星に載せて頂くわけにはいきまい。「出来るだけ多く
の検出素子を、出来るだけコンパクトに」、これが現
在、我々の開発の課題である。

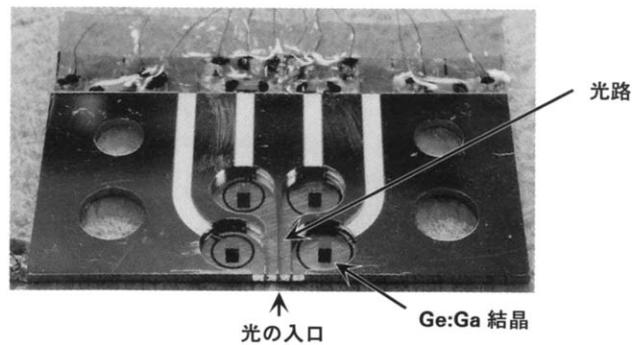
『圧縮型Ge:Ga検出器』を多素子化するための最大
の困難は、なんとと言ってもGe:Ga素子を（壊さないよ
うに）圧縮する事にある。一つ一つの素子を別々に圧
縮していたのでは、とてもコンパクトな検出器を作る
事はできない。そこで、多数の素子を一列に積み上げ、
これを一度に加圧する事にした。そうは言っても、簡
単ではない。1mm角のGe:Ga素子一つにかかる力は最
大70kgにもなる。1mm角の積み木を縦に積み上げて、
その上に大人一人が飛び乗る....と言えば、その困難さ
（無謀さ??）を分かって頂けるだろうか。幸いにも我々
は、8つの素子を一列に積み上げ圧縮した検出器の開
発に成功した。

次のステップは、この積み上げた素子を何列か並べ
て2次元化し、本格的な「カメラ」にする事である。

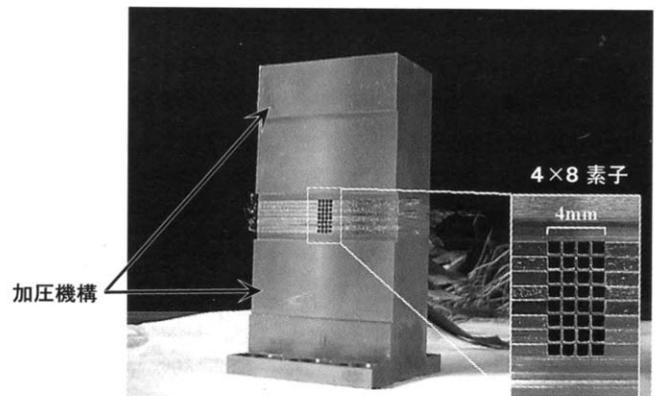
しかし、ただ並べただけでは各列の加圧機構が邪魔を
して、列と列との間に隙間が空いてしまう。そこで我々
は、光を各素子に導く光路管を工夫し画像の隙間をな
くす事にした。金属板を精密加工し各列の素子を納め
る小部屋を、適当な間隔を空けて配置する。一方で光
の取り入れ口は1mm間隔で隙間無く並べる。隣同士
の間仕切りの厚みは、わずか0.1mmである。これを何
段にも積み上げ、素子を加圧する。こうして現在まで
に、4列×8素子の32素子のアレイ検出器の開発に成功
した。このコンパクトな圧縮型Ge:Gaアレイ検出器は、
その方式が世界的にもユニークなだけでなく、その素
子数、検出感度ともに現在世界最先端の物である。た
かが32素子などと侮ってはイケナイ。

現在、気球望遠鏡にこの検出器を搭載し観測を行う
準備を進めている。観測は、インドTATA研究所との
共同で行われる。11月に迫った観測へ向けて、準備は
急ピッチである。これとは別に、更に発展した5列×1
5素子の75素子とした検出器を赤外線天文衛星計画
ASTRO-Fに搭載する予定で開発を進めている。

（東京大学教養学部 どい・やすお）



各段の素子とその配置。



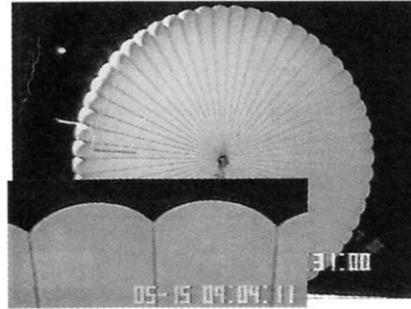
開発された32素子圧縮型Ge:Gaアレイ検出器。

矢島 信之

米国航空宇宙学会（AIAA）国際気球技術コンファレンスに、文部省の国際研究集会派遣費により論文を発表する機会を得た。開催期間は6月28日から7月1日まで、場所は米国東海岸のヴァージニア州ノーフォークであった。この付近は独立戦争や南北戦争の激戦地跡が多いと聞く。南北戦争では、水素を充填した有人気球が偵察用に活躍したことで気球史上有名である。敵陣の頭上に至った後、バラストを捨てて高度を変え、逆向きの風を捉えて自軍に帰り着くという、ブーメラン飛行はこの時代にもう行われていた。この空を飛んだのだろうかと思上げるが、初夏としては暑過ぎる無風の青空が広がるだけで、港町らしい朝夕の涼風すらない。

ところで、発表した論文のタイトルは、「高耐圧気球を実現するための自然型気球の新しい設計法」である。注1) 高い耐圧性が要求される大型のスーパープレッシャー気球を実現することは、南北戦争時代はともかく、20世紀半ば以降の近代気球時代の積年の課題である。その可能性を気球の形状設計の面から追求したこの論文が、思いもかけず最優秀論文に選ばれた。この受賞は、以下のいきさつもあり、私にとって大変意義深いものであった。

実は、この研究の第一段階の成果を昨年7月に名古屋で開催された第32回宇宙空間科学総会（COSPAR）で発表した。そこでは、新しく考案した設計概念が耐圧性の向上にいかにも有効であるかを、わずか直径3mの小型モデル気球の破壊テストで証明したにすぎなかった。しかし、NASAは素早い反応を示した。その気球部門は、1トンを超える重い観測器を搭載できる大型のスーパープレッシャー気球を開発し、100日間も飛行させて衛星と競合できる存在にしようという意欲的なプロジェクトを進めている。そのホームページに描かれている気球の形状は、彼らが同じCOSPARで発



【写真2】飛行中の気球。補強ロープ間に大きな膨らみができることが設計上の特徴。この時の圧力29hPa。経線方向の全張力は100トン。55本のケブラーの補強ロープ1本当たり1.8トン。

表していた球形気球から私が提案した形状にいつの間にか変わっていた。試作も開始した。これでは八木アンテナの二の舞かと危惧した。幸いなことに、科学技術振興事業団の資金支援もあって、今回の受賞につながる大きな研究の進展を見ることができた。

話は最初に戻るが、論文賞の発表は晩餐会の厳かなセレモニーの一環として準備されていて、突然壇上に呼び上げられた。意地悪く、その時まで隠していたのだそうだ。不覚にもひどくどきまぎしてしまった。それでも、自席に戻る途中、気球工学の第一人者であるウインゼン社のランド博士等から次々とおめでとうと握手され、人心地を取り戻した。ただ、困ったことに、私の発表するセッションは、晩餐会の翌日であった。ということは、講演は受賞にそれにふさわしく立派でなければならないことになる。これは、大変なプレッシャーとなった。幸い、論文提出後のこの5月15日に三陸大気球観測所で実施したフライトテストを記録したビデオを持参していた。容積3000立方メートルの気球が高度22kmに達し、設計通りの形状に膨らみ、大気圧より63%も高い圧力に耐えた様子が、搭載カメラからの映像で鮮明に写し出されている。大重量物を搭載可能な本格的スーパープレッシャー気球としては、世界で初の成功である。しかも、飛び抜けた強度を示して。この場面では大きな拍手が沸き上がり、なんとか受賞の面目を保つことができた。

21世紀には大型のスーパープレッシャー気球が長時間飛行を武器として科学観測にこれまで以上に活躍することになる。そうなれば、今世紀の最後に宇宙科学研究所がその幕開けの役割をはたしたことになる。次の世紀の科学気球の発展により、受賞した今回の論文の意義が確固としたものになってほしいものである。注1) 共著者：井筒、本田（ISAS）、黒河（機械技研）、松島（藤倉航装（株））（やじま・のぶゆき）



【写真1】室内での展張・加圧試験。直径20mの大きさに悪戦苦闘。

空力屋の悪夢

稲谷 芳文

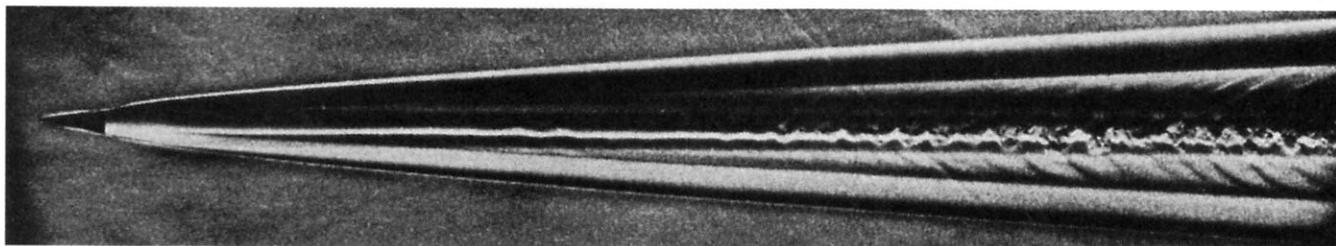
「次の時代の宇宙輸送システムに関わる空力的課題について記せ」と言うことですが、前回までに宇宙に飛び出したり、地球に飛び込んだりする時の流れや、飛んでいる物体の表面で起きることの複雑さについて空力屋が取り組んでいることは既に述べられました。多少重複しますが許してください。地球を周回する程の高速の流れではそのエネルギーが大きくいわゆる理想気体としての扱いきがでなくなることが本質の一つです。我々が学校で勉強した流れは殆どがこの理想気体についてのモノで、流れに対する常識や直感も日常的に身の周りで起きる流れや、これらの知識に基づいています。下に示したのは極超音速で飛んでいる物体の周りの流れの様子です。衝撃波が空気を切り裂いて飛んでいる様子がよく分かります。物体はロケットでもスペースプレーンでも何でもよいのですが、この衝撃波と物体の前側の間の狭い領域で流れを構成する分子が励起され、解離から電離、さらに再結合、物体表面との反応などの複雑な反応が気体の流れ去るのと同じ程度の早さで起こります。物体の後ろは渦が巻いているのが分かりますが、ここはモノに引きずられて動くのでこの流れは周りに比べれば大変ゆっくりですから、全体としてみると非常に速い流れと遅い流れが同居していることになり、この意味でも扱いきが面倒です。渦といえば物体の前側では乱流への遷移という理想気体のときでも予測の難しいことが起きます。流れが本質的に持つ非線形性の現れは足し算しかできない凡才の直感の外です。最近のジャーナルで過去の遷移の実験データを総ざらえしている若い人がいましたが、乱流遷移の問題は理屈を重ねて、と言うより博物学の範疇になったかの感がしました。ややこしいこととか面倒なことを得意とするのがいわゆる計算機屋さんで、理想気体の場合ならモノの形が複雑なだけで済むのですが、今のように気体を構成する分子や原子の励起や

化学反応も化学屋さんや熱力屋さんや分子原子屋さんが提供してくれるデータをいっぱい集めてプログラムに放り込んでと言うことで、なんだか計算してくれます。圧力とか加熱量とかマクロな量はだいたいあってはいるようですが、計測道具がよくなったので実験で励起状態を測って計算と比べてやろうなどと欲を出すと、途端にこういう計算では表現できていないミクロな自由度の洪水になって、「何だか少しも分かったような気がしないな」と言うところで止まってしまいます。分かった気がするまでやることと、設計として必要な了解の仕方をどの程度のことで折り合いをつけるかが問題で、この経験が絶対的に不足です。

閑話休題、これまでのロケットではだいたい空気相手の難しいことは避けて早く空気の外にできることが空力屋の仕事でした。ロケットの現場では「ここちょっと隙間あいてるけどどうする?」「ちょっとパテでも埋めてきれいにしとけや。」などという会話がまかり通ります。飛んだ後にどんなにボロボロになっても衛星さえ切り離してしまえばそれこそボロボロは出ません。将来の輸送システムでは帰りだけでなく行きの意味でも外の空気を使って酸化剤にするとか、ロケットの性能をぎりぎりに引き出すために、と言うことで積極的に空気を利用することが求められています。

ましてやいわゆる再使用などと言って帰って来ると言う恐ろしいことが計画されます。帰ってこない使い捨てロケットだからこそのいい加減さでボロボロを出さずに給料泥棒をしていたような空力屋は、本格的な地上と宇宙を何回でも往復する将来型のシステムではきっと失業するでしょう。空気を利用するにはまず相手のことをよく知ることが肝要ですがさっきのような難しさです。空力屋の腕は追いつくのでしょうか?かといって再使用にでもしないと世の中は変わらないし・・・

眠れない夜が続きます。(いなたに・よしふみ)



写真; LUCASIEWICZ "Experimental Methods of Hypersonics" Dekker Inc. New York, 1973 より



墨流しから水紋画へ

黒田 隆二

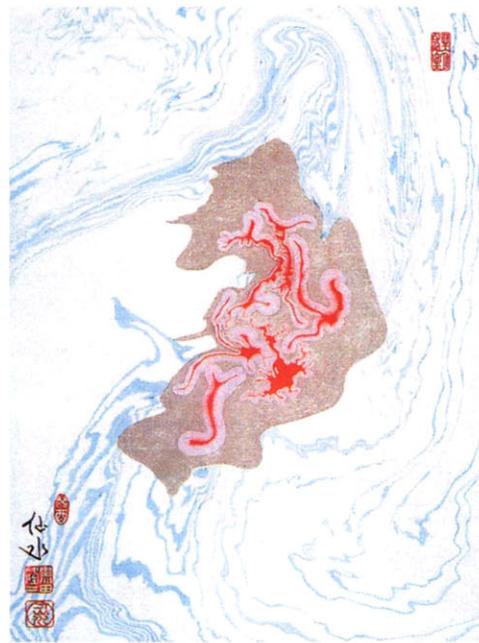
日本に古来から伝わる「墨流し」という技法があります。「墨流し」は1118年頃（元永年間）に刊行された「西本願寺本三十六人集」に見られるものがわが国最古のものとされています。そこでは、福井県の武生では広場治左衛門家が1151年（仁平元年）に神託により「墨流し」を家業として始めたと述べられています。

このようにして始まった「墨流し」は以来約850年もの間わが国独特の工芸として受け継がれてきました。不思議なことに、技法そのものは現在に至るまで全く変化していませんでした。その「墨流し」を学問の対象として取り上げたのが理化学研究所に席を置いていた寺田寅彦でした。中谷宇吉郎の著した「冬の華」（昭和13年、岩波書店）の中でも、寺田寅彦の論文を詳しく紹介しています。原文は英語で書かれています。寺田寅彦は、水面に広がった墨膜から墨の炭素粒の大きさ、炭素粒の間隔等を求め、この墨膜に電圧をかけると銅の陽極付近が硬化すること、金属イオンとの作用や圧力をかけると硬化すること等を研究し、墨を摺る硯の研究まで手懸けています。中谷宇吉郎の研究室ではこの研究を受け継いで、墨色の研究、墨と金属イオンの作用等を詳しく研究しており、趣味としての墨流し作品も残っています。また樋口敬二は、1951年に卒業論文の課題として墨流しの物理的研究をまとめています。

ところが、これらの研究成果は工芸として墨流しを行なう人々には全く知られていませんでした。工芸の世界と理化学の世界との交流は皆無であったように思います。理化学の研究として取り組んだ寺田寅彦や中谷宇吉郎は、これらの研究が墨流しの発展に大きく寄与することを予知しつつも、自らがそれらを応用した美術としての墨流しの発展にまで踏み込むことはありませんでした。

私がふとしたキッカケから墨流しを始め、文献を辿るうちに、これらの先生方の文献に触れ、新しい幾つかの発見があって「水紋画」という新しい技法が誕生いたしました。

写真は日本ロケット協会という組織の英文誌の表紙



です。「ビッグバン5秒前」というわけの判らぬ名前のつけられた図柄ですが、当然ながら名前は駄洒落です。しかし、じっと眺めていると、宇宙に漂う不思議な黒体の中で赤い火が今にもビッグバンを待っているかのような錯覚を感じませんか。この図柄は水紋画の技法で水の表面に作られたパターンを紙に写し取ったものです。

柔らかい薄膜、硬い薄膜を巧みに組み合わせ、色の種類を増やし、更にマランゴニ効果（局所的な表面張力の差によって起こる流れ）を応用して、墨流しを美術の領域にまで高めることが出来たと自負しています。この「新しい墨流し」である水紋画は、外務省の対外広報活動用のビデオに新しい日本の工芸の誕生として収録され、15ヶ国語に翻訳され、世界120ヶ国以上に紹介されました。

本年7月、8月の2ヶ月に亙り「中谷宇吉郎雪の科学館」で水紋画の企画展示会が行なわれたのも以上の関係があったからです。

（宇宙科学振興会常務理事、現代美術家協会会友
くろだ・たかじ）

ISASニュース

No.222 1999.9

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>)。)