



宇宙科学研究所  
1996.8 No. 185

宇宙研一般公開 (撮影: 杉山吉昭)

## 〈研究紹介〉

# 衝撃波／乱流境界層干渉における空力加熱現象の研究

九州大学工学部 麻生 茂

有翼飛翔体を初めとする宇宙往還機の飛行に際しては様々な問題を克服する必要があるが、流体力学の観点では空力加熱現象の解明が重要な問題の一つである。特に、衝撃波／乱流境界層干渉により引き起こされる空力加熱現象は様々な特徴を有しており非常に興味深い。

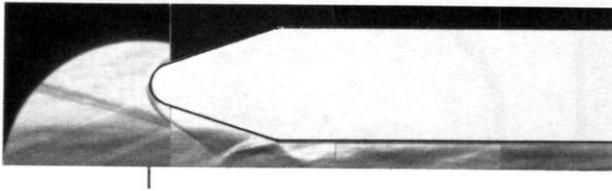
著者は以前、宇宙科学研究所における有翼飛翔体(HIMES)研究グループに参加させていただき、また最近では共同利用施設としての宇宙科学研究所の超音速風洞を利用させていただき、衝撃波／乱流境界層干渉により引き起こされる空力加熱現象の基礎研究を行って来たので、その中で2~3の最近の話題を紹介したい。

H-IIロケットのようにSRB(補助ブースタ)を有する機体は、lift-offする際に補助ロケットから生じた衝撃波がロケット本体に入射し、局所的に高い圧力上昇、空力加熱を引き起こすことが知られており、著者らはその基礎実験を行った。図1(a)は、マッハ数4の超音

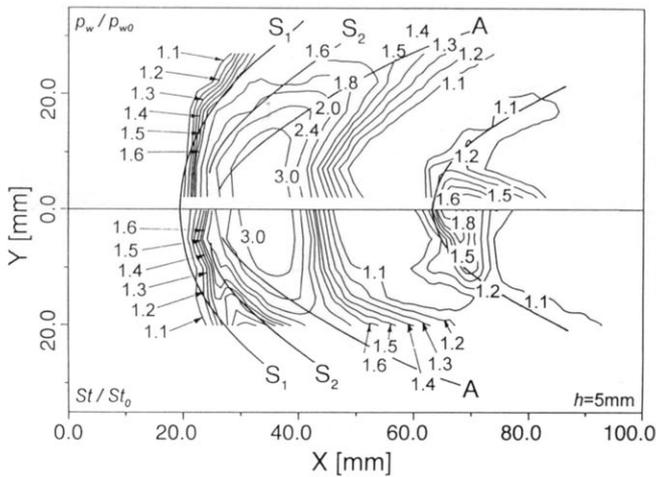
速流に発達した平板乱流境界層にSRB模型から生じた衝撃波が入射し、衝撃波／乱流境界層干渉を引き起こす様子を可視化したものである。入射衝撃波により境界層が剥離し、衝撃波入射点よりも上流より剥離衝撃波が生じておりそれがSRBによって再び反射されている様子がうかがえる。

図1(b)は平板上における圧力分布及び熱流束分布でありほぼ剥離線(S1)に従って圧力及び熱流束が上昇している。また、流れの付着線(A)に沿って圧力及び熱流束の極大値が存在していることがわかる。熱流束のピーク値は上流の非擾乱値の3.7倍にも達する。このように局所的に熱流束が大きく変化する流れ場ではそれを高い空間分解能で測定するセンサが必要となる。

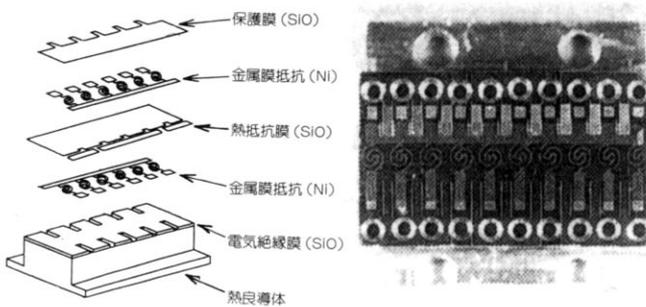
図1(c)は著者らが開発した多層薄膜熱流束センサである。流体から物体への伝熱面表面に設置した10 $\mu$ m程度の薄い熱抵抗膜(SiO)の上下面に生じる温度差を金属薄膜抵抗温度計を用いて計測し、予め較正した膜厚



(a) 干渉場のシュリーレン写真



(b) 平板上の圧力分布，熱流束分布



(c) 多層薄膜熱流束センサ

図1 補助ロケットからの衝撃波入射によるロケット本体の空力加熱現象 ( $M=3.84$ ,  $P_0=1.26\text{MPa}$ ,  $T_w/T_0=0.69\text{MPa}$ ,  $Re=1.61 \times 10^7$ )

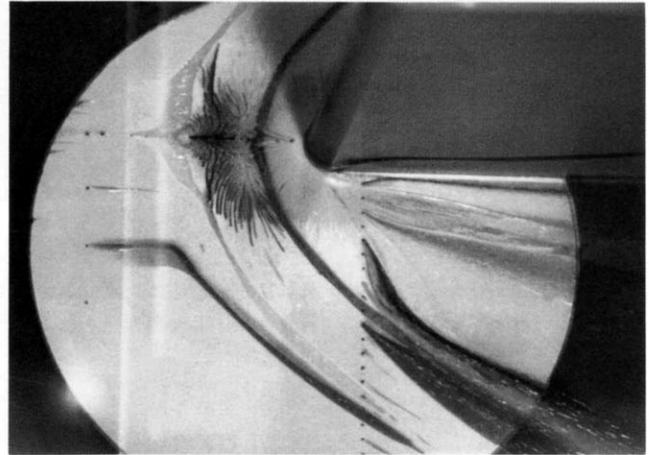


図2 カラーオイルフローによる鈍いフィンに誘起された干渉場の二次剝離現象の可視化

( $M=4.16$ ,  $P_0=0.601\text{MPa}$ ,  $T_0=299\text{K}$ ,  $Re=3.61 \times 10^7/\text{m}$ )

編集部註：印刷の都合でモノクロ写真となっています。ネットワーク版ではカラーでご覧になれます。

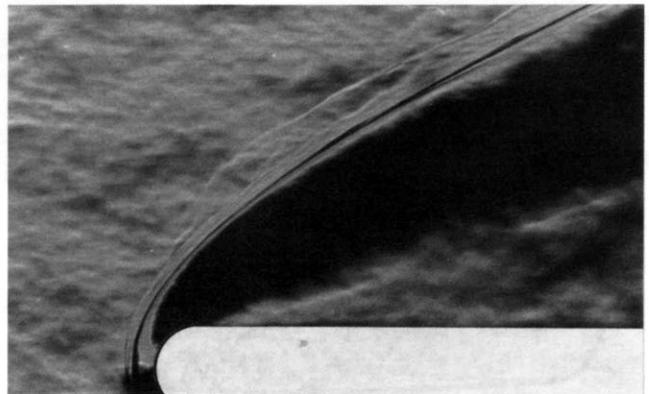


図3 鈍いフィンに誘起された干渉場の瞬間シュリーレン写真 ( $M=4.13$ ,  $P_0=0.586\text{MPa}$ ,  $T_0=297\text{K}$ ,  $Re=2.47 \times 10^7/\text{m}$ )

と熱抵抗膜の熱伝導率を用いて熱流束を算出するものである。現在のところ周波数応答性は1~2kHz程度である。

衝撃波/乱流境界層干渉場では、流れ場の条件により境界層は一次剝離のみならず二次剝離を生じる。ところが一般にこの二次剝離域は境界層厚さに比べて非常に小さいのでその可視化は困難であった。著者らは宇宙科学研究所の大型超音速風洞の側壁境界層(約50mm)を用いることによりその可視化を行った。図2はマッハ数4の気流中における先端が円柱の鈍頭フィンによる衝撃波/乱流境界層干渉場のカラーオイルフロー写真である。色々な場所から異なった色のオイルを滲み出させることによりそこでの局所的な表面流れを捉えることができた。フィン先端の表面流線は一次剝

離線まで達することができない。これは強い逆流により二次剥離が生じるためでありそれより前方では剥離域であるにも関わらず流れの向きは主流と同じであることから二次剥離域と判断される。

一般に衝撃波／乱流境界層干渉場では流れは非定常に変動していることが知られている。図3は壁を光学ガラスで置き換えて変動流れ場を可視化した瞬間シュリーレン写真である。境界層より外側の非粘性衝撃波とともに境界層の剥離に伴う剥離衝撃波等が観察される。この波が非一様であることから干渉場での剥離現象は一様ではなく、局所的に部分剥離していることが

わかる。この干渉場での衝撃波を伴う境界層の非定常現象はその原因、そのメカニズムが未だ解明されておらず今後の研究がさらに必要である。

最後に、ここで紹介した内容の一部は、宇宙科学研究所の辛島桂一先生、佐藤清さんはじめ多くのスタッフに支えられて得られたものであり、また宇宙科学研究所のプロジェクトのために多くの風洞試験時間を必要としながらも、我々に快く学外利用をさせていただいた宇宙科学研究所の関係各位に深く謝意を表したい。

(あそう・しげる)

## お知らせ



### ★教官人事異動

発令年月日	氏名	異動事項	現(旧)職等
8.8.1	竹前 俊昭	(採用) 対外協力室助手	
8.8.1	田村 善昭	(転出) 東京大学大学院工学系研究科助教授	宇宙輸送研究系助手

### ★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							
1	5	10	15	20	25	30	1	5	10	15	20	25	30
M-V-2						B 1 仮組立						B 2 仮組立	
MT-135-64 フライトオペレーション (KSC)						(日産)						(日産)	
第2次大気球実験 (SBC)						DOM-2真空燃焼試験 (NTC)			ブリクーラー、再生冷却燃焼器付 ATREXエンジン試験 (NTC)				

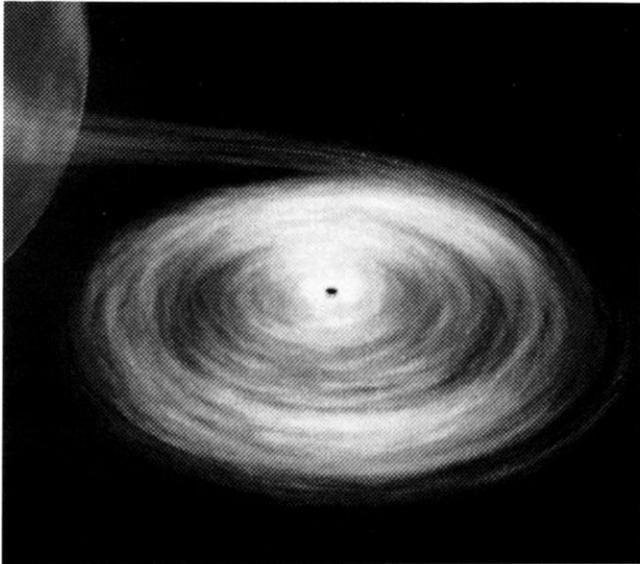


### ★文部大臣賞受賞!!

宇宙研ビデオ第4巻「ブラックホールをさぐる」が日本視聴覚教育協会主催で、文部省と日本放送協会(NHK)後援の「優秀映像選奨の会」で、最優秀作品賞＝文部大臣賞、視聴覚教育協会長賞を受賞することになりました。授賞式は8月22日に有楽町朝日ホールで行われます。この協会(財団)は全国の視聴覚教育に携わる小中高校を初めとして、多くの教材制作団体が加盟し、「視聴覚教育」と題する雑

誌を毎月発行しています。このような機関から、我々が最高の賞を受けられたことは、ある意味では視聴覚教育の専門家に内容が認められたことになり、また我々の啓蒙活動も高く評価されたと考えられ、喜ばしい限りです。

小中高校の天文関連用語としては「宇宙人」について良く知られていながら、普段漠然と使っている「ブラックホール」と言う言葉を、実態を踏まえて理解出来るように作られた良い教材だと考えています。



また映像や音の美しさには限りないものがあり、ぜひこの受賞を機会に、多くの人に見て頂きたいと考えます。シリーズ全体を含めて、このビデオは宇宙研の財団から有償で入手することが出来ます。財団の電話は0427-51-1126(2165:FAX)です。

(村上敏夫、佐々木英俊)

#### ★月探査周回衛星計画一駒場共同事務所開設

宇宙科学研究所と宇宙開発事業団が共同で準備を進めている月探査周回衛星計画の共同事務所が、駒場キャンパスの14号館の1階に開設された。

この計画は、H-IIロケットを用いて、月周回衛星、着陸実験機、リレー衛星から成る約1.9トンの大型の探査機を月に送り、月の起源と進化の研究、月環境の計測、月からの科学観測、及び月利用の可能性の調査を行うことを目指している。現在の構想では、月周回衛星を高度100kmの準極軌道に投入し、約1年間にわたり、月面全域の元素組成、鉱物組成、地形、表面地下構造、重力、月磁場を、最新の計測技術を駆使して遠隔探査する。また、ダスト、高エネルギー粒子、プラズマ、電磁波動などの月環境の計測とともに、月軌道からの地球周辺プラズマ環境や惑星電波の観測を行うことも考えられている。着陸実験機は、地上からの誘導によらず自動で月面に軟着陸する技術の検証を行う。楕円軌道のリレー衛星は、周回衛星が月の裏側を飛翔する時の軌道情報を中継し、月の裏側の重力場を高精度で決定する。

7月23日には、宇宙研、宇宙開発事業団、国立天文台、大学、国立研究機関等の関係者が集まり、共同事務所の開所式が行われた。席上、宇宙研の松尾教授と宇宙開発事業団の五代副理事長の手により、共同事務所の看板が取り付けられた。共同ミッションの象徴で



#### ★西欧同盟 (WEU) 議員会議科学技術航空宇宙委員会の文部省訪問

ある共同事務所が開設されたことにより、新しい枠組みで実施されるこの計画も実現への具体的な一歩を踏み出した。(佐々木進)

WEUの加盟国国会議員より構成される標記委員会のメンバー30名が、「日本における航空宇宙産業」と題するレポートを作成し、当該分野における日本と欧州との協力の可能性につき検討するため、去る7月17日に来日し、23日までの間、衆・参科学技術委員会はじめ関係各省庁等を訪問した。なお、標記委員会は73年及び83年にも来日しており、今回は3度目の来日である。

文部省には7月18日に訪問し、文部省学術国際局及び宇宙研の関係者との意見交換を行った。その概要は以下のとおりである。

冒頭、文部省林田学術国際局長が挨拶し、我が国の科学技術政策及び宇宙科学研究の現状等について説明した後、訪問団を代表してエナーレス委員長(スペイン)の挨拶があった。次いで宇宙研側の説明に入り、松尾企画調整主幹が宇宙研の概要について、上杉教授がM-Vロケットについて、槇野教授がいまままでの研究成果について、そして中谷教授が将来計画及び国際協力について、各々説明した。

訪問団の委員からは、我が国における基礎研究と応用研究との関係や宇宙研の火星探査及び外国製部品の使用などについて質問があり、活発な質疑応答が行われた。(穴沢一夫)

#### ★平成8年度一般公開(表紙写真参照)

8月3日(土)既に年中行事となった宇宙研一般公開が行われました。今年の公開は当初の見込みでは夏の打

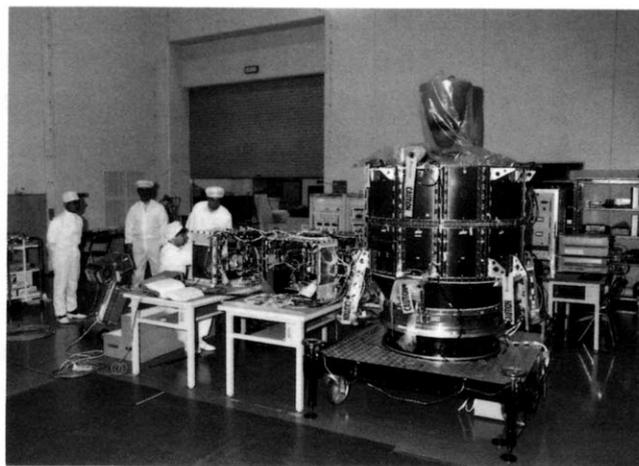
上げ実験とのスケジュール調整が厳しく、展示物やマンパワーの確保の意味で混乱が予想されましたが、ロケット実験の日程変更などで公開側にとっては例年通りの体制で臨むことができました。当日は夏の炎天がとぎれた涼しい日となり、昨年から始めた水ロケットの工作／打上げには相変わらずの盛況で長い列ができていましたが、公開する側にとってもされる側にとっても汗だくの日にならずにすみました。今年の公開では先日無事に回収されたSFUの一部の実際のフライトハードウェアの展示、クリーンルーム内に運良くMUSES-BとLUNAR-Aが仲良く同居しておりこれを公開できたこと、またM-Vで予定される近未来の惑星探査などのミッションの公開、例年通り力作のSPSグループが今年は空中を展示場所として大モノを浮かべたこと等々盛りだくさんでしたが、関係の方々のご苦勞のおかげで宇宙研の活発なアクティビティを十分に紹介できたと思います。打上げを兼ねた反省会でビールとつまみが少なく多少の不満が残ったことが反省点でこれは次回以降に申し送りしたいと思います。

(稲谷芳文)

#### ★LUNAR-A 第一次噛合せ試験

LUNAR-Aは月面にペネトレータ（月震計等各種計測機器、通信機器等が搭載されている）を打ち込み、月の内部構造の解明を目的とし、1997年度にM-V-2号機で打上げが予定されている第17号科学衛星である。

このLUNAR-Aの第一次噛合せ試験（通称一噛み）が5月下旬から相模原キャンパス飛翔体環境試験棟の衛星クリーンルームで開始された。第一次噛合せ試験の時点では、各搭載機器は、まだ最終状態にはなっていない。ここで、機器単体の性能確認そして衛星構体や各機器間の機械的、電気的なインタフェース試験を行い、問題がないかどうかを確認する。衛星は、いつもではあるが、とにかく軽量化が最大のテーマである。LUNAR-Aは従来の衛星よりさらに軽量化が厳しく、搭載機器担当者は1gでも軽くすべく、例えば、配線の長さを1cmでも短くしようと努力をする。その結果、単体では問題はなくても、他の機器と組み合わせると、正常に動作しないという不具合が発生する。一噛みでは、こういった不具合をすべて虱潰しに洗い出し、対策を講じ、修復していく。このため作業が夜遅くなることもしばしばである。試験担当者にとっては気の休まる暇もないが、ペネトレータが無事月面に打ち込まれ、貴重なデータを地球に送り届けたとき、苦勞は報われる。なお、ペネトレータも7月下旬から一噛みに参加すべく、磁気シールド室でP組試験（組



合せ試験）が行われている。

一噛みは9月上旬まで続く。

(河端征彦)

#### ★LUNAR-A C組試験

C組の報告をする前に、そもそもC組とは何かについて、まず、お話しておきたいと思います。ご存じのように、月ペネトレータは減速モータにより月周回軌道を離脱した後、月面到達直前にラムライン制御という方法により貫入方向に向けて姿勢マヌーバを行います。このときに用いられるモータ(DOM)と姿勢制御部(CNT)から成るペネトレータの輸送系をペネトレータ・キャリア(Carrier)と呼んでいます。C組とは、このキャリアの噛合せ試験のことです。

C組の中心となるのはタイマを含む姿勢制御部の電気性能試験です。ミッション遂行上姿勢制御系の応答遅れの誤差は僅か千分の一秒以下に管理しなければならないため、従来は問題とならなかったような細かいことが試験では顕在化し、その実施方法や結果の評価方法などはかなり特殊なものとなっています。内容的には、3年前に行った気球によるラムライン制御実験や、昨年度と今年度に連続して行った観測ロケットによるキャリア実験の噛合せと、基本的には同じものです。気球実験のときには試験の方法すら確立していなくて、どのようにしたら効果的に進めることができるか、皆で一生懸命に考えたものでした。そうしたことを振り返ると、今までの経験がよく活かされて、全てが手際よく、あっさりに見えるほどに終了した今回のC組には感無量の思いがします。

さて、今回行われたのはキャリア1号機(PCR-1)の噛合せでしたが、今年中に、さらに2号機と3号機の噛合せも予定されており、冬期の観測ロケットによる最終機能確認試験をもって、ペネトレータ・キャリアの開発も最終段階に到達することになります。

(森田泰弘)

### ★S-310-25号機，26号機噛合せ試験

6月18日から7月9日にかけてS-310-25号機，26号機の噛合せ試験が行われました。前半は25，26両号機に加えて，S-520-18号機の噛合せもあり3機同時進行(!)と言うあわただしさの中，人手不足から夜遅くまでの作業を強いられましたが，後半は順調に進み，予定よりも1日早く試験を終える事が出来ました。このロケットは夏場の夜間に出現するスポラディックE層(通称Eスポ)に伴う電子密度の擾乱をロケットと地上観測の双方を用いて明らかにしようという目的の物です。このため，2機を15分程度の間隔で打ち上げるとか，TMA(トリメチルアルミニウム)発光弾と言う日本では20年ぶりの搭載機器があったりと，工学の方，事務の方を初めいろいろな方に迷惑をお掛けしています。この場をお借りしてお礼を申し上げたいと思います。

ちなみにこのTMA発光弾が作る発光雲は15分間程度肉眼でも見られます。月の無い時間帯に打ち上げますので，九州東岸，四国南岸，紀伊半島の西岸ぐらいの広い範囲から，雲さえなければ十分見えると思います。

(早川 基)



TMA準備風景(26号機)

### ★S-520-18号機打上げ延期について

平成8年度第1次観測ロケット実験として打上げを予定していたS-520-18号機は，フライト品の試験確認において尾翼の一部に強度上の問題が発生し，打上げに万全を期すため尾翼を取替えることとしましたが，その製造・試験に期間を要し，第1次(8~9月)の打上げは困難と判断するに至ったため，打上げを平成8年度第2次実験以降に延期することになりました。

(中島 俊)

### ★PLANET-B 熱モデルの熱真空試験

火星探査を目的としたPLANET-B熱モデルによる熱真空試験が飛翔体環境試験棟の大型スペースチャンバにおいて7月5日から16日まで実施されました。

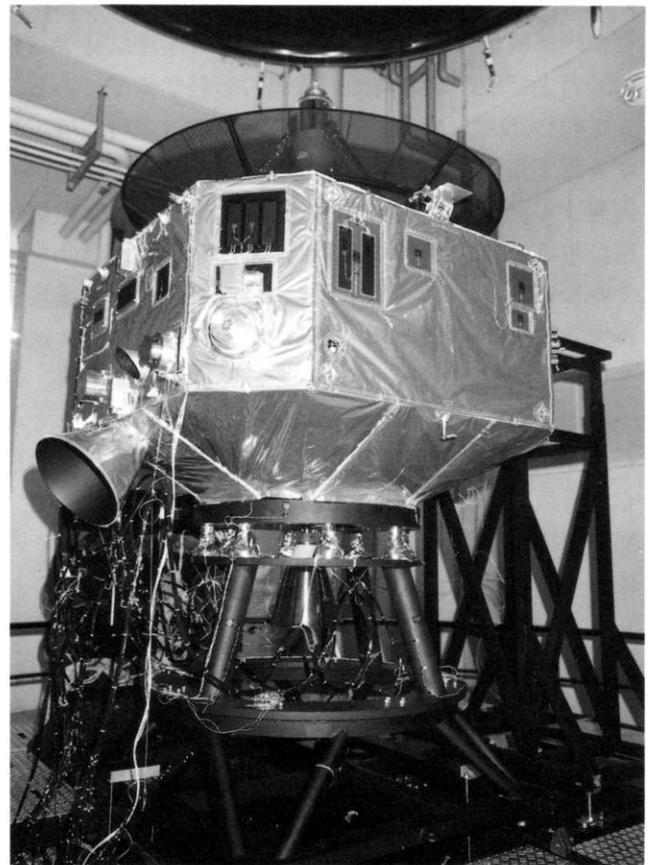
この試験は高利得アンテナ，母船，推進系および各搭載機器から構成されるPLANET-Bの熱数学モデルの検証と温度制御用ヒータの容量を確認することを目的として行われました。

試験内容はPLANET-Bが地球を離れ火星周回に至るまでに遭遇する熱環境を模擬しており，主にトランスルナー軌道，トランスマース軌道，火星周回の試験モードについて評価を行いました。また，この試験では500ニュートンの2液推進系の燃焼模擬と伸展マストの伸展試験を合わせて行っています。

各試験モードの結果は，PLANET-Bの熱設計の検証を行うための有効なデータを取得することができました。また，これらのデータはFMの熱設計に反映することを予定しています。

写真はPLANET-Bの熱モデルがスペースチャンバに設置されたところで，上から高利得アンテナ，母船と2液推進系のノズルを示しています。

(大西 晃)





# 生命のはじまり

宇宙科学研究所 長谷川典巳

最も古い炭素化石が約38億年前のものであることがわかっている。地球の誕生が約45億年前とすると、10億年も経ずに生命が出現したことになる。これは意外に早いと言える。この炭素化石は現在のラン藻と似ており、光合成をしていたと考えられている。それまでの地球大気が還元であったものが光合成で酸化的な大気になり、現在のような環境になったと考えることができる。

それでは、生命が出現する前の数億年に何が起きていたのだろうか。それは化学進化といわれる物質の複雑化の歴史である。簡単な分子がさまざまな反応を経て、より複雑な化合物へと変化し、蓄積していったのである。

生命体を構成する最も重要な物質はタンパク質と核酸であり、いずれも高分子物質である。タンパク質はアミノ酸の重合体で、生化学反応をはじめとする種々の機能を担っている。核酸は塩基、糖およびリン酸からなるヌクレオチドの重合体で、二種類ある。DNAは遺伝情報を蓄える物質で、RNAは最近の研究で生体の機能の一部を担っている事が知られている。これらの生体物質のうち、アミノ酸と塩基の一部は還元型の原始地球大気を模した条件で、稲妻の代わりに放電を続けることによって、実験室内で合成することができる。しかもアミノ酸の組成はある炭素質隕石からのアミノ酸組成とよく似ているもので、隕石の中からは塩基も検出されている。従って、アミノ酸や塩基は宇宙からやってきた可能性もある。

タンパク質と核酸はどちらが先に出現したのかという大きな疑問が最近の研究で解決されようになってきた。それは一つはRNA触媒(リボザイム)の発見と、もう一つは試験管内での新機能分子の創製法(SELEX)の開発である。

生物体の重要な反応にタンパク質の合成がある。このタンパク質の合成は、リボソームというRNAとタンパク質からなる粒子の上で行われている。アミノ酸を連結させるこの反応にはどうやらタンパク質は不要で、RNAだけで反応が進行しそうである。そうすると、核酸(RNA)のみで、タンパク質ができてしまうということになり、核酸が先にできたという考えを強く支持する。このように、生命が誕生する少し前にはRNAがいろいろと機能しており、その化石が現在の生物に

残っていると考えることができる。この生命誕生直前のRNAの時代をRNAワールドと呼び、現在注目を浴びている研究分野の一つである。

生物の特徴の一つに独立した自己複製ができるということがある。つまり、遺伝情報を複製し、子孫に伝えることが必要である。試験管内での新機能分子の創製法の開発というのは、ランダムな配列を持った短いRNAのプールから、ある機能を持ったRNA分子を探す方法である。この方法でRNAへの重合反応を触媒する分子が発見された(ただし、天然には発見されていない)。しかも、反応のエネルギーとしてATP(現在の生物が用いているエネルギー)を必要としていた。この発見はRNAの自己複製の可能性を意味する(注)。

このように化学進化の最終段階で、RNA分子が機能を持ったRNAワールドが出現し、次にDNAを情報分子に置き換え、機能をタンパク質に変えて、ついには生命の誕生というシナリオを考えるのが良さそうだと思うようになってきた。

「私たちが住んでいる世界を科学を通じて理解し、証明するには限界がある。未だ解明されない謎のうち、宇宙の誕生と地球上の生命の存在はその代表例であろう」とワインバーグが言っている。「地球上の生命の存在」とは生命の誕生が必ずしも地球とは限らないという含みを残しているわけである。生命の宇宙からの持ち込み説は、すでに19世紀の初めにあったと言われており、その後、隕石説、パンスペルミア説、新パンスペルミア説などいずれも宇宙物質が生命を地球に持ち込んだという説が提出されてきた。ところが、宇宙空間に満ちている高エネルギーを持つ宇宙線の存在は、生命体を生きたまま超長時間宇宙空間に存在させることには無理がある。やはり、地球上の生命の誕生の舞台は地球であると考えるのが一般的であろう。それでは生命の存在は地球のみかという疑問が残る。我々の存在する地球とよく似た環境の星はいくらでもありそうである。従って、地球以外にも生命が存在しても不思議ではない。むしろ、あると信じて宇宙の生物を探すことにロマンをかける人達がいても良いのではなかろうか。

(注) この原稿を脱稿直後、本当に自己複製するRNAがSELEXで発見された。(Nature, 7月25日号)

(はせがわ・つねみ)

## 家・料理・妻・X線天文学

井 上 一

将来のX線天文学衛星計画についての国際会議出席のためイギリスに行ってきた。一昔前の笑い話に、「イギリスの家に住み、アメリカの給料をもらい、日本人の妻をもらって、中国の料理を食べるのが最良であるが、日本の家に住み、中国の給料をもらい、アメリカ人の妻をもらって、イギリスの料理を食べるのが最悪である」というのがあったが、今回、これについて少し感想を持ったので書いてみることにする。

この国際会議は、レスター大学のセミナーハウスで行われたのだが、その施設は、大きな実に美しい庭園の中にあるすばらしいものであった。会議が行われた建物も、植物園として公開されているきれいに手入れされた庭園に囲まれた、大きな暖炉のある風情のあるものだった。この庭園は、そのあたりの四つの名家から大学が買い取ったか譲り受けたかしたものだそうで、さすがイギリスの家、庭はすばらしいものだと感じ入った。このレスターへ行く途中、この冬宇宙研に客員研究員で見ていたバーミンガム大学の研究者ご夫妻に、お宅で食事をごちそうになった。このお宅も、もちろん先程の大庭園とは規模が違うが、きれいな庭のある、落ち着いたいいお宅だった。部屋をゆったりと使い、味わいのある家具やタペストリーが何気なくおいてあって、うらやましいかぎりだった。日本の家もだんだんましになってきていると思うが、一般には雑然としていて、風情がない。聞いてみると、土地の値段はわが家のあたりの値段のおよそ十分の一。家にずっと手がかけられるようだ。

このバーミンガムのお宅でご馳走になった料理はおいしかったが、たしかに、イギリスの食事は、一般にあまりおいしいものではない、奥さんが言うには、イギリスで一番おいしいのは、ヨークシャープディングをかけたローストビーフだそうである。もっとも、狂牛病のためにここ何年、食べたことが無いそうで、彼等が宇宙研に滞在中、しゃぶしゃぶに招待したのだが、何年かぶりと言いながら、おそろおそろ牛肉を食べていた。今や日本でも、O-157のために肉はおそろおそろ食べる必要があるようであるが。

バーミンガムのお宅では、食事を運んでくれる際や、お茶を用意してくれる際に旦那の方が実によく働き、奥さんにとっても気を使っていた。たしかに、欧米では、*lady first* が徹底しているし、夫が妻に実に気を使っているのがよくわかる。しかし、見かけはいろいろ違っても、夫婦間の実質的な実権が妻にあるのは万国共通なのではないかと思う。われわれだって、おもてに見える形で表現するのがへたなだけで、かみさんにかなり気を使って生きている。まことに残念ながら、日本人の妻以外を経験して見る事ができていないので、ほんとうのところはわからないが？

最後に、給料ならぬ仕事とお金の話。それぞれ予定通りに行けば、1998年末から2000年初めにかけて、日(Astro-E)、米(AXAF)、欧(XMM)のX線天文衛星が揃い踏みとなるが、今回の会議はその次の衛星計画をどうするか議論が目的であった。これまでの米欧のメイン計画は、大艦巨砲主義で、AXAFもXMMもそれこそ1000億円にもものぼる大計画だった。それに対し、日本は予算規模は10分の1ほどに小さくとも、目的をよくしぼりこんだ衛星を着実にあげてきた。しかし、少なくとも米国NASAでは、「より良く、しかし、より早く、より安く」が基本方針となり、大艦巨砲主義を改めつつある。そのあおりで、AXAFも途中で規模縮小を余儀なくされている。一方で、日本の衛星の規模が大きいものになってきたこともあり、結果として、今回、米国の次の計画として出されてきているものは、われわれが考えているものとよく似たものになってきている(依然として、規模に大分差はあるが)。しかし、日本、特に宇宙研の着実な衛星の打上げのシステムはやはり、他国にはない長所であり、今後とも日本の特徴を出したユニークな計画を考えていかななくてはなるまいとの気持ちを強くして帰国の途についた。家・給料・妻・料理のことはいざしらず、わがX線天文学については、確固とした日本の地歩・ユニークさを保ち、今後とも宇宙の理解の進展におおいに貢献していきたいものである。(いのうえ・はじめ)

## 宇宙通信工学 (8) 電波科学観測

水野 英一

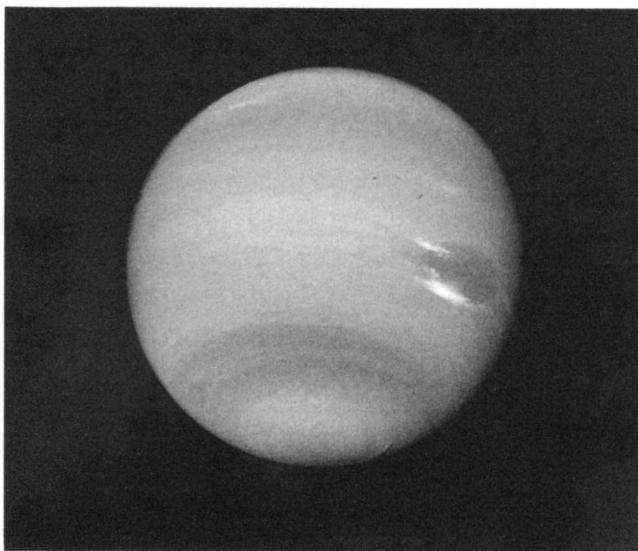
人工探査機を使って宇宙探査を行うには観測目的に応じた観測機器を積み込んでおかなければなりません。典型的な惑星探査機のひとつといえる米国のボイジャー2号を例にとると、可視光カメラ・赤外分光器・磁場・プラズマ測定装置・宇宙線検出器など10種類もの観測装置が積み込まれています。何もボイジャーに限らず1度で巨額の費用を要する科学探査機の宿命として可能な限りいろんな事を観測する努力のあらわれでもあります。その中であってボイジャー2号の場合、観測装置より一つ多い11種類の科学探査計画が実行されました。11-10=1。残り一つは何か？実は特定の観測装置ではなく、人工探査機と地球の間で情報を伝達するために使用する電波を利用した惑星探査が行われたのです。その一見『おまけ』のような探査手法を、電波を利用した科学探査という意味で『電波科学』といいます。一見地味な手法であり、あまりご存じの方も多くないと思いますが、この探査機が通過した木星・土星・天王星・海王星（図：ボイジャー2号が最後に立ち寄った海王星）では惑星大気中の温度・気圧がどの様に分布しているか、また土星や天王星のリングの微細構造など、科学的に極めて貴重かつ今のところ他の観測手段では得られないデータを得ることができたのです。

地球から離れて太陽系に飛び立つ人工探査機を考えましょう。探査機は地球との間で電波を使い情報のやりとりをしなければなりません。ところで電波が伝わってくる途中にはこれら情報伝達を担う電波に影響を与える、言い換えれば変調をかけるものが存在します。例えば太陽プラズマ・太陽や惑星の磁場／重力場・惑星大気・惑星電離層などです。それらの電波への影響は様々な形となって現れます。例えばプラズマや大気は真空中と比べて屈折率が僅かに異なるため電波が通る光路長を変化させます。一般に太陽プラズマや惑星大気などは外側に向かうほど希薄になっていくのでその中を電波が通るとちょうどレンズを通る光のように屈折され、その結果電波が探査機から発射されてから地球に到達するまでの時間が変化し、言い換えれば位相変調を受けることになります。惑星、例えば先ほどのボイジャー2号の場合、写真の海王星の大気中をうまく電波が通るように探査機が地球から見て惑星の裏側を通りました。この時最大7度位の屈折効果が確認されています。太陽プラズマ中を電波が通って来る場合にも同じ現象が起きますが、こちらの場合むしろプラズマの局所的な密度ゆらぎにより電波が地球に届く頃には波面が乱されてしまいます。これは上のレン

ズと光の例になぞらえるならば、陽炎（かげろう）のようなものといえるでしょう（電波のシンチレーションと呼ばれています）。実際に受信した電波を調べるとその位相や振幅、電波のやってくる方向がゆらいで見えます。

さて、これら自然現象による電波の変化ですが、上に挙げた情報伝達の観点からは雑音と見なされます。しかし視点を変わると、これらは宇宙の現象に関する貴重な情報を運んでくれたとも考えられます。電波科学という分野はこれらの『証拠』を注意深く解析することにより実に様々な物理量を引き出すのです。例えば惑星の温度・気圧・大気密度・電子密度・磁場の向き・リング粒子のサイズ（土星・海王星など）・太陽プラズマの密度ゆらぎ・重力場の歪み、など。中でも未だに大気中に探査プローブを送り込めない惑星、例えば天王星、海王星ではこの観測が大気の奥深くまで入り込んで観測する唯一の手段なのです。ですから『電波科学』という言葉は知らないでもそれが導いた結果をどこかの論文あるいは子供向けの図鑑などで見た人は多いはず。ここではボイジャーの例のみを挙げましたが、電波科学観測は一般に特定の観測機器を必要としないのでこれまで世界で行われたほとんど全ての太陽系・惑星探査計画で行われていますし、現在計画中の計画にも盛り込まれています。しいて言えば『電波』が観測道具ですので、そのクオリティー（安定度）を向上する努力は行われています。それにより、これまで以上に精密な惑星大気観測がわが宇宙研の火星探査機Planet-Bでも行われる予定です。

（みずの・えいいち）





## SFUとの再会

河内正夫

設計棟の8階から見下ろすと完成当時は大きく見えた衛星組立棟も小さく、色褪せて見える。その入口にあたる開梱室の横に、見覚えのある白く丸いコンテナがポツンと置かれている。

「やっと帰って来ましたね。」

隣で一緒にタバコをふかしていた若手が声をかけて来る。

「うーん、そうだね。」

そっけない返事を返ししながら、でも心の中ではしばらく会えなかった恋人に再会するような胸の高まりは隠せない。

「さーて、行くか。」

普通に歩いているつもりでもいつの間にか小走りになっている自分に苦笑いしながら、白衣に着替えるのもどかしく衛星棟のハイベイの中に足を踏み入れる。

一瞬打上げ前の衛星かと思間違えるような金色の輝きを残したSFUが目飛び込んでくる。去年種子島でロケットに収納される直前に、地上での再会を期して別れを告げた「やつ」との1年振りのご対面にしては意外にもめかし込んでいてそっけない。あれほど苦勞してやっと地上に連れて帰って来たのに、こいつは昔からそこに居て当たり前のような涼しい顔をしてデンと鎮座している。

「何だ、この野郎。人の苦勞も知らぬ顔して・・・」

胸の中でブツブツつぶやきながら近づく目の中に、突然飛び込んでくるむき出しになったあの太陽電池パネルの生々しい収納部、更に近づくにつれて金色の熱制御材の表面に薄く粉のようにかかった汚れ、ただれたような変色、そして見事な貫通痕を残した宇宙塵の衝突の跡の数々・・・。

「そうか、そうだよな。お前も宇宙で苦勞したんだよな。頑張ったんだよな。」

熱制御材の荒れた表面をしみじみ眺める内にようやく懐かしさと、いとおしさが胸のうちにジーンと込み上げて来る。作業用手袋をつけて表面のあちこちを軽く触ってみながら、思わず主構体のフレームにかけた手に力がこもる。ピクともしない重たさからは、あのシャトルから降りてきた映像で見た、宇宙空間にぼっ

かり浮かんだSFU、そして回収の時のマニピュレーターアームで捕まえられた時に感じたSFUの軽さ、小ささがとても想像できない。

そばにいた白衣姿の作業者が近づいて話しかけてくる。

「これって、本当に宇宙を飛んで帰ってきたんですかね。実は種子島でこっそりロケットから降ろしておいて、適当に穴ポコあけて倉庫から引っ張りだして来てたりして・・・。まさか回収の時の映像は、NASAがCGか何かで合成したやつを送って来てたんじゃないすよね。」

「はは・・・実はそうだったりして。」

馬鹿な会話でも交わさなければ、こいつが本当に宇宙を旅して帰って来たなんてとても信じられないのだ。

一人で周囲をゆっくり回りながら、心の中でSFUに話しかける。

「おい、ここじゃピクともできないほど重い図体をさらしているけど、宇宙じゃまるで紙風船みたいに軽やかで楽しそうだったな。もしかすると、ずっと宇宙を気楽に飛んでいたかったのかなあ。」

「そうなんすよ。身動きできない地上なんてちっとも面白くない。宇宙にいる方がずっと楽しかった。超ヘビー級の私だって宇宙に行けば一流のダンサー並の軽やかなステップをお見せしますぜ。」

そうか、そうだったのか。忘れもしない去年のクリスマス、巷のジングルベルの音色に合わせるように突然踊り始めたのは、宇宙で楽しくやっているから迎えに来るなんて無粋なことは止めてくれ、ということだったのか。

きっとそうに違いない。宇宙飛行士だけじゃない、衛星だって宇宙を飛ぶことが最高の喜びなのだ。

「よし分かった。手入れをしてきれいに化粧直しをすませたら、いつかきっとまた宇宙へ送りだしてやるからな。」

気のせいかSFUがうれしそうに小さく身震いしたように見えた。

(かわち・まさお、

三菱電機鎌倉製作所宇宙システム部)

ISASニュース

No.185 1996.8.

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所(文部省) ☎229 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 0427-51-3911

The Institute of Space and Astronautical Science

◆本ニュースに関するお問い合わせは、庶務課法規・出版係(内線2211)までお願いいたします。(無断転載不可)