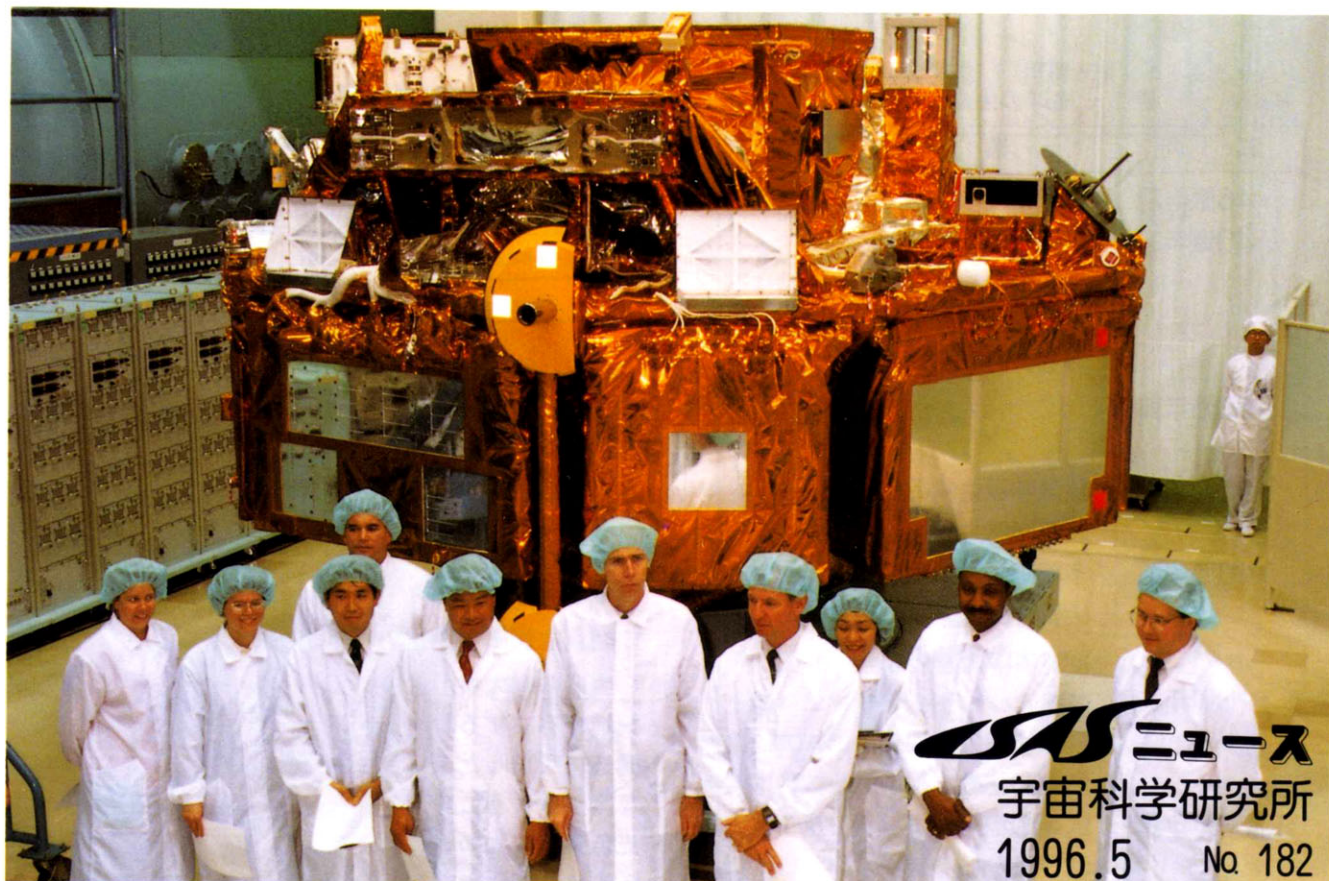




ニュース
宇宙科学研究所
1996.5 No. 182

〈研究紹介〉

再会したSFUを前に、宇宙飛行士及びNASAのスタッフ達（撮影：新倉克比古）

宇宙を顕微鏡で見よう（火星の生命探査装置）

三菱生命科学研究所 河崎 行 繁

◆事の初め

なにも逆説な事を言おうとしているのではありません。でも、宇宙の探査においては望遠鏡ばかりでなく顕微鏡にも活躍の場は充分あるのです。特に、生命探査の場合はそうです。しかし、いままで地球圏外で顕微鏡が表舞台で活躍したことは一度もありませんでした。

私たちが肉眼でパッと見ただけでわかるような生物は大きさが1 cm以上あるものと言って良いでしょう。表1に示した地球の生命史を見てみますと、地球が誕生したのが46億年前、生命が誕生したのが38～40億年前、1 cm以上の大きさの生物が誕生したのが6億年前です。すなわち、生命史の初期の32億年以上は顕微鏡的生物の時代だったのです。地球で起こったことが全宇宙的に成り立つかどうかはわかりませんが、簡単に微小な生物から大きくて複雑な生物へ進化するというのは必然であると考えて良いでしょう。そこで、もし地球外で生命を探そうとした場合、1 cm以上の大型生物のみを対象とする場合と1 μ m程度の微生物までを対象とする場合では、宇宙生命探しが成功するかどうか

の賭率が大幅に違ってしまいます。賭率計算のための基礎データとして地球生命の歴史をとると、大型生命検出の確率と微生物を含めた生命の検出の確率との比は1/5以下となります。しかし、宇宙には我々の太陽系に比べてより短時間しか寿命がない惑星系が多数あります。また、長寿命惑星系があったとしても、その中で地球ほど生命の誕生に適した惑星はまれでしょう。多くの恵まれない惑星の中では、たとえ生命が誕生したとしても、大型生物が出現する程までに進化できず、微生物だけしかいないものが多数を占めるでしょう。すなわち、宇宙レベルで生命を考えた場合、まず、微生物を考えるということは必然です。

微生物が主役として活躍できる舞台は、地球外生命を探査しようとする場合ばかりでなく、地球生命を宇宙へ送り出す、また、宇宙を地球生命で汚染しないかどうかを調べる場合でも同様です。このように、宇宙で微生物を探すということのために顕微鏡が登場するのです。

もう一つ、地球上においても微生物の役割は再認識されています。人間の将来を考えた場合、最も重要な

表1 地球の生命の歴史

年 代	事 象
～46億年前	地球誕生
40億年前	有機物の蓄積 最初の生物出現 光合成生物の出現 無機呼吸鎖の形成
30億年前	
20億年前	酸素呼吸生物の出現 真核細胞生物の出現
10億年前	多細胞生物の出現 大気中の酸素蓄積 中・大型生物の出現
5億年前	
1000万年前	陸上植物の出現 陸上動物の出現
500万年前	人類の祖先がゴリラ、チンパンジーから分岐
50万年前	人類の出現
10万年前	旧人（ネアンデルタール）の出現
5万年前	現生人類の出現
5000年前	メソポタミア文明

ことは食料問題と環境問題でしょう。これら二つの問題解決に関して、微生物が根本的な役割を果たすということは間違いありません。しかし、地上で微生物を知り、それを制御するためには種々の未解決の課題があります。その中で最大のものが、自然界での微生物の数、生死、種を決めることです。すなわち、宇宙で微生物を探索するということと、地球で人間の将来を左右する問題の解決を図るということが、ここでドッキングするのです。

このような背景の基に、私たちは宇宙レベルで微生物探索を行うため、顕微鏡を地球に限らず地球外、すなわち宇宙へ向けようと準備をしています。

◆これまでの地球外微生物探索

ここで今までに行われた地球外微生物生命探索はアメリカが1975年から76年にかけて行った火星探索（ヴァイキング探索）のみです。そこでここではヴァイキング探索での生命探索について振り返ってみましょう。

ご存じのように、ヴァイキング探索では火星に生命

未知の物体の「生命らしさ」について「ミッシュランの評価基準」を作る。

生命の特徴	その特徴を担う分子・構造	蛍光色素
情報の保持	核酸	核酸検出色素
自己と外界の区別	細胞膜	細胞膜吸着色素
物質・エネルギー代謝	酵素	酵素の作用を受ける色素

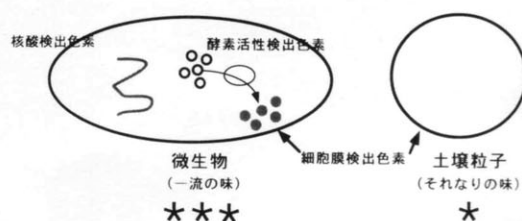


図1 未知の物体がどの程度生命らしいかということを顕微蛍光法で判断する。

生命の三大特徴についてそれらの特徴を担う分子や構造が存在する。蛍光色素の中には、これらの分子や構造に吸着したり作用を受けたりすることにより蛍光を発するようになる蛍光色素が存在する。これらの蛍光色素で未知の物体を染色し、その物体がどの程度発色するかで、生命らしさを判断するための実験的データが得られる。すなわち、核酸検出色素のみで光れば星（*）一つ、さらに細胞膜吸着色素でも光れば星二つ（**）、さらに、酵素作用を受ける色素でも光れば星三つ（***）となり、この順に「生命らしい」と判断できる。

がいるという積極的な証拠は得られませんでした。ヴァイキング探索で特徴的なのは、火星生命が地球と基本的に同じと仮定して、代謝実験や培養を用いた実験を行った事です。でもこれらの実験で検出できるのは、代謝を起こすための条件や培養の条件がわかっている微生物だけです。

地球の微生物の場合でも条件が適当でないとこれらの実験方法で検出出来ないことが多いのです。ましてや、火星生命の場合はよりわけがわからないものである可能性がありますから、なおさら困難でしょう。

そこで私たちは、培養とか代謝とかにあまり依存しないで微生物を検出する方法を開発することにしました。

◆ミッシュラン（レストランの評価基準）にならった生命検出法

私たちが用いた方法は顕微蛍光法と呼ばれます。この方法では、未知の試料に蛍光色素を振りかけます。そして、その蛍光色素が生命特異的な物質と反応して発する蛍光を検出して生命がいるかどうかを判定するわけです。この場合、地球外生命も基本的には地球生

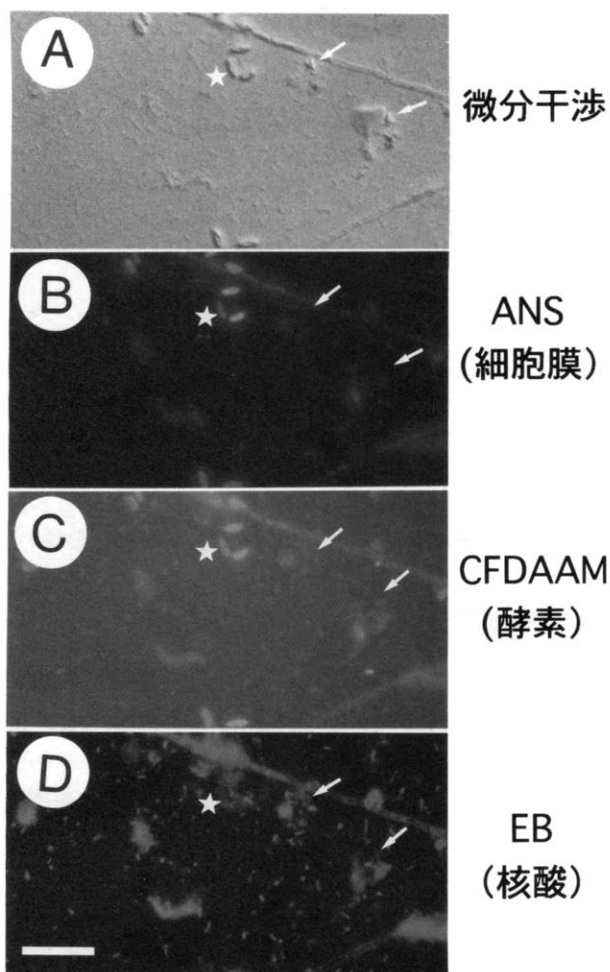


図2 素性のわかった微生物と土壌とを混ぜた試料を三種の蛍光色素で染色したものの顕微鏡写真

A. 微分干渉像 B. 細胞膜吸着色素ANSの蛍光像

C. 酵素作用を受ける色素CFDA-AMの蛍光像

D. 核酸検出色素EBの蛍光像

A. において★印と←印の物体はすべて微生物であるかのように見えるが、蛍光像を見ると★印のものは全ての色素で発光しているのに対し←印のものはC. でやや光っている程度である。従って、★印のものは微生物、←印のものは土壌粒子と判定して良いであろう。実際★印は細胞性粘菌の孢子である。

スケール：20 μ m

ANS：1-anilinonaphtalene 8-sulfonate,

CFDA-AM：5-carboxyfluorescein diacetate acetoxymethyl ester,

EB：ethidium bromide

命と同じ原理で成り立っていると仮定します。地球生命の原理と顕微蛍光法の原理を図1に示します。

生命の特徴は大きくみて三つあります。一つは情報を保持していること（自己複製が出来ること。）二つ目は自己と外界の区別をすること、そして三つ目は物質

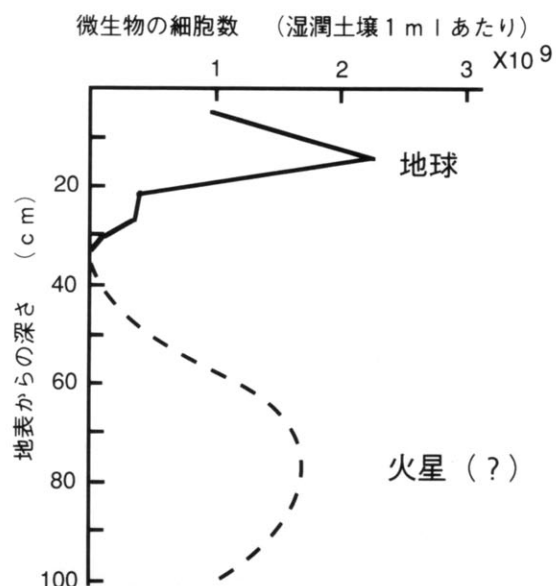


図3 地球土壌の中の微生物の深さ分布

土壌をエステラーゼという酵素の作用を受ける蛍光色素SFDA(5-<and-6>-sulfofluorescein diacetate) で染色することによって微生物を検出した。微生物数が最大値を示すのは地表ではなく地下15cmの所であることに注意。この原因は地表は乾燥したり紫外線の照射を受けたりすることによると思われる。

やエネルギー代謝をすることです。地球生命はこれらの特徴を担う分子や構造を持っています。それらはそれぞれ核酸、細胞膜、酵素です。私たちは地球外の生命でも、これと似た分子や構造を持っていると仮定しています。さて、蛍光色素にはこれらの分子や構造物と反応してはじめて光るものがあります。すなわち、これらの蛍光色素が光ればこのような分子や構造が存在するということがわかるわけです。蛍光色素の発光を検出することは容易で、現在の技術で微生物一細胞でも充分検出できます。従って、培養の必要はまったくないわけです。ただし、自然界には雑多な物質が存在するため、たまたま上に述べたような生命の特徴に対応した発光と類似の発光を示すことがあります。すると、生命でないものを生命であるかのように間違えてしまうこともあり得ます。このような間違いを完全に消すことはできませんが、上述の生命の特徴に応じて、二種または三種の蛍光色素を用い、これらがすべて発光すればこの物質は非常に生命らしいと判断できます。すなわち、一つの色素で光れば★一つ、二つで光れば★★、三つで光れば***となります。これはフランスのタイヤメーカーであるミシュラン社がホテルやレストランの評価の際に★の数でランク決めをしたのと同じです。すなわち、私たちは蛍光顕微鏡と蛍光色素を組み合わせた顕微蛍光法で生命らしきのミッシ

ユラン評価表をつくろうと思っています。地球土壌を三種の蛍光色素で染めた例を図2に示します。

図2にあるように、一種の色素では判定困難なものでも複数の色素を用いると生命らしい物をよりの確に判定することが出来そうです。地球外生命のように、相手の素性が良くわからないものではこの顕微蛍光法が強力な武器になると信じています。

◆火星の何処を探そうか

顕微蛍光法では現地へ行って生命探査をするわけですから何処を探すかが非常に重要です。火星の中でも場所がいろいろあります。ヴァイキング探査の所で述べましたように、生命探査がうまく行かなかった理由の最大のもは火星表面のみを探索したということでしょう。結果論ですが火星表面は紫外線放射線が雨あられと降り注いでいます。(現実には火星では雨もあられも降りませんが。)従って、生命はおろか、有機物でさえもほとんど分解してしまいます。これでは生命がいるはずはありません。ですから、今度生命探査をするならなにはともあれ、地下を探索しなければなりません。どれぐらい掘れば良いのでしょうか？

それはわかりません。生命が生存するには水が必要です。ですからまず水がありそうな所を探すことになります。私たちはこの予備知識を得るためにモデル実験で地下何メートルに水(結晶水)があればリモートセンシングで検出できるかを調べるべきだと提案しています。まだ、この実験はできそうもありませんが。

次には、過去に水が流れた跡であると思われる地域を選ぶことです。火星には川の跡と思える場所や隕石がぶつかった際に地下水が溢れ出たと思われる場所が沢山あります。この近辺を掘れば生命を見つける可能性が増すでしょう。現在明らかに氷がある極冠のあたりも候補です。これらの場所で地下を探ればあるいはという気がします。

温度の点から考えてみましょう。地球では生命は地球誕生後6から8億年で誕生しました。火星でも最初の10億年は全惑星的に高温であったといわれています。

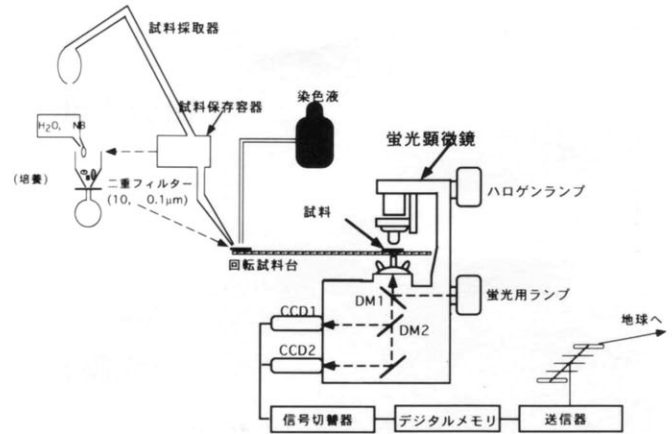


図4 火星微生物検出装置の装置構成図

左上にある試料採取装置で採取された土壌を適当な容器に貯め、その一部を回転寿司の台のような試料台に載せる。そこへ蛍光色素の入った染色液をふりかけ、直ちに顕微鏡で蛍光像を撮影、記録する。

その時代に液体の水が存在していたとすれば生命誕生の可能性は充分あったでしょう。そして、その後、温度が下がったとしたら一度生まれた原始生命がそのまま保存されている可能性もあります。火星の生命探査は現在生きている生命を探索すると共に、過去の生命のミイラを探索できるかも知れないという点で科学的価値があります。地球では物理的にも化学的にも生物的にも活動が活発であるため、過去の遺物はすべて消される傾向にあり、地球で原始生命を見つけることは至難の技なのです。

◆火星生命探査装置

我々が考えている火星の生命探査装置の構成を図4に示します。これはほとんど地球上で用いられる装置と同じですが、大きな違いは完全に自動であることと、検出器部分の重量が10kg以下と非常に軽くなければならないことです。もし、この装置で、図2の様な画像が得られれば、乾杯！ということになります。

このような装置は宇宙ばかりでなく地球においてもポータブルな微生物検出装置として充分役立つものです。(かわさき・ゆきしげ)

お知らせ



★人事異動

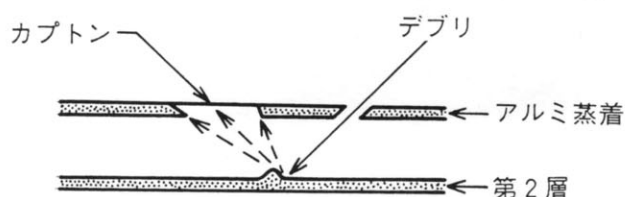
発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現 (旧) 職 等
8. 4. 1	上 田 佳 宏	(採 用) 宇宙圏研究系助手	
8. 4. 1	松 本 敏 雄	(転 入) 宇宙圏研究系教授	名古屋大学理学部教授
"	小 林 康 徳	次世代探査機研究センター教授	筑波大学構造工学系教授

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現 (旧) 職 等
8. 4. 1	山 下 雅 道	(所 内 昇 任) システム研究系教授	宇宙基地利用研究センター助教授
8. 3. 31	秋 山 弘 光	(辞 職) 勸奨退職	三陸大気球観測所助手
8. 4. 1 "	清 水 幹 夫 佐 藤 清	(停 年 退 職) 平成8年3月31日 平成8年3月31日	惑星研究系教授 宇宙輸送研究系助手
8. 5. 1	向 後 保 雄	(所 内 昇 任) 宇宙推進系助教授	宇宙推進系助手

★SFU公開 (表紙写真参照)



3月28日、SFUが日本へ帰ってきた。横浜港で喫水の浅いはしけに積み替えて、江の島港で陸揚げし、三菱電機に運び込まれたのが4月5日。翌週、開梱早々に外観を見る。回収時のNAS Aテレビ映像でも、KSCで垣間見たときも「奇麗だ」との印象が強かったが、その後にKSCを訪れた二宮教授から「表面は半分荒れている」と聞き自分の目で確かめたいと思っていた。再会の第一印象は変わらなかったが、顔をすりつけるようにして見るうちに「あら」が見えてきた。デブリ (正確には惑星間塵を含む) の衝突痕、UVによる塗料褪色、MLIの裂けなどだが、密度が少ないので気を付けないと見過ごしてしまう。MLIに奇妙な衝突痕が見つかった。図のようにMLI第一層を貫通したデブリが第二層にクレータを形成し、その際噴出したと考えられる二次ジェットによって、第一層裏面に蒸着されたアルミ層が消しとんでいる。表面に残されたカプトンが透明な窓となって、天眼鏡で



第二層の様子がよく見える。随分と器用なことをするものである。IRTSの最外部には放電痕のようなフラクタルパターンが見られ、降載後の解析が楽しみである。「あら」は見えてきたが、通った三日間の去り際には、やはり「奇麗だ」と思えた。(栗木恭一)

★NASAスタッフとのSFU技術検討会

STS-72宇宙飛行士を含むNASAスタッフが宇宙科学研究所を訪れた。4月23日、快晴。玄関前には共和小学校4～6年の生徒が出迎え、バスを降りるやいなや一行をとり囲んだ。聞くところによると、生徒らはこの日一日中興奮して、授業も宇宙討論会に切り替わっ



STS-72スタッフと共和小学校生徒との交歓

た由。所長への表敬では記念パネルがブライアン・ダフィー船長より西田所長へ手渡され、記者会見、昼食と続いて話かはずんだ。「NASA管制室(MCC)と相模原管制室(SOC)との会話が全国ネットで放送され、ヒューストンとサガミハラの名が飛び交ったことで相模原は一躍有名になった」と伝えと、ご同慶としたうえで、「SOCチームの対応は見事であった」とお褒めの言葉を頂いた。訪問の主目的であった飛行後技術検討会では、飛行運用の予定手順からのずれ、太陽電池パネルの収納・切り離し解析の中間報告などが討議された。SFU/シャトルの交信中に通信の一時断があり、シャトル側でも送受信機の性能検討を行うこととなった。回収運用の一部始終を8ミリビデオで撮っていたダニエル・バリー飛行士からは「太陽電池パネルが畳まれている最中に、折り畳みの粗密波が縦波となって伝播していた」との観察が聞かれ、今後の解析にとって新たな情報が得られた。

最後に一行はSOCの見学を行い、メンバーと旧交を温めた後帰路についた。技術検討会第二部は4月25日USEFで行われた。(栗木恭一)

M-V事情

★M-V-1号機の噛合わせ始まる

3月26日より、構造機能試験棟でM-V-1号機の噛合わせ試験が始まった。M-Vロケットに搭載される多くの機器を対象にした総合動作試験で、発射場のある鹿児島宇宙空間観測所へ送る前の確認試験である。

この噛合わせ試験は、ロケットの計器部を組み上げ搭載機器の機能、性能、耐環境が電氣的・機械的に噛合っているか総合的にチェックを行うものである。

構造試験棟内では、M-Vロケットの第3段計器部と2～3段接手部（2段計器部）、1, 2, 3段の各ノズル部、後部筒など電装機器と制御機構部の実機が総て一堂に揃ったところで、これからは打ち上げへ向けて、万全の状態となるよう関係一同の努力が重ねられる。

試験は、計装配線のチェックに始まり、現在、計器の組み込みが進められている。機器の管制、計器実装の方法などM-3S IIと異なる面もあり、予定時間を大



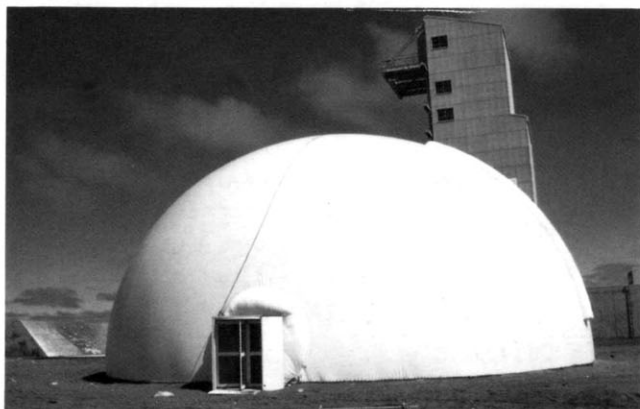
幅に越えるスタートとなったが、幸い今のところ大きな問題もなく作業を進めている。4月23日には電氣的インタフェース干渉などを確認する総合動作試験に入ることになっている。その後、第3段計器部のダイナミックバランス、振動試験、姿勢制御系のシステム総合試験などが予定されている。（横山幸嗣）

★ペネトレーターアンテナの砂面利得測定実験

ルナーA計画のペネトレータは、月面に貫入した後、月の砂中から400MHz帯の電波を上空の母船衛星に向けて送信します。このための送信受信アンテナは、RF特性（誘電率）も不確定性のある月の砂から電波を出すという特殊性を持ちます。この開発のためには、通常のアンテナ開発のような電波暗室が使用できず、かわりに広大な乾いた砂の空間が必要です。

このように広大な砂場を用いた試験の必要性は、従来より叫ばれていましたが、ペネトレータ本体構造がようやく昨年冬に決定した事を受けて、4月2日から4月27日の期間に能代実験場で行われました。

タクシー無線等の電波障害がなく、実験支援の体制も整っている能代実験場の大気燃焼棟のわきの砂浜に、深さ4m、巾6mの穴をほり、土のうでかためる工事をしました。大きなビニールシートを大風呂敷の要領



ペネトレータアンテナの測定を行ったエアードーム

でひろげて、オーストラリアから輸入したケイ砂という白い乾いた美しい砂を、60tダンプカーで運んできて、ぶちまけました。

ルナードームと名づけられた直径20mのエアードームを写真のように設営して、その中で26日間、アンテナの実験を行い、一部機器の変更の必要が判明したものの、所定のアンテナ性能が得られる事が確認されました。

実験期間の延長については御迷惑をおかけしました。なお、このエアードーム本体は再び利用できるもので、将来いろいろ活用される事を望みます。（斉藤宏文）

★「ようこう」国際研究集会開催

「ようこう」衛星は、この春で打ち上げ以来4年半になるが順調に観測を続けている。やがて来る5周年を目指して、内外の関係者は運用とデータ解析に忙殺されている一方、共同研究相手の英国グループが音頭をとり国際研究集会が3月20～23日英国で開催された。名付けて「「ようこう」研究集会：太陽大気中での磁気リコネクションの観測」である。

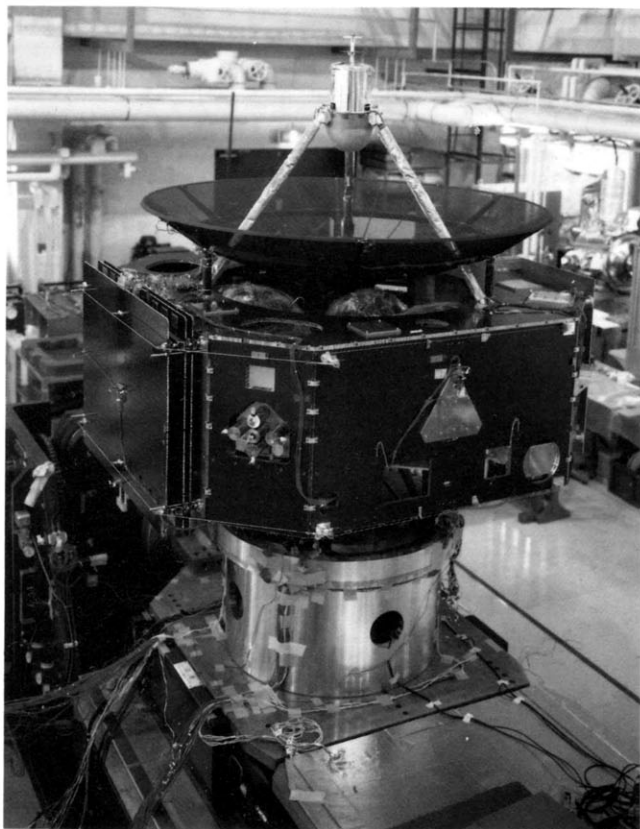
空間につくられた磁場はそれ自身がエネルギー（磁気エネルギー）を持っている。プラズマ中の磁場の配位が変わることにより磁場のもつエネルギーがプラズマの運動や熱エネルギーに変わることが磁気リコネクションによる加速・加熱とよんでいる。この現象は、「ようこう」の観測により太陽表面で、またGEOTAILの観測により地球磁気圏で明確に確認され、天体、宇宙空間における高エネルギー現象の重要な形態の一つ

として注目を集めている。

研究会は、これまでの「ようこう」の成果を集約するものとも言える内容であった。場所柄、英国、米国の研究者を中心にヨーロッパ近辺の国の参加者が圧倒的に多く、日本からはこの種の研究会としては異例に多い19名ほどが参加して積極的に発表や討論に参加したが、残念ながら数の上では少数派であった。日本の衛星の研究集会が外国の強い希望で国外で開かれたのは、決して初めてでは無いと思うが、わが国の衛星観測の国際化を示す象徴的なことである。(小川原嘉明)

★PLANET-B構造モデル試験

標記試験が、1月12日から4月5日にかけて、NECの横浜工場にて行われました。PLANET-Bは、1998年夏期に、M-V型ロケットの3号機で打上げる予定の、火星周回探査機です。PLANET-Bは、1992年度より開発に着手し、既にPM(プロトタイプモデル)の試作、試験を終え、現在FM(フライトモデル)の設計段階にあります。開発の当初より、軽量化が大きな課題の一つであり、構造的にも軽量化の極限を狙いました。そのため、今回の構造モデルによる静荷重、音響、振動、落下衝撃等の試験で、問題を生じなければよいがと、関係者一同、密かに心配していました。結果は、良好で、軽量化構造の設計の正しさが確認され、一同、ホ



PLANET-Bの構造試験モデル。円筒形の試験用治具を介して、振動試験台に設置されている。

ッとした次第です。今後、熱モデル試験へと進みます。写真は、初めて、全体形状を見せたPLANET-Bの構造モデルです。(中谷一郎)

★第15回宇宙科学講演と映画の会

4月13日(土)午後2時から、JR千駄ヶ谷駅前・津田ホールにおいて、第15回宇宙科学講演と映画の会を開催いたしました。当日は晴天で、お花見に好都合の日であったが、開場前から多くの方々がロビーで待っている状況で、13時30分開場を30分も早くしなければならぬ程でした。500人収容の会場は、子供から大人まで幅広く詰めかけていただきました。多くの方々が来場していただいたのは、若田宇宙飛行士がSFUを回収した影響、今回の講演内容が、SFUで実験した赤外線、今年9月打上げ予定のM-V型ロケットと話題性も多く、なお、学校が休みとなる第2土曜日に開催した効果も少なからずあったと思われます。

500人収容の会場は、満員となり、後ろでは立ち見もでる程の大大盛況であった。

14時、的川教授の軽妙な司会により開会、西田所長の宇宙研の将来計画、当日の講演者を宇宙科学全体像から紹介されました。

奥田教授が「暗黒の宇宙を探るー赤外線で見える宇宙ー」、小野田教授が「宇宙科学の夢を運ぶロケットーM-Vー」を講演されました。

質疑応答では、研究所の有人飛行計画は？スペースデブリによる防御は？宇宙開発による波及効果は？何故専門家は百武彗星を発見できないのか？M-Vの開発経費は？等多くの質問が寄せられ、予定の時間が過ぎても、質問がつきなく、途中で終わらせなければならぬ程の盛況でした。

質疑応答の後、映画「ブラックホールをさぐる」を上映し、無事盛況のうち終了しました。

(佐々木英俊)

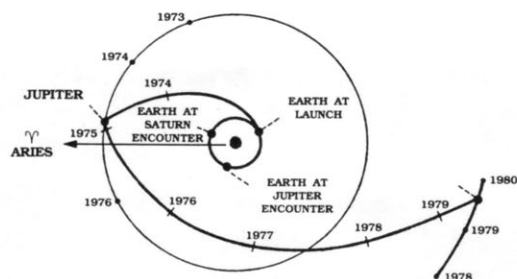




★さようならパイオニア11号

1973年4月5日にケネディ宇宙センターを旅立ったパイオニア11号の電波が、ついに途絶えた。太陽から約45天文単位の太陽系の外縁である。その1年前に打ち上げられたパイオニア10号とともに、名機ボイジャーのさきがけとして木星に接近した。1974年12月2日のこと、接近距離は4万6400kmだった。そして木星スウィングバイを経て1979年9月1日に土星に到達、ボイジャーに先立つこと5ヵ月、パイオニア11号は、土星に接近した史上最初の探査機となった。

以来パイオニア11号は、未踏の太陽系空間を旅してきたが、その電波はどんどん弱くなる一方で、太陽風や宇宙線などのデータを送りつづけ、一部では、冥王星や海王星の外側にあるかもしれぬ第10惑星との会合



が期待されたが、これはかなわぬ望みとなった。パイオニア11号は、有名な宇宙人へのメッセージを記した銘板を搭載している。飛んで行く方向からすれば、数百万年後にアルファ・ケンタウリのD星かフォーマルハウトのK星あたりに接近するから、そこに知的生命がいたら、拾われてその博物館に展示されるだろうか。信号は途絶えたがパイオニア11号の旅はつづく。

(的川泰宣)

こうも

春の珍事 — ある日の対外協力室

春先の対外協力室には、風変わりな電話がよくかってくる。空飛ぶ円盤を見たなんてのは序の口で、アインシュタインの一般相対性理論に間違いを発見したとか、宇宙科学研究所がさぼっているから自分がビッグバンの決定的証拠を見つけてやったとか、……。

10年くらい前には、東京都下のある老人ホームの老年寄りから「地球は丸くないのに、なぜ現代科学では丸いことになっているのか」とお叱りを受けた。もともとは文部大臣あてになっていたのが、どういうわけかめぐりめぐって対外協力室に回ってきたのである。

見ると生年が私の父と同じだった。だからこれは情に訴えるに限ると思い、「私の父と同じお歳でこれだけ知識欲の旺盛な方を初めて知りました」などと言ったが、2週間ほどしてそのまた返事が届いた。いわく「先日の私の手紙に返事を頂いたが、あれではまるで答えになっていない。私はボケ老人でも何でもないので、もっと真面目にやれ」という趣旨だった。恐れ入ると同時にファイトが湧いてきて、このご老人とは、それ以来5年にわたって2～3ヵ月おきに「友情溢れる論戦」を交わす次第になった。しかし最後の1年間は、筆跡もニョロニョロしていて、その衰えを知って間もなくお亡くなりになった。生きていたらしゃれば、今年が生誕100年——宮沢賢治と同年だ。

今年は桜も散るのが遅かったが、怪電話も来るのが遅くなった。しかしついに5月の声とともにやってきた。私くらいの怪電話のベテランになると、「もしもし」という相手の声の調子で、一瞬のうちに「きたきた」と判断できる。次の瞬間私が考えるのは、「長友先生に

回そうか、平林先生に回そうか、はたまた国立天文台にゲタを預けようか」ということだ。今年の怪電話1号は「宇宙が膨張しているそうだが、真空がなぜ膨張するのか」といきなり来た。運悪く目の前に平林先生が坐っていたので、「ハイ」と受話器を渡すのも余りに露骨ではばかられ、つい「そのような質問は国立天文台が……」と言いかけたところ「おたくも国家機関でしょうか」と先回りをされてしまった。

「やれやれ」と覚悟を決めたら15分粘られた。島根の人なので「テレフォンカードがなんとかかんとか」言っていて電話が切れたので、ホッとしていたら、まわりのみんなが、「テレフォンカードを買い直してまたかけられますよ」という。ぎょっとして落ち着かないこと約20分。来ました来ました、再び島根から。そしてどうしたことだろう、相手はへべれけになっているのである。今度は「なぜ惑星が同じ方向に公転しているのか」について議論をふっかけて来た。

昼間から酔っ払いの相手をするほど、こっちはそんなに暇じゃないんだ。おまけに1年も禁酒の身。ムツときて「あなた酔っていますね」と言ったら「すみません、正直言って酔っています。友達が来て一緒に呑んでるもので」と来た。「せっかく友達が話に来てくれるんだから、丁寧に接待してあげなきゃ駄目ですよ」と言ったら、「あなた、いいこと言うね。参った参った」とのたもって「今回はもういいから、またかけますよ」と言ったきりブツンと切れてしまった。

「このアル中ハイマー症め！」

以来私は、島根からの電話が恐くて、再び戦々兢兢の毎日なのである。

(的川泰宣)



リズム・縞縞のはじまり

岐阜大学教育学部 川上 紳一

私たちの身のまわりには様々な縞模様がある。自然界の縞模様を、研究の対象として最初に注目したのは、わが国では寺田寅彦が最初であろう。寅彦は1933年に発表した随筆「自然界の縞模様」の中でさまざまな縞模様を紹介し、それらが将来重要な研究課題になる可能性を示唆している。リーゼegang現象などの諸現象は非線形現象として物理学の興味深い研究対象となっているが、寅彦が好きなものの筆頭としてかかげた地球や宇宙の科学の研究対象として、縞縞が注目されるようになってきた。

地球科学の分野の発展に最も大きな影響を与えた縞模様は、海洋底の地磁気の縞模様である。中央海嶺をはさんで海洋底の地磁気の縞模様が対称であることから、海洋底拡大説が注目されプレートテクトニクス革命へと発展していったことはよく知られている。

自然界の縞模様から「もっと新しい地球観」を構築しようという二匹目のドジョウをつかまえようという試みが、1980年代初期に当時わたしが所属していた名古屋大学理学部で始まった。そのきっかけは1980年にアルバレッツらが発表した恐竜絶滅に関する小惑星衝突説にある。地質学、物理学、分析化学などの専門家からなる彼らのグループが、白亜紀と第三紀境界に特徴的にはさまれる粘土層に注目し、イリジウムの異常濃集を発見した。

イリジウムなどの白金族元素は惑星形成期に金属鉄といっしょにコアにとりこまれてしまっており、地球表層物質には乏しい。そこでイリジウムは始源的小惑星の衝突でもたらされ、衝突によるカタストロフィーで恐竜が絶滅したという仮説が誕生したのであった。

この論文の意義を分析した名古屋大学の熊澤峰夫教授（当時助教授）は、「地球科学は変わる、われわれが変える」と言いだした。プレートテクトニクスを新しい地球観だと罵り、プレート論撲滅など手がつけられない暴論を吐きまくる始末であった。そして、教室の仲間に呼びかけて分野を横断した研究会の開催を呼びかけたのだった。

このセミナーでは、衝突によるクレーター形成過程、気候変動、生物の大量絶滅事件など、地球科学における重要課題に関する話題提供と討論が頻繁に行われた。様々な分野の研究者や院生、学生を交えた議論から理解が急速に深まり、新しい研究課題が次々に生み出された。たとえば、中国の隕石落下の歴史記録の

解析がきっかけとなって、時系列セミナーが企画された。結果として「存否法」という新しいスペクトル解析法が開発され、地球自由振動の研究に応用された。また、地上や月面のクレーターの落下頻度の解析から、天体衝突の20億年周期説が提案されたりした。ペネトレーターを用いた月探査計画やグローバル地震観測網の構築に関するアイデアも当時の研究室のサロンでの議論から生まれたものであり、当時の研究室の雰囲気は大変熱気に満ちたものであった。

こうした中で、アルバレッツらの研究に刺激されて、地層に刻まれたリズムやイベントを読む試みも始められた。1981年にウィリアムスが約6億年前の縞状堆積物に太陽黒点周期に対応する11枚ごとの縞の繰り返しを報告しており、縞縞に対する関心がいっそう高まった。地層の縞から宇宙のリズムが読めるとしたらたいへんおもしろいというわけで、「縞縞学」という名前が遊び心から誕生した。しかし、当時は美しい縞模様のある岩石や地層の所在地に関する情報がほとんど得られず、具体的研究を行うための材料に乏しかった。

今日では状況は大きく変化した。わが国の地質学者によって、20～35億年前に形成された石英と酸化鉄が交互に重なった縞状鉄鉱床や、ストロマトライトと呼ばれているバクテリアが作ったとされる縞模様の美しい巨大な岩石試料が確保されている。新しい時代ではサンゴの縞からエルニーニョ現象の歴史を探ったり、湖底堆積物から氷期－間氷期サイクル、アジアモンスーンの変動に伴う環境変化や地震・津波イベントなどの解読が始まっている。また、昨年度から文部省重点領域「全地球史解読」がスタートし、縞を記載するための各種スキャナーの開発や得られた画像データから縞模様の空間系列解析法が開発が進められるようになった。こうした状況の変化は地球環境問題に対する認識が深まり、地層などの縞縞から過去の地球環境の変動を詳細に復元しようという研究が注目されるようになったからである。

縞模様の刻まれた地層や化石は地球史を記録した物証である。それらを従来とは異なる新たな視点で捉えることで、地質学と地球物理学あるいは気象学、海洋学、さらに生命科学などとの接点も提供できる。これまで交流の少なかった分野間の横断的な研究から「もっと新しい地球観」が生まれるような強い予感がある。

（かわかみ・しんいち）

インド雑感

八 田 博 志

2月末の8日間インド各地を訪問する機会を得た。訪問目的は、日印の政府が調印した“複合材料の生産科学”に関する共同研究を推進するためのテーマ探索にあり、短期間に、Delhi, Trivandram, Madras, Bombayの4都市の6つの研究組織（大学・国立研究所など）で打ち合わせを行った。ともかくきつい日程で、目的地の空港に夜到着するとインド側の代表が出迎えに来ていて、Dinnerの後、深夜宿舎に到着、翌朝も早朝から迎えがあり打ち合わせと実験設備見学の連続であった。

仕事の予定のない日曜日にも、DelhiからAgraへの小旅行が設定されており、有名なタージマハールを見学できたのは幸いであったが、朝6時に出発、夜の11時半に帰着というハードスケジュールには閉口した。長いバス旅行であったが、車窓からの眺めは極めて興味深いものであった。道端にはごみが散らかり、牛がうろついており（全ての牛に持ち主があり、夜は帰ってミルクを持ち主に供給するとのこと）、燃料とする牛糞を丸くパイ状にして乾かしている光景が目についた。8億と聞いていたが、人の数が多く、かなりの田舎に行っても道路を歩く人や、道路端の駄菓子屋の店先で車座になってしゃべり込む人が目立った。その中に女性は少なく、夫婦で出歩く光景も殆ど見られない。男は遊び歩き、女性は家事に縛られ自由時間が殆どないのであろうか。

郊外の集落は殆ど煉瓦を一列に積み重ねた上にトタン屋根を乗せただけという単純な住居に住み、人は概してやせ細っていた。日本のある作家が、「インドのように暑くては、日中仕事をする気は起こらない」と書いていたが、多くの人は最低限の労働で最低限の食料を得て生活しているようである。物は少ない反面、有り余る自由時間を持ち、ストレスのないシンプルな生活を送っており、日本のように物質的に豊かでも、仕事に追いまくられ、せかせかしたストレスの多い生活と比較すると、インドの生活を一概に否定できないようにも思われた。確かにインドの町並みはきれいとは言いがたいが、現地の人々が平気で飲んでいて水を摂取することができない我々は、特殊化した（衛生的）隔離環境にしか住むことができない変な生物になってしまったのではないかと不安も感じさせられた。同行の先生の弁によれば、インドの住居環境は、2～3年前に較べて経済の急成長のためか大分良くなっており、

道端でテント生活する人やうろつく牛の数がずいぶん減ったとのことである。インドも西欧的な近代化への道を歩み始めたようであるが、西欧的な生活スタイル（工業化社会）がインドの人たちの生活感になじむかと言う点に関しては、疑問の様な気もした。

先の本欄の中島先生のスリランカの手記にもあったが、インドで印象深かったのは、自動車運転のメチャクチャさかげんであった。車線は守らずちょっとしたすき間を見つければ突入し、対向車線の信じられないすき間を見つけてはクラクションを鳴らしながら追越しをかける。交差点はロータリー形式のものが多く、ロータリーへの進入・脱出は先行した方がとにかく優先でスリリングな自動車間のすれ違いが頻発し、我々は冷や汗と叫び声を挙げることの連続であった。現地の人は、「スピードが出ていないから大丈夫」とはいていたが、短い滞在期間中に何度か自動車事故を目にしたことも事実である。外国を歩いて感じることであるが、自動車の運転マナーは、国民性と精神的余裕度をよく反映しているように思われる。筆者が歩いた中では香港やタイ等の東南アジアは運転が荒く、欧米は概して（ラテン民族は気性が荒いようであるが）穏やかであり、インドは荒い方の最上位に位置する様に思われた。ただし、インドでも南に進むに従い何故か生活が豊かになり（テント生活がなくなる！）、人も運転も穏やかになったように感じた。特に、最南端の Trivandram は、インド一教育熱心とのことで、人も素朴で親切であったことが印象的であった。

研究関連のことに話を戻すと、大学や政府の研究所では、基礎研究にとらわれずに応用に力を入れ、産業界の開発研究に大きく寄与している様子が強くうかがわれた。大学・国立研究所ともに民間の開発研究を多く受注しており、Space Centerの様な組織も、衛星・ロケットを企業に頼らず自分の組織内で製造している。ただし、これはインドの産業分野の研究・開発体制が未成熟だからこそ、行っていることで、産業界が成熟した日本で同様な役割を官学がになうには、官学側の研究力の大幅な増強が必要であろう。インドの様な産官学の協調体制が必ずしも良いとは言えないが、少なくとも、現在の日本における産業界の官学の研究・開発に対する期待度・貢献度の低さの現状は改良して行く必要があるように思われた。（はった・ひろし）

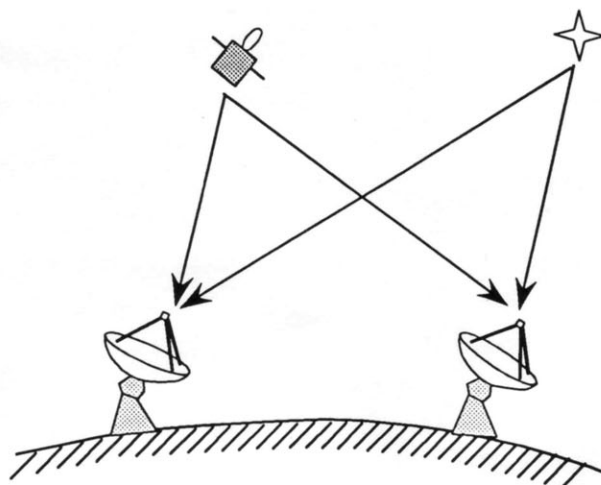
今回は探査機の軌道を決める方法（航法）について話をします。軌道決定の目的としては、追跡局のアンテナを探査機に向けることがあげられます。地球周回衛星の場合は、電波が強く自動追尾が可能ですが、深宇宙探査機の場合は通信距離が長いため、電波が弱く、軌道決定にもとずいた角度予報によりアンテナを動かすプログラム追尾方式が必要となります。また、月および惑星の探査ミッションでは、軌道制御のために高精度な軌道決定が要求され、さらに科学観測からの軌道決定への要求も高くなってきています。

軌道決定のための測定データとしては、レンジデータとドップラーデータがあげられます。追跡局から送信された電波は探査機で折り返され、再び追跡局で受信されますが、その時の往復伝搬時間がレンジデータで、光速をかければ視線方向の往復距離になります。また、ドップラー効果による周波数のずれのデータがドップラーデータで、視線方向の速度を表します。

レンジ測定では、レンジ測定用の連続波（レンジトーン）を通信の電波に載せて送信し、送信されたトーン信号と同じ位相を局で受信するまでの送受信時間を測ります。しかし、往復距離が波長の整数倍異なっても正弦波の場合には同位相になるため、1波長（500KHzでは600m）以上の往復距離では、波長の整数倍の距離の不確定が残ります。その不確定を除くための方法としては、目印として疑似雑音信号をレンジトーンに載せる方法があり、当研究所の鹿児島宇宙空間観測所（主として地球周回衛星用）で用いています。また、レンジトーンより低い周波数（波長が長いと測定可能距離の長い）で周波数の異なる連続波を複数送信し、その組み合わせで往復距離30万km以下の不確定を取り除き、30万km以上は軌道の予測で取り除く方法があり、深宇宙探査機向けの臼田宇宙空間観測所で用いられています。

ドップラーデータの測定方式には、衛星上の予報送信周波数と追跡局での受信周波数とのずれを測る1ウェイドップラー方式と、追跡局での送信周波数と受信周波数とのずれを測定する2ウェイドップラー方式があります。当研究所では2ウェイドップラー方式を採用しており、測定周波数は2倍の視線速度を表します。

軌道決定は、これらの測定データをもとに統計的手法を用いて行っています。代表的な方法は次の様にな



ります。まず、ある時刻での探査機の位置と速度（初期値）を仮定し、探査機に働く力を考慮して測定時刻における位置と速度を求め、その値からレンジおよびドップラーの値を計算して測定値と比較します。その差が大きい場合は初期値（位置と速度）を修正して、始めからやり直し、計算値と測定値の差が充分小くなるまで繰り返します。初期値（位置と速度）が求められれば、探査機に働く力を考慮して、任意の時刻での位置と速度が求められますので、探査機の軌道が決定したことになります。

このレンジおよびドップラーデータによる軌道決定をさらに高精度化するために、測定データとしてデルタVLBIデータが考えられています。VLBI（超長基線干渉技術）は、距離のわかっている非常に長い距離にある2つの大型電波望遠鏡によって数十億光年もの距離にあるクエーサーからの電波を受信し、電波の到達時刻の差からクエーサーの方向を精度良く求める技術です。この技術の探査機の軌道決定への応用がデルタVLBIです。

図に示すように長い距離にある2つのアンテナで探査機とクエーサーを観測することにより、クエーサーに対する探査機の位置が決定できます。クエーサーの方向は長い間の観測で知られていますので、精度の高い角度データが求められます。角度データは視線方向と直角なデータであり、視線方向データであるレンジデータおよび2ウェイドップラーデータとの併用により高精度の軌道決定が期待され、宇宙研では深宇宙探査機への適用を検討しています。（かとう・たかじ）



ロケット・衛星そして焼酎

古賀 茂昭

昭和40年9月某日夕刻、昨夜来の大雨も峠を越えて小雨の降りしきる高山駅に降り立った。これからマイクロスバスで内之浦へ向かう予定である。やがてやってきたバスに乗り込むと長谷部先生、横山先生、市川先生（当時若かった）等強者の顔があった。

最初バスはそれなりに快調であったがやがて山道にさしかかる（今にして思えば志布志湾沿いの道だろう）と雨で削られた道のため人体振動試験を受けるはめになった。幾度となく天井に頭をぶっつけ、心細くなって外を眺めると漆黒の暗闇。これは地の果てに来てしまったのではないかと錯覚する程で、あかりといえばバスのライトだけ、近くに海があることすらも分からなかった。やがてひなびた漁村（内之浦）の宿屋について、二十数時間に及ぶ長旅の汗を流したところで食卓にあるのが“いも焼酎”。最初の出合いである。同行の瓜本、下間、小路の諸先輩は既になにやら湯呑みにお湯を注いであおっている。“？”。差し出された液体を口へ運ぶ。臭い！！無理して飲み込むとムツとくる。小生とは極めて相性が悪く手に負えない代物である。以後いも焼酎との格闘が始まった。試行錯誤（それ程でもないか？）の結果オンザロックに決定、さつま揚げとの調和はすばらしく、飲み過ぎても二日酔いが無い。

翌朝勇んでバスに乗り込み実験所へ、ではあったがそう簡単に事は進まない。バスがぬかるみにはまりこみギブアップ。おかげで新調の運動靴も泥まみれ。

本業の方は早川・松岡先生のK-9M-15号機「銀河X線観測装置」実験班で、準備作業中装置にやたら詳しい「おっさん」がやってきて高压電源のポッティングについてひとくさり。あとで松岡先生から西村純先生（当時神戸大／後宇宙研所長）とうかがい大恐縮（失礼しました）。結局原因は忘れたが打ち上げ延期、小生の宇宙開発事初めの思い出である。

爾来“かに・はくちょう・さそり・ブラックホール・超新星・太陽”途中から“プラズマ・オーロラ・スペースシャトル”等々の語（学問は解らない）とつきあうこととなる。

その後K-10-2号機では怪奇現象に遭遇した。

なんと時間と共に装置が成長するではないか。私の記憶が正しければ設計会議での申請重量は確か18kg、暫くすると23kg、28kg、36kg、45kg、装置が出来上がった時は50kgを越えており、ロケットもまた見事に背高く成長を遂げていた。

X線天文の元祖CORSA衛星ではエクホームポッティングで初回品のできばえが素晴らしく、ピンク色しておいしそうな出来映え。気を良くしてベーキング作業を行った。恒温槽から取り出してびっくり、ピンク色した若々しい肌はどこえやら、しわしわになり萎縮してすっかり老人化している。原因は主剤と硬化剤の配合比が逆であった。おそまつの一席。

SEPACでMSFCを訪れた際トイレに低い仕切りしかついてない。さてこれからという時私の2倍はあろうかという巨漢が現れ、隣を占拠。親しげに話しかけてくるではないか。おまけに英語で（あたり前）。集中力がなくなり、初志断念と相なった。なんで他がいっぱいいっているのに隣にきて話かけるの！

焼酎については鹿屋のあるレストランでのひとこま。

ウェイトレス嬢に焼酎のオンザロックを注文したが「？印」。「氷に焼酎を注いだやつ」と注釈して、暫く待つと「コップに氷」と「とっくり」が出てきた。とっくりを手にとって驚いた。熱いのである。今度はこちらが「？？？」。宇宙開発もまた楽し版である。

小生も定年まであと残り僅か。今日まで三十数年絶えずロケット・衛星に関わることが出来た好運、小田稔、故早川幸男先生をはじめ諸大先生（鉄腕アトムのお茶の水博士みたいに偉い諸先生：小生宇宙開発は同博士のような人がやるものと思っていた）の教えを授かる機会に恵まれたこと、いも焼酎に出会えたことを感謝すると共に、宇宙研の更なる発展を祈りながら、昨夜も鹿児島から送られた“いも焼酎”を痛飲してしまった。（明星電気宇宙開発部、こが・しげあき）



「宇宙生命体」の探査に科学捜査の手が入る。がしかし、彼ら？は決して容疑者ではない。「動かぬ証拠」を突きつけられて「恐れ入る」のは地球の生命体、特に人類である。（荒木）

ISASニュース

No.182 1996.5.

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211）までお願いいたします。（無断転載不可）