



▲回収されたIRTSをご覧になる小杉文部大臣

〈研究紹介〉

様々な重力環境における材料プロセス実験

宇宙科学研究所 稲 富 裕 光

【はじめに】

流体（液体，気体）から材料を作るプロセスの場合，熱や物質がその中をどのように運ばれていくのかは多かれ少なかれ重力の影響を受け，その履歴が得られる物質の性質を決定する一つの原因となります。従って，材料を作る際に制御しなければならない量としては，温度，圧力等の熱力学的量に加えて重力加速度をも含むべきでしょう。宇宙を漂う場合でも，月面上でも木星でもそれらの場で異なる重力加速度に最適なプロセスがあるはずですし，反対に人為的に様々なレベルの重力加速度の場を作ることで新しいプロセスが芽生えるかも知れません。ここでは，様々な重力加速度レベルの環境を利用した材料プロセス実験の中でも流体を介した凝固・結晶成長に関する実験のトピックスと今後について簡単に触れることにします。

【材料プロセス実験】

高品質の物質を作るという立場からは，対象となる物質に最適な生成条件を見出しそれに従って作るこ

とが主な目的であり，必ずしも無対流が必須の条件ではありません。例えば，蛋白質単結晶の育成では一般には無対流が望ましいとされていますが，半導体結晶の結晶成長の中には安定した静かな流れの存在が均一な成分の分布をもたらす例が報告されています。従って，地上での流体を介した材料プロセスの最適化を図るには，流体中の熱や物質の運ばれ方の巨視的・微視的挙動の理解とそれらの制御が必要になります。

流体を介した材料プロセスでは，得られる物質中の成分の分布，欠陥（目で見て分かる穴から原子レベルの構造の乱れまで）の発生に密度差対流やマランゴニ対流の存在が大きな影響を与えます。密度差対流は流体中の密度の不均一分布が原因となって発生するもので，身近な例では風呂の湯の対流が挙げられます。マランゴニ対流は液体の表面張力の不均一分布が原因となる対流であり，樟脳船や“酒の涙”と呼ばれる現象はその身近な例です。プロセス進行中に発生する流体中の温度や成分濃度の不均一は地上では対流の駆動力

ともなり、プロセス内で起こっている様々な物理的・化学的過程の把握を困難にしています。流れの制御には、1) 電磁力等の制御可能な力の付加、または 2) 様々な重力加速度環境の利用、の2通りが主として考えられます。1) の場合、金属の凝固や半導体の液体からの成長において、強い静磁場による対流の抑制ないし交流磁場による流れの発生が既に試みられています。2) の例である微小重力環境を利用した材料実験は、他の力を必要とせずにかんして無対流に近い状態を長時間にわたって実現するかという点を強く志向しています。

また、地上でのプロセスにおいて大抵の場合は原料とは異なる成分を有する容器を必要とし、それはプロセスが進行している液体や結晶にとっては“異物”です。その結果、プロセスの最中に容器からの不純物による汚染や容器壁からの結晶核（小さい結晶の赤ん坊ともいうべきものです）の発生が起こります。従って、液体内の対流制御よりもむしろ液体・容器間の非接触的形状維持に主眼を置いた方法論として、無容器プロセスが近年注目されています。無容器プロセスは、原料や生成物自らを始終液体の支持具とする方法と浮遊力を与えて少なくともプロセス開始直前まで液体を均一の状態に維持する方法が考えられています。前者の例として溶融帯法という方法が挙げられます。この方法は原料棒の一部を帯状に溶融しその部分を一方向に動かしていくもので、溶融帯の形状維持は融液の表面張力に頼っています。一方、後者の浮遊無容器プロセスは、大きな過冷却度（試料の温度が融点を下回っても固まらない程度を示す数値）からの結晶核の発生の達成といった従来のプロセスを一新する概念を導入することになります。よって、微小重力環境を利用すれば揺らぎの少ない場での浮遊無容器プロセスが可能となり、理論上は予想されていた新しい物質の出現、音速に近い固液移動速度の凝固等が期待されています。

従って、様々な重力環境における材料プロセス実験の目的は主に次の3点に集約できると思われます。1) 物性値の取得、2) 観察される物理現象を記述する基本式の検証と修正、3) 新たな材料プロセス技術の開発と応用。例えば 1) は相中の熱伝導率、物質の拡散係数、電気伝導度、粘性率など、2) は相転移・分離現象、臨界点近くの流体挙動、熱・物質輸送過程、核生成など、3) は無容器プロセス、能動的な対流の制御、などが挙げられます。

【いかに 1G 以外の重力環境を得るか？】

地上では 1G（ここでは $1G = 9.8m/s^2$ とします）以外のオーダーの重力加速度を得るのは一般には困難です。例えば地上近傍で 1G よりも小さい重力加速度を得る方法として、落下塔 ($10^{-4}G$, 持続時間 10 秒程度)、

航空機 ($10^{-2}G$, 20 秒程度)、小型ロケット ($10^{-4}G$, 6 分程度) といった、実験装置の放物線弾道飛行や自由落下を利用することになります。宇宙空間ではより低い G レベルでのより長期間の連続実験が可能です。微小重力加速度の変動幅やその大きさを最小にする為には、無人ミッションである回収型カプセル ($10^{-5}G$, 数週間) やフリーフライヤー ($10^{-5}G$, 数カ月：宇宙研が参加し若田さんが衛星を回収した SFU ミッションは記憶に新しいものです) が、実験装置の重量・寸法、消費電力の大きさや遠隔操作による実験の遂行のし易さを求めるならスペースシャトル ($10^{-4}G$, 数日) や宇宙ステーション ($10^{-4}G$, 数カ月～数年?) といった有人ミッションがより望ましいとされています。一方、 10^{-1} オーダーの低重力加速度での実験は皆無です。

高重力加速度 (1G よりも大きい値を意味する) の場合、ロケット打上げや航空機の急上昇時などが短時間ではあるが実現可能でしょう。疑似的ではありますが、地上で容易に高重力加速度を得る手段として遠心加速機 (水の入ったバケツを振り回す実験をやったことはありませんか？水の代わりに実験装置を入れ、大きなモーターで回します。) の利用が挙げられます。遠心加速機上での流体の運動では、重力加速度に加えてコリオリ力と遠心力の双方を考慮する必要があります。遠心力は重力加速度と同等に扱えますが、コリオリ力は回転軸と半径方向の流れそれぞれに垂直に働く力です。すなわち、遠心加速機上では単純に重力加速度を増加することにはならず、コリオリ力の寄与の大きさが装置の特性と試料の位置に強く依存します。現在、材料プロセス実験用に遠心加速機がドイツを筆頭に世界中で数多く建造され既に利用されています。その一例として、宇宙研内に設置された遠心加速機を図 1 に示します。

【その場観察】

微小重力環境利用において限られた装置重量・寸法や電力と実験回数を有効に利用するという観点から、試料中の状態の“その場観察” (まさに現象をその場



図 1 宇宙研内の遠心加速器 (最大遠心力：20G)

で観察する)が日本独特の方法論として発展してきました。JEM(宇宙ステーションでの日本担当分の実験モジュール)の応募テーマの中で“その場観察”をキーワードとしたテーマが数多くあることからもある程度推察できるでしょう。従来の材料実験の殆どは温度、圧力等のリアルタイム計測と試料回収後の成分分析の組み合わせの“その後観察”でしたが、“その場観察”実験の特徴的データは画像です。健康診断で例えるならば、前者は脳波測定、後者はCTスキャンやMRI(核磁気共鳴映像法)による断層像診断に相当します。大事な体を不幸にも手術する(宇宙で得られた材料を切断する)前に、いかにより多くの情報を得るかという点で、後者は優れた方法論と言えましょう。その場観察法では、紫外線～近赤外線、またX線の利用が考えられます。結晶や流体が観察光に対し透過性を持てば、干渉縞計測により成長結晶表面の起伏、温度・濃度分布や、そしてそれらの応用として従来は不可能であった拡散係数(物質中で注目している成分の拡散し易さの程度を示す係数)のリアルタイム計測をも可能にします。

宇宙環境利用という特殊なニーズが新たな技術的突破口を生み出す例として、SFUのMEX(微小重力下の凝固・結晶成長実験)搭載用に顕微鏡レベルの空間分解能を持つ顕微干渉計が世界で初めて開発されたことが挙げられるでしょう(図2)。一概に干渉計といっても、宇宙実験用となるとその設計は容易ではありません。可視光を用いた干渉計の分解能は極めて高く、干渉計自身の部品の僅かな歪みやずれをも検出してしまふほどです。しかも、打上げ時の様々な環境(振動、衝撃等)、また宇宙環境(温度変化、高真空)にもその特性を著しく損われぬことが必須条件です。この干渉計は試料近傍を除いて干渉光が同じ光路上にあることから、耐振動性が著しく良いことが特徴として挙

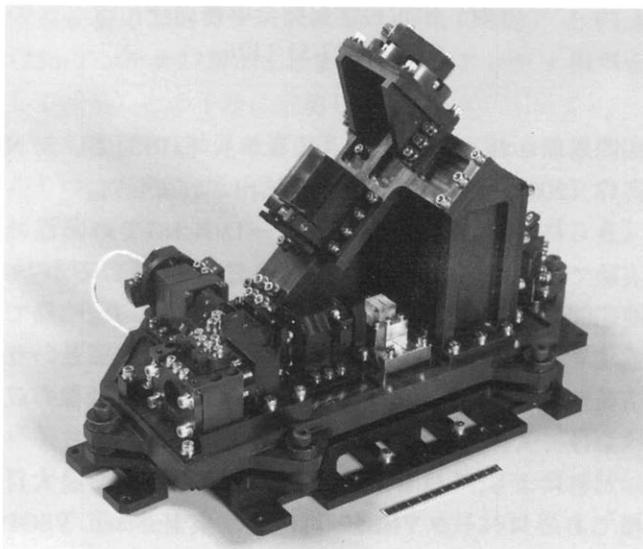


図2 MEX搭載用顕微干渉計

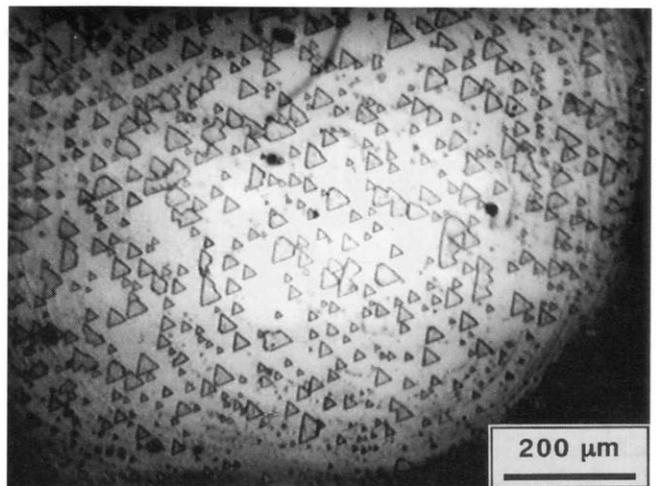


図3 近赤外線顕微干渉計により得られた画像
(GaAs_{1-x}P_x/GaP溶液成長中の結晶表面の明視野像)

げられます。SFUとは結果的に実施スケジュールが前後してしまったものの、NASDAのTR-1A小型ロケット実験に搭載されたその場観察装置は本干渉計をベースにしたものであり、また地下無重力実験センター(JAMIC)の落下塔実験でも用いられました。

現在、筆者らは微小重力材料実験の推進と並行して、新たな光学系を試作し基礎データの蓄積を行っています。その1つはより光学設計が容易で耐環境性に優れかつ操作性の良い可視光顕微干渉計です。もう1つは近赤外線顕微干渉計であり、その原理は半導体結晶が近赤外線に対して透過性を有する性質に基づいています。この装置により半導体の結晶成長時における結晶と液体の界面で起こっている現象をミクロンオーダーで“その場”で捉えることが出来ます。これらの新しい光学系は、微小重力実験のみならず遠心加速機上でも用いられる予定です。

【おわりに】

以上、方法論を中心として述べてきました。日本の微小重力環境における材料プロセス実験は、是非はともかく新素材ブームにより加速されてきた点是否めません。しかし、現在は地上におけるプロセスの素過程の理解を目指したものとなり、ようやく地に足がついて地道な研究が積み重ねられ始めています。“圧力学”や“温度学”が無いのと同様、“可変重力学”なるものは未だ存在しませんが、超高压力や極低温の世界が我々に様々な物理現象を垣間見させてくれているように、様々な重力環境の利用は多くの研究者にとって魅力的なキーワードであることには違いありません。我々は無重力により近い状態(ナノ・グラビティ)や1000G(キロ・グラビティ)をどうやって作り出すのか?もし可能であればその空間の大きさや持続時間は?などという問いが材料プロセスの立場から近い将来議論されるかも知れません。(いなとみ・ゆうこう)



★人事異動（教官）

発令年月日	氏名	異動事項	現（旧）職等
		（育児休業）	
9. 6. 3	前川 昭子	育児休業（平成9年11月28日まで）	惑星研究系助手
		（採用）	
9. 7. 1	斉藤 芳隆	三陸大気球観測所助手	
		（所内昇任）	
9. 7. 1	村上 浩	共通基礎研究系教授	宇宙圏研究系助教授
”	藤井 孝蔵	宇宙輸送研究系教授	宇宙輸送研究系助教授
”	斉藤 義文	太陽系プラズマ研究系助教授	太陽系プラズマ研究系助手

★シンポジウム等

<p>アストロダイナミクスシンポジウム 日時 平成9年7月28日（月）～29日（火） 場所 宇宙科学研究所本館2階会議場</p>	<p>火星大気に関する研究会 日時 平成9年8月19日（火）～20日（水） 場所 宇宙科学研究所本館5階会議室</p>
<p>月・惑星シンポジウム 日時 平成9年8月7日（木）～9日（土） 場所 宇宙科学研究所本館2階会議場</p>	<p>問合せ先：宇宙科学研究所研究協力課共同利用係 TEL 0427-51-3911（内線2234, 2235）</p>

★募集案内

平成9年度宇宙科学研究助成候補者募集

宇宙科学振興会（理事長関本忠弘）では、宇宙理学（地上観測を除く）及び宇宙工学（宇宙航空工学を含む）に関する独創的・先駆的な研究活動を行う若手研究者（昭和37年4月2日以降生まれの者）で、海外で開催される国際研究集会に出席し、研究発表を行うための経費の一部を援助致します。採択件数10件程度、1件当約20万円、受付は随時とします

が大学・研究機関等所属長の承諾を得て応募してください。
 なお、詳細については下記へお問い合わせください。

（財）宇宙科学振興会事務局
 TEL 0427-51-1126



★「はるか」、干渉実験に成功

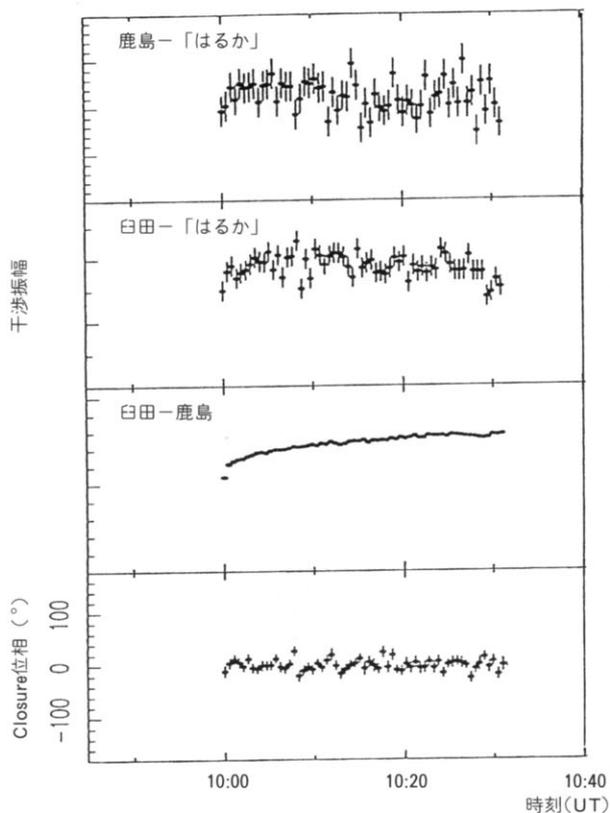
電波天文衛星「はるか」は、地上電波望遠鏡とのスペースVLBI干渉実験を、5月7日に行いました。観測天体はキューサーPKS1519-273、観測周波数帯は1630-1646MHz帯で、「はるか」の受信信号は臼田宇宙空間観測所の10mテレメトリーアンテナに中継されました。共同観測局として臼田64mアンテナ、通信総合研究所関東支所（鹿島）34mアンテナが参加しました。

3局で記録された磁気テープは、衛星軌道データをもとに、国立天文台で運用されているVSOP相関器で

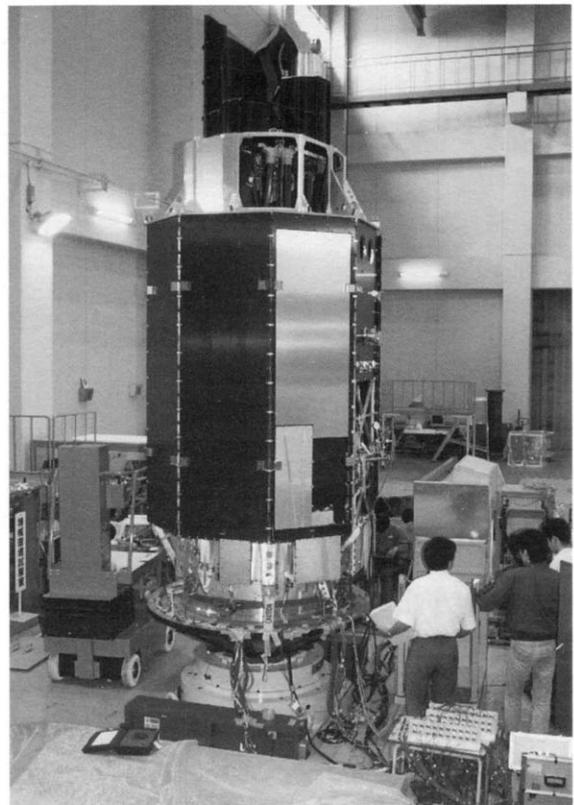
相関処理され、5月13日、「はるか」-臼田間で、S/N比13（200秒積分）の干渉縞が検出されました。

さらに、5月13日のキューサー1504-167での同様の実験では、「はるか」-臼田間のみならず、「はるか」-鹿島間でも、5月21日に干渉が確認されました。3局で成功すると、映像作成に重要なClosure Phaseという情報が得られますが、これは良好な結果で、映像作成へむけて大いに期待できるものでした。

これにより、「はるか」の工学実験としての最大目標であるスペースVLBIの可能性が実証され、VSOP観測への歴史的な途を拓くことができました。



「はるか」, 臼田, 鹿島局相互間の干渉振幅と、3局間Closure位相の時間変化。



撃試験を無事終了し、6月30日からは、宇宙開発事業団筑波宇宙センターの設備をお借りして音響試験が行われる。

ASTRO-E衛星は、総重量約1650kg、衛星の直径約1.9m、打上げ状態での衛星の高さ約5m（軌道上では、X線望遠鏡の鏡筒部がさらに約1.5m伸展される）という宇宙研にとってこれまでにない大型の衛星である。さらに、ASTRO-Eには、X線マイクロカロリメーターと呼ばれる新しいX線検出器が世界ではじめて宇宙X線観測用に搭載される（日米協力で製作が進められている）。これは、天体からやってくるX線光子一つ一つのエネルギー（波長）を、約摂氏マイナス273度（絶対温度約0.1度）に冷やした検出器への熱入力（X線受光素子の温度変化）としてはかるもので、これまでのX線検出器の波長分解能を格段に上回る、画期的なX線検出器である。しかしながら、そのX線受光部をたいへんな低温に冷却する必要があるため、大量の冷媒（固体ネオンと液体ヘリウム）を必要とし、総重量約400kg（これだけで「あすか」の総重量に匹敵する）の大型観測装置である。これら大型の衛星構体や伸展式光学ベンチ、X線マイクロカロリメーター用の大型デュワーは、それぞれ振動・衝撃条件に対しぎりぎりの設計になっており、このまま何とか無事に構造モデル試験を切り抜けてほしいと祈るような気持ちの毎日が続いている。（井上 一）

外国グループとも懸命な干渉実験を続けていましたが、6月12日、カナダのドミニオン電波天文台の相関器が、「はるか」のゴールドストーン局のテレメトリーに対して、オーストラリア3局の電波天文台との相関検出を知らせてきました。

6月13日には、アメリカ国立電波天文台ソコロの相関器が、「はるか」のグリーンバンク局テレメトリーに対して、VLBA（8000kmにひろがるVLBI専用電波望遠鏡群の25mアンテナ10局のうちの8局）とVLA（25mアンテナ27基がまとまって130mアンテナ相当として稼働）との干渉に成功しました。

VSOP計画の世界の運用エレメントは急速に立ち上がりつつあります。更に超高分解能イメージングの実験も始めています。（平林 久）

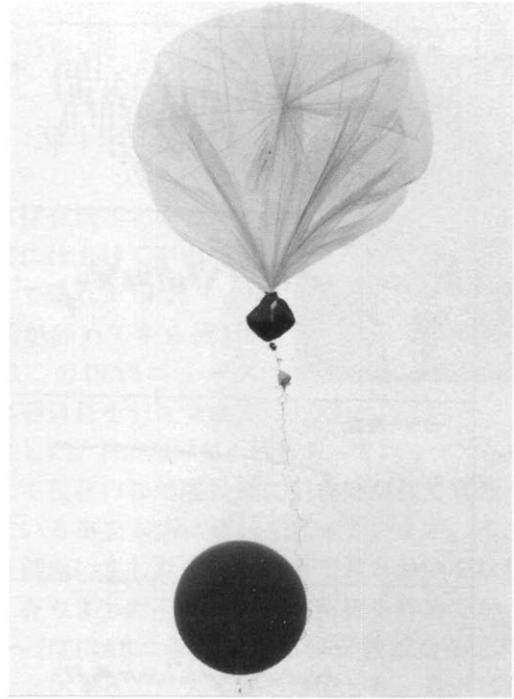
★ASTRO-Eの構造モデル試験

わが国第5番目のX線天文衛星ASTRO-Eは、2000年1-2月期の打上げをめざし、まもなくフライトモデルの製作が始められる。その製作に先立ち、衛星構体や搭載される大型観測装置の構造設計にまちがいのないことを確認するため、この5月末より構造モデル試験が、宇宙研を中心に行われている。6月20日現在、三軸方向の振動試験のうちのX軸・Z軸方向の試験と衝

★平成9年度第1次大気球実験

平成9年度第1次大気球実験は、平成9年5月19日より6月10日まで三陸大気球観測所において実施された。実験開始当初は雨が8日間も続き予定期間に全ての気球実験ができるか危ぶまれたが、放球した気球はEV01型1機、B5型2機、B100型1機とB150型1機の計5機であった。尚、当初予定していたB150-1号機は上層の風が速く長時間観測に適さないため、第2次大気球実験に延期した。B100-5号機は、液体ヘリウムを用いたクライオサンプリング法で成層圏大気を採取し、それに含まれる微量成分（クロルフルオロカーボン、 CH_4 、 CO_2 等）の高度分布および経年変化を観測する目的で行われた。実験は気球をゆっくり降下させながら12本の試料容器に高度別の大気を採取することに成功し、試料容器は無事完全な形で回収された。また、本実験は今年度南極昭和基地で行うことが計画されており、隊員の放球訓練および受信システムの試験もあわせて行われた。

B150-2号機は、シンチレーションファイバーを用いた観測器によりエネルギー 10GeVから数百GeV領域の宇宙一次電子の観測を目的に行われた。8時間の飛翔中に電子を含む宇宙線が観測器中で起こす約6万イベントのカスケードシャワーの観測に成功した。観測器は日本海沿岸で無傷で回収された。B5-136号機、B5-135号機およびEV01-2号機は、何れも将来の長時間飛翔を目的に開発が行われている気球の飛翔性能試験であった。前者の2機は、気球に内圧をかけるオーバープレッシャー気球の開発の一環として、後者は現在使用している気球材料と異なる特性を持つエパールフィルム（エチレン・ビニル・アルコール）で製作した気球の性能試験であった。3機の気球とも予定高度まで飛翔し、所期の目的を果たし今後の気球開発に有益な



データを取得することができた。（山上隆正）

★NASA長官との会談

6月2日に、来日中のNASA長官ゴールドフィン氏ら8名と、宇宙研の西田所長ら日本側8名が、文部省の会議室で会談する機会を持ちました。西田所長からの、M-Vの初号機と衛星「はるか」の成功の紹介に対し、最大級の賛辞を頂戴した後、日・米の宇宙科学の長期的な課題と、相互協力を中心に、45分間の会談を行いました。

ゴールドフィン長官が、日本の宇宙科学の現状を大変よく理解し、高く評価していること、NASAがすっかり自信を取り戻していることが、印象的でした。この後、同長官は、文部省の井上事務次官を表敬訪問しました。（中谷一郎）



ゴールドフィン長官（左から5人目）と、米側の列席者

★小杉文部大臣来所（表紙写真・撮影：新倉克比古）

去る6月13日、小杉文部大臣が宇宙科学研究所相模原キャンパスを視察された。午後1時過ぎ、キャンパス内の研究・管理棟の玄関に着かれ多数の教職員の出迎えを受け、約1時間半の短時間に、宇宙科学に関する展示物や本研究所の科学衛星による観測成果等を見ていただいた。

到着後まず、所長室に御案内し、所長室では、西田所長、松尾企画調整主幹、廣澤教授、松本管理部長が対応し、今回の視察に随行の文部省の中西審議官と及川研究調整官の同席のもと、本研究所の概要と将来計画、科学衛星「はるか」の成果について説明の後、M-V型ロケットの打上げビデオを御覧になっていただいた。

展示ロビーではロケットの歴史や模型等、宇宙飛行士若田さんが回収したSFU搭載の宇宙赤外線望遠鏡を見学された。そのほか、飛翔体環境試験棟では、ASTRO-Eの衛星、特殊実験棟では「ようこう」で観測した太陽のX線画像についての説明を受けられた。

説明のなかで共同研究等で来所中の外国の研究者に質問されるなど、宇宙科学の研究成果と国際協力の現状等に関心を示された。（伊谷賢二）

★山口宇宙開発委員長代理、野村前委員長代理来所

6月19日、山口開生宇宙開発委員長代理と野村民也前委員長代理が宇宙研を訪問された。昼食をはさんだ概要説明ののち、折から振動試験準備中の次期X線天文衛星ASTRO-Eの構造モデル、“ようこう”の解析室等をご覧になった。また棚次教授による空気吸込式エンジンATREXの開発、黒谷助教授による宇宙生物学の実験、廣澤教授による“はるか”の現況等のトピックスにつき詳論を、訪問時間を延長の上お聞き頂いた。

“ようこう”のX線による太陽画像の説明ののち、野村先生から“このようにキチンとした説明を聞くのははじめてである。どうも(私を)馬鹿にしていたのではないか”とのご感想があった。滅相ありませんが事実とすればまことに怪しからん話であります。

（松尾弘毅）

★宇宙研ビデオ「私たちの太陽系」奨励賞受賞！

宇宙研ビデオ「私たちの太陽系」第5巻が、文部省・通産省・毎日新聞社が後援する日本産業映画ビデオコンクールで奨励賞を受賞しました。受賞式は6月23日に如水会館で行われ、138件応募の中から選ばれて、評価されたという事は宇宙研にとってうれしい事です。内容は太陽系の進化についてこれまでどんなことがわかっているのか。また現在どのような課題をもって、



どのような夢がある探査計画が展開されようとしているのかを紹介したビデオです。製作委員の方々は短い期間で写真を各所から探して歩いたり、長い時間帯ビデオのナレーションとか音楽録りに立ち会ったりして大変な思いをして製作に当たられました。こうしてできあがったものをこの受賞を機会に、多くの人に見てもらいたいと思っています。（ビデオは奨励賞宇宙科学振興会で有償で入手することができます）今後のビデオ製作にとって楽しみのひとつである予感がします。

製作委員の方々有り難うございました。

（渡邊遊喜枝）

★野村民也名誉教授に勲二等旭日重光章

本研究所、野村民也名誉教授が、この度の春の叙勲で、勲二等旭日重光章を受章されました。野村先生が、我が国の宇宙開発の草分けとして、御尽力されて以来の、赫赫たるご功績は、今更申し上げるまでもありませんが、今回の受章は、私達にとってもひとときわ喜ばしいことでもあります。（中谷一郎）

★新しい小惑星を「マトガワ」と命名

このたび国際天文連合（IAU）は1992年10月1日に北海道北見の円館金さんと札幌の渡辺和郎さんによって発見された小惑星6526（1992GZ）を、宇宙科学研究所の的川泰宣教授に因んで「Matogawa」と命名しました。富田弘一郎氏（元国立天文台）の推薦文には、「的川教授は、ロケット工学・宇宙科学の発展、その国際協力に多大の貢献をし、さらに日本宇宙少年団の活動等を通じて子どもたちに大きな夢を与えたから」とあります。なお「番号の6526のうち、26は三鷹の望遠鏡の口径をインチで、65はそれをセンチで表している面白い」とは、富田氏の弁。

伊藤富造さんを偲ぶ

平尾邦雄



伊藤さん、未だ70才と日本人の平均年齢にもならないのに何故こんなに早くお釈迦様の下へ旅立ったのですか。20年間駒場で隣り合わせで暮らしていた君が元気にサッカー等に興じていた姿を見ていたし、実験室や「おおぞら」等の試験や打上げに時を忘れたように精魂こめて勤められていた事を思いだすと何故こんなに早く逝かれたのかと今でも信じられません。貴方が私より半年ほど早く宇宙航空研究所に赴任されて、上層大気部門の基礎を整えて下さったのを今でも良く覚えています。それからは毎日の様にお互いに色々な事を相談しながら研究室の運営等に力を尽くして呉れました。特に大学院生や卒研生に対しては時に私が他の事で至らなかった事も在りましたが、君の親切且つ綿密な指導をして頂いた事は忘れる事が出来ません。貴方をお送りした日彼等の何人か貴方の車をじっと見送って居ました。彼等も寂しかったのでしょうか。後に君が成層圏大気の気球を使っての研究に進まれた時は、当時宇宙研で大気の研究が余り試されていなかったので心から応援したいと思ったものです。そうしてハレー彗星探査

の時は探査機「すいせい」を完璧に仕上げた宇宙に送りだして呉れました。

又私が辞めてから後3年間君はこのISASニュースの編集委員長を引き受けて呉れました。君の温厚な人柄もあってニュースも益々充実して現在の松尾委員長に引き継がれて立派に成長している事を本当に嬉しく思っています。本当に有難う御座いました。色々な事で君とお酒を飲む事も多く在りました。特に私が宇宙研を辞めてからは年に1~2度ISASニュースや宇宙研教授会の忘年会等でお会いするのが大変楽しみでした。最近夜の会合には出ない事になっているとか言われて居た様ですが、宇宙科学振興会の集まりで年に2度程お会いできたのにこれからもうお会い出来ないのですね。伊藤さん、そちらには大林さんが待っているでしょう。彼もお酒が好きでした。どうか二人で楽しく飲みながら下界にいる私達の噂話でもして下さい。

(ひらお・くにお)

富造先生を惜しむ

的川泰宣

伊藤富造先生の訃報に接し、残念至極でなりません。まだいろいろと教えて頂かなくてはならないことがいっぱいあったのに。先生と最も親しくお付き合いさせていただいたのは、何と内之浦の旅館「福之家」でした。富造先生をはじめ、平尾、小田、大林先生等と一緒に過ごしたあの愉快でたまらない日々は、私の記憶から生涯消えることはないでしょう。それはまだロケットも衛星も幼い、草創期の匂いが立ちこめている時期でした。焼酎をさしつさされつする合間に、問わず語りに数えきれないほどたくさんのお話を教わりました。

お詫びしなければならぬことがあります。一度だけ富造先生とマージャンをやったことがあり、先生が「オレがヤクマンを振り込んだら、ビールを1ダースおごってやる」と豪語されました。確か一緒にやっていたのは高野雅弘君と寺田守男君(現NASDA)だったと記憶しています。私がちょうど国

士無双のイーシャンテンになった所で、富造先生がトイレに行かれました。ソレってわけで3人で協力して私のテをテンパイにし、ちょうど富造先生が振り込まれるようにパイを積み替えました。私がロンした後、さすがに気が引けて3人で「いいです、いいです」と断った(と思う)にも拘らず、ビールをたっぷりご馳走になりました。ついに真相を打ち明けるチャンスを失ってしまいました。どうもすみませんでした。

ご専門のことはよく分かりません。常に宇宙研の将来を心配され、ISASニュースの編集長として暖かく私たちを引っ張って下さいました。私の胸に貯えられた富造先生のお言葉を反芻しながら、生きていきたいと思えます。どうか安らかにお休みください。

さようなら。

(まとがわ・やすのり)



宇宙の体積の99.9%以上は「プラズマ」で占められていると言われますが、

地球の上層大気や恒星大気をはじめとして惑星間空間や宇宙空間では電離した気体「プラズマ」で構成されています。温度が1万度(10⁴K)程度になると、気体はほぼ電離したプラズマ状態になります。プラズマ状態は、19世紀後半Crookesによって初めて発見されたとされていますが、固体、液体、気体の状態に対してその発見が遅れたのは、われわれの地球が宇宙空間に比べて冷たい惑星だからでしょう。しかし、現在では宇宙のなかで多種多様なプラズマ現象が知られています。身近なところでは北極や南極の夜空に観られるオーロラや最近の「ようこう」衛星により観測される太陽コロナのダイナミックな様子などがありますが、そのほかにも中性子星や活動銀河核などの天体現象でもプラズマが重要な役割を果たしていることが知られています。一般に宇宙での自然現象はプラズマ過程と密接に関連しており、そのためプラズマ過程は、宇宙現象を理解する上で重力場や素粒子などの物理と同様非常に重要な役割を果たしていることが知られています。

さて広大なプラズマ宇宙の構成要因である荷電粒子「イオン」や「電子」の個々の運動の様子を見てみましょう。複雑な現象を生むプラズマ過程も、個々の粒子の振る舞いは、私たちが学校で学んだ電磁気の性質に従っているだけです。もし「電場」があると「イオン」は電場方向に「電子」は反対方向に運動し「電流」を作りますが、その粒子の運動によって作られる電流は元の電場を打ち消す方向になっています。また「磁場」が存在すると「イオン」は時計回りに「電子」は反時計回りに旋回運動し、この場合も粒子は元の「磁場」を打ち消す方向に運動しています。(どうも荷電粒子は保守的で現状維持を好むようです。)もう少し専門的に言うと、「イオン」や「電子」の粒子は、マクスウェル方程式とローレンツ方程式と呼ばれる非常に簡単な式に従って運動しているだけです。しかし、これらの個々の粒子が一丸となって織り成すプラズマ集団運動は、個々の粒子の運動だけからでは想像もつかないまったく新しい現象を作ります。1928年にLangmuirが、現在プラズマ振動として知られているプラズマ中での縦波の波動現象を初めて発見しプラズマ状態の重要性を指摘し、また1942年にはAlfvenが低周波の横波の波動(アルフベン波)を理論的に予想し電磁流体力学の基礎を作りました。これらのプラズマ集団現象に伴う波動現象を媒介として、ある状態になるとプラズマに貯えられていたエネルギーを爆発的に

開放することがあります。また宇宙線などの超高エネルギー粒子を作ることもあります。(集団現象となると現状維持を好むわけではないようです。人間社会で一人一人の性格からは考えられないことが、集団行動になると現れるのと似ていませんか。)これが華やかな宇宙プラズマ現象となって我々の興味を引きます。

華やかなプラズマ集団現象は、理論的にはいくつかの素過程に分類されます。ビーム不安定などの様々なプラズマ不安定を初め、磁気リコネクション、衝撃波などの素過程が基本であると認識されており、これらの素過程は色々な天体現象に適用されて現象の理解が進んできました。例えば、磁気リコネクションは太陽コロナの活動的な現象を生むことが「ようこう」衛星の観測で明らかになってきており、また地球の夜側磁気圏ではオーロラの起源となる高エネルギー粒子が磁気リコネクションで作られていることが「ジオテイル」衛星のプラズマ直接観測で明らかにされてきています。しかし、我々のプラズマ集団現象に対する素過程の理解は、まだ観測結果を十分に説明するには至っていません。

小さなスケールを支配するプラズマ現象(例えば、粒子が磁場の回りを旋回する半径程度の現象、太陽コロナでは電子の旋回半径は30cm程度)と大きなスケールで構造を変化を伴う電磁流体的現象(太陽コロナでは10万km程度)が相互に関連しており、その関連はプラズマの複雑性や非線型性によって左右されています。また、現象の空間3次元性もプラズマ集団現象では重要ですが、このあたりの研究は未だ始まったばかりです。近年スーパーコンピュータの進歩により、マクロな物理に着目した電磁流体现象の理解は徐々に進んできましたが、ミクロな物理を自己無撞着に含んだマクロ現象の理解は非常にかぎられています。しかし、10年以内には新しく開発されるスーパーコンピュータを用いてこのあたりの計算が可能になるので、プラズマ理論にも新たな幕開けがあると信じられています。

自然界でのプラズマ物性は、観測的には地球磁気圏や惑星磁気圏でのプラズマの直接観測によって最もよく研究されていると言ってよいでしょう。宇宙研では、地球磁気圏を観測している「ジオテイル」「あけぼの」衛星をはじめとして火星大気・磁気圏を観測する「プラネットB」計画などがあり、これらの観測研究では、個々の地球物理的プラズマ現象の面白さからくる探求だけではなく、広大な宇宙で演じられているのと基本的に同じ素過程を詳しく研究するという位置づけもあります。宇宙での不思議なプラズマ集団現象の研究は、理論的にも観測的にも今後新しい発展が期待される分野だと思えます。

(ほしの・まさひろ)

気温35度。ここは南カリフォルニアのパサデナ。今日はNASAジェット推進研究所（JPL）の一般公開で6月始めの土日の2日間で約4万人が訪れる。計4回水分を補給してふらふらになりながら、7時間歩いて全体を見た。火星到着目前のMars PathfinderとMars Global Surveyor、もうすぐ土星に向けて飛び立つCassini探査機はもちろん、将来計画の数々の展示がずらっと並んでいた。それらを見つつまわりの人達と同じようにシールやきれいな写真をもらいまくった。宇宙研のMUSES-C探査機に乗る予定のJPLの小さなローバーも子供達にIt's cool!と言われながら元気に走っていた。先日は別の一般公開にも行って来た。NASA/JPLの深宇宙局の1つで70m級アンテナがあるゴールドストーン局が約20年振りに行ったものだ。バーストーという町を経て車で2時間半。悠久の時間が作り出した砂漠の敷地内にアンテナが点在しており、そのアンテナ間のバスでの移動だけでも約30分。広すぎる。こうしていろいろ見てみると、JPLは最近他機関に押され気味と某JPLerは言っていたが、やはり惑星探査の本流でありその経験と底力は圧倒的だ。今回の9ヶ月間の渡航の目的は”電気推進を用いた惑星探査計画に関する研究”である。と言うと聞こえはいいが、実際は、日々の仕事に追われている。もちろん電話や会議は非常に少ないが。そもそも「東奔」は確かにしたが「西走」はまだしていない。少々、グチっぽくなった。

考えてみると、ここに来てから、生活を立ち上げるのに約1ヶ月、その後2ヶ月が過ぎた。あと6ヶ月で帰国することになる。早いものだ。今は競馬場の近くで公園やゴルフ場や大きなショッピングセンタに囲まれた所に部屋を借りている。車も長期間ということで安くレンタルしている。カリフォルニアの免許もやっとのことで取った。ちなみにこの前、勇気を出して初めてアメリカで髪を切った。事前にいろいろ説明を試みたが容赦なく髪は切られていった。生活は朝7時に車で来て夕方7時に帰るという感じで極めて健康的だ。朝8時頃になるともう駐車場は一杯になってしまうから自然にそうなる。食べ物かというと（異論はあるだろうが）JPL内のカフェテリアを含めて一般においしい。特に中華は、はずれは滅多にない。日本料理の看

板を出している店も多いが、中味はどう見ても日本料理じゃないところもある。テレビでは、ウィークデイは毎朝日本のニュース番組をやっているイチローの打率までわかるし、土日にも番組は多い。NOMOを応援してNHKの毛利元就や連ドラを見てしまうので日本にいるのと変わらない。毎朝ジョギングをするなんてことは日本でもやっていなかったが、先日は久々に運動不足を解消する機会があった。芝生の上に簡易なコートを作ったの草バレーだ。JPL全体の千人規模のピクニックのときだった。アメリカで職場全体でこういう催しがあるのが何となく不思議だったが、どうやら毎年やっているらしい。ちなみにたった4チームではあったが優勝することができ小さなメダルをもらった。

こうして、来てから3ヶ月何とか暮らしている。アメリカのイメージは以前と変わっていない。来た日にすぐにコンピュータ関連の環境をすべて整備してくれるシステムがあり、また夕食に家に招待されたときには映画で見たような理想的な家族がいた。アメリカのテレビは”Cops”等の実録の犯罪物の番組が多く、夜見ていると怖くなる。住んでいる付近には全米で10番以内に安全と言われる町が多くあるが、そこでの事件も多数報道されている。結局、生きるか死ぬかは運だということが良くわかる。この怖い面が強いのは確かだがアメリカの印象は多様だ。逆に、アメリカから見た日本は気になる存在だ。先日、車にガソリンを入れていたら、店の人に出身を聞かれたので日本だと答えると、”Japan is cool, huh?”との一言。良くわからなかったが相槌を打ってしまった。それ以来、日本をどう見てcoolという言葉が出てきたんだろうとずっと気になっている。また最近、日本語の感覚も変わりつつある。まだ3ヶ月しか経っていないのに固有名詞を忘れ始めていて、テレビを見ていても俳優の名前が出てこない。日本語を忘れたとはもちろん言わないが、韓国語を聞いていて日本語なのかと間違えることも増えてきた。やはりアジアの言葉は似ているのであった。来て1~2年しか経っていない人でも日本語が変化（退化？）していることを考えると、これからの半年でどこまで日本語を忘れられるか楽しみである。

(やまかわ・ひろし)

スペースVLBI入門 (1)

大きな電波望遠鏡をつくる

平林 久

「電波望遠鏡」とは、わけのわからないもののようなものです。でっかいアンテナが空をむいているかと思えば、VSOPチームは、電波天文衛星「はるか」が地球上のアンテナと一緒にHST(ハッブル宇宙望遠鏡)の100倍の解像度の絵をつくるなんて言っています。しかも、もう簡単な絵ができています。

編集委員会は、本コーナーで6回にわたって、VSOP画像に至る説明の機会を与えてくださいました。「管理部の皆さんにもしっかりわかるように」というお達しです。村田泰宏さんと私が、相手役をつとめます。最終的には、VSOPで映像ができる「カラクリ」が「わかったつもり」になるのが目標です。

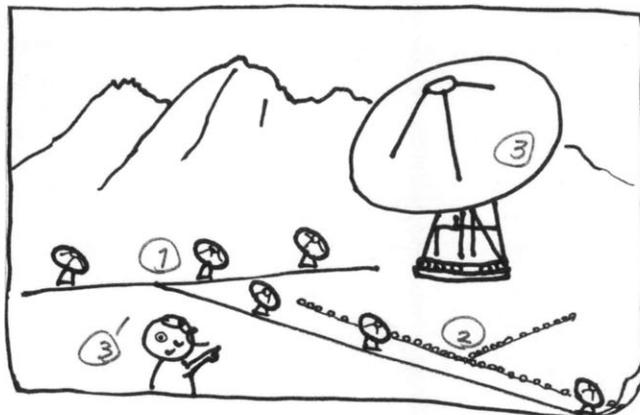
長野県の野辺山高原にいくと、野辺山電波天文台があります。そこにはたくさんのアンテナが並んでいます。よくみると、直径45mのアンテナひとつ、10mアンテナ6個、80cmアンテナ84個と、グループ分けができます。他にもあるのですが、目をつぶりましょう。この3つのグループが、それぞれひとつの電波望遠鏡なのです。

45mの電波望遠鏡は、最高の解像度を発揮する115GHz(波長3mm)で、人の目よりよい17秒角の解像度で宇宙を観測できます。10mアンテナ6個は、全体で600mを超えて並び、115GHzで、そのへんにある市販の光学望遠鏡と同じ解像度1秒角ほどです。最後の、600m弱のT字型にひろがった80cmアンテナ群は、観測周波数17GHz(波長1.7cm)、34GHz(波長9mm)のそれぞれで10秒角、5秒角の解像度で太陽を観ています。

電波望遠鏡の解像度も光学望遠鏡の解像度も同じ考えで決まります。電波も可視光も電磁波の違う周波数の部分ですが、その波としての性質が完全にはっきりした像をつくる事を妨げています。これは、電磁波でなくても、音波でも同様です。これを「回折」といいます。

そして結局、「観測する波長」と「望遠鏡のひろがり」との比だけで解像度が決まります。このまま計算すると単位はラジアンです。私達の目でたとえると、観測する波長は $0.4\mu\text{m}$ (青色)から $0.8\mu\text{m}$ (赤色)、望遠鏡のひろがり(瞳)の直径3mmぐらいと言えます。この結果、1分角(60秒角)ほどの解像度になります。

電波は光に較べて波長が長いので、いい解像度を得

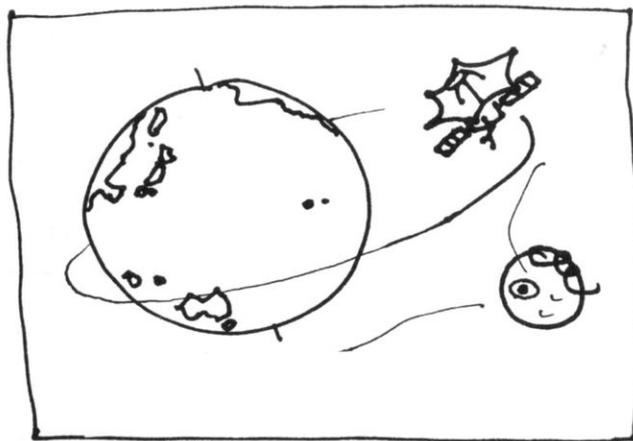


野辺山の電波望遠鏡の解像力の順位

ようとする、大きな「瞳」が必要となります。解像度を得るためならば、ひとつの超大アンテナを作らなくても、小さなアンテナをばらまくので事足ります。その努力の姿が野辺山の例でみれるわけです。

電波望遠鏡を、「電波で宇宙を観るもの」と説明すると誤解を招くことがあります。レーダーのように電波を相手にぶつけて能動的に相手を観るものではありません。「電波で」でなく、「電波を」なのです。光学望遠鏡が光の宇宙を観るように、「電波望遠鏡は電波の宇宙を観る」ものです。こうして肩の力を抜いて理解を始めると、自然な理解ができます。「わかっていたつむりの光学望遠鏡」と、「わかっていなかったつむりの電波望遠鏡」が、一緒に自然にわかります。

その自然な延長上にVLBIやスペースVLBIがあります。(ひらばやし・ひさし)



VSOPで35万kmの瞳をつくる



地上局アンテナの開発

別段 信一

宇宙科学研究所とのご縁は昭和40年初め、私の三菱電機入社4年目頃、前身の東大宇航研時代からで、近々撤去のKSC 18mアンテナの400/136MHz帯共用化工事からです。会社の上司に連れられ、共用化案を説明に伺い、斉藤成文先生、野村民也先生および林友直先生がご出席され、私の拙い説明をじっと我慢し乍らお聴きになられていたが、遂に斉藤先生が途中でご質問になり、私が「一応説明を終えてから回答します」と言い、続行してしまいました。帰路、上司から「世界に冠たる先生のご質問に答えず続行するとは何事か」とひどく叱られ、対応の仕方を教えられたのが始まりです。この工事でご指導戴いた技術をNASDAやNTTの地上局に応用し、20年以上に亘り宇宙開発をサポート出来ました。それから、精測レーダ用アンテナ、10mテレメータアンテナ等に関与し、精測レーダの給電系改修では浜崎先生、市川満氏等の懇切なご指導を受け、開発設計の真髄に触れた思いがありました。

昭和50年代半ばに、深宇宙探査の手始めとしてのハレー彗星探査計画が始まり、林先生を団長とする「NASA&ESA視察ツアー」に参加し、欧米の地上設備を数多く視察した。我々は既に30m級衛星通信地球局アンテナや国立天文台45m電波望遠鏡を製造していたが、NASA 64mアンテナの偉容には驚いた。総質量7200トン、方位回転に静圧軸受けと油圧駆動で数秒角の精度を実現し、ミッション毎に取り換えるフィードコーン、cw 400kw送信時の耐電力性を導波管側壁の水冷で実現、金属接触面の半導体効果による雑音発生への配慮等である。また、NASA地上局が産官学がほぼ均等に役割分担し、運用・保守・改修を局内部で行っていることを説明され、我が国との相異を強く感じた。余談になるが、ワシントンDCからケネディ空港に向かう時、メンバーの一人の予約がキャンセル・搭乗拒否され、慌ててラガーディア空港に飛び、タクシーをとぼしてようやく国際便に間に合わせるハプニングがあった。私の同僚で初海外出張故、飛行便確認を行っていなかった為だが、一時は米国居残りを覚悟した事件であった。スペインのNASA局、フランスCNES、

ボンの100m電波望遠鏡、オランダのESTEC、キルナ射場等を視察でき、本当に収穫の多い旅であり、各地で種々の人々の懇切丁寧な対応を見、宇宙科学研究所の世界的評価の高さを実感し、林先生の折紙、松尾先生の手際の良さが光った。

これらの結果と深宇宙探査設備空中線小委員会での審議結果を踏まえ、更には国立天文台の要望にも配慮しながら、臼田観測所64mアンテナの開発設計に着手した。設計から3年、アンテナの総質量1900トン、工場仮組なしで現地でききなり本組立を行い、一切の改造なしで完了したが、雪の中での突貫工事や210トンクレーンを用いた大工事事故なく完成できた。雑音温度、周波数選択反射鏡からの雑音や黄銅ネジの応力腐食等で苦勞したが宇宙研の先生方の親身なご指導のお陰で、NASA 64mに比較して70m相当との評をいただき、この設計技術をNASA 64m改造に応用する為宇宙研/NASAが種々検討会を持たれたのを光栄に感じている。

その後、KSC20mアンテナ、7m精測レーダアンテナそして18mアンテナ跡地に建つ34mアンテナと続いている。先般、日米先端技術会議で、ハワイ「すばる」望遠鏡が話題になり、小田稔先生が「三菱電機はすばるや宇宙研64mなどを手掛け、日本の宇宙開発・宇宙研究をよく支援している」と評された旨、同席した岡久雄氏より聞かされ、日頃の努力が報われた思いです。総ては廣澤先生を始めとする宇宙研の皆様のご指導・ご鞭撻の賜物です。心から御礼申し上げます。

(金沢工業大学教授 べつだん・しんいち)



今回初めてニュースの編集・割付を担当しました。

はっきり言って、今回ほどニュースをきちんと読んだのは初めてのことで、改めてその内容の濃さに感心しました。

これからも、より充実した紙面になるようがんばりたいと思います。ただ、今は間違いのないことを祈るばかりですが。

(川田)

ISASニュース

No.196 1997.7

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)

*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>)