

No.48

April 25, 1995

Information

講 演

1995年2月10日（金）・第67回談話サロン（東京・弘済会館）

講師・題目

澤岡 昭：「助走を終えた日本の微小重力宇宙実験」

日本工学アカデミー

THE ENGINEERING ACADEMY OF JAPAN

助走を終えた日本の微小重力宇宙実験



澤岡 昭

1938年 北海道生まれ
1965年 北海道大学修士課程修了
大阪大学基礎工学部助手
1974年 東京工業大学材料研究所助教授
教授、セラミックス研究センター長を経て
1994年 東京工業大学工業材料研究所長 現在に至る
この間、アリゾナ大学、ニューメキシコ大学客員教授
1979～1989年 宇宙開発事業団 嘱託
1991年～ 日本マイクログラビティ応用学会会長

理学博士、国際バリスティックアワード(1993)、科学技術庁長官賞(1994)、他受賞

司会(小林繁夫会員) 定刻となりましたので、第67回談話サロンを始めさせていただきます。

私は、東京理科大学の小林でございますが、澤岡先生をよく存じ上げているものの一人として、司会をさせていただきます。

先生について簡単に申し上げますと、1938年北海道のお生まれで、1963年北海道大学物理学科をご卒業になり、大学院に入られまして修士を取られた後、ドクターコースに在学中に、大阪大学の基礎工学部の助手になられまして、その後、北海道大学から理学博士の学位を取られました。1969年、東京工業大学の工業材料研究所の助手に移られまして、助教授、教授、セラミックス研究センター長を経まして、現在は工業材料研究所長でございます。その間、先生方ご存知の齋藤進六先生の下でお仕事をされました。そういう関係で、いわゆるスペースシャトルを使った微小重力実験に最初から関係されておられます。1979年から1989年まで、宇宙開発事業団の嘱託として、毛利さん、向井さんのスペースシャトルでの実験プロジェクトの立ち上げに努力されました。ということで、日本のマイクログラビティの利用に関する第一人者でございまして、1991年の3月から、日本マイクログラビティ応用学会の会長をされておられます。また、アリゾナ大学客員助教授とか、ニューメキシコ工科大学客員教授もなさったことがございます。

それから、賞を数多く学会からいただいております。特に有名なのは、1993年9月の、国際バリスティックアワード取得でございます。毛利さんの宇宙実験に関しては、科学技術庁長官賞(功労賞)を昨年の4月にいただいております。

先生は何しろ、日本のマイクログラビティの実験を当初からいろいろ御指導されておられて、とにかく裏も表も全部、一番よく知っておられる方でございます。例えば北海道の上砂川の落下施設の技術委員会の委員長を務められました。最近では、科学技術庁の宇宙環境利用フロンティア研究の中の、マイクログラビティ利用に関する委員会の委員長をしておられます。もちろん、国際的なそういう関係者の集まりの中の日本代表として、いろいろご活躍でございます。

ということで、今日は、今までのスペースシャトルを利用した日本の実験の関係、それから現状、今後の見通しまで含めましてお話しいただけるようでございます。

澤岡 小林先生、ご紹介ありがとうございます。大変身に余るご紹介でございます。いつも小林先生にいろいろ教えていただいております。その先生に司会をしていただきますということは、身が縮む思いでございます。実は5年前にこのアカデミーで講演させていただいたことがございます。主に材料に的を絞りまして、宇宙実験のお話をさせていただきました。その時はまだ、毛利さんの

搭乗したふわっと'92 (EMPT) のプロジェクトの少し前で、予定がどんどん遅れている時期でございました。その後、92年に毛利さんの乗ったSL-Jと呼んでおりますプロジェクトが終わり、昨年は、向井千秋さんのIML-2プロジェクトが終わりました。

そういう意味で、今、一つの総括をすべき時期にあると思います。当時は新聞やテレビなどで大変派手に取り上げられました。まあ、一種の国民的なお祭行事だった面もないわけではありません。そういう派手派手しい行事を通じて、特に小学生、中学生に大変良い影響を与えたと思いますが、その反面、あまりにも派手に取り上げられたものですから、その後の反動とか、あれだけお金をかけてやったことが、今になって一体何であったかという、一つの反省の時期にあると思います。

最近、経済が大変苦しくなっております。また、昨年から今年にかけまして、この分野ではさらに追い打ちをかけるように、いろいろ宇宙関係の失敗が続いております。そういうことで、非常にいい気持ちで走り出した宇宙利用のプロジェクトも、今、崖から突き落とされたような状態でございます。現在、特に大きな計画として控えておりますのが、21世紀当初に延びました宇宙ステーションの建設です。宇宙ステーションの建設に日本が分担する資金は、公称3,200億円、これから10年間のいろいろ準備や運用経費などを合わせますと、おそらく5,000億を越える大きなプロジェクトであります。このように大金をかけて、日本がこの計画を進めていく、国民的といいましょうか、納税者のコンセンサスが本当に得られるのだろうかという心配がぼつぼつ出ております。こういうことを見据えて、特に今日お話を聞いていただきます皆様には、この科学技術の分野での指導者として、ご批判やご支援をいただきたいと考えまして、いい話ばかりではなくて、本当の苦しみといいましょうか、反省なども聞いていただきたいと存じます。

まずは、92年、94年のスペースシャトルを利用した2つのプロジェクトの総括をさせていただきたいと思います。

ドイツ、アメリカ、ロシアやヨーロッパ各国がたくさん宇宙実験をやっておりますが、本当の

苦しさとか難しさの報告はほとんどありません。実際にやってみますと、予想を超えて、実験そのものが結構難しいということがわかりました。その中の幾つかをピックアップしましょう。宇宙に行きますと、重い、軽いの区別がないから、比重の異なった混合物を混ぜて溶かすと、混ぜた状態がそのまま維持されて、冷やして固めれば均一なものができるだろうと考えておりましたが、実際にやってみますと、そうは問屋がよろしません。

無重力下では、融体は熱対流がないからじっとしているはずだったのですが、実際に観察してみますと、無重力の状態でも結構流れが生じている。流れの元になるものは、表面張力流が原因であって、それを止めることは只事ではないということがわかりました。それから、浮かした状態でいろいろ熱処理できる筈なのですが、空間の1点に物体を保持するというのは、これは予想外に難しいこともわかりました。現実には1,300°C以上の温度で、空間に固定して熱処理するということはできませんでした。このようなお話を一つさせていただきたいと思います。

失敗した実験がいくつかあります。ふわっと'92では22の材料実験を行いました。厳しい眼で見ると6つの実験が失敗しました。その6つの失敗の原因の大部分は泡の問題です。予想外に泡の処理というのが大変だということが明らかになりました。それから、向井さんの実験の時に、大変期待しておりました電気泳動装置がうまく働きませんでした。このうまく働かなかった原因も泡、バブルでした。このようなことも説明させていただきたいと思います。

この分野で一番リーダーシップをとっていたアメリカが、宇宙ステーション計画そのものに相当の息切れをしており、今、逆に日本が牽引車になっている状況でございます。それから、宇宙実験に関して一番きっちり積み上げて、がっちりした仕事をやってきたドイツが、財政難のため大変な状態になっており、ここで日本がこければ全部一斉にこけてしまうという状況で、ここ1、2年は、日本が先頭になって走らないとちょっと危ないぞ、というようなこともお話をさせていただきたいと思います。

日本の微小重力実験の歩み

- * 1979 FMPT(スペースシャトル利用実験計画)の募集
- * 1980 - 83 小型ロケットによる5分間の微小重力実験
(NASDA, TT-500A, 6機打ち上げ)
- * 1985 日本人宇宙飛行士候補者選定
- * 1985 ドイツ、スウェーデンの小型ロケットを利用した
材料実験の開始
- * 1988 NASAの航空機を利用した微小重力実験の開始
- * 1989 日本の航空機を利用した微小重力実験の開始
- * 1991 NASDA, TR-1小型ロケットによる微小重力実験
の開始(1992 - 2号機, 1993 - 3号機)
- * 1991 10秒間の落下施設(JAMIC, 北海道)の運用開始

- * 1992 スペースシャトルによる国際宇宙実験室
(IML-1)への参加
- * 1992 SL-J / FMPTの実施/ふわっと'92(毛利衛博士)
- * 1993 ドイツのスペースシャトル計画(D-2)に
宇宙環境利用研究所(STC)の参加
- * 1994 IML-2への参加(向井千秋博士)

宇宙ステーションが今世紀末に完成する予定でしたが、年々延びて、現在、初期運用が始まるのが2002年ということになっております。本当に2002年に運用が始まるかどうか危ういところでございますが、いくら延びたにしても中止にならない限り、2010年までには運用が始まるだろうということでありましょう。しかし、最悪の場合、ステーション計画がだめになった場合のシナリオも、日本としては描いておかなければいけないと思います。材料分野では、もう既に300人ぐらいの人が、将来をかけてこの仕事をやっております。そういう人をどうするか。今までやってきたことをどう生かして、最悪の場合でも、それを無駄にしないようなシナリオが、どこかで検討される必要があると考えます。

最悪のシナリオは別として、これから10年の間に、おそらく、5,000億円ぐらいのお金を宇宙ステーションにかけることになると思いますので、そのお金を日本の将来のために本当に生かすには、どう方向づけたらいいのだろうかというような、私なりに感じたことを最後に述べさせていただきます。

まして、全体の今日のお話の流れとさせていただきます。

高さが50km以上の空気のない世界を宇宙と定義しますと、そこに飛び出して運行しているものの中は、重さのない世界であります。重力がないという訳ではありません。高度350kmで飛行するスペースシャトルの中は、地球に引っ張られている重力加速度は地表の96%ぐらいです。スペースシャトルの中では、地球中心と反対側に飛び出そうとする遠心力と引っ張られる重力との打ち消しあった世界であります。見かけ上、重力のない無重量の世界であります。これ以降、微小重力、または無重力という、そういう言葉で表現させていただきます。

宇宙の微小重力を利用する研究が始まりましたのは、アメリカが月へ1960年代に人を送ったアポロ計画の一環で、そのサターン5型という大変大きなロケットの最終燃料タンクを実験室にして、その中でいろいろ無重力実験をやったというのが、本格的な仕事の初めであります。その実験室のことをスカイラボと呼んでおります。この時期は、アメリカと旧ソ連との関係は大変いい時期でございまして、ソ連のソユーズとアポロの指令船をドッキングして、共同で宇宙実験をやるといような仕事も70年代にありました。

そこでいろいろ実験をやってみましたら、地上とは大変違った新しい材料や薬品ができそうだと期待が高まってきました。この分野はお金をかけてやるだけの価値があるという認識がなされたのは、1970年代の前半であります。すぐにこの後半に、スペースシャトルが登場する予定でしたが、スペースシャトルの開発には予想外のお金がかかった上、技術的な難しさから、最初の打ち上げが81年までずれ込みました。その間にソ連は、宇宙ステーション・サリュートを使って多くの宇宙実験を行いました。

1970年代後半に、小型ロケットを使った微小重力実験が行われました。ドイツは小型ロケットの弾道飛行による実験を本格的に開始しました。弾道飛行によって約5分間、重力加速度が1/10,000 gぐらいの状態をつくることができます。1978年頃から現在まで、ドイツが大変精力的にこの分野

で頑張っております。1980年には、日本の宇宙開発事業団が小型ロケットによる微小重力実験を開始しました。それから、ヨーロッパ宇宙機関（ESA）がスペースシャトルのオービターに載せる宇宙実験室（スペースラブ）をつくりまして、アメリカに2組寄付しました。そういう関係で、ESAはアメリカ以外の国として、最初にスペースシャトルを利用する権利を得ました。

90年代になって、財政的にアメリカが大変苦しくなる一方、スペースシャトルの運行コストが、スペースシャトル建造の時は、1回の飛行テストに50億円程度見積もられておりました。現在は500億円以上かかっております。ですから、当初の計画の10倍以上かかるということで、今のNASAにとって、スペースシャトルの打ち上げは大変負担になっております。NASAの一部の人間は、このように金のかかるものから早くおさらばしたいという苦しみを訴えております。

ソ連は体制が崩壊してロシアに変わり、宇宙関係はもう青息吐息という状態です。その技術売って、やっと息をしているという状態です。今の日本は、2回のスペースシャトルを利用した実験を終えて、ここで落ち着いて、じっくりとこれから先の宇宙実験計画を考える時期にあると思います。ヨーロッパは、スペースシャトルを使った実験をたくさん行いました。特にドイツはD-1、D-2と、丸ごと1機借りたものを2回やりましたが、それから教訓として得たことの一つは、スペースシャトルには宇宙飛行士が乗って、中で大変活発に活動していることによる問題が、相当に深刻であるということです。特にパイロットや船長さんは、1週間ぐらいの間でも、無重力下では、だんだん骨や筋力が弱まるということを補うために、シャトルの中で毎日2時間ぐらいかなりハードな運動をします。このための震動が宇宙実験にとって大変障害になります。それから、宇宙実験室の中に積み込む材料の安全性の問題があるために、ガリウムとか砒素とか燐を使うような、一番興味のある電子材料の実験に非常に厳しい制約を受けております。

そういうことで、無人の静かな実験室が欲しいということで、ヨーロッパは、ユーレカというフ

リーフライヤーを作りまして、スペースシャトルで打ち上げてもらって、宇宙へ放り出して、半年後につかまえて持ち帰るというようなことをやりました。

それと同じような発想で、3月にはH-2ロケットの3号機で、宇宙開発事業団は日本製のフリーフライヤー（SFU）を打ち上げます。これは通産省と科学技術庁と文部省の3省庁が共同開発した大きな実験衛星であります。この無人の実験衛星は2月1日に上げる予定でしたが、スラスターと呼んでおります小型エンジンのバルブの調子が悪くて、1個直した後にもた1個、同じようなトラブルが生じて、今、関係者は夜も寝ないで補修をしております。

種子島から打ち上げますロケットにつきましては、九州、四国の漁協との間の協定がありまして、冬期は2月中に上げなければいけない訳です。鹿児島内之浦から上げております宇宙科学研究所のロケットについても同様です。ですから、2月中に上げられないと、地元の漁協との交渉が大変になり、技術の問題ではなくて、一種の政治問題になるかと思えます。

宇宙開発というのは、何か大きなことを一つやろうとすると10年かかる性質のものであります。例えば毛利さんのふわっと'92のプロジェクトは、実際の準備が始まったのは1970年代末ですが、計画が表面化したのは1980年です。最初は88年に実行される予定でしたが、86年にチャレンジャー号の爆発事故がありまして、結局4年延びて、92年に実行されました。ですから表面化してから12年かかっている訳です。この間に関係者は、本当に大変な苦勞の連続で、85年に宇宙飛行士に選ばれた3人にとっても、待つということは激しい訓練を繰り返すよりもはるかにしんどいことだと思えます。

特にバイオテクノロジーとか、材料開発の分野では、10年というのは、一昔でありまして、ものによっては3年経ちますと、かなりその内容の進歩があって、やろうとしていることがどんどん変わります。こういう分野と、10年かかる宇宙開発とが手を携えていくということ自体、本質的に難しさがあると思えます。

ですから今後、この分野が健全に発展するためには、優れた材料の研究者とか、バイオテクノロジーの分野の研究者が、真剣に一緒に仕事をしてくれないとダメなんです。このためには、長くても5年、できれば3年以内に計画した宇宙実験が実行できる仕組みを作っていない限り、いい成果が出ないということを痛感しております。現在この方向で関係者が大変努力をしておりますので、だんだんそういう方向に行くのではないかと考えております。日本のスペースシャトル利用実験が遅れている間に、短時間の微小重力実験施設が次々と完成しました。その一つが大型の落下施設です。北海道の三井炭鉱の中央堅坑を使いまして、490m落下させる施設が完成しました。ここでは10秒間の無重力状態がつかれます。そういう施設を、通産省が第3セクターとしてつくりました。本来ならばこういう実験を最初にやって、その次にロケットで数分間の実験をやって、それからスペースシャトルと、順番に時間を長くして行くべきであったのですが、日本は先ずスペースシャトルから始めて、ロケットがあって、その後に航空機の弾道飛行があって、その後に自由落下という逆を歩んだ訳です。ドイツはきちっと順を追って積み上げており、全く対照的であります。本当のニーズが先導していれば、こんな逆のコースを歩むことはなかったと思います。

例えば北海道の場合、先に閉山する炭坑をどうしようかという話があって、通産省鉱山局が考え、次に、工業技術院が後押ししてハイテク施設をつくることになった訳です。最終的に60億円以上のお金をかけて、10秒間の無重力実験ができる施設を完成させました。しかし、これは第3セクターだから、有料で実験をやって、それで借入金の返済とその運用コストも出さなければならないということになりますと、最初のそろばんでは、1回50万円の使用料でできた実験が、次の年には100万円になり、とうとう昨年は1回の使用料が220万円になりました。そんな高いお金で実験を行うユーザーがいるかと心配いたしました、よくしたもので、通産省が心配をしまして、資金の手当をしております。

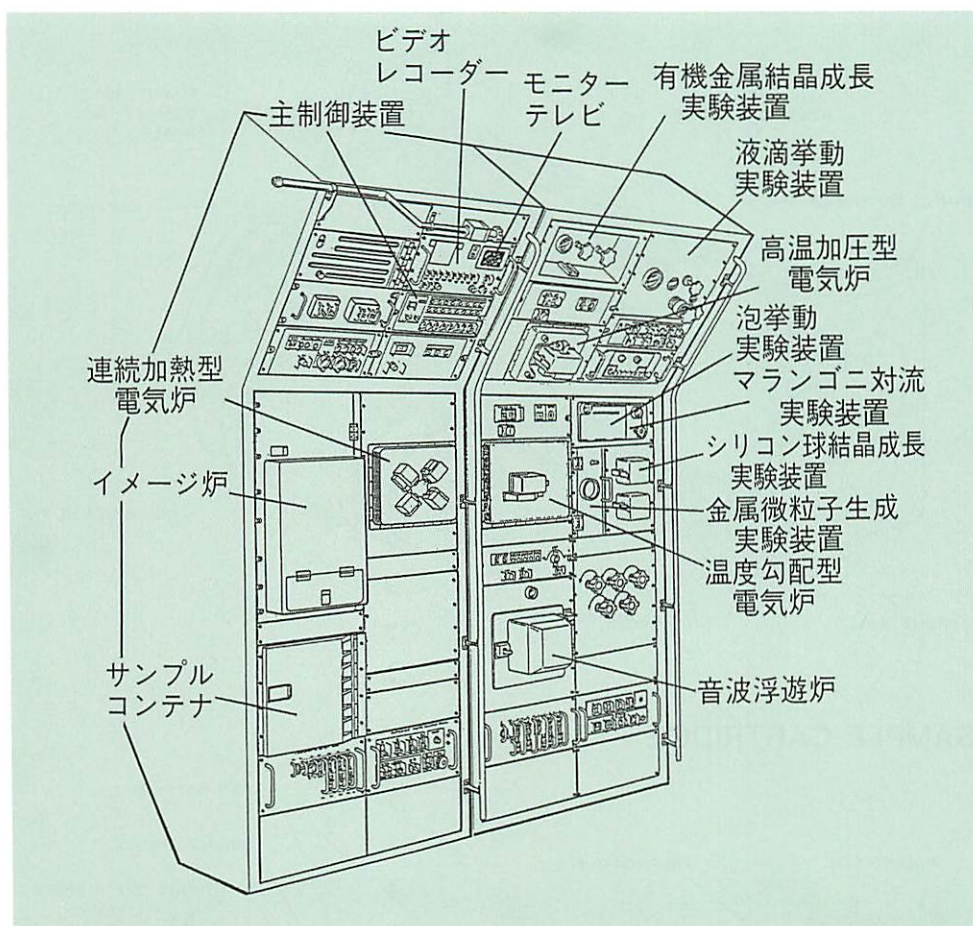
このように政治的なものが先に出てきて、それ

から次にお金の問題が出てきて、最後に実験のチャンスがあるぞということで、研究者が出てくるのです。ですから、本来あるべき姿の、これも全く逆のパターンで話が進んできた訳です。よくしたもので、昨年の春で1,000回以上の落下実験が行われました。お金はないけれども、何かのサポートがあるならば使ってみたいという研究者が増加し、燃焼の実験、化学合成の実験、金属の溶融凝固の実験が沢山行われています。10秒の間ですが、そのぐらいの時間でどんな成果が出るかと心配してもしましたが、あにはからんや、大変いい成果が続々と出ております。ついには去年から今年にかけて、わずか10秒の間ですけれども、溶液の中から結晶が成長していく様子を2,000倍から3,000倍ぐらいに拡大して、光干渉法を使って観察することが行われています。10秒の間で得られた結晶というのは、目で見て少しも大きくなっていませんけれども、そういう何千倍に拡大した世界では、原子がステップ状に成長していく様子が刻々と観測できる、そういう技術開発が行われて大変良い成果が出ております。

ちょっと今、少し視点を変えて妙なことを申し上げましたが、日本の宇宙実験の歩みというのは、物事の順を踏んで一つ一つ積み上げていく考え方からすると、まったく逆だという批判を浴びるような、そういう進め方をしたのですが、例えば上砂川の10秒の落下装置にしても、だんだん使い込んでいくうちにそれなりの成果が出てきたという訳です。日本に一番何が欠けているかという、全体の研究計画を長期的に眺めるような、サイエンス・マネジメントがほとんどない。行き当たりばったりで、それぞれ要素的なものが順序めちゃめちゃに登場したけれども、それを使うユーザーが大変賢かったために、結果としては、ある時間たってみたら国際的にも肩を並べるか、物によっては抜き出るような結果になっていたというのが現状です。それだからと言って今後ずっとこれでいいという訳ではなく、この辺で落ち着いて、この分野についてはやはり順を追ってきちっと積み上げていかないと、とんでもないことになるという気がいたします。

そういう意味で、宇宙の微小重力利用について





文部省、科学技術庁、それから通産省、国の省庁の縄張りというものもありましたし、研究者の目から見たら、それぞれの利益とか考え方で進められたものを一本化して、筋の通ったものにしていけば、大変すばらしいものになるだろうという気がいたします。

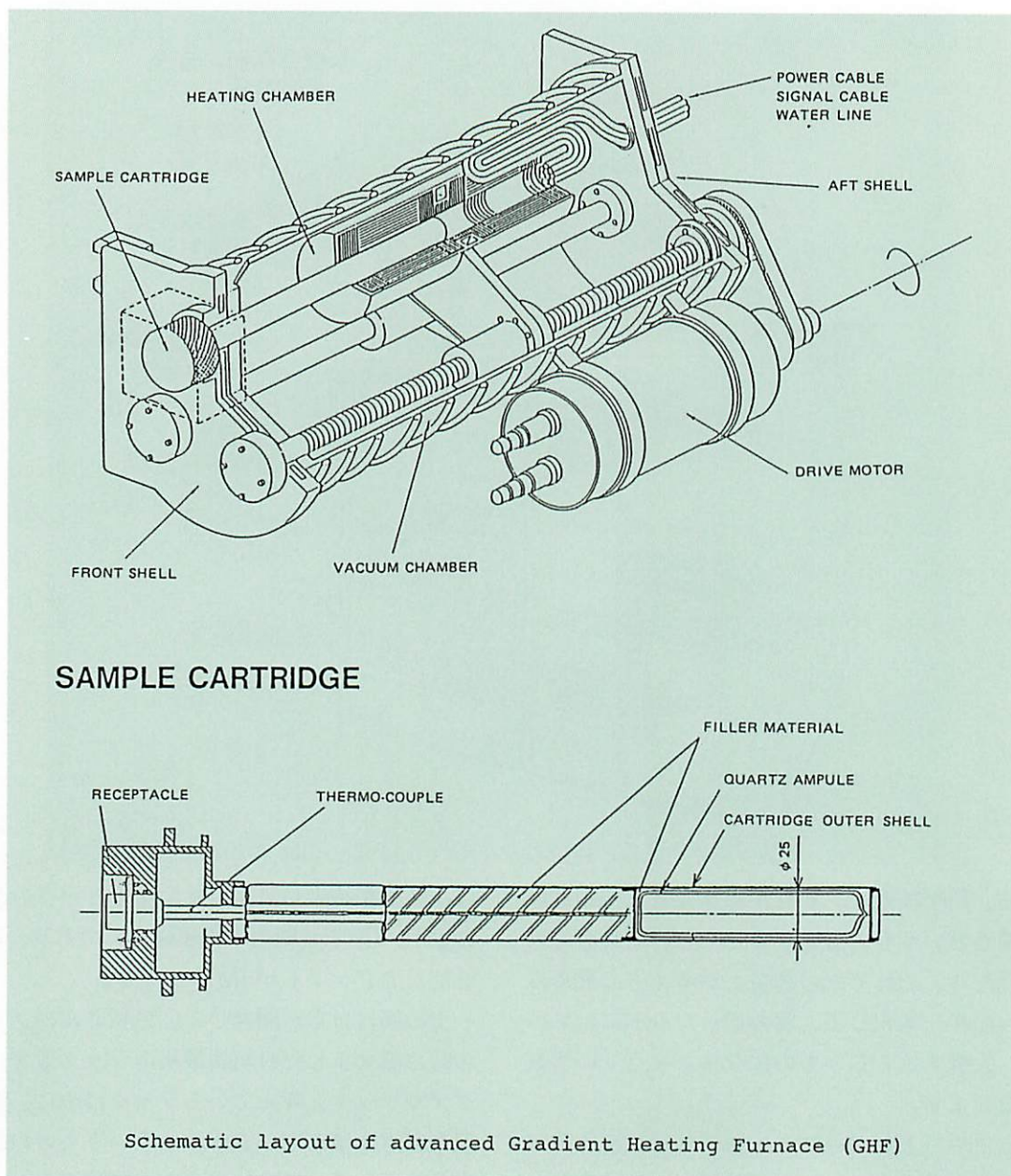
92年にやっとスペースシャトル・エンデバーが打ち上げられまして、これ（前頁上）は何度もいろいろ見ておられるかと思いますが、毛利さんとそのクルーです。この中で12件のライフサイエンスとバイオテクノロジーの実験に、22件の流体と材料に関する実験が行われました。

これ（前頁下）は、去年の7月に向井さんが乗ったときのクルーです。この中では主に、日本のテーマとしてライフサイエンスに関する実験が中心に行われました。材料と流体はわずか3件です。こちらのほうは、日本がお金を出してスペースシャトルを借り切るというプロジェクトではありません。NASAが無料でフライトチャンスを提供してくれている訳です。日本が開発した装置でNASAが使いたいというものを持ってくれ

ば、時間を折半して使いましょうというのが、このIML（国際共同の宇宙実験室）であり、その2回目のフライトがIML-2です。

上の図は日本が開発して、毛利さんのフライトの時に載せました材料実験用のラックです。このダブルラックと呼んでいるラックの中に、実験装置を10以上積んでいます。こういうものの設計に当たりまして、日本はまったく経験がなかった訳です。この設計を開始したのが1980年代の初めの頃でした。その当時ESA（ヨーロッパの宇宙機関）は宇宙開発事業団に対し、日本が新たに開発するより安いし、自分たちは経験があるんだから買いなさいと言ったのですが、日本は国産でいきたい、勉強したいということで、同じようなものを幾つかつくっております。それに対して、日本はまねをしたということを国際会議で激しく非難する方もおりましたが、そのうちに大変オリジナル性あるものも出てまいりました。

現在、この分野で凌ぎを削っておりますのは温度勾配炉です。温度の傾きをつけたところに試料を入れて一部溶かし、一部を冷やして、その溶け



ている場所を移動させる。こういうチャンバーの中をヒーターを動かしながら結晶を成長させていくもので、電子材料、特に化合物半導体の結晶成長に欠かせないものであります。この電気炉は温度勾配を大きくつければつけるほどいい訳ですから、一部を加熱し、一部を強制的に冷やさなければならぬのです。一部を強引に冷やす訳ですから、ものすごく電気を食います。この炉の場合、高温部1300°C、カートリッジの直径が20mmで、2 kW以上の電力を消費いたします。これは宇宙実験にとっては、2 kWというのは大変大きな電力でありまして、これを1 kWぐらいまで落とさなければいけない訳です。

それで、最近はいろいろ工夫をして、省エネ型の炉が開発されております。それから、結晶を成長させる上で、温度のふらつきが大変致命的になる訳です。かつてソ連は、宇宙ステーションの中で、200以上の結晶成長の実験をやりました。ソ連がロシアにかわって、いろいろ文献が出てまいりましたが、驚いたのは、200も化合物半導体の結晶成長実験をやって、それ程良い結果がないということでありました。これには二つ理由があるということが分かりました。

一つは、使った電気炉の性能が良くなかったということでありまして、この電気炉の性能がなっ

てないというより、むしろ電源がなくなっていたと考えたほうが良いと思いました。宇宙ステーションの中の電力は、燃料電池なども使いますが、パネル板を使って太陽光を、ここから発電をしているのです。ですから、非常にふらつきがある訳です。直流電源を使っていますが、例えば200Vでプラス、マイナス10V近い電圧の揺らぎがあるのです。ほかの装置に電力が入りますと、全体の電力の容量が小さいものですからふらふらします。それを安定化するための安定化電源が必要な訳ですが、それがあまりよくないので、例えば1,250°Cに設定したもののでも、プラス、マイナス2°Cから3°Cぐらいの揺らぎがある。そういうふらふらする電源で成長させた結晶は、その熱の揺らぎによるダメージのほうが、はるかに大きい訳であります。シリコン結晶は、地上で約1,400°Cでつくられておりますが、最近では、その温度の揺らぎが、プラス、マイナス0.1°Cとか、非常に精度のいいコントロールをして、大変大きな結晶がつくられております。

そういうことが一つと、その中でつくろうとする結晶が、どういうものをつくったら本当に役に立つ結晶であるかということについてのバックグラウンドが弱いために、やみくもな結晶成長実験が行われたという気がいたします。旧ソ連は、ステーション利用の方法として、例えば当時のチェコとか、ハンガリーとか、当時の衛星国に対して時間の割り当てをして、それぞれの研究機関にテーマを担当させる。例えばインジュウム・リンはハンガリーとか、ガリウム砒素はチェコとかというふうに政治的にまず分けて、それを分担という形で研究を進めている訳で、本当にそのテーマが産業と結びついたバックグラウンドから、必要性があって出てきたものではないというふうに考えられる節が随分ありました。現在の中国の回収型衛星で行われております実験についても、電源は極めて良くないと考えられます。

話は飛びますが、中国は長征ロケットを使って、回収衛星を安く打ち上げできるということで、ここ数年、大変売り込みが激しくありましたが、電源が十分ではありませんでした。この点については、ドイツのインツースペースというベンチャー

会社が、電源の部分は担当するというので、ドイツが窓口になって中国と組んで、衛星貸しのビジネスを展開しております。昨年、中国の衛星が一行方不明になったり、この間は打ち上げ直後に爆発事故がありまして、2回続けてトラブルが起きたために、インツースペースの電源がテスト未了といいたまいますか、不幸にも2回続けてだめになった状況です。

今、宇宙ステーションで使用する装置については、アメリカは、同じ装置を各国が積んでもしょうがないので、一つ良いものをつくって、国際共同で使おうじゃないかという提案をしている訳です。それでは、どこのを使ったら良いのかについての段になると深刻な問題が起きています。日本は日本のを使ってほしい。ドイツもドイツのを使ってくれ。アメリカもここは譲れない。アメリカの温度勾配炉を使ってやろうということを言っております。

そういうことで、国際協力が一番いいものをつくり、それを共同利用することが一番いいわけですが、現状としては、この三つの国が譲らないために、このままいくと三種類の温度勾配炉を搭載する状況になっております。私もこの仕事に関係した一人として、日本のものは一番いいと信じておりますので、誰がなんと言っても日本のものは降りてほしくないと思っています。困ったものだと思いますが、多分、今年から来年にかけて装置を絞り込むか、もう仕方がないということで3つの国がそれぞれこれを開発するか、そろそろ決めなければならない最後の時期が来ていると思います。

ちょっと余談になりますけれども、向井さんの乗ったIML-2の準備段階では、アメリカの研究者の中には、日本の温度勾配炉やドイツの温度勾配炉を使って実験をやりたいという研究者がたくさんいました。喉から手が出るほど、アメリカの研究者はそれを使いたかったのですが、NASAは政策的に、アメリカの温度勾配炉の開発がまだ終わっていないということで、日本のものも、ドイツのものも、対象から外してしまったのです。ですから、我々にとって一番、材料実験で興味のある装置が、IML-2には載せてもらえなかった、そうい

FMPTとIMLで行われた日本の微小重力実験

1. 微小重力と物質及び材料プロセッシング
 - ・熱対流とマラゴンニ対流
 - ・無容器処理
 - ・バイオテクノロジーへの応用
2. チャレンジャー号に搭載された実験装置
 - ・世界一をねらった温度勾配炉
 - ・難しかった音波浮遊炉
 - ・イメージ炉
3. 35件の実験テーマはどのように実施されたか
 - ・冷却水洩れのトラブル
 - ・フレキシブルなスケジュール
4. 主な実験内容とねらい
 - ・Si-As-Te アモルファス-阪大
 - ・PbSnTe 結晶-NTT
 - ・Pb-Bi 超電導合金-金材技研
5. IML (国際微小重力実験室)
 - NASAがフライトチャンスを提供、参加国が装置を提供
 - IML-1 有機金属結晶成長実験(1992)
 - IML-2 金属間化合物、化合物半導体、拡散現象(1994)

う経緯がございます。

ふわっと'92 (FMPT) と国際微小重力実験室 (IML) で行われた実験を、ざっと1枚のシートにまとめてみました。物質及び材料プロセッシングにおいて、固体を溶かすことは重要な手段の一つです。そこでは表面張力流が大切なテーマになっています。原料をるつぼに入れて、表面が表に出ていますと、表面では表面張力という力が働きます。表面張力は温度が高くなればなるほど弱くなります。るつぼの中で温度を上げていくときに、表面の場所によって温度が違いますと、温度の高いところから低いところへ、表面張力の弱いところから大きなところへ流れが生じます。これが表面張力流です。これが予想よりはるかに強く出て、宇宙空間で溶かした時、熱対流は止まるけれども、これによって結構流れが激しく起きて、それが結晶成長を邪魔します。特に半導体をつくる時には、必ずP型とかN型にするために、不純物をわずかに入れますが、入れた不純物が均一に散らないで縞模様ができます。ストリーションといいます。それがどうしても生じてしまうということが、

ヨーロッパの実験からも分かっていました。

今度の日本の実験においても、これによって実験が失敗した例があります。例えば金と銀の試料の面をピタッと合わせて、温度を上げて溶かします。溶けた金属の中に、どれぐらいお互いの原子が拡散するかについての実験が行われました。しかし、実験がうまくゆきませんでした。金と銀の棒をピタッと合わせて、るつぼの中におさめたはずなのですが、温度を上げていきますと、るつぼと試料の間にわずかの隙間ができてしまいました。例えばるつぼをカーボンでつくっておきますと、熱膨張係数が小さくて中の金属の方が大きいと、中の金属が膨れて、るつぼを壊してしまいますので、その辺、いい案配にしたいということで、少し隙間をあけて、目的の温度になった時にピタッと隙間がなくなるようにしたつもりですが、ほんのわずかの隙間があったらしいのです。ほんのわずかというのは、 $10\mu\text{m}$ 、 $1/100\text{mm}$ ぐらいの隙間が残って、そこの金属表面が出てしまっていて、そこでこの表面張力流が起きたために金と銀がかき回されてしまい、拡散定数が測れなかった訳です。そのようなたぐいのことがたくさんありました。

浮かした状態で溶かすことができれば、るつぼを使用しないので試料は汚れません。冷やしていく時に、るつぼの壁のところから核が生じて結晶化がここから始まります。ガラスを作る時には、この無容器処理というのは非常に重要な技術であります。特に赤外線に透明なガラスは、これからの光ファイバーの原料として大変いいと考えられております。このガラスの原料は、非常に化学反応性が高い元素を使用するために、るつぼの中で溶かすと純度が落ちてしまうというものです。そこで浮かしたまま溶かすことをやりたいのですけれども、なかなか位置をピタッと止めて加熱することが宇宙ではできなかったのです。それをピタッと止めるには、石英ガラスのチューブ中にクリプトンのような不活性ガスを入れて、音波を片側から入れて、反射板で反射させて適当な周波数にしますと、定常波とか定在波といわれる波になります。そこの音の圧力の低いところに試料がとまるような、そんな方法で位置をコントロールすることをやりましたが、温度をだんだん上げていきま

すと試料の周りのガスの温度も上がる。そうすると中の音速が変わりますから、音波のモードが変化します。その辺をフィードバックするようなことをやったんですけども、うまくピタッと止められないで、目的の1,300°Cの一手手前のところで試料は動いてしまったという訳です。

まあ、アメリカは1,000°Cぐらいでギブアップしているところを、日本はFMPTで1,250°Cまでの実験をやった訳ですが、もう一頑張りすればかなりいけるのではというところにきております。

宇宙材料実験の日本のライバルであるドイツはどうかといいますと、東ドイツ併合後、あらゆるところの研究開発予算は平均して3割カットと言われております。とにかくお金がないということです。それで、なかなか新しい装置の開発に手が出ないということで、今、宇宙ステーションを考えた場合、この辺の分野で、一番いい装置を近い将来つくり得るのは日本ではないかという、そういう状況だと思えます。

それから、毛利さんのフライトの時に、冷却水が漏れるというような大きなトラブルがあって、スペースラブの中で修理をしております。実はこの他にも幾つかトラブルがありました。例えばイメージ炉という、光を集光して試料を溶かす電気炉の試料を回転させる軸が、途中でトルクが大きくなって止まるというトラブルがありました。原因は簡単でした。試料回転軸にはO-リングを入れて、シリコングリースが周りに塗ってある訳ですが、そのシリコングリースが半分乾燥して、フリクションが大きくなって止まったということでした。

これがなぜ起きたかといいますと、日本がNASAに実験装置をおさめてしまいますと、その後、宇宙開発事業団やそのコントラクターが行って、打ち上げ直前にチェックしなければいけない訳ですが、NASAが触らせてくれないのです。一旦安全試験をしたものはもう触るなというのです。もし触るならば、もう一度安全試験を繰り返す。この安全試験の経費が大変なので、日本の単年度の宇宙予算システムでは一度おさめたものを、打ち上げが延びたからといって、安全試験をやり直すなどということはそう簡単にできないわけです。日

本で設計した時には、最終試験から少なくとも2、3カ月のうちには上げることを前提でやっている訳ですが、ものによっては1年ぐらいエアコンの付いたほりのたたないところに保管されていて、パッキングの弾力性がなくなり、それが水漏れの原因になるとか、軸のフリクションが大きくなったというトラブルになったりする訳です。

向井さんの搭乗したIML-2では電気泳動装置による実験に大きな期待がかけられていました。これは生体物質の分離の装置で、スペースシャトル打ち上げの初期の頃、NASAがジョンソン・アンド・ジョンソンと組んで、医薬品の製造を目的として開発されたものでした。それが10回ぐらいのフライトを繰り返して実験を行った結果、最後にギブアップした訳ですが、最初の計画では、宇宙で分離したものを臨床試験まで持っていきたかったんですけども、打ち上げのスケジュールがどんどん遅れた結果、医薬品の開発のスケジュールと合わなくなってしまった訳です。

その後、日本とフランスが独自の電気泳動装置を開発しました。毛利さんのフライトの時に上げた装置では、分離をして出てきた溶液を紫外線を使って分析して、そのデータをまたフィードバックするという方式を採用しました。このようなディテクターをつけたのですが、そこのディテクターからとれたデータを地上に送る、そこのところにトラブルがあって、フィードバックをかけられなかったんです。毛利さんの時の実験は、満足できる結果が得られませんでした。実験テーマを提案したのは大阪大学の医学部の先生です。その後装置の改良を行い、IML-2に載せましたが、これもうまくいかなかったんです。

うまくいかなかった理由は何かといいますと、電気泳動装置をNASAに搬入して置いている間に、どこでどう入ったのか分からないのですが、冷却水のタンクの中に空気が入ったのです。空気が入りますと、圧力をかけて水を流す時に、気体がグーッと縮みますから圧力が上がらない訳です。そのために安全スイッチが働いて電源が止まってしまった。それで、向井さんはじめ宇宙飛行士が3人がかりで装置を外して、中の冷却水の泡を追いついて、それに成功した訳です。それで装置が

働くのでやれやれということで、ホッとしました。ところが、装置全体を外して冷却水の中の泡を抜くための作業をしているときに、試料を送るチューブのコネクターに逆に気泡が入ってしまった。それを3回ぐらい繰り返している内に、試料チャンパーの中にその泡が入って、電気泳動層の中に、直径1cmぐらいの気泡がへばりついてしまった。地上ならば浮力がありますから、泡はスッと上がっていきますけれども、無重力状態では泡がどうやっても動かなかった訳です。最後まで頑張ったけれど、泡を動かすことができなかった。電気泳動装置はこんなに大変不幸な歴史を持った装置であります。フランスは独特の電気泳動装置を開発して、IML-2に搭載しました。アメリカの一部の研究者は、日本の装置の方が良いというので、日本と組んだ訳です。NASAのマーシャル・フライトセンターの研究者が、フランスの装置にほれ込んで、その装置を使った実験をやろうとしたんですけれども、フランスの実験装置は、スイッチを入れたとたんヒューズが飛んでしまって使えませんでした。いろいろ調べたけれど、原因がわからない。帰ってきて調べたら、非常に簡単なトラブルだったんです。

電気泳動装置は呪われているとしか言いようがないようなことが、日本ばかりでなくアメリカ、フランスと続いておりますので、宇宙開発事業団の担当者は、電気泳動装置はもうこりごりだと言っておりますが、そうは言わないで最後まで頑張るべきではないかと考えております。

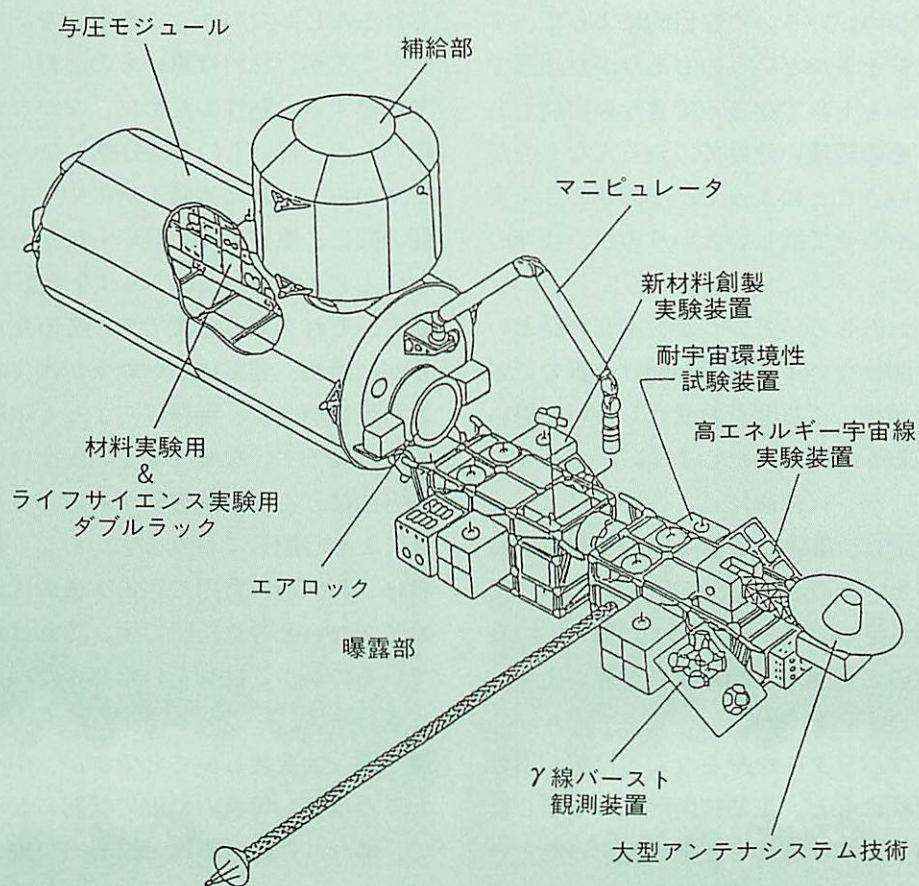
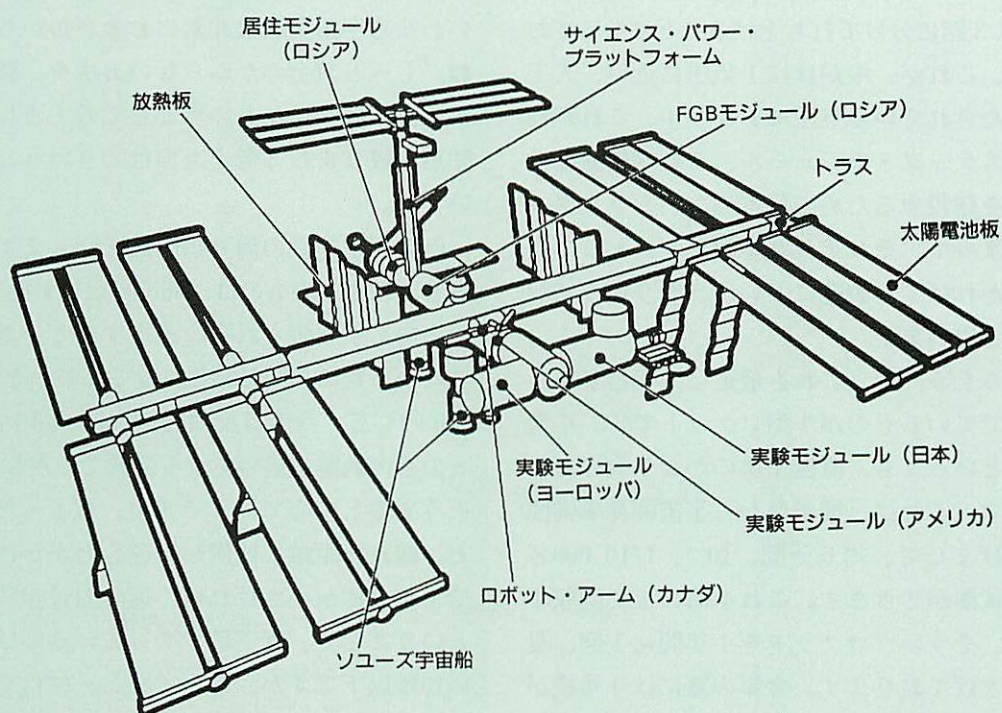
良くないことばかり述べましたが、かなり狙ったとおりのすばらしい結果が得られたもの、それから、ハプニングでおもしろい結果が得られたものもありました。最後に一つだけご紹介させていただきます。これはNTTの木下さんの実験ですけれども、鉛—錫—テルルという赤外センサー用の半導体の結晶をつくる実験だったんですが、その実験をやるときに木下さんは、試料に自由表面ができると表面張力流が起きてだめになるということをよく考えまして、カーボン製のカプセルの中に試料を入れて、窒化ホウ素という、大変反応性の少ないセラミックの材料で蓋をして、それをカーボンのスプリングで軽く押したんですが、そ

の押し方がちょっと強かったのか、熱膨張の加減かで、鉛—錫—テルルが蓋の隙間から、かなりの量が外に出てしまった。空中を漂いながら、仁丹の粒ぐらいのものから、大きいもので7、8mmの球が20何個、漂いながら固まってしまったんですね。それを後で取り出して調べたら、非常に結晶性の高い球状の単結晶ができていて、これは将来おもしろいものになりそうだということで、木下さんは、どうやったら球状の結晶ができるかというふうな考えを少し変更しまして、そういう実験を開始しております。

何せ提案から十数年たっているものですから、第一線の半導体の研究者が、こういう結晶が欲しいということを要求したのは十何年前です。それが今頃、できましたと持っていても、もう彼らの目は違うところに向いているという、そういう不幸が今ある訳です。ですから、その辺の時間差をなくすることができれば、宇宙実験はかなりいけるんじゃないか。そういう仕組みをこれからつくらなければいけない。それから、いい装置をつくらなければいけない。それを十分にやれる力を我々は持っていると確信しております。

最後に宇宙ステーションについて少し述べさせていただきます。毎年のようにスケジュールの変更が行われていますが、現在のところ2002年に運用が始まる宇宙ステーションは、もう何回も何回も形を変えております。昨年は、アメリカ議会で非常にすんなりと予算が通りました。これをいかに運用するのか。宇宙開発事業団のつくるモジュールはここについております。ここにロシアのものが新たに付け加えられるという、大きな変更があった訳です（次頁上図）。進行方向がこちらの方です。ですから、進行方向の前面に日本の、JEMと呼んでいる日本製のモジュールが取り付けられます（次頁下図）。この製作には、3,200億円かかるということであります。実物大のモックアップのモデルも既にできております。

JEMには日本独特の暴露部と呼んでいる、剥き出しの実験室が付属しております。ここにいろいろの材料実験装置を載せてほしいと希望しております。与圧モジュールの中で使えないような、例えばガスから電子材料をつくるような実験ができ



たら素晴らしいことです。

JEM は3回に分けて打ち上げることになっておりますが、これが、中がほぼ1気圧に近い、人工空気が満たされている与圧モジュール、これが物置のロジステック・モジュール、これが暴露部です。これを建設するための日本のコントラクターもほぼ決まって、それぞれ基本設計が終わって、ゴーがかかればすぐ製造にという、そういう状況にあるかと思います。

それからもう一つ、これも最近、大変目ざましい成果がでているものが小型ロケットです。小型ロケットといっても、直径1mのかなり大きなロケットです。これは、種子島から宇宙開発事業団が打ち上げて、約6分間、 10^{-4} 、 $1/10,000$ gの無重力状態ができます。これを海の上で回収するという、そういうロケットを1年間に1回、夏期に打ち上げております。今年の夏には4号機が上がる予定であります。

我々にとってというか、ユーザーにとって当面好ましい姿というのは、小規模でいいから数多い実験装置が欲しい。いろいろな目的によって、すべてスペースシャトルというのもありがた迷惑です。スペースシャトルでなきゃできない実験もありますので、その辺使い分けて、いろんなものが欲しい。そういうことによって、小回りのきく実験をたくさんやらせて欲しいというのが、我々の願いであります。

司 会 大変おもしろいというか、本音の話というか、他では聞けないような話が聞けた訳でございますが、休憩後、ご質問をお受けしたいと思っておりますのでよろしくお願いいたします。

(休憩)

司 会 それでは、非常に豊富な内容を短時間にまとめられるということは、とても大変なことで、先生はまだ話し足りないことが多いと思いますが、まず諸先生方のご質問から始めたいと思います。いかがでございましょうか。

窪 田 トップバッターをやるなんぞは気が引けるんですが、私はもと、工業技術院におりました窪田雅男と申します。もともと機械屋だったというのが本当であります。機械屋として、宇宙実験に非常に興味といたしますか、下手の横好きとい

いますか、そういうことでいろいろ考えました。いわゆる宇宙実験は非常にお金がかかるわけですね。もっとお金のかからない方法を、機械屋的にやる方法はないかということで考えまして、ない知恵を絞りまして考えたのはこういうことでございます。

例えば水平軸の周りに円筒を回します。そうすると、軸の上のものは、 360° 回転しますので、 360° の方向に引っ張られる。そうすると、重力のかからなかったのと同じ結果になるんじゃないだろうか。 360° 回して、今度は反対方向に 360° 回す。これは、8の字の軌跡を描いてやる装置でできるんですが、そうすると中心では0ですが、ちょっと離れますと、離れた距離に比例した遠心力がかけられる訳ですね。Rが小さければ、遠心力は非常に小さいということで、落下塔でやっているのは、せいぜい10秒以下ですか、あれですと、材料を加熱して冷却するということになりますと、あまり大きなものはできないだろう。ですから、それに準じた小さなものなら、今の方法で、無重力の環境をつくれるんじゃないか、こう考えた訳です。

ところが、材料は重いものと軽いものを混合して加熱する。粘性のために、なかなかそう簡単に重いものと軽いものとは分離しないんじゃないか。ですから、いわゆる落下塔の中でも、そう短い時間の間に、重いものと軽いものが分離することはないんじゃないかというふうな予想も立つんです。私も、それをある企業でやってみたんです。ところが、最初、非常にいい結果が出ましたが、どうも再現性がなく、現在はちょっと中絶の形になっているんです。なぜうまくいかないのか。こういう方法はどこかに間違いがあるんじゃないかということをお心配しております。もしこれがうまくいけば、わずかの費用で宇宙実験の代わりができるんじゃないと考えた訳です。これはどこが間違っているのか、ご批判をいただきたいということでございます。

澤 岡 大変難しいことですが、中心の軸に近いところほど、無重力に近い状態になるということで、離れれば離れるほど遠心力が働くと思いますが。

窪 田 いや、回転は早くしなくてもいいと思う

んです。ですから、ある速度で回しながら、それこそ、毎分数回転でもいいと思うんですが、回しながら加熱して、ある時間後に冷却する。そうすると無重力状態に近い状態の合金が得られやせんかというふうに予想したわけです。ところが、早く冷えた周りの固い部分は一緒に回りますが、中心がどろどろしますと、一緒に回ってくれないんじゃないか。ただ、粘性があるから、多少遅れるかもしれないけれど、一部回ってくれやせんかというふうに考えられる訳です。どういう条件でどういう回転数でやったらいいか、どういう材料を、どういう細かさに粉碎してやればいいのか、加熱冷却の速度、それをどうすればいいんだとか決めておりません。あるいはこの考え方に基本的に間違いがあるんじゃないかという心配がなきにしもあらずです。

アメリカで特許を出したら、非常におもしろいというので、弁理士から妙な記念品をもらったんです。別に弁理士から褒められてどうということはないんですが、あまりこれまでになかったことじゃないかと思うので、これでうまくいけば、非常に安上がりじゃないかなと思うんです。

澤 岡 基本的に誤りというのではないと思います。擬似無重力状態をつくる実験はここ数年ドイツで生物関係の研究者がやって、日本では、東京医科歯科大の佐藤教授が行っています。細胞の培養機を回転させます。細胞を調べる時は顕微鏡で見ぐらいですから、本当に狭いところでいいものですので、その場合、今のように回転させまして、中心のところにビデオカメラ付きの顕微鏡を付けてまして、それで観察しながら回転するという方法で、擬似無重力状態での細胞培養を行っています。

一つ、思いつきですから間違っているかも知れません。合金のように密度のかなり大きなものと、回転数がゆっくりならいいですけど、回転しますと、ジッとしようとする慣性力が大きいので、どうしても入れ物の回転に100%ついてこないと、そうすると、その境界のところの壁とのところで、粘性によって乱れが生じますので、そのあたりがちょっと心配があるかもしれません。例えば強力な磁界をかけますと、流れが押さえられる。その磁界も一緒に回転させると、そういう

失敗は少し減るような気もいたしました。先生のアイデアを初めて伺いまして感心しております。

窪 田 もう数年前に、取りあえず頭の体操で特許出願したものですから、それがアメリカとヨーロッパでも、一応成立しているんです。

澤 岡 欠点があるとすれば、より中心部に近いところはいいですが、それが直径1 cmまで使えるのか、2 cmまで使えるか、密度との影響もあると思うんですが。

窪 田 もう一つは、半径が大きいほど遠心力は大きいわけです。ですから、一種の傾斜機能といえますか、そういうものができやせんかというのをまた考えておりますが、また一つ、私は材料のことは何も分かりませんので……。

澤 岡 逆に遠心铸造みたいな方法で、傾斜材料を作る動きがありますが、今のお考えですと、積極的に重力のないところから、少しあるところを連続して見られるという意味で、非常におもしろいご提案かもしれないですね。無重力だけではなくて、人工重力場で材料をどう合成したら、プロセスしたらということは非常に重要なテーマだと思います。

窪 田 きょうは、笑い物になることを覚悟で。ありがとうございました。

司 会 どうもありがとうございました。どんなことでも結構でございます。先ほどタイトルにありまして、まだお話し足りないこともあるように思いますので、ご興味のおありの方。

鶴戸口 きょうは、大変目の覚めるようなお話を伺いまして非常に感謝しております。澤岡先生のおっしゃておられます人工衛星を使う無重力実験なり、あるいは微小重力実験よりは、よりちゃんとした発想なんですけど、昔の長い堅坑を利用して、その中をカプセルを自由落下させる。ただし、真空じゃございませんので、空気があるものですから、そのカプセルにジェットエンジンを付けてまして、ジェットで加速させまして、ほとんど自由落下させて、わずかな時間ですけれども、今、いろいろ実験をやろうとしておりますね。先生は、あれに対してあまり興味ないというか、どういうお感じでございましょうか。

澤 岡 実はこの5、6年の間に随分、短時間の

微小重力実験についての印象が変わりまして、かなり使えるというふうに最近は思っております。最初、そういう計画がなされたのは、科学技術庁のジオトピア計画の時でした。地底利用計画の一環で豎坑を使って落下させるという計画を立てまして、その時にいろいろ、こういう実験もできる、ああいう実験もできるということが検討されました。その後、通産省が、北海道にそういう施設を先につくってしまった訳です。北海道の施設をつくる段になりまして、おまえも手伝えというので、何かお手伝いしているうちに、本当に使いものになるのかということが半信半疑だったんですが、最近では相当に使えるよという印象をもっております。

特に今、考えておりますのは、金属の凝固です。金属を溶かして冷やす時に、るつぼの中で冷やしますと、壁に接しているところから核が生じて、素早く凝固します。固化する温度でほぼ同時に固まってくれますけど、浮いた状態ですと、過冷却で溶ける温度よりも200℃ぐらいまで下けなないと固まりません。ただし、10秒間で溶けたものを固まらせるためには、せいぜい仁丹の粒ぐらいの大きさが限度で、それ以上だと、芯のほうまで固まってくれないんです。

そうやってつくったものを見ますと、固まる温度よりも200℃ぐらい下で凝固が始まりますと、爆発的にパッと固まってくれるんですが、その時の金属組織が、普通固めたものと全然違うものがあります。どういう組み合わせの何がおもしろいかというのは、実はまだ、こうやってこういう組織ができたなら、すごく強度が上がるとか、電気的にはこうだとかいう、理論のようなものはほとんどないんです。トライ・アンド・エラーでやらなきゃいけない。ただ、数やると、時々ものすごくおもしろいものが出るので、いろいろな可能性があります。ただ、1回200万円かけて落としてコツコツやってもとても合わないので、仁丹ぐらいの粒であれば、1回の落下中に100個ぐらいできる装置をつくることは可能です。そうすると、10回落とせば1,000個ですから、それで3個おもしろいものが見つかれば、これはすごい結果になるというので、そんな装置をつくったらどうかという

ことを、今まじめに考えております。結構おもしろいことができるんじゃないかと思っております。

鶴戸口 その施設は、北海道にあるんですが、例えば金魚鉢みたいな中に金魚を入れて、スーッと自由落下させてビデオを撮っているんですね。

澤 岡 そうですね。ビデオを入れましてネズミがどうなるかとか、メダカとか、いろんな映像を撮って、動物を研究している人は大変おもしろいとおっしゃっています。

水 澤 日本電気の水澤でございます。実は先生のお話で、レジュメの一番最後、最大の投資効果を得るためというところが時間切れで、ここをぜひお聞かせいただきたいと思います。

澤 岡 ここのあたりの質問が出ないで、時間切れで逃げだすと、実は一番よかったと思っていました。かつて宇宙材料実験というのは、宇宙で新しいものを生み出して、そして宇宙工場をつくって製造する場である、そういうシナリオが主流でした。宇宙ステーションは何のためにつくのかということに対して、宇宙開発委員会や政府関係の報告書にも、初期のころは、そう書かれていたと思います。

ところが、この10年間にいろいろなことが行われた結果、思ったほど宇宙に行くコストは安くないことが明らかになりました。そこで、例えば化合物半導体をつくったにしても、かつてガリウム—砒素結晶が18何十万円という時代がありましたが、どんどん値が下がる一方で、宇宙というのは量産をする場ではないという認識は、最近一致してきたように思います。

それで、宇宙はどういう場かといいますと、発見をする場だということに認識が変わってきたと思います。例えば先ほどから例に何度も出しております化合物半導体は、単純なガリウム・砒素が進歩してきますと、それにインジウムとか、アルミニウムとか、いろんな元素を4つも5つも加えたようなものが最近研究されております。そうすることによって、レーザーとしての性能とか、いろいろ期待されるものがある訳ですけども、そういう複雑な系になればなるほど、元素を均一に混ぜて結晶化するというのはほとんど不可能に近い。どうしても分かれてしまう。1cmぐらいの結

晶をつくりますと、つくりはじめと最後のほうで、成分もすっかり違ったようなものしか現実にはできません。組成がどんどん複雑化していく傾向がありますが、難しくなっている訳です。

宇宙で10時間ぐらいかけますと10mm程度の均一な結晶をつくることができます。このようにして良質の結晶をつくって、それを地上で調べることによって、理論的に考えた性能が出るか出ないか、理論を少し変える必要があるかという、モデル材料として、そういうものをつくる場として、宇宙は非常にいい場だと思います。

難しいですけれども、宇宙製の理想的なものができたら、これをまねて地上で量産をするアプローチの仕方があると思うんです。地上の場において、そういうお手本をものまねして、違う方法でつくることができると思います。現実こんないいものができたというモデルがあれば、かなり早くそこに近づけると思います。最近、物質特許がアメリカと日本との間で厳しい摩擦のもとになっております。早くいい性能のものをつくって、その分野を特許化することも重要だと思います。そういう意味で、モデルを早くつくってみせる。それを地上で、同じようなものをつくってみせるかというところが腕だと思います。この二つの技術というか、知恵があれば、宇宙製造は十分生きてくると思うのですが、片方だけではだめだと思います。そういう面で、日本はものまねが得意と言われたことを逆手にとって、この際、メイド・イン・スペースのものを地上でもものまねする、そういうところで、次に力を発揮すれば一つの投資効果は出てくると思います。

それからもう一つ大事な点は、日本は力を持ってきたらそれなりの貫禄を示さなきゃいけないという意味で、宇宙ステーションの日本の宇宙実験室を国際的に開放して、国際共同研究の形で大いに使ってもらおうということが、日本をいろんな意味で国際パートナーとして認知させる上で必要であると思います。そういう点で、日本の将来に非常に重要な、一種のセキュリティだと思います。こういう仕事というのは、世界に対するこのような貢献を幾らに換算したらいいかわからないけれども、それはきっと、そろばん勘定に合うもので

はないかと思います。

司 会 後でお配りいただきましたこの黒田さんの論文でございますけれども、これは、実は水澤さんをお持ちになって配られたものでございます。私も黒田さんはよく存じ上げておりますが、これの配付につきまして一言、何かおっしゃっていただければと思います。

水 澤 これを書こうという動機は、先生が最後におっしゃるように、投資効果のうちの二番目、そういうことを実現しようとした時に、何がネックになるだろうかという議論から始めました。科学技術庁、通産省、文部省、それぞれが独立しているところでして、要するに非常に息の長い、10年から30年ぐらいかけないと一つの目的が成就しないような長い研究をするのにもかかわらず、省庁ばらばらに動いて行って、国としての一つの理念といいますか、方針というのが見当たりません。それを立てていただかなければいけない。

それから、例えば、現に今動いております北海道の落下施設などは、十二分に活用されているとは思えない。それに非常に高くつく。これは、最後の2番目を実現しようというような時に、例えば大学の方、外国の研究者の方、それぞれただ同然に使っていただくという施策がないと、施設は遊ぶ訳ですね。そういう意味で、国がもう少しそこを資金的にも、打って一丸となって運営することが必要だろうと思います。この際、先ほど先生がおっしゃた一番に加えて、そういう何か問題提起しようということで始めたわけでございます。ぜひ皆様方のご支援をいただいて、せめて今ある施設をもっと有効に使える、日本の立場を立てるというようなことを考えたいなと思ひまして、大変失礼だと思ひましたが配付させていただきました。

司 会 どうもありがとうございました。それでは、上砂川が少し遊んでいるんじゃないかということについては、先生から何か一言いかがでございますか。

澤 岡 使いたい人間がいらないわけではなくて、一般に筋のいいユーザーがたくさんいるんですけど、基礎研究に近いユーザーほど金がないという、そのところのギャップをどう埋めるかが問題だと

思うんです。最近、少しいい方向に行っているなと思いますのは、第3セクターの地下無重力実験センターを、経営上ほっておけないということで、例えば通産で大型プロジェクトの一環にこれを組み入れようということで、幾つか今度新しいプロジェクトがスタートするようなんです。ところが、通産省の研究所も、決して人手が多い訳ではなくて、そこにお金をドーンとつけて、さあ、使えと言っても、実験カプセルを一つ落とすために何日も準備して、10秒で終わっちゃう訳です。

それで、数だけはこなそうとすれば、どんどん使えるんですけど、ちゃんとデータを出そうとしたら、本当に1カ月間に一つのグループが10回も落としたら、もうへとへとなんです。そういうところに何十回分のお金をボーンとつける訳です。それで、さあ使えといっても、使いこなせない。

いい傾向というのは、北海道工業技術研究所が北大とか、室蘭工業大学とか、岩手大学に声をかけまして、カプセルの落下費用は出すから、その代わり交通費とか、ちょっとした装置は大学でつくるといって、チームワークが最近できてきています。それで、通産は名を取って大学は実を取るという格好で、少しフルに動く体制ができてきたので、かなりいい兆候が出てきていると思

います。

もう一つ、外国で使いたいところがたくさんあるんですけども、国際共同で、日本が落下の費用を負担してもいいところまでできているんですが、日本以上に彼らは旅費がないんですね。ですから、あご足つきで全部そこまで見てやれば、かなり利用価値が高まって、日本の名も高まると思いますので、今の予算の1割ぐらいでいいですから旅費も用意すれば、世界的なメッカになること間違いないと思うんですが、そういう最後の詰めのきめ細かさというのがお役所には足りないですね。それはやっぱりそれなりの理由はあると思うんです。

司 会 それでは時間がまいりましたので、私、司会者として一言だけ申し上げます。先生は何しろ、裏から表まで全部よくご存知で、きょうは、本音の話をだいぶんしておられますので、先生方皆さん、研究者でございますので、十分ご理解いただけたと思います。そういう意味で本音のお話の取扱いに十分ご注意いただけるとありがたいと思います。

きょうは大変貴重なお話をいただきまして、どうもありがとうございました。拍手をもって御礼申し上げます。（拍手）

1995年 4 月25日

編集 日本工学アカデミー
発行

〒100 東京都千代田区丸の内 1-5-1
新丸ビル 4-007

TEL : (03) 3211-2441 ~ 2

FAX : (03) 3211-2443