

# シンポジウム「ふたたび月へ」第2回

- 日本の月・惑星探査 -

## 目 次

1 . 開会挨拶	宇宙開発事業団	松井  弘	..... 1
2 . 基調講演	宇宙科学研究所	松尾 弘毅	..... 4
3 . 対談「日本の月探査」	宇宙科学研究所 宇宙開発事業団	秋葉鎌二郎 五代 富文	.....11
4 . 月の科学ラウンドテーブル	司会：国立天文台 出席：東京大学 茨城大学 地質調査所 宇宙科学研究所	唐牛  宏 佐々木 晶 坪井 昌人 富樫 茂子 藤原  顕	.....18
5 . 「バイオスフィア2」の経験について	President, Paragon SDC 紹介 宇宙科学研究所	Dr. Taber MacCallum 秋葉鎌二郎	.....32
6 . 月利用の可能性ラウンドテーブル	司会：宇宙開発事業団 出席：日本原子力研究所 国立天文台 地質調査所 通信総合研究所	石澤  弘 池田 佳隆 磯辺  三 古宇田亮一 富田二三彦	.....43
7 . パネルディスカッション	司会：宇宙科学研究所 パネリスト：宇宙開発事業団 科学館 総合プロデューサー NHK 漫画家 宇宙開発事業団	的川 泰宣 岩田  勉 三明 大蔵 高柳 雄一 松本 零士 向井 千秋	.....56
8 . 閉会挨拶	月惑星協会	斎藤 成文	.....75

## 講演者プロフィール

- 松尾弘毅 宇宙科学研究所教授。対外協力室室長。宇宙開発事業団非常勤理事。宇宙科学研究所が1996年9月に打上げを予定している次世代ロケットM-V型の開発主任。
- 唐牛 宏 天文台所属。現在ハワイ・マウナケア山頂に8m大型望遠鏡を建設する「すばるプロジェクト」を進行中。宇宙天文台の研究に関しても造詣が深い。
- 佐々木晶 東京大学地質学教室助教授。原始惑星の大気など星系や惑星の起源について研究を重ね、惑星地質にもその幅を広げる。現在は月の地殻構造、起源などについて研究中。
- 坪井昌人 天文学者。野辺山電波天文観測所を経て、現在、茨城大学助教授。
- 富樫茂子 通産省工業技術院地質調査所地殻化学部同位対地学課長。月の岩石・鉱物などの研究に従事。
- 藤原 顕 宇宙科学研究所助教授。小惑星どうしの衝突による惑星の生成など、小天体に関する研究を続ける中で、クレーター、月の起源などを中心とした月科学をも広く研究・検討対象とする。
- Dr. Taber MacCallum バイオスフィア2運営の責任を負うパラゴン・スペース・デベロップメント・コーポレーションの社長。自身もバイオスフィア2プロジェクトに参加し、2年間に亘って閉鎖された空間の中で空気や水の分析担当スタッフとして過ごす。様々な大学・企業などで非常に多岐に渡る分野について学び、またスキューバダイバー、イングリッシュスクールのインストラクター等の顔も持つ。
- 石澤・弘 宇宙開発事業団理事。宇宙開発事業団における月・惑星の探査、利用に関する研究のリーダーとして、21世紀初頭での実現を目標に月・惑星探査の構想作りを推進。94年度に宇宙開発委員会が実施した月探査に関する調査・研究において「月利用の可能性ワーキンググループ」の主査を務める。
- 池田佳隆 日本原子力研究所企画室で核融合計画室長代理を務める。専門は核融合実験、高温プラズマの加熱実験等のプラズマ関係。

- 磯辺・三 国立天文台助教授。当初、星の誕生、太陽系の誕生の環境を専門とし、現在は惑星空間の塵の研究等を進める。また小惑星衝突の影響、歴史、観測、対策等についても造詣が深い。
- 古宇田亮一 通商産業省工業技術院地質調査所の国際協力室で主任研究官を務める。鉱物資源部において資源の精密検査、評価研究を専門とし、資源リモートセンシングの研究を進める。
- 富田二三彦 郵政省通信総合研究所平磯宇宙環境センターの宇宙環境研究室室長。地球の超高層大気物理学、特にレーザーレーダーなどを使った観測等を専門とし、現在、宇宙気象予報プロジェクトに携わるほか、太陽フレア粒子の予測についても研究を続ける。
- 的川泰宣 宇宙科学研究所対外協力室教授。鹿児島宇宙空間観測所所長。専門は軌道工学、ロケット工学。「宇宙の語り部」と自称する通り、宇宙に関する著書は10冊以上にもものぼる。東京大学軟式テニス部の監督も務める。
- 岩田 勉 宇宙開発事業団において一貫して月探査・調査・開発のプロジェクトに携わってきた月のエキスパート。
- 三明大蔵 カナダ在住の科学館プロデューサー。カナダ・トロントのサイエンス・センター、アメリカ・ワシントンのスミソニアン・エア&スペース・ミュージアム等、いくつかの科学ミュージアムのプロデュース、アドバイザースタッフとして活躍中。
- 高柳雄一 NHK解説委員。プロデューサーとして「銀河宇宙オデッセイ」「スペースエイジ」等、数々の宇宙・自然科学の番組を手掛ける。
- 松本零士 「宇宙戦艦ヤマト」「銀河鉄道999」等で知られる漫画家。月を舞台にした作品も多い。また日本宇宙少年団の理事長も務める。
- 向井千秋 宇宙開発事業団宇宙飛行士。医師。昨年、スペースシャトルに乗り込み、日本人女性初の宇宙飛行士として「天女の舞」を披露したのは記憶に新しい。
- 齋藤成文 宇宙開発委員会前委員長代理。月惑星協会代表幹事。

# 1. 開会挨拶

宇宙開発事業団 松井 一

皆さん、おはようございます。宇宙開発事業団の松井でございます。本日のシンポジウム「ふたたび月へ」第2回の開催にあたりまして主催者の一人としてご挨拶申し上げたいと思います。

本日はご多用のところ、多数の皆様ご出席いただきまして、誠にありがとうございます。厚く御礼申し上げます。昨年の9月に第1回のシンポジウム「ふたたび月へ」を開催いたしましたところ、非常に多数の皆様にご参加をいただきました。そこで皆様から月に寄せる思いであるとか、科学的観点から見た月の意義、さらには人類の将来にとっての月の利用可能性等々につきまして活発な議論が展開され、非常に貴重なご意見をたまわったわけでございます。それを踏まえまして私ども宇宙開発事業団と宇宙科学研究所が相談いたしまして、やはり月への意識というものを、一過性のものではなくて、より永続的なものにしたい、さらに月の本格的な構想を確立することが必要ではないだろうか、特にその後の1年間の進捗状況についてもご報告する必要がある。ということで、第2回目のシンポジウムを開催した次第であります。

皆さんご存知の通り、昨年の7月でございますが、宇宙開発委員会におかれまして、長期ビジョンというものをまとめられたわけでございます。その長期ビジョンを、現在、政策大綱にすべく検討が進められているわけでございますけれど、長期ビジョンで非常に大きな問題のひとつとして「月への志向、月をどうするか」という問題があったわけでございます。その後、宇宙開発委員会におかれましては、月の探査に関する調査研究を委託調査なさいました。これは宇宙科学研究所の松尾教授が中心になりまして、日本の月に関する技術者、科学者にお集まりいただきまして、いろいろと進められたわけでございます。その中で1つのグループが「月の科学探査に関する調査」ということで、これは水谷先生が中心になってやられたわけです。もう1つが「月の利用可能性」といったテーマについて、これは宇宙開発事業団の石澤理事が主査になってまとめられたわけでございます。今日はその2つのラウンドテーブルがございますけれど、そこでの議論を皆様によくわかりいただけるのではないだろうか、なるべくそれを再現するようにしたいというふうに考えてございます。

それからプロジェクトにつきましてはご存知の通り宇宙科学研究所の「ルナA」でございますが、これが着々と進んでおります。これは月に3つのペネトレータを打ち込みまして、地震波の測定とか熱流動、そういった月の内部構造を知る、さらに月の起源であるとか、あるいは進化の過程、そういうものを解明しようという、日本の月の探査の時代の幕開けにふさわしい立派なプロジェクトでございます。平成9年の打上げに向け着々と進んでいると聞いています。また私ども宇宙開発事業団も、昨年の長期ビジョンの検討結果、それからこういったシンポジウム、そういったものの結果を受けまして、今年、月周回観測、それから着陸実験衛星の研究という形で、宇宙開発委員会に提案申しあげまして、それが認められました。現在、予算要求という話になっておりますけれど、認められた暁には、ぜひこれを宇宙科学研究所と密接な協力のもとに進めたいというふうに考えておるわ

けてございます。

世界的に見ますと、米国においても、皆さんご存知の通り「クレメンタイン」がミッションを終了したわけでもございまして、現在、データ解析を進めているというふう聞いております。それから「ディスカバリー計画」の一環としての「ルナ・プロスペクター」、それから月探査計画というものが進められていると聞いております。順調にいけば、再来年に探査機の打上げというふうになるようでございます。またヨーロッパでも「ホライズン2000」という中長期計画がございまして、この中に「モノ計画」が入ってございまして、さらに月探査計画を目的とする「レダ計画」がございまして、予算が認められたと聞いております。

私ども宇宙開発事業団におきましても、ご存知の通り約10年くらいになりますか、月の周回観測、ローバー、サンプルリターン、月面の拠点から月面の基地、そういった課題につきまして概念の検討とか、あるいは試験、あるいは技術開発等が進められているわけでもございます。一方、輸送系につきましてはご存知の通りH- が完成いたしました。これが出来上がりますと、約2トンの物が月へ持って行けることになるわけです。ご存知の通り、昨年2月に1号機、8月に2号機、今年の3月に3号機と打ち上げました。2号機につきましてはペイロードの「きく6号」が予定された円軌道に到達できなかったわけでもございますが、これは、ロケット側というより衛星側のアポジモーターの問題だったわけでもございます。ロケットのほうから見ますと、そういう意味で3機の試験機、すべて予定通りに軌道投入に成功したということで輸送系もほぼまとまりつつあるんじゃないかと思っております。ただ問題は、H- につきましては値段が高いということで、半分以下の値段でできるよう、新たなプロジェクトをスタートしようと思っております。

そういう意味で私どもも、そろそろ本格的な月探査の幕開けに必要な技術的基盤が整いつつあるのではないかと感じている次第であります。もちろん「きく6号」の失敗等もございましたから、やはり技術には謙虚でなければならないと、常にそういう気持ちを忘れずにやろうと思っておりますけれど、ほぼそういう時代になってきているのではないかとこのように思っている次第でございます。

同時に、本格的な月探査の幕開けとなりますと、もう一つ、大事なことは「なぜ我々は月を目指すのか」「なぜ月をやるか」、そうした月の意義というものがあるわけでもございます。これにつきまして、この場の皆さんとともに考えて確認するという作業がどうしても必要なのではないだろうかと思っております。もちろん、当然のことながら月の組成を知る、あるいは月の起源・進化を知る、いわゆる学術的研究の意義は当然あるわけでもございまして、そういうことをやることによりまして科学の知見を得られる、あるいは技術の知識が得られるといった波及効果は当然あると思っております。さらに最近では、ご存知の通り、よくいわれていますけれど「青少年の科学技術離れ」といわれておりまして、そういうものに対しても、こういったことをやることによりまして、人間の知的好奇心を刺激することによって「青少年の科学技術離れ」を防止するという一つの大きな役に立つのではないだろうかと考えているわけでもございますけれど、もう一つ、やはりいちばん大きな点は人類共通に抱えている問題だと思っております。つまり人口問題。人口の増殖に端を発するわけでもございますけれど、有限な地球、つまり資源問題、エネルギー問題、あるいは環境問題等々、いろいろな問題が出てきているわけでもございまして、そういう問題について、われわれは

有限の地球の中で賢く生きるのか、あるいは我々の活動領域を月・惑星にまで広げることによって、人間がこれからも永続的に繁栄するのかといった問題。大きな選択だと思えますけれど、そういった問題をわれわれ抱えているわけであります。私としては当然、後者の考えでございますけれど、これにつきましては多くの方々のコンセンサスが必要だということは論を待たないわけでございます。同時にわれわれ、宇宙をやっている人間にとりましては、こういった問題について技術的に可能性があるのかどうか、技術的フィデリティ、さらにできれば経済的・社会的フィデリティもまた提案する、示す義務があるのではないだろうか、そんなふうに思っているわけでございます。

そういった全人類問題でありますから、国際協力は当然となるわけでございます。国際協力といいましても、単に外国からいわれた協力に参加するというだけではなく、やはり日本が自ら主体的な構想を示して協力するということが望まれるわけございまして、やはりオールジャパン、私どもは宇宙科学研究所と協力をしているわけでございますけれど、宇宙科学研究所、私ども、さらにその他も含めまして、いろんな方々の日本全体としての協力構想、協力体制を作り上げることも大事かと思っております。

こういった問題が多々あるわけございまして、本日はプロジェクトだけではなくて、そういった問題につきましても、この場で皆さんにご意見をたまわればというふうに考えている次第でございます。また本日は、アメリカのスペース・デベロップメント・コーポレーションのマッカラン博士においでいただいております。マッカラン博士はご承知の通り、後ほど秋葉先生のほうからご紹介があると思えますけれど、これから人類が月でいろんな活動を展開するにあたりましての大事な知識、そういうものをいろいろ教えていただけるのではないかと期待しているわけでございます。

以上、本日のシンポジウムはいろいろと盛沢山なことを計画しておりますけれど、今日1日、「ふたたび月へ」第2回シンポジウムにおきまして、「月への思い」を皆さんに新たにさせていただきまして、今日1日、ゆっくり「月への意義」というものを考えていただく、そういう場にしていただくことを期待いたしまして、主催者の挨拶に替えたいと思いません。どうもありがとうございました。

## 2 . 基調講演

宇宙科学研究所 松尾弘毅

宇宙科学研究所の松尾でございます。前回、この基調講演を秋葉先生がなさしまして、その時の基調講演の最初は「基調講演は山野理事長にすべてされてしまいました」というところから始まって、私もかかることもあろうやと思ひまして、こういう台詞をいうつもりで上がってまいりましたら、その通りになりました。

「ふたたび月へ」のふたたびということでございまして、先ほど松井理事長のお話の中にありましたように、科学技術庁のほうから月探査に関する調査研究というものの委託を受けまして、私がお主査をやりました。具体的な中身については、このあと2つのラウンドテーブルが用意されておりますけれど、そこに入る前にイントロダクションをやるのが私の役割かと思っております。その並びからいいますと、それに近接したところで3番目に基調報告をやったほうがよろしかったのかも知れませんが、秋葉、五代、両先生の対談のあとでは基調どころではなくなる可能性がございまして、あえてこの順番を強硬に申し入れてこうさせていただきます。

それでは早速、最初のスライドをお願いいたします。

経緯は先ほどの松井理事長のお話の中にありましたので省略いたします。これは再々ご覧になっているかと思いますが、長期ヴィジョンの中から月に関するところを拾ってきたところでもあります。傍線が引いてあるように「月の探査は一過性の取組みでなく、計画的・段階的に進めていくこと」。それから「2000年代初頭以降、科学探査および月の利用可能性調査を目的として月周回観測や月面探査をはじめとした体系的な月探査を実施すべく云々」ということになっていきます。月への思いを一過性のものではなくて、持続させるためには、この印籠はしょっちゅうお目にかけることになると思ひます。われわれの現在の拠り所であると思っております。

私のイントロダクションの前のイントロダクションといたしまして、前回のレビュー、われわれの共通の理解はどういうものであったかということをおまづレビューしておきたいと思ひます。これは前回の目次でございます。遠すぎますから、あるいはお見づらいかと思ひますけれど、ここで前回のちょっとおさらいをしておきまして今回の話に入りたいと思ひます。最初に当時の山野理事長のお話がございまして「米欧とも苦しい中でも月探査を打ち出す形勢にある。それからH- の成功、『ひてん』の実績等、我が国も技術的基盤を確立しつつあるように思える」ということ。なぜ必要かということについては、先ほど松井理事長のお話にもございましたけれど「有限な地球にしがみついて運命をともにするのか、活動拡大して持続的な発展を目指すのか。この問題は当事者としては後者を選ぶ以外にはないけれど、広い国民のコンセンサスが必要だ」ということが、そこでは述べられたわけでありませう。

次に秋葉先生の基調講演は、南極とのアナロジーを引かれまして「アポロから25年経って、月で持続的な活動をするための技術の進歩が既に蓄積されたと思われる。人が行ける状況さえ作りさえすれば南極的な活動が展開される素地がある」とのお話でした。人が住める状態を無人で作るということがキーポイントであろうということで、このお話は後ほ

ど出てまいりますけれども、そこで、年1000億円で30年という数字をお示しになりまして、これは何とかならない数字ではなかろうというお話でした。ここではさらに国際協力についての原則ということをお示しになりまして、1から7まで、国際協力というのは響きが良いのですが、いろいろとそれともなう困難があるわけで、それを克服していくためには、こういう原則が必要であろうということでもあります。特にここで注目したいのは計画を途中で離脱する国または機関は、それまでの成果を主要国の1つに引き継ぎ、計画の続行を可能とするというところは非常に実際的な素晴らしい案だと思っております。国際協力にはなかなか難しい面がございまして「素晴らしい場合もある」というのが正しい言い方かと思えますけれど、こういう条項を入れていくことによって、時間は伸びるけれども計画が中断することなく行く道がたてられるという、たいへん素晴らしい原則だと思っております。そのかわり、権利を引き継ぐわけですから、その分の支出を覚悟しなければならないわけで、覚悟をともなった主体性というのが非常に大事なことだと思っております。

そのあとは、先ほどちょっとお話いたしました月面の有人基地を無人で作るというシナリオが続き、最初に川島先生がイントロダクションをおやりになりました。ここでは「何のためかということ」を短期的な考えで突き詰めると、どうしてもネガティブになってしまう。新しい流れを作り出すことが重要であって特にこの月のプロジェクトは宇宙への展開を飛躍的に安くする必要が当然出てくるので、月のみならず宇宙開発全体をリードするテーマであり得る」というお話がありました。

引き続き月面基地のシナリオの具体的な説明がありました。これは岩田さんのほうから「30年かけて無人システムによって有人システムを作る。規模としては最終的に常時6人滞在」というシナリオが示されたわけでありまして。これにつきましては引き続き大坪さんのほうから、居住地の構成についてのお話がありました。その中で先ほどご紹介がありましたアリゾナのバイオスフィア2についての引用もございましたし、大坪さんご自身、つい最近お葉書をいただきましたけれども、現在は環境科学技術研究所に移られまして、まさにこの道に専念されるようでございます。大坪さんのお話は幸い30年先ということのようなので、地道にこれを仕上げたいというところで話は終わっております。ご存命のうちに達成できるかは今後の摂生次第かと考えております。

それから引き続きまして天文台の海部さんと宇宙研の水谷さんから、サイエンスについての夢を語ったというのが次の構成になっております。ここは今日も触れますので措きまずけれど、ここでは具体的な手段というよりは、夢、可能性といったところに重点を置いて語られたというところでございます。海部先生からは「月からの天文観測」、水谷先生はいわゆる「月の科学」についてのお話がありました。

引き続き「有人宇宙活動の社会的意義」というお話がございまして、ここでは立花さんから「物が行くか人間が行くかでは共感の度合においてまったく違うものだ。宇宙全体を人間の活動圏として考えるようなものを、生来本質的に人類は持っているのであって、いまは生物が海から陸に上がろうとしている両生類の状態である。いつまでも宇宙両生類にとどまっていたはいけない」というお話がございました。

最後にパネルで、これはいろいろご意見が出たわけでありましてけれども、特に抜き出して申し上げますならば、秋山さんから「利益誘導のプロジェクトではない、これは。コロ

ンブスから500年経って、いまだに、コロンブスはどう騙したか知らないけれども、利益誘導でなければ海に出て行けないとすれば、これは誠に恥ずかしいことである」というお話があったのがたいへん印象に残っております。単純に好奇心の延長あるいは知的な資産を増やしていくためのプロジェクトということで推し進めることによって、こういう旗を掲げてプロセスを進めることによって、人間あるいは日本人の宇宙意識というものが拡大していくのではないかと、というご指摘がありました。

多少長々と要約をいたしましたけれど、今回はこのようなお話がございました。要約しますと、人類が月へ行くことは必然でありましょう。目先の実利にとらわれるべきではない。人類の永続的発展のため、知的な好奇心の追求のためにとらえるべきである。そのために、実現可能なステップとして有人のための無人基地の構築が提案なされたらと、非常に荒っぽく要約すると、このようなことだったかと思えます。

こういう状態も踏まえまして、今回、われわれがどういう検討をしたかということをお話いたしますと、多少、言葉の遊び的になりますけれども、人類が宇宙に出て行くのは本質的にそういう性向を持っていて必然であるといってしまうと、これは「必然ならば放っておいてもいい」ということになるわけでございます。目先の実利ということとは別に、やはり予見し得る可能性というものを予見したうえで、未知の可能性について何かを感じ取るということが重要ではないかと考えるわけであります。今回は、われわれの調査検討では、いかなる知的好奇心が満たされるのかということと科学のワーキンググループの名で検討したということとあります。一方、月探査というのは人類の永続的な繁栄に対して、いかに資する可能性を持っているのかということと、実利用の名のもとに検討したということになります。実利用というのはモラルなものも含めると適切な言葉かどうかわかりませんが、とりあえず実利用を使わせていただいたという経緯がございます。

カバーする期間は、これはまさに先ほどの有人の基地建設とも符号が合っておりますけれど、2000年から約30年の間というふうに考えました。これは先ほどの長期ヴィジョンでの体系的な無人月探査というところまで対応する期間であろうかと思っております。先ほどちょっと松井理事長のお話にもありましたけれども、現在NASDAとISASの間では、月の探査という計画が進んでおるわけでございますけれども、ある部分、われわれの検討と時期的に関りを持ってくる部分があると思われまます。ISASとNASDAの計画自体は未来研のこの検討結果を下敷きにするような性質のものではございませんけれども、この双方というのは比較的、予定調和的に上手く整合性が取れるのではないかと感じをしております。

最初は科学ミッション。科学ということでございますけれども、ここでは「月の科学」と「月からの科学」とに大別いたしました。もう一つ「オン・ザ・ムーン」というのがあるわけでございまして、これはかなりの部分有人のCELSSというところに包含される部分もありますが、それではいい切れない部分がありまして、それについては今回は必ずしも深く触れなかったという経緯がございます。ここでは月自身を研究対象とした「月の科学」と、月からの天文観測を行う「月からの科学」に大別して議論をいたしました。大きな流れといたしましては、2000年から30年間、端数5年がついておりますけれども、これはちょっと無視していただきまして、前半の部分については「月の科学」が主役になり、その間「月からの科学」は準備を重ねて、後半に入りますと「月の科学」は、ある種定常的な調査の状態に入り、一方「月からの科学」が主役となって、天文台の実際の活動が展開さ

れるのではないかというのが大筋でございます。

最初に「月の科学」のほうから申し上げますと、ここはもうご承知と思いますが、一応おさらいをいたしますと「月の起源は地球の起源と密接に関係しており、月を知ることは地球を知ることである。月の進化の程度は隕石や彗星といった始源天体と地球や火星のような進化した天体の中間にあり、複雑な進化をしていないぶん解明しやすいという利点がある。月の探査は地球のみならず太陽系全体の起源と進化の究明に重要な意義を持つ。アポロによる月探査の意義は大きかったが、科学的な目的のもとに始められたものではないこともあって、月の全体像を知るには程遠い状況にある。持ち帰った試料は月表面の5%をカバーするものであり、代表的なサンプルではないことが明らかになっている」と。

こういった状況がありまして第1フェーズにおいては「月の起源と進化の解明に最も重要な課題を選択してミッション化していくことになる、それが適当である」と。「世界的な趨勢からも、この時期に進化と起源に関する第一義的な重要なテーマは、恐らく得られるであろう」という見通しが述べられております。

それから第2フェーズにおいては「グローバルなものからリージョナルなものへと詳細化される」と、それは資源探査とか利用といった調査と並行した流れであろうということが見通しとして書かれているというわけでございます。実際はこれについて、さらに細かいどのような探査か、ということがあるわけですが、これはラウンドテーブルのほうにお任せいたしまして、全体の流れはこういうことでございます。

次は「月からの科学」でございますが、月の意義でございます「大気がないということ、それから安定したプラットフォームであるということ、天文観測にとってはたいへん魅力的な場所である。ただそこで注意しなくてはいけないのは、魅力がある一方、熱輻射とかダスト等、不利になりうる状況もある。これについては、なお予備的な検討が十分必要である」という注意が述べられております。ただし「こういう問題は解決されて十分な月面活動が展開された暁には天文観測の多くの分野で極めて大きな可能性が期待できる場所である」ということがいわれております。「月面では普通いわれておりますように、大口径のパラボラよりも長基線の干渉計によって高い分解能を実現するのが最もよろしいであろう。これによって宇宙の微細な構造が見えることによって宇宙像を塗り替える可能性がある」ということが指摘されております。

これは続きでございますが、「適地としては極地のクレーター内である」と。雑音の観点、温度の環境その他を勘案しますと、適地は極地のクレーター内であるといわれております。ここがもし適地だとすると、ここに行くには少し準備がかかるというところの1つの理由になっているわけでございます。こういった全体をもとに、第1フェーズ、先ほどと同じでございますが、第1フェーズでは「長期的な展望のもとに、月面天文台の建設のための調査・技術開発を行う時期であろう」ということでもあります。ただ、例えば相対VLBI、複数の電波源を置いて月面上の精密な位置決定を行なうといったようなことは、この時期にできる可能性があるということです。それから第2フェーズにおきましては、極地クレーターを、先ほどいいましたように「月面天文台のサイトとして開発することは第一の目標となろう」ということでございます。ここでいろんなことができるということが書かれてありまして、例えば太陽系外で惑星が形成される過程とかです、いま宇宙は構造を持っておるわけですが、それが構造を決定する発端となりました初期のゆらぎを精密に

調べることができるという、非常に魅力的なミッションが、ここではできる可能性があるということがいわれております。ただこのためには、最後のところですが「大規模な月面活動とインフラストラクチャーの存在が前提となる」と、ここに書かれてあります。これは天文の当事者のほうからも、こういった大きな流れが、研究者を離れても欲しいということの表れでもあります。謙虚さの表れということであるのかも知れません。

全体としては、たいへんオーソドックスな流れというものが示されておりました、たいへんオーソドックスではありますがけれども、我が国の科学者が自身の手で王道を示したというところに、たいへん意義がある検討結果ではないかと、そのように思っております。

次はもう一方の柱であります「月利用の可能性」であります。科学につきましては、ある種の流れというものがあつたわけで、詳細なシナリオまで取っておりませんが、一方この実利用のほうは、もう少し不確定な要素が多いということがありまして、ある種の流れとしてとらえることは困難で、現状では必ずしもなかなかうまくいかないわけですが、幅広く利用可能性の検討を行なったという恰好になっております。ですから、結果として出てくることは、科学の場合には段階を追って実現していくということになりますけれども、この実利用の方は段階を追ってその可能性を検討していくというような実現になるのではないかという気がいたしております。ここでいくつかにわけてやります。あとでお話が出てくると思いますので、ごく簡単に触れます。

最初はエネルギー利用ということでありまして、これは月面で発電をするということで、あわよくばそれを地球に送ってエネルギー問題の解決に役立てようという話であります。ここに1つ「ガラスの海」という面白い話が書かれてありまして、これはレゴリスを溶かして熱をそこに蓄えて、レゴリスの下に蓄熱器を作って、その熱を利用して昼夜をわかつたず発電しようという構想が、提案されております。100kWを14日間、夜間全部で与えるために、だいたい1000m<sup>3</sup>ぐらいは要ると、検討がなされております。月で必然的に必要となつてまいりますマイクロ波送電の可能性についても、ここで検討が行われております。ご存知の核融合炉、ヘリウム3の利用の可能性でございますが、これにつきましては現在の核融合の進捗状況と、それに対して多くのブレイクスルーが必要ではあるけれども、ヘリウム3というのはたいへん魅力的なものであるということが書かれてあります。

次は資源利用でございますけれども、月面での資源利用は月面活動そのものに依存することは非常に多々あるわけで、そちらに話が戻ってくる可能性があります。ただし月面での資源利用につきましては、資源のサーベイと、それがいかなる目的に使えるか、どういう形のプロセスにして、どういうふうに使えるかというような検討がここではされております。これは固有の意義を主張するというよりは、月面の利用での資源利用ということになりますと、いかなる目的で月面を利用するかということに非常に依存することになるかと思っております。それから月面外の資源利用として、ここでは月資源を推進剤として使うということに限って検討しております。これは月の物質を推進剤として使う場合に、月のものを月に近い所に運ぶ場合には明らかに優位性が認められているわけですが、コストという観点になると不確定要素が多く、いろいろなモードをサーベイしたというところでとどまっている状況であります。

次は環境監視でありまして、これもあとで磯部先生のほうからお話があると思いますが、いちばんは地球への小惑星・小天体の衝突の危機の回避というものであります。だいたい

1 kmくらいのものでありますとグローバルな破局が訪れる、500mでも十分結構なことになるといえることがございまして、ここではここに書いてありますようにNASAの「スペースワード計画」というものがあるそうなのですが、これは20年間で1 km以上の小惑星の99%以上を検出するという試みでありますけれど、これ1%残っていても十分であります、これに引っ掛からないものが当たっても、たいへん困るわけです。もうそれで非常に破局的なことが訪れるというわけでありまして、それを月面の観測状況の良さを利用して、早期発見する、早く見つければ見つけるほど処置が楽になるということで早期発見をするというアイデアでございます。これはほかのものとは性質が違ってございまして、この危険自体はクリア&プレゼント・デンジャーというふうなので、ちょっと立場が違うもののような問題だという気がいたします。

ここではインフラとしての通信システムについて主として扱われておりますけれども、月面での大電力、あるいはそこでの大きなアンテナの利用ということができれば、通信基地としての月の意義が十分に表れるであろうということが言及されております。

そのほかのことでは、(そのほかと申し上げては誠に失礼ですが)ここに書かれているような教育・芸術といったものに非常にインスピレーションを与えるであろうといったような可能性も指摘されてございまして、1つここでは書かれておりませんが、ESAのレポートが何かにアーカイブとして使ってはどうかという話があります。これは面白いなという気がいたしました。地球上の生物の進化とか人類文化の発展といったようなものを、そのアーカイブを月に作る。地球はケミカルなプロセッシングとか、大気とか水とかいろいろあって、そういうものが劣化していく、そういう記憶を永久に保存するには月がたいへん適しているのではないかという話が、これはたいへん面白い話ではないかという気がいたしました。

今回、検討したようなことは、このようなことございまして、個別についてはラウンドテーブルでお話があるかと思っております。今後の予定といたしましては、短期間でもございまして、ある種の流れはイメージできたものの、そのシナリオ化ということはできておりません。そのシナリオ化というものを今後、進めていきたいというふうに思っております。ものによっては、1年考えたからといって見通しが出るというわけではない性質のものも多々ありますけれども、その範囲の中で極力そのシナリオ化を進めていきたいと考えているわけでありまして。その中には先ほどいいましたように、その時点では必ずしも深く取り上げなかった「月面での科学」ということも、そこでは検討していくということになるかと思っております。

以上が私の話でございまして、先ほど多少冗談めかして「必然ならば放っておいてよい」といいましたけれども、必然だといたしましても、なぜ今かという問いに対して答える必要があると思っております。それにつきましては日本の相対的な経済状況ということもあろうかと思っておりますけれども、日本の宇宙開発の若さといったようなことは、H- の成功に見られるような勢いといったようなことは、私は、なぜ今かという問いに対する1つの答えではないかと思っております。例えば秋山さん、毛利さん、向井さんと続いた宇宙有人飛行に関する国民の関心の高さや、もう1つは残念な例でございまして、けれども、「きく6号」、私どもの「エキスプレス」と続いたわけでありまして、それに対する反響の大きさといったことも、これは国民の側での感性の若さといったようなものの所作ではない

かというように思います。先ほど私の話にありましたように、NASDA、ISASの間では、この場合のISASと申しますのは日本の大学での共同利用機関としてのISASでございますけれども、月探査に関しての共同の計画が始動しつつありますし、また世界中の宇宙機関、オーガニゼーションが集まって、月探査に関する情報交換をする場として「インターナショナル・ルナ・エクスプロレーション・ワーキング・グループ（ILEWG）」というものができましたけれども、そこで日本の水谷教授がチェアマンに選出されておまして、これも先ほどの長期ビジョンに見られる我が国の姿勢への期待の表れというふうにも思います。

最後に「夢に向かってのスタートは手垢がつかないうち」と申し上げて私の話を閉じさせていただきます。どうもありがとうございました。

### 3 . 対談「日本の月探査」

宇宙科学研究所 秋葉 鎌二郎

宇宙開発事業団 五代 富文

五代 対談といいながら、ばかに離れておりまして、こういうのを対談というのかどうかわかりませんが……。

いま、基調講演なみの松井理事長のお話と、比較的基調講演の松尾先生のお話、それからこのあとの科学のラウンドテーブルと利用の可能性のラウンドテーブル、これに挟まれて何を話したらいいか？ 対談というからこんなもんでいいかと判断いたしまして、だいたい30分程度、対談という形でさせていただこうと思います。

実はこの夏休み、私は2つの月の関係の映画を観ました。1つは皆さんよくご存知の、いま大ヒットしています「アポロ13」。あれは立花先生などが翻訳されたりしているので、皆さんよくご存知でしょうし実際にご覧になった方も多いと思います。あれは月とか宇宙関係以外の方も、というか、むしろそちらのほうがずっと多く見られている。有名なトム・ハンクスという俳優、彼は去年も一昨年もアカデミー主演男優賞を取りまして、これでもしかしたら3年連続取れるかという話もあって実はアベックがかなり多かったんですが、たいへんに感動させられました。ただ私はロケットの打上げを直接に担当しておりますので、実はちょっと観たくないところもありました。非常に悲劇に近いギリギリの線の映画でありますので。それでも、非常に評判の映画ですから、観ました。去年がアポロ11号から25年で、今年が13号からの25年ですね。そういう点で非常に意義があったと思います。もう1本、私、実は、秋葉先生は昔ご覧になったかどうかわかりませんが、ジョルジュ・メリエスという監督の「月世界旅行」。これはサイレントでありまして、12～13分ものです。ジュール・ヴェルヌの「月世界旅行」と、H・G・ウェルズの「月面着陸」を混ぜたようなもので、大砲からドンと打ち出して、5人のパリジャンですか、月世界へ行って宇宙人と遭って、また帰ってくるという実に楽しい映画でありました。宇宙、月面のいろんな科学的な意味とか利用の意味とかいろいろありますが、どうも映画ができてすぐ、ああいう映画ができたのは、そういうところに非常に楽しい原点があるんじゃないかと思うんです。

そこで、どうでしょうか？ 秋葉先生、なぜいま月探査かということについて皆さんから沢山話はあったんですが、そのへんのところどうなんでしょうか？

秋葉 五代さんがいわれたような「アポロ13」とか、昔の夢多き映画とか、確かにそういうドラマティックな側面は宇宙の魅力であります。私自身、そういう側面にひかれているというのは事実ではございますけれども、昨年「ふたたび月へ」ということをいい出したのは実は逆に、そういったものではなく、もっと地道にということを強調いたしました。アポロのようにではなく、アポロとは違ったやり方でやろうじゃないかと。そういう提案をしたのが、逆にいまアメリカ、ヨーロッパで大きな反響を呼んでいるという状況にきておると思うわけであります。昨年そういうことで、かなりわれわれとしては反響を呼んだ、手応えがあったなあということで、政策大綱を作っていくという段階に出て、大きな一歩

は出たのかなあという気はしたんですが、表立って見る限りは、どうもそのあと、火種が大きくなってんだかさくなってんだかわからないという点がちょっと不安であります。

今日、松尾先生が惑星協会のアクティビティを紹介していただいたのを、はじめて私ここで聞きました。松尾先生は私どもの研究所の先生ですから、いまここで聞くというのはおかしいと思われるかも知れませんが、私どもの研究所というのは世界でこういうことをやっている中で、いちばん小さい研究所でありまして、総勢300人、研究者の数が50~60人というわけです。ですから、松尾先生とは会うには会うんですが、週に2~3回、すれ違いざまに必要最小限の情報を交換するという会い方をしているわけでございまして。こういう話を聞くのは、実はここで初めて。これを聞きまして、確かにその火種が少しずつ燃え盛りつつあるというのを聞いて、たいへん心強く思いました。

それから、もう1つの火種は宇宙開発事業団と宇宙研の間の協力関係がスタートし、これもなかなか、急にパッと燃えてくるという話ではございません。ジワジワとそういう状況が作られてきているわけですが、アメリカのほうはたいへん反響が早うございまして、惑星協会というのがありまして、あれがこの話を聞きつけまして、前のJPL、ジェット・プロパルジョン・ラボラトリーというのがカリフォルニアにございまして、その所長さんが、副会長でしょうか、惑星協会というのがアメリカにございまして、プラネタリー・ソサエティー、日本のと名前は同じでございまして組織は大きい、国際組織、それを基盤といたしまして宇宙研と協力してワークショップをやるんじゃないかということで、8月の初旬に2日ばかりかけまして、ワークショップをやりまして。宇宙開発事業団の方たちにも来ていただきました。ということで、五代さんからの問い掛け、「なぜ月か」という点の議論も含めまして、サイエンス、それから利用していくという側面の展望といったものをみんなで集まって自由に意見交換をいたしました。その席上で私も似たような、いままでの経緯の説明をさせられたわけですが、やはり月に関して3つあります。「月の科学」、「月からの科学」それから「月面上での科学」。いままで「月の科学」という側面だけを見てこられた面がございまして、それが、どれだけの科学において比重があるかという面からのみ論じられていたという点がありましたのが、もう少し広い観点が出てきたというところで、これからの展望というのが別の観点からも出てきていると思うんですね。

そういうことで、じゃあ月まで行ってやると何がいいんだ？ 私、3つばかりそこで申し上げたように思います。1つは、月というのは非常に場所がハッキリしている。われわれが人工衛星を打ち上げても、直接目で見えるようなものは極めてわずかなわけですが、月はどこからでも見えるし、目で見ただけじゃなくて、ともかく月のある場所というのを精密に測定すれば月面上における物体の位置はわかるわけですね。そういう「位置」が月面上のアクティビティにおいては、わかりやすい。つまり普通の人工衛星ですと位置がハッキリわかるというだけで、かなりの工夫をしなくちゃいけないのが、その辺が地上における物体と同義に扱えるという点もたいへん大きなメリットということですね。それからもう1つは、宇宙空間では自由に物が向きを変えたりというメリットがある反面、いつも制御していないと同じところに止まっていてくれないという話があります。それが月面上では地上における同じように、シッカリとした基盤の上に置ける。姿勢とか場所の制御を必ずしも必要としていないという点も重要じゃないかなあということです。それからも

う1つは、月は資源があるという点。これがたいへん、他の宇宙空間のアクティビティに比べてメリットがあるんじゃないかと指摘いたしました。

いい点ばかりじゃなくて悪い点もいくつか言わなければならないわけですし、1つは月まで持って行くのは、たいへんコストがかかる。低軌道に持って行く質量の1/5~1/10くらいの質量しか月面に持って行けないという状況が1つあるわけですね。これが1つ不利ですし、それからもう1つは半月近い夜がある。その時、エネルギーをどうしてくれるのかと、その2つがある。ということで月面上の活動をする場合には、そういう不利を何とかほかの月面上にある利点を生かして補っていくという工夫が必要だし、それがあればそれなりの宇宙・月の利用の発展が見込まれるのではないかと、その席で指摘申し上げました。

これに対していろいろコメントしてくださいまして、先ほどいいましたように、アポロのようにではなくて、継続性をもって取り組むというのは、たいへん大きく評価してくださいまして、私が月面上の利点を生かして不利を補うべきであると申し上げましたのにもいろいろコメントがございまして、1つ印象に残ったのが、やっぱり月の極地の利用なんですね。先ほど、松尾さんがいわれましたように、極地のクレーターの中の低温を利用する。これは昔から聞いております。もう1つ指摘がありまして、面白いなと思ったのは、極地の辺りにはいつも昼の場所があるというんですね。年中、陽が当たっている場所があるというんです。だからいつも昼の場所と夜の場所があるという、たいへん面白い場所だということを知りまして、実はそこがどこかといいますと、ちゃんとクレメンタインで撮った綺麗な写真を持ってきてくれましてシューメーカーさんが見せてくれた写真の上で、これがその場所であるといっていたいておりました。

そんなことで、私たちそういう側面からいろいろ、こういうワークショップで議論をを戦わせていきますと、新しい知見がどんどん出てくる。こういう火種がだんだん大きくなっていく時期に現在きているんだ。そういう意味で月というのはタイムリーではないかと、そんなふうに考えているわけですね。

五代　そうですね。私自身キーワード的にいえば、いまや準備は整っていると、こういうふうに申し上げていいんじゃないかと思うんです。月の利点、欠点、その他の議論というのは、いま秋葉先生がおっしゃいましたし、これからも大いに検討されるわけですし。それから基本的には人類が宇宙へ出て行くことの第一歩でもありましようし。それからいろんなストーリーも未来工研がまとめているのもあるし、いろいろ皆さんの考えもありますけれど、基本的にはストーリーはできつつあるわけですね。少なくとも近いところのストーリーはできつつある。したがって、そういうような調整が整っている。それから技術的基盤が、私は非常に整ってきていると思うんですが、いままではどうしても、われわれ担当している者も、何となく自分で上手く進んでいない時は自己規制みたいなものがありますけども、いまはそれを乗り越える時期なんじゃないかな。実際に月探査の技術基盤としては、宇宙研さんの「ひてん」「はごろも」というのはもう何年も前で、いわゆる米ソに次いで世界で3番目の月のほうへのフライトをしたという、非常に画期的なわけでありまして、「ルナA」、会場にペネトレータも飾ってありますが、これも目前のプロジェクトになっているわけです。われわれ、いろんなロケット関係、衛星関係の技術がありますが、

その辺のまず「ひてん」「はごろも」「ルナA」というところで、月探査の技術基盤ほどの程度までできたか、あるいはできるか。それからその次に、どうあるべきかというのはどうでしょうか？

秋葉 それはむしろ五代さんのほうがよくご存知で、そちらでおっしゃることなのかも知れませんが、月の周辺をウロウロしたという意味では宇宙研がここんとこやっておりますので申し上げますと……。距離からいいますと、40万kmという距離ですか、静止衛星なんかの3万6000kmと比べますと10倍以上。たいへん遠いという印象は持たれますでしょうけれども、実はロケットの能力という点からいいますと、静止軌道に打ち上げる能力がありますと、火星、金星くらいの範囲まで行くロケットの能力と、ほとんど同じくらいのものなんです。ですから、静止衛星を打ち上げている事業団も当然そういったところへ、その規模の探査機を飛ばしていけるという状況にあるわけでありまして。

ただ火星、金星、月へ行くと、その側を通り抜けるところまではそんなもんなんです、さらに止まって天体の上に降ろすというところまでやりますと、またそこで、さらに能力がいる話になります。ということで、静止衛星軌道に行っている質量の何分の1かになってしまうというような輸送能力しかないわけですね。

しかし一方、小さい質量でも人間は別です。人間の重さは、どちらかというとなん年々、平均的には大きくなっていくというようなこともございますけれど、観測機というのはどんどん軽くなって参りますので、無人の探査という面においては小さくなっていくわけです。その意味では年々、その能力も増えているというわけでありまして、特に「はごろも」というのは非常に小さな、手のひらに乗るような衛星です。そういう技術を結集したというようなものが、ここで試されたわけでありまして。将来、惑星探査を電子レンジくらいの大きさでやろうといったような話まであるくらいですから、いまの輸送能力ということに関しては、十分な技術基盤はできているんだと思います。それからもう一つは値段のことがございます。これはどちらかといいますと、五代さんのほうがいろいろお考えになっていると思いますが、どうでしょうか？

五代 ええ。宇宙開発事業団のほうでですね、技術基盤というんでしょうか、まず1番目に、この1年間で3機、H- ロケットを完全に成功させました。現在それを改良しようという計画が既にスタートしておりまして、これは1番目にコストを下げよう、半分以上にしようというのがございますし、それからそれをファミリー化して、5割増し、あるいは倍くらいの打上げ能力を持たせようということです。

コストを下げるということについてちょっとお話ししますと、宇宙開発の予算を非常に有効に使うと。もちろん宇宙開発の予算は、いま日本で2000億ですが、これを3000億、4000億にすると、それはわれわれも努力しますし、こういうことが望ましい方向ではありますが、それが増えなきゃ月探査はできないかということそうではない。そのために資金を有効に利用したいということで、輸送系というのはやっぱり、どうしてもお金が高いですから、それからまず下げましょう。こういう主旨で半分以上にする。同じように全部半分以上にすれば、同じ資金でもって倍のことができるわけです。いろんな多様なことができるだろう。その最初として実はH- の改良というのをしているわけです。そうしますとコストの

ほうでいいますと、お金がこちらのほうからもゆとりが出てくる可能性がありますし、能力的に言えば先ほどの話のように、2トンの静止衛星が月へ行くということとほぼ同じですし、その1/6くらいは月面に降りる。そのロビーの月面車というの、ゆうに降ろせるわけでありませぬ。

それ以外にももちろん、月探査にはいろんな技術がいりますが、事業団で1本の柱として地球観測衛星シリーズをやっております。3機ありますし、このあともずっとシリーズが続きます。もちろん地球のほうを眺めるセンサーと月を眺めるセンサーとは違いますから、そういう開発は必要であります、地球観測衛星技術というものは、月の観測技術の非常なベースとなっていると思っております。それからETS-、技術試験衛星 号というのも計画しておりますが、これは宇宙空間で無人でランデブードッキング、あるいはロボット技術の試験をするというの、着々と進んでおります。またインフラとしては宇宙科学研究所の臼田の大きなトラッキングのアンテナがございますが、それに事業団のほうはかなり大きなネットワークを持っています。もちろん世界との共同でネットワークというのは構成されるわけですが、そういうインフラも整っている。それから月探査というのは将来は当然、国際協力でしょうが、国際協力の非常に大きな例として、いま宇宙ステーション計画を進めている。

いろんなことを考えますと、月探査の周辺、基盤技術だけではなくて、いろんな絡みとかも整ってきているんじゃないかと、こう思っているわけです。

総合的・段階的で、一過性でなくて、継続的に進めていくというのは皆さん基本的には同じ考えだと思っております。あと私が考えるのは、先ほどH- のコストダウンの時に申しましたけれど、じゃあ月探査のお金をどこから持ってくるんだという話がありますが、日本の宇宙予算、少なくとも日本でまとめれば2000億あるわけです。いま、だいたいその10%を宇宙科学研究所で使って、いろんな多方面の宇宙科学を研究されておりますが、それと別に、いわゆる月・惑星というようなものに、10%くらい出すのは、とにかく資金の効率的な運用ということを図り、また資金・予算の増大をだんだん図っていく、これは段階的だと思っておりますが、周りの理解を得ながら進めていくということがあるとはできるんじゃないか。予算がないからなかなかスタートできないというのではなくて、私は、いまの段階でまずスタートするべきだし、できると思っておりますが、その辺、先生どうでしょうか？

秋葉 私は経済学者でも何でもございませぬが、やはり最近のいろいろな経済事情を関心を持って聞いておりますと、これからどういうところへお金を使っていくかということがたいへん大事だという議論から、科学技術への投資が少しずつ重視されてきたというのは、まさに正しい方向ではないかと思っております。その中の1つに、やはり月の探査という、月活動への人間の活動の展開というの、含めて考えていただくという、こういう予算というのは自然に出てくるのではないかなと思っております。

五代 非常に大きな公共投資的なこともあるでしょうし、人類の基盤に非常に関わることがだんだん理解されていけば、お金もいただけるんじゃないか。ただできることからやっていくということをしていかないと、お金がいただけたからスタートするというの

では、なかなかスタートできないかなと思っています。

月探査という非常に大きな問題は、国内ではもちろんオールジャパンでやるということで、したがってこういうシンポジウムも開かれています。実際に宇宙科学研究所さんが、先駆的に月の探査、さっきの「はごろも」、「ひてん」、「ルナA」というのをされますし、そのあとはできるだけ、オールジャパン体制でやるようにということで、実際にもいろんなシナリオ、あるいは宇宙科学研究所と宇宙開発事業団の話し合いとか、前向きに進めているわけです。

国際協力との関係は、先生はどのようにお考えでしょう？

秋葉 いま国内の体制というお話がございました。確かに体制を作って、人を、という順番もあるのかも知れませんが、やはりいちばん育ちにくいのは人の問題ですね。ですから、この辺で、たいへん大きな関心をいま呼びつつあるので、これから大きくなっていく、というわけで、予算が大きくなっていくのに合わせて、人が育っていくのを大いに期待するわけです。

一方、欧米、特にアメリカはアポロ計画の話では、そういった人の面では、現在豊富に持っておるという状況にあるわけですから、実質的な面としてそういう人たちの能力を活用していくということが国際協力のポイントになるんじゃないかなあという気がしているんですね。

五代 そうですね。月探査というのも宇宙ステーション計画に続いての平和的な国際共同事業の大きなサンプルになるのではないかと思います。いまステップを踏んでという中に有人を目指すけれど、それを無人で作っていくという1つのシナリオがあるんですが、やはり最終的、最終的というのもおかしいんですが、いまや宇宙飛行士も、秋山さん、事業団で毛利、向井、それからもうすぐ若田飛行士が飛びますし土井飛行士も飛ぶでしょう。さらに、ご存知のように次の宇宙飛行士の募集もしておるというわけで、日本の輸送系に乗っているわけではありませんが、着々と有人宇宙についても日本は経験を積み重ねて実績をあげておると思います。またJEM、宇宙ステーション計画というものがもうすぐ本格的になります。本格的な有人宇宙活動という時代ももうすぐだと思います。月探査もいずれはこの有人基地というものになるのは当然だと思います。地球人というのは宇宙人であり、宇宙というのはそういう意味では人間の活動領域だと。いままでどうしても、私たち輸送系をやっておりますと、貨物輸送だけしているわけですね。人工衛星とか探査機とか。人が乗る、乗って行くというのが当然その次にあるとわれわれ思っております。

月の魅力という、最初に映画の話からいたしましたが、あれは一過性のアポロと、それから人類のいちばんもとの夢の月世界旅行というようなことがあります。いよいよわれわれも月へ、本格的に月探査に向かって進む時期ではないかと思うんですが。最後に先生、そういう点から、何かひとつ、いかがでしょうか。

秋葉 おっしゃるように有人という段階までいけば、本当に多くの方の支持を得られると思うんです。大いに期待はしたいわけですが、先ほどアメリカから、ワークショップの際のお話ですが、確かにそういう面はあるけれど、有人ということで失敗をしたら、

この影響は致命的なものになるということを、非常に強くいわれたわけですね。その辺は確かにその通りで、まずは無人で、人が向こうへ行ってともかく生きていられるという状況を作ってから行くというのがやはり基本じゃないかなと思いますね。いずれにしても、そういうことで月へどんどん人が行けるという時代が、30年後にくるように、ぜひそうしていただきたいと念願しております。

五代　そうですね。われわれ、協力していい方向へ進めたいと思っております。

どうも今日はありがとうございました。

## 4. 月の科学ラウンドテーブル

司会：国立天文台	唐牛 宏
出席：東京大学	佐々木晶
茨城大学	坪井昌人
地質調査所	富樫茂子
宇宙科学研究所	藤原 顕

唐牛 ただいまご紹介に預かりました、国立天文台の唐牛です。早速ですが今日のこのラウンドテーブルにご出席の皆さんのご紹介をしたいと思います。

私から向かって、いちばん左手に宇宙科学研究所の藤原さん。月の科学の専門家で、特にクレーターの研究や月の起源に関する研究をしていらっしゃいます。

隣が通産省工業技術院地質調査所の富樫さんで、富樫さんは月の岩石とか鉱物とか、月のものにたいへん興味を持って、研究を進めておられる方です。

私の右隣が茨城大学の坪井さんで、坪井さんは私と同様、天文学者でして、野辺山の電波天文観測所で育って茨城大学に移っておられる、日本の天文学の若いリーダーです。

その向こうが東大の佐々木さんで、佐々木さんも月の地殻構造とか月の起源について研究を進めておられる専門家です。

このラウンドテーブルの司会を私が仰せつかったのには理由がございまして、先ほどの事業団の松井理事長からお話がありましたように、この間の宇宙開発委員会の指導で進めてきた月探査の調査研究には科学の部会がございまして、宇宙研の水谷さんと天文台の海部が主にリードしてきたんですけれど、この2人とも今日はどうしようもない事情があって欠席で、急遽、私がピンチヒッターという事情がございまして。

先ほどから松尾先生その他のお話にもありますように、今日のシンポジウムは、この間の月探査の調査研究、あるいはその前の長期ビジョンのお話を皆さんに返していった、今後の検討材料にするというようなバックグラウンドがあるように思われますけれども、私たち5人はそういう議論に参加していない人もいますし、ほとんど初対面の人もたくさんいますし、あまりとらわれずに、ざっくばらんに、ある意味では何が飛び出すかわからない危険もはらんでおりますけれども、そういう議論にするしかないんじゃないかと、また準備もたいへん不足しておりますので、想定問答その他、何もやっておりません。

それで、この間の調査研究その他の議論の中でいわれておりますことは、月の科学には2つあって、1つは「月そのものの科学」であると、もう1つは「月からの科学」ということで、これはいろいろ将来の可能性をはらんでおるんですけれど、現在は主に天文学、月面天文台を展開して、そこから天文学をするというのを「月からの科学」の主要なものと位置付けて、それ以外の月面での物理実験であるとか、月面での例えばバイオとかさまざまな研究的な活動は、ここでの検討の対象としていないという状況です。

先ほどのタイムテーブルにありましたように、フェイズ1、フェイズ2があって月からの科学は2030年。でもまだ具体的な調査、建設の可能性の検討とかいって、2030年というと、この中のかかりの人が月よりももっと遠くの世界へ行っちゃうことになるわけですが、したがって、そういうタイムテーブルにとらわれずに、われわれ、自分たちが何

をやりたいと思っているかというのを皆さんにお話していただければなあと思っております。

まず私自身が主に興味を持っております月面の天文学という話から少しさせていただきますが、1つはまず月の科学が十分なされて、そのうえで月面を利用した月面の天文学という順序は当然のことであろうと思います。われわれが例えば、私自身の話で恐縮ですけども、ハワイの山の上で望遠鏡を作るとなると、その土地も含めていくつかの候補についてサイトテストというものをやります。それはどういうものかということ、そこに簡単な機械を持ち込んで、気象条件であるとか、大気を通して観測した時にどういう星の像が得られるのか、あるいは地盤、地震の可能性その他について、現地へ行って泊まり込んで1年間、場合によっては数年間の調査をいたします。やはりそういうフェーズが月においても当然必要であるわけですし、それが月の科学を行なっている中で、同時並行的に、月の科学の中でいろんな知識が出てくるんじゃないかと思うわけです。

いままでの月に関するそういうことが全然ないかということ、これはかなりありまして、これはこの間の検討でもあまり紹介されておりましたけれども、主にアポロのデータをもとにして、NASAの依頼を受けたアメリカのニューメキシコ大学のグループが、月からの、いわゆる月面天文台のフィージビリティに関して突っ込んだ議論をしております。これがほとんど世界で唯一あるものなんですけれども、月のレゴリスの様子からどのような建築物、月面に根のはえた望遠鏡が建設可能であるか、その時の機械的構造はどうしたらいいか、0に近いけれども0ではない大気のようなものがあるわけですけども、太陽風がやってきてトラップされたものがどのような状況になってて天文学の観測に妨げがないとか、先ほどの松尾先生の基調講演にもありました長い基線を張った超長基の干渉計を組む時に、振動はどうなっているか、月震というのがありますけれども、これの影響がどうであるか。あるいはこれも先ほどの秋葉所長のお話にありましたが、環境、特に温度環境が夜だけのクレーターの中に行くとなんてなっているか、というような基本的な調査があります。これは非常に分厚い資料になってたくさん残っておりますけれども、その中でいわれていることは、繰り返しになりますが、月は、大きなシングルディッシュ、つまり大きな望遠鏡を構えるよりも、干渉計にして小さい、1mとか2m、光の場合だとそれを何kmというスパンに亘って干渉計を組むような極限の分解能を求めるのが、いちばんいいところで、これは月がそういう意味では観測の究極の場所ではないだろうかというふうな結論になっております。それから月の裏に行くと、太陽系の中でいちばん地球からプロテクトされた、低周波の電波観測にとって最適のところであるというふうな極めて面白いレポートの結論も出ております。

そういうわけで、電磁波の波長でいうと電波からX線にいたるまで、場合によっては重力波の探査ということに関する基本的なレポートが出ているわけですけども、これは見てみると、もちろんアポロをベースにしておりますので、何十人と出かけて行ってほとんど地上と同じように土木工事をして望遠鏡を作るというふうな基本的なプランになっておりますので、われわれの現在考えている「無人でどこまでできるのか」というスタンスとは全然違うわけですので、このことも今日の「月の科学」「月からの科学」の中で、月探査の調査研究の範囲から逸脱するかも知れませんが、科学をやるうえで、無人でどこまでできるのか、有人でどういういいことがあるのか、私個人としても皆さんにお話していた

だきたいなと思っております。

というわけで、いま天文学者も月に対する関心を、また持ち始めている。「また」というのは実を申しますと私は月を見離してからだいぶなりまして、これを地球物理学者と惑星科学者に明け渡してしまっていたわけですが、いまのような月面からの観測というものを考え出すと、また月そのものに単にプラットフォームとしてだけではなくて、月そのものの物理状態、生い立ち、進化ということに関する興味を、もう1回、持ち直す時期にきているんじゃないかというのが正直な印象です。

このような「月の科学」「月からの科学」ということをほとんどいっしょにしたようなというか、非常に初期の段階から考えているのが、これは国立天文台がいま提案して事業団と宇宙研の初期の協力で月に行く時のアイデアとして出している「ライフ」という、電波源を月面に何個か配置して地上から相対VLBIという手段でもって観測して、月の秤動という、月の形状が球形からズレているので太陽や地球の重力場でフラフラ動くのを観測しながら、月の内部の構造に対する理解を深めるという極めてユニークな観測を提案しております。このような観測をすることを、いまや天文学者も提案するようになったということで、大いに月の科学に対する興味をこれからもみんなで持っていきたいと思っております。

たぶん、この会場の参加者あるいは一般の方々においても、月に対する興味はもちろんさまざまある。ただし月の科学、月はいったい何なんだ、地球との関係あるいは太陽系の生成との関係でどういう面白いことがあるのかということ、まずお互いに議論することから始めるのがいちばんいいのではないかと考えているわけです。

それで早速ですが、月の科学の面白さ、自分としては月のどういうところが興味があってやりたいと思っていられるのか、藤原さんから、いかがでしょうか？

藤原 まず最初にお断りしておきたいんですが、唐牛さんから最初に月のプロであるかのようなご紹介を受けましたが、私自身、月について直接に研究したことは実はありません。むしろ小天体についての研究が現在のところ中心になっています。月については、ある意味ではアマチュア的観点から非常に興味を持っているわけです。そういう観点で少しお話をさせていただきたいと思えます。

月と申しましても、月そのもの、月がどうしてできたかということは、やはり基本的には解明すべき第一の問題であろうと思えます。ご存知と思いますが、月の成因としては、いくつかあるわけですね。ずっと昔には月は地球から分裂してできたという考え方、月ができる時に地球も同じような環境の中で同時にできあがって、お互いの周りを回るようになった、外から月がキャプチャーで入る、それから最近では火星サイズのものが地球にぶつかって、破片から月ができたというふうな説が非常に有力であると考えられているわけです。実はそういうもの、どれをとっても現在の月に関して得られているデータの拘束状況を全部満足しているというものはないわけです。アポロなんかで得られた観測条件、あるいは理論的な考察からの結果と矛盾するわけです。ですから月を本格的にやろうという場合には、この理論のどれであるかということ、やはり腰を据えて決着をつけるというくらいの考えでやる必要があると思っております。

地球よりたぶん、月のほうが簡単だと思うんですが、地球でさえ起源あるいは成り立ち

ということに関しては非常に時間と労力がかかっているわけですから、月の場合もたぶん非常に難しいと思うんですが、着実に一步一步、力を積み上げていって決着をつけるという心構えで考えていきたいと思っています。

月の科学でどういうことをやったらいいかということなんですが、私自身が重要と考えているのは、月の内部といいますか全体がどういうものであるか、全体がとういうものであるか、組成、構造、中身がとういうものであるかということが明らかになるということが必要になると思います。アポロで得られた結果というのは表面のごく僅かですし、しかも表面のごく限られた部分です。ですから全体的に、表面はもちろんのこと内部に関して十分な、グローバルな結果を出すということが非常に大事だと思います。内部を知るといいますと重要なのは、従来からいわれておりますように月の内部に鉄のコアがあるかという問題、それから放射性、つまりウランとかトリウムといった熱源がどれくらいあるのかを調べて、つまり地震波の研究と内部からの熱の放射の問題。もう1つ内部を知るための基本的な問題としては、地盤の問題があります。アポロで持ち帰られた岩石には、強い磁場を示すものが報告されております。そういうものがグローバルに、月全体としてとういうふうになっているかを調べることが大事じゃないかと考えます。

もう1つ表面に関していいますと、私、実はこれまで実験室で衝突の実験、つまり惑星ができあがる時には小さなダストから固体になって、微惑星と呼ばれる固体の粒子になる、天体になる。さらにそういうものが集積して惑星にまでできあがっていくんですが、そういう時はお互いのものが衝突してできあがっていくんですが、そういうことに関わる衝突の実験をやっていたもんですから、表面の衝突クレーターとかの問題に関しては非常に個人的に興味があります。月を見ますとクレーターがいっぱいあるわけで、そういうクレーターが時代とともにとういうふうにできあがっていったのかとういうのも、表面を調べるという意味では非常に大事であると考えています。

唐牛 どうもありがとうございます。佐々木さんもたぶん、起源論とういうか、いまの藤原さんのおっしゃったのと同じような興味をお持ちで別のアプローチをされていると思いますが、少しお願いできますか。

佐々木 順番がたぶんいちばん最後になると思って安心していたんで急にフラれてビビっているんですけども……。私は現在、地質学教室というところで惑星地質学とういうものに興味を持って学生さんといっしょに研究を始めているんですが、もともとは太陽系の起源とか原始惑星の大気などを研究する理論的な研究を行なっていました。アメリカにポスドクでいるうちに、アリゾナ大学にいたんですが、何となく少し洗脳されてしまいまして、惑星地質とういうのは面白い分野であるし、あまり日本でもやっていませんし、日本で探査をやっていく時には非常に重要な分野になると、なかば確信犯のように自分の興味もありましたけれど、とういう分野に入っていったわけです。

いま私が興味を持っていることとお話したいことが2つあって、1つは月の表面をもう1回見直すことは惑星地質の全体にとって重要であるとういうことと、もう1つは月の形成とかそのあとの進化に関わって月と地球の関係を考えることが重要であるとういうことです。

最初のほうなんですが、惑星の地質とういうと実際は地質とういうより地質と地形学をミッ

クスしたようなものなのですが、現在、アメリカ、ソ連が飛ばした探査機によって、月のほかに火星、金星、それと外惑星の氷衛星の表面の多く、彗星もあります、その表面の地形、あるいは場合によってはコンポジション、構成成分等についてもわかっています。まず多くの共通する特徴として多くの天体が隕石の衝突孔、クレーターで覆われている。皆さんご存知のように月の表面にはたくさんクレーターがあります。ほかの天体のクレーターの研究にとって、月のクレーターの研究は大きな基本になったわけです。ほかの天体に行ってみますと、そのほかにも褶曲でできた山地とか、あるいは断層、溶岩の流れ、あるいは溶岩で削り取ったチャンネルのような地形がたくさん見られるわけですが、よくよく戻って考えてみると、そういった地形のかなりの部分が月の海といった地域に見られています。現在もそういった地形の非常に高精度なデータは、月の一部で得られています。月といえども、ごく一部で数mの解像度、場合によってはアポロの宇宙飛行士が降りていますから、もっと高い解像度で直接のデータが取られていますけれど、全体のデータで平均で30m程度、場合によっては100mより悪い解像度でしか得られていません。もう一度ほかの天体の地形、恐らくほとんどの天体は20mより悪い解像度でしか得られていないんですけれど、そういった天体の地形を見直すうえで、月での研究というのはもう1回、見直されるべきだと私は思っています。

これは月の海の表面なのですが、上が表面の地形で、左下に書いてある長さが50kmです。下に書いてあるのはレーダーで地下の反射面を見るという手法を使って内部の反射面を見ているんですけれど、レーダーによって深さ1km、2kmのところ反射面があることがわかっています。その反射面が右側で褶曲でできた山地があるんですが、反射面が上がっています。その左側でちょうどラインがクレーターを横切っていますが、その下で乱れています。そのほかにもいくつかの断層とかで反射面が変化していることがわかります。こういった内部構造に関して情報が得られているのは、いまのところ月だけです。月についても、こういった電波のレーダーによる反射のデータは、ごく一部の測線にしか得られてなくて、全体としては得られていません。

先ほど藤原さんが内部構造、コアとか、その外側のマントル構造が重要だとおっしゃいましたけれど、それに加えてこの表層近くの構造、海の内部構造あるいはレーダーの波長によっては表面のレゴリスの厚さとかその性質までも、その情報を得ることができます。こういった構造は、惑星の地質にとって、月のみならず、ほかの天体の表面の地質の形成にとっても重要なインフォメーションを与えると私は考えています。それだけではなくて、月の表面で活動する時に、まずどこに降りたらいいか、どこにものを建てたらいいか、どこに地震計を置いたらいいか、そういったことに関しても、こういった月のベーシックな地質・地形というのは重要な情報になると思います。

もう1つは、月と地球との関係という大袈裟ですけど、先ほど藤原先生が月の起源論についていくつかいわれましたけれども、昔、月の研究といえば、月が地球に捕獲されてできたということで、軌道計算をちょっとやってみたことがあって、そこに大気ガス抵抗を入れたらどうなるかとか、計算をしてみたことがあるんですが、その起源論はいろいろあるんですが、いずれにしても形成直後の月は地球から非常に近いところに存在したはずなんです。現在、地球と月の距離はだいたい38万kmですけども、できた直後は4万km以下、地球の半径の数倍以下のところにあったはずなんです。空を見れば、現在の10倍大きい月

があるわけですね。日食とか月食も頻繁に、たぶん毎日のように起きたというのが40億年前か45億年前か、天文学者は非常に喜ぶかも知れませんが。そういう時代だったわけです。それだけ月と地球が近い。

じゃあ何で遠くなったかということ、それは月と地球との間で潮汐相互作用というものが働くわけです。潮汐力というのは海を盛り上げたり下げたりということで、ご存知だと思いますけれど、それと同じように固体の月と地球を、お互いの重力で変形させます。すると地球は自転していますから、常に同じところが出っ張っているわけにはいかなくて、その変形を戻そうと内部に摩擦が働きます。その結果、内部にエネルギーが発生して、もう1つは地球の自転の効果が月に渡されます。その結果、地球の自転速度は少し遅くなって月はだんだんだんだん遠くなっていきます。そういった効果が1つ重要なのは、長い地球の歴史の中で、1日の長さ、あるいは潮汐の大きさということは地球の表面の変化に重要な影響を及ぼしているはずなんですけど、地球が形成された直後、あるいは月が形成された直後に、月と地球が非常に近いところにあったとすると、その潮汐摩擦によって発するエネルギーが月と地球の内部で重要な加熱源になります。そうすると形成機構がどんな形であったにしても、初期の月の内部が地球との相互作用によってかなり溶かされていた可能性がある。その時には、ほかの内部加熱の機構と違まして潮汐の加熱というのは非常に地域的にアンバランスになる可能性がある。もしかすると月の海とか高地といった違いが、潮汐加熱あるいはそのあとの地球と月との関係で月の海、高地が現在の位置に、地球は常に海側しか見ていませんけれど、それがいつ固定されたのか、そういうことについてはけっこう興味を持っています。

そういうことを調べるためには1つは、藤原先生のいわれたような内部構造のデータをもちょっと集めて正確な非対称性を知るというのと、もう1つはこれから富樫先生が話されると思いますけれども、物質的に月でどういった火成活動が繰り返られていたかという情報がぜひ欲しいというのが私の意見です。

唐牛 どうもありがとうございました。富樫さんの番ですけれども、いまの地形よりもっと小さい岩石とか鉱物ということから月の全体像を探るといって進化や歴史にいたるといのは、どういう研究手法なのか、私の疑問はそこなんですけれども、お願いします。

富樫 いくつかOHPを用意してきましたので、それから喋ります。

夜の空を眺めていた時に、私たちが宇宙の一部であるという感慨にふけることがあるんですが、実際に私たちの、人間の身体を作っている元素、例えば炭素とか水素といった軽い元素はもちろんのこと、もっと重い鉄やコバルトのような元素は太陽系ができる前に合成されていたことがわかっています。そういった元素がいろいろな過程を経て太陽系を作り、そしてその一部として地球なり月があるわけです。私たちは元素とか物質……、岩石、鉱物、元素、同位体と書きましたが、手に持てるスケールから目に見えないスケールまで、物質から見た月とはどういうものかということに非常に興味を持っています。

月と地球には、たいへん似ている点と異なる点があります。月の起源と進化の解明は、月との比較によって太陽系の中の、この絵を見ている人間がいて、地球があって月があって星があるわけなんですけれど、その太陽系の生成の過程の中で、どういうふうに惑星ができ

てきたかということの解明の一步になるのが月の研究だと思っています。

これは月がどのような構造を持ち、それぞれの部分がどのような物質でできているか。上のほうに玄武岩と書いてありますが、肉眼で見た玄武岩と顕微鏡で見た鉱物がいろんな偏光で色が付いて見えています。鉱物単位、それから目に見えない元素の単位まで使ったという物質でできているかということですが、大きくわけまして、まず月の海を構成しているような玄武岩、それから月の地殻を構成していると考えられるノーライトとか斜長岩というものが、これまでの月の石の研究でわかっています。それよりも下に、かなりの部分はマントルがあるわけですが、これについては月のマントルの物質は私たちは手にしていないわけです。いったいこれが、月の大部分を占めるマントルとはどういうものであるのかということが、月の全体の組成を決める重要なことでもあります。さらに最初に藤原先生の話に出ました、下のほうに書いてありますが、中心核があるのかなのか、あるとしたらどんな組成のものであるのかということが、月の場合の物質と構造との関係で重要になってくると思います。

これまでのうちで、いちばん表層の玄武岩、特に海の玄武岩についてはかなりたくさんサンプルリターンがありましたので、月についてはかなりわかっているわけですが、それより特に月の裏側の大部分を占める高地、高いところについてはまだわからないことがたくさんあります。しかも高地の地殻は非常に多様性があることがわかっているんですが、そのことについてまだ多様性のごく一部しか私たちは見ていない。地殻の構成物質がどういう岩石でどういう鉱物でできているかを私たちはぜひ知りたいと思っています。

次にマントル、これはまだ手に入られていないわけですが、どうやって調べるかにはいくつか方法があります。1つは地球でやられている方法なんですが、何かの手段で深いところから飛び出してきたマントル物質を調べるという方法があります。1つ月の場合の可能性としては深いクレーターで掘り起こされたところに出てくる可能性があります。これを探る可能性というのは、ぜひやりたいことなんですが、できるかどうかは一か八かというところがあります。これよりもさらに間接的ではありますが、確実な方法としてマントルの組成を知る方法があります。幸いに地表に出てきたマグマ、ここでいえば玄武岩ですが、マグマというのはマントルの一部が溶けて出てきたということになりますから、玄武岩を調べることによって、さらにもとの物質がどういうものであったかを推測することができます。そういった手法を取りますと、マントル物質を直接手に取れないにしても、私たちは月のマントルの組成を知ることが可能となります。

中心核はますます手に入らないだろうと思いますが、鉄隕石との類似関係であるとか、マントルと中心核の間に元素がどのように分布されるかという研究を進めることで、ある程度の推測が可能になるということになると思います。

この図は元素がたくさん並べてありますが、左側にあるのが結晶に入りにくい元素、右側にあるのが結晶に入りやすい元素だと思ってください。縦軸が隕石との比較です。これは月と地球との似たようなでき方でできた玄武岩を比較してあります。そうしますと、隕石と濃度が同じ場合には1のところですが、それが対数で書かれています。月と地球は、かなり大胆にいくつか代表してしまってるんですが、ほかの岩石を取っても相対的な傾向はあまり変わりませんので。そうしますと、いちばん下に2つ印があるのが月2つですけども、これはいちばん左に4つ、セシウム、ルビジウム、カリウム、ナトリウムとあり

ますが、アルカリ元素に関していいますと月は明らかに地球の5倍～10倍くらい、アルカリが少ないことがわかっています。さらに隕石と比べると、その横に難揮発性元素といってバンと上がって平らになっていきますけれど、そのこの元素群と比べた場合、アルカリが明らかに乏しくなっている。だから月も地球も隕石に比べてアルカリが乏しいということは似ている。しかしよく比べると、その乏しさの具合は月と地球とで違っている。実はこれは、マグマができたあとのプロセスでは説明できない現象で、月の原料物質あるいは月の起源に関わる重大な事実であります。この部分についての説明が必要だと思えます。それから右側のほうに書きました結晶に入りやすい元素。これは主成分、主な岩石の主成分になるような元素が多いんですが、これについては月なり地球なりができてから、そのあとのような進化をしてきたかという情報を持って、ガタガタしていますけれど、ある元素が多くなって、ある元素は少なくなるといったことがあります。いろいろガタガタとジグザグになっている部分が、いったい何で1つ1つどういう結晶がどのように拳動するとどうなるかを調べることによって、月の進化について情報が得られる。

月の進化を考える場合に、詳しく説明しませんが、非常な関心事の1つは、月にはマグマオーシャンがあったと考えられていますが、いったいそのマグマオーシャンとはどんなものか。月が集積したあと、下の図にあるように表層からある部分までが全部ドロドロに溶けてしまったのか、あるいは一部溶けたものだけが表面に染み出してきたのか、そういった基本的な問題がいまのところわからないわけです。それを明らかにするのが、右側に書きましたけれど、現在の月の地殻なりマントルなりの構造とそれを構成する物質がどのようなものであるかを知ることによって、マグマオーシャンが、具体的にどのようなものであったか想像がつくのではないかと。

これは、ひとことでいうと、月の地殻の進化を考える時に重要なのは月の年代を知るという仕事で、これは年代測定でわかるわけですがけれども、右側に赤く書いたところ、地球の石はいくら年代測定しても石としては40億年より若い石しか出てきません。40億年と46億年の間の岩石が空白になっているわけですがけれども、月には、特に高地にはその部分の年代を示す岩石がいくつも見出されていますので、太陽系ができてから数億年の間に何が起こったのかを知るためにも、月は非常に重要であると。

いままでのアポロを中心とした探査で、物質に関してどれだけわかってきたかということとは、何度もいわれいますが、色が付けてあるところは線の測定……どっちだったかな、忘れてしまいましたけれど、リモートセンシングによって組成がわかっているところのデータです。左側に、小さくてわかりにくいかも知れませんが、点々とあるのが、これまでのランディングサイトですが、これを見て明かなのは表側にしかないということと、表側の海にほとんどが集中しているということで、裏側はほとんど私たちは何も手にしていないということがわかると思えます。

以上、物質から見て月はまだまだ未踏の課題であると。これからぜひ取り組むべきであると。以上です。

唐牛 どうもありがとうございました。坪井さん、どうしましょう。この話をもう少し続けるか。一応、何をやりたいかいつてしまいますか。それから、特に月のどういうこと、形状とか観測のためにこういうことを知りたいということも交えて、ちょっとお願いしま

す。

坪井 茨城大学の坪井です。「月からの科学」という話は第2フェーズで、かなり先の話であるといわれていましたけれど、天体観測の場合だと、新しいデータを得る方法は、たぶん2つの進歩から行われると思います。1つは角度分解能を上げるという方法ですね。唐牛先生がおっしゃいましたが、干渉計を組んで非常に高い角度分解能を得るという話。もう1つは、超高感度な検出機を使って非常に淡いものをとらえるという面があると思います。

後者のほうは月面で大土木工事をしなくても実現可能だと、私は思っています。したがってこれで何ができるかという話で、私はこれで銀河のタマゴを見つけないかと考えています。私たちは、皆さんもそうですが、銀河の中に住んでいます。天の川という名前の銀河の中に住んでいます。これがわれわれの現在の宇宙の姿だと考えていただいていいと思います。ところが、もう30年くらい前になります、宇宙のどの方向を見ても同じ強さの電波がやってくるということがわかりました。宇宙背景放射といわれる電波なんです、これはどうも宇宙が大爆発によって開闢したことの証拠になっていると思います。したがってこのような大爆発を起こしたような混沌の状態から、何かしらの進化があって、いまのような秩序だった銀河の世界に宇宙は進化したと考えられるわけです。私が知りたいのは、どのように進化して銀河ができてきたかという過程なわけです。どうしたらそのような情報が得られるかといいますと、先ほどいいました宇宙背景放射の異方性、方向による強さの違い、揺らぎといってもいいでしょう、この揺らぎを正確に測ることによって、おそらくこの道筋がよくわかってくると思います。

もちろんこのような考え方は20年くらい前からありまして、アメリカの「COBE(コービー)」という名の衛星で1回測られました。地球を回る人工衛星だったんですが、それで出た結論によると、どうも揺らぎはあるということだったんです。しかし宇宙背景放射の揺らぎは何種類もありまして、残念ながら「コービー」が測ったものは、銀河ができた直接のもとになったものではなくて、もっと大きな銀河とは直接関係ない揺らぎだったわけです。私が知りたいのは、もう少し、といっても私の眼鏡を取った時の視力くらいで十分なんです、それくらいの角度分解能を持った観測機で宇宙背景放射の揺らぎを測り、直接銀河のもとになった、銀河のタマゴを見つけて、混沌から秩序ある銀河への進化の道筋の最初の部分を押さえるということをやってみたいと思います。

唐牛 どうもありがとうございました。皆さんそれぞれ、主にこういうことを理解したいというお話だったんですが、さて一歩突っ込んで、月に行ってどういう装置を置いて、どういう観測手段あるいはどういうサンプルリターンによってこれをやるのかというあたりに話を進めたいんですが。坪井さんからいきましょうか。観測装置はどういうところにどういうものを置いてというような構想はございますか。

坪井 先ほどもいいましたが、私がやりたいことは大土木工事は必要ないんですね。ただし、なるべくいい環境に置いて欲しい。いい環境というのは検出機が1か月の間、真上から太陽が照らされるという状況では、たぶん観測ができない。観測する時は、夜か、ある

いは月の極、そんなに極自体ではなく、極付近に月の自転を利用して、ある方向を向いた検出機をそこに置いて、月の自転を利用して宇宙、天空を掃いていくという方法で、十分に科学的データが得られると思います。大きさとしては科学的な部分では1トンは越えなくても十分に検出機を組むことはできると思います。

唐牛 ありがとうございます。天文学者は特に極のクレーターということを最近とみに注目して考えているわけですが、「月の科学」から見て、例えばエイトケンとかいう何千kmだかのクレーターがあって、その中は魔化不思議、よく知らない世界だといわれていますが、ここは特に「月の科学」から見て何か面白いことがあるんでしょうか、あるいは全然興味がないんでしょうか、皆さん。ぼく個人的にぜひうかがいたいんですけど、いかがでしょうか、富樫さん。

富樫 クレメンタインがリモートセンシングでイメージングスペクトロメータとかそういうのを使って、ある鉱物の組成であるとか、場合によっては科学組成が全月について情報が得られつつあるわけですが、その中で得られた成果の1つとして南極にあるエイトケンという大きなクレーターの中には、もしかするといま私がいきましたマントル物質、マグネシウムの非常に多い物質があるかも知れないということがいわれています。それからまた、クレーターの壁に玄武岩の層があるやに見える部分もありますので、クレーターの壁なりクレーターの掘り出したものは、月のものを知るという点からも非常に重要ではないかと思うんですが、佐々木さんも何か？

佐々木 物質的には、いま富樫さんがいわれた通りだと思います。実はエイトケンというクレーターはもっと小さいクレーターで、南極とエイトケンの間に直径を結んだような大きなクレーターということでサウスポール・エイトケンといわれているんですけども、だからまだ正式な名前は付いていないんですが、実際、クレメンタインのほかの高度計のデータで見ると、中心部では周りより15kmから16km低いんですね。サウスポール・エイトケンというのは、それだけ大きな凹地になっている。昔あった月の原地殻は完全に穴が開いて、もうマントルが露出してしまったと考えてもいいくらい大きな衝突だったと思います。そうしますと、表面の面つきはそのあとに落っこってきたクレーターでほとんど見えなくなっているんですが、ほかの証拠でも物質科学的に違うんじゃないかという証拠は確かに見られています。もう1つは、それだけ大きいクレーターなんで、しかも月がある程度固まりつつある時に起きたら、内部構造にもたぶん影響で出てきているだろうし、もしかすると月をうまく調べれば、大きな衝突があればちょうどその反対にも影響が出るという話があって、反対側を見ればサウスポール・エイトケンの影響が出ているじゃないかとか。そういった内部構造への影響に私はかなり興味がありますね。

唐牛 わかりました。皆さんの先ほどの話にもう1回帰らせていただきますけれども、どのような観測手段で、どのような方法でもって皆さんの興味に迫るのかということも、もう1回おうかがいしたいんですけど、藤原さん、いかがですか。

藤原 月ミッションって、いま考えられているのは、何回かたぶんやられると思うんですが、いま理学関係で議論されているのは、こないだうちから、佐々木さんも入っていらっしやったら富樫さんもいらっしやったんですが、どういうふうなミッションにしようかという話が議論されました。

1回で閉じるんじゃないくて、1回、2回、3回と段階を踏んで、全体として、ミッションとしてサイエンティフィックな意義があるようなものにしようという議論が進められています。1回目はリモートセンシング的なものを中心にして、いま富樫さんがおっしゃられましたけれども、アポロなんかでやられた部分は非常に僅かですし、サンプルリターンはそれにしても取ってきたらいいのだろうか、それからルナベース的なものを作るにしても、その基礎になるデータをしっかり取ってからやる必要があるということで、リモートセンシング的なものを中心に、あるいはランダーということもまた事業団さんのほうで考えられているようですが、そういうものをやろうと。

それから、その次になりますと、先ほど私が申し上げましたけれど、月の内部を調べるために、例えばペネトレータ、いま「ルナA」で考えられておりますけれど、そういうものをさらに何発か、裏側にも表側にも数を増やして打って、全体的なネットワークを作って内部を本格的に調べようというふうなこと。

その次になりますとサンプルリターンをやって仕上げようという計画が考えられています。

唐牛 わかりました、ありがとうございます。佐々木さん、その最初のフェーズの、オービターからいろいろ調べるということに関して、先ほどレーダーの話をされましたけれど、あれはかなり重要な方法だと理解してよろしいのでしょうか。われわれもレゴリスがどれくらいの厚さで、どこに装置を置いたら安定しているのかということについて、極めて興味があるんですけども。そういうリモートセンシングによって行われる調査は、どこに重点を置くべきか。

佐々木 私も月の探査に興味を持っていろいろと調べていくうちに、レーダーによる手法はかなり重要ではないかと思ったんです。これはアポロ17号の場合、3つの波長を使って行ったんですが、深さ3kmくらいまで染み透って反射面を見ることができて、浅いところでは例えば10m、20mの厚さのレゴリスを見ることができます。それは月の地質・地形にとって重要であるだけでなく、いまどこに物を設置しなければならないということもいいましたね。それは天文台にしても、われわれが考えていることは地震計は割りと安定したところに置きたいわけですね。そうすると地震計を置くのはどこがいいか、あるいはボーリングするにはどこがいいか。あるいは月の利用から話をすれば、ヘリウム3を取ってくるなんて話は、レゴリスが多ければ多いほどいいわけですから、そっちの時にはレゴリスが厚いところにいかなければいけない。そういった基本的な情報を与えるいちばん大きなものだと思います。

もう1つは、これはあんまり上手いかわからないんじゃないかという話もあるんですが、月の極地に氷があるという話があって、それを探る1つの手段があります。

もう1つは月の極地の部分というのは太陽の光が当たらないですから、天文台を置くと

かそういうことにとっては、いちばん重要な場所ですよ。そういうところの地形をハッキリ見るのは、レーダーの向きを少し斜めまで振れば、SARの方法で地形までわかりますから、内部構造だけではなくて地形あるいは高度を見る手段として重要ではないかと思います。

唐牛 アポロ17号では分解能がどれくらいで、こんど計画されているのは1桁とか2桁くらいのものを計画されているんですか？

佐々木 悪くても17号程度のものがあれば結構なことができると思います。分解能ということからいうと、これは波長によって違うんで何ともいえないんですが、だいたい電波の波長の10倍くらい染み込むという感じですね。結果から見ると、で、横の広がりなんですけど、1つのオービットだけで結果を見るのはかなり危険で、隣合ったオービットとの相関を見て、内部から反射してきたか表面の横っちょの場所から反射してきたのかというのを区別するためには、なるべく細かくオービットを取って観測する必要があります。

唐牛 ありがとうございます。富樫さんは、やっぱりサンプルリターンですか。そこがいちばん興味のあるところですか。

富樫 ただサンプルリターンというのは場所がいくつかに限られてしまうということがありますので、その前の段階としてリモートセンシングというのは、やっぱりやらなくてはいけないし、H- による最初のミッションが行くとして、それまでの間に世界的にも、ある程度リモートセンシングによる科学的あるいは鉱物的な情報は得られると思うんですね。そうすると次に目指すものとしては、次のサンプルリターンとの間を埋める、もっと、例えばいまの話題にあがったサウスポール・エイトケンの、ここの部分の組成をリモートセンシングで、いままでのリモートセンシングより精度を上げて、知りたい情報を得るといような段階というのが欲しいと思います。

それから実際にサンプルを取る段になっても方法は2つあるわけで、アポロのように有人で取るという方法と、いまNASAの方が一所懸命開発していますローバーを使うという方法があると思います。それぞれいいところと悪いところがあるわけですね。有人の場合はよく経験を積んだ地質学者が行けば、アポロ17号で実際に証明されているように、非常に短時間で重要なサンプルを選び出すことができるわけですが、人が行けるところには限りがあるわけで、そこを無人のローバーが延々と1000kmくらい走り回ってくれば、人間にはできないサンプルリターンもできると思います。

唐牛 はからずも有人・無人の話が出ましたけれども、サンプルリターンにとって有人というのは、無人ではどうしてもカバーしきれない大事なことも絶対あるんだということは富樫さんの確信ですね。

富樫 ただ、それは選択の問題でもあるので難しいところですね。

唐牛 坪井さんは天文観測の複雑な観測装置を持ち込んでいく時に、もちろんいまの検討のベースは無人であるということですが、将来的に長い基線を張るような、極めて調整がたいへんなものというのは、やはり有人でやりたくなるものではないでしょうか？

坪井 そうですね。やはり細かい調整が必要な、例えば光学干渉計のようなものは、観測する時は人なんて雑音以外の何物でもないのでもないほうがいいんですが、作る時はあったほうがいいと思いますね。降ろしてしまっていて、あそこのネジが緩んでこんなに悪いデータしか出ていないとか実験室ではこうやれば終わりのところができないというのは、非常に歯がゆい思いをします。お金の無駄遣いになるかも知れませんが、むしろやはり有人でという希望は、もちろん最終的にはあると思います。

唐牛 時間もそろそろ迫っておりますけれど、佐々木さん、藤原さんは有人・無人のことに関して何かご意見はありますか。

藤原 特になんかいいんですが、そうですね、月の科学ということだと、従来やられていたサイエンスを越えてさらに、最初にもいいましたけれど本格的な月の起源を明らかにするという意味で、かなり長期的に構える必要があると思います。サイエンスもサンプルリターンをするということだけでなく、現地でかなりのことが測定できるような、ある意味でサイエンスのルナベース、ラボラトリーのようなものを作っていくことも考えられるんじゃないかというふうに考えます。そうなってくると、いずれは有人というのも考え得るんじゃないかという気がします。

唐牛 佐々木さんは何か。

佐々木 先ほどはリモセンの話、レーダーの話をしてきましたが、表面の地質・地形あるいは構成成分のデータをしっかり得るためには、表面に行って活動することが不可欠で、私は有人の前には、ぜひローバーをなるべくくまなく回していただいて、なるべく多くのデータを細かい精度で取っていただきたい。できればそこで年代も測ったりとか、そういうことを無人でやっていただきたいんですが、究極的にはやはり有人で行って何かをするということが、特にここを調べるとかそういうことにとって重要なんじゃないかと思うんです。例えば海洋底の観測にしても無人のロボットによる観測はありますが、実際、深海底に人間が高耐圧の潜水艦を作って入って行って、そこでここ取ろうと思ってアームを伸ばしてサンプルを取ってきたりとか、実際、人が行って見ながらやるという操作をしているわけです。それは船の上から操作してできるかということ、やっぱり潜って行ってやるということは、一段いいことができるというふうに、みんな確信しています。同じことが月にもかなりいえるんじゃないかと思う。それだけではなくて、実際その場に人が行って何かを取ってくる、何かを調べるとかそういうことをやることによって、また夢が広がって次のことをやりたくなる。そういうことが絶対あるんじゃないかと思うんです。

ちょっと長くなりますが、月の科学をアメリカで推進していたジーン・シューメーカーの奥さんに話を聞いたことがあるんですが、何で彼があんなに興味を持って月をやったん

だという、奥さんは「それは自分で月に行きたかったから一所懸命やって、自分が最初の地質学者の宇宙飛行士になるつもりだった」と、そういう話をしていました。

唐牛 どうもありがとうございました。ちょうど1時間経ちましたけれど、私が簡単なまとめでこのラウンドテーブルを終わらせていただきます。

一応、簡単にまとめるとしたら、まずリモートセンシングから始めるというのが「月の科学」であろうと皆さん一致した考えで、現在のところ、少なくとも次のステップに行くだけの情報をまだ十分にわれわれは持っていないと。どこに地震計を置くのか、どこにラウンダーを降ろすのか、あるいはどこで将来的な基地を作るのか、地形、地下数kmの形状、天文観測の場合には温度の分布とかいうことも含めて、新しい「月の科学」への第一歩を日本が、これからもお話があると思うんですが、構築していけると、たいへん幸せだなあと思います。

有人・無人の話は、ちょっと私が仕掛けた格好になりましたけれども、将来的には大きな観測装置を作ったり、あるいは非常にインタラクティブな判断が必要とされることで、本当にインテリジェントなロボットでそういうことが全部できるかということ、いまのところそうでもない。やはり科学は人間が行ってやる必要があるんだという意見がかなり根強くあるので今回の意見であったと思います。

とりとめのない話になりましたが、特にまとめはそうでしたが、これで今日の最初のラウンドテーブルを終わらせていただきたいと思います。ありがとうございます。

## 5. 「バイオスフィア2」の経験について

President, Paragon SDC Dr. Taber MacCallum

紹介 宇宙科学研究所 秋葉 録二郎

秋葉（マッカラム氏の紹介）

宇宙研の秋葉でございます。マッカラムさんのご紹介ということでお引き受けしたんですが、実は私、マッカラムさんと前からの知り合いというわけではございません。たまたまこの4月に、この「バイオスフィア2」を見る機会に恵まれまして、その時にご案内いただいたというだけのご縁であります。紹介ということになると履歴書くらい送ってくださいとお願いしたところ、ここに送ってこられました。まずこれを見て、私、戸惑ってしまいましたのが、日本の履歴書と違っておりました、日本の履歴書だと上から順番にちょっと読めばご紹介になるんですが、まずはどこの大学を出てどうなさったということが、ほとんど触れられていません。これでユニバーシティを卒業したということを書いてあるのは、国際宇宙大学の卒業だと書いてございます。だいたいそのほかは、いろいろな専門事項につきまして、いろいろな大学の専修コースとか企業のいろいろな教育コースで学ばれてきたという、日本ではそういうことではなかなか人材が育たないようなところがございますので、それはまず日本では得難い方であろうと思います。

現在は、このプログラムにあったと思いますがパラゴン・スペース・デベロップメント・コーポレーションという会社の社長さんでございまして、この会社が現在バイオスフィア2の運用をしているというわけでありまして、建設は既に終わっておるわけですが、そのあとこれを使うといったようなことでアクティビティを続けているということでございます。この社長さんになられるにつきましては、それに先立ちまして本日ご講演の内容にありますように2年間の、この中での生活というのを過ごされたという点が特筆すべきご経歴であるわけです。

そのほか職歴というところを見ますと、スキューバダイビングの先生をやっておられる。それからもう1つは大阪にありますイングリッシュ・ワールドというバイリンガル・イングリッシュ・スクールのインストラクターもやっておられるということが職歴に書いてあります。このスキューバダイビング、趣味という以上のものございまして、深海探査船でしょうか、リサーチヴェssel・ヘラキュリトウスというのがあるそうですが、それが沈んじゃったのを引き上げて、いろいろな調査活動をやられているといったようなことございまして、このバイオスフィア2に興味を持たれたというのも、そういう深海の作業船のような閉じられた空間の中で、何人かの人間が一種の危険にさらされながらそこで仕事をしていくという点の類似性に惹かれて、バイオスフィア2という計画に参加したとおっしゃっています。

そういうことで、私、バイオスフィア2を見た時の感想は、とにかくこういうことはアメリカでなくてはできない計画だなあということを感じました。これは国がやった計画ではございませんで、1企業といいますか、1人の金持ちがこれに投資してやった計画だということで、非常に巨大な計画であります。こういう計画自体、アメリカでなくちゃできないということでもありますし、ここで2年間も過ごした、実験に参加された方々、この方

々、マッカラムさんを見るようにアメリカという土壌じゃなきゃ出てこない、そういう人たちによってなされた、たいへん魅力的な、われわれ日本人ではできないという意味でたいへん啓発的な仕事だというふうに思っております。

私ばかり喋っても何にもなりません。なるべくたくさんのお話をマッカラムさんに聞きたいと思います。バイリンガルで通訳もあるそうでございますけれど、英語学校の先生のお話ですので、英語そのものでお聞きになるという方もかなりおられていいんじゃないかと思えます。内容もともかくアメリカンスピリットに啓発されるということも、たいへん大きな意味じゃないかと思っております。

ご紹介を終わらせていただきます。

マッカラム氏の講演（日本語訳）

まずはじめに今回、私をお招きいただきまして、またご丁寧な私の紹介も兼ねて私の経歴などについてもお話しくださいました秋葉教授、そして宇宙開発事業団理事長の松井さま、ありがとうございます。

私、今回、日本に参りましてこのバイオスフィア2での体験のお話をさせていただきますのは、初めてのことになるわけですが、まず最初にこのプロジェクトの全容についてお話させていただこうと思えます。

こちらがバイオスフィア2の全容でございます。ここにいくつか白いドームがありますけれど、これらはチャンパーと呼ばれておりまして、空気の容量により収縮するダイヤフラム式のドームであります。そして農耕作業などを行なうエリア、そして人間の居留地区、アパート、ラボ、厨房設備等が含まれております。こちらは熱帯雨林、海洋、湿地帯、サバンナそしてゾーン・スクラブ、これはサバンナおよび砂漠地帯との中間領域、推移帯というわけです。人間居住地区、そして農作物の生産エリアが荒野に接続していきますが、分離させることもできます。こちらのホワイトドームですが、こちらは空気の温度の上下によりまして、その大きさが変化するので、我々は「肺(ラング)」と呼びました。

このような閉鎖型の生態系システムが最初に研究されましたのは1960年代当初のことでございます。これはグレア・フォルサム教授によって開発がなされたもので、私も参加しましたが、太平洋を基本にしたシステムで、意図的にシステムを混乱させて不安定なものにしようとしたのですが、すぐ安定してしまいました。これらの過去の経験というものが、このバイオスフィア2の建設、テストモジュールの計画段階から活かされているわけです。ここではリンダ・レイという人間が試験モジュールの中で3週間、生活した模様を写真に写しております。地球上と同じ生態系をこういったドームの中に再現して、そこで生きてみようとした。それがバイオスフィアでの目標でした。

試験段階ですが、このテストモジュールを使いましていろいろな試験が行われました。その間に我々は、ヴェネズエラあるいはフランス領ガイアナ、メキシコなどで植物を採集しました。それらをバイオスフィア2の中に移植していったわけであります。

こちらはバイオスフィア2の底の部分に使われるステンレススチール製のライナーです。約3/16インチほどの厚さで6XNステンレスです。バイオスフィア全体の底部分をつかさどっているのが、このステンレススチールです。

こちらがライナー部の縫い目です。ここでまず高圧下で水流試験を行ないまして水洩れ

について試験を行なったわけでありまして、そして床部分の工事から始まりまして、順次、先ほどもご覧いただきました植物や動物を各種属ごとに移植していったわけです。これは熱帯雨林を構築しようとしているところです。

こちらは湿地帯構成のためのブロックです。このようにブロック移送、すなわち湿地土壌というものをブロック化してバイオスフィア2内に移植していったわけです。この湿地帯の土壌はフロリダで採集されまして、トラックでアリゾナに移送いたしました。1つのプログラムは1m<sup>2</sup>です。

海洋部に関しても同じように珊瑚礁の採集を実際に行ない、ブロック化し、それらをブロックごとに移植するという方法を採用しました。前以て10%の海水を満たした海洋エリアをバイオスフィア2の中に作り、特別輸送用のシングルストラットのトラックを使って移送しました。そして次に、エリアを組立てた後にその上に構造物をつくり、クレーンを使用して順次1枚ずつガラスを張っていくという作業が行なわれたわけでありまして。

これは砂漠の熱の影響を受けない夜間に作業を行ないました。これも工事中の現場ですが、こちらは容積の変わるチャンパーです。これについては詳しく後ほど説明しますが、エネルギーセンターがここにありまして、エネルギーセンターでバイオスフィア2に必要なエネルギーが作られます。

これはトンネルです。このトンネルにおりまして、バイオスフィア2と容積可変性のチャンパーとがつながれているわけです。非常に重要なことは空気が収縮したり膨張したりしなければなりません。圧力が変わるあるいは湿度が変わる、温度が変わる、それに応じて空気の容量が変化できるようになっていなければなりません。この大きなパン(ナベ状のもの)はタンクの端と接続して、バイオスフィア2の下の部分とつながれていまして、大きな風船のような構造になっておりまして、温度や空気の圧力の変化にともなって収縮したり膨張したりします。ソーサーの真中にパンと呼ばれる部分がありますけれども、容積の変化にともなって上下に動きます。構造をおおっている膜が上のほうにありまして、外側と中側との間の圧力の差をコントロールできるようになっております。

我々は年間8%以下のリークレートを得ることができました。トレースガスを測定して、圧力をコントロールできたからです。もしこれについてより詳しい話をお聞きになりたい方がいらっしゃいましたら、後ほどご質問いただければ詳しく説明したいと思います。

これはエネルギーセンターです。バイオスフィア2は非常に熱を持ちやすいものです。太陽の光が常に当たっておりますので、バイオスフィア2の中は温度が上がりやすい、ちょうどオーブンのようになってしまうということなので、熱をどう処理するか、バイオスフィア2の内部の熱交換というのが、常に1分半ごとに行なわれております。気温が下がりますと水分が吸収されまして、水滴となったものが飲料水、シャワー用水等にも利用されます。冷たい水となって放熱に使われると同時に、そこでできた水滴を利用して、その水を使うというわけです。冷水の供給、冷房だけで2メガワットの電力が必要としました。

それから最終的にバイオスフィア2の設計、建築を行ないました。これができあがった段階で大きなパーティーを行ないました。われわれは2年間ここで住むことになるわけですが、その前日の夜にパーティーを行ないました。

91年の9月26日、8人のクルーが入っていきました。93年まで2年間、住み続けたわけでありまして。バイオスフィア2の中に23か月くらいいたわけです。1人1人紹介いたしま

すと、これはアビゲール・アリー、これはDr.ロイ・ウォルフォードという医師です。ジェーン・ポインター、この人は農産物・飲料のマネージャー、それから私自身です。私は分析化学を担当しておりました。空気が安全なように、あるいは飲料水が安全に供給できるようにということを分析しておりました。リンダ・レイは荒野のバイオーム担当でした。それからマーク・ネルソンは廃棄物の再利用と通信の担当、サリー・シルバーストーンはキャプテンで食品加工のマネージャー、マーク・バンツリオットが副キャプテンで技術系のマネージャーでした。

バイオスフィア2の中を見ていきたいと思います。これは熱帯雨林です。熱帯雨林として美しく成長を遂げたものです。これは荒野。非常に美しい荒野を形成した部分です。これは熱帯雨林を覆っている葉っぱです。リンダ・レイが見えます。21日間、テストモジュールで実験した女性ですが、バイオームの維持・メンテナンスを行なっています。いろいろな人間の手作業が必要になります。つまりバイオスフィア2の中での種維持のためのメンテナンス作業が必要になるわけです。これはギャラゴという霊長類の一種なんです、大きさとしてはこれくらいですね。何匹かいまして育てられていました。熱帯雨林で子供を育てました。

サバンナ地域に入っていきます。これは非常に成長期にあたる、活動の盛んな時期のサバンナです。二酸化炭素を制御・調整しまして、雨季と乾季を作るようにしています。これは過剰となったバイオマスの収穫ですね。腐敗率をコントロールするためです。同じサバンナですが、これは活動が止まっている休眠季にあたります。後で、これが二酸化炭素の量にどのような影響があったかを説明します。これは植物学の研究をしているリンダ・レイ。植物のライフサイクル、物理的な外見がどう変わっていくか等の植物学の研究をしているリンダ・レイです。

これはサバンナと砂漠地帯との間の雨季における推移帯の様相です。こちらは砂漠が乾季を迎えている時の表情です。バイオスフィア2内では水が豊富なので、砂漠がキャルスタルセージスクラブ状態に推移していきました。サバンナ、砂漠、そして海洋へと移行していく推移帯です。特に異なる特徴を持った植物等が、それぞれのバイオームに成長を遂げています。

いま砂漠に雨が降っています。冬は光度が低いので、これら2つのバイオームを活性化して、光合成を最大化しました。外的な照度は自然に変わるので、それを内部的に調整するために、我々は荒野バイオームを利用しました。バイオームの成長によって管理され光度が、変化しない閉鎖システムでは、快適な人間のライフスタイルを確保するために、例えばスペースステーションの内部のように電気が備えられていたり、外部からの光がコントロールできる場合は、荒野など必要はないかもしれませんが。しかし長い目で見れば、少なくとも美的観点から、荒野も必要となるのではないのでしょうか。

こちらが海洋部です。こちらも海洋部、ダイビングを楽しもうとしているところです。実際の海洋の水の維持ですが、藻が繁殖する、この藻のBOD等の活動を上手く利用しながら一定の水質を保っているわけです。また浄水システムも完備されていて、これらは海面、スクラバーと呼ばれているものですが、一定の照度のもとに海面に藻を繁殖させまして、それを収穫するという、あまり楽しい仕事とはいえませんが、そうやって海水の浄化などを行なってきました。ここはサバンナの岸壁ですが、この裏側にマシンルームがあり

まして空気の温度の管理を行なっています。これが海洋です。

こちらが湿地帯の写真です。こちらも湿地帯の別のショットです。湿地帯でのサンプリングを行なっています。また上水あるいは灌漑用水等、種々異なる水質を確保していくために完璧な浄水システムというのを完備したわけですが、何といたしましても一定の環境を維持するために重要なのは、バイオスフィア2の下に設置されているマシンルームを管理・維持していくということが、たいへん重要です。

こちらが計測機器です。データ収集システムのパネルをご覧いただいています。例えばバイオスフィア2で各ポイントにセンサーが設置されておりますが、それらから送られてくるデータを収集しているシステムです。

これが基本的な人間居住地区のレイアウトです。こちらがアニマル・ベイ、家畜を飼育しているエリアです。ワークショップ、作業場ですね。また倉庫、分析ラボ、そして医療設備、そして図書館。ということで、このバイオスフィア2の都市というものをこの居住地区が形成しているわけです。こちらが工場、作業場ですが、新しい機器を搬入いたしまして、ここで必要な機械加工、製作等を行なっております。こちらが医療システム。通常の場合は基本的な治療あるいは診断等を行うための設備です。こちらは血液検査用の機器になります。こういった、人間が閉鎖的な環境に隔離された場合に血液の状態がどう変化するかということも、血液採取そして検査機器によって行なってまいりました。ほとんどがスペースステーション用に開発された技術です。こちらは歯科の治療を受けている居住者です。こちらは分析研究室になります。隔離された中でさらに隔離された研究室ということになります。非常に異なる化学物質を扱うということになるので、バイオスフィア2の中をそれらで汚染させないために完璧なシーリングを行なう、つまり隔離された中でさらに再度隔離された状況を作るということは難しかったわけですし、技術的にも多大な構築が必要であったわけですが、この中の設備はガスクロマトグラフィー、その他のマススペクトロフォトメータ、原子吸収スペクトロメーター、イオンクロマトグラフィー等の設備がこの中に収納されています。それからまたオンライン分析機、例えば酸化チツソ、化合物、その他の酸化物、還元物をオンラインで調整できるものであります。それから毒性の強い物質を扱う場合もあります。データシステムはすべて中央のデータベースに結び付けられていまして、コンピュータ処理されております。現在はこのような作業はありきたりですが、80年代半ばには大変な作業でした。

バイオスフィア2の建設にあたっては、既存のテクノロジーを新しい発想で結び付けたわけですが、ここで使いました機械の部品の多くは市販のものを使いました。それをバイオスフィア2で使えるように改造したものです。われわれは液体チツソ、水素その他基本的な消費化合物を自分たちで作り、バイオスフィア2内の規格・基準というものを設けました。これは空気の分析をやっているところです。

これはコマンドルーム、指令室ですが、机に座ってミーティングなどを行っています。ビデオを通して本部のミッションコントロールとコミュニケーションを取ります。データ分析等もこの部屋を通して行なわれます。

これは農業バイオームと呼ばれるところです。次にOHPを示しながら農業バイオームを説明したいと思います。いつでも作物が成長しています。すべての食品はここから得られなければなりません。5か月かかってやっとピザの材料ができます。1つのピザを作るのに

5 か月いろいろな作物を作って、それから作らなければなりません。それぞれの作物がいつ収穫できるかということをおおきく入念に計画しておかなければなりません。2年間、絶えることなく常に得られるようにしておかなければならないわけです。ピーナッツ、いんげん豆、植物、野菜、サツマイモ、米、麦などの穀物すべてこの地区で生産されました。

またスライドに戻りますが、これは農業バイオームの別のショットです。われわれの時間の1/3は食物の処理に使われておりました。働く時間の1/3が食べ物の処理に使われていたわけです。いまは小麦をお見せいたしました。それからピーナッツを収穫しているところです。パイナップル。米、稲をちょうど植えたところです。バナナ、糖分の補給のためにバナナは重要でした。

われわれは常に食物に飢えていました。食物の生産が計画通りに進みませんでしたので、つまり照度が低かった、光が十分に得られなかった、光合成が足りなかったということで、常に食物不足に悩んでおりました。しかしここですとバナナがいっぱいありますので、ここにくると心が豊かになるという感じでした。米を収穫しているところです。すべての植物というのは、ピーナッツの葉っぱの部分や茎の部分は人間は食べられませんのでヤギに食べさせます。ヤギからは乳と肉を採りましたし、それから野禽類、ニワトリも育てていました。人間が食べられない食物は飼料として動物・家畜・野禽類に与えておりました。豚を飼っていた時もありました。しかし人間と同じものを食べてしまいますので、なかなか豚に与えられるものはありませんでしたので、豚を食べてしまいました。最終的に豚は人間の口に入ってしまった。これがビートです。私は、もう一生食べなくてもいいというくらいビートを食べすぎました。もう、うんざりです。これはヤギの乳絞りをしているところです。これは生まれて1時間しか経っていないヤギの赤ちゃんです。9か月ごとにヤギの赤ちゃんが生まれました。つまりフレッシュなヤギの乳が欲しいということで、ヤギに子供をませました。ヤギがケガをしますと注意しなくてはなりません。いま獣医さんが外部からもたらされましてヤギの治療にあたっているところです。ケガをしたので手術をしなければならず、睡眠薬を与えて眠らせているところです。新しく生まれたヤギです。一面では、農夫という役割も果たさなければなりません。屠殺というやっかいな仕事もあるわけです。完全に食物を育てる、動物を育てる、そして最終的にはそれを殺さなければならぬという意味で、農夫としてあらゆる仕事を完璧にこなしました。

これは採れたものでご馳走を作っているところです。常に食物不足に悩んでいたので、少なくとも1か月に1度くらいは有り余るほどの食べ物を前にしてご馳走にありつけるといった機会を設けることが大事でした。そういうご馳走が並べられているところです。ヤギが出ています。米もありますし、野菜、サラダ、クレープ、パイ、フランス式のパンケーキ、パンドーナツ、豆……。とにかくありとあらゆるご馳走が取り揃っています。豊富さというのがだんだん失われていってしまいます。これだけ揃ってればいいんですが、なかなかそれが1か月に1度くらいしかできないということです。2～3か月置きにコーヒーが飲めました。あまりコーヒーの木を育てるスペースがなかったので2～3か月に1度づつくらいしか飲めませんでした。コーヒーを煎れる時には、非常に強く感じてしまいました。もうとにかくコーヒーが飲める日には、みんな興奮して気が狂ったように走り回っていました。

これは廃棄物の再利用システムですね。人間が出した汚水、シャワーを使った汚水です

とか、廃棄物、それを再利用しているわけです。このシステムはNASAが作ったもので食物の灌漑設備のために使ったりもしています。炭素や栄養成分はバイオスフィア2の中で完全に循環しています。ですから人間や動物が出した廃棄物も完全に還元されるわけです。循環が完璧に行なわれているわけです。この植物の中でも人も動物も食べない部分というのは粉々にされて分解されます。二酸化炭素が必要になった時には、これを何とか利用するというので、こういうふうには堆肥化した、あるいは分解したような有機物をどの程度使っていくか、あるいは乾燥させてしまうかということによって、バイオスフィア2内の二酸化炭素の調整に充てていました。

これはアパートですが、だいたいこれくらいの部屋と寝室等が与えられておりますけれども、狭いスペースですが何とかやっていました。これはわれわれの友達で日本からちょうど帰ってきたばかりの人がわれわれを訪れてくれたんです。日本で描いたものを見せてくれています。この人なりに描いた富士山です。電話がありましてバイオスフィア2の外部で、この人が電話を通して、この人が「こんなものを描いてきたんだよ」とガラスの窓を通して見せてくれているわけです。中には入ってきていません。訪問者は外部でわれわれから見るとところにきて、電話で我々と話すというわけです。

このスライドは、われわれの最大の問題についてお話するために見せるスライドなんです。心理学的な問題なんです。2年間も閉塞的な状態の中で8人のクルーが閉じこめられているという状態になりますと、あるいはまた安全性にも不安があるという状態になりますと、非常に重大な問題は心理学的な問題なんですね。それぞれの間人関係、信頼関係が崩れていく、コミュニケーションがなくなってしまう、そういう問題が生じてしまいます。最終的には、このクルーの中で4対4に、2派にわかれてしまったと、2人の男と2人の女、この4人対また同じ構成の4人と2派にわかれてしまったんですね。そういう問題がありました。いろんなエピソードが語られておりますけれども、その中でも人間関係のイザコザというものが問題になったということが伝えられております。

トレーニングは個々の1人1人に対して与えられなければならないと思うんです。1人1人がグループを構成しているわけですから訓練も1人1人に対して行なわれ、初めてチームワークということの訓練を行なわなければならないと思います。こういったことのデータなども取り扱われておりました。内部のクルーもミッションコントロールを行なっているところのクルーも、お互いにそういう問題を感じ取りました。ミッションコントロールを行なっている人たちとの間のコミュニケーションといった問題もあったわけです。バイオスフィア2の中のグループというのは、ミッションコントロールから独立した遊離されたものであると同時に、その中でもまた分離が起こってしまうんですね。

そういう問題を解決する一手段として、ビーチでいまパーティーをしているところなんです。小さなテレビを持っていきまして、ビデオをそこに映しました。火事、火のビデオを映しまして、あたかも焚き火にあたっているかのようなムードを出しているという光景です。これは8人が1年間経過したところで撮った記念撮影です。6か月を経過しますと心理学上の問題というのが起きてくるんですね。かなりみんな痩せてしまいました。体重が落ちてしまいます。

それからまた有機炭素が非常に多量にあった。特に土壌内で有機炭素が多量にあったということで問題となりました。植物が異常に成長してしまったのが問題なんです。これ

についても詳しい話をお聞きになりたい方は後ほど来てください。炭素の処理・制御がいかに重要かと実感されました。収穫をして、こういうふうに貯蔵いたします。あまりにも多く植物が繁殖してしまった、生育してしまったということで有機炭素が多量になってしまったために、これを備蓄しました。乾燥させて取っておいたわけです。

これはサンプリングの途中なのですが、酸素が少なくなり過ぎているのはなぜなのかということ調べるためにサンプリングを行っております。なぜ酸素不足になっているのか、なかなか理解できませんでした。ですから、土壌から遊離していく二酸化炭素を監視いたしまして、バイオスフィア2内で分析できないことについては外部に持って行って分析を依頼しました。これは土壌の問題を分析しているところなのですが、またOHPで詳しく説明したいと思います。これはバイオスフィア2内の二酸化炭素の濃度です。最初の2年間ですね。冬場はこういう状態。夏になると下がってきます。これは嵐です。天候が悪く、光が少なくなりますと、二酸化炭素が増えてきます。嵐のあとで光が入ってくると二酸化炭素の量がまた減っていく。ということでこういう時期には、サバンナあるいは砂漠を活性化しまして、バイオスフィア2内の光合成を活発にするようにしました。それからまた二酸化炭素が減ってきた時には、サバンナや砂漠を休眠させて、光合成がそれほど必要ないという状態にしました。これはまた二酸化炭素の12月(冬)と6月(夏)の濃度を示しています。いちばん下は光の具合、照度を示しています。1日あたりの冬の光の程度です。ご覧のようにここの部分が嵐ですね。光が少なくなったりします。光合成が少なくなってしまう。夜になると呼吸が多くなってしまいます。というふうに日々その変化を見たものです。つまりこのシステム全体が、閉鎖的な空間の中でのシステムというのは、光の具合によって大きく左右されるというのがおわかりになると思います。私どもの期待としては、二酸化炭素と酸素の割合が1対1になる、二酸化炭素が増えれば酸素が減る、またその逆になると、二酸化炭素と酸素を足した量が一定になるだろうと理論上予測していたわけです。ところが実際どうなったかといえますと、酸素が減っていくにつれて、これが二酸化炭素なのですが、ここの部分で酸素を足さなければならなかった。しかしまた足しても酸素が枯渇してしまう。

つまり吸収システムというものがバイオスフィア2の中にあつたのです。二酸化炭素の調整という点では酸素との関係が1対1にならなかったわけですね。コンクリートが二酸化炭素を吸収していたんですね。二酸化炭素は酸素が使われてしまったあとになると空中に多くなってしまい、空中の二酸化炭素がコンクリートの中に吸収されてしまうんです。コンクリートに吸収された二酸化炭素はもう光合成には使われません。これが原因となって酸素と二酸化炭素のバランスが崩れたんですが、これについてももし詳しくお知りになりたい方いらっしゃいましたら後ほどどうぞ。

こちらが土壌の検査を行なうためのサンプリングです。バイオスフィア2で使いました実際の土壌です。これは農作物を育てるためにも使ったわけですが、だいたい4フィートほど盛り土をしてそこに植物を植えていったわけです。初期の試験期間中ですが、実際に二酸化炭素が冬場になると増えると。そして照度に変化する。一定の照度が得られる夏場になれば二酸化炭素が減ると予測していたわけですが、ここでは実際にこの二酸化炭素がどのような状態になるのか。例えば石灰化していったり、といったような各種の検査をあらかじめ行なっていたわけです。いろいろな検証を行なったんですがテストそのものの

結果あるいはテストに使ったシステムがあまりよくなかったということがあとで判断できたわけです。

これは酸素吸入しているところです。物理的に酸素の吸収が不足する。身体的に酸素に適應できない、能力的にですね、身体的な能力が低下するということがありまして、必要に応じ、このように酸素吸入を行っていたわけです。これは実際に酸素吸入を行っていただくことによって血液の中の酸素成分、そして実際に酸素吸入を行わなかった際の血液の採取も行なって、その時の適應能力というものも血液検査を通じて実行したわけです。先ほどもご説明申し上げましたコンクリート内に吸収されてしまう二酸化炭素ですが、この時にはアイソトピック分析を行ないました。これはバイオスフィア2内に構造物の一部として持ち込まれているわけですから、このような閉鎖型のシステムの中には、マスマラバランスを保つということがたいへん難しいわけですね。すなわちチャンパー、1つの閉鎖的な環境の中において実際にマスマラバランスをどのように保っていくのがいちばんよい方法なのかといったことを、コンクリート内に吸収された二酸化炭素の量等も測りながら研究していったわけです。

今日、バイオスフィア2は多くの人々の注目を集めています。われわれのミッションというのは、今後の人間、生活、そして生活環境に大きな影響を与えるものですし、また多くの学識経験者、学生の方たちとも多くのコミュニケーションを図るチャンスがあったわけです。実際にこのように地上でいろいろなコミュニケーションを図りながら、また協力体制を敷きながら、今後この研究がさらに進められていくことを期待しているわけであり、さらに一般の人々にも、このようなプロジェクトに対して関心を持っていただくことがたいへん重要なポイントでもあると確信しています。

これは私ども8人が2年間のミッションを終了して、バイオスフィア2から出てきたところの写真です。実際にこの段階においては、なぜ2年間このような環境内で生活しなければならなかったのか、人生の一時期をこのような生活環境の中に置いてみたということ自体が私たちの特異な経験でもあるということです。このような経験が日本の今後の宇宙開発、日本だけでなく世界中の宇宙開発にも役立てられればと願っています。これはバイオスフィア2の上に月が昇ってきている写真です。今回のシンポジウムのテーマでもあります「ふたたび月へ」、月へ向かうということで、宇宙科学の皆様の貢献をお祈りしております。

ご清聴ありがとうございました。

司会 もしご質問がありましたら受け付けます。

会場 バイオスフィア2を経験したことによって、個人的、心理的にどう変化したかということをお教え下さい。

マッカラム バイオスフィア2の中でのストレスは非常に大きいものでした。このバイオスフィア2の設計と建築には6～8年かけました。8人が突然、2年間閉じこめられたわけです。お互いよく知っていたんですけれど、何年間にも亘って同僚としてこのプロジェクトに働き、マネージャーとしての訓練も積んでいた人間なんですけれども、隔離されて

いる、閉鎖されている空間にあると人間は変わってしまうんですね。予測しなかったような変化が人間に起こってしまうんです。環境のことが非常に気になってくる。バイオスフィア2に対して何をやっても、それが自分の生活に対して即時に影響を及ぼすわけです。それからまた個人的な体験としても、それだけの長い時間、隔離され孤立してしまうと自分の生活や人生に対しても深く考えてしまうんです。

会場 植物を育てるのに非常に手間がかかった、植物の多様性を維持するためには人手がかかったということですが、それはいかがでしたか？

マッカラム 非常に小さな熱帯雨林で、ごく一時成長が早くなるところを収穫するというようなことで、そうすると生物の多様性を維持するためには、常に入っていてどこが成長しすぎているか、ある種が異常に繁殖しすぎているという場合には、それを切断しないと全体の多様性が損なわれてバランスが崩れてしまいます。そういった手間がかかりました。

会場 バイオスフィア2のいまの状態について聞かせてください。また、もう一度ビート(赤大根)を食べてみたいと思われませんか。

マッカラム はい。バイオスフィア2のいまの状態は、維持されています。メンテナンスが行なわれていて、定期的に関閉されています。いまのところはグローバルな環境変化の研究に使われています。人が中に入るといようなミッションはありませんが、将来の計画としては、いくつか出ている問題として二酸化炭素の量が増え過ぎるという問題について、科学分野の人から研究を続けたいという希望も出ています。ということでバイオスフィア2も、いまは二酸化炭素が増え過ぎた場合にどうするかといった研究に使われています。そのうち有人研究にも使われると思います。コロンビアや、あるいはそのほかのアメリカの大学、あるいはコンソーシアムを作ってバイオスフィア2の科学的な分野についての研究を行なうことになっています。

会場 月の環境は地球と非常に違うので、バイオスフィア2あるいはそのほかのプロジェクトにおいて月と同じ環境をシミュレートするような実験計画はあるのでしょうか？

マッカラム 私にはよくわかりません。生命維持装置、生物学的な処理を行なうような装置も考えられていますが、月面での基地とはまた違ったものになると思います。バイオスフィア2で学んだことをもとにして、世界中で生物系のシステム、あるいは生命維持のシステムの一部を月のような形でやるケースはあるかも知れません。

システムを作ってテストするという事なんですが、あまり多くの時間をかけずにコンピュータでモデルを作ったり設計をしたりして、最高速度で実験ができたというのは、テストモジュールを使ったためだと思うんです。実験を組み立てて、行なって、問題を発見してそれを改良してというようなサイクル、試行錯誤を行なって行ってデザイン、検証、テスト、再検証と行なっていくことで、非常に迅速に進展が見られたと思いますが、もっ

とも重要なのはこのような、いろいろなシステム系が複雑に絡み合っているという時には最終的に使うような完璧なシステムを初めから作る必要はないと思うんです。その一部分を作って、あるいはだいたいこんなもんだらうというシステムを作ってみて、やってみる。ただし、できるだけ早い時期に人間を使ってやってみることが大事だと思うんです。いろいろな変数的な条件、人間が絡む条件というのは、シミュレーションが難しいわけです。ですから人を使って、人が入った状態で小規模な実験を行なって、そして次の論理的な段階に入っていくということにしたほうがいいと思います。十分に実験を行なうためには何か月もかかってしまいます。ですからシステムを使って、実地の人間を使った手順というものをやる、本当に安全なシステムを作ってみる、安全といっても長期に亘って確保されなければならないわけで、そういったものに向けて、とにかくできるところから始めていくことが大事だと思います。エンジニアリングとか科学的なコミュニティ、こういう分野においては実地の訓練が大事だと思うんです。理論だけではダメで、実際に手を携えての訓練が大事です。そこから学ぶところがいちばん多いと思います。

## 6. 月利用の可能性ラウンドテーブル

司会：宇宙開発事業団	石澤・弘
出席：日本原子力研究所	池田佳隆
国立天文台	磯辺・三
地質調査所	古宇田亮一
通信総合研究所	富田二三彦

石澤 石澤でございます。それではこの月利用、アプリケーションの面におきましての月利用のコメンテーターの先生がたをご紹介させていただきます。

いちばん左の端から、まず富田二三彦先生です。富田先生は現在、郵政省の通信総合研究所・平磯宇宙環境センターの宇宙環境研究室の室長をやっておられます。大学時代からのご専門は、地球の超高層大気物理学、特にレーザーレーダーなどを使った観測の研究等をしておられました。電波研究所にお入りになって以来、平磯宇宙観測センターで1988年から始めました宇宙気象予報プロジェクトに参加しておられます。現在の興味を中心は、何とか太陽フレア粒子の予測ができないかということで研究を続けておられます。本日は宇宙放射線環境の予測ということで、宇宙天気予報といわれておりますが、その辺りのお話をさせていただけるのではないかと考えています。

次におられますのは古宇田先生でございます。古宇田先生は工業技術院の地質調査所の国際協力室に、現在、主任研究官としてお勤めでございます。先生のご専門は、鉱物資源部におきまして、いろいろな精密検査の資源の評価研究をご専門としてやってこられました。資源のリモートセンシングの研究もあわせて行なっておられます。現在は、宇宙規模での資源評価にご関心がございまして、本日も月の資源についてのお話をいろいろ聞かせていただけるのではないかと思います。

私の右側は磯部先生です。磯部先生は現在、国立天文台の助教授をしておられまして、専門は初めは星の誕生と太陽系の誕生の環境、その辺りから派生いたしまして惑星空間の塵の研究等を進めておられます。本日の先生のお話は、地球に小惑星が衝突するといろいろな災害が起きてくるのではないかということで、その小惑星の地球衝突の観測と対策に対する話をお聞かせいただけるのではないかと考えております。

いちばん最後に左側は池田先生でございます。池田先生は日本原子力研究所本部の企画室で核融合計画室の室長代理で現在お仕事をしておられます。先生のご専門は核融合実験、高温プラズマの加熱実験等のプラズマ関係のご専門でございまして、本日は月にあるヘリウム3、これらのエネルギーとしての利用のお話が聞けるのではないかと考えています。

それではスタートするにあたりまして、月利用の長期展望ということで、私のほうから簡単にアプリケーションの面における月利用のお話をしたいと思います。

アプリケーションの面での月の利用ということになりますと、午前中にサイエンスの面での利用の話がありましたが、じゃあサイエンスの利用の面とどう違うんだろうかということをお話したいと思います。まず月の利用といいましても3つの面があると思っています。これは人間の社会活動と密接に関連しているのではないかということで、1つはサイエンス的な活動、経済活動それから文化的な活動、この3つの面から見て月がどう使える

かということを考えてみますとサイエンスの面から見たアプリケーションは午前中に話がありました。次に経済活動から見たアプリケーション、これは何かといいますと、最終的には地上の人間がどんどん増えていきましてエネルギー危機が叫ばれております。このエネルギーを月から持ってくる。このような話がよくございます。これは経済活動に対するアプリケーションではないかと思っています。ただ経済活動のアプリケーションに対しまして、これは何か使えるのではないかという話ができるかできないか、卑近な話で「儲かりまっか」という言葉がよくございますが、これは何を表しているかといいますと、投資に対して得られるゲインが、プラスの面があるのではないか。このプラスがない限り経済的なアプリケーションとして実施する意味がないということになりますと、実は月の利用をそこまで考えてみますと、現在はこれをやれば絶対にプラスになるという答えがなかなか出ないというのが現状でございます。これは技術的な難しさが1つあるということと経済的な活動まで含めたゲインを考えると規模の大きさといいますか、これがプラスになるかマイナスになるかに大きく影響を与える。こういうことが絡みまして午前中の松尾先生の基調報告にございましたように、応用面でのアプリケーションでは、なかなかこれがいんだというハッキリしたヴィジョンが描き出せないというのが現状です。

そうはいいましてでも応用というものを考えていかななくてはいけないという上で、どういふことを現在、われわれは考えているかをお話ししますと、まず月を利用する時に基本的な利用の特徴といいますか、これを考えてみますと、これはもう非常に簡単な話です。1つはプラットフォームあるいはステーションといいますか、地球の近傍、300~500kmのところを回るものと月とがそれぞれどういう特徴を持っているか。重力的に考えますと、地球の周りを回るステーション等は無重力。これに対して月は一応1/6のGがある。このGがあるということは、ある意味では応用の害になりますが、人間が生活する等の意味では、あるいはプラスになるかも知れない。次に資源ですが、ステーション等は完全に資源がない。自分たちで持っていくしか資源を得る道はないんですが、月はいろいろな制限がありますが鉱物資源等の資源はある。この資源を使っての応用が考えられるのではないか。次にエネルギー。これは太陽エネルギーがある。これはステーションも月も太陽エネルギーを利用するという面からいえば同じではないか。距離にいたしますと地球から300kmないし400kmのステーションに対して月のほうは38万kmという距離にある。それから安定度と書きましたが、これはステーション等ではいろいろなものを機械的な震動とか姿勢の安定度とか、あるいは、そういう意味での主に姿勢ですが、月に比べると不安定だと。これに対して月は大きな基盤を持って、格段にステーション等よりは安定している。このような特徴を持っています。

この3つのものは、結局、資源の利用あるいは位置の利用という形で利用が考えられるのではないかと思います。まず月資源の利用では、1つは月面でそれを利用するという用途が考えられるのではないか。これは、月の資源でもって人間が活動する月基地を作る時に、建設資材等に利用する。あるいはそこで生活していく時の酸素等のガスをある程度抽出できるのではないか。月面の基地を建設して運用していくという時の利用が考えられる。もう1つは宇宙での利用です。これは中継基地として月を利用するという可能性も1つあるのではないか。それから月の資源を用いて、ほかの天体へ行く時、あるいはステーション等の宇宙の基地に対する資材の補給基地として使う。こういう使い道が1つある。それ

から地球上での利用というのは、エネルギーを地上に持ってくる。先ほど申し上げたヘリウム3を持ってくる。あるいは場合によると、将来の話としてマイクロ波あるいは光によってエネルギーを地上へ送ってきてエネルギー不足を補う。このような利用が考えられるであろう。それから月の位置の利用としては、午前中にあったように月の天文台として月に観測基地を作る。あるいはこれから磯部先生にお話しいただく小惑星の観測基地として使用する。あるいは富田先生がお話くださる宇宙環境の観測基地としての利用の仕方。それから、これは先ほど出た中継基地としての補給の基地。これは非常に将来の話で、こういうふうな使い方をして月はいろいろなレジャーの基地として観光、あるいは場合によると重力が低いので医療の基地として使えるのではないか。このようなアイデアが考えられています。

これらのことをもう少し、資源について書いてみますと、これは左の端に岩石とかレゴリスがあります。それからいろいろなものを中心に見まして、1つは素材をそのまま作りまして右上にありますように、建造材、設備や備品の素材として使う。あるいはエネルギー用の素材。これは月の上で使う自分たちの電力、あるいはいろいろなものを動かすエネルギー用の素材。それから燃料、生命維持用のガスなどを作り出して月資源を使用する。これは1つのイメージですが、こんな使い方ができるのではないか。いまは資源の利用の流れから考えてきましたが、じゃあ時間的にはどのような発展が考えられるのかなということ。いちばん左端はフェイズわけしてありますが、これは無人の探査時代です。これらのことで月のいろいろな資源の調査、あるいは科学的な性質、あるいは新しいことを見つけまして、これから逆に応用というものを考えていくという時代です。無人を過ぎました時代には有人という形に帰ってくる。この有人、人が月の上で活躍するという時に、月の上での利用がスタートするわけです。この初期の頃はアプリケーションの利用ということと、それからサイエンスの利用の両方が、盾の表裏という形で進んでいくのではないかと思います。人が活動しますと宇宙の天気予報、放射線等の予想が必要になってくる。それから人間の滞在が長くなり、また数が増えてきます。そうすると月面の本格的な基地の構築がはじまります。それで建築資材等の製造、あるいは生命維持用の酸素とか窒素、水の製造が大事業になってきます。ここにガラスの海の構想と書いてありますが、月には14日間の夜がありますが、この時のエネルギーを蓄積するために、先ほどありましたように月の珪素を用いましてガラス状のものを作って、それを月面に埋め、そこに熱を蓄えてエネルギーにしようというものです。こういうもので人が活動するためのエネルギーを蓄積する。それがだんだん大きくなりますと、その余剰のエネルギーは逆に地球へ送るといった考えも出てきます。これらのことからだんだん右のほうへいきますと、月面の基地の拡大ということで、いろいろな活動が出てくると思います。このような活動がどういう時期に展開できるかというのは、なかなか難しい問題ですが、われわれ希望といたしましては、このような月の利用が広がっていくことを希望しています。

それでは最初に、これらのもとになります月の資源につきまして、古宇田先生からお話をいただきたいと思います。

古宇田 地質調査所の古宇田です。私はどちらかといいますと地球の資源の探査をやっている、こういう宇宙空間はそれほど経験がないといいますか、たぶん世の中、世界全

体を見てもそれほど経験のある人がいるとは、到底思えないんですが、地球の資源から見て、こういった宇宙の資源をどう考えるか、あるいは先ほど石澤理事がいわれたような、産業の中でどのようにゲインがあるものとして考えていくか、ということをやっとコメントさせていただきたいと思います。

我が国では、資源産業ということで、本当に純粋な資源そのものに限っていいますと、たぶん1%以下の大きさしかない。これが事実です。それが世界全体で見ますと、例えばチリとかカナダとか、一国の経済での2割以上とか、場合によっては8割以上が資源関連という国もあります。それは本当に千差万別ですが、日本のように経済が非常に発達してきますと、資源というのは小さな割合にしかならないというのは事実です。ただし我が国をもし歴史的に過去からたどってみますと、例えば江戸時代は銅とか、金もそうだったという話もあるんですが、世界の生産のたぶん1位、半分以上を日本が生産していたという時代もありまして、我が国は資源小国とは考えられているんですが、単純に現在のことでありまして、世界経済全体を見た場合には、けっこう大きかった時代もあったと。われわれそういう背景を引きずりながら、資源というものに取り組んでいるわけです。

ここで、資源というのは産業活動にとってなくてはならないものなんですが、もしこれが枯渇した場合にはどうかとか、あるいはいつ頃に枯渇するかとか、枯渇した場合にはどうしたらいいかという議論があります。その議論の延長として地球上になくれば宇宙へという話はあるんですが、それほど悲観的になる必要はなくて、地球上の資源というのは、恐らく来世紀でもそれほど枯渇するということはないんですが、ただ地域的に何か急に足りなくなるということはあると思います。それから人間の活動がもうちょっと拡大していった場合に、必ずしも地球上で得るより宇宙で得たほうがいい、これは経済的に見た話なんですが、そういう局面が出てくる可能性がある。そういう場合にある程度対処していかなければいけないだろうというのが私たちの観点です。

基本的に私たちが資源探査を進めていく観点というのは、見つけたらすぐに掘るのではなくて、こういうものが地球上に、世の中に存在しているということを明らかにすることが目的です。そういう意味からいきますと、例えば月は、現在はすぐにここに行って何か役に立つものを見つけるという話にはならないかも知れないんですが、資源としてどのように価値のあるものがそこにあるかを調査するというは少なくとも私たちの現在までの活動の延長上としては、当然のことではないかと考えております。

ここにお見せした図は、プロセスとしては先ほどの石澤理事のお話をもうちょっと詳しくしたものになっていますが、基本的にいちばん下の月面探査というのがまず資源の調査の最初にあたるものです。月面探査を目標にした場合には、これは科学探査とかなりオーバーラップいたします。その中でいちばん下にあります広域のマッピング。これは月面全体がどういう構造になっているか、あるいはどういうものがあるかを調べるためのものございまして、全体を調べるには、やはり人が行ってノロノロと何か調べることは不可能ですからリモートセンシングという手段を使います。それからもうちょっと詳しいことを知りたいということでローバー等を降ろしまして深度方向の探査あるいは現地検証ということが、次に考えられるのではないかと。さらにもっと詳しいことが知りたいということになってきます。特に、午前中の話でもちょっと触れられたかと思うんですが、月のような重力が低い、1/6の重力、かつ大気圧が非常に小さいという場で、どういう物質が形成され

ていくかということは、実際にものを取ってきて調べなければいけない。それもただめったやたらに取ってくるのではなく、きちっとした目的を持って取るというサンプルリターンが必要になるだろう。この3つを総合しましてどういう資源物質が考えられて、それをどのようにわれわれは資源として利用できるかどうかという資源評価というプロセスが考えられるだろうと思います。

そのあとで将来的な話なんですけど、石澤理事の最初のOHPにもありましたように、宇宙開発での素材をどうしていくか。その場合にエネルギー供給とか資源開発あるいは酸素・水素の製造、金属・セラミック等の製造といったものに対する課題を解決するための資源調査あるいは探査といったものが必要になります。さらに人間が、先ほどのバイオスフィア2のお話にもありましたような、人間が月面に居住するという場合には、じゃあどのような物質的あるいはエネルギー的な環境が必要であるか。それに対して当然探査の課題が設定できます。

この辺までが、うまくいけば来世紀の前半までにある程度は行くのかなというところなんですけど、さらに将来、エネルギー、後ほど池田先生からお話があると思うんですけど、ヘリウム3とかいうものを役立てようという場合には、いちばん最初に示した月面探査のデータを振り返りまして、さらに突っ込んだ探査が必要になるだろうと思います。そういう場合には、月面の人間居住を前提とした新しい探査が展開されるのではないかと。それで例えば月面に発電所が建設されとか、あるいは天文台が建設されとかいった、いろいろな利用の仕方が考えられるのではないかとおもわれます。

ちょっととりとめのない話かも知れませんが、このようなことをプロセスとして考えています。

そこで、いちばん下の月面探査の広域マッピングだけを述べさせていただきます。午前中の話にも多少あったかも知れませんが、まず最初に月面全体を調べなければなりません。アポロ11号から17号まで月面に着陸していろいろ調べてるじゃないかといわれるんですが、ほとんどが赤道の前後というところにしか来ていません。例えば地球上でサハラ砂漠とかカラハリ砂漠とかネバダの砂漠とか、そういったところにたくさん宇宙人がやってきて探査船を降ろしていろいろ砂漠を調べて、その結果として地球という惑星には何の資源もないという結論を出すとしたら、それはおかしいのではないかと。同じように、アポロの計画はあくまでも月面に人間が取り付くというのが目的でしたから、それ自体が月の科学を明らかにする、ないしは資源的な課題を明らかにするという目的はありませんでした。ですからそういう意味で、当然アポロの経験は引き継ぐわけなんですけど、それに対してわれわれはもう少し突っ込んだ、月をもし利用するとすれば、こういう項目でいろいろやらなければいけないだろうと考えられます。

午前中の話にちょっと補足しますと、自分自身の位置というものをキッチリと調べなくてはならない。例えばVLBIのようなものが恐らく必要になるだろう。それから月の地形を詳しく調べなくてはならないので、レーザー高度計のような精度の高いものを持っていかなければいけない。地球観測でも紫外、可視、近赤外のイメージング・スペクトロメーターが使われているんですが、月の場合には大気がありませんので、たぶん紫外領域での観測が地球と違って非常に重要になると考えています。バンド数も、月の場合にはもう少しバンドを増やしても、それなりに鉱物同定の可能性が広がると考えています。地球上では

あまり問題とされていないんですが、分光分解能のほかに濃度分解能、濃度が13~14bit以上の、つまり10の4乗以上のデータを取るといことが、たぶん月の資源を考えるうえで非常に重要である。なぜかという資源物質というのは非常に吸収効果が大きいために、あまり濃度分解能が低すぎると、それが捉えられないという問題があります。あと空間分解能等は地球観測では非常に大きな課題としてターゲットにされているんですが、たぶん月の上ではそれほど大きな問題にはならなくて、以上のようなスペックが恐らく実現されれば、それに付随したものとして二次的に考えていけばいいものと思います。

それからあとは、元素分析ということで蛍光x線、それから佐々木先生の話に出ましたがマイクロ波サウダのようなもの。ただこれは恐らくあまり精度が高くないので資源的な価値というのを考えるうえで、月面に取り付いた人間ないしはローバーのようなもので観測するということが重要になると考えています。

以上で終わらせていただきます。

石澤 はい、どうもありがとうございました。月に関する観測で地球の観測とは違った面があるということがよくわかりました。ありがとうございます。それでは次に月のエネルギー利用につきまして、池田先生からお話いただきたいと思います。

池田 原研の池田と申します。今回、原子力と月ということで、この中には宇宙、月の専門の方が多いと思いますので、若干、原子力と月にどういう関係があるかをご紹介したあとに、月にありますヘリウム3という非常に貴重なものについて話したいと思います。

この図はよくわれわれの世界で核融合のおもて表紙に使われるんですが、核融合の世界でも宇宙がよく出てきます。皆さんご存知のように、月、宇宙の星のエネルギーが核融合から発生しているということがあって、われわれの世界でもよくこういう写真を使わせていただいております。

そういう意味で、一見、月と原子力は関係ないように思えますが、私自身も含めまして、子供の時に、空を見上げて月を見たり星を見た時に、その宇宙の神秘とかに惹かれて核融合に入った方は私の周りにも多いと思います。今日の話は宇宙から原子力に行った時に、月が有効な資源の星だということを述べたいと思います。

まず原子力の応用ということで皆さんよくご存知なのは原子力発電、それからいま私が話したい核融合発電というか核融合があります。この図は上が核分裂、下が核融合についてポンチを示しています。通常、エネルギーを原子核から取り出す場合、原子核の質量が多い場合はそれをわけたほうが安定になります。一方、小さい原子核の場合は、くっつけた場合、融合した場合が安定となってきます。安定になった過程に、おのおの質量変化が発生しまして、その質量変化はよく有名なアインシュタインの $E = MC^2$ という質量の損失分だけがエネルギーとなって、われわれの目に見えるものになってきます。それで今回は核分裂よりは核融合について若干話したいと思います。われわれが現在進めています核融合というのは、通常、陽子と中性子を1個ずつ持っている重水素と、陽子1個と中性子2個を持っている3重水素。この原子核どうしを衝突させて、そこから発生するエネルギーを取りだそうとしています。しかしながら原子核どうしの陽子の反発力で、通常はすぐにくっつかないというのが大きな問題です。これをくっつけるためには、運動エネルギーを

与えてより高速でぶつければいいわけですが、それを達成するためにいろんな工夫があります。一方、自然界では太陽の場合は重力によって、こういう高速のものがかなり高密度になりますので、自然と核融合が発生しています。しかしながらわれわれの人工的方法にはそういう重力はありませんので、それをいろいろな工夫によって実現するのがわれわれの研究テーマです。

現在、われわれの進めている方式の1つですが、ヨーロッパ連合、ロシア、アメリカ、そして日本で協力して設計活動をしているイーター(ITER)という装置ですが、右の下に人間が見えますが、現在われわれが持っているイメージの、ある意味では人工太陽がこういうようなものです。これを実現することによって2010年前後にだいたい150万kWくらいの核融合出力が得られるのではないかと計画しています。

前置きはそんなところなんです、われわれが、いま話しましたように、この核融合をやろうと思う際に、使うものは重水素、3重水素というもの、この燃料を使うと中性子が発生します。その中性子が出る反応というのは、やはり材料に対していろんな問題を生じるという課題がありまして、何とかならないかという話が以前からありました。物理実験的にはいろんな核融合反応があったわけですが、1つの有力な候補としては、先ほど理事が話された質量ナンバー3のヘリウム3というのを使用して中性子の発生しない核融合があるということがわかっていました。しかしながらヘリウム3というのは地球上にほとんど存在していません。風船でお祭りなんかでよく見かけますが、ヘリウムボンベの中はヘリウム4で、通常ヘリウム3はそのうちの100万分の1しかありません。したがってヘリウム3の核融合は不可能だろうと思われたわけです。しかしながらアポロ計画がいろいろ進みまして、月の表面の探査が進んだ結果ですが、太陽風からヘリウム3が月にかなり降り注いでまして、月表面にヘリウム3が大量に存在していることがわかってきました。そこで従来考えられていなかったヘリウム3を用いた核融合が、最近、脚光を浴びてきているわけです。

いろんなヘリウム3を用いた核融合の方式は、現在まだ検討段階ですが、これはその1つの方法で、日本の名古屋大学の方が提唱している装置です。中のほうに10mのスケールがあるように、かなり大きなものですが、こういう装置を使うことによってヘリウム3を用いて、かつ中性子が非常に少ない核融合発電ができるのではないかと提案されています。またいろんな方法がありまして、核融合反応を起こすにあたってはレーザーを使ってやるという方法も、日本では大阪大学でかなり先駆的にやっています。これは同じようにレーザーの力を用いて燃料を爆縮して核融合を起こすという方式です。これについても、いまいろいろ検討をしています。いちばん最初に示した国際熱核融合炉イーターの装置でもヘリウム3を入れることによってある程度の各融合出力が出ると思いますが、ただもう1つヘリウム3で問題なのは陽子が2個あるので、反応を起こすためにはより高い温度を保持する必要があります。そういう意味では現在いろいろ提案されていることに、さらにいろんな基礎研究を含めて進めることが必要だと思っています。

最後にアメリカのNASAの絵を拝借したんですが、これは月の表面にヘリウム3が存在していることがわかってきましたので、月にある程度基地を作り、表面を削ってヘリウム3を取り出すというプロジェクトのポンチ絵です。この図では表面を削る装置としては太陽エネルギーを使いまして、それによって電力を受けて表面を削る。ヘリウム3を獲得して

それを地球に送り返すという案です。

全体的に、核融合についてはまだ現実的には数年かかると思われていますが、月の開発とともに同じように核融合も進みますのでヘリウム3を使うことによって、中性子が発生しなくて材料的には問題のないような新しいエネルギー開発ができると考えています。

以上です。

石澤 どうもありがとうございました。月のエネルギー利用は、ただいまお話にあったヘリウム3の利用のほかに、月の上で太陽光を集めて、それを地球へと伝送していく光、マイクロ波電送という研究も世界ではなされているようです。

それでは次に、われわれが検討した時に1つの月の利用の可能性として地球規模の危機監視というのがあります。これは今年の夏、シューメイカー・レビー彗星が木星に衝突して、たいへんに話題になったわけですが、あれは木星だったから、われわれは観測のいい機会だと他人事のように、別天体の話として見ていたんですが、あの1つでも地球に衝突すれば、これは地球の非常な危機になることは目に見えています。これらのことに関しまして、国立天文台の磯部先生からお話をうかがいたいと思います。

磯部 国立天文台の磯部でございます。地球規模の危機監視というタイトルをいただいたんですが、お話することは、この中ではいちばん最後の小惑星衝突ということですが、地球規模の大災害、人口爆発も含めて人類にとって非常に大きな影響があるというのは、まだあるかも知れませんがこんなところだと思います。ただ地球内の原因については人間の努力、直接の現代の努力で防げるものであったり、火山・地震というレベルならローカルですむわけですが、地球外起源のものは、1番の地磁気の消滅によって宇宙線が振り込むという話は、いままでの人類の長い歴史の中で経験してますから、それで人類が絶滅するわけじゃありませんが、2番、3番、4番に関しては、もしそういうことが起これば、人類の滅亡につながるということになるわけです。ただ、超新星の爆発、そういうキャンディディトな星が太陽の近くにないので1億年くらいは大丈夫だろう。太陽の膨張も、ご存知のようにあと50億年くらいは大丈夫だろう。

ただ小惑星の衝突が問題になるわけですが、これも衝突頻度としてはそんなに大きくないわけですが、これはランダムな現象であるということで、いつそういう現象が起こるか予想できないわけです。しかもそれを場合によっては10の5乗年くらいに1回、グローバルカタストロフィになる可能性がある、人類絶滅を引き起こす可能性のあるものがあるかも知れないということです。それに関して中身をお話しさせていただきますと、これがアメリカのミサイル防衛網に引っ掛かった地球上空、大気上での広島型原爆程度の爆発の17年ほどの間のものです。これはだいたい直径10m~20m程度のものが地球大気に突入して作ったもので、その間に136個ですから、毎月1個ずつその程度のものが起こっているということです。小惑星は現在のところ発見されているのは1万何千個ですが、軌道がよくわかっているのは6000個くらいで、今夜、夜空を見上げていただくとこれだけ小惑星が本来なら見えるはずという絵です。ですが、そのうちのいくつかは地球の軌道の内側まで入ってくるわけです。そうすると衝突の可能性があるわけです。そういった地球の軌道の内側に入ってくる小惑星の発見はどんな感じになっているかといいますと、1989年以降、急速

に増えています。これはスペース・ウォッチ・プログラムというのが完成しまして毎年50個程度の発見がなされています。現在、250個を越えております。これはいままで、そういうものを見つける地上のいい観測装置がなかったために、今まで見つからなかったのが、いまジャンジャン見つかっているということです。

逆に地上に衝突してクレーターができるわけですが、その世界での分布がどうなっているかを示したものです。地球の場合は月と違ってできたものが侵食によって削られて消えていますから、残っているものは数があまり多くないんですが、そういうものが衝突するとどのくらいのエネルギー解放になるかという輿石さんが計算なさったものですが、だいたい10m規模のものが衝突すると広島型原爆に相当する0.02TNTメガトンということになるわけです。500mサイズのものが衝突すると全面核戦争、核の冬といわれたレベルのエネルギーを放出すると。1kmサイズになると、1億メガトンと。これが6500万年前に地球に衝突したのではないかといわれているものです。

メキシコのユカタン半島にチクスプールというところがあって、そこを中心にして直径200kmのクレーターが作られています。これが6500万年年前ですからご存知のようにその時まで栄えていた恐竜が絶滅したという説もありますし、いずれにせよ、かなりのダメージを受けた現象がこれです。こういうのが、だいたい5000万年に1回くらい起こるといわれています。ちょっと余分な話ですが、その当時、われわれの祖先の哺乳類はこんなような存在で、夜行性でコソコソと生きていたのが、恐竜がいなくなったおかげで、だから小惑星衝突のおかげなんですけど、われわれがここで喋れるようなことになってきたということです。

そういうものが衝突すると困るということで、アメリカでは1989年代にスペースガード計画というのが提案されたんですが、残念ながらNASAの予算カットで実現されませんでした。先ほどお話がありましたように、昨年シューメーカー・レビー彗星のおかげで予算を復活させようという話が出まして、来年度予算から既存の望遠鏡を使った観測が始まる。これで何がやろうかということですが、30年くらいかけて直径1km以上のものを90%程度見つけようというものです。この計画では10%のものが引っ掛からないで残ることになります。それから先ほどお話しましたが、直径500m以上になるとグローバルカタストロフィを起こすレベルになります。そういうものも、つまり500m～1kmのものは地上観測では見逃される。これは地上観測を徹底して充実させれば大丈夫と思われるかも知れませんが、地球上では見える星の等級が限られていますので、無理なわけです。そういう意味ではスペースでの観測がなければ、それ以下のサイズのものは防ぎ得ないということになります。

小惑星が衝突する時には、地球軌道と小惑星の軌道とがありまして、地球軌道から小惑星が外に出てくる時に衝突するケースがあります。これはいままで見つかった地球のそばを通った小惑星ですが、左手に太陽がありまして、左手から右へ、地球のそばを横切っている。これは常に太陽方向からある。ということは昼間の間にその天体が見えていることになりますので、夜の観測では見つけれないということで、ある日気が付いたら小惑星がドンとぶつかっているということになります。こういうことに対してもスペースからの観測網をちゃんとしておかなければいけないことでもあります。

ということで、月面で観測網を常に保ってやっていくことが非常に重要なことになります。500m以下でも大陸レベルの被害が起こるわけですから、それが何万年に1回か何千

年に1回か、いま評価を一所懸命しているところで、それが、それを見つけたとしてミサイルで撃ち落とすという発想もありますが、それも破片がどこに落ちるかという議論もしなくちゃいけなくて、非常にたいへんなことになります。

1つだけ、これが私と共同研究している通信総合研究所の吉川さんが計算してくれたわけですが、小惑星の軌道さえわかれば、いつどこまで近づくかというのはすべてわかります。縦軸にどこまで地球に近づいたか、横軸が西暦の4600年まで計算してあります。幸い、この期間でいままで見つかっているものは衝突しないということはわかりますが、まだ見つかっていないものがどうなるかは、これではわかりません。逆にいうと、すべてのものが見つかってしまえば、軌道を計算していつ衝突するかがわかります。そうすると、50年後に衝突することがわかれば、たかだか1cm/秒の速度変化を与えてやれば、衝突は回避することができる。これは現在の宇宙技術で十分できることです。それが来年ぶつかるとなると核ミサイル等を使っても、かなりしんどいプロジェクトになる。

月というのは小惑星が集まってできた天体ですが、小惑星を月から調べていくといろんな側面が得られる。資源のお話もありますし、サイエンスの話もありますが、それと同じことができるうえに、いま申し上げたような災害という問題があります。月というのは小惑星がどんどん衝突してできあがったもの、地球もそうですが。その小惑星の中に含まれている多量の水が、私たちの地球には幸い残って、幸い私たちは生命として存在しているわけですが、そういう存在がもっと先々の世代まで続けて、いま言いました水と小惑星の固まった月、それと花、これらを見ながら一杯飲むというのも非常にいいことだとも思うんですが、それが未来の世代にも続けられるような、人類の絶滅がないようなシステムのためには月面基地での監視が欠かせないものになると思っております。

石澤 はい。どうもありがとうございました。人類が地球上で安心して暮らせるようにというのは、月からの小惑星の監視というものが重要だということがよくわかると思います。

最後に、これからわれわれが月あるいは地球外で活動する時に、いろいろな放射線等の影響を予測しなければいけない。ということで、ここでは宇宙天気予報ということですが、通信総合研究所の富田先生からお話をうかがいたいと思います。

富田 通信総合研究所の富田です。通信総合研究所から参りましたけれど、今日は宇宙通信じゃなくて宇宙環境ということでお話をさせていただこうと思います。まず宇宙天気予報のための月利用ということですが、月面での宇宙放射線のモニタリング、それから地球周辺のモニタリング。これらを合わせて、先ほどの磯部先生のお話も合わせて地球あるいは地球人を守るためのモニタリングステーションとして、月は非常に有用であるというお話をこの順にさせていただこうと思います。

まず月の放射線環境についてですが、太陽と地球を大雑把にマンガで描いてありますが、いままで数十年に亘って宇宙科学研究所あるいはNASA等の科学的な探査によって、地球の周りがどのようなになっているかということが、だいたいわかってきました。いまのところ目で見ることにはできないんですが、地球の周りにはバン・アレン帯として有名な放射線帯がありますし、銀河宇宙線は常に起源はまだわからないんですが銀河の彼方から降ってくる。太陽の表面で特に大きな太陽面爆発が起きると、それによって高エネルギーの粒子

が降ってくる。いわゆるこうした放射線、高エネルギー粒子線が宇宙の中を飛び回っているという環境に宇宙ステーションあるいは静止衛星が飛んでいるわけです。

ですからこれから人間が宇宙に出て行くということもあるかも知れませんが、それ以前の問題として、例えば放送衛星、通信衛星、気象衛星、そういうような宇宙利用に対しても、この宇宙は大きな影響を及ぼしているわけですから、そういうものを常にモニターしていく、できれば予報していくということが重要な課題になっていくわけです。

このうち月面について見ますと、月面はもちろん地球のすぐ近くを飛んでいるわけではありませんから、このバン・アレン帯の影響はないんですが、太陽からのフレア粒子あるいは銀河放射線によって放射線環境は決まってくる。その様子を表したのが次の図です。いちばん左側の棒グラフにあるんですが、だいたい年間50±20センチシーベルトくらいの放射線量を月面で浴びることになります。±20と申しますのは、低い時は太陽活動が活発な時、高い80センチシーベルトになる時は太陽活動が極小の時ということになります。こういうように非常に大きな変動をしているということになります。これを地上の放射線環境と比べてみますと、もちろん宇宙の放射線は陽子を中心とする粒子線ですから、地上の放射線のx線、γ線と直接比較することは難しいんですが、とりあえずメジャーのために比べてみますと、地上の放射線従事者の被曝限度が1年間に5センチシーベルトというレベルです。NASAの決めた宇宙飛行士の年間被曝限度が50センチシーベルトですから、だいたいNASAの決めた宇宙飛行士の年間被曝限度くらいは、月面にいると平均的に浴びてしまうことになるわけです。しかもこの放射線量が大きな周期では11年、小さな周期では分あるいは時間の単位で変動しますから、そういうものを常にモニターしなくてはならないということがあります。これはもちろん地球周辺の宇宙利用の安全を守るというだけではなくて、月面上でのあるいは人間の安全を守るという意味でも、月面上の放射線モニターは重要になってくると思います。ちなみに先ほどありました太陽面での比較的大きな爆発、10年に1度の爆発があると、1度に500センチシーベルトというような放射線を浴びることに、シミュレーションの結果では、なります。このレベルはどういうレベルかと申しますと、人間の生命の危険もあるというレベルになります。こういう意味からも月面で常に放射線、高エネルギー粒子線のモニターを続けることが重要な課題になってくるわけです。そういう意味で月面の放射線モニタリングステーションとしての使い道があると考えます。

それからもう1つ、地球の方向を月面が常に向いているということで、この利用についてですが、皆さんよくご存知の気象衛星の地球の写真、あるいは地球観測衛星による地球の写真ですが、こういう画像によって私たち非常に恩恵を受けているわけです。これによって地上の気象予測あるいは地上の気象を知ることが非常に進歩したわけですが、これと同じように、もしも地球の周りの宇宙環境を目で見ることができれば、もちろん最初は科学的に非常に重要な成果が得られますが、そのあとは実利用でも非常に大きな成果が得られるであろうというお話を次にいたします。

これは有名な、月面から地球を見た図です。これは普通の可視光で撮っているので、こういう状況になるんですが、もしも現在宇宙科学研究所や東京大学で開発が進んでいる紫外線撮像というようなことで地球の周りの様子を見ることができると、いったいどうなるかというのを次にお見せします。

これはシミュレーションの画像と先ほどの画像を合わせたものです。例えば地球の周りにプラズマがこういうふうに広がっていて、時々刻々どういうふうに変動するかということが、こういう画像で観測できる。こういうことができれば、あるいは地球上、あるいは地球の外に出た衛星にいろいろ影響を及ぼす環境というものを直接目で調べて予測することまでもできるようになると考えられます。ですからそういう意味で、結局、地球人あるいは地球を守るためのモニタリングステーションとして、月面というのは重要な拠点であると考えられます。以上です。

石澤 はい。どうもありがとうございました。これでほとんどの時間を潰してしまいましたけれど、われわれのところのラウンドテーブルといたしましても、それぞれの先生がそれぞれの専門分野でお話していただくということで、実は月探査の調査・検討において、われわれが議論したことをご紹介していただいたということですが、その場合でその場所で議論されましたアプリケーションの面での月の利用という綺麗なシナリオとか、これをやればいいという結論は出なかったんですが、これから月のデータを収集し、あるいは地上の技術のブレークスルーが出てきた時に、われわれが月を利用していく分野、資源の分野、エネルギーの分野、あるいはそれを資源あるいはエネルギーを使う時に、人間が月へ行って活動しなくてはいけない、その時の人の活動を助けるもの、あるいは月のポジションを利用しての人間の危機の監視。これらのポイントが洗い出されまして、これらを科学の分野の観測と車輪の両輪で並行して進めていけば、必ずやアプリケーションの面でも素晴らしい結果を得られるんじゃないかと感じられました。

多少時間がありますので、もしそれぞれ専門の先生方にご質問等あれば、1、2おうかがいしてもよろしいんですが。

会場 持ち帰った月の石からヘリウム3はどこが検出したんですか

古宇田 アポロのNASAと、それからルナ計画でも同じような結果が出ていると聞いております。

会場 ソビエト、いまのロシアの科学アカデミーは、それについて何かコメントしていますか。

磯部 ロシアのアカデミーからは特にコメントはないんですが、ロシアのルノホートの石を使ったヨーロッパのESAですね、エステックで計測したのも同じようなものです。実体はイルメナイトというチタン鉱物、チタンの酸化物ですが、その中に取り込まれているという状態でヘリウム3が存在しています。

会場 日本にも若干、月の石が送られてきたと思いますが、日本でも検出しましたか。

磯部 日本ではそういう論文はあまり見掛けておりません。

会場 東大は持っているんですよね、月の石を。

磯部 あります。

会場 それからは検出できなかった？

磯部 その辺は本当にしたかどうかはわかりませんが、少なくとも論文としては出ていないのではないかと思います。

会場 池田先生に質問なんですけど、将来の核融合ロケットについての展望をお聞きしたいんですが。

池田 一応あくまでも現在の考え方ですが、古宇田さんの話にあったように月のヘリウム3を使う計画は、われわれが進めている次の段階に控えていると思います。われわれがいま進めている考えとしては、重水素、3重水素の実験で、先ほど示した図の装置は2010年くらいに建設を終えて実験結果を出そうとしています。それを受けた形で来世紀の中旬頃には電力を取り出すという形を考えております。たぶん、あとは、若干私の個人的な考えもありますが、その頃は平行して、いろんな物理が進みますので、ヘリウム3を使った核融合炉も見えてくるのではないかと考えています。

会場 推進力としての利用。核融合の爆発力を使ったロケットエンジン。いわゆる水素と酸素の推力を考えたら、核エネルギーは大きいと思うので。イギリスの科学者がダイダロス計画でアルファ・ケンタウリに探査機を送るための核融合エンジン、それはまだ全然計画には……。

池田 そうですね。残念ながら私の知識では装置が大きくなってしまいますので、それをロケットに乗せるという展望を持つには、若干のブレイクスルーが必要だと思います。

会場 じゃあ22世紀くらいの話になるわけですか？

池田 いや、あの、いままで私、自分の研究をやっているんですけど、ある日突然ブレイクスルーというのは起きますので、その延長上でいくとそういう話になるかも知れませんが、ある日突然よくなることを期待しています。いま私どもが狙っているのは、あくまでもエネルギーを取り出そうということなんで、宇宙ロケットという発想は、いまの私の中にはなかったんで、帰ってちょっと考えさせてください。

石沢 どうもありがとうございました。それでは時間がきましたのでこの辺で終わらせていただきたいと思います。どうも先生方ありがとうございました。

## 7. パネルディスカッション

司会：宇宙科学研究所	的川泰宣
パネリスト：宇宙開発事業団	岩田 勉
科学館	
総合プロデューサー	三明大蔵
N H K	高柳雄一
漫画家	松本零士
宇宙開発事業団	向井千秋

的川 「ふたたび月へ」第2回ということで、去年、第1回をやったわけですが、シンポジウムの名前「ふたたび月へ」は、たいへん好評で、さっきコーヒーブレイクの準備をしていらした係員の方が、「『ふたたび月へ』かぁ。いい言葉だなぁ」と歩いてましたから、一般のウケもいいのかぁという気がしています。「ふたたび月へ」ですから、3回、4回となると語呂が悪いかなぁと思っていますが、アポロ以来ということで、何とか日本人を月へという願いを込めた言葉です。

このパネルディスカッションは、この前のディスカッションがかなり長引くのではないかという予想がありまして、野村先生が今朝、こんなに座談会ばかりのシンポジウムって珍しいねとおっしゃっていましたが、まさしくその通りで、長引いた場合のクッションとして多少機能しなければいけないと、準備した側では考えていたようです。パネルディス「クッション」ということですね、柔軟にやりたいと思います。

パネリストの方をご紹介します。いちばん向こう側からいきましょう。皆さんから向かって左側から、宇宙開発事業団の岩田勉さん。宇宙開発事業団は、皆さんご存知の通り1969年に設立されました。1969年というのは、まさしくアポロの年で、アポロの着陸船が月に降り立った時に、宇宙開発事業団は設立された。たいへん縁の深い組織ですね。この年に岩田さんは宇宙開発事業団に入社されました。第一期生ということですね。それ以来、月ひとすじというこしでしょうか。剣道なら相当に強くなりますね、「突きひとすじ」ということ。これくらい長く月の研究をやっている人は珍しいんですよ。月の権威でいらっしゃいます。

その次が三明大蔵さんと申し上げます。この方は57年振りに日本にお帰りになったという、ご本人は浦島太郎とおっしゃっていましたが、カナダに住んでいらっしゃいまして、カナダのトロントにあるサイエンス・センター、このミュージアムのプロデュースをされました。このセンターも1969年に設立されたんですね。その前に4年間くらいかけてプロデュースされて、科学館の総合プロデューサーと肩書きが書いてありますけれども、ワシントンのスミソニアンエア&スペース・ミュージアムの時にも、設立はその数年後になります。その時にもアドバイザースタッフの一員として、いろいろ活躍された方です。57年振りなんです。日本語はたいへんお上手で、同時通訳は恐らく必要ないと思います。時々、変な言葉が出るような気がしますけど。組織のことを「クミシキ」とおっしゃっているのを、私、長いことわからなくてですね、ずっとと話して2時間くらいしてやっとわかったということがありました。でも、大丈夫だと思います。よろしく申し上げます。

それから高柳雄一さん。テレビでよくご覧になっていると思いますが、NHKの解説委員でいらっしやいます。「銀河宇宙オデッセイ」とか「スペースエイジ」とか数々の名作をプロデュースされて、そういう関係、特に科学ものの関係で、NHKきっての敏腕プロデューサーとして活躍していらっしやいます。現在は解説委員をされていらっしやいます。NHKの解説委員の方で、宇宙を非常に積極的に取り上げていただける、数少ない方ですので、これからも大事にしていきたいと思っております。

ご存知、松本零士さんです。今日は帽子がいつもと違うとあって、ちょっと調子が悪いそうなんですが、トレードマークのドクロのマーク、正面に付いております。今日はたいへん心配だったのは、松本零士さん、遅刻されないかなあとですね。いつもご自分のクルマを運転して来られるので、私、10数回、会議をごいっしょさせていただきましたが、1度も間に合っていたことがないという。ですから今日はたいへん心配だったんですが、十分に間に合って来ていただけました。間に合わなければ困ったなあ、始めるのを0時(零士)にすればよかったかなあなんていってましたが。月に関する作品も数多く描かれているそうです。それから日本宇宙少年団という組織の団長をされております。たいへんお忙しい創作活動のかたわらで、そういう社会教育というんでしょうか、子供たちの夢を紡ぐために、非常に活躍されています。

こちらもご存知、向井千秋さんです。お待たせしました。日本時間1994年の7月9日に旅立たれて、23日に帰ってこられたんですね。当時の女性の宇宙滞在としては世界新記録を作られました。何をいったらいいのかわからないくらいいっぱいありますが、かかあ殿下のふるさとお生まれになった向井千秋さんです。

それで肝心のパネルディスカッションですが、シナリオを一所懸命に数日前から考えていたんですが、結局シナリオがないまま臨むことになりました。昨年も私このパネルディスカッションの司会をやったんですが、シナリオを作ったら、あまりに皆さん勝手なことをいうのでまとまらなくなりまして、シナリオなんてものは、あつてなきがごとしなんだなと思います。今日は科学のラウンドテーブル、それから月利用の可能性のラウンドテーブルという、科学とか技術に非常に重きを置いた話が多かったという記憶があります。そこで、まず今日のパネリストの方々に、自分にとっての月がどういうものかと、心の中の月、自分の思い出の中の月、個人個人の思い出も含めて、そういった月への想いというところから気楽に入っていただいたらいかがかなあと導入を考えました。

岩田さんからいきましょうか。月についての思い出とか思い入れとか。

岩田 月との関係といえば、的川先生がおっしゃったように、宇宙開発事業団に入った年がアポロ11号の月面着陸の年だったというのが思い出ですが。子供の頃から、皆さんそうでしょうけれど、マンガを見すぎまして、「鉄腕アトム」とか松本先生の宇宙マンガとか、うっかり見すぎて宇宙開発に気がいたら入っていったんですが、そのはじめがアポロの月面着陸で、それと入ったオフィス、当時、宇宙開発事業団ができる前の6か月は科学技術庁の宇宙開発推進本部というところだったんですが、毎日予算とか将来は静止衛星を上げるんだという話を聞かされましたけれど、どうも恐ろしいギャップがあるような気がして、どっちかが嘘じゃないかというような。その時、確か静止衛星を打ち上げるのはアポロの月面着陸と同じくらい難しいんだよというような話を聞いて、それじゃあ静止衛星も

いつのことが日本から見たらマンガくらいの先かなあと思っているうちに、とにかく静止衛星はそれから数年後に上手くいきまして、そのあともそろそろ月面の話をしてもいいかなあと私が勝手にそういう雰囲気を感じたのは、10数年前ですが、うっかり上司に話したところ「ほかをやってくれ」といわれて、それからまた2～3年経って、いつの間にかほかにもそういう話をする人が出てきまして、それが10年ちょっと前でしょうか、ある程度研究としては流れ出したんでしょいかね。そんな関係でございます。

的川 割りと偶然の動機なんですね。そうですか。三明先生は外国に永くいらして、さっきお話をお聞きしたら、日支戦争、いわゆる日中戦争のことだと思っんですが、日中戦争が始まった時、小学校5年の時に日本を出られたそうです。三明先生、百人一首ってご存知ですよ？ 私の得意札に「天の原 ぶりさけ見れば春日なる」という、安倍仲麿って人の歌があるんですが、異国で見る月というのは、やはり同じこういう月が輝いているんだろうということをやった歌なんですが、外国にいらして、月を見ながらそういうことを感じられたことはありますか？ そういうことを含めて月への思いを語っていただければと思います。

三明 変な日本人で変な日本語を使いますから。小学校時代の月の話はあとでさせていただきますが、いま美術とおっしゃいましたけれど、マッカラム先生がビューティーという言葉を使われましたけれど、ビューティーという言葉は「美ユーター」とカタカナに出来ますから、美しいユーターということになりますし、それと同時に、最近やっている文化博物館とかでは、2つ言葉が盛り上がっている。1つは、アポロなどいろいろの「ミッション」ですね。博物館なんかでは「What is your mission statement」というのが非常にいま使われています。もう1つ同じような言葉は「What'your vision」。ところがそれをカタカナにすると「ヴィジョン」になります。それで、ちょっと変な日本の見方で、ヴィジョンは「美心」、美の心としてもいい。ミッションは「味心」、味の心としてもいい。そういうところから見れば、味だけではつまらない、目だけではつまらない、五感心が重要だという考え方を、いましているんです。五感心となると、西洋にはない言葉だと思います。いまのところ、向井先生の先輩であるマイケル・コリンズ、はじめて月へ行って、彼は月の上には行かなくて周りをグルグル回って、その方が帰っていらっやって、しばらくはワシントンの政府の仕事をやらされて、それに退屈して割合反感を持ったらしい。それからエアスペース・ミュージアムの、ファウンディング・ディレクターとして素晴らしいお仕事をしたんですが。彼は「Carrying a torch」という本を書かれて、その中に「月から帰って、月を見ると、自分にはイメージとして2つの月がある。1つは子供の時から月のロマンティックなイメージである。もう1つは実際に体験したネズミ色の冷たい石だらけの月である」。この2つのイメージが、何だか彼の心の中では融合、統合されていなかったらしいんで、そのことについて、あとでちょっとお話します。

的川 たいへん印象的なことだったんでしょいかね。高柳さん、いかがでしょうか。

高柳 的川さんに「これシナリオどうなってるの」と、たぶん2回くらい僕は聞いたと思

うんですが、そのたびに「ないんだ」とおっしゃって、じゃあないんなら考えなくていいんだらうと思って来たもんですから、とりとめなく話します。月には尽きせぬ思いがいっぱいありまして、子供の頃、僕は奈良市に住んでいたんです。だから「天の原 ぶりさけ見れば」という安倍仲麿の歌は、本当に子供の頃から月をどこか異国の地で見た時に人間が感じる世界かなあと。恐らく月というのは人間の心の中の風景の非常に大事な位置を占めているんじゃないかと思うんです。

何でこんなことなのかというと、このシンポジウムの題がよすぎるんですよ。「ふたたび月へ」って。すぐテレビの番組になるんじゃないかと最初思いましたね。ざっと中身を見たら、ものすごい専門家の先生方がいろいろお話になっていて、ちょっと時間がなかったもんですから今年は諦めたんですが、それでも先ほど午後からお話をうかがっていて、1つ1つの話はとても面白くてとても意義のあることなんです。たぶんこれ、ここにいる集団以外の方に月の魅力というか、なぜ科学者が月をターゲットにしているかということをお話するには、ちょっと損なプレゼンテーションが多すぎるような気がしまして。その辺のテクニクは、あとで時間があったら話してみたいと思うんですが、いずれにしても、ひと月という言葉がありますが、日と月、時間の流れ、しかもサイクリックな繰り返す現象というのは生命にとってもものすごく基本的なスタンスで、それに恐らく気付いたのは人間じゃなくて、もっと初期の命のシステムが生まれた時に、恐らく太陽と月ってというのがインプリントしたものなんだと思うんですが、ことほどさように、月ってというのは科学者が対象とする物体であると同時に、人間の存在の1つの分身だと思うんです。そのことをやっぱり、もしサポートを外に広く求めるんだしたら、いくらでもいい方があります。いくらでも表現の仕方があります。だからそんなことを、あとで話ができたらなあと思っています。

いずれにしても僕、月のおかげでけっこう飯を食べてきました。NHKに入って、3月頃になってテーマがないと、必ずヒューストンで月惑星会議のシンポジウムがあって、いまだに何か必ずレポートが出ているんですね。ものすごいインパクトで月が生まれた話とか、南極の氷の中に月から転がり込んできた石があったとか、思わぬテーマがけっこう拾えまして、それでけっこうドキュメンタリーを作って生きてきた人間として、月には本当に数々の恩恵を受けています。で、先ほど科学者が対象とするものを、非科学者にどう興味を与えるかというのは、大事なテーマだと思うんです。去年は教育の話をしたことを覚えていますが、その話はお隣の方もご専門のようですので、ぜひ触れていただければと思います。

的川 はい。ありがとうございました。松本零士さん、いかがですか。

松本 私の月とか宇宙への思いは、正直いうと支離滅裂でして。いちばん最初というのは「かぐや姫」あたりの、要するに童話とか民話とか言い伝えの中の非常にロマンティックな部分に心を惹かれたところから始まって、途中からは私にとって月というのは、まず月の山を見るという非常に大事なターゲットになりました。子供の時に、親父の老眼鏡と姉の眼鏡やら、いろいろ組み合わせてレンズをたくさん使って月の山を見るということをやったわけです。そのために私は近眼になってしまったと思っています。医者にいっても

「たぶん、そうかも知れんね」と。でもしょうがないと思うんです。

そのうちに、子供の頃、本当は私もマンガやSF小説を読みまして、映画も見まして、月へ行くということが、自分の中で本当に大きなウエイトを占めてきたんですが。行くというのは、子供の頃は他愛もないもので、ロケットなり宇宙船で行くという、途中から俺の能力では絵は描けるけど……。今度はアナタ任せになってきたんですね。誰かに連れてってもらおうというふうに変わってきました、いまは月というのは自分にとって「こんなことってれば、誰か乗せていってくれるかも知れないな」と、それとももっと気軽に行けるようになったら行けるかも知れないと、だんだんターゲットとしての「月への思い」は変わってきました。

物語の中ではずいぶん月を利用させていただきましたので、月に賃貸料が何かを払わないと、具合が悪いくらい使いました。それから想像というのは非常に勝手気ままなもので、宇宙に関するSFにしるマンガにしる、描く時は相当無責任でよかったんですが、次第次第に、アポロ11号が月に降りたり、その前後の月の様子というのがわかってきてからは、逆に変なことを描くと幼稚園の生徒からも怒られるという事態が生じまして、非常に神経質になりました。ですから数字的なものも含めて、月を含めて宇宙が非常に描きにくくなってきたことは事実です。だからもっと遠くのアンドロメダだとか、遙か遠いところにターゲットを置いて描けば、まだ無責任ですむわけですね。ですから月、火星、金星というのは相当詳しくわかっていますから、たいへんなことになったと思うんです。

ただ私は、自分では月に行きたいという願望が、夢なんですが強烈にありまして、自分の足の裏にゲタをくくりつけて、二の字二の字のゲタの跡を山ほど月面にくっつけて遠くから見たら自分の名前になるか日本になるか、そういう足跡を付けてきてやろうというのが願望で、どなたか日本の宇宙飛行士の方で月へ行くことがあれば、黙って歩き回って、地球から望遠鏡で見たら、お名前になるか日本になるか、そのマーキングをしていただきたいと思っています。

誠に他愛ないもんですが。ただ、月に向けた夢というのは自分の仕事の中では激しい駆動力になっておりますので、宇宙というものは自分の人生を左右したものだと考えて、やはり人間は星空を拝むというのは正しいと思うんです。私の場合は星空を本気で拝んでるわけです。「ありがとうございました」と。そこにアナタ様がおいでになったので、仕事になりましたと。実はそんな話を、昨日「徹子の部屋」という番組でする予定で出かけたんですが、話をしたら、何かパンツにキノコを生やした、これになってしまいまして、ほとんど全部これなんですね。だから家へ帰ったら娘と女房の機嫌が悪いですね。というのは、あれは孢子ですから下宿以来まだ私に付きまとっていて、時々家の中に生えるんだなんていったもんですから怒られてしまいまして。しまった。今度はどこかで宇宙のことをいっぱい喋らないと具合が悪い。そういう苦しい立場になっております。

的川 その月へ行ってゲタの足跡を付ける、最短距離にいらっしゃる向井さん、お願いします。

向井 はい、私にとっての月というのは、いまちょっと振り返ってみると、有人宇宙飛行、そのちょうど歴史の1つの象徴的なエピソードを与えてくれたんじゃないかなあと思って

います。というのはアポロ11号が月に着陸する前、月というのは松本先生がおっしゃったように、やはり私にとっても「かぐや姫」が行く世界、そしてウサギが住んでいる、フェアリーテール、おとぎ話の世界だったんですね。そういう観点で、私だけでなく多くの日本人、多くの人たちはそう見てたと思います。1969年、アポロ11号が着陸した時、ちょうど17歳でした。ですからちょうど感受性の高い時にガガーリンが宇宙に飛び出し、テレシコワが飛び出し、そしていよいよ月に人が降り立つ。その時に私はものすごく興奮して、テレビがなかったんでラジオを聞いていましたが、本当に自分で信じられなかったんですね。あの月に人が降りる、そんなことができるんだろうかと思ったんです。その時点から私はまた月に対して、先ほど松本先生がおっしゃっていたように今度は違う対象、そこに人が行ける、科学的にいろんなことをインベスティゲイト、調べていける、そういう対象に変わってきたんじゃないかなあと。ですからロマンというものの、いろんな見方があると思うんですが、違った意味でのロマンが月に生まれたんじゃないかなと私は思います。当時、私は宇宙に自分が行くなんてことはまったく考えずに、医学という道に進んだわけですが、でも月に人が降りた時のエピソードというのはものすごく衝撃的で、すごいなあと思いました。

80年代、スペースシャトルが出現したおかげで、より多くの人宇宙に出ていける。こういった科学技術の発展を考えると、私は本当に感無量になります。私自身がそうなんですが医者として働いていて、そういう一般の地上で働いている、そんな人を、いよいよわれわれがロケットという素晴らしい技術をもったために、われわれの活動範囲を垂直方向に、宇宙にまで伸ばしていける。そんな時代にわれわれは生きているんだなあと。で、たいへん幸運なことにちょうど私が、そういう時代に、行けるような年代にピタッとハマったと。そういう意味ではたいへん光栄な機会を得られたなあと思っています。

そんなふうに見てみると、私、昨年7月に飛行しましたIML-2ミッション、この時にはもちろん私としても初めての宇宙飛行の体験でしたし、またこの時はたいへん素晴らしかったことに、アポロ11号が月に着陸して25周年の記念すべき日を軌道上で迎えました。ちょうどイーグル号が、25年前に降り立ったという時に管制センターから連絡が入りまして、25年前のこの時間にイーグル号が着陸したと。それは、われわれ乗組員7名、軌道上で非常に厳粛に受け止めるというか、素晴らしい時代だなあと思いました。

そしてまた私自身がNASAで訓練をしていて思ったのは、例えばいっしょに飛んだドン・トーマスという宇宙飛行士がいるんですが、彼がなぜ宇宙飛行士になりたかったかをインタビューされて答えていたのが「自分が小さい時にアームストロングが月に降り立った。その姿をテレビを通して観た。それがものすごく脳裏に焼き付いていて、自分も大きくなったらぜひ宇宙へ行きたい。そんなふうに思って宇宙飛行士になったんだ」といっているんですね。ですからアメリカでは、そういう有人宇宙飛行士の歴史を目で見てきた人たち、そういう人たちがいま、次の世代の宇宙飛行士として頑張っている。そんな時代なんです。そういうことを考えると、有人宇宙飛行、たかだかまだ35年くらいですが、やはりアメリカの有人飛行の幅の広さというのを感じます。そういった意味でも私は今後、せっかく素晴らしい演題、「ふたたび月へ」ということなんで、いろんな意味で月を、多くの人たちが、人類の共有財産として、例えばそれを見て楽しむ人もいるし、また無人のロケットで調べる人もいるし、有人のロケットで行こうという人もいると思うんですね。そういった

意味で共有財産としてわかちあっていける、そういうターゲット、1つのロマンのあるターゲットになるんじゃないかなあと思います。

私自身、スペースシャトルですから、軌道300kmくらいの、たいへん地球に近いところを周回していましたが、やはり「向井さん、宇宙のどこまで行きたいですか」と聞かれたら、私はぜひ月に行きたいと思います。松本先生といっしょに、ぜひ月に行きたいと思います。それはやはり自分の住んでいるホーム・プラネット、この地球が綺麗に見える位置は、月だろうと思うからです。火星というのはちょっと遠くなりすぎて星の中の1つが地球になってしまうし、やはり私たちが月を見て「綺麗な月が上がっているなあ」というように、月から私たちが住んでいる地球をぜひ見てみたいなあと思っています。

的川 はい、ありがとうございます。有人飛行と月という結び付きが、いま出てきました、向井さんが指摘された。で、やはり月へ行きたいという思いは、いまのいろんな方の心の動機の中になかなかあるような気がするんですね。いきなりいまの日本の宇宙プロジェクトというところに話を進めていくと、いままで日本では3人の方が宇宙へいかれて、もうすぐ若田さん、4人目の宇宙飛行士が宇宙へ行こうとしている。ただし残念ながら外国の乗り物ですね。外国の乗り物で運んでもらう。日本の輸送システムで日本人を宇宙へ送るとするのは、これはどうだろうか、したほうがいいだろうか？ かなり議論があると思うんです。その辺の感触を、必ずしも月とダイレクトにつながってなくてもいいんですが、皆さんのご意見、非常に金のかかることだということがまず第一にありますけれど、短期的には。素朴なところ、どういうふうにお考えになっているか、向井さんからお願いしましょうか。

向井 私はやはり航空機産業の発達を考えると、それと同じようなことがロケットでも考えられると思うんです。現時点では、数少ない人が宇宙に行っている、あるいは宇宙という空間を利用してできる実験、あるいは空間の利用というのが非常に限られています。ですからまだロケットを作ったり、そういったことに関してお金がかかるって考えがあると思うんですが、やはり私はロケットという素晴らしい乗り物をわれわれが持っている、そういったものが飛行機と同じように日本からも発着できるという時代がきたら、より多くの方が宇宙へ行くでしょうし、そういったことを1つのターゲットとして、インフラストラクチャーをどんどん開発していくということが必要なんじゃないかなあと思います。

的川 松本先生、いかがですか。

松本 私はもう子供の時から徹頭徹尾、宇宙への輸送手段というのは、自分の国でまず開発すべきだというのが基本でした。やはり航空機産業が戦後10年間禁止された、これが恐らくすべてにわたって遅れを取ってる致命傷になっていると思うんです。ただしこの致命傷は、幸いにして不治の病と見えたのが何とか快復できそうだということで、やはり基本的には自分たちで飛ぶ、送るという能力を必ず作り上げたうえで、よその国の優秀な技術と対等にドッキングできて、活躍できるような、そういう土台を作るべきだと思っています。

ですからお金はいくらかかってもいいと思っています。勝手なことをいいますけれど。必ず自分の国で1つのシステムを作り上げて、そのうえで初めて国際協力というのに対等に自由に振る舞える立場が生じると思うんですね。人と人との関係でも、やはり同じレベルに達しないと相手にしてもらえないんで、どんなに血を吐くような努力をしても、必ず自分たちのレベルをそこまでぜひ持って行っていただきたい。金に糸目はつけませんって、自分のお金じゃないんで勝手なことをいいますけど。そのうえでというのは、これはもう。私は子供の時は航空機マニアで、宇宙マニアで、ロケットマニアでしたから、自分たちのプライドにかけても切実な願望なんですね。隣のテレビという話をよくするんですが、隣のテレビのチャンネル権は自分にはないわけですね。窓から覗くだけです。そこの親父がプチンと切れれば終わりです。自分のテレビとなれば、好きな時に、夜中でも何でも自由に見られるわけです。隣のテレビでは面白くない。ロケットはぜひ自分のテレビであって欲しいと、これは強烈な願望です。国粹主義者といわれようと右翼といわれようと、これだけは譲る気はありませんので。

的川 高柳さん、いかがですか。

高柳 いやあもう、お2人の意見に大賛成で。ただ僕、付け加えたいことが1つあって。最近流行のヴァーチャル・リアリティってあるでしょ。科学の番組をやっていて、普通の人が科学に興味を持たないのは、対象がすべてアクチュアルに自分が関われないからなんですよ。つまりアクチュアリティってものすごく必要なんです。そういう意味で、日本人が「月々に月見る月はこの月の月」という、そういう感受性を持った人たちの仲間が、月に手をかけているってことだけですぐに月はアクチュアルな対象になるんですよ、日本人にとって。そういう精神的なバックグラウンドをきちんと利用して、大いに進められたらいいんじゃないでしょうか。

的川 さっきのテクニックとおっしゃっていたのは、そういうことも入っているんですか。

高柳 それもあります。

的川 NHKの公式見解じゃありませんよね？

高柳 いや違います違います。これは非常に個人的、もっとベーシックに言えば、いま理科離れというのは、いま皆さんが興味を持っていらっしゃる対象が、若い人にとってはヴァーチャル・リアリティになっているんですよ。アクチュアルなリアリティになっていない。それは専門家の責任です。ごめんなさい、いまのはいいすぎました。

的川 それはNHKの公式見解ですか？

高柳 いや、これも違います。

的川 わかりました。三明さん、いかがですか。

三明 ちょっと違う方面からこのことをお話したいんですが。15年前、アメリカの大学の文学者が、ほんの薄い本なんですけれど「Given up a gun」、銃を捨てるというタイトルで薄い本を書いたんですけれど、それは種子島で、ポルトガル人から鉄砲を買って、数年以内にそれを戦争に使うって、そして信長がご存知のように、5万挺の鉄砲で日本を統一したということもいえます。その方の「Given up a gun」というのは、西洋ではテクノロジーのプログレス、技術の進化というものは、けっして捨てない、そういうことは考えられないと、この方はおっしゃったんです。ところが日本は、それを徳川三代の時に、いろいろ理由はあったんですけれど、鉄砲を捨てたということ。先週、朝日新聞の歴史の雑誌の中で、日本が鉄砲を横から空へ向けて花火を作ったという記事があって、それは面白いと思って。火薬を戦いに使わないで、両国の隅田川の素晴らしいお祭りの、美、心のものにしたというのが、これは日本人の独特な、もしかしたら、何千年の縄文時代からの、月に対しての心、五感心。ご存知のように、アメリカの先住民は、だいたい月を女として見ています。いくらアメリカ、西洋が女尊男卑といっても、だいたい3000年くらい前からは、青銅、鉄の技術が発達して、世界中が3000年、2000年ほどの戦国時代、戦地球時代になっている感じがするんですけれど。それがようやく、病気が治りつつあるかも知れませんが、ここで日本人の五感心と美と、そして花火を日本人全体、地球人の代表として、その花火は毎年経済的にその金を集めてみれば、だいぶ大きな金になるんじゃないかと思います。それで米国も、ご存知のように、レーガンも独立200年を記念に、どんどん東洋の真似をして花火を上げましたし、ディズニーランドのウォルト・ディズニーは、ずっと昔から花火をポンポン上げていましたから、その花火を上げている金で月へ行ってみて、そして向井先生がおっしゃったように、地球の美というものを、これから地球人として深く持つべきだと思います。

的川 はい、ありがとうございます。こういう話を聞くと出ていただきたくなかったのもわかりますよね。そんな話を聞きたくて、ぜひ出ていただきたいと思って、今日ご出席していただいたんですが。アポロ11号を私はお茶の水の喫茶店で見ていたような記憶があるんですが、行くこと、冒険する、探検することを性急に考えていて、月へ行ったら振り返って地球を見るというセンスはなかった。余裕のなさっていうんですか、自分があさはかだったという気が、いま考えるとします。いまのようなお話を聞きますと、月へ行く意味というのを、すべての方がおっしゃいましたけれど、自分の問題、日本人の心の問題として考えなきゃいけない。そこまで掘り下げて考えなければ、みんなの心を1つのベクトルに統一することはできないって感じは、非常にします。岩田さん、先ほどの話題、いかがでしょうか。

岩田 お話がたいへん難しいところに行って、三明さんのお話、松本先生のお話なんか、よくわかるんですが、頭の右のほうでわかるっていうのが、私どもエンジニアは、どこに行くために何を作るとか、そういう発想ばかりに慣れてて、それは頭の左のほうばかりで考えているのかも知れませんが。なかなかこう結び付けるのは難しくって、たぶん有

人飛行ってというのは、こういう場所でのいちばん大事なキーワードなんでしょうけれど、有人飛行から発想するってことはなかなかなくて、私なんかロケットっていうとどこかに行くための乗り物だっている発想があって、そうすると乗り物があるから出かけるのか、出かけるために乗り物があるのか、月があるからロケットを作るのか、ロケットがあるから月へ行くのかってことは、あんまり簡単に割り切っちゃいけないんじゃないかなという気が、いまのお話を聞いてしました。

アメリカ、ロシアの、先輩の宇宙開発も、そういう目で見ると、ロケットは、何の目的もなくっていうとおかしいんですけど、ロケットを作って行けるから宇宙へ行こう、宇宙へ行ったから今度は月に行こうという話が出てきて、月に行くためにまたそのロケットを作る。いまの宇宙ステーションももしかしたら、スペースシャトルができたから宇宙ステーションを作ろうという発想があったのかも知れませんが。そういうものが切り離せなくて、何ていうのかわからないんですが.....。

ただ松本先生の「宇宙戦艦ヤマト」がものすごく流行った時代があって、あの頃、私なんかは、いつも計算している軌道速度の、秒速8kmに達しないと地球を1周できないというエネルギー量と、ヤマトがこうすーっと降りてきちゃうのと、ギャップに悩んでいたんですけど。アメリカ、日本でも、私どもの仲間もやり始めていますが、飛行機みたいな形で、そのまま宇宙へ行って戻ってくるシングルステージ・ツー・オービットというのがかなり技術的に検討されてきて、ある意味では宇宙戦艦ヤマトが実現する方向になってますし、イメージがあって、それからだいぶ遅れてエンジニアリングがくっついていくんだから、あんまりエンジニアがわかったふうに目的の話をしてはどうかなあという気が、最近してきたんですけどね。ちょっとずれた話をしちゃいました。

的川 はい、ありがとうございます。宇宙戦艦ヤマトというのは、私、個人のお話で申し訳ないんですが、広島の呉というところで生まれたんです。呉という町は昔の軍港だったんです。呉の誇りというのは、大和という戦艦だったんですね。だから大きくなって「どこの生まれですか」と聞かれて呉と答えたら、「ああ大和の呉ですね」という話になっていたんですが、途中でたいへんなライバル、宇宙戦艦ヤマトってのが現れて、この世の中に。それで、いまの子供たちは大和を知りません。宇宙戦艦ヤマトしか知らないんですね。で、私は宮沢賢治という人が好きで、あの人の本を非常に読んでいて「銀河鉄道の夜」が好きで読んでいましたが、これもライバルが現れて、いずれも松本零士って人が描いた本で、うーん、これはもう私の生涯にとって、たいへんなライバルだということで、大和を消され、「銀河鉄道の夜」を消されたら、どんなことになるのかなあと思って、けなすためにその2つの作品は読ませていただきましたが、読んでいくうちに松本零士の大ファンになっていったという情けないことで。時代というのは、そうやって動いていくんでしょうか。たいへん残念なことですけども、もう呉の大和を知っている人はだんだんと少なくなっていく時代になってきたと。ちょっと余分な話をしましたけれど。

で、松本零士さんにちょっとおうかがいしたいんですが、金に糸目はつけませんとおっしゃいましたね。ところが、野村先生がここにいらっしゃいますが「やっぱりお金がかかるよ」という顔をして見ていらっしゃいますが、どうしたらいいんでしょうか。やっぱり国民の税金を使ってやらざるを得ない。アメリカもやはりアポロをやった頃、ベトナム

戦争も同時にやって、やはりけっこう厳しい状況になった時期もあります。いまもそう楽な状態じゃないと思いますけれど、どのように国民のコンセンサスを取り付けていくかというふうなことについてご感想がありましたら。

松本 まあこれは意思の問題ということになるんですが、それよりもあるレベルまでは自前でやって、いっしょに手を携えて飛べるレベルになったら、国際協力というんですか、地球上全部の連携プレーで宇宙開発を進めればいいんじゃないかと思うんですね。ですからこれは試験勉強みたいなもので、そのレベルに到達するまでは歯を食いしばって自分たちの独創的な部分も含めて開発を続けていくという、そういう2段階が必要だと思うんですね。で、そこに到達したらアメリカ、ロシア、中国、いろんな国々と、今度は、これは日本製だとかアメリカ製だとかこだわらなくて構いませんから、ごちゃ混ぜの宇宙船で得意な部分をお互いにカバーしあいながら、月、火星へ飛ぶ。そういう地球上での合意が生まれたらどんなに素晴らしいかと思うんです。その合意の部分で、自分たちが、ある大事な役割を果たしたいという願望のためには、どうしてもある一定のレベルまではどうしてもいっておかなければいけないだろうと。

もう1つは、当然お金がかかる問題ですから、宇宙へ出て行くという、なぜ行くかという問題を広く考えて、きちんと自分たちの心構えを作っておかないと、ただ行くために行くという、山があるから登るでは、これはすまないと思いますね。これは地球の環境とか将来は絡んでくるし、いまでも50何億とかいう人間で、いいかげん地球はパンクしかけているわけですから、これが幸いに平和が続けばもっと増えると思うんです。100億、200億なんてなったら人間だけで、人間自身の個体が発する排気ガスでも、これはえらいことになって。牛のゲップでオゾンホールに穴が開くという話を聞きましたが、人間だってえらいことになるよということで。そうすると宇宙というのは地球の環境を守るガス抜きで、どうしても人間はそこへ飛び出していくという必然性を持って生まれた生物だろうと思うんですよね。そのためにも宇宙開発は、いまそうやって努力しておかないと、地球自身を破滅させる、手遅れになる可能性があると思勝手に考えているわけです。それで、いま出し惜しんだお金のために将来子孫がえらい目に逢うんだったら、いま一所懸命頑張っておきましょうと。きっとそれは、1万年後、2万年後、生存していたら話ですが、子孫から感謝されこそすれ、絶対に怨まれることはない。先駆者は常に石が飛んでくるもんだとか何とかいいながら、いまやっておくべきだと、そう考えております。

子供たちとのいろんな出会いでも、まず興味を持たないところには何も始まらないわけですね。まず興味を持つことから意義とか意味を考えていけば、そこから地球上の様子をずっと見てれば、結論というのは自然に、宇宙に出て行く必然性が導き出せるんじゃないかなあと考えています。

的川 はい、わかりました。いま2つの問題を提起されました。ある程度のところまでは、かなり金がかかっても一所懸命に努力してやるべきだ。そのあと国際協力に進むなら、対等な立場でそのあと進んでいけるからと。2つ目は、やはりその際に、なぜ行くかという動機づけが大切だという問題提起ですね。

最初の、ある程度のところまでは、お金がかかっても歯を食いしばってやんなきゃいけ

ないんだということについては、どうでしょうか。クールに先ほど発言された岩田さん、  
どういうふうにお考えですか？

岩田 ある意味では、その通りに私どもやってきたと思いますが、おっしゃられる有人飛行ヴィークルについては違います。まだ話は始まっていないんでしょうけれど、それ以前、ロケット、無人の人工衛星、そういうものに関してはどこまで歯を食いしばってといていいのかわかりませんが、日本の中ではかなり頑張ってきたほうだと思います。

この時代の日本っていう国、日本人は、世界の中でどの辺の位置にいるのかというアイデンティティっていうのか、そういう問題と何か絡んでいるような気がして。例えば、戦争に負けたわけですが、敗戦の時はとてもとても先進国と肩を並べてなんて考えることは意味なかったわけですから。いまは少なくとも経済力では1番とかいわれるようになってきたんですけど、今度は、世界の中でどういう立場にいるかという意識に関していえば、敗戦の頃と比べて進んでいるのか遅れているのか。例えば自意識というものがハッキリしているのかハッキリしていないのか、よくわからなくなっているところがあるような気がしまして。それと関係していると思います。

あんまり受け身でいっててもてけなくて、やってしまえばみんながついてくるという面もあるのかも知れませんが。

的川 今年はペンシルロケットが国分寺で水平発射されて40年という年にあたるのは、皆さんご存知だと思いますが、戦後、先ほど松本零士さんがおっしゃっている飛行機の研究が禁止されて、サンフランシスコ講和条約で研究の自由が戻ってきて、その頃、ロケットグループが東大の生研に誕生したという経緯があります。40年間。先ほど秋葉先生と五代先生の対談で、たいへん離れた漫才をやられたようですが、その時にもちょっと話が出ました。ペンシル以来、自力でずっとやってきた歴史があって、たいへん小さな組織だけでも、これから進んでいく道は、非常に大きな世界のレベルに飛躍していかなくてはいけないという話がありました。自立ということと、あるレベルになってからの国際協力という問題は、宇宙だけじゃなくてあらゆる局面で日本が直面している問題だという気がしますね。ですから、それがいま新しい課題で、有人飛行とか、月の開発とか月の研究とか、そういう問題になった時に、自立と国際協力というのは、どういうふうに作っていくのかってというのは、お金のかかりかたもさることながら、たいへん大きな理念としての問題だと思うんですね。ここのところは、あるところ理論的な突破をしないとダメだということと、いろいろ苦労をされている方が多いんですね。この点は高柳さん、どうお考えですか。

高柳 とても大事なテーマでお話になって、僕さっきからうかがっていて、例えば素粒子の世界。SSCが潰れて、今度LHCに日本が乗りましたよね。だけど、その前にちゃんとBファクトリーを走らせている。だから僕のいいたいことは、個のレベルでやれることと、種のレベルでやれることがあると思うんです、人間には。種のレベルでやれることは、やはり個でできない部分。例えばアルファ・インターナショナル・スペース・ステーションなんてのは、恐らく日本、たぶん個でできないと思う。だけど逆に、ロボットを使った開発とか、日本独自でできる個のレベルでできることもやっておかないと、個は必ず子供を育

てていかないといけませんからね。あとに続く人たちが意欲を感じてくれない限りポシャっちゃうわけですから。だから個のレベルの努力をきちんとしながら、種のレベルでもちゃんと。もう少し具体的にいうと国際協力でやっていく部分でもちゃんとやりながら、日本は日本独自のものをきちんとやっていかないと、全部ポシャっちゃうんじゃないかなと、そういう気がします。素粒子物理学なんか、そのいい例だと思うんです。スペクトルでわけちゃってると思うんですが。つまり一国でできないことってありますよね、いまどうしても。その部分というのはやっぱり国際協力をきちっと果たしていく必要がある。だけどそれだけになっちゃうと日本の若い人があとに続かないんじゃないかっていうことを、さっきから言いたいなと思って。個のレベルでは子供を育てなくちゃいけませんからね。

的川 うーん。向井さん、いかがですか。

向井 私は国際協力の考え方が、例えば日本とかアメリカとか考えた時に、有人ということをもつて考えると、日本は確かに有人のロケットはないと思うんです。でもH- をはじめとする無人の素晴らしい輸送手段があるわけですし、1つの国際協力のプロジェクトの中で、各国の持つケーパビリティ、各国の持つお金の負担額、そういったことを踏まえて自分の国だけがもらうというだけじゃなくて、何が自分たちが国際社会の協力できるところでギブしていいのか、出していいのか。ギブアンドテイクの世界ですから、もらうことがあれど必ずギブしなくちゃいけませんから。そういったことを考えなくちゃいけないと思うんです。そうした意味で、必ずしもいまスペースシャトルと同じような有人のロケットを作る必要はないと思うんです。だけど現在日本が持っている技術力、それを支えている産業力といったもので、国際社会に貢献していけばいい。

私は無人でも有人でも構わないと思うんです。その時の時代とその人たちの国、その人たちが持っているお金の問題、コンセンサス、そういったことがありますから。だけど私たちが忘れちゃいけないことは何かというと、やはりいつかは月に自分が立ってみたいと。そういう気持ちを持ってなければ、絶対に開発はしないと思うんです。先ほど岩田さんが、これ宇宙開発事業団同志が議論していてもしょうがないと思うんですが、技術力、例えばクルマを考えた時に、行きたい場所があるからクルマを開発するのか、あるいはクルマが大好きだからクルマを作って、別に行きたいところはないというふうにするのか。やはり多くのエンジニアの人たち、現在はモノを作ってしまふことが先行してしまっていて、そしてそのあとにそれをどう使うかという運用の面で苦労していることが多いんだと思うんです。だから、そういう意見が出るんじゃないかと思うんです。

本来はそれは逆だだと思うんです。それは一部の本当に限られた技術開発とか、そういうところではそういう世界では通じると思います。だけどこういう大きなプロジェクト、なおかつ国民、世界中の人たちがいっしょになって力を合わせてやらない限りはできないプロジェクトですし、私は宇宙というのは、月も宇宙の空間もそうですが、地球とか空気、水、そういったものが人類、動物を含めた共有財産であるのと同じように、宇宙開発をやっていようとやっていまいと、どんな国の人にとっても月ってというのは1つの共有財産だと思うんですね。

そういうことを考えると、国際協力というか、みんなのコンセンサスが得られなければ

いけないと。コンセンサスを得るという段階にくると、やはり何かロケットだけ作ってというふうなものでは人は動かないと思う。何が人を動かすかという、みんなが月に行けるんですよ、みんながいつかは月のホテルから地球を見て「地球見酒」を飲む時代がくるんですよ、というふうなことがない限りはダメだと思うんですよ。

先ほど松尾先生がおっしゃっていた、何のために行くかをハッキリさせなきゃいけないという、それは現時点ではそうだと思います。なぜかというとお金が少ない中で、みんなが協力しながら宇宙開発やっていますから、そこから、かけただけのプロダクトを取らなきゃいけない。そういうことでやらなくちゃいけないと思います。だけど将来は宇宙が1つの観光、例えば月に行ってみたい、そこに行って自分の視野を広げたい、そういう使い方でもいいと思うんですね。そこがたぶん、まだまだ宇宙開発っていうのは、技術者の人たち、あるいは非常に限られた人たちにだけにいまアピールしようとしているところがありますが、やはり多くの人たちが、文科系の人たちを含めて、地球から宇宙を見て楽しむ人もいれば、宇宙に行って、宇宙から宇宙、あるいは宇宙から地球を見て楽しむ人もいます。見て楽しむ人もいるでしょうし、先生みたいにいろんなマンガを描かれたり、小説を書かれたり歌を作ったり、そういう人たちも出てくると思うんです。そういった意味で、より多くの人々が共有財産として使えるってことがわからない限り、コンセンサスはまず得られない。コンセンサスが得られなければ、こういうお金のかかる大きなプロジェクトっていうのは推進できないと思うんです。

そこら辺が、いくぶんかでも私が自分の個人の希望でも月に行ってみたいと思いますので、あと私はたかだか300kmの高度ですが、そこから地球を見てみたら、自分が住んでいる素晴らしいホームプラネットというのは、そこから一回離れて見ない限り、いいところに住んでいてもわからなくなってしまう。そういうことを考えると、本当により多くの人が行きたい時に、その人の目的に応じて行ける、そんな時代を宇宙開発っていうのは提供していかなきゃいけないと思うんです。そういう意味で私は、有人のロケットをいまずぐ作るというお金もコンセンサスも日本にはないけれども、いつかはそういうものが日本のいろんなところから発着し、ロケットが日本に帰ってくる、いまの飛行機と同じような、そんな時代が来るってことをいつも頭に置いて開発していかないといけないんじゃないかなあというふうに、これ夢的ですけど思っています。

的川 ちょっと思い出したことがあります。フォン・ブラウンっていう人は、もちろん皆さんご存知ですよ。日本にいらしたこともありますよね。いろんな話をされたんですが、ペーネミュンデでV2というロケットを開発している当時、ナチスの傘下でやっていて、そういう話をずっとされたあとで、会場から、NHKホールかどこかだったと思いますが、質問が出て、戦時中、ナチスの支配下で戦争に協力しているってことで、良心の呵責ってのはなかったですかと質問が出ました。時代の背景も踏まえたような質問ですが。そうするとブラウンさんは「月へ人間を運びたかった。小さい頃は自分が行きたかった。月へ行くためだったら悪魔に魂を売り渡してでも私はやっただろう」という発言をされたのが、たいへん強く記憶に残っているんです。いま向井さんがいわれた「いつかは月へ行ってやるぞ」という動機づけ、心の中に強い感情が続いていれば、必ず願っているのは叶うだろうっていうことをいってらっしゃるのかなというふうに聞きました。

天才と凡人の違いは、すぐ忘れるかどうかだっただ話がありますが、あのインシュタインが浪人中に、光といっしょに旅行をしたら、その光はどういうふうに見えるかなとフッと疑問に思って、その疑問を一生持ち続けたそうですけれど、普通の人は八っと思いついて、明日にはすぐ忘れてしまうわけですよ。そういう他愛もないことでもずっと持ち続けることが天才の条件だといいますが、そういう思いをわれわれは月にに関して共有できるかどうかというの、ここに500人くらいの方が参加していただいて、今後どういうふうに持ち続けていっていかってことは、たいへん大きな課題というふうに思います。火種はあるんだと、先ほど秋葉先生と五代先生の対談の中でおっしゃいましたけれど、その辺を少し、日本人の心の中の月への火種っていうんですか、そういうものを少し掘り下げてみたいんですが。

月というのは、先ほど「かぐや姫」の話があって、それから望遠鏡で月を見るという、だいたい子供はそういうルートをたどるんだそうですが、そのあと、どんなことがあるんでしょうか。ウサギが餅つきをしているっていう話は日本に独特のことですね。それから「名月赤城山」まで行くとちょっと違う領域になりますが、そういった日本人にとっての独特の月に対するイメージがかなりあって、よその国に比べて日本人っていうのは月をたいへん大事にしているように私、思うんですが、よその国のことがよくわからないもんですから、その辺のことを三明先生にちょっとおうかがいしようかなと思ったんですが。日本人にとっての月って外国と比べて、どんな違いがあるか。

三明 的川先生が、この貴重なパネルに参加してくれないか、月のこと、僕は科学者でもないし、57年振りのホームカミングですから。ちょっと考えてふと覚えてきたのが、この歌はカラオケもないので歌えませんが「雨降りお月さん 雲のかげ お嫁に行く時や誰と行く ひとりでからかさ さして行く からかさない時や何で行く しゃんしゃんしゃんと鈴つけた お馬に揺られて濡れて行く」。それでちょっと考えてみて、雨の日で、そして雲もあるし、月は見えないということですね。それと同時に女の方が、からかさなしに馬に揺られてしゃんしゃんしゃんと濡れて行くという姿、イメージが、非常に何か思ったよりも深いところで揺れるような気がしたんです。いま向井先生もおっしゃっていることは、個人個人の心の中の問題だと思っんです。それでマッカラム先生もバイオスフィア2のいろいろな技術的・経済的な問題があって、それを科学者たちが共同して、2年も住んでいらっやって、いまここにいらっやってるんですけど。いちばんのクリティカルな問題は、人間どうしのリレーションシップであるとおっしゃって、その問題も実をいえば個人個人の問題だとおっしゃいました。マイケル・コリンズも、孤独ということをいまさっきいった「Carrying a torch」、「灯火を掲げて」の本の中で、彼は自分の孤独のことを話さないで、チャールズ・リンドバーグからいただいた手紙と電話でお話したことを記しています。リンドバーグは「アームストロングとオールドリンが月の上に着いたことは素晴らしいことであるが、本当にものすごい体験をした方は、あなたである。それはなぜかといえば、独りでグルグル回っていたこと。それは私も大西洋を独りで渡った時の体験である」とおっしゃった。そして的川先生から昨日聞いたことは人間どうしのお話なんですけれど、有名なゴダード先生が非常に金に困っている時に、リンドバーグが金を出してくれたそうです。それを僕ははじめて聞いたんでビックリしたんですけど。それから

ロシアのチオルコフスキー。9つの時に病気で耳が聞こえなくなったということを的川先生の本の中に読んだんですけれど、9つで耳が聞こえなくなった人間が、耳が聞こえなかったから、いまの燃えた心というものが成り立ったんじゃないかと思います。それと同時に考えたことはヘレン・ケラー。5歳の時に耳が聞こえなくなり、目も見えなくなった方が大学者になり、素晴らしい人間になった。孤独の問題かも知れませんが、孤独ということが、自分の心といっしょになるというのが根本的なものであるかも知れないと思っています。

的川 はい、ありがとうございます。視点がやはり深いというのか。零士先生いかがですか、いまのご意見。

松本 やはり自分の心の中にある月ということになりますと、どうもアポロ11号が月に降りたあとの月と、その前の月とでは著しく変わってしまいました。われわれの上の世代でも、文章で書かれたもの、口で語られたもの、いろんなことで月に願をかけるとか「月よ、われに七難八苦を与えたまえ」とか、いろいろあるわけですね。信仰の対象物に近い形で、月というのは自分の願望を訴える場所、祈りを捧げる場所のような気がしていたんです。ところが私自身も、めでたく新聞社をクビになった時に、ちょうど月が出ておりまして、電車の中から見えてたんです。いつかあの月を笑って見る日がくるだろう、いつか見とれ、あの編集長とかそんなことを考えていたんですね。それが宇宙飛行士の足跡がいっぱい付いてから、願をかけようとする「あそこにはアメリカ人の足跡がいっぱいあるのか」と思うと願をかける対象物でなくなったんですね。そこら辺のビルと同じような印象を受けるようになった。そういう神聖な感じは吹き飛んでしまった。人が行く場所だと。ここのところが月にかかる思いというので、ロマンチックな感情を持っていたのが、人間が月へ到達以前の月とそのあとの問題がものすごい落差になって迫ってきました。もう願をかけるという対象、女性でいえば想いを寄せる対象でなくなったんですね。

ですから、これから先は月というのは、自分たちの居住圏を広げるような、要するに住むべき場所というような非常に現実的な印象になってきた。いまでも月を見て拝む人がいるだろうかぁという気がするんです。人間は地面に向かって拝みませんよね、どういう宗教であっても。アフリカに1つあると聞きましたけれど、足元を見て願をかけるというのはありませんよね。どういうわけだかみんな、星空なり空なり月を見てブツブツ都合のいいことをお願いしますよね。ですから上を見上げるというのは本能なんですけど、こと月に関しては著しく変貌してしまって、人間の心の中の対象としてはもう物体化したと思うんですね。今度は居住圏の一部ですね。地球の共有の領土の一部みたいになってきたんで、これから先の子供たちの考えとかずいぶん変わるんじゃないかと思っています。

私自身も必ず行きたいと思っているんですよ。ややアナタ任せで連れて行ってくださいとお願いするんですが、盛んにゴマをすっているのは、いずれ奇抜な人がいて、あいつを連れて行きゃ喜ぶだろうってんで連れて行ってくれるかも知れないと思うんですが、それと同時に月、あるいは宇宙空間へ出て、自分自身のいない地球をこの目で見たい。向井さんはそれをご覧になったんですね。非常に羨ましいと思う。われわれはどんな写真を見ても映像を見ても、あの中に自分がいるんですね。ちょっとに情けない。1つくらいは俺の

いない、死んだあとでは、これは嫌ですけど、1つくらいは自分のいない地球を見たいという願望は強烈にあるんです。月まで行けば見えるだろうと思うし、私は自分の考えとしては、間に合うと思ってます。それは観光であれ全財産をなげうってでも「乗せてくれ」というべきか、一文無しになる可能性があっても行けるというふうに考えています。ですから、それが早く実現してくれないかなあと。もう拝んでいる場合じゃないと思います。

やや最後のほうは支離滅裂になってきましたけれど、最後に戻ってくるところは、行く行かないということになるとお金の話になってしまうので、そこが非常に切ないところです。

的川 一人一人、非常に強い願いがあって、それを実現するためには、たいへんたくさんの方のコンセンサスが必要だということ。最初に高柳さんが発言された、いまのやり方、テクニックのうえで、いまのやり方は間違っていると。不足しているものがあるとおっしゃったのかな。

高柳 間違っていないんですよ。つまり科学者が対象としている月を、対象として描いて対象として解説するだけでは、ついてこないんです、普通の人。なぜ月に科学者はこんなに惹かれるのか。例えば人間は星の子だと書いた方が、この中にもいらっしゃると思うんですが、つまり星の中の核融合で鉄とか重い元素できていますから、そういうロジックでいえば、われわれとつながるわけですよ。それと同じように、われわれとターゲットが、どこか接点を持っていると、とたんにターゲットがアクチュアリティを帯びてくるんですよ。そのことって、すごく大事だと思うんです。

さっきバイオスフィア2のスライドの中に月が映っているのがありましたね。あれを見た時に、日頃思っていることを思ったんですが。もし、さっきダイダロスの話をどなたかなさっていましたが、恒星間飛行をやっていく時にメンタルなケアをしたら、ヴァーチャルに月の層が変わっていくのを見せるだろうと思うんです。満月から新月になるまで。それは人間の精神にすごく安らぎを与えようと思うんです。人間にとってサイクルってすごく大事な問題ですから。それと同じでバイオスフィア2の中にいる人が、月を見られたのかどうかというのは、すごく興味を持ちました。つまりどこかで満月とか新月を見ると「ああ、地球の上にいるな」って、そんな気がしてほっとするんですよ。そのことは何かというのは意外にキチッと説明できると思うんです、進化論を持ってくるまでもなく。われわれの身体の中には、ものすごく複雑な、自然界とのつながりってものがあるわけで、例えばアメリカなんかの科学教育では非常に大事にして取り上げていますね。そのことによって、宇宙に興味を持たせる、あるいは科学に興味を持たせる。それはぜひ宇宙科学のほうでも。宇宙科学のほうで、むしろやりやすいんじゃないでしょうかね。われわれと皆さんが対象にしているものをつながり、科学的に説明することは皆さんお得意の方がいらっしゃると思います。

的川 三明さんはサイエンス・ミュージアムの仕事をいろいろされているわけですが、そういった科学の世界、この場合は月ですけども、なぜ興味を持つか、惹かれるか。心理

的な動機ですとか、もちろん科学的な根拠もありますが、そういうものを、観にくる人、聞きにくる人に説明するノウハウ、テクニクというのはいろんなものがあると思うんですが、いちばん大事なことってのは、どんなことなんですかね。ミュージアムでの気をつけるべきことってというのは。

三明 好奇心ということ。われわれがトロントで作った科学博物館ってというのは、テイバさんがおっしゃったヘーン・ゾーン、日本語では参加系、参加帯とっていますが、それがいままではトロントの科学博物館ではフランク・オッペンハイマー博士と、アポロと同じ年、1969年にサンフランシスコでエクスプローラー・トーリアムという博物館が同時に生まれたんですけど、その方もご存知のように有名な物理学者であり、ロスアラモスの原爆製作をお兄さんのJ・ロバート・オッペンハイマー博士といっしょにやって、数年後アメリカの政治界の動きで共産党に反対をしたセネター・マッカーシーにやられて、彼は10年ほど独りで、山の中で、家族と小さな丸太のキャビンに、羊飼いのような生活をして、ようやくケネディ大統領になった時代に許可を得て、高校の科学の先生になったんです。それを1~2年やって、その間、20年のいろいろなことを考えて、彼は独りで、ただ学者、ただ優秀な生徒のためだけではなくて、皆さんにもっと深く科学のプロセスとか科学の楽しみをぜひ知らせてやらなければ、これからの世界は危ないというので、自分で作り上げて、自分でそれを古臭いサンフランシスコの博覧会の跡のビルディングを使って、そこでいっしょに、お客さん、子供、若い人たち、興味を持っている人たちと、オンザフロアで質問したり答を出したりやった方なんです。つまり、個人個人みんな自分で参加してみる、自分で体験してみるということが、いままでの科学館ではそれがいいところでもあったんですが、最近、参加系というのがエンタテインメントになってしまって、アミューズメントとなってしまって、短気なスペース・トレイルズという一瞬的なイベント的な面白さに惹かれて、いま危ない時代だと思うんです。それでこれからの若い人たちには、科学館に行って科学を体験するんじゃなしに、自然といっしょに自然と共生というようなところが、これからの若い人の育ち方にいちばん欲しい。

57年振りにきて、宮沢賢治さんの記念館、花巻に行って、博物館としては別に素晴らしいとは感じなかったんですが、素晴らしかったのは、割合雨が降っていた日なんです。お客さんたちは宮沢賢治自身に惹かれて記念館のいろいろなものを見ていた方たちが、ほとんど若い方たちだったんです。高校生、大学生。まあ親や小さい子供たちもいましたが、それにちょっとビックリして、宮沢賢治さんの話は全然知らなかったんで、少し勉強したんですけれど。それで先週、屋久島に幸い行って、そこで紀元杉かどの杉が忘れましてけれど、十数人の山登りをして山を下った人たちの顔が、同じ若い、真面目、アグリー・ジャパニーズじゃなしに、それはナイアガラ滝で見えていますけれど、そういう顔じゃなしに、何か宮沢賢治が求めていたこと、山登りをして星を見る、地球を見るという感じがしたんですが、それが非常に、何だか感動したんですが。

僕の父は仏教哲学の人で、僕は全然その方面は浅くも入っていないんですが、子供の頃に「天上天下唯我独尊」という難しい漢字があったんですが、それが最近何だか、面白いことであるという感じがして、これから皆さんにその意味が何であるのか。それから宮沢賢治さんもひとついいことをおっしゃってまして、「永久の未完成が完成である」と。

そういうところで、ちょっと。

的川 はい、ありがとうございました。三明先生のお話、向井さんはしきりにうなずきながらお聞きになっていましたが、いまご感想はおありですか？

向井 やはり月ってというのは、いろんな人がいろんな方向からひとつの対象物としてそれぞれの心の中にひとつの憧れとしてあると思うんですね。私は、いかにアポロの宇宙飛行士が月に立ったとしても、やっぱり月を見た時に本当にロマンを感じるの、あの月に立って、私たちがあの月を見て美しいと思うように、月から地球を見た人たちがいるんだと、そのことだけで私は、技術力にしてもいろんなことでロマンを感じています。私自身、今日はシンポジウムの題名が「ふたたび月へ」ということなので、ぜひ私は月の専門家じゃないんですけど、ここにいる専門家の方たちをお願いして、日本で「かぐや姫計画」というのを作っていただいて、また「ふたたび月へ」、これ日本は無人では行っていますけれど、ぜひ日本で月への探査、そしてまた将来はいつかは人間を月に送れる、そんな技術開発を進めていっていただきたいなあと思います。そういった「かぐや姫計画」、その第1号に、ぜひアプライして月に行きたいと思います。

的川 「かぐや姫」っていうと女性ですから有利ですね。

向井 有利かも知れませんが、月は。

的川 時間が少し過ぎましたが、この会場も時間の制限があるようですので、パネルディスカッションとしては閉めさせていただきたいと。いまのがたいへん立派な結びの言葉になりました。いまのような思い、1人1人の心の中に「月へ行きたい」という気持ちを非常にしっかりと持ち続けることが、大事であるということを経験の言葉にして、高柳さんのおっしゃるテクニックのことは、みんなでこれから考えて、NHKも最大限に利用して、多くの人にわかっていただきたいと。

野村先生が来ていらっしゃいます。みんなの願望が本当にプロジェクトとして実現するかどうかは、この方にかかっているということなんですね。野村先生にも、よろしく願いいたします。皆さん今日は、どうもありがとうございました。会場の皆様もありがとうございました。

## 8 . 閉会挨拶

月惑星協会

斎藤成文

ただいまは最後までたいへん熱の入った、面白い、また有益なお話が続きまして、実はもっと続けてうかがいたい気持ちでいっぱいですが、時間が参りましたので最後の締め括りの挨拶をさせていただきます。

月に行こうとか、月に行くべきであるとかいうお言葉は、いままでにも何回もおうかがいいたしました。しかし今日はさらに踏み込みまして、アメリカが動き出すのを待っているのではなく、日本が初めから大きな構想を打ち出し、自ら持てるH- ロケットまたはその増強型を用いて月面に次々とペイロードを送り込んで、実験・研究をせよ。さらにはまた、将来は宇宙飛行士を月まで行かせたいという意見をおうかがいいたしました。このように月に関しまして、我が国が世界の先端を進もうではないかというご意見をおうかがいすることは、長い間、日本の宇宙開発に携わってまいりました私どもにとりまして、誠に今昔の感がございます。外国の有識者、例えば元のJPLの所長を務めました、カルテックのブルース・マレー教授は、昨年7月17日付けのワシントンポスト紙で「次の25年以内に日本人が月を訪れることを信じている」と言っていますし、また元アメリカ大統領の特別補佐官であったアーサー・シュレディンガー・ニューヨーク市立大教授は「次の月への前進は日本が起こすであろう」、こう今年の8月29日付けの読売新聞で述べております。しかしながらこれらはいずれも、よその国の人々の、いわゆる「傍目八目」と申しますか、私にも他人事のようにうかがっておりましたけれど。その私にとりまして、本日の皆様方のように我が国のオピニオンリーダーであるとか、有識の方々から、ご激励の言葉をいただきましたことは、たいへんな喜びでございます。日本の宇宙開発も、この国の進展とともにここまでやってきたかという感無量でございます。

ソ連邦の崩壊とともに、東西の冷戦終結を境にいたしまして、世界を二分してきた米口の両スペースパワー時代は終わりました。と同時に国家の威信をかけた宇宙開発を見直す時代、いうなれば宇宙開発・冬の時代に入っております。我が国の宇宙開発はこれに対して、国の威信を名目として予算をいただいたことは、かつて一度もございません。にも関わらず一部には、我が国の宇宙開発も、米口を、特にフランスに倣って見直すべきだという、誠に残念と申しますか、心外な声を聞くことが再三でございます。我が国は、一国の威信というものとはまったく無縁に、純粋な宇宙科学のために、宇宙利用という国益のために、国力相応、これは私にいわせれば、国力相応よりも遥かに少ない予算の下に努力して参りました。いまこそ、その着実に築いた宇宙開発の成果を土台といたしまして、一国のレベルを乗り越えて、人類的規模の宇宙開発へ進むべきであるという、今日のパネリスト、またはいろいろの方々のご意見をうかがいまして、まったく吾が意を得たりという喜びでございます。

本日のシンポジウムでは、科学の観点のみならず、実利用の観点、そしてまた人類が宇宙という新しい環境領域に進出する、その第一歩として月への活動を広めるべきであるというご意見をいただきました。我が国の宇宙開発の次の目標として、集中的に月に的を絞ったということは、重要な点だと思います。

現在の、20世紀の終わりのこの段階において、新しい2000年代の始まり、新しいミレニアムを迎えるにあたりまして、人類の将来に対する予測は、先ほどもいろいろな方が申されておりましたけれども、その予測は必ずしも明るいものばかりではありません。オウム真理教のハルマゲドン論は論外といたしましても、人口の爆発的増加、科学技術の進展の暗い影響として、エネルギー消費の増加による地球環境の劣化等々、人類の次のミレニアムにおける将来は、誠にグルミーであるとの声を聞きます。このような人類の叡智によって招かれた問題は、その持てる叡智によって解決するほかありません。もし万一、これが不可能であれば、これは人類は、この地球上での最後の生物ではなかったことを証明するものとなりましょう。私どもは、その持てるそれぞれの叡智をフルに活用いたしまして、それぞれの分野においてできる限りの努力をすることが求められていると私は信じております。

人類の歴史は数万年の古より数多くの苦難の道を、その時代時代において、叡智による新しい方法の発明と新しい活動領域の発見という2つによって克服してきたことは事実が物語っております。狩猟時代から農耕時代、そして産業革命による鉱工業生産時代を経て、現在の情報化時代へと進展いたしますとともに、また人類は古く数か所の源存地から新天地を求め、ヨーロッパを経て南北アメリカへと生活活動の領域を広げて参りました。この論を進めて参りますと、今後は、いま現在われわれが持てる科学技術力をフルに使って地球環境の改善、さらにはキメ細かい地球の利用を進めるとともに、新しい活動領域を広げることに努めなければならないことは自明のことです。

私ども宇宙開発の極にあるものといましては、前者につきましては宇宙からの地球観測による、地球そのものの理解・解明と、その全人類への情報交換によるコンセンサスに基づきました解決方法を求めることにあると思います。これがいわゆるミッション・トゥ・プラネット・アース、全世界情報ネットワークGIIであります。また後者につきましては、第4の人類の残された活動領域、この宇宙への進出であります。ミッション・フロム・プラネット・アースであり、今日のシンポジウムの題目である「ふたたび月へ」であると私は信じております。

昨年、第1回のシンポジウムにおいて発表されましたように、無人による有人月面基地建设計画や、宇宙科学研究所がやっておりますM-5型ロケットによる「ルナA計画」が示しますように、我が国は既に世界的にも相当な月面活動のための技術力を有しております。このホールの後方にもH-ロケットによって月に運ばれます月面ローバーの実物大に近いモデルが展示してありますが、これは宇宙開発事業団による地道な研究成果の、その一部でございます。事業団の方々からご説明がありました、月周回観測衛星ですとか、月着陸実験機の重要性は、これは申すまでもございません。さらに本日のお話にありました通り、宇宙科学研究所、宇宙開発事業団、その他研究所、産業界が協力して進めておられます数多くの月面活動の計画が、一日も早く、国としての開発スケジュールの中に乗ることを、切に切に願っております。そのためにも、本日のようなこのシンポジウムにおきまして、ご出席のような我が国のオピニオンリーダーの方々や、ジャーナリズムの方々、広くご理解・ご支援が必要であります。これも昨年のシンポジウムでも申し上げましたが、今後とも、数多くのこのような機会が作られますよう、主催2団体の方々に特にお願いしたいと思っております。

最後になりましたが、遠路はるばる来日されましたマッカラムさんをはじめ、ご講演・ご討議・パネルディスカッションしていただいた先生方に厚く御礼申し上げます。またご来場いただきました皆様には感謝申し上げますとともに、今後のいっそうのご支援・ご協力を心からお願いいたしまして、閉会の挨拶とさせていただきます。

どうもありがとうございます。