

2023 年度日本アイソトープ協会シンポジウム 基調講演「有人宇宙活動」

土井 隆雄

Doi Takao

(宇宙飛行士, 京都大学特定教授)



はじめに

ご紹介ありがとうございます。皆さん、こんにちは。土井隆雄です（写真1）。

今日の演題¹は「有人宇宙活動」です。私が経験した2回の宇宙ミッションの中で私たちが宇宙でどのように生活や仕事をしているのかを紹介し、また、宇宙で何をを目指しているのかということをご一緒に考えていきたいと思っております。第1部の話は有人宇宙活動について紹介します。第2部は現在京都大学で行っている有人宇宙学をつくるという活動を紹介します。有人宇宙学というのは、人間が宇宙に展開するための新しい学問を意味する造語です。

第1部 有人宇宙活動

1. 有人宇宙活動史

さて、人類による有人宇宙活動は1961年に始まりました。1961年に人類として初めて宇宙に行った方は皆さん、ご存じですか。

当時のソビエト連邦所属の宇宙飛行士、ユーリイ・ガガーリン²です。彼が宇宙に行ってからほぼ毎年、たくさんの有人宇宙ミッションが行われてきました。ロシアはだいたい毎年2~3回ぐらい、定常的に有人宇宙ミッションを行ってきたことが分かります。

¹ 本記事は2023年12月1日、東京お台場にある日本科学未来館ホールにて行われた“2023年度日本アイソトープ協会シンポジウム”での講演を編集したものです。本文中の図は当日の発表資料からの一部抜粋で土井氏から提供いただきました（事務局）。

² ユーリイ・ガガーリン（1934-1968）。1961年、人類初の有人飛行としてボストーク1号に単身搭乗。

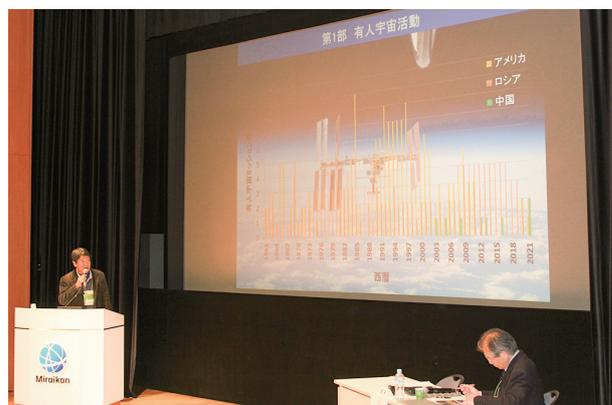


写真1 土井氏による基調講演の様子

す。これはロシアが国策として、即ち国の政策として有人宇宙活動をしてきたということにほかなりません。

アメリカは1960年代に大きなピークが1つあって、80年代に1つ、2000年代、2010年ぐらいにもう1つピークがあります。たくさんの有人宇宙ミッションが行われていた期間と全く行われなかった期間が交互に現れてきます。これは、アメリカがいわゆるプロジェクトとして有人宇宙ミッションを行ってきたからです。

1960年代には、アメリカが人を月に送ろうというアポロミッションを行うことによって1つのピークが現れました。また1980年代~90年代にかけては、スペースシャトルの活動によってピークが現れています。2000年代に入ると、国際宇宙ステーションの建築ということでピークが現れました。

中国は2003年から有人宇宙活動が始まっています。彼らの宇宙船は神舟（ゴッドシップ）と呼ばれている、すごい名前がついている宇宙船ですが、それに中国人宇宙飛行士が搭乗して毎年1回程度活動

が行われてきています。実は中国は2022年に中国宇宙ステーションを完成しているので、今後も中国は有人宇宙活動を続けていくということになります。

2. 日本の有人宇宙活動

日本はどのように有人宇宙活動をしてきたのでしょうか。1985～2008年までを日本の第1期有人宇宙活動と呼んでいます。

日本の有人宇宙活動は1985年に毛利さん、向井さん、私が第1世代の日本人宇宙飛行士として選ばれた時から始まりました。それから2008年まで、短期ミッションでほぼ2年に1度ぐらいの割合で日本人宇宙飛行士が宇宙に行きました。この期間に目指したものは、それまで日本が持っていなかった有人宇宙活動にかかわる新しい科学技術の獲得です。

まず毛利さんの1992年のフライトです。毛利さんは材料科学者でしたので、宇宙で新しい材料、半導体や合金の材料をつくるという技術を学ぶことを目指しました。

1994年、向井さんの宇宙飛行です。向井さんは心臓外科医でしたので、生命科学実験です。宇宙空間の環境が人間に、また生命にどのような影響を与えるのかという生命科学実験の科学技術の獲得を目指しました。

1996年、若田さんです。若田さんは工学者ですので、ロボットアームを操作して新しいロボットアームの技術の獲得を行ったということです。それに続いて1997年の私のミッションでは、船外活動を行うことによって宇宙船の外に出て行う活動に対する技術やその運用の仕方、訓練の仕方を学んだということになります。

この第1期の日本の有人宇宙活動期を通して2008年に国際宇宙ステーションに日本実験棟「きぼう」のモジュールを取り付けるために、日本実験棟「きぼう」を設計・製作し、その運用をするということが可能になりました。

2008年以降、新しい世代の日本人宇宙飛行士が宇宙で活躍を始めて現在までが日本の第2期有人宇宙活動期になります。この期間はほぼ毎年日本人宇宙飛行士が宇宙に行っています。

最初の私のミッション、それから星出さん、若田

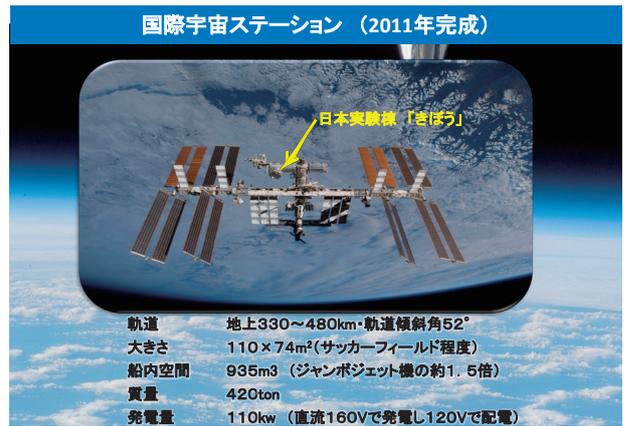


図1 国際宇宙ステーション

さんの3回のミッションで日本実験棟「きぼう」の3つのモジュールが国際宇宙ステーションに取り付けられて建設が終了しています(図1)。

また若田さんから、日本人による長期ミッションが始まっています。3～6か月間宇宙に滞在するということです。この長期ミッションの期間中、いろいろと特別なことが起こっています。

例えば野口さんは、2009～2010年にかけて半年間宇宙ステーションに滞在しましたが、このとき山崎さんが短期ミッションで宇宙に行っています。この時日本人2人が宇宙にいたということになります。

それから若田さんは2回目の長期ミッションで、2013～2014年にかけて宇宙ステーションに行っています。このとき若田さんは宇宙ステーションコマンダーに任命されました。クルーとして宇宙ステーションの運用に最も責任を持つ職務です。この職務に日本人が任命されたということは、このときをもって日本の有人宇宙活動が世界に認められた、また日本の有人宇宙活動が成熟期に達したと思っよるしいかと思ひます。

その後一番若い世代の宇宙飛行士が宇宙に行っています。油井さん、大西さん、金井さんです。その後、野口さんの2回目の長期ミッション、それから星出さんの2回目の長期ミッション、その後若田さんの3回目の宇宙ステーションミッションがあつて、現在³は古川さんが宇宙ステーションにいます。このように日本の第2期有人宇宙活動では、ほぼ毎年日本人が宇宙で活躍しているという本当の宇宙時代が来ていると考えて良いと思ひます。

³ 2023年8月26日から第69次/第70次長期滞在クルーとして活動中。2024年3月12日帰還。

ご存じのように2023年3月にJAXAが一番若い世代の日本人宇宙飛行士2人⁴を選考しました。彼らはアメリカのアルテミス計画という計画で有人月ミッションに参加する予定になっています。実際に実現するのは2030年ぐらいになってしまうかなという感じですが、日本人が月に行く時代も迫ってきています。

3. スペースシャトル

さて、私が宇宙にどのように行ったかということで2回目のフライトの話をしていきましょう。このときスペースシャトル・エンデバー号に乗って宇宙に行きました。スペースシャトルはオービター（軌道船）、固体燃料ロケット、外部燃料タンクという3つの部分からできていて全重量が2000tあります。それが3000tの推力で宇宙に向けて飛び立つということになります。

宇宙までわずか8分30秒で到達してしまいます。そのときの高度はだいたい地上250kmで、そんなに高い高度ではありません。直線距離にすると東京から名古屋に行く手前ぐらいでしょうか。そのぐらいの距離を行くと宇宙にいるという感じになります。

それなのに何でこのように巨大なロケットシステムが必要かという、宇宙に行ったときにある特定の速度が出ていないと宇宙船は地上に落ちてしまうからです。その特定の速度は第1宇宙速度と呼ばれています。秒速8kmです。秒速8kmといってもなかなか想像が付きにくいですが、この速度は1分間に480km、東京から大阪まで1分間で飛んでしまうというもの凄いスピードです。そのスピードを出すために、巨大なロケットシステムが必要になります。

打上げは2008年3月11日、フロリダ州にあるケネディ宇宙センターです。

このときは夜の打上げだったので、乗組員（クルー）はみんな昼間に寝て夕方を起こされて、ちょっと眠たそうな顔をしています。みんなでオレンジ色の打上げ帰還用宇宙服を着て、この後バスに乗ってスペースシャトル・エンデバー号に向かいます。ス

⁴ 2023年3月、4127人の中から諏訪理氏（世界銀行勤務）、米田あゆ氏（日赤医療センター外科医）が選出。



写真2 土井氏による基調講演

ペースシャトルの打上げはケネディ宇宙センターにあるローンチコントロールセンターで全部指揮されています。打上げ直前にローンチコントロールセンターのセンター長がクルーに話しかけます。

まず、スペースシャトル・エンデバー号の3つの液体燃料エンジンに点火されます。その後で固体燃料ロケットモーターが点火されます。2分間、固体燃料ロケットモーターが燃焼します。それが終わると切り離されます。

この後6分30秒間、クルーはエンデバー号に乗って宇宙への旅を続けます。宇宙に着くと、今度はエンデバー号が燃料タンクから切り離されます。宇宙飛行士にとって8分30秒という短い期間ですが、永遠に感じられる、そういう時でもあります。私たちの宇宙ミッションが始まりました。

スペースシャトルの一番大きな特徴は、翼を持っているということです。ですから地上の滑走路に、飛行機のように滑空して戻ってこれることができます。オービターの操縦席は2席あって、左側がコマンダー、右側がパイロットの席です。両方の席からスペースシャトルを操縦することが可能です。

スペースシャトルは地球大気圏にインド洋の上空で突入してきます。ちょうど高度100kmぐらいです。それから約40分間かけて南太平洋を横断しフロリダ州の上空にきます。そこまでは、スペースシャトルはコンピューターで操縦されていますから、宇宙飛行士の役割はコンピューターの操縦をモニターするということになります。フロリダ州の上空に来たときからNASAのフライトルールによってコマンダーが手動で操縦することになります。着陸するときはコマンダーが自分で操縦します。

ここに私は NASA が有人宇宙活動にかけるすごい熱意を感じます。スペースシャトルの着陸は1回限りしかできません。もうロケットエンジンは使えません。最後の瞬間、失敗することは許されない操作をコンピューターには任せない。人間に任せる。そこまで宇宙飛行士を訓練する。そこに NASA, またアメリカが有人宇宙活動にかける熱意を感じることができます。

私たちの着陸は夜中になりました。パイロットがコマンダーに地上までの距離を読み上げます。スペースシャトルが滑走路に着陸するときは、まだ時速 350 km ぐらい出ています。そのためにパラシュートを開いて減速します。最後にみんなでエンデバー号を労って、記念写真を撮って、16 日間のミッションが終わったということになります。

私のクルーメンバーを紹介したいと思います(図 2)。右下に座っているのがコマンダーのドム・ゴーリー船長です。彼がエンデバー号を操縦しました。その横に座っているのがパイロットのボックス・ジョンソンです。後ろに立っている宇宙飛行士が 5 名いますが、ミッションスペシャリスト (MS) と呼ばれています。MS の職務は宇宙での何でも屋です。ロボットアームを使うし、船外活動も、宇宙実験もする。いろいろな仕事をするということで MS と呼ばれています。

私たちは約 1 年半にわたってこのミッションの訓練を行いました。いま思うとこの訓練中、何が一番大切だったかという、それはチームワークを作ることでした。どのようなチームワークかという、君は君の命を僕に預けることができるか、僕は僕の命を君に預けることができるかという、そこまで仲間を信頼することのできるチームワークです。このチームワークがないと、宇宙ミッションはとて成り立ちません。そのチームワークをつくるということが、この訓練の一番の目的でした。

もう 1 つ大事なことがありました。このミッションでは私が 1 人だけ外国人で、ほかはすべてアメリカ人でした。一緒に訓練をして同じ釜の飯を食うことで私が気がついたのは、1 つのゴールを共有することによって、その人の育った文化や言葉の壁は乗り越えることができるということでした。

いま日本企業が世界で活躍していますが、そういう方々も同じような意見を持っていると思います。



図 2 スペースシャトル・エンデバー号のクルー

1 つの目標を共有することによって、人類は育った文化や壁、生活習慣等乗り越えることができるのです。

4. 国際宇宙ステーション

現在の国際宇宙ステーションは 4 つの太陽電池パネルが目立っています。皆さんは国際宇宙ステーションがどのぐらいの大きさか分かりますか。4 つの太陽電池パネルがついている、水平方向に延びている構造体はトラスと呼ばれていますが、トラスの長さは 110 m あります。太陽電池パネルの長さが 1 辺 70 m です。サッカー場の大きさがあります。

私たちはそのような巨大な構造物を宇宙につくり、現在も運用しているということになります。6 人の宇宙飛行士が常時滞在して、いろいろな仕事をしています。この宇宙ステーションが回っている軌道は地上から約 400 km です。この軌道では地球を 1 周するのにわずか 90 分、1 時間半しかかかりません。宇宙ステーションの 1 日は 90 分ということになります。45 分ごとに昼間が来て夜が来るのですが、宇宙飛行士はグリニッジ標準時：24 時間制で生活し、仕事をしています。

5. 宇宙—無重力の世界

宇宙というと、まず皆さんが思い浮かべるのは無重力の世界です。先ほど私は「人類の有人宇宙ミッションは 1961 年にユーリイ・ガガーリンが宇宙に行ったことで始まった」と述べましたが、ユーリイ・ガガーリンが宇宙に行ったとき、彼は無事に地球に

戻ってこられるのかどうか知りませんでした。

宇宙に行って人間は水を飲むことができるのか。食事をとることができるのか。目はちゃんと見えるのか。耳はちゃんと聞こえるのか。脳は働くのか。ちゃんと眠ることができるのか。何も知りませんでした。そして彼は宇宙に行って、無事に戻ってきて、人間は宇宙でも生き残ることができる、生き続けることができることを証明したわけです。

彼の宇宙ミッションからもう60年以上経って、私たちは先ほどのすべての質問に答えることができます。私たちは宇宙に行って、地上と同じように水を飲むことができます。むせることもありません。食事普通にとることができます。目も見え、耳もちゃんと聞こえ、脳も働きます。眠ることは、きっと宇宙のほうが地上よりもぐっすり眠れるのではないかと思います。

考えてみると、これは非常に不思議なことです。地球に生命が生まれてもう数十億年経ちますが、人間に進化するまでの間、地球上に生まれたどの生命体も宇宙の無重力を体験したことはありませんでした。それにもかかわらず、私たち人間の体は宇宙で生きることができるようにつくられている。これは地球から私たちへのすばらしい贈り物ではないかと思えます。

さて、ここで実際に宇宙ステーションで行われている実験を少し紹介したいと思います。日本実験棟「きぼう」の中にある細胞実験ラックでは、いろいろな生命科学実験が行われています。例えば骨細胞の培養実験です。宇宙に滞在していると、骨はカルシウムが血液中に流れて、弱くなってくることが分かっているため、それを調べる実験が行われています。

また本当に宇宙で植物を栽培できるのかということで、発芽実験等も行われています。現在はこの発芽実験がもっと進んで、種を植えてから実ができるまで全体の実験が行われています。大阪市立大学の保尊先生⁵が行った実験では、シロイヌナズナを宇宙ステーションに持って行って、その生育状態が調べられています。

シロイヌナズナはよく道端に生えている小さな雑草ですが、いま宇宙ステーションでよく実験に使

われている植物です。地表重力と微小重力下の成長を比べてみると2つの違いがあることが分かります。1つ目の違いは、シロイヌナズナが生育を始めてどちらが早く天井に着くか見ると、地表重力下よりも微小重力下のほうが早く成長していることが分かります。これはどの植物でも起こります。

もう1つの違いは、地表重力下1gで葉っぱの色がどのように変わるかを見ると分かります。いま成長が始まって、緑になって、枯れ始めていますが、微小重力下0gではそれほど枯れていません。実は植物は宇宙で老化が抑えられるということが分かっています。

老化のスピードを計算してみると、宇宙では地球に比べて老化のスピードが遅く、70%ぐらいだということが分かっています。これが実際に動物で起こるかどうかは、まだ検証されていません。

私が宇宙滞在していたときに、無重力状態にいると全く疲れなかったという経験があります。地上では8時間労働すると結構疲れてきますが、宇宙では何時間経っても疲れず。地表では重力によって私たちの体が下に押されていて、それに対抗するように私たちは常に筋肉を使っていますが、それが宇宙ではなくなるので、重力に対抗しない分だけ体のストレスがなくなって、そのために宇宙では疲れずではないかと思えます。無重力であることが老化スピードを遅らせることに働いているのではないかと感じています。

宇宙では人間の体がどのように宇宙空間で変化するかという実験もされています。これは京都大学の寺田先生⁶が宇宙ステーションで行った毛髪の遺伝子発現現象を調べた実験です(図3)。この実験では打上げ前に2回、打上げ中に2回、帰ってから2回、毛髪の中の遺伝子の発現を調べています。

右側のグラフはいろいろな遺伝子の発現現象を見ますが、フラットに見えている部分は地上と全く変化しなかった遺伝子です。それが台形的に、また尖がった山のようにになっているのは、その遺伝子が宇宙で発現したということです。

これを見て分かるように、発現する遺伝子も発現しない遺伝子もあります。現在も実験結果の解析中ですが、男性宇宙飛行士に比べて女性宇宙飛行士の

⁵ 保尊隆亨(ほそんたかゆき)氏。日本宇宙生物科学会元理事長。専門は植物生理学、宇宙生物学

⁶ 寺田昌弘氏。京都大学宇宙総合学研究所ユニット連携准教授。専門は有人宇宙学、宇宙医学、宇宙生物学

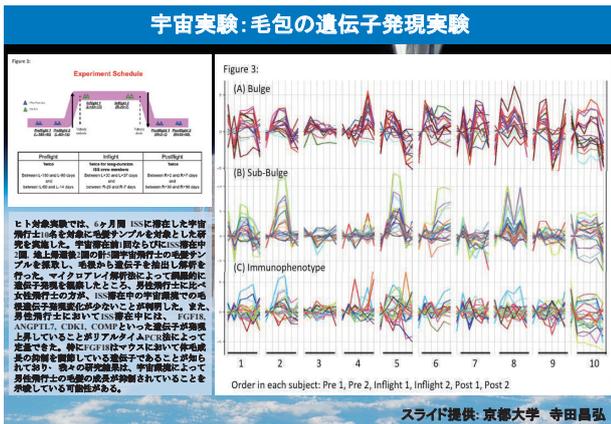


図3 宇宙実験：毛包の遺伝子発現実験

ほうが宇宙での耐候性が強いことが分かってきます。

6. 宇宙－真空の世界

また宇宙空間のもう1つの特徴は、真空の世界だということです。この真空の世界で、私たちはどんな仕事をしているのかを説明したいと思います。私の1回目のフライト：1997年のスペースシャトル・コロンビア号では日本人として初めて船外活動を行いました(図4)。

船外活動は宇宙飛行士2名で行います。私の相棒は、ウィンストン・スコット宇宙飛行士です。私が着ている船外活動用の宇宙服は130kgの重さがあります。130kgというと、地上ではこれを着てしまうと立っていることも歩くこともできません。では、どうやって訓練するのかというと水中で訓練を行います。10mの深さのプールに入って、水の浮力によって船外活動用の宇宙服の重さを中和して訓練することになります。宇宙の昼間は太陽光を浴びてヘルメットが白く輝いています。このときの表面温度はだいたい100℃です。夜は-100℃になります。宇宙空間は非常に温度差の激しい環境ですが、宇宙服を着ていると全く問題はありません。この宇宙服を着ると8時間船外活動をすることが可能です。

スコット宇宙飛行士と私は、コロンビア号の貨物室の構造物に足を固定して立っています。こうすることによって両腕を使うことができます。実は船外活動の3日前に太陽コロナ観測衛星スパルタンを宇宙に放出しましたが、起動がうまくいかずに宇宙を放浪し始めてしまいました。ですから私の最初の船



図4 宇宙：真空の世界 船外活動

外活動は、この放浪しているスパルタン衛星をスコット宇宙飛行士と手づかみで捕まえることでした。

ちょっと野蛮な感じのするミッションですが、宇宙に出ると宇宙飛行士は何でもやります。ケビン・クリーゲル船長がスペースシャトル・コロンビア号を少しずつスパルタン衛星に近づける操縦をしています。船外活動中に地球を見ると、視野いっぱいに地球が青く輝いていて非常に見事でした。

ヒューストンにあるミッションコントロールセンターが船外活動の支援をしてくれました。日本からだるまさんも応援に駆けつけてくれました。困ったときの神頼みは宇宙でも役に立ちます。このミッションに関わるすべての人の努力で、スコット宇宙飛行士と私は無事にスパルタン衛星を捕まえることができました。いまや船外活動によって人工衛星を捕まえることも可能なのです。スパルタン衛星は、このミッションでは再放出することができませんでしたが、1年後に別のスペースシャトルミッションで宇宙に行って放出されて、無事太陽コロナの観測を完了しています。

さて、もう1つ、宇宙の真空を使ってできる仕事は地球観測です。これは宇宙ミッションで撮った地球の様子です(図5)。真ん中にあるのがヒマラヤ地方を通ったときの写真です。もう冬だったので、このように8000m級の山々は雪で覆われています。宇宙から見るとシートにしわが寄ったようにしか見えません。

右下にあるのはガンジス川のデルタです。非常に細かな支流までよく見えます。この左側にあるのが、私たちがアラスカの近くを通ったときに撮った北極

圈のオーロラの様子です。酸素原子が緑色に光り、電離層が乱れかけているのが分かります。右側は皆さんよくご存じの日本列島の写真です。これは昼間に撮った写真ですが、夜はどう見えるのかを皆さんにお見せしましょう。

左側に見えているのは、先ほど見えたオーロラの写真です（図6）。地上で光っている灯りもよく見ることができます。それらは都市の光です。また直線的に連なって見えるのは道路の街灯の光です。このように宇宙空間から見ると地上の様子がよく分かります。また大気層が薄く地球の表面を覆っているのが分かります。大気層を通して星も見ることができます。地上にピカピカ光っているものも見えます。それらは稲光です。宇宙での夜明けの光景は圧巻です。少しずつ東側が大気層に沿って明るくなってきます。90分ごとに夜明けがやってくるのが宇宙空間です。宇宙から見る地球は本当に美しく見飽きることがありません。

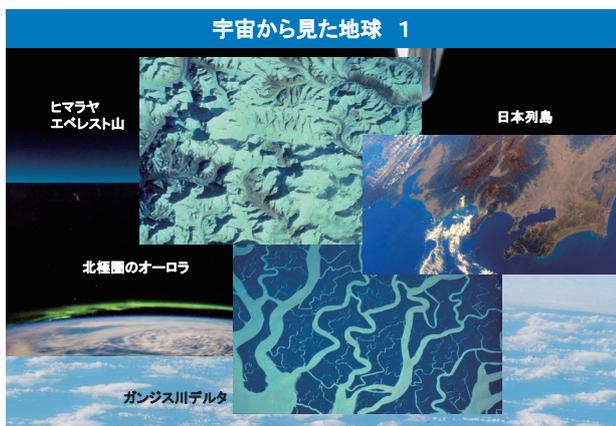


図5 宇宙から見た地球 1

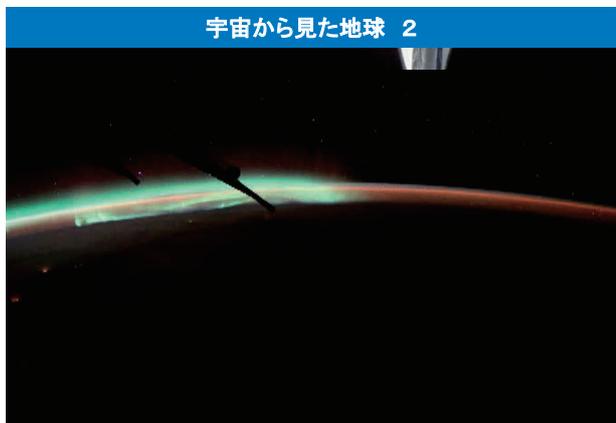


図6 宇宙から見た地球 2

第2部 有人宇宙学の創出

7. 有人宇宙学とは何か

ここまで私の宇宙ミッションを紹介しましたが、第2部では私が現在京都大学で行っている活動を皆さんに少し紹介したいと思います。京都大学で私が目指したのは、有人宇宙活動を担う若い世代の人材を育成することでした。まず考えなければいけないのは、有人宇宙活動とは何か、どんなことを有人宇宙活動と呼ぶのだろうかということです。

3つの特徴を挙げてみました（図7）。まず「最先端科学技術」を使うということです。人間が宇宙空間の無重力や真空に対して生き延びるためには最先端科学が必要です。人が宇宙に行くということで、「人文社会的連携」が必要になります。その良い例が国際宇宙ステーションでの国際協力です。また宇宙飛行士が宇宙に行って命をかけるということで、「国民の高い関心」を呼ぶ活動でもあります。

このような有人宇宙活動に若い人たちが入ってくることによって、有人宇宙活動自体が活性化します。それと同時に宇宙開発の利用を拡大し、結果的に文化、産業の拡大、多様化が起こってきます。その結果、社会全体では何が起こるかという、地球から宇宙に広がっていく新しい社会の構築が始まります。それがまた国民の高い関心を呼ぶということで、この矢印を私は京都で何回も回そうと考えたわけです。

有人宇宙学は人類が宇宙に展開するための学問です。学問として有人宇宙ミッションを考えたという例は、世界的に見てもどこにもありません。ですか

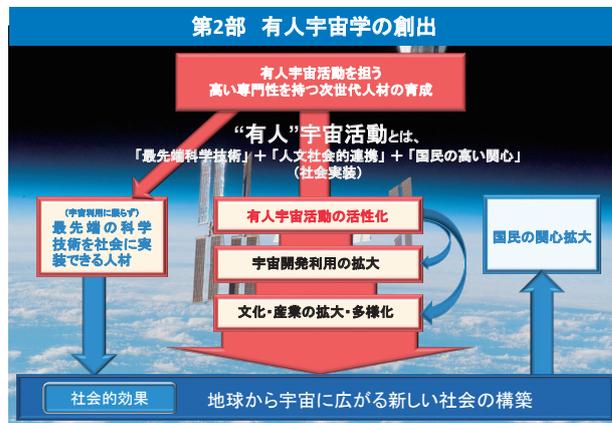


図7 有人宇宙学の創出



図8 有人宇宙学：人間—時間—宇宙を繋ぐ学問

ら京都大学で行っている有人宇宙学の創出は、世界で初めて有人宇宙活動を学問にしようという試みと言って良いと思います。

まず私は、有人宇宙学とは、人間と時間と宇宙をつなぐ学問であると定義しました(図8)。それによって真ん中にある、3つの矢印からなるこの図を描くことができます。まず時間と宇宙の矢印から何が生まれるかということですが、138億年前に宇宙が誕生してから現在の宇宙までの宇宙の進化をこの矢印は意味しています。

人間と時間の矢印は、地球で生命が生まれて人間に進化するまでの生命の進化を表しています。また人間という考える生物が生まれたということで、人間が作り出してきた村や町や都市、文明の進化もこの矢印から出てくることになります。人間と宇宙の矢印は、いままで私たちが作ってきた宇宙工学とか、宇宙医学とか、宇宙科学とか、宇宙開発にかかわる科学技術の進化がこの矢印に相当します。

結果として有人宇宙学というのは、この4つの進化過程を司る学問と言い換えることもできます。

私たちの祖先、人類の祖先は悠久の昔にアフリカの森に住んでいました。その当時は、いまの人間やチンパンジーやゴリラの祖先は全く同一祖先でした。

ところが500万年前ぐらいになって、その後人類の祖先となる霊長類の祖先だけが森からサバンナに下りました。サバンナに降りて二足歩行を獲得して、道具や火を使うことを覚えて、世界中に広がって、いまの私たち人間に進化しました。森に残った霊長類の祖先は、いまのチンパンジーやゴリラになりました。

そうすると私たち人間とチンパンジーやゴリラを隔てているものは何かというと、500万年前に森からサバンナに下りたという行動です。即ち居住環境の変化です。

現在私たちは宇宙に行こうとしています。地球から宇宙に行くというのは、いま再び居住環境の変化を起こそうとしているということです。私たち人類はいま新しい進化の分かれ目に来ています。この進化の分かれ目でどちらを選ぶかは私たち自身、人類にかかっています。

8. 宇宙における人間社会の存在可能条件

さて有人宇宙学は、このままでは何ら新しいことを生み出すことのできないものですが、この有人宇宙学を宇宙で社会をつくるための条件を探すことに使えないかと考えています。

人間社会が宇宙で存在できるかどうかという条件を社会条件、ソーシャル・ハビタビリティと名づけました。この有人宇宙学を使って、人間社会が宇宙で存在できる社会条件を探そうというのが、現在私たちが京都大学で行っている研究活動です。

ただ、人間社会というのはどういうものか、どのようにつくられてどのぐらい続くのかは、まだ誰にも分かりません。一朝一夕に宇宙での社会条件を求めるとはできません。まずは、既に分かっている条件から始めることにしましょう。

いま分かっている条件に宇宙科学における水条件があります(図9)。これはハビタビリティと呼ばれている条件です。ある恒星からどのぐらい距離に離れた惑星に液体の水が存在できるのかという条件です。これは恒星から出る熱量と距離によって決まってしまうので、数式的にきちんと表現することができます。この水条件から始まって、生命が存在する条件、人間が存在する条件を調べていって社会条件に至る、私たちはこの道筋をたどって宇宙における人間社会の存在可能条件を探そうと考えています。

これはまた新しい宇宙開発へのアプローチを提案しています。現在までの宇宙開発はNASA、アメリカやロシアによって進められてきました。その進め方は技術優先です。ある宇宙に行ける技術ができるとそれを使って宇宙に行き、宇宙で活動をするということです。しかし、その目標がどこにあるのか

人類が宇宙に恒久的に進出できる持続可能な社会基盤を構築する
 有人宇宙学:新しい宇宙開発へのアプローチ

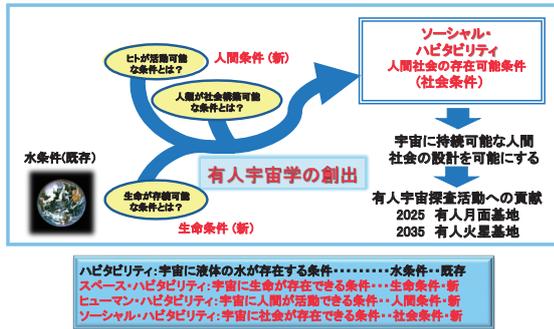


図9 人間社会の存在可能条件

ははっきりしませんでした。宇宙にたくさんの人々が暮らす社会をつくる条件をまず挙げて、そこに至るためにいま何をしないといけないかを明らかにして、その道筋に沿って宇宙開発を行っていかうというのが、新しい宇宙開発へのアプローチです。

9. 京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター

有人宇宙学の研究教育活動を推進するために2021年に京都大学にSIC有人宇宙学研究センターができました。この有人宇宙学センターは5つの課題研究部門を持っていて、それぞれが企業と一緒に研究教育活動を行っています。

1番目は宇宙木材研究で、これは私が主催しています。2番目は宇宙居住研究、3番目は宇宙放射線影響研究です。これはきっと日本アイソトープ協会の皆さんが非常に興味を持つ研究ではないかと思えます。4番目が宇宙教育研究、そして5番目が宇宙・地球探査技術研究になります。

宇宙木材研究では、私たちは世界初の木造人工衛星をつくっています。1辺が10cmの超小型の人衛星ですが、これを木でつくろうということです(図10)。

この木造人工衛星の一番大きな目的は宇宙で木が使えるかどうかを証明することですが、ほかにも利点があります。例えば金属衛星は、宇宙、成層圏、海洋を汚染していますが、木造人工衛星はそれらを汚染しません。木造人工衛星は地球環境に優しい人工衛星なのです。2024年秋に打上げを予定しています。現在、学生と一緒に一生懸命この木造人工衛星の開発を行っています。

SIC有人宇宙学研究センター 宇宙木材研究室

世界初の木造人工衛星 (LignoSat) の開発

黒田工場の木工職人による
 構体プロトタイプ (ヤマザクラ製)



木造キューブサットの目的

- ①複合的な宇宙環境の木材に対する影響の研究
- ②宇宙における木材資源利用の探究

木造キューブサットの利点

- ①宇宙・成層圏・海洋の汚染を防止
- ②電磁波を遮蔽しないことによる、衛星バスシステムの新たな可能性
- ③優れた断熱性のため、極限環境にも耐えられる

図10 世界初の木造人工衛星

あわせて低圧下における樹木の育成実験も行っています。宇宙で木が使えることは分かったけれども、その木はどこから調達するのかというと、地球から持っていくのではお金がかかり過ぎます。月や火星で木を育てられないと木を使うことはできないわけです。

火星には大気があります。その大気圧は地球の約100分の1で、二酸化炭素大気です。ところが植物は二酸化炭素があれば光合成によってそれを酸素に変えることができるし、栄養分をつくって成長することもできるので、火星環境で樹木を育成することができないかどうか、現在私たちは実験を行っている最中です。

10. 有人宇宙学と国連SDGs

これまで有人宇宙学でどういうことができるかという話をしてきましたが、国連は2015年に新しい17の開発目標、持続可能な開発目標SDGs, Sustainable Development Goals を発表しました。15年計画で、2030年までの目標です(図11)。

エネルギー、社会、気象、海洋生命、陸上生命等、いろいろなゴールがあります。この17のゴールは5Pと呼ばれている要素からできています。それらは、People (人間)、Prosperity (豊かさ)、Peace (平和)、Partnership (パートナーシップ)、Planet (地球)です。

これらの目標はローマクラブが1972年に発表した『成長の限界』という本の提案が元になって作られています(図12)。

このローマクラブの提案は未来予測です。いわゆる幾何級数的成長モデルを使って未来予測をしまし

だが、この未来予測は非常に興味深く、逆に言えば少し悲しい結果を予測しています。現在、地球人口は増えています。彼らの予測では2050年にピークが来て、その後は急速に減少してしまいます。

彼らはこれで人間社会に何が起こるのかを調べました。人類が地球資源を倍使えるようになったらどうなるか、資源を無制限に使うとどうなるかと仮定して人口の変化を調べるシミュレーションを行ったのです。資源を倍使うにしても、無限に使うにしても、2040年にピークが来てしまう、2050年よりも早まってしまうというとんでもない結果が示されました。

資源をたくさん使うことによって環境汚染が進んで、農作物が取れなくなって、食べ物が不足してしまう。それによって極端な人口減少が起こるということが示されています。現在の地球社会が持続可能な社会になっていないことを端的に示しています。

これが1970年のシミュレーションです。それから約50年経っていますが、現在の私たちの人口はまだ黒い線の上に乗っています。

私たちにはあまり時間が残されていません。この幾何級数的に変化する人口をどうにか持続可能な成長に変えるために国連がSDGsを発表したということです。

いま有人宇宙学は、先ほどの5PのPlanetの部分 Outer Space (宇宙) に変えることを提案しています。即ち地球環境を守っていくために、地球資源ばかりではなくて宇宙資源も使うことによってSDGsの実現を考えたらどうかということです。

宇宙の広大な空間とか宇宙にあふれている太陽からのエネルギーを使うことによって、持続可能な目標を本当に2030年までに実現できないか。そういう活動も私たちは有人宇宙学の中で提案しています。



図 11 国連の持続可能な開発目標 (SDGs)

おわりに

最後に私の20年以上にわたる有人宇宙活動のまとめとして、3つのすばらしさを皆さんに伝えたいと思います。1つは地球のすばらしさです。宇宙から見る地球は本当にすばらしい惑星です。この惑星に私たち地球上のすべての生命が生きています。私たちは運命共同体です。地球は、宇宙から見ると丸い地平線を持っている有限の世界だということが分かります。このすばらしい地球をいつまでも保っていかなければいけないということが、人類に課された課題ではないでしょうか。

2番目は人間のすばらしさです。太陽電池パネルは私が宇宙ステーションに行ったときは3つで、まだ建設途中でした。人間は、協力すれば現在のような巨大なすばらしい構造物をつくることができます。また人間自体、宇宙で生きられるようにできています。これは人間の本当にすばらしい利点ではないかと思います。

最後に宇宙のすばらしさです。宇宙はあらゆる可能性があり、またそれが可能になる世界です。

私の大好きな言葉を皆さんに送って、私の話を終わりたいと思います。

「宇宙をめざせ。」

皆さん、どうもありがとうございました。(拍手)

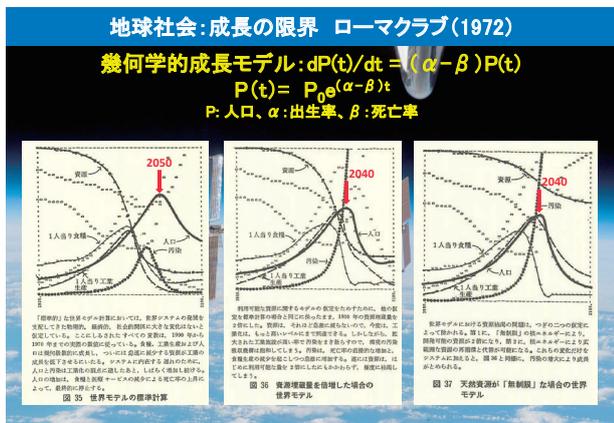


図 12 地球社会：成長の限界 ローマクラブ