

第2部 [講演]
宇宙服のいま

1月31日 (火) 遠藤記念館大ホール



[講師]

山口 孝夫氏

〈JAXA (宇宙航空研究開発機構)
有人宇宙環境利用ミッション本部
有人宇宙技術部 有人宇宙技術開発グループ長〉

総合司会

続きまして第2部講演を始めます。

お一人目は、JAXA (宇宙航空研究開発機構) 有人宇宙技術開発グループ長である 山口孝夫様にお話しいただきます。山口様よろしくお願いたします。

第2部 講演 「宇宙服のいま」 ————山口孝夫

JAXA の山口孝夫でございます。

はじめに自己紹介をさせていただきます。私は宇宙航空研究開発機構で現在は宇宙飛行士の訓練、宇宙に滞在するためのサポート、それから宇宙服の研究を行っております。今日はその中で、宇宙服の研究についてご紹介しようと考えております。

テーマとしては「宇宙服の今」ということですが、今を語る上でもやはり過去と未来の話は重要ですので、それについても少しふれながら、お話しします。

宇宙とはどんなところか

まずは宇宙とはどんな環境なのかを説明しなければなりません。物理的な環境としては、もちろんほとんど空気はありません。それと極低温、極高温で昼夜の寒暖差がプラスマイナス120℃以上。「きぼう」のある国際宇宙ステーションは地球を90分で一周しますので、おおよそ45分間が夜、45分間が昼となります。昼間の場合には120℃、夜の場合にはマイナス150℃という環境下で、宇宙飛行士は宇宙服を着て船外で活動しています。

そのときに降り注ぐ宇宙放射線、これは発がん要因でかなり危険なので、これの対策も行わなければなりません。それからすべてのものに重さがない、つまり無重量です。総じて、生物はとても生存できないような環境で宇宙飛行士は宇宙服を着て船外で活動をしています。つまり宇宙服は船外で宇宙飛行士が生きていくための小さな宇宙船と言えるのです。

そのほかの特殊な環境として閉鎖環境、つまり狭い居住環境があります。そこで定常的な生命の危険と隣り合わせで生活する。今の国際宇宙ステーションはジャンボ飛行機1.5機分の作業空間がありますが、それでもやはり狭いですね。そんな環境で宇

宇宙飛行士は6人で生活をしています。

長期間家族と離れて暮らしていることによる孤独感や、宇宙では忙しいとき以外に暇になりすぎると単調感を感じてしまうという問題もあります。それと医学的な話になりますが、睡眠障害も大きな問題です。

まずは宇宙飛行士が見ている世界がどんなものかをご説明します。

おそらくこれから宇宙服を皆さんに紹介したとき、私が知っている世界と皆さんの感じる世界は違うでしょう。それと同じように宇宙飛行士が見ている世界は想像と少し違うということをまず紹介します。

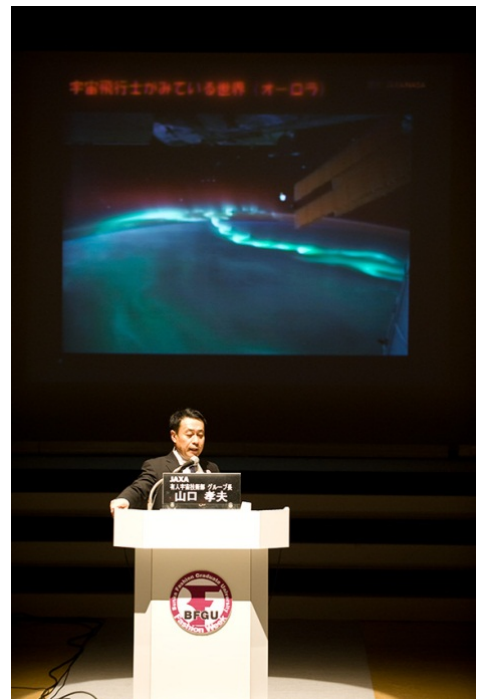
これが国際宇宙ステーションです。今まさに地球の周りを90分間で1周しています。現在は6人の宇宙飛行士が滞在していて、古川聡宇宙飛行士は2011年11月に帰ってきました。彼は日本人最長の167日間の宇宙での生活を終えて、帰還しました。この国際宇宙ステーションの大きさはどのくらいかというと、サッカー場がすっぽり入る大きさです。

(宇宙から見たオーロラの映像)

ここに映っているグリーン色の光の帯が、オーロラです。地球で昼間の部分は青く見えています。このように宇宙飛行士は上空400キロから地球を見えています。皆さんが想像するような丸い地球は見えないですね。地球の表面を見ているだけです。

そんな場所にいる宇宙飛行士を送り出す際に、私たちは400キロ上空に出張させると言っています。宇宙飛行という言葉は使いません。単なる業務命令です。

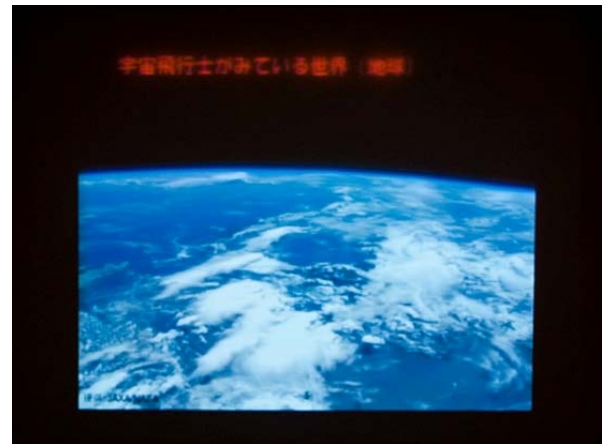
「あなたは国際宇宙ステーションに行って160日間滞在しなさい」という業務命令を受けて、宇宙飛行士は派遣されるわけです。仕事場に関する感覚は、一般の方々とはちょっと違いますね。



(スライド：宇宙から見た地球表面の写真)

これは宇宙飛行士が見ている世界で、この薄く青いところ、これが大気層です。大気層はリンゴに例えれば皮の部分……こんなに薄い大気圏に守られて私たちは地球上で生きているのです。それを宇宙飛行士は宇宙から実感として見えています。

人類で初めて宇宙に行ったユーリ・ガガーリン宇宙飛行士が「地球は青かった」との名言を残しましたが、まさしくそんな青く美しい地球を宇宙飛行士は見ているんですね。



(スライド：宇宙から見た富士山の写真)

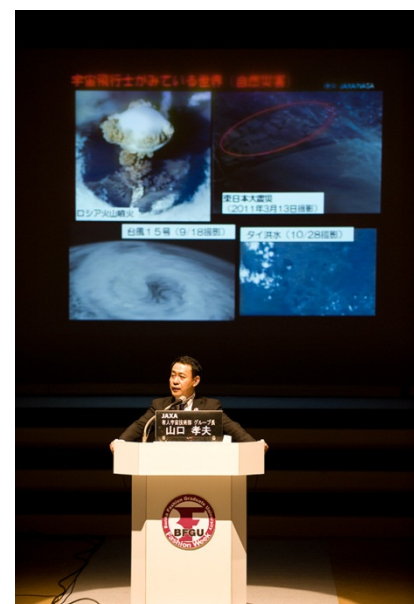
これは富士山です。富士山を真上から見ることは、私たちは普通できませんが、宇宙から送られてくる白い富士山の写真を見るたびに日本の富士山は非常に綺麗だなと感じます。上空にいる宇宙飛行士はこういった世界を毎日見ているわけです。



(スライド：宇宙から見た自然災害の写真)

もちろん綺麗な地球だけでなく、大きな自然災害時には宇宙飛行士は宇宙から地球の壊れた部分を目の当たりにしています。まずこれがロシアの火山の噴火です。そしてこれは東日本大震災の2日後、2011年3月13日に撮った写真です。津波で壊された陸地が見て取れます。

宇宙からはこのような地球上の災害も見えますが、逆に希望が見えるときもあります。古川宇宙飛行士は2011年6月から11月まで宇宙に滞在していました。最初は宇宙から見える東北地方の明かりはとても少なかったそうです。ところがだんだんと明かりが増えてきた。そこから日本が確



実に復興に向かっていることを宇宙から見て感じたと私たちに教えてくれました。

台風15号、タイの洪水、このように宇宙飛行士が見ている世界というのは私たちが
見ている世界とは違います。そしてこれから宇宙服をご紹介しますが、私の
エンジニアとしての感覚と皆さんの感覚も、もしかしたら違うかもしれません。

宇宙服の歴史

(スライド：宇宙服の過去)

(スライドを示しつつ) これが初期の宇宙服ですが、これで実際に宇宙に行ったわけ
ではありません。

宇宙船の中は与圧された空気が入っていますが、万が一空気が抜けた場合は非常に
危険な状況となります。そのため与圧された宇宙船内でも、このような服を着て宇宙
飛行士の身の安全を図るという考えです。写真はプロトタイプのものです。

(スライド：世界最初の宇宙服実験)

まだ最初に宇宙に行ったとはいえませんが、勇気あるジョゼフ・キッティンジャー
というエンジニアが、実験のため、1960年8月に上空31キロメートルの高さの
気球から飛び降りました。これはそのときに着用した服で、宇宙服というよりは空気が
薄く寒いところから自分を守るための、いわば防護服ですね。それでこのようにヘル
メットをかぶっております。

一般に100キロ以上の上空を宇宙と言っていますので、それ以上の高度に到達し
た人は「自分は宇宙飛行士である」と言えますが、キッティンジャーの場合は31キ
ロですので、まだ宇宙とはいえませんでした。

それでも彼の落下スピードは時速1000キロメートルでほとんど音速に近い。1
秒間に270メートルのスピードで真逆さまに落ちてくる。高さ31キロであって
もここには空気がほとんど無く、温度もとても低くてマイナス70℃。

野口聡一宇宙飛行士はスペースシャトルでの最初の船外活動のときに、第一歩を踏
み出すのに躊躇いを感じたそうです。眼下には青い地球が見えていました。ところが
自分はスペースシャトルから一歩でも踏み出したらストーンと落ちてしまうような
感覚、もちろん実際は無重力なのでそういったことはないのですが、勇気を出して第
一歩を踏み出したそうです。

それを考えるとこのキッティンジャーは大変な勇気の持ち主と言えるでしょう。
(スライドを示しつつ) お見せしているのは世界初の船外活動の様子です。宇宙服から出ているへその緒のようなものがまさしく宇宙飛行士を守る命綱です。これに守られて宇宙飛行士が世界最初の船外活動を行いました。おそらく第一歩を踏み出したときには、そのまま真っ逆さまに地球に落ちていくというような感覚を覚えていただろうと思います。

ところが彼にとってはこの体験は非常に楽しかったようで、なかなか船内に戻らなかったそうです。なにより地球を非常に間近に感じることができ、無重力空間です。時間ぎりぎりまで、もう戻らないと危ないというくらいまで宇宙で遊んでいた。最後は地上から怒るように「早く戻れ！」と言われてはじめて自分がギリギリまで宇宙にいたことに気づいたということです。

では無重力の宇宙にいる宇宙飛行士の感覚とは、どういうものか。母親のお腹の中にいる胎児が羊水に守られている、そんな感じだと聞きます。いま地上で私は直立をしていますが、宇宙では人間は胎児のような体勢をとるのです。

宇宙はわれわれにとっては非常に安楽な場所だと言えます。

(スライド：宇宙服の歴史)

宇宙服は、最初はジェット機のパイロットの与圧服から始まりました。このような銀色の与圧服を着ていますが、まだまだ宇宙には行けません。万が一空気の薄いところにおいても生命が維持でき、死ぬことはないというレベルのものです。

次はマーキュリー計画。これは宇宙開発でソ連に後れを取っていたアメリカが選抜した最初の宇宙飛行士、いわゆる「オリジナルセブン」の写真で1962年のもの。この時もまだこの装備では船外活動はできません。

1965年からジェミニ計画が始まって、船外活動が可能になりました。当時の船外活動の制限時間はだいたい6時間から7時間、限られた時間での非常に辛い作業でした。

これは1969年、アポロ11号のニール・アームストロングが、人類で初めて月に立ったとき。もちろん宇宙服を着て行きました。



これは現在のスペースシャトルや国際宇宙ステーションで使っている宇宙服です。

宇宙服の現在

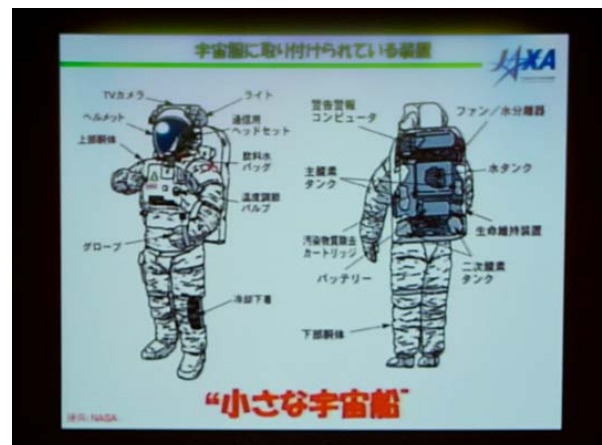
(スライド：宇宙服の現在)

宇宙服の歴史をたどると、最初は本当に勇気のある人間が自分の命をかけて船外に出ていったという時代でした。しかし今では、私たちが作った宇宙服を着て、安心して宇宙で活動してもらうという時代になっております。



(スライド：宇宙服に取り付けられている装備)

これが宇宙服に取り付けられている装備です。背中にあるバックパック、これが生命維持装置ですね。ここに空気を送る機械や宇宙服内の圧力を高める装置があります。汚れた空気を除去する換気装置があるのもここです。



宇宙服本体は特殊な生地で作られていて高温、低温、宇宙放射線、そういったものから宇宙飛行士を守る。私たちは小さな宇宙船と呼んでいます。スペースシャトルや国際宇宙ステーションを凝縮して小さくしたものが宇宙服なのです。高いレベルでの精巧さ、精密さ、安全性、信頼性が要求されます。

宇宙服は多層で作られております。大きく分けて一番下にまず冷却下着を着ます。宇宙服は全部密封されていますので、自分の体温で非常に暑くなってしまいます。そうなりますと生活や活動ができませんので、冷却下着にチューブを巻いて低温水を流して宇宙服の中を冷やすということがひとつ。それが冷却下着です。

だいたい1層2層3層目くらいまで……全14層で宇宙服はできています。ナイロンだとかスパンデックスの生地があって、そこにチューブを這わせて、だいたい一度

に5リットルくらいの水を使います。

4層目からが気密維持層といって宇宙服に圧を加えます。外部は真空なので圧をかけると内部で風船のようにプーッと膨れます。膨らんだままの宇宙服では活動できませんので、気密を維持しながら膨らみを抑えるのが4層目。ここにはポリウレタンでコートされたナイロンを使っています。5層目の素材はダクロン。これも気密維持層で宇宙服内の圧力を守るもの。これがないと宇宙服にもし船外で穴があいたら大変なことになります。

6層目からの役割は、まずは先ほどお話ししたように150℃もの高温に耐えなければいけないということ。それから地球の周りには非常に細かい微小隕石……隕石というよりも、捨てられたり壊れたりした人工物が宇宙ゴミとなって地球の周りをまわっている。それはものすごい数です。万が一そのゴミにあたった場合、宇宙服に穴があくのを防ぐために6層から14層目は耐熱、防護に使います。素材はネオプレーンでコートされたナイロンとか、多層でアルミ蒸着マイラー。そういったもので耐熱性を高めます。

あとはもし宇宙服が裂けたりしたら宇宙飛行士は即死ということになりますので、非常に高い耐刃性も求められる。そこで14層ではゴアテックスとノーメックス、裏地にはケブラーを使っています。このような生地を使って、宇宙飛行士の命を守るという研究をわれわれはしているわけです。

現在はアメリカとロシア、そして中国の3カ国が宇宙服を実際に実用していますが、日本でも将来国産の宇宙船が完成したら宇宙服が必ず必要になります。なぜ必要になるかという、宇宙船がもし故障をした場合、宇宙飛行士が宇宙服を着て船外に出て外部から修理をする必要が生じるからです。

宇宙服の重量は120キロありますが、無重力下であればまったく問題ありません。月面でも地球の6分の1の重力、もし火星に行ったとしても3分の1です。国際宇宙ステーションのある400キロ上空も無重力ですから重さには関係ありませんが、地上では重くてとても一人では着られません。

まず下着を着てその上に冷却下着、この冷却下着は布製のものです。そこにチューブを

這わせる。このチューブの全長は、並べるとだいたいテニスコートがうまるくらいです。そういったとても細かいチューブが宇宙服の中にはあります。

それをまず下半身から着て、上半身部分は重くて持ち上がりませんので、下に置いてから潜り込むように着る。最後にわれわれとの通信装置を付けて、グローブをはめて、ヘルメットをして完成です。これだけで120キロありますので、とても地上では使えません。

すべて着用が終わると宇宙服のチェックを行います。サイズがきちんと合っていないと動けませんし、空気や水がもれていないか、また円滑にコミュニケーションが図れるか等のチェックを行います。

それでは現在の問題点は何かといいますと、宇宙だと内部との気圧差で服が風船みたいにパアーツと膨らんでしまいます。手で軟式テニスボールをずっと握っているような感覚で、6時間から7時間宇宙で作業するのです。かなりの握力、体力を使います。

また大きくて動きにくく、ものがつかみにくい、着るためにかなり時間がかかるといったこともあります。それから0.3気圧から0.4気圧を使っていますので、減圧症になりやすいという問題もあります。

減圧症の予防のために脱窒素〔プレブリース〕、これは100%の濃度の酸素を吸って12時間かけて血液中の窒素を追い出すというものですが、このような準備もあるので、すぐに着て外に出られるというものではありません。

宇宙服の未来

(スライド：NASAで研究されている宇宙服)

われわれは今の宇宙服よりももっと良い物をつくらうという気持ちで研究をやっています。これは現在アメリカで研究されている宇宙服の一部ですが、火星や月面には先ほど言ったように重力があります。ですから服が重いと活動に支障をきたすことがあります。

また月面には非常に細かい砂が堆積していて、それがもし宇宙服の装置の稼働部に入ってしまうと動かなく



なってしまうので、月面と環境のよく似た砂漠で NASA は研究を行っております。これが Mark III という宇宙服ですが、このように月面と同じような砂漠でサンプル採取の実験をしています。

(スライド : JAXA の宇宙服構想)

絵ではすごくカッコいいものになっていますが、これが私たちの構想です。スーツ本体は 0.6 気圧までの加压ができます。0.6 気圧の加压ですと先ほど説明したプレブリースが不要、つまり純酸素を 1 2 時間吸わなくても、着ればすぐに外に出られるというメリットがあります。



ただ圧力が 0.5~0.6 になると宇宙服が風船のように膨らむので、それを抑えてなおかつ動きやすいようにする加工方法、縫製技術が必要です。それと生命維持装置、酸素、圧力、電源、あとは二酸化炭素・有害ガスを排出する必要があります。グローブも非常に細かい作業をしますので、膨れたままでは握れません。もちろんグローブも私の研究対象です。



(スライド : JAXA 宇宙服研究状況)

これは実際に今年の 1 月にやった試験でして、冷却下着と気密拘束層、この上に断熱防護層をかぶせます。曲がるところはジャバラ方式にして曲げやすいようにしています。曲げにくいところは逆に伸びるようなものを使います。ケブラー糸を用いる無縫製の編み機で、日本の技術力の粋を集め、いま作っています。だいたい 0.6 気圧であれば動けるということをこの試験で確認しました。

(スライド : 米露宇宙服との主要性能比較)

これはアメリカとロシアとわれわれの宇宙服の主要性能の比較です。ロシアの宇宙服はとても優秀でだいたい 0.5 気圧ですの

米露宇宙服との主要性能比較 (参考データ) JAXA/NASA

宇宙服	EMU	Orienteer (ロシア)	JAXA宇宙服(案)
使用場所	地球周回軌道	地球周回軌道	地球周回軌道/月
運用圧力	29.6kPa (0.38気圧) (100%O ₂ 100%N ₂)	40.5kPa (0.49気圧) (60%O ₂ 40%N ₂)	58.8kPa (0.58気圧) (100%O ₂ 100%N ₂)
ランナーズ時間	120分	45分(30分)	0分
サイズ	M-L-XL	11 ^号 サイズ	3 ^号 サイズ
質量	124.7kg	109kg	90kg
運用時間	7hr + 30min	7hr	6hr + 2hr
電力	62.7W	54W	80W
運用寿命	EVA 25回 スーツ総 寿命稼働時間 10年	EVA 15回 or 4年	EVA 100回

で、純酸素を2時間半だけ吸って外に出られる。アメリカの場合は12時間かかります。私たちは0.6気圧で使え、純酸素なしで外に出られるということを狙っています。

私の話を聞くだけでも面白くないと思いますので、VTRを用意しました。

これまで若田光一宇宙飛行士は3度宇宙飛行しています。2回がスペースシャトルで、3回目は国際宇宙ステーションに4カ月半滞在しました。彼が国際宇宙ステーション内部を紹介しています。ちょうど宇宙の感覚がどういうものだということを紹介してくれているので、そのVTRをお見せします。

(若田宇宙飛行士のVTR。山口氏の解説が所々入る)



今日は宇宙服についてお話ししましたが、宇宙飛行士は私たちとは違った世界を見て、違った世界で活動している。

そんな宇宙飛行士と今一緒に働いているというのが私の仕事です。

宇宙服を作る場合、着心地だとかファッション性以前に、生命を守るということ、

安全性こそがすべてに優先されるということをご紹介しました。



時間ですので私の話はこれで終わります。ありがとうございました。