第3章

月の基地は、どうやって建設するの？

2040年頃には、いよいよ月に住むことが現実となっているかもしれません。月面は、大気もなく水も氷の形で地下にわずかに存在するだけの上に、有害な宇宙線が降り注ぐ過酷な環境です。そのため、人類が活動するには、拠点作りが重要になります。それが月面基地です。この章では、現在、月面基地がどのように計画されているのか紹介します。

「世界で初めて女性を月に送る」ことを大きなテーマに掲げて「アルテミス計画」を進めているNASAは、月面前哨基地「LINA」の建設を計画しています。2022年、NASAは月面の長期滞在や月面からのロケット打ち上げの補助を行う予定のLINAのデザインを発表しました。LINAは自律して動く３Ｄプリント*ロボットによって建設される予定です。

また、ESAも、月に住む「ムーンビレッジ構想」を提唱し、レゴリスを有効活用して拠点となる基地を建設することを計画しています。地球から建設資材を運ぶのは、たいへんコストがかかるため、月にある資源を利用することはとても有益です。

＊３Ｄプリントは、データをもとに素材を積み重ねて立体的な物を作る技術（24ページ参照）

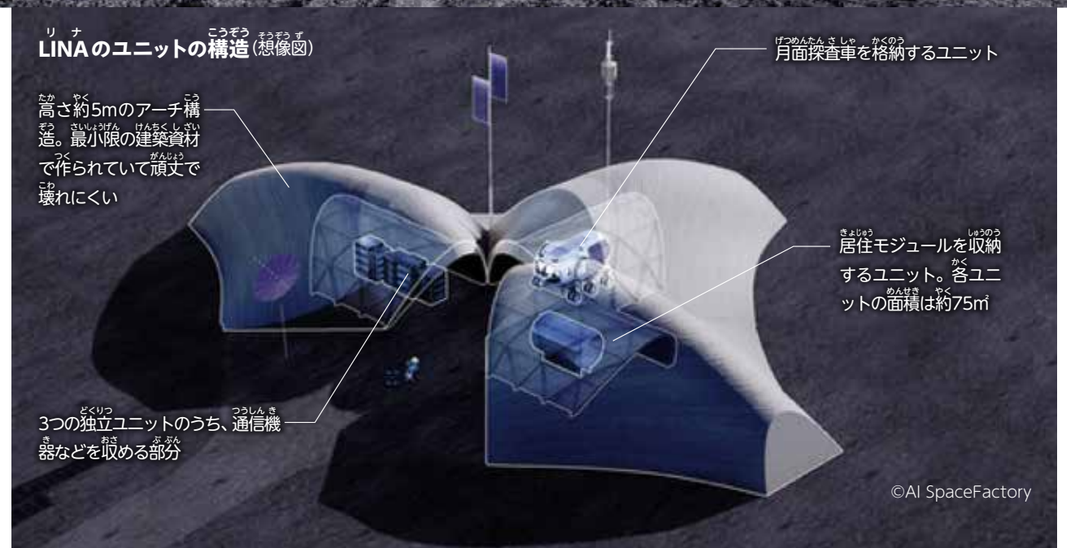
（想像図）©AI SpaceFactory

NASAが計画する月面前哨基地LINA

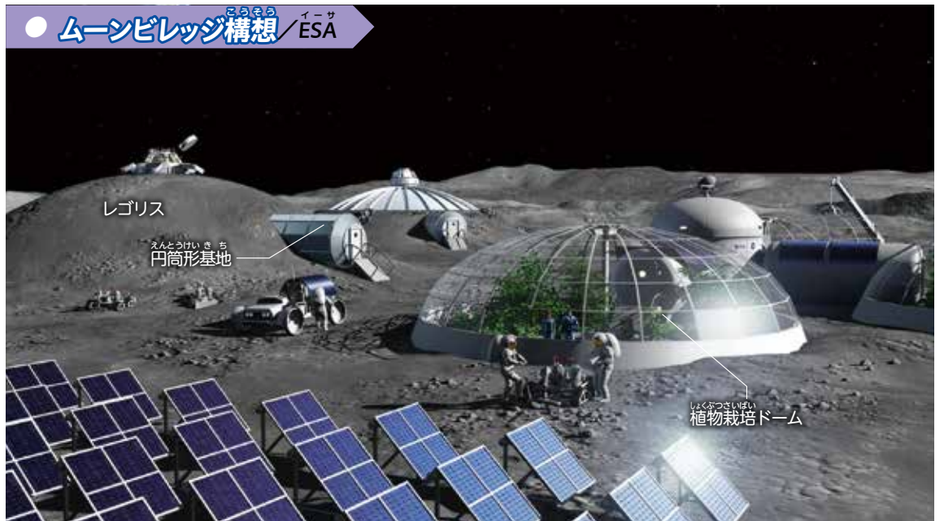
● LINA／NASA、AI SpaceFactory

この特徴のあるアーチ構造は、最小限の建設資材で壊れにくい建物を建てる実験のなかで生まれました。宇宙飛行士はこの建物によって、小さな隕石や有害な宇宙線、月の極端な寒暖差（昼は110℃、夜は−170℃）から身を守ります。

特殊な建築資材と月のレゴリスで建設されるLINAは、日照時間が長く、太陽光発電が長時間可能な月の南極に位置するクレーター付近に建設することが予定されています。



● ムーンビレッジ構想／ESA



ESAが計画している月面基地は、圧力によってふくらますドームや円筒形の基地をもつ。右の想像図にはレゴリスでおおわれた基地が見えるが、ESAはレゴリスから酸素を取り出す研究も進めている

©ESA/P. Carril

Special Column 特別インタビュー

若田光一宇宙飛行士 ©JAXA

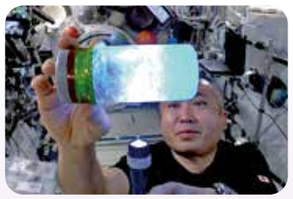
JAXA宇宙飛行士 若田光一さん
宇宙での暮らしはどうですか？

2023年3月12日、若田光一宇宙飛行士が約155日間のISS滞在から地球に帰還しました。
若田さんは1996年のスペースシャトル搭乗以来、５回の宇宙飛行を体験しました。
そのうち３回はISSに長期滞在し、宇宙滞在時間は計504日18時間35分にも及びます。
宇宙に飛び立った日本人飛行士のなかで、いちばん長く宇宙に滞在しています。

Q 宇宙での暮らしで大変なこと、逆に楽しいことは何ですか？

地球の周回軌道で自由落下し続けているISSは、見かけ上の重力がない微小重力の閉鎖環境になっています。作業中に小さな部品を見失うと見つけるのが大変ですし、補給や再生にもコストがかかる水はとても貴重なため、シャワーやお風呂も使えません。でも、人間の適応力はすばらしく、１週間も過ごすとそうした環境にも慣れます。水を使わないシャンプーに代わる洗髪シートなど新しい生活用品が次々に開発されていて、宇宙の暮らしはどんどん快適になっています。

楽しいのは何といってもISSから地球の姿を見ることですね。青く輝く「ふるさと地球」は本当にすばらしい光景です。ISSは１日に地球を16周します。半年も滞在していると3000周くらい回りますが、昼と夜、季節ごとの変化に驚かされますし、限りなく広がる宇宙に浮かぶ地球を見ていると、地球、そしてそこに住む私たち人類の存在がいかに小さいかを感じます。



▲台湾の学生が考えた微小重力環境での水の渦の発生実験を行う若田さん

◀ISS内の寝室で寝袋に入る若田さん

▲新型太陽電池アレイ設置のための台を取り付ける船外活動を行う若田さん

Q 宇宙での食事や睡眠は、どのようにしているのですか？

食事は、アメリカとロシアが提供する標準宇宙食のほか、日本をはじめ、ほかのISS参加国が提供する嗜好食メニューもあります。白米やカレー、さば缶などの「宇宙日本食」（31ページ参照）はおいしくて衛生管理の技術も高く大人気の食品です。みんなが集まって自国の味をシェアし合うことは、クルー全体の円滑なコミュニケーションを保つためにも役立っています。

睡眠は細長い大きなロッカーのような寝室のなかでとります。寝袋を軽く固定し、ふわふわした状態で寝ます。どこからも圧力を感じないので、とても快適なんですよ。

Q ISSの船内ではどんな仕事をしているのでしょうか？

ISSでは微小重力を利用した基礎科学実験や、新しい医薬品や材料を開発するための実験のほか、将来の有人の月・火星探査に備えたさまざまな研究を行っています。たとえば、汗から飲料水を再生するシステムの開発には微小重力環境での水の浄化の実証実験が欠かせませんが、この実験のためには低重力が人体に与える影響（骨や筋肉の衰えなど）も調べる必要があります。ISSでは、SDGsに寄与する人材育成に関するミッションも行われており、たとえばアジア・太平洋地域の学生からの公募により提案してもらった実験を実施したり、宇宙へのアクセスがむずかしい国々からの初めての超小型衛星をISSから放出したりと、私たちの仕事はさまざまです。

▼ISSから地球に届けた若田さん撮影の富士山。「広大な宇宙のなかで地球を目にすると、自分にすばらしい故郷があると幸せに感じる」と若田さんは語る ©JAXA

◀クリスマスを祝う若田さんと同業の宇宙飛行士たち

2023年1月の若田さんの船外活動を見てみよう！

Q 去年決まった新しい宇宙飛行士の候補者にはどんな期待がありますか

諏訪理さんと米田あゆさんという、本当にすばらしく、頼もしい仲間がチームに加わってくれてとてもうれしいです。しっかりと訓練を積み、近い将来、ISSや月探査で活躍することを期待しています。月探査においてはこれまでJAXAは世界各国の宇宙機関から厚い信頼を得てきました。日本人による初めての月着陸実現の日ももうすぐそこに来ています。諏訪さん、米田さんをはじめJAXAの宇宙飛行士の仲間による月探査の実現に向けて私も全力で支援していきたいと思います。

諏訪理さん（左）と米田あゆさん（右）
©JAXA

Q 宇宙飛行士の先輩として、読者へのメッセージがありますか？

宇宙というのは人類に限りない夢を与えてくれるすばらしい空間です。読者の皆さんにも広く宇宙に目を向けてほしいと思います。ISSで各国の宇宙飛行士と協力して活動をしていると、人類が国境を越えて手を結び合う大切さを実感します。そういう積み重ねが温暖化など地球規模の課題を解決するためには不可欠だと思います。地球も１つの「宇宙船」なのです。

世界に目を向けると、宇宙飛行士のいる国はまだまだ多くありません。そうしたなか、科学技術で世界に貢献している日本の存在はとても貴重だと思います。宇宙での活躍の場はISSがある地球低軌道から、月、火星へと広がっていきます。その取り組みのなかで日本のすぐれた技術で貢献してくれる仲間を歓迎します。皆さん一人ひとりが夢と明確な目標を定め、宇宙を切り拓いてくれる日を心待ちにしています。

若田光一さん プロフィール

JAXA所属、宇宙飛行士。1963年埼玉県生まれ。九州大学工学部航空工学科卒業。1996年、2000年、2009年、2013-2014年、2022-2023年と計５回、計504日18時間35分、宇宙に滞在。２回の船外活動時間は計14時間２分。2014年アジア初のISS船長就任。2023年時点で現役宇宙飛行士として活動期間は31年を超え、世界最長。

＊ISS内と船外活動の写真=©JAXA/NASA

第4章

月では私たちに必要な水や酸素、電気はどうするの？

NASAが中心になって進めている「アルテミス計画」では、2028年までに月面基地の建設が始まる予定になっています。

月は地球とは別世界！

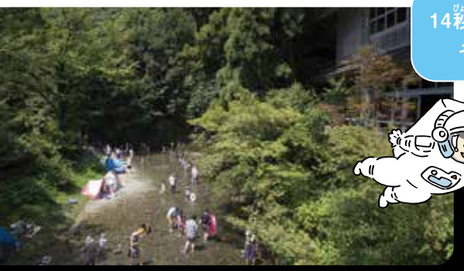
月は地球の衛星です。でも、月には地球とはまったくといっていいほど別の世界が広がっています。月には川も海もなく、地面は砂と石だらけ。植物は生えておらず、大気がほとんどないので雲がなく雨も降らず、呼吸に必要な酸素もない世界です。その上、石炭も石油もありません。

月の水から酸素も電気も作る

そんな月で酸素をどうやって手に入れるのでしょうか？　エネルギーはどうするのでしょう？

そこで期待されているのが水の利用です。これまでの探査で、月の地下には氷があると推測されています。その氷から水を作り、水を電気分解することで酸素と水素を取り出せます。人間が生きるために必要な酸素が手に入り、水素はロケットの燃料になります。さらに酸素と水素を使って、燃料電池で発電することができます。月の水は飲み水になり、また酸素にもエネルギーにもなるのです。

ここでは、日本をはじめ各国で研究開発されている月面におけるエネルギー作りの先端技術を紹介しましょう。



緑と水の惑星、地球

クレーターがあちこちにありレゴリスにおおわれた月。重力が弱いため大気がほとんどなく、空はいつも真っ暗　©NASA

月の重力は地球の6分の1。地球では物が落下する速度は1秒ごとに約9.8m加速される（空気抵抗のない場合）。一方、月では約1.6m。1000mの高さからボールを落とすと地球では約14秒で地面に達するが、月では約35秒かかる

月のおもなデータ

直径	約3476km（地球の約4分の1）
重さ	約7300×10^16t（地球の約81分の1）
重力	地球の約6分の1
表面温度	昼110℃・夜−170℃（現在の地球の平均気温は約14℃）
大気	ほとんどない
水	南極や北極の永久影に氷が存在
自転周期	約27.3日

コラム

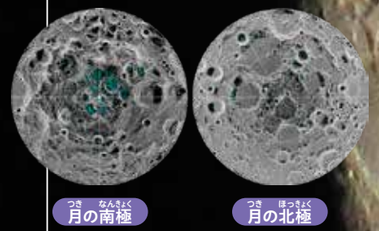
月に氷があった！氷から水を作ろう！

宇宙空間に地球の水を運ぶのは簡単なことではありません。その上コストがかかるため、ISSに滞在する宇宙飛行士は、自分たちが排泄した尿を利用して、水をリサイクルしているほどです。ISSよりはるかに遠い月に人間が長期滞在するとき、地球の水に頼ることはできません。幸い、月には氷があると推測されています。その氷から水を手に入れることが考えられています。

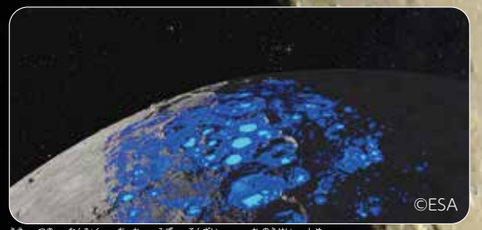
クレーターの永久影に氷を発見

2009年、NASAはインドの月探査機「チャンドラヤーン1号」に搭載した「月面鉱物マッピング装置（M3）」で、月の北極と南極の極域に氷の分布が確認されたとして、下の2点の画像を発表した。青色が氷の位置で、寒いところは暗く、暖かいところは明るく示されており、氷はクレーターの陰の部分、永久影と呼ばれる1日中、陽が当たらない極寒の場所の地下に集中していることがわかる。

2009年にNASAが打ち上げた、月周回探査衛星「ルナー・リコネサンス・オービター」と月面に衝突した探査機「エルクロス」の探査データからも、氷の存在の可能性が報告されている。



NASAが発表した氷の分布地図。青い部分が氷の位置。月の南極のクレーターの地下にあると考えられている氷は、NASAやJAXAによってさらにくわしく探査される予定　©NASA



©ESA

上は月の南極の地下に水が存在する可能性を示すマップ

氷から水を作る方法

地下の氷から水を取り出す方法として、地中にある状態のまま溶かし、気体にしてコンテナ内で液状化させる方法や、土壌ごと採取し、コンテナのなかで蒸留させる方法などが考えられている。水が作れれば、飲み水はもちろん植物の栽培にも利用できる。さらに酸素と水素に分解すれば呼吸用の酸素やロケットの推進剤が作れる。酸素と水素を反応させれば燃料電池を製造できる。これを機械や設備、移動手段の動力に利用できる。氷の発見によって、人類が月で活動する未来が開けてきたといわれている。

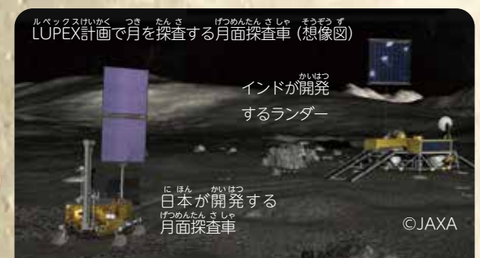
©JAXA

推薬生成プラント（想像図）。月の水を利用してロケットを飛ばす推薬（推進剤）を製造するプラント建設も構想されている

月の水を探査する探査機

月の水の探査は、現在、計画中だ。NASAが2022年12月に打ち上げた「ルナー・フラッシュライト」は、月の南極付近のクレーターの永久影の内部を近赤外線レーザーで照射して氷の存在を調べるもの。JAXAとインド宇宙研究機関（ISRO）は協働で月の極域を探査する計画「LUPEX」を進めている。この計画では日本は月面探査車を開発して2024年度以降に南極地域で水の量、状態、分布を探査する予定。

クレーターの内部を探査するルナー・フラッシュライト（想像図）。スラスタエンジンの不調で予定の月周回軌道に乗らず、2023年5月、探査を断念した　©NASA/JPL-Caltech



LUPEX計画で月を探査する月面探査車（想像図）　©JAXA