

## 宇宙シリーズⅥ 宇宙旅行

田村正夫 予科4-6  
(富士見市) 航空6-4



### 宇宙を旅行して

#### 1 宇宙旅行の疑似体験

幼いころ夜空の星座を眺めて、それに纏わる神話や、月にはウサギいて餅をついたり、かぐや姫の宮殿があるとか話を聞かされ宇宙はお伽の世界だった。成長するにつれ、吾々の住んでいる地球は太陽の惑星であり、仲間は水星、金星、火星、木星、土星などあり。他は恒星と言って遠く離れた空間にあり太陽と同じく熱く光っている。

恒星は地球からみるとキラキラ瞬いて見える。ジーと瞬かずに見入るのが惑星であると教わった。(人工衛星も瞬かずに見える)

地球と太陽の距離は1億5千万Km(AU)として1天文単位として使用されている。光速で行けば8分強、新幹線「ひかり」だと57年になる。太陽に最も近い恒星 $\alpha$ ケンタウリは4.39光年この星は単独の恒星ではなく、AとBの連星になっている。天体で最も明るい星「シリウス」の可視光の等級は-1.44、見かけは明るい、太陽から25光年離れている。七夕で有名なと琴座の「ベガ」は25.3光年。人間成人した20歳で光速のロケットに乗ったとしても、地球に帰還すればとんだ浦島太郎となるか、途中で銀河の星の一つなるかもしれない。

子供のころSF漫画でロケットや大砲の砲弾に乗って、太陽系や銀河の星々を訪ねるものがあつたが、宇宙を旅するなど夢の夢

だった。

今年のゴールデンウィークは10日もあり、折角の休みにも旅行はできず、旅行案内書や観光先のビデオを見て、旅先の名物を食べながら旅行気分になったなどの話を聞く。それと同じように宇宙旅行が家庭で利用できるヘッドマウントディスプレイが市販されている。

米で開発された、360度撮影可能なVRカメラを8台積んだ小型の人工衛星を打ち上げ宇宙を撮影する。それを編集したバーチャル・リアリティ(VR)、ゴーグルを被り、ソファに横になり、市販の宇宙食を食べながら宇宙旅行を疑似体験できるプロジェクトがある。これを利用して宇宙旅行の疑似体験を楽しむことができる。



#### バーチャルリアリティ宇宙旅行

民間の旅行者を募集するツアーもある。費用が非常に高額であり、宇宙空間を体験するために時間をかけて様々な訓練を受けなければならない。

#### 2 人類が宇宙へ

宇宙とは地球の地表から80kmと規定している国もあるが、100km離れた空間というのが定説になっている。

そこへ、1957年突如ソ連のスプートニク1号が人工衛星として現れた。国連の建物の中に、スプートニク1号のレプリカが展示してあり、これが人工衛星かと思わず眺めた覚えがある。

当時米ソ両国は宇宙開発戦争に鎬をけずっていた。遅れをとった米国は必死になっ

て開発を進めてきた。現在では米口以外の多くの国が軍事目的（偵察）、平和利用に人工衛星を打ち上げている。我が国でも宇宙航空研究開発機構（JAXA）が開発した気象衛星など多くが地球を周回している。

人類が初めて宇宙飛行をしたのは1961年ソ連のユーリイ・ガガーリン少佐である。少佐はボストーク1号に乗り地球を1周する108分の旅をした。ボストークから見た「地球は青かった」は有名な言葉である。

すぐその後、1962年米国のグレン宇宙飛行士が「フレンドシップ号」で有人軌道飛行を行っている。

米国は1969年に有人宇宙船「アポロ11号」で世界初の月面着陸に成功している。

同じその頃、ソ連では宇宙船ソユーズが開発される。1971年に世界初の宇宙ステーション「サリユート」が打ち上げられ、1971～1986年運用されていた。1986年から宇宙ステーション、ミールに交代しているが、その宇宙ステーション連絡用にソユーズが活躍している。

米国では1981年スペースシャトルが初飛行し、2000年には国際宇宙ステーションが運用を開始した。



スペースシャトル

日本人では秋山豊寛が1990年ソ連のソユーズTM-11に搭乗し、宇宙ステーションミールに9日間滞在している。

以上の宇宙飛行は最初は宇宙探検とか未知のものを探ろうとする試みであったが、それが国家の政策や、

国際機関を含めた公的組織による科学研究を目的とした宇宙開発のための宇宙飛行となる。

それに対して宇宙旅行とは、観光や非日常的な体験という専ら個人的な興味のために宇宙空間へ赴く行為である。費用は安くないが希望する人が絶えない。この第1号が米国の大富豪デニス・チトーである。彼は国際宇宙ステーション（ISS）に人員と物資を補給するロシアのソユーズの定期便で、バイコヌール宇宙基地から旅立ち2001年に9日間ISSに滞在した。民間人が全額個人負担で宇宙旅行に旅立った世界最初の宇宙旅行である。



デニス・チトー

それに続き2002年に南アフリカ共和国の実業家マーク・トヤトルワーズが宇宙旅行を体験する。

宇宙旅行は米国の会社が募集しているが経費は835万円から2,786万円まで、ISSに何日滞在するかによってさまざまある。なかにはすでに8人の旅行者が体験済みのツアーでフライト自体が2日かかつて（ISS高度400km）で1週間半過ごせるプランもあり、55億7千万円とか。また最近の情報によればISSの商業利用が解禁され、民間人の宿泊は1泊380万円で宇宙船の運賃63億円（仲介業者の儲けを上乗せするともっと高くなる）というのがでてきた。金額の差は宇宙に到着してすぐ帰還するか、ある程度宇宙に滞在してから帰還するか、国際宇宙ステーションに宿泊するかによって異なる。

さて宇宙旅行をするためには先ず宇宙飛行士の資格を取得すること。次に宇宙飛行士になるために高度な知識や様々なミッションをフライト中になし続ける技能と経験、宇宙飛行に付随する訓練を受けなければならない。宇宙旅行希望者の中には、飛行中に受ける6Gに耐える訓練に耐えられず棄権した者や、出発から帰還まで宇宙酔いに悩まされた旅行者もいたといわれて

る。

宇宙船はロケットエンジンを噴射して出発時はマッハを超える速度で宇宙に向かう。高度20kmあたりから空は宇宙らしい雰囲気になる。コバルト（吾々も旅行で旅客機が1万mの成層圏を飛行している時の窓から見える青空が少し色濃くなったと感ずることがある）から紫に、藍色、そして漆黑へと変わり、瞬いていた星がジーンと輝いて見える。地球が青く見える高度100kmの宇宙空間に到着する。宇宙旅行の目的地である宇宙で、無重力の状態です窓から「青い地球」や光輝いている恒星を眺めることとなる。

### 3 宇宙船

人類を宇宙に運んだ宇宙船は、ロケットの役目を終えて切り離され自由落下し大気圏に突入、空気抵抗で1600度の熱によって焼滅してしまう。搭乗者は残ったカプセルで宇宙での目的を果たした後、大気圏内に突入、それには逆噴射で速度を落としパラシュートで地上に到着する。

米国で1981年にロケット焼滅など無駄をなくすため、再使用型宇宙往復機スペースシャトルを開発した。シャトルは、1. 外部燃料タンク 2. 固体燃料補助ロケット 3. 軌道船（宇宙飛行士5人から8人と貨物を搭載）と3つの部分で構成されている。

垂直に打ち上げられたスペースシャトルから2分後に切り離された固体燃料補助ロケットはパラシュートで海に着水し再使用のため船で回収される。その後上昇続け軌道に到着。外部燃料タンクは自由落下し大気圏内で熱で消滅、軌道船は軌道操縦システムで制御して目的の軌道に向かう。

帰還は軌道船が大気圏に突入の際の熱から守るため断熱材としてシリカ繊維を用いた耐熱タイルを使用している。降下時は機首を40度持ち上げ、Sの字回転しながら速度を落とし降下、地上近くはグライダーと同じ滑空で着地する。

こうしてシャトルは135回も飛行士と物

資を運んでいる。1990年にはハッブル宇宙望遠鏡を運ぶ偉業もやっている。

しかし耐熱タイルと機体の間でトラブルが生じ爆発や空中分解を起こしており、経費も莫大で2011年には廃止になっている。国際宇宙ステーションへ人員や物資を運んだり、古くなった人工衛星を回収したりしたが、宇宙旅行には一人も利用していない。

宇宙旅行に使用された宇宙船はソ連が開発したソユーズである。ソユーズは有人月旅行計画やソ連の宇宙ステーションへの連絡用に作成された。1964年に計画され、さまざまな試行錯誤しながら1969年に有人飛行に成功する。1~3人乗りで与圧服を着用し足を中心に扇状で搭乗する。3段ロケットで打ち上げる。3段ロケットはつぎつぎと切り離され、528秒後に地球周回軌道に入る。



ソユーズ

ソユーズには写真で見える通り3つの部分から成り立っている。

一番後ろについている円筒形の機械船②には軌道制御と大気圏突入時に使用するエンジン1基がついている。さらに飛行士の生命維持のための酸素や水が搭載されている。機械船には横に長い太陽電池パネルが展開されており、燃料の消費を助けている。軌道船①は、機体からみて一番前に存在する球形のもので、船内に乗員が乗り込むためのハッチがある。また乗員が活動する実験用の器具が用意されている。外に船外活動のための機密室があり、ソユーズ同士や



国際宇宙ステーションなどのドッキング装置も備えている。大気圏突入の際には機械船、軌道船ともに切り離され燃え尽きる。

帰還船②はソユーズ打ち上げと大気再突入の際に、乗員の乗る釣鐘型の部分で前に1～3人が扇状に座る。帰還船の表面はアブレターでコーティングされている。アブレターとは化学繊維に接着剤をしみ込ませたもので、再突入の時にそれが融解、分解、炭化することによって熱が吸収され、内部が保護される。米国のスペースシャトルの耐熱タイルのように再利用はされないが、タイルほど脆くない。

ソユーズの帰還船は大気再突入の際過酸化水素を利用して、突入時の速度を軽減しその後パラシュートで地上0.8mまで降下し、小型の固形逆噴射ロケットによるエアークッションで着地する。

スペースシャトルのように再利用はできないが、経済性と長年の経験から生まれた技術によって、スペースシャトルよりも安全性と信頼性があり、1991年ソ連が崩壊しロシア連邦になった時、運行が一時滞ったが、すぐ立ち直りスペースシャトルが打ち上げ停止になっても、現在もまだ活用されている。

ソユーズでは日本人の宇宙飛行士秋山豊寛、若田光一、野口聡一、宇宙滞在最長（167日）の古川聡、星出彰彦などが輸送されている。宇宙旅行の米人デニス・チトー等多くの飛行士がソユーズを使用している。

#### 4 将来の宇宙旅行の夢

後10年もすれば一般人も宇宙旅行が可能になるとある学者がいつている。スペースシャトルは米国の合衆国宇宙開発（NASA）により開発されたものであるが、最近民間の企業の参加があり米宇宙ビジネスの民間の支えが多くなってきた。民間の資金を活用して開発が進み、宇宙旅行は勿論、月や火星まで行こうという計画がある。

また米国企業スペースX社が民間初の有人宇宙船ドラゴンを打ち上げており、ポー

イング社のスターライナーなどの開発が進められている。

さらに米国の宇宙ベンチャー企業ストラトローンチ・システム社によって、一般人でも行ける宇宙旅行の計画が進められている。

4基のジェットエンジンのある航空機の3基のエンジンを残し翼を切断、左右それぞれ翼を切断した航空機をつなげて、一つの航空機をつくり、6基のジェットエンジンで推進するホワイト2という航空機を開発している。



宇宙船輸送用飛行機

この飛行機の翼に宇宙船スペースシップ2（6人乗り）を乗せる。乗員はフライトスーツに身をつつみ、普通の飛行場から離陸。高度15kmで母船ホワイト2から切り離され、スペースシップ2のロケットエンジンに点火され、マッハ3.3のスピードで全身6Gの負担がかかるが、一気に宇宙空間へ行く。

窓から空の色の変化を楽しみながら宇宙空間に到着。そこでシートベルトを外し無重力を体験し、輝く恒星の美しさを眺め、「地球は青かった」の世界を堪能する。4～5分間で帰還する。最後のステップで大気圏突入、発射時と同様6Gの重力加速度がかかるが、高度21kmからグライダーで空港に着陸するという宇宙旅行が実現するであろう。

スペースシップ2を使用する宇宙旅行は、英国のヴァジングループという航空、鉄道、

金融、通信などを手がける多国籍企業の傘下のヴァージンアトランティック航空が、すでに日本において2015年から募集を始めている。



スペースシップ2

費用は25万ドル日本円で2500万円で予約ができるそうで、既に世界で約700人、日本人では19人が予約済みとのことである。2500万円というと高額で家が1軒購入できる。いくらになったら一般人が宇宙旅行できるか。

日本でも、宇宙ベンチャー企業、PDエアロスペース社（名古屋）によって、宇宙旅行の計画が進められている。この計画によれば、単一エンジンでジェット燃焼モードとロケット燃焼モードを切り替えられるエンジンを使用した飛行機「ベガサス」で、離着陸はジェット機として飛行し、宇宙空間はロケット推進で飛行することにより、小型の飛行機のような機体で高度100km以上の宇宙空間に到着し、数分間の無重力体験をした後、地上に戻る事が出来る。

同社の開発計画では、まず無人機を先行開発し2020年をメドにサービスを開始する。その途中から有人機の開発を並行して行い。2024年には運用開始する計画である。



PDエアロスペース社のベガサス

1964年に海外旅行が自由化された時、ハワイ旅行は9日間で36万円で当時の大学

初任給が2万円であり、ハワイ旅行は「高値の花」だった。現在は旅行費も下がり、日本人の収入も増えてハワイ旅行は50年で30分の1になっている。

十年後は宇宙旅行費は5~600万円位になり庶民の手が届く安値ツアーになるかもしれない。

また米国の民間企業では、クルーズ船旅行なみの30万円~50万円で宇宙旅行ができるという企画を発表している。実現はそう遠くないであろう。

## 宇宙シリーズⅦ 宇宙移住①・月へ

川島 順 予科21-7  
(越谷市) 航空7-1

### 宇宙移住：月へ

はじめに：

人類は宇宙に憧れを持っている。なぜ宇宙を目指すのか。それに対する答えはいろいろある。

先ず、学術的研究、そして、冒険心・フロンティア精神によるためか、1961年ソ連の有人宇宙飛行船が初めて地球の静止軌道に到着、地球に帰還後ガガーリン飛行士が語った「地球は青かった」は余りにも有名なセリフである。地球外の天体である月に到着したのは1969年アメリカのアポロ計画によるアポロ11号で、オールドリン飛行士が飛び跳ねるように歩いて月面に星条旗を立てた。

これらの快挙を受けて月や火星への移住計画の実現性が急速に高まってきた。

#### 1. 月への移住

月への移住には多くの問題点がある。先ず、大気や水がない。食料が自給できない。月の重力は地球の1/6である等々である。

#### 2. テトラフォーミング

テトラフォーミングとは人為的に惑星の環境を変化させ、人類が住める星に改造することで、先ず移住に必要な物資の調達としては：

##### (1) エネルギー

月は地球の様な大気が存在していないので、効率よく太陽エネルギーを利用することができる。太陽エネルギーを利用する方法としては、太陽電池を使って光を電気

に変え電気エネルギーとして利用する方法と、太陽熱そのものを利用する方法の2つがある。夜になると月の表面温度はマイナス100度以下になるので、昼間水やガラスのような岩石に太陽光の熱を蓄え、夜に放出することにより昼夜の温度差を少なくすることができる。

月にはヘリウム3が多量に存在する。このヘリウム3は核融合発電の燃料として使用できるので、電力を効率よく生産することができる。

##### (2) 水

NASAの探査機の観測によれば、月には大量の水が存在すると報告されている。しかし、これらの水は月の表面の地層の下では液体の状態が存在し、極地では氷の状態が存在すると考えられている。これらの水を飲料水または生活用水として使用するには、宇宙基地の建設地点の選定と水の採取方法の研究が必要である。

##### (3) 酸素

① 月に水が存在すれば、電気分解によって、酸素と水素を得ることができる。酸素は宇宙基地の空気の成分として使用し、水素は内燃機関の燃料として使用できるであろう。

② 月にはレゴリスという酸素を含む砂が存在する。これを熔融塩電解法によって酸素を取り出すことができる。

欧州宇宙機関(ESA)は、2020年1月17日、オランダ西部ノールドウェイクの欧州宇宙技術研究センター(ESTEC)に熔融塩電解によるレゴリスからの酸素を抽出するテストプラントを開設した。この研究所では、複成する合金の活用についても研究をすすめる計画である。

##### (4) 細菌類・植物

###### ① 細菌類

シノバクテリアのような酸素発生型光合成単細胞微生物は藍藻とも呼ばれ、土壌表層に土壌クラスト(soil crust)を形成し、土壌の安定化や窒素栄養分の供給を行うため、特に砂漠や荒野での植生遷移の初

期段階において重要な働きを果たす。地球の大気中の酸素はシアノバクテリアの働きによるものであると云われている。これらの細菌は、有機廃棄物の分解にも役立つ。

## ② 植物

NASAが進める宇宙での野菜栽培プロジェクト「VEGGIE」では2015年8月に国際宇宙ステーション内で新鮮なレタスを栽培することに成功した。宇宙での栽培に適した野菜としては、二十日大根、豆、トマトで、次にあげられるものはサツマイモ、ジャガイモ。しかし、小麦や米は適していないとされている。

航空機・宇宙船の開発製造会社Sierra Nevada Corpo.(シエラ・ネヴァダ・コーポレーション)によってつくられた宇宙用栽培装置は、シンプルな散水・照明システムを装備するだけの非常に軽量・コンパクトかつ省電力の装置で上記の「VEGGIE」に利用されている。

日本の宇宙航空研究開発機構(JAXA)は2019年6月月面農場に関する報告書を発表している。この報告書によれば、稲、ジャガイモ、トマトなど8種類の作物を生産した。放射能や隕石の被害を避けるため細長い円筒形の栽培エリアを地中に埋め作物をLEDの光で育てる。水は霧状にして供給し自動収穫機で作物を収穫する。

## (5) 動物質蛋白質

### ① イエバエ幼虫

JAXAは動物質蛋白質の供給源としてイエバエの幼虫を挙げている。繁殖力の強いロシア産のイエバエの卵を飛行士の糞で育て、幼虫を加工した蛋白質で加工食品を製造、幼虫が排出した糞で野菜を育てるという構想である。但し、イエバエと聞いただけで食欲が減退する欠点がある。

### ② 培養肉

“Shojinmeat Project”は、2014年に日本の研究者、学生、イラストレーターらが集まり、動物を殺さずにタンクの中で筋肉細胞を育てて作る食肉(培養肉)の実用化を目指すために結成された。この組織の生

産化を図るために2018年設立されたインテグリルカルチャー(株)が科学技術振興機構(JST)の補助金を得て培養肉の研究を行っている。

鶏肉の場合は、受精卵を途中まで孵化させた段階で「筋芽細胞」を入手し、これを培養液で培養して「筋肉細胞」に育てていく。この方法により2019年8月「食べられる培養フォグラ」の生産に成功した。実際に食したシエフによれば、「コクと甘みがバランス良く感じられ、ピュアと芳醇なフォアでした。」と話している。

獣肉の場合も、動物を殺さずに「筋芽細胞」を採取し、これを培地で培養した後、繊維組織を作るためにそれに適した培地に移し筋繊維を作る。その際、脂肪細胞やコラーゲン繊維などを組み合わせることによって生の肉の食感に近い肉を作ることができる。

③ 欧州にも培養肉の生産を研究している会社が数社ある。その代表的な会社はオランダのMeatbleで、牛の胎児の血清やチャイニーズハムスターの卵巣を使って培養肉を生産している。

## 3. 月への輸送手段

### (1) 宇宙船

宇宙船については秩父149号(R2年10月)で詳細に説明したので、簡単に紹介する。再利用できないソ連のソユーズ、再利用できるアメリカのスペースシャトル等多数開発されている。さらに経済的なものとして日本のベンチャー企業が開発している単一エンジンでジェット推進とロケット推進ができるベガサスがある。

### (2) 宇宙エレベータ

静止軌道上の宇宙基地への輸送手段として宇宙エレベータがある。これも秩父137号(H29年10月)で紹介した。日本の大林組等が2050年実用を目指して開発している。この宇宙エレベーターを延長して月にまで届かないか。

#### 4. 問題点

月には殆ど大気がないので、月の大気や環境を地球に近い状況に変えてしまう「テラフォーミング」を行うのは極めて困難である。従って人間が居住できるのは宇宙基地内に限られるので、大規模の宇宙移住は考えられない。しかし、他の惑星への移住の中継基地としては極めて重要である。また、月には貴重な資源が豊富に眠っている。アルミニウム、チタン、鉄等現地で宇宙基地や宇宙船を製造する場合の原料として貴重である。レゴリスという砂があり、それ自身が金属や水素などを取り出すための資源の素材として重要であるが、レゴリス自体を焼き固めてレンガやガラスブロックを作れば、太陽熱を蓄積するための材料や建設資材として使うことができる。

#### 5. 月面基地の建設場所

地球に面する赤道近くでは、半月ごとに昼と夜が交互に訪れるので、夜の半月間はエネルギー供給に問題がある。又裏側は地球と交信しにくいという欠点がある。従って極点近くが最も適していると云われている。

ところが、10年前に打ち上げられた日本の月探査衛星「かぐや」の観測データを分析した結果、月の表面に50 kmにも及ぶ巨大な空洞があることを発見した。この空洞が見つかった場所は、地球に面する表側で月最大の火山地帯「マリウス丘」と呼ばれる場所である。この空洞は火山の溶岩が流れてできたもので、幅100m、高さ数十m、長さ50 kmもあり、隕石、放射能、300° 近くなる月面の温度差から、人類を保護することができ、将来は都市を建設するに十分なスペースを提供することができる。

#### 6. . 月面基地はいつ頃実現するか

米国のNASAの火星飛行計画は2030年半ばとされている。それに先立ち月面基地を作る計画も含まれている。

又中国では月面基地を2030年には完成すると云われている。

日本のJAXAが発表した長期ビジョン「JAXA2025」では、2025年に日本独自の月面基地を設置するという構想が含まれている。

しかし、これらの構想はいずれも一時的に人が滞在する基地で、常に人が滞在する月面基地ができるのは、おそらく2040～2050頃と予想されている。(続く)



## 宇宙シリーズⅧ 宇宙移住②・火星へ

田村 正夫 予科4-6  
(富士見市) 航空6-4

### 宇宙移住②・火星へ

#### 1. はじめに

人類は何時の時代でも知的好奇心が旺盛である。15世紀羅針盤が普及し、科学技術の発展で、堅牢で大型の船舶ができると大航海時代が到来する。そこで新大陸の発見、新航路の開拓がはじまる。

現在はロケット等の開発により宇宙への大航海時代がやってきたといわれている。さまざまな衛星が飛び交い。月まで人類がいつている。次には火星に人類を運び、長い年月居住することを目指している。火星は太陽系のなかで地球と兄弟星、地球とよく似た環境を持っている。火星と地球を自由に行き来できることや、火星の環境を人類が住めるように改造して、「第2の地球」に変えることを考えている。2007年アメリカのNASAでは「地球から4000万マイル離れた火星に人類の第2の故郷が見出せることが期待される」と語っている。



図1 NASAの大型ロケット

地球上に生物が誕生して約40億年になる。

その間に地球に5回も隕石の落下や火山の噴火などの環境異変が起き、多くの生物が死滅している。約6,000万年前に隕石が落ち恐竜が絶滅したことは有名である。そして今、6回目の地球上の生物が大量絶滅の時代に入っている可能性があると言われている。

もし大隕石が落下されそうになったらどうするか。この前、我が国の宇宙航空研究開発機構(JAXA)小惑星ユウグウへハヤブサが金属の球を放出したとの報道があって、多くの科学者から宇宙開発に新しい道が開けたといわれた。隕石が地球に接近したら。ロケットや人工衛星をこれに衝突させ、隕石の軌道を水平に、速度を変えてやる。その速度が7.9km/秒ならば地球を回る円形周回軌道になり、人工衛星のようになる。その速度よりは遅ければ楕円軌道になり、もっと早く11.2km/秒以上になれば放物線を描いて太陽圏から離れていく。こう言いかねば地球人は火星に避難しなくてよいが、失敗すれば火星に避難することになる。

また、心ない国が戦争して最後に原爆、水爆の報復戦になったとすると、地球人は火星に避難するようになるかもしれない。そうなる前に地球の人類戦争を阻止するよう努めるだろうが、失敗すれば火星に逃げることになる。

そのために将来火星の環境を人類を含めたさまざまな生物が居住可能な基地が必要になる。第二次世界大戦後ドイツからアメリカに移住した、ロケット工学者クラフト・エーリケ博士が考案した火星基地がある。円形の筒型のもので、輸送が簡単で火星で繋いだり並べたり組み合わせが簡単にできる。出入り口以外は地中に配置され、気温や気圧、放射線から防護するようになっている。

しかし基地外で活動するには防護服を着用しなければならず、そのために火星環境の地球化を進めなければならない。

## 2. 火星環境の地球化

宇宙にでると、宇宙船も人間も宇宙放射線と呼ばれる高エネルギーの電荷粒子や電磁波にさらされる。宇宙放射線には太陽外からやってくる銀河宇宙線と、太陽から流れ出る太陽放射線（太陽風）がある。太陽風とは太陽の表面でしばしば途方もない巨大なエネルギーの放出が起こり、火星で活動する人間に宇宙線被曝を引き起こす。

被曝の人体への影響は、初期は体がだるくなる、筋力が低下する、骨組織からカルシウムが抜け出て骨粗鬆症のような症状が生じ、ついには体のどこかが癌になる。

地球上では宇宙線は地球の磁場によって宇宙に押し返されるため、地上の生物にはほとんど影響はないが、火星では磁場がないので、宇宙線の影響をまともにうけることになる。

この宇宙線をどうやって遮蔽して人体を守るかが問題になる。岩石や土砂によって遮蔽するのも一つの方法で、火星の住居を地中に造ればよい。宇宙ステーション（ISS）の構造はアルミニウムできている。アルミでは宇宙線を遮蔽できないので、そこで研究する人は長く滞在できない。

火星での宇宙線のレベルは（ISS）の2.5倍もたかく22mrad/日もあり、活動する人達は鉛など含んだ重い宇宙服を着用しなければならない。

2009年にNASAが打ち上げた月周回衛星「ルナー・リコネッセ・オービター」が4か月にわたる観測の結果、プラスチックが放射線遮蔽効果があることを確認した。プラスチックだけでなく水素原子を多量に含むものであれば、遮蔽効果があることが証明された。液体水素が一番遮蔽性能がよく、液体メタン、水なども遮蔽性能がよいとされる。プラスチックや金属との混合材料を活用すれば、経済的にも、活動しやすさも優れたものができると考えられる。ただし、プラスチックは強い放射線に照射され続けると硬化が進んで脆くなるので、遮

蔽材を時々交換する必要がある。

火星に生活するのに欠かせないものに水がある。

1888年にミラノの天文台長スカパレリが望遠鏡で観測して描いた火星の地図に運河が描かれている。火星に19世紀の終り頃には水の存在が信じられていた。

1976年アメリカの無人衛星が火星へ着陸して無人探査機ヴァイキングが火星の様子を送ってきた。そこには人工運河らしきものはなく、赤茶けた砂漠のような大地だった。またほかの探査機によって巨大なクレーターや、5000m級の山岳、エベレストの4倍もあるオリンポス山や、深さ7000m、幅2000m東西4000mもあるマリネス渓谷など発見されている。

2012年アメリカのNASAは探査機ローバー（愛称キュリオシティ）を火星に着陸させた。この探査機が2013年9月火星の地中で大量の水の存在を確認した。太古の火星の海の水が地中に蓄えられたものであろう。塩分濃度は高いらしい。酸性、場所によってはアルカリ性だったりするらしい。最近の新聞の報道によると火星の赤道付近のクレーターの内部に、35億年前の湖があったと確認されている。またNASAの無人探査機によると水質が中性で、カルシウムなどのミネラルが豊富で塩分濃度が海水の3分の1「味噌汁位のしょぼさ」のものが発見されたとのこと。火星の南極、北極に極冠がある。季節によって大きさが変化するが冬は大気中の二酸化炭素が固形化してドライアイスとなり積もる。その下は氷である。それは北極より南極方が大きい。

## 3. 生命居住可能環境づくり

火星には生命維持のための水が存在することが明らかになった。火星では平均気温-60℃であるので水は氷として存在している。氷を水にするためには温度を氷点上にしなければならない。そのために太陽光発

電パネルを持っていき、太陽光は地球の2分の1であるがそのパネルの電力でなんとか液化できる。

食用だけでなく多数の人間が生活するためには多量の水を必要とする。そのためにどうしたらよいか総合的に考察しなくてはならない。



図2 火星の表土に存在する水と氷

#### 4. 人類が居住可能な火星環境

火星には地球の環境と類似したところがある。地球の1日は24時間、火星は24時間39分35.244秒。火星の赤道傾斜角は $25.19^\circ$ で地球は $23.44^\circ$ と似ている。火星の1年は地球の約2倍1.88年である。

相違点は火星の表面重力は地球の1/3、表面に届く太陽のエネルギーは地球に届く量の1/2。火星の大気圧は7mb(現在の気圧単位は違う単位を使っているが、資料がmbなのでこれを使用する。この気圧では宇宙船の空カブレーキに利用できる)。

平均気温は $-43^\circ$  最低気温 $-140^\circ$  (地球の南極では最低気温 $-90^\circ$ )。

火星では加圧、加熱した45kgもある宇宙服を着用しなければならないので、火星の環境を地球化(人間が住める環境)にするさまざまな方法が研究されている。

長年火星の地球化を研究してきたアメリカのNASAのクリス・マッケイは「火星を温める必要がある」といっている。その唯一のエネルギーは太陽光エネルギーである。

1992年イギリス惑星間協会のバーチという学者が論文を発表している。火星の表土(レゴスリス)を太陽光反射板で熱して、その中に閉じ込められている揮発性物質(酸素、窒素、二酸化炭素、水)を大気中に解放する。またほかに極冠にある表土に閉じ込められている二酸化炭素(ドライアイスとして)、水(氷)をソレッター(反射凹面鏡)を使い放出する。

さらにバーチは爆薬を使って掘削して運河や池をつくり貯水すれば、50年後には実現できるであろうと言っている。

またその外、さまざまな構想がある。火星と木星の公転軌道の間には何百万もの小惑星が飛翔している。その中で適当な大きさのものを選び、その小惑星にロケットを設置する。質量100億トンの小惑星を出力5000メガワットのロケット4基で10年間押し続け。これを4回火星に衝突させれば火星が温暖化し、水をつくり大気もつくることの実現されると考えられている。

もっと手荒な方法として原子爆弾を火星で地下爆発させて、火星の岩石を溶かして水や大気を吐き出させようという案もあり。火星を温暖化するのに何発の原爆が必要なのか、地球から運ぶのか、火星で工場をつくり原爆を製造するのか、すこし物騒な話である。

また軽い素材でできた凹面反射鏡で太陽光を集め、子供のころ虫眼鏡で太陽光を集め黒い紙を焼いた経験があるが、このようなギリシャ時代から知られている古典的な方法を使用することも考えられている。

また火星の地球化のため火星の岩石(レゴリス)から二酸化炭素ガス、水やほかの気体を気化抽出するため、穏やかな方法で火星の大気を作り出すことをNASAの研究者は考えている。

地球上で雪国では早期に耕作するために、積もった雪を早く溶かす。そのために、積雪の上に「すす」(カーボンブラック)を散布し積雪の消化を促している。それと同じことを火星上でやればよい。火星の両極に



は沢山のドライアイスがある、そこへ黒い粉末を散布すればよい。地球からカーボンブラックを火星に運ぶのは大変で不可能。幸い火星の赤道から1,500km付近に、東西1,000kmほど広がる大ヒルヒルティス平原があり表土は黒っぽい。そこにあるカーボンブラックに似た粉末、つまり塵（過去の火山の噴出物）がありこれを運び、極冠の6%にあたる所へ厚さ1mm程度散布する。およそ総量1億トン。両極なので太陽のエネルギーで充分なのか疑問になるが、火星の自転軸は首振り運動をしており、たまたま火星の公転軌道と火星の自転軸がほぼ並んだとき、南北両極とも太陽から均等に加熱され、極冠の氷は蒸発し、火星の大気圧に変化がおこる。二酸化炭素と外の気体が増えて気圧が上昇する。7mbから600mbを超えれば地球の富士山の頂上の気圧と同じになる。さらに地球上では嫌われている二酸化炭素やフロン温室効果で気温が上昇し、 $-40^{\circ}\text{C}$ から $15\sim 17^{\circ}\text{C}$ と温度が上がり、火星で防護服無し、酸素マスクだけで行動できると研究者は考えている。

酸素補給の話になるが、火星ではいくらかの酸素が岩石中に存在しているが、人類が呼吸するには不十分。又二酸化炭素を還元して酸素をつくるのは困難性を伴う。そのため地球から、地衣（ジイ）類、コケ類を持参する。これらの植物はいくらかの酸素と二酸化炭素があれば火星上でも繁殖し同化作用で酸素を放出する。火星が暖まり岩石から溶け出した水が小川となって流れ、窪地が沼となり、周りに植物が繁茂するのでもそう遠くなく火星の地球化が進むであろう。

## 5. 火星の住居

人類が火星の地球化をまって火星に移住し、そこで何年も過ごすために住居が必要である。火星を居住可能にする研究をロンドン大学のリチャード・テイラーが考えている。基本的には巨大な植物園か温室のよ

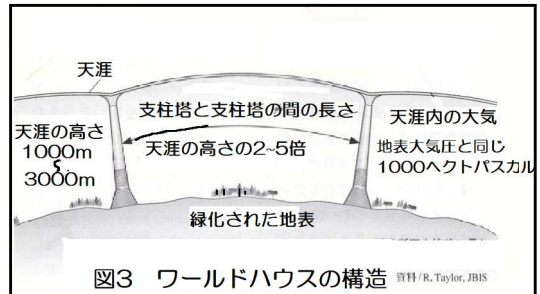
うなものを作り内部を居住可能な環境に整えれば良いと提案している。

1960年以降各国でも疑似的な閉鎖生態系をつくり、その中で人間や動植物がどの程度生きられるか等の実験が行われている。また1991年には米国アリゾナで「バイオス2」を建設し男女8人の滞在実験が行われた。ソ連でも「バイオ3」の実験が行われ、その後ヨーロッパが協力し研究が進められている。

日本でも六ヶ所村で環境科学技術研究所が「閉鎖型生態系実験施設」を作り実験を行っている。

テイラーが考えている居住区はワールドハウスと言われている。

六角形で頭上1000mから3000mの高さの気密の天蓋を建造する。材質はアラミド繊維(耐熱性に優れ、引っ張り強度は鉄鋼の5~7倍)など高強度・低密度繊維などの材料を使用し、コンクリートや金属も併用する。



室内の気密が不安定になるのを防ぐには高い方がよい。気圧は東京ドームのように中の気圧の差を3mb程にして膨らむようにすればよい。支柱の高さが3000mであり、建設が困難に思われるが、東京のスカイツリーは643m、ドバイのシティータワーは2400mもあり、難しくなさそうだ。しかも火星では表面重力は地球の38%しかなく、火山や地震活動もほとんどない。そのため火星の建造物の耐荷重性能や耐震性は、地球におけるものより遙かに緩やかである。工事は遠隔操作とロボットによる。地球上では危険環境での大規模な土木工事、建築工事、採鉱を行うために遠隔技術は実用化

されている。火星でも実施されるであろう。

ところで火星で食糧となる植物を栽培できるであろうか。国際宇宙センターで無重力で植物の生長実験(水耕栽培)をしたところ、植物には重力を感知する細胞があり、根は重力に逆らって地中へ伸びる。重力がなければ根は発育しない。そこで天井から指向性のたかいLED照明をあてると、根はこの照明を逃げるように下方に伸びた。照明が植物の上下を教える重力の変わりを務めるようだ。地球上の実験で火星では太陽光の照射時間が限られるので、人工光LED使用すればよい。実験では成功している。家畜は人間が生活できるので飼育は可能であろう。哺乳類の中で放射線に強いものを選びばよい。

## 6. 火星に飛び立つ宇宙の道

これまで火星で生息するための宇宙学者や研究者の構想を述べてきた。これらはこれまでの火星の探査機によった資料で作成されたもので、それを確かめたり実現するためには、人が火星に行かなければできない。

月へ向かって有人宇宙船で人を運ぶのに3日かかった。38万kmある。火星へは約8か月かかる。

火星と地球の距離は日々変化している。

地球は太陽の周りを365日をかけて公転している。

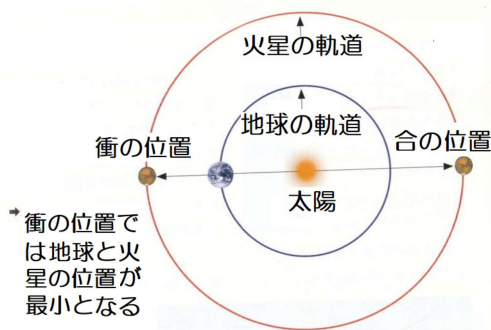


図4 地球と火星の位置関係図

火星は地球の外側を、約1.9倍、地球の約

倍の687日もかけて公転している、地球から見て火星が太陽と間にあるとき「衝」、地球が火星に最も近い太陽の反対側あるときを「合」と天文学で言われている。

打ち上げの窓

衝の時間	最接近日
2018年7月27	2018年7月31日
2020年10月13	2020年10月6日
2022年12月8日	2022年12月1日
2025年1月16日	2025年1月12日

以上のような理由で火星探査の宇宙船がいつでも火星に向かって出発することはできない。地球と火星の最短距離をとれる出発チャンスは2年余りに1度となる。(このタイミングを「ふた上げの窓」という)

2025年1月16日に出発しどんな軌道を通り、火星にどのくらいの期間滞在するかによって宇宙飛行を考えてみる。いくつかの飛行コースとスケジュールが考えられるが代表的なものをつぎの図で説明する。

### ①火星側方通過ルート

このルートは火星に最短時間で到達するルートである。

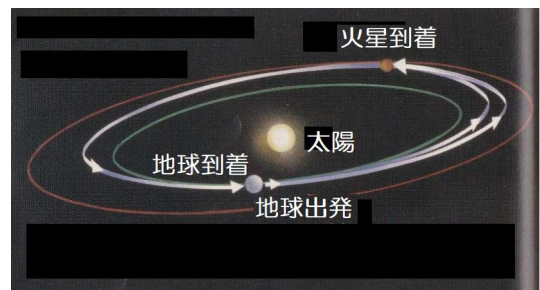


図5 火星側方通過ルート

このルートでは火星の近くを飛行し減速、加速する必要がないので往復に必要な燃料は少なくすむ。ただし母船から人間を乗せた小型の着陸船を切り離し、着陸船だけで火星に着陸するとになる。そのため探査後宇宙飛行士たちを別の宇宙船で迎えにいかなければならない。

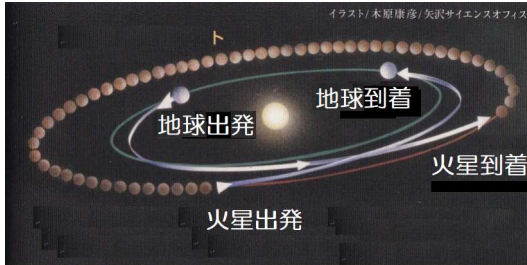
### ②火星長期滞在ルート



このルートは2年2か月毎にやってくる。「打ち上げの窓」のタイミングで地球をロケットで発進し地球の公転軌道の外側に向かった後に一定の速度で慣性飛行を続けて約260日(8か月あまり)後に火星に到着する。ここで1年半滞在する。

### 図6 火星長期滞在ルート

帰路は逆に軌道上を火星より少し前進しているときに火星を出発し、2つの公



転軌道をゆっくりと先回るように横切るルートを通して、往路と同じ260日で地球に到着できる。このルートで往復飛行を行った場合、人間は火星に450日間滞在することになる。このように探査時間は十分あるが全行程2年半以上を要し、出発時の燃料や物資の量が膨大になる。

### ③火星短期滞在ルート

このルートは、火星に滞在は1か月程度である。



### 図7 火星短期滞在ルート

従って火星であまり大きな仕事を成し遂げることはできない。そのために火星の2個の衛星を中継基地として火星、地球の間を容易に往復し、頻繁に活用する。また火星と地球の両方の周回軌道上に巨大な宇宙ステーションを建造し、ロケット燃料や食料を備蓄し、地球、火星の往復を低コストにするなど様々なアイデア

が研究されている。

## 7. 宇宙船推進用ロケット

### (1) 化学推進ロケット

地球と火星を往復する宇宙の原動力となるロケットであるが、現在使用されている推進力は化学燃料である。すなわち水素やケロシンなどと、酸化剤の液体酸素を使用する。火星に行くには宇宙船の9割がこの燃料となる。しかし水素などの燃料を酸素で燃やしてガス化させノズルから噴射させるしくみのままでは、火星有人飛行には大きな困難がある。

### (2) イオン推進ロケット

今現在開発されている新原理のロケットには、イオン推進ロケットやプラズマ推進ロケットがある。小型のイオン推進ロケットは既に実用化されており、小衛星イトカワへの往復探査を行った日本の探査機はやプサも小型のイオンロケット4機を使用していた。

イオン・プラズマ推進ロケットとは化学ロケットのように燃料を酸化してガスにするのではなく、「イオン化」プラズマにしてそれを噴射するもので、軽い元素である水素・重水素・ヘリウム等を強大な電場で加熱してプラズマ化して、それを強力な磁場で一定方向に噴射でロケットを推進するもので、化学ロケットの十数倍の推進力がある。しかし地上から重い物体を宇宙に押し上げる力は極めて小さいという欠点がある。これを補うためにアフターバーナーを利用して推力を補強するしかない。それをいれば地球周回軌道から火星周回軌道まで、化学ロケットでは8~9ヶ月かかるところ39日で到達できる。またこのロケットの利点は火星を目指す場合は片道の燃料さえ積んでいればよく、地球に戻る時の燃料の水素は太陽系宇宙の至る所で入手可能で、火星でも調達できる。このロケットを駆動するめの電力はソーラーパネルで

供給するが、火星のように太陽光が弱くソーラーパネルでは必要電力が得られない場合は小型の原子力電池が必要になる。

原子力電池とはプルトニウム238やポロニウム210などの放射性同位体の自然崩壊熱を電力に変えるもので、地上の発電用原子炉のような核分裂の連鎖反応ではない。このタイプの電池は数十年間も働き続けることが実証されている。火星、木星と太陽から離れているところでは太陽光が弱く、宇宙探査にはこの電池が使用されていくであろう。

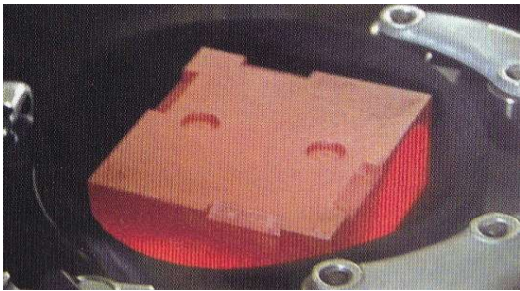


図8 原子力電池

### (3) 原子力推進ロケット

核分裂エネルギーで推進する「原子力ロケット」は、熱核推進ロケットなどとも呼ばれ、通常の原子力発電などに使用されるものと同じ原理の小型原子炉が生み出す核分裂連鎖反応による熱エネルギーで、推進剤として水素を使う。水素は爆発的にガス化して膨張し、ロケットの噴射ノズルから非常な高速で噴射する。このロケットの推進力は化学ロケットの約2倍と言われている。

原子力ロケットは、地球から火星に宇宙船を送り出すことが可能な性能があるといわれている。しかも大型である化学ロケットと比較して小型化できるいう特性もあり、現在計画されたロケット用の原子炉は炉心の全長が150センチ直径50～140センチと非常に小さく、将来火星に向かう大型の宇宙船に用いられる場合全長12m余りで直径7.5m、燃料を含めて

総重量40トン程度と予想されている。NASAの研究者はこの熱核反応型の原子ロケットが実用化されない限り、人類が火星やそれ以遠の宇宙に進出することはできないと考えている。

### (4) 核融合推進ロケット

核分裂は原子力発電エネルギーに利用される核分裂とは似て非なる物理現象である。太陽のような(恒星)が生み出す膨大なエネルギーは、水素など軽い元素の原子核同士が超高熱、超圧力のなかで融合する(水素の原子核4個が融合して、ヘリウム1個に変わる)ときに放出される。核融合させるには様々な方法があるが、このなかで特に注目すべき方法は「レーザー核融合(慣性核融合)」というのがある。これは重水とトリチウムを直径数ミリの容器につめた無数のカプセル(マイクロカプセル)に強力なレーザーを照射して燃料を瞬間的にプラズマ化し、その中心部で核融合反応を起こすもので、平易に言うなら小さな人工太陽を生み出す方法である。このロケットの推進力は化学ロケットの300倍、原子力ロケットの150倍と言われている。また燃料とする重水素は海水に存在し永久に供給が保証される。この研究には日本も世界の最先端のグループの一員であり、このプロジェクトで重要な役目を担っている。このロケットを人類を運ぶ大型なものにするには、様々な課題があり、実用化するには今後20年ぐらいかかると予想されている。

火星の地球化やロケットの開発に時間がかかり、人類が火星に永住できるのはまだまだ先のようなのである。