

宇宙暮らし

～宇宙への進出と未来の宇宙生活～

I はじめに

1961年ソ連の宇宙飛行士ユーリイ・ガガーリンがボストーク1号の飛行で世界初の宇宙飛行に成功し、1969年にはアメリカの宇宙飛行士ニール・アームストロングが月面にその足跡を残した。さらに2011年には地球の軌道上約400kmに国際宇宙ステーションが完成し、6人の宇宙飛行士が滞在し無重力下で様々な実験が行われている。さらに様々な衛星や探査機が今まで打ち上げられ運用されてきたとともに現在も数多くの衛星や探査機が運用されている。こうして人類は宇宙に進出してきた。今後は誰でも気軽に宇宙旅行ができる、という時代が訪れるかもしれない。

人類の総人口は増えていくと予想されている。そうなれば地球の自然環境の悪化、様々な環境問題の発生、さらには食糧不足や戦争なども起こり地球に住むことが困難になるかもしれない。

また、現在太陽は水素の核融合反応がだんだん活発になってきている。すると、当然太陽の放射が増していき、だんだん気温が上がっていき、水が蒸発して水蒸気になっていく。水蒸気が発生→水蒸気の高い温室効果によりさらに気温が上昇→さらに水蒸気が発生→・・・の連鎖が起こり、やがて暴走温室状態¹となる。もし地球の海が暴走温室状態によりすべて蒸発してしまったとしたら地球の気温は1000℃を超えと言われていいる。地球が暴走温室状態になるのは太陽放射が今より10~15%上昇する10億年後と言われている。となれば、当然我々には影響のないことだがやがて地球に住むことができなくなるどころか地球は生命が生存できる環境ではなくなってしまうということだ。

そこで本論文では将来人類が宇宙に進出し繁栄していくにあたり、その準備段階とでも言うべき宇宙での長期滞在計画とその計画についてさまざまな課題や問題点を考察する。まず人類が暮らすことができる条件を考察、設定し(II章)、実際に長期滞在計画の運用方法と計画、様々な問題点を考察する(III章)。そして、最後に実際の長期滞在とその先の宇宙での暮らしが実現可能か不可能か結論づける(IV章)。

II 人類が暮らすことのできる条件

(1)水

地球を写した写真を見ればわかる通り、地球には液体の水があふれている。これは地球の特徴の1つだ。

一般的に、成人が活動するために1日あたり2.5リットルの水が必要とされている。しかし何故水が必要なのだろうか。

¹ 暴走温室状態 どんなに大量の水が地球表面に存在してもどんどん水蒸気になってしまい液体としての水が存在できなくなる状態のこと

人間を含む地球の生命は食べ物や酸素などの物質を体内に取り入れ、体内を循環する水分と一緒に運び、水溶液の中で起こる化学反応によってそれらをエネルギーに変換し活動している。余った老廃物は水分と共に排出されていく。このように生命の体内では物質を巡る様々な化学反応が起きているとともに様々な物質の出入りが行われている。となれば物質の出入りを媒介する物質が必要で、この物質は物質の三態の中では液体が最も適しているので、必然的に生命活動に於いて液体が必要となる。

では何故水なのだろう。まず太陽系において一番多く存在する元素は水素であり、ついでヘリウム、酸素となっている。この元素の存在比率はこの宇宙に於いてだいたいどこでも同じだと考えられている。従って水は水素と酸素からできているので水は宇宙にとってもたくさん存在しているといえる。となれば生命が活動していく上で必要とする液体を水と決めたのも当然のように思える。また水は通常 0°C~100°C で液体として存在できる。それに比べ水と分子量が近い他の物質は常温では気体で存在する。つまり水は他の物質に比べて高温下でも液体で存在できるといえる。さらに水は極性分子²であるために「色々な科学物質をよく溶かす」という特徴を持つ。これらの「液体として存在できる環境条件が広い」、「色々な物質を溶かすことができる」という二つの特徴により水は様々な化学反応の場となることができる。故に、前述の通り生命活動をしていく上で様々な化学反応が行われているので水は生命にとって不可欠な存在といえる。

以上の理由から生きていく上で水は欠かせないと断言できる。

(2)温度

(1)で生命活動に「液体の水」が欠かせないことを説明した。水が液体で存在するには温度が大きく影響する。太陽に近すぎると水は蒸発してしまうし、逆に遠すぎると氷になってしまう。(1)で述べたように液体であることが生命にとって重要となる。よって、液体の水の保持のためには適温を保つことが必要であると考えられる。人工建造物の中での生活ならば優れた空調設備と断熱性の確保が必須と言える。

また、将来的に他の星へ移住し、地球と同じように自由に外を出歩くのであればその星はハビタブルゾーン³に存在することが求められる。

(3)酸素

生きていく上で酸素が欠かせない、ということは誰もが知っていることだろう。ではなぜ酸素が必要なのだろう。

すべての生き物は有機物を分解してエネルギーを得ている。有機物は高い化学エネルギーを持っているためにそれを分解することによって有機物の中に蓄えられていたエネルギーを取り出している。この分解の作業に酸素を取り入れることによって酸素を使わない場合に比べてより多くのエネルギーを取り出すことが出来るようになる。つまり酸素は生き物が生きていく上で必要なエネルギーを取り出すことに於いて非常に重要な役割を果たしていると言える。

また我々人間の脳は大量の酸素を必要とする。体重の 2%ほどしかないのにも関わらず身体が必要とする酸素の実に 20%もの酸素を必要とする。しかも人間の脳は 5 分以上酸素供給が絶たれると脳細胞が損傷して機

2 極性分子 電荷的に偏りを持った分子のこと。

3 ハビタブルゾーン 生命が存在できる環境が存在する領域のこと。惑星のハビタブルゾーンについては「惑星の表面温度が液体の水が存在できる温度であるかもしれない領域」とされている。

能が失われ低酸素脳症⁴という重大な障害が残る。

また惑星大気中に酸素が存在すると、オゾン層が形成される。オゾン層は高度 10~50 キロメートルの成層圏にあって太陽が放射する有害な紫外線を吸収し、地上に届く量を減らす働きをしている。紫外線は太陽光線の中でもエネルギーが強く、生物の DNA に悪影響を与え、皮膚がんの原因にもなる。

以上の理由から酸素も生きていく上で必要不可欠と言える。

(4) 二酸化炭素の除去

人は呼吸の際に酸素を取り入れ、二酸化炭素を放出している。この二酸化炭素を吸いすぎると人は二酸化炭素中毒に陥る。空気中の二酸化炭素濃度が 3~4% でめまい、吐き気などが起こり、7% を超えると意識を失い、やがて呼吸停止の状態になり、20% を超えると数秒で死に至る。宇宙での長期滞在中は閉鎖空間の中で暮らすことになる。そして当然その閉鎖空間は密閉されている必要があるので呼吸を続けると二酸化炭素がたまり続けてしまう。よって二酸化炭素を除去する必要がある。

長期滞在では長期間にわたり二酸化炭素を除去し続ける必要がある。現在国際宇宙ステーションでは二酸化炭素を吸着し船外に捨てることで二酸化炭素を除去している。

(5) 食料

人間が活動していく上でエネルギーは必要不可欠で、エネルギーを摂取するのに食物は必須だ。

現在国際宇宙ステーションでは地球からの食糧供給を行っている。しかし地球から食料を供給し続けるにはコストがかかる。故に長期滞在に於いては最終的には自給自足が好ましいと考えられる。

植物は光合成を行い、二酸化炭素の除去を手伝うと同時に酸素を供給してくれる。さらには人間の排泄物は一定の処理後、肥料としても利用可能である。また当然ながら植物を育てれば食べることもできる。宇宙空間では人工構造物内で植物の栽培を行うため、環境のコントロールが容易で、地球と違い、栽培環境はとても安定しており栽培効率はとても高いと考えられる。以上の 3 つの理由から植物の栽培は長期滞在計画では必須となるだろう。

また、重力の安定した環境では畜産を行うことも望ましい。

(6) 宇宙の環境に対する対策

(3) でオゾン層が地上へ紫外線が降り注ぐ量を減らす働きをしていることを説明した。しかし宇宙にはオゾン層はなく、地上より遙かに強い紫外線や高エネルギーの X 線を浴びることになってしまう。また宇宙放射線や太陽風⁵など他にも様々な高エネルギー放射線場が宇宙空間をとびかっている。宇宙で過ごす際にはこうしたものを遮蔽する必要がある。

また、(2) で述べたように宇宙空間で生きていくためには温度も重要な条件の 1 つである。宇宙で熱が伝わる方法は伝導と輻射⁶しかなく、対流が起こらないためひなたはすぐに暖まるが日陰はとても寒い。ひなたは摂氏 121℃ にもなるが日陰は摂氏マイナス 121℃ にもなる。長期滞在計画ではこの極端な温度変化に耐えうる

4 低酸素脳症 循環不全または呼吸不全などにより、十分な酸素供給ができなくなり脳に障害をきたした病態のこと。

5 太陽風 太陽から吹き出す極めて高温で電離した粒子のこと。

6 輻射 熱放射ともいう。熱の輸送元の物体が電磁波を発生し、輸送先の物体がそれを吸収することによって熱が運ばれること。

構造物を造る必要がある。

また地球軌道上での長期滞在ならばスペースデブリ⁷の対策も必要。スペースデブリは秒速数キロメートルで地球軌道上を周回しているため小さなものでもその衝突エネルギーは莫大なものとなる。現在スペースデブリの監視が行われており、ISSは年に数回、スペースデブリを回避するために軌道修正を行っている。またスペースデブリは今後も増え続けていくので監視体制の強化と早急な除去システムの確立が求められる。

(7)居住空間について

軌道上での長期滞在となれば当然無重力状態での生活となる。となれば床、天井、壁という認識がなくなる。しかし、現在ISSでは床、天井、壁が標準化されている。これは上下感覚が希薄となる無重力空間でパニックに陥った場合にクルーが自分の位置を把握する手助けをするとともに標準化することによって全体のデザインをシンプルにまとめ、クルーの生活に安定感をもたらす効果がある。閉鎖空間での暮らし以外にも様々なストレス要因が存在する宇宙空間で生活に安定感をもたらされることは大きな意味があるだろう。

また、窓を通して外部を眺めることは精神的な健康維持に大きな影響がある。特に地球の観測は宇宙飛行士にとってプラス要因となることが多いとされる。

無重力空間での長期滞在ならば人工重力の創出も視野に入れるべきだろう。無重力空間に長期間滞在していると筋力が低下する。他にも無重力空間での生活には様々な注意が必要である。例えばほんの少しの力で身体が動いてしまったり、ヒゲを剃ったり髪を洗ったりするだけでも切ったヒゲや泡が飛び散らないように専用のものを使う必要がある。人工重力を創出することにより日常生活はしやすくなるだろう。

(8)運動

(7)でも述べたように無重力状態に長期間いると筋力が低下する。筋力の低下は筋繊維そのものが細くなることによって起こる。全身の筋肉の中でも、特に1G重力下で重力に対抗して前身を支える抗重筋と呼ばれる筋肉群の筋力低下が著しく、その中でも脚を伸ばす伸展筋肉の萎縮が進む。

また骨の中ではカルシウムを溶かす破骨細胞とカルシウムを蓄積させる造骨細胞の両方が常に作用し、骨の新陳代謝が行われている。しかし、微小重力環境下では造骨細胞の活性を維持する刺激が著しく減少するために造骨細胞の機能低下が起こり、脱カルシウムが起こると考えられている。

カルシウムの減少や筋肉の弱体化は歩行運動や筋力トレーニングなどによってある程度抑制することができる。

これら2つの理由から運動環境を整えることが、長期滞在に参加する飛行士の健康を保つために必要といえる。

⁷ スペースデブリ 過去に打ち上げられたロケットや人工衛星などの残骸の内、大気圏に落下せずに地球軌道上を周回している、いわば宇宙のゴミのこと。

制振装置付きトレッド・ミルでトレーニングする古川聡宇宙飛行士→

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/iss028e019530.php>

JAXA 宇宙センター・きぼう広報・情報センター フォトライブラリより



しかし、こうした1日数時間の運動や筋力トレーニングでは1日24時間常に1G下にある地上と違い、カルシウムの減少や筋肉の弱화를防ぐには不十分である。その点においても(7)で述べた人工重力の創出を検討すべきだろう。

III 実際の長期滞在計画

(1) 過去の宇宙開発と長期滞在計画

未来の宇宙開発について考察していくにあたって過去の宇宙開発を振り返ってみよう。

宇宙開発の始まりは1950年代後半、米ソ冷戦時代にさかのぼる。ソ連は1957年10月世界初の人工衛星となるスプートニク1号を打ち上げた。これにより、アメリカをはじめとする西側諸国に衝撃が走った。世に言うスプートニクショックである。これにより米ソ宇宙開発競争が始まった。スプートニク1号の成功により勢いづいたソ連は次々とロケットを打ち上げていき、ついには世界初の有人宇宙飛行をも成功させた。

人工衛星の打ち上げから有人飛行まで、完全にソ連に後れを取ったアメリカだったが、1961年5月、ジョン・F・ケネディ大統領は1960年代の内に月にアメリカ人を送り込み、さらには無事に地球に帰還させることを宣言。ここから米ソ月探査レースが本格的に始まる。

アメリカはマーキュリー計画⁸、ジェミニ計画⁹、様々な無人探査ミッションにより実験と調査を重ねていった。やがてアメリカはアポロ計画により、月有人探査に成功。1969年7月に打ち上げられたアポロ11号は打ち上げから4日後、人類初の月面着陸に成功した。このアポロ計画では計12人の宇宙飛行士が月面着陸に成功している。アポロ計画は2016年現在人類が有人宇宙探査により地球以外の天体に到達した唯一の事業である。

一方のソ連は月無人探査計画であるルナ計画を始動。このルナ計画においてソ連は、月に世界で初めて人工物を送り込む、世界で初めて月の裏側の撮影に成功する、世界で初めて月に軟着陸する、など様々な偉業を達成した。しかし、有人月探査計画においては失敗続きでアメリカに先を越され、技術面での問題も原因でソ連は有人月探査を断念。米ソ月探査レースはアメリカの完全勝利に終わった。

⁸ マーキュリー計画 1959年から1963年にかけて行われたアメリカ初の有人宇宙飛行計画。1人乗りのマーキュリー宇宙船を使用。計6人の宇宙飛行士が宇宙へ行った。

⁹ ジェミニ計画 1961年から1966年にかけて行われたアメリカの2度目の有人宇宙飛行計画。2人乗りのジェミニ宇宙船を使用。後のアポロ計画に於いて必要な技術の開発を目的とする。

月探査終了後、米ソは宇宙ステーション¹⁰の開発を進めていく。

ソ連は世界初の宇宙ステーションであるサリュート1号を1971年4月に打ち上げ、以降2~7号を1982年4月までに打ち上げた。サリュート宇宙ステーションには平和目的のサリュートと軍事利用を目的としたアルマースの2種類が存在した。1~7号の内2, 3, 5号がアルマースとして利用された。ソ連の第1世代宇宙ステーションであるサリュート1~5号はドッキング・モジュールが1箇所しか無かったためにミッションを通してわずかな人数しか宇宙ステーションに滞在できなかった。しかし、それ以降の第2世代とも呼ぶべき6, 7号ではドッキング・モジュールを2箇所に増設。これにより帰還用の宇宙船を確保した上で物資の搬入、人員の交代が可能になり、より長期間の連続滞在が可能になった。

その後ソ連はサリュートの後継として宇宙ステーションミールを1986年2月に打ち上げた。このミールはソ連宇宙ステーションの第3世代であった。中心部となるミール・モジュールそのものはサリュート6, 7号と構造的にはあまり変わらなかった。大きな違いは5個のドッキングポートを有する球状のドッキング区画の存在であった。ミールではこのドッキング区画を含む計6箇所のドッキングポートが利用可能であった。これにより有人の往復帰還船、無人補給船のドッキングに加え様々な恒久的モジュールの増設が可能になった。またミールではアメリカのスペースシャトルとの8回に渡るドッキングも行われた。



←ミールとのドッキングのために接近したスペースシャトルから撮影したミール

spaceinfo.jaxa.jp/ja/mir.html

JAXA 宇宙情報センター 旧ソ連/ロシアの宇宙ステーションより

アポロ計画が終了した後 NASA は地球周回軌道を回る宇宙ステーションで本格的な実験を行うスカイラブ計画に取りかかった。スカイラブはアポロ宇宙線を打ち上げるために造られたサターンVロケットの三段目を改造して造られたものだった。スカイラブはスカイラブ1号で打ち上げられた後2, 3, 4号と3度にわたり宇宙飛行士が滞在し、様々な実験が行われた。また、スカイラブでは、宇宙飛行士達の生活環境が大きく改善された。以前の食事に対して宇宙飛行士達は不満を持っていた。そこでスカイラブでの食事は科学的要求よりも食べやすさが優先された。他にも、宇宙飛行士達は1週間に1度程の割合でシャワーを浴びることができた。後にスカイラブは「飛行士にとって極めて満足のいく居住及び作業環境だった」と評価されたという。



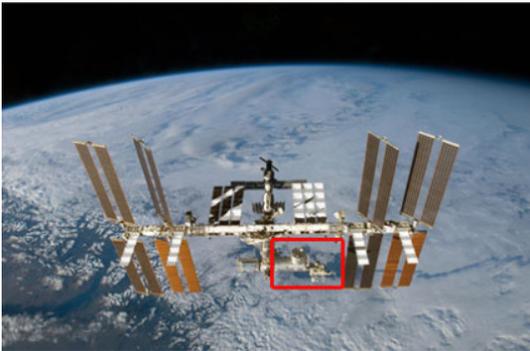
←アポロ司令船・機械船がドッキングしたスカイラブの想像図

<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/skylab.html>

JAXA 宇宙情報センター スカイラブより

10 宇宙ステーション 広義には宇宙船の1つといえる。主として長期にわたる軌道上の生活に特化したものをさす。ISSは現在運用されている宇宙ステーションのことで、15カ国が共同で開発した。

国際宇宙ステーションの発端は、1984年1月のアメリカのレーガン大統領が一般教書演説の中でスペースシャトル計画に次ぐ宇宙開発計画として発表した宇宙基地フリーダム(SSF)にある。アメリカ、ロシア、カナダ、欧州、日本など15カ国が参加する国際協力プロジェクトである。地上から約400キロ上空の軌道を秒速7.7キロメートルで周回しており90分で地球を1周し、1日で約16周する。1999年から軌道上での組み立てが始まり、2011年7月に完成した。当初は2016年までの運用予定だったがアメリカ、カナダ、ロシア、日本は少なくとも2024年まで運用を継続する方針を発表または決定している。現在は常時6人の宇宙飛行士が滞在できるようになっている。2016年10月現在ISSに滞在している大西卓哉宇宙飛行士を含め、これまでに6人の日本人宇宙飛行士がISSに滞在している。ISSは2016年現在唯一運用されている宇宙ステーションである。



←完成した宇宙ステーションの全貌。赤い線で囲われた部分は日本が開発した実験棟であるきぼう

<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/iss.html>

JAXA 宇宙情報センター 国際宇宙ステーションより

(2)他の星での長期滞在

(1)で述べたようにアポロ計画は現在唯一人間が地球以外の天体に到達した事業となっている。ではこの先地球以外の天体の有人探査はどのようなのだろうか。

前述した通り人間は月に40年以上前到達している。アポロ計画終了後、しばらくの間は月については調べ尽くされたと思われていた。しかし1990年代のアメリカの月探査機の様々な新たな発見により、再び月を目指す動きが世界的に広まっていった。また国際宇宙探査ロードマップ¹¹では「小惑星・火星への有人探査への準備としての無人探査を行う」、「2020年代に月の有人探査を行う。無人で月周辺に移動させた小惑星の有人探査・月周辺の長期有人滞在ミッション・月表面の有人探査を行う。」、「2030年以降に火星の有人探査を行う」という目標設定がされている。

では実際にそれらの有人探査はどのように行われるのだろうか。

まずは月について。月に長期滞在するならばアポロ計画のように月着陸船で過ごすのではなくある程度の規模の月面基地を建造する必要があるだろう。しかし、宇宙に物資を運ぶのにかかるコストは半端ではない。1キログラムのものを宇宙に運ぶだけで100万円かかると言われている。したがって、月に持って行く資材は極力減らし、できるだけ現地調達で必要資材を集める必要がある。

コンクリートはセメントと水と骨材¹²からなる。これらの内、水の成分である水素以外は月の資源から手に入る。コンクリートは、最終形態に近いものを1つの行程で作り上げることが可能なため、製造設備が単

11 国際宇宙探査ロードマップ 国際宇宙探査協働グループ(ISCEG)作成。ISCEGは国際協働による有人宇宙探査に向けて宇宙機関の間での技術検討のために結成されたグループで、自発的な協同開発はするけども法的な拘束力はないという特徴がある。

12 骨材 コンクリートやアスファルト混合物を作る際に用いられる砂利や砂のこと。

純なもので済むという利点がある。またコンクリートは放射線の遮蔽性能が高い建築物の1つであるという利点もある。放射線に対し何らかの対策が必要な事はⅡ章(6)で述べた通りだ。

建築資材の材料のほとんどが月で手に入る、放射線の遮蔽能力が高いという理由からコンクリート建築は月面基地建設に於いては非常に有効な手段と言えるだろう。

また、ISSで使用された円筒型の金属モジュールのようなものを使うのも技術的、経済的に効率がいいと考えられる。この場合、モジュールとモジュールの間にドッキング専用のモジュールを設置することにより上下左右へのモジュールの拡張が可能である。こちらは地球で製造し、月で組み立て作業を行うことになるだろう。

しかし、金属製円筒型モジュール構造は硬い構造物であるため、送り込める1つ1つのモジュールの大きさに限界がある。そこでコンパクトに折りたたんだ膜材を月に送り、空気や発泡剤などを注入して空間を形成する方法も考えられている。これはインフレータブル構造と呼ばれるもので輸送時にはコンパクトかつ軽量であるため単位空間辺りの輸送コストを抑えることができるという利点がある。

また、Ⅱ章(6)で述べたように宇宙における温度変化は非常に極端なものである。この極端な温度変化と、放射線への対策に有効なのが月のレゴリス¹³である。このレゴリスで月面基地を覆うことによって前述した2つの問題については対策することが可能である。また、微少な隕石に対する対策も期待できる。また、レゴリスで月面基地全体を覆うのでは無く、地下に埋めてしまおう、という案や、月面に残る溶岩洞窟の空洞を利用してその中に月面基地を設置するという案もある。

次は国際宇宙探査ロードマップにも記載されている、火星有人探査について。

火星は長年水の存在が考えられてきた惑星だ。実際火星の極周辺の氷の中には水の氷も含まれていると考えられている。火星は地球型惑星¹⁴に分類されている、そして地球の隣にある惑星である。また長年生命の存在について議論されてきた惑星でもあり、現在でも太陽系内の天体では数少ない、「生命が存在している可能性」が考えられている惑星である。これらが火星で有人探査を行う主な理由だろう。火星より太陽に近い方の隣の惑星、金星は高い温室効果により平均気温464℃、地表の大気圧は90気圧、加えて二酸化硫黄の雲から硫酸の雨が降ると言う過酷な環境である。火星よりは地球に近いがとても有人探査を行えるような環境では無い。

火星は自転周期24時間39分、自転軸の傾きなど地球に似た性質を持つ。一方で質量は地球の約10分の1、重力は地球の40%、表面積は地球の陸地の総面積と同程度、という地球に比べれば小さな惑星である。

月は地球からの平均公転半径38万4400キロメートル程なので、3日ほどで行くことができる。しかし火星の場合そうはいかない。公転軌道が楕円形であるために最接近時の距離は変化する。火星の近日点付近で接近すれば地球からの距離は約5600万キロメートル、遠日点では約1億キロメートルもの距離がある。よって火星有人探査ミッションには全部で1年強~3年弱もの時間がかかる。これだけ長い間宇宙飛行士達は厳しい宇宙環境下で過ごさなければならない。そのためにはより安定して生活できる空間が必要となる。さ

13 レゴリス 惑星科学においては月・惑星・小惑星などの表面に分布する堆積物のことを言う。流星物質の衝突破片や宇宙風化作用に寄って砕けた岩盤などの細粒物などからなる。

14 地球型惑星 主に岩石や金属などから構成される惑星のこと。岩石惑星とも言う。

らに、食料の一部は自分たちで育てることになるだろう。また、人数もアポロ計画よりも多くなるだろう。これは大人数の方が様々な実験や探査を行うことができ、作業効率も上がるからである。よってアポロ宇宙船よりもさらに巨大な宇宙船が必要となるだろう。

そして当然ながら莫大な予算がかかる。1989年にNASAは「火星有人探査に必要な経費は4500億ドル」という試算を算出した。こうした財政上の問題や、技術的な問題により「火星探査は片道切符」という意見さえある。つまり、火星に行ったら二度と地球には戻って来られない、ということである。当然人道上的の問題からこのような前提での有人火星探査は実現はできないだろう。

このように火星有人探査は現時点において問題だらけである。当分は月有人探査ミッションにおいて先に挙げたような問題点を1つずつ解決していくべきだろう。

IV章 人類は地球の外で暮らしていくことはできるのか

III章(2)において火星有人探査がいかに難しいかは述べた。人類が地球の外で暮らす、即ち地球の外に移住することが困難であることは容易に想像がつく。いや、むしろいかに困難か想像がつかないほどである。しかしIII章(2)で述べたように火星から帰還することはできないだろう、という意見もある。ではいつそのこと初めから移住計画として火星の有人探査を進めたらどうだろう。こうすれば帰還用の構造物を火星に送り込む必要はなくなる。その代わりに都市を建設するための資源を送り込むことができる。しかし依然莫大な予算がかかることに変わりはない、様々な問題があることにも変わりはない。

ならば月への移住はどうだろう。月ならば3日ほどで行ける上に、月に行くこと自体は40年以上前に成功している。

月への移住は月有人探査と月面基地の拡張によりある程度の人数に限ればそう遠くない未来に実現可能だろう。この場合は宇宙飛行士、研究者、学者が移住者の大半、月への旅行費を払えるような大富豪の観光客がほんの少し、と言う人数構成になるだろう。

さらに月へ行くコストが安くなれば「月面観光」というものも実現されるかもしれない。アポロ計画などで使用された探査機の遺物は有名な観光スポットになるだろう。実際に個人の宇宙観光客としてISSに滞在した人もいる。さらに日本人で1番最初に宇宙に行った人は、TBSの秋山豊寛氏である。彼はTBS40周年記念としてTBSが日本人のミール訪問に関する協定をソ連の宇宙総局と調印した際にTBS内の応募により宇宙飛行士候補に選ばれた後、モスクワ郊外の星の町の宇宙飛行士訓練センターで訓練を受けた後、国家審査委員会から宇宙飛行士として認定され宇宙へ行った。ちなみにこの時の費用は当時のレートで20億円以上かかった。

現在軌道エレベーター¹⁵の研究が進んでいる。2050年には実現可能との考えもある。これが実現すれば今よりも宇宙への物資の輸送コストが遙かに安価になることが予想される。一般人の本格的な移住の月への移住開始は軌道エレベーターの完成を待つことになるかもしれない。しかし一旦完成してしまえば月へ向かうのは遙かに楽になりと思われる。

15 軌道エレベーター 惑星などの表面から静止軌道以上まで伸びる軌道を持つエレベーターのこと。

さらにこの軌道エレベーターに居住モジュールや観光施設を儲けることも可能だろう。それが実現すれば移住、と言うほど大げさなものではないが宇宙に住む人も現れるだろう。

また宇宙への移住の1つの手段としてスペースコロニーの建造も考えられる。月軌道上には地球と月の重力が釣り合った場所が存在し、ここに数万人から数十万人が住む都市を建設しよう、という構想である。このスペースコロニー内では地球の自然環境が再現され、スペースコロニーの回転により人工重力も創出される。スペースコロニーはとても巨大な構造物なので当然莫大な予算がかかり、現在では単に宇宙空間への植民化手段の1つ、程度に考えられており、実現の可能性は低いと言える。

以上の考察から考えられることは「より多くの人間が宇宙へ進出することは遠くない未来の内に可能であり、宇宙に民間人が進出していくようになるのも時間の問題である。しかし人類の恒久的な集団移住、となると様々な問題点があり、現状に於いて達成することは不可能であり、今後の宇宙開発の成果に期待するしかない。」ということである。

V 終わりに・感想

今回の論文作成を通して、感じたことが3つある

1つ目は参考文献、参考資料を探すことの大変さである。例えば「参考資料としてあの画像が欲しい」となった場合、「内容が保証されているサイト」から探していると意外と自分が探している画像が見つからない、ということがあった。また自分は趣味で以前からいろいろ調べていたりしたのである程度の知識はあったが、今回予備知識0の状態からこの論文を書いたら・・・と考えると恐ろしい。また事前知識があったことによりそうで無い場合に比べて論文内容を考えるのにかかった時間が短く済んだのではないか、と思う。

2つ目は自分が参考にした文献を書いた人達は一体どれだけの時間をかけて、一体どれだけの情報を元にしてその文献を書いたのだろうか、ということである。自分はこの論文を作成するのにかなり努力したし、時間も使ったつもりだ。本を書くとなれば当然もっと文字数は増えるし、文字数の増加に伴い内容量も増えるため参考文献も増えるだろう。高校生が書いた論文とは比べものにならない努力が注がれているのだろうと思った。

3つ目は自分が思っていた以上に楽しい、ということである。理由は自分が好きなことについて調べ、考察することができたからだろう。しかし、自分から進んでこのような作業をしようとは思わないので、このような機会を与えてくれた学校に感謝したい。

【参考文献】

佐伯和人『世界はなぜ月を目指すのか』（講談社ブルーバックス 2014年）

五代富文『月に行こうか、火星に行くか』（丸善株式会社 2006年）

阿部豊『生命の星の条件を探る』（文藝春秋 2015年）

松本信二『宇宙に暮らす』（裳華房 2002年）

<http://www.jaam.jp/html/dictionary/dictionary/word/0115.htm>

日本救急医学会 低酸素脳症 8月30日閲覧

<http://fanfun.jaxa.jp/faq/detail/81.html>

JAXA 宇宙ステーション・きぼう 広報・情報センター 二酸化炭素除去

https://edu.jaxa.jp/himawari/pdf/7_plan.pdf

月面の植物栽培計画 JAXA 宇宙教育センター

space.rish.kyoto-u.ac.jp/people/yamakawa/Yamakawa_Lab.pdf

スペースデブリの現状と対策～観測・気道・低減～

<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/salyut.html>

JAXA 宇宙情報センター サリュート 8月31日閲覧

<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/mir.html>

JAXA 宇宙情報センター ミール

http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/skylab_program.html

JAXA 宇宙情報センター スカイラブ

<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/iss.html>

JAXA 宇宙情報センター 国際宇宙ステーション

<http://www.jsea.jp/about-se/How-to-know-SE.html>

一般社団法人宇宙エレベーター協会

http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/space_colony.html

JAXA 宇宙情報センター スペースコロニー