

宇宙旅行の夢に向かって

北海道情報大学教授 若松 義男

1. 夢物語としての宇宙旅行

人間は、星とか月といった身近に感じる宇宙に対して、大昔から親しみを感じてきたようである。その表れが、星座の命名や竹取物語であったのだろうと思う。

おとぎ話の時代から近代の空想科学小説の時代になって、フランスの作家ジュール・ベルヌによる「月世界旅行」という小説が登場した。ベルヌは専門家に依頼して、予め科学的な軌道計算を行っていたところがおとぎ話からの進化である。

この小説の主な内容は、米国フロリダ州から人間が乗った大型の砲弾を巨大な大砲で打出し、月を目指したが、途中のトラブルにより、月に着陸せずに、また地球に戻ってくるという物語である。



「月世界旅行」の挿絵

この小説が後年、改めて話題になったのは、アポロ計画におけるアポロ8号の飛行の際である。ロケットはフロリダから発射され、乗組員が3名であったこと、月の周りをまわって地球に戻り、着水したのが太平洋であったが、これがなんと、「月世界旅行」とそっくりの飛行状況だったのである。

2. 宇宙旅行の実現に向けた人類の歩み

現実に人間が宇宙旅行に出かけようとする時、色々と準備がいる。それというのも、宇宙というのは出かけるにも滞在するにも、非常に過酷な空間であるという背景があるためである。

初めての人類の宇宙体験は、今から56年前（1961年4月）に、当時のソ連が有人宇宙船ボストーク1号で、宇宙飛行士ユーリイ・ガガーリンを宇宙に送り出して有人宇宙飛行（地球を1周）に成功した時である。彼が言ったとされる「地球は青かった」という言葉が有名になった。米国は翌1962年2月に、ジョン・グレンがマーキュリー宇宙船で地球を3周して、ソ連に追いついた。これらが、人類にとって宇宙旅行の第一歩である。

(1) 宇宙に移動するまでの大仕事

56年前のロケットは、性能が現在よりも低かったために、サイズの大きなロケットを大推力のエンジンで思い切り加速する必要があっ

た。そのために、ロケットの加速度は9G（1Gというのは通常我々が地上で感じる重力加速度で、 9.8 m/s^2 のこと）にも達した。9Gの世界では、体重が60kgの人は、自分の体重が540kgになったように感じられる状態で、この状態では血液が体内を巡る際に、重力に逆らって心臓から血液を送り出す力が弱く、頭部に十分な血液が供給されずに、普通の人は失神してしまう。

当時の宇宙飛行士の訓練項目には、このような大きな加速度においても失神しないためのトレーニングが入っていた。現在では、ロケットの性能が良くなり、アメリカのスペースシャトル以降は3Gという加速度が有人ロケットの制限となっている。それでも体重が60kgの人は、自分の体重が180kgになったように感じられるのだからそれなりに大変である。

(2) 厳しい宇宙での生存

ロケットによって宇宙空間に到達して軌道上を周回飛行するようになると、地球の引力と周回飛行による遠心力とが釣り合う世界に入り、いわゆる無重量と言われる体験をすることになる。この状態では、三半規管などの平衡知覚器官内のリンパ液も無重量状態になり、人は上下左右の感覚を把握しにくくなる。この情報と視覚から入る情報とが一致しなくなるので、いわゆる乗り物酔いの状態（宇宙酔いと言う）となり辛い症状を経験することになる。訓練を受けた宇宙飛行士でも、この宇宙酔いで重い症状を呈する人がいる。

宇宙船の中にいる限りは、重力を除けばおよそ地上と同じ環境の中で人は行動することになる。しかし、いったん宇宙船の外に出て船外活動をしようとする、厄介な状況が待っている。周囲は真空の環境となるので、酸素がなくて人は呼吸ができない。また周囲が真空環境の下では血液は沸騰状態になって、体内の血液中に溶け込んでいた気体成分が血液の中に気体として

現れるために（サイダーの栓を抜いた状態と同じ）、血栓が生じてしまう。船外活動のもう一つの課題は、体の太陽に面する側からは太陽の輻射熱が入射するが、反対側からは輻射で熱が体外にどんどん奪われてしまうということである。

(3) 宇宙での生存に必要な宇宙服

このような不都合を解決するのに宇宙服が開発された。宇宙服は気密構造となっており、空気（あるいは酸素）の容器を持っていて、この空気（あるいは酸素）を宇宙服内部に満たして呼吸を可能にする。更に宇宙服の内部にはこの空気で圧力がかかるようにして、血液の沸騰を防いでいる。また水のチューブを縫い付けた下着を着用し、ポンプで水を循環させることにより、体の表側と裏側の熱も循環させて、体の表面温度が一定になるように工夫されている。ただ宇宙酔いについては、決定打となる解決法は未だない。

このような宇宙で生命を維持するような機能は、最初の有人宇宙飛行でいきなり使用されたわけではなく、その前に動物を用いて、宇宙での生命維持機能の確認がされていた。そのために、ソ連では犬が、アメリカではチンパンジーが使われた。当時のアメリカとソ連は、政治経済の体制が異なるので、とても仲が悪かったのだが、有人機能の確認の目的で、それぞれ犬と猿を利用したのは、偶然であろうが大変興味深いことである。

(4) アポロ計画

アメリカのアポロ計画は、大統領に就任したケネディ大統領が、1961年に提唱したもので、1960年代に人類を月に送り、月で岩石の採集を行った後、地球に帰還させるというものであった。背景には、当時アメリカとソ連との間にあったミサイルギャップ（ソ連のロケットの方がアメリカのロケットよりも断然強力であった）の克服という狙いもあった。

1969年7月には、アポロ11号によって、月に3人の宇宙飛行士を送り、内2名の飛行士が月着陸船によって月面に降下し、岩石のサンプルを地球に持ち帰り、計画は大成功を収めた。これが人類にとって、初めての本格的な月への宇宙旅行であった。

アポロ計画は、周到に計画された人類初の宇宙旅行計画であったが、その実態はかなり多くの困難に直面し、これらを乗り越えた末の冒険的色彩を持つものであった。大型ロケットの第一段用の強力なロケットエンジンは、計画のタイムリミットぎりぎりまで開発の見通しが立たなかった。また、アポロ1号では、発射に向けての地上での訓練中に、電気火災が発生して、純酸素で満たされて密閉された宇宙船内は燃えてしまい、3名の宇宙飛行士が殉職した。他にも、アポロ13号においては、月に向かう軌道の途上で、酸素タンクが爆発し、宇宙船は急きょ月を回ってから地球に戻すことになったが、その操作のかなりの部分を手動で行い、九死に一生を得るような状態で、飛行士を帰還させることに成功した。

アポロ計画で飛行した宇宙飛行士は、大半が軍用機のテストパイロットの経歴を持つ軍人であり、危険を乗り越えて任務を遂行したという印象が強い。つまり、この段階では、まだまだ一般人が安全な宇宙旅行ができる環境ではなかった。また、国の威信をかけた国家プロジェクトとして遂行されたもので、費用は莫大な額に昇り、商業的な宇宙旅行からははるかに遠いものであった。

(5) 国際宇宙ステーション

アポロ計画の後のプロジェクトとしてアメリカが進めたのが、地球の周りの周回軌道との往復に繰り返して使える宇宙用の輸送機であるスペースシャトルの開発と、人が常時長期にわたって軌道上に滞在して、種々の科学実験を行うことが目的の宇宙ステーション計画であった。



国際宇宙ステーション

スペースシャトルは、多量の荷物と人員とを地球周回軌道上に輸送し、しかも地上に帰還後に整備を行うことによって、繰り返して利用することで、宇宙への輸送コストを大幅に引き下げることが狙いとしていた。これが成功すれば、宇宙旅行への切符は大幅に安くなることが期待されたが、結果的には安くはならなかった。

アメリカは、宇宙ステーション用の資材の輸送用に、およそ25トンの物資を輸送できるスペースシャトルを利用して、宇宙ステーションの建設に取り掛かった。しかし、建設資金が思ったよりもかかることから、アメリカ一国では資金を負担するのが困難なことがわかり、国際的な事業として、宇宙先進国に出資と技術提供を募る国際宇宙ステーションの建設に方向を転じた。この時に計画に参加したのが、ソ連から国名を変えたロシア、カナダ、日本と、ヨーロッパの国々が共同で宇宙開発を進めていたESA (European Space Agency) であった。

国際宇宙ステーション (ISS: International Space Station) では、常設の宇宙実験室として、一定の訓練を受けた宇宙飛行士・・・もはや軍人ではなく一般から募集した科学者や技術者が乗り込んで、長期滞在し、科学や医学の実験や研究が行われている。高真空あるいは微小な重力といった環境の下で、特に期待が持たれたのが新薬や半導体の創成であった。しかし、今のところ、目立った発明のニュースはないようで

ある。ISSの価値として重要なのが、無重量空間の環境に長期滞在する経験である。人は地上では、常に重力を受けて負荷がかかり、筋肉と骨で体を支えている。人が無重量の宇宙環境に滞在すると、筋肉や骨に負荷がかからなくなるために、骨や筋肉が衰えるという現象が現れる。ISSに長期滞在して地上に戻った宇宙飛行士が歩けなくて、両脇から抱きかかえられて宇宙船から降りる様子をTV画面で見た経験をお持ちと思う。今後、人類が本格的に宇宙旅行に挑戦するようになると、輸送機に乗って移動している間、長期にわたって負荷がかからない状態が継続して、骨と筋肉が退化する症状が現れる。火星に到着したが、宇宙飛行士が歩けないというのでは困るので、長期の無重量生活に対処する医学的な問題解決法を見出すのは重要な研究課題である。

(6) 火星探検計画

アメリカの宇宙開発は、現在、民間主導に変貌しているが、政府が進める宇宙開発として最も挑戦的なものは火星探検計画である。これは未だ確定したものではなく費用の見通しも立っていない。高額な費用を捻出するために、ISSと同様に、国際共同プロジェクトにするのではないかという見方もある。

火星探検の実現が困難なのは旅行期間が長いことにある。火星に行くための片道の移動時間は、地球と火星との相互の位置関係によって変わるが、おおよそ半年から一年といったところであろう。

宇宙には、宇宙線による自然放射能の被曝という課題がある。宇宙空間における放射線被曝は、控えめに見ても1日当たり1 mSV（ミリシーベルト）といわれている。これだと、6か月では180 mSVの被曝量になる。また太陽面でのフレア爆発により、飛来するX線やガンマ線が強力になり、被曝が大幅に増えて危険なことが知られている。

旅行期間が長くなると、飛行士の孤独感との闘い、あるいはクルー同士の和の維持、筋肉・骨の維持などの問題が発生する。現在のISSにおける人体の宇宙への適応力の研究では、このような課題に関する医学データが集められている。また、長期にわたる宇宙旅行では、水、空気、食糧の確保といった課題がある。

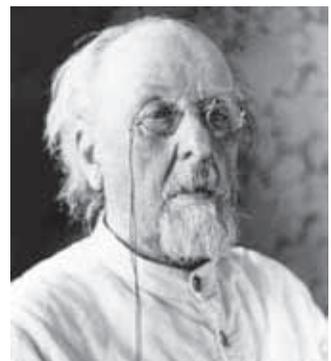
3. 宇宙旅行の夢を切り拓いたパイオニア達

夢物語や小説の世界ではなく、現実に宇宙旅行と向き合う科学者が現れたのは、近代になってからである。とくに有名なのは、ツィオルコフスキー、ゴダード、フォン・ブラウンといった人たちである。その代表的な人たちについて、プロフィールを見てみよう。

(1) ツィオルコフスキー

ツィオルコフスキーは、1857年（安政4年）にロシアに生まれた。彼は、10歳の時に猩紅熱のために聴力を失ったが、それにも負けずにモスクワの大学で勉強して、教師の資格を得た。彼は、故郷の中学で物理の先生になり、科学論文を執筆しては学術雑誌に投稿するという生活を送った。科学の実験が好きで、一月分の生活費を実験装置の製作につき込んでしまったという逸話が残っており、奥さんからはさぞや文句が出たことと思われる。

ツィオルコフスキーの功績として知られているのは、1898年（明治31年）にロケットが出せる最大速度を世界で初めて、理論的な式として導いたことである。今日でも簡易な計算に



ツィオルコフスキー

用いられている。

(2) ゴダード

ゴダードは、1882年（明治15年）に、米国のマサチューセッツ州で生まれた。彼はクラーク大学の教授として物理の教鞭を取っていた。

ゴダードの功績は、1926年（昭和元年）に世界で初めて、ガソリンと液体酸素による液体ロケットを製作して飛翔実験に成功（高度55m）したことである。その後もたった一人で改良実験を重ねて、1935年（昭和10年）にはロケットの高度記録を2200mまで更新するのに成功した。実は当時、ヨーロッパでは宇宙旅行熱が高まっており、この成功は大変な反響を呼んだ。

(3) フォン・ブラウン

フォン・ブラウンは、1912年（明治45年）にドイツの男爵の家系に生まれた。フォン・ブラウンは中学生の頃から天文学に興味を示し、火星旅行に熱中した。その後、ベルリンにある工科大学に進学してエンジニアの道を目指した。

当時のドイツはインフレがひどく、多くの失業者であふれていた。ところが、一部の失業者達は、なんと暇つぶしに液体ロケットを作っては飛ばすということをはじめたのである。必要なお金は、ロケットを飛ばすことにより、見物客から寄付を集めたり、アルバイトをしたりして賄った。

18歳の学生であったフォン・ブラウンは、この失業者の人達に交じって一緒にロケットの製作や打上げに参加した。この頃、ドイツは軍備を極端に制限されており、ドイツ陸軍は、その網の目をかいくぐって新しい兵器を生み出すことを考え始めていた。ドイツ陸軍が目をつけたのはロケットを兵器として利用することであり、この有能な若者に目を付け、ドイツ陸軍の研究所に招いた。この時、フォン・ブラウンは弱冠20歳の若者であった。

この後、ドイツ陸軍は人類史上初めてのロケ



フォン・ブラウン

ット兵器の開発に成功し、V-2号と名付けられ、フォン・ブラウンは、開発の中心人物であった。V-2号は量産されて、ロンドンに向けて毎月600～900発が発射された。

ドイツは結局、第二次世界大戦に敗れ、フォン・ブラウンはアメリカに亡命した。アメリカは、戦後にV-2号の技術を発展させて、大陸間弾道弾（ICBM）の開発を進めた。傍ら、世界初の人工衛星の打ち上げを計画したが、当時のソビエト連邦の人工衛星スプートニク1号に先を越されてしまった。そこで、フォン・ブラウンは既存のロケットを組合せて、たった3か月後に人工衛星エクスプローラ1号の打上げをやったのけた。

米ソのロケット開発競争は、当初ソ連が優勢だったが、これに危機感を持ったアメリカ大統領ケネディが1960年1月に、1960年代に月に人類を送るアポロ計画を提唱した。アポロ計画で中心人物となり、特に大型ロケット開発を指導したのがフォン・ブラウンであった。

月に人類を送るアポロ計画は、公約ぎりぎりの1969年8月にアポロ11号として無事に成功し、人類は初の月旅行を経験した。宇宙旅行の分野におけるフォン・ブラウンの功績は偉大であった。

4. “誰でも行ける宇宙旅行”を目指して

(1) 人類の好奇心と冒険心と欲望

15世紀から、ポルトガルとスペインを皮切りに、大航海時代が始まった。その目的は、新大陸発見という好奇心や冒険心にあったが、一方で植民地の獲得や胡椒のビジネスなど、経済的な欲望もその動機であった。宇宙への関心も未知の世界の探検や生存圏の拡大などの冒険心や好奇心、新しいビジネスへの期待がその原動力となっている。



スペースシップ・ツー

(2) 手軽な宇宙旅行

今や宇宙も観光の対象になりつつある。宇宙航空会社のヴァージン・ギャラクテック社は、スペースシップ・ツーという乗客6名の宇宙用ロケット航空機を用いて、高度110kmまでの弾道飛行を行い、5分程度の無重量体験をする観光旅行の客を募集している。料金は20万米ドルとされる。試験飛行用のスペースシップ・ワンの飛行に成功し、実用機のスペースシップ・ツーの開発に着手したが、トラブルのために残念ながらまだ営業飛行は実現していない。

(3) 宇宙旅行の実現は価格が勝負

スペースシップを使った宇宙観光は、実は非滞在型で、宇宙の縁を5分くらい観光して、直ぐ戻るといったものだ。やはり本当の宇宙旅行は滞在型ということになるが、宇宙に長期滞在するには、本格的ロケットで宇宙ステーションのホテルに向かうということになる。

現在、ロケットによる宇宙への輸送コストは、日本のH-IIAロケットを例にとると、約10トンを軌道に運ぶのに約百億円（百万円/kg）

かかる。好奇心を当てにした観光にしてもあまりに高価すぎて宇宙旅行は経済として成立しない。

(4) 宇宙輸送に市場メカニズムを

市場ではモノの価格と売上高の間には、一定の関係がある。ただし、高級品の市場と普及品の市場では、その作用が異なる。高級品の市場は販売数が小さく、単価が高いほど売上げが増える。価格を多少下げても売上げが減るだけである。一方、普及品の市場では販売数が大きく、単価が下がると市場の人气が高まり、需要が伸びて、それによって売り上げも伸びる。言い換えれば販売数量で稼ぐ市場である。宇宙旅行を高級品市場から普及品市場のメカニズムに転換するには、画期的な技術の革新が必要である。

今のロケットは使い捨てだが、アメリカのスペースXという会社のファルコン9というロケットは、ロケットを繰返して使うという課題に少しずつ成功しつつある。一方、日本でも、イプシロンというロケットの開発において、IT技術を活用した新しい打上げ管理方式の採用によって、打上コストを従来の80億円から30億円にすることに成功した。今後もこのような技術革新を続ければ、宇宙輸送コストが下がり、宇宙滞在型の観光でも一般人に手の届く時代が来るものと思われる。

5. 終わりに

宇宙ステーションまでのロケット運賃が、海外旅行並みになったら、誰でも手軽に無重量や青い地球を体験し、感動する時代がやってくる。何よりも、たくさんの人が宇宙から地球を客観視する経験を積むと、多くの人に地球人類としての自覚が生まれ、かけがえのない地球の環境を大事にしたい、あるいはこの地球上で人類が平和に共存するようになりたいと考えるようになるのではないかと期待する。