



JOURNAL OF THE INSTITUTE FOR ADVANCED SPACE ACTIVITIES

宇 宙 先 端

宇宙先端活動研究会誌

SEP. 1989

VOL. 5—NO. **5**

IN THIS ISSUE,

| | | |
|-------------------------------------|-------------------|-----|
| THE MOON RISES AGAIN..... | K. TORII..... | 89 |
| DEVELOPMENT OF THE MOON & PLANET... | T. IWATAORI..... | 92 |
| HUMAN ENGINEERING SERIES (8)..... | T. YAMAGUCHI..... | 110 |

宇宙先端

宇宙先端活動研究会誌

編集局

〒105 東京都港区浜松町 2-4-1

世界貿易センタービル内郵便局私書箱 165号

編集人

岩田 勉 TEL 0298-52-2250

編集局長

長谷川 秀夫 TEL 03-769-8230

編集顧問

| | |
|-------|------------------------|
| 久保園 晃 | 宇宙開発事業団理事 |
| 土屋 清 | 千葉大学映像隔測センター長 |
| 中山 勝矢 | 工業技術院中国工業技術試験所長 |
| 長友 信人 | 宇宙科学研究所教授 |
| 山中 龍夫 | 航空宇宙技術研究所宇宙研究グループ総合研究官 |

監査役

伊藤 雄一 日本電気株式会社宇宙開発事業部技師長

宇宙先端活動研究会

代表世話人

園山 重道

世話人

| | | | | |
|-------|-------|--------|-------|--------|
| 石澤 禎弘 | 伊藤 雄一 | 湯沢 克宜 | 岩田 勉 | 上原 利数 |
| 宇田 宏 | 大仲 末雄 | 川島 鋭司 | 菊池 博 | 五代 富文 |
| 笹原 真文 | 佐藤 雅彦 | 茂原 正道 | 柴藤 羊二 | 鈴木 和弘 |
| 竹中 幸彦 | 鳥居 啓之 | 中井 豊 | 長嶋 隆一 | 長谷川 秀夫 |
| 樋口 清司 | 福田 徹 | 馬島 亜矢子 | 松原 彰二 | 森 雅裕 |
| 森本 盛 | | | | |

目 次

1. また出た月が 89
2. 月・惑星の開発 92
3. 人間工学シリーズ (8)
 有人宇宙システムの人間・
 機械系設計に考慮すべき人的特性 110

「竹取物語」の主人公は、竹の中で地球に現われ、竹取翁に育てられ、わずか3ヶ月で普通の人間並の背丈に成長し、三室戸齊部により“なよ竹のかぐや姫”と名付けられた月の都の住人である。かぐや姫の容貌は他に類を見ない程清く美しく、世の男達の注目を集め、夜這いという社会現象を創出した程でありました。なかでも5人の色好みが熱心に結婚を追った。即ち。

- ① 石つくりの御子
- ② くらもちの皇子
- ③ 右大臣あべのみむらじ
- ④ 大納言大伴のみゆき
- ⑤ 中納言いそのかみのまろたり

であります。かぐや姫は結婚相手は慎重に選ぶことを第一とし、身分の貴賤より人物本位でいくこととし、更に、機会均等の見地から公開コンペを行うことにした。その方法は、かぐや姫が希望するゆかしき物を見せてくれた人と結婚するというものでありました。5人の色好みも、この方式の採用に同意した。それぞれにゆかしき物として提示されたものは次のようでありました。

- ① 石つくりの皇子には“仏の御石の鉢”を取ってくることに。
- ② くらもちの皇子には“東の海にあるという蓬来の山に生えている根が銀で、莖が金で、白い玉の実がなっている木の一枝”を採ってくることに。
- ③ あべのみむらじには、“唐の国にある火鼠の皮”を持ってくることに。
- ④ 大伴の大納言には“龍の首にある五色に光る玉”を取ってくることに。
- ⑤ いそのかみの中納言には“つばめが持っている子安貝”を持ってくることに。

5人の立候補者達は、それぞれ知識、技術、財力、時間をかけて努力したものの結局はいずれもあえなく失敗してしまった。 ついには時の帝途がかぐや姫を奉じるように命ずるまでに至った。 このことから、かぐや姫が当時の女性達の中でぬきんでて魅力的であったことが推測できる。

現今、米国のアポロ計画終了以降下火になっていた“月”についての関心が“月探査の再開”、“月面基地の建設計画”の発表等ということで再び高まりつつある。 月の位置、存在を資源として活用しようとする意向が強く表われている。 例えば、

- ① 月の土から酸素をとり出し、人の呼吸に用いる。
- ② 太陽から飛んできて、月の土にへばりついているヘリウム-3を分離し、融合炉の燃料としてクリーンなエネルギー源として用いる。
- ③ 大気のない環境を利用して、地球からはよく見えない、遠い天体をしっかり観察する。
- ④ 月に地球観測台を作り、地球を眺る。
- ⑤ 火星を探査する際の踏み石とする。

等がその候補として挙げられている。

これらを科学技術の力と地球の財力を集中して実現できたとすれば、夜空に美しい月を、単に遠くから眺めるだけでなく、さわったり、なでたりできることになり、地球人にとって今以上の価値をもったものにすることができるといえる。 月への接近には制限、条件はなく、等しく門は開かれているとあってよい。

この実現を20世紀最後のフロンティアとしてとりあげることが、それなりに有意義でありましょう。 月の魅力は今も昔も変わっていません。

しかし、竹取物語のかぐや姫の例によれば、かぐや姫は、月の世界で罪を犯し、地球にいわば星流しというか島ながしになり、竹取翁

の許で年期を勤めていたものであります。
その間、美しさにひかれて結婚を迫る色好み達に、難題をもちかけ、いずれも不成功に終わらせています。そして最後には、刑期が満了したとのことで、地球人の願いを無視し、自分達月世界の論理だけで行動し、地球を去るにあたっては、地球でのよごれ、けがれを消すための毒消まで飲んでいったのです。これは冷静に考えればかぐや姫の行為は一種の赤詐欺、即ち、結婚詐欺であります。地球人にとって、月を我々物にしようとする試みは、竹取物語が成立した1000年も以前から難題であったことは想像に難しく、21世紀を目前にした科学技術の成熟期とも思える現代においてもそのことは何ら変わりはないように思われます。なにしろ相手は地球人とは異なる論理に従う月世界人だからであります。もし現代に生き、月に手を延ばそうとする色好み達がいるならば、月を相手にすることは、美しい結婚詐欺常習犯に恋をしてしまった運命を自覚しつつ、細心の注意と周到な準備をするのは勿論のこと、それだけしても尚努力が報いられない事態も覚悟してかからねばならないと思うのであります。今夜も又赤い月が出るのだろうか。

月・惑星の開発

岩田 勉

1. はじめに

筆者等のグループは、月・惑星の開発というテーマについて実現性を検討しているが、最近、根本的な所に問題があるらしいことに気付いた。

最初の問題は、イメージの問題である。アメリカやソ連においては、火星の探検、太陽系の開拓などという言い方が、国民の意識を高揚させ、ロケットやシャトルの建造を推進させる働きをしている。しかし、わが国においては大分、状況が違う。月や惑星の開発などという言葉は大言壮語の代表と見なされ、否定的イメージを抱く人も多い。うっかり口にする、冷笑や反発の対象とされる恐れがある。

また、月・惑星への挑戦は、米国、ソ連という超大国が国家威信を保つための政治的道具であるという見方がある。このような競争に加わることは、わが国のなすべきことでないという感覚を持つ人も多い。

これらは、情緒的問題であるが、ある意味では、最も根本的な問題である。

第二の問題は知識の問題である。月・惑星の開発に関して事実を語るとき宇宙技術という特殊な世界の言語を使わざるを得ない。このため、我々の周辺の人々は、すべて無関心であるか、無理解であるかのいずれかになってしまう。月・惑星の開発を論ずるのに、もっとも基本的な知識：例えば、日本のH-IIロケットを使えば、月面に1トンの物質を軟着陸させることができること、などはなかなか理解されていない。

以上の二つの問題が組み合さると、さらに困ったことが起こる。すなわち、人々は空想と事実の区別がつかないため、断片的なイメージによって否定的な判断をしてしまい、そこでそれ以上、関心を持つことをやめてしまう。

「月は冷たそうだから、役に立たないだろう。」とか、「月だ、火星だという話は、日本の技術では到底無理だろう。」とかのイメージだけで結論を出してしまう。科学者、技術者と呼ばれる人々も、このような誤りをおかすことがある。これは、月・惑星の開発を遠い未来の夢物語だと判断してしまう所から生ずる油断である。

月・惑星の開発という言葉は何を意味しているのか。これは後に論ずるとして、この言葉のイメージで描かれる図を考えてみよう。月が植民地になって、地球から続々と移民が行われるというイメージがある。これは空想でしかない。もう少し近未来のイメージとして、月の鉱物を加工して施設設備を作る話がある。これは空想に近いが部分的には実行可能である。また、月に数人の宇宙飛行士が何週間か居住する基地を作る話がある。これはほとんど実行可能である。ただし乗用の軌道間輸送機が必要である。月にロボット探査機を送る話もある。これは新しい型の人工衛星の打上げに比べて特に難しいことはない。

火星に有人基地を作る。これは夢の話である。フォボスに宇宙飛行士を往復させる。これは不可能ではない。火星の鉱物を地球へ持ち帰る。これは確実であるが、かなり技術開発が必要である。

以上のような事実が、わが国では、宇宙関係者の間でもあまり理解されていない。米国やソ連でも、つい最近までは解明されていなかった。ロケットエンジンの性能、宇宙飛行士の適応性、ロボット技術、材料技術等の技術水準の組み合わせがこれを決定する。しかし、このことを本当に理解してもらうことはむずかしい。これから述べる事は、事実のみではなく我々の予測も多く含まれる。しかし空想は述べない。

2. 月と惑星はどこにあるか

月は地球の直径の30倍の距離にある。月は地球近傍の唯一の天体であり、肉眼で形が見える唯一の天体でもある。しかし、開発という観点から見ると、重要なことは別の点にある。図1に示すように、地表から大気を抜けて軌道に投入するまでのロケットの増速量9.2km/秒をさらに65%増せば月面に軟着陸できることが重要である。すなわち低地球軌道に8トンの貨物を打ち上げれば、そのうち1トンを月面に着陸させ得る。もう一つ重要な事実は地球一月間のロケットによる飛行時間が3日以内で済むことである。これは、火星までの片道飛行時間270日に比べてはるかに短い。低地球軌道から静止軌道までの増速量は、月面着陸までの増速量に比べて少し小さいだけであるし、飛行時間も半日である。したがって月は静止軌道のすぐ先にあると言える。

一方、火星はやはり遠い。大接近の時でも、地球から五千万km以上である。最大の問題は飛行時間が270日もかかることである。人間には厳しい。しかしロケットへの

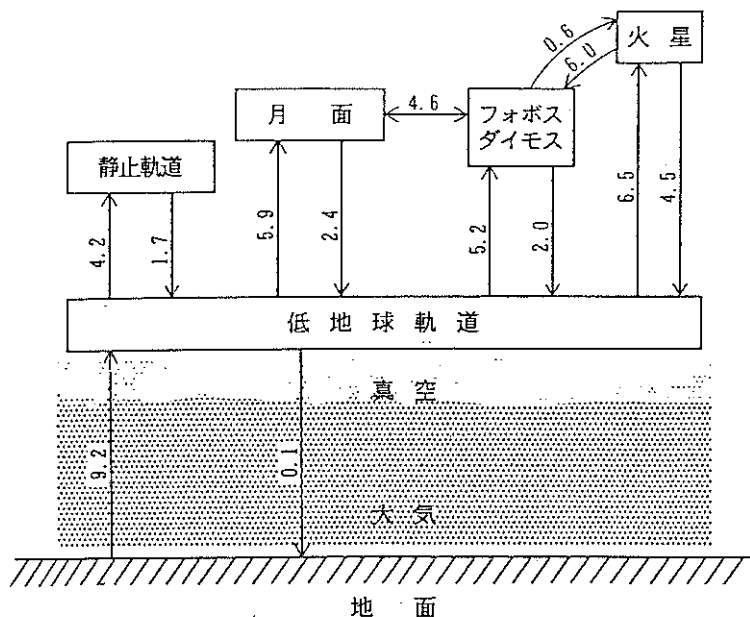


図1. 月と惑星はどこにあるか (ΔV km/s)

負担は案外軽い。火星着陸に必要な増速量は、月着陸よりも少ない。これは火星大気で減速できるからである。一方、火星からの離脱には月からよりも大きなエネルギーを要する。火星が遠いため困ることが他にもある。電波が到達するのに8分~20分かかることである。遠隔操作は不可能なので、人間が現地に行くか、完全自動化されたロボットがないと自在な活動はできない。

火星にはフォボスとダイモスという二個の衛星がある。この二個は質量が小さいため、重力は地球の千分の一程度である。これは離着陸にエネルギーを要しないことを意味する。フォボスの地質は、ソ連の探査船によって、間もなく明らかになるが、水分、炭素及び窒素に富むと予想されている。これらのことから、フォボス、ダイモスは資源の供給源として有望である。また火星表面を開発する場合の拠点として価値が高い。

小惑星のうちいくつかは地球の近傍に近日点を持ち、エネルギー的にも接近し易い。しかしこれらにランデブーするための増速量はフォボス、ダイモスよりもずっと大きい。また会合条件も厳しい。したがって小惑星の開発はフォボス、ダイモスの後になると考えることが自然である。

さらに他の惑星、天体については、現在の技術では人間あるいは高機能な作業ロボットを着陸させることが困難なので、検討の対象から外してある。

以上の事実から考えると、現在の技術の組み合わせで開発が可能な天体は、月面のみであることがわかる。しかし、将来、知能ロボットが発展し、また人間の宇宙滞在コ

ストが低下してくれば、先ずフォボス及びダイモスが、次に火星表面が、技術的には開発可能な領域となってこよう。勿論、開発が技術的に可能であっても、経済的に現実的であるかどうかは別問題である。

3. 月・惑星開発の経済

現在の技術水準を前提とすれば、月あるいは火星等を開発して直接の経済的利益を得ることはむずかしい。これは、前節に述べたように、地球からの必要増速量が合計15km/秒以上になってしまうという事実による。現在のロケットエンジンは、その噴出ガス速度を高々4.5km/秒程度までしか上げることができない。したがって1トンの質量を15km/秒まで増速するためには、

$$\exp \frac{15\text{km/秒}}{4.5\text{km/秒}} = 28\text{トン}$$

のロケットを地上から打ち上げなければならない。推進剤は27トンであるが、これを収納するタンクとエンジンの合計質量を1トン以下に軽量化することは、現在の材料技術では不可能である。したがって月・惑星へ運べる貨物はゼロ以下になってしまう。単段式ロケットでは月・惑星へ到達できないという、専門家には、わかり切った事実である。

結局、多段ロケットを使わざるを得ない。H-IIロケットで月面に軟着陸するためには三段式又は四段式となる。三段式でも三個のロケットを消費することになってしまう。月・フォボス/ダイモスから地球へ帰還する場合は、往きに比べれば、かなり楽である。月やフォボス/ダイモスの重力から脱出する場合に第一に空気抵抗がないこと、第二に重力が地球より弱いことで楽に脱出できる。さらに地球の大気にまで戻ってくれば、後は空気抵抗により減速することができる。図1に示す必要な増速量(km/秒)の数字でわかるように、月面から地上への帰還には2.5km/秒、すなわち往きの1/6で済む。この場合、空気力学的な機体形状をとれば単段式のロケットにすることができる。

以上の議論の前提としたロケットエンジンの噴出ガス速度(正確には有効排出速度)4.5 km/秒は液体水素/液体酸素エンジンの技術の現状である。(図2)これを大幅に向上させることは現在、明確な見通しが無いと言わざるを得ない。空気吸込式エン

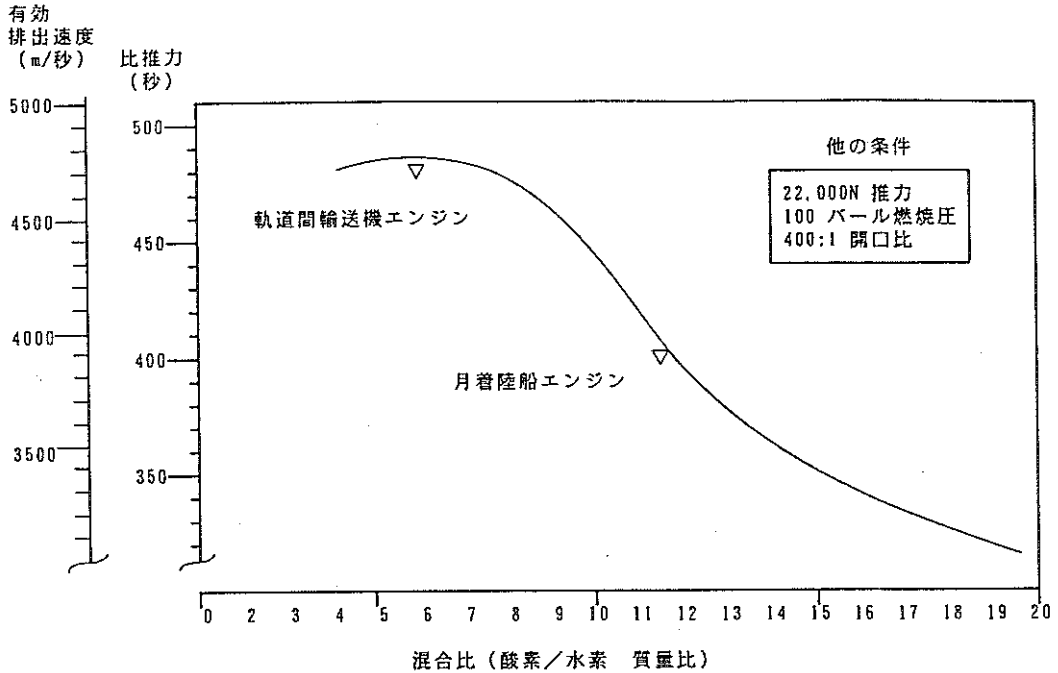


図2. 酸素/水素混合比とエンジン比推力の関係

ジン、大型イオンエンジン、原子力エンジン、マストライバーなど、基礎研究が行われているものはあるがいずれも実用の技術とは言えない。十年後には再評価されるものが出てくるであろう。

以上の事実から、月・惑星への貨物輸送コストが推定できる。H-IIロケットなどによれば1トンが150億円程度、ソ連のエネルギー級の大型ロケットによればその半分程度となる。

開発の初期には、最小で数人の人間が居住できる基地が必要であるが、そのための資材は100トン以上必要である。その輸送費だけで一兆円を超える。人員の輸送には、有人軌道船の開発費の他に年間50トン程度すなわち、五千億円程度の輸送費が必要となる。基地の機器類の開発費は、100トンとしてもやはり、一兆円のオーダーとなる。結局、最初の十年間で十兆円規模の総経費となるであろうから、アポロ計画と同程度である。筆者等は、コストモデルの積み上げによってこの推算を評価したが、九兆円という数字を得た。低コストの再使用型輸送機を新規に開発すると、初期コストは高くなり、後年の年次コストは低くなるが、十年間の総計はやはり同程度となる。

これは月面基地のみのコストである。開発のためには、さらに製造施設を中心とした大規模な建設が行なわれなければならない。仮に月面基地のコストのみを償還すればよいとしても、年平均1兆円の便益を見込むことは不可能としか思えない。

一例として、低地球軌道あるいは静止軌道へ月面での生産物を輸出することを考える。月面で製造された酸素その他の物質は、それを地上で製造し、目的軌道まで打ち上げるときの総コストより高い価格で売ることはできない。月面での製造コストが地上でのコストより低いことは考えられない。したがって月面からの輸出により得る差額利益は地上からの輸送費を上回ることはない。低地球軌道への地上からの輸送費はエネルギー級ロケットで1トン十億円以下となる。したがって年間1兆円の利益を上げるためには、年間千トン以上の月面物質に対する軌道上での需要が必要となる。現在の米国の年間打上げ量は400 トン前後で推移しているから、今後、漸増を見込むとしても、年間500 トンを大きく超えるには年数を要すると思われる。これが千トンになったとしても、その全部が月面物質によって供給されるという事は考えられない。製造工程が詳細に研究されている月面酸素に関してこれをロケット推進剤として使用することを考えても全く不十分である。静止軌道、あるいは月面までの再使用型軌道間輸送機が千トンのうち半分を占めると仮定しよう。この場合、500 トンの出発質量のうち全推進剤の割合は7～8割である。そのうち酸素の質量は8割であるから、300 トン程度である。他に月面物質が実際に使われる可能性は構造材くらいである。しかし構造材を地上から打上げる場合、全質量の1割前後であるから、千トンに対して100 トン程度の価格しかない。したがって月面酸素と月面構造材を合計しても400 トン換算、すなわち高々、四千億円の利益しか得られないこととなる。月面基地を償還するには、25年以上かかる。

以上の議論は、月面の製造施設と打上げ施設の建設コストを無視した計算である。この規模の月面製造設備は発電設備を含めて100 トン近くなると推定される。その建設コストは、二兆円に達する。一方、運転コストは、人件費を別とすれば、消耗品等高々年間、数トンの補給となり、数百億円に達しないと見られるので、比較的無視し得る。月面基地の十兆円にこれらを加算すると12兆円となり、年間四千億円の利益で償還するには、30年以上を要することとなる。これも数人の月面基地要員のコストは別会計に計上できるとした場合の計算である。

これらのことから、初期月面基地をその生産性によって償還することは非現実的であることがわかる。

一方、月面基地とその人員の労働が無償で提供されると仮定した場合、製造設備のみは6～7年で償還される計算も成り立つことから、リスクを無視すれば、ビジネスの対象と見ることもできる。

月面基地の利用が無償という仮定に立ってよいならば、ずっと利益の高いスモールビジネスが成り立つ。地上からの液体酸素との競争が最も有利になる地点で月面酸素を販売することである。すなわち、月面まで、地上から液体酸素を輸送すれば1トン80億円程度となるから、この場所で、月面基地の余裕エネルギーと余裕労働力を利用して、生産した少量の月面酸素を現地用に販売すれば、1～2年で設備投資を償還し得る。しかし、これは月面基地に寄生した形のビジネスであって、月面基地の便益とは言えないであろう。いずれにせよ、月面基地が液体酸素製造設備を初期段階から付設するであろうことがわかる。最後に、月面酸素製造に関し、現在、便益がコストを償還する唯一の可能性について触れておく。それは、火星有人ミッションに必要な液体酸素を月面から供給するシナリオである。火星有人船は一飛行に600～1200トンの液体酸素を必要とする。軌道上価格にして、一兆円前後となる。月面基地と月面酸素工場を合わせてもその建設コストは十数兆円であるから、十数回の火星ミッションで全部償還し得ることとなる。

しかし、火星有人ミッションが短期間に十数回行なわれるという仮定は、現在の情勢では、現実的とは言えない。

以上、述べたように、最も現実的な月面の便益である酸素製造に関するコスト推算では、経済性を見通しを得ることはむずかしい。これ以外の便益に関しては、後に述べるように、さらに不確定である。

4. 初期月面基地の成立条件

最初の月面基地で、その後の発展の基礎となる最小規模の機能を備えたものを初期月面基地と呼ぶ。我々のケーススタディに用いた初期月面基地の概念は、次のようなものである。

基地の居住人数は8人とする。この8人が安全かつ快適に生活できる環境を確保す

る。居住モジュール、通信、エネルギー設備、宇宙服、道具類およびそれらの補用品、空気、水、食料が必要である。また科学観測、実験を行うための実験モジュール、実験装置類、マニピュレータ、月面車等も初めから備える必要がある。この他に離着陸のための施設設備も備わっていないなければならない。これらの全体を図3に示す。

この初期月面基地の重量推定は表1のようになり、全体で100トンになる。さいしょの8人の要員は3ヶ月滞在し、24時間3交替で働く。その労働時間の1/4は科学調査、3/4は基地の建設、調整及び拡張にあてる。

科学調査の内容は表2のようなものが、初期に実行できる。

月面で最初に実行すべき作業は、基地の生存機能の確立である。月面においてとくに重要な要素は、14日間の夜間に対応する熱及び電力の確保である。原子力発電装置あるいは燃料電池と太陽発電装置の敷設が最初の作業となる。

次に必要な作業は、各種の新技术の現地検証である。基地の生存と拡張に必要な技術が、ここで確認される。月面作業服、月面ロボット、マイクロ波加熱装置、土木機械、材料等の実証実験が行われることとなる。

以上に描いた月面基地は、それを中心として多様な活動を展開するための拠点としての役割に限定している。いわば、インフラストラクチャとして建設され、運用されることとなる。この意味は、この初期月面基地は、現在既に開発段階にあ

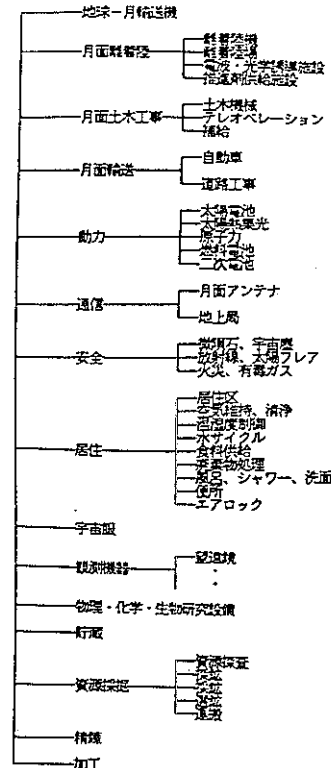


図3 初期月面基地

表1 初期基地の重量配分

| 要素 | トン | 備考 |
|---------|----|-----------------|
| 居住モジュール | 40 | 通信、エアロック等を含む |
| 原子力発電 | 10 | 熱・電力制御、送電、蓄熱を含む |
| 実験モジュール | 20 | 装置、器具、消耗品を含む |
| 空気・水・食料 | 10 | 薬品等も含む |
| 月面車 | 10 | 整備工具も含む |
| 予備重量 | 10 | |

表2 月面での科学調査(初期)

1. 地質調査
2. 鉱物探査
3. VLBI天文観測
4. 電波天文観測
5. ニュートリノ観測
6. プラズマ・磁気圏観測
7. 光学観測
8. 高エネルギー天文観測
9. 素粒子物理実験
10. 社会/心理学調査
11. 宇宙医学
12. 宇宙生物学
13. 材料実験
14. 月面製造技術の実証実験

る宇宙ステーションに類似している。

初期月面基地と宇宙ステーションの類似点が多い。どちらも、巨大な宇宙プロジェクトである、直接の実用目的ではなく、汎用多目的なインフラストラクチャとして位置づけられている、新天地における人間の居住実験としての意義づけが大きい、将来の宇宙活動のステップングストーンとする、等である。巨大なインフラストラクチャであることから、国家プロジェクトあるいは国際プロジェクトとなる。したがって、その成立の条件も、両者は類似する点が多い。

米国等大国の国家事業として実行が決定される。国際プロジェクトとなる場合も、参加各国の国策の一環としてなされる。

一方、月面基地は宇宙ステーションにはない特徴を持っており、これらのうちいくつかは成立条件に強く影響する。

第一に、月は南極を想起させる。すなわち、独立した未領有の陸地と見なされる。南極は地球上最後の土地であったが、月は宇宙で最初の土地である。

第二に、酸素、鉱物等資源がある。

第三に、1/6 ではあるが重力があるため、永久的に居住可能と思われる。逆に、微小重力環境が利用できない。

第四に、遠いことと、夜間が14日間続くことによって、最小規模が大きい。すなわち初期月面基地のコストは、宇宙ステーションの数倍となる。

第五に、現在のシャトル等有人飛行手段は、宇宙ステーションの軌道までしか到達できないので、月面に至るためには、有人の軌道間輸送機を新規に開発しなければならない。

以上の事実を総合して、我々は初期月面基地の成立条件を、次のように整理した。

- (1) 21世紀における月・惑星への進出が人類共通の課題であると認められること。国連、サミットあるいは米、ソ首脳会談で宣言されること。あるいは米国大統領の年頭教書等で宣言されること。
- (2) 米国の財政が改善されること。
- (3) ソ連、欧州及び日本の宇宙開発が、現在以上に活発となること。これら、米国のライバルが月・惑星への進出を目指すこと。
- (4) 宇宙の商業化が現在以上に、進展すること。企業の宇宙開発への参加が増加する

こと。

(5) 宇宙技術の知能化、ロボット化により宇宙飛行士の生産性及び安全性が向上すること。

(6) 月・惑星開発のための生産技術、居住技術の実証実験が着々と進み、その成果が広く理解されること。

(7) 月・惑星の資源利用が次世代の産業に発展し得ることが広く理解されること。

これらの諸条件は、どれも確実に実現するものではない。しかし、一方では、どれ一つとしてあり得ない条件ではない。

今後、数年の間に、これらの条件が一つずつ成立していくとすれば、初期月面基地は21世紀初頭に実現することとなる。(図4)

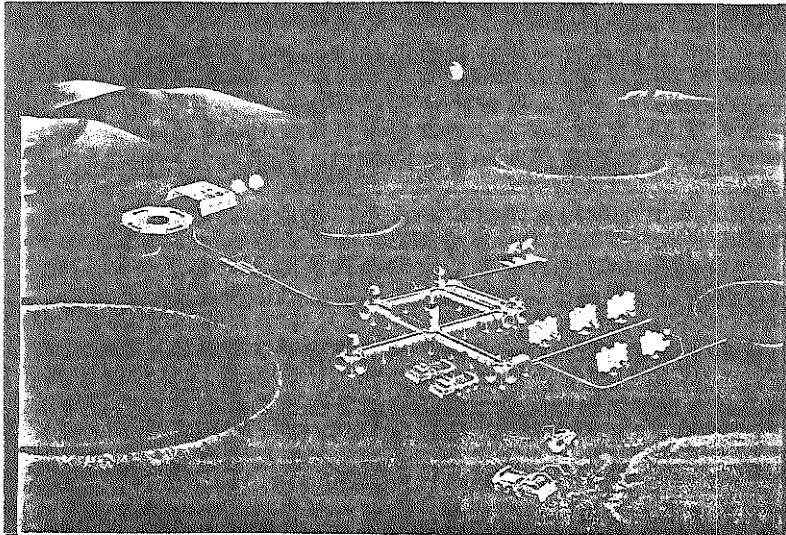


図4 初期月面基地

5. アメリカのシナリオ

近未来を考える限り、月・惑星開発に関するイニシアティブは米国にある。あるいはソ連にあるかも知れない。この場合でも、米国の動向が世界の大勢を決定する。したがって米国の方向性を推定することは、当然ながら、重要である。

アメリカの場合に限らず、宇宙プロジェクトのリードタイムは5～10年である。5年以内に新規の宇宙機を開発し打上げることは困難である。したがって、今から5年間に何が行われるかは既に決定していることになる。また、どんなに大規模なプロジェクトでも、10年以上先の計画を決定することはない。これは、米国、ソ連他、現代の

先進国の政治構造が、10年以上長期の国家プロジェクトを決定する能力を持つとは考えられていないからである。

アメリカの宇宙開発シナリオを観察する場合も、5年後から10年後が、それぞれ現実と夢の分岐点となる。すなわち、今が1989年であるから、1994年までのシナリオは確定しており、また2000年以降のシナリオは机上案に過ぎない。

1995年～1999年のシナリオが我々のもっとも関心があるところである。この時期に米国が主導する国際ステーション、フリーダムが登場する。

現在、米国では、スペースシャトルが重大事故から、ようやく回復したところであるが、シャトルに続く国家プロジェクトとしての宇宙ステーションは財政難のため、実現が遅れ、その規模も縮小されつつある。しかし、今後10年間に実現し得るNASAの大プロジェクトは、これ以外にないから、規模、内容は変更されるとしても、宇宙ステーションは90年代後半に実現されることは確実と言える。

宇宙ステーションの建造は、既に予備設計が済んでおり、現存技術の組み合わせで確実に実行できることが確認されている。問題は、完成した宇宙ステーションを実験以外の目的で活用する計画を打ち出せないことにある。このまま、宇宙ステーションの開発が進み、90年代後半に巨大な軌道上の有人実験室として完成したとしても、その実験の成果が、すぐに商業生産に結びつくことは、ほとんど考えられない。その場合、宇宙ステーションは単なる科学者の共同利用施設というだけでは、多額の運用費の圧迫に耐えられないであろう。当初、掲げられていた、宇宙ステーションの主目的、すなわち宇宙インフラストラクチャの中心としての役割りを追求せざるを得ない。そのためには新しい宇宙開発の目標を打ち出すことが必要である。しかし、現在、大きな宇宙プロジェクトを新たに開始するための財政的余裕はない。少なくともここ二、三年は2000年以降の話、すなわち机上の構想としての長期シナリオが議論されるに停まるであろう。

月・惑星の開発が、21世紀シナリオの中心となることは疑いない。米国の宇宙開発の基本思想は一貫して”宇宙フロンティアの開発”であり、”アメリカのリーダーシップ”であるから、技術的に可能な次のステップとして、月・惑星の開発を除外することはできない。

以上の状況から、1995～1999年の米国の月・惑星シナリオを読みとることができ

る。実際、NASA、メーカ等で詳細なシナリオが作られつつあるが、ここでは、それらに捉われることなく、根底の条件を探ってみることとする。

(1) 1995～1999年に、人間を月・惑星に送ることはできない。これは財政的に不可能である。月へ人間を送ることが最も小規模な有人ミッションであるが、これでさえも宇宙ステーションに匹敵するコストを必要とする。再び、月へ往復するためだけのために、宇宙予算を倍増することは認められないであろう。

(2) 1995～1999年に、月・火星へ無人探査機を送る必要がある。特に火星については、バイキングのデータのみでは、有人探査計画を設計することはできない。したがって、計画策定のためにリモートセンシング観測機、ロボットローバー及びサンプル回収船を送る必要がある。火星のリモートセンシング観測機は1992年9月に打上げが予定されており、実現は確実である。火星ローバーは、NASAの新技术開発プロジェクト（パスファインダー計画）の一環として、昨年から強力に研究が進められている。これと連動する計画として、サンプル回収が検討されている。これらは1992年まで要素技術の研究を進めることとなっているので、1998年以降の打ち上げとなろう。（火星への打上げ機会が1992、1994、1996、1998等である。）ソ連が1996年に、火星ローバーを計画していると公表しているが、これも机上の構想と思われる。しかし、ソ連の火星探査は、米国の計画を推進させる効果がある。

月面基地に関する無人探査としては、現在、政府計画はない。構想はいくつか公表されているが、いずれも月面基地の手段としてしか、位置づけられないので、現時点で開発が開始されることはないであろう。したがって、月面探査機、ローバー等の実現は1995年以降となる。

(3) 1995～1999年に、米国の宇宙輸送系の能力向上が実行される可能性がある。現在、この期間の輸送系開発の構想が固まりつつあるようであるが、財政難から、あまり大きな計画は出ないと予想される。

貨物輸送用の使い捨て、あるいは部分再使用型の大型ロケットが、この時期に必要となる。技術的には、既存技術の組合せにより低コストを狙った輸送系である。宇宙ステーションの運用が始まり、輸送量が増加することに対応する計画である。前項に述べた、無人の月・惑星ミッションのコストを引き下げることに関与する。また2000年以降このロケットを増強することにより、月面基地あるいは火星有人ミッ

ションのために、低地球軌道に貨物を低コストで輸送することができる。このロケットの打上げ能力は低地球軌道へ数十トン～百トン、ソ連のエネルギーに近い能力となろう。H-IIロケットの十倍程度となる。月への有人輸送船を一回の打上げで送り出すことができる。また、計算上は、フォボス/ダイモスへの有人輸送機を打ち上げることも可能である。人員の輸送はシャトルにより、宇宙ステーションで乗り換える。

- (4) 1995～1999年に、宇宙ステーションに月・惑星輸送船の整備点検及び推進薬補給の施設設備を付加する構想がある。また宇宙ステーションとは別に、この目的で軌道上スペースポートを組み立てようという構想もある。しかし、宇宙ステーションを活用する方法がとられるであろう。大規模な宇宙ステーションの増築、あるいは別途の大型ポートの建設はこの時期には本格化しないと思われる。

- (5) 国内外に対する国家イメージの維持のためにも、米国は壮大な宇宙活動を展開せざるを得ない宿命にあるとも言える。財政上の問題を抱えながらも、大統領は近い将来、月・惑星への有人プロジェクトを宣言することとなろう。

以上の条件をベースラインとして、2000年以降の各種シナリオがNASAの内外で詳細に描かれているわけであるが、ここでは省略する。結局、これらのベースラインが、アメリカのシナリオの語り得るすべてであるから。

6. 日本の可能性

日本の宇宙開発予算はGNPの10000分の3くらいであるが、その比率は年々漸減している。米国と西欧諸国の予算は対GNP比が日本より高い上に、年々、上っているから、その差は開く一方である。日本のH-Iロケットは世界一の成功率を誇っているが、宇宙活動の量は相対的に減ってきている。宇宙技術のレベルから見れば、米国、ソ連の超大国の次は西欧、それに続いて日本という順になるが、予算のGNP比では、日本は米国の6分の1である。この差は、年々、技術力と設備の差として蓄積されてくるから、宇宙開発に関して、わが国の将来は暗い。

世界の宇宙開発の量的規模について、何も知らない人でも、日本が近い将来、有人月面基地を建設するなどという事は不可能だと思っている。実際、資金の上で不可能

である。有人月面基地を、日本が単独で実現するためには、年間一兆円規模の資金が必要であるが、これは現在の宇宙開発予算の十倍に近い。仮に年率10%で伸びたとしても24年かかる。そうだとすれば、月、惑星の開発という話などは、2010年頃になってから考えればよいことである。

しかし一方、前節に述べたように、米国、そして恐らくソ連も、数年以内には、有人の火星探査あるいは月面基地の計画を開始する。90年代の初め、米国では、月・惑星の開発ビジョンが花盛りとなるであろう。そのとき、日本は宇宙開発に全く無関心ということでは、国家イメージを悪くする。分担金だけを出して国際協力ということになるかも知れない。しかし、世界の先進諸国が、本気で、月・惑星の開発に進出するとき、日本だけが“地に足をつけた”ままでいられるだろうか。

月、惑星の表面は想像することが困難な世界である。しかし、ロケットで飛んで行ける所に実在する世界でもある。その話に、親しみをもち国民でなければ、月・惑星へのプロジェクトを理解することはない。この点でも、日本が世界に遅れをとることは、ほぼ確実である。

我々は、以上の状況判断をもとに、月・惑星の問題に今後どう関わるべきかを検討した。その要点は次のようにまとめられる。

- (1) 我が国が、現在保有する技術と組織を基本とし、着実に開発を進める。この技術とは宇宙だけでなく、むしろ産業技術を活用すべきである。また組織とは、研究、開発 組織のみではなく、メーカ、ビジネスの組織力を活用すべきである。
- (2) 月・惑星の問題は、地球の問題であり、次世代の日本人の問題であることを実際のプロジェクトによって訴える。
- (3) 我が国の社会、経済の長所を活かした独自の開発を進める。米国の後追いはしない。

これらの方針として、具体的な月・惑星の開発シナリオを作った。これを図5に示す。その考え方は次のようになる。

H-IIの活用

すでに開発中のH-IIロケットを使って、無人の探査、開発を進める。

ロボット、エレクトロニクスの活用

産業用に発達しているロボット、電子、通信技術を最大限に活用する。

月・惑星探査（日本）シナリオ案

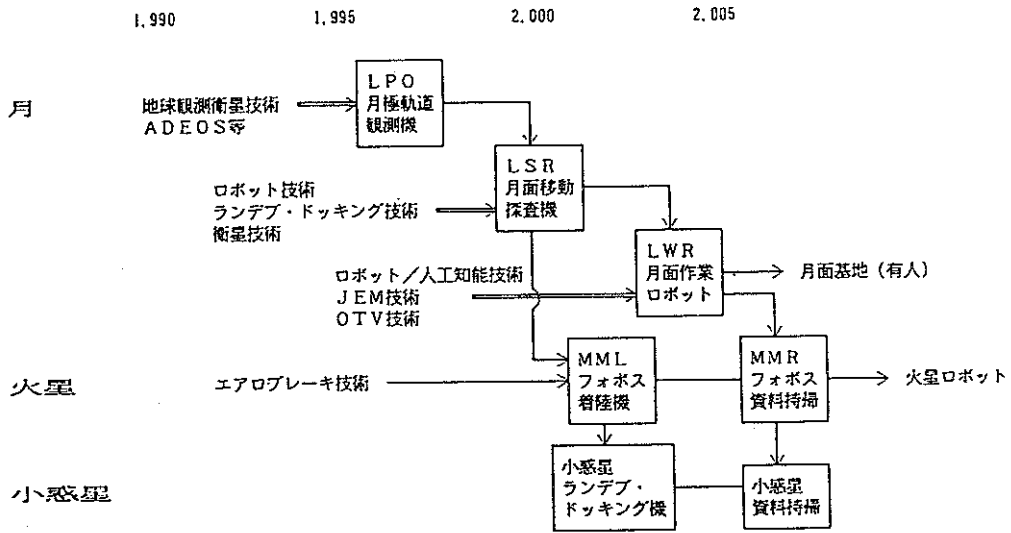


図5 月・惑星探査の技術開発

産業技術の活用

生産技術とその研究開発組織を活用する。

月面資源の開発

最も手近の宇宙資源である月面資源の開発を指向する。

米国との補完性

米国の指向する大型の単発的有人システム開発に対し、日本は小型で発展性の高い無人システム開発により、米国の活動を補完する。

有人ミッションへの発展性

日本の無人システムは、米国に協力し得ると同時に、十年遅れで独自の有人基地を建設するための拠点とする。

以上より、第一歩の目標は、2000年頃の月面ロボット実験（月面移動探査機）プロジェクトとなる。H-IIロケットでロボットを月面に着陸させ、月面資源の探査、資源利用実

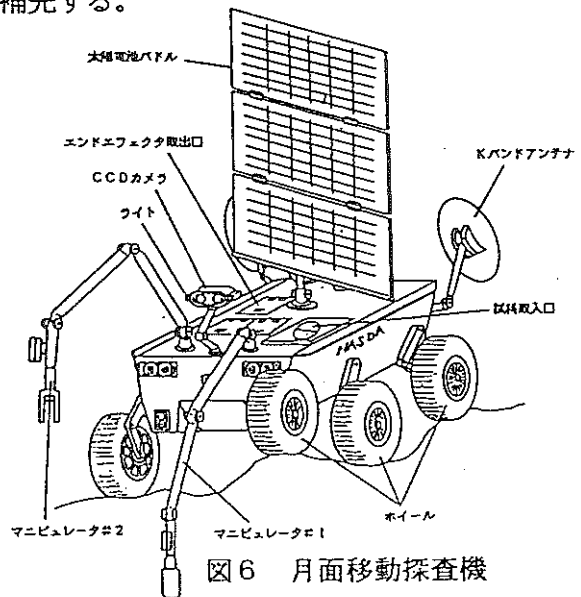


図6 月面移動探査機

験、有人基地建設実験などを実行する。これは、現在の衛星打上げプロジェクトと同規模の小さなシステムであるが、技術的に着実なものと同先端的なものを適度に混在させることができる。(図6)

7. 研究課題

月・惑星の開発に関し、少なくとも今後、数年は構想の段階が続く。したがって、現在は、基本的な課題を研究し、足固めをしておく時期である。

第一に必要な研究課題は、無人システムによる月・惑星ミッションの研究である。前節に述べた月面移動探査機によるロボット実験などがこれにあたる。これと並行して進めなければならない課題は、月・惑星資源の加工・利用方法の開発である。月面の土砂 1 m³を熱処理すれば 1 lの水が製造できる計算となるが、実際の収量、効率はどうなるか。設備の重量、運転コストはどの程度か。月面ロボットの作業性はどの程度か。これらを、先ず部分実験、計算機シミュレーションで推測し、さらに総合的なシステム地上試験を行う。同時に産業として発展性を検討すべきであろう。我々が想定した月面製造インフラストラクチャの発展過程を図7に示す。

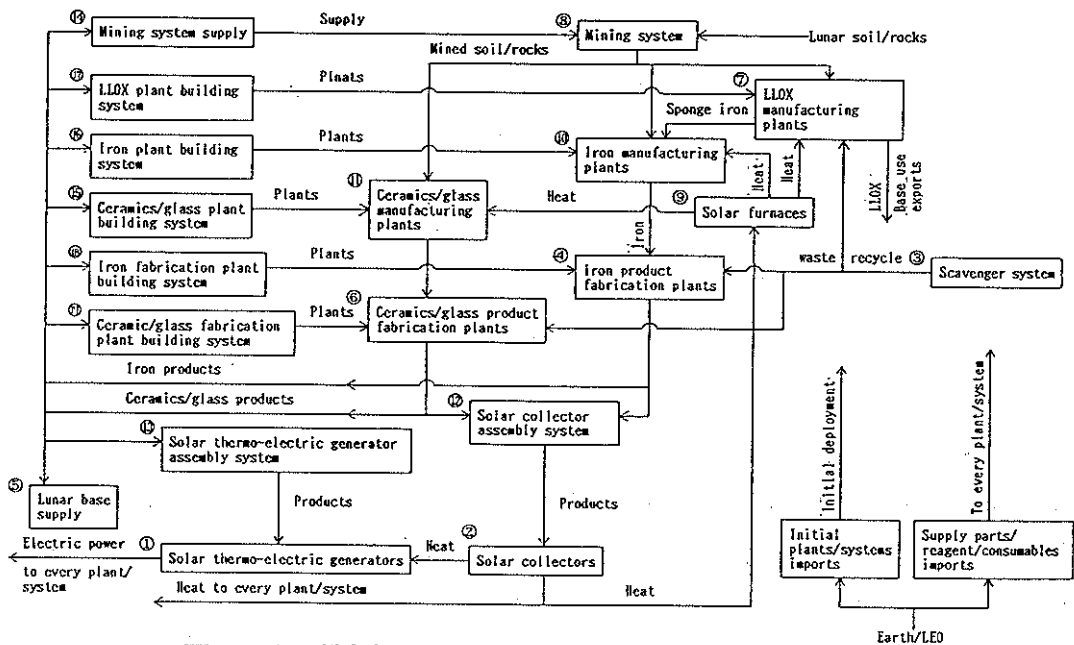


図7 月面製造インフラストラクチャの発展過程

月面作業ロボットの地上実験(図8)は重要である。ロボットにより、月面居住区が設営できることが地上で実証されれば、我が国の無人建設シナリオ(図9)が、米国の有人建設シナリオよりも現実的であることとなる。月面は軌道上よりも安全快適な居住空間となることが示される。大規模な地上実験設備は必要であるが、月面利用の可能性をはっきりと確認することができる。

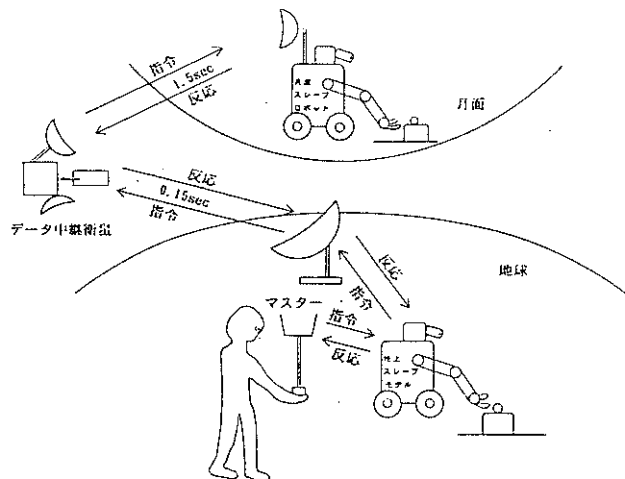


図8 月面作業のロボットの地上実験

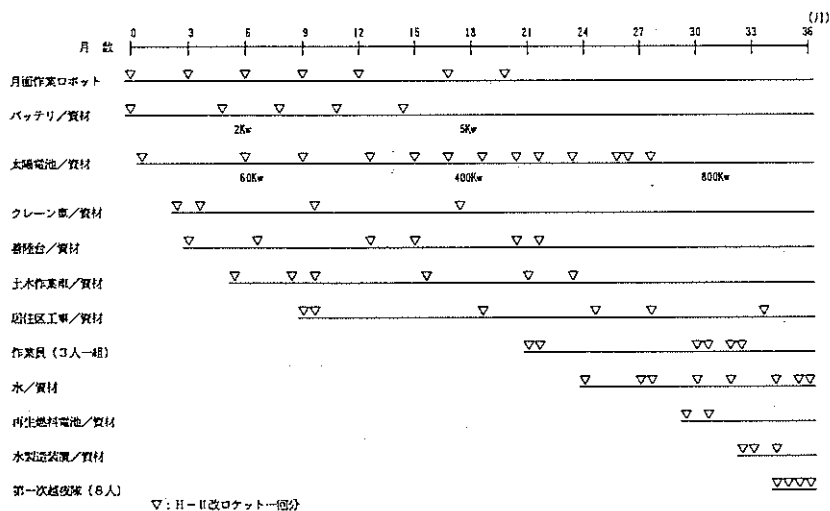


図9 月面基地無人建設シナリオ

第三に、遠い将来を見通しての太陽系への人類の進出というテーマを、哲学的、文学的にではなく、科学として、経済学として、産業論としてまた国際政治論として本格的に研究することが必要である。結論は出ないであろうが、それでもよい。宇宙への進出は留められないことが理解されるだろう。

これらの研究に関して、宇宙科学、技術の専門家は、導入部を受け持つことになる

うが、本格化した時の研究主体は、むしろ非宇宙分野の研究者、技術者である。この点は、これからの宇宙技術が、従来の特殊機器技術から脱皮して広く生産技術あるいは産業技術と融合して行かなければならないことを示している。また、このことは、従来の専門家の組織を超えた横断的な研究体制が必要となってくることをも示している。さらには、月・惑星の開発が全人類共通のテーマであることから、国際的展開が必要となる。

はじめに述べたように、わが国では、月・惑星の開発は、研究テーマとしても重要とは見なされていない。生産的な結果が出るとは期待されていないようである。このため、宇宙以外の分野の研究者に参加を求めることがむずかしい。これがまた、この研究を深めるためには、大きな障害となっている。この悪循環をどこかで断ち切れれば、大きな発展が望めると思われる。

8. おわりに

二十世紀も、最後の十年間となってきたが、わが国はかつてない繁栄を享受している。地球がいよいよ狭くなり、人間の活動量が地球環境に脅威を与えるまでになったこの時、月や惑星にまで人類の手が届くようになったことは偶然ではないであろう。ロケットを製造する技術者も、宇宙ミッションを構想する研究者も、国家プロジェクトを策定する省庁も、予算を認可する国会も、全ての国民が、理屈はそれぞれ、言ったり、言わなかったりであっても、いつかは宇宙へ行かねばならない、と感じているのではないだろうか。我々の月・惑星開発の研究は、現在、片隅でなされている小さな仕事であるが、21世紀へ向って延びる登り道の一つであると筆者は信じている。

(編集人)

(経団連「宇宙」89年春季号より、事務局の御好意により転載)

有人宇宙システムの人間・機械系設計に考慮すべき人的特性

山口孝夫

1. まえがき

有人宇宙システムを設計する場合、宇宙船内の居住快適性 (Habitability) も重要な問題である。いかに人間工学的に優れた機器を開発しても、搭乗員が宇宙船内で快適に生活できなければ、モチベーション (動機づけ) の低下及び心身の疲労を引き起こし、搭乗員の生産性は低下してしまう。今回は、有人宇宙システム全体の居住快適性を向上・維持するために、どのような要因を考慮すべきかについて述べることにする。

2. 居住快適性の要因

居住快適性とは、「搭乗員の実産性、心身の健康、福利及びパフォーマンスを促進させる環境要因である」と定義できる。これらの環境要因として、次の14の要因がある。

- (1) 睡眠
- (2) 運動
- (3) 衣服
- (4) 医療設備
- (5) 個人衛生
- (6) 食事
- (7) 人間関係
- (8) 室内装飾
- (9) 外部との通信
- (10) 余暇
- (11) プライバシーと個人空間

(12) トイレ

(13) 軌道上訓練

(14) 心理・生理的環境の整備

これらの要因を一つ一つ分析し、搭乗員が軌道上で快適に居住できるように設計しなければならない。

以下これらの各要因について個々に述べることにする。

2. 睡眠

人間は24時間働くことができない。一般に、睡眠のリズムは、8時間の睡眠と16時間の覚醒からなる24時間周期である。これをサーガディアンリズムという。睡眠時間は個人差があり、同じ人であっても年齢によって異なる。しかし、睡眠時間と覚醒時間の割合が変化するだけであって、1日24時間の周期は変わらない。この睡眠時間は年を取るにしたがって短くなる傾向がある。Fig.1 に示すように、特に幼児期と成人期を比べると3時間ほど差があることがわかる。

睡眠については多くの研究者によって調査され、そのおおよそは解明されつつある。

睡眠状態を調査する方法として脳波がよく用いられる。人間の睡眠時の脳波を調べてみると一定のリズムが見られる。これをFig.2 に示した。この脳波のパターンから、睡眠の深度は、「入眠（深度1）」、「軽睡眠（深度2）」、「中睡眠（深度3）」、「深睡眠（深度4）」及び「逆説睡眠」の5つの段階に分けることができる。

入眠（深度1）は眠りに入った当初の状態、弱い刺激でも容易に起きてしまう不安定な時期である。この時期低振幅の不規則な徐波と呼ばれる θ 波と速波とが合わさったパターンの脳波が現われる。

軽睡眠（深度2）もかすかな意識はある。ただ、脳波を調べてみると徐波の成分が増加し振幅も入眠時よりも高くなっているため、入眠（深度1）と区別される。

中睡眠（深度3）は脈拍、呼吸が覚醒時に比べて低下し、眼球運動は減

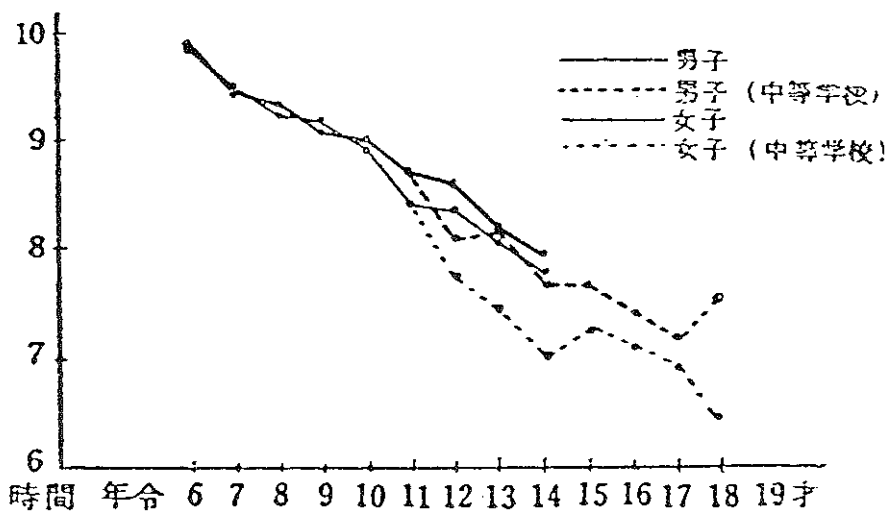


Fig. 1 年齢別睡眠時間 (宮城音弥による)

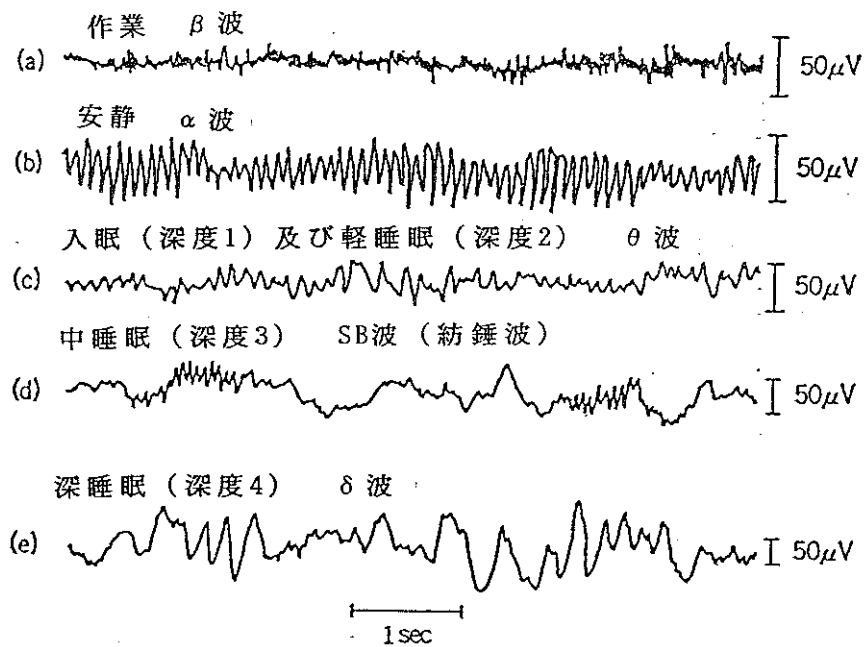


Fig. 2 睡眠にともなう脳波の変化

少する。わずかの刺激では睡眠から醒めない。この時期は比較的安定して長く続く。脳波は12-14 HzのSB波（紡錘波）が現われる。

深睡眠（深度 4）はほとんど意識はなく、なかなか眠りから醒めない。脈拍、呼吸数は最も少ない。眼球運動もほとんどない。この時期は、高振幅のδ波が多く現われる。

逆説睡眠の睡眠パターンは入眠（深度 1）のパターンとよく似ている。ただ睡眠は深い。呼吸や血圧に変動がみられ、大きな特徴として急激な眼球運動がみられる。これをREM（Rapid Eye Movement）と呼ぶことから、逆説睡眠をREM睡眠と呼ぶことが多い（注：REM睡眠に対応する用語として、上記に述べた睡眠深度1から4を、NREM（Non Rapid Eye Movement）睡眠ということもある）。「逆説」と呼ばれるゆえんは、脳波は入眠（深度 1）のパターンを取り覚醒時に近い様相を示すのに、体はぐっすり寝ているからである。この時期に人間は夢を見ていることが多い。

以上に述べた睡眠のパターンを図で表わすと、Fig.3 のようになる。これによると、人間は一晚に上記のパターンを4から5回繰り返していることがわかる。REM期に夢を見ているとすれば、少なくとも4から5回は夢を見ていることになる。私たちが夢として覚えているのは、覚醒する直前にみた夢であることが多い。

以上のことから、搭乗員の睡眠状態を知るには、睡眠時の脳波を計測し、そのパターンを調べれば大体のことはわかる。睡眠のパターンが崩れるとなかなか疲労が取れない。したがって、軌道上では、搭乗員に適度で規則正しい睡眠を確保してあげる必要がある。また、搭乗員が睡眠を取る場所に脳波計測器を設置し、搭乗員が適切な睡眠を取っているかをチェックするシステムが、搭乗員の健康管理上必要かと思われる。

宇宙ステーションは約90分で地球を一周する。したがって、昼と夜が45分毎に交互に出現することになる。人間は24時間のリズムで生活をしていることは先に述べた。この24時間のリズムの手がかりとなっているのは昼と夜である。手がかりがなくなると24時間のリズムが狂ってしまう。その例として、南極基地での生活がある。南極では一年のうち約八ヶ月が夜で

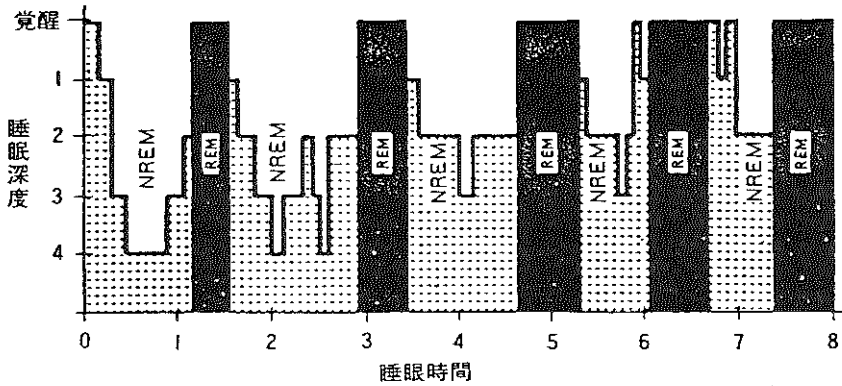


Fig.3 一夜の睡眠サイクル (Dementによる)

一夜の睡眠の REM 睡眠および NREM 睡眠 (深度 1~4) を記録したもの。図は実際の被験者の記録であるが大部分の人の睡眠周期も同様の経過をたどる。NREM 睡眠は常に最初に起こり覚醒から直接 REM 睡眠に入るのは異常である。最初の NREM 睡眠は通常 1 時間続き、ひき続いて最初の REM 睡眠が始まる。NREM 睡眠の開始からそれにひき続く REM 睡眠の終わりまでを睡眠の 1 周期とし、平均 90 分間持続する。図に示されているように始めの方の NREM 睡眠期には深度 3, 4 が多発するが、それ以降は完全に消失する。深度 4 の睡眠時では被験者を覚醒させにくいことから考えると、睡眠は一夜の前 3 分の 1 において最も深いといえる。REM 期の持続時間も周期により大幅に異なるが平均すれば 22 分である。睡眠が終わりに近づくとつれてごく短時間の覚醒がおこるようになるが本人は気がつかない。この例ではそうした覚醒がもつばら NREM 期におこっているが、これは REM 期にもしばしばおこることがある。

ある。南極基地において、生活パターンをある程度隊員の自主性に任せたところ、サーガディアンリズムが徐々に狂い、1日の周期が25時間、26時間と長くなったとの報告がある。その原因は、夜が長いため、隊員たちが夜遅くまで起きていながら、睡眠時間は通常の時間を取っていたことによる。つまり、通常は16時間の覚醒と8時間の睡眠のリズムであるのに、17時間（あるいは18時間）の覚醒、8時間の睡眠というように1日の周期が徐々に長くなってしまったのである。このようにサーガディアンリズムが狂ってくると、疲労がだんだんたまってきて体に変調を起こす。その結果として、搭乗員の作業低下を引き起こす。軌道上では毎日の生活時間をきっちりと守り、特に睡眠時間のスケジュールは厳守すべきである。したがって、宇宙船内では、24時間の周期を守れるように、照明などを工夫して人工的に昼と夜を作る必要がある。一般に、夜は8時間から12時間が適している。

また、睡眠のスケジュールばかりではなく、搭乗員がぐっすり眠れるように、宇宙船内の騒音、照明及び空調などの環境を整備すべきである。特に騒音が重要で、宇宙船内の騒音については、Fig. 4に示すように、NC-45からNC-25の曲線を満足するように設計しなければならない。スカイラブの搭乗員は、トイレのドアをロックする音や、睡眠中に搭乗員が寝返りをうって肘や膝が壁をたたく音等でしばしば目がさめたことがあった。したがって、搭乗員が適切な睡眠を取れるように、以下のような配慮が必要である。

- 1) 睡眠を取る場所は個室にしてプライバシーを確保する。
- 2) ベットは十分整備する。
- 3) 個室にドアをつけたり、壁に防音を施す。
- 4) トイレや騒音源から離れたところに個室をもうける。

また、運用上の観点として、12時間交代の2シフト制で運用する場合には、他の搭乗員が眠っている時間帯での搭乗員の引き継ぎ等の作業は避けるべきである。

さらに安全上の観点として、次のような点を考慮しなければならない。睡眠中の搭乗員は無防備である。火災などの緊急事態が発生した場合、急

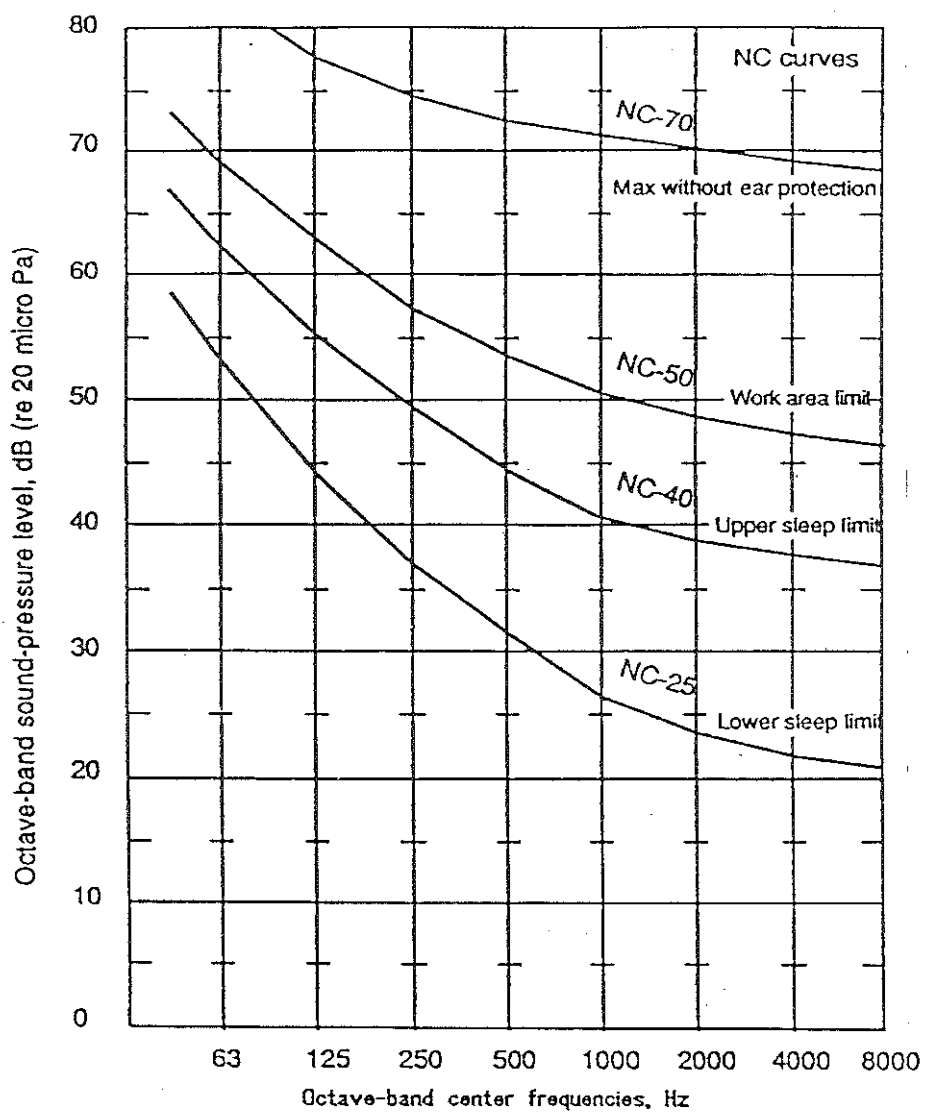


Fig. 4 宇宙ステーション内の騒音基準 (NASA-STD-3000による)

に対処することはできない。そこで睡眠中の安全性の確保も忘れてはならない。寢室には必要最小限の警告警報システムを取付け、さらに他の搭乗員と交信できるような通信システムも備える必要がある。また、宇宙ステーションを例にとれば、すぐに他のモジュールに逃げ込めるように、できるだけ出入口に近い方が望ましい。

宇宙船での寢室の一例をFig.5に示す。図に見られるように、無重量環境では横になって寝る必要はない。

3. 運動

人間は長期にわたり無重量環境に滞在すると、筋力低下、脱カルシウム等の身体的影響を受ける。防止策としては、軌道上での運動が有効であるといわれている。

無重量環境に10日以上滞在する場合は、軌道上において運動を必要とする。運動器具としては、自転車のペダルを踏む要領のエルゴメータ、動く歩道の上を歩いたり走ったりする要領のトレッドミル、筋力強化を目的とするベンチプレス等がある。

運動には、医学・生理学的な考慮はもちろん、心理学的なものも考慮しなければならない。搭乗員が軌道上で運動を行うのは、ただ単に健康を維持するためが目的ではない。気分転換などのレクリエーション的な要素も含まれている。したがって、ただ単に体を動かせば良いというわけではない。いかに効果的な運動といえども、毎日同じ運動を繰り返していたのでは搭乗員が飽きてしまう。飽きてくれば、運動に対する力の入れ具合も消極的となり効果も低下する。搭乗員が興味をもって運動できる方法を考えなければならない。

例えば、運動量に対する記録を取り、搭乗員同士で競争させせるのも一つの方法である。ただ、あまり勝負に執着し過ぎると、搭乗員の人間関係に悪影響を及ぼす恐れがある。

スカイラブでは、エルゴメータとトレッドミルが用いられた。トレッドミルは足のふくらはぎの筋肉を鍛えるのには効果があり、全体的なコンデ

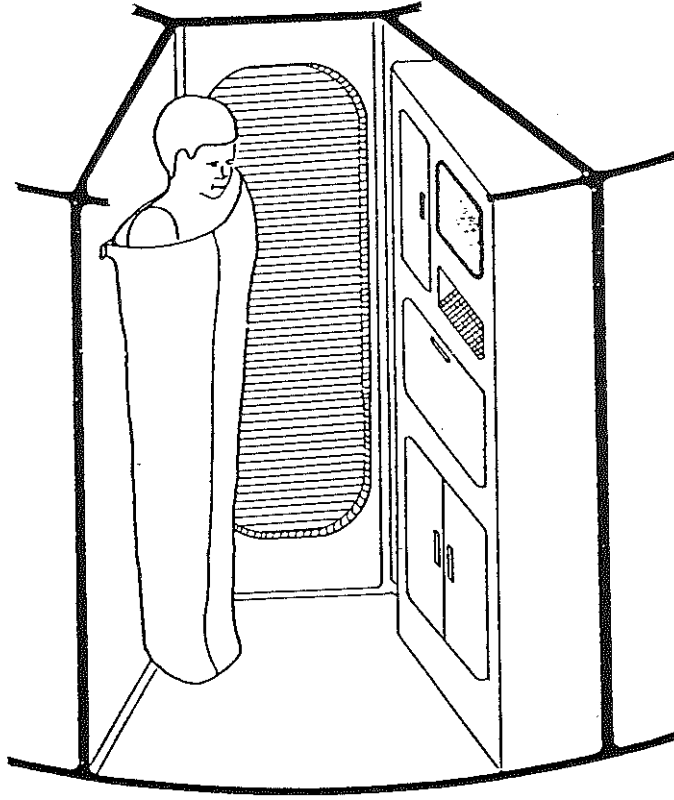


Fig.5 宇宙船での寝室の一例

イションづくりにはエルゴメータを用いた。報告によれば、スカイラブの搭乗員はエルゴメータを好み、多くはこれにより気分転換を行ったとのことである。さらに搭乗員は、ただ単にエルゴメータのペダルを踏んでいたのでは飽きてしまう。そこで、運動中に音楽を聞いたり、窓から外を見る等のレクリエーション的要素を運動器具の設計に考慮する必要があると指摘している。

搭乗員のモチベーション（動機づけ）を維持させる方法として、次のような運動器具が考えられている。エルゴメータの前面にCRTを取付け、好きな映画やニュースを見られるような装置、CRTとエルゴメータとコンピュータを組み合わせて、CRT上にさまざまな自転車コースを写しだし、あたかも美しい町並みの中をさっそうと走っているような感じを体験できるようにした装置が現在考えられている。

この他、毎日の作業に身体的な運動を取入れ、作業をしながら筋力低下や脱カルシウムを防ぐのも有効な方法である。例えば、エルゴメータと電気の発電器をつないで、搭乗員がエルゴメータのペダルを踏めば踏むだけ、宇宙船内の電力供給に貢献できる方法である。このように運動と作業とをうまく融合させた方法を用いれば、搭乗員の軌道上における運動時間を短縮でき、その余った時間を他の時間に利用できる。

運動をすれば当然汗をかく。汗が空間に発散しないように、汗をかいてもすぐ乾くようなエアコン設備を必要とする。また、発汗による熱の発生が宇宙船内の温度を上げる原因となる。運動時には宇宙船内の空気の対流や換気には十分な考慮を必要とする。さらに、運動する場所に汗を落とすためのシャワーや、喉を潤すためのギャレー（食事を用意する場所）や飲料水などの設備が近くにあることが望ましい。

搭乗員が運動すると宇宙船内で振動や騒音が発生する。したがって、微小重力環境下での実験を行っているときは、運動を行わないようにスケジュールを調整する必要がある。また、12時間交代の2シフト制を採用する場合、他の搭乗員は睡眠中であるので、運動は搭乗員の寝室から離れたところで行うなどの配慮を必要とする。

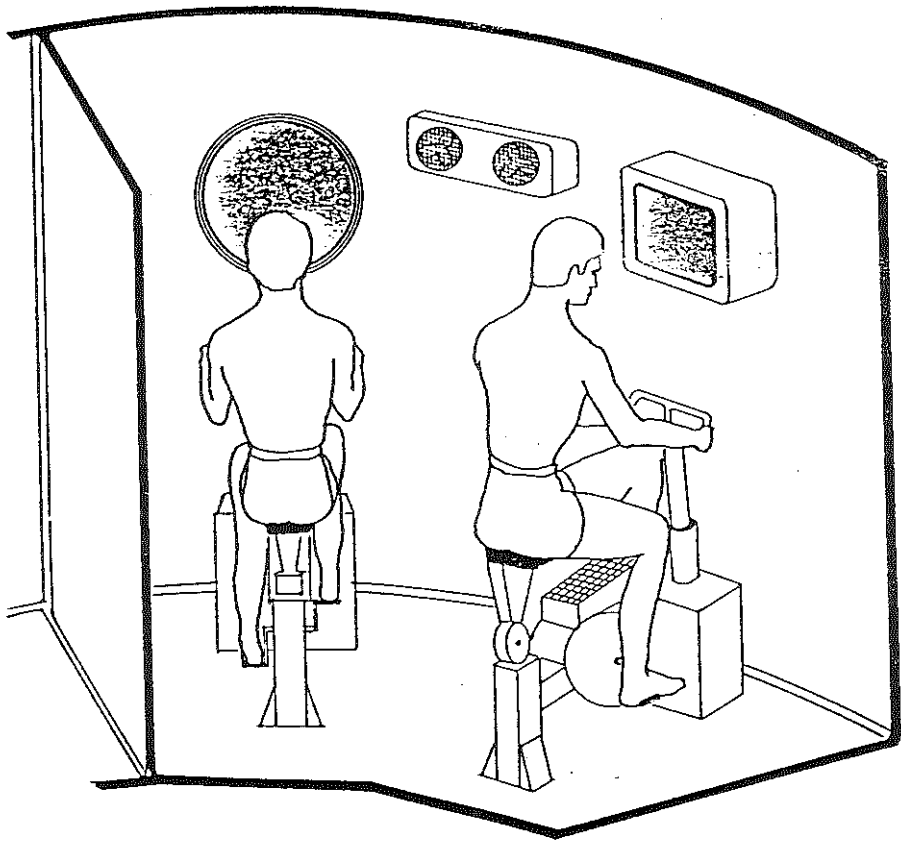


Fig.6 宇宙船での運動の一例

宇宙船での運動の一例をFig.6に示す。

4. 衣服

初期の有人宇宙飛行では、搭乗員は重い宇宙服を着てミッションを遂行していた。それが今や「シャツスリーブ」といって、地上と同じ大気状態に与圧された宇宙船内で、Tシャツにズボンといった軽装で生活できるようになった。

搭乗員が宇宙船内で着用する衣服は、安全を考慮した不燃性の素材を用いなければならない。スカイラブで用いた不燃性の素材衣服は、通気性が悪く、特に運動で汗をかいた後など独特の臭いを発したため、搭乗員の間で不評であった。

前項で述べたように、搭乗員は軌道上での運動を必要とする。無重量環境下では地球上と違って、汗が飛び散れば玉状になって空中に浮き宇宙船内を汚してしまう。また、船外活動を長時間行えば汗をかき、宇宙服の下は汗でびしょりになってしまう。そこで考案されたのが液体冷却服である。これはカートリッジと呼ばれるものを冷蔵庫で冷やし、それを特殊な布でくるんで衣服と併せて着ることにより、身体を冷やす工夫がなされている。搭乗員の衣服を開発するにあたっては、体温を調節でき、どのような環境の下でも快適さを保てるような工夫を必要とする。。

搭乗員は軌道上で与えられたミッションを遂行するのが任務であるから、搭乗員に「お洒落」など必要ないと考えるのは、あまりにも人間の感情を無視した考えである。搭乗員といえどもお洒落はしたいものである。これは見栄えだけではなく、気分転換にもなる。また、搭乗員の士気にも影響を及ぼす。いかに機能的に優れていても、色やデザインがさえない衣服を着ていたのでは、気持ちも高揚してこない。逆に、見た目にも優れていて、誰もが着てみたいとあこがれるようなデザインであれば、搭乗員の士気も生産性も上がる。NASAやアメリカの軍隊はここに着目し、制服のデザインには大変に気を配っている。

宇宙ステーションのように長期滞在となると、衣服を洗濯する必要がある

る。外見は汚れていなくても、実際は汗などで汚れている。少なくとも上着やズボン1週間に1回、下着は毎日替えるのが望ましい。また、運動用に特別の運動着を準備すべきである。衣服もただ一式だけでなく、数種類用意して、搭乗員が選べるようにするのもよい。

以上に述べたのは、宇宙船内で着るいわゆる”シャツスリーブ”の衣服である。船外活動で着る衣服、すなわちEVAスーツ（宇宙服）については別の機会に述べることにする。

5. あとがき

居住快適性に係わる要因は14ある。これらすべてについて記述すると相当の枚数になってしまう。そこで本テーマについて、以後数回にわたって述べることにする。

(宇宙開発事業団 宇宙ステーショングループ 山口孝夫)

参考文献

1. Research Opportunities in Human Behavior and Performance.
NASA CR 3886, 1985.
2. Space Station Habitability Recommendations Based on a Systematic Comparative Analysis of Analogous Conditions.
NASA CR 3943, 1986.
3. 人間生活と心理学：安藤 公平 編、駿河台出版社、1973.
4. 生理心理学：岩原信九郎、星和書店、1981.
5. MAN-SYSTEM INTEGRATION STANDARDS, NASA-STD-3000, Vol.1, 1987.

会誌編集方針

- 1 『宇宙先端』は宇宙先端活動研究会の会誌で、年6回発行される。
- 2 論文の内容は、全て著者の責任とする。
- 3 投稿資格：原則として本会会員に限る。
- 4 原稿送付：投稿する会員は、B5版横書き（33×29）またはA4版横書き（38×29）で、そのまま版下となるような原稿およびコピー1部を、東京都港区浜松町2丁目4番1号、世界貿易センタービル内郵便局私書箱第165号、宇宙先端活動研究会世話人兼編集人 岩田勉宛送付する。原稿は返却しない。
- 5 論文は未発表の原著論文に限る。ただし、他に発表したものの要約、解説等は歓迎する。掲載論文に対する質疑、意見、提案等、誌上討論は大いに歓迎する。
- 6 A4で20ページを超えるものは掲載しないことがある。宣伝、中傷、その他本会の趣旨から極端に外れる投稿は掲載できない。編集人は会誌の整合のため、著者に改稿を求めることがある。

*** 編集後記 ***

今回は、川崎重工の鳥居氏からユニークな投稿がありました。竹取物語は日本の宇宙物語の先駆であり、興味深い読み物です。このかくや姫物語を現代の宇宙開発と関係付けて短い短編にまとめてあります。このような自由な投稿を編集局では期待しております。よろしく。

木星探査衛星「ガリレオ」の打ち上げが裁判ざたになった。ガリレオが積んでいるプルトニウム電池の環境汚染を懸念した環境保護団体による打ち上げ差し止め請求である。幸い、打ち上げは認められ、また汚染もなく成功したことは宇宙関係者として一安心である。しかし、これからの宇宙開発はいろんな課題に出くわすということに思い至った事件である。宇宙は、いま注目の的である。注目されればそれだけ、思いもよらなかった課題が出てくる可能性があるであろう。そういう課題を、他者から指摘される前に宇宙関係者自らが気づき、事前に解決しておくことが益々必要になってくるであろう。直前に裁判ざたにならないためにも。（長）

宇宙先端 第5巻 第5号

頒価 1000円

平成 1年 9月15日発行

編集人 岩田 勉

発行 宇宙先端活動研究会

東京都港区浜松町 世界貿易センタービル内郵便局私書箱165号

***** I A S A ニュース*****

入会案内

本会に入会を希望する方は、申し込み葉書にご記入の上送付し、年会費をお振込下さい。

年会費：3000円（1989年6月～1990年5月）

会誌 無料（1989年7月号～1990年5月号）

なお、会費は主に会誌発行にあてる。

振込先： 振込口座（郵便）No. 2-21144
宇宙先端活動研究会 宛