特別講演 I

人間工学的に見た宇宙開発

谷島 一嘉 (日本大学・医学部)

Space development from the point of view of human factors
K.Yajima (Nihon University, School of Medicine)

1、有人宇宙開発の歴史

1957年、ソ連は史上初の人工衛星スプートニク1号を打上げて世界的なセンセーションを巻き起し、人類の宇宙開発の歴史を開いた。人間が搭乗する有人宇宙船はこれよりやや遅れて、1961年4月のウォストーク1号でガガーリン少佐が初めて地球を周回し、同年8月、チトフ少佐はウォストーク2号で初めて宇宙に一日間滞在した。ウォストーク6号(1963年)ではテレシコワが女性初の宇宙飛行士になり、ウォスホート2号(1965年)ではレオノフが初めての宇宙遊泳を行なった。

初期の宇宙競争で後れを取った米国は、国威を賭けてソ連を追い越そうと、マーキュリー計画、ジェミニ計画、アポロ計画と次々と宇宙計画を発表し、1969年のアポロ11号による初の人類月着陸で一応初期の目的を達成した。その後米国の有人宇宙開発はやや方向を変えて科学的な色彩を強め、米国最初の宇宙科学ステーションであるスカイラブ2、3、4号(1973、74年)では、地球表面や太陽や宇宙の観測と並んで、人間の医学的データを得ることが目標とされた。人間についてはこの他に、宇宙での人間工学的な作業能力を見ることにも重点が置かれた。予想外のアクシデントから、宇宙での人間の修理能力が極めて高いことが証明されたのもこの飛行であった。スカイラブ4号では84日間の宇宙滞在を実現し、これは今もって米国では宇宙滞在の最長記録である。1975年の米ソ協同によるアポロ・ソユーズのドッキングを経て、1981年のスペースシャトル『コロンビア』の成功以後、再使用可能の宇宙船を用いた種々の科学実験や科学観測が比較的ルチーンに行なわれるようになり、同時に人

間が宇宙空間を遊泳しながら宇宙船の修理・点検、衛星の回収作業などを行なう船外活動(EVA)もまた盛んに行なわれるようになった。

一方ソ連は、1967年から現在まで続いている一連のソユーズ、ソユーズT、ソユーズTMシリーズの打上げを開始し、1971年からは宇宙科学ステーション、サリユートの打上げを始めた。サリユートを軌道に周回させておいて人間はソユーズで地球との間を往復し、物資は無人のプログレスで運ぶという方式で、ソ連は度重なる宇宙事故にもめげず、着々と長期滞在の実績を伸ばした。サリユート6号で1977年にロマネンコとグレチコが96日、78年にはコワリョーノクとイワンチェンコフが140日、80年にはボボフ、リュージンが185日、82年にはサリユート7号とソユーズを改良したソユーズTでベレゾボイ、レベデフが211日、84年にはキジム、ソロビョフ、アチコフが237日と記録を伸ばし、さらに86年2月にはサリユートの後継機で本格的な宇宙基地を目指したミールを打ち上げ、それによって87年にロマネンコが326日、89年1月にはチトフとマナロフが365日という宇宙滞在を達成した。これが現時点での最長宇宙滞在記録である。

2、有人宇宙開発の現状と近未来計画

技術的には進んでいるものの宇宙滞在の実績でソ連に差をつけられている米国は、現在西欧諸国、日本、カナダ等との国際協力による宇宙基地の建設計画を進めており、1990年の半ばから実用に入る予定である。宇宙基地は地上約500Kmの高度を周回し、乗組員は最初の数年は8名で、半年ごとの交代を予定している。

これに続いてNASAでは21世紀の初頭から半ばにかけて、月面基地、フォボス（火星の衛星）基地、火星基地、小惑星基地、タイタン（土星の衛星）基地と、壮大な計画を続々と予定している。これらの計画は例えば予算面をとってもNASAだけで遂行することは不可能で、宇宙基地と同じ様な国際協力によって初めて達成される種類の計画である。特に火星を次の主目標にしたプロジェクトバスマインダーと呼ばれる有人宇宙開発計画は、片道でも一年は掛かる計画であるため、いかにして人間を生かすかということが大きな問題になっている。骨からの脱灰（デミネラリゼーション）の問題、放射線の問題、長期隔離に起因する精神的問題、筋肉の萎縮の問題、その他、現時点では未だ影響がはっきり分かっていない循環系、神経系、代謝系、免疫系、血液系の変化の問題があり、さらに酸素や水や食料の供給の問題、排泄の問題、それに未知の予測できない問題など、宇宙で人間を長期間生かすためには、まだまだ解決しなければならない問題が山ほどある。一説によると、ソ連の達成した一年間の宇宙滞在は火星を目標にしたものだとも言われているが、やはりソ連だけではどうにもならず、今後は国際競争よりも国際協力が必要な時代というか、むしろ当たり前な時代に入っていくことであろう。

3、日本の有人宇宙開発

一方日本の現状はどうかというと、米国の宇宙基地への国際協力については1988年に日米間の調印が終了し、実験モジュール一個および補給用モジュール半個の余圧部と、物資の移動に必要なマニピュレータ（スペースアーム）および暴露部（宇宙実験・通信用）をもって宇宙基地に参加することが正式に決まった。日本の有人宇宙開発は現在宇宙開発事業団が専ら担当しているが、宇宙基地計画のための予備設計は数年前から少しづつ進んでおり、地上訓練用のモジュールが宇宙開発事業団の筑波宇宙センターにほぼ完成している。

宇宙基地に先立ってスペースシャトルを使用して七日間の宇宙実験を行なう日本の第一次宇

宙実験（FMPT）は、1991年7月に予定されている。34の宇宙実験のテーマの中で、22が材料関係の実験で、残りの12がライフサイエンス実験である。実験を担当する日本人宇宙飛行士（パイロードスペシャリスト）には周知のごとく三人が選抜され、目下訓練の仕上げに入っている。三人の内一人がFMPTで実際にシャトルに搭乗し、日本人宇宙飛行士の1号になる。その際、他の二人は地上から実験等のバックアップをすることになる。

未だ確定していないが、FMPTの翌年1992年の12月に、IML-2（国際微小重力実験室）というスペースシャトルを使ったミッションが計画されている。日本からもいくつかの実験テーマが提案されているが、もし日本の実験が多く採択されれば、二人目の日本人宇宙飛行士が誕生する可能性がある。

その後は宇宙基地への参加となるが、日本は1996年から日本モジュールの設置に参加する予定なので、先ずその際に宇宙に出て基地とモジュールをドッキングさせる人間が必要になる。もしもこの宇宙大工の人材に日本人が選抜されるならば、その人間が日本人初の宇宙体験者になろう。いずれにしても地上とは全く異なる条件下で建設作業をするのであるから、十分な訓練を多分NASAで受けることになる。

これとは別に、宇宙基地に常駐して宇宙実験を遂行する宇宙飛行士については、最低半年間は宇宙に滞在しなければならない、しかもEVAがルーチンの業務になりそうなので、身体的にもより健康な資質を持った宇宙飛行士が要求されよう。医学選抜基準も現在より厳しい、ミッションスペシャリスト程度の基準を選ぶ必要がある。この新しい宇宙飛行士の募集は、人数は10～15人程度で、時期はあと2、3年の内に、宇宙開発事業団が行なうことになる。

宇宙基地に参加した後の日本の有人宇宙開発はまだはっきりしない。具体的には、日本独自の（有人）宇宙往還機であるスペースプレーンを開発するのか、見合わせるのか、するならばいつごろになるのか、その後のNASAの月面基地、火星基地などにどの程度協力するのか、

しないのか、といった問題に対する明確な方向付けは未だない。スペースプレーンについては現在その基礎的先行的研究が宇宙科学研究所、航空宇宙技術研究所、宇宙開発事業団などでエンジンや機体の概念設計などが各個に行なわれている程度である。国の基本的な宇宙政策を規定している『宇宙政策大綱』（昭和59年2月改訂）ではスペースシャトルの利用を積極的に推進しているが、我が国独自の有人計画については、『我が国独自の有人サポート技術については、今後、さらに十分な調査検討を行ない、その技術的見通し等が得られてから計画を進めることにする』としており、21世紀初頭の有人ヴィジョンはあまり明確ではない。

4、人間工学的に見た宇宙開発

自動車や航空機の例を引くまでもなく、宇宙船の設計においても、人間の作業空間や計器・器具等の配置に関し、十分な人間工学的配慮が成されたことは想像に難くない。

宇宙環境で成された人間工学的研究はまだ殆どないが、地上の実験や研究で得られている人間工学の各方面の色々なデータは、かなりの部分が宇宙開発にそのまま利用出来るか、または演繹が可能である。

人間工学的に見た地上と宇宙の最も大きい違いは重力の有無であろう。無重量の結果、抗重力筋が働かないので、人間は第1図のような独特の前傾姿勢をとる。

第1図、地上と宇宙での姿勢の変化
(ソーントン、ホフラー、ランメル、1977年)

地上で手の届く範囲、足の届く範囲などというのは、無重量では当てはまらない。少し動けば天井まで手が届くし、上下の感覚も区別がなくなってしまう。宇宙基地の中はそれほど広くないので、作業空間も居住空間も、地上でいう上から下まで活用しなければならない。宇宙船では、居住性と快適性を両立させることが極めて難しい。

例えば宇宙基地では、一日8時間の睡眠を摂るベッドの配置も、壁の四面と天井の面をフルに使って配置される。洗面所も、トイレも、シャワーも、重力がないので水が流れない。そこでスペースシャトルや宇宙基地では、試行錯誤の結果、これらは全て風力で処理される設計になっている。また空間を移動する際にも歩くわけにいけないので、移動に便利のように把手があちこちに付けられている。移動時の不慮の事故を防ぐため、鋭いエッジは露出させず、電線の配置なども考慮されている。狭いながらも個人のプライバシーが最低限守られるように個室（二人に一つ）もある。そこにはテレビ、コンピュータ、地上との交信等の設備も備えられている。

医療設備については、万一手術が必要な時には特殊な足掛りの付いた床と靴を使用する。人工呼吸はベルトで術者の身体を先ず床に固定してから行なう。このように地上とは全く異なるあまり快適とはいえない環境で生活し、作業するのであるから、飛行士達は慣れるまでに相当なストレスを受けて当然であろう。

人間工学的な興味の中心は、恐らく作業場の設計であろう。操作範囲にしる、人体計測値にしる、姿勢や操作範囲が変わるので地上のデータがそのまま使えない。マコーミック(1964)の作業場の割り付け・配置の原則がそのまま使えるかどうか。レバー類の握りやスイッチも地上の原則がどこまで使えるか問題である。表示系に関しては問題が少なく、現在の複合表示がより発展して威力を発揮するであろう。

安全性の問題は、宇宙船のような大規模なシステムになると人間要素がどの程度関与する余地があるか、未知の問題である。今迄の宇宙船

の事故を調べた限り、宇宙飛行士に主たる原因がある事故の割合は地上の乗り物ほど多くはないようである。このことは宇宙船の自動化が進んでいることを意味するのか、宇宙船の数がまだ少ないからか、飛行士の資質が優れているのか、今後の調査を待たねばならない。

人間の感覚については、宇宙における感覚の変容の問題が指摘されている。重力感覚が無くなるのが、宇宙適応症候群（宇宙酔い等）発生の大きな原因と考えられているが、この他にも視力、色覚の変容、重力性および回旋性の錯視、錯覚の発生等が報告されている。

最後の重要な問題は、宇宙における人間のパフォーマンスである。現在の人間工学で扱う人間の感覚は、地上での感覚を基本にしている。この感覚や知覚機能が無重量で影響を受けるとすると、人間のパフォーマンスもまた変わってくるのが十分考えられる。無重量に限らず、宇宙環境で人間が遭遇する気圧、振動、騒音、加速度、温度、放射線等も、いずれも人間のバ

フォーマンスを上げるよりも下げる方向に働く可能性が高い。

スカイラブの修理に際したEVAと船内活動で、予想以上に人間のパフォーマンスが高いことが判明したが、これが人間にとって良いことかどうかは別にして、今後人間が宇宙で作業する比率が増すであろうことを意味している。

5、人類と宇宙

人間の冒険心、探究心、宇宙環境の利用、宇宙資源の探索、人口爆発、地球の環境破壊、宇宙生命体の発見、未知への期待、理由は色々つけられるが、人間が宇宙に出るのは未来の必然の帰結であろう。人類にとって宇宙は今迄はSFとロマンの対象でしかなかったが、20世紀以後、具体的な開発の対象になってきた。宇宙で人間が生活するための有人サポート技術の重要な一分野として、宇宙の人間工学が発展することを願って止まない。

6、参考文献

- 1、Space physiology and medicine. NASA, 1982.
- 2、宇宙開発ハンドブック'85. 経団連, 1985.
- 3、宇宙飛行士になるための本. 同文書院, 1987.
- 4、Handbook of human factors. Wiley Interscience, 1987.