

## ●視 点

## 深海潜水技術と宇宙有人技術の接点

神田 修 治\*

## はじめに——深海潜水技術

日本高気圧環境医学会の会員には、医師等の医療従事者、医学研究者の他に医用工学研究者、技術者が加えられているが、私は医用工学技術者の一員として本学会に参加してきた。私はもともと船舶工学科卒業の造船技術者であり、潜水艦設計に従事し、その技術を応用して深海潜水装置の開発に取り組み、海洋科学技術センターのSDC・DDCシステム<sup>1)</sup>や海上自衛隊・潜水艦救難母艦の深海潜水装置(DDS)<sup>2)</sup>の開発建造に参画したが、これらの装置では有人の高圧区画の環境制御と生命維持システム(Environmental Control and Life Support System-ECLSS)が特に大切で、高圧環境等が人体におよぼす影響と人体の反応、適応ということの重要性を実感を伴って認識しつつ、学会諸兄のご指導をいただきながら取り組んできた。これらは深海潜水の分野における有人技術といえる。

## 宇宙有人技術への応用

1980年頃からこの有人技術を宇宙開発の分野に応用しようという気運となり、私も宇宙有人技術の分野に参画することとなった。当時日本の宇宙開発はロケットによる人工衛星の打上げ等の無人システムが主であったから有人技術の蓄積は乏しく、深海潜水の有人技術を応用し、これに米国の先進技術を取り入れて技術力を蓄積向上しようとしたのであった。この中で私達は人間が宇宙に進出するために必要となる技術につき、宇宙の諸々の異常環境が人体におよぼす影響やそれへの対応策等について調査研究し、技術開発をするという仕事にたずさわった<sup>3)</sup>。これらの事柄は宇宙の有

人技術といえる。

日本の宇宙有人技術は1990年代になると、「ふわっと'92」をはじめとする、スペースシャトルを用いた日本人宇宙飛行士による有人活動が行われるようになったが、これらは米国NASAの技術や体制に大きく依存したものであった。その後日本における技術開発も徐々に進展し、現在では国際協同による宇宙ステーション開発計画において日本の有人の宇宙実験モジュール(Japan Experiment Module-JEM)の開発を推進しているところである<sup>4)</sup>。

JEMは高度約400kmで地球をまわる宇宙ステーション(図1)に組み込まれるモジュールで直径約4m、長さ約10mの気密区画(与圧部)を中心とし、これに補給部、曝露部等を付属したものである。与圧部には人間が居住し、材料科学や宇宙医学等の無重力下実験を行うことからその内部は人間の活動に適したガス組成、圧力、温湿度にコントロールするためのECLSSが設けられる。これはさきに述べた事情により深海潜水の分野で培われたECLSS技術をベースとして、これを発展させて開発されている。

すなわち潜水装置のガス組成制御は、LiOH等によるCO<sub>2</sub>除去やO<sub>2</sub>を高圧容器に保有し、これを区画内に放出する方法であり、スペースシャトルも同様の方式を採用している。ところが宇宙ステーションでは運用期間が長く、資材の補給や乗員交替の間隔についても90日程度と、潜水分野における飽和潜水よりもさらに長期になることから、長期間補給なしに運用するため、CO<sub>2</sub>吸収剤を再生可能なものとしたり、吸収されたCO<sub>2</sub>から再びO<sub>2</sub>を製造する等の技術が研究されている<sup>5)</sup>。

またスペースシャトルや宇宙ステーションの内部は地上と同じ1気圧に保持することとされているが、この与圧区画から宇宙服を着て外へ出る船

\*川崎重工業㈱西神工場 航空宇宙事業本部

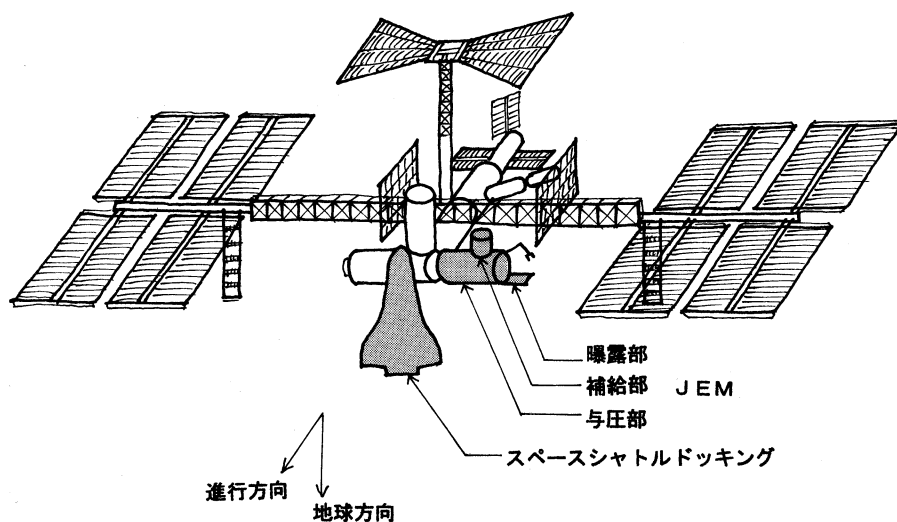


図1 宇宙ステーション略図

外活動 (Extra-Vehicular Activity-EVA) は宇宙有人活動の中で重要なものであり、潜水分野のダイバーが潜水服を着て海中に出て行うロックアウト作業に比すことができる。ただし宇宙の場合は周囲が真空であるため宇宙服の内部は所要の気圧を保持することが必要であり、宇宙服の気密性と柔軟性の双方を両立させるため内外圧力差はあまり大きくせず、内圧は0.3気圧程度としている。この場合、前述の与圧区画1気圧から宇宙服の0.3気圧への移行に際して減圧症が問題となるため、安全な減圧手順やO<sub>2</sub>呼吸による減圧症の予防等の技術は、潜水技術にならうとともに、潜水と共通の課題を抱えている。このように、宇宙ステーションのECLSS等の宇宙有人技術の開発においては、潜水技術と同様に人体が異常環境から受ける影響を知り、それに立脚したシステム開発を行うことが必要である。このようなアプローチの方法に潜水技術と宇宙有人技術の共通点を見ることができる。

#### 宇宙医学の課題点

さて宇宙の異常環境が人体におよぼす影響や、宇宙医学について私の見聞からすこし記したいと思う。

人体に影響する宇宙環境要因の中で最も重要なものは無重力といえよう。スペースシャトル等で

地球周回軌道の無重力状態に入ると乗員に宇宙酔いが現われることがある。これは船酔いに似て吐き気、頭痛等の不調を起す。発症の原因としては三半器官や耳石等の前庭器官へのインプットが無重力により変化し、視覚や触覚等との総合的な感覚調節に混乱をきたすためであると説明されている。しかし、まだ不明確な点も多く、現在もこれに対する調査研究が進められている。

つぎに、無重力が心臓・循環系に影響をおよぼして体液分布が頭の方へシフトし顔がむくんだ状態になるとともに水分代謝等の変調をきたす。そして地上では重力に抗して血液を頭部へ循環するのに比べ、無重力下では心臓の負担が軽くなるが、この状態に適応したあと地上へ戻ると、今度は逆に心臓への負担が増え、帰還時の貧血や立ちくらみ等を起すおそれがある。これについては浸水実験、ベッドレストによる地上での無重力シミュレーション実験や、下半身陰圧負荷装置 (Lower Body Negative Pressure-LBNP) によって下半身へ血液等を引き寄せて、無重力適応後の地上帰還時のシミュレーションをする実験や訓練が行われている。

さらに長期間無重力に曝されると筋肉の退化や骨からのカルシウム離脱が起り、宇宙ステーション等の長期の滞在では深刻な問題となる。潜水の分野では無菌性骨壊死の問題が知られている

が、骨は身体の中でも代謝速度が遅い部分であるため異常環境への適応や通常環境への再適応に長時間を要するので潜水と宇宙の両方で類似のかつ特有の問題を発生するものと思われる。その他にも無重力が免疫系やホルモン系におよぼす影響、心理学的影響、作業能力への影響等、各分野における研究が進められている。

### 潜水と宇宙の接点

このように宇宙分野における前庭系、心臓循環系、筋骨系等と体系的に究明するというアプローチは潜水医学の分野でも全く同様だと私は感じる。生理学的研究法として当たり前のことといえばそれまでだが、私にはこの類似性は、潜水、宇宙両方における各系の専攻研究者同志の協力の点からいっても重要な事の様に思われる。また研究の手法についても、浸水実験、ベッドレスト、LBNP、動物実験等各種のシミュレーション実験手法が駆使されているのは、無重力という異常環境を地上で再現する工夫の結果といえるが、同様に、潜水分野においても深海の水中、高压等の環境を地上で潜水シミュレータ等、種々の方法でシミュレートしており、両分野は研究手法という点でも相通ずるものがあると感じる。

視点を変えて、潜水分野の技術を宇宙有人技術に応用している例としては、無重量模擬実験設備 (Weightless Environment Test System - WETS) があげられる<sup>9)</sup>。これは宇宙開発事業団 (NASDA) の筑波宇宙センターに設置された大規模な浸水実験装置であり、直径約 16m、深さ約 10m の巨大な水槽中に宇宙ステーション等の部分模型を沈設し、これに潜水服の機能を有する模擬宇宙服を着用した飛行士が潜水して水の浮力による無重力模擬環境のもとで実験や訓練を行うものである。これには万一減圧症が発生した場合に備えて再圧治療装置が付属されている。このように WETS は宇宙有人技術の研究設備でありながら、潜水技術を随所に応用したケースといえよう。このように見てくると潜水技術と宇宙有人技術は、深海と宇宙という極端にかけ離れたもののように見えるが、実際は大変緊密な関係にあることに気がつく。

潜水技術分野の研究開発は、本学会を中心とし

て、各大学や病院、海洋科学技術センター、潜水医学実験隊等で推進されていることは、学会諸兄も御周知のとおりである。一方宇宙有人分野の学会としては日本宇宙航空環境医学会があり、名大環境医学研究所、東京医科歯科大、慈恵医大等の各大学、研究所、病院等、宇宙開発事業団、航空医学実験隊等において研究開発が進められている。これら両分野における研究開発活動にすこしでも参画して私は、両分野の者が協力して活動を結集すればさらに広範囲の新視点が拓け、また両分野で類似であったり、異なりする研究の手法や内容を相互に知ることによって研究開発活動の深化をはかる等、互いによいインパクトをおよぼすことができるのではないかと思う。このことはさきに本学会においても同様の有益な提案がなされているが<sup>7)</sup>、その実現にはなかなか困難もあるようである。困難は承知の上で、さらにひとつ提案を加えると、両分野共同で上述のような共通点に着目してトピックスを取り上げ、合同シンポジウムを開催してはどうかと考える。

このようなシンポジウムは、1987年に ESA (欧州宇宙機関) のコーディネートにより、主にフランスの両分野の学会が共催し、「SPACE AND SEA」と名付けられてマルセイユで開催されたことがあるが<sup>8)</sup>その後、最近では開催されていない模様である。これらの前例を調査して参考にしながら、シンポジウムを企画すれば、両分野の研究開発がそれぞれ相互に刺激を受けて、ともに進展するという、いわゆるシナジー効果が得られる事となり誠に有意義ではないかと思う。

### おわりに

以上、私のかかなり古い経験や情報に基づき、宇宙有人技術について紹介するとともに、これが我々の潜水技術と密接な関連を有することと、さらに両分野の活動を結集してシナジー効果を上げるべきこと等を述べた。活動の結集については、両方の分野の担当の方々や各組織にそれぞれ複雑で困難な事情もあろうかと思いつつも敢えて顧慮せず私個人の思うままを述べて不用意な点もあるかもしれないが、我が日本高気圧環境医学会の発展を願う者のひとりとして関連の方々のご検討の素材のようなものとなればよいとの思いからのものであるので御寛容願いたい。

## 〔参考文献〕

- 1) 神田他：海洋科学技術センターのSDC・DDCシステムにおける環境コントロールについて，日高压医誌 V.17. n.1 (1982)
- 2) 神田他：潜水艦救難艦・深海潜水装置，日高压医誌 V.18. n.2 (1983)
- 3) 神田他：宇宙ステーションの環境制御生命維持システム，宇宙ステーション講演会，日本航空宇宙学会 (1985)
- 4) 堀川：宇宙ステーションと日本の有人宇宙飛行技術，機械の研究 V.48. n.1 (1996)
- 5) 宇宙ステーション JEM 環境制御系の開発研究，川崎技報 n.102 (1989)
- 6) 小林他：無重量シミュレーション実験，川崎技報 n.134 (1997年7月)
- 7) 榊原：わが国における高気圧酸素治療の回顧と展望，日高压医誌 V.21. n.1 (1986)
- 8) Proc. SPACE AND SEA, ESA, Marseille, France (1987)