

●原 著

潜水後の高所移動と減圧症に関して ＜環境の実測と動物モデル＞

榎木暢雄*¹⁾ 毛利元彦*²⁾

近年、潜水後の高所移動（車による高地への移動や航空機による移動）を原因とする減圧症が問題化している。伊豆半島西岸での潜水後東名高速道路による東京への帰宅時の山間部高度と、南西諸島や九州方面での潜水後航空機による東京への移動時客室相当高度を測定した。低圧環境のより厳しい航空機移動条件と減圧症発現との関連をラットとウサギを用い検討した。その結果、西伊豆での潜水後数時間内に高速道路の最高地点（約500m）に到達し、また航空機の客室相当高度は離陸後約15分で2,000-2,500mに達することが判明した。動物実験における高圧環境後の低圧環境暴露では、高度数百メートルから死亡例が見られ、2,500m以上でより顕著となった。

キーワード：潜水，減圧症，飛行，高地，動物実験

Risk of decompression sickness caused by driving to altitude and flying after diving

N.NARAKI* and M.MOHRI**

* Japan Marine Science and Technology Center,
Showa-machi, Kanazawa-ku, Yokohama
e-mail:narakin@jamstec.go.jp

**Nippon Marine Enterprises, LTD., Yokosuka

Risk of Decompression Sickness (DCS), concerning the ascending in an automobile and flying after diving increases in recent years. The diving in west-coast of Izu peninsula and in Nansei Islands are very popular for recreational divers. Many divers return to Tokyo driving pass the mountainous area from Izu, and fly back to the main island from Nansei Islands. Therefore, we measured the altitude of the expressway from Izu to Tokyo, and the cabin altitude of commercial flights from Nansei Islands. We verify the risk of flying after diving with

the animal experiments, the hypobaric exposure 0.07 MPa (3,000m altitude) after the hyperbaric exposure 0.4 MPa on rats and 0.5 MPa on rabbits.

Within a few hours after diving, the divers can arrive the highest point (466 m altitude) of expressway. The cabin altitude increased to 2,000m - 2,500m within 15 min after takeoff for the flights at around 10,000m altitude. On the animal experiments, we observed the high level DCS over 500 - 1,000m altitude for short interval conditions.

Keywords : _____
diving, decompression sickness, flying, altitude,
animal experiment

はじめに

近年は潜水装備の進歩とモータリゼーションの

*1) 海洋科学技術センター横浜研究所

*2) 日本海洋事業株式会社

受付日 2002年7月1日

採択日 2002年7月25日

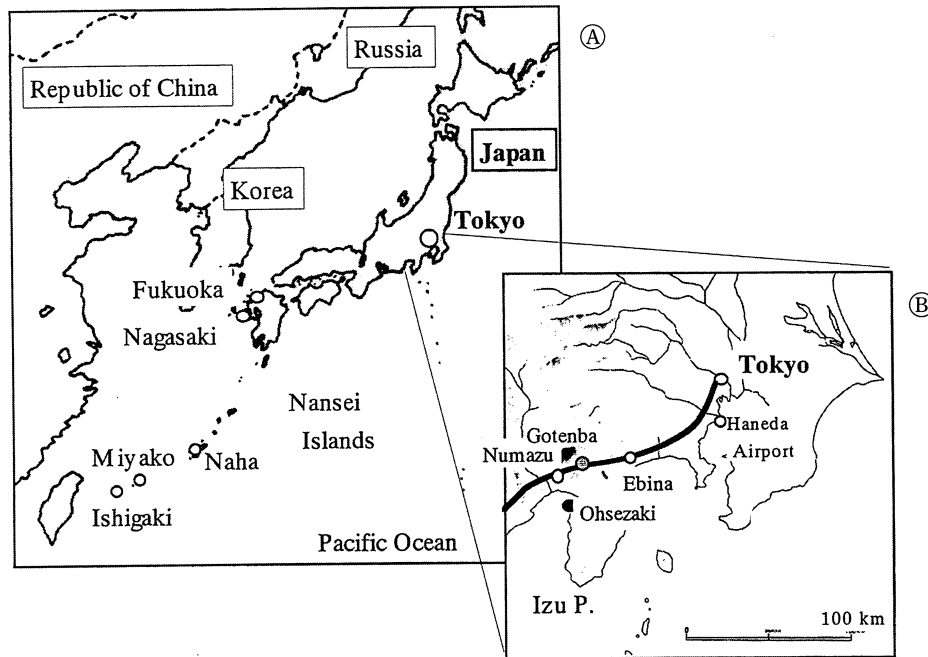


図1 潜水後の高所移動環境の測定経路

Fig. 1 General location of Japan

A: Nansei islands (from Kyushu to Taiwan) is popular diving place, many divers return to main island by domestic airline after their diving.

B: Ohsezaki, it's very popular diving spot for recreational diver in Tokyo area. The divers return to Metropolitan area driving through the mountainous Izu peninsula.

発達により、潜水後数時間内の高所移動（低圧環境曝露：自動車による高地への陸上移動や航空機を利用しての移動）が非常に容易になっており、これに起因する減圧症の発現が問題化している。潜水後の高所移動の危険性は、注意事項として潜水者の頭にはあっても、減圧速度や減圧停止などの潜水中の注意事項ほど留意されない傾向がある。国内における潜水後の高所移動に関しては、山見ら（1999年）¹⁾、2001年）²⁾、芝山ら（1999年）³⁾により関東地区における陸上移動について詳細に報告されている。しかし、これらの報告での高所移動時の環境は、地図からの推定や航空会社提供による概値（眞野、1997年）⁴⁾であるため、本研究では高所移動環境を実測するとともに、潜水後の航空機移動が減圧症発現に及ぼす影響をラットとウサギを用い検討した。

潜水後の高所移動の危険性は、1988年のUHMSのワークショップにおいて当時の米国の現状が解析され（P.J. Sheffieldら、1989年）⁵⁾、そのガイドラインやその後の各種潜水規範（P.J. Sheffieldら、

1990年）⁶⁾では、潜水後の高所移動による減圧症を避けるため、潜水後数時間から半日、さらに減圧停止を必要とした場合には、潜水後12時間から24時間の高度数百メートル以上への高所移動は禁止されている（R.D. Vannら 1996年）⁷⁾。また航空機移動に関しては、客室相当高度（客室内気圧より算出、以下“客室高度”と記す）による制限が記載されているが⁵⁾、商業航空路線においてはその客室高度は公示されないばかりか、事前に知ることは困難であり、例え知り得ても天候等によっては飛行途中で変更されることもある。そのため乗客は、自己防衛に旅客機が取りうる最大客室高度を想定すべきであろう。

気象条件や海象に左右される潜水の実情においては、日程の都合等により潜水直後の高所移動を行う場合が見受けられる。先述の例^{1)~3)}では、関東在住のダイバーが伊豆半島西岸における潜水後、その6~8割が伊豆半島の山間部を車により移動し、高所移動による減圧症の発現閾値環境（潜水後の2~5時間に高度400~1,000mへの移動）に曝さ

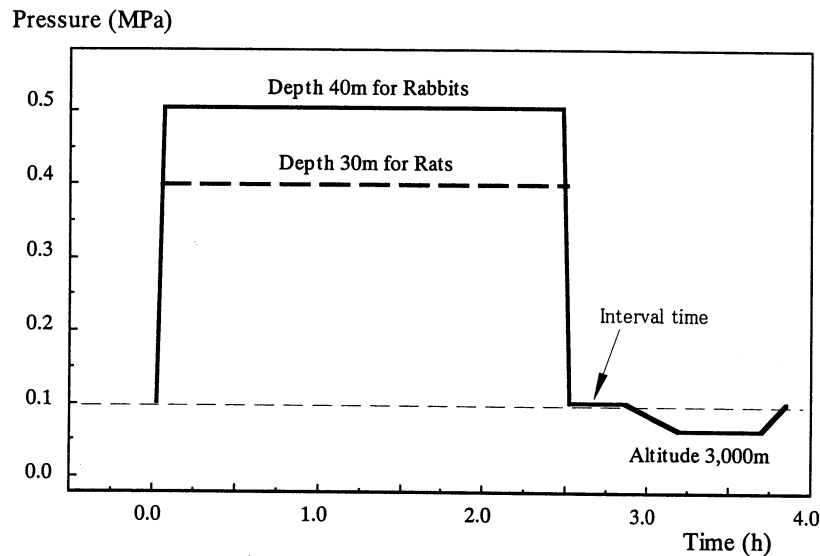


図2 潜水後の航空機移動の動物モデル実験（ラットとウサギ）

Fig. 2 Profile of hyperbaric and hypobaric exposure of the animal experiment, simulation of flying after diving.

hyperbaric exposure :

compression and decompression rate were 0.1 MPa/min (depth of 10 m/min), pressure holding at 0.4 MPa (30 m depth) on rats (Fig-2A) and at 0.5 Mpa (40 m depth) on rabbits for 2h 30.

Interval time : 1, 5, 10, 20, 30 min

hypobaric exposure :

decompression rate was 300 hPa/min (altitude of 3,000 m/min), pressure holding at 500, 1000, 1500, 2000, 2500 and 3,000 m altitude for 30 min.

れるとしている。また他の高所移動の例として、南西諸島などでの潜水後の航空機による移動がある。そのため本研究では、潜水後の高所移動の典型的モデルとして、東名高速道路を利用した伊豆半島横断時の高度と、沖縄、九州方面から東京への航空機移動時の客室高度を測定した（図1）。客室高度に関して研究当初は、航空会社では全便について飛行高度と客室内環境を記録し数ヶ月間保存しているとのことで資料提供を申請したが、安全運行上の問題ありとの理由により、資料の提供を受けられず実測した。上記測定より判明した、低圧環境がより厳しい航空機移動が減圧症発現に及ぼす影響をラットとウサギを用い、潜水による高圧曝露から高所移動による低圧曝露までの時間（インターバル）と低圧環境条件（高度）の組み合わせが減圧症発現に及ぼす影響を検討した。

方 法

陸上移動時の高度ならびに航空機の客室高度は、気圧より換算した。気圧の測定には、Data Instruments社製の気圧変換器（Silicon Pressure Transducers XCX-Baro, 測定範囲：700-1100mbar）と携帯式データ収集装置（グラム社製のLT-8B）を用い1分毎に測定した。さらにこの気圧測定装置の予備として、腕時計式高度計 CASIO PROTREK（最大、最小高度と15分毎の自動記録、測定最大高度：4,000m, 表示精度：5 m）を使用した。

航空機の客室高度は1998年～2001年にかけての約3年間に、沖縄、宮古島方面への飛行において6便、福岡、長崎方面6便と広島方面1便の計13便について往復時に、また国際線6路線（17便）について測定した。いずれの路線においても使用航空機は大型旅客機（ボーイング-737,-747,-777型機やエアバス-300,-320型）がほとんどで、国内線の航空会社は日本航空（JAL）、全日空（ANA）、日本エアシステム（JAS）、エアーニッポン（ANK）、日本ト

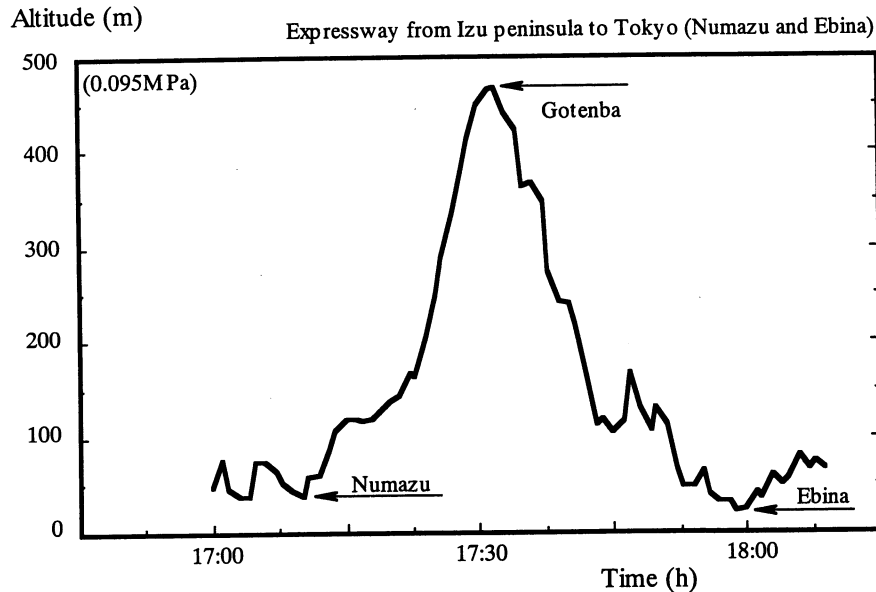


図3 東名高速道路における西伊豆から東京方面への移動時の高度

Fig. 3 The altitude of expressway from west side of Izu peninsula to Tokyo area.

Numazu: the nearest entrance of expressway from Ohsezaki (diving spot)

Gotenba: foot of Mt. Fuji,

Ebina: end of mountainous route in Tokyo (east) side

ランスオーシャン航空(JTA)の5社であった。

東名高速道路を利用する西伊豆から首都圏への移動時の高度は、1999年12月の晴天時に前述の気圧測定装置を乗用車に装備し、沼津IC～海老名IC間を往復実走して測定した。

高压タンクを用いた動物実験における模擬潜水の高压曝露環境圧は、予備実験によりウサギの減圧症耐性がラット以上であることが判明したため、ラットでは空気4ATA (0.4MPa) の相当深度30m、ウサギでは5ATA (0.5MPa) の深度40mとし、また模擬航空機移動の低压環境は、測定結果の最大客室高度の約2,500mより一段階厳しい条件の高度3,000m (0.7ATA, 700hPa) までとした。高度と気圧の概算関係は、高度1,000mを約900hPa, 2,000mを800hPa, 3,000mを700hPaとした。また動物実験では短時間潜水の定義が困難なため、ラットでは深度30m、またウサギでは深度40mの空気飽和潜水(加減圧速度: 0.1MPa/分 (深度10m/分)、高压環境での保圧時間を150分間) とした。模擬潜水の減圧終了から、低压環境曝露への減圧開始までの期間を5種のインターバル (1, 5, 10, 20, 30分間) とし、減圧速度は一定の300hPa/分 (1分で高度3,000mへ到着) とした。低压曝露 (保圧): 30分の

後、30hPa/分の速度で大気圧に復帰させた。低压曝露環境は、1,000～700hPaまでを50hPa (高度500m) 毎の6条件とした (図2)。高压タンク内環境条件は、気温: 22～25℃, 湿度: 40～70%, 二酸化炭素濃度: 0.1%を越えない範囲で連続換気を行った。しかし、高压環境の急速加減圧時に数分間ではあるが、設定温度範囲を数度逸脱した。

実験条件は、インターバル5条件と低压6条件の組み合わせと、高压環境曝露のみ (ラットでは0.4MPa, ウサギでは0.5MPa) と低压環境曝露のみ (700hPa) とした。ウサギの実験では厳しい条件より実施し、減圧症発現の可能性がない条件、または確実に発現する条件は省略し、さらにインターバル1分と975hPa (高度250m) の1実験を加えたため、全23条件であった。ラットの実験-Iでは全実験条件に長期インターバルの45分と60分で700hPaへの減圧実験をも加えた34条件とした。さらに別のシリーズとして700hPaへの低速減圧 (減圧時間4条件: 5, 10, 20, 30分) とインターバル5条件との組み合わせについても実験を行った (ラット実験-II)。実験に用いたラットは、20～22週齢イマミチ (オス)、体重の平均は約500gを各実験条件について実験-Iでは7匹、実験-IIでは原則5匹ずつ用いた。

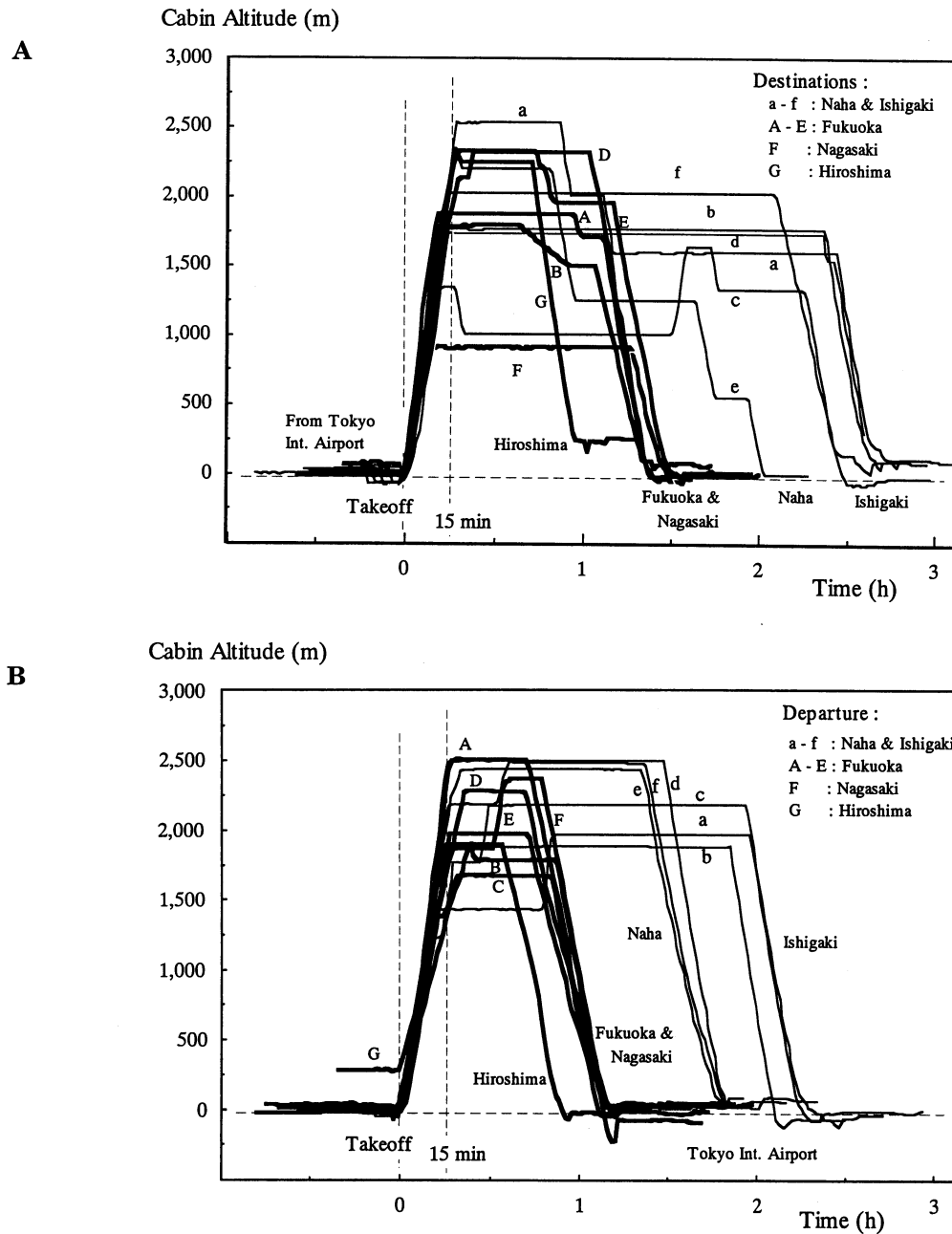


図4 航空機客室高度 (A: 羽田空港よりの西向便、B: 羽田空港への東向便)
Fig.4 Cabin altitudes of commercial aircraft between Nansei, Kyushu and Tokyo
A: West route (from Tokyo to Nansei Islands)
B: East route (from Nansei Islands to Tokyo)

また使用したウサギは、Japanese Whiteの雄、約20週齢、平均体重が約3 kgを3頭ずつとした。減圧症の有無はチェンバー外から観察し、以下の3段階とした。四肢や頭部、尾部を掻く：軽症、頻呼吸を伴う呼吸異常：中程度症、実験後24時間内の死亡も含めた身動きができない：重症とした (C.A. Wardら1990年⁸⁾ , G.W.Pollardら 1995年⁹⁾)。

結 果

陸上の高所移動環境：

東名高速道路における沼津IC (インターチェンジ) から海老名IC間は、渋滞もなく約50分で走行でき、その間の最大高度は御殿場付近の466m (960hPa) であり、沼津ICから御殿場の最大高度

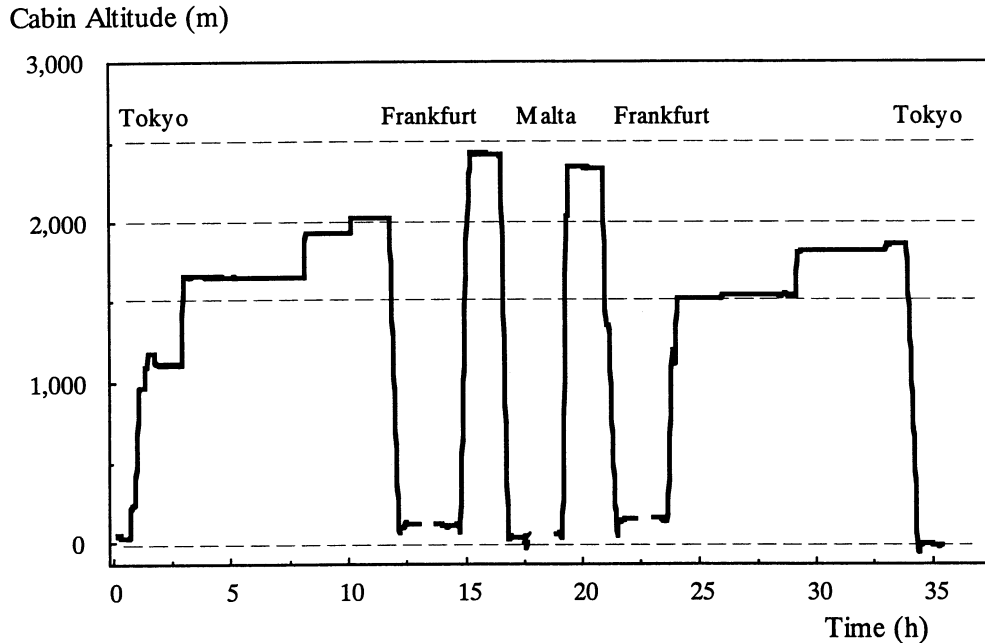


図5 国際航空便における客室高度（東京ーフランクフルトーマルターフランクフルトー東京）

Fig. 5 Cabin altitudes on commercial aircraft in international routes (between Tokyo and Malta via Frankfurt).

Routes, Aircraft and Maximum cruising altitude

Tokyo - Frankfurt	B747-400 : 11,700m
Frankfurt - Malta	A320-200
Malta - Frankfurt	B737-300 : 10,700m
Frankfurt - Tokyo	B747-400 : 11,300m

地点までの所用時間は約20分であった（図3）。

航空機による高所移動の環境：

商業用航空機の飛行高度は多くの要素により異なるが、高度約10,000mを飛行する航空便の客室高度は、離陸後約15分間に直線的に上昇し、1,500～2,600mとなることが多く、その後巡航飛行時には保持され、着陸時には離陸時と対照的に約15分で大気圧に復帰した。測定した各25便における最大客室高度は、900m～2,600mであった。このうち最小の客室高度：900mを記録した長崎への便の飛行高度は6,700mと、他の便に比べてかなり低いものであった。また沖縄、九州方面から羽田への東向便の客室高度は、ジェット気流の利用であろうか約2,250mで、西向便の1,840mに比べて、有意 ($p < 0.05$) に大きい客室高度で、また飛行時間も約2割ほど短い傾向があった。また巡航飛行時には、2～3段階の変更がある場合も認められた（図4）。

さらに、長距離航空路線との比較のために、同

一機ではないが東京からフランクフルト経由マルタへの往復時の客室高度を測定した結果、比較的短距離のフランクフルトーマルタ間は東京ーフランクフルト間の長距離路線に比べて、より高い傾向が伺われた（図5）。

動物実験

ウサギでは、ラットに比べ中程度症状の呼吸異常があまり明確には認められなかった。

動物実験における高圧曝露（ラットでは0.4 MPa、ウサギでは0.5 MPa）における2時間30分の保圧後、3～4分で減圧し大気圧復帰する場合、減圧終了後5～20分に約半分の動物に頭部または四肢の皮膚を掻く軽症が、ラットでは7匹中1匹に頻呼吸の症状が認められた。そのため使用した高圧環境曝露条件は、減圧症発現閾値に極めて近いものと思われる。高圧曝露なしで最大負減圧（700hPaまで1分）においては、減圧症的症状は全く認められなかった。

表 1 ラット実験におけるA: 死亡率とB: 呼吸異常発症率

Table 1 Mortality and Respiratory Decompression Sickness: RDCS rates on rats caused by simulated "flying after diving".

Rats : 20-22 weeks old, male, 450 - 550g,

7 rats for each experiment for Serie-I

5 or 7 rats for each experiment for Serie-II

A: Relationship between Mortality rate and hypobaric conditions:

Altitude (m)	Pressure (hPa)		Interval time (min)						45	60
			1	5	10	20	30			
Serie - I										
500	950		0/7	0/7	1/7	0/7	0/7			
1,000	900		1/7	2/7	1/7	2/7	1/7			
1,500	850		2/7	1/7	2/7	2/7	0/7			
2,000	800		2/7	1/7	2/7	1/7	1/7			
2,500	750		5/7	3/7	2/7	2/7	0/7			
3,000	700	1	6/7	3/7	2/7	3/7	1/7	0/7	0/7	
Serie - II										
Decompression time to 3,000m (min)										
3,000	700	5	4/7	4/7	2/7	2/7	0/7			
3,000	700	10	3/5	1/5	1/5	1/5	0/5			
3,000	700	20	2/5	1/5	1/5	1/5	1/5			
3,000	700	30	1/5	1/5	1/5	1/5	0/5			

B: Relationship between Respiratory DCS rate and hypobaric conditions:

Altitude (m)	Pressure (hPa)		Interval time (min)						45	60
			1	5	10	20	30			
Serie - I										
500	950		1/7	2/7	3/7	1/7	1/7			
1,000	900		3/7	2/7	2/7	4/7	3/7			
1,500	850		2/7	3/7	3/7	4/7	1/7			
2,000	800		4/7	4/7	2/7	1/7	4/7			
2,500	750		6/7	3/7	3/7	5/7	3/7			
3,000	700	1	6/7	5/7	5/7	5/7	5/7	3/7	2/7	
Serie - II										
Decompression time to 3,000m (min)										
3,000	700	5	6/7	5/7	4/7	5/7	1/7			
3,000	700	10	4/5	3/5	3/5	3/5	1/5			
3,000	700	20	4/5	1/5	2/5	2/5	1/5			
3,000	700	30	2/5	1/5	1/5	2/5	0/5			

減圧症の発現は、当然ながら厳しい低圧環境、短いインターバル、短い減圧時間（ラット実験-II）条件時に有意に増加した。その分散分析解析では、

ラット実験-Iにおける死亡率へ影響因子は、低圧環境（高度）要素（ $P<0.01$ ）、インターバル（ $P<0.05$ ）、実験-IIでは減圧時間（ $P<0.01$ ）、インターバル

表2 ウサギ実験におけるA: 死亡率とB: 呼吸異常発症率

Table 2 Mortality and RDCS rates on rabbits caused by simulated "flying after diving".
Rabbits : 20-22 weeks old, male, 3000g, 3 rabbits for each experiment

A: Relationship between Mortality rate and hypobaric conditions:

Altitude (m)	Pressure (hPa)	Interval time (min)				
		1	5	10	20	30
250	975	0/3	-	-	-	-
500	950	2/3	-	-	-	-
1,000	900	3/3	0/3	0/3	0/3	0/3
1,500	850	-	1/3	1/3	1/3	-
2,000	800	-	1/3	1/3	0/3	-
2,500	750	-	1/3	0/3	1/3	-
3,000	700	3/3	1/3	2/3	1/3	0/3

B: Relationship between Respiratory DCS rate and hypobaric conditions:

Altitude (m)	Pressure (hPa)	Interval time (min)				
		1	5	10	20	30
250	975	1/3	-	-	-	-
500	950	2/3	-	-	-	-
1,000	900	3/3	0/3	1/3	0/3	1/3
1,500	850	-	1/3	2/3	2/3	-
2,000	800	-	2/3	1/3	1/3	-
2,500	750	-	2/3	1/3	1/3	-
3,000	700	3/3	1/3	2/3	2/3	1/3

($P<0.05$) で有意であり、2 実験において 2 要因の交互作用は認められなかった。呼吸異常の発現率には、ラット実験-Iでは低圧環境(高度)と実験-IIでは減圧時間の影響が有意($P<0.05$)に認められた(表1)。

ラットの死亡率の増加は、950hPaの低圧曝露により若干認められるが、900hPaでは顕著となり、呼吸異常も950hPa(高度500m)から増加する傾向が伺われた。また低圧条件が厳しい750hPa以下ではさらに死亡率が上昇したが、インターバル45分以上では死亡は認められなかった。

さらに実験-Iと実験-IIの比較より、高圧曝露後からの700hPaの低圧環境に到着するまでの時間が同じ場合(例えば高圧曝露終了後10分目に700hPaに達

する以下の3条件の比較など:実験-Iのインターバル10分,実験-IIのインターバル5分で700hPaへの減圧5分,インターバル1分で減圧時間10分),減圧は急激であっても、インターバルの長い条件のほうが減圧症は軽いことが推測できた。

またウサギでは、潜水深度を40mとしたためか、ラットに比べより弱い低圧条件975hPa(高度250m)付近から死亡率が上昇し、さらに850hPa以上での死亡率増加が顕著であった。またラットと同様に低圧条件が厳しい700hPa以下では、死亡率のさらなる上昇が認められた。しかし、インターバル30分以上では死亡例はなく、呼吸異常も顕著に減少した(表2)。

考 察

潜水と高所条件

潜水後の高所移動に関して、各種の潜水教本における高所潜水の適用範囲は、高度300m以上（カナダのDCIMやダイビングコンピュータのNemesis社）、700m以上（米海軍）、1,000m（Comex社やダイビングコンピュータのALADINのUatec社）等となっており、高度数百メートルからは、通常の減圧とは異なることが伺われる。さらに潜水後の高所移動に関しては、ダイビングコンピュータにおいて概して水深2 feet以上の負圧すなわち高度500mとされており、そのほか高度600m以上のOrca、1,200mのComputec、2psi (0.136bar, 1,200m)のSunntoなどがある⁵⁾。

ラットを用いた実験において、高度1,000m以上の低圧曝露で死亡や呼吸異常の発現率が増加しており、ウサギの実験からはさらに低高度において観察されており、高度1,000mまでに減圧症を発現する環境圧閾値があると考えられる。

潜水後の自動車による移動

西伊豆から東京方面への東名高速道路を用いた移動において、沼津から海老名間の最大高度へは、走行開始後約20分で御殿場付近の466m (960hPa)であった(図3)。西伊豆で非常に人気の高いダイビングスポットの大瀬崎から沼津へは、車で約1時間を要するため、潜水の終了後数時間内にこの最大高度地点に到着することが判明した。西伊豆から東京方面の移動では、最も簡便で利用者が多い経路(山見ら¹⁾⁻³⁾として高速道路使用を例としたが、若者のグループでは午後の渋滞を避け、また高速道路料金を節約するため、夜おそくまで潜水し冷えた身体でしかも山道を一気に越える者もいる。しかも彼らは、山越え時の減圧症による痛みは、低地に降りれば全て解消すると考えているという。しかし、動物実験では低圧曝露時に減圧症が発現し、その後大気圧に復帰すると症状が軽減するものが多いものの、一部は大気圧復帰後も悪化し、最終的に回復せず翌朝までに死亡した場合もあった。このことは、高所移動時に発生した血中気泡が低地に降りても完全には消滅しない場合があることを示しており、山見ら³⁾が報告している潜水後12時間

以上経過のちに発現した減圧症の例と一致している。

潜水後の航空機移動

測定された客室高度の最大値が一般に言われている限界：8,000ft (2,440m) (R.D. Vannら, 1993年¹⁰⁾)を越えた場合も示したが、その数値は測定後に行った測定機器の精密較正により、最大誤差：高度50mをもってしても2,500mを超える場合があることを確認した。さらに、1988年のUHMSワークショップ当時の航空会社より発表された客室高度は実状よりもかなり低めで、実際には与圧を抑制しより高い客室高度で運航していると推測されていた⁵⁾。

航空機の客室内は、常に大気圧まで与圧されていることが好ましいが、航空機の構造的問題により、内外差圧の許容範囲がある。ボーイング747-400におけるその値は、離着陸による繰り返し応力が頻繁にかかる近距離路線機では8.4psi、頻度の低い遠距離路線機では8.8psiとされている。そのため短距離の国内線では高度約6,500m以下(外気圧：6.2psi)の飛行では大気圧まで与圧が可能であるが、機体の劣化防止のため与圧は抑えられることになる。今回の測定において飛行高度が把握できたものについて解析すると、実際の与圧は機体の内外差圧限界の約90%までに抑えられていた。生体的弱者を含めた高山病を発現させない高度としては2,000~3,000mとされており(大島1968年¹¹⁾)、その中央値：2,500m (10.5psi)の客室内圧を維持するには、最小外気圧は2.1psiとなり、飛行高度は約14,000mが限界となる。安全を考慮し与圧限界の90%までとすれば、外気圧は約3psiとなり、飛行高度は約11,500mとなり、本研究で測定された最大飛行高度と一致している。

1989年のUHMSワークショップ資料(Emmerman, 1989年¹²⁾)における、大型旅客機の機体内外差圧の許容限界は8.2~8.9psiであったが、今回測定したもののうちでは例外的にボーイング737型機が7.8psiとされており、客室高度の測定結果において高めの値を示していた。

さらに、近年の短距離路線用航空機の機体強化は、乗客の安全を向上させるためではなく、頻回な離発着に耐えうるためで、その際に与圧も弱めて

機体の消耗を避けるとし、経済効率優先と聞いている。また、最近の航空事故原因の多くが運用経費抑制のための整備費削減とされており、大惨事を招くことが明白な圧力関連がその経費削減対象とならないことを期待する。

1988年UHMSのワークショップでは、飛行機の離陸後の上昇時間は約19分とあったが、今回得られたものの多くは、約15分と短かった。これは日本特有のものか、またはこの約10年間の航空機運用の効率化により、上昇速度が増したものは不明であるが、近年の航空機移動では減圧症に罹患しやすくなったといえよう。さらに国内において潜水が盛んな地域は南西部であり、ジェット気流の利用か、関東方面への復路の高度が西向便に比べて飛行高度が高いこともあり、ここに前述の機体内外許容差圧の小さいボーイング737型機が就航すると、潜水者の減圧症発現の可能性がさらに高くなりそうである。

さらに近年は、長距離便における航空料金抑制のための満席運行の増加による、血液循環低下の問題（エコノミー症候群）が問題視されている。これは搭乗時間が5～8時間以上の場合といわれているが、潜水後間もない乗客であれば血液循環低下にともなう血中ガス排泄量の減少により減圧症発現の危険性が増すため、短時間飛行であっても潜水者にとって大きな脅威といえよう。この典型的な例は欧州に多く見られ、カリブ海やインドシナ方面での潜水後、フランスやドイツに空路戻ったレジャーダイバーの罹患が多いとされている（Tirpitz and Schipke, 1996年）¹³⁾。

車移動と航空機移動

車による高地移動では、地図や景色によりダイバーも高度をある程度認知できるが、航空機の場合、飛行高度は表示されることはあっても、客室高度は乗客にとって不明である。そのため、これまでの研究の多くは車両による山越え等であり、その高度は高くても1,000m程度であった。しかし、今回の研究により航空機の客室高度は、その予想を遙かに超えた2,000m以上にも達しており、さらにその減圧所用時間はわずか15分と、潜水直後の航空機移動による減圧症の発現は、山越えによるものの比ではないと思われる。

動物実験

体重の異なる動物を用いた減圧症発現閾値の研究において考慮すべき要素である鞞鼓“潜水時の高圧ガスの生体への溶解速度や減圧時の生体外へのガス排出速度”は、その代謝量（単位容積組織当たりの代謝量、血液循環量）に比例するとされている。この代謝速度は体重の2/3乗に反比例するとされており、ラット：500gの代謝速度はヒトの20～30倍となる。またウサギ：3,000gの代謝速度は、ラットの約1/3となる。そのため、航空機移動における客室高度の上昇が、概して約15分間に2,500mとして、ラットの高所への減圧時間を1分間、最大高度を3,000mとした。

減圧障害の発症率からみた低圧環境の閾値は高度500～1500mに一段目、2000mと2500mに二段目があると考えられる。

近年のダイビングコンピュータの高い普及率は喜ばしく、さらに潜水後の高所移動に対応した機種も普及も潜水の安全性向上には非常に有意義であると思われる。しかし、山見ら¹²⁾が指摘しているように、体内ガス溶解量の計算において、従来の最大深度と潜水時間の矩形型概算から、計算がより精密となり潜水時間の延長に伴い、減圧表の余裕が減少する傾向がある。また潜水直後に高所移動をするダイバーは、潜水自体にも無理をしがちで、ダイビングコンピュータを使用していても時間的余裕は少なく、減圧症にかかりやすいと推測される。さらに潜水機材を潜水現場においてレンタルを使用する場合、ダイバーが航空機に搭乗する時に、コンピュータはリセットされ他のダイバーが使用中であったり、たとえ個人所有であっても、ボンベ取り付け式のものでは、ダイビングコンピュータのアラームは貨物室で作動し、客室の本人には届かないことになる。ダイバーの安全を考える場合、装備の高度化以上にダイバーの安全意識の改善が第一であるといえよう。

以上の結果より、潜水技術の教本等で禁止しているように、潜水直後の山越えや航空機利用は非常に危険であることが再確認された。

〔参 考 文 献〕

- 1) 山見信夫, 眞野喜洋, 芝山正治, 高橋正好, 中山晴美, 水野哲也: 関東に在住するスポーツダイバーの特異的な潜水活動; 特に潜水後の高所移動による減圧症の発症について. 日本臨床スポーツ医学会誌, 7巻, pp68-75, 1999
- 2) 山見信夫, 眞野喜洋, 芝山正治, 高橋正好: 高圧, 低圧で発症する減圧症について—高所移動に伴う減圧症—. 日高圧医誌 Vol.35, No.4, pp.205-213, 2001
- 3) 芝山正治, 山見信夫, 中山晴美, 高橋正好, 水野哲也, 眞野喜洋: レジャーダイバーの現状—現地実態調査からの分析—. 日高圧医誌 Vol.33, No.4, pp.201-204, 1999
- 4) 眞野喜洋: 高地や航空機での危険性 日高圧医誌 Vol.29, No.3, pp.145-150., 1997
- 5) Flying after diving. Proceedings of the 39th Undersea and Hyperbaric Medical Society Workshop. Edited by P.J. Sheffield pp.1-222, 1989
- 6) Sheffield, P.J. Flying after diving guidelines: A review. Aviat. Space Environ. Med. Vol.61, pp.1130-1138, 1990
- 7) Vann, R.D., W.A.Gerth, P.J.Denoble, C.R. Sities, L.R.Smith: A comparison of recent flying after diving buidelines. Undersea & Hyper-baric Medicine Vol.23 Supple p.36, 1996
- 8) Ward, C.A.D. Mccullough, D.Yee, D.Stanga, and W.D.Fraser: Complement activation involvement in decompression sickness of rabbits. Undersea Biomed. Res. Vol.17, No.1 pp.51-66, 1990
- 9) Pollard, G.W., P.L. Marsh, C.E.Fife, L.R.Smith, and R.D.Vann: Ascent rate, post-dive exer-cise, and decompression sickness in the rat. Undersea & Hyperbaric Medicine, Vol.22, No.4 pp.367-376, 1995
- 10) Vann, R.D., P.Denoble, M.N.Emmerman, and K.S.Corson: Flying after diving and decompression sickness. Aviat. Space Environ. Med. Vol.64, pp.801-807, 1993
- 11) 大島良雄: “気象と疾病” 生気象学 p988, 紀伊国屋書店, 日本生気象学会編, 第2編, 第2章, pp167-304, 1968
- 12) Emmerman, M.N.: Commercial Aircraft Cabin Differential Pressure Settings and Actual Cabin Altitudes During Flights. In Appendix B on the Proceedings of 39th Undersea and Hyperbaric Medical Society Workshop on Flying after Diving. pp169-177, 1989
- 13) Tirpitz D. and Schipke J.D.: Delayed recompression after SCUBA diving-induced barotrauma. Aviat. Space Environ. Med. Vol.67, pp.266-267, 1996