

## ●特集・気圧と気体の障害

## 高地や航空機での危険性

眞野喜洋\*

## はじめに

近年、ファン・ダイバー (fun diver) が増加し、毎年8～9万人のダイバーが講習を受けてCカード・ホルダー (C card holder) となり、その結果、Cカード発行枚数は85万枚を突破している<sup>1)</sup> (図1)。このことは50万人以上の活動しているファン・ダイバー (fun diver) がいることを予想させる。その中には海外より帰国途中の航空機搭乗が引き金となったり、あるいは東京周辺のダイバーが、西伊豆で潜水後の箱根の山越えることによって、減圧症に罹患する事例が多く含まれている<sup>2)</sup>。潜水後高地へ移動したり飛行機に搭乗することは減圧症発症を促進することになり、危険性を増すことはよく知られている<sup>3)</sup>。特に近年は自動減圧計が普及しているのもそのリスクはさらに増大している。したがって本稿ではこの危険性について概説する。

## 減圧に伴う気泡形成

航空機が離陸する場合には国際運行法の定める基準に従って機内は減圧される。一般的には離陸して水平飛行に移るまでに約10分を要して0.8絶対気圧に減圧され、着陸する場合には着陸30分前より徐々に与圧され大気圧に復帰される (図2)。

図3はアガロース・ゲル (agarose gel)<sup>4)~7)</sup>を用いて大気圧下で飽和しているゲルを減圧することで、どのように形成気泡数が増加するかをみたものであるが、0.8絶対気圧 (大気圧との差圧は0.2気圧) の減圧まではほとんど形成気泡が認められなかったものの、圧力差が増大するに従って気泡数は図3に示される二次関数で示されるように増

加するので、仮に0.7絶対気圧の場合 ( $X=0.3$ ) 気泡数は単位あたり3.5個となるが、0.6絶対気圧 ( $X=0.4$ ) では気泡数は10.6個となり、十分に減圧症罹患の危険域に入る。ちなみに航空機のカーゴ (cargo) 内は0.5絶対気圧になるので気泡数は20.1個となり、重篤な減圧症罹患の危険がある。このゲル気泡は標準減圧表通りの減圧を行うと単位あたり平均8.0個の気泡数を形成することが知られている<sup>8)</sup>ので、潜水を一切していなくとも気圧の低い高地への移動 (海拔5,500mでは0.5絶対気圧) を行う場合にもその減圧が急激であると減圧症に罹患する危険性が生じる<sup>8)</sup>。したがって、潜水後に正しい減圧を遵守して浮上した場合でも、既に体内には単位あたり8.0個の気泡を有しているダイバーがさらに飛行機搭乗により、過飽和状態が進行するので気泡数は $8.0+\alpha$ 個となり減圧症を発症させる危険性が増大するといえる。図2は航空機による機種の違いや国内線国際線の相違を勘案して、機内圧力が水平飛行に入った場合の範囲を示したもので、おおむね880～800hpaを維持している。したがって浮上直後に搭乗することは危険であるので、浮上から航空機搭乗までの間隔時間をできるだけ長くすることにより、浮上時に既に形成されている気泡数を減少させる必要がある。

## 自動減圧計と標準減圧表

10年前頃より自動減圧計が急激に普及してきており、我々の調査ではダイバーの68%がこれを利用し、マルチレベルのダイビングを行っている<sup>9)</sup>。自動減圧計の登場はマルチレベルのダイビングが可能になったばかりでなく、1日における繰り返しダイビングを効率的に変革し、ファン・ダイバーの強力な味方となった。しかし、その利用方法を誤ると減圧症の危険が生じる。図4は体内に溶

\*東京医科歯科大学医学部保健衛生学科健康科学  
・保健計画学教授

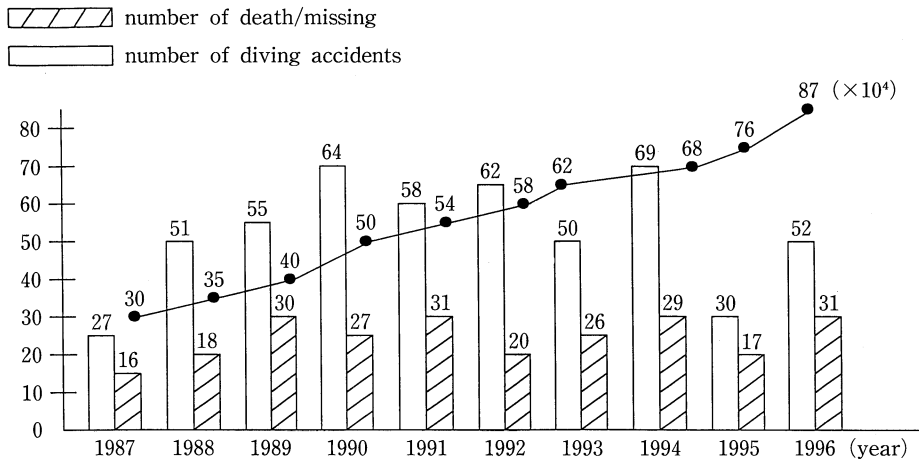


図1 NUMBER OF ISSUED C-CARDS & DIVING ACCIDENTS  
 C-CARDS : from JAPAN ASSOCIATION OF UNDERWATER EXPLORATION  
 ACCIDENTS : from THE MARITIME SAFETY AGENCY

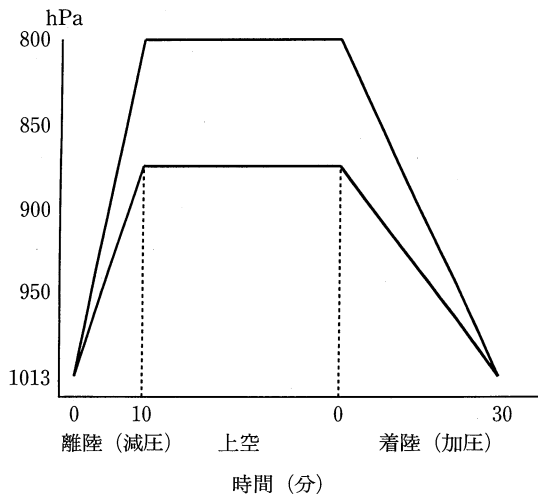


図2 飛行機内の気圧変動

解すると考えられる窒素量を自動減圧計で計算する状況を示している。一方、標準減圧表は、最大水深と潜水時間の（箱形潜水）で窒素量を計算するので、体内への溶解窒素量は過大に評価されていることになる。つまり、それだけ減圧時間は余分に積算されるために減圧症に対する安全性は高いといえる。したがって、潜水後の減圧を要する

場合には従来の標準減圧表を利用する時と、自動減圧計を利用する時とは、後者の方が効率的でより短い減圧プロフィールを示して呉れるが、その分だけ減圧症の罹患率は高くなる。つまり、それだけ過剰な気泡が体内に形成されてくることとなる。このような状況で航空機に搭乗したり、高所移動を行うことは、さらに減圧症罹患率を高く

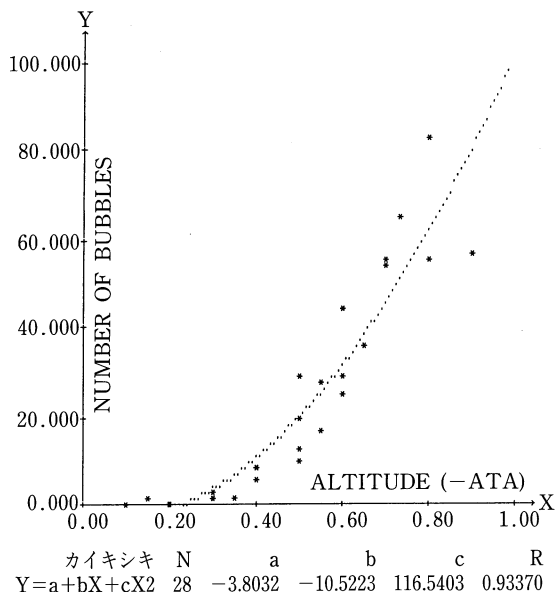


図3 RELATION BETWEEN BUBBLES AND ALTITUDE  
 G-NAME AGAROSE V-NO.(X) 1 V-NAME PRESSURE  
 V-NO.(Y) 2 V-NAME NUMBER

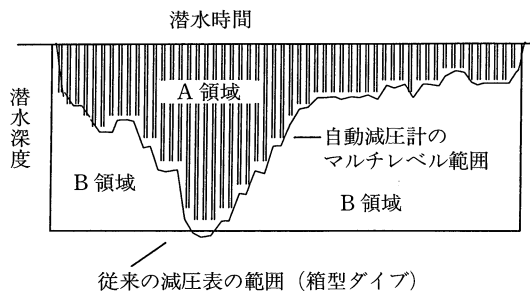


図4 自動減圧計の窒素ガス溶解量計算範囲(A領域)と従来減圧表の窒素ガス溶解量計算範囲(A+B領域)  
 比較すると従来減圧表の窒素ガス溶解量はB領域分だけ多くなる。

する。したがって自動減圧計を利用したダイビングの場合には特段の注意を要する。浮上後の時間と航空機搭乗時間の間隔時間を十分に延長することで、残存されていると思われる気泡数を出来るだけ減少させなければならない。

潜水と航空機搭乗との間隔

米海軍は無減圧潜水後の航空機搭乗との間隔は最低2時間は必要としているが<sup>3)</sup>DAN (Divers Alert Network) は12時間を主張している。これ



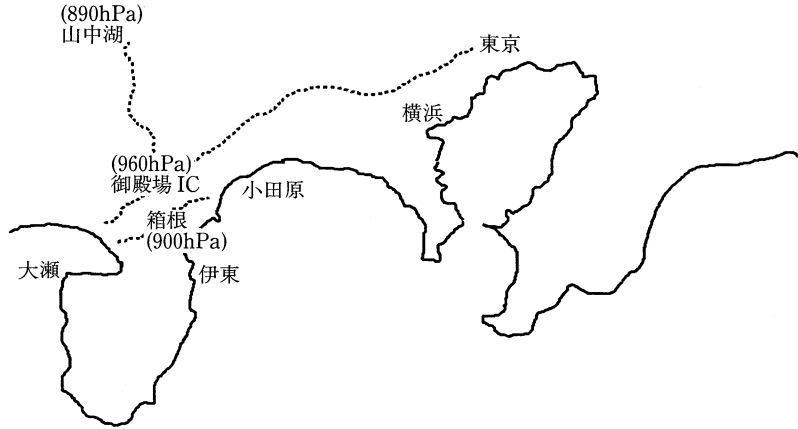
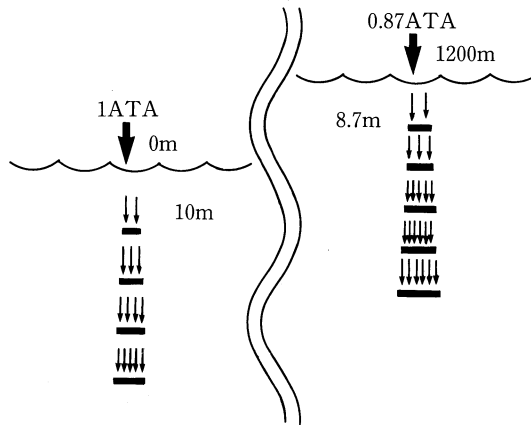


図6 潜水後の高所移動経路



$$\text{図7 概算深度(m)} = \left[ \frac{\text{現地気圧(ATA)} + \text{実測水深(m)} \times 1/10}{\text{現地気圧(ATA)}} - \text{現地気圧(ATA)} \right] \times 10\text{m}$$

によってガス溶解量が、比例的に増加されると考えられるが標高1,200mの湖水では水深8.7m毎に増加されると勘案しなければならない。このことを減圧表にあてはめた上での概算式が図7に表記してある。したがって、標高1,200mにおける潜水では、水深8.7mのレベルが海で水深10mに相当するとして標準減圧表を読まなければならない。仮にこの高所における湖水の水深20mへ潜水したとすると、概算深度は海での潜水におきかえると水深23mに相当するので、海での水深20mに40分の潜水をする場合には無減圧範囲内である

が、この高所では水深23mで40分の潜水をしたものと読み換える必要があり、その補正を行うと湖での水深20mで40分間潜水した場合には減圧時間をとらないと減圧症に罹患する危険が生じる。

このように高所における潜水の場合には、その標高に見合った高所用の減圧表を用いなければならないが、海用の一般的な減圧表を利用する場合には、前述のような換算した修正減圧表を概算して、それを利用しなければならない。

### 航空機や高所に対する減圧症の予防

航空機に搭乗する場合には潜水後の間隔時間を十分にとること、また高所における潜水では、標高に見合った減圧表を概算することで減圧症の発症リスクは大幅に減少させることができる。しかし、それだけでは十分であるとは言えない。その危険性を減ずる方法としては最近米国におけるダイバーの間で普及してきた、ナイトロックス (Nitrox) の呼吸用ガスの使用がある。正確には enriched oxygen gas と表現した方が良いが、窒素と酸素の混合比率を64:36または68:32とした酸素富加ガスを使用する方法である<sup>1)</sup>。その日の最後の潜水を行う上でナイトロックスガスを使用すると、窒素の体内への溶解量が減じられるので空気による通常の SCUBA 潜水と比較して、安全レベルが高くなる。その他にもナイトロックスの利点は窒素酔いになりにくい、空気と比較して同一条件での使用時間が延長される。潜水後の疲労度が軽減されるなども挙げられるが、注意点は水深30m以深への潜水禁止であり、深く潜降すると急性酸素毒性の危険性が生じる。あるいは、減圧症発症予防のためにまだ日本では利用されていないが、酸素減圧あるいは浮上直後に酸素を吸入する方法がある。潜水後に純酸素を吸入することは、短時間で窒素の洗い出し効果があり、「酸素窓効果」とよばれているが、減圧症発症予防の効果は大きい。わが国でも一般ダイバーが、潜水後に酸素を吸入するシステムが近日中に実現の運びとなると思われ、この利用は高所潜水でもごく有効といえよう。

ファンダイバーは無減圧範囲内の潜水深度と時間を守ることが原則でこの範囲を逸脱しなければ、99.5%の確率で減圧症の予防は可能であるが、この場合の危険率0.5%はダイバーがベストな条件で疲労、睡眠不足、深酒などの影響のない場合の条件であり、体調を壊していれば、その危険率は3~5%にまで上昇してしまう。何より大切なことはダイバーとして安全潜水を心掛ける自覚の下に体調を整えることであり、潜水時間とは潜水

の為に家を出発してから帰宅するまでの広義の解釈をすべきであろう。そのような立場で安全意識を高めることによって、航空機や高所移動などに無理なスケジュールを組まなくなるものと信じる。

### 【参考文献】

- 1) 眞野喜洋：ダイビング事故とメディカルチェック, 日経スポーツメディスン, '97, 44-49, 日経メディカル, 1997
- 2) Yamami, N., Mano, Y., Shibayama, M. et al: Hyperbaric exposure after diving and decompression sickness on emergency calls of divers alert network in Japan., Undersea & Hyperbaric Medicine, vol 23, 58, 1996
- 3) 関 邦博, 眞野喜洋, 横山暎一(訳): U.S. Navy ダイビング・マニュアル, 316, 朝倉書店, 1987
- 4) Mano, Y, D'Arrigo, J. S.: Relationship between  $CO_2$  levels and decompression sickness., Aviation, Space and Environmental Medicine, 49(2): 349-355, 1978
- 5) D'Arrigo, J. S., Mano, Y.: Bubble production in agarose gel subjected to different decompression schedules, Undersea Biomedical Research, 6(1): 93-98, 1979
- 6) Mano, Y., Shibayama, M. et al: Relation between bends onset and agarose gel bubbles, In Proceeding of the sixth meeting of the U. J. N. R. panel on diving physiology and technology (ed. Miller, J. W.) 29-39, Washington, D. C. 1981
- 7) Mano, Y. et al: Relation between number and volume of dysbaric bubbles concerned with decompression sickness., Jpn J. Aerospace Environmental Medicine, (24): 63-74, 1987
- 8) Bühlmann, A. A.: Tauchmedizin, 7-18, Springer-Verlag, Berlin, 1983
- 9) 眞野喜洋(編著): 潜水医学, 257-265, 朝倉書店, 東京, 1992
- 10) Vann, R. D. et al: A comparison of recent flying experiments with published flying after diving guidelines: Undersea & Hyperbaric Medicine, (23): 36, 1996
- 11) NOAA: NOAA diving manual, (15) 1-13, NOAA, Washington D. C. 1994