

# 高所潜水:低酸素環境について

## About hypoxic environment in High Altitude Diving

### 高所低温潜水調査(みくりが池)での高所潜水(High Altitude Diving)に関するレポート

※本稿は、1976年に雑誌『ダイビング ワールド』誌に掲載したものを、加筆・訂正し、図はスキャンしたもので、見にくいのはご容赦ください。 文責:杉内信夫

#### ◎はじめに

前回は、高所潜水における減圧のこと、特に現行減圧表をどのように使用すれば安全かを述べた。

今回は低酸素環境という従来の潜水のイメージから矛盾しているテーマだが、内陸の湖沼、河川の水中、いわゆる高所という気圧の低いところのダイビングでは、どのような概念があるか、を中心に述べてみたい。

潜水は、いままでの経過からその活動の大半は海に求められ、更に海を舞台に大きく発展してゆくだろう。しかもっと広く考えたとき(何も学術、産業的なものだけでなく、スポーツ、思考の世界など全部)、ダイビングは内陸、そして高所においても展開されるであろう。そこで海面近くに住んでいる私たちは、高所では当然低酸素の影響を受けた状態でダイビングを行わなければならないと同時に、論理的、生体的に克服しなければならない。

今回立山みくりが池の体験では確かに水面気圧が低くなったの水中圧力の影響だとか、陸を含む潜水環境への人体の順化など、潜水科学的なことや生体的なことも感じさせてくれた。そして高地分布からみた人間(高地人)が潜水したら、どんなになるのだろうかという思考の世界を拓けてくれた。それはたぶんアンデスやチベットに住む高地人が、彼らの住む近くの湖に潜ったら、我々が通常潜水するのと同じ酸素を受けるとだろうか、彼らが海に来て潜ったら、私たちが浮上中Dラインから水面までの間に体験した酸素不足の状態とは全く逆に、酸素中毒の影響、私たちが海で潜っているよりも浅い所で受けるのではないとか、素潜りは私たちよりも先天的に強いだろう、ということなどだ。そんな考えは全くナンセンスだし、考えていること自体、時間の無駄だと言われるかもしれないが、そんな思索を巡らせてみるのも潜水の楽しみだ。人間の文化なんてものは無駄の繰り返しによってできあがってきたのではないのだろうか。その意味からも潜水は他のスポーツと同じように人間の文化的行為の一つだろう。海中で水中銃をふりまわしたり、

写真を撮ったり、貝を集めたり、海に感激したり、ぼくのようなこれといった趣味を持たないダイバーはこんな楽しみ方でもしないと、ダイビングはシラけたものになってしまうような気もする。

#### ◎低酸素が与える影響と馴化

潜水の話の中ではなはだ恐縮であるが、高山病のことにちょっと耳をかしていただきたい。

まず海面と2410mのみくりが池の吸気酸素分圧を比較してみる。

前号図1から **Sea Level**

$$P_{O_2} = 760\text{mmHg} \times \frac{80}{100} = 152\text{mmHg}$$

2400mm

$$P_{O_2} = 760\text{mmHg} \times \frac{80}{100} = 1115.8\text{mmHg}$$

となり酸素分圧は低くなる。

この2400mの酸素分圧を

Sea Levelの酸素濃度に直し、それを $x$ とすると

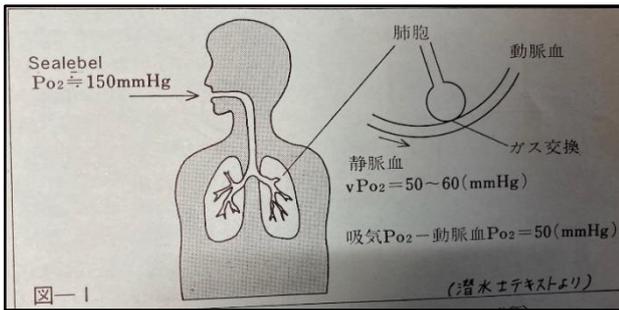
$$760\text{mmHg} \times \frac{x}{100} = 115.8\text{mmHg}$$

$$x = 15.23\%$$

が得られ、高度馴化されていない生体にとって、本来20%の酸素濃度の空気を吸わなければならないのに酸素が約5%少ない空気を吸っているのと同じことになる。この辺から高山病の問題が始まってくる。

酸素分圧150mmHgの空気を吸っている1気圧760mmHgの環境では、動脈血酸素分圧は100mmHgである。なぜ吸気した酸素と同じ分圧を保てないかという、肺胞に到達するまでの呼吸死空によって分圧が下げられてしまうからである。勾配は50

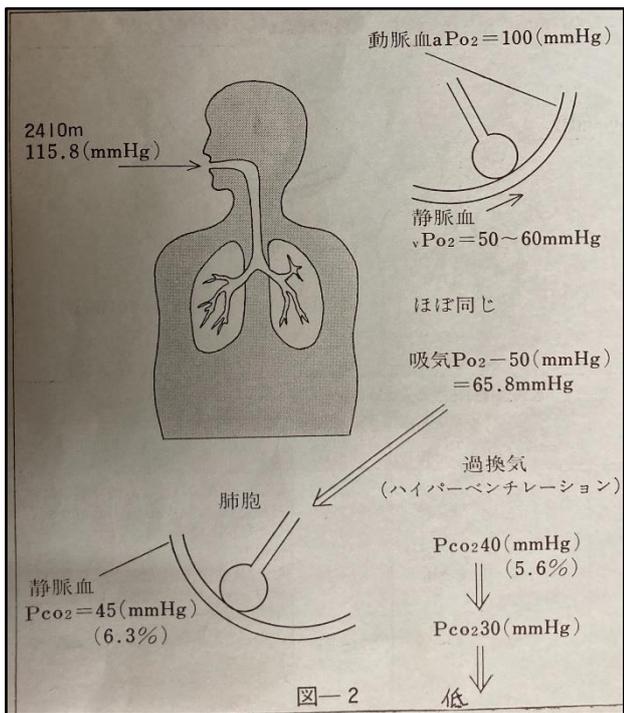
mmHg である。要するにこの環境(1 気圧下)では動脈血酸素分圧 100 mmHg で生体は代謝していることになる(図 1)



次に 2410m では、酸素分圧は

**115.8 mmHg-65.8 mmHg**

となり、その値は静脈血酸素と同じになってしまう。そうすると生体は過換気即ちハイパーベンチレーションによって肺胞酸素分圧 80~90 mmHg まで引き上げ酸素を多く取り込むようにして低酸素の影響を少なくする。しかし反面、ハイパーベンチレーションの効果によって動脈血炭酸ガス分圧  $P_{CO_2}$  は 40 mmHg~30 mmHg 位まで下げられてしまう。脳の呼吸中枢は炭酸ガスの血中濃度より駆動されているので、炭酸ガスの分圧が下がると駆動の反応力が鈍くなる。これを高



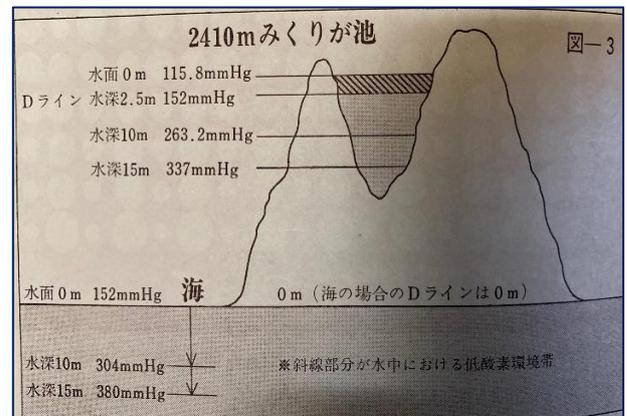
山病の第一段階という(図 2)

この結果、比較的低換気(呼吸が少なくなる)にな

るので酸素を取り込み難くなる。ここに来て完全に低酸素の影響を受けることになり、頭痛や吐き気などの高山病の症状を出す。この症状は比較的長く続く。これを高山病の第二段階という。

また第三段階では、生体は赤血球即ち酸素を結合させるヘモグロビンを増やしようとして働き、酸素結合の絶対量を増やしてゆく。このヘモグロビンは酸素燃焼後、炭酸ガスに結合して体外に排出する。従ってヘモグロビンが増えると、血中の炭酸ガスを蓄積させることができるから、炭酸ガスの分圧の低下によって比較的低換気になっていた呼吸を安定させることができる。それでこの高さ(2410m)酸素分圧 65mmHg 位で、生体が充分働けるようになる。この段階を馴化と呼んでいる。ここまで安定するのに 1 週間程かかる。

### ◎結論-環境が潜水に与えたもの



さて、私たちが実際に 2410m のみくりが池での体験を結論とする(図 3)。

- ① 杉内、宮川、富山の 3 名は、過去に相当数の登山、スキー経験があり、現在もたびたび山に行く。
- ② 黒川は過去に 2500m 以上の高さを登山で数回経験している。
- ③ 桜井、村上 2 名は 1000m 以上の高さは初めての経験で、過去西湖(標高 900m)で 1 回の潜水経験がある。

まず 2410m の陸上で全員の様子を観察した。杉内、宮川、富山、黒川の 4 名については、この高さで

まず高山病を呈することはないと判断し観ていたが、結果はその通りだった。桜井、村上には、その影響を期待していたが、山に来て準備を喜々としてやっているためなのか、全く期待はずれだった。

立山みくりが池周辺は、ロープウェイ、バスなどの交通機関で簡単に訪れることができるため、多くの観光客の中には担がれているものもいた。本人に直接どんな具合か聞いたわけでもないけど、単なる疲労か高山病か解らない。でも額に手ぬぐいあてているので、ある程度高山病いるのではないかと思う。訪れる観光客の数から具合いのが悪くなった人は極わずかなので、比較の対象になるかは疑問である。

しかしダイバーは、海でスキューバ潜水をしているときは、明らかに酸素分圧が海面より高い空気を呼吸しているが、素潜りという息こらえ潜水では、自ら生体的に低酸素状態を作り、低酸素に馴化低酸素に馴化しているという観点から、海面酸素分圧 152 mmHg から 2410m の 115.8 mmHg のところに登ってきても、頭痛、吐き気をもよおす低酸素の影響を受けないだろうということが推測できる。またヒマラヤ、アンデスのような高山を目指すアルピニストたちは、3776m の富士山頂が最高点の日本の山岳では、これ以上の高さを経験し、低酸素環境に馴れることができないので、登山技術を訓練することは別にして、シャローウオーターブラックアウトを起こさないような無理のない素潜りの練習を積むことは、高山病に対する良いトレーニングになるのではないだろうか。

Sea Level、水深 20m、酸素分圧 456 mmHg、濃度として 60%の空気を呼吸することは、健康人であれば酸素中毒の恐れもなく継続できるし、それまでの少量の増加、かえって身体機能に有益である(ステンリーマイルズ:潜水医学入門)ので、私たちは、海で水深 20m までのスキューバ潜水をしているとき、酸素中毒の症状はもちろん、浮上中十分な換気していれば、海面近くで酸素不足の状態は経験しえない。

しかし、私がみくりが池でDラインと水面との間、名づけて水中低酸素環境帯(図3の斜線部分)で経験した「ボー」とした感覚はどう説明したら良いのだろう。

それはたぶん、前述した高山病のメカニズムからすると、完全に馴化されるまで1週間程かかるのだから、入山二日目から始まった潜水活動は、厳密に生体はこの高さに馴化していない状態で入ったということになる。これは、生体は陸上にいるとき徐々に馴化の方向で移っているが、潜水すると水圧によって酸素分圧の高い空気を吸うことなるので、山を下っているのと同じになる。それは山を下る速度とは比較にならない程の酸素分圧上昇の速度である。これは、せつかく陸上で徐々に高度に馴化している最中に、また生体を元の状態にしてしまっている。

Dライン以下の水中活動は何ら支障がなかったのに、浮上中Dラインを超すと「ボー」とした感覚は、このDラインを境にして、酸素分圧が一気に落ち、スキューバ使用中でもシャローウオーターブラックアウトと同じ効果が現れたからであろう。これは高所潜水における特筆すべき現象なのではないだろうか。このみくりが池での浮上速度1分間15m速度からみても、この低酸素環境帯はたったの10秒間で通り過ぎてしまう。この時間で酸素分圧の落差が影響したと結論する。

—生体の環境圧と組織圧力の平衡は半飽和120—組織までは12時間で行われるが、この低酸素環境の馴化は高山病のメカニズムより1週間かかるので、高所潜水を実施する際、この時間的な問題も考慮しなければならない。高所潜水においては、浮上中、減圧停止ならぬ、Dライン停止を低酸素の影響を極力少なくするために考慮する必要があるだろう。

※1975年10月に行った高所潜水実験は、「雲の上で潜る」、「減圧と減圧表の修正」、「低酸素酸素環境について」、『ダイビングワールド』誌にて、に掲載されたものをまとめたものです。

【参考:実験装備・器具】

装 備		採水用ビン (ポリ製)	30
◎潜水装備		◎撮影器材 (調査用のみ)	
ダブルタンク	3	ニコノス15m/mセット	1
シングルタンク	2	” 35m/mセット	1
ユニスーツ (ポセイドン社製)	2	” 用フラッシュガン	1
ドライスーツ(スキューバプロ製)	2	フィルム (E X35)	30
バイキングスーツ (アガ社製)		バルブ (6 B)	100
スケイルドスーツ (オーシャンシーク社製)	2	◎医療	
レギュレーター		体温計	1
(Sプロ, ボイト, U・Sダイバー		血圧計	1
NDS)	8	内, 外用医薬品箱	1
水中マスク	6	水温計	2
シュノーケル	6	減圧計	1
足ヒレ	8	ゴムボート (4人, 3人, 2人)	3
コンプレッサー (ポセイドン)		◎測量器具	
(燃料, オイル工具) 1式		六分儀	1
発電機 (1 KW)		距離測定用ロープ (250m巻)	1
(燃料, オイル工具) 1式		測深用ロープ(ナイロン6m/m20m)	1
有線水中ライト (1 KW・0.65KW)		コンパス	1
ゴム手袋	3	航空写真	2
ナイフ	2	製図用品	1
残圧計	2	書籍	2
検圧計	1	◎気象観測	
時計	4	バロメーター	1
水深計	3	携帯用バロメーター	1
棒温度計	4	温度計	1
◎調査器具		乾湿温度計	1
採泥用コア	4	ラジオ	1
岩盤屈削機 (手動)	1	天気図用紙	1
		◎山岳装備及び雑ピン	
		フロート	4
		ライフベスト	2
		ザイル (6m/m40m)	1
		ナイロンロープ (4m/m 100m)	1
		背負子	3
		ハーケン	5
		カラビナ	10
		以上総重量	約500kg
		◎車輛	
		フォルクスワーゲンデリバン	1