

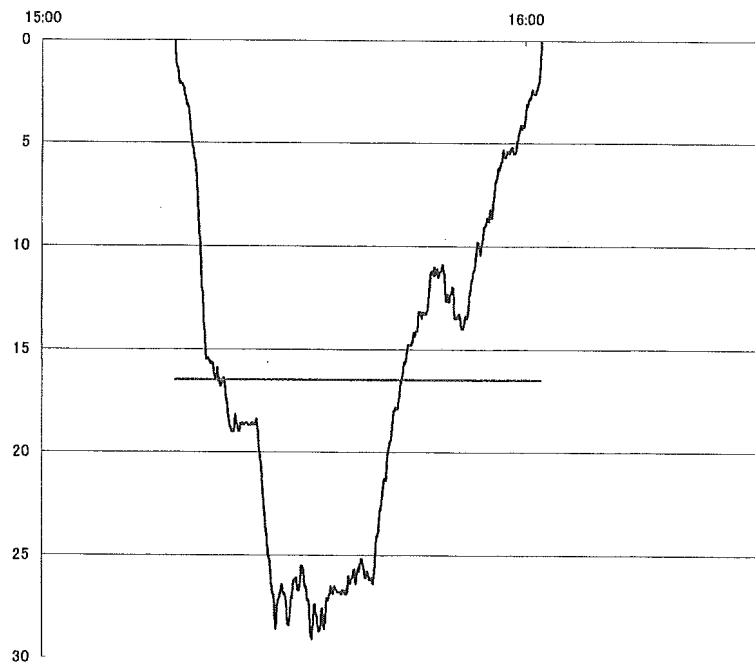
職業(ガイド)ダイバーの潜水プロフィール

Hダイバー 大瀬・外海

2005/2/7

<2本目>

潜行開始; 15:16:22  
潜行終了; 16:01:56  
潜水時間; 45:34  
最大水深; 29.1  
平均水深; 16.5  
休息;

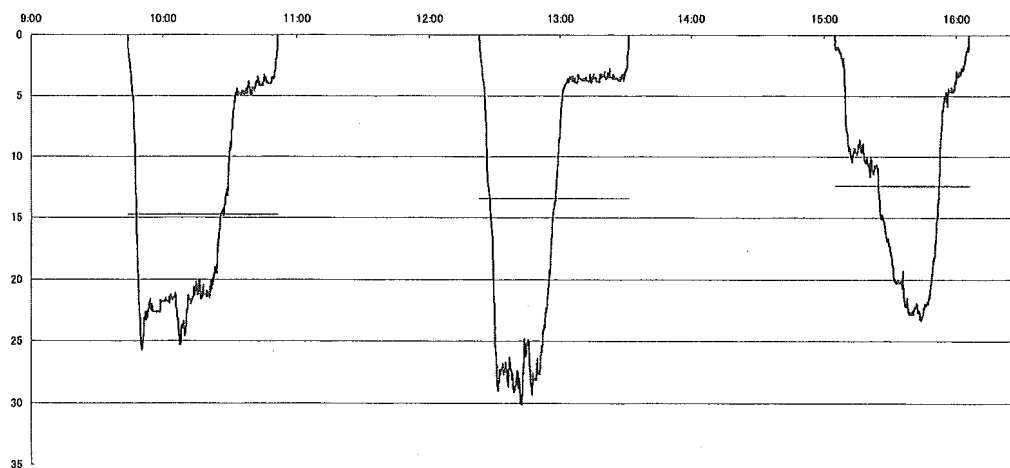


# 職業(ガイド)ダイバーの潜水プロフィール

Hダイバー 大瀬・外海/湾内

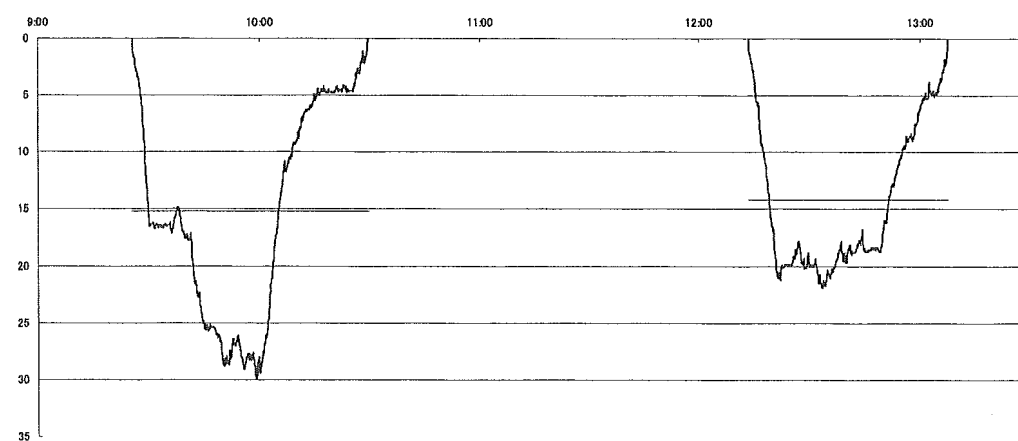
2005/2/8

|          | 外海<br><1本目> | 外海<br><2本目> | 湾内<br><3本目> |
|----------|-------------|-------------|-------------|
| 潜行開始;    | 9:44        | 12:23       | 15:04       |
| 潜行終了;    | 10:51       | 13:31       | 16:05       |
| 最大水深(m); | 25.7        | 30.1        | 23.3        |
| 平均水深(m); | 14.7        | 13.4        | 12.4        |
| 潜水時間;    | 1:06        | 1:08        | 1:00        |
| 休息(hr);  | 1:31        | 1:33        |             |



2005/2/9

|          | 外海<br><1本目> | 外海<br><2本目> |
|----------|-------------|-------------|
| 潜行開始;    | 9:25        | 12:13       |
| 潜行終了;    | 10:29       | 13:07       |
| 最大水深(m); | 30.0        | 22.0        |
| 平均水深(m); | 15.2        | 14.2        |
| 潜水時間;    | 1:03        | 0:54        |
| 休息(hr);  | 1:44        |             |

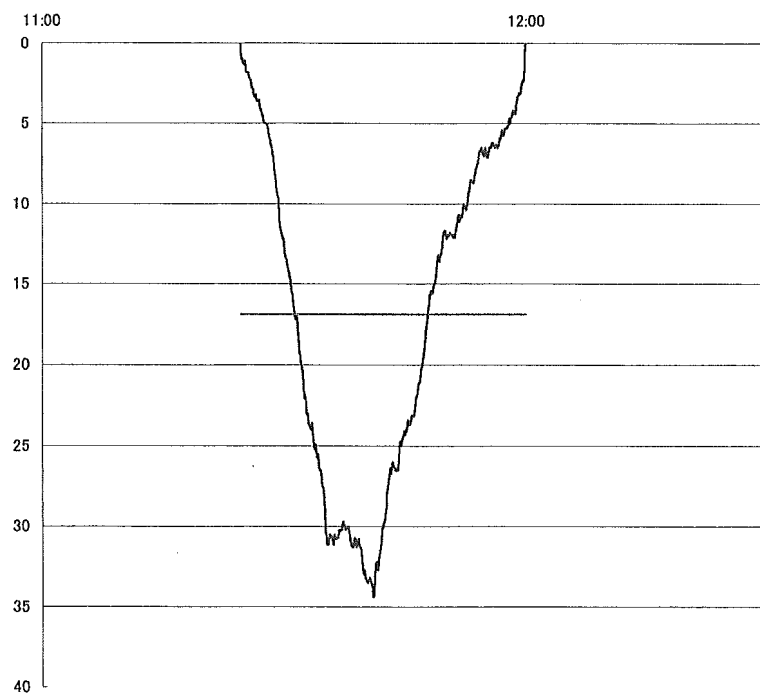


Hダイバー 大瀬・外海

2005/2/9

<1本目>

潜行開始; 11:24  
潜行終了; 11:59  
最大水深; 34.5  
平均水深; 16.9  
潜水時間; 0:35  
休息;



## D. 考察

我が国の標準減圧表別表第 1, 第 2 は共に国際的な減圧表の安全性に照らしてみても必ずしもベストな減圧表とは言い難く、かつ、高気圧業務を遂行する上でまだ十分な工夫や配慮をほどこせる可能性を残していると考えられた。

現行の標準減圧表に限らず、国際的に全ての減圧表が、一定の減圧理論に基づく数理計算によって導かれている為にその安全性に対する内容の均一性を得ることは難しく、どのような減圧表であれ、暴露される圧力が高くなるほど、かつ、その圧力下で滞在時間が長くなるほど減圧症の発症率は増大する。

その為に安全な減圧表を作製するには一定の暴露圧力ならびに暴露時間毎に異なる安全係数が必要となろう。圧力レベルで考えるならば、一般的に水深 20 m 以浅であるならば、どの減圧表を利用しようと大きな差異はなく、かなり高い安全性を維持することができる。水深 20 m を超えると同じ数理理論に基づく減圧表であっても圧力の増大に伴って減圧症発症率は等比級数的に増大していくであろう。従って、水深 30 m 空気による高気圧下業務は安全面から考えると望ましくなくなり、異なる概念による高気圧下作業の数理モデルを採用することが適切であろう。つまり、窒素に代わるヘリウムの採用等である。窒素ガスの分子量 28 に対してヘリウムは 4 であり、それだけ、ガスの体組織への溶解速度は速くなるが、同時に排出速度も速まる。また分子量が小さくなるほど、ガスとしての性質は inert となるので酔い効果も小さくなる。窒素酔いは水深 30 m 相当から出現すると言われているがヘリウムによる HPNS (High Pressur Neruous Syndrome) の発現は少なく共水深 100 m 相当水深以上である。標準減圧表別表第 1 は空気による 0.4 MPa までの業務を許容しているが、その根拠は不明である。窒素酔い、減圧症発症率の増大等を勘案すると水深 30 m 相当までは空気による高気圧作業は容認できるとしても、それを超える圧力環境にあってはヘリウム主体の混合ガスを推奨し、少なく共水深 40 m 以深相当圧力下ではヘリウム利用を義務付ける必要性はなかろうか。高気圧業務の安全を考える場合に無菌性骨壊死の急増する水深 30 m 相当圧力を超えた場合の減圧症発症率を抑えることは慢性減圧症としての無菌性骨壊死予防にもつながり、ダイバー、圧気土木作業員共に衛生管理上のキー・ポイントである。

このような作業圧力の相違に対する対策と共に窒素、ヘリウム等の不活性ガスの過飽和分を出来るだけ早く体外へ排出させる方法として欧米で好んで利用されているのが酸素減圧である。Oxygen window effect とよばれ、少しでも過大な過飽和不活性ガス排出を行うことは急性減圧症のみならず慢性減圧症原因と考えられている「無症候性気泡」の除去効果が期待できる。このような総合的な減圧症予防の為にバックアップ体制を構築することが現行の標準減圧症作成上、避けて通れない安全性についての不均一性の矯正となろう。

我が国の標準減圧表についてもこのような配慮が必要な段階に来ているといっても過言ではなかろう。

## E. 結論

標準的な減圧表を考える場合には従来から取られてきた減圧理論に基づく一定の数値モデルのみでは完全な作業管理はできない。急性期のみならず慢性期の減圧症の発症予防を視野に入れた対応としては水深 30 m 相当 ( 0.3 MPa) 以深の圧力への暴露に対してはヘリウムを利用した混合ガス吸入や高気圧環境作業後の安全な離脱に酸素減圧の利用が不可欠であり、推奨される課題である。

## F. 健康危険情報

### 1. 救急再圧の問題点

特に圧気土木作業においてかつては減圧症が発症すると現場で安易な救急再圧を行って、対処していたが、その中で重症ケースに対して救急再圧法を失敗し、こじらせて意識不明や麻痺にできてしまっていて手が付けられなくて連絡してくるケースが多かった。

昨年 10 月に福島県小名浜海岸で起こった事例は現場における救急再圧制度の問題点を改めて提言していた。

患者は水深 23 m に約 60 分間 2 回の潜水後、違和感を訴え、現場近くの港に設置してあった救急再圧室(第 1 種装置)に収容して、水深 50 m 相当圧力まで加圧したが症状は改善するどころか、悪化し、両下肢麻痺となってしまったのでどうしたら良いかとの問い合わせであった。

現場に設置されている第 1 種装置は 40 年以上前に製造されたもので重量は 1 ton 以上あり、コンプレッサーも定置式で移動は不可という代物で、第 1 種の為に医師は介助に入れないし、横断麻痺の患者を大気圧に復帰減圧して病院へ搬送することもできず、近医では対処できないとのことで、当初ヘリ搬送を指示したが、大きすぎるばかりか重量オーバーでヘリに搭載できない。やむを得ず、クレーン車に載せ、パトカー先導で当方へ搬送することになったが、クレーン車にのせて、小名浜を出発するまでに 5 時間近く経過し、減圧症治療のゴールデンタイムはおおむね過ぎてしまっていた。

当方への第 1 報が入ったのが、昼の 12 時過ぎで、病院へ到着したのは夜 8 時 30 分過ぎであった。その間、外部からの応答に答えることはできず、病院へ到着した時には救急再圧表第 4 表に従っていたので第 1 種装置の内圧は 0.18 MPa であったが、内部を覗くとチアノーゼ強く、呼吸の様子は見られず、かと言って、タンクを本学タンク内へ収容できないので急速減圧して第 1 種装置より 5 分以内に出し、病院施設の第 2 種装置へ収容する予定であったが、心肺停止の状態であったのですが、CPR を開始した。約 1 時間強の CPR ならびに救命処置を行ったが、家族からの要請もあり CPR を中止し、10 時過ぎに死亡と診断した。

このような事態に陥った問題は「高気圧障害防止規則」に基づく現行の現場における救急再圧制度にある。この制度があるために現場にて減圧症患者を再圧室に収容し、医師不在の下に救急再圧して取り返しのつかない状況に追い込んでしまったと言えよう。この事例は不幸の重なった特異な例であったかも知れないが、一般に救急再圧の名の下に現場で救急再圧治療が行われた結果、こじれてしまった事例は非常に多い。救急再圧であるが故に酸素再圧は薬事法に抵触するので現場では空気による治療法 1 ～ 4 の救急再圧表が利用されている。しかし、この表を作製した米国海軍では既に表 1 ～ 3 までの使用を禁止し、表 4 のみ酸素中毒症を発現するケースに利用する場合の例外的使用と認めた。つまり、原則的には空気による減圧症治療は禁止となっている。確かにこのような救急再圧法を認めた昭和 36 年の規則が施行された頃は医療設備も不備で減圧症発症時の救急対応は十分でなかったかもしれない。しかし、今日では第 1 種装置 866 基、第 2 種装置 53 基

が我が国内医療施設には設置されている。減圧症用治療に対して第 1 種装置は原則的に使用できないが、第 2 種装置 53 基は北海道から沖縄まで広く分布されており、多少の地域差はあるものの、今日の交通網からみて国内の何処で減圧症患者が発症しても 5 時間以内にはほぼこれらの施設がある病院へ患者を搬送できるものと思われる。

そうであるならば、発症から病院へ搬送する間は純酸素吸入をさせながら搬送すれば、減圧症治療対応は十分に間に合うこととなる。

現行の救急再圧制度はむしろ時代に逆行する不安全でリスクの高い救急避難行為といえ、この制度そのものを見直すべきではなかろうか。

## 2. 圧気土木作業のスプリット・シフト (split si-ft) 方式の問題点

圧気土木作業においては作業中の休憩時間をとるとの理由から作業途中で高気圧作業を中断させて減圧し、地上で約 1 時間の休憩を取り、再度入閤するという、いわゆるスプリット・シフト方式を義務付けられている。しかし、今日では国際的にこのような方式は 1 日に 2 回繰り返して高気圧業務につくというようなことはしていない。基本的には 1 日 1 回作業であり、少しでも減圧回数を減少させることで減圧症罹患率を抑える努力をしている。かつて労働省でも問題になったことではあるが、1 日の作業を 2 回に分けて途中で大気圧下へ復帰減圧し、地上で休憩を取ったとしても、労基法で定めている正規の休憩にはならない。つまり、地上にいる場合は体内に蓄積されている窒素ガス洗い出しの為のガス圧減少時間であって休憩時間に該当しないことが明らかになっている。従って、高気圧業務という特殊な形態の作業にあっては勤務時間と休息時間の区分のできない時間裁量を要する義務である。この前提に立って、より安全な高気圧作業を計画するためには欧米が今日採用している 1 日 1 回作業方式にすべきで、スプリット・シフト方式は中止すべきである。

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

- ① 眞野喜洋、山見信夫、芝山正治他：形成気泡数からみた我が国の標準減圧表評価、日高圧医誌 40(1), 21-24, 2005
- ② 眞野喜洋：減圧症、総合臨床救急マニュアル、653-656, 永井書店、東京、2004
- ③ 眞野喜洋：減圧症、プライマリーケアの実際、臨床研修マニュアル、臨床医、Vol.30, 787-789, 中外医学社、東京、2004
- ④ 山見信夫：減圧障害の発症とダイビングプロフィール、日本高気圧環境医学会関東地方会誌、3(1): 8-21, 2004
- ⑤ 山見信夫：減圧症の問題点、日本高気圧環境医学会関東地方会誌、3(2): 8-10, 2004

### 2. 学会発表

- ① S. Togawa, Y. Mano, N. Yamami, H. Nakayama, M. Shibayama: Nuerological dissociation of sensory and motoer dysfunction in spinal DCS, 36 th UHMS, Sydney, Canada 19-21 June, 2004
- ② Y. Mano: Safety of commercial diving, U.S./Japan Diving Physiology, Technology and Aerospace Medicine October 30- November 1, Tokyo, 2004
- ③ J. Takeuchi, N. Umeda, J. Shikaura, M. Ishii, S. Oda, Y. Kodama, T. Iwata, T. Kondo, Y. Mashiko, N. Yamami, M. Shibayama, Y. Mano: Automated pneumatic caisson sysytem in Japan, U.S./Japan Diving Physiology, Technology and Aerospace Medicine October 30- November 1, Tokyo, 2004
- ④ J. Takeuchi, N. Umeda, J. Shikaura, M. Ishii, S. Oda, Y. Kodama, T. Iwata, T. Kondo, Y. Mashiko, N. Yamami, M. Shibayama, Y. Mano: Mixture gas breathing sysytem in pneumatic caisson work, U.S./Japan Diving Physiology, Technology and Aerospace Medicine October 30- November 1, Tokyo, 2004
- ⑤ H. Nakayama, M. Shibayama, N. Yamami, S. Togawa, M. Takahashi, M. Kawashima, Y. Mano: Incidence of decompression dickness (DCS) in sports divers, U.S./Japan Diving Physiology, Technology and Aerospace Medicine October 30- November 1, Tokyo, 2004
- ⑥ N. Yamami, S. Togawa, H. Nakayama, M. Shibayama, Y. Mano: A discussion on Medical examination of divers, U.S./Japan Diving Physiology, Technology and Aerospace Medicine October 30- November 1, Tokyo, 2004
- ⑦ M. Sasaki, M. Kawashima, H. Tamura, K. Takao, K. Yoshida, Y. Mano: Shoulder artroscopy for dysbaric osteonercrosis of the humeral head, U.S./Japan Diving Physiology, Technology and Aerospace Medicine October 30- November 1, Tokyo, 2004
- ⑧ H. Tamura, M. Kawashima, M. Sasaki, I. Nagayoshi, K. Takao, T. Yamaguchi, Y. Mano, M. Kitano, C. Lehner: Clinical outcome and poor cases after surgical tretment for dysbaric osteonercrosis of the femoral head, U.S./Japan Diving Physiology, Technology and Aerospace Medicine October 30- November 1, Tokyo, 2004



- ⑨ K. Koshi, Y. Mano, R. M. Wong: Clinical manifestations of decompression illness in breath-hold divers, U.S./Japan Diving Physiology, Technology and Aerospace Medicine October 30- November 1, Tokyo, 2004
- ⑩ 中山晴美、芝山正治、山見信夫、外川誠一郎、川瀨真人、眞野喜洋：スポーツダイバーの減圧症（潜水障害）の発生頻度について、第39回日本高気圧環境医学会総会、東京、11月、2004
- ⑪ 山見信夫：減圧症の実例、予防、応急手当。日本高気圧環境医学会関東地方会誌 3(1): 48, 2004
- ⑫ Togawa S., Yamami N., Nakayama H., Shibayama M., Kawashima M., Shimada K., Mano Y. Spinal DCS foci predicted classification of hypalgesia and thermohypesthesia. U.S. and Japan Diving Physiology, Technology and Aerospace Medicine. 1: 76, 2004

## H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

## 第2章 形成気泡数からみた我が国の標準減圧表評価

眞野喜洋、山見信夫、外川誠一郎、中山晴美、中山徹、角田幸雄、岡崎史紘、

芝山正治、川島真人

日高圧医誌、40(1):21-24、2005

### はじめに

我が国の標準減圧表は昭和 36 年に労働省によって制定された別表第 1（圧気土木用）と別表第 2（潜水用）が推奨されている。しかし、今日この標準減圧表には様々な問題点が含まれており、規則通りにこれらの減圧表をしようすることには支障を生じることは明らかであろう。

圧気土木用の別表第 1 においては作業圧力の最大許容が 0.4 MPa であるが昨年度における作業圧力は既に 0.52 MPa であったし、本年の作業圧力でも 0.48 MPa の作業が発注されている。この規則は既に現在の実務作業の要求に対応していないばかりか、現行の標準減圧表を使用することで作業圧力の増大に比例して減圧症が増加するがその発生率は許容限界を逸脱しており、容認しがたい状況にあると思われる。また、減圧における酸素吸入を義務づけていない先進国は日本だけでも言えるほど行政の立ち遅れも指摘されている。

一方、潜水用の別表第 2 については水深 90m まで空気による潜水を指示しており、常識を逸脱しているばかりか、その安全性についても全く評価されておらず、世界でも最も risky な減圧表と言われても致し方ない。

このような厚労省の推奨する標準減圧表は Haldane の定律に基づいていると言われているものの、その根拠となる減圧理論について厚労省は示すことができず、これらの減圧表作成に携われた医師も既に逝去されており、現在では我が国の標準減圧表について検討しうる資料が存在していないといえる。

そこで今回は当研究室で過去に開発改良した agarose gel 気泡形成実験において検討した我が国の標準減圧表と各国の減圧表とを比較した結果を基に我が国の減圧表の評価を行い、若干の考察と今後の課題について触れてみることにする。

### 減圧表の原則

同一の理論によって構築されている減圧表は特定の数理理論に基づく特定の数式によって算出されている。従って同じ減圧表であるのならば、減圧症の発生率は人が暴露される圧力が高くなればなるほど、かつ、暴露時間が長くなればなるほど高くなる。我々は物理モデルによる agarose gel を用いた気泡計測法をかつて 50 ヶ所の圧気作業現場に協力して

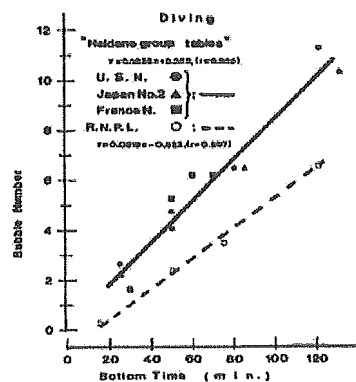


図1 Regression lines of Haldane group and R.N.P.L.  
(lotNo.16320, Tris Buffer, 0.5 Agarose, 0.27ml, 100 $\pm$ 30m)

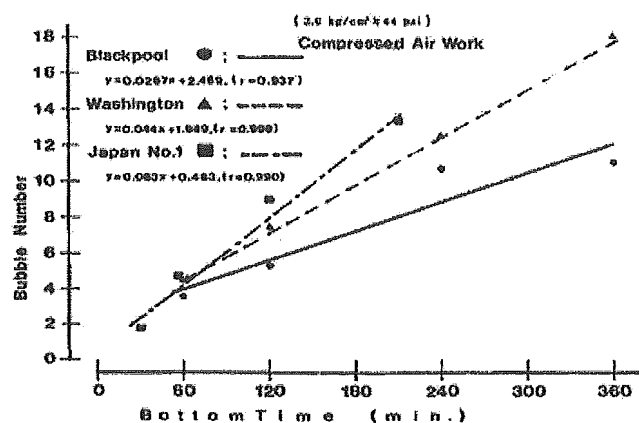


図2 Regression lines of different decompression schedules

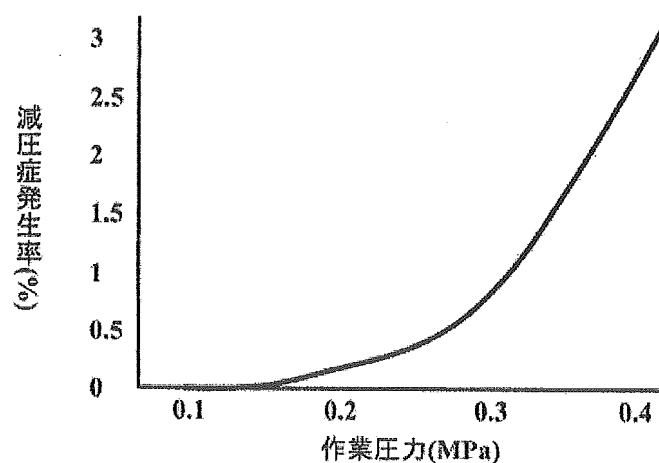


図3 作業圧力別減圧症発生率の比較

戴き、その作業場の全ての高気圧作業における延べ作業人数、作業圧力、滞在時間、別表第1表に準拠した減圧症発症件数、それぞれの単位当たり平均気泡計測数を調べた。その結果、作業圧力が「高くなるほど、かつ、作業時間が長くなるほど形成気泡数は増加する

が、減圧症の発生数も増加していることが判明した。作業圧力は 0.09 MPa ～ 0.28 MPa の範囲内の高気圧作業であったが、延べ作業人数、15,108 人の中 342 人(2.3%) が減圧症に罹患していた。これらの data から単位当たり計測気泡数と減圧症発症率との関係式を求めると以下ようになった。

$$Y = 0.084 X - 0.276 \quad (r = 0.939)$$

Y : 減圧症発症率

X : 単位当たり計測気泡数

つまり、形成気泡数と減圧症発症率との関係は一定の回帰直線で示すことが可能であり、発症率は気泡数に比例していることが指摘できる。このことはダイコンとよばれる減圧 computer も同様の物理モデルであることから減圧管理手段として利用できることを意味している。

これらのことから、同一理論に基づく数理論で導かれる減圧表では形成気泡数も同様に暴露圧力が増大するほど、また、暴露時間が増大するほど形成される気泡数も増大するであろうと予測される。どのような減圧表であってもその暴露圧力が高い場合や暴露時間が長い場合には減圧表の信頼性は下がるということであり、ダイバーが好んで愛用しているダイコンの限界も同様である。一定の信頼性をおけるダイコンや減圧表の利用はせいぜい水深は 30 m (0.29 MPa) 以内を限度とすべきであり、滞在時間では潜水で 60 分、圧気土木で 90 分が限度ではなかろうか。これらを超える場合にはさらに別の安全係数をかけなければ、そのままの減圧表を使用することにはかなりの risk が加わると考えるべきである。そのことを留意しないで圧暴露することには賛同できない。

## 我が国の減圧表評価

ここで示す内容は数理モデルに基づく agarose gel bubble からみた減圧表評価であるので、ダイコンと同様に人の生理現象を再現しているものではない。したがって、この研究を発表した 1970 年代から 80 年代前半にかけてはまだ、減圧 computer は全く普及していなかったもので物理的な数理モデルを人の減圧症発現に絡めて考案することへの抵抗が強く、本学会でも関係する潜水医学研究者から総すかんを食って袋叩きに会い、国際学会においても日本の土俵を海外にまで持ち込まれて批判して戴いた経緯がある。1981 年に Royal Navy Diving Manual が改訂され、また Peter Bennett らが彼らの同席している国際会議で agarose gel bubble の一連の仕事を高く評価してくれてからはその傾向は穏やかになったが痼りが消えたとは言えなかった。物理的に形成される気泡数から減圧表を評価することの是非そのものが現在のように computer でものを言えない時代の世相を示す一例であった。図 1 はその頃行った、いわゆる Haldane 表と英国海軍生理学研究所 (RNPL) で作成された減圧表との比較である。水深を 30m 相当圧力に固定し、そこでの圧暴露時間を 20 - 120 分まで変化させ、それぞれの減圧表に従って大気圧力まで復帰減圧させた時の形成気泡数の変化を示している。我が国の標準減圧表を含めて米仏海軍表の形成気泡数は RNPL 表より形成される気泡数は多く、それだけ risky と言える。また、両者に共通して言えることは潜水時間が短い場合には気泡数が少ないが時間経過と共にその数は直

線的に増加し在底時間（bottom time）が 60 分 を超えるようになると特に日本の減圧表も減圧症発症の危険性が高まってくる。本来ならば、同じ理論に基づく減圧表であればそれを利用した結果、形成される気泡数は在底時間に関係なく短時間でも長時間でもその危険率は同じでなければならないはずが、在底時間の違いによって同じ減圧表を使用しても同じレベルの安全性は保証されていないと言える。同様に圧気土木作業に用いられている別表第 1 表についても図 2 から言えることは我が国の減圧表は米国の Washington 表や英国の Blackpool 表と比べ、時間経過に伴う形成気泡数の増加は著しく増えてしまう。圧暴露時間が 60 分を超えると日本の別表第 1 は欧米の減圧表に比べ risky なことは一目瞭然であろう。図 1 および 2 に共通して言えることは気泡計測法から判断すると我が国の標準減圧表は欧米の減圧表の安全性と較べるとかなり低いと言わざるを得ない。

作業圧力の違いによる減圧症発生率の変化は図 3 に示されるように作業圧力が大なるほど発生率は等比級数的に増えてゆく。これは当研究室で延べ人数 55,643 人に対して 287 人の減圧症発生をみた data を基に作成された。作業圧力が 0.2 MPa 以下では減圧症発生は余り多くないが 0.3 MPa を超えると途端に増加する。0.3 MPa（水深 30m 相当）以上の場合には、民間レベルでは既に行っているが、厚労省の標準減圧表においても、この現象は減圧表そのものの持つ宿命であるとも言えるので今後の減圧表作成にあたっては単なる数理モデルのみに頼らない別の安全係数をさらに付加することを考える必要があろう。

## 現行の標準減圧表の問題点と今後の課題

我が国の圧気土木用の標準減圧表、別表第 1 は 1 日に 2 回の split shift 作業を基本としている。この考え方は作業途中で休憩時間を挿入するという労基法の原則に照らして決められたようであるが、減圧症発生の risk を高めるという点で間違っている。高気圧業務という特殊な環境作業に対してあまりにも無知蒙昧な行政的対応と言わざるを得ない。

現在このような体系を維持しているのは先進諸国では日本だけである。繰り返し圧力暴露を避けるためには欧米では 1 日 1 回作業が原則であり、その工夫をすべきであろう。

0.4 MPa 以上の減圧表がないからという理由で別表第 2 を推奨している点もナンセンス以外の何物でもない。そもそも空気表を堅持する姿勢は取りやめるべきであり、0.3 MPa 以上での空気による減圧管理には賛同できない。減圧症発生が急増する 0.3 MPa 以上の作業においては Helium ガスを利用する混合ガス吸入を検討すべきであろう。また、減圧を必要とするあらゆる圧気作業においては酸素減圧を標準利用とすることで減圧症発生を皆無に近づける環境を整備すべきである。このような行政的な配慮が欠落しているために発注者はコストの安い空気利用に拘る結果となり、そのしわ寄せが圧気作業者にのみ掛かってしまう結果となっている。EC 諸国では 1996 年以降の空気による減圧方法を廃棄して酸素減圧が標準工法となっている。これによって誤作動を除いて減圧症に対する心配は殆ど無くなったと言われている。

潜水用の別表第 2 について高気圧障害防止規則では水中における酸素減圧を禁止している。使用する呼吸ガスの採り違いによる事故が過去にあって、それによる急性酸素中毒による死亡事故が背景にあったものと思われる。しかし、現在そのような人為的ミスは

原則として想定し得ないこと、酸素減圧による減圧症予防効果の大なることを考えるとこのような法規制は過去の考え方であり、潜水においても酸素減圧を利用すべきと言えよう。

また、水深 90 m までの空気による潜水を推奨していることは常識外であり、少なくとも水深 40 m 以上では混合ガス潜水にするべきであり、水深 30 m 以上における作業潜水では混合ガス潜水を推奨すべきである。潜水作業は圧気土木と異なり、水産関係などでは特に一人親方的零細企業も多く、コストの問題があつて価格的に対応の難しい面もあり、一定の例外処置も必要かも知れない。しかし安全潜水を考える場合には水深 40 m 以上における空気による潜水作業は推奨できない。また、水中減圧は基本的に行うべきではなく、特殊な潜水環境条件を除いて無限圧潜水に限定し、有減圧潜水を行う場合にはすべての場合に酸素減圧を義務付けて bounce dive に依る船上減圧、ないし bell bounce dive を行うべきであろう。また、どうしても例外的に水中減圧をしなければならない場合にはオープン・ボトム・ベルないし水中ステージの設置を義務づけて酸素減圧を行うべきであろう。

## 第3章 減圧症

減圧症 (Decompression Sickness)

眞野喜洋

永井書店、東京、p653-656、2004

キーワード：減圧症、再圧治療、I・II型、酸素吸入

### 1. 概説

#### (1) I 型・II 型の鑑別

減圧症は潜水または圧気作業（潜函作業等）において高気圧環境に圧暴露された後の大気圧復帰における減圧が速すぎた場合に体内に溶解された窒素ガス等が過飽和となって気泡化し、組織圧迫や血流障害を生じる結果発症する一連の症状を言う。軽い症状としては皮膚型（丘疹や大理石斑）もあるが一般的には四肢関節や筋肉に局限して発症する I 型（bends）と中枢神経障害や呼吸循環障害（chokes）などの II 型に大別される。I 型の場合 bends とよばれ従来は減圧症の 85 % 位を占めていたが、SCUBA 潜水が主流となってからは約 3 分の 2 は II 型の発症となっている。II 型は前庭末梢障害型（メニエール型）等が I 型の bends と合併しているものを含み、I 型のみ症状を呈する以外の全てを指すが、この診断は治療用の再圧治療表選択の上で重要である。中枢神経系（CNS）の脳型障害は動脈ガス塞栓症（AGE: arterial gas embolism）と鑑別が困難な場合に、それを III 型と呼ぶ場合もあるが、再圧治療方法は II 型と同じ扱いで良い。

I 型、II 型の鑑別上、誤りやすい症状として知覚異常の見落としがある。ダイバーの場合には特に上肢の肩、肘関節などを中心に激痛が走り、それに気を取られ過ぎて、下肢の知覚異常を見落とすことがあるので、四肢の知覚チェックは絶対不可欠で痛覚や温・冷覚などの異常ある場合には II 型と診断しなければならない。

#### (2) 再圧治療表の選択

治療方法の第 1 選択は国際的基準である U.S.Navy で開発された表 5 または表 6 を使用する（図 1, 2）。I 型とよばれる bends のみを訴えている場合で初期圧力 0.18 MPa（水深 18 m 相当、2.8 ATA）で純酸素吸入 10 分以内に bends 症状の全てが消失した場合に限って表 5 を用いるが、I 型であっても 10 分経過してもなお少しでも症状が残存している場合は表 6 に移行する。II 型（III 型も含む）の場合には全て表 6 を施行する。表 6 を使用して 0.18 MPa（水深 9 m 相当）下で 20 分間の酸素吸入を 3 回行ってなお症状が残存している場合にはそのまま表 6 にしたがって 0.09 MPa（水深 9 m 相当）まで酸素吸入しながら減圧するか、0.18 MPa を維持しながら 5 分間の air break を挟んで 2 回までの 20 分間酸素吸入、および 0.09 MPa で 15 分間のエア・ブレイクを挟み 2 回までの 60 分間酸素吸入を延長して行うことができる。しかし、表 6 の延長を行う場合には専門医に相談すべきであろう。



高気圧酸素治療を行う場合には第 2 種装置とよばれる副室を持った大型の再圧タンクで行うべきで、第 1 種装置とよばれる 1 人用の one man chamber は原則として利用すべきでなく、やむを得ずそれを利用する場合には空気加圧式でタンク内にて酸素吸入器の具備されているものを利用しなければならない。国内には純酸素加圧による第 1 種装置が全国の医療施設に約 700 台あるが、酸素と air を switch できない装置での減圧症治療は行うべきでなく、搬送に手間取っても、その間酸素吸入させながら、表 5 や表 6 の行え得る施設を確認してから患者を送らなければならない。

### (3) 再圧治療不可の場合の対処法

全国の高気圧酸素治療用タンクは 736 施設（2003 年 6 月調べ）存在している。これは世界中の約 10 % に相当し、国土面積からみるとタンク密度は濃いだが、この中、第 2 種装置は 53 施設しか無いので、国内何処でも再圧治療が行えるという環境ではない。

大部分の第 1 種装置は酸素加圧方式なので表 5 や表 6 を使うことができず、20 分の酸素吸入毎に 5 分間の air break を入れないと酸素中毒症に罹患してしまう。したがって、これを行える第 2 種装置を有する施設へ患者を搬送しなければならないが、減圧症治療の golden time は 5 時間であり、この時間猶予があれば、国内では十分にカバーできる。その間は少なく共 10 l/分以上の酸素投与が不可欠で、これによって症状の増悪化の遅延を計ることができる。

### (4) 併用療法

まず酸素のラインを確保したならば併用療法として脳浮腫をとる目的で低分子デキストランの補液、副腎皮質ホルモンの投薬は初期から積極的に行う。補液として 5 % ブドウ糖は禁忌で Ringer' s Lactate を主体的に使う。抗血小板凝集の目的でヘパリン投与も必要に併せて処方する。その間に再圧治療可能な施設への搬送を考える。急ぐあまり、航空機移動を行う場合には第 1 種装置内に収容して保圧しながら搬送する。ヘリ輸送の場合でも少なく共、海拔 300 m 以下でフライトしなければならない。車での搬送の場合にも標高 300 m を超えないようにすべきで、その間の酸素投与は不可欠である。

### (5) Hot Line の利用

近くに第 2 種装置がなく、かつ搬送手段が無い場合で減圧症を疑う事態が生じた時には、DAN Japan の Hot Line が利用できる。これはスポーツ・ダイバーの為に開発されたラインで東京医科歯科大学電話交換室へかかり、24 時間オープンで対応している。DAN は海上保安庁が back up しており、国内の 52 施設とリンクしており減圧症患者の搬送ならびに再圧治療できる net work である。治療内容についての相談も受け付けているので利用すると便利であろう。Hot Line 番号は 03 - 3812 - 4999（至急救急）である。減圧症の治療は再圧治療抜きでは完治できない。

## 2. 症状

### (1) 知覚異常の見落とし

再圧治療で失敗する場合の多くは知覚異常の見落としである。特にダイバーの場合には上肢の疼痛(bends)訴えが多い。SCUBA 潜水がスポーツ・ダイバーの主流であるが、呼吸用の空気の予備がなく空気ボンベはすぐ消費されるので深く潜降するほど水中滞在時間は短くなり、ガス欠に気付くとあわてて海面へ急浮上してしまう。神経組織は血流が豊富で短時間のうちに窒素ガスが飽和されていく一方皮膚・筋肉組織は血流が少ないので組織への窒素ガス溶解は少ない。この為、SCUBA 潜水では中枢神経系のⅡ型減圧症の発症が全体の 3 分の 2 を占めるほど多発し、他の呼吸器である、ヘルメットやフーカー潜水の場合と異なる。一方、潜水中の身体活動部位でダイバーは上肢をよく使用するので bends に罹患する部位は上肢の肩や肘部、手関節部が多い。しかし、知覚障害部位は下肢から上向性に生じることが多いので上肢の疼痛に気を取られ、知覚麻痺を見落とす危険がある。その結果、Ⅰ型減圧症と診断して第 5 表を使用してしまい、結果的に障害の残存や悪化を招く。

### (2) 一般的高気圧酸素治療(HBO)の利用

減圧症の治療には図 1 および 2 で示される再圧治療表 5 または表 6 を使用することが原則である。しかし、国内の多くの医療機関では第 1 種装置とよばれる 1 人用のカプセル型タンクが普及していて、純酸素で加圧するので、途中で air break できないため、また付加圧力が低いばかりか、高気圧酸素治療時間も 60 分程度と短く、減圧症治療には不適である。HBO をした方がしないより良いとの考え方も無いわけではないが、好ましくない。このカプセル型第 1 種装置は大型の第 2 種装置のある施設へ搬送する場合に高所移動や航空機移送する時の保圧用に用いることが減圧症に対する本来の使用目的である。不適切な HBO は減圧症症状の回復を遅延させるリスクがあり一般的な HBO とよばれる高気圧酸素治療を安直に減圧症患者に利用すべきでない。

## 3. 必要な検査

診断・処置のフローチャートは図 3 の通りである。Ⅰ型・Ⅱ型の鑑別診断をする上で、神経学的検査は最も重要で特に知覚鈍麻を見落とすことが多い。減圧症治療チャートを図 3 に示す。患者を診る場合にまず行うべきことはⅠ型かⅡ型かの鑑別である。四肢筋肉や関節部に限局して疼痛は移動しない局所的激痛がⅠ型の特徴だが、前述のように知覚障害を合併している場合はⅡ型と診断すべきで、神経学的検査は必須項目である。

注意点としては常に上向性に侵されるとは限らず区域性に脊髄視床路または灰白質交差性線維の部分的障害を示す事例も多く、これは原因気泡に伴う虚血または脊髄内形成気泡に依る限局的障害に起因する。また、潜水等の高気圧空気を呼吸し、加圧および減圧を繰り返す環境圧力変動が大きいので、呼吸機能への負担が大となる。

自然気胸や喘息症の既往歴のチェックと胸部 X 線、肺換気機能（特に 1 秒率）ならびに血算、血小板を含む生化学的検査も routine である。減圧症患者は AST や CRP が亢進している場合もある。

重症減圧症は DIC 様所見を呈することもあり、そのチェックも行う必要がある。中耳や副鼻腔の圧外傷の併発をみる目的の耳鼻科的検査も routine 検査となる。

#### 4. 緊急度と重症度の判別

減圧症の主な症状は、1. 皮膚症状（丘疹、大理石斑）、2. 四肢関節・筋肉症 (bends)、3. 中枢神経系 (CNS) 障害、4. 呼吸循環系障害 (chokes) の 4 つに大別され、またそれらの合併所見として認識される。3. または 4. が重症でⅡ型とよばれており、特に chokes の死亡率は高い。また脳型中枢神経系障害の場合は肺破裂に伴う外傷性（動脈）空気塞栓症 (AGE) との鑑別または合併症例の診断が重要であるが、減圧症を疑った場合には即時の再圧治療が検査等に優先させて施行されなければならない。再圧治療の golden time は 5 時間以内であり、再圧までの時間経過が長引く程、予後不良である。また脊髄型横断麻痺により膀胱直腸障害を伴うケースも完治は難しくなる。その場合のリハビリは出来るだけ早期から行うべきで、再圧治療と併用して行うことが大切であろう。

#### 5. 緊急処置

減圧症を疑ったならば直ちに酸素吸入（毎分 12 l 以上）を検査と共に行う必要がある。つまり酸素吸入を緊急処置として開始すると同時に再圧治療の受け入れ施設との連絡や補液を考えるべきであろう。

表 6（図 3）を中心にした再圧治療が絶対的適応で発症から治療開始までの経過時間が予後を決定すると言っても過言ではない。即座に再圧できない場合には十分な酸素投与と補液による血管確保が大切である（DOs4. 参照）。

#### 6. 2 日目以降の処置検査

連続した再圧治療と薬物療法の継続ならびに CNS 障害に対するリハビリを行うと共に肺酸素毒性量 (UPTD: Unit of Pulmonary Oxygen Toxicity Dose) の算出によるケアならびに肺 X 線と肺活量減少の監視を行わなければならない。

#### 7. 専門施設への転送の判断

一刻も早く第 2 種装置を有し、減圧症専門医のいる施設への転送を考える。

#### 8. 専門医からのアドバイス

減圧症の診断は難しくない。問診にて潜水、潜函などの高気圧環境曝露が 2 絶対気圧以上であれば、まず減圧症を疑い再圧治療を考える。再圧治療に反応しない場合に他の疾患を検討しても遅くない。つまり再圧治療は減圧症治療の絶対条件であるだけでなく、他

疾患の鑑別診断としても有効である。

#### 参考文献

1. 眞野喜洋（鑑著）：潜水医学、朝倉書店、東京、1992
2. 眞野喜洋：高圧環境と健康、（財）労働科学研究所、神奈川、1994
3. 眞野喜洋（鑑著）：潜水事故における酸素供給法、（財）日本海洋レジャー安全・振興協会、東京、1992
4. 眞野喜洋（鑑著）：減圧症治療参考マニュアル（改訂版）、（財）日本海洋レジャー安全・振興協会、東京、1999
5. 眞野喜洋：減圧症、今日の治療指針、p144、医学書院、東京、2001
6. 眞野喜洋：減圧症（潜水病、潜函病）、新臨床内科学、p835-836、医学書院、東京、2003