

# 潜水で用いる自動減圧計によって発症した減圧症について

芝山 正治

## Decompression sickness by diving computer in dining

Masaharu SHIBAYAMA

キーワード：スクーバダイビング、自動減圧計  
SCUBA diving, diving computer

### はじめに

日本のレジャーダイバー人口は現在50万人とも60万人とも言われ、年々増加している<sup>1)</sup>。その人口増加と共に新しい潜水器材が開発され実用化されている。その中で1988年頃より自動減圧計（ダイビングコンピュータ）が普及しはじめ、今日では、ダイビングインストラクターやガイドダイバーまたはレジャーダイバーまでが、ダイビングの常備品として携帯するようになった<sup>2)</sup>。国内に出回っている自動減圧計の種類は、把握できているものだけで約20種以上と推定され、その安全性については、基本的システムが不明であるため検証された報告は見当たらない。

潜水は、生体が加圧（潜水）されることによって体内に窒素ガスが溶解し、減圧（浮上）と共に、体内に溶解していた窒素ガスが呼吸と共に排出される。この窒素ガスの溶解量は、潜水深度と時間とが関係し、深い潜水であれば、短時間であっても溶解量が多く、潜水深度が浅くとも時間が長いと同じく溶解量は多くな

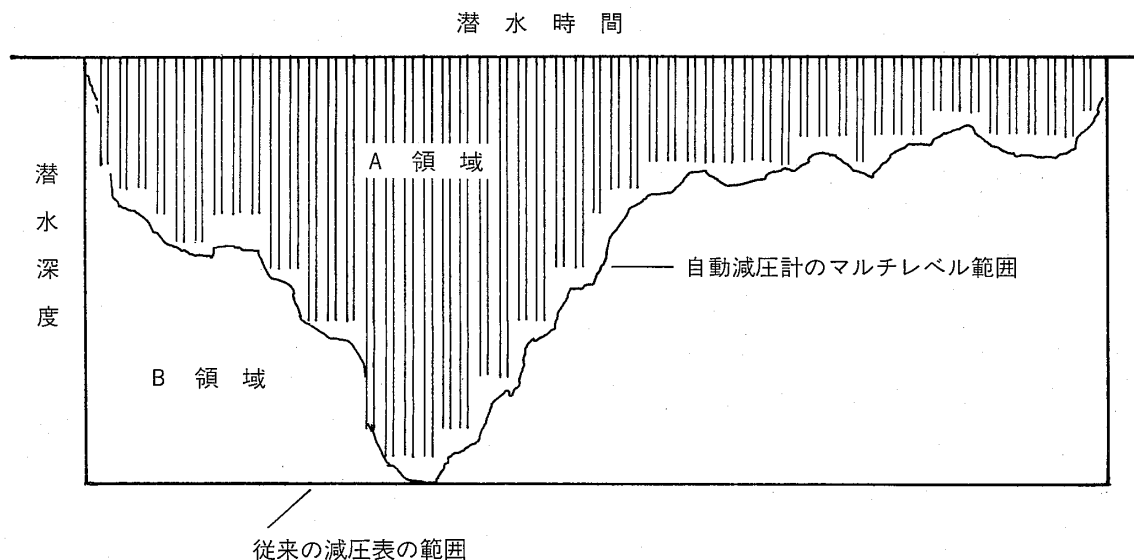


図1 自動減圧計の窒素ガス溶解量計算範囲(A領域)と従来の減圧表の窒素ガス溶解量計算範囲(B領域)。比較すると従来の減圧表の窒素ガス溶解量(B領域)の方が多くなる。

る。自動減圧計が普及するまでは、潜水深度と潜水時間をダイバーが水深計と水中時計で認識し、減圧表を用いて減圧症（潜水障害）の予防に努めてきた。この時の潜水深度は、基本的には潜水中の最大深度（図1のB領域）を用いて減圧表をひくルールである<sup>3-7)</sup>。一方、自動減圧計は、従来の減圧計算方法と異なり、コンピュータが自動的に減圧計算を行い、窒素の溶解ガス量は、マルチレベル（図1のA領域）で計算され、ディスプレイ上に潜水している現在の状況をダイバーに知らせ、無減圧で潜水できる残り時間や有減圧（浮上の時に指示された深度に停止すること）の必要なときの減圧停止深度および減圧時間を指示してくれる優れものとしてレジャーダイバーに携行されている。しかし、自動減圧計を携行して潜水したところ減圧症に罹患した事例が近年目立つようになった<sup>2,8)</sup>。

今回の研究目的はDAN Japan (Divers Alert Network in Japan) の相談件数<sup>2,9-12)</sup>の中で自動減圧計を用いた潜水によって減圧症が発症した事例について、その原因及び自動減圧計の利用状況などについて検討すると共に、今後の問題点について検証した。

### 方法及び期間

レジャーダイバーの自動減圧計保有状態を調べるため、日本国内で最も多くのダイバーが集まる静岡県の大瀬崎に向き、聞き取り方法によるアンケート調査を行った。期間は1996年6月である。

減圧症の罹患者と自動減圧計の関係は、DAN Japanの資料から調べた。DAN Japanは、1992年4月から運用され、その中のホットラインにコール（相談）してきた内容を検討してまとめた。期間は、1992年4月から1995年3月までの3年間である。

### 結 果

#### 1. レジャーダイバーの聞き取り調査

321名のダイバーから聞き取り調査を行った。表1に調査結果をまとめる。調査を行ったときに自動減圧計を携行していたダイバーは217名存在し、利用率は67%であった。減圧症罹患経験者は、9名（2.8%）存在した。今までの使用タンク本数の平均は、412本であることから、減圧症罹患率は14,325本のタンク使用で1回の減圧症発症を認めた。

減圧症以外の潜水障害は、表2の通りで、窒素酔いが最も多く33名で全体の10%を占め、障害全体でも42%を占めていた。

男女比は、男性が67%、女性が33%であるが、全国のCカード（潜水技術認定カード）の発行割合からす

表1 レジャーダイバーの潜水実績(1996年調査)

調査項目	合計 (n. 321)	
	平均	±SD (min~max)
潜水歴		
経験年数	4.8	4.7(0~30)
合計タンク 使用本数(本)	412.0	820.7(1~5500)
年間のタンク 使用本数(本)	70.5	92.4(1~500)
最高潜水深度(m)	38.7	16.1(2~138)
調査日		
タンク使用本数(本)	2.1	0.8(1~5)
自動減圧計の利用率(%)	67.6	217/321
減圧症罹患人数(人)	9	
減圧症発症率(%)	2.8	
減圧症罹患とタンク本数(本) (タンク本数/減圧症罹患数)	14,325	

表2 レジャーダイバーの高気圧障害の罹患割合(1996年調査)

障害名	件数	割合(%)
耳	31	26.5
窒素酔い	33	28.2
副鼻腔	25	21.4
歯	18	15.4
減圧症	9	7.7
その他	1	0.8
合計	117	100.0
罹患頻度	78/321	24.3

表3 日本のレジャーダイバーと本調査の年齢区分による男女比較(1996)

年齢 (才)	男性		女性		合計	
	Cカード 発行数	本調査 割合	Cカード 発行数	本調査 割合	Cカード 発行数	本調査 割合
20>	8.9	7.4	10.1	10.4	9.5	8.4
20~24	31.5	16.	46.1	35.	38.5	23.
25~29	31.9	31.	30.6	37.	31.3	33.
30~34	13.6	19.5	7.0	10.4	10.5	16.5
35~39	5.5	14.9	2.3	4.7	3.9	11.5
40≤	8.6	10.2	3.9	0.9	6.3	7.2
合計(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
男女比(%)	52.1	66.9	47.9	33.1	100.0	100.0
件数(人)	21,803	215	20,039	106	41,842	321

※Cカード発行数は、1995年分。資料：平成7年度ダイビング産業に関する実態動向調査報告書、海中開発技術協会。

ると、今回の調査では男性の割合が多く認められた(表3)。年齢は男女とも20才代が中心であった。

## 2. DAN Japanの集計

DAN Japanのコール総件数は、281件である(表4)。

減圧症の件数は102件(36.3%)である。その内の自動減圧計を用いて潜水し、減圧症などの発症不安でコールしてきた件数は20件(7.1%)であった(表5)。20件中の性別は、男性が80%に対して女性が20%である。平均年齢は、32才±5.9才で最小年齢が23才、最高年齢が45才である。居住地区は、東京、神奈川の東京圏が全体の72%を占め、残りは中部方面であった。職種はレジャーダイバーが53%、インストラクターダイバーが40%であり、レジャーダイバーが半数以上を占めていた。減圧症を発症した潜水地区は、静岡県伊豆半島が半数以上の58%を占め、残りは沖縄と海外などであった。静岡県の潜水地での潜水日数は、平均して2日間であるが、沖縄や海外では4~5日間である。期間中の使用タンク本数は、近場の静岡県などでは、2日間で3~6本であるが、遠隔地の沖縄や海外では10~15本である。全体としては1日平均で2.5本のタンクを使用していた。

20件の中で、減圧症と診断された事例は15件である。症状の分類では、軽症の減圧症と位置づけられるI型が6件、重症の減圧症と位置づけられるII型が9件である。また、肺破裂が1件(緊急浮上に伴う症例)、潜水障害とは認められない症例が4件であった(表5)。

表4 DANホットラインコールの中で減圧症の相談をした件数

ホットライン利用総件数	減圧症罹患件数
281件	102件

DAN Japanの1992年4月~1995年3月

表6 減圧症の罹患の中で自動減圧計の指示を守ったか

守った	11件
無視した	4件

DAN Japanの1992年4月~1995年3月

表5 自動減圧計を用いて減圧症などの発症不安で相談があった件数

20件	内訳	減圧症	15件	I型	6件
				II型	9件
		(内：高圧酸素治療を行った件数 9名)			
		肺破裂	1件		
		その他	4件	内科的疾患	2件
				整形外科的疾患	2件

DAN Japanの1992年4月~1995年3月

減圧症と診断された15件の中で、自動減圧計の指示を守って減圧症に罹患した事例は11件、指示を守らず減圧症に罹患した事例は4件であった(表6)。

### 3. 一般に市販されている自動減圧計

表7に一覧を示す。調べられた自動減圧計は19種類であるが、これ以外にも存在すると思われる。減圧計算理論は企業秘密とのことで詳細は不明である。

### 考 察

自動減圧計と従来の減圧表の違いは、従来の減圧表は、潜水時間中の最大深度を潜水深度として図1のA領域とB領域を含めて計算<sup>4-7)</sup>され、実際には潜水していない領域がある。このB領域により安全率が高く、減圧症の発症率を低く抑えていた。一方、自動減圧計は、A領域だけをマルチレベルで計算するため、減圧表を用いるよりも無減圧で潜水できる時間が延長する結果となる。減圧表の減圧計算理論は、多くの研究者が報告し作製されているが、これらの減圧表を用いて潜水しても減圧症の発症率は決して0%ではない。それは、潜水することにより体内に窒素ガスが溶解し、減圧と共にそのガスが排出される。その減圧過程で減圧速度が速すぎると過剰なガスが体内で過飽和状態となり気泡化する。安全な無減圧潜水であっても体内で過飽和状態となったガスが気泡化するが、その量は減圧症に至らない量とされている。しかし、個人差やその日の体調などで無減圧潜水を行ったとしても減圧症発症に対する危険性はある。減圧表の中でU.S.Navyの減圧表<sup>5,6)</sup>が有名であるが、その減圧表を用いても減圧症の発症率は0.56%と報告され、潜水を行う行為は、どのような安全な減圧方法を用いても減圧症の発症への危険性はある。このような中で使われている自動減圧計は、器械が自動的に減圧計算をしてくれ、ダイバーは大変楽な思いで潜水を行うことができるが、決して万能なものではなく、減圧症への危険性があり、使い方を十分考慮した上で使われるものである。また、この器械を使うのは人であり、使い方の過ちや器械の故障などによって事故が発生する可能性も考えられる。DAN Japan資料の中から幾つかの事故例を示す。

事例1：30才、男性、レジャーダイバー、自動減圧計使用、減圧症I型と診断。潜水プロフィールは1日

表7 一般に市販されている自動減圧計の種類

品 名	価格	製造国
P i c o	59,000	日本
アンコールコンピュータ	59,000	日本
L I V E N A V I D C - I I	115,000	日本
プロフィール1000	88,000	日本
I M P R E X ダイブコンピュータ	59,000	日本
D I V E D E M O (B R I D G E S T O N E)	98,000	日本
データトランス	155,000	アメリカ
MC-36	79,000	アメリカ
コンピュテック	160,000	アメリカ
データトランス	155,000	アメリカ
ピポット マトリクス	89,000	アメリカ
ジニアス	139,000	スイス
スキューバプロ ダイブコンピュータ E D I	49,000	スイス
D C - 1 2 (S C U B A P R O)	48,000	スイス
アラジン エアX	152,000	スイス
セント ソリューション アルファ	98,000	フィンランド
セント コンパニオン	59,000	フィンランド
ダイブメント	98,000	イタリア
モニター3エア	152,000	フランス

にタンク2本の潜水、1回目は30mで45分、休憩3.5時間、2本目は40mに45分、減圧を3mに4分。自動減圧計では無減圧を指示、浮上終了4時間後に東名高速道路で御殿場周辺に来た処、左の肘と膝の痛みを自覚。この潜水プロフィールをU.S.Navyの減圧表に当てはめてみると、1本目の潜水で既に減圧停止が必要となり、6mに2分と3mに24分、2本目の潜水に至っては、深度15mからの減圧停止(12m、9m、6m、3m)が必要となり、合計の減圧時間は238分になる。しかし、実際の自動減圧計ではマルチレベルで計算するため無減圧を指示し、結果的に減圧症に罹患することになる。

実際の減圧表を使うとき最大深度を用いるが、潜水できる時間が短くなるため水深計(ダイビング時計)の機能を用い、潜水深度を平均深度として減圧表を求めることがある。次の事例2では、潜水プロフィールの詳細が判明し、潜水深度を平均深度として減圧表を計算したケースである。

事例2:45才、男性、インストラクターダイバー、自動減圧計使用、減圧症II型と診断。潜水プロフィールは、3本潜水しており、1本目は平均深度24mに33分、休憩3時間41分、2本目は同24mに39分、休憩2時間4分、3本目は同30mに45分の潜水を行ったが、3本目に減圧の指示があり6mで10分の停止を行った。浮上終了4時間後に脊髄型(重症の減圧症)を訴える。このケースをU.S.Navyの減圧表に当てはめると、2本目の潜水で3mで17分、3本目の潜水では9mからの減圧停止(6mと3m)が必要となり、合計で83分必要となる。自動減圧計の指示と大幅に異なる結果となる。

自動減圧計は、メーカーによってそれぞれの減圧理論や安全率の設定が異なる。また、ガスの溶解は体内の組織で全て一定の溶解速度ではなく各組織によって異なる。この各組織を半飽和組織(飽和の50%溶解量)と呼び、半飽和時間で決められている。例えば、血液などは速い組織として考えられ、半飽和時間が5分であり、筋肉などは20分である。また、溶解速度が遅い組織は、240分や360分であったりする。加圧(潜水)によって窒素ガスが溶解し、減圧(浮上)によって体内から排出される。この排出速度は各組織により異なる。短時間で溶解する組織は、減圧と共に速い速度で体内から排出されるが、遅い組織では排出速度も遅く、体内に窒素ガスが残り、繰り返して潜水すると次回の潜水時に加算される。また、潜水後に飛行機に搭乗(高所)したり、高い山に登ったりすると気圧が低下し、体内で無症状状態である気泡が、気圧の低下と共に減圧され、気泡が大きくなり、その結果、減圧症の症状が現れることがある<sup>2,9)</sup>。とくに伊豆半島の西海岸で潜水した後、車で東名高速の御殿場(高所:海拔400m、気圧で960hPa)や国道1号線で箱根(海拔900m、気圧で900hPa)を越えて帰宅したりすると気圧の低下で減圧症の発症危険性が高まる<sup>12)</sup>。従って、短時間の潜水では、半飽和時間(半飽和組織)を20分や40分だけを考慮すればよいが、長時間の潜水や繰り返し潜水回数が多くなると遅い組織をも考慮する必要がある。

自動減圧計の減圧計算は把握できていないが、レジャーダイバーの潜水方法は、一般的に無理のない潜水を行う前提で考えられているため、短時間潜水として半飽和組織を短時間組織の20分や40分とするのが一般的な考え方である。しかし、1日に3本以上の潜水を行うと短時間組織だけでは解決できない問題となる。

聞き取り調査では、1日の平均潜水回数が2.5回であった。この中で1日に5回の潜水を行っている者が含まれている(表1)。自動減圧計の説明書では、1日に5回の潜水であっても使用可能であると記載されているが、繰り返し潜水回数が増えればなるほど減圧症の発症危険性は高くなることは明白である。

これらのことから、自動減圧計の指示通り潜水しても減圧症に罹患する可能性は存在し、より安全率を高めた方法で自動減圧計の使用を考慮すべきである。

## 結 語

1. レジャーダイバーで自動減圧計の利用率は67%と高かった。
2. 1日の平均潜水回数(タンク使用本数)は2.5回であった。最高の回数で5回のダイバーがいた。
3. 市販されている自動減圧計は、国内で約20種以上と思われる。減圧理論などの計算方法は、今回の研究では調べられなかった。
4. DAN Japanの資料によると少なくとも3年間で102件の減圧症罹患者が存在し、その中で自動減圧計を

利用していたダイバーは15件であった。その中で自動減圧計の指示を守って減圧症に罹患したダイバーは11件存在した。

5. 潜水後の高所移動（高い山などの気圧が低下している場所）で減圧症の罹患者が存在した。とくに伊豆半島の西海岸で潜水し、東京周辺の居住区に車で帰宅したケースが殆どであった。潜水後の車での箱根や御殿場または富士五湖などを經由して帰宅する場合は、注意が必要である。
6. 自動減圧計は万能なものではなく、安全率をより高めるため、1日の潜水回数は2回以内にとどめる必要があり、無減圧での潜水を心掛ける。

#### 参考文献

- 1) 海中開発技術協会：ダイビング産業に関する実態動向調査、海中開発技術協会、東京、p13-24、1996
- 2) 中山晴美、芝山正治、山見信夫、中山徹、水野哲也、高橋正好、眞野喜洋：自動減圧計を用いた潜水によって発症した減圧症について、日高圧医誌、30(1):51、1995
- 3) 眞野喜洋、芝山正治ほか：潜水医学、朝倉書店、東京、p1-6,147-180,193-230、1992
- 4) 労働省：潜水土テキスト、p.291-300、中央労働災害防止協会、東京、1992
- 5) U.S.Navy : U.S.Navy, Diving manual, p.3.12-15,7.25-33, Department of the Navy, Washington, DC, 1985
- 6) 関邦彦、眞野喜洋、横山廣大：U.S.NAYA ダイビング・マニュアル、朝倉書店、東京、p26-55,290-316、1987
- 7) 関邦彦、坂本和義、山崎正廣：高圧生理学、朝倉書店、東京、p7-20,59-60,93-103、1988
- 8) 山見信夫、芝山正治、水野哲也、高橋正好、中山徹、眞野喜洋：ダイバーのための緊急電話相談に寄せられた減圧症の特徴、臨床スポーツ医学、13(6):691-193、1996
- 9) 世良瑞昭アントニオ、眞野喜洋、芝山正治、中山徹、山見信夫：DAN-JAPANシステムについて、日高圧医誌、28(1):31、1993
- 10) Mano Y., M.Shibayama, N.Yamami, T.Nakayama, M.Takahashi, and A.M.Sera : Aprofile of Japanese spaort divers, Proccedings of the 12th Meeting of the UJNR Diving Physiology Panel, 51-55,1995
- 11) 山見信夫、芝山正治、水野哲也、中山徹、高橋正好、梶原竜人、眞野喜洋：スポーツダイバー(SCUBA)障害の対応 -スポーツ医とスポーツダイバーの連携-、臨床スポーツ医学、12(7):821-825、1995
- 12) 山見信夫、芝山正治、中山晴美、水野哲也、中山徹、高橋正好、平林和也、眞野喜洋：DANホットライン相談患者における潜水終了後の高所（低圧暴露）移動中に発症した減圧症の検討、日高圧医誌、30(1):51、1995