

スクーバダイビングの安全対策に関する潜水障害の発生頻度及び予防に関する調査研究

— 8年間の調査結果から —

芝山 正治

The Scientific Research on Generation Frequency and Prevention of the Diving Failure on Safety Countermeasure of Scuba Diving — From the Survey Result for 8 Years —

Masaharu SHIBAYAMA

キーワード：スクーバダイビング、潜水障害、減圧症、高所移動、

Keywords : Scuba diving, diving failure, decompression sickness, height transfer

1. 目的

現在のレジャースクーバ(scuba)ダイバー人口は約30~40万人と推計¹⁾されている。ダイビングは様々な事故や障害と遭遇する可能性があり、その中でも障害の罹患も無視できない。この障害は高気圧障害(潜水障害)と言われ、治療を要しない窒素酔いから重篤な場合は死亡に至る減圧症や動脈性ガス塞栓症(AGE、肺の破裂)まで様々である^{2,3)}。この発生頻度に関する調査及び、その予防方法の研究は非常に少なく、病院に受診した件数を集計したものが殆どである^{4,5)}。

本研究は潜水地に出向き聞き取り調査を行い、潜水障害の実態を明らかにすると共に予防方法の提言をする。

2. 調査場所及び方法

調査は日本で最もダイバーが集中する場所である、静岡県伊豆半島西海岸北端に位置する大瀬崎で実施した。大瀬崎は、1998年頃まで年間10万人のダイバーが訪れ、休日ともなれば

2,000名以上集まることがあるが、近年に至っては減少し年間6万人程度とされるが、休日には1,000名以上のダイバーが訪れている場所であり、幅広い情報を収集できる調査場所である。

調査対象者は潜水を行っているダイバーを無作為に抽出し、アンケート用紙を渡し質問に答えてもらっている。但し、はじめてダイビングを行う者は除いた。

期間は、1996~2003年の8年間であり、春と秋の年2回実施した。

表1 職業の分類

(1996~'03.調査、n.3,819)

| 職種 | 人数 | 割合(%) |
|-----------|-------|--------|
| 会社員・自営業など | 2,450 | 64.2% |
| 職業ダイバー | 608 | 15.9% |
| 学生 | 383 | 10.0% |
| 医療関係 | 213 | 5.6% |
| 主婦 | 117 | 3.1% |
| 無職 | 36 | 0.9% |
| 不明 | 12 | 0.3% |
| 合計 | 3,819 | 100.0% |

表2 レジャーダイバーの潜水実績年次推移

(1996～'03.調査、n.3819)

| 調査項目 | '96 | '97 | '98 | '99 | '00 | '01 | '02 | '03 | 合計 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 調査人数 | 463 | 613 | 554 | 486 | 422 | 466 | 458 | 357 | 3,819 |
| 年齢 | 29.9 | 31.3 | 30.5 | 32.0 | 31.5 | 32.2 | 31.9 | 32.3 | 31.4±8.2 |
| 男性(歳) | 31.1 | 31.3 | 32.0 | 33.3 | 32.6 | 33.7 | 34.0 | 34.1 | 32.6±8.3 |
| 女性(歳) | 27.8 | 31.5 | 27.9 | 29.9 | 29.6 | 29.8 | 28.5 | 29.8 | 29.4±7.5 |
| 男女比(女%) | 34.8 | 36.2 | 36.0 | 37.0 | 38.9 | 39.1 | 38.2 | 43.1 | 37.6 |
| 潜水歴 | | | | | | | | | |
| 経験年数 | 4.5 | 4.7 | 4.8 | 4.6 | 4.1 | 5.3 | 5.8 | 5.7 | 4.9±4.6 |
| 合計タンク | 410.3 | 354.9 | 412.3 | 372.9 | 313.9 | 341.9 | 506.8 | 618.3 | 410.2 |
| 使用本数(本) | | | | | | | | | ±999.4 |
| 年間のタンク | 71.0 | 57.7 | 61.9 | 58.9 | 62.3 | 49.9 | 62.5 | 76.1 | 62.0±98.1 |
| 使用本数(本) | | | | | | | | | |
| 最高潜水深度(m) | 39.9 | 37.2 | 38.3 | 37.6 | 36.9 | 38.7 | 38.2 | 36.1 | 37.9±13.7 |
| 調査日 | | | | | | | | | |
| タンク使用本数(本) | 2.2 | 2.0 | 1.9 | 2.1 | 2.0 | 2.0 | 2.2 | 2.1 | 2.1±0.6 |
| 自動減圧計の利用率(%) | 70.8 | 66.6 | 77.5 | 75.0 | 78.8 | 78.1 | 76.1 | 78.7 | 74.2 |

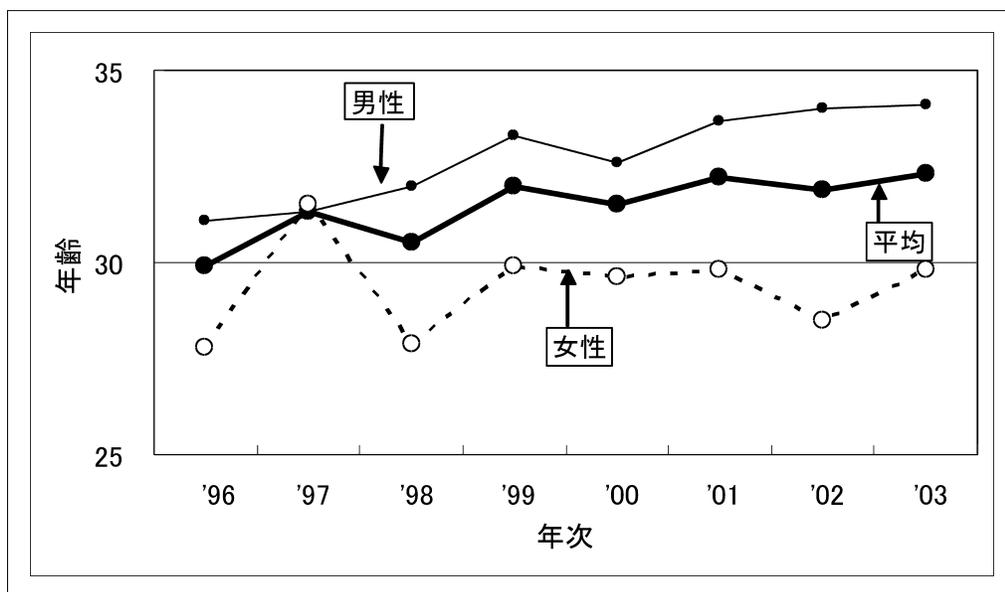


図1 調査年毎の平均年齢

3. 結果

有効調査は、同じ年に2回調査協力を受けたダイバーは春の調査は除き、タンク本数6本未満のダイバーも除いた8年間の調査人数は3,819名である。

(1) 職業分類

職業分類は、会社員や自営業が64.2%、インストラクターやガイドダイバーの職業ダイバーが15.9%、学生が10%(高校生以下を含む)、その他が10%である(表1)。

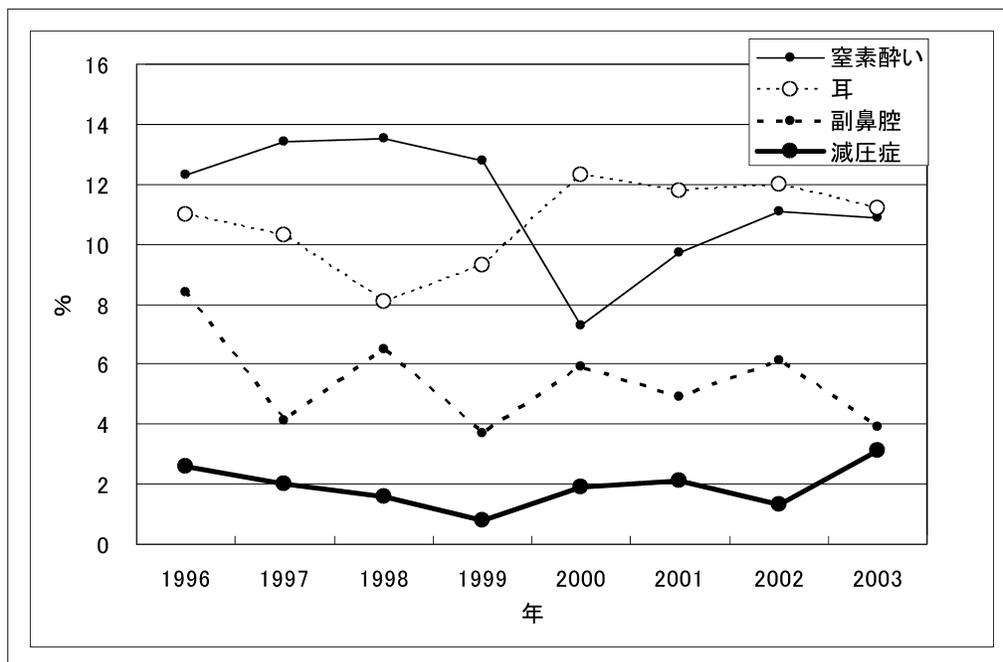


図2 年度毎に潜水障害経験頻度

(2) 潜水実績

年間の調査人数は357～613名である。男女比は、男性が約6割、女性が残りの4割であるが、近年女性の割合が高まっている。

経験年数の平均は4.9年、今までに使ったタンク（またはボンベ）使用本数の合計が410本、1年間のタンク使用本数が62本、経験した最大水深が38mであった。また、調査した日に潜水したタンク本数は2.1本であった。ダイビングコンピュータ（自動減圧計）の利用率の平均は74%であり、利用率は高まる傾向を示している（表2）。

(3) 男女別平均年齢の推移

全体の平均年齢は31.4±8.2歳であるが、男性が32.6歳、女性が29.4歳である（表2）。女性は1997年を除いて30歳未満で推移しているが、男性は上昇傾向を示している（図1）。

(4) 潜水障害罹患頻度

潜水障害経験の頻度では、耳の障害の11%が

表3 1日に使用するタンク本数（繰り返し潜水回数）
(1996～2003, 調査)

| タンク本数(本) | 人数 | 割合(%) |
|----------|-------|--------|
| 1 | 458 | 12.2% |
| 2 | 2,654 | 70.5% |
| 3 | 568 | 15.1% |
| 4 | 70 | 1.9% |
| 5 | 10 | 0.3% |
| 6 | 2 | 0.1% |
| 小計 | 3,762 | 100.0% |
| 不明 | 57 | |
| 合計 | 3,819 | |

最も多く、続いて窒素酔いの11%、副鼻腔の障害が4%であった。減圧症の罹患経験者は、72名の3%であった（図2）。

(5) 1日の使用タンク本数

調査日の使用タンク本数（予定を含む）は、2本以内が82.7%、3本が15.1%、4本が1.9%、5本が0.3%、6本が0.1%であった（表3）。

表4 潜水実績と減圧症のリスク

(1996～'03.調査)

| 項目 | R.D. | P.D. | 合計 | |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------|------|
| | ave±SD, (min~max) | ave.±SD, (min~max) | 平均 | ±SD |
| 人数 | 3,143 | 676 | 3,819 | |
| 経験年数(年) | 4.03±3.86 (0.1~37) | 9.09±5.46 (1~49) | 4.92 | 4.62 |
| 年間タンク 本数 | 37.0±38.4 (0~500) | 175.9±138.9 (0~1000) | 61.9 | 98.1 |
| 延べタンク 本数 | 165.4±298.0 (6~5000) | 1558.8±1916.4 (70~29400) | 410.2 | 999 |
| 減圧症罹患患者数(人) | 28 | 44 | 72 | |
| 延べ減圧症罹患件数(件) | 31 | 51 | 82 | |
| 減圧症罹患率(%) ¹⁾ | 0.89 | 6.51 | 1.89 | |
| 減圧症罹患と タンク本数(本) ²⁾ | 16,769 | 20,661 | 19,104 | |

R. D は、レクリエーションダイバー。

P. D. は、インストラクターまたはガイドダイバー。

1) (減圧症罹患患者数/人数)×100。

2) (人数×延べタンク本数) / 延べ減圧症罹患件数。

(6) 減圧症発症とタンク本数

タンク本数に対する減圧症罹患率は、約19,000本の使用タンクで1回の減圧症が発症する計算となった。レジャーダイバーとインストラクターやガイドダイバーとの比較は、前者で17,000本、後者で21,000本とレジャーダイバーの方が減圧症に罹患するリスクが高い結果となったが、人数割合で比較すると前者が0.89%、後者が6.51%である(表4)。

(7) 潜水後の高所移動

潜水後に高所を経由して帰宅する割合は80%である。大瀬から西(関西方面)や鉄道を利用して帰宅するケースは高所移動にはならない(表5)。

(8) 高所移動経路

東京圏方面に帰宅する人は海拔454mの東名高速道路を63.9%利用する。続いて900mの国道1号線で箱根峠を17.8%、430mの三島から熱海に向かう熱函道路を8.6%、約1,000mの霧降高原や山中湖から長野県や山梨県方面に向かう4%のケースがある(表6)。

表5 ダイバーの居住地と高所移動

(1996～'03.調査、n.3819)

| 都府県 | 高所移動の都府県 | | 低地移動の府県 | |
|------|-----------|-----------|------------------|---------------------|
| | 件数 (人) | 割合 (%) | 府県 | 件数 (人) 割合 (%) |
| 東京都 | 1208 | 40.7% | 静岡県 | 371 43.6% |
| 神奈川県 | 841 | 28.3% | 愛知県 | 233 27.4% |
| 岐阜県 | 317 | 10.7% | 岐阜県 | 26 3.1% |
| 千葉県 | 251 | 8.5% | 大阪府 | 21 2.5% |
| 茨城県 | 89 | 3.0% | 兵庫県 | 13 1.5% |
| 静岡県 | 86 | 2.9% | 奈良県 | 10 1.2% |
| 長野県 | 60 | 2.0% | 京都府 | 4 0.5% |
| 群馬県 | 35 | 1.2% | 三重県 | 4 0.5% |
| 山梨県 | 29 | 1.0% | 滋賀県 | 3 0.4% |
| 栃木県 | 21 | 0.7% | 鉄道 ¹⁾ | 63 7.4% |
| 宮城県 | 15 | 0.5% | | |
| 福島県 | 7 | 0.2% | | |
| 新潟県 | 4 | 0.1% | | |
| 岩手県 | 2 | 0.1% | | |
| 沖縄県 | 1 | 0.0% | | |
| 秋田県 | 1 | 0.0% | | |
| 青森県 | 1 | 0.0% | | |
| 合計 | 2968 | 100.0% | 合計 | 748 100.0% |
| | | 79.9% | | 20.1% |
| 不明 | 103 | | | |

1) 東京方面へ鉄道(新幹線、東海道線)を利用する場合は、海拔300m以内となる。

表 6 潜水後の高所移動状況

(1996～'03. 調査、n. 3819)

| 経路経路 | 海拔(m) | 人数 | 割合(%) |
|------------------|---------|-------|--------|
| 東名高速で御殿場を経由 | 454 | 1,389 | 63.9% |
| 国道1号線で箱根を経由 | 874 | 388 | 17.8% |
| 熱函道路で熱海方面 | 423 | 186 | 8.6% |
| 西富士道路を経由して山梨方面 | 1,000 | 60 | 2.8% |
| 東名高速の御殿場及び山中湖を経由 | 1,000 | 26 | 1.2% |
| 伊豆半島を経由して東海岸 | 500～350 | 57 | 2.6% |
| その他の高所経由 | | 69 | 3.2% |
| 計 | | 2,175 | 100.0% |
| 高所移動経路不明 | | 793 | |
| 合計 | | 2,968 | |

【考察】

減圧症は潜水などの環境圧力の上昇により体内に窒素ガスが過大に溶解し、その溶解したガスが減圧（浮上）によって過飽和となり気泡形成するという物理的な変化を生じるために発症すると考えられている^{2,4,5)}。その原因は、深い潜水や1日の潜水回数（タンク本数）の多さ^{6,7)}が原因とされ無謀な潜水とされていたが、最近の調査研究⁸⁻¹⁰⁾では潜水後の高所移動によって減圧症が発症することがわかり、一概に無謀な潜水だけと位置づけられないケースがある。

調査日の潜水回数（タンク本数）は、平均で2本であったが、最も多く潜水したダイバーは6本であり、講習のために2組に講習生を分け、交互に潜水していたインストラクターであった。1日に4本以上の潜水を行うダイバーの殆どは、職業ダイバーのインストラクターやガイドダイバーであり、減圧症の予防のためにダイビングコンピュータを携行し、無減圧潜水を心掛けているようである。しかし、1日に4本以上の潜水は無理な潜水の範囲に入り、安全潜水の普及を考える上から問題は残る。ダイビングコンピュータを用いて無減圧潜水を行ったとしても減圧症の発症は認められる^{11,12)}。安全率を加えた

使用法でダイビングコンピュータを用いるべきである。

減圧症の発症は、潜水後の2時間以内に殆どが発症するといわれている^{4,5)}。しかし、我々の調査では、潜水後の高所移動（車で高い山を通過）によっても発症し、伊豆半島の西海岸で潜水した後に、箱根峠や東名高速道路の御殿場IC付近の高所を通過したときに発症を認める事例がある^{9,10,13)}。伊豆半島の西海岸でダイビングを行い、その後に東京方面（東方面）や長野または山梨方面（北方面）に帰る者は、高所を移動しなければならない。潜水後の経過時間が2時間以上であっても減圧症への危険は存在する。ダイバーのための電話相談機関であるDAN Japan (Divers Alert Network：潜水障害の緊急連絡網)の資料によると、潜水後に高所移動を行ったことにより、減圧症に罹患した事例が35件と報告¹³⁾されており、決して無視できない課題である。

減圧症の発症リスクをタンク本数と発症率の割合で検討すると、タンク本数が約19,000本に1回の割合で減圧症に罹患することになった(表4)。Arness¹⁴⁾の報告では7,400ダイブに1回の減圧症発症を認めているが、DAN¹⁵⁾やWilmshurst¹⁶⁾の調査報告では10,000～20,000

本に1回であり、本調査と一致している。仮に関東圏（伊豆七島、伊豆半島、神奈川）で週末に活動しているダイバーが約5,000人として、各ダイバーが週末の2日間にかけて4本のダイビングをすると、合計で20,000本の潜水が行われることになる。即ち、各週末毎に1件の割合で減圧症が発症している計算となる。実際に DAN Japan のホットライン利用者で減圧症の心配で連絡したダイバーは6年間で205件であり、これを1週間の割合で見ると0.65件となる。ダイバーの1/3は DAN への連絡をしなかったとするならば、本調査の19,000本に1回の減圧症罹患数はほぼ一致する数値となり、1週間に1例の減圧症患者が発症していることになる。東京医科歯科大学の2003年度レジャーダイバー減圧症患者数は270名である¹⁷⁾。この中には関東圏以外や海外での減圧症が含まれ、東京医科歯科大学以外の医療機関で減圧症治療を受けている人も存在することを考慮し、日本人ダイバーの減圧症発症件数は週に5～7名が認められることになる。今までに予測もしなかった数値が本調査で示されたこととなる。

スクーバダイビングをストレス解消のために行っている者¹⁸⁾やシニアダイバーが参加する機会が増えている¹⁹⁾。ダイビングを行うことにより減圧症などの障害を発生させることは本来の目的から外れてしまう。この減圧症の発症率をより低くするため、及び潜水後の高所移動の危険性を低く抑えるためには、今までと違った予防対策や安全対策が必要である。その一つがナイトロックス (Nitrox、酸素30～40%、残り窒素) 潜水を用いることである。その方法は、Nitrox 用の減圧表(ダイビングコンピュータ含む)を使わず、空気減圧表を用い、減圧症の原因である窒素ガスの溶解量を可能な限り減らし、発症を抑える方式である^{6,7,9)}。例えば帰宅する日の2本目からの潜水で Nitrox を用いること

は減圧症発症の予防対策に大いに貢献する。しかし、日本においては、Nitrox ガスの充填方法やタンク及びレギュレータの準備がまだ確立されていない現状にあり、一般的に普及するまでにはなお時間が必要である^{20~22)}。米国などではすでに実用化が進み、レジャーダイバーが実際に使用している。日本においても実施に向けた積極的な努力が必要であろう。

以上の実態についてダイビング指導者はもちろん、各ダイバーも自覚し、厳しい自己管理を行いながらダイビングを行うべきであろう。これらの事実をダイバー達に提示し、教育及び認識の普及に努め、潜水障害の発症の低下につなげることにより本調査研究の目的が達成されることが考えられる。

本調査研究は文部科学省の科研費(14580067)の助成を得て、3年間の2年目の中間報告である。

[参考文献]

- 1) レジャー・スポーツダイビング産業協会：平成13年度ダイビングの実態に関する動向調査、東京、2002、p 5-14
- 2) 眞野喜洋：潜水医学、東京、朝倉書店、1992、p193-236
- 3) 梨本一郎、鈴木秋信、清水信夫、佐野弘幸、望月徹 (eds)：新潜水士テキスト、東京、中央労働災害防止協会、1996、p223-235
- 4) 川島真人、野呂純敬：減圧症、最新医学、49(7)：22-27、1994
- 5) 眞野喜洋：減圧症治療の現状と問題点—東京医科歯科大学における減圧症治療の現状と問題点—、日高压医誌、23(4)：185-192、1988
- 6) 中山晴美、芝山正治、小宮正久、内山めぐみ、山見信夫、高橋正好、眞野喜洋：レジ

- ジャーダイバーの減圧症罹患頻度について、
日高压医誌、33(2)：73-80、1998
- 7) 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—、日高压
医誌、33(4)：201-204、1999
- 8) 山見信夫、眞野喜洋、芝山正治、高橋正好：
高所移動に伴う減圧症、日高压医誌、
35(4)：205-213、2000
- 9) 芝山正治：スクーバダイビングの安全対策
に関する潜水障害の発生頻度及び予防に関
する調査研究—潜水後の高所移動の危険性
—、駒沢女子大学「研究紀要」、10：209-
216、2003
- 10) 眞野喜洋：高地や航空機での危険性、日高
压医誌、29(3)：145-150、1994
- 11) 芝山正治：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、駒沢女子大学
「研究紀要」、3：95-100、1996
- 12) 小此木國明：ダイブコンピュータ (Dive
Computer) と安全管理について、潜水医学
実験隊報告、10(2)：22-35、1993
- 13) Yamami.N, Mano Y, Sibayama M, Fujita
H, Sera A.M, Kawashima M, Kitano M,
Takahashi M, Nakayama H, Nakayama
T：Hyperbaric exposure after diving
and decompression sickness on emer-
gency calls of divers alert network in
Japan. Undersea and Hyperbaric Medi-
cine, vol 23, 58, 1996
- 14) Arness M. K.：Scuba decompression
illness and diving fatalities in an over-
seas military community. Aviation,
Space, and Environmental Medicine,
68 (4)：325-333,1997
- 15) Proceedings of Repetitive Diving Work-
shop. DAN 1992 Report on Diving Acci-
dents and Fatalities. Duke University
Medical Center, American Academy of
Underwater Sciences, March, 18-19, 1991
- 16) Wilmshurst P.：Analysis of decompres-
sion accidents in amateur divers. Prog-
ress in Underwater Science, 15；31-37,
1990
- 17) 中山晴美、芝山正治、山見信夫、外川誠一
郎、川島真人、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、日高压医誌、39(3)：164、2004
- 18) 芝山正治：スクーバダイビングの実施に伴
うストレスの解消効果について、駒沢女子
大学「研究紀要」、6：43-53、1999
- 19) 芝山正治：中高年ダイバーのダイビングに
対する意識と潜水障害の発生頻度に関する
研究、駒沢女子大学「研究紀要」、7：75-
86、2000
- 20) 古矢晴彦：ナイトロックス、エンリッチド
エアーの供給業者から見た現状、安全潜水
を考える会「研究集会」、2：46-49、2000
- 21) 小宮正久：日本におけるナイトロックスの
現状、安全潜水を考える会「研究集会」、2：
37-41、2000
- 22) 久保彰良：指導団体からみたナイトロッ
クスの利用、安全潜水を考える会「研究集
会」、2：42-45、2000