

ダイビング後の航空機搭乗と減圧症 —パラオダイビングの場合—

芝 山 正 治*

Decompression Sickness During and After Air Travel Following Diving — At the Palau Diving —

Masaharu SHIBAYAMA*

キーワード：高所移動、動脈ガス塞栓症、海外ダイビング、東京医科歯科大学

Movement in height, Arterial Gas Embolism, Overseas diving, Tokyo Medical and Dental University

1. パラオダイビングの現状

パラオは世界有数のダイビング・スポットとして有名である。日本の南約3,000kmに位置しており、時差がなく、年平均気温が28℃、海水温度が27℃前後と熱帯の気候である。日本から近いこともあり、日本人ダイバーが多く訪れるところである。

日本からパラオへのアクセスは、コンチネンタル航空、日本航空のチャーター便、デルタ航空がある。コンチネンタル航空利用の場合は、日本→グアム（ロタにも経由することがある）→パラオとなり、グアムでのトランジットを含め約7時間を要する（日本からグアムまで約3時間、グアムからパラオまで約2時間）。日本航空のチャーター便とデルタ航空は、日本とパラオを直行で運行し、所要時間は4.5時間である。帰国時のパラオを出発する時間は、3航空会社とも午前1～4時と早朝の時間帯となる。

2. ダイビング後の航空機搭乗（高所）の危険性

（1）山間部移動の高所

地上（海面）から上昇すると気圧は低下する。高度変化に伴う気圧変動を図1に示す。500m上昇すると気圧は0.942気圧（地上は1気圧）、1,000m上昇すると0.887気圧に減少する。

ダイビング後の山間部高所移動による減圧症発症の危険性は、UHMSのワークショップでP. J. Sheffieldら（1989年）¹⁾の報告を含め検討され、その後の1990年にはダイビング後の高所移動による減圧症発症を避けるために、ダイビング後の数時間から12時間、さらには複数回のダイビングや減圧を要するダイビングにおいては24時間の高度数百メートル以上への移動は禁止されている（RV. Vannら1996年）²⁾。

我々の調査^{3～5)}によると東京圏のダイバーが伊豆半島の西海岸（北は大瀬から南は松崎）でダイビングをして自動車で帰宅するには、必ず

*人間健康学部 健康栄養学科

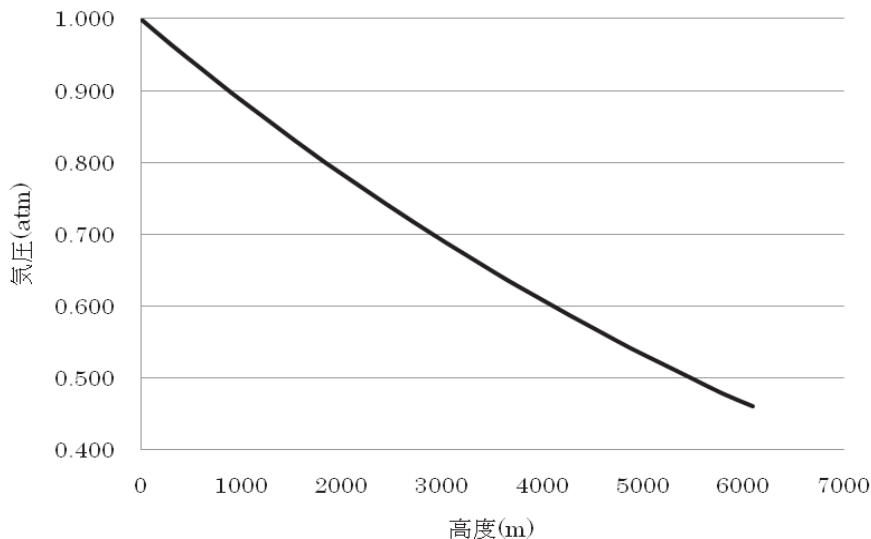


図1 高度（標高）変化に伴う気圧変動

標高400m以上の高所を通過しなければならないことが確認されている。箱根から東に居住しているダイバーが西伊豆半島でダイビングをすると必ず高所移動となる。最も高い高所は、箱根地区では箱根ターンパイクの1,025m、富士山周辺地区では東富士五湖道路の籠坂トンネルの1,091mおよび精進湖と霧降高原間の1,014mである。それでは高所移動を避けて帰宅するにはどうしたらよいのか？ その方法は、伊豆半島の西海岸の海岸線をひたすら南下して南伊豆（下田）まで行き、東伊豆の海岸線を北上して小田原に抜けるルートがある。この方法は現実的ではない。また、富士山周辺を避けて帰るには、同じく海岸線を南下し、小田原を経て、厚木から東名高速道路で都心を経由するか、厚木から一般道（国道129号）で八王子に向かい、中央自動車道路を利用して甲府方面に帰る手段があるが、これも中央自動車道路の笹子トンネルで697mの高所になってしまう。従って、首都圏や甲府方面のダイバーが伊豆半島の西海岸でダイビングをすると、ダイビング当日宿泊して翌日帰宅する方法以外は、全てのルートで高

所移動となってしまう。この高所移動と減圧症の予防対策については、考察で述べることにする。

（2）航空機搭乗の高所

巡航中の航空機の客室は圧力隔壁により外部と遮断されている。ジェット機の場合は機種や気候条件および巡航時間などの条件によって異なるが、巡航高度が約10,000m程度のところを飛行している。10,000m高度の気圧は約0.2気圧程度で、地上の1/5の圧力となり、空気中の酸素量も1/5に低下することから人は、その環境では生きていけない。そのために航空機客室の気圧は外部より高く保つ必要がある。その気圧は0.8気圧前後である。この気圧の単位表示は標高のメートル単位でも表現され、高度2,000m前後と言われる。A. Wipha（2005年）⁶⁾によると一般的な航空機客室気圧は高度1,500～2,400mであると述べている。

客室内の気圧は、常に大気圧の1気圧に与圧されていることが好ましいが、前述した理由で条件により一定ではなく、乗客が事前に知る方

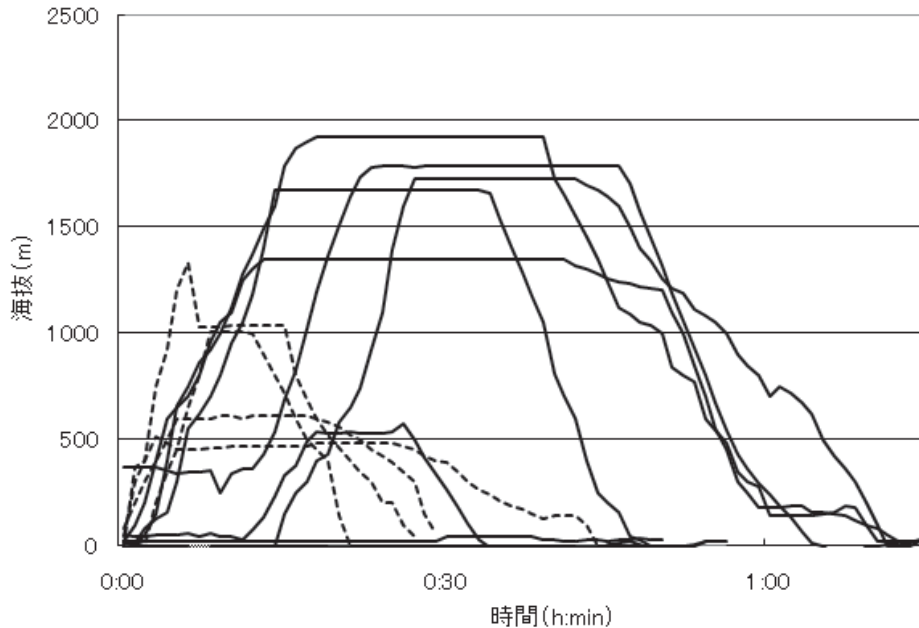


図2 航空機国内線の機内高度（気圧）変化
実線：ジェット機 点線：プロペラ機

法はない。楢木ら（2002年）⁷⁾は、遠距離飛行では高度2,500mに気圧が低下したと報告している。我々の調査では、近距離飛行（30分程度）の場合は客室内を大気圧の状態に保っているケースが確認されたが、同航路においても機種や飛行条件により客室内の気圧は変動することが確認されている。

図2は国内線の客室内気圧変動を調べたものである。実線がジェット機であるが、巡航時間が30分以上になると1,300m～2,000m、巡航時間が30分未満になると500m程度となる。またプロペラ機を点線で示したが、500m～1,300mの高度となっている。これも機種、巡航時間、気象条件などによって異なることが確認されている。

3. 研究目的

ダイビング後に航空機に搭乗すると低圧環境に暴露され、減圧症の危険性が非常に高まる。

よって搭乗までの時間が制限されている（P. J. Sheffield ら¹⁾、J. J. Freiburger ら⁸⁾）。海外ダイビングでは必ず航空機に搭乗する。一般的に減圧症を予防するために、ダイビング後の航空機搭乗時間は24時間以上とされている。

近年、東京医科歯科大学の減圧症患者の中で、パラオでダイビングをしたダイバーの減圧症発症が目立ち、その原因の一つが航空機搭乗までの時間が短いことが確認できた。患者カルテから実態を調べ検討したので報告する。

4. 方法

東京医科歯科大学で減圧障害（減圧症とAGEを含む）の治療を行ったレジャーダイバーの中で、パラオでダイビングを行ったダイバーを対象とした。期間は2002年～2009年の8年間である。

航空機客室内の高度（気圧）を調べるため、SUUNTO X6の腕時計型測定器を客室内に持ち

込み10秒毎に測定し、後日パソコンにデータを取り込み分析した。

パラオでダイビングするダイバー数の調査は、現地に出向きダイビングショップへの聞き取り調査とした。

5. 結果

8年間のレジャーダイバーの減圧障害総件数は2,215件、うちパラオでダイビングをしたダ

イバーは81件（3.7％）である（図3）。航空機搭乗までの時間は24時間以上が34件（42％）、24時間未満が47件（58％）であった。24時間未満の平均時間は 14.8 ± 2.6 時間（8～22時間）であった（表1）。

ダイビング日数は平均3日間（2～7日）、その間に平均8本（6～22本）のダイビングを行い、1日の平均タンク本数は 2.7 ± 0.4 本であった（図4）。

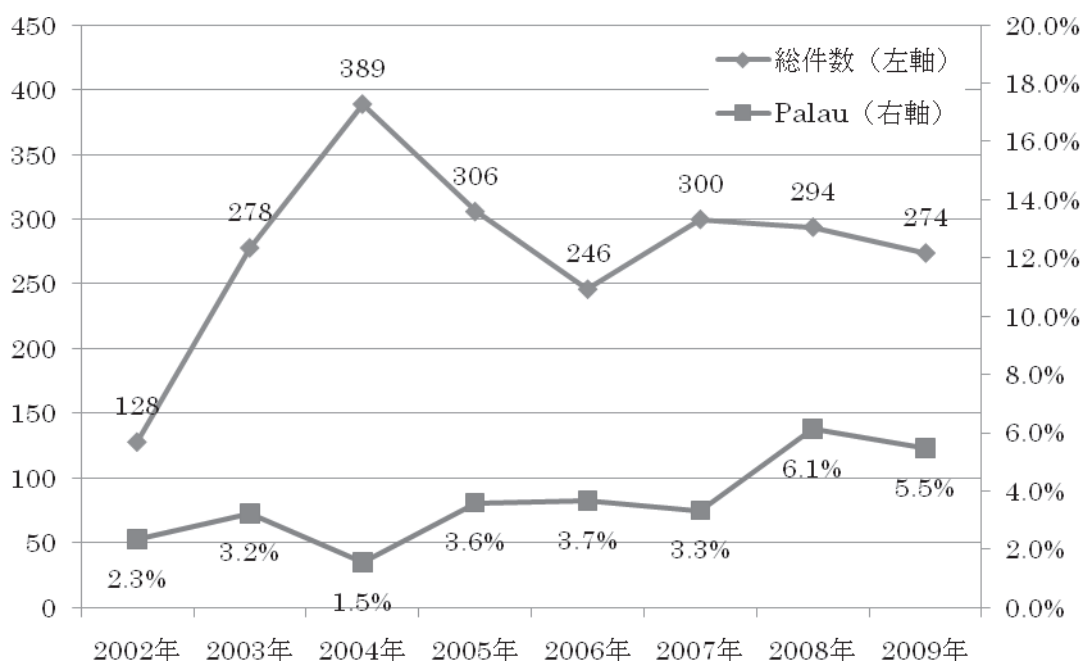


図3 レジャーダイバーの減圧症総件数に対するパラオダイバーの割合
（東京医科歯科大学2002～2009年）

表1 ダイビング後の航空機に搭乗するまでの時間

航空機搭乗時間	件数	割合 (%)
10hr>	2	4.3
15hr>	15	31.8
20hr>	28	59.6
24hr>	2	4.3
合計	47	100.0
24hr 未満の平均時間 14.8 ± 2.6 時間		

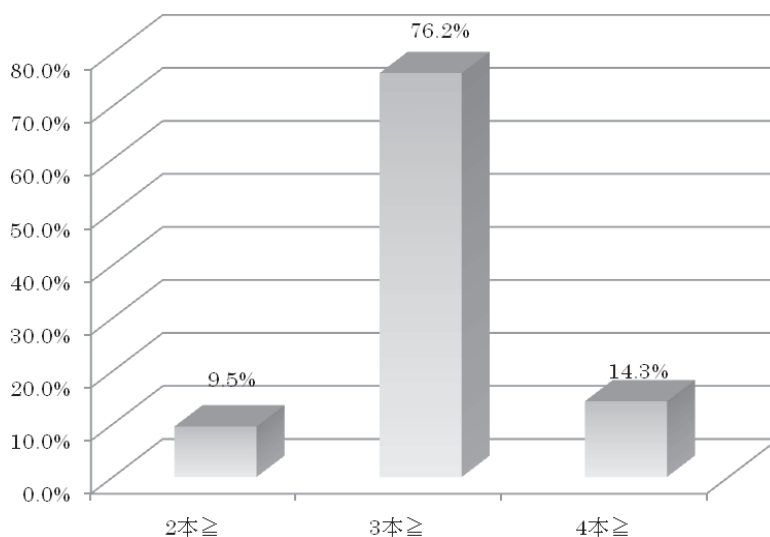


図4 パラオでのダイビングにおける1日平均使用タンク本数

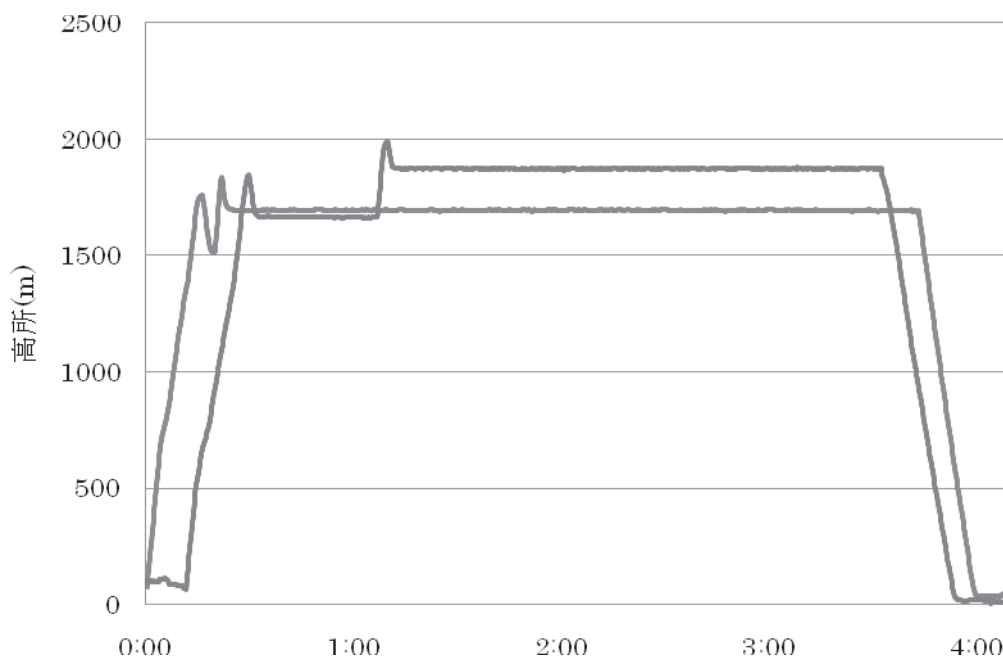


図5 パラオー日本間の日本航空チャーター便（ボーイング767-300機）客室内の高度変化
2回のフライト

航空機客室内の高度（m）は、日本航空のチャーター便（ボーイング767-300）のパラオ発の帰国時に2回測定した（図5）。搭乗時間は約4時間、高度は1,700m～2,000mであった。

パラオには、日本人が経営しているダイビン

グショップが14店、ダイビングクルーズ（ボートで宿泊してダイビングをする）が4店存在している。ダイビングショップの2店に協力をして頂き、年間のダイバー数を調べ、日本人ダイバー数を推測した結果、約2.1万人であった。

6. 考察

ダイビング後の高所移動（山間部）について、Boni M. ら（1976）⁹⁾ は高度700m 以上、Bell R. L. ら（1976年）¹⁰⁾ は高所潜水の減圧表補正表を公表し、1,000ft（300m）以上から補正が必要としている。西伊豆半島から東京圏への移動は少なくとも高度400m を経由しなければならない。この状況に対する対策として、休憩時間を4時間以上、その日のダイビングは無減圧ダイビング、可能であればナイトロックスを用いて空気減圧表（空気用ダイブコンピュータ）を使う、ダイビング後に酸素吸入を20分以上行うなどによって、対応が可能であるとされている。

本論のテーマであるダイビング後の航空機搭乗については、客室高度の最大が本調査では2,000m であったが、Vann R. D. ら（1993）²⁾ は8,000ft（2,440m）、檜木ら（2002）⁷⁾ は2,500m と報告している。高山病を発現させない高度としては、2,000～3,000m とされており（大島1968年）¹¹⁾、その中央値の2,500m を客室内高度の上限とすることは理屈になっっているようである。高度2,500m の気圧は0.74気圧となり、地上よりも25%以上低い状況となる。この変化を実際のダイビングに当てはめると、海でダイビングをした水深が20m だとすると、2,500m 高度では24m の水深でダイビングしていることになり、航空機に搭乗しなければ減圧症に罹患しないのに、搭乗したことにより減圧症に罹患してしまう結果となる。Freiberger J. J. ら（2002）⁸⁾ はダイビング後の航空機搭乗までの時間と減圧症発症の関係は、24～28時間は1.02倍、20～24時間は1.84倍、20時間以内は8.5倍であり、複数回のダイビングでは18時間以上でなければ航空機搭乗は好ましくないと報告している。山見ら（1999）¹²⁾ はダイビング後に航空機搭乗したダイバーをU. S. Navy の減圧表¹³⁾ の残留窒素ガス量（反復グループ記号）からA～Eダイ

バーでは航空機に搭乗しても減圧症の発症はなかったと報告している。潜水指導団体のPADIはレジャーダイバーに対してCカードを発行している。そのシェアは日本を含め世界で60%程である。このPADIのマニュアル¹⁴⁾ にダイビング後の飛行機搭乗についての記述がある。それは1日のみの1本ダイビングで12時間、複数日および1日に複数回のダイビングで18時間以後でなければ搭乗してはならないとされている。

これらのことから本研究では、ダイビング後の航空機搭乗時間を24時間と設定した。結果として、パラオでダイビングをして、減圧障害と診断されたダイバーの58%がダイビング後の24時間未満に航空機に搭乗しており、その平均が14.8時間と搭乗までの時間が短く、減圧症発症危険閾値に達している。

著者の調査¹⁵⁾ では、レジャーダイバーの1日のダイビング回数（タンク本数）は平均2本であるが、パラオでは2.7本と、ほぼ1日に3本のダイビングを行っている。「海外旅行にお金を掛けて来たのだから思う存分ダイビングをしたい」という気持ちからであろう。パラオのダイビングスタイルは、日本航空のチャーター便では1日目が夜に出発して、2日目の午前1～2時頃にパラオ到着、その日の午前10時頃ダイビングショップに集合してダイビングへ、2～3本ダイビングをして、3日目、4日目もほぼ同じ本数、5日目の帰国前日はダイビングをしないで観光ツアーに参加する人が多いのだが、5日目に2本のダイビングを行うダイバーが存在する。このダイビングが終了する時間が正午の12時前後（中には3本ダイビングを行うダイバーが存在する）、帰国する時間が6日目の午前2～4時、帰国前日にダイビングをすると搭乗までの時間が14時間前後となる。搭乗までの時間が24時間未満の平均で14時間であ

る理由がここにある。恐らく、ダイバー本人もパラオの現地ショップも減圧症への危険性は認識しているのだと思うが、現実には大変危険な行為を繰り返していることになる。航空機客室内の気圧が2,000m 相当であることを認識しなければならない。

パラオで年間ダイビングをする日本人ダイバーは2.1万人と推計される。東京医科歯科大学以外で減圧症の治療をしたダイバーが同数存在すると仮定すると、減圧症の発症率は1,000人に1人となる。タンク本数では、パラオでダイビングをしたダイバーの平均が3日間、1日の平均ダイビング回数が2.7本であるので、約8,000本のダイビングで1回の減圧症発症となる。我々の調査¹⁶⁾では20,000本に1回であることを考えると、パラオの減圧症発症率は2.5倍の高い発症率と言える。

航空機搭乗までの時間が短いことの要因として考えられることは、パラオからの帰国航空便の出発時間が午前3時頃であるため、帰国前日にダイビングをすると、搭乗までの時間が14時間程度となってしまふ。この行為が減圧症発症に至っていると考えられる。パラオダイビングでは帰国前日のダイビングは、減圧症予防の観点から禁止すべきである。

7. まとめ

東京医科歯科大学で減圧症治療を行ったレジャーダイバーの中で、パラオでダイビングをしたダイバーの航空機搭乗までの時間から減圧症の危険性を検討した。

- (1) 減圧障害総件数は2,215件、うちパラオでダイビングをしたダイバーは81件(3.7%)であった。
- (2) ダイビング後の航空機搭乗までの時間は24時間以上が34件(42%)、24時間未満が47件(58%)で、24時間未満の平均時間は

14.8±2.6時間(8~22時間)であった。

- (3) ダイビング後の航空機搭乗時間は、複数日のダイビングでは24時間以上が望ましく、半数以上が24時間未満であり、減圧症発症の危険性が非常に高かった。
- (4) パラオでのダイビングによって減圧症を発症する確率は、タンク本数にして8,000本に1回と一般レジャーダイバーの平均よりも2.5倍ほど高いことが確認できた。
- (5) 予防対策として、帰国前日のダイビングは禁止すべきである。

参考文献

- 1) Sheffield, P.J. Flying after diving guidelines (1990) A review, Aviat. Space Environ. Med. 61 : 1130-1138
- 2) Vann, R.D., W.A. Gerth, P.J. Denoble, C.R. Sitzes, L.R. Smith (1996) A comparison of recent flying after diving guidelines. Undersea & Hyperbaric Medicine 23 : 36
- 3) 芝山正治 (2003) 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およ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
- 4) 芝山正治、山見信夫、柳下和慶、外川誠一郎、中山晴美、小宮正久、岡崎史紘、塚田敏之、眞野喜洋 (2005) 潜水後の高所移動箇所と減圧症について—伊豆半島を中心として—, 日本高気圧環境医学会関東地方会誌 5(1) : 42-46
- 5) 芝山正治 (2007) ダイビング終了後の高所移動、日本高気圧環境医・潜水学会関東地方会誌、7(1) : 31-34
- 6) Wipha, A. (2005) ジャンボ旅客機99の謎、p 37-39. 見書房、東京。
- 7) 植木暢雄、毛利元彦 (2002) 潜水後の高所移動と減圧症に関して—環境の実測と動物モ

- デルー、日高压医誌 37(4) : 237-247
- 8) Freiberger, J. J. Denoble, P. J., Pieper, C. F., Uguccioni, D. M., Pollock, N. W., Vann, R. D. (2002) The relative risk of Decompression sickness during and after air travel following diving. Duke University, Aviat Space Environ Med. 73 : 980-984
- 9) Boni, M., R. Schibli, P. Nussberger, A. A. Buhlmann (1976) Diving at diminished atmospheric pressure : air decompression tables for different altitudes. Undersea Biomedical Research 3(3) : 189-204
- 10) Bell, R. L., R. E. Borgwardt (1976) The theory of high-altitude corrections to the U. S. Navy Standard Decompression Tables. The Cross corrections, Undersea Biomedical Research 3(1) : 1-23
- 11) 大島良雄 (1968) “気象と疾病” 生気象学、日本気象学会編、第2編 pp 167-304、紀伊國屋書店、東京
- 12) 山見信夫、眞野喜洋、芝山正治、高橋正好、中山晴美、水野哲也 (1999) 関東に在住するスポーツダイバーの特異的な潜水活動；特に潜水後の高所移動による減圧症の発症について、日本臨床スポーツ医学会誌 7(1) : 68-75
- 13) Department of the Navy (1988) U. S. Navy Diving manual. p 7・31-7・39. Department of the Navy, Washington
- 14) PADI Japan (1999) オープンウォーターダイバーマニュアル、p 3-43、PADI Japan、東京
- 15) 芝山正治、小宮正久、山見信夫、外川誠一郎、柳下和慶、中山晴美、岡崎史紘、眞野喜洋 (2007) レジャーダイバー調査 (10年間) からみたダイバー人口動態の推移、日本高気圧環境・潜水医学会雑誌、42(1) : 17-21
- 16) 芝山正治 (2007) レジャーダイバーの減圧

障害 (DCI) 発生件数を推移、駒沢女子大学研究紀要、14 : 103-109