

## 【原著】

## レジャーダイバーにおける減圧症の発症誘因の統計学的検討

鈴木 直子<sup>1)</sup> 柳下 和慶<sup>2)</sup> 外川 誠一郎<sup>2)</sup> 山見 信夫<sup>3)</sup> 岡崎 史紘<sup>2)</sup>  
 芝山 正治<sup>2)</sup> 椎塚 詰仁<sup>1)</sup> 山本 和雄<sup>1)</sup> 眞野 喜洋<sup>2)</sup>  
 株式会社オルトメディコ研究開発部<sup>1)</sup>  
 東京医科歯科大学医学部附属病院高気圧治療部<sup>2)</sup>  
 医療法人信愛会山見医院<sup>3)</sup>

ケース・コントロール研究により減圧症の発症誘因を調査した。対象は、東京医科歯科大学医学部附属病院高気圧治療部を受診し、減圧症の診断に至った患者72名（減圧症群）と、減圧症を疑い当院を受診したものの減圧症とは診断されなかった10名および症状のないレクリエーションダイバー27名の計37名（非減圧症群）とし、対象者に減圧症発症に関与が疑われる項目に関するアンケート調査を施行した。アンケートの調査項目は、年齢・BMI・既往歴などの本人のプロフィール、ダイビング前、ダイビング中、ダイビング後の行動や状況についての42項目から構成され、アンケート調査についてクラスタ解析を用いた統計的検討を行い、減圧症の発症誘因について検討した。今回の検討では、まずクラスタ解析により「最大深度」、「1日の潜水本数」、「水面休息时间」の3つの因子が減圧症発症率に強く関与することが示された。さらに、各クラスタにおける検討から、最大深度・潜水回数ともに小さく、比較的风险が低いと考えられるクラスタにおいて、「過去の減圧症罹患歴」、「安全停止を怠ること」などが減圧症発症に関与していることが示唆された。また、最大深度が比較的深いクラスタにおいては、「ディープストップ」、「ナイトロックスの使用」が減圧症予防に効果的であることが示唆された。

キーワード 潜水, 発症率, ケース・コントロール研究, ディープストップ, ナイトロックス

## 【Original】

## Risk factors for decompression sickness in recreational scuba divers - A retrospective case-control study

## Abstract

The purpose of this study is to investigate risk factors for the onset of decompression sickness (DCS) by means of a retrospective case-control study. The subjects of the DCS group were 72 recreational scuba divers who were diagnosed as having DCS at the Hyperbaric Medical Center of Tokyo Medical and Dental University Hospital. The subjects of the control group consisted of 10 recreational scuba divers who were admitted to our hospital with suspected DCS but after examination, were found not to have DCS, and 27 volunteer divers on uneventful dives with no symptoms of DCS.

All the subjects answered an original questionnaire of 42 items covering possible risk factors for DCS. The questions included divers' individual diving profiles, their condition and activities before, during and after diving.

Using cluster analysis, we found that three factors were strongly related to DCS. They were the maximum dive depth attained, the number of dives per day, and the surface interval between dives. Further analysis of each cluster suggested that a past history of DCS and the omission of decompression stops were definite risk factors for the onset of DCS. We also found that deep stop(s) and the use of nitrox were beneficial factors for avoiding DCS.

keywords diving, incidence, case-control study, deep stop, nitrox

## はじめに

減圧症の発症に関する報告は多岐にわたり、減圧症の発症率に関しては、スウェーデンのダイブマスターおよびインストラクター1,742名を対象とした調査<sup>1)</sup>ではおよそ1,000ダイブに1-1.5回、伊豆大瀬崎のレジャーダイバーおよびインストラクターを対象とした調査<sup>2)</sup>では延べ19,011ダイブに1回との報告がある。

減圧症の発症要因については、学術的検討により報告されたものがある一方、仮説の域を出ないいわゆる“俗説”も流布している現状がある。発症要因の研究報告については、単一あるいは数個の因子についての検討が多く<sup>3)-18)</sup>、多因子の包括的な検討や、因子間の相対的な重要度についての検討の報告は少ない。また、過去の報告の多くは超音波画像装置にて血中の気泡数を測定し、気泡形成に關与する要因を検討したものであり<sup>4) 11)-17)</sup>、減圧症の発症要因を直接的に検討したものではない。過去に報告されている発症要因について、それが減圧症発症の直接的なリスクファクターか否かは明らかではないことが多く、詳細な統計学的検討が望まれる。

以上の背景から、本研究では、減圧症を発症したレジャーダイバーと、減圧症を発症していないダイバーに対し、減圧症の発症要因の候補と考えられる42項目についてアンケート調査を行い、結果についてクラスタ解析を用いた統計的検討を行うことで、減圧症の発症誘因を詳細に明らかにした。

## 対象と方法

2009年4月から7月までに、直近のダイビング後に減圧症を疑い東京医科歯科大学高気圧治療部に受診し、減圧症と診断され高気圧酸素治療(HBO)を施行されたレジャーダイバー72名を減圧症群として、また社会人ダイビングクラブMおよびTに所属する健常者ダイバー27名、および減圧症を疑い東京医科歯科大高気圧治療部にて受診したが、診察後減圧症を否定されたダイバー10名、計37名を非減圧症群として、本研究の対象とした。減圧症を否定されたダイバー10名は、いずれも軽度のアレルギー症状等、比較的軽症かつダイビング由来の症状ではないと診断された者であり、動脈ガス塞栓等のダイビングによる患者は除

外した。

年齢は減圧症群が $36.4 \pm 9.4$ 歳(20~67歳)、非減圧症群が $32.4 \pm 9.4$ 歳(23~64歳)、性別は、減圧症群男性37例、女性35例、非減圧症群男性24例、女性13例だった。減圧症群のダイビング地は沖縄県が32%、伊豆半島が29%、海外が25%、その他国内スポットが14%であった。それに対し非減圧症群は伊豆半島が76%、海外が11%、その他国外が8%、沖縄県が5%であった。調査期間は減圧症群、非減圧症群ともに2009年4-7月であった。

調査方法は、アンケート調査に用いる質問票を独自に作成し、高気圧治療部受診者については、初診時に直近のダイビングについて、健常者ダイバーについては郵送にて送付・回収し直近のダイビングについて、調査票への記入を依頼した。

アンケート調査に用いる質問票は、過去の研究や臨床経験に基づき減圧症の発症誘因の候補と考えられる項目により構成された。「はい」「いいえ」の二者択一方式での質問形式であり、年齢・BMI・既往歴などの個人プロフィール(8項目)、睡眠・体調不良などのダイビング前の状況(8項目)、ダイビング中の状況(19項目)、ダイビング後の状況(7項目)についての計42項目から構成された(表1)。

質問票の記入内容を、減圧症群および非減圧症群の両群間で統計学的に比較検討した。

今回の対象は、最大深度や潜水本数、ダイビング地などのプロフィールが様々であった。そこで我々は、すべての対象者を、あらかじめ類似したダイビングプロフィールのクラスタに分けてから、減圧症群と非減圧症群とを比較検討することにより、各群におけるダイビングプロフィールの偏りが解析結果に及ぼす影響を可及的に小さくするよう試み、統計学的手法としてはクラスタ解析を行い、次に各クラスタについて減圧症群と対照群の2群比較を行った。本研究のように、減圧症を発症する多要因の病因について疫学的に解析する場合、ロジスティック回帰分析が用いられることも多いが<sup>4) 7) 18)</sup>、対象者のダイビングプロフィールが多様であったこと、独立変数が42個と極めて多いことから、我々は上記の手法を採用した。クラスタ解析は、類似したダイビングプロフィールのクラスタに分け

表1 質問票の項目

カテゴリ	質問項目
本人のプロフィール	年齢
	BMI
	これまで減圧症にかかったことがありますか
	むち打ち、関節痛、腰痛などの整形外科を受診する病気にかかったことがありますか？
	通院や入院を必要とする大きな怪我をしたことがありますか？
	病院を受診してダイバー用のメディカルチェックを受けたことがありますか？
	前回のダイビングは6ヶ月以上前ですか？（今回の一連のダイビングは除く）
ダイビング前の状況	最近1年間は定期的に（3ヶ月以内ごと）にダイビングをしていますか？
	前夜にアルコールを飲みましたか？
	睡眠不足（6時間未満）でしたか？
	ダイビング前から疲労がありましたか？
	体調不良や病気がありましたか？
	二日酔いをしていましたか？
	下痢または嘔吐などがあり、脱水ぎみでしたか？
	潜水前（2時間以内）に水分をコップ2杯（約400ml）以上補給しましたか？
ダイビング中の状況	ダイビング前にダイブテーブルを引きましたか？
	水深30m以上に潜水しましたか？
	1日3本以上潜りましたか？
	浮上中、ダイブコンピュータのスピード超過警告アラームが鳴りましたか？
	ディープストップ（最大水深の半分程度の水深で数分間停止すること）をしましたか？
	安全停止を3分以上行いましたか？
	安全停止中も泳ぎましたか？
	今回の一連のダイビングについて、水面休憩時間（ダイビングとダイビングの間の休憩時間）はすべて1.5時間以上でしたか？
	ダイビング中、息切れするくらい泳ぎましたか？
	ダイビング中、スキップ呼吸やホールド呼吸（ボンベの空気を意識的に温存）しましたか？
	エア切れを起こしましたか？
	ダイビング中、のどが渇きましたか？
	ダイビング中、寒く感じましたか？
	ダイブコンピュータを携帯していましたか？
	ダイブコンピュータに減圧停止の指示が出ましたか？
	ナイトロックスタックを使用しましたか？
	テクニカルダイビングでしたか？
ダイビング後の状況	最大深度（別途記入のダイビングプロフィールより算出）
	1日当たり最大潜水本数（別途記入のダイビングプロフィールより算出）
	最短の水面休憩時間（別途記入のダイビングプロフィールより算出）
	ダイビング終了後、寒く感じましたか？
	ダイビングをしてのどが渇きましたか？
	ダイビング終了後、呼吸が速くなるほど運動をしましたか？
	ダイビング終了後、6時間以内に運動または重作業をしましたか？
ダイビング終了後、1時間以内に熱いお風呂（シャワー）に入りましたか？	
ダイビング終了後、24時間以内に標高400m以上を通過しましたか？	
ダイビング終了後、24時間以内に航空機に搭乗しましたか？	

ることを目的としたため、ダイビング中の状況についての19の質問項目を用いて行った。クラスタ解析とは内的結合 (internal cohesion) と外的分離 (external isolation) が達成されるようなクラスタと呼ぶ部分集合に、データを分割することであり、近年データマイニングの重要なツールとして認識されている<sup>19) 20)</sup>。我々はPASW Ver.18.0(旧SPSS Inc., 現IBM Inc.)を用い、今回のアンケート型のデータを扱うことが可能なTwo-Stepクラスタ解析を行い、Bayes情報量基準によって最適なクラスタ数を決定した<sup>21)</sup>。Bayes情報量基準は尤度関数と独立変数の数・サンプル数とから計算され、これによりクラスタ解析における最適なクラスタ数を求めるものである。

次にクラスタ解析によって分割されたそれぞれのクラスタについて、Wilcoxonの順位和検定を行うことにより減圧症群と非減圧症群との2群比較を行い、 $p < 0.05$ を統計学的に有意とした。

## 結果

減圧症群、非減圧症群を合わせ、方法で述べたダイビング中の状況に関する19の項目でクラスタ解析を行った結果、対象者は3つのクラスタに分類された。19の項目のうち、3つのクラスタ同士の違いを最も特徴づける上位3つの項目は1日の潜水本数、最大深度、そして水面休息时间(直前のダイビングと次のダイビングとの時間間隔)の最小値であった。各クラスタでの特徴的な上位3つのパラメータの平均値、対象数、減圧症群と非減圧症群の割合を表2に示す。

各クラスタがどのような特徴をもつクラスタなのかを記述するにあたっては、クラスタ解析の性質を踏まえ、慎重な検討が必要である。クラスタ1は他のクラスタに比べて1日の潜水本数が少なく、それに伴って水面休息时间が長く、かつ最大到達深度も浅いため、3つの中では最もリスクの低いクラスタといえる。クラスタ2は、最大深度はクラスタ3よりは浅いが、潜水本数が最も多く水面休息时间が最も短い。またクラスタ3は最大深度が最も深く、水面休息时间もクラスタ1より短い。各クラスタ中の減圧症患者の割合はクラスタ1で最も少なく(41%)、次いでクラスタ2(79%)、クラスタ3では減圧症患者の割合が最も多かった(87%)。

したがって1日の潜水本数、最大深度、および水面休息時間は減圧症発症のリスクと深く関係していると考えられた。

3つのクラスタは、類似したダイビングプロフィールにて分類されているが、それぞれの類似したダイビングプロフィールにおいて減圧症発症の要因を検討するために、分類された3つのクラスタ内において、質問票の42項目について減圧症群と非減圧症群の群間比較を行った(表3)。

まず、最もリスクが低いと考えられるクラスタ1で有意差がみられたのは以下の9項目である。「年齢」(減圧症群35.17歳、非減圧症群31.0歳、 $p = 0.043$ )、「これまで減圧症にかかったことがある」(「はい」が減圧症群27%、非減圧症群4%、 $p = 0.025$ 、以下同様)、「前夜にアルコールを飲んだ」(22%、73%、 $p = 0.001$ )、「ダイビング前にダイブテーブルを引いた」(0%、23%、 $p = 0.030$ )、「3分以上の安全停止を行わなかった」(39%、4%、 $p = 0.003$ )、「ダイビング中、息切れするくらい泳いだ」(17%、0%、 $p = 0.033$ )、「ダイビング中、寒く感じた」(6%、54%、 $p = 0.001$ )、「24時間以内に標高400m以上を通過した」(27%、0%、 $p = 0.005$ )、であった。

一日の潜水本数が多く、水面休息时间が短いことが特徴であるクラスタ2において有意差がみられたのは以下の4項目であった。「ダイビング前にダイブテーブルを引いた」(「はい」が減圧症群4%、非減圧症群29%、 $p = 0.042$ 、以下同様)、「安全停止中も泳いだ」(19%、71%、 $p = 0.007$ )、「ダイビング中、のどが渴いた」(30%、71%、 $p = 0.046$ )、「ダイブコンピュータを携帯していた」(81%、29%、 $p = 0.007$ )、であった。

最大深度の平均が30mを超え、クラスタ2同様比較的风险が高いと考えられるクラスタ3において有意差が認められたのは以下の2項目であった。「ディープストップを行った」(「はい」が減圧症群15%、非減圧症群75%、 $p = 0.028$ 、以下同様)、「ナイトロックタンクを使用した」(4%、50%、 $p = 0.037$ )、であった。

## 考察

減圧症は、潜水中に血中や体組織に溶解した窒素が急浮上による急減圧などによって過飽和となり気泡



表2 クラスタ解析結果

	クラスタ分類の上位項目			サンプル数 (名)	減圧症群 (名)	非減圧症群 (名)	減圧症群の 割合 (%)
	平均潜水本数 (本)	平均最大深度 (m)	平均水面 休憩時間 (分)				
クラスタ1	2.02	21.8	121.5	44	18	26	41
クラスタ2	3.26	24.4	56.65	34	27	7	79
クラスタ3	2.68	35.9	85.65	31	27	4	87

※各個人の潜水本数は、ダイビングが数日にわたって行われた場合は、その一連のダイビングにおける一日の潜水本数の最大値とした。

表3 各クラスタにおける、減圧症群と非減圧症群との比較

質問項目	クラスタ1 減圧症群18名 非減圧症群26名			クラスタ2 減圧症群27名 非減圧症群7名			クラスタ3 減圧症群27名 非減圧症群4名		
	減圧 症群	非減圧 症群	p値	減圧 症群	非減圧 症群	p値	減圧 症群	非減圧 症群	p値
	平均 35.17歳	平均 31.0歳	0.043*	平均 38.78歳	平均 38.29歳	0.509	平均 36.30歳	平均 37.25歳	0.725
BMI	平均 21.69	平均 21.49	0.430	平均 22.82	平均 22.99	0.725	平均 20.52	平均 22.95	0.120
これまで減圧症にかかったことがある	28%	4%	0.025*	30%	14%	0.419	15%	0%	0.628
むち打ち、関節痛、腰痛などの整形外科を受診する病気にかかったことがある	39%	54%	0.334	59%	57%	0.920	41%	50%	1.000
通院や入院を必要とする大きな怪我をしたことがある	11%	23%	0.317	26%	29%	0.889	26%	50%	0.560
病院を受診してダイバー用のメディカルチェックを受けたことがある	0%	4%	0.405	7%	0%	0.465	11%	25%	1.000
前夜にアルコールを飲んだ	22%	73%	0.001**	52%	43%	0.676	52%	75%	0.607
前回のダイビングは6ヶ月以上前だった	33%	42%	0.552	37%	43%	0.781	30%	25%	1.000
最近1年間は定期的にダイビングをしている	61%	62%	0.977	56%	57%	0.941	48%	75%	0.600
睡眠不足(6時間未満)だった	50%	65%	0.313	33%	0%	0.079	37%	50%	1.000
ダイビング前から疲労があった	17%	38%	0.124	26%	43%	0.388	19%	50%	0.212
体調不良や病気があった	0%	15%	0.084	4%	14%	0.296	0%	0%	1.000
二日酔いをしていた	0%	4%	0.405	4%	0%	0.611	0%	25%	0.129
下痢または嘔吐などがあり、脱水ぎみだった	0%	12%	0.140	11%	0%	0.363	7%	25%	0.349
潜水前(2時間以内)に水分をコップ2杯(約400ml)以上補給した	50%	65%	0.313	59%	86%	0.198	48%	50%	1.000
ダイビング前にダイブテーブルを引いた	0%	23%	0.030*	4%	29%	0.042*	4%	25%	0.245

質問項目	クラスタ1 減圧症群 18名 非減圧症群 26名			クラスタ2 減圧症群 27名 非減圧症群 7名			クラスタ3 減圧症群 27名 非減圧症群 4名		
	減圧症群	非減圧症群	p値	減圧症群	非減圧症群	p値	減圧症群	非減圧症群	p値
水深30m以上に潜水した	6%	4%	0.791	22%	29%	0.728	78%	25%	0.063
1日3本以上潜った	6%	0%	0.229	100%	100%	1.000	29%	50%	1.000
ダイブコンピュータのスピード超過警告アラームが鳴った※	50%	12%	0.069	50%	0%	0.493	65%	50%	1.000
ディープストップを行った	11%	12%	0.965	15%	29%	0.402	15%	75%	0.028*
3分以上の安全停止を行わなかった	39%	4%	0.003**	4%	0%	0.611	22%	25%	1.000
安全停止中も泳いだ	33%	35%	0.931	19%	71%	0.007**	19%	25%	1.000
水面休憩時間はすべて1.5時間以上だった	78%	85%	0.568	0%	0%	1.000	48%	75%	0.600
ダイビング中、息切れするくらい泳いだ	17%	0%	0.033*	4%	0%	0.611	30%	25%	1.000
スキップ呼吸やホールド呼吸を行った	0%	12%	0.140	15%	29%	0.402	11%	25%	1.000
エア切れを起こした	0%	0%	1.000	4%	0%	0.611	4%	25%	0.245
ダイビング中、のどが渴いた	33%	31%	0.859	30%	71%	0.046*	22%	50%	0.550
ダイビング中、寒く感じた	6%	54%	0.001**	30%	57%	0.181	59%	100%	0.269
ダイブコンピュータを携帯していた	67%	65%	0.931	81%	29%	0.007**	74%	100%	0.550
ダイブコンピュータに減圧停止の指示が出た※	11%	8%	0.711	5%	0%	1.000	85%	100%	0.277
ナイトロックスタックを使用した	0%	0%	1.000	0%	0%	1.000	4%	50%	0.037*
テクニカルダイビングだった	0%	0%	1.000	4%	0%	0.611	0%	25%	0.129
ダイビング終了後、寒く感じた	6%	27%	0.074	26%	29%	0.889	30%	25%	1.000
ダイビングをしてのどが渴いた	39%	50%	0.472	33%	71%	0.072	22%	25%	1.000
ダイビング終了後、呼吸が速くなるほど運動をした	0%	0%	1.000	0%	0%	1.000	4%	0%	1.000
ダイビング終了後、6時間以内に運動または重作業をした	6%	0%	0.229	0%	0%	1.000	0%	0%	1.000
ダイビング終了後、1時間以内に熱いお風呂(シャワー)に入った	50%	69%	0.203	19%	14%	0.796	41%	75%	0.304
24時間以内に標高400m以上を通過した	27%	0%	0.005**	22%	0%	0.176	22%	25%	1.000
ダイビング終了後、24時間以内に航空機に搭乗した	11%	4%	0.353	37%	29%	0.681	33%	25%	1.000

※ダイブコンピュータを携帯していた者(クラスタ1においては減圧症群12名, 非減圧症群17名, クラスタ2においては減圧症群22名, 非減圧症群2名, クラスタ3においては減圧症群20名, 非減圧症群4名について解析)

化し、神経組織などに組織障害を生じると考えられている。減圧症の発症要因については多くの研究があり、加齢、肥満、過去の減圧症発症歴といった個人的背景や<sup>3) 4) 7)</sup>、当日の体調不良や脱水状態などの潜水前のコンディション<sup>5) 6)</sup>、あるいは潜水後の寒冷曝露、航空機搭乗、高所移動などの潜水後の行動によっても発症リスクが高まるといわれている<sup>9) 12) 18)</sup>。また、深い深度での潜水や一日での多数回の潜水などの無減圧限界を超えた潜水や急浮上は、窒素の気泡化を促し減圧症発症のリスクを高めるものと考えられる<sup>3) 4) 8)</sup>。

今回我々は、減圧症を発症した対象者および発症しなかった対象者に対し質問票の記入を依頼することで、減圧症発症の誘因の検討を行った。質問票の項目はいずれも減圧症の発症に関連すると予想されたが、過去に実証されていない項目も多く、また減圧症発症のリスクの程度も項目によって異なると考えられる。

今回の研究では、ダイビングプロフィールに関する19の質問項目によってクラスタ解析を行った。その結果3つのクラスタが形成され、各クラスタ中の減圧症患者の比率から、「最大深度の深い、たとえば水深30m以深のダイビング」と「一日3本を超えるダイビング」、それに伴う「90分を下回るような短い水面休息时间」は、いずれも減圧症の発症リスクを高めることが示唆された。これらはいずれも体内の残留窒素量に関する項目であり、減圧症の発症に関連が深いと考えられる。体内の残留窒素量を規定する他の項目としては、滞底時間が挙げられる。今回の我々の調査では質問項目に加えなかったが、滞底時間が長い程、残留窒素量は増加し、減圧症のリスクになるため、今後の検討課題としたい。

次に、クラスタ毎に検討した結果について考察する。最大深度や潜水回数などの潜水条件が類似した各クラスタ内にて、減圧症群と非減圧症群との比較検討を行った。その結果、42の質問項目中、複数項目で両群間の有意差を認めた。しかしながら、それらの差が減圧症の発症率に直接関係しているのか、あるいは対象の集団の問題なのかについては、今後、慎重な検討を要すると考えられる。

#### クラスタ1: 最大深度・潜水回数ともに小さく、比較的风险が低いと考えられる集団

「年齢」( $p=0.043$ )については、減圧症群と非減圧症群で4.0歳の差があり、今回の結果をもって加齢が減圧症のリスクを高めると主張するには限界がある可能性がある。加齢が減圧症のリスクを高めることについてはいくつかの研究がある<sup>3)-4)</sup>。加齢の減圧症発症率への影響については、今後コホート研究あるいはそれに準じた大規模な調査が必要と考える。

「前夜にアルコールを飲んだ」( $p=0.001$ )については非減圧症群の方が飲酒者の割合が多く、予想に反した結果であった。脱水が減圧症のリスクを高めるとい報告があり<sup>5) 6)</sup>、アルコール摂取は利尿作用により脱水を助長する可能性があるため、むしろ減圧症のリスクを高める要因と予想される。今回の結果は、対照群が特定のダイビングクラブに偏った可能性も考えられ、また摂取量が適量か、過剰かなど、今後の詳細な検討を要する。

それ以外の有意差のある項目については、概ね過去の報告と同様もしくは妥当な結果と考えられた。減圧症の罹患歴のあるダイバーが減圧症を発症しやすいことはLamらによる調査結果と一致するものであった<sup>7)</sup>。スピード超過アラームが鳴るような急浮上( $p=0.038$ )や安全停止を行わない( $p=0.003$ )、24時間以内の高所移動( $p=0.005$ )が安全潜水において重要であることは、レジャーダイバー間でもコンセンサスになっていると考えられる<sup>8) 9)</sup>。スピード超過アラームが鳴るような急浮上については、ダイブコンピュータを所持していた者のみを解析の対象としたためか、有意差は見られなかった( $p=0.069$ )が、非減圧症群でアラームが鳴った者12%に対し減圧症群が50%と、急浮上が減圧症のリスクを高めていることは十分考えられる。またダイブテーブルを引く( $p=0.030$ )などして事前に計画を立てることが、結果的に安全潜水に結びついていた。ダイビング中に息切れするくらい泳いだ対象者は減圧症群で有意に多く( $p=0.033$ )、減圧症のリスクファクターであることが示唆された。一般に減圧中のダイビングに伴う運動は窒素の排出を促進し、減圧症のリスクを低減させるとの報告がある<sup>10)</sup>。一方で、アメリカ海軍のダイバーを対象とした統計的検討による

と、軽いあるいは中等度の作業を伴うダイビングでは減圧症の発症率は高くないが、激しい作業を伴うダイビングになると減圧症の発症率が高くなることが示されている<sup>3)</sup>。我々の質問票を含め、これら運動量の大小は主観的なものではあるものの、ダイビング中の息切れするほどの激しい運動が減圧症のリスクを高めるという我々の結果は、過去の研究と一致した。

「ダイビング中、寒く感じた」( $p=0.001$ )については、寒さで血管が収縮することが血中の気泡形成を抑えたとの報告があり<sup>11)</sup>、今回の結果はそれを補強する。しかしながら今回の研究では、非減圧症群と減圧症群とでダイビング地の分布に偏りがあり、主として緯度の違いによる交絡因子が介在した可能性もある。ダイビング後に寒冷暴露した場合は逆に減圧症発症のリスクは高まるといわれており<sup>12)</sup>、水温と気温の環境因子を同等する努力が、今後必要である。

#### クラスタ2：一日の潜水本数が比較的多かった集団

クラスタ1同様、ダイビング前にダイブテーブルを引く( $p=0.042$ )ことが減圧症予防に効果的であることが示唆された。また安全停止中に泳いだダイバーが非減圧症群で有意に多く( $p=0.007$ )、これが減圧症予防に効果的であることが示唆された。これは安全停止中に体を動かすことが窒素の排出を促進させることを示唆している可能性がある。ダイビング中のどが渴いたダイバーは、非減圧症群で有意に多かった。脱水状態は減圧症の誘因となることが示唆されているが<sup>5) 6)</sup>、どが渴く程度では減圧症の発症率が増加しないことが示唆された。クラスタ2ではダイブコンピュータを携帯していた非減圧症群の対象者が2名のみであり検出力が低下したため、クラスタ1と同様「スピード超過アラームが鳴ったか」については、有意差はみられなかった。しかしながらクラスタ2の減圧症群ではダイブコンピュータを携帯していた者18名中9名(50%)が、スピード超過アラームが鳴ったと回答しており、クラスタ2においても急浮上が減圧症のリスクを高めることが示唆された。

#### クラスタ3：最大深度が比較的深度が深かった集団

クラスタ3で有意差が認められた項目が比較的少な

かったのは、非減圧症群の対象者が4名と対象数が少なく検出力が弱かったためと考えられる。クラスタ3においてはディープストップ( $p=0.028$ )およびナイトロックスタンクの使用( $p=0.037$ )が非減圧症群で有意に多く、これらが減圧症予防に効果的であることが示唆された。ディープストップは通常の安全停止とは異なり、最大深度の半分程度の水深で数分間の停止を行うことにより、減圧症の予防をする方法だが、その効果については議論がある<sup>15-17)</sup>。またナイトロックスタンクはタンク内の含有酸素の比率を上げることで窒素分圧を下げ、窒素の溶解を減少させる方法であり、直接減圧症を予防する効果があると考えられるが、現在のところレジャーダイバーへの普及率は低い。

しかし、クラスタ3においてのみ、ディープストップおよびナイトロックスタンクの使用が非減圧症群で有意に多かったことは、最大水深が深い減圧症のリスクの高い潜水においては、これらの潜水方法が有益であることを示唆していると考えられた。

#### まとめ

減圧症を発症したダイバーと発症しなかったダイバーの両者における、本人のプロフィール、ダイビング前・中・後の状況についての間診票記載にて、クラスタ解析を用いたケース・コントロール研究を行った。その結果、1日の潜水本数、最大深度、水面休息時間は減圧症の発症と関係が深いこと、さらに、最大深度・潜水回数ともに小さく、比較的风险が低いと考えられるクラスタにおいては、過去の減圧症の既往歴、安全停止をしない、ダイビング後24時間以内の高所移動などが減圧症発症のリスクを高めることが示唆された。また、最大深度が比較的深度が深いクラスタにおいては、ディープストップやナイトロックスタンクの使用が有効であることが示唆された。

#### 参考文献

- 1) Hagberg M, Ornhagen H: Incidence and risk factors for symptoms of decompression sickness among male and female dive masters and instructors - a retrospective cohort study. Undersea Hyperb Med 2003; 30: 93-102.



- 2) Nakayama H, Shibayama M, Yamami N, et al.: Decompression sickness and recreational scuba divers. *Emerg Med J* 2003 ; 20 : 332-334.
- 3) Biersner RJ: Factors in 171 Navy diving decompression accidents occurring between 1960-1969. *Aviat Space Environ Med* 1975 ; 46 : 1069-1073.
- 4) Carturan D, Boussuges A, Vanuxem P, et al.: Ascent rate, age, maximal oxygen uptake, adiposity, and circulating venous bubbles after diving. *J Appl Physiol* 2002 ; 93 : 1349-1356.
- 5) Aharon-Perez J, Adir Y, Gordon CR, et al.: Spinal cord decompression sickness in sport diving. *Arch Neurol* 1993 ; 50 : 753-756.
- 6) Fahlman A, Dromsky DM: Dehydration effects on the risk of severe decompression sickness in a swine model. *Aviat Space Environ Med* 2006 ; 77 : 102-106.
- 7) Lam TH, Yau KP: Analysis of some individual risk factors for decompression sickness in Hong Kong. *Undersea Biomed Res* 1989 ; 16 : 292-293.
- 8) Ikeda T, Okamoto Y, Hashimoto A: Bubble formation and decompression sickness on direct ascent from shallow air saturation diving. *Aviat Space Environ Med* 1993 ; 64 : 121-125.
- 9) 山見信夫, 眞野喜洋, 芝山正治, 他: 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. *日本臨床スポーツ学会誌* 1999 ; 7 : 68-75.
- 10) Dick AP, Vann RD, Mebane GY, et al.: Decompression induced nitrogen elimination. *Undersea Biomed Res* 1984 ; 11 : 369-380.
- 11) Dunford R, Hayward J: Venous gas bubble production following cold stress during a no decompression dive. *Undersea Biomed Res* 1981 ; 8 : 41-49.
- 12) Mekjavic IB, Kakitsuba N: Effect of peripheral temperature on the formation of venous gas bubbles. *Undersea Biomed Res* 1989 ; 16 : 391-401.
- 13) Jankowski LW, Tikuisis P, Nishi RY: Exercise effects during diving and decompression on postdive venous gas emboli. *Aviat Space Environ Med* 2004 ; 75 : 489-495.
- 14) Dujic Ž, Palada I, Obad A, et al.: Exercise during a 3-min decompression stop reduces postdive venous gas bubbles. *Med Sci Sports Exerc* 2005 ; 37 : 1319-1323.
- 15) Marroni A, Bennett PB, Cronje FJ, et al.: A deep stop during decompression from 82 fsw (25m) significantly reduces bubbles and fast tissue gas tensions. *Undersea Hyperb Med* 2004 ; 31 : 233-243.
- 16) Bennett PB, Marroni A, Cronje FJ, et al.: Effect of varying deep stop times and shallow stop times on precordial bubbles after dives to 25 msw (82 fsw) . *Undersea Hyperb Med* 2007 ; 34 : 399-406.
- 17) Schellart NAM, Corstius JJB, Germonpre P, Wouter S: Bubble formation after a 20-m Dive: Deep-stop vs. shallow-stop decompression profiles. *Aviat Space Environ Med* 2008 ; 79 : 488-494.
- 18) Freiberger JJ, Denoble PJ, Pieper CF, et al.: The relative risk of decompression sickness during and after air travel following diving. *Aviat Space Environ Med* 2002 ; 73 : 980-984.
- 19) 神寫 敏弘: データマイニング分野のクラスタリング手法 (1) -クラスタリングを使ってみよう!-, *人工知能学会誌* 2003 ; 18, no.1, 59-65.
- 20) 神寫 敏弘: データマイニング分野のクラスタリング手法 (2) -大規模データへの挑戦と次元の呪いの克服-, *人工知能学会誌* 2003 ; 18, no.2, 170-176.
- 21) Fraley C, Raftery AE: How many clusters? Which clustering method? Answers via model-based cluster analysis. *Computer Journal* 1998 ; 4 : 578-588.