

「減圧症の予防法を知ろう」

発症の可能性を低減するための基礎知識

(第4版)

株式会社タバタ TUSA 営業部 広報 編

はじめに。

スクーバダイビングは、海の中という陸上とは全く違う世界を見ることが出来る素晴らしいレジャーです。しかし、注意を怠ると、思わぬ事故を招く可能性があります。より安全にダイビングを楽しむために、正しい知識を身につけることは、初心者やベテランを問わず、ダイバーにとって、非常に大切なことです。

ダイバーなら一度は聞いたことがある単語「減圧症」。講習では習ったけれど、自分とはあまり縁のないものと思っていないですか？しかし、東京医科歯科大学医学部附属病院(高気圧治療部)だけでも、年間300～400人近くのダイバーが減圧症で治療を受けているのが現実です。全国の減圧症患者数は、年間1,000人近くいると推定されており、決して他人事では済まされない問題なのです。(参考文献1) しかも、減圧症にかかった人の多くが、ダイビング中はダイブコンピュータを使用し、無減圧潜水時間を守っていることが分かっています。無減圧潜水時間を守っているのに、減圧症になってしまうことがある。これは一体、なぜなのでしょう？実は、個人差というだけでは片付けられない、いくつかの理由があるのです。

ダイブコンピュータは減圧症を予防するために、非常に有効な器材と言えます。しかし、最新のコンピュータといえども、万能ではありません。減圧症の患者が増えてきたのは、むしろダイブコンピュータが普及してからと言われています。それは、窒素が体内に吸排出される仕組みをよく理解しないまま、ダイブコンピュータが示す無減圧潜水時間ギリギリのダイビングを繰り返すダイバーが多くなったことに他なりません。後で述べますが、実は「水深15～19m前後に留まる長い箱型ダイビング」が、ある意味、一番危ない潜り方だと言えるのです。この言葉の正確な意味を「こういうことを言いたいのかな。」とすぐに予測して理解できる方は、減圧症にかかる可能性が極めて低いダイバーだと言えるでしょう。しかし、この言葉の意味を正確に判断できない方は、少し長いですが、最後まで是非読んでください。おそらく、今までのダイビングの仕方や安全に対する考え方が、いかに間違っていたかを理解する方も多いはずですよ。

減圧症を引き起こす最大の要因は浮上速度違反です。しかし、単にその言葉だけで片付けてはいけません。大きくは、減圧症は「減圧ミス」によって起きると言うべきなのです。「無減圧潜水」、「減圧潜水」という言葉に惑わされている方がいますが、「減圧潜水」は過飽和状態になった体内組織の窒素を排出させる減圧行為であって、水面まで浮上していくこと、「安全停止」をすること、水面休息(潜水終了後も含む)をすることの全てが、実は減圧行為になるのです。浮上速度違反だけでなく、ダイビング中は窒素の取り込み過ぎに注意して、体内の各組織に取り込まれた過剰な窒素を、いかに無理なくめらかに排出(減圧)していくかを頭の中でイメージしながら潜ることが必要なのです。

まずは、ダイバー各々が、減圧症に対する正しい知識を身につけることが肝心です。最終的には、インストラクターやガイドダイバー、そしてダイブコンピュータに頼るのではなく、自己管理するという意識がとても大切なのです。安全にダイビングを楽しむためにも、減圧症とダイブコンピュータについての正しい知識を必ず身につけましょう。ちょっとした心がけで、これからのダイビングの安全性が飛躍的に高まるはずですよ。

減圧症って何？

減圧症とは、スクーバダイビングをした後に、周囲圧が下がることによって身体の中に窒素の気泡^(※1)が生じる障害です。気泡が体内に残ってしまうと、身体のシビレや痛み、皮膚のかゆみ、めまい、吐き気などの症状が現れます。重度の減圧症^(※2)では平衡感覚がなくなって真っすぐに歩けなくなったり、手で物を握ることが困難になったりなどの症状が出ることもあります。減圧症になった場合は、できるだけ早くチャンバー設備を持った病院で再圧治療を受ける必要があり、もしも治療が遅れると、一生後遺症に悩まされる状態になることもあります。やっかいなことは、減圧症になった場合に、筋肉痛や神経痛、頭痛などの一般症例と区別ができない時があることです。少しでも疑いを持った時は、できるだけ早く(遅くとも1週間以内)に、東京医科歯科大学医学部附属病院などの専門医がいる病院で診察を受けることが肝心です。



東京医科歯科大学医学部附属病院チャンバー

※1 気泡……通常の空気を使用するダイビングでは主に窒素の気泡が生じます。トライミックスなどの空気以外の混合を使った場合には、窒素以外の気体による気泡が生じる場合がありますが、ここでは一般的なレジャーダイビングを例とするため、気泡は窒素と限定して記述します。

※2 症例……関節や筋肉に痛みや違和感が出現したり、かゆみや発疹などの皮膚症状を起こしたりするⅠ型。また、中枢神経に障害が起きたり、めまいが起きたり、呼吸困難や胸痛などが起きたりする重症のⅡ型に大きく分類されます。Ⅰ型は体内への窒素の吸排出が「遅い組織」、Ⅱ型は「速い組織」に起因する症状であると考えられています。

豆知識：応急処置

上記のように減圧症の治療はチャンバー施設を備えた病院で再圧治療を受けるしかありません。応急処置としては、Ⅱ型減圧症のように現場で罹患したことが判明した場合には、すぐに純酸素を吸入すると効果的です。それによって、血管の閉塞に起因する低酸素状態による障害や後遺症をある程度緩和できる場合があります。もしも、現場で明らかな減圧症を発症した場合には、救急車を呼ぶなどして酸素吸入を開始し、速やかに、再圧(高圧酸素)治療ができる医療機関に移送する必要があります。

再圧治療施設のある医療機関 (都道府県別に50音順)

※必ず事前に電話にて減圧症の診察・治療の可否をご確認願います。

北海道	旭川医科大学附属病院	北海道旭川市緑ヶ丘東2条1-1-1	0166-65-2111	
	美唄労災病院	北海道美唄市東4条南1-3-1	0126-63-2151	
	北斗病院	北海道帯広市稲田町基線	0155-48-8000	
	北海道大学医学部附属病院	北海道札幌市北区北14条西5	011-716-1161	
岩手	岩手医科大学附属病院	岩手県盛岡市内丸19-1	0196-51-5111	
宮城	東北大学医学部附属病院	宮城県仙台市青葉区星陵町1-1	022-717-7000	
群馬	群馬大学医学部附属病院	群馬県前橋市昭和町3-39-15	0272-31-7246	
茨城	宇宙開発事業団筑波宇宙センター病院	茨城県つくば市千現2-1-1	0298-52-2748	
埼玉	原田病院	埼玉県入間市豊岡1-13-3	0429-62-1251	
千葉	斉藤労災病院	千葉県千葉市中央区道場南1-12-71	043-227-2602	
	セントマーガレット病院	千葉県八千代市上高野字大山450	0474-85-5111	
	千葉県救急医療センター	千葉県千葉市美浜区磯辺3-32-1	043-279-2211	
	千葉県こども病院	千葉県千葉市中緑区田町579-1	043-292-2111	
	千葉大学医学部附属病院	千葉県千葉市中央区亥鼻1-8-1	043-222-7171	
	東京都	神津島村立診療所	東京都神津島村1009-1	04992-8-1121
東京	町立八丈病院	東京都八丈島八丈町三根26-11	04996-2-0002	
	東京医科歯科大学医学部附属病院	東京都文京区湯島1-5-45	03-3813-6111	
	都立往原病院	東京都大田区東雪谷4-5-10	03-5734-8000	
	新島村国民健康保険若郷診療所	東京都新島村若郷1	04992-5-0185	
	日本医科歯科大学附属病院	東京都文京区千駄木1-1-5	03-3822-2131	
	牧田総合病院	東京都大田区大森北1-34-6	03-3762-4671	
	神奈川	磯子脳神経外科病院	神奈川県横浜市磯子区森1-16-23	045-761-3081
		北里大学病院救急救命センター	神奈川県相模原市北里1-15-1	0427-78-9261
		東海大学医学部附属病院救命救急センター	神奈川県伊勢原市下糟屋143	0463-93-1121
		横浜労災病院	神奈川県横浜市港北区小机町3211	045-474-8111
静岡	共立湊病院	静岡県賀茂郡南伊豆町湊674	0558-62-1312	
	静岡済生会総合病院	静岡県静岡市小鹿1-1-1	054-285-6171	
	浜松北病院	静岡県浜松市東区大瀬町1568	053-435-1111	
愛知	渥美病院	愛知県渥美郡田原町大字田原字筑出27	0531-22-2131	
	名古屋大学医学部附属病院	愛知県名古屋市昭和区鶴舞町65	052-741-2111	
新潟	燕労災病院	新潟県燕市大字佐渡633	0256-64-5111	
富山	塚本病院	富山県富山市住吉町1-5	0764-22-2050	
長野	信州大学医学部附属病院	長野県松本市旭3-1-1	0263-35-4600	
京都	京都大学医学部附属病院	京都府京都市左京区聖護院川原町54	075-751-3635	
大阪	大阪大学附属病院	大阪府吹田市山田丘2-15	06-6879-5111	
	大阪労災病院	大阪府堺市長曾根町1179-3	0722-52-3561	
兵庫	遠藤病院	兵庫県姫路市書写717	0729-67-2020	
和歌山	堀口整形外科病院	和歌山県和歌山市本町5-35	0734-31-1271	
広島	興正総合病院	広島県三原市皆実町1427-1	0848-63-5550	
	国立呉病院	広島県呉市青山町3-1	0823-22-3111	
鳥取	鳥取大学医学部附属病院	鳥取県米子市西町36-1	0859-34-6941	
香川	香川労災病院	香川県丸亀市城東町3-3-1	0877-23-3111	
福岡	大牟田記念病院	福岡県大牟田市歴木1841	0944-53-5071	
	九州労災病院	福岡県北九州市小倉南区葛原高松1-3-1	093-471-1121	
	聖マリア病院	福岡県久留米市津福本町422	0942-35-3322	
	馬場病院	福岡県八女郡広川町大字新代1389-409	0943-32-3511	
	八木病院	福岡県福岡市東区馬出2-21-25	092-651-0022	
大分	川島整形外科病院	大分県中津市宮夫14-1	0979-24-0464	
長崎	長崎大学医学部附属病院	長崎県長崎市坂本町7-1	095-847-2111	
宮崎	潤和会記念病院	宮崎県宮崎市大字小松1119	0985-47-5555	
	藤元上町病院	宮崎県都城市上町9街区6	0986-23-8000	
	藤元早鈴病院	宮崎県都城市早鈴町17	0986-25-1212	
鹿児島	鹿児島大学医学部附属病院	鹿児島県鹿児島市桜ヶ丘8-35-1	099-264-2211	
沖縄	沖縄県立八重山病院	沖縄県石垣市字大川732番地	098-083-2525	
	沖縄セントラル病院	沖縄県那覇市与儀1-26-6	098-854-5511	
	琉球大学医学部附属病院	沖縄県中頭郡西原町字上原207	098-895-3331	

どうして身体の中に気泡ができるの？

ダイビング中、水圧がかかった状態で呼吸をすると、吸い込んだ空気に含まれている窒素が水圧に応じて（陸上での呼吸時より多く）体内組織に溶け込みます。浮上にもなって、周囲の水圧がゆるやかに低くなれば、溶け込んだ窒素は問題を起こすことなく体外に出ていきます。そして、浮上後も体内に残った窒素は、（陸上での平衡状態に戻るまで）自然に排出されていきます。しかし、**水圧の変化が急激（浮上スピードが速い）だと、窒素が体外に排出される速度が追いつかず、体内組織に過剰な窒素が残ってしまいます。**残った窒素は、体内の色々な組織（部位）の中で気泡となり、血管をふさいだり、各器官に損傷を与えたりして減圧症が起こります。

窒素が体内組織（血液中）に溶ける量はその場の水圧によって変化し、水圧が高ければ高いほど、より多くの窒素が溶け込みます。つまり、ダイビング中は水深が深ければ深いほど、より多くの窒素が体内に溶け込むこととなります。また、水深とともに注意をしなければいけないのが、潜水時間です。同一水深の場合は、潜水時間が長ければ長いほど、より多くの窒素が体内に溶け込むこととなります。つまり、**水深と潜水時間の相関関係によって、体内に溶け込む窒素の量は決まるのです。**ダイビング中には最大水深に意識が向きがちですが、**平均水深に対する注意の方がむしろ大切だと言えます。**ダイブコンピュータは、単純に相関関係と言えないほど、複雑な計算をしています。このことは、また後の章で細かくご説明します。

解説：体内窒素量と周囲圧の関係

体内（血液中）に窒素が吸排出されるのは、ダイビングをしている時だけではありません。「ヘンリーの法則」に基づき、体内には常に周囲の圧力（気圧か水圧）に応じた窒素が取り込まれて飽和状態に向かって行きます。例えば水面上では1気圧で呼吸しているので、それに応じた窒素が体内に溶解しています。ですから、平地から高所に移動すると気圧が下がるので、体内から窒素が排出されて行きます。逆に高所から平地に移動して来ると気圧が上がるので、体内には窒素が取り込まれて行きます。極論を言えば、平地にずっといても気圧（気候）の変化によって、体内の窒素量は細かく変化をしているのです。また、ダイビング中は、例えば水深10mでは2気圧、水深20mでは3気圧の空気を呼吸しているので、その圧力に応じた体内窒素量に飽和して行きます。窒素の排出に要する時間はダイバーが浮上する時間よりはるかに長く、浮上時の体内の窒素量は、1気圧における飽和状態を超えています。このような状態を過飽和状態と呼びます。この過飽和状態でも、ある程度の量までは問題なく体内組織に溶け込んでいることができます。しかし、過飽和で許容できる窒素量には限界があり、それを超えると体内組織で気泡化して減圧症が発症します。

浮上速度は、できるだけゆっくり。安全停止後は、更にゆっくり！

体内に溶け込んだ窒素を気泡にしないために、つまり、**減圧症を予防するために一番大切なことは、とにかくゆっくりと浮上することです。**浮上速度が速すぎると、体内に溶け残っている窒素が微量だったとしても、気泡ができてしまう可能性があります。ですから(無減圧潜水時間の厳守を前提として)、水深が深くて潜水時間が長いダイビングをしても、浮上速度が過剰な窒素の排出に間に合うくらい遅ければ、理論的には気泡を作らずに水面まで浮上できます。ダイブコンピュータには浮上速度警告機能が付いているので、それを表示させ(鳴らさ)ないように潜ることが肝心です。



逆に、水深が浅くて潜水時間が短いダイビングだったとしても、油断して浮上速度が速くなれば、気泡ができて減圧症にかかってしまう可能性もあります。極めてレアなケースですが、東京医科歯科大学医学部附属病院の減圧症患者の中には、Cカード取得講習中、潜水講習後(つまり少量の窒素が体内に蓄積された状態の時)に「緊急スイミングアセント」を行ったことによって発症した例がある程です。(参考文献2) このような事例からも、**まずダイバーが身につけなければならない技術は、何よりも的確な(特に浅場での)浮力コントロールだといえます。**特に、10メートルより浅い場所での浮力コントロールが苦手なビギナーダイバーに対し、初めは重めにウエイトを装着することが推奨されているのは、潜降のしやすさというよりも、急浮上を防ぐためだと言えます。

ここでCカード取得時の各潜水指導団体の講習や、理科の授業でも出てきた水深と圧力の関係を思い出してみましょう。地上は1気圧、水深10mで2気圧、水深20mで3気圧、水深30mで4気圧と、水深が10m深くなる毎に1気圧ずつ変化していきます。水深10mでは地上にあった空気は2気圧の影響を受けて1/2の体積になります。同様に水深20mでは1/3、水深30mでは1/4となります。水深30mから20mへ浮上すると4気圧から3気圧への変化となり、体積は4/3倍に膨れます。一方、水深10mから0mへ浮上すると、体積は2倍に膨れます。つまり、**水深の浅い場所での深度変化の方が、同じ10メートル浮上したとしても気体の体積が大きく変化するのです。**

このことから、**水深が浅くなれば浅くなるほど、浮上速度をよりゆっくり落として、注意深く浮上しなければならないことが分かるはず**です。前回のダイビングの終了時を思い出してみてください。水深5mで3分間の安全停止をした後に、安心して一気に浮上していませんか？ ここまで読めば、水深5mから水面まで急浮上することが、いかに危険なことかということが理解できましたよね。**安全停止の後は、むしろ更にゆっくり浮上するように心がけましょう。**アンカーロープなどがある場合は必ずつかんで、一握りずつ浮上していくくらいの心がけが必要なのです。

ダイビング後になぜ、飛行機に乗ってはいけないの？

ダイビング終了後は、飛行機搭乗まで少なくとも18～24時間以上、減圧潜水をした場合は24～48時間以上(各潜水指導団体によって推奨時間にバラツキがあります。)の時間を空けることが推奨されています。では、なぜ飛行機に乗ってはいけないのでしょうか？ あなたは、その理由を明確に説明できますか？



飛行機(ジェット機)が飛ぶのは高度約10,000m付近、大気圧が0気圧(水面上に対してマイナス1気圧)近くにもなる上空です。もちろん、このマイナス1気圧が私たちの身体に直接かかるわけではなく、飛行機内は快適に過ごせるよう圧力が調整されています。それでも10,000m付近を飛んでいる時の機内の気圧は、高度2,000～2,500mの気圧に相当しています。離陸前の地上圧に比べて、高度上昇中の機内は急激に気圧が低くなりますので、体内に溶け残っていた窒素が急膨張して気泡化することがあります。つまり、飛行機に搭乗することは、ダイビング中に急浮上をした時と同じ現象を引き起こすことになるのです。簡単な話に置き換えると、飛行機内に持ち込んだ未開封のお菓子の袋が、上空で一杯に膨れ上がるのを見たことがある方は多いことと思います。体内に残った窒素の状態もそうなる可能性があるということです。

ですから、**飛行機に乗る時には、完全に体内から窒素が排出された状態であればなりません。**その時間の目安が無減圧潜水後18～24時間というわけなのです。殆どのダイブコンピュータには、体内から窒素が完全に排出される予想時間が表示されます。これが一般的には、残留窒素排出時間や飛行機搭乗禁止時間などと呼ばれているものです。**飛行機に搭乗する時には、最低でもこれらの表示がゼロになっている必要があります。**ダイビングの仕方によっては、もちろん残留窒素排出時間が24時間以上かかることがあります。

時間に余裕がないことが多い日本人ダイバー。海外や沖縄などにダイビングツアーに出掛けた際には、ギリギリまで潜りたいと考えるのは常だと思います。しかし、減圧症予防の観点からすれば、飛行機搭乗の前日の無理な潜水は避けて、スノーケリングや観光などに時間を使う心のゆとりが必要です。もしも、潜りたい場合には、何よりも飛行機搭乗時点で、ダイブコンピュータの飛行機搭乗禁止マークが消えていることが絶対条件です。飛行機搭乗禁止時間は、これから先に述べる吸排出が「遅い組織」に取り込まれた窒素量によって左右されます。特に、無制限ダイブスポットなどで連日多数の反復潜水を重ねた場合には、「遅い組織」に思わぬ残留窒素を蓄積していることがあるので注意が必要です。(P.9参照)

※飛行機から降りてから間を空けずにダイビングをする場合や、高所に住んでいる人や高所に長時間滞在していた人が平地に移動してから間を空けずにダイビングをする場合については、P.29をご覧ください。

意外な落とし穴。ダイビング後の高所移動。



周囲圧が低くなるのは、飛行機搭乗に限ったことではありません。意外な盲点が、特に車による高所移動です。東京医科歯科大学医学部附属病院では、ダイビング終了後の山越えが原因とみられる減圧症例が多数あることを学会などで報告しています。[\(参考文献3\)](#) 一般的に、標高300~400m以上であれば、車や電車などによる山越えも高所移動に該当します。例えば、関東地方の代表的なダイビングエリアである伊豆の場合、伊豆スカイラインや箱根ターンパイク(現MAZDAターンパイク箱根)を利用すると、標高700m~1000m。多くのダイバーが利用する東名高速の御殿場付近でも、標高454m。このような車による山越えは、飛行機搭乗ほどではないものの、かなりの気圧変化が身体に加わることになります。現実には、(高所移動の部類でも比較的標高の低い)東名高速道路を利用したことによって減圧症を発症したと考えられるダイバーの数は少なくありません。

せっかく無減圧潜水を遵守して慎重に浮上しても、ダイビング終了後、間を空けずに高所移動をすれば、体内に溶けて残っている窒素が気泡になる可能性が高くなります。まずは、窒素をできるだけ体内(特に「遅い組織」(P.9参照))に残さないようなダイビングを心がけ、高所移動をする際には、ダイビング終了時からできるだけ時間を空けてから通過するようにするなど、十分な注意が必要です。例えば西伊豆で、日帰りでダイビングを2本する場合は、昼食はダイビング終了後まで待って現地でゆっくりととるなどして、高所移動までの時間を長くするような計画性が必要です。ダイビング終了後は、現地で仮眠をとったり、平地で観光や食事、温泉をのんびり楽しんだりしてから高所を通過するなど、ちょっとした工夫次第で、より安全にダイビングを行うことができます。

また、やむを得ず標高が高い道路を通過する場合には、事前に各ルートの標高を確認しておく必要があります。場所によっては、遠回りをしてでも標高の低いルートを選択して帰るくらいの心構えが、安全なダイビングにつながります。ダイブショップのツアーに参加した時、ダイビング終了後にあまり間を空けずに高所移動をすることがあったら、スタッフに減圧症は大丈夫かどうかを確認するようにしてください。東京医科歯科大学医学部附属病院の推奨では、**ダイビング終了後、高所移動まで5時間以上空けることが、安全上望ましいとされています。**[\(参考文献2\)](#) もちろん、その時間は本来、体内に残っている窒素の量で決まります。吸排出の「遅い組織」(次章参照)に窒素を多く残していなければ、理論的にはそれ程時間を空けなくても大丈夫な場合があります。しかし、いかなる場合であっても、体内に残留窒素がある状態で、標高600mを越えるような道路を通過することは避けた方が無難だと言えます。[\(参考文献5\)](#)

ダイビング後に通行する可能性のある主な高所道路

関東エリア(出典1)

- 熱函道路鷹ノ巣トンネル付近：431m
- 東名高速道路御殿場I.C. 付近：454m
- 国道136号線船原峠付近：494m
- 中央自動車道笹子トンネル付近：697m
- 静岡県道18号線戸田峠付近：738m
- 伊豆スカイライン熱海峠付近：747m
- 国道138号線乙女峠付近：829m
- 国道1号線箱根峠付近：874m
- 静岡県道59号線仁科峠付近：947m
- 国道139号線精進湖～霧降高原：1,014m
- 箱根ターンパイク(MAZDAターンパイク箱根)大観山山頂付近：1,025m
- 東富士五湖道路籠坂トンネル付近：1,091m

関西エリア(出典2)

- 国道42号線大又トンネル付近：407m
- 国道162号線深見トンネル付近：430m
- 国道25号線(名阪国道)小倉I.C. 付近：511m
- 国道173号線はらがわたトンネル付近：540m
- 国道168号線行者新天辻隧道付近：650m
- 国道169号線新伯母峰トンネル付近：700m
- 国道309号線行者還トンネル付近：1,095m

四国エリア(出典2)

- 松山自動車道(伊予I.C.～内子五十崎I.C.)：331m
- 高知自動車道(大豊I.C.～新宮I.C.)：445m

九州エリア(弊社調べ)

- 九州自動車道肥後トンネル付近：397m
- 国道218号線山都町付近：614m
- 大分自動車道由布岳P.A. 付近：734m

※高所道路を通行する際は、ダイビング終了後に必ず十分な時間(P.19参照)を空けましょう。また、標高600mを超えるような高所道路は、ダイビングをした当日はできるだけ通行しないようにしましょう。

吸排出の「速い組織」と「遅い組織」があることを知ろう

人間の体においては、窒素が溶け込む部分(組織)によって、窒素の溶け込む速さや、窒素が体外に出ていく速さが異なります。例えば、筋肉や、脳、脊髄、皮膚、肺、腎臓、肝臓などは窒素が溶け込みやすく、排出されやすい組織とされています。よって、これらの組織はダイビング中にたくさんの窒素を溶け込ませますが、浮上するに従って素早く排出されます。これが窒素に対する反応が「速い組織」です。逆に、骨や関節、靭帯、脂肪、骨髄などは窒素が溶け込みにくい組織とされています。よって、一旦溶け込んでしまうと、排出もされにくいという特徴があります。少しずつ窒素を溶け込ませていくので、体内に残る窒素量は少ないように思われますが、浮上してもなかなかすぐには排出されず、完全に窒素が排出されるまでには時間がかかります。これが窒素に対する反応が「遅い組織」です。

※窒素の吸排出が一番「速い組織」を、蓋が開いたお酒などの一升瓶、窒素の吸排出が一番「遅い組織」を、アルミの蓋にごく小さな穴を開けたヤクルトなどの乳酸菌飲料の容器、と仮定すると分かりやすくなります。一升瓶を水中に沈めて圧力をかけると、内容積は大きいけれど蓋が開いているので、乳酸菌飲料の容器より速く水が一杯になります。乳酸菌飲料の容器は、内容積は小さいけれど穴が小さいので、水が一杯になるまでかなりの時間がかかります。逆に中の水を出す時も同様のことが言えます。

ここまで読んだ方は、気がつかれたかもしれませんが、ダイビング終了時点では問題がなかったのに、飛行機搭乗や高所移動によって減圧症にかかってしまうケースの多くが、吸排出が「遅い組織」に窒素を残していたことによって起こると、医学的や減圧理論的(※下記解説参照)には考えられます。余程すぐに飛行機に乗ったり、山越えをしたりしない限り、「速い組織」の窒素は、潜水後に十分な時間を空ければ、排出されてしまうからです。もちろん「遅い組織」に窒素を限界まで溜め込んだ状態にすることは、急浮上した場合にも危険ですし、あらゆる意味で一触即発の状態を作り上げると言っても過言ではありません。

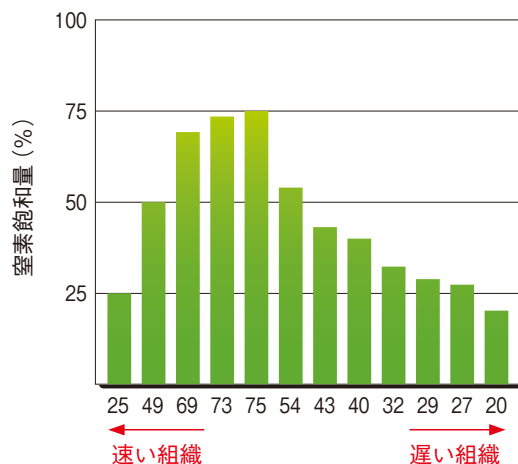
解説：東京医科歯科大学医学部附属病院の症例

東京医科歯科大学医学部附属病院の減圧症患者の症例を見ると、ダイブコンピュータが普及する前は、レジャーダイバーはⅠ型の減圧症患者数とⅡ型の減圧症患者数が半々だったのに、ダイブコンピュータが普及(減圧症患者数が急増)してからは、Ⅱ型の減圧症患者数の方が多くなっています。(P.2参照) ダイブコンピュータのアルゴリズムから考えると、潜水時間が長い日本人ダイバーはⅠ型が多くなると思われるのですが、実際にはそうではありません。また、山越えや飛行機搭乗によって発症する減圧症も、本来であれば圧倒的にⅠ型が多いと予想されるのですが、そこまで顕著な差があるわけではありません。結論として言えることは、ダイブコンピュータのコンパートメント(仮想組織)と人体の各組織とは全く違うということです。弊社では今まで70人近い減圧症罹患者のダイブプロファイルを(300ダイブ以上)分析してきましたが、Ⅰ型とⅡ型の併発例が多く、分析によってどちらの型かを予測できたのは、潜降6分後に水深20mから急浮上したⅡ型の一例だけでした。減圧症にかかるかからないかは、確かに体質などの個人差もありますが、それに至ったダイビング上の問題点が必ずどこかにあるはずで、それを調べていく事が、とても大切であると弊社は考えます。

ダイコンも「速い組織」と「遅い組織」に分けて計算している！

さて、これまで、人間の身体に窒素が取り込まれる時には、一律に吸収されるのではなく、「速い組織」や「遅い組織」など各部位や水深に応じて、窒素の取り込まれ方が異なることを述べてきました。ダイブコンピュータは、これらの違いを考慮して、無減圧潜水時間などを計算しています。現在市場にある多くのダイブコン

窒素飽和量(図1)



ピュータが、1908年に開発されたいわゆるスイスモデルという減圧モデルをベースに改良を加えて作られています。減圧モデルとは、あるダイビング中にどれだけの窒素を人体に取り込むのかを、数学的に探ろうとするものです。ここから、深度と各水深の滞在時間により、どのように窒素が体内に溶解、排出されるかの計算ができたり、人間の体には窒素を取り込み排出する速度が「速い組織」と「遅い組織」があることを踏まえて計算されたりするようになりました。この人体の組織は「速い組織」から「遅い組織」まで、おおよそ6~16程度に分類され、それぞれ計算されますが、この分類をコンパートメント(仮想組織)と呼んでいます。ダイブコンピュータは、各

コンパートメントに取り込むことができる最大限の窒素量を、コンパートメントごとに独立して計算しながら、トータル的に無減圧潜水時間などを示しています。

(図1)に見られるバーグラフのバー1本1本が1つのコンパートメントを示しています。ここでは1つのグラフの中に12のバーがあります。つまりこれは組織を12個に分類して計算しているコンピュータで、「12コンパートメントのダイブコンピュータ」ということとなります。一般的なダイブコンピュータでは、「遅い組織」の計算を考えると、コンパートメントの数が12以上は欲しいところです。向かって左側が窒素の吸排出の「速い組織」、右側が「遅い組織」に該当するコンパートメントです。

ここからちょっと専門的な話をします。体内の組織(血液)に溶け込もうとする窒素は、最初は早く溶け込み、溶け込む量が増えるに従って次第にゆっくり溶け込むようになり、最終的には非常にゆっくりとその時の水压に応じた値に飽和(これ以上溶け込まない状態になる)します。その最終的に飽和する値に対して半分に達する時間をハーフタイム(半飽和時間)と呼び、ダイブコンピュータの減圧計算の基本値となっています。

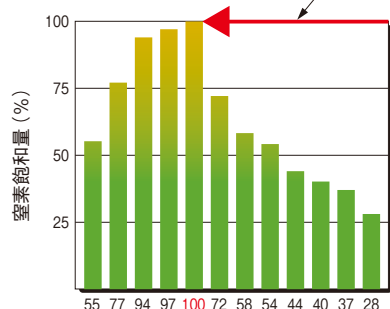
細かい話をすると、通常の大気圧においても飽和量があり、窒素が体内に吸排出されています。すなわち、高所に移動したり、飛行機に乗ったりすると周囲圧が下がるので、体内からは窒素が微量なレベルで排出されていき、平地に戻ると窒素が取り込まれて元の状態に戻ります。ですから、平地においても気圧の変化によって体内の窒素量は微量なレベルで変化しているのです。平地にいる時に体内の窒素量が完全にゼロという訳ではないのです。

さて、体内の組織内における窒素の吸収や排出の様子は、体内の各組織において大きく異なります。血液循環の盛んな組織=「速い組織」は、潜降(周囲圧が上昇する)時は速く窒素が溶け込み、浮上(周囲圧が低下する)

時は速く窒素が排出され、よりたくさんの過剰な窒素を許容することができます。逆に、血液循環が活発でない組織＝「遅い組織」ほど、潜降時は遅く窒素が溶け込み、浮上時は遅く窒素が排出され、また許容できる過剰な窒素は少なくなります。つまり、前者はハーフタイム(半飽和時間)が短い組織、後者はハーフタイム(半飽和時間)が長い組織とも呼ばれています。

複雑なことに、浮上時は周囲の圧力が低下して体内の窒素は排出されていきますが、排出だけを行っているわけではありません。「速い組織」は窒素の吸収と排出の速度が速いため、組織内の窒素圧が短い時間で周囲の圧力と飽和します。このため、浮上時に周囲の圧力が低くなると、それに応じて窒素を排出します。しかし、「遅い組織」では周囲の圧力と平衡になるまでの窒素を吸収するのに時間がかかるため、通常これよりも少ない量の窒素しか溶け込んでいません。ですから、浮上時においても周囲の圧力より組織内の窒素圧が低いので窒素を吸収します。つまりダイブコンピュータの計算上では、コンパートメントごとに、窒素を吸収方向に計算しているものと、排出方向に計算しているものに分かれる状態になります。

窒素飽和量グラフ(図2) 減圧潜水ライン



大切なことなので、もう少し具体的に書きましょう。例えば初回の潜水で水深15mに留まったとします。潜水開始後すぐに窒素が取りこまれていくのは、最も窒素の吸排出のスピードが「速い組織」、すなわち(図2)の一番左側のコンパートメントです。最初は勢い良くバーグラフが伸びていくのですが、許容圧力が高いために、減圧潜水ライン(※下記説明：M値)に対して50%を過ぎたあたりで窒素が飽和して、伸びが止まってしまいます。同様に、左から2番目、3番目、4番目の「速いコンパートメント」の順に伸びていくのですが、

やはり許容圧が高いので、減圧潜水ラインの手前で飽和してしまいます。この状態から水深10mまで浮上したとすると、周囲圧が下がるので、水深15mで飽和状態にあった組織＝コンパートメントからは窒素が排出されていきます。飽和していない組織でも周囲圧＝水圧との関係で排出方向に向かう組織(減圧潜水ラインにある左から5番目と、6番目のコンパートメントあたり)が出てきます。これに対して、窒素の吸排出のスピードが「遅い組織」は、飽和する水深が浅いので、非常にゆっくりとしたスピードながらも、窒素が吸収され続けていきます。

また、体内組織にある限度を越えて窒素が蓄積してしまうと、体内組織の窒素が排出されるまで、一定水深に留まっている必要があります。すなわち、減圧停止(DECO)をする必要が生じます。この限度の窒素量(正確には体内窒素圧)のことを一般的にM値(減圧不要限界値)と呼んでいます。一般的なダイブコンピュータは、残留窒素バーグラフが一杯(全て点灯)になると、減圧ダイビングに切り替わるようになっています。しかし、やはり前章で述べたように、1本バーのグラフだけでは、「速い組織」に取り込まれた窒素がM値を超えたのか、「遅い組織」に取り込まれた窒素がM値を超えたのかまでは、一見したところでは分かりません。しかし、どの組織がM値を超えたのかを理解することは、本来はとても重要なことだと言えます。

残留窒素バーグラフの見方

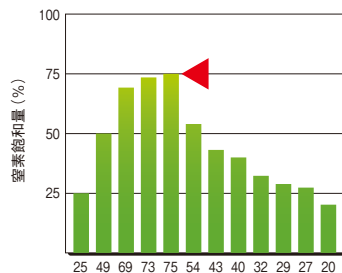
一般的なダイブコンピュータには、残留窒素のバーグラフが備わっているものが多いですが、1本バーのグラフだけでは、「速い組織」に取り込まれた窒素が表示されているのか、「遅い組織」に取り込まれた窒素が表示されているのか、一見したところでは、その内容までは分かりません。(図3)



表示されているのか、一見したところでは、その内容までは分かりません。

1本バーグラフの場合は常に、その時点で最もM値(減圧不要限界値)に対するパーセンテージの高い組織(※残留窒素量と呼ばれますが、厳密には窒素の絶対量ではありません。)の状態が表示されています。つまり、刻々と表示されている組織が変わっているのです。減圧理論に精通していれば、残留窒素排出時間や、飛行機搭乗可能時間をチェックすることによって、ある程度はどちらの組織かが分かりますが、これは現行のダイブコンピュータの不備な点だと言えます。

窒素飽和量(図4)



通常の1本バーのバーグラフ(図3)のN₂の場合、ダイブコンピュータの各コンパートメントの、その時点での窒素飽和量(%)が最も高いものが表示されます。つまり、(図4)であれば、75%の値を示しているコンパートメントが表示されます。ダイビング中は、ダイビングの仕方によって最も高い組織は刻々と変化し、ダイビング終了後は時間が経つにつれ、右側の「遅いコンパートメント」が表示されるようになります。

ちょっと話が難しくなりましたね。分かりやすく説明してみましょう。クイズを出します。AさんとBさんが全く同じ潜水時間のダイビングをしました。浮上後、二人のダイブコンピュータ上には残留窒素のバーグラフに、5ドットがそれぞれ点灯していました。しかし、同じ水面休息時間を取った後に見てみると、Aさんの方が窒素のバーグラフが早く減って1ドットを示しているのに、Bさんの窒素のバーグラフはまだ3ドットを示しています。これは一体何故なのでしょう？

その理由は窒素の内容にあります。Aさんは、体内の「遅い組織」に窒素があまり残っていなかったのに対し、Bさんは、「遅い組織」に窒素が多く残っていたのです。Bさんは、Aさんと異なったダイビングパターンをしたために、吸排出の遅い組織に多くの窒素を残し、バーグラフの数値が減るのに時間がかかっているのです。即ち、Bさんの方が、より減圧症になる可能性が高いダイビングをしたと言えるのです。後で詳しく述べますが、「遅い組織」にできるだけ窒素を残さないようにすることが、減圧症にかからないために、極めて重要なことだということを、しっかりと認識するようにして下さい。

ある意味、最も危ない「水深15~19mあたりの長い箱型反復潜水」

さて、ここからが、話の核心部分です。テクニカルダイビングをしている方や、減圧理論に精通している方なら良く分かっていることですが、おそらく殆どのダイバーが知らない事実です。目からウロコ的な内容だと感じる方も多くいるかもしれませんが、この章の内容は、減圧症を防ぐためにはとても大切なことです。最後まで読んで、頭の中にしっかりと叩き込むようにしてください。

ところで、吉田兼好の徒然草第百九段に「高名の木登り」という話がありますが、ご存知ですか？ 概略はこうです。《弟子が高い木に登って梢を切る作業を見守っていた「木登りの名人」は、弟子が危険な高い所にいる時には何も言いませんでした。しかし、作業を終えて軒のあたりまで降りて来た時に、「気をつける！」と初めて声を掛けました。側で見ていた人は怪訝に思って、「危険な高い所にいた時には注意しなかったのに、安全な所まで降りて来た時に注意したのはどういう理由ですか？」と尋ねました。すると「木登りの名人」はこう答えました。「高くして危険な所にいる時には、人は誰でも注意するものです。安全な所に降りて来た時にこそ気が緩むから、その時に注意してやるのが大切なのです。】》

突然、古典の話を持ち出しましたが、ダイビングにも同じようなことが当てはまります。水深30m近くでダイビングをしている時は、どのダイバーも水深や無減圧潜水時間に注意が働き、そして緊張し、用心するものです。しかし、水深20m前後ではどうでしょうか？ 特に水深20mを切った19mあたりになると、さすがに警戒意識が薄れてくるものです。「深く潜るダイビングは危険で、浅く潜るダイビングは安全。」その考えは基本的には正しいのですが、正確な知識がないと非常に危険な部分を含んでいます。



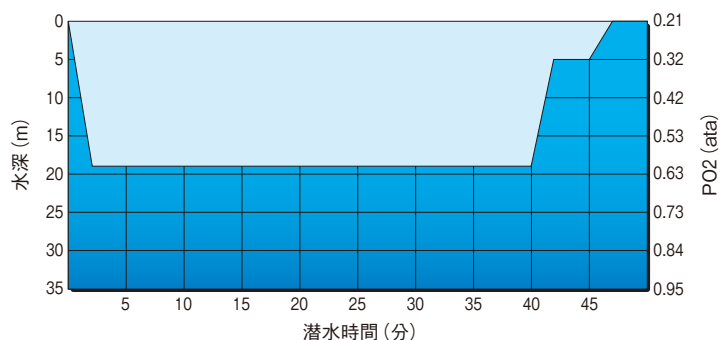
水深15m~19mあたりというのは警戒意識が薄れるとともに、それ程深くはないので、タンクのエアー持ちが比較的良くなります。また、無減圧潜水時間も長くなるので、特に水中写真派ダイバーなどは、ギリギリ(無減圧潜水時間2分~5分)まで良い写真を撮ろうと粘ってしまいがちになります。また、いざ減圧潜水に切り替わったとしても、エアーが残っているので大丈夫だと、少し軽く考えがちにもなります。実は、このような潜水パターンこそが非常に危険なのです。

水深20m手前で減圧症に関わってくる組織は、ハーフタイムで言うと30分前後の組織です。反復潜水になると、更に45分、90分前後の組織で減圧症のリスクが増してきます。これらの組織は窒素の溶け込みもゆっくりですが、排出もゆっくり(窒素の排出には、吸収される時より、かなり時間がかかると考えられます。)です。ということは、**許容窒素量の限界まで溜め込むと、たとえダイブコンピュータが示す無減圧潜水時間の範囲内でも、複数のコンパートメントがM値(減圧不要限界値)に近付き、一触即発の危険状態になります。**つまり、ちょっと浮上速度違反をしたり、ダイビング後に十分な間を開けずに高所移動をしたりすると、減圧症を引き起こす可能性が高くなるのです。

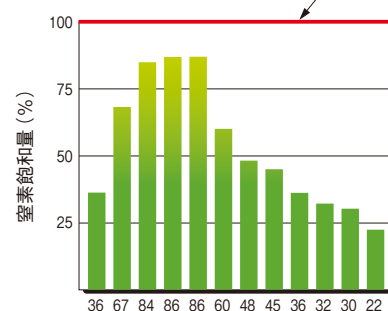
常識的(初めに最大水深に到達して、後は浮上していく)なパターンのダイビングを行った場合、1本目のダイビングで、水深30mを超えるような深いところで減圧潜水に切り替わった時は、「速いコンパートメント」が反応していますので、すぐに浮上して行けば、減圧停止時間は短く(往々にして減圧停止指示深度に上がる途中で無減圧潜水に戻ります。)、そのまま浅い所にいて再び深い所に行かない限りは、それ程「遅いコンパートメント」に窒素を溜め込むことはありません。しかし、水深19mくらいの所で箱型潜水をしていて減圧潜水に切り替わった場合は、前述のように「遅いコンパートメント」に窒素を非常に多く溜め込んだ状態になります。※「速いコンパートメント」にも多くの窒素が溜まった状態になり、危険だと言えます。

分かりやすく説明するために、ダイブシミュレーターを使って、「1本目最大水深30m、2本目最大水深25m、3本目最大水深20mの無減圧通常反復潜水」と「1本目~3本目ともに水深19mに留まった無減圧箱型反復潜水」を例に挙げて、窒素の状態を確認してみましょう。「潜水グラフ」(図5)は、縦軸が水深、横軸が潜水時間を表しています。つまり、ダイビングの軌跡と言えるものです。また「窒素飽和量グラフ」(図6)は、前述の「速いコンパートメント」から「遅いコンパートメント」まで12の独立したコンパートメントのそれぞれ窒素量を示しています。いずれかの組織が100%を超えると減圧潜水に切り替わります。

潜水グラフ(図5)



窒素飽和量グラフ(図6) 減圧潜水ライン

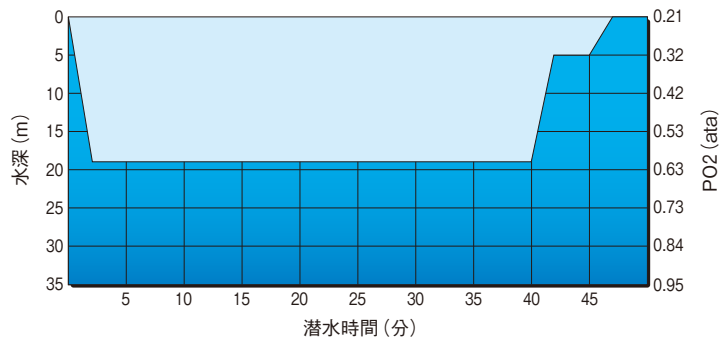


豆知識：気圧変化に弱い減圧症罹患者

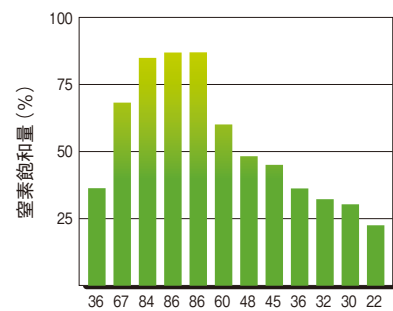
減圧症にかかれたダイバーの方の話をお聞きしていると、ちょっとした気圧の変化で身体の痛みを訴えられる方が多い事に驚かされます。具体的には、エレベーターに乗った時、トンネルを車や電車で通過する時、山道を車で移動する時、飛行機に乗った時、天気が悪い(低気圧の)時などです。筆者の友人も全く同じでしたが、仕事でダイビングしている時には痛がっていませんでしたから非常に不思議です。水圧変化の方が気圧変化よりはるかに大きな差があるからです。ある医学者の方が、「ダイビングをすると皆発症しない程度の減圧症にかかって、時間経過とともに治って行く」というような仮説を話されていましたが、そうであれば、山越えによって減圧症に罹患するダイバーがいることも説明がつかず。あくまでも仮説ですが…。

水深19m箱型潜水(47分)1本目の潜水グラフと浮上時点の窒素飽和量

潜水グラフ(図7)

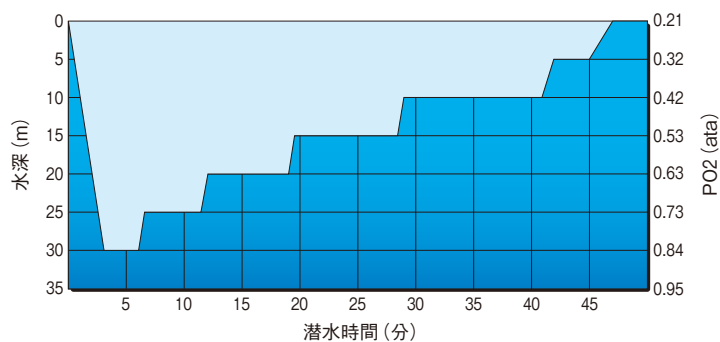


窒素飽和量グラフ(図8)

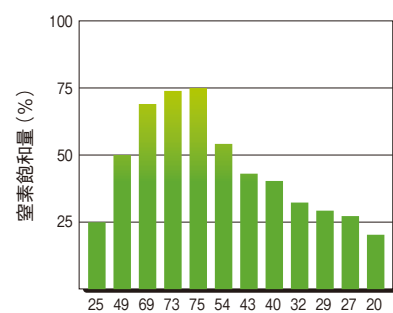


最大水深30m模範潜水(47分)1本目の潜水グラフと浮上時点の窒素飽和量

潜水グラフ(図9)



窒素飽和量グラフ(図10)



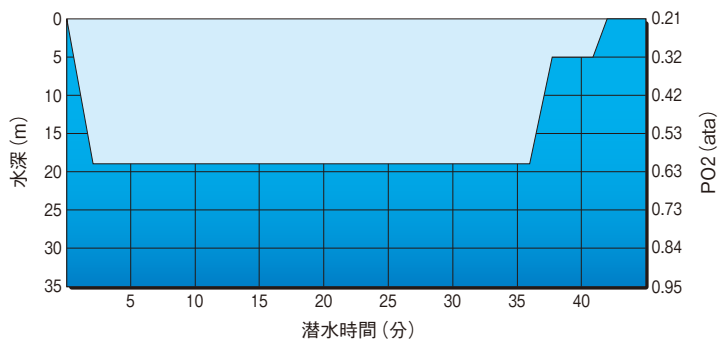
最大水深30mまで潜っても、段階的に浮上していけば、水深19mにずっと留まる箱型潜水よりも潜水終了時点の窒素の量が少なくなることがわかります。※模範潜水はもっとなめらかな潜行の軌跡を描くべきですが、比較のために停滞しながら段階浮上させています。

(図7)、(図8)は、水深19mに潜水開始2分後からずっと停滞して、無減圧潜水時間2分まで粘って浮上開始。水深5mで3分間の安全停止をした後、ゆっくりと水面に浮上したという完全な箱型のダイビングパターンです。また(図9)、(図10)は、潜水開始後3分で最大水深の30mに達して4分停留。その後は段階的に5mずつ停留水深を上げていき、水深5mで3分間の安全停止をした後、残りの5mをゆっくりと浮上したという模範的なダイビングパターンです。どちらのパターンも潜水時間は全く同じ47分です。

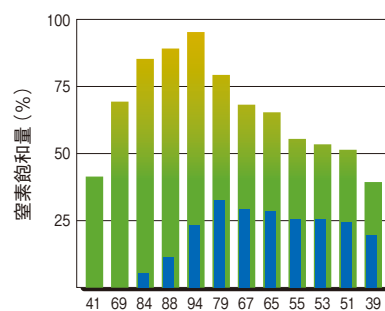
比較していただくとお分かりのように、水深30mまで潜った模範的なダイビングより、水深19mにずっと停滞していた箱型のダイビングの方が、窒素(グリーンのバーグラフ)を全体的に多く溜め込んでいることがわかります。このような状態を2本、3本と反復して重ねていくと、その差はより顕著に現れてきます。以後、TUSAダイブコンピュータ上のコンパートメントの左側4本を「速いコンパートメント」、真ん中4本を「中間的なコンパートメント」、右側4本を「遅いコンパートメント」と便宜上呼ぶことにします。

水深19m箱型潜水(42分) 2本目の潜水グラフと浮上時点の窒素飽和量

潜水グラフ(図11)

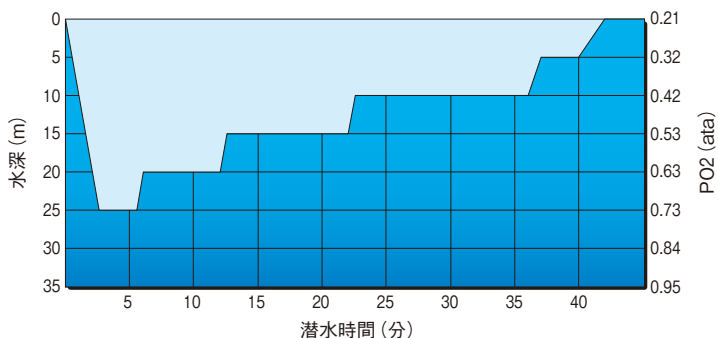


窒素飽和量グラフ(図12)

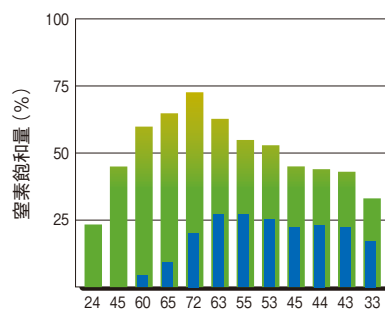


最大水深30m→25m模範潜水(42分) 2本目の潜水グラフと浮上時点の窒素飽和量

潜水グラフ(図13)



窒素飽和量グラフ(図14)



(図12)、(図14)の青色のバー部分は、1時間半の水面休息をした後の、1本目の残留窒素の状態、2本目以降は上積みされていきます。2本目模範潜水は、1本目最大30m、2本目も25mまで潜っていますが、段階的に浮上しているために、水深19mに留まる箱型潜水より体内の窒素量が少ないことがよく分かります。

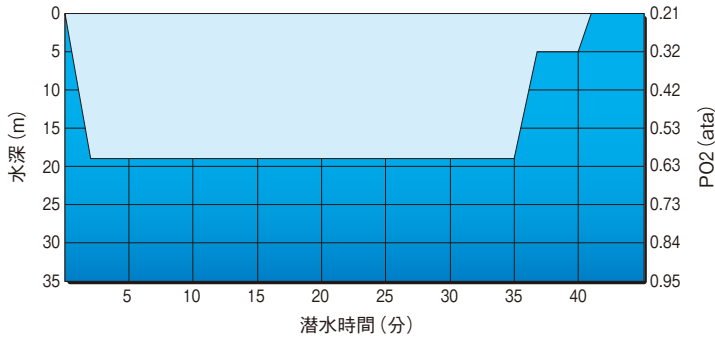
(図11)、(図12)は、水面休息時間を1時間半とり、1本目と同様に水深19mに潜水開始2分後からずっと停滞して、無減圧潜水時間2分まで粘って浮上開始、水深5mで3分間の安全停止をした後、ゆっくりと水面に浮上したという完全な箱型の反復ダイビングパターンです。また(図13)、(図14)は、水面休息時間を1時間半とり、潜水開始後2分30秒で最大水深の25mに達して3分停滞。その後は段階的に5mずつ停滞水深を上げて、水深5mで3分間の安全停止し、ゆっくりと水面に浮上したという模範的な反復ダイビングパターンです。どちらのパターンも潜水時間は42分です。模範潜水に関しては、「反復潜水の場合は最大深度を段階的に上げていく」という基本ルールにのっています。

ここまで来ると、その差は歴然として来ます。特に水深19mの箱型潜水2本目の場合は、浮上直後に「中間的なコンパートメント」がM値(減圧不要限界値=バーグラフで100のライン)寸前の状態であることが分かります。また、1本目に加えて「遅いコンパートメント」に、より多くの窒素を溜め込んでいることも分かります。

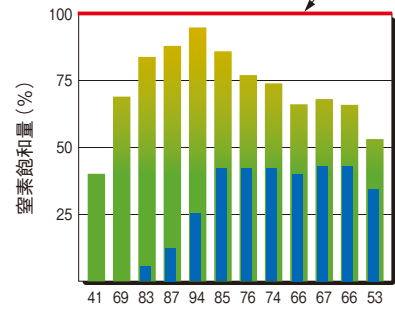
更に日帰りのダイビングでもすることがある3本目のダイビングを行うと、残留窒素の状態がどうなるかを見てみましょう。面白い現象が出てきます。

水深19m箱型潜水(41分) 3本目の潜水グラフと終了時点の飽和窒素量

潜水グラフ(図15)

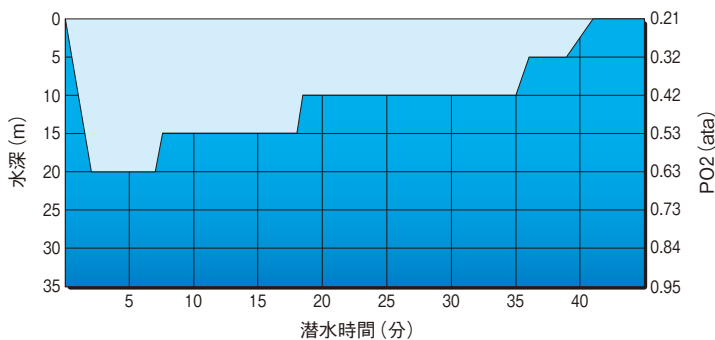


窒素飽和量グラフ(図16) 減圧潜水ライン

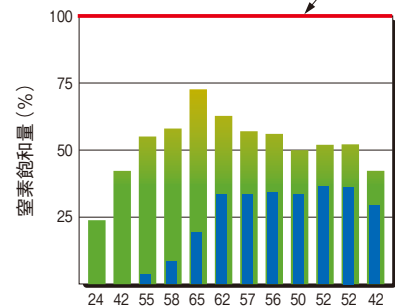


最大水深30m→25m→20m 模範潜水(41分) 3本目の潜水グラフと終了時点の飽和窒素量

潜水グラフ(図17)



窒素飽和量グラフ(図18) 減圧潜水ライン



(図15)、(図16)は、水面休憩時間を1時間半とり、1~2本目と同様に水深19mに潜水開始2分後からずっと停滞して、無減圧潜水時間2分まで粘って浮上開始、水深5mで3分間の安全停止をした後、ゆっくりと水面に浮上したという完全箱型のダイビングパターンです。また(図17)、(図18)は、潜水開始後2分で最大水深の20mに達して5分停滞。その後は段階的に5mずつ停滞水深を上げて、尚且つ停滞時間を均等に少しずつ延ばしていき、やはり、水深5mで3分間の安全停止。残りの5mをゆっくりと浮上したという模範的なダイビングパターンです。どちらのパターンも潜水時間は41分です。模範潜水は、反復潜水の場合は最大深度を段階的に上げていくという基本ルールにのっとり、最大水深を20mに上げてあります。

水深19mの箱型潜水は、水面浮上直後には2本目同様に「中間的なコンパートメント」がM値(減圧不要限界値=パーグラフで100のライン)寸前の状態であることが分かります。注意しなければいけないのは、更に「遅いコンパートメント」に窒素を顕著に溜め込んで来ているということです。模範潜水の場合は、特に後半に浅い水深に長くいたこともあって、全体的に少ない窒素量にまとまっています。当然、仮に4本目も同じ

ようなダイビングをすると、水深19mの箱型潜水の場合は、「遅いコンパートメント」に更に多くの窒素を溜め込むことになってしまいます。安全率を考えると、**潜水終了時点で「遅いコンパートメント」(右側4本のバーグラフ)が、M値(減圧不要限界値)に対して50%を超えると、残留窒素の排出に24時間以上かかるので、50%を超えないようなダイビングをできるだけ心がける必要があります。**

そういう観点では、シミュレーション上の19m箱型潜水は危険、水深30m模範潜水でギリギリラインということが言えます。海外のダイビングスポットには無制限ダイブを売りにしているところがありますが、ダイブコンピュータの無減圧潜水時間を守ってさえいれば大丈夫だと考えることは非常に危険です。残留窒素のバーグラフや残留窒素排出時間(飛行機搭乗禁止時間)も必ず確認して、**窒素を体内(特に許容性のない遅い組織)に取り込み過ぎないように、無理のない反復潜水計画を立てるようにすることが大切です。**

また、減圧症は、最大の要因である浮上速度違反も含めた「減圧ミス」によって起こります。ダイビングの模範パターンは、初めに最大水深(レジャーダイビングの場合は30mが限度)に達して、後はゆっくりと浮上していくパターンです。言葉に惑わされがちですが、「減圧潜水」は単に過飽和状態になった体内組織の窒素を排出させる減圧行為であって、水面まで浮上していくこと、「安全停止」をすること、水面休息(潜水終了後も含む)をすることの全てが実際は減圧行為になります。浮上速度違反だけでなく、ダイビング中は**窒素の取り込み過ぎに注意して、体内の各組織に取り込まれた過剰な窒素を、いかに無理なくめらかに身体の中から排出(減圧)していくかを頭の中でイメージしながら潜ることが肝心です。**そういう意味において、模範的な潜水パターンの実践は非常に大切です。ただ、ダイブコンピュータが示す“無減圧”潜水時間を守るだけの漠然とした潜水や浮上をしてはいけません。

解説：反復潜水による窒素の蓄積

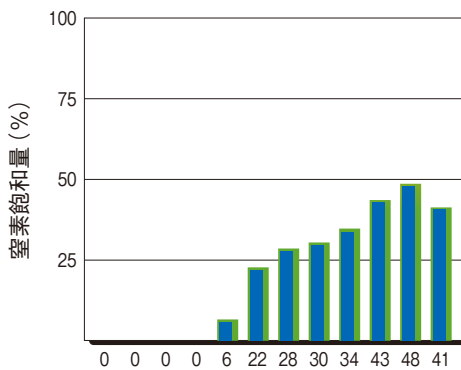
海外のダイビングスポットでは、無制限ダイビングが可能な所があります。ダイブテーブル時代には事実上不可能であった1日4本~6本のダイビングも、「無減圧潜水時間を守ってさえいれば大丈夫」という考え方でダイブコンピュータを使用すれば、それなりに可能となります。しかし、次頁以降を読めばお分かりになりますが、そのような潜水パターンを繰り返していくと、残留窒素排出時間が30時間前後にもなるダイビングを毎日繰り返していくこととなります。4日間繰り返せば、5日目の潜水スタート時点で、「遅い組織」に既に10時間を超える排出時間を要する窒素が残っている計算になることもあります。もしも、その状態で浅い深度で減圧潜水に切り替わった場合には、減圧停止時間が非常に長くかかるケースも想定されます。また、飛行機搭乗禁止時間も大幅に24時間を越えてしまい、1日空けても飛行機に乗れない場合も生じます。このようなダイビングは、減圧症の予防の観点からは非常に危険だと考えられます。

高所移動時の注意点

ここで、比較してきた「1本目～3本目ともに水深19mに留まった無減圧箱型反復潜水」と「1本目最大水深30m、2本目最大水深25m、3本目最大水深20mの無減圧模範反復潜水」のそれぞれ潜水終了3時間後の体内の窒素の状態を見てみましょう。(図19)を見るとお分かりのように、水深19mの箱型反復潜水の場合は、3時間経過してもまだ「遅いコンパートメント」に48%の窒素を残しているものがあります。(図20)の最大水深30mの模範反復潜水の場合も、さすがに3本の反復潜水であったことと、1本目のダイビングで割と深い位置に長くいたこともあって、同様に38%の窒素を残しているものがあります。この状態では、前に述べたような東名高速御殿場付近を通過するような比較的低目の高所移動でも減圧症発症の可能性があり、通行することは危険だと言えるでしょう。(P.9参照)

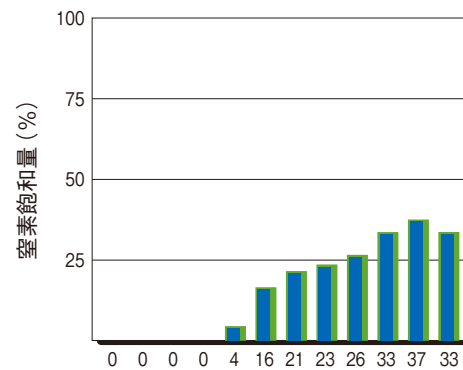
潜水終了3時間後の窒素量の比較

窒素飽和量グラフ(図19)



水深19m箱型反復潜水の3時間後窒素量

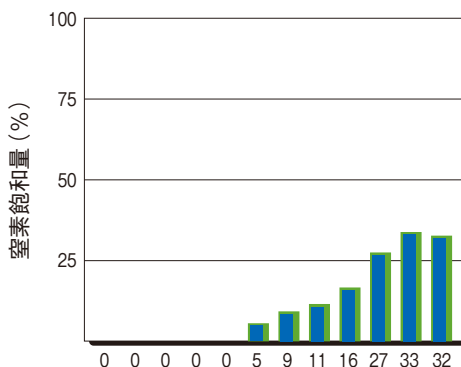
窒素飽和量グラフ(図20)



最大水深30m模範反復潜水の3時間後窒素量

では、どのくらいまで「遅いコンパートメント」の窒素が減ったら安全率が高まるのか？ 東京医科歯科大学医学部附属病院(高気圧治療部)では、高所移動によって減圧症が発症したと考えられるケースの統計データから、一日の反復潜水においては、高所移動をする際には潜水終了から5時間以上空けることを推奨しています。(参考文献2)

窒素飽和量グラフ(図21)



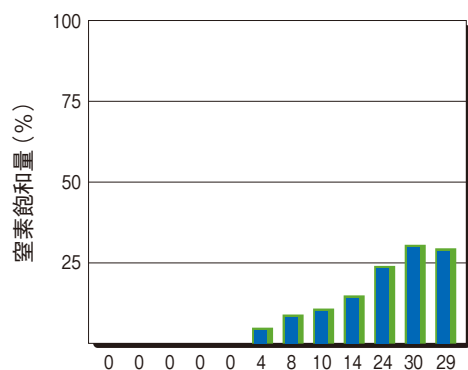
そこで、安全率をプラス1時間加味して、水深19mの箱型反復潜水の終了6時間後の窒素の状態をシミュレートしてみましょう。(図21)のように、6時間後には「遅いコンパートメント」で33%が一番高い値となっています。そして、シミュレートを更に続けると、一番高い値が25%に減るのが、8時間20分後。全ての窒素が排出されてゼロになるのは、26時間40分後となります。つまり、飛行機に搭乗するとしたら、約27時

間後に乗らなければいけない程、窒素が溜まっている状態です。※最後まで残るのは一番右のコンパートメントです。

東京医科歯科大学医学部附属病院の高所移動による減圧症患者の潜水プロファイルには、減圧ダイビングをした例もあります。しかし、無減圧潜水とは言え、3本の反復潜水としては、このシミュレーションの例はかなり厳しい条件の部類です。ですから、減圧症を防ぐためには「遅いコンパートメント」で30~33%以下に窒素を減らしてから、高所移動をすべきではないかと弊社では考えます。もちろん、個人差などがあるので、100%防げるとは言えませんが、このように安全マージンを大きくとる考え方をすれば、少なくとも高所移動によって減圧症を発症する可能性は、かなり低くなるはずで、逆に言えば、高所移動をする際に「遅いコンパートメント」の残留窒素が30~33%※以下になるようなダイビング計画を心がける必要があります。

※高所移動に関しては、U.S.ネイビー・ダイビングマニュアルにも記載がありますが、30~33%以下という条件は、その指標より安全率が高くなっています。

窒素飽和量グラフ (図22)



ちなみに、水深19mの箱型反復潜水の3本目だけを32%のナイトロックで潜るとどうなるかを見てみます。全く同じ潜水プロファイルで潜った場合、終了後6時間を経過した時点で、(図22)のように、「遅いコンパートメント」で30%が一番高い値となります。たった3%のようですが、「遅いコンパートメント」においての3%は大きいので、減圧目的でナイトロックを使用する価値はあると言えます。

※ナイトロックを使うとダイブコンピュータが表示する無減圧潜水時間が延びますが、当然、延ばしては安全性が向上しません。また、3本ともナイトロックを使用すれば、その効果は大きくなります。

さて、あなたは今までダイブコンピュータを陸上でどう使ってきましたか？単なるログ付けの道具になっていませんか？ここまで読むと、減圧症を予防するためには、水面休息時間の過ごし方や、ダイビング終了後の過ごし方も大切なことが分かってきたはずで、特に反復潜水をする場合は、1本目の潜り方によって体内に溶け込んでいる窒素の量が異なるので、その時の窒素量を踏まえて、2本目以降のダイビングをどのように行ったらよいかをイメージすることが肝心なのです。

ダイブコンピュータにはダイブプランモードという機能がついていますので、潜水開始直前に最大水深時の無減圧潜水時間を確認することができます。残留窒素バーグラフと、残留窒素排出時間から、体内の「遅い組織」にどれくらいの窒素が取り込まれているかを推測し、いかにそこに窒素を溜め込まないようにするかを考えながらダイビングをするように心がけましょう。また、ダイビングを終了してから、その日のうちに車で高所移動をしなければならない際は、ダイビング終了後3時間以上※かつダイブコンピュータの「遅いコンパートメント」の窒素を30~33%以下まで減らすようなダイビング計画を立てましょう。

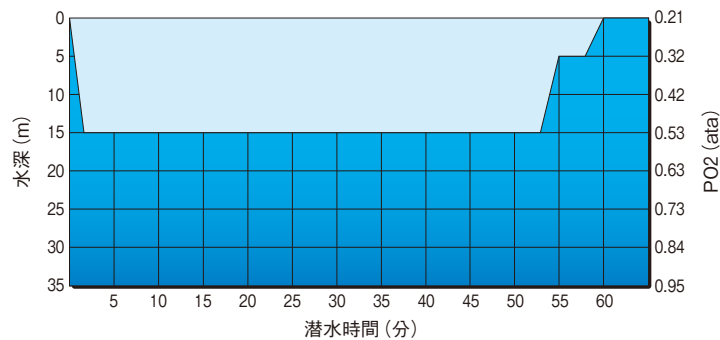
※ダイビング本数が1本だけの場合は「遅い組織」の残留窒素が33%を超えることは殆どありません。U.S.ネイビー・ダイビングマニュアルのテーブル上では、最短で潜水終了後51分で標高1800mを越えられるケースがありますが、弊社ではどんなに残留窒素が少なくても、最低3時間以上は空けることをおすすめします。

潜水時間にも気をつけよう！（最も危険なダイビングパターンの一例）

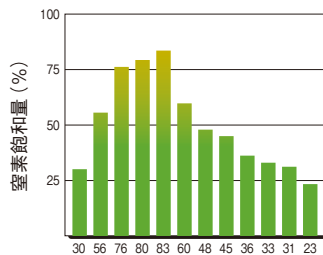
前章を読んで、浅くても、長い潜水が体内の「遅い組織」に窒素を取り込みやすいことを学びました。ここで、現実的に多くのダイバーが、無意識のままに窒素を取り込んでしまう危険なダイビングパターンをあげてみます。水深が浅いので、比較的エア持ちが良いダイバーであれば、（実際には浮上はもう少しゆるやかになるでしょうが、）水中写真撮影などに熱中して、これに近いパターンを行う可能性があるものです。

最大水深 15m、潜水時間 60分の箱型ダイビングを3本反復した場合の潜水グラフと、1本目、2本目、3本目終了時点の体内窒素量

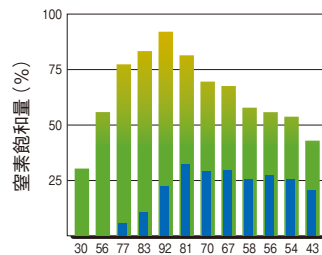
潜水グラフ (図23)



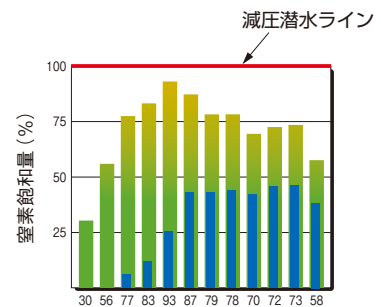
窒素飽和量グラフ



1本目終了時窒素量
(図24)



2本目終了時窒素量
(図25)



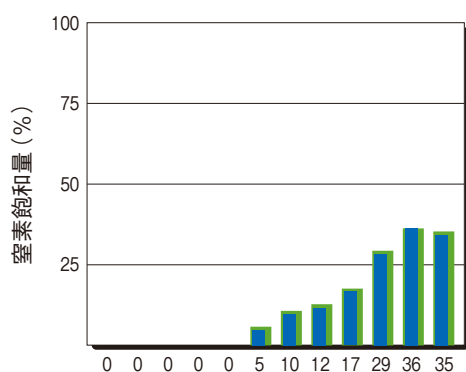
3本目終了時窒素量
(図26)

(図23)の潜水グラフは、水深15mに潜水開始1分30秒後からずっと停滞して、終了5分前に、水深5mまで浮上し、3分間の安全停止をした後、ゆっくりと水面に浮上したという完全な箱型のダイビングパターンです。この潜水時間60分のダイビングを3本繰り返した場合をシミュレートしてみましょう。水深15mに60分の箱型潜水というパターンは、エア持ちが良いダイバーはやりがちで、実際にダイブコンピュータの無減圧潜水指示を遵守しながら減圧症になってしまったダイバーに多く見られるケースです。

(図24~26)は、水面休息時間をそれぞれ1時間30分とってから、1本目と全く同じパターンで2本目、3

本目を潜った反復潜水終了時の窒素飽和量です。2本目(図24)は潜水終了間際に、「中間的なコンパートメント」がM値(減圧不要限界値)にかなり接近します。前章の水深19mの箱型潜水より、(潜水時間は長いですが)「中間的なコンパートメント」から「遅いコンパートメント」への取り込みが目立ちます。更に、3本目(図26)を追加した場合には、潜水終了間際に「中間的なコンパートメント」がM値(減圧不要限界値)にかなり接近します。また、2本目終了時点より、「中間的なコンパートメント」から「遅いコンパートメント」へ万遍なく窒素が取り込まれて、どの組織も許容性のないラインにあることが分かります。1日3本の反復潜水のシミュレーションパターンを色々試してみると、**現実にダイバーが行いそうな無減圧潜水パターン**の中では、この潜水時間60分で水深15mにずっと貼り付くような反復ダイビングが、最も危ないと言えるかもしれません。

窒素飽和量グラフ(図27)



(図27)は、潜水時間60分水深15mの箱型潜水を3本した後、6時間経過時の各コンパートメントの窒素量です。最も多いコンパートメントには、まだ36%の窒素が残っています。30%になるのが、7時間30分後、全ての窒素がなくなるのが、28時間後になります。**このような反復ダイビングをした後は、その日のうちに高所移動をすることは避けて、現地に宿泊することを強くおすすめします。**また、浮上スピードには細心の注意を払う必要があります。

さて、「水深と潜水時間の相関関係によって、体内に溶け込む窒素の量は決まる」と最初の方で書きましたが、水深が浅くなればなる程、その基本原理を忘れてしまうダイバーが多いようです。しかし、**浅い水深でも「遅いコンパートメント」は、殆どの場合、吸収方向へ計算されているのです。そして、その「遅いコンパートメント」に窒素を溜め込むことが、減圧症予防の観点から危険なことであることを、全てのダイバーは知っておく必要があります。**

解説：無減圧潜水時間の盲点

どんなに窒素を取り込むような潜水をしても、水深10m近くまで浮上して来ると、ダイブコンピュータが示す無減圧潜水時間は必ず長く表示されてしまいます。これによって多くのダイバーが「窒素が抜けてしまった。」と錯覚して、知らず知らずのうちに限界ギリギリの窒素を溜め込むことになっています。減圧理論的に簡単に言うと、これは減圧不要限界に関わる組織が、ハーフタイムが短い組織から長い組織に切り替わっていくからです。例えば、水深10mあたりになるとハーフタイムが90分~120分の組織に関わるようになります。そのため、TUSAのコンピュータの場合は、一気に無減圧潜水時間が最大値の200分を示すようになります。本来、水深10mを切るような所では、無減圧潜水時間ではなく、「遅いコンパートメント」の窒素量で減圧管理をする必要があります。実際には窒素が体内組織に相当溜まっている場合があるからです。

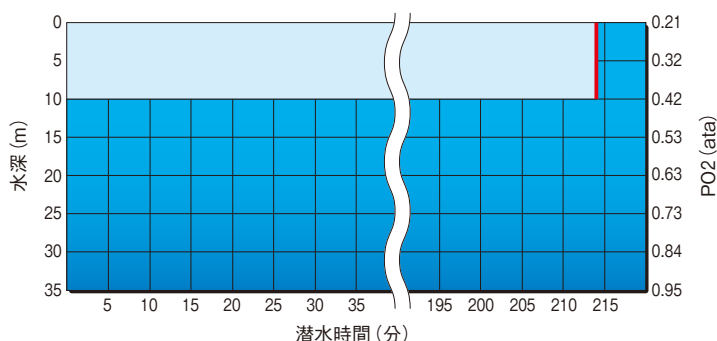
水深による減圧潜水切り替わりコンパートメントの変化

各コンパートメントには最大の窒素許容圧力があります。これが前述のM値(減圧不要限界値)です。「速いコンパートメント」は「遅いコンパートメント」に比べて大きなM値を持っているために、より高い圧力に耐えられます。このため、浅い水深では窒素量(窒素飽和量)が100%に近づくことはありません。減圧潜水に関わってくることはありません。これに反して、「遅いコンパートメント」は、一般的なダイビングであれば、常に窒素が吸収方向に働いているので、浅い水深でも潜水時間が長くと減圧潜水に関わってきます。

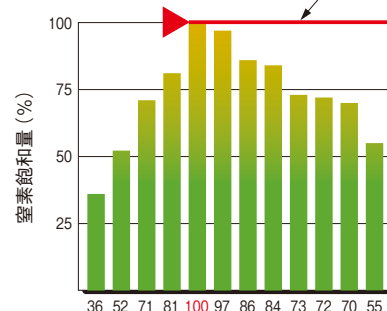
これが、最初の方で述べた「水深と時間の(複雑な)相関関係」です。言葉で表すと難しいので、これも分かりやすくシミュレーション例をあげてみます。この(複雑な)相関関係を理解すれば、自ずとダイブコンピュータの減圧計算式と周囲圧に対する人体の窒素の吸排出のメカニズムが見えてきます。ここまで理解すれば、もうあなたは減圧症にかかる危険性の極めて少ないダイバーになったとすることができるでしょう。

水深10m箱型潜水の減圧潜水切り替わりコンパートメント

潜水グラフ(図28)



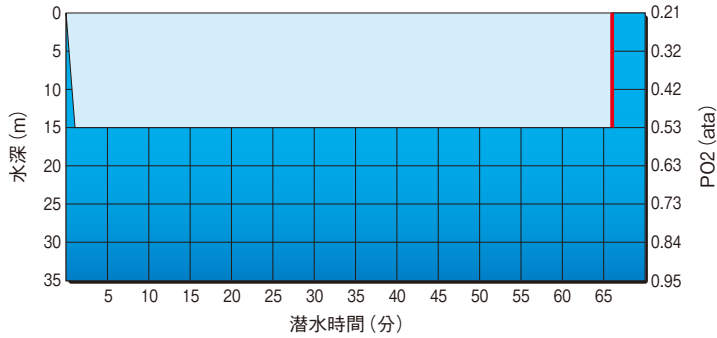
窒素飽和量グラフ(図29) 減圧潜水ライン



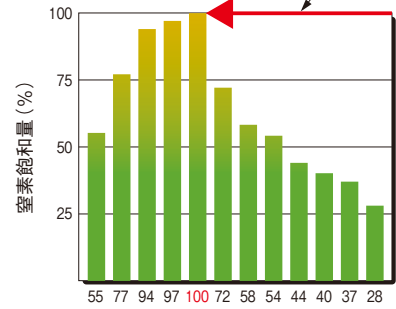
(図28)、(図29)は潜水開始40秒後から、水深10mに留まった場合に、どのコンパートメントが減圧潜水ラインに達するかをシミュレートしたものです。減圧潜水に切り替わるのは、潜水開始214分後で、左から5つ目の「中間的なコンパートメント」が100%を超えて減圧潜水となります。お分かりのように、この水深では許容圧が高い「速いコンパートメント」は、左から4つ目の81%が最高値でほぼ飽和しているため、それ以上高くなることはありません。前の章でも詳しく述べたように、潜水時間が長いために「遅いコンパートメント」に満遍なく窒素が溜まっています。また、左から6つ目のコンパートメントも97%と減圧潜水切り替わりギリギリのラインまで迫っています。潜水時間が214分なので、現実のレジャーダイビングでは有り得ない例ですが、この程度の浅い水深では「速いコンパートメント」は全く減圧潜水に関わってこないことが良く分かります。

水深 15m 箱型潜水の減圧潜水切り替わりコンパートメント

潜水グラフ (図 30)



窒素飽和量グラフ (図 31) 減圧潜水ライン

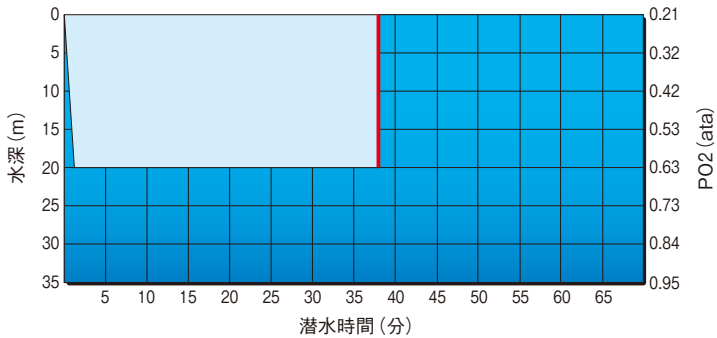


(図 30)、(図 31)は潜水開始60秒後から、水深 15mに留まった場合に、どのコンパートメントが減圧潜水ラインに達するかをシミュレートしたものです。減圧潜水に切り替わるのは、潜水開始66分後で、左から5つ目の「中間的なコンパートメント」が100%を超えて減圧潜水となります。

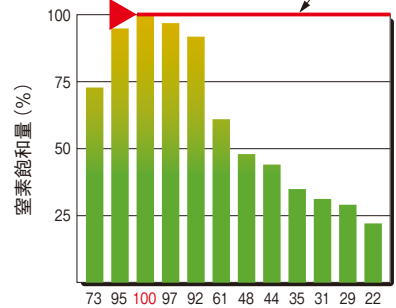
ここで注目すべきところは、水深 10mの場合と同じ、左から5つ目の「中間的なコンパートメント」が100%を超えて減圧潜水となっているのに、前後のコンパートメントの窒素量の様子が全く異なることです。減圧潜水への切り替わり時間も、たった水深5mの違いで214分から66分と、いきなり現実的になってきます。水深 10mの時は97%と減圧潜水ラインギリギリだった左から6つ目のコンパートメントは72%しかなく、代わって左から3番目と4番目の「速いコンパートメント」が減圧潜水ラインギリギリになっていることが分かります。

水深 20m 箱型潜水の減圧潜水切り替わりコンパートメント

潜水グラフ (図 32)



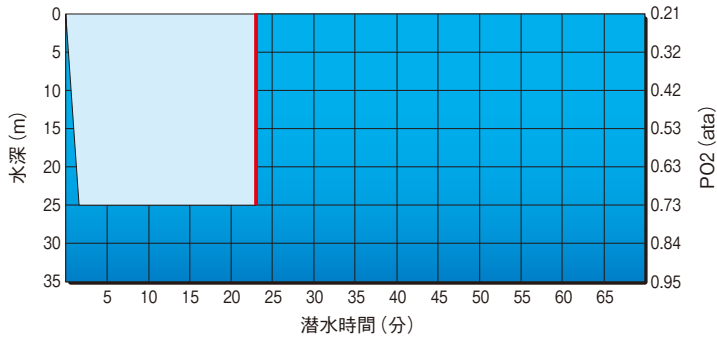
窒素飽和量グラフ (図 33) 減圧潜水ライン



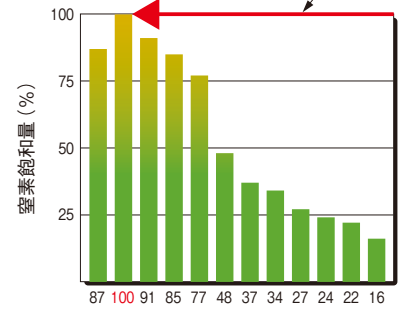
(図 32)、(図 33)は潜水開始80秒後から、水深 20mに留まった場合に、どのコンパートメントが減圧潜水ラインに達するかをシミュレートしたものです。減圧潜水に切り替わるのは、潜水開始38分後で、左から3つ目の「速いコンパートメント」が100%を超えて減圧潜水となります。左から2番目から5番目までのコンパートメントが減圧潜水に関わって来ますが、潜水時間が短いために、6番目より遅いコンパートメントは、減圧潜水には関わって来ません。

水深25m箱型潜水の減圧潜水切り替わりコンパートメント

潜水グラフ(図34)

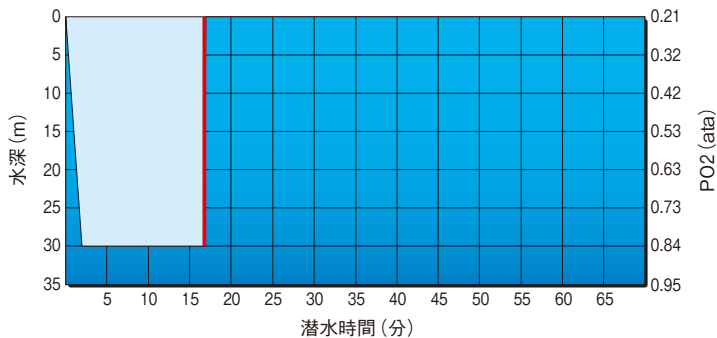


窒素飽和量グラフ(図35) 減圧潜水ライン

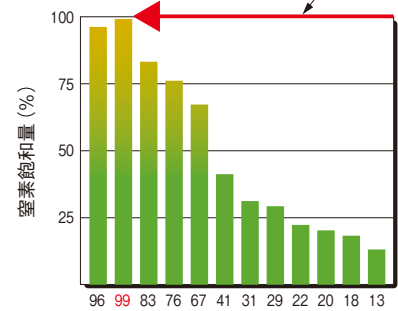


水深30m箱型潜水の減圧潜水切り替わりコンパートメント

潜水グラフ(図36)



窒素飽和量グラフ(図37) 減圧潜水ライン



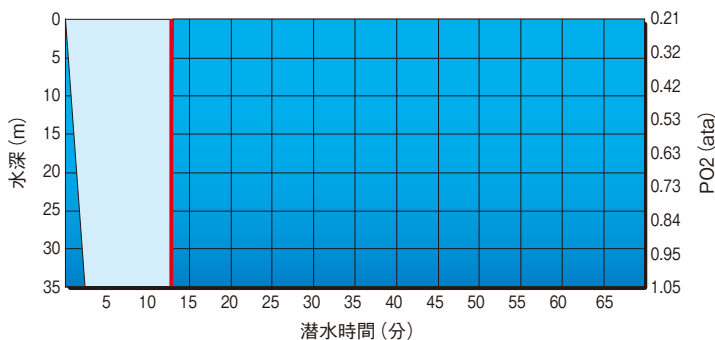
※水深30mのシミュレーション例では、ソフトのプログラミングの関係上、100%を出すことができないために99%となっています。

図34、図35と図36、図37は、潜水開始100秒後から、水深25mに留まった場合と、潜水開始120秒後から、水深30mに留まった場合に、それぞれ、どのコンパートメントが減圧潜水に切り替わるかをシミュレートしたものです。減圧潜水に切り替わるのは、水深25mの場合(図34)が潜水開始23分後、また、水深30mの場合(図36)は潜水開始17分後で、両方とも左から2つ目の「速いコンパートメント」が100%を超えて減圧潜水となります。また、水深30mになると、一番左の「最も速いコンパートメント」がようやく減圧潜水ラインに迫って来ています。潜水時間が短いので、「遅いコンパートメント」には危険なレベルで窒素は溜まっています。

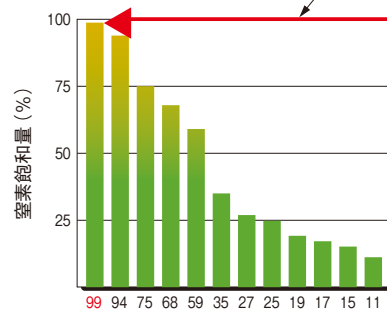
“ある意味、最も危ない「水深15~19mあたりの長い箱型潜水」”の章で、[常識的なパターンのダイビングをおこなった場合、水深30mを超えるような深いところで減圧潜水に切り替わった時は、「速い組織」が反応しているので、すぐに浮上して行けば減圧停止時間は短く、それ程「遅い組織」に窒素を溜め込むことはない。]と述べた意味が、良くお分かりになるのではないかと思います。

水深35m箱型潜水の減圧潜水切り替わりコンパートメント

潜水グラフ (図38)



窒素飽和量グラフ (図39) 減圧潜水ライン



※水深35mのシミュレーション例では、ソフトのプログラミングの関係上、100%を出すことができないために99%となっています。

レジャーダイビングの最大水深は30mまでに留めるべきですが、「最も速いコンパートメント」が減圧潜水に切り替わる (M値を超える) のは水深何メートルかを見てみましょう。

図38、図39は潜水開始140秒後から、水深35mに留まった場合に、どのコンパートメントが減圧潜水に切り替わるかをシミュレートしたものです。ここでようやく一番左の「最も速いコンパートメント」が13分後に100%を超えて減圧潜水となり、「速いコンパートメント」から「遅いコンパートメント」に向かって段階的に体内窒素量が少ない状態になります。

さて、水深35mにもなれば、誰もが危険意識を抱くところですが、このような状態で減圧潜水に切り替わったとしても、許容性のない「遅いコンパートメント」にはそれほど窒素は溜まっていないので、減圧停止指示に従って浮上して行けば、「速いコンパートメント」の窒素は速く排出されていくので、さほど危険な状態にはなりません。ところが、危険意識が薄れて、エアーも長持ちする水深15m~19mあたりの長い箱型潜水を繰り返すと、例えダイブコンピュータが示す無減圧潜水時間を遵守したとしても、許容性のない「遅いコンパートメント」にギリギリの窒素を溜め込むこととなります。そのような状態になった時にこそ、浮上速度違反やダイビング後の高所移動によって、減圧症にかかる可能性が増大すると考えられるのです。

ちょっと難しい部分もあったかもしれませんが、いかがでしたか？

とにかく、このように、水深と潜水時間の相関関係によって、コンパートメントごとの窒素量がめまぐるしく変化することを頭に描けるようになれば、きっとあなたは今までより飛躍的に安全なダイビングができるようになることでしょう。無減圧潜水時間を遵守するという事は、すなわち十分な安全マージンを取ることであって、ダイブコンピュータが示す無減圧潜水時間ギリギリまで潜れると考えてはいけません。

また以上の例から分かる通り、一般的なダイビングでは、減圧潜水は深い水深で出したものより、浅い水深で出したものの方が、体内の窒素量的には危険だと言えます。

減圧潜水と減圧停止指示深度

前章で述べたように、ダイブコンピュータ上の減圧潜水は、深い水深「速い組織」で出したものより浅い水深「遅い組織」で出したものの方が、体内窒素量や減圧停止時間の長さの観点からは危険だと言えます。また、「遅い組織」は窒素の排出に非常に多くの時間がかかり、山越えや飛行機搭乗によって発症する減圧症に大きく影響を与えると考えられます。ですから、従来のダイブコンピュータを使用していて陥りやすい「遅い組織」への窒素の溜め込みすぎに注意を払う必要があると言えるのです。

ここまで「遅い組織」の危険性を中心に述べてきましたが、「速い組織」の危険性についてもご説明しておきましょう。ダイブコンピュータのアルゴリズムと医学的な観点から言うと、Ⅱ型の減圧症は「速い組織」が関わると考えられ、Ⅰ型よりも重症に分類されます。それ故、決して軽視をしてはいけません。減圧症の予防の観点からは、「速い組織」、「遅い組織」に関わらず、絶対に減圧潜水（過飽和状態）をしてはいけません。「速い組織」は窒素の吸排出が速くて許容体内窒素圧が高いために、リカバリーやコントロールがしやすいと言えますが、反面、注意しないと大事に至る可能性も高くなります。

「速い組織」の窒素を安全にコントロールするポイントは大きく4つあります。①水深30mを大きく超えるようなディープダイビングをしない。②浮上速度違反をしない。③ダイビングの初めに最大水深に達して後はゆっくりと浮上していく模範パターンの潜水を実施する。④ダイビング終了15分前には水深10m未満に浮上して「速い組織」を減圧、水深5mで3分間の安全停止をして更に段階減圧する。これらの点を遵守すれば、「速い組織」による減圧症発症のリスクはかなり低減できるはずですよ。

もちろん、絶対に減圧潜水をしてはいませんが、万一減圧潜水に切り替わった時の対応法も述べておきましょう。TUSAのダイブコンピュータを含めて、市場のダイブコンピュータの多くが、どの水深で減圧潜水に切り替わっても、まずは水深3mの停止深度が指示されます。しかし、深い所から慌てて浮上していくと、浮上速度違反につながりやすく危険ですし、減圧自体も急になります。これまで学習してきたことを思い返してください。通常、水深が深い所で減圧潜水に切り替わった場合は「速い組織」が関わっています。飽和水深が深いために、ある程度浮上していけば、窒素がすぐに排出されていきます。時間的にも余裕があるので、何が何でもすぐに水深3mを目指す必要はないのです。

このような場合には、まずは落ち着いて、水深10mを切るあたりを目安に浮上をしていくと良いでしょう。往々にして浮上途中か、水深9m前後に少しだけ留まっていればすぐに無減圧潜水表示に戻ります。当然、そこで潜水は中止して、「速い組織」が安全なレベルに落ち着くまでゆっくりと浮上します。最後に水深5mで3分間の安全停止をした後、水面まで更にゆっくりと浮上すれば良いのです。

これに反して、過度な反復潜水などによって浅い水深で減圧潜水に切り替わった場合は、「速い組織」の窒素は少ないので、浮上速度に注意しながら、指示深度の水深3mまで早目に浮上していく必要があります。減圧停止時間が長く表示されることもあり、エア保持的にも総浮上可能時間的にも余裕がありません。以上は両極端な例ですが、このように、減圧停止も体内窒素量の状態によって最適な浮上方法をイメージできるようになれると理想的です。

減圧症を助長する要因(順不同) (参考文献6、参考文献7)

窒素が引き起こす減圧症には、発症を助長する様々な要因があると言われています。急浮上をしないこと、ダイブコンピュータを使って残留窒素量をコントロールすることが、減圧症予防の観点からは大切なことです。これらの要因を考慮して回避することも非常に大切です。

要因①：激しい運動

激しい運動をすると、心拍数が高くなり、血液の循環に影響が出ます。ダイビング前や、ダイビング中に激しく動き回ると、血液の循環が良くなることで、窒素の吸収と排出に悪影響が出ます。ダイビング後も窒素排出に影響が出るので、**呼吸が乱れるような激しい運動はできる限り避けるべきです**。強い流れがある場所でのダイビングや、長い距離を水中移動するようなダイビングはできるだけ避けて、無理せず、リラックスできるダイビングを心がけてください。ダイバーそれぞれの技量に見合ったダイビングが肝心です。

要因②：脱水症状



脱水症状を起こすと、血液の循環が悪くなります。これにより窒素を排出するための血液の量が減ってしまい、排出が遅れてしまいます。また、要因④のアルコール摂取も脱水症状を引き起こします。ですから、**ダイビング前には水分の補給が大切です**。水分と言っても、お茶やコーヒーは、利尿作用があるので、反って脱水症状を招くことがあります。ダイビングの際にはミネラルウォーターを携行し、水分補給を十分にすることが大切です。トイレが気になり、水分補給をしないダイバーがいますが、それは減圧症予防の観点から言えば危ない考え方です。

要因③：低水温(低体温)

水温が低い時にダイビングをすると、身体が冷えることで手足などの血液の循環が通常より悪くなります。これにより、窒素の排出に悪影響を与えます。水が冷たい時はグローブやフードなどを上手に利用して身体が冷え過ぎるのを防ぎましょう。また、寒い時期にはドライスーツを有効に活用し、**水中で寒いと感じた時には無理をせず、早目にダイビングを切り上げましょう**。

要因④：アルコール摂取、薬の服用

ダイビングの前、またはダイビング終了直後にアルコールを摂取すると、血液の循環が急激に速まり、かつ不規則な循環になります。要因①～③までを見てもわかるように、血液循環への影響が窒素の吸収と排出に悪影響を及ぼすことは明確です。ダイビング前夜の宴会や深酒などはもっての外です。薬を服用することも、同様の現象を招くことがあります。

要因⑤：エギジット直後の熱いお風呂



いきなり温泉に飛び込まないこと

ダイビングエリアによっては、エギジットポイント近くに温泉やバスタブなどを備えている所があります。しかし、エギジット直後に冷え切った体のまま、熱い温泉やお風呂にいきなり飛び込んだりすると、急激な温度変化により皮膚の毛細血管を膨張させ、身体他の部分から血液を一時的に奪うこととなります。つまり、皮膚部分に通常以上の血液循環が生じることで、身体他の部分での、窒素の排出が通常よりも遅れることとなります。エギジット直後に熱い温泉やお風呂に飛び込むのは、減圧障害を考えると適切ではありません。特に、体内

に多くの残留窒素がある場合には注意が必要です。かかり湯を十分に、できるだけ段階的に体を温めるようにしてください。

要因⑥：ケガや病気、疲労

ケガも病気も、身体の局所的な血液の循環に影響を与える可能性があります。これにより窒素を排出する時の身体への対応能力に悪影響が出ます。ケガや持病がある方は、事前に必ず医師に相談をするようにしてください。

要因⑦：二酸化炭素の増加

ダイビング中に呼吸が乱れたり、息を止めた状態が続くと、血液中の二酸化炭素が増加し、窒素の排出が妨げられます。息を止めることは肺の過膨張にもつながりますし、酸欠で頭痛を引き起こしたりします。減圧症を予防するために、息をこらえる（エアの消費を抑えて、窒素の取り込みを減らす）ことはナンセンスです。エアー持ちが気になる人は、他のダイバーより常に若干浅い所にいることで、エアの消費を少し抑えることができます。また、何よりも大切なのは、エアの消費が早い人は、そのことを恥ずかしく思ったり、気にしたりしないことです。

要因⑧：肥満

脂肪は窒素が溶け込みにくい「遅い組織」とされていますが、量的には水分の多い組織に比べて、より多くの窒素が溶け込むとされています。そのため、体脂肪率の高い人は、体脂肪率の低い人よりも減圧症にかかる可能性が高いと言われています。健康のためにも、日頃から食生活の節制と適度な運動を心掛け、肥満には注意しましょう。

要因⑨：高年齢

年齢を重ねるにつれて循環システムの機能が衰え、窒素の排出が遅くなります。また年齢とともに体重が増加し、体脂肪率が高くなった場合は、要因⑧の脂肪組織への影響につながります。スクーバダイビングは、老若男女を問わずに楽しめる素晴らしいレジャーですが、高年齢の方は、より体内の「遅い組織」に窒素を溜め込まないようなダイビングを心がけることが肝心です。殆どのダイブコンピュータには、安全度（TUSAのダイブコ

ンピュータの場合は、ユーザーセーフティーファクター)を高くできる設定があります。安全度を高く設定して、表示される「無減圧潜水時間」をより厳しくしたり、ナイトロックスを使用したりして、安全なダイビングを心がけましょう。

要因⑩：長い間の窒素の蓄積

減圧症例は複雑で、単に浮上速度違反や高所移動などが原因だとは言い切れないものがあります。特に職業ダイバーは、長年のダイビングの繰り返しによって知らず知らずのうちに体内組織に微小な窒素を溜め込んでいることがあると推測されており、そういった窒素が、小さな要因で減圧症を引き起こすのではないかとされています。また、一般ダイバーにおいても、減圧症の発症には至らなかったものの、体内に排出し切れなかった窒素が残ってしまっていて、それが、やはりちょっとした要因で減圧症を引き起こすことがあるとされています。そういった窒素の蓄積を抑えるためにも、日頃から体内の「遅い組織」に窒素を溜め込まないようなダイビングを心がけることは、大切なことと言えます。

要因⑪：ダイビング後の飛行機搭乗や高所移動と高所でのダイビング



飛行機搭乗や高所移動は、先に詳しく述べたとおり、体内に溶け込んでいた窒素が周囲圧低下で膨張することになり、減圧症の原因そのものとなります。飛行機に搭乗する際は、ダイブコンピュータの残留窒素排出時間がゼロになって、飛行機搭乗禁止マークが消えている必要が最低限あります。ダイビング終了後に高所移動(山越え)をする場合は、体内の「遅い組織」にできるだけ窒素を溜め込まないようなダイビングを心がけます。そして、最短で3時間以上かつ高所移動をする時点で、ダイブコンピュータの「遅いコンパートメント」の残留窒素が30~33%以下に下がるまで、十分な休憩時間をとります。一方、標高300m以上の高所でダイビングをおこなう場合には、特に大気圧が下がるため、海でのダイビングに比べて減圧要件が厳しくなり、減圧症にかかりやすくなるので注意が必要です。

豆知識：高所から平地に移動して、すぐにダイビングをする場合

飛行機に長時間乗った後、あるいは高所に居住・滞在して体内窒素が飽和した状態で、もしも間を空けずにダイビングをするような場合は、体内窒素はどのような状態になるでしょうか？ 実は、平地から高所に移動してのダイビングとは異なり、そのまま潜っても問題はありませぬ。むしろ、疲労や体調を別とすれば、理論的には安全率が高くなると考えられます。例えば、飛行機(ジェット機)内は高度2,000~2,500mの周囲圧に相当しています。長時間乗っていると、周囲圧が低いので体内の窒素は排出されていきます。高度が下がるにつれて、周囲圧が高くなるので窒素は体内に吸収されていきますが、「遅い組織」は平地の周囲圧に飽和するまでにかかり時間がかかります。そのため、「遅い組織」の窒素は平地の平衡状態に対してしばらくマイナスとなります。ですから、ダイブコンピュータの計算上は、「遅い組織」に余裕が生まれることとなります。

減圧症を予防するための心得

これまで書いてきたことは、ちょっと専門的な内容があって、難しかったかもしれませんね。では、最後にまとめの形で、減圧症を予防するための心得を、実際にダイビングに出かけた時に取りるべき行動に照らし合わせて、分かりやすく書いてみます。想定は、**ダイビングをして、その日のうちに高所移動をして帰るケース**です。

ダイビング前(日常生活)

減圧症を誘発する要因の一つに肥満があります。また、運動不足でダイビングに臨むのは色々な意味で良くないので、日頃からメタボ対策を兼ねて適度に運動をして、体を鍛えておく必要があります。減圧症は血液の循環状態が作用しますので、日頃から偏食を避けて、魚や野菜など、血行を良くすると言われている食物を摂取することも大切です。ダイブコンピュータの中にはバッテリー交換がメーカー(2週間~3週間程度必要)しかできないものも多いので、ダイビングに出かける前には、早目にバッテリーの残量をチェックしておきます。

ダイビング前日

当日の朝に家を出るようでは睡眠不足になる時は、できるだけ前泊をして睡眠を十分にとり、コンディションを整えます。前夜の宴会や深酒は絶対にしてはいけません。女性の場合は、生理も減圧症の要因になることがあると言われていますので、生理中のダイビングは避けた方が無難です。また、車で高所移動(山越え)をする時は、事前にその道路の最高地点の標高を調べておきます。できるだけ標高の低いルートを選択するとともに、ダイビングを終了してから何時間後に高所移動するかまで考えて、次の日の潜水計画を立てる必要があります。

ダイビング当日

朝起きたら、まずは体調をチェックします。体調が悪い時は、無理にダイビングをすることは、色々な意味で危険です。また、薬の中には服用することによって、血液の流れに影響を及ぼすものがあるので、飲む必要がある場合には医師に相談します。当日、2本ダイビングをする時は、例えば水面休息中に食事をはさまないようにし、ダイビング終了後(高所移動前)に減圧をかねてゆっくりと現地で食事をとるようにするなどの計画性を持たせます。当日現地で宿泊をせずに日帰りする時は、3本潜るのは避けた方が無難ですが、もしも潜る時は、より減圧のことを考えた潜水計画を立てます。



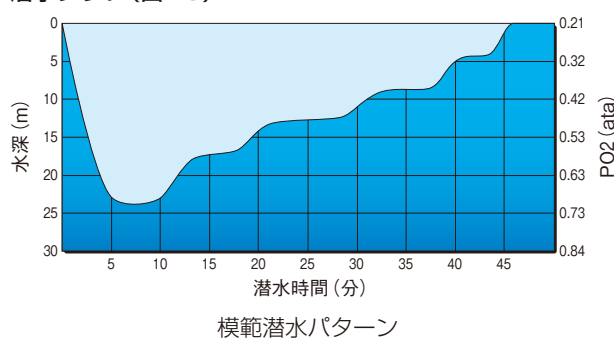
©サントリー

意外に大切なのは、ミネラルウォーター(コーヒーやお茶は不可)を用意して、小まめに水分補給をすることです。脱水症状は、血液の流れが悪くなって、減圧症の要因となることがあるからです。ダイビングを開始する前には、必ず準備運動をして体をほぐします。1日3本潜る時は、ナイトロックスタックを使って、余裕のあるダイビングをすると安全率が高くなります。TUSAのダイブコンピュータであれば、安全度を高く設定できるユーザーセーフティーファクターを有効活用するのも良いでしょう。

ダイビング中

ダイビングの基本パターンは、初めに最大水深(レジャーダイビングにおいては30mが限度)に達して、後はゆっくりと浮上していくパターン(図40)です。これ以外の潜水パターン(箱型、のこぎり型、リバース型など)

潜水グラフ(図40)



模範潜水パターン

は、いかに無減圧潜水の範囲内であっても、減圧症にかかる可能性が増します。また、反復潜水をする際は、必ず2本目、3本目と徐々に最大水深を浅くしていくように潜水計画を立てます。減圧症患者例から考えると、潜水時間は45分以内、平均水深はその日の最大が15m未満にして、段階的に13m、11mと浅くなるように計画しておくが無難です。また、帰りに高所移動(山越え)をするまでの時間も理論上短くできます。ガイドダイバーについて潜

る場合は、ブリーフィングの際に、その日の潜水計画と減圧に対する考え方をよく確認します。

※模範的な潜水パターンについては、TUSAダイブコンピュータの取扱説明書のはじめに詳細が書かれています。取扱説明書はTUSAホームページからダウンロードできます。

<http://www.tusa.net/manual/index2.html>

潜水中に最も注意を払わなければならないのが、とにかく浮上速度です。特に、水深が浅いところほど水压変化が大きいことを頭に入れておく必要があります。また、ダイビング中は、ダイブコンピュータの無減圧潜水時間は、残圧計と同じくらい注意して見ます。無減圧潜水時間は、レジャーダイバーの最大水深である25m~30mで5~10分以上[水深が浅くなるにしたがって安全マージンを加算するようにします。(P.36参照)]残して、常に窒素を溜め込まないようなダイビングを心がけます。もちろん、絶対に減圧潜水に切り替わらないようなダイビングをします。

また、器材にトラブルが発生して急浮上が起こる場合があります。日頃からトラブルが起きても慌てないように、対応法を知っておくことも必要です。TUSAホームページ「器材トラブル対応」をご覧ください。

<http://www.tusa.net/trouble/index01.html>

ダイビング終了15分前には水深10mより浅いところに浮上して、浅場で徐々に水深を上げながらのんびり10分間減圧。更に水深5mで3分間の安全停止をおこなって「速いコンパートメント」から「中間的なコンパートメント」にかけてを減圧した後、残りの5mを2分近くかけてゆっくりと浮上します。また、ダイビング中は常にリラックスしたダイビングを心がけ、流れの強い場所や、長い水中移動はできるだけ避けるようにします。以上のようなダイビングを心がければ、体内の窒素が気泡化したり、「遅い組織」に窒素を溜め込んだりすることは極めて少ないはずで

水面休息中

水面休息時間は、各ダイビングの合間にできるだけ長くとります。1本目の前と同様に、ミネラルウォーターを飲んで水分を補給します。潜水開始の少し前に、ダイブプランモードで最大水深時の無減圧潜水時間を確認し、残留窒素バーグラフと残留窒素排出時間(飛行機搭乗禁止時間)から、特にダイブコンピュータの「遅い

コンパートメント」への窒素の溶け込み量を推測して、次のダイビング計画を立てます。

ダイビング終了後

ダイビング終了後に車で高所移動をする時は、ダイビング終了後3時間以上かつ「遅いコンパートメント」の残留窒素がM値に対して30%~33%以下になるように時間を調整します。(P.20参照) ログづけをしたり、食事や観光を楽しんだり、温泉にのんびり浸かったりしながら、体内に溶け込んだ窒素が安全なレベルに排出されるまでゆっくりと待ち、できるだけ標高の低いルートを通して帰ります。

帰宅後

帰宅後は、関節や骨などの身体のシビレや痛み、皮膚のかゆみ、めまい、吐き気などの症状がないかどうかを注意します。もしも少しでも疑いがある場合には、東京医科歯科大学医学部附属病院のような専門医がいる病院で速やかに診察を受けてください。(P.3参照)

ダイバー保険について

また、万一の時を考えると、ダイバー保険に入っておくことをおすすめします。特に海外で減圧症に罹患した場合にかかる治療費や、ヘリ等の救難費用は莫大な金額になる場合が想定されます。代表的なものには下記のものがありますが、その他にもありますので、インターネットの検索エンジンなどを使って、ご自分で内容をご確認ください。

DAN JAPAN <http://www.danjapan.gr.jp/>

遠井保険事務所(AIU) <http://www.toy-hoken.co.jp/kojin/divers/>

PADI ダイバーズ保険(損保ジャパン) <http://www.padi.co.jp/visitors/insure/index.asp>

解説：「安全停止」の目的

ダイビング終了間際の水深5mで3分~5分間の「安全停止」。なぜ行うのかを説明することができますか？これには二つの目的があります。①「速い組織」の窒素を安全なレベルまで減圧すること。②圧力変化が大きい浅い水深での浮上速度オーバーを抑えることです。最近見かけられる「ディープストップ」は、ハーフタイムが30秒~2分組織で減圧潜水の計算をするようなもので、「速い組織」の圧力変化を抑える目的ですが、水深30m以内のレジャーダイビングでは、浮上速度に注意すれば良いことで、溶解論的にはむしろ危険な面があります。「安全停止」はダイブテーブル時代に安全率を一律に高めるために考案されました。ハーフタイムが短い「速い組織」には極めて有効なのですが、「遅い組織」には常に窒素が溜まっていくことを忘れてはいけません。浅くて長いダイビングなど、潜水パターンによっては、「速い組織」には窒素を溜め込んでいないケースもあります。極論を言えば、そのような時には「安全停止」は「遅い組織」に更に窒素を溜め込むだけの行為になってしまいます。本来は、安全停止をしないで、ダイビングの終盤にできるだけゆっくりゆっくりと時間をかけて浮上して行った方が体内窒素的には安全なのです。いずれにせよ、「安全停止」の後はアンカーロープなどがあれば必ず掴んで、一握りずつゆっくりと浮上していくことが非常に大切です。

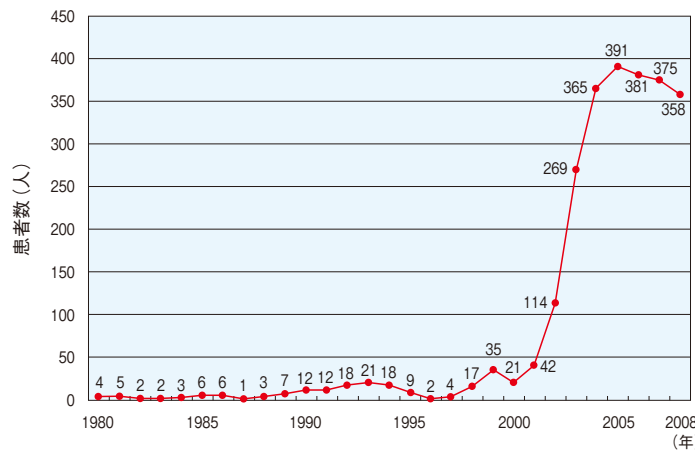
現行のダイブコンピュータの足りない点を知ろう

さて、ここまで読んできていかがでしたか？ 中には「そんなことは知っているよ。」と言う方も当然いることでしょう。しかし、殆どの方に「知らなかった。」と思った内容があったはずで。そして、ダイブコンピュータが普及するまでは、年間数人の時もあった東京医科歯科大学医学部附属病院（高気圧治療部）の減圧症の患者数が、現在では400人近くにも増加してしまった理由の一端を垣間見ることができたはずで。

(参考文献1, 参考文献4)

東京医科歯科大学医学部附属病院で減圧症の治療を受けたレジャーダイバーの数

資料提供：東京医科歯科大学（山見信夫准教授）



ダイブテーブルを見ながら潜水計画を立てていた時代には少なかった減圧症患者が増えた理由は、間違いなくダイブコンピュータの「無減圧潜水時間を守りさえすれば大丈夫」という誤った認識が、ダイバーに蔓延していることにあります。それは取りも直さず、窒素の吸排出のメカニズムを知らないまま、限界ギリギリまで窒素を溜め込んでダイビングをする人が多いことを意味しています。ダイブテーブルは確かに厳しいですが、厳し過ぎると考えるのは、間違っている面があります。

ダイブコンピュータのアルゴリズムは進化し続けて、最近はマイクロバブルとかディープストップとか、新しい理論も取り入れられ始めています。しかし、言葉は乱暴かもしれませんが、それよりも根本的に現在のダイバーの多くが、本当の意味でダイブコンピュータを安全に使いこなしていないことにこそ大きな問題があります。そして、一方で、現行の一般ユーズのダイブコンピュータの表示法に足りない点があるのも事実です。足りない点を知ってそれを補い、**ダイバーの皆さんが正しくダイブコンピュータを使いこなすようになれば、きっと減圧症にかかる危険性が大きく減るはずで。**

現行のダイブコンピュータに足りない点

- ①ダイビング終了前に浅い所に浮上してくると、無減圧潜水時間が「バー表示や一定の最大値」になる（TUSAのダイブコンピュータでは最大値200）ものが多く、全てがリセットされるような感覚に陥りがちです。一定の最大値にするのは、いたずらに長い表示を出すよりは、限度があるように見せた方が良いという判断ですが、一方では常にリセットされているような感覚を与えてしまっているのは事実です。しかし、ダイビングを1本した時点で着実に体内には窒素が残り、反復潜水を重ねれば重ねるほど、減圧症にかかる可能性が高まっていくということを、全てのダイバーが認識するべきです。浅い水深に浮上して、無減圧潜水時間が長く表示されるようになったからと言って、窒素が体内から抜けてしまったわけではないのです。浅い所に来ると、危険な感覚がなくなってしまう「リセット感覚」を持たないようにすることが大切です。
- ②残留窒素表示があるものでも、コンパートメントごとに表示していないために、残留窒素の状態を正確に把握することができません。減圧症になる要因は、浮上速度違反と高所移動以外は、一言で言ってしまうと、「体内に過剰な窒素があるから」。特に、許容性のない「遅いコンパートメント」に窒素を溜め込まないようにすることが、減圧症を予防する上では非常に重要です。
- ③潜水中の表示がメインとなっているため、無減圧潜水時間さえ守っていれば良いという意識に終わってしまい、水面休憩時間中やダイビング終了後の減圧管理が疎かになっています。減圧症はダイビング終了後の高所移動によっても多く起こっているため、ダイビング中から水面休憩時間中、そして、ダイビング終了後のトータルな減圧管理が大切です。

市場にある現行のダイブコンピュータでは、言わば、「あと〇〇分潜れる」という感覚で無減圧潜水表示が表示されています。しかし、減圧症を予防する観点からすれば、「今、体内組織にこれだけの窒素量を取り込まれている。よって、あと〇〇分で体内に取り込んだ窒素が減圧不要限界点を越えてしまう。」という感覚をユーザーは常に持つ必要があります。無減圧潜水時間ギリギリまで潜ってはいけないのです。

繰り返しになりますが、減圧症を防ぐためには、浮上速度違反をしないことと、体内の「遅い組織」=ダイブコンピュータ上の「遅いコンパートメント」に過剰に窒素を取り込まないようなダイビングを心がけることが一番大切なのです。ただし、「遅い組織」に窒素を溜め込まないようなダイビングを心がけることによって、今までのダイビングスタイルが大きく変わってしまうということはないでしょう。何故なら、ほとんどのダイバーの方が毎回ギリギリのダイビングをしている訳ではないからです。あと少しの注意によって安全性は大きく向上するのです。「遅いコンパートメント」に窒素を溜め込まないように、少しだけダイビングの軌跡を変えてあげれば、それだけで十分なのです。

解説：現行のダイブコンピュータの正しい使い方

減圧症にかかる最大の要因は浮上速度違反です。ダイブコンピュータには浮上速度警告が付いているので、本来はダイブコンピュータが普及してから減圧症の患者数が急増することはないはずですが、現実には急増してしまったのは、ダイブテーブルをひいていた時代に比べて、ダイバーが体内に取り込む窒素の量が増えたからだと考えられます。ダイブコンピュータは浅い水深で浮上すると、どうしても無減圧潜水時間が長く表示されてしまいます。例えば、深い水深で表示される無減圧潜水時間10分と、浅い水深で表示される10分では、危険度が全く違うということを全てのダイバーが認識する必要があります。浅ければ浅い水深で表示される無減圧潜水時間の方が危険なのです。現行のダイブコンピュータの無減圧潜水時間表示の正しい使い方は、例えば、水深25m～30mでは5～10分以上、水深20m～25mでは10～15分以上、水深15m～20mでは15～20分以上、水深10m～15mでは20～25分以上というように、水深が浅くなるにつれて、表示される無減圧潜水時間に安全マージンを加算していく必要があります。そういう考え方を持たないと、窒素の取り込み過ぎが必ず起こります。つまり、水深30mを超えるような深い所では、「減圧潜水切り替わり3分前警告」に従って浮上しても良いですが、浅ければ浅いほどそれではタイミング的に遅くなります。よって浅い水深ではM値（減圧不要限界値）に対して10%とか、マージン^{*}を取る必要があるのです。また、TUSAでは減圧症罹患者のダイブプロファイル分析結果から、1本あたりの潜水時間は45分以内かつ平均水深15m以内にとどめることを強くおすすめします。 ^{*}「M値警告機能を備えたソーラー充電式ダイブコンピュータIQ1203」

最後に

最後に大切なお話をしましょう。殆どの減圧症の罹患者が、後になってから減圧症、そして予防法のことを勉強しています。「後悔先に立たず。」「予防に勝る治療はなし。」と言われますが、まさにその通りです。減圧症は正しい知識があれば、必ず発症率を下げるすることができます。素晴らしいダイビングをいつまでも楽しむためには、安全に対する正しい知識の習得が不可欠です。この「減圧症の予防法を知ろう」に書いてあることを頭にしっかりと入れて、今後のダイビングでは必ず実践をするようにしてください。きっと、今までより減圧症に罹患する確率が大きく下がるはずですが、ちなみに、現在の発症率はどれくらいかと言うと、東京医科歯科大学の研究によると、全国で年間推定1,000人以上。タンクの本数で10,000～14,000本に1症例、罹患経験者はダイバー50人あたりで1人という調査データがあります。これを多いととらえるか、少ないととらえるかは、あなたの考え次第です。

また、良いダイブショップの一番の基準は、正しい知識の下に安全なダイビングを実践しているかどうかにか尽きると思います。もしも、あなたが良いダイブショップの基準の一つに、1本あたりの潜水時間を長く取ることをあげるのであれば、その考え方はやめるべきです。またダイブショップサイドも、長い潜水時間をサービスの一つだとは考えないで、安全厳守でいかにお客様に満足していただくかということを考えるべきだと思います。海はいつも同じコンディションではありません。良い時もあれば必ず悪い時もあります。悪い時もまた海の一つの表情。それがあからこそ、良い時に得られる感動や喜びが大きいのだと思います。そして、その感動や喜びも、全ては安全があってこそのものだと弊社では考えています。

ご注意

●この「減圧症の予防法を知ろう」の内容は、東京医科歯科大学医学部附属病院（高気圧治療部）や安全潜水を考える会が発表している減圧症患者のダイブプロフィールやその他の各種減圧症に関する文献を参考に、数々のダイブシミュレーションを行って株式会社タバタが推奨するものです。“ダイブテーブルをひいていた時代”に比べて、ダイブコンピュータが普及してから減圧症患者が激増したのは、体内に窒素を取り込み過ぎるダイバーが増えたのではないかという考えに基づいて、**株式会社タバタが著述したもので、減圧症の専門医が著述したものではありません。**

●「遅い組織」＝「遅いコンパートメント」に窒素を取り込み過ぎないようにダイビングを心掛けると、「速い組織」～「遅い組織」の全体的な窒素の取り込み過ぎを抑えることができると弊社では考えています。また、「速い組織」を軽視している訳ではなく、「速い組織」の窒素量のコントロールは、“初めに最大深度に達して、あとは徐々に水深を上げて行く”という模範潜水の実施と、浮上速度違反に注意を払えば自然にできると考えています。結論として言えることは、ガイド任せでのほほんとしてダイビングをするのではなく、ダイバー一人ひとりが体内窒素量を常に意識して、できるだけM値（減圧不要限界圧力値）に対して余裕を持ったダイビング[※]をすることが大切です。また、ダイビングの後半に差し掛かったら、事前の浮上計画をイメージしながら早目に浅場に移動して、滑らかに体内窒素量（圧）を下げることが必要です。いずれにせよ、現代の減圧理論はかなり確立されています。それは、テクニカルダイビングの世界で実証されています。例えば、アメリカフロリダ州にある巨大地下水脈を調査するダイバーは、平均水深90mの洞窟に6時間潜水しても、減圧に8時間かけて浮上して来ることによって無事でいられます。もちろん、通常の空気ではなく、複数の混合比率のトライミックス（ヘリウム、酸素、窒素）とナイトロックス（酸素、窒素）を使うのですが、まずは体内のヘリウム量を減圧した後、最終的には水深6mで純酸素を長時間吸う（時々空気も吸う）事によって「加速減圧」をして体内の窒素量を安全な領域まで減らします。つまり、体内の窒素量を綿密な浮上計画によってしっかりとコントロールすることによって、減圧症を防いでいるのです。一般ダイバーの方も「無減圧潜水時間の眼以内だから大丈夫！」という考えは捨てて、特にダイビングの中盤から後半にかけての浮上に細心の注意を払う必要があると弊社では考えます。

※「M値警告機能を備えたソーラー充電式ダイブコンピュータIQ1203」

●減圧症は、かかりやすい体質、かかりにくい体質といった個人の生理的差異や、前述のような様々な発症要因が関係するので、100%発症を防ぐことはできないと言えます。この「減圧症の予防法を知ろう」の内容は、あくまでも、現在よりも発症の可能性を大幅に低減させることを目的として書かれています。

参考文献、出典一覧

参考文献1：第7回潜水医学講座小田原セミナー論文集27 2006.1.

ワークショップ「身体と健康管理・精神的な問題点」

レジャーダイバーの実態から見た問題点と安全管理

東京医科歯科大学医学部附属病院高気圧治療部 山見信夫

参考文献2：第5回潜水医学講座小田原セミナー論文集17 2004.1.

減圧障害の発生とダイビングプロフィール

東京医科歯科大学医学部附属病院高気圧治療部 山見信夫

参考文献3：日本臨床スポーツ医学会誌、1999.2.

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

東京医科歯科大学医学部附属病院高気圧治療部 山見信夫、眞野喜洋 駒沢女子大学 芝山正治他

参考文献4：第6回安全潜水を考える会セクション1

減圧症治療に伴う治療費の国際比較

東京医科歯科大学医学部附属病院高気圧治療部 眞野喜洋

参考文献5：第6回安全潜水を考える会セクション4

改正 潜水後の高所移動と標高

駒沢女子大学 芝山正治

参考文献6：第9回潜水医学講座小田原セミナー論文集37 2008.1.

ダイビングの安全指針

東京医科歯科大学医学部附属病院高気圧治療部 山見信夫

参考文献7：第8回潜水医学講座小田原セミナー論文集33 2007.2.

減圧障害の発生機序 その予防と治療

防衛医科大学校防衛医学研究センター異常環境衛生研究部門 鈴木信哉

出典1：第8回潜水医学講座小田原セミナー論文集34 2007.2.

ダイビング終了後の高所移動

駒沢女子大学 芝山正治

出典2：第42回日本高気圧環境・潜水医学学術総会ジョイントシンポジウム 2007.11

「大阪地区における潜水後の高所移動と標高」

PADIダイブマスター 宇佐美健介 なみよいくじら 関藤博史