

「Proplanner」は不活性ガスの容量を入力した安全要素に従って増やす。

古いバージョンの「Abyss」はガス排出はガス溶解より遅いと考えている。また組織の半飽和時間もユーザー提供のデータ(健康度、経験、労働頻度、快適さレベル等)により調整されている。

「Zplan」は式に代入する前に、ボトムタイムを長くしている。

これらのどれが良いかは議論の余地があるが、共通の手法は組織への積み込みを変えていることである。多くの人は最浅停止を単に延ばすことが最善方法だとは思っていない。3m や 6m に到達する前に重大な障害は既に受けていると思われる。減圧停止を深くすることが、ビュールマンアルゴリズムをよく適応させる最善の方法だと感じられている。

多様な係数の変化、J=Bohnert はこれがもっとも安全なアプローチだと感じている。かれはまたより深い停止圧を作り出す 17 組織を盛り込んでいる。より後の「XS」は彼の ZH-L17TS モデルを組み込んでいる。

大きな話題は、「Gradient Factor」が a, b 係数を調整する方法としてあり、「GUE' S Decoplanner」 「GAP」 「DDplan」 最新版の「XS」に組み込まれている。これは E・ベイカーによる Immersed Magazine に乗った深深度停止に基づいたものである。これはまた多くのダイビングのウェブサイトでも扱われている。固定された慎重さの値を用いるより、減圧法の発展に寄与している。これは、でっち上げや実行不可能な長い減圧時間なしに組み込むことが出来る。

以上で終わりであるが、あなたの DIY = 「ドゥ・イット・ユアセルフ」減圧プログラムに幸運を。

## 2-3 P チャップマン論文要約および原文

### AABuhlmann' s ZH-L16 アルゴリズムの解説 Paul Chapman

背景の末尾より、ワークマンが M 値を世に出した頃、チューリッヒ大学病院で Buhlmann も類似の調査をしていた。Buhlmann は 30 年以上にわたって調査を行い、その成果を「Dekompressionskrankheit」という本として 1983 年に出版した。84 年に英訳され始めて広い対象に向けた包括的で正当な減圧計算法の解説書となった。Buhlmann の仕事は多くの減圧表や減圧プログラムの元になっている。3 つの異なる編集が出ているが、この文章の元になっているのは 1995 年のものである。

#### 基本的な考え方

灌流つまり血流と、ガスの拡散率つまり体内でのガス移動や他の要因のために、呼吸

不活性ガスが違った組織には違った速度で解ける。血液供給の良い組織は高い拡散率となり、不活性ガスを素早く溜め込でしまう。血液自体が、重要な組織で～我々が” First tissue”と呼ぶ～この分類に該当する過敏なシステムである。他の組織ではガスの蓄積はよりゆっくりしている。…一般的な半飽和組織の説明なので飛ばす…

ZH-L16 アルゴリズムには 16 の半飽和時間の組織が選ばれている。これは具体的な体の組織の再現ではなく、また半飽和時間は値を再現するためだけに選ばれたのではないことを忘れてはならない。つまりこれは現実の体の組織の再現でも、特定体の組織の半飽和時間の再現でもない。そのような理由から将来的には 16 の組織と言う表現でなく、区分という表現で呼ばれるだろう。Buhlmann は ZH-L16 をチューリッヒの ZH とリミットの L、M 値のセット 16 から名付けた。

我々が圧力に晒される時、それぞれの組織もそれぞれの半飽和時間に従ってガスを吸収し、それぞれの組織がどのくらいの分圧なのか任意のポイントで計算できる。これが半飽和時間についてのスタンダードな計算である。Buhlman はそれに対し、どんな圧力下でどんな組織が与えられても分圧の圧力移行の式が完全になるようにいくつか付加している。下記にあげるのが前述の本にある式である。

$$P_{\text{comp}} = P_{\text{begin}} + [ P_{\text{gas}} - P_{\text{begin}} ] \times [ 1 - 2^{-t_e/t_{ht}} ]$$

$P_{\text{begin}}$	Inert gas pressure in the compartment before the exposure time in bar
$P_{\text{comp}}$	Inert gas pressure in the compartment after the exposure time in bar
$P_{\text{gas}}$	Inert gas pressure in the mixture being breathed in bar
$t_e$	Length of the exposure time in minutes
$t_{ht}$	Half time of the compartment

…再現計算はあまりにも単純なので略…

5 番目の組織の窒素分圧は 1.33bar になる。実際 30 メーターまで瞬間的加圧はできないので、減圧と同じく行うことになる。加圧時の圧力を平均し、追加されたガスを入れた計算にのせるか（増分を考えた微分方程式ということか？）、単純に加圧時の計算間隔を小さくして繰り返し計算することで計算できる。どちらもコンピューターなら簡単にできる。

この計算を繰り返すことでコンピューターという理想的な道具と半飽和時間の値さえあれば、どんなことも比較可能である。この方程式の美しさはその多彩さにある。ありえる全ての不活性ガスの環境圧力下で、呼吸ガスの種類、ガス切換え、飛行の後の潜水、繰り返しの潜水など考えられる全ての状況に対して加減圧が可能である。

我々が、ある圧力下である半飽和組織のセットの設定において、安全に減圧できる圧力を知りたいと思う。早い半飽和時間の組織は遅い組織よりも大きな圧力効果に耐えられることは自明である。Buhlmann はある組織について数学的に気泡を発生させないで降下できる圧力を決めた。彼は、彼は半飽和時間から計算される二つの値を決め、それら

を使って前述の減圧可能圧力を決めている。それは次式から求められる

$$a = 2 \times t_{ht}^{-1/3}$$

$$b = 1.005 - t_{ht}^{-1/2}$$

$$P_{amb, tol} = (P_{comp} - a) \times b$$

$P_{comp}$  is the inert gas pressure in the compartment

$P_{amb, tol}$  is the pressure you could drop to

a and b are the a and b values for that compartment and the gas in question

…再現計算はあまりにも単純なので略…

それぞれの組織で計算を繰り返すと、減圧許容限界深度が分かる。第3組織が制御組織で、5.5メートルがいわゆる減圧の天井=減圧限界である。一般的に頭の方の速い組織は、短く浅い潜水を制御している。長い浅い潜水や浅く長い潜水は中間部分の組織に影響を受けているようである。長く深い潜水は遅い組織に制御されている。しかし、制御組織は減圧中に変化する。短く深い加圧は速い組織に誠意御されていそうだが、速い組織のガス排出促進され、より遅い組織に制御移ることもある。異なるスケジュールで異なる深さに数回の潜水を行う場合の計算を想定してみるといいだろう。数字は素直だから、制御組織が一定に移り変わっていく計算群を目にすることだろう。解かれていく減圧の上限値はコンピューターによる計算の賜物である。

30m50分の潜水の減圧を実際に計画するとき、5.5mである減圧の天井まで減圧することもできるが、より使いやすい間隔例えば3m間隔とかに訳すことを選んでも良い。減圧上限に最も近い3m毎以下まで減圧すればよい。この場合は6m。この時点では、呼吸ガスよりたくさん吸収した圧力の高い状態の組織があり、それらが（早めの停止で）ガス排出を始める。呼吸ガスより分圧値が低いガスについては逆にガス吸収を始めてしまうため、その時点から計算を始めないといけない。この式は増えた圧力分の減算分も自動的に正確に計算する。呼吸ガスの圧力が下がれば、体内分圧も下がる。一方で初期分圧自体は追従しない。だから両者の差は負の値となる。ガス排出に関して（少なくともモデル上の）働く力は、組織の不活性ガス分圧と環境の不活性ガス分圧の差である。空气中6mにおける窒素分圧は1.26barで我々の例では、3番目と5番目の組織における窒素分圧はそれぞれ3.01と1.33である。これらはどちらも環境の窒素分圧である1.26より高い。よってこれらはこの停止でガス排出の必要がある。10番目の組織の窒素分圧は0.29にしか達しておらず、6mではガス吸収が続く。もちろん30メートルの深度におけるよりは、ガス吸収はゆっくりしているが。減圧限界は組織のガス排出が進むにつれ浅くなる、最終的には、次の停止圧に達する。この深さまでの減圧が終わった時点で、計算プロセスを再開し、全ての組織の値が環境分圧以下になり水面に帰還できるまで続ける。

これらが全てである。計算は（組織がガス排出を続けているので）大気中に帰還してからも続けられる。いくつかの組織は吸収したガス分圧を保ったままだから、潜水と潜水の間の大気中の時間を考えることもできる。…中略… この式は不活性ガス分圧全般に使える。ナイトロックスには自動的に対応するし、トライミックスや不活性ガス分圧

の低いほかの代替ガスにも、半飽和時間と a, b 値が分かれば同じアルゴリズムで対応できる。複数の不活性ガス使用時には、a, b 値は荷重平均した値によって計算される。

### 現実世界への対応

上記までが ZH-L16 モデルに関する要約である、我々のリアルな身体のことではない。Buhlmann はこのモデルの有効性の検証を膨大に行ったが、それは窒素に関してのみであった。ヘリウムの半飽和時間については窒素から導かれ、それは、気体の排出の相関性に関する仮説に基づくものであった。a, b 値もまた半飽和時間から導かれているので、机上の空論の域を出ない。Buhlmann は広範なテストによって理論の実証をする前に没してしまった。Buhlmann のヘリウムの値は抑制されすぎていて、窒素よりも長い減圧時間を必要とすると思われる。式内容が伝えられているが故に。事実、組織への吸収も少ないため、He の方が窒素よりも減圧に向いている。急激なガス排出は、泡の形成を促進しがちな傾向があるため、窒素よりも、最初の停止を深くすることで、減圧速度と停止時間をコントロールする必要がある。その見返りとして、浅い停止と全体の停止時間が減る。

…中略…

いくつかのモディファイされたモデルがある。潜水用であったり、コンピューター用であったりする。

### Appendix One

Table 1 - ZH-L16A Half-times, “a” and “b” values for nitrogen and helium

Compartment	Half-time N2	N2 a Value	N2 b Value	Half-time He	He a Value	He b Value
1	4	1.2599	0.5050	1.5	1.7435	0.1911
2	8	1.0000	0.6514	3.0	1.3838	0.4295
3	12.5	0.8618	0.7222	4.7	1.1925	0.5446
4	18.5	0.7562	0.7725	7.0	1.0465	0.6265
5	27	0.6667	0.8125	10.2	0.9226	0.6917
6	38.3	0.5933	0.8434	14.5	0.8211	0.7420
7	54.3	0.5282	0.8693	20.5	0.7309	0.7841
8	77	0.4701	0.8910	29.1	0.6506	0.8195
9	109	0.4187	0.9092	41.1	0.5794	0.8491
10	146	0.3798	0.9222	55.1	0.5256	0.8703
11	187	0.3497	0.9319	70.6	0.4840	0.8860
12	239	0.3223	0.9403	90.2	0.4460	0.8997
13	305	0.2971	0.9477	115.1	0.4112	0.9118
14	390	0.2737	0.9544	147.2	0.3788	0.9226
15	498	0.2523	0.9602	187.9	0.3492	0.9321
16	635	0.2327	0.9653	239.6	0.3220	0.9404

出典：<http://www.vvw.be/duiken/zh116.doc>

## 2-4 E・ベイカー論文要約および原文

### M値の理解

Eric Baker

### 歴史的背景

略

### Workman の M 値

略

### BUHLMANN の M 値

…前略…

Buhlmannの減圧計算法は、Workmanの規定した方法と似ている。環境圧と（仮説的な）組織の分圧の耐性範囲との間の線形の相関で表現されるM値を採用している。両者の大きな違いは、Workmanは海における潜水での深度圧に基づいているのに対し、Buhlmannは高地潜水における絶対圧に基づいている点である。WorkmanはUSNの潜水に関係し、Buhlmannは高地潜水に関係していたからである。

BuhlmannはL12(1983)とL16(1990)の2つのM値を出版している。L12は実験的に決められ、L16は不活性ガスの溶解度と許容量に基づいて数学的に決められた半飽和時間から導かれている。L16はBやCのサブセットにさらに分けられている。数学的に分けられたセットAは、中間の組織について十分に実証的には慎重さが不足していると見られるからである。セットB～セットCへ向かって慎重さが増している。セットC はリアルタイム計算できるコンピュータープログラムで使われている。BuhlmannM値はWorkmanと同じく1次式の傾きで表現される。係数aは環境圧ゼロでの軌跡であり、係数bはその傾きの逆数である。aは人間が環境の絶対圧0にはいられないことをほのめかしている。これは方程式の数学的な要求である。BuhlmannのM値適用の環境圧の下限は0.5atmである。

### DCAT と DSAT の M 値

略

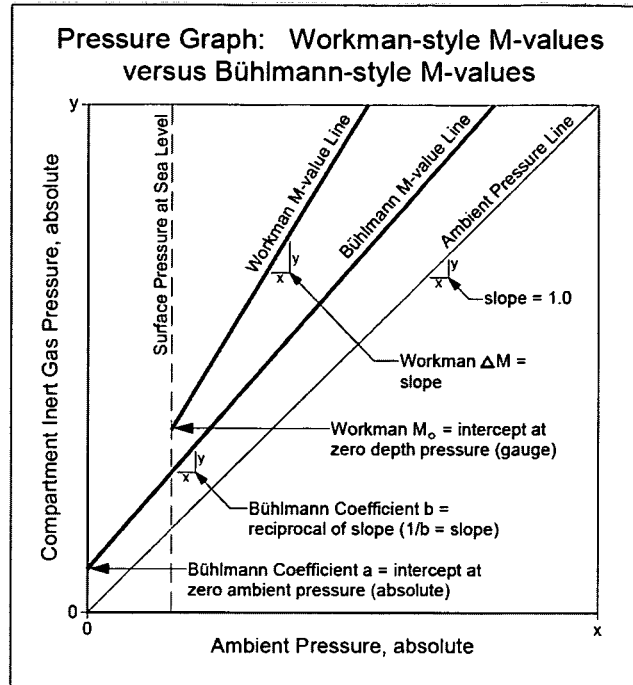


Figure1

### M 値の比較

表1~4は様々なホールデン準拠の減圧アルゴリズムにおけるM値の比較である。WorkmanからBuhlmannにいたる実証の流れでM値は進化洗練されてきた。一般的な傾向は少しずつ慎重になっていることである。これは徹底的な実験的検証の反映であり、サイレントバブルの超音波モニターなどの使用を含む。サイレントバブルの発生は計算できるが、減圧症との明白な関係はない。

M-value Mathematics		
<u>Linear Equations:</u>	<u><math>y = mx + b</math> format</u>	<u><math>x = (y - b) / m</math> format</u>
Workman-style:	$M = \Delta M \cdot \text{Depth} + M_0$	Tolerated Depth = $(P - M_0) / \Delta M$
Bühlmann-style:	$P_{t,\text{tol. i.g.}} = (P_{\text{amb.}} / b) + a$	$P_{\text{amb.tol.}} = (P_{t.\text{i.g.}} - a) \cdot b$
<u>Workman to Bühlmann</u> ← Conversions → <u>Bühlmann to Workman</u>		
	$a = M_0 - \Delta M \cdot P_{\text{amb. (surface at sea level)}}$	$M_0 = a + P_{\text{amb. (surface at sea level)}} / b$
	$b = 1 / \Delta M$	$\Delta M = 1 / b$

**Bühlmann Definitions:**  
 $P_{t.\text{i.g.}}$  = tolerated inert gas pressure (absolute) in hypothetical "tissue" compartment  
 $P_{t.\text{i.g.}}$  = inert gas pressure (absolute) in hypothetical "tissue" compartment  
 $P_{\text{amb.}}$  = ambient pressure (absolute)  
 $P_{\text{amb.tol.}}$  = tolerated ambient pressure (absolute)  
 $a$  = intercept at zero ambient pressure (absolute)  
 $b$  = reciprocal of slope of M-value line

**Workman Definitions:**  
 $P$  = inert gas pressure (absolute) in hypothetical "tissue" compartment  
 $M$  = tolerated inert gas pressure (absolute) in hypothetical "tissue" compartment  
 Depth = depth pressure (gauge) measured from surface at sea level  
 Tolerated Depth = tolerated depth pressure (gauge) measured from surface at sea level  
 $M_0$  = intercept at zero depth pressure (gauge); surfacing M-value at sea level  
 $\Delta M$  = slope of M-value line

## M 値の満足度

どの M 値も大して変わりはないとも言える。地球上の様々な検証者たちの要件をそれぞれ満たしているように見えるからである。たくさん人間集団を通じて減圧症例の境界条件を科学が比較的一貫して決定できることは、良い兆候である。

## M 値のフォーマット

M 値は、Workman にせよ Buhlmann にせよ一次式で表現されることが多い。この形は、必要なら空中でも計算できるからコンピュータープログラミングにとって理想的である。線形の形式はグラフのように表示できる。

M 値は行列や表のような形でも表示できる。半飽和時間の組織、計算された停止深度に対応する行と列に単純に配置されるものである。この形は詳細な比較と分析に有用である。初期の潜水用コンピューターやデスクトップのプログラムは計算プロセスの間の停止時間それぞれについてチェックできるように、この表の形式だった。

**Table 1: Comparison of M-values for Nitrogen Between Various Haldanian Decompression Algorithms**  
American System of Pressure Units - feet of sea water (fsw)

Workman M-values (1965)				Bühlmann ZH-L12 M-values (1983)				DSAT RDP M-values (1987)				DCAP MF11F6 M-values (1988)				Bühlmann ZH-L16 M-values (1990)						
Cpt No.	HT min	M <sub>0</sub> fsw	ΔM slope	Cpt No.	HT min	M <sub>0</sub> fsw	ΔM slope	Cpt No.	HT min	M <sub>0</sub> fsw	ΔM slope	Cpt No.	HT min	M <sub>0</sub> fsw	ΔM slope	A Cpt No.	B M <sub>0</sub> fsw	C M <sub>0</sub> fsw	ΔM slope			
				1	2.65	111.9	1.2195									1	4.0	106.4	106.4	106.4	1.9082	
1	5	104	1.8					1	5	99.08		1	5	104.0	1.30	1b	5.0	97.3	97.3	97.3	1.7928	
2	10	88	1.6	2	7.94	89.1	1.2195	2	10	82.63		2	10	80.5	1.05	2	8.0	83.2	83.2	83.2	1.5352	
				3	12.2	75.2	1.2121					3	12.5	73.8		3	12.5	73.8	73.8		1.3847	
3	20	72	1.5	4	18.5	68.8	1.1976	3	20	66.89		4	18.5	66.8		4	18.5	66.8	66.8		1.2780	
				5	26.5	63.5	1.1834	4	30	59.74		5	27.0	62.3	1.08	5	27.0	62.3	62.3	60.8		1.2306
4	40	56	1.4	6	37	57.3	1.1628	5	40	55.73		6	38.3	58.5		6	38.3	58.5	57.4	55.6		1.1857
				7	53	53.2	1.1494	6	60	51.44		7	54.3	55.2	1.06	7	54.3	55.2	54.1	52.3		1.1504
5	80	54	1.3	8	79	51.9	1.1236	7	80	49.21		8	77.0	52.3		8	77.0	52.3	51.7	50.1		1.1223
								8	100	47.85		9	109	49.9	1.04	9	109	49.9	49.9	48.5		1.0999
6	120	52	1.2	9	114	51.9	1.1236	9	120	46.93		10	146	48.2		10	146	48.2	48.2	47.2		1.0844
7	160	51	1.15	10	146	50.2	1.0707	10	160	45.78		6	145	44.7	1.02	10	146	48.2	48.2	47.2		1.0844
8	200	51	1.1	11	185	50.2	1.0707	11	200	45.07		7	200	44.1	1.01	11	187	46.8	46.8	46.1		1.0731
9	240	50	1.1	12	238	47.3	1.0593	12	240	44.60		12	239	45.6		12	239	45.6	45.6	45.1		1.0635
				13	304	42.6	1.0395					8	285	44.0	1.0	13	305	44.5	44.1	44.1		1.0552
				14	397	42.6	1.0395	13	350	43.81		9	385	44.0	1.0	14	390	43.5	43.5	43.1		1.0478
				15	503	42.6	1.0395	14	480	43.40		10	520	44.0	1.0	15	498	42.6	42.6	42.4		1.0414
				16	635	42.6	1.0395					11	670	43.5	1.0	16	635	41.8	41.8	41.8		1.0359

Cpt = Compartment HT = Half-time M<sub>0</sub> = Surfacing M-value (sea level = 1 atm = 33 fsw = 1.01325 bar) ΔM = slope of M-value line

**Table 2: Comparison of M-values for Nitrogen Between Various Haldanian Decompression Algorithms**  
European System of Pressure Units - meters of sea water (msw)

Workman M-values (1965)				Bühlmann ZH-L12 M-values (1983)				DSAT RDP M-values (1987)				DCAP MM11F6 M-values (1988)				Bühlmann ZH-L16 M-values (1990)						
Cpt No.	HT min	M <sub>0</sub> msw	ΔM slope	Cpt No.	HT min	M <sub>0</sub> msw	ΔM slope	Cpt No.	HT min	M <sub>0</sub> msw	ΔM slope	Cpt No.	HT min	M <sub>0</sub> msw	ΔM slope	A Cpt No.	B M <sub>0</sub> msw	C M <sub>0</sub> msw	ΔM slope			
				1	2.65	34.2	1.2195									1	4.0	32.4	32.4	32.4	1.9082	
1	5	31.7	1.8					1	5	30.42		1	5	31.90	1.30	1b	5.0	29.6	29.6	29.6	1.7928	
2	10	26.8	1.6	2	7.94	27.2	1.2195	2	10	25.37		2	10	24.65	1.05	2	8.0	25.4	25.4	25.4	1.5352	
				3	12.2	22.9	1.2121					3	12.5	22.5		3	12.5	22.5	22.5	22.5		1.3847
3	20	21.9	1.5	4	18.5	21.0	1.1976	3	20	20.54		4	18.5	20.3	20.3	20.3		1.2780				
				5	26.5	19.3	1.1834	4	30	18.34		5	27.0	19.0	1.08	5	27.0	19.0	19.0	18.5		1.2306
4	40	17.0	1.4	6	37	17.4	1.1628	5	40	17.11		6	38.3	17.8		6	38.3	17.8	17.5	16.9		1.1857
				7	53	16.2	1.1494	6	60	15.79		7	54.3	16.8	1.06	7	54.3	16.8	16.5	15.9		1.1504
5	80	16.4	1.3	8	79	15.8	1.1236	7	80	15.11		8	77.0	15.9		8	77.0	15.9	15.7	15.2		1.1223
								8	100	14.69		9	109	15.2	1.04	9	109	15.2	15.2	14.7		1.0999
6	120	15.8	1.2	9	114	15.8	1.1236	9	120	14.41		10	146	14.6		10	146	14.6	14.6	14.3		1.0844
7	160	15.5	1.15	10	146	15.3	1.0707	10	160	14.06		6	145	13.66	1.02	10	146	14.6	14.6	14.3		1.0844
8	200	15.5	1.1	11	185	15.3	1.0707	11	200	13.84		7	200	13.53	1.01	11	187	14.2	14.2	14.0		1.0731
9	240	15.2	1.1	12	238	14.4	1.0593	12	240	13.69		12	239	13.9		12	239	13.9	13.9	13.7		1.0635

## M 値の特徴

M 値は減圧用と無（停止）減圧用？二つのカテゴリーに分けられる。無（停止）減圧

**Table 3: Comparison of M-values for Helium Between Various Haldanian Decompression Algorithms**  
American System of Pressure Units - feet of sea water (fsw)

Workman M-values (1965)				Bühlmann ZH-L12 M-values (1983)				Bühlmann ZH-L16A M-values (1990)			
Cpt No.	HT min	M <sub>0</sub> fsw	ΔM slope	Cpt No.	HT min	M <sub>0</sub> fsw	ΔM slope	Cpt No.	HT min	M <sub>0</sub> fsw	ΔM slope
1	1.0	111.9	1.2195	1	1.51	134.5	2.3557	1b	1.88	121.9	2.0964
				2	3.0	89.1	1.2195	2	3.02	102.5	1.7400
1	5	86	1.5	3	4.6	75.2	1.2121	3	4.72	89.4	1.5321
				4	7.0	68.8	1.1976	4	6.99	79.7	1.3845
2	10	74	1.4	5	10	63.5	1.1834	5	10.21	73.6	1.3189
				6	14	57.3	1.1628	6	14.48	68.2	1.2568
3	20	66	1.3	7	20	53.2	1.1494	7	20.53	63.7	1.2079
				8	30	51.9	1.1236	8	29.11	59.8	1.1692
4	40	60	1.2	9	43	51.9	1.1236	9	41.20	57.1	1.1419
				10	55	52.4	1.0799	10	55.19	55.1	1.1232
5	80	56	1.2	11	70	52.4	1.0799	11	70.69	54.0	1.1115
				12	90	52.4	1.0799	12	90.34	53.3	1.1022
6	120	54	1.2	13	115	52.4	1.0799	13	115.29	53.1	1.0963
7	160	54	1.1	14	150	52.4	1.0799	14	147.42	52.8	1.0904
8	200	53	1.0	15	190	52.4	1.0799	15	188.24	52.6	1.0850
9	240	53	1.0	16	240	52.4	1.0799	16	240.03	52.3	1.0791

Cpt = Compartment HT = Half-time ΔM = slope of M-value line  
M<sub>0</sub> = Surfacing M-value (sea level = 1 atm = 33 fsw = 1.01325 bar)

**Table 4: Comparison of M-values for Helium Between Various Haldanian Decompression Algorithms**  
European System of Pressure Units - meters of sea water (msw)

Workman M-values (1965)				Bühlmann ZH-L12 M-values (1983)				Bühlmann ZH-L16A M-values (1990)			
Cpt No.	HT min	M <sub>0</sub> msw	ΔM slope	Cpt No.	HT min	M <sub>0</sub> msw	ΔM slope	Cpt No.	HT min	M <sub>0</sub> msw	ΔM slope
1	1.0	34.2	1.2195	1	1.51	41.0	2.3557	1b	1.88	37.2	2.0964
				2	3.0	27.2	1.2195	2	3.02	31.2	1.7400
1	5	26.2	1.5	3	4.6	22.9	1.2121	3	4.72	27.2	1.5321
				4	7.0	21.0	1.1976	4	6.99	24.3	1.3845
2	10	22.5	1.4	5	10	19.3	1.1834	5	10.21	22.4	1.3189
				6	14	17.4	1.1628	6	14.48	20.9	1.2568
3	20	20.1	1.3	7	20	16.2	1.1494	7	20.53	19.4	1.2079
				8	30	15.8	1.1236	8	29.11	18.2	1.1692
4	40	18.3	1.2	9	43	15.8	1.1236	9	41.20	17.4	1.1419
				10	55	15.9	1.0799	10	55.19	16.8	1.1232
5	80	17.0	1.2	11	70	15.9	1.0799	11	70.69	16.4	1.1115
				12	90	15.9	1.0799	12	90.34	16.2	1.1022
6	120	16.4	1.2	13	115	15.9	1.0799	13	115.29	16.1	1.0963
7	160	16.4	1.1	14	150	15.9	1.0799	14	147.42	16.1	1.0904
8	200	16.1	1.0	15	190	15.9	1.0799	15	188.24	16.0	1.0850
9	240	16.1	1.0	16	240	15.9	1.0799	16	240.03	15.9	1.0791

Cpt = Compartment HT = Half-time ΔM = slope of M-value line  
M<sub>0</sub> = Surfacing M-value (sea level = 10 msw = 1.0 bar)

用は地表?大気中?のみである。DSAT や RDP などが例である。無停止の潜水は計算上のガス蓄積が地表での M 値を超えないように圧力が設定されている。これは、時間をいとわないなら水面へのダイレクトな減圧が可能になる。いくつかの無停止減圧のアルゴリズムは加減圧の速度を計算する。

減圧用の M 値は環境圧と M 値切換えの傾きを持っていることが特徴である。傾きのパラメーターは仮説的な組織の半飽和時間に基づいて決まる。一般的に、速い半飽和時間の組織は遅い半飽和時間の組織より傾きが大きい。この組織は遅い組織より被圧力下での耐性が高い。この傾きが 1 を超えると圧力の M 値のグラフは引き伸ばされ、深度が増えても被圧勾配に組織が耐えられるようになる。1.0 の固定された勾配は、組織が深さに関わらず、同じ被圧勾配耐性であることを意味している。全てのケースで傾きが 1.0 以下にはならない。一方で M 値はいくつかの点で環境圧と交わるが、それは環境圧でも耐えられないような非現実的な圧力状況を示している。

## 環境圧境界

環境圧境界は圧力グラフで極めて重要な基準線である。環境圧と組織蓄積の不活性ガス分圧が等しくなる点を単純に集積した、勾配 1.0 のラインである。組織の蓄積ガス分圧が環境圧以上にあるように被加圧勾配が作られていることは重要なことである。M 値のラインは環境圧より上で被加圧耐性が満たされる限界を示す。

## 減圧領域

減圧領域は、M 値ラインと環境圧のラインの間に存在する。この領域は、減圧がどのように起こるかを、溶解ガスモデルの法則に基づいて示す。環境圧以上の正の勾配であることは、組織のガス排出あるいは減圧のために欠かせない。酸素分圧の高いガス構成の場合、不活性ガス分圧の総計さえ、環境分圧より低い状態で排出されることがある。この効率的な減圧は、制御組織のガス蓄積が減圧領域内にあるからである。ある時点で制御組織であるものに減圧設定が依存し続けるあいだ、さまざまな組織のガス蓄積がそれと交わり、減圧領域から出て行く。速い制御組織が最初に減圧領域（ガス蓄積が M 値に近い）に入り、残りの減圧過程で、次々に遅い組織が制御組織となっていく。

## 複数の不活性ガス

今日のガス溶解モデルは、不活性ガスは、組織に対して固有の半飽和時間を持っているわけだが、組織別不活性ガス分圧の総計で記述される複数の不活性ガスというコンセプトを採用している。

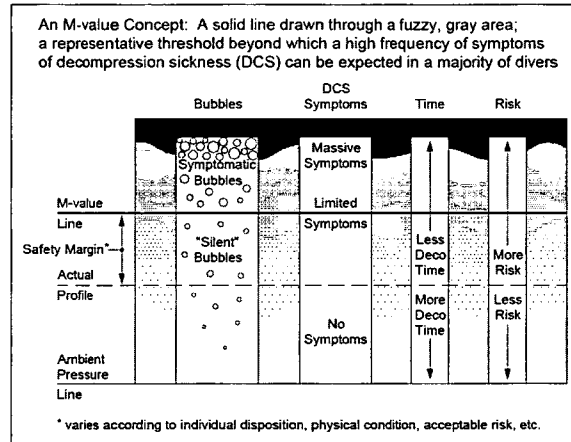
混合気減圧アルゴリズムは、少なくとも一つ以上の不活性ガスについて扱う。ヘリウムと窒素がトライミックスで使われるように。M 値はここでは、それぞれのアルゴリズムで異なる扱いを受けている。



いくつかの方法はヘリウムと窒素で同じM値を使っている。多くの場合、それは窒素に基づいている。Buhlmannのアルゴリズムでは、組織中のガス比に基づいてヘリウムと窒素で分けてM値を調整して計算している。M値の一次式で、係数Aと係数Bは次式により、ヘリウムと窒素の分圧にしたがって計算された。

$$a (He+N_2) = [a (He) \cdot P_{He} + a (N_2) \cdot P_{N_2}] / [P_{He} + P_{N_2}];$$

$$b (He+N_2) = [b (He) \cdot P_{He} + b (N_2) \cdot P_{N_2}] / [P_{He} + P_{N_2}].$$



## M 値の意味

ダイバーの間での誤った認識は、M 値がベンズになるかならないかの明解な線を示しているという考えである。これは何故、ダイバーたちが日々、減圧表とダイブコンピューターの限界を追求しようとしているかの理由である。潜水生理学の経験が示し、規定したM値が不適切なときもある。この不適応は個体差と状況によって変わる。すなわち曖昧でグレーな領域の中に描かれたはっきりした線として定義することが適切である。減圧症については除外された要素や個体差や複雑な人間心理などの明確な欠如によるものである。

さておき溶解ガスモデルはダイバーたちに役立っているし、その経験識は増え続けている。例えば、どのような気泡が減圧症につながるのか、全ての不活性ガスが媒質に残り続けているとかが推定されることなどである。今の私たちは、症状のない潜水の間でもサイレントバブルは生じていることを知っている。つまり、これは二つの状態の複合である。殆どの不活性ガスが媒質に溶けていると推定される状態といくつかの不活性ガスが気泡となっている状態のふたつである。M 値は、被圧耐性勾配を示すだけでなく、耐えられる気泡の総量を示す。M 値が実験的に定義されるということは、いわばそれら実際の減圧は仕事と共に行われるということである。これらのテストは多くのダイバーたちに示すために、比較的少ない数の課題設定で行われた。減圧症の兆候発生の境界へ近づく多くのデータが得られたけれども、この過程あらゆる人に対して絶対的な限界を正確に予測したり、保証したりするものではない。また経験則から分かる減圧症の羅病要因—体調不良、重労働、肥満、疲労、薬やアルコール、脱水症状、印円孔開症等々。人は日常のベースにもまた影響を受け易い。

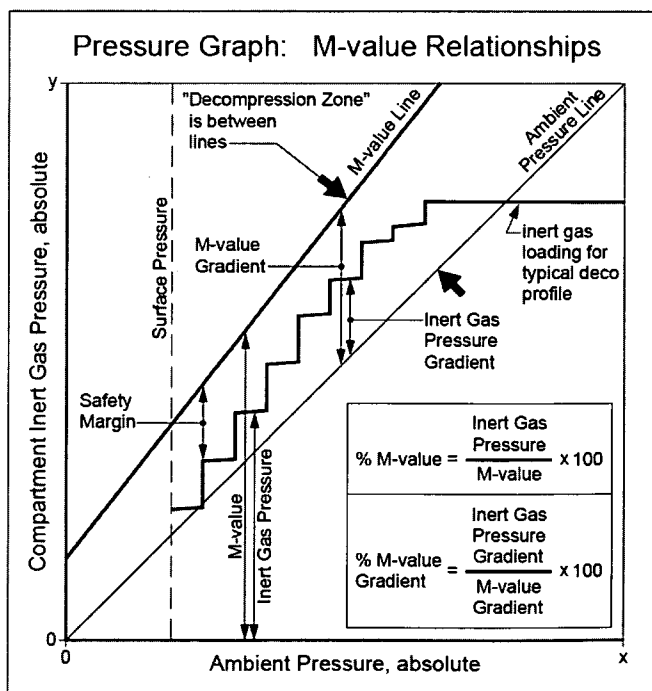
## M 値と慎重さ

限られた症状で、M 値と関係していてリスクの少ないものがある。が、この基準は多くのダイバーにとって受け入れがたいものである。多くダイバーは潜水時の計画について極めてリスクが少なく、減圧症の症状の全く現れない範囲のものを選ぶ。確立された M 値だけで全ての人と全ての潜水計画に十分に信頼性のある減圧表計算はできないということをプログラマー、減圧手順の開発者は良く理解している。減圧計算プログラムは、計算過程の中に慎重さの指標を取り入れるのはそういうわけである。

いくつかの方法には、計算に使われる不活性ガスの増分が含まれたり、実際の潜水深度より深い深さの安全度を算出したり、非対称なガス排出の半飽和時間の調整などが含まれている。これらがいくつか複合されて使われているものもある。慎重さに対するこれらの方法論は適切に供給されれば効果的である。効果性の指標は、個人の経験を通して、減圧計画がどのくらい深く長くなるかを示す。

### M 値の関係性

M 値と減圧計算に関するいくつかの基礎的な関係が、図 3 の圧力グラフに示されている。パーセント M 値は、ここ数年、さまざまな減圧表計算で用いられている。Buhlmann 教授は、パーセント M 値でたくさんの減圧試験を評価し、彼の本の中などで報告している。



### 設定の分析

多くのダイバーが、減圧計算プログラムにおける慎重さのファクターの効果の程を正確に知りたがっている。かれらは、慎重さのファクターの操作によって深く長い減圧計画ができることを知っているからである。今のところ基礎的な情報が不足している。パ

ーセント M 値とパーセント M 値勾配の両方が減圧計画の分析と評価に有用である。参照 M 値の標準セットを使って異なる圧力設定を一貫性を持って評価できる。これは全く異なるプログラム、アルゴリズム、減圧モデルから生成された結果どうしの比較を含む。

### 普遍的な参照値

Buhlmann の ZH-L16M 値は全てではないが、技術的な潜水をするダイバーが使う多くの減圧計算プログラムで採用されている。これらの M 値は高地での高深度潜水のような、広い環境分圧の範囲で開発されテストされてきた。適切な慎重さの指標を使うとき、(不正確な科学の中での信頼性のある範囲にたいして) 技術潜水に信頼性を与える。これらは減圧計画の評価と比較について普遍的な価値を与えるいわゆるデファクトスタンダードである。パーセント M 値とパーセント M 値勾配の計算を要約された形式で減圧計画に含みこむことは比較的簡単である。テーブル 5 は商業的な減圧計算プログラムで慎重さの要素の効果を示した例である。0% 慎重さ要素では、M 値範囲は 90% に、減圧ゾーンは 70% に (つまり M 値勾配は 70%) つまりこのプログラムでは、慎重さについてあるレベルの基準線が引かれ、100% に達することはないことが明らかになる。

50% 慎重さ要素 (ユーザーマニュアル推奨) では、M 値範囲は 85% に、減圧ゾーンは 40~50% に (つまり M 値勾配も 40~50%) 100% 慎重さ要素では、M 値範囲は 77% に、減圧ゾーンは 20~35% に (つまり M 値勾配も 20~35%) これらは表 5 に与えられた最悪の条件での停止時間計算で与えられたものである。これは圧力グラフにおけるガス蓄積の階梯のエッジに相関している。全ての結果を通じて水面に到着するときに最も高い値になることが、いかに慎重な減圧が行われるかの説明になる。

**Table 5: Effect of Conservatism Factors in a Commercially-Available Program on Decompression Profiles Referenced to Bühlmann ZH-L16 M-values (ZH-L16A Helium, ZH-L16B Nitrogen)**  
15/40 Trimix Dive (15% O<sub>2</sub> / 40% He) to 250 fsw for 30 min. Deco mixes - Nitrox 36% at 110 fsw, 100% O<sub>2</sub> at 20 fsw

0% Conservatism Factor				50% Conservatism Factor				100% Conservatism Factor			
Deco Stop (fsw)	Run Time (min)	Maximum * % M-value (Cpt No.)	Maximum * % M-value Gradient (Cpt No.)	Deco Stop (fsw)	Run Time (min)	Maximum * % M-value (Cpt No.)	Maximum * % M-value Gradient (Cpt No.)	Deco Stop (fsw)	Run Time (min)	Maximum * % M-value (Cpt No.)	Maximum * % M-value Gradient (Cpt No.)
								140	35	74.3% (4)	29.3% (3)
								130	37	76.0% (4)	31.0% (3)
				120	35	81.6% (4)	47.0% (3)	120	40	77.4% (4)	33.9% (4)
110	36	85.8% (4)	59.4% (4)	110	38	84.5% (4)	55.7% (4)	110	43	77.6% (4)	35.5% (4)
				100	39	79.0% (5)	39.4% (4)	100	45	75.4% (5)	22.6% (4)
90	38	89.0% (4)	69.3% (4)	90	41	82.1% (5)	46.0% (4)	90	49	76.5% (6)	26.3% (5)
80	41	89.5% (5)	69.1% (4)	80	45	83.2% (5)	49.1% (5)	80	53	76.3% (6)	20.3% (5)
70	44	88.3% (5)	65.6% (5)	70	49	82.2% (6)	42.5% (5)	70	58	77.0% (6)	22.1% (6)
60	48	89.8% (6)	67.2% (6)	60	55	83.2% (6)	45.1% (6)	60	68	78.2% (7)	24.9% (6)
50	55	91.1% (6)	72.2% (6)	50	64	83.1% (7)	44.1% (6)	50	78	76.9% (7)	17.6% (7)
40	64	90.3% (7)	67.7% (7)	40	75	83.1% (7)	42.8% (7)	40	96	78.4% (8)	22.5% (7)
30	79	90.7% (7)	70.7% (7)	30	95	84.5% (8)	46.0% (7)	30	124	78.3% (8)	22.4% (8)
20	94	90.9% (8)	70.7% (8)	20	113	84.2% (9)	47.1% (8)	20	147	78.9% (9)	24.4% (9)
10	119	91.1% (9)	72.2% (9)	10	144	85.8% (10)	51.7% (10)	10	189	81.2% (11)	32.6% (10)
0	120	93.6% (11)	80.2% (11)	0	145	88.6% (12)	62.6% (12)	0	190	84.9% (13)	46.6% (13)

\* Upon Arrival at the Stop

## 安全性のマージン

M 値の関係性とスタンダードな M 値を使う際、ダイバーは明確に定義されたものかあるいは使い勝手の良いものかどちらかを選ばなければならない。安全性のマージンは個人的傾向と経験値から選択されなければならない。潜水減圧における、個人の適合に関する事前評価は、つねにオーダーメイドである。通常オフィスワーカーである著者のえらんでいるパーソナルリミットは典型的なトライミックスダイビングで M 値で 85%、M 値勾配で 50~60%である。

安全性の固定されたゆとりを明らかにすることで、減圧計画を M 値勾配でダイレクトに事前決定できる。この方法の有利な点は、全ての環境圧力範囲を通じて満足が得られ、計算結果について正確な制御ができるところである。

### 参考文献:

- Bennett PB, Elliott DH, eds. 1993. *The Physiology and Medicine of Diving*. London: WB Saunders.
- Boycott AE, Damant GCC, Haldane JS. 1908. The prevention of compressed air illness. *J Hyg (London)* 8:342-443.
- Buhlmann, AA. 1984. *Decompression-Decompression Sickness*. Berlin: Springer-Verlag.
- Buhlmann, AA. 1995. *Tauchmedizin*. Berlin: Springer-Verlag.
- Hamilton RW, Muren A, Rockert H, Ornhagen H. 1988. Proposed new Swedish air decompression tables. In: Shields TG, ed. *XIVth Annual Meeting of the EUBS*. European Undersea Biomedical Society. Aberdeen: National Hyperbaric Center.
- Hamilton RW, Rogers RE, Powell MR, Vann RD. 1994. Development and validation of no-stop decompression procedures for recreational diving: The DSAT Recreational Dive Planner. Santa Ana, CA: Diving Science and Technology Corp.
- Schreiner HR, Kelley PL. 1971. A pragmatic view of decompression. In: Lambertsen CJ, ed. *Underwater Physiology IV*. New York: Academic Press.
- Wienke BR. 1991. *Basic decompression theory and application*. Flagstaff, AZ: Best.
- Wienke BR. 1994. *Basic diving physics and applications*. Flagstaff, AZ: Best.
- Workman RD. 1965. Calculation of decompression schedules for nitrogenoxygen and helium-oxygen dives. Research Report 6-65. Washington: Navy Experimental Diving Unit.
- Workman RD. 1969. *American decompression theory and practice*. In: Bennett PB, Elliott DH, eds. *The physiology and medicine of diving and compressed air work*. London: Bailliere, Tindall & Cassell. x

## 第5章 新標準減圧表

### 1. 新標準減圧表計算指針

#### 1-1 採用理論とその事由

前章までに検討した、諸減圧理論のうち、現在世界的に信頼性が高いとされているものがビュールマン ZH-L16 モデルと RGBM モデルである。その二つについて詳細な検討を行った結果、今回の減圧表試算では、ビュールマン ZHL-16 モデルを採用して計算を行うこととする。その事由をこれから述べるが、減圧理論の内容を比較する前に、新標準減圧に求められる減圧理論の条件を再度提示する。

1. モデル自身が、組織中の気体分圧について数値積分による厳密解と同等のものを導き出せること。
2. ヘリウムおよび窒素の2気体を扱えるモデルであること。
3. 組織の半飽和時間がより細かく、かつ長いものを含んだモデルであること。またこれにより Deep Stop の創出や減圧時間の延長が見込まれる。
4. 広く一般に使用され、安全性が検証されておりトレースバックできるモデルであること。
5. 可能であれば確立論的リスク解析が可能なモデルであること。

これに対して RGBM、ビュールマンがどのように対応可能/対応不能かを以下に見ていく。

- ① 1. について RGBM は微小気泡の膨張と収縮を複雑にシミュレーションするもので、根本的に考え方が異なる。これはまだ仮説的な理論とみなす向きもある。一方ビュールマンは、基本的にはホールデン理論の微分方程式を基にしており、比較的トレースバックすることが容易である。
- ② 2. についてどちらも2気体を扱えるモデルである。

③ 3. について RGBM は組織の半飽和時間という考え方はないが、Deep Stop や時間配分の異なる減圧過程を生み出す。一方ビュールマンはワークマンの 9 の半飽和時間組織に対し、臨床学的データに基づいた 16 の半飽和時間組織を考えることで Deep Stop やより安全な減圧時間を生み出している。

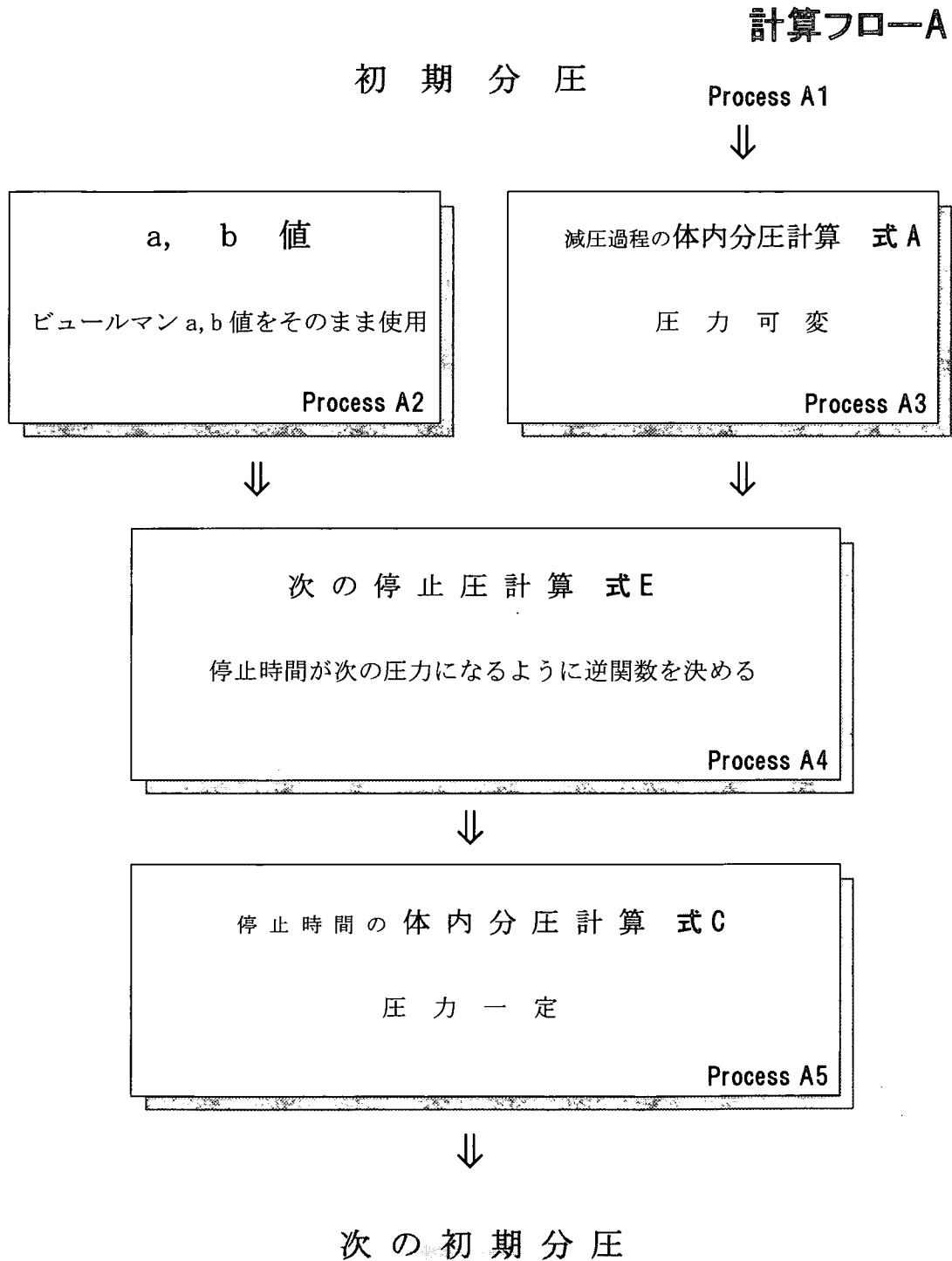
④ 4. について RGBM は近年ダイビングコンピュータにおいて普及し、データフィードバックも頻繁に行われ、安全性が検証され始めている。ビュールマンは、自身による臨床例に基づいて M 値他のパラメータを設定しており、さらに過去十数年主要な理論として使われ、安全性は検証済みである。

⑤ 確率論的リスク解析は、それ自体独立した理論であるため、どちらのモデルにも適用可能である。しかし是非を判定するための現実のサンプルデータがない限り適用できない。

以上の観点から、特殊なプログラムを使う必要がなく比較的計算が容易で、2 気体のシミュレーションが可能で、16 の半飽和組織を持ち、長年使われ信頼性が高い点から、ビュールマン ZHL-16 モデルを採用することとした。

## 1-2 具体的計算計算フローA ～二気体型

具体的計算手順であるが、標準的なビュールマン ZH-L16 モデルではおおむね以下のフローAで求める。ヘリオックスやトライミックス等の2気体混合用である。



減圧過程の体内分圧計算式 (圧力可変) 式 A

$$= (\text{大気圧} + \text{目標圧力}) * N \text{ 濃度} + \text{加減圧速度} * N \text{ 濃度} * (\text{区間時間} - \text{組織の半飽和時間} / \text{LN}(2)) - ((\text{大気圧} + \text{目標圧力}) * N \text{ 濃度} - \text{体内分圧} - (\text{加減圧速度} * N \text{ 濃度} * \text{組織の半飽和時間} / \text{LN}(2))) * (\text{EXP}(-\text{LN}(2)) * (\text{EXP}(-\text{LN}(2)) / \text{組織の半飽和時間} * \text{区間時間}))$$

$$= P_{i0} + R (t - 1 / k) - \{ P_{i0} - P_0 - (R / k) \} * \exp(-kt)$$

文献 A 参照

停止時間計算式 (ワークマン型) 式 B

$$= \text{LN} \{ 1 - (\text{目標圧の M 値} - \text{体内分圧}) / ((\text{目標圧} + \text{大気圧}) * N \text{ 濃度} - \text{体内分圧}) \} * \text{組織の半飽和時間} / -\text{LN}(2)$$

$$= \text{LN} \{ 1 - (P_t - P_0) / (P_a - P_0) \} * (-k)$$

文献 B 参照

停止時間の体内分圧計算 (圧力一定) 式 C

$$= \text{体内分圧} + \{ (\text{大気圧} + \text{停止圧力}) * N \text{ 濃度} - \text{体内分圧} \} * \{ 1 - \text{EXP}(-\text{LN}(2)) * \text{区間時間} / \text{組織の半飽和時間} \}$$

$$= P_0 + (P_{i0} - P_0) * \{ 1 - \text{EXP}(-kt) \}$$

文献 A 参照

M 値換算式 (ビュールマン⇒ワークマン) 式 D

$$= (\text{目標圧力} + N \text{ 濃度} * \text{大気圧}) / \text{窒素 b 値} + \text{窒素 a 値}$$

$$= \Delta M * \text{Depth} + M_0, (M_0 = a + P_{\text{amb}} (\text{surface at sea level}) / b, \Delta M = 1 / b)$$

$$= (\text{Depth} + P_{\text{amb}} (\text{surface at sea level})) / b \text{ 値} + a \text{ 値}$$

文献 C 参照

次の停止圧計算式 (ビュールマン型) 式 E

$$= (\text{体内分圧} - a \text{ 値}) * b \text{ 値}$$

$$= (P_n - a \text{ 値}) * b \text{ 値}$$

文献 A 参照

$P_{i0}$  = 目標環境圧,  $P_a$  = 目標圧,  $P_0$  = 体内分圧,  $R$  = 加減圧速度 \* 窒素濃度,  $t$  = 区間時間,  $k$  = 半飽和定数 =  $\text{LN}(2) / \text{組織の半飽和時間}$

文献 A: P. 68 Stuart Morison 論文参照

文献 B: P. 75 Paul Chapman 論文参照

文献 C: P. 80 Erik C. Baker 論文参照



### 1-2-1 初期分圧 Process A1

ビュールマンモデルでは、通常最初期の圧力である大気圧の設定で、ワークマン M 値と違う点がある。それは大気圧から水蒸気圧 (0.567msw) をさし引いた値を初期圧力と考えている点である。したがって窒素分圧については

$$P_0 = 7.9(1 - 0.567) = 7.45 \text{ msw}$$

となる。

### 1-2-2 a, b 値 Process A2

ビュールマンモデルでは、2 気体の混合を扱うために M 値を a, b 値として扱う。両者の間には互換関係があり、前頁式 D によって変換可能である。ここではビュールマン ZHL-16 b モデルの値を採用している。なお 2 気体の場合は、例えばヘリウム He, 窒素 N2 ならその現体内分圧の加重平均で算出するため以下のようなになる。

混合気体の a, b 値算出式 式 F

$$A = ((a_{N2} * P_{N2}) + (a_{He} * P_{He})) / (P_{N2} + P_{He})$$

$$B = ((b_{N2} * P_{N2}) + (b_{He} * P_{He})) / (P_{N2} + P_{He})$$

文献 A 参照

### 1-2-3 減圧過程の体内分圧計算 Process A3

ビュールマンモデルでは、圧力が可変する減圧過程の減圧計算について専用の式があり、それが前頁式 A である。これにより一定圧力の分圧計算式の積分値を求めなくとも、数値計算における厳密解を求めることが可能になっている。具体的には、Process A1 の初期体内分圧  $P_0$ 、目標圧力  $P_i$ 、区間時間  $t$ 、減圧速度  $((\text{目標圧力} - \text{現圧力}) / \text{区間時間})$  を受け式 A により計算を行う。

### 1-2-4 次の停止圧計算式 Process A4

ビュールマンモデルでは、ワークマンの M 値を用いた計算フローと異なり、「次の 3msw に降下するための必要停止時間」、を求めるのではなく、「次の降下可能深度」を求め

る方法となっている。前頁式E参照。具体的には、この式Eに、**Process A3**、**Process A2**の体内分圧  $P_0$ 、 $a$ 、 $b$ (2気体なら  $A$ 、 $B$ ) 値を代入する。ここで注意すべきなのは、2気体の場合は体内分圧の合計は2気体それぞれの体内分圧の総和となっていることである。ビュールマンにおける「次の停止圧」は2気体分圧の合成関数として求められる。ここで逆に減圧表に必要とされる停止時間を求めるには、その逆関数を求めればよい。ただし、これが16組織の分圧値が変数となり、同時に2気体の場合で合成関数となっている場合は、単純計算が不可能で、停止時間を仮に代入し、式上の停止可能圧が次の降下圧力と等しくなるようワークシート上で最適化計算を行っている。なお、2気体の場合はこの方法であるが、単一気体の場合は、ワークマンの計算フローと同じく停止時間計算式が適用できる。それについては次の項で解説する。

#### 1-2-5 停止時間の体内分圧計算 **Process A5**

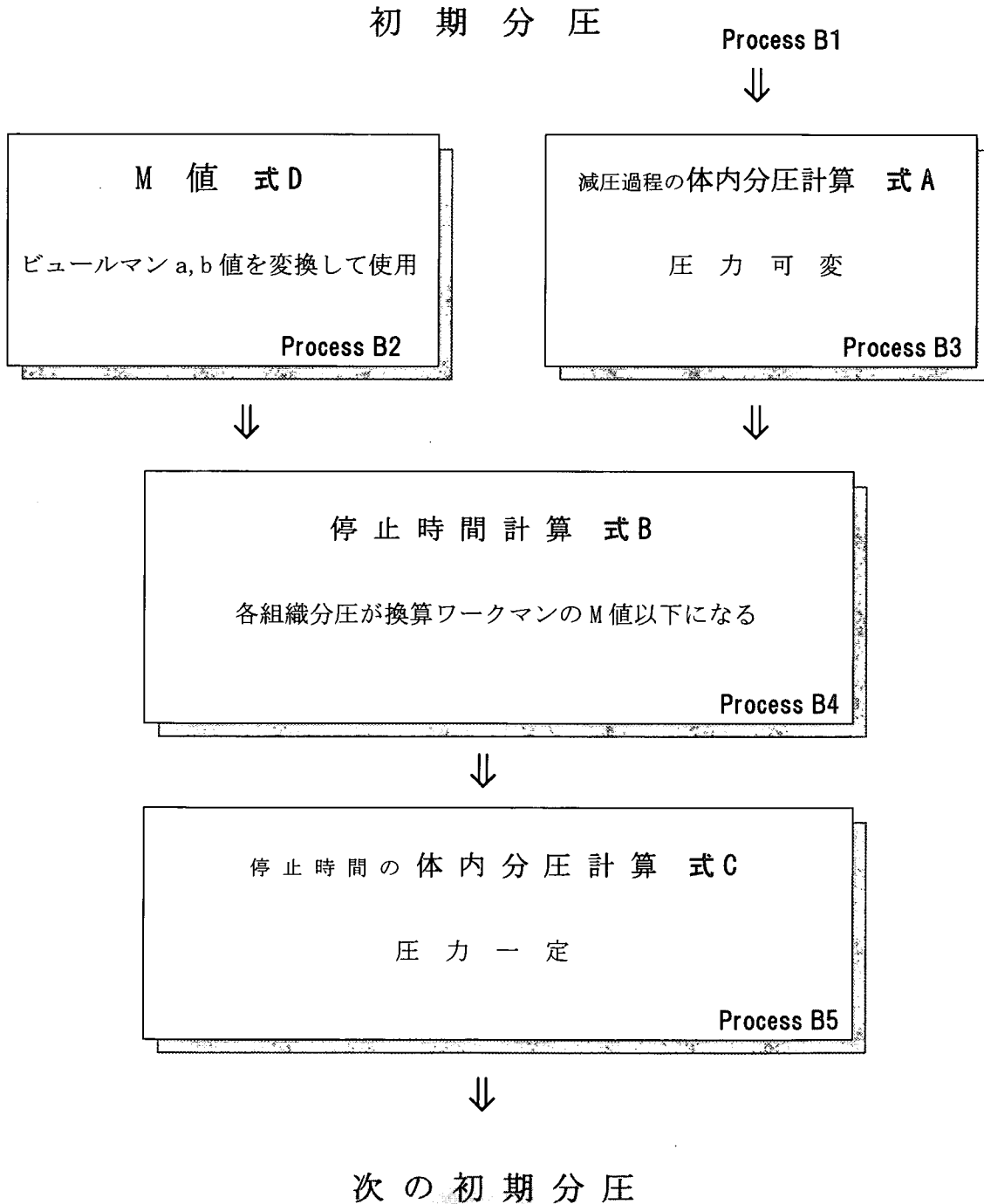
これは、ワークマンの  $M$  値と同様のホールデンの対数関数方程式である。詳しくは前年度報告書を参照されたい。こちらに、**Process A2** の体内分圧  $P_0$ 、そして停止圧力  $P_i$ 、**Process A3** で求めた停止時間  $t$  を代入すると停止時間  $t$  後の体内分圧が算出される。

基本的にはこれらのプロセスの繰り返しで、減圧計算が行われる。

### 1-3 具体的計算フローB ～単一気体型

次に空気潜水等の単一気体潜水で計算の組み合わせが膨大になった場合、計算の簡略化を図ったものがフローBである。

#### 計算フローB



### 1-3-1 初期分圧 Process B1

フローA 同様に水蒸気圧を減じて通常初期分圧である大気圧を計算する。

### 1-3-2 M 値 Process B2

ここではワークマン型の停止時間計算を行うために、換算式 D によりビュールマンの a, b 値を M 値に変換している。

### 1-3-3 減圧過程の体内分圧計算 Process B3

これもフローA 同様。

### 1-3-4 次の停止圧計算式 Process B4

基本的にはビュールマンモデルでも、体内組織分圧が設定値を超えないように減圧プロセスを計算するため、同様の停止時間計算式 式 B が適用できる。ここではワークマン型の計算フロー同様に次の降下圧で各組織の体内分圧が M 値以下になるような停止時間 t を求める。つまり

M 値(ある組織、ある圧力における)  $\geq$  式 B の分圧値(求める停止時間 X、ある組織分圧における)

具体的には、Process B2 で換算した M 値つまり Pt、そして目標圧力 Pa、Process B3 で求めた体内分圧 P<sub>o</sub> を代入すると必要な停止時間 t が各組織ごとに算出され、その最大値が停止時間となる。

### 1-3-5 停止時間の体内分圧計算 Process B5

これもフローA 同様。

基本的にはこれらのプロセスの繰り返しで、減圧計算が行われる。こちらのフローは、エクセルのソルバーを用いた最適化計算が必要ないため、計算が容易で、ワークシート同士の相互リンクによって、多様な加圧状態の組み合わせ計算も容易になっている。