

Workman M 値は実験的に作られたものであり、大深度・長時間潜水で減圧症発生の抑制に疑問があり、特にヘリウムの M 値は不十分である。（だから高压下 2 倍の設定が用いられてきた）Buhlmann' s ZH-L16 モデルが最新のものの一つである。そこでは窒素の半飽和時間をヘリウムに対して 2.65 倍にすると仮定している。[ただし、石井氏も β 値については検討していて半飽和時間を通じた平均として、2.0 を採用しているようである。]

Workman モデルの半飽和時間の配分も問題である。現在はより短い半飽和時間組織を増やしたモデルが多い。Buhlmann' s ZH-L16 モデルでは、100 分以下に 12 の半飽和組織を設定している。100 分以上は同程度。

日本の減圧表の実際上のリスクを試験することは、予算と時間の制約から難しい。確率論的モデルでのリスク分析をするしか安全性の評価はできないだろう。

2. 第三者評価内容の検討と対策

以上にあげたように Dr. Ronald Yutaka Nishi 氏のセカンドオピニオンは、言語的な問題によるものと思われる誤解を差し引いて考えても、厳しい内容もので、減圧計算の方法を再考せざるを得ないことが明らかになった。具体的には、ワークマン以降の近年の減圧理論に関する文献研究が急務であり、Nishi 氏の参考意見を仰ぎつつ資料収集が必要である。ここで要求される減圧理論は、以下の条件が必要であると思われる。

1. モデル自体が、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、臨床的な安全性が検証されており、容易に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。

文献収集の結果、これらの要素を十分に備えたモデルは、Buhlmann' s ZH-L16 モデル、RBGM モデルなどが考えられた。次の章でこれらのモデルの詳細を検討し、本減圧表

試算に採用するモデルを検討することとする。

3. 第三者評価—対訳・原文全文

以下が Dr. Ronald Yutaka Nishi 氏によるセカンドオピニオン対訳及び原文の全文である。なお、原文と対応させるため項目番号は原文のままにしている。

日本の減圧表計算のチェックと分析

Ronald Y. Nishi

1. 背景

この仕事の目的は、開発中の日本の新しい減圧表計算のチェックである。これらの減圧表 1～3 (2 ページから 4 ページに掲載、2006 年 10 月受取) は、ボトムガスの構成がそれぞれ、0.3～0.5MPa では He80%, O₂20%、0.5～0.7MPa では He84%, O₂16%、0.7～0.88MPa では He88%, O₂12%である。(これらの圧力は 30m～88m までの海水深と同等である。)実務上は、減圧は、ボトムガスは降下開始から 30msw の減圧停止まで、空気は、30msw から 12msw の減圧停止まで、100%酸素が 12msw～6msw の減圧停止終了まで、その後直接水面へ上昇する。酸素減圧の減圧停止時間には、酸素呼吸の時間とエアブレイクの時間の両方が含まれる。(25 分酸素、5 分空気のサイクル)。

この減圧表は 9 区分の Workman のヘリウム M 値 (Bennett & Elliott' s… 5 版の 440P にある Tikuisis & Girth による減圧法の章にある)を用いて計算された。この参照元について述べると、これらの M 値は実験的に作られたものであり、許容できないほど減圧症の発生率が高く、長時間、大深度の潜水には不適切なことが判明している。これらの M 値はもはや用いられておらず、減圧表を作るために Haldane・Workman M 値のシステムを用いる人は、M 値法について注意深く修正しなければならない。それは例えば、Workman が使っていたのと、異なる分け方の半飽和時間で、より多くの組織をくわえることなどである。この不適切さを補正するため、日本の減圧表では、ボトムタイム 2 倍でヘリウム吸収が計算されている。30msw～15msw までの空気呼吸、12msw～6msw までの 100%酸素呼吸の際、作業員が 20%He を呼吸すると仮定している。実際に必要かどうかに関わらず、10 分間を最短とする減圧停止時間が課せられる。日本の減圧表における不活性ガスの吸収と排出は、これを制御する微分方程式の厳密解すなわち指数関数の方程式で計算されている。

$$P_{He} = P_0 + (P_a + P_0)(1 - e^{-0.693t/T_{1/2}})$$

しかしながら与圧と減圧の間の直線的な圧力変化 (降下と上昇) の厳密解は用いられず、移行時間間の圧力平均で計算されている。減圧停

止時間は次の式から計算されている。

$$t = \ln(1 - (P_T - P_0)/(P_a - P_0)) * T_{1/2} / (-0.693).$$

停止時間毎の詳細な計算例は、開発中の減圧表の手順を検証するために、2006年の6月そして10月に受け取った。

2. 減圧表計算のチェック

減圧表計算のチェックのために、信頼性の低い複製を試みるより各減圧停止における減圧状態を決める方が良いと思い、それぞれ違う圧力設定・ボトムタイムスケジュールに従ったアプローチをヘリオックス減圧表1～3に対応して示した。注)文法が錯綜しているので意訳した。その方法は、上記に挙げた吸収と排出に関する指数関数を使ったものと同じではない。4ステップの数値積分法(Runge-Kutta)が吸収と排出の不活性ガス分圧の微分方程式解としてよく使われた。この方法は移行中と一定圧時の不活性ガス分圧の連続的な計算を可能にする。数値積分での時間間隔は、定圧で0.1分刻み、与減圧中で0.05分刻みである。各組織のPHeは、各時間間隔ごとに算出される。各減圧停止で、各PHeは、M値式の値と次の減圧のための降下が許容されるか比較される。

$M_{i,j} = M_{0,j} + a_{i,j} + d_j$

$a_{i,j}$ は深度依存のパラメーター d_j は次の減圧停止深度 $M_{0,j}$ は水面での分圧値

これは深度に相関するM値として連続的に計算されるというより汎用性の高いアプローチが採られ、各区分組織と圧力に応じた許容できる分圧へ変換された。このより深い減圧深度を含む区分は、クリティカルな区分組織に指定されている。この最大値は安全な減圧深度と表示された。

2.1 試算のチェック

類例結果を複製するプログラムを検証するため、9ページから18ページに示された10月の文書の(6ページから20ページは6月の文書)70msw120分の潜水を解説する試算として最初の仕事が行われた。そこで使われた前提と手順が、近似値によって数値積分を必要としないので、移行時間における平均深度に基づく移行過程の排出と吸収の計算を例外とすることが述べられている。これが特に、短い半飽和組織にいくつかの顕著な結果の違いをもたらしている。

前提条件は以下である

1. 水面～滞在するボトム～30mswでの減圧停止圧に上昇するまで80%He。ガス摂取は滞底時間の実時間2倍で計算された。すなわち240分。水面でのボトムガス圧と同じように、PHeの初期値は8mswに設定されている。
2. 降下速度一分間に70msw (これは、この試算のみで、この表のみで、

降下速度は8msw/min) 底から第一減圧停止圧までの上昇速度は8mswである。

3. 30msw～呼吸ガスは20%ヘリウムとして計算されている。現実上は、作業員はこの表に倣い呼吸ガスを切替えて15mswの停止終了まで空気呼吸を行うことになる。

4. 12msw～大気帰還まで作業員は、20%ヘリウムを呼吸していると仮定して計算している。現実上は、100%酸素を25分酸素、5分空気のエアープレイクのサイクルで、浮上まで吸い続ける。

5. 最後の減圧停止圧は6mswであり、潜水者は底から直接水面に帰還する。

6. 減圧停止時間は5分刻みである。

7. 第一減圧停止圧は、10分以上である。

8. 第一停止圧以降、上昇時間は停止時間に含まれている。

試算結果の詳細は Annex1a に示されている。各減圧停止で、M 値によって許容された次の停止圧まで移行可能な必要停止時間が計算されている。PHe の値は減圧停止への到着時について示されている。計算によって停止時間を求めた後、前提にしたがった所定の停止時間が定められる。数値方式の検証をすることは、日本の減圧表の計算に利用される厳密解として同じ結果を与えるだろう。PHe は手動計算で求められた。PHe 式(前述)は、停止深度への到着から所定の停止時間の終了まで。加えて、所定の停止時間(停止深度への到着から次の停止への移行が可能になったときまで)が t 計算式(前述)で計算されている。これらは、PHe と停止時間について根本的に同じ結果をもたらすことを示している。

指数関数方程式が同様に決定に使われているが、日本の減圧表計算のように移行過程での圧力を、すなわち移行過程における圧力変化の平均としてとらえた場合どんな違いが生まれるのか。PHe は、1分刻みで計算されている。注)これは石井氏の設定に合わせたのではなく Nishi 氏が設定したのか?不明 この結果は Annex1b で示されている。両者の差は僅かである。最初の組織でのみ影響が現れている。

10月の文書の17ページに示された結果との比較は、Table1に示す。(Table15は計算結果の要約である)。日本の結果は黒字で、数値積分の結果は赤で印刷している。減圧停止圧でのPHeの値は、所定の停止時間後のものである。Table1はまた、(M値に基づいて)要求される計算上の停止時間も示している。実際の定められた停止時間とクリティカルな組織が決める計算上の停止時間。(すなわち半飽和時間が停止時間を決める。)ここでは減圧停止開始時と減圧停止終了時では異なるクリティカルな組織の双方について示される。30mswの減圧停止までは、違う組織に対するPHeが良い一致を示している。差は、小さく、0.1msw以内である。実際の停止時間もまた近い値である。

30msw で違いが最初の組織で 0.3msw という最大値になる。この違いが現れている理由は、He 濃度が 33msw の停止から 30msw への上昇で PHe が 20%に設定されている、計算例に示すような 30msw に達してから切替えるのではなく、数値分析がこの違いを繰り返すとき、すべての PHe が試算例と極めて近く (0.1msw 以内で、停止圧が 30msw より深い間) 一致する。計算された停止時間も二つの方法で近い。Table 1 で示されたこれらの結果は青いフォントで示され、詳しい計算結果は Annex 1 b で示されている。

2.2 ヘリオックス減圧表

数値法は厳密解とほぼ同じで、計算例のように複製できるため、日本の減圧表に適用できる。計算は 10 月の文書の 2~4 ページに示されたヘリオックス減圧表 1-3 の中に概略として行われている。減圧表は、 $0.7\text{Mpa} < P < 0.75\text{Mpa}$ の圧力範囲、減圧時間が 5 つのボトムタイム 45, 60, 75, 90, 120 で使われるように作られている。0.85Mpa~0.88Mpa までで、最後の二つのボトムタイムは 82 分と 90 分である。計算はどれも最大圧力下で行われた。減圧が最悪の状況下で行われる、0.75Mpa が例として上に挙げられた。圧力範囲がメートル法に変換されても計算の目的は変わらない。ヘリオックス減圧表 1 に示されたスケジュールは、それゆえ、35, 40, 45, 50msw で 80%He, 20%O₂ と同等であり、ヘリオックス減圧表 2 は 55, 60, 65, 70msw で 84%He16%O₂ と同等、ヘリオックス減圧表 3 は 75, 80, 85, 90msw で 88%He, 12%O₂ と同等である。すなわち 60 の (ボトムタイム) スケジュールがチェックされた。

PHe の初期分圧は与えられた試算におけるボトムガスから仮定された。すなわち、3 つの異なるボトムガス構成 (80/20, 84/16, 88/12) に対応し、PHe の初期分圧が 8msw, 8.4msw, 8.8msw が設定されている。注) 石井氏自身の英訳にはこのような設定はない。全て大気圧と同様の、8.0 である。例にあるように、ヘリウムガスの吸収は表の中で定められたボトムタイム 2 倍 (すなわち、90, 120, 150, 180, 240 分) で計算されている。88msw のスケジュールに対しては、最後の二つのボトムタイムでは、164 分と 180 分で計算している。降下速度が 70msw/min である例とは違い、降下は 8msw/min で計算されている。それぞれの減圧停止で、M 値から計算された次の停止まで移行できるように要求される停止時間が計算され、表の設定の中で所定の実停止時間が定められる。計算は所定の停止時間に定められる。すなわち、10 分を最小値とし、増分は 5 分毎である。そのため計算された停止時間がより短い停止であるにもかかわらず、長い停止時間が要求される。

Table 2a, 2b, 2c に赤字でヘリオックス減圧表 1-3 に挿入された計算結果を示す。滞底時でのそれぞれの減圧における実際の停止時間は、次の停止圧への移行の必要時間として計算された。クリティカルな組織の数値が減圧停止時間を決定する。ヘリオックス減圧表における減圧停止時間のチェックの際に、停止時間の合計と、最初の定圧までの時間が、減圧時間の総計の列と一致しないことが示されることが判つ

た。減圧時間の総計の列と最初の減圧停止までの時間の不一致が表の中にハイライトで示されている

最初の停止圧が1回分浅いボトムタイムスケジュールが見られた。これらのケースでは、最初の停止圧での停止時間が0分を示している。これらの場合は恐らく、オリジナルで選択された最初の停止圧の間にPHeが十分に減ってしまった結果である。注) あるべき小さな停止時間が切り捨てられてしまった?

意外なことにこの分析では全ての圧力設定(プロファイル)で、要求された減圧時間が実際の停止時間を超える場合が少なくとも一回はあるということである。深度が深めの設定では、大部分の減圧停止が定められた実際の停止時間よりも長くなっている。これらは、表2のセルのなかでハイライトで示されている。Annex2a, 2bは70msw150分のもの85msw90分の詳細を示している。いかにたくさん数がTable 2から得られたかが分かる。各組織のPHe分圧値が所定の減圧停止への到着時、出発時のそれぞれが示されている。インターバルタイムは(日本の減圧表での)設定された停止深度である。Comp#列はどの組織が減圧停止の始まりと終わりを制御しているかをNo.で示している。推測された停止時間は、M値に基づき次の停止圧に上昇可能な計算された停止時間である。M値ライン上のクリティカルな組織が停止時間を決める。その値が表2に示されている。計算された停止時間が実停止時間を超えるところはハイライトになっている。これらのケースでは、次の減圧停止への移行を許すM値よりPHeは大きくなっている。これらもハイライトされている。の列は、The Safe Deco. Depthの列は安全な減圧深度を示している。これらの赤いフォントで示された安全な減圧深度に関する値は実際の深さより大きい。

Annex3は全てのプロファイルの結果の分析である。そのフォーマットはAnnex2a, Annex2bと同じだが、各停止でのM値は示されていない。クリティカルな組織の列は制御する組織の番号のみがあり、いくつかのケースでは、停止時間を決定する組織が同じでない場合がある。これらはTable 2から得られた。計算された停止時間が、実際の停止時間より大きい場合、安全な減圧深度が実際の減圧深度よりも深い場合、これらは赤いフォントで示されている。

Annex2aにおける例は、70msw, 150分(実時間75分)が選ばれている。これは実際表中で決められた時間よりも、長時間の減圧停止を必要とするからである。36mswや33mswでの停止では計算された停止時間と実際の停止時間の差は小さいため、無視してもいい程度である。しかしながら、実際より浅い位置での第一停止については違いが大きく安全条件について問題になる。

Annex2aは、そのほかのいくつかのボトムスケジュールについて見出された問題について示している。最初の停止は39mswではなく、36mswであるべきであろう、40分組織のPHeは36mswで許容されるよ

り僅かに高いからである。事実、6つのスケジュールにおいて、もちろん（数値上不一致は大変少ないのだが、M 値に基づく最初の停止圧が一段深くあるべきであると言うことが明らかになった。これらは150分のボトムタイム（実時間75分）での70, 75, 80, 85msw¹⁶⁴, 180分における、88mswのものであった。

実際に必要かどうかに関わらず最短の停止時間を10分間としているために、多くのケースで減圧停止がスキップしているものがある（Table 2とAnnex3で0分の停止時間として示されたもの）。

30mswでもっともこれが引き起こされる。それはガス切り換えによってヘリウムの排出が促進されるからである。例えば、Annex2aの27mswで、強制的な10分間の停止時間で十分なガス排出の促進によって、この停止終了時の40分組織のPHeは21mswにおけるより低い。そのため、24mswの減圧停止は望むならスキップできる。他の例としては、70msw^{90分}（実時間45分）の計算は二つの停止をスキップできる。27mswの停止の後、40分組織の分圧は38.3でこれは18mswにおける39.8よりも低くなっているからである。全ての減圧停止深度において強制的な停止を維持するならば、停止のスキップは可能であるだろう。85mswにおける最初の三つのスケジュール90分、120分150分（実時間45分、60分、75分）は、いくつかの停止がスキップされている点で、他の深さと比べるとかけ離れている。Annex2bが示しているのは85msw、90分（実時間45分）このスケジュールの中で、42.36, 27, 21mswがスキップされている。分析では42mswだけが安全にスキップできるものである。39mswの停止の後、40分組織のPHeは、33mswで許容されるより大きい、したがって、33mswに直接移行するのではなく、36mswにおける減圧停止を取った方が良い。似たように、計算結果は、27msw, 21mswでも減圧停止が要求されることを示している。85mswでの2番目、3番目のスケジュールで、27mswの停止だけがスキップしている。しかしながらこの結果から計算結果は、ここでも停止が要求されることを示している。

日本の減圧表（のルール）で計算していると、停止の最小時間は10分以上であり、それぞれの停止時間は、前の停止時間より短くなつてはならないというルールがある。一般的に、減圧の進行に伴って増える所定の停止時間は、計算された停止時間の両者は極めて近い軌跡をとる。（もちろん計算上の停止時間は実際に要求されるものより短い場合が多い）しかしながら、80msw、240分の30mswにおける減圧停止時間は過剰に増えているように見え、それは30分間維持されているように見える（恐らく続く6回の停止においても）一方で、85msw、240分の33mswでは、続く5つのステップにわたって増えていいはずである。（Table 2にディテールがある）注）ここでこの方のいいたいのは計算上の積算で追いかけていった減圧計算のグラフの軌跡と実際に決められた軌跡の差が大きすぎるということだろう。

2.3 OTU 計算のチェック

10月の文書の18ページの表16のOTU計算をレビューする。計算は、(39msw以上では)上昇時間も含みこんだ各々の停止深度を合わせたOTUの総計のようである。アクチュアルな上昇中も換算に入れるのと同様の値を得られる。唯一の例外は、15msw~12mswにかけての、クリティカルな値0.5以下である空気吸入時の PO_2 の場合で、それゆえこれは全くOTUに影響しない。OTUは独立して計算され、18msw(2.1でなく5.9unit)と6msw(163でなく166.4unit)以外では、同じ結果が得られた。加えて、12mswにおけるunitは僅かに96.1より低かった。なぜなら15mswにわたる上昇中のOTUを換算していないからである。トータルのOTUは614ではなく、620となる。

酸素濃度を80%で計算している過程には疑問がある。減圧計算では、吸入マスクのフィット感の悪さやマスク内への周辺空気の漏れがあるかもしれないため、それは良い仮定かも知れない。Workmanはこれを彼の報告の中で彼自身のM値を用いて示唆していた。しかしながら、今日のマスクはフィット感も良くなり、ある個人にとっては80%どころか95%以上の吸入が可能かもしれない。それゆえ、最悪の場合を考え、100% O_2 として計算することが望まれる。(減圧計算においては、最悪の状況として80% O_2 と仮定したい)もし、OTUを100% O_2 で計算した場合、このケースは約720Unitになるであろう。注)石井氏の設定では100%になっているはずである。

3. 考察

3.1 結果の不一致の考えられる理由

日本の減圧表の不一致に関するいくつかの考えられる理由がある。計算はサンプルの計算で与えられたものと同じ初期条件で行われた。初期PHeは、ボトムガスに基づき、PHeの値は、深さに依存する値である8.0msw, 8.4msw, 8.8mswに設定された。この仮定が間違っているとすると、より低い初期値で計算されていて、それによって~全てではない~が不一致が生まれていることは説明できる。実際、初期PHe設定は作業員が地表で十分な時間ボトムガスを呼吸し組織が飽和しきっていることをほのめかしている。これは作業員が地表で窒素に飽和しているのと同じようにリアリティーがない。加圧開始前では作業員は、極めて少ないヘリウムしか吸収していないはずである。開始時のヘリウム分圧を0として計算する可能性もありうる。慣習的な減圧表の計算では、 PN_2 とPHeの両方に配慮し、それぞれの組織で減圧状態を決定するように値を足し合わせる。注)学術的にはそうだが不活性ガスの排出が問題なのだから合計分圧が低くなればよいような気がする。また合計したときのM値があればよい気がする。

平均化の操作が、最初の停止までに、サンプル計算で示されたように、1mswピッチで行われているならば、日本の減圧表における、上昇と降下の局面の計算のための近似の副産物として生じる小さな不一致は、ごく小さなものである。注)石井氏の計算で $1 - e^{-kt}$ が1mswごとに計算されていたことは翻訳に書かれていたのかどうか不明である。移行過程を平均化するこ

とに基づいて計算することは、ガスの吸収と排出を過小評価することになる。大きな効果は減圧停止に影響されない半飽和時間の短い組織に現われる、なぜならこれらの表はボトムタイムが長いからである。

(もちろん) 直線的な圧力変化の際に排出と吸収の計算を平均化することはありうると言う報告はある。(Schreiner and Kelley, 高深度潜水からのコンピューター計算による減圧、第三回潜水生理学の展開シンポジウム 1967)

考えられる停止時間計算の不一致のいくつかの理由は、間違っただけの制御組織の選択によるものである。数値的方法を使う場合、全ての組織を全ての計算のフェイズで注意していれば、自動的に制御組織は選ばれてくる。しかしながら深く長いスケジュールであれば、常に 9 番目の組織 (240 分) が制御組織になるため、浅い停止圧で長い不一致が起こる。

この不一致は深刻な問題だろうか？ 小さな不一致は、長い減圧過程の全体を通じてみれば、大して顕著に考えるものではない。大きな不一致は、いくつかの問題を引き起こす。この減圧表の安全性について信頼できると言うコメントをすることは難しい。なぜなら、ボトムタイム 2 倍の設定や停止時間の固定や空気呼吸、酸素呼吸を通じてヘリウム濃度を 20% としている設定から作られているからである。4000 人以上のこれらの減圧表に基づいた高圧下暴露が何の問題もなく行われた事実はある。しかしながら実際の圧力範囲、作業圧力と作業時間と減圧表の設定限界とどのような関係があったか何の情報もない。実務作業の暴露では一般的にスケジュールの設定に限界は設けていないようである。減圧表の安全性を図る唯一の方法はその設定の限界でそれらを試してみることである。しかしながらこれは時間と予算の制約で実現しないだろう。

3.1 他の減圧表との比較

Table 3 は、最初の停止時間と総減圧時間についてのフランス労働省の表との比較である。総減圧時間についての比較は、特に異なる 2 種の減圧表の場合には多くの場合うまくいかない。この場合は、30m での空気呼吸への切り換えや、12m での酸素呼吸への切換えなど、多くの設定が日本の減圧表と共通している。これは商業的なダイビングの減圧表であり、COMEX の発展形として現われた。全てのケースにおける正確な比較は、選択された設定が隠されているため不可能である。

フランスの表では最初の停止が常により深い、おおむね 6msw 分の差である。浅いところでの減圧停止時間は大雑把に見て近い、しかし圧力が増えていくとフランスの表の減圧時間は日本の表より増えていく。より深い圧力ではフランスの表の減圧時間は顕著に大きい。例えば 78msw50 分、ヘリウム 17% 時は、日本の場合の 80msw45 分、と比べてほんの少し低いだけである。しかし少し長いボトムタイムになると 30% も長くなる。いくつかの圧力設定は船上供給の 84%ヘリオックス減圧表 DCIEM からのものであり、同じように表 3 に示している。これは完

全には比較できない。DCIEM は最初の減圧停止から空気を用い、酸素呼吸は 9msw~だからである。しかしながら DCIEM は、同じように最初の減圧停止が深く、総減圧時間も日本の表よりも長い。75msw45 分のプロファイルは両方の第一減圧停止と総減圧時間が一致している。ただし、DCIEM の表は 84%ヘリオックスで、日本の表は 88%と言うことを記しておかなければならない。88%では DCIEM はより深い第一停止でより長い総減圧時間であろう。

Table 3. Comparison of decompression times and first stop depths with other tables

Table	Percent Helium	Depth	1st stop (msw)	Total Dec. Time	1st stop (msw)	Total Dec. Time	1st stop (msw)	Total Dec. Time	1st stop (msw)	Total Dec. Time
			45 (J), 50 (F)		60		90		120	
Japanese	80%	35	12	43	15	63	15	88	18	138
French	78-80%	36	18	50	18	70	18	102	21	145
		B.Time	45 (J), 50 (F)		60		90		120 (J), 110 (F)	
Japanese	80%	45	18	64	18	94	21	148	24	188
French	78-80%	45	24	90	24	110	24	182	27	225
		B.Time	45 (J), 50 (F)		60		75 (J), 70 (F,D)		90	
Japanese	80%	50	21	79	21	109	24	139	24	174
French	78-80%	51	27	115	27	140	27	167	30	235
		B.Time	45 (J,D), 50 (F)		60		75 (J), 70 (F,D)		90 (J), 80 (F)	
Japanese	84%	55	24	99	27	134	30	174	30	174
French	82-83%	54	30	145	33	175	33	215	33	245
DCIEM	84%	54	27	134	30	171	30	198		
		B.Time	45 (J,D), 50 (F)		60		75 (J), 70 (F)			
Japanese	84%	60	27	110	30	154	30	194		
French	82-83%	60	33	178	36	225	36	260		
DCIEM	84%	60	30	152	33	189				
		B.Time	45 (J,D), 50 (F)		60					
Japanese	84%	70	33	145	36	210				
French	82-83%	69	39	236	42	301				
DCIEM	84%	69	36	186						
		B.Time	45 (J,D), 50 (F)							
Japanese	88%	75	39	210						
DCIEM	84%	75	39	211						
French	82-83%	75	45	284						
		B.Time	45 (J), 50 (F)							
Japanese	88%	80	42	235						
French	82-83%	78	45	306						

Tisisis と Gerth によって言われていることだが、Workman の M 値は実験的に作られたもので、大深度長時間の潜水には、減圧症の発生率の高さにおいて不適切である。それゆえこのモデルの結果による最初の減圧停止は浅すぎる結果となり、長時間、大深度のボトムタイムに対する減圧には～たとえ保守的な割り増しを施したとしても～不十分である。

潜水の減圧表は、深度が増えるにつれてボトムタイムを制限する。ボトムタイムの最大値は、フランスの表でのボトムタイムの最大値は表 3 に示されている通りである。DCIEM で示されているものを例に挙げると、60msw の潜水で 45 分がリミットである。これより長いボトムタイムは、減圧症の高い発生率を伴うため、例外的暴露となっている。それゆえ、大深度でボトムタイムが 75 分を超える潜水との適正な比較は難しいものとなっている。利用できる潜水の減圧表があったとしても、減圧表の高いリスクを持っている。この結果、ヘリオックス減圧表 1～3 の安全性あるいはリスクレベルを判断することは不可能である。この減圧表の安全性を決定する可能性があるとするれば、確率論的な方法を使ってリスク分析をすることだろう。

ケーソン／トンネル作業とダイビングの減圧表の比較をするときに記しておかなければならないのは、ダイビングよりもケーソン／トンネル作業のほうが減圧に際する要求が大きいということである。ケーソン作業は激しく、肉体を使って長時間、高圧力の～つまりガス吸収が増えるような～環境で労働することが要求される。それゆえ圧縮されたガスの暴露のための減圧表は対照できるボトムタイムと深さに比してもダイビングのものより長い減圧時間が望まれる。

3.3 減圧計算の考察

日本の減圧表でされた計算は気体を一つと仮定し窒素は全く考慮に入れていない。ボトムガス構成で設定された初期値は、手短に言うと、人が地表で既にボトムガスに飽和していると仮定しているために、リアリティーがない。実際には、PHe は開始時ゼロで増えていくものだろう。PN₂はスタートから減っていく。減圧の間、空気呼吸に切り替わる時点でまた増え始める。普通の減圧計算の手順は PHe と PN₂の両方を考えるべきであり、全体の不活性ガス圧力を得るために部分の圧力を加えるべきであり、この値に減圧の条件・要求は基づくべきである。日本の減圧表の計算では、いったん空気呼吸に変わると、20%He を継続して吸い続けると仮定している。この割合は、O₂呼吸に変わってかつエアブレイクの間も維持される。事実上、この計算は空気呼吸が酸素減圧と同じということである。空気呼吸の間、不活性ガス構成が20%ならば、そのバランスは酸素を目的とした計算となってしまう。実際は酸素は、21%、不活性ガスはN₂が79%存在する。窒素を無視すると、ヘリウムの排出は非常に速くなる、もしそれがあべきものより速ければ。しかしながら、この計算は強制的に、減圧停止時間を10分以上、かつ前回の停止時間より長くなるように設定しているため、速い減圧は要素に入っておらず、適切な減圧が提供されることもない。

ヘリオックス潜水にPN₂を換算することは、ふたつのM値のセットが要求される。一つはヘリウム、一つは窒素である。しかしながら、Workman のモデルはそれぞれの組織における空気とヘリウムの両方に対し同じ半飽和時間と仮定している。より近年のM値に対する試みはBuhlmann' sZHL-16 モデルは窒素の半飽和時間をヘリウムに対して2.65倍にすると仮定している。注)石井氏もヘリウムと空気の半飽和時間の比率を検討して結局平均化して2.0としているようである。細かくは半飽和時間ごとに設定する必要がある。その際、それぞれのPHe式、t計算式も代わるはずである。その煩雑さを避けたと言うことだろう。もし同じ半飽和時間が両ガスに対して使われたなら、Workman モデルにおいて、ヘリウムと窒素から不活性ガス全体の圧力への影響が間違った値になるだろう。これはトライミックスの減圧表が計算されたなら、たいした重要性はなくなるだろうが。(10月の文書の6ページにトライミックスの減圧表があるがチェックしていない。ただし、最初の減圧停止は浅すぎる。)

Workman モデルにおけるもう一つの問題は、半飽和時間の配分であ

る。他の Haldane と Workman の方法を採用している者は、短い時間の方に、より多くの組織をくわえている。Buhlmann' sZHL-16 モデルを例に挙げれば、100 分以下に 12 の半飽和組織をくわえている。後尾の組織は、大まかで、Workman のモデルに近い。このような Buhlmann のモデルはより深い最初の減圧停止を導く。

4. 減圧表計算のチェックと分析の総括

要約すると、この仕事の目的は、日本の減圧表を計算することへの前提と指針を導くことである。7 月と 10 月に受け取った文書の中に横たわる問題は、示されたとおりの、ヘリオックス減圧表 1～3 として再現できなかったことである。実際の停止時間は多くの場合短すぎる。最初の減圧停止は浅過ぎる場合が多く、スキップストップも手に余るほど多く、もし使うならば許容できない。すなわちこの日本の減圧表は見直す必要がある。

オリジナルな Workman モデルに基づくよりも減圧時間が増えるような計算上の設定によっていかに深刻な不一致が生じているかを評価することは難しい。しかしながら、減圧時間と最初の停止深度について比較すると、減圧時間も圧力と時間が増えるほどに顕著に短く、最初の停止深度も潜水におけるよりも一般的に浅い。これは(一般に)ヘリウムの WorkmanM 値の不十分さによる結果である。

これらの減圧表の危険性/安全性を決定するためには、設定限界についての実際的なテストが必要である。これらの減圧表が実務上何の問題もなければ、どのような深さとボトムタイムの範囲が設定されていて、減圧表の設定限界が以下に狭いかを注意深く見る必要があるだろう。減圧表の設定限界についての適性テストは時間と予算の制約から実現不能である。リスク決定のツールになると考えられるのは、減圧の確率論的モデルに基づくリスク評価である。

Table 1. Comparison of calculation method results with those of example calculations (From "Summary of calculations", page 17, Oct 2006)

Total time	Stop time	Total deco time	Arrival depth	Mean depth	Breathing gas on real decompression	Breathing gas on calculations	Actual stop time required	Real Stop Time	Critical Compartment	Tissue half – time									
										5	10	20	40	0.8	120	160	200	240	
0	0		0		Bottom gas 80% He	Bottom gas 80% He					0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
1	1		70	70	Ditto	Ditto					11.6	9.9	9.0	8.5	8.2	8.2	8.1	8.1	8.1
									6		11.9	10.0	9.0	8.5	8.3	8.2	8.1	8.1	8.1
2	1		70	70	Ditto	Ditto					18.4	13.5	10.8	9.4	8.7	8.5	8.4	8.3	8.2
									1		18.6	13.6	10.9	9.5	8.7	8.5	8.4	8.3	8.3
240	238	0	70	70	Ditto	Ditto					64.0	64.0	64.0	63.1	57.0	50.0	44.2	39.6	36.0
									4		64.0	64.0	64.0	63.1	57.0	50.0	44.2	39.6	36.0
241	1	1	62	66	Ditto	Ditto					63.6	63.6	63.9	63.1	57.0	50.0	44.3	39.7	36.1
242	1	2	54	58	Ditto	Ditto					62.4	63.2	63.6	63.0	57.0	50.0	44.3	39.8	36.2
243	1	3	46	50	Ditto	Ditto					60.5	62.2	63.1	62.7	56.9	50.0	44.3	39.8	36.2
									M39		84.6	77.0	70.7	65.0	63.8	63.2	59.3	59.0	55.1
244	1	4	39	42.5	Ditto	Ditto					58.4	61.0	62.5	62.4	56.8	50.0	44.3	39.8	36.2
243.9									4		58.3	60.9	62.4	62.4	56.8	50.0	44.3	39.7	36.1
254	10	14	39	39	Ditto	Ditto	2.4				44.0	50.1	55.7	58.7	55.3	49.4	44.1	39.8	36.3
253.9			Stop time does not include ascent time				2.5	10	4		44.0	50.1	55.6	58.7	55.3	49.4	44.1	39.7	36.2
									M36		80.1	72.8	66.8	61.4	60.2	59.6	56.0	55.7	52.1
259	5	19	36		Ditto	Ditto	2.4				40.4	46.2	52.7	56.7	54.5	49.0	43.9	39.7	36.3
258.9							2.0	5	4		40.4	46.2	52.6	56.9	54.5	49.0	43.9	39.7	36.2
									M33		75.6	68.6	62.9	57.8	56.6	56.0	52.7	52.4	49.1
269	10	29	33		Ditto	Ditto	6.9/9.0				35.9	40.3	47.3	53.2	52.8	48.2	43.5	39.5	36.2
268.9							8.9	10	4		35.9	40.3	47.3	53.3	52.9	48.2	43.5	39.5	36.2
									M30		71.1	64.4	59.0	54.2	53.0	52.4	49.4	49.1	46.1
279	10	39	30		Air	20%He	9.1				15.0	24.2	35.8	46.0	49.1	45.9	42.0	38.4	35.4
278.9			See note below				9.2	10	5		15.3	24.5	36.0	46.2	49.2	46.0	42.0	38.5	35.4
							8.9				15.0	24.2	35.8	46.1	49.2	46.0	42.0	38.4	35.4
									M27		66.6	60.2	55.1	50.6	49.4	48.8	46.1	45.8	43.1

Black cells - Japanese calculations

Red cells - Calculated values from numerical integration

Blue cells - Calculated with switch to air at 33 msw before ascent to 30 msw, P_{He} agrees with Japanese calculations

Table 1. Comparison of calculation method results with those of example calculations (From "Summary of calculations", page 17, Oct 2006)

Total time	Stop time	Total deco time	Arrival depth	Mean depth	Breathing gas on real decompression	Breathing gas on calculations	Actual stop time required	Real Stop Time	Critical Compartment	Tissue half – time									
										5	10	20	40	0.8	120	160	200	240	
289	10	49	27		Ditto	Ditto	9.5				9.3	15.8	27.5	39.9	45.6	43.7	40.5	37.3	34.6
288.9							9.5	10	5		9.4	16.0	27.6	40.1	45.8	43.8	40.6	37.4	34.6
							9.3				9.3	15.8	27.5	39.9	45.7	43.8	40.5	37.4	34.6
									M24		62.1	56.0	51.2	47.0	45.8	45.2	42.8	42.5	40.1
304	15	64	24		Ditto	Ditto	10.6/10.1				7.1	10.0	19.1	32.3	40.9	40.6	38.4	35.8	33.4
303.9							10.7	15	5		7.1	10.0	19.2	32.4	41.0	40.8	38.5	35.9	33.4
							10.5				7.1	10.0	19.1	32.4	41.0	40.7	38.4	35.8	33.4
									M21		57.6	51.8	47.3	43.4	42.2	41.6	39.5	39.2	37.1
324	20	84	21		Ditto	Ditto	13.6/16.3				6.3	7.2	12.7	24.7	35.4	36.8	35.7	33.8	31.9
323.9							16.4	20	6&7		6.3	7.2	12.7	24.8	35.5	37.0	35.8	33.9	31.9
							16.1				6.3	7.2	12.7	24.7	35.4	37.0	35.7	33.8	31.9
									M18		53.1	47.6	43.4	39.8	38.6	38.0	36.2	35.9	34.1
349	25	109	18		Ditto	Ditto	22.5				5.6	5.9	8.6	18.0	29.6	32.6	32.6	31.5	30.1
348.9							22.8	25	7		5.6	5.9	8.6	18.0	29.7	32.8	32.7	31.5	30.1
							22.5				5.6	5.9	8.6	18.0	29.6	32.7	32.7	31.5	30.1
									M15		48.6	43.4	39.5	36.2	35.0	34.4	32.9	32.6	31.1
379	30	139	15		Ditto	Ditto	26.6/28.8				5.0	5.1	6.3	12.7	24.0	28.2	29.2	28.9	28.0
378.9							28.0	30	7 to 9		5.0	5.1	6.3	12.8	24.0	28.4	29.3	28.9	28.0
							27.7				5.0	5.1	6.3	12.7	24.0	28.3	29.3	28.9	28.0
									M12		44.1	39.2	35.6	32.6	31.4	30.8	29.6	29.3	28.1
429	50	189	12		100%O ₂ w/air brk	Ditto	45.4				4.4	4.4	4.7	7.9	17.1	22.2	24.4	25.0	24.8
428.9							44.9	50	9		4.4	4.4	4.7	7.9	17.1	22.4	24.5	25.0	24.8
							44.6				4.4	4.4	4.7	7.9	17.1	22.3	24.4	25.0	24.8
									M9		39.6	35.0	31.7	29.0	27.8	27.2	26.3	26.0	25.1
479	50	239	9		Ditto	Ditto	47.7				3.8	3.8	4.0	5.5	12.4	17.6	20.4	21.6	22.0
478.9							47.6	50	9		3.8	3.8	4.0	5.5	12.4	17.7	20.4	21.6	22.0
							47.3				3.8	3.8	4.0	5.5	12.4	17.7	20.4	21.6	22.0
									M6		35.1	30.8	27.8	25.4	24.2	23.6	23.0	22.7	22.1
614	135	374	6		Ditto	Ditto	130.4				3.2	3.2	3.2	3.4	6.1	9.8	12.8	14.7	15.9
613.9							129.9	135	9		3.2	3.2	3.2	3.4	6.1	9.9	12.8	14.7	15.9
							129.6				3.2	3.2	3.2	3.4	6.1	9.8	12.8	14.7	15.9
Mvalue at 0 msw											26.1	22.4	20.0	18.2	17.0	16.4	16.4	16.1	16.1

Table 2a: Summary of results - table calculation check for Heliox Table 1 - 30 < P <= 50 msw

① Working pressure (Mpa) ② bottom gas % heliox % O2	Total Bottom Time	Time to first stop	Decompression Stop Depths and Decompression Stop Times															Sum of decompression stops and time to first stop	Total Decompression Time	Elapsed Time from Start of Descent			
			Bottom Gas Breathing					Air Breathing					O2 Breathing										
			54	51	48	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12				9	6	
① 0.40 < P ≤ 0.45 ② bottom gas 80%heliox 20%O2	45 = 6 + 20 + 19	4												10	10	10	10	20	64	64	109		
	Stop time required													1.5	0	0	0	28.4					
	Critical compartment													3	4	4	5	6					
	60 = 6 + 20 + 34	4												10	10	10	10	50	94	94	154		
	Stop time required													4.9	1.6	0	4.4	56.0					
	Critical compartment													4	4	4	5	6					
	75 = 6 + 20 + 49	3												10	10	10	10	65	118	118	193		
	Stop time required													1.8	0	0	0	7.0	71.9				
	Critical compartment													4	4	5	5	8					
	90 = 6 + 20 + 64	3												10	10	10	10	90	148	148	268		
	Stop time required													3.6	0	0	6.3	17.8	95.6				
	Critical compartment													4	4	5	5	6	8				
120 = 6 + 20 + 94	3												10	10	10	10	120	198	198	318			
Stop time required													0	0	0	1.0	11.9	35.0	117.4				
Critical compartment													4	5	5	5	6	7	9				
① 0.45 < P ≤ 0.50 ② bottom gas 80%heliox 20%O2	45 = 7 + 20 + 18	4												10	10	10	10	25	79	79	124		
	Stop time required													1.1	0	0	0	33.3					
	Critical compartment													3	4	4	4	5	6				
	60 = 7 + 20 + 33	4												10	10	10	10	55	109	109	165		
	Stop time required													4.2	0.3	0	0	5.5	61.6				
	Critical compartment													4	4	4	5	5	6				
	75 = 7 + 20 + 48	4												10	10	10	10	75	139	139	214		
	Stop time required													1.7	0	0	0	8.4	85.4				
	Critical compartment													4	4	4	5	5	8				
	90 = 7 + 20 + 63	4												10	10	10	10	25	95	174	174	264	
	Stop time required													3.5	0	0	1.0	7.8	24.2	101.0			
	Critical compartment													4	4	5	5	5	6	8			
120 = 7 + 20 + 93	4												10	10	10	10	20	30	120	234	234	454	
Stop time required													0	0	0	0	3.4	20.4	37.0	133.2			
Critical compartment													4	5	5	5	6	7	7	9			

Red font - results of table calculation check

- Stop times required are longer than actual stop time
- Sum of stop times and ascent times do not add up to total decompression time

Table 2b: Summary of results - table calculation check for Heliox Table 2 - 50 < P <= 70 msw

① Working pressure (Mpa) ② bottom gas % heliox % O2	Total Bottom Time	Time to first stop	Decompression Stop Depths and Decompression Stop Times															Sum of decompression stops and time to first stop	Total Decompression Time	Elapsed Time from Start of Descent					
			Bottom Gas Breathing					Air Breathing					O2 Breathing												
			54	51	48	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12				9	6			
① 0.50 < P ≤ 0.55 ② bottom gas 84%heliox 16%O2	45 = 7 + 20 + 18	4												10	10	10	10	35	99	99	144				
	Stop time required													2.5	0	0	0	47.0							
	Critical compartment													3	4	4	4	5	6						
	60 = 7 + 20 + 33	4												10	10	10	10	60	134	130	190				
	Stop time required													1.7	0	0	0	3.4	76.8						
	Critical compartment													4	4	4	5	5	8						
	75 = 7 + 20 + 48	4												10	10	10	10	90	174	174	249				
	Stop time required													0	0	0	0	0	14.3	106.1					
	Critical compartment													4	4	4	5	5	6	8					
	90 = 7 + 20 + 63	4												10	10	10	10	25	110	214	209	299			
	Stop time required													1.9	0	0	0	11.2	29.8	122.4					
	Critical compartment													4	4	5	5	5	6	7	9				
120 = 7 + 20 + 93	4												10	10	10	10	20	30	45	125	274	274	394		
Stop time required													3.6	0	0	1.4	5.9	21.1	33.5	49.3	141.3				
Critical compartment													4	5	5	5	6	7	7	9	9				
① 0.55 < P ≤ 0.60 ② bottom gas 84%heliox 16%O2	45 = 8 + 20 + 17	5												10	10	10	10	10	35	110	110	155			
	Stop time required													2.2	0	0	0	0	50.3						
	Critical compartment													3	4	4	4	5	5	6					
	60 = 8 + 20 + 32	4												10	10	10	10	15	65	154	154	214			
	Stop time required													1.5	0	0	0	0	5.3	81.8					
	Critical compartment													4	4	4	5	5	5	6	8				
	75 = 8 + 20 + 47	4												10	10	10	10	20	100	194	194	269			
	Stop time required													4.8	0	0	0	0	7.6	27.2	117.1				
	Critical compartment													4	4	4	5	5	6	7	9				
	90 = 8 + 20 + 62	4												10	10	10	10	20	35	120	249	249	339		
	Stop time required													5.2	2.7	0	0	0.7	7.8	25.5	41.9	134.1			
	Critical compartment													4	4	4	5	5	6	7	7	9			
120 = 8 + 20 + 92	4												10	10	10	10	15	30	30	60	125	314	314	434	
Stop time required													9.3	4.3	4.2	5.4	7.7	19.0	33.0	38.7	61.0	133.2			
Critical compartment													4	4	5	5	5	7	7	9	9	9			

Red font - results of table calculation check

- Stop times required are longer than actual stop time
- Actual first stop too shallow, should be here
- Sum of stop times and ascent times do not add up to total decompression time

Table 2b: Summary of results - table calculation check for Heliox Table 2 - 50 < P <= 70 msw

① Working pressure (Mpa)	② bottom gas % heliox % O2	Total Bottom Time	Time to first stop	Decompression Stop Depths and Decompression Stop Times																Sum of decompression stops and time to first stop	Total Decompression Time	Elapsed Time from Start of Descent			
				Bottom Gas Breathing						Air Breathing						O2 Breathing									
				54	51	48	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9				6		
① 0.60 < P ≤ 0.65 ② bottom gas 84%heliox 16%O2	45 = 9 + 20 + 16	4								10	10	10	10	10	10	10	10	10	40	124	124	169			
	Stop time required									2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	54.4						
	Critical compartment									3	4	4	4	4	5	5	5	5	7						
	60 = 9 + 20 + 31	4								10	10	10	10	10	10	10	10	10	90	194	184	244			
	Stop time required									3.3	2.0	0	0	0	0	0	0.5	17.1	107.9						
	Critical compartment									4	4	4	4	4	5	5	5	6	8						
	75 = 9 + 20 + 46	4									10	10	10	10	10	10	10	35	110	239	236	314			
	Stop time required										1.1	2.3	1.8	0	0	0	3.4	18.5	44.4	131.3					
	Critical compartment										4	4	4	4	4	5	5	6	7	9					
	90 = 9 + 20 + 61	4									10	10	10	10	10	10	15	30	40	125	284	284	374		
	Stop time required										5.8	6.4	3.3	0	0.4	2.7	6.2	18.6	35.9	46.7	138.7				
	Critical compartment										4	4	4	4	5	5	5	7	7	9	9				
120 = 9 + 20 + 91	4									10	10	10	10	10	15	25	30	40	50	135	359	356	479		
Stop time required										0.4	1.1	2.7	6.5	6.9	8.1	17.4	28.6	33.1	49.9	62.2	144.0				
Critical compartment										4	4	4	4	5	5	7	7	9	9	9	9				
① 0.65 < P ≤ 0.70 ② bottom gas 84%heliox 16%O2	45 = 9 + 20 + 16	5								10	10	10	10	10	10	10	10	10	50	145	145	190			
	Stop time required									3.8	0.1	0	0	0	0	0	0	0	74.0						
	Critical compartment									3	4	4	4	4	5	5	5	5	8						
	60 = 9 + 20 + 31	5								10	10	10	10	10	10	10	10	25	90	210	215	275			
	Stop time required									3	3.9	2.4	0	0	0	0	8.4	28.5	114.5						
	Critical compartment									4	4	4	4	4	5	5	5	6	7	9					
	75 = 9 + 20 + 46	5									10	10	10	10	10	10	10	25	35	125	270	265	340		
	Stop time required										10.9	10.9	5.1	0.1	0	1.6	5.1	13.1	31.2	42.7	135.3				
	Critical compartment										4	4	4	4	4	5	5	5	6	7	9				
	90 = 9 + 20 + 61	4									10	10	10	10	10	10	30	30	40	130	314	314	404		
	Stop time required										6.3	6.2	7.1	3.6	4	5.2	7.5	15.2	32.8	35.1	54.7	146.5			
	Critical compartment										4	4	4	4	4	5	5	6	7	7	9	9			
120 = 9 + 20 + 91	4									10	10	10	10	15	15	15	20	25	30	60	120	404	394	514	
Stop time required										1.5	1.6	2.5	13.9	11.1	6.5	7.4	16.6	23	36.8	53.5	46.2	118.9			
Critical compartment										4	4	4	4	5	5	5	7	7	7	9	9	9			

Red font - results of table calculation check

- Stop times required are longer than actual stop time
- Actual first stop too shallow, should be here
- Sum of stop times and ascent times do not add up to total decompression time

Table 2c: Summary of results - table calculation check for Heliox Table 3 - 70 < P <= 88 msw

① Working pressure (Mpa)	② bottom gas % heliox % O2	Total Bottom Time	Time to first stop	Decompression Stop Depths and Decompression Stop Times																Sum of decompression stops and time to first stop	Total Decompression Time	Elapsed Time from Start of Descent						
				Bottom Gas Breathing						Air Breathing						O2 Breathing												
				54	51	48	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9				6					
① 0.70 < P ≤ 0.75 ② bottom gas 88%heliox 12%O2	45 = 10 + 20 + 15	5								10	10	10	10	10	10	10	10	20	85	210	195	240						
	Stop time required									3.1	0	0.3	1.5	0	0	0	0	1.8	19.9	104.1								
	Critical compartment									3	4	4	4	4	4	4	5	5	6	8								
	60 = 10 + 20 + 30	4								10	10	10	10	10	10	10	10	20	35	115	274	274	334					
	Stop time required									1.3	2.4	4.3	6.5	3.5	0	0	0.6	4.1	12.3	30.7	47.0	140.5						
	Critical compartment									4	4	4	4	4	4	4	5	5	6	7	7	9						
	75 = 10 + 20 + 45	4									10	10	10	10	10	10	10	25	35	50	125	329	329	404				
	Stop time required										10.5	10.4	11.2	12.5	6.7	7.1	8.3	10.3	18.4	35.8	43.0	57.6	139.6					
	Critical compartment										4	4	4	4	4	5	5	5	6	7	7	9	9					
	90 = 10 + 20 + 60	4									10	10	10	10	15	15	15	15	25	30	35	50	125	379	379	486		
	Stop time required										6.9	6.4	7.2	8.4	18.2	12.5	7.8	4.1	9.9	21.0	25.5	42.5	58.8	141.8				
	Critical compartment										4	4	4	4	4	5	5	5	5	7	7	9	9	9				
120 = 10 + 20 + 90	4									10	10	10	20	25	25	25	25	25	35	50	50	130	479	479	589			
Stop time required										2.3	2.3	3.1	11.4	24.4	28.4	13.7	9.5	6.9	11.8	25.6	42.8	54.5	56.9	138.9				
Critical compartment										4	4	4	4	5	5	7	7	7	9	9	9	9	9	9				
① 0.75 < P ≤ 0.80 ② bottom gas 88%heliox 12%O2	45 = 10 + 20 + 15	5								10	10	10	10	10	10	10	10	15	15	30	80	235	215	260				
	Stop time required									3.0	0	0	1.8	1.9	0	0	0	0	0	5.5	22.1	106.4						
	Critical compartment									3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	6	7	9						
	60 = 10 + 20 + 30	5								10	10	10	10	10	10	10	10	25	25	35	120	310	310	370				
	Stop time required									1.6	2.1	3.5	5.2	7.3	3.8	1.4	2.7	5.0	8.4	21.4	28.9	45.1	142.0					
	Critical compartment									4	4	4	4	4	4	4	5	5	6	7	7	9	9					
	75 = 10 + 20 + 45	5									10	10	10	15	15	15	15	15	15	20	35	50	125	370	370	445		
	Stop time required										10.8	10.2	10.6	11.4	9	7.6	3.1	0	9.6	23.8	44.0	61.3	143.2					
	Critical compartment										4	4	4	4	4	5	5	5	6	7	7	9	9	9				
	90 = 10 + 20 + 60	4									10	10	10	15	15	20	20	20	20	20	60	80	110	434	434	524		
	Stop time required										7.4	6.8	7.0	7.7	10.3	20.5	9.8	0.3	0	4.1	10.7	32.4	59.0	51.6	124.1			
	Critical compartment										4	4	4	4	4	5	5	5	5	7	7	7	9	9	9			
120 = 10 + 20 + 90	4									10	10	10	20	30	30	40	40	40	40	40	40	50	85	539	536	655		
Stop time required										3.7	3.1	3.4	10.3	22.3	25.3	29.1	18.9	0	0	0	0	10.3	93.8					
Critical compartment										4	4	4	4	5	5	7	7	7	9	9	9	9	9	9				

Red font - results of table calculation check

- Stop times required are longer than actual stop time
- Actual first stop too shallow, should be here
- Sum of stop times and ascent times do not add up to total decompression time

Table 2c: Summary of results - table calculation check for Heliox Table 3 - 70 < P ≤ 88 msw

① Working pressure (Mpa)	② bottom gas % heliox % O2	Total Bottom Time	Time to first stop	Decompression Stop Depths and Decompression Stop Times															Sum of decompression stops and time to first stop	Total Decompression Time	Elapsed Time from Start of Descent			
				Bottom Gas Breathing					Air Breathing					O2 Breathing										
				54	51	48	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12				9	6	
① 0.80 < P ≤ 0.85 ② bottom gas 88%heliox 12%O2	45 = 11 + 20 + 14	5					10	0	10	0	10	10	0	10	0	15	15	15	25	100	225	225	270	
	Stop time required						2.9		5.5		17.5	7.6		7.7		20.5	20.5	26.2	42.6	131.3				
	Critical compartment						3		4		4	4		4		5	5	6	7	9				
	60 = 11 + 20 + 29	5			10	10	10	10	10	10	10	10	0	15	15	15	15	35	40	125	335	335	395	
	Stop time required				1.7	1.8	2.7	4.0	5.6	7.7	5			16.1	13.6	16.3	28.4	45.5	58.2	150.8				
	Critical compartment				4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	6	7	7	9	9				
	75 = 11 + 20 + 44	5		*	10	10	10	10	10	10	15	20	0	10	15	25	35	40	50	125	390	390	465	
	Stop time required			*	11.1	10.1	9.9	10.3	11.1	23.1	12.4			13.7	24.3	35.5	39.3	50.9	63.1	145.0				
	Critical compartment				4	4	4	4	4	4	5	5	5	6	7	7	7	9	9	9				
	90 = 11 + 20 + 59	5			10	10	10	10	10	20	20	20	20	20	20	20	40	50	50	125	470	470	560	
	Stop time required				8.2	7	6.8	7.1	11.2	15.6	20.8	9.9	6.2	8.6	12.9	27.9	50.0	56.6	59.0	141.0				
	Critical compartment				4	4	4	4	4	5	5	5	7	7	7	9	9	9	9	9				
120 = 11 + 20 + 89	4	10	10	10	10	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	50	60	60	100	564	564	704		
Stop time required				5.0	3.9	3.6	9.4	20.4	13.7	12	43.2	23	19.8	22.7	28.2	36.7	48.8	45.7	38.7	111.6				
Critical compartment				4	4	4	4	5	5	5	7	7	7	9	9	9	9	9	9					
① 0.85 < P ≤ 0.88 ② bottom gas 88%heliox 12%O2	45 = 12 + 20 + 13	5				10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20	30	110	285	285	325		
	Stop time required						1.4	0	0	0	0	1.5	1.8	0	0	0	2.1	9.7	27.5	43.9	141.0			
	Critical compartment						3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	6	7	7	9				
	60 = 12 + 20 + 28	5			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20	25	30	55	120	365	365	425	
	Stop time required				0.1	0	0	0.4	2.0	3.9	6.2	7.0	7.4	8.6	11.1	22.8	31.8	41.4	63.6	140.6				
	Critical compartment				3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	6	7	7	9	9				
	75 = 12 + 20 + 43	5			10	10	10	10	10	10	10	20	20	20	20	20	30	45	50	120	430	430	505	
	Stop time required				8.1	6.9	6.7	7.0	7.7	12.9	27.1	12.1	2.5	0	1.4	8.1	24.2	41.2	48.9	131.2				
	Critical compartment				4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	7	7	7	9	9	9				
	82 = 12 + 20 + 50	5	*		10	10	10	10	10	20	20	20	20	20	20	20	40	50	60	125	470	475	557	
	Stop time required			*	10.8	9.4	8.9	8.9	9.4	22.6	26.8	12.0	3.8	5.3	9.6	18.4	40.7	47.6	50.2	122.8				
	Critical compartment				4	4	4	4	4	4	5	5	5	6	7	7	9	9	9	9				
90 = 12 + 20 + 58	5	*		10	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30	40	50	75	100	500	510	600	
Stop time required			*	13.2	11.5	10.8	10.6	10.9	15.4	20.6	10.3	10.6	12.9	18.3	27.1	39.4	46.3	48.9	107.0					
Critical compartment				4	4	4	4	4	5	5	5	6	7	7	9	9	9	9	9					

Red font - results of table calculation check

- Stop times required are longer than actual stop time
- * Actual first stop too shallow, should be here
- Sum of stop times and ascent times do not add up to total decompression time

ANNEX 1

COMPARISON OF NUMERICAL INTEGRATION METHOD WITH EXACT SOLUTIONS FOR EXAMPLE CALCULATION (70 MSW FOR 240 MIN)

Annex 1a – Switch to air on arrival at 30 msw

Annex 1b – Switch to air on leaving for 30 msw

Annex 1a. Comparison of P_{He} and stop times from numerical integration method with solutions from exponential equation for 70 msw example calculations (switch to air at 30 msw)

Time	Depth	Est. Stop time*	Actual stop time**	Safe Deco Depth	Critical Comp #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	He	
						5	10	20	40	80	120	160	200	240		
0	0			-7.0	6	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	0.8	
1	70			-8.9	6	11.89	9.99	9.01	8.51	8.25	8.17	8.13	8.10	8.08	0.8	
2	70			-5.0	1	18.64	13.61	10.88	9.46	8.74	8.49	8.37	8.30	8.25	0.8	
3	70			-1.1	1	24.51	16.99	12.69	10.40	9.21	8.81	8.61	8.49	8.41	0.8	
100	70			32.5	3	64.00	63.94	62.22	54.02	40.36	32.49	27.61	24.34	21.99	0.8	
200	70			36.7	4	64.00	64.00	63.94	62.23	54.06	46.31	40.41	35.95	32.53	0.8	
239	70			37.4	4	64	64	63.99	63.1	56.91	49.88	44.07	39.5	35.88	0.8	
240	70			37.4	4	64	64	63.99	63.12	56.97	49.96	44.16	39.58	35.96	0.8	
PHe calculated from exponential equation						64.00	64.00	63.99	63.12	56.97	49.96	44.16	39.58	35.96		
Dive to 39 msw						M39	84.6	77.0	70.7	65.0	63.8	63.2	59.3	59.0	55.1	
243.87	39			36.8	4	68.34	60.92	62.38	62.35	56.79	49.99	44.28	39.74	36.13	0.8	
246.38	39	2.5		36.0	4	62.73	57.46	60.45	61.37	56.41	49.84	44.23	39.74	36.16	0.8	
Calculated from exponential equation						62.72	57.45	60.45	61.36	56.41	49.83	44.23	39.74	36.15		
Stop time calculated from In equation						M36	80.1	72.8	66.8	61.4	60.2	59.6	56.0	55.7	52.1	
Stop time calculated from In equation										-2.4						
253.88	39		10	33.7	4	43.98	50.06	55.59	58.67	55.33	49.39	44.07	39.72	36.22	0.8	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						43.98	50.06	55.59	58.66	55.33	49.38	44.06	39.72	36.22		
254.25	36			33.6	4	43.67	49.75	55.36	58.53	55.27	49.36	44.06	39.72	36.22	0.8	
256.25	36	2.0		33.0	4	42.01	48.07	54.12	57.79	54.95	49.22	43.99	39.70	36.23	0.8	
Calculated from exponential equation						42.01	48.07	54.12	57.79	54.95	49.22	44.00	39.70	36.22		
Stop time calculated from In equation						M33	75.6	68.6	62.9	57.8	56.6	56.0	52.7	52.4	49.1	
Stop time calculated from In equation										-2.0						
258.88	36		5	32.2	4	40.42	46.19	52.61	56.86	54.54	49.03	43.91	39.67	36.23	0.8	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						40.42	46.20	52.61	56.86	54.54	49.03	43.92	39.67	36.23		
259.25	33			32.1	4	40.17	45.92	52.39	56.72	54.48	49.00	43.90	39.67	36.23	0.8	
268.15	33	8.8		30.0	5	36.08	40.62	47.61	53.53	52.99	48.27	43.54	39.51	36.18	0.8	
Calculated from exponential equation						36.08	40.62	47.62	53.53	52.99	48.27	43.54	39.51	36.18		
Stop time calculated from In equation						M30	71.1	64.4	59.0	54.2	53.0	52.4	49.4	49.1	46.1	
Stop time calculated from In equation										-6.9	-8.8					
268.88	33		10	29.9	5	35.92	40.31	47.29	53.29	52.87	48.21	43.51	39.50	36.18	0.8	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						35.92	40.31	47.29	53.29	52.87	48.21	43.51	39.50	36.18		

Calculated by exponential equation to check P_{He} values after stop time required
 Calculated by exponential equation to check P_{He} values for actual stop time used
 Calculated by solving for t for the decay from start of decompression stop to M-value.
 * Estimated stop time does not include ascent time from previous stop (under-estimated)
 ** Actual stop time includes ascent time from previous stop

Annex 1a. Comparison of P_{He} and stop times from numerical integration method with solutions from exponential equation for 70 msw example calculations (switch to air at 30 msw)

Time	Depth	Est. Stop time*	Actual stop time**	Safe Deco Depth	Critical Comp #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	He	
						5	10	20	40	80	120	160	200	240		
Dive to 30 msw																
269.28	30			29.8	5	35.78	40.11	47.09	53.15	52.81	48.18	43.49	39.49	36.18	0.2	
Fraction inert changed to 0.2																
278.48	30	9.2		27.0	5	15.75	24.97	36.41	48.49	49.37	46.10	42.10	38.50	35.44	0.2	
Calculated from exponential equation						15.78	24.97	36.42	46.50	49.38	46.10	42.10	38.50	35.44		
Stop time calculated from In equation						66.6	60.2	55.1	50.6	49.4	48.8	46.1	45.8	43.1		
278.88	30	10	26.9	26.9	5	15.34	24.51	36.02	48.23	49.23	46.01	42.04	38.46	35.40	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						15.34	24.51	36.03	48.23	49.23	46.01	42.04	38.46	35.41		
279.28	27			26.7	5	14.92	24.04	35.63	45.98	49.08	45.92	41.98	38.41	35.37	0.2	
288.78	27	9.5		24.0	5	9.42	16.02	27.71	40.11	45.79	43.86	40.59	37.41	34.61	0.2	
Calculated from exponential equation						9.42	16.01	27.71	40.11	45.79	43.86	40.59	37.41	34.61		
Stop time calculated from In equation						M24	62.1	56.0	51.2	47.0	45.8	45.2	42.8	42.5	40.1	
288.88	27	10	24.0	24.0	5	9.39	15.96	27.64	40.05	45.76	43.84	40.58	37.40	34.61	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						9.39	15.96	27.64	40.05	45.75	43.84	40.57	37.40	34.61		
289.28	24			23.9	5	9.28	15.72	27.36	39.82	45.62	43.78	40.52	37.36	34.58	0.2	
299.98	24	10.7		21.0	5	7.36	11.05	20.99	34.24	42.19	41.54	38.99	36.24	33.73	0.2	
Calculated from exponential equation						7.36	11.05	20.99	34.23	42.18	41.55	38.99	36.25	33.73		
Stop time calculated from In equation						M21	57.6	51.8	47.3	43.4	42.2	41.6	39.5	39.2	37.1	
303.88	24	15	20.3	20.3	6	7.13	10.04	19.20	32.44	41.01	40.77	38.45	35.85	33.43	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						7.13	10.04	19.20	32.44	41.01	40.77	38.45	35.85	33.43		
304.28	21			20.2	6	7.09	9.94	19.02	32.28	40.89	40.69	38.40	35.81	33.40	0.2	
320.68	21	16.4		18.0	7	6.29	7.40	13.46	25.82	36.30	37.57	36.19	34.17	32.14	0.2	
Calculated from exponential equation						6.29	7.40	13.46	25.81	36.30	37.57	36.19	34.17	32.14		
Stop time calculated from In equation						M18	53.1	47.6	43.4	39.8	38.6	38.0	36.2	35.9	34.1	
323.88	21	20	17.6	17.6	7	6.26	7.18	12.70	24.78	35.47	37.00	35.77	33.86	31.90	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						6.26	7.18	12.70	24.78	35.47	37.00	35.78	33.87	31.90		
324.28	18			17.6	7	6.24	7.13	12.61	24.63	35.37	36.92	35.72	33.82	31.87	0.2	
347.08	18	22.8		15.0	7	5.63	5.91	8.78	18.42	30.03	33.06	32.89	31.68	30.20	0.2	
Calculated from exponential equation						5.63	5.92	8.78	18.42	30.03	33.06	32.89	31.68	30.20		
Stop time calculated from In equation						M15	48.6	43.4	39.5	36.2	35.0	34.4	32.9	32.6	31.1	
348.88	18	25	14.8	14.8	7	5.62	5.88	8.59	18.03	29.66	32.78	32.68	31.52	30.07	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						5.62	5.88	8.59	18.03	29.66	32.77	32.68	31.51	30.07		

Page 2 of 7

Annex 1a. Comparison of P_{He} and stop times from numerical integration method with solutions from exponential equation for 70 msw example calculations (switch to air at 30 msw)

Time	Depth	Est. Stop time*	Actual stop time**	Safe Deco Depth	Critical Comp #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	He	
						5	10	20	40	80	120	160	200	240		
349.28	15			14.8	7	5.60	5.86	8.54	17.94	29.57	32.71	32.63	31.48	30.04	0.2	
377.28	15	28.0		12.0	9	5.01	5.12	6.34	12.96	24.28	28.57	29.47	29.03	28.06	0.2	
Calculated from exponential equation						5.01	5.12	6.34	12.97	24.28	28.57	29.47	29.03	28.10		
Stop time calculated from In equation						M12	44.1	39.2	35.6	32.6	31.4	30.8	29.6	29.3	28.1	
378.88	15	30	11.9	11.9	9	5.01	5.11	6.27	12.75	24.01	28.36	29.31	28.90	27.99	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						5.01	5.11	6.27	12.75	24.01	28.36	29.31	28.90	27.99		
379.28	12			11.9	9	4.99	5.10	6.25	12.69	23.95	28.30	29.28	28.87	27.98	0.2	
424.18	12	44.9		9.0	9	4.40	4.43	4.79	8.21	17.65	22.84	24.87	25.34	25.10	0.2	
Calculated from exponential equation						4.40	4.43	4.79	8.21	17.65	22.84	24.87	25.34	25.10		
Stop time calculated from In equation						M9	39.6	35.0	31.7	29.0	27.8	27.2	26.3	26.0	25.1	
428.88	12	50	8.7	8.7	9	4.40	4.42	4.73	7.91	17.12	22.35	24.46	25.00	24.82	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						4.40	4.42	4.73	7.91	17.12	22.35	24.45	25.01	24.82		
429.28	9			8.7	9	4.38	4.41	4.72	7.88	17.07	22.31	24.42	24.97	24.79	0.2	
476.88	9	47.6		6.0	9	3.80	3.82	3.98	5.99	12.59	17.86	20.58	21.75	22.10	0.2	
Calculated from exponential equation						3.80	3.82	3.98	5.99	12.59	17.86	20.58	21.75	22.09		
Stop time calculated from In equation						M6	35.1	30.8	27.8	25.4	24.2	23.6	23.0	22.7	22.1	
478.88	9	50	5.9	5.9	9	3.80	3.82	3.97	5.53	12.44	17.70	20.43	21.63	21.99	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						3.80	3.82	3.96	5.53	12.44	17.70	20.43	21.63	21.99		
479.28	6			5.9	9	3.78	3.81	3.96	5.51	12.41	17.66	20.40	21.60	21.97	0.2	
609.18	6	129.9		0.0	9	3.20	3.20	3.21	3.44	6.19	10.03	13.00	14.93	16.10	0.2	
Calculated from exponential equation						3.20	3.20	3.21	3.44	6.19	10.03	13.00	14.93	16.10		
Stop time calculated from In equation						M0	26.1	22.4	20.0	18.2	17.0	16.4	16.4	16.1	16.1	
613.88	6	135	-0.2	-0.2	9	3.20	3.20	3.21	3.42	6.07	9.85	12.80	14.74	15.92	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						3.20	3.20	3.21	3.42	6.07	9.85	12.80	14.74	15.93		
614.63	0			-0.2	9	3.14	3.17	3.19	3.41	6.05	9.82	12.77	14.71	15.90	0.2	

- Calculated by exponential equation to check P_{He} values after stop time required
- Calculated by exponential equation to check P_{He} values for actual stop time used
- Calculated by solving for t for the decay from start of decompression stop to M-value.
- * Estimated stop time does not include ascent time from previous stop (under-estimated)
- ** Actual stop time includes ascent time from previous stop

Page 3 of 7

Annex 1b. Comparison of P_{He} from numerical integration method with Japanese method of using average depth during travel

Time	Depth	Safe Deco Depth	Critical Comp #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	He
				5	10	20	40	80	120	160	200	240	
0	0	-7.0	6	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	0.8
	35	Calc on average depth for desc. time		11.62	9.87	8.95	8.48	8.24	8.16	8.12	8.10	8.08	0.8
1	70	-6.9	6	11.89	9.99	9.01	8.51	8.25	8.17	8.13	8.10	8.08	0.8
2	70	-5.0	1	18.64	13.61	10.88	9.46	8.74	8.49	8.37	8.30	8.25	0.8
3	70	-1.1	1	24.51	16.99	12.69	10.40	9.21	8.81	8.61	8.49	8.41	0.8
100	70	32.5	3	64.00	63.94	62.22	54.02	40.36	32.49	27.61	24.34	21.99	0.8
200	70	36.7	4	64.00	64.00	63.94	62.23	54.06	46.31	40.41	35.95	32.53	0.8
239	70	37.4	4	64.00	64.00	63.99	63.1	56.91	49.88	44.07	39.5	35.88	0.8
240	70	37.4	4	64.00	64.00	63.99	63.12	56.97	49.96	44.16	39.58	35.96	0.8
240	70	Based on average depth for desc time		64.00	64.00	63.99	63.12	56.97	49.96	44.15	39.58	35.96	0.8
Dive to 39 msw													
241	66	Calc on average depth for asc. interval		63.59	63.79	63.88	63.08	57.00	50.02	44.23	39.65	36.03	0.8
242	58	Calc on average depth for asc. interval		62.40	63.16	63.55	62.93	56.98	50.04	44.27	39.70	36.08	0.8
243	50	Calc on average depth for asc. interval		60.53	62.14	63.03	62.67	56.90	50.03	44.29	39.73	36.11	0.8
243.87	42.5	Calc on average depth for asc. interval		58.43	60.96	62.40	62.36	56.79	49.99	44.28	39.74	36.13	0.8
243.87	39	36.8	4	58.34	60.92	62.38	62.35	56.79	49.99	44.28	39.74	36.13	0.8

Note: All black font values have been calculated with the numerical integration method
 Red bold font values are calculated by exponential equation based on average depth during the travel interval
 Black bold font values are those for comparison with the average depth method

Annex 1c. Comparison of P_{He} and stop times from numerical integration method with solutions from exponential equation for 70 msw example calculations (switch to air on leaving for 30 msw)

Time	Depth	Est. Stop time*	Actual stop time**	Safe Deco Depth	Critical Comp #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	He
						5	10	20	40	80	120	160	200	240	
0	0			-7.0	6	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	0.8
1	70			-6.9	6	11.89	9.99	9.01	8.51	8.25	8.17	8.13	8.10	8.08	0.8
2	70			-5.0	1	18.64	13.61	10.88	9.46	8.74	8.49	8.37	8.30	8.25	0.8
3	70			-1.1	1	24.51	16.99	12.69	10.40	9.21	8.81	8.61	8.49	8.41	0.8
100	70			32.5	3	64.00	63.94	62.22	54.02	40.36	32.49	27.61	24.34	21.99	0.8
200	70			36.7	4	64.00	64.00	63.94	62.23	54.06	46.31	40.41	35.95	32.53	0.8
238	70			37.4	4	64.00	64.00	63.99	63.09	56.85	49.80	43.99	39.41	35.80	0.8
239	70			37.4	4	64.00	64.00	63.99	63.10	56.91	49.88	44.07	39.50	35.88	0.8
240	70			37.4	4	64.00	64.00	63.99	63.12	56.97	49.96	44.16	39.58	35.96	0.8
P _{He} calculated from exponential equation						64.00	64.00	63.99	63.12	56.97	49.96	44.16	39.58	35.96	
Dive to 39 msw						M39	84.6	77.0	70.7	65.0	63.8	63.2	59.3	59.0	55.1
243.87	39			36.8	4	58.34	60.92	62.38	62.35	56.79	49.99	44.28	39.74	36.13	0.8
246.38	39	2.5		36.0	4	52.73	57.46	60.45	61.37	56.41	49.84	44.23	39.74	36.16	0.8
Calculated from exponential equation						52.72	57.45	60.45	61.36	56.41	49.83	44.23	39.74	36.15	
Stop time calculated from ln equation						M36	80.1	72.8	66.8	61.4	60.2	59.6	56.0	55.7	52.1
Stop time calculated from ln equation										-2.4					
253.88	39	10	33.7	4	43.98	50.06	55.59	58.67	56.33	49.39	44.07	39.72	36.22	0.8	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						43.98	50.06	55.59	58.66	56.33	49.38	44.06	39.72	36.22	
254.25	36			33.61	4	43.87	49.75	55.36	58.53	56.27	49.36	44.06	39.72	36.22	0.8
256.25	36	2.0		32.99	4	42.01	48.07	54.12	57.79	54.95	49.22	43.99	39.70	36.23	0.8
Calculated from exponential equation						42.01	48.07	54.12	57.79	54.95	49.22	44.00	39.70	36.22	
Stop time calculated from ln equation						M33	75.6	68.6	62.9	57.8	56.6	56.0	52.7	52.4	49.1
Stop time calculated from ln equation										-2.0					
258.88	36	5	32.2	4	40.42	46.19	52.61	56.86	54.54	49.03	43.91	39.67	36.23	0.8	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						40.42	46.20	52.61	56.86	54.54	49.03	43.92	39.67	36.23	
259.25	33			32.1	4	40.17	45.92	52.39	56.72	54.48	49.00	43.90	39.67	36.23	0.8
268.15	33	8.9		30.0	5	36.08	40.62	47.61	53.53	52.99	48.27	43.54	39.51	36.18	0.8
Calculated from exponential equation						36.08	40.62	47.62	53.53	52.99	48.27	43.54	39.51	36.18	
Stop time calculated from ln equation						M30	71.1	64.4	59.0	54.2	53.0	52.4	49.4	49.1	46.1
Stop time calculated from ln equation										-6.9					
268.88	33	10	29.9	5	35.92	40.31	47.29	53.29	52.87	48.21	43.51	39.50	36.18	0.8	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						35.92	40.31	47.29	53.29	52.87	48.21	43.51	39.50	36.18	

Calculated by exponential equation to check P_{He} values after stop time required
 Calculated by exponential equation to check P_{He} values for actual stop time used
 Calculated by solving for t for the decay from start of decompression stop to M-value.
 * Estimated stop time does not include ascent time from previous stop (under-estimated)
 ** Actual stop time includes ascent time from previous stop

Annex 1c. Comparison of P_{He} and stop times from numerical integration method with solutions from exponential equation for 70 msw example calculations (switch to air on leaving for 30 msw)

Time	Depth	Est. Stop time*	Actual stop time**	Safe Deco Depth	Critical Comp #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	He	
						5	10	20	40	80	120	160	200	240		
Fraction inert changed to 0.2																
Dive to 30 msw																
269.28	30			29.8	5	34.43	39.44	46.75	52.98	52.72	48.12	43.45	39.45	36.15	0.2	
278.18	30	8.9		27.0	5	15.69	24.96	36.48	48.55	49.40	46.11	42.11	38.50	35.43	0.2	
Calculated from exponential equation						15.70	24.97	36.47	46.55	49.40	46.11	42.11	38.49	35.44		
Stop time calculated from In equation						66.6	60.2	55.1	50.6	49.4	48.8	46.1	45.8	43.1		
278.88	30	10	26.8	5		14.98	24.16	35.78	46.08	49.15	45.95	42.00	38.42	35.38	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						14.99	24.16	35.78	46.09	49.15	45.96	42.01	38.42	35.38		
279.28	27		26.7	5		14.59	23.71	35.39	45.82	49.01	45.87	41.94	38.38	35.34	0.2	
288.56	27	9.3		24.0	5	9.38	15.96	27.68	40.10	45.78	43.85	40.58	37.40	34.60	0.2	
PHe calculated from exponential equation						9.38	15.96	27.68	40.10	45.79	43.86	40.58	37.40	34.60		
Stop time calculated from In equation						M27	62.1	56.0	51.2	47.0	45.8	45.2	42.8	42.5	40.1	
288.88	27	10	23.9	5		9.30	15.78	27.47	39.93	45.68	43.79	40.54	37.37	34.58	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						9.30	15.79	27.47	39.93	45.69	43.80	40.53	37.37	34.58		
289.28	24		23.8	5		9.18	15.55	27.19	39.70	45.55	43.71	40.48	37.32	34.55	0.2	
299.78	24	10.5		21.0	5	7.35	11.03	20.97	34.23	42.18	41.53	38.98	36.23	33.72	0.2	
Calculated from exponential equation						7.36	11.03	20.97	34.23	42.18	41.54	38.98	36.23	33.72		
Stop time calculated from In equation						M21	57.6	51.8	47.3	43.4	42.2	41.6	39.5	39.2	37.1	
303.88	24	15	20.3	6		7.11	9.98	19.10	32.35	40.95	40.72	38.41	35.82	33.40	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						7.11	9.98	19.09	32.35	40.95	40.73	38.42	35.81	33.40		
304.28	21		20.2	6		7.08	9.88	18.92	32.17	40.83	40.64	38.36	35.78	33.37	0.2	
320.38	21	16.1		18.0	7	6.29	7.41	13.48	25.85	36.32	37.58	36.19	34.17	32.14	0.2	
Calculated from exponential equation						6.29	7.41	13.48	25.85	36.32	37.58	36.19	34.18	32.14		
Stop time calculated from In equation						M18	53.1	47.6	43.4	39.8	38.6	38.0	36.2	35.9	34.1	
323.88	21	20	17.6	7		6.26	7.15	12.65	24.69	35.42	36.96	35.74	33.84	31.88	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						6.26	7.15	12.65	24.69	35.42	36.95	35.74	33.84	31.88		
324.28	18		17.5	7		6.24	7.11	12.56	24.56	35.32	36.88	35.69	33.80	31.85	0.2	
346.78	18	22.5		15.0	7	5.63	5.92	8.79	18.44	30.05	33.07	32.89	31.68	30.19	0.2	
Calculated from exponential equation						5.63	5.92	8.79	18.44	30.06	33.07	32.90	31.68	30.20		
Stop time calculated from In equation						M15	48.6	43.4	39.5	36.2	35.0	34.4	32.9	32.6	31.1	
348.88	18	25	14.8	7		5.62	5.88	8.57	17.98	29.61	32.74	32.65	31.49	30.05	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						5.62	5.87	8.57	17.98	29.62	32.74	32.65	31.50	30.05		

Annex 1c. Comparison of P_{He} and stop times from numerical integration method with solutions from exponential equation for 70 msw example calculations (switch to air on leaving for 30 msw)

Time	Depth	Est. Stop time*	Actual stop time**	Safe Deco Depth	Critical Comp #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	He	
						5	10	20	40	80	120	160	200	240		
349.28	15			14.7	7	5.60	5.86	8.52	17.89	29.53	32.68	32.80	31.46	30.02	0.2	
376.98	15	27.7		12.0	9	5.01	5.13	6.35	12.98	24.30	28.58	29.48	29.03	28.09	0.2	
Calculated from exponential equation						5.01	5.13	6.35	12.98	24.30	28.59	29.48	29.04	28.10		
Stop time calculated from In equation						M12	44.1	39.2	35.6	32.6	31.4	30.8	29.6	29.3	28.1	
378.88	15	30	11.9	9		5.01	5.11	6.26	12.72	23.98	28.33	29.28	28.88	27.97	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						5.01	5.11	6.26	12.72	23.98	28.33	29.28	28.88	27.97		
379.28	12		11.8	9		4.99	5.10	6.24	12.67	23.91	28.27	29.24	28.84	27.94	0.2	
423.88	12	44.6		9.0	9	4.40	4.43	4.79	8.22	17.86	22.85	24.87	25.34	25.10	0.2	
Calculated from exponential equation						4.40	4.43	4.79	8.22	17.86	22.85	24.88	25.34	25.10		
Stop time calculated from In equation						M9	39.6	35.0	31.7	29.0	27.8	27.2	26.3	26.0	25.1	
428.88	12	50	8.7	9		4.40	4.42	4.73	7.90	17.10	22.33	24.43	24.98	24.80	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						4.40	4.42	4.73	7.90	17.10	22.32	24.44	24.98	24.80		
429.28	9		8.7	9		4.38	4.41	4.72	7.87	17.05	22.28	24.40	24.95	24.78	0.2	
476.56	9	47.3		6.0	9	3.80	3.82	3.98	5.59	12.60	17.86	20.58	21.76	22.10	0.2	
Calculated from exponential equation						3.80	3.82	3.98	5.59	12.60	17.86	20.58	21.75	22.10		
Stop time calculated from In equation						M6	35.1	30.8	27.8	25.4	24.2	23.6	23.0	22.7	22.1	
478.88	9	50	5.9	9		3.80	3.82	3.97	5.52	12.42	17.68	20.42	21.61	21.98	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						3.80	3.82	3.98	5.52	12.42	17.68	20.42	21.61	21.98		
479.28	6		5.9	9		3.78	3.81	3.96	5.51	12.39	17.65	20.39	21.59	21.95	0.2	
608.88	6	129.6		0.0	9	3.20	3.20	3.21	3.44	6.19	10.03	13.00	14.93	16.10	0.2	
Calculated from exponential equation						3.20	3.20	3.21	3.44	6.19	10.04	13.01	14.94	16.10		
Stop time calculated from In equation						M0	26.1	22.4	20.0	18.2	17.0	16.4	16.4	16.1	16.1	
613.88	6	135	-0.2	9		3.20	3.20	3.21	3.42	6.06	9.84	12.79	14.73	15.91	0.2	
Calculated from exponential eqn for actual stop time						3.20	3.20	3.21	3.42	6.06	9.84	12.80	14.74	15.91		
614.63	0		-0.2	9		3.14	3.17	3.19	3.41	6.04	9.81	12.76	14.70	15.89	0.2	

 Calculated by exponential equation to check P_{He} values after stop time required
 Calculated by exponential equation to check P_{He} values for actual stop time used
 Calculated by solving for t for the decay from start of decompression stop to M-value.
 * Estimated stop time does not include ascent time from previous stop (under-estimated)
 ** Actual stop time includes ascent time from previous stop