

表3-31 日本版・繰返しグループ指標とU.S.Nの比較

区分	U.S.N.潜水教範 (Lesson20、1981:「原著」と略称)				提 案	
	原著より	提案者による原著数値の換算				
指標	D(fsw)	Dのfswからmswへの換算案 ()内は間隔(m)	PN ₂ 換算 (fsw) 0.79×D	PN ₂ 換算 (atm) 0.79D/33.07	D(m) ()内は区間気圧	PN ₂ 換算 (atm) 0.79×(D/10.038)
A	34.0~34.9	10.36~10.64 (0.28)	26.86~27.57	0.812~0.834	10.3<D≤10.6 (0.3)	0.811<PN ₂ ≤0.834
B	35.0~36.9	10.67~11.24 (0.57)	27.65~29.15	0.836~0.881	10.6<D≤11.0 (0.4)	0.834<PN ₂ ≤0.866
C	37.0~38.9	11.28~11.85 (0.57)	29.23~30.73	0.884~0.929	11.0<D≤11.5 (0.5)	0.866<PN ₂ ≤0.905
D	39.0~40.9	11.89~12.47 (0.58)	30.81~32.31	0.932~0.977	11.5<D≤12.0 (0.5)	0.905<PN ₂ ≤0.944
E	41.0~42.9	12.49~13.08 (0.59)	32.39~33.89	0.979~1.025	12.0<D≤12.5 (0.5)	0.944<PN ₂ ≤0.984
F	43.0~44.9	13.11~13.69 (0.58)	33.97~35.47	1.027~1.073	12.5<D≤13.0 (0.5)	0.984<PN ₂ ≤1.023
G	45.0~46.9	13.72~14.29 (0.57)	35.55~37.05	1.075~1.120	13.5<D≤14.0 (0.5)	1.023<PN ₂ ≤1.102
H	47.0~48.9	14.33~14.90 (0.57)	37.13~38.63	1.123~1.168	14.0<D≤14.5 (0.5)	1.102<PN ₂ ≤1.141
I	49.0~50.9	14.94~15.51 (0.57)	38.71~40.21	1.171~1.216	14.5<D≤15.0 (0.5)	1.141<PN ₂ ≤1.181
J	51.0~52.9	15.54~16.12 (0.58)	40.29~41.79	1.218~1.263	15.0<D≤15.5 (0.5)	1.181<PN ₂ ≤1.220
K	53.0~54.9	16.15~16.73(0.58)	41.87~43.37	1.266~1.311	15.5<D≤16.0(0.5)	1.220<PN ₂ ≤1.259
L	55.0~56.9	16.76~17.34 (0.58)	43.45~44.95	1.314~1.359	16.0<D≤16.5 (0.5)	1.259<PN ₂ ≤1.299
M	57.0~58.9	17.37~17.95 (0.58)	45.03~46.53	1.362~1.407	16.5<D≤17.0 (0.5)	1.299<PN ₂ ≤1.338
N	59.0~60.9	17.98~18.56 (0.58)	46.61~48.11	1.409~1.455	17.0<D≤17.5 (0.5)	1.338<PN ₂ ≤1.377
O	61.0~62.9	18.59~19.17(0.58)	48.19~49.69	1.457~1.502	17.5<D≤18.0(0.5)	1.377<PN ₂ ≤1.417
P						
Q						
Z	63.0~64.0	19.20~19.51 (0.31)	49.77~50.56	1.505~1.529		

※120分組織の窒素M値は大気圧帰還（水面浮上）可能な窒素分圧15.8 mswを設定している。

3-1-4. 減圧停止不要高気圧作業の実作業気圧区分と作業時間

表3-32は潜水教範1981・Table2の日本版で「減圧停止不要作業管理表」と名づけることにした。先に設定した繰返しグループ指標が示す窒素分圧の範囲に収まる潜水であれば減圧停止不要潜水と言える。すなわち実潜水深度が30mであっても潜水時間が短くて水面浮上時までに体内窒素分圧が繰返しグループ指標が示す窒素分圧以下に収まっていればということである。

米国海軍は、このような深度を最深190fsw(59.9m)、5分の滞底（水面浮上まで）を許容している。潜水では、海底や水中の状況把握のためにこの程度の潜水も要求されるが、高気圧作業では、短すぎる。ニューマチックケーソンの高気圧作業用には、エアロックと作業室間の昇降時間に作業室で要求される作業時間も加味しなければならない。さらには、高気圧環境に連日暴露される作業員以外の特殊作業員例えば電気技術者の入函なども考えられるので、作業時間には余裕をもたせたい。窒素酔い対策も配慮しなければならない。以上を勘案して、高気圧作業用の減圧停止不要範囲は作業気圧0.30MPa（水深換算 $dg=100fsw \div 30.5m$ ）を限界に設定する。なお、米国海軍はこの規模で25分の減圧停止不要潜水を容認している。最小作業気圧は0.03MPaとする。これらに高圧則が設定している圧力区分を踏襲して表3-32の左端のような減圧停止不要高気圧作業の気圧Dを提案する。表3-32の作業可能時間は1981・Table2の再現試算と同じ要領で作成できる。表3-32では用紙の都合で数値の一部のみを計算している。

表3-32 減圧停止不要作業管理表

気 圧 dg(m) MPa	減圧停止不要限界 (分)	グ ル ー プ 指 標																
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
3	0.03	限界無し																
6	0.06	限界無し																
9	0.09					49.8							240		342			
12	0.12																	
15	0.15					28.1												
18	0.18																	
21	0.21																	
24	0.24																	
27	0.27																	
30	0.30																	

計算式： $t = \ln\{1 - (P_{tis} - P_0) / (P_a - P_0)\} \times T_{1/2} / (-0.693)$
 $= \ln\{1 - (D - 10) / (dg + 10 - 10)\} \times 120 / (-0.693) = \ln\{1 - (D - 10) / dg\} \times 120 / (-0.693)$

注) 上式は空気の窒素成分79%あるいは80%を約分して表示している。計算式 t はその真数 $\{1 - (D - 10) / Dg\}$ が正となるときの成立する。

$\{1 - (D - 10) / Dg\} > 0$ より $Dg + 10 > D$

計算要領：Dは繰返しグループ指標が示す区間気圧の中間値を選択する。

計算例 (1) dg=9(m)の場合、

①指標Eまで作業が可能な時間tEはEの中間値をD=12.25として

$tE = \ln\{1 - (D - 10) / Dg\} \times 120 / (-0.693) = \ln\{1 - (12.25 - 10) / 9\} \times 120 / (-0.693) = 49.8$
分

高圧時には、この範囲の管理基準がなく、新たな管理基準の候補になる。なお、この値は米国海軍の1981・Table3に示される値75分より小さく、より安全側の時間となっている。

②指標Mまで作業が可能な時間tMはMの中間値をD=16.75としてtM=240分

OまでtO= $\ln\{1 - (17.75 - 10) / 9\} \times 120 / (-0.693) = 342$ 分

高圧時には、この範囲の管理基準がなく、新たな管理基準の候補になる。なお、この値は米国海軍の1981・Table3に示される値344分より小さく、より安全側の時間となっている。

計算例 (2) dg=15(m)の場合、

指標Eまで作業が可能な時間tEはEの中間値D=12.25として

$tE = \ln\{1 - (D - 10) / Dg\} \times 120 / (-0.693) = \ln\{1 - (12.25 - 10) / 15\} \times 120 / (-0.693) = 28.1$ 分

この値は米国海軍の1981・Table3に示される値30分より小さく、より安全側の時間となる

計算式： $(PN_2 - P_0) / (Pa - P_0) = Tf = 1 - e^{(-0.693 \times t / T_{1/2})}$

Tf : 時間函数・英語表記Time functionの頭文字をとった。

(右辺の指数を含めた式が1分毎の経過時間 t が150分まで計算済み)

T1/2 : 組織の半飽和時間 = 120分

PN₂ : 水面待機後の窒素分圧 (対角線上の指標の窒素分圧中間値)

P₀ : 浮上直後の窒素分圧 (対角線上の指標の窒素分圧中間値)

Pa : 水面待機 (大気圧) 中に呼吸している空気の圧力・10(m)

注) 窒素分圧は0.79あるいは0.80を乗じない絶対圧

計算例：指標Mで第1回作業を終え、指標I(中間値14.75)で第2回目作業に着手すると想定する。

時間函数は $(PN_2 - P_0) / (Pa - P_0) = (14.75 - 16.75) / (10 - 16.75) = 0.296$

時間函数表より t = 61分

同様に、1ランク分圧が高い指標Jで第2回目作業に着手すると想定する。

時間函数は $(PN_2 - P_0) / (Pa - P_0) = (15.25 - 16.75) / (10 - 16.75) = 0.222$

時間函数表より t = 44分

待機時間が44分たとえば1分超過して45分待機すれば窒素分圧は素表Jの中間値より低くなる。この時間は指標Iに繰り入れてよいので、指標Iの待機時間範囲は45～61分となる。安全側の評価をすれば指標Iより1ランク高い窒素分圧の指標Jを第2回目高気圧作業開始時の指標に設定する。

計算結果の活用：第1回目の高気圧作業を終えて、昼休みを大気で過ごして第2回目作業に着手するときの窒素分圧範囲が安全側で指示される。

3-1-6. 残留窒素表

第1回の高気圧作業終了後、大気圧で60分待機したので、第2回目の作業は窒素分圧範囲のグループ指標J(分圧範囲15.0～15.5)で開始することになった。新たなグループ指標Jなどを指示する表を『残留窒素表』と呼ぶことにする。表3-35が残留窒素表である。この表の作成要領を次に示す。第2回目の作業も圧力Dg=9(m)≒0.09MPaを想定する。作業気圧Dg=9で指標Jの高位の窒素分圧15.5に到達する時間 t_{J.9}は

$$\begin{aligned} t_{J.9} &= \ln\{1 - (D - 10) / Dg\} \times 120 / (-0.693) \\ &= \ln\{1 - (15.5 - 10) / 9\} \times 120 / (-0.693) \\ &= 164分 \end{aligned}$$

表3-35 残留窒素表

気 圧		新たなグループ指標 (第2回目作業計画用)																	
Dg(m)	MPa	Z	Q	P	O	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
3	0.03																		
6	0.06																		
9	0.09									164									
12	0.12																		
15	0.15																		
18	0.18																		
21	0.21																		
24	0.24																		
27	0.27																		
30	0.30																		

3-1-7. 第2回目高圧下の時間計算と評価

作業気圧Dg=9(m)での最長可能時間は、まだ許容値を設定していないのでtM=240分でもよいし、tO=342分でもよい。342分を選択すれば、第2回目作業時間は342—164=178分となる。第2回目を午後の作業と考え、時刻13時～16時までの約3時間=180分と設定できることになる。これは1日の作業サイクルとして妥当な時間を示している。

3-1-8. 結論

以上の経過をたどることで、9.5(m)≒0.95MPaまでの高気圧作業管理方針が理論的に指示できる。敢えて高圧則の変更することがないものの、まれに減圧症が発症することもあるという報告を無視するわけにもいかない。そこで、安全側の措置として以下の選択肢を提案する。

- ① 減圧途中例えば3(m)段階で減圧停止時間を設ける。
- ② 酸素吸入
- ③ 減圧終了後の酸素吸入実施

3-2. 基準減圧表における繰返し潜水表の提案根拠

米国海軍・減圧停止不要空気潜水の繰返しグループ指標再現試算

潜水深度10m (0.1MPa相当高気圧) 以浅の管理要領検討資料

3-2-1. U.S.N.潜水表 1981・Table2 と 1999・Table3

米国海軍・潜水教範1981・Lesson20は減圧停止不要空気潜水の繰返しグループ指標を解説している。そこで用いた潜水表(同書・Lesson9紹介のTable2 & 3、以降1981・Table2&3と略称)はU.S.N.潜水表Table3-1999等(下表参照、以降1999・Table3 & 4と略称)の基になっている。1981年から1999年までに変更された点は次の事項である。その他の数字は両者の表で同じである。

①深度区分にmsw換算値を追加した。

②減圧停止不要限界時間を指標1～2ランク分追加した。例：10fswで797分(指標E)、15fswで452分(指標G)、20fswで390と917分(それぞれI、J指標)したがって、米国海軍・潜水教範1981・Lesson20の理解は繰返しグループ指標の作成要領(具体的には解説していない)を示唆してくれる。そのために表3-36～表3-38を計算した。

U.S. Navy Dive Table 3															
Unlimited/No-Decompression Limits and Repetitive Group Designation Table for Unlimited/No-Decompression Air Dives-1999															
Depth (feet/meters)	No-Decompression Limits (min)	Group Designation Letter													
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
10 3.0	unlimited	60	120	210	300	797	*								
15 4.6	unlimited	35	70	110	160	225	350	452	*						
20 6.1	unlimited	25	50	75	100	135	180	240	325	390	917	*			
25 7.6	595	20	35	55	75	100	125	160	195	245	315	361	540	595	
30 9.1	405	15	30	45	60	75	95	120	145	170	205	250	310	344	405
35 10.7	310	5	15	25	40	50	60	80	100	120	140	160	190	220	270
40 12.2	200	5	15	25	30	40	50	70	80	100	110	130	150	170	200
50 15.2	100	10	15	25	30	40	50	60	70	80	90	100			
60 18.2	60	10	15	20	25	30	40	50	55	60					
70 21.3	50	5	10	15	20	30	35	40	45	50					
80 24.4	40	5	10	15	20	25	30	35	40						
90 27.4	30	5	10	12	15	20	25	30							
100 30.5	25	5	7	10	15	20	22	25							
110 33.5	20		5	10	13	15	20								
120 36.6	15		5	10	12	15									
130 39.6	10		5	8	10										
140 42.7	10		5	7	10										
150 45.7	5		5												
160 48.8	5			5											
170 51.8	5				5										
180 54.8	5					5									
190 59.9	5						5								

出典：NOAA ダイビングマニュアル
(第4版・2001)、付録IV
U.S.A. 商務省・国立大洋大気局

*Highest repetitive group that can be achieved at this depth regardless of bottom time

注) ☆◇はそれぞれ、表3-37上の同一マークに対応

3-2-2. 1981・Table2 減圧停止不要潜水繰返しグループ指標の考え方

(1) 表 3-36～表 3-38 の説明

1) 表3-36: 左側 2 欄は潜水教範(1981)Lesson20記載の繰返しグループ指標と深度区分D (ゲージ圧fswと読み替えてもよい。) である。深度区分をアルファベット表記にして指標designatorとしている。この値を絶対圧表示 (Dに1atm=33.07fsw \doteq 33fswを加える。) して0.79を乗じると窒素分圧に換算される。右側の表が換算値である。参考までにfswとatm換算している。

2) 表3-37: 指標深度の最長滞底可能時間を対象にした浮上直後と浮上後12時間の120分組織 (以下、同様) の窒素分圧である。どの場合も、浮上後12時間で0.795 \sim 0.801atm \doteq 0.80に収めている。

3) 表3-38: 最長滞底可能時間より短い滞底時間での浮上直後と浮上後12時間の窒素分圧である。どの場合も、浮上後12時間で0.795 \sim 0.81atm \doteq 0.80に収めている。

(2) 深度 20fsw、unlimited 917 分の場合の窒素分圧

浮上直後41.79fsw(1.269atm)、12時間後で26.29fsw(0.797atm) \doteq 0.80atmである。この表を用いた場合12時間経過後の潜水は「繰返し潜水」に該当しない。残留窒素を考慮しなくてよい単一潜水である。

2-2-3. 深度10fsw、unlimited 797分の場合の窒素分圧浮上直後1.300atm、12時間後で0.794 \doteq 0.79atmである。

3-2-4. 結論

- 1) どのグループ指標も滞底終了、浮上後12時間で窒素分圧が0.80atmに収められている。
- 2) 滞底時間は端数を丸めて分圧が大きく評価されるようにしている。その丸め方によっては、表5-2-1で定義した圧力区分と表5-2-3の計算結果とに差異が出ている場合もある。

注) 1981年の潜水教範では分圧計算に時間函数表を使用した。時間函数表: 分圧計算の $1 - e^{-0.693 \times \sqrt{t}}$ を1分刻みで150分まで予め計算した表のこと。

表3-36 繰返しグループ指標：Repetitive Group designators

指標	120分組織 PN ₂ [等価空気飽和深度 D(sw)] 出典：潜水教範 Lesson-20	訳注) 訳者が追補した数値：換算は四捨五入で丸めた。		
		組織の PN ₂ 換算 D×0.79(fsw)	PN ₂ 換算 (atm) (D×0.79)／33.07	D の fsw から msw への換算案 PN ₂ 換算 (atm) となる D(msw)
A	34.0～34.9	26.86～27.57	0.812～0.834	10.36～10.64(0.28)：()内は間隔
B	35.0～36.9	27.65～29.15	0.836～0.881	10.67～11.24 (0.57m)
C	37.0～38.9	29.23～30.73	0.884～0.929	11.28～11.85 (0.57)
D	39.0～40.9	30.81～32.31	0.932～0.977	11.89～12.47 (0.58)
E	41.0～42.9	32.39～33.89	0.979～1.025	12.49～13.08 (0.59)
F	43.0～44.9	33.97～35.47	1.027～1.073	13.11～13.69 (0.58)
G	45.0～46.9	35.55～37.05	1.075～1.120	13.72～14.29 (0.57)
H	47.0～48.9	37.13～38.63	1.123～1.168	14.33～14.90 (0.57)
I	49.0～50.9	38.71～40.21	1.171～1.216	14.94～15.51 (0.57)
J	51.0～52.9	40.29～41.79	1.218～1.263	15.54～16.12 (0.58)
K	53.0～54.9	41.87～43.37	1.266～1.311	16.15～16.73 (0.58)
L	55.0～56.9	43.45～44.95	1.314～1.359	16.76～17.34 (0.58)
M	57.0～58.9	45.03～46.53	1.362～1.407	17.37～17.95 (0.58)
N	59.0～60.9	46.61～48.11	1.409～1.455	17.98～18.56 (0.58)
O	61.0～62.9	48.19～49.69	1.457～1.502	18.59～19.17 (0.58)
Z	63.0～64.0	49.77～50.56	1.505～1.529	19.20～19.51 (0.31)

注) ①1atm=1.0332kg/cm²=33.07fsw=10.08msw=1,013bar=101.33kPa

②Dのfswからmswへの換算はPN₂換算 (atm) となるD(msw)を選択した。

③(D／33.07)×10.08≒小数第3位を社五入：例・34fasw≒(34／33.07)×10.08≒10.363≒10.36(msw)

(10.36×0.79)／10.08≒0.812、同様にして{(34.9fsw／33.07)×10.08×0.79}／10.08≒0.834

④潜水教範Lesson18-14ページはDesGranges提案値として120分組織の水面到達時の過飽和比率

PN₂／PB=1.53を紹介している。それが指標Zに表れている。減圧停止深度に応じて、この値は減少する。

⑤原著では、組織のPN₂換算D×0.79(fsw)要領を示しているものの具体的な値(上表の訳注)は記載していない。

表3-37 最長滞底時間での浮上直後と12時間経過後の窒素分圧（120分組織）

潜水規模と潜水教範 Lesson9-12 頁記載の 繰返しグループ指標	浮上開始時 PN ₂ *加圧時間考慮 *アルファベット は繰返し グループ指標	左記数値 使用の 過飽和比 PN ₂ /PB PB=33	瞬間的 浮上後 10分 経過後 の PN ₂	浮上 10 分後 PN ₂ /PB PB=33	浮上後 12 時間経過後 の PN ₂	同左 PN ₂ の atm 換算 大気の PN ₂ =0.79atm
☆ 35fsw,310分, O	49.02* O	1.485	47.73	1.446	26.43	0.801
40fsw,200分, N	47.29 N	1.433	46.10	1.400	26.40	0.800
50fsw,100分, L	43.32 K	1.313	42.35	1.283	26.34	0.798
60fsw, 60分, J	39.88 I	1.208	39.11	1.185	26.29	0.797
70fsw, 50分, J	39.84 I	1.207	39.07	1.184	26.29	0.797
80fsw, 40分, I	39.00 I	1.182	38.27	1.160	26.27	0.796
◇ 90fsw, 30分, H	37.27 H	1.129	36.64	1.110	26.25	0.795
100fsw,25分, H	36.58 G	1.108	35.99	1.091	26.23	0.795

注) ☆◇はそれぞれ、U.S.Navy Dive Table3 の同一マークに対応。

表3-38 減圧停止不要潜水限界以内でのPN₂規模（JグループとLグループ）

グループ	D	t	水面浮上直後の窒素分圧	浮上か 12 時間経過後の窒素分圧
J	25	315	42.62	26.33
	30	205	42.51	26.33
	35	140	41.40	26.31
	40	110	40.93	26.31
	50	80	40.68	26.30
	60	60	39.95	26.29
	70	50	39.94	26.29
L	25	540	44.95	26.37
	30	310	45.81	26.38
	35	190	44.49	26.36
	40	150	44.38	26.36
	50	100	43.18	26.34

3-2-5. 1981・Table2 の再現試算

(1) 1981・Table2

訳注) 指標水深 10~30fsw で滞底限界時間を設定した理由が 1981・Table2 出典において解説されていない。

NO-DECOMPRESSION LIMITS AND REPETITIVE GROUP DESIGNATION TABLE FOR NO-DECOMPRESSION AIR DIVES

Depth (feet)	No-decompression limits (min)	Group Designation														
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
10		60	120	210	300											
15		35	70	110	160	225	350									
20		25	50	75	100	135	180	240	325							
25		20	35	55	75	100	125	160	195	245	315					
30		15	30	45	60	75	95	120	145	170	205	250	310			
35	310	5	15	25	40	50	60	80	100	120	140	160	190	220	270	310
40	200	5	15	25	30	40	50	70	80	100	110	130	150	170	200	
50	100		10	15	25	30	40	50	60	70	80	90	100			
60	60		10	15	20	25	30	40	50	55	60					
70	50		5	10	15	20	30	35	40	45	50					
80	40		5	10	15	20	25	30	35	40						
90	30		5	10	12	15	20	25	30							
100	25		5	7	10	15	20	22	25							
110	20			5	10	13	15	20								
120	15			5	10	12	15									
130	10			5	8	10										
140	10			5	7	10										
150	5			5												
160	5				5											
170	5					5										
180	5						5									
190	5							5								

出典 : U.S.N. Diving Medical Officer, Student Guide, 1981, lesson 9

(2) 1981・Table2 のグラフ化

図3-76及び図3-77は1981・Table2のグループ指標水深と滞底時間の傾向を把握するために作図した図である。図3-76は滞底時間を対数目盛りにとった片対数グラフで、図3-77はグループ指標の水深及び滞底時間それぞれを対数目盛りで表示している。

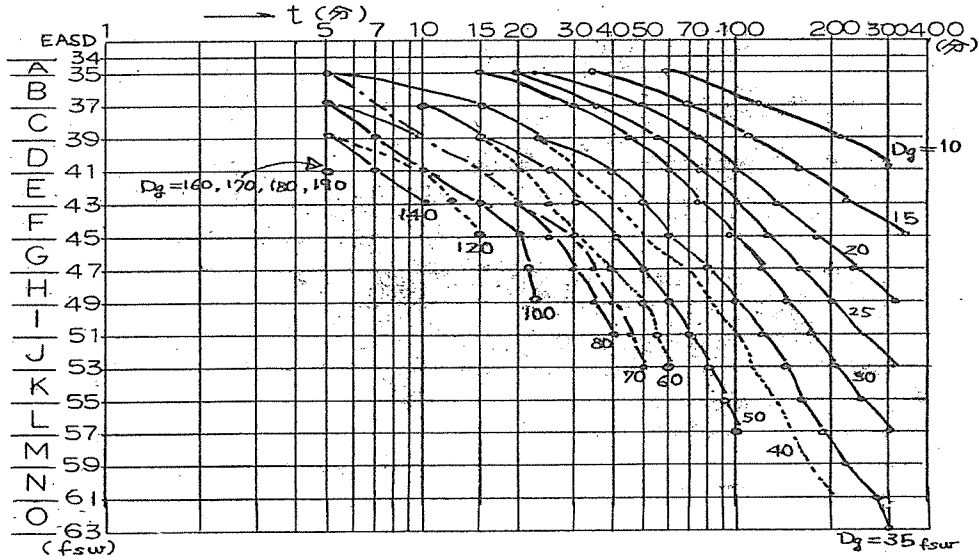


図3-76 1981・Table2のグラフ表示 (滞底時間軸は対数目盛り)

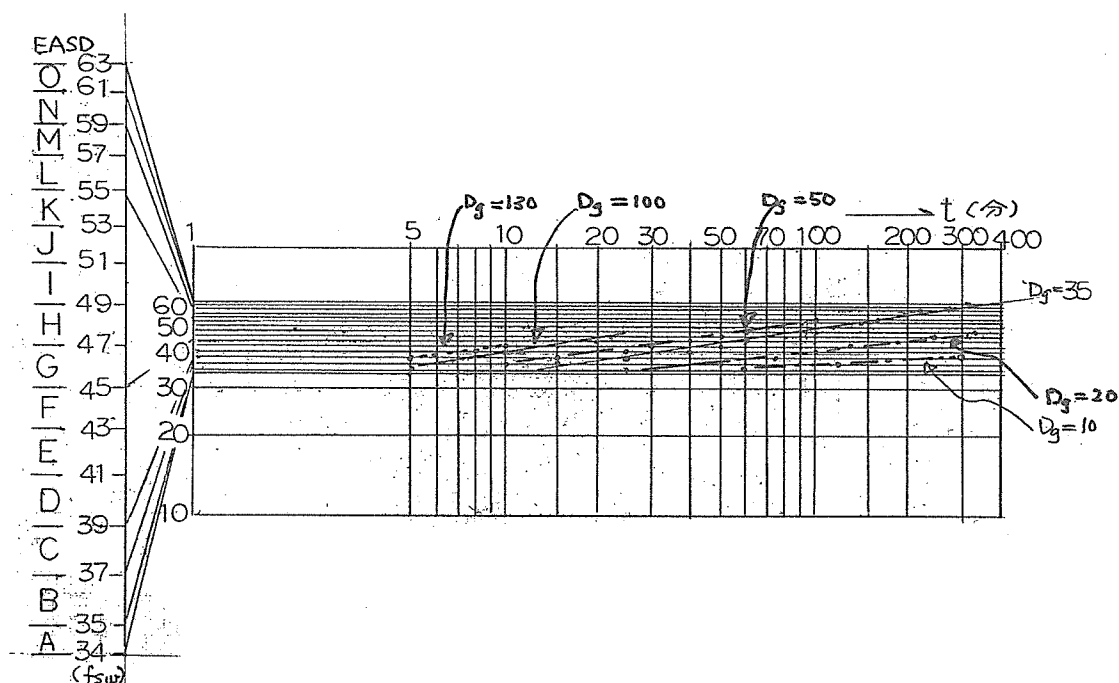


図3-77 : 1981・Table2のグラフ表示 (滞底時間とグループ指標水深を対数目盛り)

(3) 1981・Table2のグラフの傾向

指標水深10~30fswのグラフと指標水深35~190fswのグラフの傾向が異なる。前者は比較的滑らかな曲線となっているが、後者は複雑な曲線となっている。限界時間は300~350分に集中している。

(4) 1981・Table2の再現試算と原著数値の対比

注) 指標Zの項は1891年版で記載無し。1999年版も同様に記載されていない。

NDL : No decompression Limits・減圧停止不要潜水限界滞底時間

①計算条件：瞬間的な潜降と水面浮上で滞底時間を計算する。

$$\text{②計算式} \cdot t = \ln\{1 - (Ptis - P_0) / (Pa - P_0)\} \times T_{1/2} / (-0.693) = \ln\{1 - (EASD - 33) / (Dg + 33 - 33)\} \times 120 / (-0.693) = \ln\{1 - (EASD - 33) / Dg\} \times 120 / (-0.693)$$

注) 上式は空気の窒素成分79%あるいは80%を約分して表示しており、空気呼吸の場合に限り成立する。

$$79\% \text{とすれば、} t = \ln\{1 - (Ptis - P_0) / (Pa - P_0)\} \times T_{1/2} / (-0.693) = \ln\{1 - (Ptis - P_0) / (Pa - P_0)\} \times 120 / (-0.693)$$

Ptis=当該指標のPN₂、P₀=33×0.79=26.07fsw、Pa=(Dg+33)×0.79で計算される。80%を使用すると、79%の場合より長い滞底時間が計算され、その値は否定できない。これは混

乱の要因となる。空気成分を区分せずに全てを深度で表わすと、混乱が避けられる。それで、上式を採用した。残留窒素表の指標も同じ考え方。

指標の PN_2 ：指標設定の等価空気飽和深度 (Equivalent Air Saturation Depth : EASD)
 $\times 0.79$

③lnの真数負： $\ln\{1 - (EASD - 33) / Dg\}$ の真数 $\{1 - (EASD - 33) / Dg\}$ が負の値となって計算ができない。Dg=10fsw、EASD=42.9の場合ln真数は正、EASD=43.0では真数が負となる。それで、Dg=10~30fswの指標F~O欄が空欄となる。真数正となるが1981年版のTable2で記載無しの箇所が1999年版では記載された。次頁の表3-3の* () 書き・下線付きが追加された数値である。その数値は、②の計算式で再現され、このことが②計算式の妥当性を証明してくれる。

3-2-6. U.S.N.潜水表 1981・Table3 の再現試算：第2回潜水可能時間の評価要領

1981・Table2で第1回潜水直後のグループ指標が指示され、1981・Table3（以降、1981を省略）の斜線部に配置した指標を持ち込まれる。この指標がもつ窒素分圧は浮上後の水面待機時間に依じて減少し、別の指標に移行する。別の指標がもつ窒素分圧範囲を基準にして水面待機時間は計算される。その結果はTable3の上下段境界の指標で（「新たな指標」と呼ぶ）示される。

「新たな指標」の高位の窒素分圧を用いて計算した残留窒素時間(RNT)を用いて、第2回目潜水可能時間が計算される。Table3下段表の左端の第2回目潜水深度(fsw)に着目する。第1回目潜水を第2回目潜水深度で行ったと仮定したとき、「新たな指標」の高位の窒素分圧に到達するまでの時間がRNTである。と考えればよい。第2回目潜水深度(fsw)における減圧不要潜水限界時間(NDL)が1981Table2から得られるので、これとRNTとの差が第2回目の最長滞底時間となる。そこでは翌日の潜水に支障のない条件（蓄積する120分組織の窒素分圧を翌日の潜水開始までに大気圧下窒素分圧相当まで低下）が盛り込まれている。1999・Table4は1981・Table3の改訂版である。

(1) 1981・Table3

大きな転記ミス：1999NOAA では修正されている。

TABLE 3
RESIDUAL NITROGEN TIMETABLE FOR REPETITIVE AIR DIVES

訳注) 0:10-12:00 は浮上後 10 分経過と 12 時間のことである。

訳注) 上記の訳) 12 時間以上の水面待機に続く潜水は繰り返し潜水に該当しない。そのような潜水に対する減圧を計算するために標準空気減圧表の実滞底時間を用いよ。

訳注) 5 ページの例に示された 30 分

NEW GROUP DESIGNATION	Repetitive Group at beginning of the surface interval															
	Z	O	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
Z	0:10	0:23	0:35	0:48	1:02	1:16	1:36	1:55	2:17	2:42	3:10	3:45	4:28	5:27	6:56	12:00
O	0:10	0:24	0:36	0:51	1:07	1:24	1:43	2:04	2:29	2:59	3:33	4:17	5:16	6:44	8:54	12:00
N	0:10	0:25	0:40	0:55	1:12	1:31	1:54	2:19	2:47	3:22	4:04	5:03	6:32	8:43	11:05	12:00
M	0:10	0:26	0:42	0:59	1:18	1:35	2:05	2:34	3:08	3:52	4:46	5:50	7:19	9:29	11:59	12:00
L	0:10	0:27	0:46	1:05	1:26	1:50	2:20	2:54	3:37	4:25	5:30	6:52	8:49	11:29	14:05	12:00
K	0:10	0:28	0:49	1:11	1:34	1:59	2:33	3:12	3:52	4:50	5:59	7:24	9:34	12:00	14:55	12:00
J	0:10	0:29	0:52	1:08	1:33	1:59	2:39	3:20	4:05	5:07	6:20	7:50	9:59	12:00	15:35	12:00
I	0:10	0:31	0:54	1:11	1:39	1:67	2:51	3:38	4:29	5:37	6:55	8:34	10:54	12:00	16:35	12:00
H	0:10	0:32	0:57	1:15	1:44	1:74	3:03	3:55	4:50	5:59	7:14	8:54	11:14	12:00	17:35	12:00
G	0:10	0:33	0:59	1:19	1:50	2:22	3:16	4:14	5:20	6:37	7:59	9:40	11:40	12:00	18:35	12:00
F	0:10	0:34	1:00	1:26	1:59	2:35	3:34	4:36	5:47	6:70	7:59	9:59	12:00	12:00	19:35	12:00
E	0:10	0:35	1:02	1:30	2:04	2:44	3:47	4:53	6:00	7:14	8:34	10:00	12:00	12:00	20:35	12:00
D	0:10	0:36	1:04	1:34	2:10	2:53	3:60	4:71	5:94	7:14	8:40	10:10	12:00	12:00	21:35	12:00
C	0:10	0:37	1:07	1:42	2:20	3:07	3:87	4:94	6:20	7:50	9:20	11:00	12:00	12:00	22:35	12:00
B	0:10	0:38	1:10	1:50	2:30	3:20	4:03	5:00	6:30	7:59	9:30	11:10	12:00	12:00	23:35	12:00
A	0:10	0:39	1:13	1:55	2:36	3:28	4:14	5:14	6:40	8:00	9:40	11:20	12:00	12:00	24:35	12:00

訳注) 出典：潜水教範(1981)9-13 ページ

U.S. Navy Dive Table 4

修正された大きなミス

Residual Nitrogen Timetable for Repetitive Air Dives – 1999

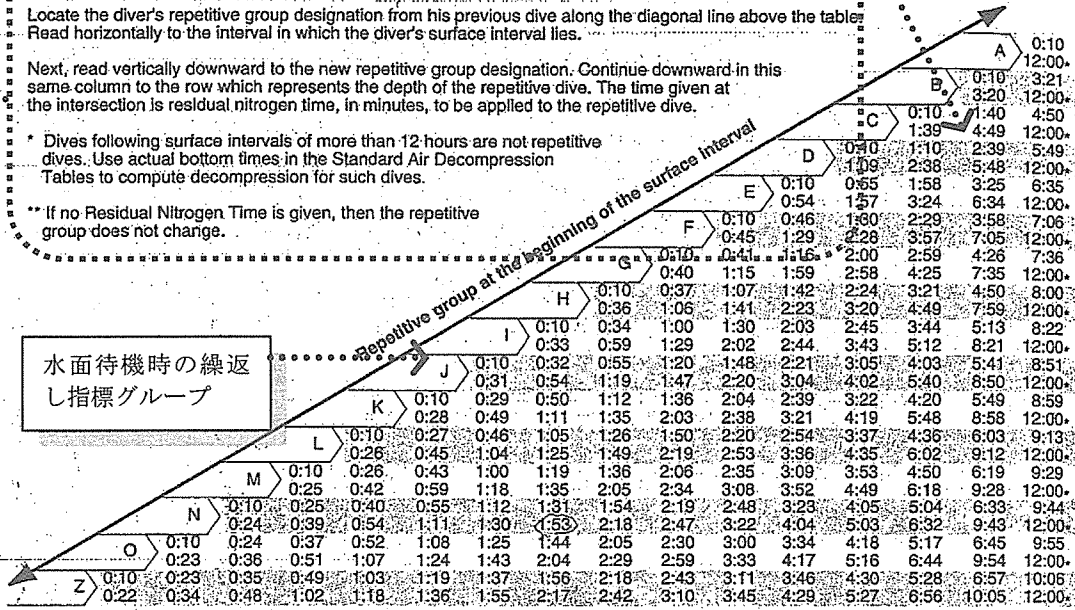
Locate the diver's repetitive group designation from his previous dive along the diagonal line above the table.
Read horizontally to the interval in which the diver's surface interval lies.

Next, read vertically downward to the new repetitive group designation. Continue downward in this same column to the row which represents the depth of the repetitive dive. The time given at the intersection is residual nitrogen time, in minutes, to be applied to the repetitive dive.

* Dives following surface intervals of more than 12 hours are not repetitive dives. Use actual bottom times in the Standard Air Decompression Tables to compute decompression for such dives.

** If no Residual Nitrogen Time is given, then the repetitive group does not change.

訳は次頁に
←



Repetitive Dive Depth feet / meters	Z	O	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
10 3.0	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	797	279	159	88	39
20 6.1	**	**	**	**	**	**	917	399	279	208	159	120	88	62	39	18
30 9.1	†	†	469	349	279	229	190	159	132	109	88	70	54	39	25	12
40 12.2	257	241	213	187	161	138	116	101	87	73	61	49	37	25	17	7
50 15.2	169	160	142	124	111	99	87	76	66	56	47	38	29	21	13	6
60 18.2	122	117	107	97	88	79	70	61	52	44	36	30	24	17	11	5
70 21.3	100	96	87	80	72	64	57	50	43	37	31	26	20	15	9	4
80 24.4	84	80	73	68	61	54	48	43	38	32	28	23	18	13	8	4
90 27.4	73	70	64	58	53	47	43	38	33	29	24	20	16	11	7	3
100 30.5	64	62	57	52	48	43	38	34	30	26	22	18	14	10	7	3
110 33.5	57	55	51	47	42	38	34	31	27	24	20	16	13	10	6	3
120 36.6	52	50	46	43	39	35	32	28	25	21	18	15	12	9	6	3
130 39.6	46	44	40	38	35	31	28	25	22	19	16	13	11	8	6	3
140 42.7	42	40	38	35	32	29	26	23	20	18	15	12	10	7	5	2
150 45.7	40	38	35	32	30	27	24	22	19	17	14	12	9	7	5	2
160 48.8	37	36	33	31	28	26	23	20	18	16	13	11	9	6	4	2
170 51.8	35	34	31	29	26	24	22	19	17	15	13	10	8	6	4	2
180 54.8	32	31	29	27	25	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
190 59.9	31	30	28	26	24	21	19	17	15	13	11	10	8	6	4	2

Residual Nitrogen Times (Minutes)

† Read vertically downward to the 40/12.2 (feet/meter) repetitive dive depth. Use the corresponding residual nitrogen times (minutes) to compute the equivalent single-dive time. Decompress using the 40/12.2 (feet/meter) standard air decompression table.

1999・Table4の注釈の訳（前頁の点線内箇所）

ダイバーの直前実施潜水から、ラベルの上の斜線沿いにそのダイバーの繰返しグループ指標を探せ。

ダイバーの水面待機が置かれている待機時間に向かって水平に読め。

次に新たな繰返しグループ指標に向かって垂直に読み降りろ。

この同じ縦の行を繰返し潜水深度表示の列まで降り続けろ。

交点で与えられる時間が、繰返し潜水に適用される残留窒素時間、分である。

* 12時間以上の水面待機に続く潜水は繰返し潜水に該当しない。そのような潜水では減圧計算用に標準空気減圧表での実滞底時間を使え。

** もし、残留窒素時間が与えられないなら、繰返しグループは変わらない。

注) 1981・Table3から1999・Table4への小さな転記ミスの例

位置：ミスは水面待機時間の表にある。

1981・Table3の斜めHを下に降りて斜めMから右水平に行った1：39の箇所である。

正：その斜め右が1：40なので1：39が正しく、再現した計算結果も同じ値である。

誤り：プリントによっては数字がかすれて1：35とも読める。筆者のコピーもそのようになっていた。しかし斜め右の1：40に着目せずにNOAAダイビングマニュアルでU.S.N.1999・Table4を紹介するために編纂者は改めて原稿をタイプしたので1：35が独り歩きし、おまけに斜め右を1：36に修正してしまった。これが誤記の基となった。気を利かせ過ぎた。

再発防止：計算で確認すること。原典：USNでチェックすること。

誤記された水面待機時間の評価：誤記は水面待機時間を4分短くした結果になっているので、第2回潜水可能時間は短めすなわち安全側の評価に収まっている。

感想：NOAAの原稿でも誤記が発生していることは驚きである。それで、表の再現計算を独自に行い、正しい値を認識することにする。さらには、それが、表作成要領を一層理解させてくれる。

表3-39 1981・Table2の再現計算と原著数値の対比

潜水深度 Dg (fsw) (f) m	A 34.0 ~ 34.9	B 35.0 ~ 36.9	C 37.0 ~ 38.9	D 39.0 ~ 40.9	E 41.0 ~ 42.9	F 43.0 ~ 44.9	G 45.0 ~ 46.9	H 47.0 ~ 48.9	I 49.0 ~ 50.9	J 51.0 ~ 52.9	K 53.0 ~ 54.9	L 55.0 ~ 56.9	M 57.0 ~ 58.9	N 59.0 ~ 60.9	O 61.0 ~ 62.9
10(3.0)	18~36 (60)	39~85 (120)	88~154 (210)	159~270 (300)	279~797 *(297)	43でln 真数が負 190~21 (35)	120~156 (180)	209~274 (325)	279~390 *(390)	399~917 *(917)	53.0で 真数負 596	57.2で 真数負 596	57.2で 真数負 596	59.0で 真数負 596	61.0 ~ 62.9
15(4.6)	12~23 (35)	25~52 (70)	54~86 (110)	89~129 (160)	132~186 (225)	190~21 (35)	114~140 (160)	143~174 (195)	176~217 (245)	220~275 (315)	279~361 *(361)	367~540 *(540)	557~540 *(540)	58.9で 真数負 596	
20(6.1)	9~17 (25)	19~37 (50)	39~60 (75)	62~87 (100)	89~118 (135)	120~156 (180)	159~205 (240)	209~274 (325)	279~390 *(390)	399~917 *(917)	53.0で 真数負 596	57.2で 真数負 596	57.2で 真数負 596	59.0で 真数負 596	
25(7.6)	7~13 (20)	15~29 (35)	31~46 (55)	48~65 (75)	67~87 (100)	89~118 (135)	114~140 (160)	143~174 (195)	176~217 (245)	220~275 (315)	279~361 *(361)	367~540 *(540)	557~540 *(540)	58.9で 真数負 596	
30(9.1)	6~11 (15)	12~24 (30)	25~37 (45)	39~52 (60)	54~69 (75)	71~87 (95)	89~107 (120)	109~130 (145)	132~157 (170)	159~188 (205)	190~226 (250)	229~275 (310)	279~344 *(344)	349~460 *(405)	469~987
35(10.7)	5~9 (5)	11~20 (15)	21~31 (25)	33~44 (40)	45~57 (60)	59~71 (60)	73~104 (80)	89~104 (100)	106~124 (120)	106~145 (140)	147~170 (160)	171~198 (190)	200~233 (220)	235~276 (270)	278~333 (310)
40(12.2)	5~8 (5)	9~17 (15)	19~27 (25)	29~38 (30)	39~49 (40)	50~61 (50)	62~73 (70)	75~87 (80)	89~102 (100)	104~119 (110)	120~137 (130)	139~157 (150)	159~180 (170)	182~207 (200)	209~238
50(15.2)	100	8~14 (10)	15~21 (15)	23~29 (25)	30~38 (30)	39~47 (40)	48~56 (50)	57~66 (60)	67~76 (70)	78~87 (80)	89~99 (90)	100~112 (100)	114~126		
60(18.2)	60	6~11 (10)	12~17 (15)	19~24 (20)	25~31 (25)	32~38 (30)	39~45 (40)	46~53 (50)	53~61 (55)	62~69 (60)	71~78				
70(21.3)	50	5~9 (5)	11~15 (10)	16~20 (15)	21~26 (20)	27~32 (30)	33~38 (35)	39~44 (40)	45~51 (45)	52~57 (50)	59~64				
80(24.4)	40	5~8 (5)	9~13 (7)	14~18 (15)	19~22 (20)	24~27 (25)	29~33 (30)	33~38 (35)	39~43 (40)	44~49					
90(27.4)	30	4~7 (5)	8~11 (7)	12~15 (12)	17~20 (15)	21~24 (20)	24~29 (25)	30~33 (30)	34~38						
100(30.5)	25	4~6 (5)	7~10 (7)	11~14 (10)	15~18 (15)	19~21 (20)	23~25 (22)	26~29 (25)	31~34						
110(33.5)	20		7~9 (5)	10~12 (10)	14~16 (13)	16~19 (15)	20~23 (20)	24~27							
120(36.6)	15		6~8 (5)	9~11 (10)	12~14 (12)	15~18 (15)	19~21								
130(39.6)	10		6~8 (5)	9~10 (8)	11~13 (10)	14~16	17~19								
140(42.7)	10		5~7 (5)	8~10 (7)	11~12 (10)	13~15									
150(45.7)	5		5~6 (5)	7~9 (5)	10~11										
160(48.8)	5			7~8 (5)	9~11										
170(51.8)	5			7~8 (5)	9~10										
180(54.8)	5			6~7 (5)	8~9										
190(59.9)	5			6~7 (5)	8~9										

Dg=100~190fsw での滞底時間

- ①計算上の滞底最長可能時間より短い時間を限界時間に設定している理由は、解説されていない。
- ②滞底限界時間設定を窒素酔いに配慮した処理と推測すれば、標準減圧表で扱う水深と滞底時間の設定範囲に矛盾が生じる。それで、この考え方は削除される。足切りの理由の考察は別途行う。

図3-78は第1回目潜水と水面待機の状況である。深度31ffsw、滞底300分、120分組織のPN₂=58.52fsw、水面待機開始時の指標はM、水面待機59分でPN₂値は51.04fswまで低下し、指標はJになっている。第2回目潜水深度100fswを仮定すると、その最長潜水可能時間T_{2max}（1981・Table2参照）と指標JのPN₂値到達時間t_{2J}が計算で得られ、両者の差第2回目の潜水可能時間となる。

ここでt_{2J}の評価をJより1ランク PN₂が大きい指標KのPN₂値に置き換えて、そこまでの到達時間t_{2K}を求めると、t_{2J}<t_{2K}なので第2回目潜水可能時間は(T_{2max}-t_{2J})より短め・安全側に設定される。

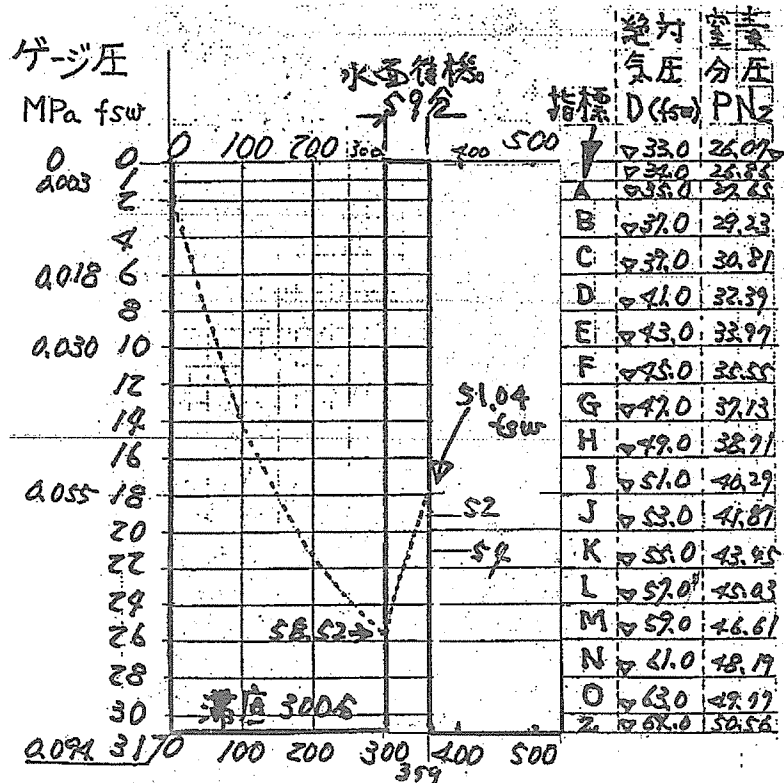


図3-78：第1回目潜水と水面待機

(5) 1981・Table3下段表の残留窒素時間 (Residual nitrogen times) の再現：計算表の枠内上段が再現値で下段カッコ書きが1981・Table3採用値

1)再現要領

ゲージ庄水深Dg=40~190fswの潜水を扱う。

呼吸している空気の窒素分圧Paは、Pa=(Dg+33)で表わされる。計算式では空気の窒素成分79%が約分されるので、分圧表記に0.79を乗じないことにする。

先に設定した繰り返し指標A~Zの範囲における窒素分圧のうち高位の窒素分圧に着目する。

例：指標Kの窒素分圧範囲は53~54.9fswしたがって高位の窒素分圧は54.9fswとなる。

指標A~Zそれぞれ高位の窒素分圧に到達する時間tは、

①直接計算法： $t = \ln\{1 - (PN_2 - P_0) / (Pa - P_0)\} \times T1/2 / -0.693$

②時間函数表による方法： $(PN_2 - P_0) / (Pa - P_0) = 1 - e^{-0.693t/T1/2}$ 式

の右辺が時間函数表である。予め時間函数表が計算されているので、 $(PN_2 - 33) / (Pa - 33)$ に該当する値に近似した時間函数表を抽出すればよい。

例：指標KのDg=100fsw 潜在では、潜降前の120分組織の窒素分圧P0=33fsw、Kにおける高位のPN₂=54.9fsw、呼吸している空気のPN₂=Pa=(100+33)=133fsw これらを用いて以下の計算を進める。

①直接計算法による計算例

$$t = \ln\{1 - (PN_2 - P_0) / (Pa - P_0)\} \times 120 / -0.693$$

$$= \ln\{1 - (54.9 - 33) / (133 - 33)\} \times 120 / -0.693 = 42.8 \text{分} = 43 \text{分}$$

②時間函数表による計算例

$$t = (PN_2 - P_0) / (Pa - P_0) \times (54.9 - 33) / (Dg) = 0.219$$

時間函数表で120分組織の値に着目すると0.219は43分に該当する。

2) 再現対数値 (残留窒素表の下段表) の意味

潜水深度が33fswを超えても指標の窒素分圧範囲内であれば減圧停止不要潜水すなわち瞬間的浮上が容認される。再現対数値は瞬間的に潜降し、潜底した場合、指標 (例えば K) の高位の窒素分圧54.9fswに到達する時間である。

3)再現結果：殆どが1~2分の誤差で再現された。

Z fsw	O 63.0 ~64.0	N 59.0 ~60.9	M 57.0 ~58.9	L 55.0 ~56.9	K 53.0 ~54.9	J 51.0 ~52.9	I 49.0 ~50.9	H 47.0 ~48.9	G 45.0 ~46.9	F 43.0 ~44.9	E 41.0 ~42.9	D 39.0 ~40.9	C 37.0 ~38.9	B 35.0 ~36.9	A 34.0 ~34.9	
10	3.0															
20	6.1															
30	9.1															
40	12.2	258.30 (257)	207.04 (213)	180.55 (187)	157.59 (161)	137.31 (138)	119.16 (116)	102.74 (101)	87.73 (87)	73.93 (73)	61.14 (61)	49.24 (49)	38.10 (37)	27.63 (25)	17.76 (17)	8.43 (7)
50	15.2	197.54 (199)	141.38 (142)	126.37 (124)	112.57 (111)	99.78 (99)	87.88 (87)	76.74 (76)	66.27 (66)	56.40 (56)	47.07 (47)	38.21 (38)	29.78 (29)	21.75 (21)	14.06 (13)	6.71 (6)
60	18.2	125.90 (122)	108.31 (107)	97.84 (97)	87.97 (88)	78.64 (79)	69.78 (70)	61.35 (61)	53.31 (52)	45.63 (44)	38.28 (38)	31.22 (30)	24.45 (24)	17.92 (17)	11.64 (11)	5.57 (5)
70	21.3	101.29 (100)	88.04 (86)	80.01 (80)	72.33 (72)	64.37 (64)	57.92 (57)	51.14 (50)	44.62 (43)	38.33 (37)	32.26 (31)	26.40 (26)	20.74 (20)	15.25 (15)	9.83 (9)	4.77 (4)
80	24.4	84.88 (84)	74.25 (73)	67.74 (68)	61.45 (61)	55.39 (54)	49.53 (48)	43.86 (43)	38.37 (38)	33.05 (32)	27.89 (28)	22.88 (23)	18.00 (18)	13.27 (13)	8.65 (8)	4.16 (4)
90	27.4	74.12 (73)	69.92 (70)	64.25 (64)	58.76 (58)	53.44 (53)	48.28 (47)	43.27 (43)	38.40 (38)	33.66 (33)	29.05 (29)	24.56 (24)	20.18 (20)	15.91 (16)	7.67 (7)	3.69 (3)
100	30.5	64.25 (62)	61.51 (61)	56.64 (56)	51.91 (51)	47.29 (47)	42.80 (42)	38.42 (38)	34.15 (34)	29.99 (29)	25.92 (25)	21.94 (21)	18.05 (18)	14.25 (14)	6.89 (6)	3.32 (3)
110	33.5	57.32 (57)	54.93 (55)	50.68 (50)	46.49 (46)	42.42 (42)	38.44 (38)	34.56 (34)	30.75 (30)	23.39 (23)	19.83 (19)	16.33 (16)	12.91 (12)	9.55 (9)	6.25 (6)	3.02 (3)
120	36.6	51.75 (52)	49.62 (49)	46.82 (46)	42.10 (42)	38.46 (38)	34.89 (34)	31.40 (31)	27.97 (27)	21.31 (21)	18.08 (18)	14.91 (14)	11.79 (11)	8.73 (8)	5.72 (5)	2.76 (2)
130	39.6	47.17 (46)	46.26 (46)	43.87 (43)	35.18 (35)	31.94 (31)	28.77 (28)	26.65 (26)	22.59 (22)	19.59 (19)	16.62 (16)	13.72 (13)	10.86 (10)	8.04 (8)	5.27 (5)	2.55 (2)
140	42.7	44.34 (43)	41.00 (41)	38.76 (38)	32.41 (32)	29.46 (29)	26.55 (26)	23.69 (23)	20.88 (20)	18.11 (18)	15.38 (15)	12.70 (12)	10.06 (10)	7.46 (7)	4.89 (4)	2.37 (2)
150	45.7	40.79 (40)	38.50 (38)	35.74 (35)	30.62 (30)	27.97 (27)	24.63 (24)	22.02 (22)	19.40 (19)	16.81 (16)	14.31 (14)	11.82 (11)	9.37 (9)	6.95 (6)	4.56 (4)	2.21 (2)
160	48.8	37.29 (37)	35.82 (35)	33.18 (33)	28.01 (28)	25.49 (25)	22.49 (22)	20.54 (20)	18.32 (18)	15.74 (15)	13.38 (13)	11.06 (11)	8.77 (8)	6.51 (6)	4.27 (4)	2.07 (2)
170	51.8	34.86 (34)	33.50 (33)	30.82 (30)	26.23 (26)	23.29 (23)	21.26 (21)	19.27 (19)	17.00 (17)	14.77 (14)	12.57 (12)	10.39 (10)	8.24 (8)	6.11 (6)	4.02 (4)	1.95 (1)
180	54.8	32.73 (32)	31.46 (31)	28.90 (28)	24.67 (24)	22.46 (22)	20.29 (20)	18.14 (18)	16.01 (16)	13.92 (13)	11.84 (11)	9.80 (9)	7.77 (7)	5.77 (5)	3.79 (3)	1.84 (1)
190	59.9	30.84 (30)	29.65 (29)	25.38 (25)	23.28 (23)	21.21 (21)	19.16 (19)	17.13 (17)	15.13 (15)	13.16 (13)	11.20 (11)	9.27 (9)	7.35 (7)	5.46 (5)	3.69 (3)	1.74 (1)