

200733024A

平成19年度厚生労働科学研究費補助金
労働安全衛生総合 研究事業
公募課題番号：H19 - 労働 - 一般 - 004

新しい標準減圧表作成に伴う実地調査および検証調査研究

平成19年度 総括研究報告書

平成20年3月

主任研究者	眞野 喜洋 (東京医科歯科大学大学院 教授)
分担研究者	山見 信夫 (東京医科歯科大学大学院 助教授)
	芝山 正治 (駒沢女子大学人文学部 教授)

目 次

補助研究事業が終わって	1
第1章 はじめに	3
第2章 昨年度の成果について	13
昨年度の具体的成果	
1 空気減圧表	13
2 ヘリオックス減圧表	13
3 ナイトロックス減圧表	14
4 船上減圧表	14
5 繰り返し潜水表	14
6 減圧表の評価	15
第3章 第三者評価について	17
1. 第三者評価（セカンドオピニオン）－要旨	17
2. 第三者評価内容の検討と対策	18
3. 第三者評価－対訳・原文全文	19
第4章 標準減圧理論概観	47
1. 標準減圧理論の概観と RGBM モデル	47
1-1 RGBM 理論の概観 および標準減圧理論概観	47
2. ビュールマン ZH-L16 モデル	49
2-1 理論の概観	49
2-2 S・モリソン論文全訳	51
2-3 P・チャップマン論文要約	58
2-4 E・ベイカー論文要約	62
第5章 新標準減圧表	71
1. 新標準減圧表計算指針	71
1-1 採用理論とその事由	71
1-2 具体的計算フローA ～二気体型	73
1-2-1 初期分圧	75
1-2-2 a, b 値	75
1-2-3 減圧過程の体内分圧計算	75
1-2-4 次の停止圧計算式	75
1-2-5 停止時間の体内分圧計算	76
1-3 具体的計算フローB ～単一気体型	77

1-3-1	初期分圧	78
1-3-2	M 値	78
1-3-3	減圧過程の体内分圧計算	78
1-3-4	次の停止圧計算式	78
1-3-5	停止時間の体内分圧計算	78
1-4	現実性のための補正	79
1-4-1	補正の必要性	79
1-4-2	補正の方向性と補正式の導出	80
1-4-3	補正結果の検証	83
2.	空気減圧表（圧気土木用）	89
2-1	空気減圧表（圧気土木用）試算条件	89
2-2	空気減圧表計算プロセス（補正なし）	90
2-2-1	STEP0 初期条件	90
2-2-2	STEP1 大気圧～ボトムタイム～第一減圧停止圧前まで	91
2-2-3	STEP2 第一減圧停止まで	93
2-2-4	STEP3 第二減圧停止まで	93
2-2-5	STEP4 第三減圧停止まで	94
2-2-6	STEP5 第四減圧停止まで	94
2-2-6	STEP6 第五減圧停止～大気帰還まで	95
2-3	空気減圧表計算プロセス（補正あり）	96
2-2-1	空気減圧表補正式	96
2-2-2	空気減圧表補正式	97
2-4	CPTD 試算表（補正あり）	98
2-5	空気減圧表（圧気土木用）	99
2-6	空気減圧プロセス模式図	108
3.	空気スプリット減圧表（圧気土木用）	109
3-1	空気スプリット減圧表（圧気土木用）試算条件	109
3-2	空気スプリット減圧表（圧気土木用）	110
4.	ヘリオックス減圧表（圧気土木用）	112
4-1	ヘリオックス減圧表（圧気土木用）試算条件	112
4-2	ヘリオックス減圧表計算プロセス	113
4-2-1	STEP0 初期条件	113
4-2-2	STEP1 大気圧～ボトムタイム～第一減圧停止圧前まで	113
4-2-3	STEP2 第一減圧停止まで	115
4-2-4	STEP3 第二減圧停止まで	116
4-2-5	STEP4 第三減圧停止まで	116
4-2-6	STEP5 第四減圧停止まで	117
4-2-7	STEP6 第五減圧停止まで	118
4-2-8	STEP7 第六減圧停止まで	119
4-2-9	STEP8 第七減圧停止まで	120
4-2-10	STEP9 第八減圧停止圧 6msw～大気帰還まで	121
4-3	CPTD 試算表	123

4-4	ヘリオックス減圧表（圧気土木用）	124
5.	空気減圧表（潜水用）	125
5-1	空気減圧表（潜水用）試算条件	125
5-2	空気減圧表（潜水用）	126
6.	空気スプリット減圧表（潜水用）	138
6-1	空気スプリット減圧表（潜水用）試算条件	138
6-2	空気スプリット減圧表（潜水用）	142
7.	ヘリオックス減圧表（潜水用）	145
7-1	ヘリオックス減圧表（潜水用）試算条件	145
7-2	ヘリオックス減圧表（潜水用）	146
8.	新減圧表の検証	147
8-1	スプリット減圧表の JUDF 表との比較	147
8-2	ヘリオックス減圧表の各種既存減圧表との比較	149
8-2-1	ヘリオックス減圧表（圧気土木用）と各種既存減圧表との比較	149
8-2-2	ヘリオックス減圧表（潜水用）と各種既存減圧表との比較	153
8-3	業務終了後ガス圧減少時間についての検証	158
第6章	新減圧表の使用アンケート調査	159
第7章	圧気作業の減圧症発症率	163
第8章	圧気・潜水作業の実地調査	165
1	圧気作業調査	165
2	潜水作業調査	175
第9章	酸素中毒	203

4年間の補助研究事業が終わって

本研究事業は平成19年度の1年間の事業であるが、平成16年度からの4年間の枠内で検討されてきた。この間、関係する潜水ならびに圧気作業に係わる全ての企業ならびに関係する作業者の各位が一致して全面協力して下さり、所期の予定されていた調査内容に関し、ほぼフル回答を得られたばかりか、調査にも率先して協力いただけたことをまず感謝致したい。その結果、調査目的はほぼ達成でき、資料の收拾も満足できる内容であったといえる。

当初目的の現、高圧則で定められている水深90m (0.88 MPa)、最大在底時間40分までをカバーできる減圧表の策定も試み、一応その理論式に基づく減圧表も完成をみた。この表は現行の標準減圧表である別表第2と比較すると第1減圧停止水深レベルは有意に深く、また減圧停止時間ならびに総減圧時間も現行の標準減圧表より遙かに長く、現行の別表第2には重大な問題が内在されている可能性を示唆するものであったが、今回の我々が試作した水深90m (0.88MPa) までの減圧表に関しても欧米で信頼性の高い減圧表と比較するとまだ十分に安全性は充足されているとは言い難い事が示唆された。それはフランスの減圧表が示唆しているように「水深60m、45分間の条件を超える短時間(不飽和)潜水は避けるべきであろう」との考え方も合致している。したがってこの条件を超える潜水が要求される商業用の潜水を行う場合には飽和潜水技法によるべきであり、短時間潜水に伴う減圧表を提示すること事態が安全な高気圧(潜水)作業の考え方に矛盾することになるのかも知れない。現行の標準減圧表が発表された昭和36年においては減圧表に対する検証がまだ十分になされておらず、安全性に対する十分な検証がなされないままに標準減圧表が先行してしまったと言えるのかも知れない。

本研究は作業効率や経済効率の立場からではなく、作業者に対してどれだけ安全な業務を保証出来るかとの立場から減圧表を勘案するものであるから、国際基準からみた安

全性評価のできる水深 60m (0.6 MPa)、最大 45 分までの減圧表を提示すべきか、あるいはその減圧表を導く基本的な考え方のみを提示すべき、実際の減圧表は企業サイドで総意工夫して独自の減圧表を策定して企業責任で安全な潜水（圧気）作業を行なってもらい、つまり減圧症管理もその他の業務管理と同様に自己責任とすべきではなかろうか。欧米では減圧表を含めた潜水管理については各企業管理に任せて行われているために互いに切磋琢磨することで少なくとも現行の日本の状況よりも遙かに進歩的で安全な潜水システムが確立している。日本もそのような環境の構築が必要な時代に来ているのではなかろうか。

平成 19 年 (2007) 3 月

東京医科歯科大学大学院 教授

主任研究者 眞野 喜洋

第1章 はじめに

新しい標準減圧表作成に伴う実地調査および検証調査研究

平成19年度厚生労働科学研究費補助金
労働安全衛生総合 研究事業
公募課題番号：H19 - 労働 - 一般 - 004

主任研究者 眞野喜洋（東京医科歯科大学大学院 教授）

分担研究者 山見信夫（東京医科歯科大学大学院 助教授）

芝山正治（駒沢女子大学人文学部 教授）

研究要旨

現行標準減圧表の問題点・矛盾点は、作業深度(圧力)が高い、または作業時間が長い場合には減圧症の発症率が增大するのか、酸素減圧を禁止する理由は何か、空気での潜水可能水深が90mまでであることが安全なのか、また、そこまでの深い水深までカバーする必要があるのか、ヘリウム混合ガス潜水の安全性および効率性があるものか、何故酸素減圧をしないと危険なのか等々である。これらに対する安全対策の工夫がまさに先進諸外国の姿勢であったが、日本では昭和36年以来改善改正は凍結されてしまい、諸外国の減圧表よりかなり遅れた古い概念による減圧表となっている。これらの矛盾点を修正し得る現行の減圧表別表第1、別表第2、別表第3(繰り返し潜水修正時間表)に代わる、諸外国の減圧表に勝るとも劣らない減圧表をほぼ完成させることができたので、そのモデル減圧表が我々の考えている通りに実用化された場合の安全性向上が十分に満足なものであると推論できるものかどうかについては欧米の最先端研究者に外部評価してもらおうと共に、完成されたモデル減圧表の実地検証を行い、種々の問題点と求められる課題を解決して、高気圧作業安全衛生規則、それに係わる労働安全衛生法ならびに労働安全衛生規則にどのような改善改訂を加えれば良いかの資料を提言することが本研究の目的であり到達目標である。

研究の目的、必要性及び期待される成果

当研究の目的は新しい標準減圧表が減圧症発症予防対策に十分満足し得るのかを検証し調査研究することである。労働安全衛生に寄与する検証結果とするためには外部評価や実作業に伴う検証が必要不可欠である。それは高気圧作業領域で従来から注目されていた急性期の減圧症のみならず無菌性骨壊死を含む慢性減圧症対策でもあり、今まで無害とされていた無症候性気泡つまり silent bubbles といえども、この形成を少しでも減少させる必要性が叫ばれているからに他ならない。

本研究の新しい減圧表は、減圧中に純酸素吸入を採用することで、身体内に形成される無数の silent bubbles の更なる消失を計ることが期待される。

このことが可能となれば、本研究で開発試行された新しい減圧表は、国際的にも広く普及できうるものと期待される。

新しい標準減圧表改正の骨子

厚生労働省の標準減圧表は1961年(昭和36年)に施行されたが、その後改正されることなく現在に至っている。

圧気作業で用いられる別表第1は0.39MPa(40m)まで許容しているが、この減圧表に従うと減圧症発症率は5%を超えると報告もある。潜水用である別表第2は水深90mまで空気潜水を許容しているが、この別表第2に従って90mまでの潜水をするならば、その危険性は非常に高いと言える。

厚生労働省による現行標準減圧表の作成根拠となる理論は不明であるが、ホールデン理論の6モデル、最大120分の半飽和時間によるものと推定できる。

これからの標準減圧表における基本概念：

- ① 別表第2の水深90m(0.88MPa)までの空気による呼吸用ガス使用は問題が多く、上限を設定すべきである。
- ② 潜函作業あるいは商業用潜水においては、水深35m以上においてはヘリウムによる混合ガス呼吸システムを使用することが望ましい。水深30～40mの作業領域は空気または混合ガス使用の境界領域として扱うと位置付けるべきであろう。
- ③ 上記①②に関する減圧表はその作成根拠(減圧計算理論式など)と共に公表されるべきであろう。公表される減圧表は絶対的なものではなく、標準を示す例示にすぎず、企業はそれに準用して自社開発し、オリジナルな減圧システムで安全作業を競うべきである。
- ④ 減圧停止を必要とする作業水深(圧力)は水深8mから始められるべきであろう。
- ⑤ 減圧を要する作業においては酸素減圧が原則的に採用されるべきであろう。
- ⑥ 高気圧作業においては、水深(作業圧力)が35m以上の場合には原則としてダイビング・ベルまたは昇降用エレベーターが用意されるべきであろう。
- ⑦ 減圧症発症時の現場における空気による救急再圧は禁止されるべきである。必要不可欠な場合には専門医指導の下に酸素吸入装置の備えられた第2種装置(副室を要する大型)による酸素再圧治療がなされるべきであろう。
- ⑧ 個々のダイバーは圧気作業者と同様に潜水(圧気)作業歴等の必要事項が記載されている手帳(ダイバーまたは圧気手帳)を常に保持管理していることが原則であろう。

など

減圧管理の現状

- ① 厚生労働省の標準減圧表は1961年に刊行されたが、その後改正されることなく現在に至っている。
- ② 別表2は水深90 mまで空気潜水を許容しているがこの減圧表に従って90mまで潜水するダイバーはいない。
- ③ 別表1は0.39MPaまで許容しているが減圧表に従う潜函作業を行うと減圧症発症率は5%を超えるという報告がある。
- ④ 厚生労働省の標準減圧表の作成根拠となる理論は全く示されていない。しかし、ホールデン理論の6モデル、120分半飽和時間に依ったものと推定できる。

減圧表に対する現実的な対応:潜水の場合

- ① スポーツ・ダイバーは日本の標準減圧表より、USN、カナダ、英国等のテーブルを利用するか、自己流を好む。
- ② 科学ダイバーはNOAAテーブルを好む。
- ③ 作業ダイバーは日本の別表2を使用しなければならないが幸いなことに水深はほとんど20m以浅である。作業(漁業)潜水をしたヘルメット・ダイバーは無菌性骨壊死に罹患する事例が多い。
- ④ オフショア・ダイバーは海外の減圧表か独自で開発したより安全率の高い減圧表を使用し、バンス・ダイブかサット・ダイブを選択している。

職業ダイバー人口と所属会社数の推定

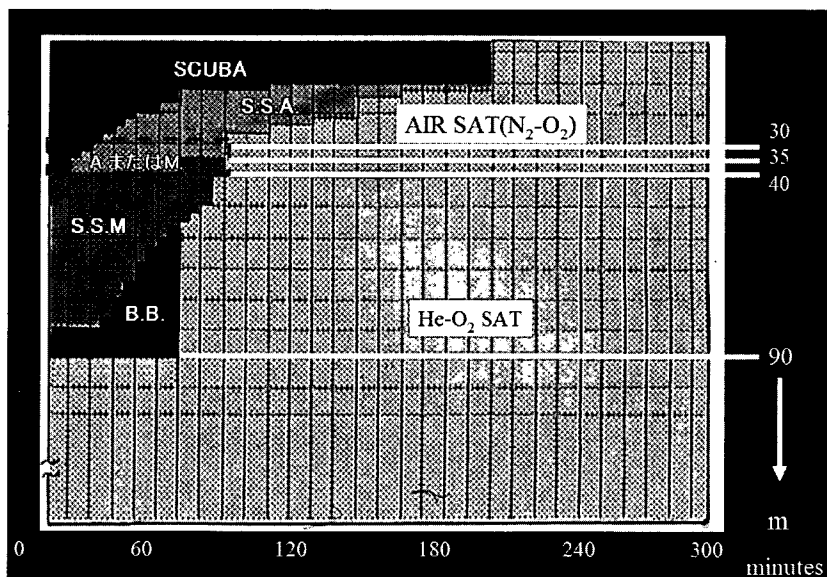
	会社数	ダイバー数
1. 港湾土木	1,200	5,000~6,000
2. 水産業	800	2,500~3,000
3. 海中探査、調査、救難	200	1,500~2,000
4. 海女(海人)	?	3,000~4,000
5. その他	?	2,000
計	2,200	14,000~19,000

使用潜水器材の割合 (%)

	SCUBA	他給気式 (フルフェイスマスク)	ヘルメット
港湾土木	10	80	10
水産関係	70	10	20
海中探査、調査、救難	90	10	0
沖合作業(油田、天然ガス)	5	95	0
その他	95	5	0

業種別の作業水深割合 (%)

	~10m	10~20m	20~30m	30~60m	60~80m	80~
港湾土木	35	45	18	2	0	0
水産関係	20	30	30	15	4	1
海中探査、調査、救難	30	30	20	15	4	1
沖合作業 (油田、天然ガス)	5			30	50	15
その他	50	25	20	4	1	0



深度と時間の関係から潜水方法が異なる

潜水整備別:深度・時間制限

(1) スキューバ潜水 (SCUBA)

注意事項

- ① 単独潜水にあたっては、ライフライン付有線電話装置を必ず使用し、通話を確保すること。
- ② 無減圧潜水限度に近づく事を考慮にいれ、6mに予備のポンベを用意しておくこと。
- ③ 可能な限り、オープンボトムベルまたは、ステージを用意し、潜水回収を迅速に行うこと。
- ④ スタンバイ潜水士を必ずつける事。

禁止事項

- ① ラ이프ライン及び有線通話をもちいぬ単独潜水についてはこれを禁止する。
- ② 無減圧潜水時間以上(水中減圧をおこなう)のスキューバ潜水作業は、禁止する。

(2) 他給気式空気潜水 (S.S.A.)

注意事項

- ① 全ての減圧を必要とする潜水作業をおこなう場合には、このモードの潜水設備を用意する。8m以深の潜水作業をおこなう場合には、第2種の再圧室を必ず用意する。
- ② 再圧室は、潜水設備設置場所にてただちに使用できる状態にある事。
- ③ 水中での減圧を必要とする場合には、ベルによるかバウンスによる再圧室で酸素減圧を行う。
- ④ ベルによる酸素減圧が不可の場合には、AIR BOUNCE DIVE SYSTEM (船上減圧法)の装備を標準とする。
- ⑤ AIR 潜水においては例外的理由を除いて無減圧潜水を原則とする。
- ⑥ スタンバイ潜水士は必ず用意する。

禁止事項

- ① 40mを超えるこのモードの潜水作業は、原則的に禁止する。
- ② 寒冷地、重作業、潜水士の判断が要求される水中作業の場合で 30m を超えるこのモードの潜水作業は、原則的に禁止する。

(3) 他給気式混合ガス潜水 (S.S.M.)

注意事項

- ① 減圧テーブルについては、あと5分の予備時間があるか、非常事態も考慮にいれ、この範囲とする
- ② 場所によって50m以上は禁止されている所もあるので事前に確認すること。
- ③ 潜水士の昇降手段として、オープンボトムベルか潜水ステージを必ず用意する。

- ④ 水深 40m を超える場合にはベル・バウンスが優先されることを標準とする。
- ⑤ スタンバイ潜水士を必ず用意する。

禁止事項

- ① 90 m 以深の S. S. M. は禁止する。

(4) ベル・バンス潜水(BELL を用いる潜水で SAT にはいらぬ所)

注意事項

- ① このモードの潜水作業をおこなう場合には、緊急時には SAT モードに切り替えられるよう、SAT 用のガスを必ず用意しておくこと。
- ② S. S. M. の潜水整備も必ず現場に用意しておくこと。
- ③ 非飽和潜水限度は、90m とする。

(5) 飽和潜水 (N₂-O₂ 及び He-O₂ SATURATION)

注意事項

- ① 1 回のベルランは原則的に 8 時間以内とする(ただし、状況によっては 12 時間 MAX)。
- ② 減圧終了後 6 時間は、システムを即時に運転できる状態で維持し、減圧症発症時にすぐ再加圧できるようにしておく。
- ③ 潜水士 1 名についてのロックアウト作業時間は、4 時間以内とする。
- ④ 飽和潜水士は、減圧終了後 48 時間は要観察時間とし、期間中の潜水作業および他の現場への移動をおこなってはならない。

禁止事項

- ① 12 時間を超えるベルラインは、おこなってはならない。
- ② 28 日間以上の飽和潜水(加圧、減圧を含め)は、おこなってはならない。
- ③ 飽和潜水作業終了後、潜水士は飽和潜水に要した日数の 2 倍の期間中は、飽和潜水をおこなってはならない。

管理された offshore ダイバーの減圧症発症率 その 1 (Air dive)

depth (m)	dive number (times)	number of DCS	incidence (%)
0~20	9,115	1	0.011
20~30	6,529	4	0.061
30~45	6,368	7	0.110
over 45	713	2	0.281
total	22,725	14	0.062

管理された offshore ダイバーの減圧症発症率 その 2 (Mixed gas dive)

depth (m)	dive number (times)	number of DCS	incidence (%)
30~45	534	0	0.000
45~60	972	0	0.000
60~70	716	2	0.279
70~80	499	0	0.000
80~90	5	0	0.000
Total	2,726	2	0.0731

管理された offshore ダイバーの減圧症発症率 その 3 (Sat dive)

depth (m)	number of SAT (times)	Number of SAT divers (persons)	number of DCS (time)	Incidence (%)
30~60	30	79	0	0.000
60~80	46	221	1	0.452
80~100	8	19	1	5.263
over 100	6	30	0	0.000
total	90	349	2	0.573

高圧則と新空気減圧表の考え方の相違(1)

	高圧則	新空気減圧表
計算理論	Haldane の微分方程式とその解	同左
半飽和組織の数と種類	組織数 6, 最長 120 分	組織数 9, 最長 240 分

数値計算

1) 適用範囲	$0 < P \leq 0.4 \text{ MPa}$ $P \leq 0.88 \text{ MPa}$ (潜水作業)	$0 < P \leq 0.4 \text{ MPa}$
2) 加圧・減圧速度	0.08 MPa/分	同左
3) 圧力刻み	0.03 MPa	同左

高圧則と新空気減圧表の考え方の相違 (2)

	高圧則	新空気減圧表
別表 1、別表 2 に分け 潜水・圧気同一減圧表		
1) 減圧停止圧力	減圧比 (=窒素分圧/環境圧力) $\approx 2.0 \sim 1.75$	Workman の M 値
2) 酸素吸入	考えていない	0.12MPa から開始 25 分の酸素吸入と 5 分の Air Break を繰り返す 昼の休憩時や減圧終了後も行う場合がある
3) 最終減圧停止	0.03 MPa	0.06 MPa
4) 残存窒素分圧	減圧終了時に 120 分組織で 1.76atm	翌朝 7 時 30 分に 240 分組織で 0.80 atm

今回の減圧表の計算方法

	圧気土木	潜水
深度 (D)	$8m < D \leq 40m$	$8m < D \leq 60m$
減圧プロセスの概要	12m 以浅の第一停止深度から酸素減圧	9m まで空気呼吸で減圧停止→急速浮上→船上で 12m まで再加圧→酸素減圧→大気圧まで減圧 * 急速浮上開始から再加圧まで 5 分以内
エアブレイクの有無	エアブレイクの有 酸素吸入 25 分・吸入 5 分の繰り返し	同左
最浅停止深度	6m	9m
加圧速度・減圧速度	8m/分以下・1.5m/分以下	10m/分以下・1.5m 以下・急速浮上以降の加減圧は 10m/分以下
業務スケジュール	現場入場 8:00→作業(加圧)開始 8:30→作業(減圧)終了後 60 分休憩→現場退場 17:00	
最大作業時間 (休憩時間除く)	450 分	

第2章 昨年度の成果

昨年度の本業務の成果を受け、その評価から本年度の業務を開始しているため、はじめに昨年度の業務内容と成果を手短かにまとめることとする。昨年度、つまり2006年度は、前年度までに理論の詳細について十分に検討済みであったところのホールデン理論とワークマンのM値に基づき、具体的な減圧表の試算を行った。そのほか、前3年度の成果について要約した成果をまとめた。減圧表の試算については、大きく分けると、空気減圧表、ヘリオックス減圧表、ナイトロックス減圧表、船上減圧表、繰り返し潜水表5種である。以下にその具体的成果をまとめる。

昨年度の具体的成果

1 空気減圧表

空気減圧表は、圧力40msw、30msw、20msw×ボトムタイム60分、90分、120分、180分の計12通りの減圧表の試算を行い、その結果をグラフ化することで可視化し高圧則やU.S.N.減圧表との比較分析を行った。そのうち、40msw、180分という試算については、各減圧ステップ毎の半飽和組織の窒素分圧について、計算結果を詳細に表示し、容易に再現できるようにした。また積算UPTD(CPTD)の計算も行い、同時に圧気土木での標準的な業務時間を考えた場合のタイムスケジュールを表示した。さらに、酸素減圧が不能になった場合についても試算を行った。また、大気帰還後の窒素分圧についても理論上の安全性を確認した。加えて、圧気土木作業で要請の高い、低い圧力における繰り返し潜水=スプリットシフトについてもその限界時間を探った。もう一つ、連日作業時における酸素吸入をしない場合の体内窒素の蓄積状況についての試算も行った。なお細かい計算の設定等については、昨年度の報告書に譲る。試算結果は、高圧則やU.S.N.減圧表よりかなり長い減圧時間となり、安全性の面からも満足な結果が得られた。なおこの試算より酸素減圧が標準として取り入れられ、これにより減圧時間を短縮すると同時に、CPTD値が大きくなることによる圧力×ボトムタイムの臨界が決まる場合も生じた。大気帰還後の窒素分圧については、酸素吸入の効果により、十分な値に降下することが確認された。スプリットシフトについては、安全性を確保しつつ、実際の現場におけるスケジュールに十分対応できることが分かった。

2 ヘリオックス減圧表

ヘリオックス減圧表は、圧力90mswではボトムタイム60分、75分、90分、100分、

120分・70msw、40mswではボトムタイム60分、90分、120分の計11通りの減圧表の試算を行い、その結果をグラフ化することで可視化しU.S.N.減圧表との比較分析を行った。また積算UPTD(CPTD)の計算も行い、同時に圧気土木での標準的な業務時間を考えた場合のタイムスケジュールを表示した。さらに、ヘリオックス吸入が不能になった場合(70msw・90分)について、酸素吸入有となしそれぞれについて試算を行った。なお細かい計算の設定については、昨年度の報告書に譲る。試算結果は、U.S.N.減圧表より長めの減圧時間となり、安全性の面からも満足な結果が得られた。なお空気減圧表の場合と同様、この試算より酸素減圧が標準として取り入れられ、これにより減圧時間を短縮すると同時に、CPTD値が大きくなることによる圧力×ボトムタイムの臨界が決まる場合も生じた。

3 ナイトロックス減圧表

ナイトロックス減圧表は、圧力40mswでボトムタイム60分、90分、120分の計3通りの減圧表の試算を行い、その結果をグラフ化した。また積算UPTD(CPTD)を踏まえ、圧気土木での標準的な業務時間を考えた場合のタイムスケジュールを表示した。なお細かい計算の設定については、昨年度の報告書に譲る。試算結果は、40mswの深さではもっとも短い減圧時間となり、混合ガスの種類と比率が減圧時間を大きく左右することが分かった。

4 船上減圧表

船上減圧表は、潜水における浅震度での停止の困難さを補うために、海外では一般的に用いられる減圧方法であるが、国内において減圧表として試算されるのははじめてである。これは、圧力40msw、30msw、20msw×ボトムタイム60分、90分、120分、180分の計12通りの減圧表の試算を行い、その結果をグラフ化することで可視化しU.S.N.減圧表や通常の空気減圧の試算との比較分析を行った。また積算UPTD(CPTD)の計算も行い、同時に圧気土木での標準的な業務時間を考えた場合のタイムスケジュールを表示した。なお細かい計算の設定については、昨年度の報告書に譲る。試算結果は、同プロファイルの空気減圧の試算やU.S.N.減圧表よりほとんどの場合長めの減圧時間となり、安全性の面からも満足な結果が得られた。

5 繰り返し潜水表

繰り返し潜水表は、1999年のNOAAダイビングマニュアルにおける繰り返し潜水表を解釈し、その成立根拠を分析することで、繰り返し潜水のためのフローを同様の方法で

構築できることを示している。具体的には、すべての組み合わせを試算した場合、数万通りとなる無減圧の繰り返し潜水における、1回目の潜水の滞底時間－水面の大気時間－2回目の潜水の最大滞底時間を120分組織における体内窒素分圧の残留を指標化することで一定のフローに基づいて求めている。実際上は、JUDFのDCIEMダイビングテーブル等でより簡略化して使用されているものである。

6 減圧表の評価

2006年度の減圧表試算時における最大のポイントは、この時点の計算では、特にヘリオックスの減圧過程で、窒素とヘリウムが両方組織中に溶解する状態のシミュレートが行われておらず、また慣例的なボトムタイム2倍という操作が行われていたことである。これにより、ヘリオックス、ナイトロックス、空気の同一プロファイルの比較で、ヘリオックスの減圧時間が長くなるという転倒現象が生じている。なお、翌朝までの体内窒素分圧を降下させるための酸素吸入を行っているため、その必要がないヘリオックスが総拘束時間では短くなっている。全体的には、酸素減圧の標準的な導入による減圧時間の短縮が見られるが、一方でCPTD値の臨界により作業時間や連続作業日数が制限される場合も見られた。

第3章 第三者評価について

1. 第三者評価一要旨

国際的に信頼性の高いことで知られるカナダのダイビングテーブル DCIEM (Defence and Civil Institute of Environmental Medicine) の計算で知られる Dr. Ronald Yutaka Nishi 氏に、昨年度秋までに前任者(石井氏)によって試算された、詳細プロセスの解説も含むヘリオックス減圧表について第三者評価をお願いした。以下がその要旨である。

日本の減圧表は、数値的方法であり、PHe に関する数値積分による厳密解を採用していない。つまり移行時間の間の圧力平均をとっている。しかし計算によれば両者の差はそれほど大きなものではない。

日本の減圧表では、(Workman モデルの補正のため) 高圧下時間を 2 倍として計算している。これは保守的な割り増しであり、Workman モデルの根本的な見直しの方が不可欠である。

日本の減圧表では、最短の停止時間を 10 分、それを下回る停止をすることはしない設定である。これがスキップステップやそのほかの再現不能性につながっている。また計算の積み上げによるストレートな減圧の軌跡とかなりのズレがあることが指摘される。

日本の減圧表で、ボトムガス設定圧と PHe 初期分圧の設定が同じであること、つまり組織がある程度飽和している設定はリアリティーがない。[ただし、石井氏の英訳では別(初期値 8msw)になっている。]

日本の減圧表で、酸素吸入時の酸素濃度が 80%としているのは現実的でない。[ただし、石井氏は 100%で計算しているはずである。]

日本の減圧表は、フランスや DCIEM と比べ第一減圧停止圧が浅すぎる。また減圧時間が短すぎる。

日本の減圧表で設定されている大深度長時間の比較は難しい。本来潜水の減圧表は、深度が増えるにつれてボトムタイムを制限する。60msw で 45 分と言うのが潜水でのリミットの例 (DCIEM) である。

日本の減圧表での、ヘリウム分圧が、空気吸入～酸素吸入～エアブレイクに至るまで 20%という設定はリアリティーがない。上記も含めヘリウム分圧と窒素分圧の両方を考慮した計算をすべきである。