

高気圧作業安全衛生規則改正に伴う改正前の潜水作業深度の実態調査

芝山正治¹⁾・津田紫緒²⁾・小宮正久³⁾

Research on the Maximum Depths of Commercial Diving Operations before the Revision of the Ordinance on Safety and Health of Work under High Pressure

Masaharu SHIBAYAMA, Shio TSUDA, Masahisa KOMIYA*

Abstract

In April 2015, the Ordinance on Safety and Health of Work under High Pressure was revised and air diving is limited to a maximum depth of 40 meters.

In this study, the maximum depths of commercial diving operations before the revision were investigated thru the diving operation records from 1996 to 2013.

It is found that 2 to 4 percent of operations were over the depth of 40 meters among recreational dive instructors and tour guide divers prior to the revision, and it was needed to comply with the provisions of the prescribed ordinance.

Operations over the depth of 40 meters were also found in the onshore diving operations before the revision of the ordinance. It is considered that the operational plans had been already ensured to follow the revised ordinance.

1. 背景

高気圧作業安全衛生規則（以下、高圧則）が平成27年4月に一部改正・施行された^{1)~3)}。

改正内容は、空気を用いた深度の上限、混合ガスを用いることの推奨、減圧中の酸素吸入の利用などである。改正は主に減圧表に関するもので、旧減圧表の別表1、2、3は廃止となった。減圧表は、ビュールマン（Bühlmann）ZH-L16モデル（1990年）^{4,5)}の減圧理論に基づいた窒素の半飽和時間5分から635分まで、ヘリウムは1.887分から239.623分までの16の組織に分類して、計算式（式）^{1,3,4,5)}により減圧表を作成

して使用することとなった。

呼吸ガス分圧の制限（高圧則第15条）¹²⁾により酸素18キロパスカル（kPa）以上160キロパスカル以下（PO₂ 0.18 ~ 1.6）、窒素400キロパスカル以下（PN₂ 4.0、深度40m）とされた。また、酸素の場合は減圧時に安全が確保できるのであればPO₂ 0.18 ~ 2.2とされ、減圧時に深度12mより純酸素吸入による減圧が可能となった。窒素においては、吸入ガスが空気の場合は可能な最大深度が40m以下となり、40mを超える空気潜水は禁止となったが、深度30 ~ 40mの範囲の潜水でも空気を用いなくてよい

1) 駒沢女子大学 人間健康学部 健康栄養学科

2) 東京医科歯科大学医学部保健衛生学科

3) 東京都健康安全研究センター

$$P_{1,m,n} = (P_a + P_b) \cdot N_m + R \cdot N_m \cdot \left(t - \frac{1}{k_1} \right) - \left\{ (P_a + P_b) \cdot N_m - P_{1,m,n-1} - \frac{R \cdot N_m}{k_1} \right\} \cdot e^{-k_1 t}$$

$P_{1,m,n}$: 変化後の不活性ガス分圧 (1=1, 2, 3...16 ; m=N₂, He ; n=1, 2, 3, ...) [kPa]

$P_{1,m,n-1}$: 変化前の不活性ガス分圧 (1=1, 2, 3...16 ; m=N₂, He ; n=1, 2, 3, ...) [kPa]

P_a : 大気圧 [kPa] (ここでは絶対圧を求め、基本 100kPa を採用)

P_b : 変化前の環境圧力 (ゲージ圧力) [kPa]

N_m : 不活性ガス濃度 (m=N₂, He) [%]

R : 加減圧速度 [kPa/min] (加圧速度は正、減圧速度は負の符号とする)

t_2 : 当該工程に要する時間 [min]

S_1 : 不活性ガスの半飽和時間 (1=1, 2, 3, ...16) [min]

$$K_1 : \frac{\log_e 2}{S_1}$$

式 改正減圧表の計算式 (窒素)

トロックス (酸素32%、残り窒素) を用いた潜水が望ましいとされている^{1~3)}。

2. 目的

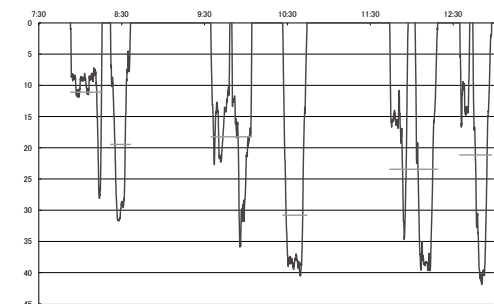
高圧則の改正により空気での潜水可能深度は 40m 以下とされたことにより、改正前の潜水作業実態を過去の調査研究の資料を用いて潜水業種別に調べ、40m を超える頻度の割合を検証したので報告する。

3. 調査方法

調査対象潜水者は、漁業潜水者、港湾作業などの作業潜水者、レクリエーションダイバーを対象としているガイドやインストラクターダイバーとし、記録時計を携行して実測された潜水プロフィールから最大潜水深度を調べた (図 1)。また、レクリエーションダイバーを対象としたアンケート調査 (聞き取り、ガイドやインストラクターダイバー) による過去に経験した最大深度を調べた。呼吸ガスは全て空気を用いた。調査期間は 1996年～2013年である。

4. 結果

漁業潜水者の潜水回数は、延べ782回で30m を超える潜水が258回 (33%)、そのうち40m を超える潜水が34回 (4.3%) であった (図 2)。作業潜水者の港湾作業は17回すべてが20m 以下 (図 3)。構造物の保守点検潜水 (オフショア潜水 : offshote (外洋) とも言われている) は15回で、すべてが35m 以上、40m を超える



	潜降時間	浮上時間	潜水時間	最大水深	平均水深	休憩時間
1本目	7:53	8:15	0:22	28.1	11.1	0:06
2本目	8:22	8:36	0:14	31.7	19.5	0:58
3本目	9:34	10:04	0:29	35.9	18.2	0:22
4本目	10:26	10:44	0:17	40.5	30.8	1:00
5本目	11:44	12:18	0:34	39.7	23.4	0:16
6本目	12:34	12:57	0:22	41.9	21.1	-

図 1 潜水プロフィールの一例 (漁業潜水者)

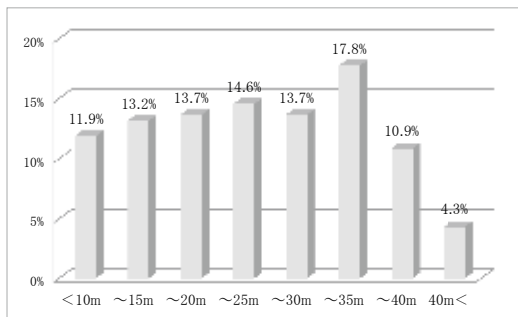


図2 漁業潜水者の潜水深度の分布 (n.782回)

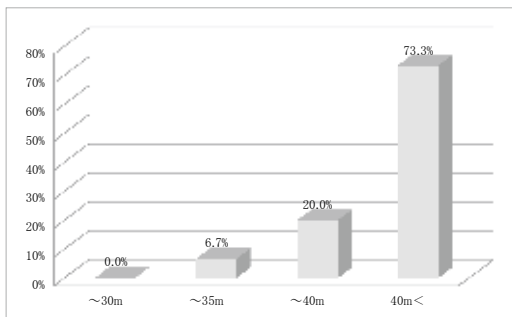


図4 構築物の設置や撤去の作業潜水者 (15回)

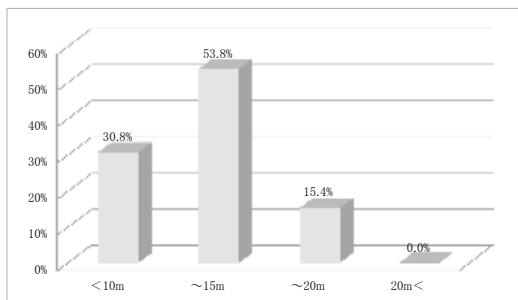


図3 港湾潜水者の潜水深度の分布 (17回)

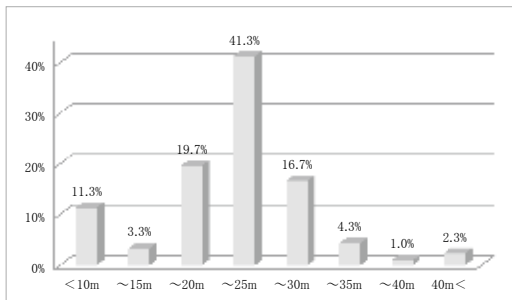


図5 インストラクターやガイドダイバーの潜水者 (300回)

潜水は11回 (73.3%) であった (図4)。インストラクターやガイドダイバーは300回中、30mを超える潜水が23回 (7.6%)、40mを超える潜水が7回 (2.3%) であった (図5)。また、インストラクターやガイドダイバーを対象とした1,248件のアンケート調査では、過去に経験した最大深度が30mを超える件数が1,184件 (94.9%)、40m以上の件数が773件 (62.0%) であった (図6)。

5. 考察

高気圧作業安全衛生規則は昭和47年(1972年)に施行されたが、従来のは減圧表のもととなる減圧理論が明確でなく、空気での潜水可能深度が90m (0.88MPa) まで可能⁶⁾とされるなど問題点が多くあった。改正により減圧理論は灌流モデルを用い、BühlmannのZH-L16のM値 (maximum allowable value) を超えない規

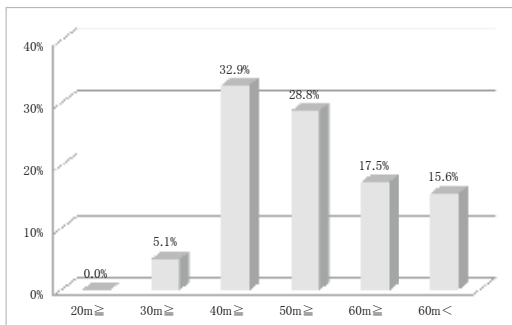


図6 アンケート調査による経験した最大深度の分布 (1,248名) (インストラクターやガイドダイバー)

定とされた。また、第15条のガス分圧の制限^{1,3)}により、空気潜水の限度、減圧中の純酸素吸入、混合ガス潜水などが実施可能となった。具体的な内容は次の通りである。

(1) 空気は40m以下、40mを超える場合は混合ガス^{1~3)}

高圧則の改正により、窒素の分圧 (PN_2) が 400kPa 以下とされたことにより、空気での潜水深度は40mが限度となった。その結果、40mを超える潜水の場合は混合ガスを用いなければならなくなった。混合ガスとは、ナイトロックス (Nitrox、酸素と窒素の混合ガス)^{7~9)}、ヘリオックス (Heliox、酸素とヘリウムの混合ガス)¹⁰⁾、トライミックス (Trimix、酸素と窒素とヘリウムの3種混合ガス)^{11,12)} があるが、ナイトロックスは酸素と窒素の混合ガスであるため酸素濃度を32%のガスを用いる場合は PO_2 が 160kPa¹²⁾ を40mで超えてしまうため、30~40mの範囲であれば安全対策のために望ましいが、40mを変える潜水では用いることが出来ない。可能な混合ガスは、ヘリオックス (酸素とヘリウムの混合ガス) またはトライミックス (酸素と窒素とヘリウムの3種混合ガス) となる。それぞれの混合ガスの各ガスの割合は、ヘリオックスの酸素濃度は高圧則第15条により PO_2 18~160kPa とされているので、酸素20%の混合比であると最大深度70mまで途中で呼吸ガスを変更することなく潜水が可能となる。トライミックスは、 PO_2 (18~160kPa) と PN_2 (400kPa以下) が制限されているため、それぞれのガス濃度を調整すれば潜水可能となる。

(2) 減圧中の酸素吸入^{1~3)}

減圧中に純酸素吸入による減圧が可能となった (高圧則第15号²⁾)。酸素分圧は PO_2 220kPa (純酸素で12m以下) まで使用が可能であるが、この条件には、潜水作業者が減圧中に溺水しないよう必要な処置を講じる場合のみに認められる。その方法は、詳細には規定されていないが、急性の酸素中毒により意識が朦朧となった時

または意識消失の時に呼吸を確保出来るためにヘルメットタイプやバンドマスクタイプなどの全面マスク式の呼吸器を用いることであり、減圧停止中の「さがり綱」 (高圧則第33条) から手を離して墜落などの事故を防ぐため、「さがり綱」に潜水者をロープで固定する方法などの処置や写真のようなオープンタイプのダイビングベルを減圧時に用いることで溺水しないような処置とされるようである。ただ、写真のようなオープンベルは装置そのものの価格やクレーンの使用などを要すことから全ての現場で用いることは難しいようである。

(3) 減圧計算式の安全率^{1~3)}

高圧則改正により安全面が向上されたが、減圧症の予防対策には決定的な減圧理論や対策は存在しない。すなわち減圧症の発症を100%防ぐことはできない^{14~18)}。ただ言えることは、減圧症予防のために最低レベルの基準を守ることへの必要性が発生していることである。

空気での潜水可能深度が40m以下とされたことは、最低の基準であり、過去の空気による潜水深度の把握を踏まえて、高圧則改正による対策を検証しなければならない。

本研究により、全ての潜水作業形態による検証が網羅されたとはいえないが、一つの現状を調べることができたと考えている。その結果、漁業 (図2) およびインストラクターやガイドダイバー (図5) では40mを超える潜水の割合が2~4%であることが判明した。漁業潜水者は主に追い込み漁業潜水^{19~21)} であり、そのプロフィールは1日に10回以上の時もあり漁業海域や潮流などの自然条件によりその回数や深度は異なってくる。過去には死亡事故に至った事例や脊髄型の障害で下肢麻痺による車イス生活に至った方々も数多く存在する。また、ガイ

ドやインストラクターダイバーに対するアンケート調査¹³⁾では、過去に経験した最大深度は40mを超える割合が62%に達していることから、高圧則改正を機会に意識改革、減圧症予防の在り方を再認識する必要がある。

一方、港湾潜水や構築物の保守点検の作業潜水者は、40mを超える潜水作業を行っているが、安全面の対策が行われ、高圧則改正に基づき、それらの対策も講じられると思われる。ただ、高圧則は最低の基準であり、より高い安全対策を考慮した作業基準²²⁾を構築する必要がある。

その一つに減圧理論に基づき計算される課程で安全率を1.0倍ではなく、1.1倍で計算することにより減圧症の発症率をより低く抑えられることである。また、安全面を考慮した減圧中の酸素利用も安全率が高まり、減圧時間が短縮され、潜水者への拘束時間が減少し、安全衛生面でも好ましい作業形態である。

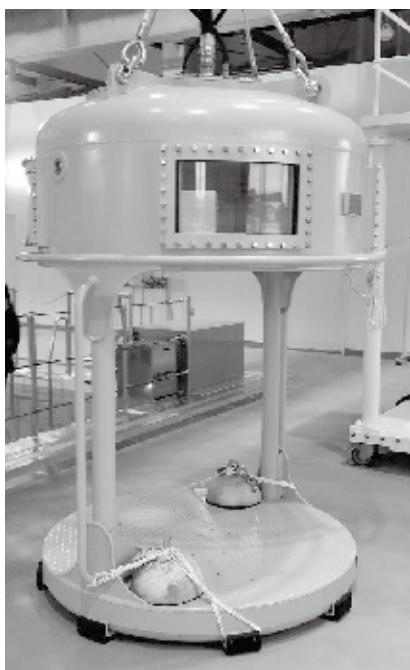


写真 ダイビングベルの一例
海上自衛隊潜水医学実験隊で使用されている水中減圧法

6. 結語

高気圧作業安全衛生規則の一部改正により、空気潜水の最大深度が40m以下となった。改正前の空気を用いた最大深度を調査した結果、港湾潜水や構築物の保守点検の作業潜水者は40mを超える潜水を行っていたが、改正後は業務マニュアルに準じた潜水作業を実施する対策が講じられていた。しかし、漁業潜水者およびガイドやインストラクターダイバーは2～4%の割合で40mを超える潜水を行っていた。また、アンケート調査により62%が過去に経験した最大深度が40mを超えていた。改正を機会に情報提供と厳守するための普及活動が必要である。

参考文献

- 1) 官報 (2014、平成26年12月1日) 高気圧作業安全衛生規則の一部を改正する省令 (厚生労働132)、号外第267、p1-4
- 2) 中央労働災害防止協会 (2015) 潜水士テキスト、第15条 (ガス分圧の制限) p272-273、平成26年厚生労働省告示第457号第3条 (厚生労働大臣が定める区間等)、p275-279、中央労働災害防止協会
- 3) 東京労働局長 (2015) 高気圧作業安全衛生規則の一部を改正する省令の施行等について、第3細則事項1 (5) 第15条 (ガス分圧の制限) ウ (ア)、東労発基第57号、平成27年1月15日
- 4) Bühlmann, A.A. (1984) Decompression-Decompression Sickness. Berlin: Springer-Verlag.
- 5) Bühlmann, A.A. (1995) Tauchmedizin. Berlin: Springer-Verlag.
- 6) 中央労働災害防止協会 (2012) 潜水士テキスト、p346-349、中央労働災害防止協会東京

- 7) 古矢晴彦 (2000) ナイトロックス、エンリッチドエアーの供給業者から見た現状、安全潜水を考える会「研究集会」、2:46-49
- 8) 小宮正久 (2000) 日本におけるナイトロックスの現状、安全潜水を考える会「研究集会」、2:37-41
- 9) 久保彰良 (2000) 指導団体からみたナイトロックスの利用、安全潜水を考える会「研究集会」、2:42-45
- 10) 社会スポーツセンター (1996) NOAA (アメリカ海洋大気局) Diving manual、第15章 混合ガス並びに酸素ガスによる潜水、p15-1~15-16、社会スポーツセンター、東京
- 11) 芝山正治、山見信夫、アントニオ瑞昭世良、中山徹、眞野喜洋 (1994) 高地環境下での飽和潜水作業について、Ann. Physiol. Anthropol. 13 (6):411-419
- 12) 山見信夫、眞野喜洋、芝山正治、中山晴美、石井通夫、阿部慎太郎、高橋正好 (1996) 混合ガス潜函のハードウェアとその安全確保、日高圧医誌、31 (2):113-117
- 13) 芝山正治 (2013) スターバダイビングの安全対策に関する潜水障害の発生頻度および予防に関する調査研究-18年間の調査結果から-、駒沢女子大学研究紀要、21:255-262
- 14) 池田知純 (1995) 潜水医学入門、p52-133、大修館書店、東京
- 15) 川島真人、野呂純敬 (1994) 減圧症、最新医学、49 (7):22-27
- 16) 眞野喜洋 (1988) 減圧症治療の現状と問題点-東京医科歯科大学における減圧症治療の現状-、日本高気圧環境医学会誌、23 (4):185-192
- 17) 芝山正治 (2007) レジャーダイバーの減圧障害 (DCI) 発症件数を推測、駒沢女子大学研究紀要、14、103-109
- 18) Freiberger J J et al (2002) The relative risk of Decompression sickness during and after air travel following diving. Duke University, Aviat Space Environ Med 73:980-984
- 19) 芝山正治 (2008) 沖縄地区の追い込み漁業潜水者の潜水プロフィールからみた減圧症の危険率、駒沢女子大学研究紀要、15:75-85
- 20) 芝山正治、山見信夫、外川誠一郎、柳下和慶、眞野喜洋 (2007) 北海道と伊豆諸島の漁業潜水者の潜水プロフィールからみた減圧症予防対策、日本高気圧環境・潜水医学会雑誌、42 (2):109-113
- 21) 芝山正治 (1995) ダイビング・データ・レコーダを用いた漁業潜水者 (神津島の追い込み漁法) の潜水プロフィールに関する実態調査、駒沢女子大学研究紀要、2:151-157
- 22) 山見信夫、山本五十年、井上治、西村周、池田知純、鈴木信、外川誠一郎、三保仁、山崎博、芝山正治、小宮正久、村田清臣、慶松亮二、田原浩一、眞野喜洋 (2009) 「ダイビングの安全基準」はどうあるべきか、44 (2):61-66