

労災疾病臨床研究事業費補助金

高気圧作業に伴う船上(水上) 減圧等に係る調査研究

平成29年度 総括研究年度終了報告書

研究代表者

東京慈恵会医科大学環境保健医学講座

池田 知純

平成30年3月

目 次

I. 総括研究年度終了報告

高気圧作業に伴う船上(水上) 減圧等に係る調査研究 ----- 1

労災疾病臨床研究補助金事業費補助金
統括研究報告書及び
分担研究報告書

高気圧作業に伴う船上(水上) 減圧等に係る調査研究

研究代表者 東京慈恵会医科大学環境保健医学講座
客員准教授 池田知純
研究分担者 東京慈恵会医科大学環境保健医学講座
非常勤講師 望月徹

研究要旨

本研究の目的は、船上減圧法に係わる諸外国における規制の状況及び安全に実施するための技術的要件について文献等の調査を実施し、高気圧作業安全衛生規則への適用を検討するために必要な知見を得ることにある。

船上減圧法は1930年代に米海軍によって開発されて以降、海軍サルベージ作業や海底油田ガス開発に伴う潜水作業に用いられてきた。海底石油資源に乏しい我が国では、船上減圧法を利用した潜水作業はほとんど行われておらず、十分な知見も無い。そこで、船上減圧法の検討に際し、その安全基準を知るために、比較的大深度での潜水作業が多く行われている欧米6カ国(米、カナダ、英、独、ノルウェー、仏)を対象として、船上減圧法に関する安全衛生関連法令や規則、基準等の調査を実施した。それらを比較したところ、各国の船上減圧法の安全基準には多くの点で違いがあり、特に運用時の安全性に影響を及ぼす水面インターバル時間や再圧深度等で大きく異なることが分かった。

研究分担者

○望月 徹：東京慈恵会医科大学環境保健医学講座 非常勤講師

本研究の目的は、船上減圧法に係わる諸外国における規制の状況及び安全に実施するための技術的要件について文献等の調査を実施し、高気圧作業安全衛生規則(高圧則)への適用を検討するために必要な知見を得ることにある。

A. 研究目的

潜水による高気圧環境曝露から安全に水面（大気圧）復帰するためには、段階的な減圧が必要となる。船上減圧法は、その減圧の一部を船上に設けた再圧室（船上減圧室）内で実施するものである。減圧は再圧室内で再開されるものの、必要な減圧をいったん中断して浮上することから、減圧症リスクが懸念されている。一方水中での減圧時間が短縮されることから、寒冷環境下でのダイバーの体熱損失とそれに伴う疲労が軽減され、波浪等の海象条件や危険な海棲生物への影響を排除することができ、ダイバーの減圧管理が容易となる等の利点もある。これらのことから、船上減圧法は専ら長時間の減圧を要する業務潜水に用いられている。

このような船上減圧法を我が国に導入するためには、安全な運用や管理のための基準を策定することが必要である。海底油田開発等大深度潜水を頻繁に行っている欧米諸国には、船上減圧法を潜水業務に用いている企業が多いが、運用や管理方法の詳細は企業ノウハウとして公開されないことが一般的である。また、我が国で行われている潜水業務は比較的水深が浅く、減圧時間の短いものが主であることから、船上減圧法に関する十分な知見がない。そこで、特に普及が認められる欧米諸国から法令規則並びに設備器材等に関する技術的な情報を収集し、整理検討することにより、当該減圧法実施に必要な安全衛生上の基準の検討に資する情報を取りまとめる。本研究は3年間で行われ、1年次には諸外国の規則や基準の収集に努め、2年次にはそれらの背景となる学術文献等の調査を行う。3年次は収集

した情報の整理分析を行い、それらの結果から、船上減圧法を安全に実施するための基準を検討する際に必要な基礎的資料を作成することを目的とする。平成29年度は研究1年次であり、諸外国での船上減圧法に係る規則や基準等について収集を行い、それらについて比較検討を実施した。

B. 研究方法

海底油田ガス開発を積極的に推進してきた欧米6か国（米、カナダ、英、独、ノルウェー、仏）を対象に潜水業務に関連する規則等を収集した。また、関連業界団体（ADCI、IMCA）や公的機関（U. S. Navy, Royal Navy, NOAA, DCIEM, NORSOK）の資料から運用基準等について収集を行った。資料の収集に際しては、インターネットによる情報検索、書籍論文等文献資料の調査に加え、国際会議や国際学会等（UHMS、EUBS、UI 2018）に参加し、海外の研究者からの情報収集にも努めた。これらにより、潜水業務関連規則として以下のものを得た。

[潜水業務関連規則]

①米国：29 CFR Part 1910 - Occupational safety and health standards

Subpart T - Commercial Diving Operations

②カナダ：Canada Occupational Health and Safety Regulations SOR/86-304

18.1 PART XVIII Diving Operations

③英国：Diving at Work Regulations 1997 Approved Code of Practice:

L-103 Commercial diving projects offshore

L-104 Commercial diving projects

inland/inshore

L-105 Recreational diving projects

L-106 Media diving projects

L-107 Scientific and archaeological diving projects

④ ドイツ：Barufsgenossenschaft der Bauwirtschaft BVG C23 Taucherarbeiten Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit

⑤ ノルウェー：Arbeidstilsynet Forskrift, best.nr. 511 Forskrift om Dykking

⑥ フランス：TRAVAUX EN MILIEU HYPERBARE Mesures particulieres de prevention

上記各規則を精査し、船上減圧法に関する規則等について調査を行った。

また、上記規則を補足するものとして以下のような関連団体、公的機関の基準等についても情報収集を行った。

[潜水業務関連団体、公的機関の基準]

⑦ U.S. NAVY Diving Manual rev.7

⑧ NOAA Diving Manual 6th ed.

⑨ ADCI Consensus Standards for Commercial Diving and Underwater Operations

⑩ IMCA International code of practice for offshore diving

⑪ DCIEM Diving Manual

⑫ BR 2806 Royal Navy Diving Manual

⑬ NORSOK standard U-100 Manned underwater operations

⑭ NORSOK standard U-103 Petroleum related manned underwater operations inshore

⑮ Norwegian Diving and Treatment Tables

C. 結果

調査対象とした各国の潜水規則並びに船上減圧法の概要について以下に示す。

I. 米国の潜水規則

I-1 米国における潜水規則の概要

米国の労働安全衛生管理体制は、1970年に制定された労働安全衛生法 (Occupational Safety and Health Act of 1970) と、それに伴い設置された労働安全衛生庁 (OSHA: Occupational Safety and Health Administration) が中心となっている。OSHAでは労働安全衛生法に基づいて労働安全衛生規則 (Occupational Safety and Health Standards) を規定しており、潜水業務に関しては 29 CFR PART 1910, Subpart T- Commercial Diving Operations (2006年8月改訂) でその詳細を定めている。

当該規則は米合衆国内及び合衆国法規が及ぶ全ての地域に適用される (1910.401(a)(1))。また、一般産業、運搬、船舶修理、造船、船舶解体、および沿岸作業を含むすべての潜水業務が適用対象となるが、(i) スクーバ潜水で行われる教育指導目的の潜水、(ii) 政府機関の管理下で行われる捜索、救難、公安活動のための潜水、(iii) 連邦機関の承認を得た研究開発のために潜水は適用を除外されている (1910.401(a)(2))。

潜水業務における潜水浮上方法並びに減圧表については、米海軍潜水マニュアルに記載の方法に準ずることとされている (1910.422(d))。許容最大潜水深度は、スクーバ潜水：130fsw (39m)、送気式空気潜水：190fsw (57m)、混合ガス潜水：制限

なし、となっている。再圧室については、潜水深度が 100fsw を超える場合並びに減圧潜水を行う場合に潜水現場への設置が義務付けられている(1910.425(b)(2))。

I-2. 米国の規則における船上減圧

米国では潜水業務における潜水浮上方法は米海軍潜水マニュアルに示された手順に従って行うこととされている。米海軍潜水マニュアル(第7版、2016年12月)では、水中減圧は潜水業務の効率を低下させ、潜水者の快適性を損ない、気象海象等の変化によるリスクの恐れがあることから、積極的な船上減圧法の使用を推奨している。また、潜水時の酸素分圧について、1.3 ata 以上では酸素中毒発症リスクに備える必要があり、危険防止のため 1.6 ata を超えてはならないとしている。米海軍潜水マニュアルによる船上減圧方法について以下に、また減圧表の一例を表1に

示す。

[船上減圧手順]

- 1) 潜水者は、水深 12m までの水中減圧を完了する
- 2) 水深 12m から 12m/分の速度で水面まで浮上する
- 3) 浮上後直ちに再圧室に入り、酸素を呼吸しながら 30m/分の速度で 15m まで加圧する
- 4) 水深 12m 浮上開始から再圧室 15m 加圧完了までの時間(水面インターバル)は 5分を超えてはならない
- 5) 深度 15m で 15 分間の酸素呼吸を行う
- 6) その後酸素を呼吸しながら 9m/分の速度で 12m まで減圧する
- 7) 深度 12m で所定の時間、酸素呼吸(エアブレイク含む)を行う
- 8) 酸素減圧終了後、再圧室内の空気を呼吸しながら 9m/分で水面まで減圧する

表-1. 米国における船上減圧表の例 [潜水深度 36m のとき]

滞底時間(分)	減圧停止時間(分)					繰り返し潜水記号
	水中(空気)			水面インターバル	再圧室(酸素) 15→12m	
	18m	15m	12m			
30	-	-	-	5	15	L
35	-	-	-	5	30	M
40	-	-	-	5	30	O
45	-	-	-	5	45	Z
50	-	-	-	5	45	Z
55	-	-	-	5	60	Z
60	-	-	-	5	60	Z
70	-	-	13	5	75	-
80	-	-	24	5	90	-
90	-	7	26	5	105	-
100	-	15	25	5	120	-
110	-	21	25	5	150	-
120	3	23	25	5	165	-

*太線以降は例外的な潜水に限る

II. カナダの潜水規則

II-1. カナダにおける潜水規則の概要

カナダは13の州及び準州からなる連邦制のため、労働安全衛生法の管轄権は、カナダ議会と州及び準州がそれぞれ有している。国全体に関する法案は連邦政府により定められており、州を超えて行われる事業やビジネスなどについては連邦政府による法が適用される。具体的には、交通インフラ整備や電力関係等の公共事業があり、港湾や河川、ダム等で行われる潜水業務の多くは、連邦法の適用を受けることになる。

カナダ労働安全衛生規則（Canada Occupational Health and Safety Regulations; SOR/86-304, 2017年6月改訂）では、その第18章で潜水業務（Diving Operations）について規定している。当該規則では、潜水を2種類に区別している（18.1条）。すなわち科学調査や犯罪捜査のために行われ、水中工事作業を行わず、水深40m以内で行われる無減圧潜水を「Type 1 dives」、それ以外のものを「Type 2 dives」としている。なお沖合海域で行われる海底石油ガス関連の大深度潜水業務は別規則の適用をうけるため、当該規則からは除外されている（18.2条）。

規則では、潜水業務に用いる浮上方法や減圧表について特に規定がなく、一般に有効と認められているものを使用することとしている（18.17条）。また、再圧室については、(a)減圧潜水を行う場合及び(b)潜水深度が40mを超える場合には、副室付きの再圧室を潜水現場に設けることを事業者が義務付けている。

II-2. カナダの規則における船上減圧

カナダの労働安全衛生法では潜水業務に使用する減圧表を特に規定しておらず、「一般に有効と認められているもの」を使用することとしている。カナダ DCIEM（Defence and Civil Institute of Environmental Medicine）の減圧表はDCIEM潜水マニュアル（1992年3月）として一般に公表されており、世界的にも高い評価を得ている。当該潜水マニュアルにおける船上減圧法は、有人潜水試験によりその安全性が確認されていることから、水中減圧が長時間に及ぶ等の場合には、船上減圧法の使用を推奨している。

DCIEMによる船上減圧法を以下に、また減圧表の一例を表2に示す。なお船上減圧法には、空気潜水用とヘリウム混合ガス潜水用が示されているが、本項では空気潜水用船上減圧法について記す。

〔船上減圧手順〕

- 1) 水深9mまでの水中減圧を完了する
- 2) 18m/分の速度で水面まで浮上する
- 3) 浮上後直ちに再圧室に入り、酸素を呼吸しながら12mまで加圧する
- 4) 水深9m浮上開始から再圧室12m加圧完了までの時間（水面インターバル）は7分を超えてはならない
- 5) 深度12mで既定の時間、酸素呼吸（エアブレイク含む）を行う
- 6) 既定の時間が終了したら12m/分で水面まで減圧浮上する

III. 英国の規則

III-1. 英国における潜水規則の概要

英国の労働安全衛生法は基本的な事項だけが定められており、具体的な内容は、規則（Regulations）と承認実施準則

(Approved Codes of Practice: ACOP)に規定されている。潜水業務に関するこれらを以下に示す。

規則： The Diving at Work Regulations 1997 (1998年4月改訂)

承認実施準則：L-103 Commercial diving projects offshore, L-104 Commercial diving projects inland/inshore, L-105 Recreational diving projects, L-106 Media diving projects, L-107 Scientific and archaeological diving projects

これらのうち、L-104(第2版：2014年改訂)は(a)英国領内沿岸部、(b)港、河川、湖沼等内陸部水域、(c)タンクまたはプールで行われる建築土木、海洋開発並びに水産養殖関係の潜水作業に適用される(第2条)。当該準則では、適用範囲内で行われる潜水業務は、可能な限り圧縮空気または窒素酸素混合ガスによる送気式潜水で行うこととしており、潜水深度は最大50mに制限している(第42条)。浮上時間等減圧に関する規定はないが、事

表-2. カナダにおける船上減圧表の例 [潜水深度36mのとき]

滞底時間(分)	減圧停止時間(分)							総減圧時間(分)	反復潜水記号
	水中(空気)					水面インターバル(分)	再圧室(酸素) 12m		
	21m	18m	15m	12m	9m				
10	-	-	-	-	-	7	-	2	C
20	-	-	-	-	-	7	7	15	F
25	-	-	-	-	2	7	13	23	G
30	-	-	-	-	4	7	21	33	G
35	-	-	-	-	6	7	27	41	H
40	-	-	-	-	8	7	30	51	I
45	-	-	-	3	6	7	36	58	J
50	-	-	-	4	7	7	42	66	K
55	-	-	-	5	7	7	48	73	-
60	-	-	-	6	7	7	53	79	-
65	-	-	-	6	8	7	58	85	-
70	-	-	-	7	8	7	60	93	-
75	-	-	-	8	8	7	70	104	-
80	-	-	2	6	9	7	76	111	-
85	-	-	3	6	10	7	82	119	-
90	-	-	3	7	13	7	87	128	-
95	-	-	4	6	16	7	90	134	-
100	-	-	4	7	19	7	100	153	-

*太線以降は例外的な潜水に限る

業者にはリスクアセスメントを行い、減圧症予防対策を含め十分な管理を行うことを求めている(第33,37条)。

III-2. 英国の規則における船上減圧

英国では規則で定めた浮上方法や減圧

表等はない。そのため、潜水企業が独自に開発したもののほか、英海軍や米海軍、カナダ DCIEM などの減圧表が利用されている。これらのうち、英海軍潜水マニュアル(BR2806, 1972年)による船上減圧方法を

以下に、また減圧表の一例を表3に示す。
 なお当該マニュアルでは、船上減圧法は、緊急時の浮上手段であり、必要な水中減圧停止を行うことが望ましくないか、もしくは実行不可能であるときに限って使用することとしている。

[船上減圧手順]

- 1) 水中停止を行うことなく 20m/分の浮上速度で水面まで浮上する
- 2) 水面到着後直ちに再圧室に入り規定

の圧力まで加圧する

3) 浮上開始から再圧完了までの時間(水面インターバル)は5分を超えてはならない

4) 空気再圧深度『チャンバー・ボトム(chamber bottom)』に5分間留まる

5) その後、船上減圧表に従い、酸素呼吸により段階的(3m毎)に減圧を行い、水面に復帰する

6) 潜水深度が36mを超えない場合には、空気による船上減圧が可能である

表-3. 英国における船上減圧表の例 [潜水深度 36m のとき]

滞底時間(分)	水面インターバル(分)	減圧停止時間(分)									酸素時間(分)	総減圧時間(分)
		空気(chamber bottom)			酸素							
		27m	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m		
14	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	5	-	-	5	-	-	1	4	5	6	16	21
25	5	-	-	5	-	-	2	4	6	7	19	24
30	5	-	-	5	-	-	3	5	7	9	24	29
35	5	-	-	5	-	-	4	6	10	11	31	36
40	5	-	-	5	-	-	5	7	10	13	35	40
45	5	-	-	5	-	-	5	7	12	15	39	44
50	5	-	-	5	-	-	5	9	13	16	43	48
70	5	-	-	5	-	-	8	10	17	20	55	60
90	5	-	-	5	-	-	10	13	20	27	70	75
110	5	-	-	5	-	-	11	19	23	31	84	89

*太線以降は例外的な潜水に限る

IV. ドイツの潜水規則

IV-1. ドイツにおける潜水規則の概要

ドイツの労働安全衛生管理体制は公的機関による二元管理を特徴としている。すなわち、ドイツ社会法典第7編(Sozialgesetzbuch VII)ならびに労働者保護法(ArbSchG)により、産業別の同業者で構成される労災保険組合に法的権限を与え、職場における安全衛生の管理監督を行っている。港湾建設や水中構造物の構築とそれらの保守点検等、水中土木

建設工事に係る潜水作業は、建設業労災保険組合(Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft: BG-BAU)によるBGV(職業組合規則)C23(2012年1月改訂)が適用される。当該規則では、潜水作業は空気潜水が原則であり、最大深度は50mまでとされている。この深度を超える場合や混合ガスを用いる際には所属する職業組合による許可が必要となる(第22条1項)。また、当該規則では浮上時の減圧表(附表1)が示されており、潜水業務はこれに従

って行うよう規定されている(第22条3、4項)。

IV-2. ドイツの規則における船上減圧

BVG C23 では、船上減圧法を緊急時の非常用減圧法として位置付けている(第26条)。したがって、潜水作業者に危険が差し迫った状況で、それを避けるためにどうしても必要な場合に限り、船上減圧の使用が認められている。

当該規則には、船上減圧法の手順並びに減圧表(附表4)が示されており、船上減圧実施時にはこれらに従うよう求めている。BVG C23 による船上減圧方法を以下

に、また減圧表の一例を表4に示す。

[船上減圧手順]

- 1) 10m/分以下の浮上速度で浮上を開始する
- 2) 水深9mまでの水中減圧を完了する
- 3) 水面まで浮上し、再圧室内で12mまで再加圧する
- 4) その間の時間(水面インターバル)は3分を超えてはならない
- 5) 再圧室内では酸素呼吸を行う
- 6) 再圧室内での所定の時間を終了した後2m/分の浮上速度で水面まで浮上する

表-4. ドイツにおける船上減圧表の例 [潜水深度 36m のとき]

滞底時間 (分)	第1停止点までの 時間(分:秒)	減圧停止時間						総減圧時間 (分:秒)
		水中(空気)			水面インター バル(分)	再圧室(酸素)		
		15m	12m	9m		12m	12-0m	
15	3:00	-	-	-	3	10	6	22:00
20	3:00	-	-	-	3	10	6	22:00
25	3:00	-	-	-	3	15	6	27:00
30	3:00	-	-	-	3	20	6	32:00
35	2:15	-	-	3	3	25	6	39:15
40	2:15	-	-	3	3	30	6	44:15
45	2:10	-	-	5	3	35	6	51:15
50	2:00	-	3	7	3	40	6	61:15

V. フランスの潜水規則

V-1. フランスにおける潜水規則の概要

フランスにおける労働安全衛生管理は、労働法(Code du travail)と社会保障法(Code de la sécurité sociale)に重要な規定がおかれている。労働安全衛生に関わる政府機関の役割や、事業者の権利義務、あるいは労働安全衛生を確保するための基本原則等は前者によって規定されている。これらによる法律事項の詳細は、政令によって示されており、政令は首相令(Decret : D)とその下位規則となる

行政府による省令(Arrete : A)から構成されている。潜水業務に関してはNOR(法令文書番号):TEFT9003290-D(首相令1990年3月)とNOR:TEFT9103100-A(省令1991年1月)が適用される。

これらの規則では、圧縮空気による潜水は最大6 bar(水深60m)までとしており、それを超える潜水では呼吸ガスに混合ガスを使用することを義務付けている(首相令5条)。なお混合ガス潜水等の場合の酸素分圧は、水中では1.6 bar、減圧室内等の気中環境では2.2 barを超えな

いこととしている（首相令 8 条）。

潜水方式についても深度による規制が設けられており、スキューバ潜水並びに送気式潜水は水深 60m まで、60m を超え 90m までは加圧型ベル潜水、90m を超える潜水では飽和潜水システムを用いるよう規定している（省令 5, 6, 7, 8 条）。

浮上方法に関しては、空気潜水（深度：12-60m）、ヘリウム酸素混合ガス（深度：30-120m）それぞれに減圧表が示されており、これらに従って潜水を行うよう義務付けている（省令 10 条）。

V-2. フランスの規則における船上減圧

省令 TEFT9103100-A では、船上減圧方法は、水中減圧が潜水者にとって特に危険な場合に限りその使用を認めている

（省令附則 7）。船上減圧方法を以下に、また減圧表の一例を表 5 に示す。

[船上減圧手順]

- 1) 12m/分以下の速度で浮上を開始する
- 2) 水深 9m までの水中減圧を完了する
- 3) 水面まで浮上し、再圧室内で 12m まで再加圧する
- 4) その間の時間（水面インターバル）は 3 分を超えてはならない
- 5) 再圧室内では酸素呼吸を行う
- 6) 再圧室内での所定の時間を終了したら 2m/分の浮上速度で水面気圧まで浮上する
- 7) 次回潜水までの待機時間は 12 時間以上とする

表-5. フランスにおける船上減圧表の例 [潜水深度 36m のとき]

滞底時間 (分)	第1停止点まで の時間(分:秒)	減圧停止時間						総減圧時 間 (分 : 秒)	次回潜水 までの待 機時間
		水中(空気)			水面インタ ーバル(分)	再圧室(酸素)			
		15m	12m	9m		12m	12-0m		
15	3:00	-	-	-	3	10	6	22:00	12h00
20	3:00	-	-	-	3	10	6	22:00	12h00
25	3:00	-	-	-	3	15	6	27:00	12h00
30	3:00	-	-	-	3	20	6	32:00	12h00
35	2:15	-	-	3	3	25	6	39:15	12h00
40	2:15	-	-	3	3	30	6	44:15	12h00
45	2:10	-	-	5	3	35	6	51:15	12h00
50	2:00	-	3	7	3	40	6	61:15	12h00

VI. ノルウェーの規則

VI-1. ノルウェーにおける潜水規則の概要

ノルウェーでは労働監督局 (Direktoratet for Arbeidstilsynet) によって安全衛生規則が定められており、潜水業務に関しては、労働監督局規則 No. 511 「Forskrift om Dykking (Regulations of Diving)」(2007 年 10 月

改訂) が適用される。当該規則では、潜水業務は 5 種類に区分され (第 9 条)、それらは概ね次のように特徴づけられている。すなわち、Class I : 水深 50m までの潜水作業に従事するもの、Class II : ベル潜水や飽和潜水作業に従事するもの、Class III : 50m までの潜水業務に関する基礎教育を受けたもの、Class R : 水深 30m までの潜水調査や救難業務に従事するもの、

Class S :水深 30m までのスキューバ潜水をおこなうもの、となっている。これら Class ごとに潜水者の資格要件や必要な教育訓練が異なる。

通常の潜水業務は水深 50m までとし、それを超える場合には潜水ベルの使用を義務付けている (第 110 条)。また、潜水深度が 30m を超える場合や減圧が必要な潜水を行う場合には、事業者が潜水現場への再圧室設置を求めている (第 109 条)。

潜水業務時の浮上方法や減圧手順に関しては Western Norway University of Applied Sciences によるノルウェー潜水及び治療表 (Norwegian Diving and Treatment Tables) に拠るよう規定している (第 108 条)。

VI-2. ノルウェーの規則における船上減圧

潜水業務の際の減圧浮上に用いられる NDTT (第 4 版、2017 年 1 月) は、空気潜水は 50m までとし、それを超える場合にはヘリウム混合ガスの使用を求めている。また、酸素分圧は最大 1.5bar 以下とすることを推奨している。

NDTT はノルウェーの潜水工事会社等における使用実績をもとに随時改良が行わ

れている。1993-2003 年に記録された当該減圧法による約 220,000 時間の潜水での減圧症発症率は 1 時間当たり 0.05% であり、減圧症リスクは船上減圧で水中減圧より僅かに高かったとしている。

NDTT による船上減圧法を以下に、また減圧表の一例を表 6 に示す。なお当該減圧表では船上減圧法による繰り返し潜水は認めていない。

[船上減圧手順]

- 1) 水深 12m までの水中減圧を完了する
- 2) 水深 12m から 1 分間で水面まで浮上する
- 3) 浮上後直ちに再圧室に入り、酸素を呼吸しながら 15m まで 30 秒で加圧する
- 4) 水深 12m 浮上開始から再圧室 15m 加圧完了までの時間 (水面インターバル) は 5 分を超えてはならない
- 5) 深度 15m で 15 分間の酸素呼吸を行う
- 6) その後酸素を呼吸しながら 10m/分の速度で 12m まで減圧する (約 20 秒)
- 7) 深度 12m で規定の時間、酸素呼吸 (エアブレイク含む) を行う
- 8) 酸素減圧終了後、再圧室内の空気を呼吸しながら 10m/分で水面まで減圧する

表-6. ノルウェーにおける船上減圧表の例 [潜水深度 36m のとき]

滞底時間(分)	減圧停止時間(分)					総減圧時間(分)
	水中(空気)			水面インターバル	再圧室(酸素) 15→12m	
	18m	15m	12m			
30	-	-	-	5	15	24
35	-	-	-	5	30	39
40	-	-	-	5	30	39
50	-	-	-	5	45	59
60	-	-	-	5	60	74
70	-	-	13	5	75	133
80	-	-	24	5	90	137
90	-	7	26	5	105	161

*太線以降は例外的な潜水に限る

D. 考察

今回調査を行った6ヶ国(米、カナダ、英、独、ノルウェー、仏)のいずれにおいても、潜水業務関連規則で船上減圧法を禁止しているものはなかった。しかしながら、船上減圧法の位置付けやその運用方法等には差異が認められた。それらについて比較検討を行った。

1. 船上減圧の位置付け

今回調査を行った6ヶ国のうち、船上減圧の使用を禁じている国はなかったが、その位置付けは異なっていた。すなわち、ドイツ、フランス、英国においては、船上減圧法は緊急避難手段として位置付けられており、海象条件や危険な海棲生物との遭遇等により水中減圧を行うことが出来ないか、もしくは危険が大きいと判断された場合に限り、その使用が認められている。一方、米国及びカナダは、通常選択される減圧方法の一つとして位置付けられており、長時間の水中減圧を要する潜水では船上減圧法の利用が推奨されている。理由としては、潜水者が比較的短時間で水面まで浮上するため潜水器や潜水支援員が不要となり、それらが次の潜水チームに移行できることから潜水業務の効率が向上することに加えて、潜水者が寒冷水中に留まることによる不快感を軽減できるという利点をあげている。また、減圧症リスクに関しても、ヒトによる潜水試験によって安全性に問題がないことを確認しているとしている。ノルウェーの船上減圧法は米国のものを基にしているが、確率統計法(確率モデル)による減圧症リ

スクが水中減圧法の2~5%に対し、船上減圧法では5~6%と僅かに上回るとしている。したがって、使用時にはその点を考慮するよう求めている。なお上記の数値は統計上予測されるリスクの大きさであり、実際の減圧症発症率を示すものではない。ノルウェー以外に同様のリスク評価をしているものはなかった。

2. 船上減圧の運用方法

船上減圧の運用手順には差異が認められた。これを理解するためには、それぞれの船上減圧法の背景を知る必要がある。調査対象とした6ヶ国の減圧表のうち英国のものが最も古く(1972年)、減圧計算には単一組織拡散モデル(Hempleman model)が用いられている。フランスの減圧表は1990年に制定されている。記載された減圧表の詳細に関する記述はないが、同時期のフランス海軍減圧表(Table Marine Nationale 1990 MN90)が並列組織灌流モデル(neo-Haldane model)によるものであることから、同様の方法が用いられたと考えられる。ドイツの規則は2012年に最終改定が行われたものであるが、船上減圧法はフランスのものが採用されている。カナダのそれは1992年制定であり、減圧計算には直列組織拡散モデル(Kidd-Stubbs model)が用いられている。米国の減圧表は米国海軍(2016年)によるものであるが、従来の並列組織灌流モデルに大幅な改良を加えたもの(E-L model, VVAL-18 Algorithm)で作成されている。ノルウェーの減圧表NDTTはこの米国海軍のものを基にしており、その制

定は 2017 年と最も新しかった。

以降、比較結果を具体的に示すために水深 36m で滞底時間 50 分の空気潜水を行った場合を例として用いることとする。図 1 から 6 にそれぞれの加減圧プロフィールを示す。

すべての減圧表が減圧時には酸素を用いているが、英国では潜水深度が 36m を

超えた場合には酸素を使用するとしている。一方他の 5 か国はいずれも酸素減圧を標準としていた。減圧に要する時間（総減圧時間）は、英国が 48 分と最も短く、米国とノルウェーが 59 分、フランスとドイツが 61 分であり、カナダが 66 分と最も長かった。

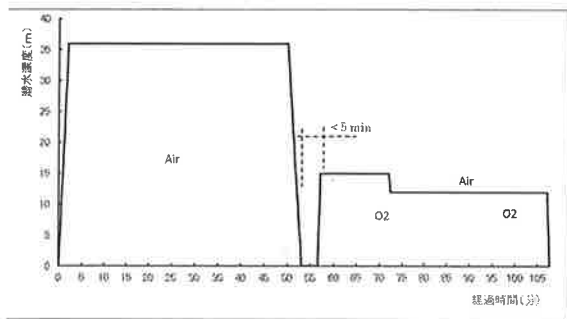


図-1. 米国の船上減圧法

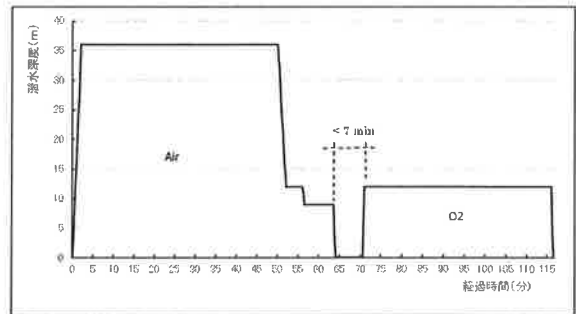


図-2. カナダの船上減圧法

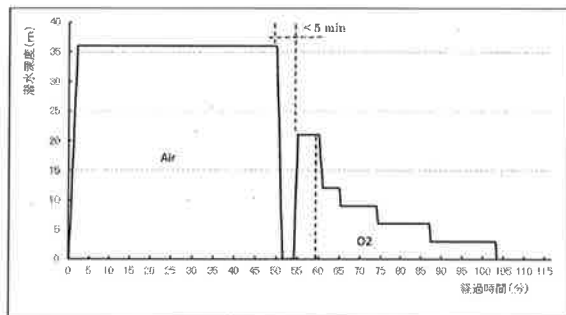


図-3. 英国の船上減圧法

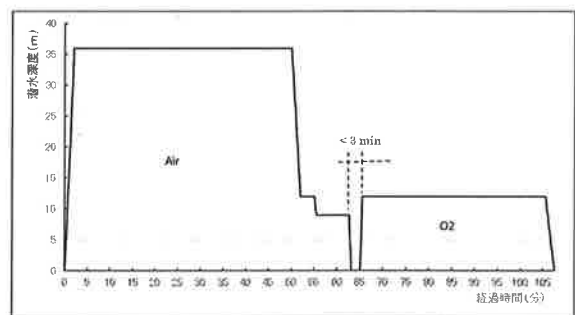


図-4. ドイツの船上減圧法

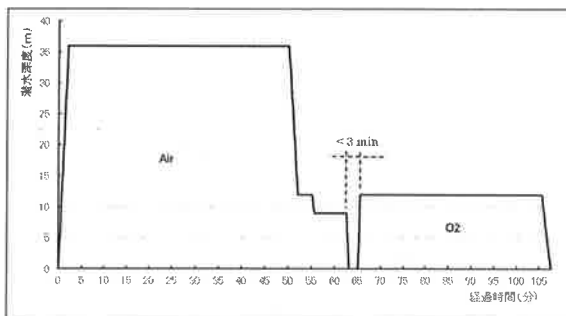


図-5. フランスの船上減圧法

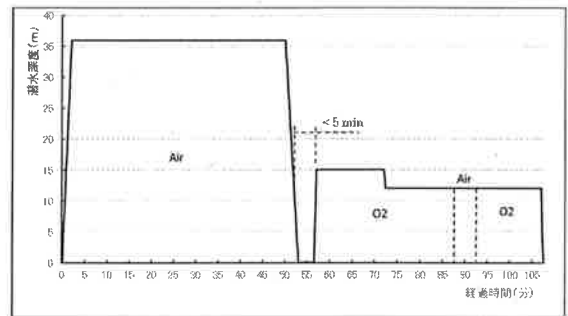


図-6. ノルウェーの船上減圧法

船上減圧では、水中での減圧を中断して浮上し、船上の再圧室で減圧を継続することを最大の特徴とする。この水中減圧から再圧室での減圧までの移行期間

(水面インターバル)については、フランスとドイツが 3 分間以内としているのに対し、米国とノルウェー、英国のそれは 5 分以内であり、カナダは最大 7 分を許容

している。水面インターバルの計時を開始する時期は、英国の船上減圧法は水中での減圧をすべて省略するため浮上を開始したときとなる。米国とノルウェーでは水深 12m から浮上を開始したとき、フランスとドイツ、並びにカナダは水深 9m からの浮上を開始したときとなっている。この際の浮上速度は、英国では 20m/分、カナダ 18m/分、米国とノルウェー及びフランスとドイツは 12m/分であり、一般的な通常の水中減圧時の浮上速度 (≤ 10 m/分) とは異なるものであった。これは水面インターバルを短縮するための措置と考えられる。浮上後船上減圧室内で行われる減圧は、英国ではまず 21m まで再加圧し、そこに 5 分間滞在した後酸素吸入を開始し 12→9→6→3→0m と段階的に減圧する。フランスとドイツ、並びにカナダでは深度 12m まで再加圧し、その深度で所定の時間酸素呼吸を行った後水面まで浮上する。米国とノルウェーでは、酸素呼吸を行いながら 15m まで再加圧し、そこに 15 分間滞在した後 12m に減圧して残りの減圧時間を完了し、水面に復帰する。高分圧酸素は不活性ガスの排出を促進することから、減圧時間の短縮が可能となるが、同時に酸素中毒のリスクも高まることから注意が必要となる。

上記のように、各国の船上減圧法の運用方法に大きな違いがあることが明らかとなった。例えば船上減圧法のリスク要因である水面インターバルの許容時間は、最短のフランス (3 分) と最長のカナダ (7 分) では 2.5 倍も異なっている。また総減圧時間も英国 48 分に対しカナダ 66 分と 1.4 倍もの差が認められる。

一般的には、減圧時間が長く、作成年次が新しいものほど減圧症リスクは低いと考えられている。最も減圧時間が長いものはカナダの減圧表であるが、リスク要因の一つである水面インターバルも最長となっている。また、作成時期が最も新しい米国とノルウェーの船上減圧法では、深度 15m で酸素再圧を開始するが、フランスとドイツ、カナダでは酸素再圧は 12m であり、英国では 18m で酸素再圧を行う場合がある。高分圧の酸素は体内からの不活性ガス排出を促進することから、減圧時間の短縮が可能となるが、同時に酸素中毒のリスクも増加することが知られている。このため、我が国の規則では潜水業務における最大酸素分圧は 220 kPa (水深 12m) に制限されている。

我が国の潜水業務に船上減圧法を導入する際に参考となる諸外国の法令規則には、異なる点が多く認められた。今後導入に向けて、使用目的や安全基準について議論検討を進めていくためには、これら各国の船上減圧法の特徴や差異について、その理論的な根拠や制定の経緯等を確認することが必要である。

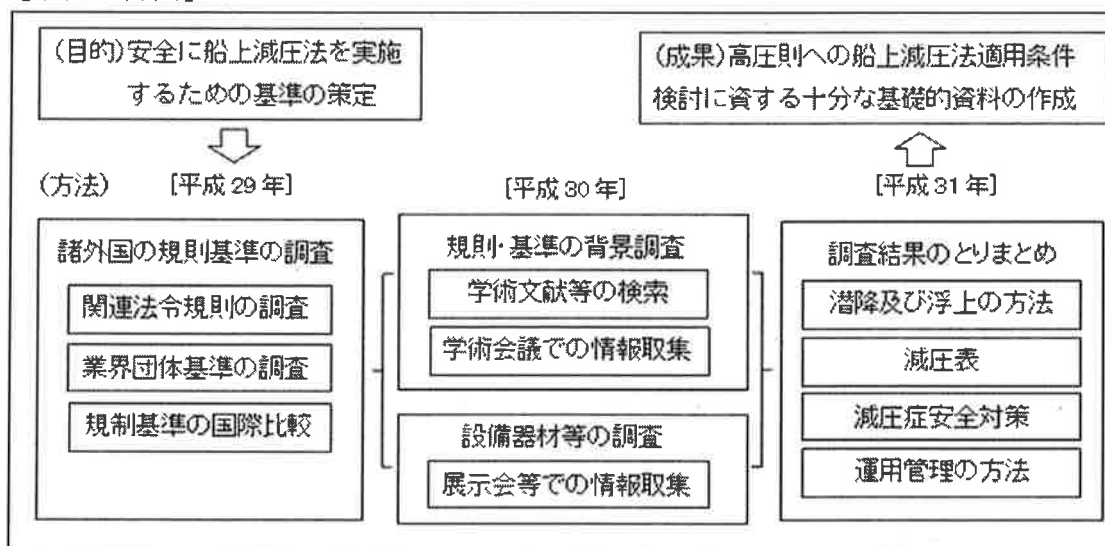
E. 今後の計画

前項までに示したように、船上減圧法に関する規則にはそれぞれ異なる点が認められた。これらのうち、許容水面インターバル時間や水面までの浮上方法、再加圧深度等は船上減圧法の安全性に直接影響を及ぼす因子であるので、これらが制定された背景や根拠について調査を行い、その理由を可能な限り明らかにすること

が必要である。そこで、平成30年度（研究2年次）には、これらについて調査を実施する。具体的には、関連する学術文献等の調査を行い、国内外の学術会議に参加して研究者から情報の収集を図る。また、船上減圧法実施の際に必要な設備器材に関しても、業界団体による国際会議や展示会から情報を収集し、求められる基準や性能を明らかにする。平成31

年度（研究3年次）には、収集した情報や資料を整理分析し、潜降浮上の方法や減圧症の安全対策、減圧表、運用管理方法並びに緊急時の措置などについて取りまとめると共に、船上減圧法に関する現状の国際的な安全基準を把握し、我が国へ船上減圧法の導入を検討する際に有用となる安全衛生上の基礎的な資料を作成する。

【研究の計画】



F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

論文、学会発表とも特になし

H. 知的財産権の出願・登録状況

特になし

参考文献

- 1) OSHA, 29 CFR part 1910 - Occupational safety and health standards, U.S. Department of Labor, 2011, ISBN 978-1512332971
- 2) Minister of Justice, Canada Occupational Health and Safety Regulations SOR/86-304, 2018
- 3) HSE, Diving at Work Regulations 1997, London, TSO, 1998, ISBN 978-0110651705
- 4) HSE, L-103 Commercial diving projects offshore, 2nd ed., London, TSO, 2014, ISBN 978-0717665921
- 5) HSE, L-104 Commercial diving projects inland/inshore, 2nd ed., London, TSO, 2014, ISBN 978-0717665938
- 6) HSE, L-105 Recreational diving projects, 2nd ed., London, TSO, 2014, ISBN 978-0717665945
- 7) HSE, L-106 Media diving projects, 2nd ed., London, TSO, 2014, ISBN 978-0717665952
- 8) HSE, L-107 Scientific and archaeological diving projects, 2nd ed., London, TSO, 2014, ISBN 978-0717665969
- 9) BG-BAU, Barufsgenossenschaft der Bauwirtschaft BvG C23 Taucherarbeiten Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, BG-Vorschrift, 2012
- 10) Arbeidstilsynet Forskrift, best.nr. 511 Forskrift om Dykking, Oslo, Arbeidstilsynet, 2007
- 11) Journal Officiel de la Republique Francaise, TRAVAUX EN MILIEU HYPERBARE, Paris, 1992, ISBN 211-0733225
- 12) NAVAL SEA SYSTEM COMMAND, U.S. NAVY Diving Manual rev.7, Essex, Aquapress publishing, 2016, ISBN 978-1905492381
- 13) NOAA, NOAA Diving Manual 6th ed., North Palm Beach, Best Publishing Company, 2017, ISBN 978-1930536883
- 14) ADCI, Consensus Standards for Commercial Diving and Underwater Operations rev. 6.2, Huston, ADCI, 2016, ISBN 978-0941332454
- 15) IMCA, International code of practice for offshore diving, rev. 2, 2014
- 16) DCIEM, DCIEM Diving Manual, British Columbia, UDT Inc., 1992
- 17) Ministry of Defence, BR 2806 Diving Manual, London, HMSO Press, 1972, ISBN 117713457
- 18) Norwegian Oil and Gas Association, NORSOK standard U-100 Manned underwater operations, ed. 4, Lysaker, Standards Norway, 2014
- 19) Norwegian Oil and Gas Association, NORSOK standard U-103 Petroleum related manned underwater operations inshore, ed. 2, Lysaker, Standards Norway, 2013
- 20) Western Norway University of Applied Sciences, Norwegian Diving and Treatment Tables, 4th ed., Bergen, Molvik Gafisk AS, 2017, ISBN 978-8269069938

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ
	該当なし						

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
	該当なし				