

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30年度 総括研究年度終了報告書

平成31年3月

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

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
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（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。

船上減圧法を安全に運用するためには、適切な運用基準を設定する必要がある。我が国には船上減圧法に関する知見が乏しいことから、その情報を得るために欧米諸国の規則等について調査を実施した結果、各国が定める運用基準には大きな相違点があることが分かった。そこで、それらの違いを生じた要因や背景を知るために、さらに調査を進めたところ、船上減圧法による減圧症リスクは通常の水中減圧法と同等か僅かに高いこと、重篤なⅡ型減圧症の割合が比較的高いこと、従来の減圧理論による運用基準では不十分であり、運用実績等を基にした修正が必要であることなどが明らかとなった。

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

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。

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、段階的な減圧を必要とする。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

A. 研究目的

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

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などのメリットもある。これらのことから、船上減圧法の使用は長時間の減圧を必要とする大深度での長時間潜水が対象であり、専ら業務潜水に利用されている。

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年度の1年次調査研究では、海底油田開発に関連して比較的大深度での業務潜水が多く行われている米国、カナダ、英国、ドイツ、ノルウェー、フランスを対象として調査を行い、各国の船上減圧法に係る規則や基準等について知見を得た。それらを比較したところ、いずれにおいても船上減圧法は禁じられていなかったが、非常用の潜水方法であり「止むを得ない場合に限る」とされている場合があった。また、浮上方法は、いずれも減圧時に酸素を用いる酸素減圧法が標準とされていたが、水面インターバルの時間や水面までの浮上方法、再加圧深度等その安全性に直接影響を及ぼす要因に大きな差異が認められた。我が国の潜水業

務への船上減圧法導入に際しては、その使用目的や安全基準等についてガイドラインの策定が求められる。今後その議論や検討を進めていくためには、これら各国の水上減圧法の特徴や差異に関して、根拠となる理論や経緯を確認しておくことが必要である。そこで、平成30年度(研究2年次)の調査研究では、対象とした各国の規則の背景や根拠を知るために、関連する学術文献等について調査を実施した。

B. 研究方法

研究1年次の調査では、各国の規則において船上減圧法の位置付けや水面インターバル、水面浮上深度並びに再圧深度等の運用管理基準法等に差異があることが分かった。そこで、これらの背景や根拠等について調査を実施した。位置付けの違いは、水上減圧法に対する各国の評価が異なることによると考えられる。潜水方法の評価は、減圧症発症数を指標に用いて行われることが一般的であることから、船上減圧法の使用実績について調査を行った。また、各国における運用管理基準の差異について、その背景や経緯を知るために学術文献の調査を行うとともに、学会や展示会等を利用して諸外国の研究者や潜水事業者から情報収集を行った。なお今回の調査では、研究1年次と同様に、空気潜水+船上酸素減圧法を対象とした。

I-1. 学術文献等の収集

研究一年次の調査では、米国、カナダ、英国、ドイツ、ノルウェー、フランスの6

カ国を対象とした。これら各国の規則制定における経緯等を記録した公文書を得ることは容易でないため、関連する監督機関や研究組織から公表された学術文献等から、それらの情報を調査した。調査対象とした主な機関、組織を以下に示す。

[調査対象とした機関・組織]

①米国：

NAVY Experimental Diving Unit (EDU)
Naval Medical Research Institute (NMRI)
National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
University of Pennsylvania Medical Center
Duke University Medical Center

②カナダ：

Defence and Civil Institute of Environmental Medicine (DCIEM)
Department of National Defence - CANADA

③英国：

Health & Safety Executive (HSE)
Department of Energy
Royal Navy Physiological Laboratory (RNPL)

④フランス：

Comex Services

⑤ドイツ：

特に有用な情報は検索できなかった。

⑥ノルウェー：

Western Norway University of Applied Sciences
Norwegian Underwater Institute (NUI)

I-2. 情報の収集

船上減圧法は専ら業務潜水に用いられることから、実地によって得られた知見は企業ノウハウとして秘匿されることが

多い。これらの多くは、特別な場合を除いて通常公表されることがないため、文献調査だけでは情報が不十分となる可能性がある。そこで、他の研究者や実際に船上減圧法を用いた潜水業務を行っている潜水事業者、船上減圧法に用いられる機材を製造販売する事業者から直接情報を得るため、関連する国内外の学会や展示会に参加した。本年度参加したものは以下の通り。

[国内学会・展示会]

- ①日本産業衛生学会（熊本、5月）
- ②テクノ・オーシャン（神戸、5月）
*展示会併設
- ③日本臨床高気圧酸素・潜水医学会総会（東京、6月）
- ④日本公衆衛生学会（福島、10月）
- ⑤日本高気圧環境・潜水医学会学術総会（旭川、12月）

[国外学会・展示会]

- ⑥Offshore technology conference（米国、5月）*展示会併設
- ⑦UHMS annual scientific meeting（米国、6月）
- ⑧TRICON 2018（南アフリカ、9月）
- ⑨Subsea Expo 2019（英国、2月）
*展示会併設

C. 結果

II-1. 船上減圧法の運用実績

実際の潜水業務に用いられた船上減圧法の運用実績に関し、英国、フランス及び米国によるデータを示す。なお用いられた船上減圧法はすべて船上酸素減圧法であった。また、比較のため同時期における通常の水中空気減圧法による運用実績を併せて示した。

(1) 英国における使用実績

英国エネルギー庁(現通商産業省)による調査結果を表1に示す。これらは、1982年から1988年にかけて、北海の英国管轄海域で行われた空気潜水を対象としたものである^{1,2,3)}。対象は特に英国企業に限られたものではないが、潜水作業には英国規則が適応される。1982-1988年の7年

間に130,000回以上の空気潜水業務が行われ、潜水業務報告書からその詳細を確認することができた126,980回の潜水が対象とされた。これらを潜水方法別に分け、それぞれの減圧症発症数が報告されている。対象となった空気潜水には、他に無減圧潜水やベル・バウンス潜水が含まれている。

表-1. 北海の英国セクタにおける船上減圧法運用実績 (1982-1988年)

減圧方法	潜水回数	減圧症発症数			発症率
		I型	II型	合計	
船上酸素減圧	64,965	171	103	274	0.42%
水中空気減圧	15,713	20	8	28	0.18%

表からも明らかなように、船上減圧法では酸素減圧を用いているが、水中空気減圧法より減圧症発症率が高い値となっている。潜水深度/時間による潜水曝露の厳しさは、船上減圧法で高いものの、当該減圧法は厳しい潜水曝露に伴う長時間の水中減圧への対策として開発されたものであることから、この結果はその機能が十分ではないことを示している可能性

がある。

船上減圧法と水中空気減圧法では、減圧症発症数におけるI型とII型の割合にも違いが認められた(図1参照)。一般的に減圧症の重症度分類は、軽症例をI型、重症例をII型としているが、水中空気減圧法に比べ、船上減圧法ではII型の割合が高かった。

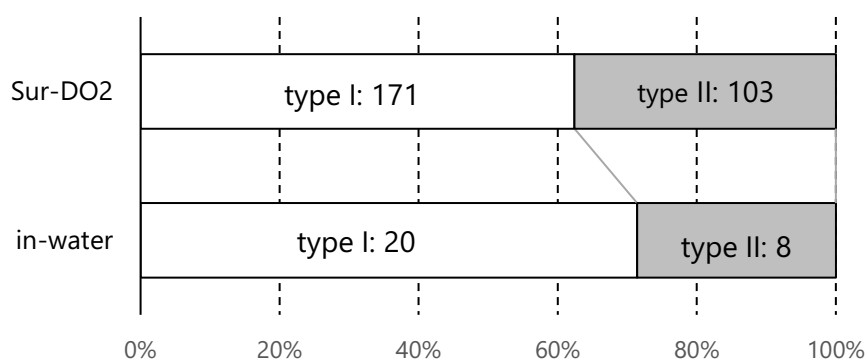


図-1. 英国セクタでの運用実績におけるI型及びII型減圧症の割合

(2) フランスにおける運用実績

フランス Comex 社による船上減圧法の

運用実績を表2及び3に示す⁴⁾。Comex社は1960年代から飽和潜水をはじめとする

各種の大深度潜水技術を利用して潜水作業界を牽引してきた企業であり、同社による報告やデータは、フランス労働省による減圧表の基礎となっている。前項に示した英国エネルギー庁によるデータとの重複を避けるため、表2では1976年から1981年までのデータを、また表3では北海以外の海域での作業によるものを対象としている。表2と3を比較すると、減圧症発症率に大きな差があることがわかる。特に船上酸素減圧法での低下が著

しいものとなっている。これは、使用する減圧表が変更(Cx74→Cx86)されたことによるもので、更に、船上減圧法では、潜水曝露量(潜水深度/時間)に制限が設けられている。これにより、特に厳しい潜水曝露条件下での作業が行われなくなったことも要因の一つと考えられる。このことは、船上減圧法には限界があり、使用範囲を限定する必要があることを示唆している。

表-2. フランス Comex 社における船上減圧法運用実績 (1976-1981 年)

減圧方法	潜水回数	減圧症発症数			発症率
		I 型	II 型	合計	
船上酸素減圧	7,132	31	3	34	0.48%
空気減圧	29,699	122	3	125	0.42%

表-3. フランス Comex 社における船上減圧法運用実績 (1986-1990 年)

減圧方法	潜水回数	減圧症発症数			発症率
		I 型	II 型	合計	
船上酸素減圧	2,130	1	1	2	0.09%
空気減圧	17,568	30	3	33	0.19%

注) 1988 年のデータは含まれていない

Comex 社の運用実績における I 型及び II 型減圧症の発症割合を図 2 に示す。Comex 社の運用実績においても前項の英国での

場合と同様に、船上減圧法で II 型の割合が高いものとなっている。

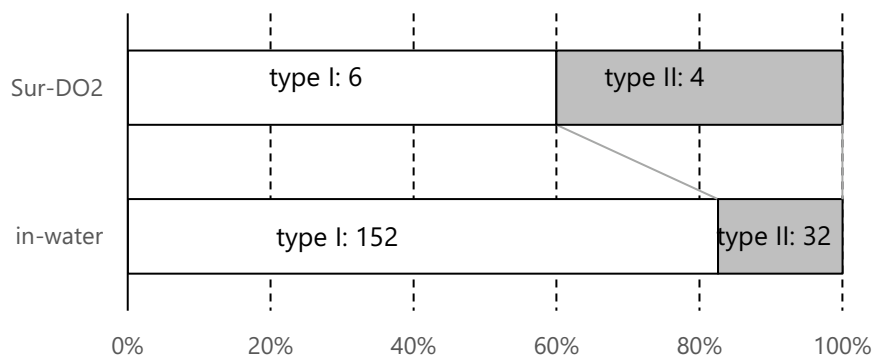


図-2. Comex 社運用実績における I 型及び II 型減圧症の割合

(3) 米国における運用実績

米国における運用実績は、Oceaneering International (OI)社によるものを用いた⁵⁾。同社はテキサス州ヒューストンを拠点として世界中に事業を展開する米国の代表的な海洋開発企業である。表4は、メキシコ湾を中心とした同社の米国周辺海域での運用実績を示したものである。

同社の減圧表は米海軍のそれをもとに独自の変更を加えたものである。前述の英国エネルギー庁は、北海での調査結果から1986年に空気潜水における滞底時間制限の指針(Diving Safety Memorandum: DSM 7/86)を公表しており、OI社でもそれを潜水作業管理に取り入れている。

表-4. 米国 OI 社における船上減圧法運用実績 (1986-1990 年)

減圧方法	潜水回数	減圧症発症数			発症率
		I 型	II 型	合計	
船上酸素減圧	6,354	14	5	19	0.30%
空気減圧	4,548	8	2	10	0.22%

表からも明らかなように、米国の運用実績では英国やフランスにおける運用実績に比べ減圧症発症率は低いものの、II型

減圧症の発症率は同様に船上酸素減圧法で高いものとなっている。

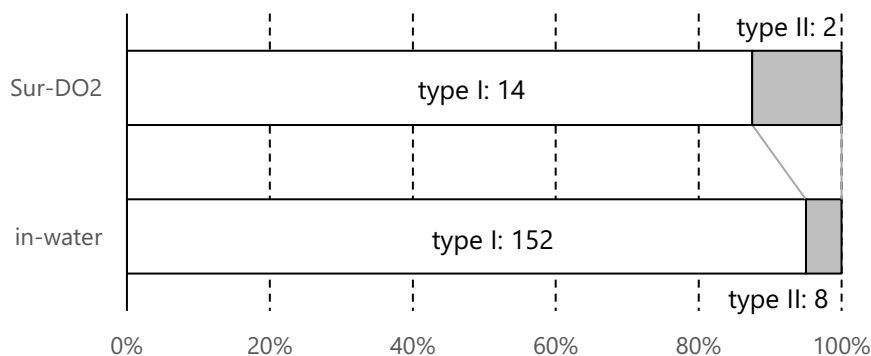


図-3. OI 社運用実績における I 型及び II 型減圧症の割合

II-2 運用基準の調査

(1) 水面インターバルの調査

水面まで浮上を開始し、船上減圧室内で再加圧を終了するまでの時間である水面インターバルは船上減圧法の特徴であるが、水中からのダイバーの移動と以降の再加圧までの間のインターバルは、広範囲にガス塞栓を形成する可能性がある

ことから、大きなリスク要因ともなっている。そのため、調査対象とした6カ国すべての規則において、水面インターバルは、可能な限り短時間に完了することを定めている。一方具体的な数値で示される許容最大インターバルは各国で異なり、その範囲は3分から7分と大きな差がある。水面インターバルは短時間であ

ることが望ましいものの、あまりに短時間では実用上問題がある。そこで、どの程度の水面インターバルが必要であるのか、その理由を知るために水面インターバル設定の背景について調査を行った。

船上減圧法は、沈没した潜水艦のサルベージ作業のため、1920年代に米海軍によって開発された⁶⁾。当初は緊急浮上用として意図されたが、寒冷水域での潜水方法に適していたことから実用化が図られた。当初の水面インターバルは現在とは異なり、水面に到着してから船上再圧室に入るまでの「大気圧下の時間」を表すものであった。当所水面インターバルに対する基準は特に定められていなかった。1944年に米海軍の Gauze⁷⁾は、潜水深度66-108ft、潜水時間26-166分で行われた130回に及ぶ船上減圧潜水を調査し、その結果から許容可能な大気圧下の時間は最大14分であるとした。その後、潜水範囲の拡大を図ったところ、減圧症の発症が多数認められたことから5.5分に短縮され、一定の成果を得たが⁸⁾、さらに長時間の潜水に対応するために、3.5分とすることが VanDerAue によって決定された⁹⁾。

現在各国で用いられている水面インターバルは、これら米海軍による研究成果をベースにしたものと考えられる。米国等で用いられている「5分」の水面インターバルは、大気圧下の時間3.5分に水面浮上時間と船上再圧室で所定の再加圧深度に達するまでの時間を含めたものである。フランス等における「3分」の水面インターバルは米海軍による3.5分を更に安全サイドに進めたものである。一方カ

ナダにおける「7分」は大気圧下の時間5.5分を基にしたもので、これに水面浮上時間と船上再圧室での加圧時間を含めて7分としている。7分の水面インターバルは、運用上の利便性を確保したうえで、船上減圧法の利用促進を図ることを目的としており、広範囲の試験潜水によってその安全性を確認したことが報告されている¹⁰⁾。

(2) 運用管理基準の調査

通常的水中減圧では、浮上停止深度/時間等の基準は、ある一定の減圧理論もしくは減圧モデルに基づいて決定されている。例えば、カナダでは基準の設定は Kidd-Stubbs モデルが用いられており、米海軍では長年 Workman による減圧モデルが利用されてきた。船上減圧法では、水中減圧法と運用方法が大きく異なるものの、船上減圧法専用の減圧モデルを用いた例は無く、そのような減圧モデルもなかった。船上減圧法における運用基準設定の際には、通常の水中減圧モデルを利用して基準を作成し、模擬潜水や運用試験の結果から修正を行う方法が取られていた。その際の修正は、理論に基づいたものではなく専ら経験によるものであった。そのため、最終的な形に至るまでには数多くの潜水試験を行うことが必要であった。カナダの Kidd-Stubbs モデルは保守的な減圧モデルと評価されているが、船上減圧法への利用には限界があり、表5に示すように試行錯誤が重ねられることとなった。

表-5. カナダ DCIEM における船上減圧法開発経緯

実施年	試験潜水回数	減圧症数	発症率(%)	報告書
1984	36	1	2.78	84-R-19 ¹¹⁾
1984	76	3	3.95	84-R-72 ¹²⁾
1984	93	4	4.30	84-R-73 ¹³⁾
1985	126	1	0.79	85-R-18 ¹⁴⁾

英国やノルウェーでは、減圧時間や再加圧深度等の調整だけでは有効な減圧症発症率低下を得ることができないため、運用実績から潜水曝露量を制限する方法を用い、成果を上げている。潜水深度/時間からなる潜水曝露量の評価には曝露指標 (exposure index) が用いられている^{15,16)}。これらは、PrT 値として数値化することができ、次式によって求められる。

$$\text{PrT} = \text{Pressure(ATA)} \times \sqrt{\text{exposure time(min)}}$$

前述の北海英国セクタにおける船上減圧

法運用実績に関する英国エネルギー庁の調査結果を曝露インデックスの PrT 値を用いて分析した結果を表 6 に示す³⁾。表からも明らかのように、PrT 値が 35 を超えるような潜水曝露では、減圧症発症率が急増している。そのため、船上減圧法を用いた潜水では、PrT 値が 35 以下もしくは 30 以下となるように潜水深度/時間に制限が設けられた。これらは、滞底時間制限の指針 (Diving Safety Memorandum : DSM 7/86¹⁷⁾) として公表され、船上減圧法を用いる多くの潜水作業に利用されている。

表-6. 北海英国セクタにおける船上減圧法運用実績の分析(1982-1988 年)

PrT	潜水回数	減圧症発症数			発症率
		I 型	II 型	合計	
PrT<=25	9,491	3	1	4	0.04%
25<PrT<=35	49,222	110	71	181	0.37%
35<PrT	6,252	58	31	89	1.42%

D. 考察

III-1 船上減圧法の運用実績について

船上減圧法の運用に関して調査を行った 6 カ国 (米国、カナダ、英国、ドイツ、ノルウェー、フランス) のうち、その利用を禁じている国はなかったものの、3 カ国 (英国、ドイツ、フランス) では、潜水作

業を行う海域の海象が不安定もしくは海水温が極度に寒冷であるといった、通常の水中減圧では潜水者に高い負荷が課せられることが予想される場合に限って船上減圧法の利用が認められていた。この理由を知るために、船上減圧法における減圧症発症率を指標として、その運用実

績について調査を行った。調査の結果、いずれにおいても船上減圧症における減圧症発症率は通常の水中空気減圧よりも高かったことが分かった。しかしながら、その値は0.30～0.48%であり、潜水作業で許容範囲と考えられている0.5～1.0%を下回るものであった。船上減圧法は、長時間の減圧を必要とする比較的厳しい潜水曝露条件で用いられることが多いことから、この程度の発症率をもって、その利用を常用外とするのは厳しすぎるのではないかと思われた。船上減圧法を常用外とする国は、北海での作業を前提としており、より温暖で安定した海象条件のメキシコ湾での作業を前提とした米国やカナダでは、常用が認められている。我が国周辺海域は比較的温暖であり、北海のような厳しい海象条件を有する場所は限られることから、船上減圧法の位置付けを検討する際にはその点を考慮する必要がある。また、我が国における潜水作業状況や支援体制、医療機関等との連携状況などを検討し、許容可能な減圧症リスクについても検討する必要がある。

減圧症に関する調査では、重篤なⅡ型減圧症の割合が船上減圧法で高かった。軽症の場合とは異なり、重篤な減圧症に対する処置を潜水現場だけで行うことは困難であり、医療機関での迅速な治療がなければ、症状の増悪や残余のリスクが高いものとなる。したがって、有効なⅡ型減圧症予防対策を講じることができなければ、船上減圧法を安易に用いてはならないとする評価は理解できる。

船上減圧法でⅡ型減圧症の割合が高い理由について明確に示したものはないが、

Imbert らは、船上減圧法では不活性ガス気泡の動脈への侵入を招きやすいことが原因であるとしている¹⁸⁾。すなわち、水面に浮上してから船上減圧室で再加圧が完了するまでの間、ダイバーの体内は不活性ガス過飽和の状態となるため容易に気泡が形成されることとなる。いったん形成された気泡は再加圧深度では完全には消失とならず、加圧によって縮小した気泡の一部が肺胞を通り抜けて動脈側に侵入し、脳や中枢神経系に障害を及ぼすⅡ型減圧症が生じることとなる。米海軍では、2006年のDiving Manual改訂¹⁹⁾において、船上減圧室における再加圧深度をそれまでの40ft(12m)から50ft(15m)に変更しているが、これも気泡消失を目的としたものであると考えられる。

動脈側への不活性ガス侵入による重篤な減圧症の発症は、卵円孔開存(PFO)によるものが知られており、船上減圧法でも同様に事が生じている可能性がある。また、短時間の間に浮上潜降を繰り返して行う所謂ヨーヨー潜水(yo-yo diving)は重篤な減圧症の発症リスクが高いことが知られている。その機序としては、浮上時に生じた不活性ガス気泡が再潜降時の加圧によって縮小して動脈側に侵入し、再浮上時の減圧によって気泡が拡大することにより脳や中枢神経系に塞栓を来すと考えられている。Imbert らは、船上減圧法においても同様のことが生じていると推測している。船上減圧法における減圧症リスクとその要因については、さらに調査が必要である。

Ⅲ-2 船上減圧法の運用基準について

船上減圧法は、潜水後の浮上に必要な水中停止が全部または一部を省略し、船上に設けられた再圧室内で必要な減圧を完了する方法である。この方法の最大の利点は、再圧室内という暖かく安靜な条件下で、また、十分な観察下で、体組織からの不活性ガス除去に必要な時間を過ごせることにある。このことは、寒冷や強潮流、並びに実海域での潜水作業船の動揺によって生じる水中停止深度変動の危険性を回避する。さらに、水中減圧では不可欠であった送気員や船上支援員による管理時間、並びに各種潜水用機材の占有時間の減少が可能となることから、潜水作業の効率化、生産性向上を図ることが期待できる。一方、船上減圧法では、減圧停止を行うことなく水面に浮上し、その後船上再圧室の再加圧が完了するまでの時間（水面インターバル）に、ダイバーの体内に広範囲な不活性ガス塞栓を形成するリスクがある。これは、減圧症発症を招くことになるため、水面インターバルや浮上開始深度、再加圧深度/時間等の運用基準の設定に際しては、十分な検討が必要である。

これら諸基準を設定する際に必要な条件等について調査を行ったが、船上減圧法のために専用に使われる減圧理論や減圧モデルは認められなかった。多くの場合で、従来の中減圧法の決定に用いられる減圧理論を用いて船上減圧法の運用基準を設定し、それを試験潜水や実際の運用結果をもとに修正していくといった方法が用いられていた。実際英国等では、理論的な運用基準の設定が困難なことから、運用実績に基づき、曝露指標 (PrT

値) による管理を導入している。我が国に船上減圧法を採用する場合にも、当初設定した運用基準が適切であるかどうかを評価するため、追跡調査を行うことが必要である。

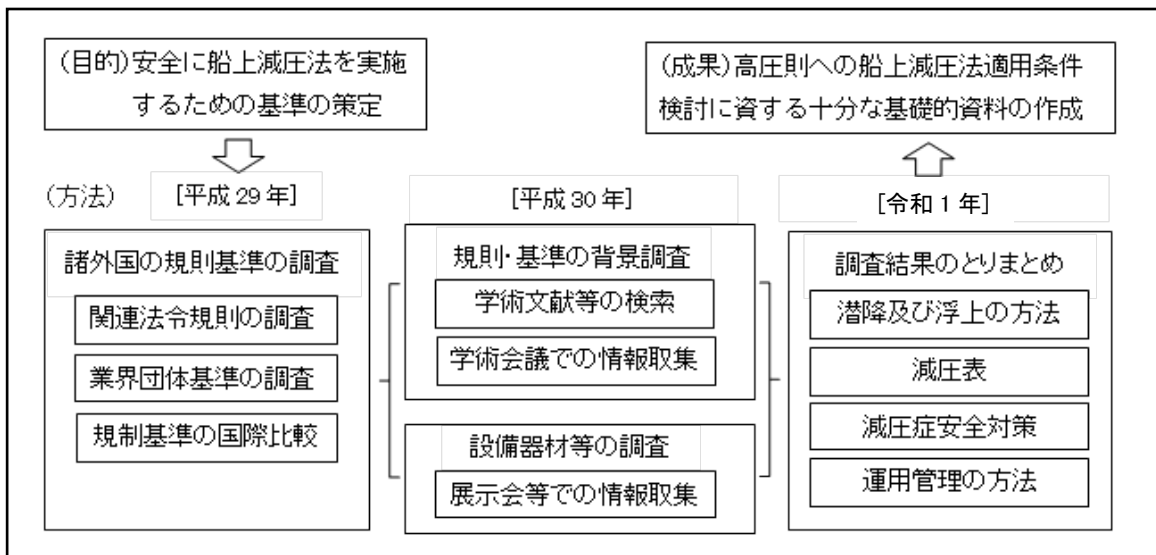
船上減圧法への減圧理論適用に関し、Lambertsen らは従来の中値（許容過飽和量）を基準とした方法には問題があることを示唆している²⁰⁾。Workman らによって提唱された中値は、当初「気泡を生じない限界」の過飽和値であるとされた。しかしながら、超音波ドップラー気泡検知法を用いた減圧後の体内気泡形成状況の調査により、中値以下の不活性ガス分圧の場合でもダイバーの体内に気泡が生じていることが明らかとなった。これらの気泡は減圧症発症に至らないため、無症候性気泡 (silent bubble) と呼ばれている。船上減圧法では、中値を超えた状態で水面に浮上することから、体内での気泡形成を避けることはできない。一旦形成された気泡は、短時間であっても水面インターバルの間に成長するため、減圧時間の延長や再加圧深度の変更によっても容易に除去することができず、減圧症の発症リスクを高める要因となる。したがって、船上減圧法の運用基準を検討する際には、注目すべきは気泡の成長であり、中値に依存した減圧管理では十分な安全を確保できない可能性がある。中値に代えて、気泡の存在を前提に各組織区画における理論的な気泡サイズの変化比を示す気泡成長指標 (bubble growth index) による減圧管理^{21, 22)}が近年提唱されており、我が国の船上減圧法運用基準を検討する際にも、これらの考えを参考にする必要はある。

E. 今後の計画

前項までに示したように、水上減圧法の運用基準を決定する際には、その特異な要因によるリスクを防ぐために、従来とは異なる観点から検討が必要である。そこで、令和1年度（研究3年次）の調査研究では、これらについてより具体的な検討を行い、我が国で船上減圧法を安全に行うために必要な技術的、医学的な要件

等について整理検討を行う。また、実際に国内で大深度潜水作業を行っている潜水事業者と面談し、我が国の実情や船上減圧法導入に際して必要な条件等について調査を実施する。これらによって得られた結果に、研究1年次及び2年次に収集した情報に加え、船上減圧法導入に際して高気圧作業安全衛生規則への適用条件の検討に資する知見について取りまとめを行うこととする。

【研究の計画】



F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

望月 徹、池田知純、柳澤裕之. 水上減圧法の運用管理. 第53回日本高気圧環境・潜水医学会学術総会. 2018年 旭川.

H. 知的財産権の出願・登録状況

特になし

参考文献

- 1) Shields TG, Lee WB. The incidence of decompression sickness arising from commercial offshore air diving operations in the UK sector of the North Sea during 1982/83, Offshore Technology Report OTO 97812, Health and Safety Executive, London, 1997
- 2) Shields TG, Duff PM, Wilcock SE. Decompression sickness from commercial offshore air-diving operations on the UK continental shelf 1987, Offshore Technology Report OTO 89029, Health and Safety Executive, London, 1989
- 3) Shields TG, Duff PM, Wilcock SE, Giles R. Decompression sickness from commercial offshore air-diving operations on the UK continental shelf during 1982 to 1987. Society for Underwater Technology, 1990:23:259-277
- 4) Imbert JP. Decompression tables versus decompression procedures: an analysis of decompression sickness using diving databases. Proceedings of the 17th annual meeting of Diving and Hyperbaric Medicine, Greece, 1991:pp223-231
- 5) Overland T. Oceaneering International. Proceedings of the American Academy of Underwater Sciences, Repetitive Diving Workshop, Costa Mesa, CA, 1991:pp89-101
- 6) Linaweaver, Jr PG. Surface decompression technology: Background and current concepts. In: Nashimoto I, Lanphier EH, eds. Proceedings of the 36th Undersea Medical Society Workshop on Decompression in Surface-based Diving. Tokyo, 1986: 20-24
- 7) Gouze FJ, A method and study of surface decompression as a routine procedure. U.S. Naval Medical Bulletin, Washington, 1944, 42:578-580
- 8) Van de Aue OE, Brinton ES, Nellar RJ. Surface decompression, derivation and testing of decompression tables with safety limits for certain depth and exposures. NAVY Experimental Diving Unit report no.5-45, 1945
- 9) Workman RD, Duffner GJ, desGranges M. Surface decompression from air dives. NAVY Experimental Diving Unit report no.10-57, 1957
- 10) Nishi RY, Lanckner GR. Development of the DCIEM 1983 decompression model for compressed air diving, DCIEM no.84-R-44, 1984
- 11) Nishi RY, Lauckner GR, Eatock BC, Hewitt JT. Oxygen decompression techniques for compressed air diving using the XDC-2 decompression computer programmed with the Kidd-Stubbs 1971 model, DCIEM no.84-R-19, 1984
- 12) Nishi RY, Lauckner GR, Eatock BC. Evaluation of the DCIEM 1983 decompression model for compressed air diving (series A-F), DCIEM no.84-R-72, 1984
- 13) Nishi RY, Lauckner GR, Eatock BC. Evaluation of the DCIEM 1983 decompression model for compressed air diving (series G-K), DCIEM no.84-R-73, 1984
- 14) Nishi RY, Lauckner GR, Eatock BC. Evaluation of the DCIEM 1983 decompression model for compressed air diving (series L-Q), DCIEM no.85-R-18, 1985

- 15) Hempleman HV: History of decompression procedures. In: Bennett PB, Elliott DH, eds. *Physiology and Medicine of Diving*, 4th ed. London; W.B. Saunders; 1993, pp361-375.
- 16) 池田知純, 芦田廣: 単一組織拡散モデルによる減圧理論の展開. *日本高気圧環境医学会雑誌* 2000;35:131-146.
- 17) Exposure limits for offshore air diving. UK Department of energy Diving Safety Memorandum 7/1986, 1986
- 18) Imbert JP, Bontoux M. Safety analysis of French 1974 air decompression tables. In: Nashimoto I, Lanphier EH, eds. *Proceedings of the 36th Undersea Medical Society Workshop on Decompression in Surface-based Diving*. Tokyo, 1986: 90-100
- 19) U.S.NAVY Diving Manual revision 6, NAVAL SEA SYSTEMS COMMAND, 2008
- 20) Lambertsen CJ, Gernhardt ML, Miller RG, Hopkin E. Development of decompression procedures: Air diving with surface decompression using oxygen. Based upon integrated analytic model of tissue gas bubble dynamics and oxygen tolerance. University of Pennsylvania Medical Center, 1992
- 21) Geruhardt ML. Development and Evaluation of Decompression Stress Index Based on Tissue Bubble Dynamics. University of Pennsylvania Medical Center, 1991
- 22) Lambertsen CJ, Nishi RY, Hopkin EJ. Relationships of doppler venous gas embolism to decompression sickness. University of Pennsylvania Medical Center, 1997

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
望月 徹	水上減圧法の運用管理	日本高気圧環境 潜水医学会雑誌	53巻4号	275	2018