

□事例報告□

海事考古学調査における中深度域潜水法に関する事例報告

鉄多加志¹, 木村淳¹, 坂上憲光¹

¹ 東海大学海洋学部

海洋人間学雑誌, 9(1):31-39, 2020.

(受付: 2019年9月30日; 最終稿受理: 2020年5月15日)

I. はじめに

和歌山県加太沖の紀淡海峡(友ヶ島水道とも呼ばれる)に位置する友ヶ島は、西側から沖ノ島、神島、虎島(沖ノ島東部の陸繋島)、地ノ島の4島から成り(図1)、沖ノ島および神島の北方約500m沖の海域、大阪湾の南端に当たるエリアでは、これまで中国青磁が底引き網漁などによって多数引き揚げられている。和歌

山市教育委員会は、このような海揚がり青磁について器種ほか、15世紀前半~中葉と年代の一括性から、船の積み荷由来と結論付け、日明貿易で紀淡海峡を航行する船が沈没したことによる遺物である可能性を指摘している。このような事実に基づいて、この海域は「沖ノ島北方海底遺跡」として、和歌山市の埋蔵文化財包蔵地に指定されている。

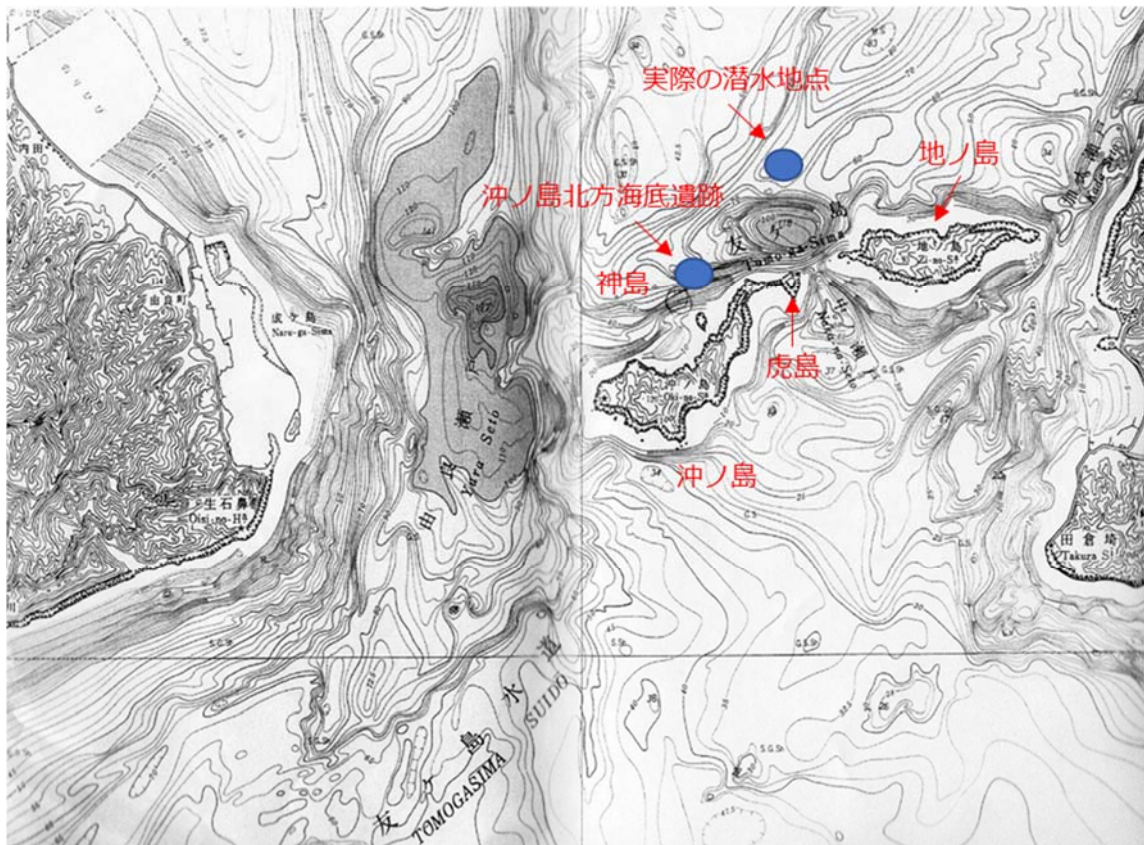


図1 友ヶ島水道海底地形図(第6383号より)一部改変

筆頭者連絡先: 〒424-8610 静岡市清水区折戸3-20-1
e-mail: tetsu@tokai-u.jp

我々は今回の調査に先立ち、この海域および付近の海域で漁を行い、実際に陶磁器を引き上げたことのある漁業者から引き上げ地点等に関する聞き取りを行ったところ、「沖ノ島北方海底遺跡」とされる海域よりも、さらに広範囲で陶磁器等の遺物が引き上げられていた可能性が推察された。そこで、遺物の引き上げ経験のある深日漁協（紀淡海峡より東方約 10km 所在）組合員の漁業者とともに出船し、海上において遺物を引き上げた地点について、陸上の構造物や山などの特徴的目印となる 2 点から特定する、所謂「山立て」を行ったところ、特定された地点は「沖ノ島北方海底遺跡」より 3km 北北西に離れた、水深が最大で 100m になる海釜地形の北側、水深 50m~60m の地点であった（北緯 34 度 19 分 0.16 秒、東経 135 度 01 分 29.6 秒、図 1）。そこで我々は、既知の「沖ノ島北方海底遺跡」とされる海域よりも、さらに広範囲で遺物が散布する可能性を考え、本地点を今回の調査地点とした。

調査地点付近の海域は水深 50m 以上で、地ノ島と沖ノ島の間（中ノ瀬）を潮汐流や外洋からのウネリなどが抜けてゆき、かつ海釜に向かってダウンカレントが発生しやすい、海流の早い場所となる。このような海域では一般的な海事考古学の手法として、水面から船舶等に搭載されたサイドスキャンソナーやサブボトムプロファイラーの機器を使った探査によって、海底面上の変化や海底面下にある遺物のデータを分析することで、その特定が可能になることがある²⁾。しかし、この場所においては、上記の手法による調査の可能性がこれまでも指摘されてきたが、現在に至るまで海面上から実施できる海洋探査は実施されておらず³⁾、もちろん潜水調査も実施されていない。

今回の調査海域で、水中遺跡の潜水調査を実施する場合、上記のとおり 50m を超える水深で潜水を行う必要が生じる。2015 年の 4 月に高気圧作業安全衛生規則の一部改正があり、潜水時の呼吸に通常の空気を用いるスクーバ潜水では、窒素の分圧制限は 400kPa 以下と規定され空気潜水では 400kPa が水深 40m に相当するため、この深度が限界の水深となった。この規則改正により 40m を超える水深においては、ヘリウム、酸素、窒素を混合したトライミックスガス（以下 Trimix）等の使用が求められることとなり、空気潜水とは異なる特別な呼吸ガスの準備と、ダイバーには、そのガスの使用を想定した水深で諸器材を運用するため、新たな潜水トレーニングも必要となってくる。

国内の職業潜水における Trimix ガスを使用した歴史は浅く、技術研究が始まったのは 1988 年のことで、実地における潜水は 1990 年の富山湾で行われた試験が初めてであった⁴⁾。このように、海上自衛隊を含めた国内における職業潜水で Trimix ガスを使った事例は極めて少ない。

そこで本調査では、国内では事例の極めて少ない 40m 超える水深で行われる水中考古学調査において、使用する器材や呼吸ガス、ガスの分圧、潜水計画など、その選定の過程や根拠を明らかにして、今後行われる同様の調査の参考となるような実施例にしたいと考えた。さらに、遠隔操作無人探査機（Remotely Operated Vehicle 以下 ROV）を導入して、海事考古

学調査における ROV の積極的な利用の検討を行い、この海域で過去に引き揚げられたとされる年代の陶磁器の発見と沈没船の存在の確認を目的とした。

尚、本論表題にも使用している調査水深を「中深度」とした理由は、潜水医学のパイオニアである故梨本一郎氏が、40 から 100m の深度を対象とした潜水技術研究会を立ち上げた際に、深海潜水よりも浅いということから提唱されたことに基づいている⁵⁾。

II. 方法

1. 潜水者と事前トレーニング

本潜水調査は 2 名の潜水者がバディ（ダイブパートナー）となって実施した。ダイバー A（年齢 53 歳、身長 174cm、体重 72kg、ダイビング歴 35 年、IANTD Trimix クローズドサーキットリブリーザーダイバー）は、調査以前に Trimix を用いたテクニカルダイビングの講習を受講しており、これまでに 60 m 以深で混合ガスや諸器材を運用した経験があった。ダイバー B（年齢 35 歳、身長 170cm、体重 60kg、ダイビング歴 24 年、TDI エクステンデッドレンジダイバー）は、当該水深における潜水経験も器材の運用や Trimix ガスの使用に関しても未経験であったが、直近に千葉県御宿町での中深度潜水調査を控えていたため、相当水深における事前の講習をテクニカルダイビングインターナショナル（TDI）において受講して準備を行った。

現状の日本の Trimix 潜水の教育におけるトレーニングや知識の習得については、海外のテクニカルダイビングの指導団体の提供する講習に依存する傾向が強く、国内の機関による教育の普及には至っていない⁶⁾。

2. 潜水計画

A. 潜水計画の基本的検討事項

潜水が必要な調査や作業を行う場合には事前に潜水計画を策定して、その計画に基づいて業務を行う必要がある。これは、高気圧作業安全衛生規則の第 12 条の 2「潜水計画」によって定められており、①使用する潜水呼吸ガスの種類および組成、②潜水時間、③最大潜水深度、④潜降および浮上速度、⑤減圧停止深度および停止時間を潜水者に対して示さなければならない。また、④と⑤に関しては同規則の第 18 条「浮上の速度等」に定める方法によるものでなければならず、更に浮上の速度が毎分 10 m 以下でなければならない⁷⁾。

潜水計画は、日本潜水協会が発行し国土交通省港湾局監修の潜水作業マニュアル(Ver.1)を参考として⁸⁾、水深 60m で在底時間 10 分の潜水を、1 日に 1 回実施する場合を想定し以下の計画 1 と計画 2 を立案した。なお、計画 1 と 2 ともに安全な潜水調査のためのガス消費率と残圧の検討⁹⁾のデータを参照して、毎分の呼吸ガス消費量を潜降・浮上時は 20ℓ/分、ボトム・減圧時を 16 ℓ/分とした。

B. 計画 1

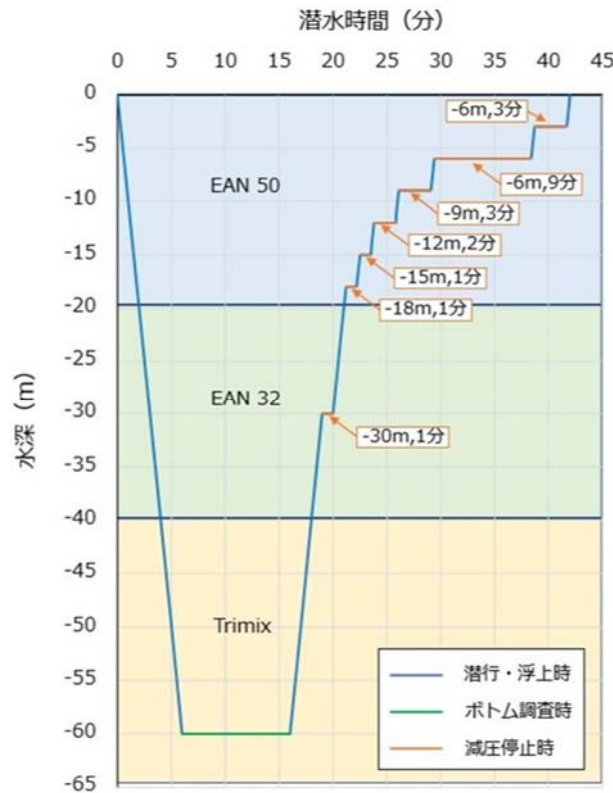


図2 計画1

(呼吸ガスに EAN50、EAN32、Trimix を使用する場合)

潜水開始から水深 20m までの潜降時には、Enriched Air Nitrox (以下、EAN) 50 (ガス組成：酸素 50%、窒素およびその他ガス 50%) を用い、20m で EAN32 (ガス組成：酸素 32%、窒素およびその他ガス 50%) にガスを交換し、40m まで用いる。続いて、40m から最大水深である 60m に到達し、10 分間のボトムでの調査を終え、60m から 40m までの浮上時には、Trimix (ガス組成：酸素 20%、ヘリウム 30%、窒素およびその他ガス 50%、※ガス組成の根拠については、以下、

II.方法 3 の C.にて説明) を用いる。40m から 21m までの浮上時には EAN32 を用い、21m から水面までは EAN50 を用いる。尚、潜降速度は 10m/分である。浮上速度もしくは浮上+減圧停止の所要時間について、60m から 40m までは 10m/分、40m から 20m までは 1 回の減圧停止を含む所要時間は 3 分、20m から 10m までは 3 回の減圧停止を含む所要時間は 5 分、10m から海面までは 3 回の減圧停止を含む所要時間は 16 分であり、総潜水時間は 42 分である。

表1 計画1における潜水呼吸ガス種類別の積算使用量

水深 (m)	気圧 (ata)	使用ガス	積算使用量 : A+B+C+D (ℓ)	潜降時			ボトム調査時			浮上時			減圧時		
				所要時間 (分)	使用量 : a (ℓ)	←aの大気圧換算値 : A (ℓ)	所要時間 (分)	使用量 : b (ℓ)	←bの大気圧換算値 : B (ℓ)	所要時間 (分)	使用量 : c (ℓ)	←cの大気圧換算値 : C (ℓ)	所要時間 (分)	使用量 : d (ℓ)	←dの大気圧換算値 : D (ℓ)
0~-10	2	EAN50	872	1	20	40				1	20	40	15	240	480
-10~-20	3			1	20	60				1	20	60	4	64	192
-20~-30	4	EAN32	424	1	20	80				1	20	80	1	16	64
-30~-40	5			1	20	100				1	20	100			
-40~-50	6	Trimix	1,640	1	20	120				1	20	120			
-50~-60	7			1	20	140				1	20	140			
-60ボトム	7			10	160	1,120									

潜行・浮上時は20ℓ/分、ボトム・減圧時は16ℓ/分の呼吸ガス消費量とした)

また表1には、計画1における潜水呼吸ガス種類別の積算使用量を示した。潜水呼吸ガスの種類別の積算

消費量は、EAN50が872ℓ、EANが424ℓ、およびTrimixが1,640ℓである。

C. 計画2

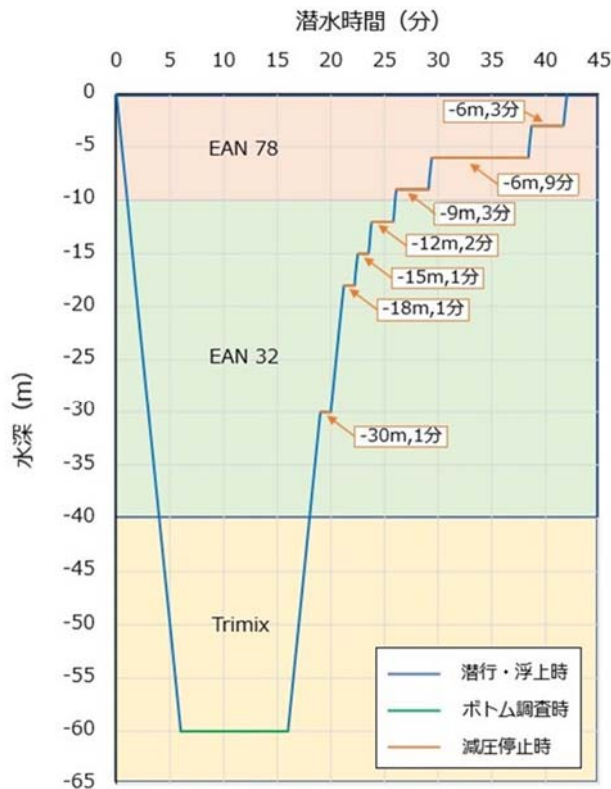


図3 計画2

(呼吸ガスに EAN78、EAN32、Trimix を使用する場合)

潜水開始から10mまでの潜降時には、EAN78（ガス組成：酸素78%、窒素およびその他ガス22%）を用い、10mから40mまではEAN32を用いる。続いて、40mから最大水深である60mに到達し、10分間のボトムでの調査を終え、60mから40mまでの浮上時には、Trimix

を用いる。40mから10mの浮上時にはEAN32を用い、10mから水面まではEAN78を用いる。なお、潜降速度、浮上速度、減圧停止および減圧回数は計画1と同様であり、総潜水時間も同様に42分である。

表2 計画2における潜水呼吸ガス種類別の積算使用量

水深 (m)	気圧 (ata)	使用ガス	積算使用量 : A+B+C+D (ℓ)	潜降時			ボトム調査時			浮上時			減圧時			
				所要時間 (分)	使用量 : a (ℓ)	←aの大気圧換算値 : A (ℓ)	所要時間 (分)	使用量 : b (ℓ)	←bの大気圧換算値 : B (ℓ)	所要時間 (分)	使用量 : c (ℓ)	←cの大気圧換算値 : C (ℓ)	所要時間 (分)	使用量 : d (ℓ)	←dの大気圧換算値 : D (ℓ)	
0~-10	2	EAN78	560	1	20	40					1	20	40	15	240	480
-10~-20	3	EAN32	736	1	20	60					1	20	60	4	64	192
-20~-30	4			1	20	80				1	20	80	1	16	64	
-30~-40	5			1	20	100				1	20	100				
-40~-50	6			1	20	120				1	20	120				
-50~-60	7	Trimix	1,640	1	20	140					1	20	140			
-60ボトム	7						10	160	1,120							

潜行・浮上時は20ℓ/分、ボトム・減圧時は16ℓ/分の呼吸ガス消費量とした

また表2には、計画2における潜水呼吸ガス種類別の積算使用量を示す。潜水呼吸ガスの種類別の積算消費量は、EAN78が560ℓ、EANが736ℓ、およびTrimixが1,640ℓである。

D. 計画1と計画2の比較検討

計画1と計画2における大きな相違点は、潜降時および浮上・減圧時の浅深度において使用する潜水呼吸ガスに、EAN50（計画1；使用水深域0から20m）も

しくはEAN78（計画2；使用水深域0から10m）のいずれを使用するのかという点である。我々は、計画1および計画2における3種類の潜水呼吸ガスを充填するボンベについて、EAN50もしくはEAN78は、容量5.7ℓのアルミニウム製のボンベを使用する予定であった。また、計画1および計画2で共通して使用するEAN32も、容量5.7ℓのアルミニウム製のボンベを使用し、Trimixは容量14もしくは12ℓのスチール製ボンベを使用する予定であった。容量5.7ℓの

アルミニウム製のポンベについて、EAN50もしくはEAN70の最大充填量は、およそ1,000ℓである。表1で示したEAN50の積算使用量である872ℓでは予備量が少なく、容量5.7ℓのアルミニウム製のポンベでは危険と判断された。容量を増やすことも考えられるが、これ以上の重量や大きさの増大は調査を困難にすることが予想されるため、この段階で使用する潜水計画は、EAN78、EAN32、Trimixの呼吸ガスを使用する計画2に決定した。

E. 潜水許可

本調査は、和歌山県海上保安部に対して行事許可申請書を提出し、受理されるとともに、和歌山県漁業協同組合ならびに大阪府深日漁業協同組合の同意を得て実施した。尚、今回の調査では、沖ノ島北方海底遺跡の埋蔵文化財包蔵地への潜水は行っていないが、和歌山県教育庁文化遺産課へ発掘の届け出を行い、了承の上で実施した。

3. 潜水機材

A. ダイビングコンピュータ

Trimix潜水に対応したダイビングコンピュータが必要になるため、SUUNTO社製のION STEELとION COREを準備した。両ダイビングコンピュータともに潜水士テキストで解説されているビュールマンZH-L16に準拠した減圧計算のアルゴリズムを搭載しており、適切な器材であると判断した⁷⁾。

B. ポンベのマウント方法

本調査では前項2のD.で記述した通り、EAN78およびEAN32は、それぞれを容量5.7ℓのアルミニウム製のポンベ、Trimixは容量14もしくは12ℓのスチール製のポンベを使用する予定であった。調査が行われる水深で使用する、Trimixを充てんするスチール製のポンベは、浮力調整具であるBC(Buoyancy Compensator)にポンベをサポートするベルトにより装着し、背負う状態(バックマウント)になるが、潜降や浮上、減圧時に使用するポンベは、ホルダーによってダイバーの左右両側へ振り分けて、両脇に抱え込む状態(サイドマウント)になる。潜水者が使用しやすく、調整を可能にするためホルダーは自身で製作した。



図4 調査に使用した各ポンベおよび装着器具

右からTrimix、EAN32、EAN78の順に並んでいる

C. Trimix呼吸ガスの分圧の検討

ガスの分圧制限に関しては、高気圧作業安全衛生規則の第15条に規定されており、①酸素：18キロパスカル以上160キロパスカル以下②窒素：400キロパスカル以下、③炭酸ガス：0.5キロパスカル以下と、3つのガスに関して限界値が定められている⁷⁾。炭酸ガスの分圧に関しては、Trimixを製造する際に検討すべきガスではないため除外して考えるが、ヘリウムの分圧を決定するためには、酸素と窒素の分圧の設定が重要と

なる。いくつかの分圧の候補が考えられるが、ヘリウムは高価なガスであることから、ヘリウムの分圧を高く設定すると、それに比例して呼吸ガス製造の経費が高くなる。よって、酸素が18キロパスカル以下にならないように、かつ、仮に60m以上の水深に降りてしまった事を考慮して、その水深で酸素が160キロパスカル、窒素が400キロパスカルを越えないように考え、20/30(この場合、2%0が酸素、30%がヘリウム、残りの分圧が窒素となる)のTrimixガスの製造を依頼した¹⁰⁾。

4. 調査時期と時間帯および中止条件の検討
 目視調査の場合、本来ならば透明度の高い冬を選択すべきであるが、本調査は夏季である2018年9月2日および3日に実施した。夏季を選定した理由については、①島と島に挟まれた水路に近い潮流が早い場所であること、②水深が40m以上であること、③調査海域での潜水は前例がないこと、これら3つの理由により動きが制限されるドライスーツの必要な時期では、

呼吸ガスの消費量の増大が予測され、ウェットスーツで潜水できる夏季に調査を実施する必要があったためである。日程に関しては、最も干満差の少ない小潮の日を選び、時間帯についても潮汐流の影響を比較的受けにくい、満潮の潮止まりを潜水調査の時間に設定した(表3)。

表3 2018年9月1日から3日における和歌山の潮位

日付	満潮				干潮			
	時刻	潮位 (cm)	時刻	潮位 (cm)	時刻	潮位 (cm)	時刻	潮位 (cm)
9月1日	9:44	169	21:44	174	3:33	71	15:32	90
9月2日	10:44	159	22:20	167	4:24	72	16:15	108
9月3日	12:09	151	23:09	159	5:30	73	17:20	124

10:44 : 潜水開始予定時刻

なお、調査実施日の2018年9月2日および3日の調査海域の気象は、両日ともに天候は晴れ、南から南西の風、風速3m/sec、水温は25度であった。

5. ROVによる中深度域潜水支援

上記4.で示したように、本報告の調査海域は潮流が速く、水深も40mを超え、なおかつ潜水の事例もない。このような状況から万難を排するため、事前または潜水調査と並行して、ROVを使用した海域のモニタリングを実施して情報収集と潜水支援を行うこととした。ROVの運用に関しては、本論執筆者が担当した。使用したROVは、自主開発であり、改良を重ねたものである。重量約15kg、全長70cm、幅55cm、高さ30cmであり、携行性が高く、小規模な考古学調査への安全確保を目的とした支援が可能である。当該海域の海底遺跡の水深は約60mであったのに対し、本機のこれまでの最大潜航水深の実績は50mであったが、本調査において最大で80mまで達することで、設計限界水深である80mを実証した。本機の耐圧容器内には小型コンピュータが搭載されており、動作時に必要な通信や情報処理が行われている。また前方にハイビジョンカメラ1台が搭載され、遺跡の映像の録画が可能である。後部にはROV全体の様子を映し出すことができる小型カメラも取り付けられている。これらのカメラ映像は光ファイ

バーケーブルを通して操縦者のいる船上モニターに映し出され、海底の様子や潜水しているダイバーを観察しながらROVを操作することができる。今回は透明度が悪く、光量の不足が懸念されたため、急遽外部に水中ライトを設置して対応した。ROVを使用することで、海底の状況を潜水前に確認することができ、海上からでは分からない状況を知る事が可能になるため、ダイバーの安全確保に対して大きなアドバンテージとなる。更に、ダイバーでは到達できない、予定している水深よりも深い場所や広範囲の確認ができる事もROVを併用した大きな理由であった。

Ⅲ. 結果

図5には2018年9月2日の第1回目潜水におけるダイバーAの潜水ログデータを示した。この潜水ログデータに関しては、潜水第1日目および第2日目、ダイバーAおよびBともに、ほぼ同様のログデータであったため、代表例として示すものである。なお、図5に赤破線で示した当初計画である計画2から、実際の潜水においては安全性に問題の無い範囲で、図5の*1から*5に示したとおり、使用ガスの変更およびボンベの交換およびダイビングコンピュータの設定変更に要する時間を追加した。

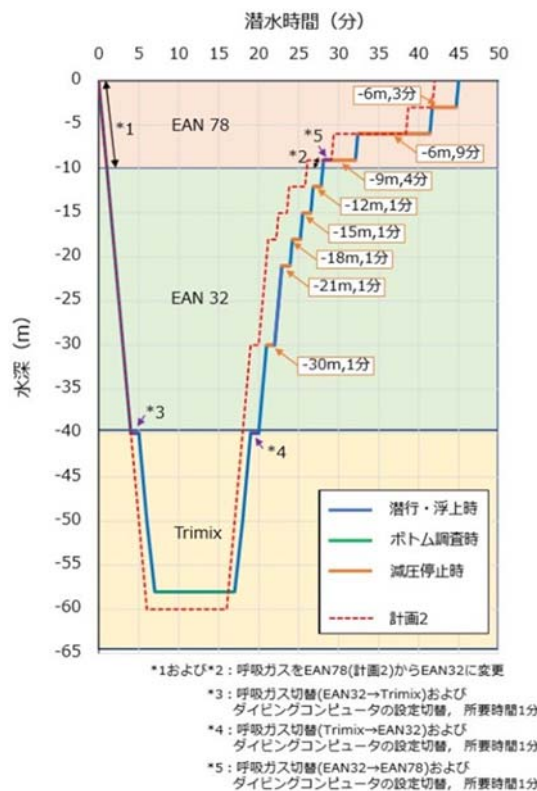


図5 調査潜水時の潜水ログデータ (2018年9月2日、ダイバーA)

実際の潜水では(図5)、入水から出水までの総潜水時間は45分であり、水深58mのボトムに到達するまでの時間は、40mにおいてEAN32からTrimixへボンベ交換およびダイビングコンピュータの設定変更に必要な1分間を含めて7分掛かっており、10分のボトム調査後に浮上を開始し、40mで1分間、TrimixからEAN32にボンベ交換とダイビングコンピュータの設定変更を行い、30mでディープストップを行った。その後は21m、18m、15m、12m、9m、6mで減圧停止を3m毎に行い、最終減圧点である3mで3分の停止は使用しているダイビングコンピュータ上では、減圧

の停止指示は終了していたが、追加で減圧停止を行った。ディープストップとは、最大水深のおよそ半分の深度で行われる安全停止と解釈され、近年発売されているダイビングコンピュータでは、潜水深度に応じて標準的に表示がされる機種が多い。このディープストップには、肯定的な考え方と否定的な意見があるため、必ずしも行わなければならないものではない。本調査で採用した理由は、浮上スピードが早くなり過ぎないように意識するための「抑止力」として必要と考えたからである。

表4 第1回目および第2回目の潜水においてダイバーAとBが使用したガス量(大気圧換算値)

使用ガス	第1回潜水(2018年9月2日)					第2回潜水(2018年9月3日)					計画2 見積使用量 (ℓ)
	ボンベ内充填量(ℓ)	ダイバーA 使用量(ℓ)	ダイバーA 使用量/充填(%)	ダイバーB 使用量(ℓ)	ダイバーB 使用量/充填(%)	ボンベ内充填量(ℓ)	ダイバーA 使用量(ℓ)	ダイバーA 使用量/充填(%)	ダイバーB 使用量(ℓ)	ダイバーB 使用量/充填(%)	
EAN78	1,083 ^{*1}	342	31.6	342	31.6	1,083 ^{*1}	342	31.6	456	42.1	560
EAN32	1,083 ^{*1}	570	52.6	741	68.4	1,083 ^{*1}	742	68.5	855	78.9	736
Trimix	2,520 ^{*2}	840	33.3	1,120	44.4	2,160 ^{*3}	1,080	50.0	1,320	61.1	1,640

*1: EAN78およびEAN32用のボンベは5.7ℓを使用

*2: Trimix用のボンベは14ℓを使用

*3: Trimix用のボンベは12ℓを使用

表4には、第1回目および第2回目の潜水においてダイバーAとBが実際の潜水時に使用したガス量（大気圧換算値）を示した。併せて、採用した計画2の見積使用量も示しているが、この数値と比較して実潜水で使用したガス量が上回ったのは、第2回目潜水時におけるダイバーAおよびBのEAN32であった。使用量/充填量を見ると、ダイバーAおよびBでは、それぞれ68.5%と78.9%であった。EAN78およびTrimixについては、計画2の見積使用量を上回ることなく、使用量/充填量もおおよそ30~70%の範囲であった。

また、調査現場では予めGPSに記録した地点（北緯34度19分0.16秒、東経135度01分29.6秒）にて浮標を投げ入れ、アンカーと浮標を繋ぐロープを使って潜降と浮上を行った。海底ではアンカーにテープメジャーを接続して、南西方向へ約25mメジャーを引いて、その左右を有視界の範囲で捜索を行なった。視界が2mに満たない状況であったため、陶器や陶磁器片などの遺物や沈没船の形跡に関しては、発見することができなかった。

ROVは事前や並行した状況調査において、潮流や海底の状況を確認することで、安全管理の面で大いに役立った。後日、収録した画像から海底地形図を作成しようとしたが、透明度が悪く、また透過光量が少なかったため、当初、考えていたような成果は得られなかった。

IV. 考察

本調査では、目標とする潜水深度が60mであったため、Trimixガスを使用し、深い潜水をした際に行う予備減圧を含む高濃度酸素（EAN78）を使った段階的な減圧とガス量の管理を両立させた計画を立てて実行した。

図5の*3~*5に示した通り、計画2ではボンベ交換とダイブコンピュータの設定変更作業は、潜降・浮上中に行う予定であったが、作業の正確性を期すため実際の潜水時には、潜降・浮上を一旦停止して、それぞれの所要時間（停止時間）を1分設けることとした。なお、浮上時のEAN32からEAN78の交換は（図5の*5）、9mの減圧停止時と兼用させて行ったため、10mから

9mへの浮上時の使用ガスも、計画2ではEAN78であったが、EAN32に変更した（図5の*2）。さらに計画2とは異なり、実潜水では入水時から水深40mでTrimixガスに交換するまで、EAN32を使用した（図5の*1）。変更の理由は、潜降時のガス交換の回数を減らすことで、少しでも調査に時間が多く使えるように配慮したからであった。水深10mまでの潜降で消費するガス量であれば、表2で示したとおり40ℓであるため、表3で示したEAN32を充填した5.7ℓボンベ内の充填量が1,083ℓであったことから、残量も十分な余裕があると判断した。

表4には、第1回目および第2回目の潜水においてダイバーAとBが潜水時に使用したガス量（大気圧換算値）と、計画2の見積使用量も示した。計画2の見積使用量と比較して、実潜水で使用したガス量が上回ったのは、第2回目潜水時におけるダイバーAおよびBのEAN32であった。EAN32については、III. 結果でも記したとおり、実際の潜水では水深10mまでの潜降には、計画2においてEAN78を使用する予定であったが、安全性に問題の無い範囲という判断の下、EAN32を使用するよう変更した。このことで生じる使用量の増加は、実際の潜水前から予測された範囲内であった。第2回潜水時におけるダイバーAおよびBのEAN32について使用量/充填量をみると、それぞれ68.5%と78.9%であったことから、ガスの残量は問題のない範囲であった。その他、EAN78およびTrimixのガス使用量についても、第1回目および第2回目の潜水では、ダイバーAとBを通じて、計画2の見積使用量を下回っており、使用量/充填量もおおよそ30~70%の範囲であったことから、どのボンベにも十分な呼吸ガス残量があり、事前の呼吸ガスの管理計画によって安全性を確保できたことが分かる。また、今後改善の余地がある事項として、ダイバー間で呼吸ガスの使用量に差があり、ダイバーAはBよりも、おおよそ20~25%ガス使用量が少なかった。これは、ダイバーAはBよりも潜水経験が豊富であることなどが影響していると推察されるが、潜水計画を立てる上で、ダイバーの潜水経験も加味する必要性が考えられた。⁹⁾（図6）



図6 減圧停止の様子（水深9m）

ボトムにおいて、調査対象を探索するための準備として、サーチライトとバックアップライトの2セットを用意したが、調査の両日ともに懸濁物が多く、透視度は2m弱しか無かった。また、濁りの影響でボトムには太陽光は全く届かず、ナイトダイビングと同様の状態であった。結果で示した通り、テープメジャーをアンカーから西南西に向けて張り、そのテープ両側を有視界の範囲で探索した。通常このような場合の探索方法としては、環状(円形)探索法(サーキュラーサーチ)が使われるが、この方法は水深が浅く、ボトムがフラットな場合に有効な方法であり、水深が深くボトムに傾斜がある場合には、傾斜の下方面で予定水深を上回る恐れがある。そのため安全を考慮して、水深が深くない方向に対する往復探索とした。

特に本件のような中深度域の潜水となると、空気で潜水が可能な40m未満の水深における調査とは、比較にならないほど多くの検討事項と選択肢がある。深度が深くなるに比例して、現地からの情報収集や現場での状況確認など、事前に得られる情報は正確かつ整理されたものが必要になってくる。その点において、潜水直前の海底状況を把握することのできる軽量で小回りの効くROVの使用は、安全管理の対策として非常に有効な手段と言える。昨今は、水中ドローンと呼ばれる軽量小型で、かつ安価なROVが使われるようになってきたが、このような環境下では耐圧や視認性、推進力もクリアできないので、中深度を超える水深の調査では、本件で使用したROVのスペックを満たすものでなければならない。同様の水深や暗所の調査でROVを運用する際には、ライトの種類や照射角を工夫することで、海底地形図が作成できるレベルのデータを収録できることが期待される。

今回の調査で実施した潜水手法は、中深度に位置する遺跡の調査において、安全面から有効であると結論付けられる。一方で、近年ヘリウムガス価格の高騰の問題が生じており今後、継続して混合ガスによる中深度潜水が、当該遺跡で実施可能かは判断が難しい。その点で、2015年の高気圧作業安全衛生規則の一部改正は、学術目的の潜水調査の現場に大きな影響を与えているため、早期に再検討が必要であることを加えたい。

この調査においては、入手できる最大限の情報を駆

使して、海事考古学調査における中深度域潜水の複数の方法を実証できたと考える。

謝 辞

本調査は、甲南大学による「関西湾岸エリアの海文化観光と広域連携プロジェクト」、東海大学海洋学部の研究助成を受けて実施した。実施に当たり、現地調査において貴重な助言や協力を給りました深日漁業協同組合ならびに加太漁業協同組合、調査の記録写真を撮影くださいましたカメラマンの山本裕司氏、本調査に対してご理解をいただきました甲南大学の出口晶子教授、文化庁の藤井幸司氏、和歌山県教育庁文化遺産課の田中元浩氏に深く感謝をいたします。

引用文献

- 1) 和歌山市教育委員会：和歌山市加太友ヶ島出土の陶磁器. 和歌山市教育委員会, 1997.
- 2) 坂本泉：水中考古学と海洋探査, 木村淳, 小野林太郎, 丸山真史(編)：海洋考古学入門 方法と実践. 東海大学出版部, 神奈川, pp40-41, 2018.
- 3) 石原渉：加太友ヶ島北方沖の海底遺跡. 季刊考古学, 123:pp58-61, 2013.
- 4) 梨本一郎先生追悼文集製作委員会: 梨本一郎先生追悼文集. 鳳山社, 東京, pp208-209, 2004.
- 5) 梨本一郎：バブルとの闘い. オーシャンエンジニアリング賞受賞記念誌, pp54-92, 1991.
- 6) 池田知純: 潜水の世界. 大修館書店, 東京, pp132-143, 2002.
- 7) 中央労働災害防止協会編：潜水士テキスト: 送気調整業務特別教育用テキスト. 中央労働災害防止協会, 東京, pp271-275, 2016.
- 8) 日本潜水協会 国土交通省港湾局監：潜水作業マニュアル(Ver. 1). (一社)日本潜水協会, 東京, pp448-449, 2015.
- 9) 鉄多加志, 中村雅子：安全な潜水調査のためのガス消費率と残圧の検討. 東海大学海洋研究所研究報告. 東海大学海洋研究所, pp40:26, 2019.
- 10) 日本水中科学協会編: 最新ダイビング用語辞典 安全管理、活動の実例から医学、教育情報まで. 成山堂書店, 東京, pp147, 2012.

編集後記

今号お届けする海洋人間学雑誌第9巻第1号は、原著1編、研究資料2編、事例報告1編であり、「スノーケリング指導者におけるフィンの硬度とフィン泳速度の関係」、「スタンドアップパドルボード（SUP）の活動環境における実施者の配慮行動と保全意識」、「無人島でのキャンプ体験が育む子供の成長」、「海事考古学調査における中深度域潜水法に関する事例報告」と、多分野に亘って掲載しているため、多くの方に興味を持っていただけたのではないかと考えています。

さて、新型コロナウイルスにより、「人との関わり方」が問われる中、皆さんの職場でもリモートワークや、緊急事態宣言後にも、「新しい生活様式・仕事形態」が求められていることと思います。

第9回学会大会も、通年とは違った形で開催せざるを得ません。

しかしながら、ぜひ一般発表の12月5日は、距離を保った“Face to Face”で開催できることを願っています。

(万谷小百合)

日本海洋人間学会編集委員会

委員長／漆谷伸介

編集委員／万谷小百合、若林庸夫

日本海洋人間学会査読委員会

委員長／松本秀夫

査読委員／藤本浩一、湊真輝、中塚健太郎

海洋人間学雑誌 第9巻第1号

2020年6月 発行

発行者 武田誠一

発行所 日本海洋人間学会

〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7 東京海洋大学内

郵便振替 加入者名 日本海洋人間学会

口座番号 00150-6-429943

TEL/FAX : 03-5463-0638 (藤本研)

URL : <http://www.jsmta.jp/>

E-mail : jsmta@jsmta.jp

海洋人間学雑誌 投稿規定

“海洋人間学雑誌”は日本海洋人間学会の機関誌であり、海洋における人間の健康と安全ならびに海洋スポーツ競技と海洋教育の進歩と発展に寄与することを目的とするものである。

本誌の英文名は“Japanese Journal of Maritime Activity”とし、略称は“Jpn J Marit Activity”とする。

I. 原稿の種類

1. 投稿原稿

投稿論文には以下の種類を設ける。1-①原著、1-②短報、1-③総説、1-④研究資料、1-⑤報告書（事例、調査、視察、事業・活動等）、1-⑥その他（Letter to the Editor、学会大会抄録など）。

※Letter to the Editor は本誌掲載の論文に関する質疑やコメントなどを編集委員会に寄せ、編集委員会が論文執筆者に回答を求めるものである。質疑やコメントと回答は合わせて同じ号に掲載する。質問者も回答者もすべて実名とし、また両者は相反する利益、業務に支障をきたすような利害関係がない事を条件とする。

2. 依頼原稿

学会の趣旨に関連した貴重性や有用性が高いと認められるテーマ、あるいは会員相互の連携や学会の発展に資するテーマについては編集委員会が論文執筆を依頼するものとし、以下の種類を設ける。2-①依頼総説、2-②依頼報告書（事例、調査、視察、事業・活動等）、2-③教育講座、2-④その他（議事録、学会記、研究紹介、会報など）。

II. 投稿原稿および依頼原稿に関する一般規定

1. 投稿原稿と依頼原稿の共通項目

- 原稿作成には和文（日本語）を用いることとする。他の言語を用いる場合は英語のみ可とする。
- ヒトや実験動物を対象とした生理学的、心理学的研究など、または報告書などにおいても、倫理上または個人情報上の特別な配慮が必要となる場合は、関係法令の遵守と文部科学省ならびに厚生労働省のガイドライン等をよく参照した実験遂行・原稿作成に十分留意すること。
- 項目分けは、以下の順序とする。「I., II., 1., 2., A., B., (1.), (2).」
- 引用文献は必要最小限に留めること。1-①原著については30編以内、1-②短報については10編以内を目安とする。総説についてはこの限りではない。
- 本学会誌はオンラインジャーナルであるため論文別刷りの作成は行わない。別刷り相当物が必要な場合は本学会ホームページなどのインターネット媒体より入手して頂きたい。

2. 投稿原稿

- 原稿は、他誌に未掲載かつ完結したもののみを受け付ける。また同時に他誌に投稿することはできない。
- 筆頭者は本学会の会員に限るが、共著者についてはこの限りではない。入会手続きは学会事務局まで問い合わせのこと。
- 原稿には表紙を添付すること。なお表紙には以下の内容を記載すること。原稿の種類：本投稿規定の「I. 原稿の種類」に準拠して表記する、タイトル：和文と英文で表記する。なお本学会ホームページから投稿原稿の見本がダウンロード出来るので参照のこと。
- 本学会ホームページからダウンロードできる投稿連絡票に所定の事項を記入して原稿と一緒に送付すること。なおファイル名は以下の例を参照のこと。
例、投稿連絡票_海洋太郎
この投稿連絡票について、1-⑤報告書、1-⑥その他（Letter to the Editor）のキーワードは不要とする。1-⑥その他（学会大会抄録）のキーワードについては大会案内号などにて別途定める。
- 抄録は、1-①原著は本文とはページを変えて400字以内でまとめた和文抄録および英文抄録をそれぞれ1枚ずつ添付すること。また英文抄録はネイティブチェックを受けることを推奨する。1-②短報は英文抄録のみを上記の作成要領に沿って添付すること。1-③総説、1-④研究資料、1-⑤報告書、1-⑥その他（Letter to the Editor、学会大会抄録など）は、和文および英文抄録添付の必要はない。
- 章立ては、1-①原著、1-④研究資料については以下の例に準拠すること（例：「目的（※もしくは「はじめに」「緒言）」「方法」「結果」「考察」「結論（※もしくは「結語」「まとめ）」「引用文献」）。1-②短報については以下の例に準拠すること（例：「目的（※もしくは「はじめに」「緒言）」「方法」「結果および考察」「引用文献」）。1-⑥その他（Letter to the Editor）は「編集委員長へ」「引用文献」とすること。ここで挙げた論文種別以外の章立てについては、1-⑥その他（学会大会抄録など）は別途大会案内号などにて定めるが、原則として著者の意向どおりとする。
- 原稿の長さは、1-①原著、1-③総説、1-④研究資料、1-⑤報告書は抄録、図表（縦5cm×横7cmに縮小印刷が可能なもの1点を400字相当と換算する）および引用文献などを含めて刷り上がり8ページ（1200字/原稿1ページ×10枚）以内を、1-②短報と1-⑥その他（Letter to the Editor）については同様に4ページ以内を基本原則とする。また1-⑥その他（学会大会抄録）については大会案内号などにて別途定める。
- 査読（1-⑥その他を除く）は原則として2名の査読者でピアレビューを行うこととする。査読結果と査読者からの

指摘やコメント等は、筆頭者に「査読結果通知書」として連絡するので、修正要請等がある場合は通知書発信日より2ヶ月以内に修正した論文を提出すること。期限内に提出されなかった論文は不採択とする。最終的な採否は査読委員会の審査によって決定し、その日をもって受理年月日とする。なお掲載は原則として総説、原著、短報、研究資料、報告書の順番とし、同種論文間では採択順とする。

※ Letter to the Editor と学会大会抄録については、編集委員会において受理を検討し、不採択となる場合もある。

I. 投稿原稿および図表は、それぞれ別のファイルにして PDF 形式のファイルに変換し、これらを電子メールに添付して学会事務局メールアドレスに送信すること。なお、送信メールの「メール件名」および「ファイル名」は I-1 で示した論文種別を参照して必ず下記の例のようにすること。

例 1、メール件名 「原著投稿_海洋太郎」、「報告書投稿_海洋次郎」

例 2、ファイル名 「原著投稿本文_海洋太郎」、「原著投稿図表_海洋太郎」

なお、PDF 形式に変換前の原本については、最終稿提出時に査読委員会から著者へ提出を依頼する。

J. 投稿料は、1-①原著、1-③総説、1-④研究資料、1-⑤報告書については1編あたり10,000円とする。1-②短報については1編あたり5,000円とする。1-⑥その他は無料とする。投稿料の支払いについては、学会事務局の郵便振込口座に振り込むこと。なお振込用紙には内訳（例：原著投稿料として）を記入すること。

K. 後述の「Ⅲ. 原稿作成要項」を大幅に逸脱するものは受け付けられない場合もある。

3. 依頼原稿

- A. 他誌に未掲載の原稿であることを原則とする。
- B. 筆頭者および共著者が、本学会の会員であるか否かは問わない。
- C. 抄録は、2-①依頼総説、2-②依頼報告書について和文もしくは英文で作成を依頼する場合もある。
- D. 章立ては、Ⅱ-2-F を参考とすること。
- E. 原稿の長さは、基本的にⅡ-2-G に準じる。
- F. 原稿の郵送方法、著者校正、最終稿の提出等に関しては、依頼者へ個別に連絡する。
- G. 投稿料はすべて学会の負担とする。

Ⅲ. 原稿作成要項

- 1. 原稿はワードプロセッサなどによる機械仕上げのものとし、書式は下記の事項に準拠して作成すること。用紙：A4判、文字数/1頁：1200字（40字×30行）、余白：上下端および左右端を広めにとること、図表位置の指定：右の余白に挿入位置を赤字で指定すること、行数：左の余白にページ毎に表示させること、ページ数：下端（フッター）中央に、表紙および和文、英文の抄録を除いた本文のみのページ数について記載すること。ランニングタイトル：上端（ヘッダー）右端に20文字以内で記載すること。以上、学会ホームページよりダウンロードできる投稿原稿の見本を参照のこと。
- 2. 日本語原稿は現代かなづかい、常用漢字とし、外国語、引用文献等の外国固有名詞はその言語を用いること。数字はアラビア数字を用いることを原則とし、単位符号はCGS単位（mm、sec、cm、ml、 μ gなど）を用いること。
- 3. 引用文献は、本文中の引用箇所右肩上付で、文献番号を片括弧にて記載すること（例：佐野ら¹⁾Ferrignoら²⁾）。また原稿の最後には出現順にまとめたリストを掲載すること。なお引用していない文献を記載してはならない。表記は以下の例を参照し、スペースはすべて半角、「,」と「.」ともにすべて半角を用いること。

例 1. 雑誌の場合

- 1) 佐野裕司, 菊地俊紀, 阿保純一 : 加速度脈波を用いた簡便な潜水反射試験法の開発. スポーツ整復療法学研究, 8(3):103-110, 2007.
- 2) Ferrigno M, Ferretti G, Ellis A, Warkander D, Costa M, Cerretelli P, Lundgren CE : Cardiovascular changes during deep breath-hold dives in a pressure chamber. J Appl Physiol, 83(4):1282-1290, 1997.

例 2. 書籍およびプロシーディング等の場合

- 3) 篠宮龍三 : ブルーゾーン. 牧野出版, 東京, pp134-137, 2010.
- 4) Agostoni E: Limitation to depth of diving. In: Rahn H. et al. (Eds.), Physiology of breath-hold diving and the ama of Japan, National Academy of Sciences - National Research Council, 139-145, 1965.
- 4. 図表の作成は本文とは別のファイルに、1つごとに1ページを用いて鮮明に作成すること。図表内の文字、タイトルおよび説明については、英文表記を用いることが望ましい。なお刷り上がり時の横寸法の大きさ（片段横寸法7cm、段抜き横寸法16cm）に留意すること。また受理後に寸法および鮮明さに関する問題が生じた場合、著者に再作成を依頼する場合もある。

本誌に掲載された著作物の著作権は、著者と本学会の両者が保持するものとする。著作権に関する詳細は、編集委員会に問い合わせること。

一部改正 2013年3月8日
2014年8月28日

Vol. 9 No. 1

June 2020

Japanese Journal of Maritime Activity

Japan Society for Maritime Activity (JSMTA)