

## 水中遺跡(沈没船)調査における安全な潜水方法の研究

鉄多加志<sup>1)\*</sup>・木村 淳<sup>2)</sup>・イアン マックカン<sup>3)</sup>・  
シェルドン クライド B. ジャゴオ<sup>4)</sup>・ボブ シェパード<sup>5)</sup>

### Study of Diving Safety of Underwater Investigations at Archaeological Sites (Shipwrecks) in Water

Takashi Tetsu<sup>1)\*</sup>, Jun Kimura<sup>2)</sup>, Ian MaCann<sup>3)</sup>,  
Sheldon Clyde B. Jago-on<sup>4)</sup>, and Bob Sheppard<sup>5)</sup>

#### Abstract

A diving search, part of the internationally-joint study of the *San Francisco* (sunken in 1609) and shipbuilding technologies of Manila Galleons with the support of KAKENHI, was carried out during the first season's underwater investigation in the waters of Onjuku in July 30-August 12 in 2016. The *San Francisco* was a Spanish galleon and Rodrigo de Vivero y Aberrucia, a former governor of the Philippines, was on board to back to Acapulco, but she was wrecked off the coast of Tajiri beach, Onjuku in Chiba. Several underwater surveys were conducted in the area before but no reports are available as they were not scientific researches.

The scheme of the internationally-joint study consists of two main themes: "historical and archaeological study on Galleon shipbuilding" and "underwater archaeological search" through international cooperation with the National Museum of the Philippines, University of Salzburg, National institute of Anthropology and History, Mexico, Windy Network, JAMSTEC, and Tokyo University of Marine Science and Technology (Fig. 1). As shown on Fig. 1 the importance of the international collaboration relates the fact that the wreck event of the *San Francisco* and her historical backgrounds

---

1) 東海大学海洋学部海洋フロンティア教育センター 〒424-8610 静岡市清水区折戸 3-20-1

Marine Studies Frontier Education Center, School of Marine Science and Technology, Tokai University, 3-20-1 Orido, Shimizu-ku, Shizuoka 424-8610, Japan

2) 東海大学海洋学部海洋文明学科 〒424-8610 静岡市清水区折戸 3-20-1

Department of Maritime Civilizations, School of Marine Science and Technology, Tokai University, 3-20-1 Orido, Shimizu-ku, Shizuoka, 424-8610, Japan

3) Vertical Services Pty Limited, Unit 3/ 53 Biscayne Way, Jandakot, Western Australia 6164, Australia

4) National Museum of the Philippines, 1000 Padre Burgos Ave, Ermita, Manila, the Philippines

5) Heritage Detection Australia, 1100 Lacey Rd. Mundaring, Western Australia 6073, Australia

\* Corresponding author: Takashi Tetsu (tt958104@tsc.u-tokai.ac.jp)

(2017年1月9日受付/2017年3月13日受理)

represent the Japan-Spain-Mexico-the Philippines history. There are a few Spanish wrecks that have been salvaged for commercial purposes, but this scientific research aims to contribute to archaeological studies of Manila-Acapulco trades.

Although approximately over two-hundred underwater sites have been located in Japan, according to the Agency for Cultural Affairs that lately established the advisory committee for the survey and protection of domestic underwater site, there are not many studies on European shipwrecks sunken in the Japanese waters. As a matter of fact, there is a paucity in understanding the wreck event *San Francisco* that said to have happened somewhere off the coast of Iwawada, as the status of the wreckage and the location of the wrecking, which will be archaeologically examined by conducting appropriate diving searches. The major part of the study includes the underwater remote sensing survey and the diving searches by Tokai University in cooperation with overseas institutes. The aims of the investigations as part of the three years' project is to locate the wreckage of the *San Francisco* and to assess the necessity of further archaeological examinations, and as shown on Fig. 1 the underwater archaeological investigations are the significant part of the study.

Compared to the safety standard of terrestrial archaeological surveys, diving safety in underwater archaeological surveys in Japan, however, have not yet been developed mainly due to little studies despite the risks of underwater remote sensing survey as well as diving practices for survey. Therefore, the purpose of this paper is to improve the diving safety by proposing relevant equipment and logistic preparation from the viewpoint of risk management in which the individual situation of each survey is taken into consideration. We carefully prepared equipment necessary for the scientific diving survey, made diving plans in detail, and considered methods for ensuring security of divers and searching remains consistent with this survey. This trial improved communication between the divers and quality of the survey as well as the diving safety. It is necessary to develop the proper usage of equipment and the secure method of diving available to all of the divers who have different skill and experience in future.

## 諸 言

2016年7月30日から同年8月12日の期間に、科学研究費助成事業「サン・フランシスコ号海事考古学調査とガレオン交易船の造船技術に関する国際研究」(代表：東海大学・木村淳)の一環として、千葉県沖で1609年に沈没したスペイン船サン・フランシスコ号の第一回の潜水調査を行った。

この船の沈没は、当時スペインのフィリピン総督であったドン・ロドリゴがその任を終え、次の赴任の地であるアカプルコに向かう途中で、嵐に遭遇し起きた事故であった。今回調査した千葉県御宿町田尻海岸岩和田沖海域では、これまでに調査が数回行われた形跡があるが、非学術目的のプロジェクトであったため、発表や報告書などの公的な記録はない。

上述の研究課題(科研費)は、Fig. 1に示したように、「マニラ・アカプルコ交易船と造船関連考古・歴史資料調査」(National Museum of the Philippines, University of Salzburg, National Institute of Anthropology and History, Mexico)および「水中考古学探査(Windy Network, JAMSTEC, Tokyo University of Marine Science and Technology)を柱として、国際的研究枠組みで実施する。サン・フランシスコ号の船体および関連遺物史料は、日西墨比交流史やアジア海域史の研究において重要であると考えられる。また、それらの情報は、沈没したスペイン船の多くが遺物の売買目的の発掘によって荒らされてきた状況において、マニラ・アカプルコ交易船の考古学研究にも役立つことが期待される。

一方、日本には200を超える水中遺跡があり、平成25年には水中遺跡の調査、保存そして活用を検討するための水中遺跡調査検討委員会(文化庁)が

## 水中遺跡調査における安全な潜水方法

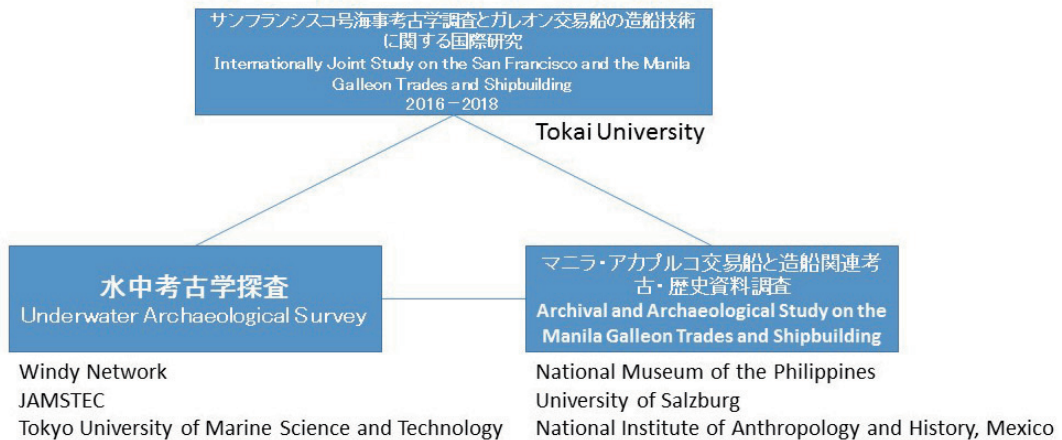


Fig. 1 Framework of international collaboration on our underwater archaeological study

設置されるなど、その重要性がより強く認識されるようになってきた。しかしながら、西洋船籍の史跡沈没船を対象とした学術研究事例は極端に少ない。サン・フランシスコ号についても、船体や関連遺物の遺存状況に関して未だに不明な点が非常に多く残っている。その一例として、同船は当時の上総国岩和田村付近で沈没したとされるが、関連遺物は皆無で(木村, 2006)、その座礁・沈没地点も不明であることが挙げられる。

特に、東海大学が中心となり、国外の研究者の知見を得て、水中考古学探査機器潜水探査によるサン・フランシスコ号の船体調査を計画している。3年の研究期間において、水中探査を実施し、サン・フランシスコ号の船体および関連遺物の所在を確認し、学術的側面から「沈没船遺跡」としてのさらなる船体調査が必要であるかなどの判定を行う。Fig. 1で示した国際的な枠組みの中で、特に船舶考古学上の沈没船遺を評価する上で重要となる、水中考古学調査を実施する。

こうした船体調査では、決定的な証拠を得る上で潜水調査の役割は非常に大きい。しかしながら、陸上での遺跡調査と違って、さらに水域においてもリモートセンシング機器を使った水中探査と比べても、潜水調査にはより大きな危険が伴う。そこで、本研究では、サン・フランシスコ号の潜水調査における危機管理と安全性確保を検討・検証し、水中遺跡調査における安全な潜水方法の確立に寄与することを目指した。実際の水中考古学調査の手引きにつ

いて、近年刊行された書籍や論文は無く、唯一「水中考古学」(荒木, 1985)に限られる。また上記書籍でも、遠隔地での水中考古学調査やその安全対策については十分な内容になっておらず実践的でない。

以下に、同様の沈没船調査立案の際に参考となるよう、機材準備、潜水計画作成、ダイバーの視認・捜索方法の検討、実地調査を時系列に沿って記述する。

## 方 法

### 準備機材と人材の検討

今回の水中遺跡調査では、不確定要素を極力排除するため、発電機、高圧空気充填機(ドイツ BAUER 社製)、スクーバボンベなど、従来は現地で調達することが可能な機材に関しても、予め用意して現地に入った。これは、海外の現地ダイビングサービスから全く隔絶された海域で行う場合に採用されている方法で、日本国内においては皆無と言って良い。潜水調査によって消費する空気を毎日現場で自給自足できることは、安定した調査計画を遂行することが可能になり、不測の事態を招かない予防策となる。

潜水調査地である千葉県御宿町沖合の水中環境は、外洋に面しており、一年を通して潮の流れや強いサージの影響をうける。潜水調査には、作業ダイビングに準じた潜水能力が求められた。本潜水調査にあたった調査者は、いずれも水中考古学調査の従

事経験があり、潜水調査の回数は300を超えている。調査に先立って「潜水作業マニュアル」を策定、リスク・アセスメントを可能とし、万が一の事態を避けるように備えた。事前に、御宿町御宿岩和田漁業協同組合に依頼書を通じて、備船の手配を含む協力を要請した。日本沿岸域では、水中考古学調査においても、漁業共同組合の賛同・支援・協力無しでは、成り立たないのが現状である。このため、備船にあたっては、漁業協同組合の意思の影響を受ける。2016年調査では、組合員に対して公平性を示すため、一日毎にチャーターする船を変えることが条件となった。備船したのは、同型の漁船であったが、トン数は4.8～9.6トンと異なった。

### 潜水計画の検討

潜水を伴う調査や作業を行う場合、減圧症の回避や1日の作業量を検討するため、一般的には潜水作業マニュアル(Ver. 1)(日本潜水協会, 2015)に記載されている標準空気減圧表NSK-N1-12を用いて潜水時間が求められ、それによって調査水深や範囲が決められる。本水中遺跡の潜水調査時間においても、この表を参照して決定した。

2015年4月に運用が開始されて間もなく一般には、ほとんど目にする機会の少ない表であるため、ここでこの標準空気減圧表について説明をしたい。

これらの表(NSK-N1-12およびR1, R2)は、カナダ国防省防衛民間環境医学研究所(Defence and Civil Institute of Environmental Medicine)のロン・ニシ(Dr. Ron Nishi)博士が中心となって作成された“D. C. I. E. M.”と呼ばれるダイビングテーブルを微修正して作られたものである(Nishi et al., 1992)。ここに示される水深に対する潜水時間は、潜水時の呼吸によって体内に取り込まれる窒素の総量、およびその窒素が大気圧下に戻っても問題のないレベルであるか、あるいは窒素の排出される時間から決められたもので、その状態で水面まで浮上しても、減圧症などの高気圧障害に罹患することなく、安全が確保される演算によって得られた時間である。

潜水によって取り込まれる窒素量は、水深および潜水時間から算出されている。ただしこの場合、運用されている呼吸用の気体は圧縮空気であり、浮上速度は高気圧作業安全衛生規則の第18条によって毎分10m以下と定められている(中央労働災害防

止協会, 2016)。

潜水計画の実例として、これらの表に記載されている水深(12m)で40分の潜水を1回行う場合を見てみる。まず、ここで提示した40分の潜水時間の根拠を示す。使用したエアーポンベの容量は12ℓで、最高充填圧力は19.6MPa(約200kgf/cm<sup>2</sup>)である。仮に空気充填時に19.6MPaのゲージ圧があったとしても、実際に使用する時のゲージ圧は5%程度減少した18.6MPa(約190kgf/cm<sup>2</sup>)になっていることが多い。これは、充填時に起こる温度上昇によって、ポンベ内の圧力は高く維持されているが、気温の低下や水中に入ることによって冷やされ、それに従ってポンベの圧力も低下することになる。これは、充填の状況や寒暖差によっても異なるが、調査時ではその影響が5%程度であった。つまり、使用できる空気の容量は平均して18.6MPa(約190kgf/cm<sup>2</sup>)であり、そこから安全を考慮し、5MPa(約50kgf/cm<sup>2</sup>)程度は残して出水しなければならないことを考えると、実際に使用できる空気圧力は13.6MPa(約140kgf/cm<sup>2</sup>)となる。更に水深12m(2.2ATA)で軽作業(大気圧下で18ℓ/分を消費)を行うことで使われる空気消費量を計算すると2.2×18ℓ/分=39.6ℓ/分(約40ℓ/分)となる。このことを前提にすると、140kgf/cm<sup>2</sup>×12ℓ÷40ℓ/分=1680ℓ÷40ℓ/分=42分が可能潜水時間として算出される(中央労働災害防止協会, 2016)。

この調査においても緊急時を除き、無減圧潜水を基本としているので、浮上停止時間はなく、浮上時間の合計は、切り上げ表記され、水深12mから水面までの所要時間は2分となる(Table 1)。その時の繰り返し潜水グループ記号はDとなる。

次に、NSK-R1(Table 2)の繰り返し潜水表の繰り返しグループ記号Dの欄を見て右に辿る。各待機時間(水面休息時間)は、2時間以上を目安にしているので、2:00→2:59の欄を下に辿り、D欄との交点である1.3を導き出す。この表は、2.0を上限とした、体内の窒素量を係数化したもので、2時間の待機時間によって、体内の窒素量が1.8から1.3に下がったことが分かる。

さらに、導き出された1.3の数値の使い方であるが、Table 3にある無減圧潜水繰り返し潜水表(NSK-R2)にある深度と数値の交点が、その水深における減圧を必要としない潜水時間になる。例えば、同じ水深に繰り返し潜る場合は、115分が無減

Table 1 Standard Air Decompression table NSK-N1-12

NSK-N1-12		Standard Air Decompression Table										
Depth (m)	DiveTime (min.)	Decompression Stop(min)at Different Depth(m)								Total Ascent Time (min.)	Repetitive Groupsign (RG)	First Dive UPTD
		24	21	18	15	12	9	6	3			
12	20	-	-	-	-	-	-	-	-	2	A	0
	30	-	-	-	-	-	-	-	-	2	B	0
	60	-	-	-	-	-	-	-	-	2	D	0
	90	-	-	-	-	-	-	-	-	2	G	0
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	2	H	0
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	2	J	0
	180	-	-	-	-	-	-	-	5	7	M	0
	200	-	-	-	-	-	-	-	10	12	Dive Limit	0
	210	-	-	-	-	-	-	-	15	17		0
	220	-	-	-	-	-	-	-	19	21		0
	240	-	-	-	-	-	-	-	26	28		0
	270	-	-	-	-	-	-	-	35	37		0
300	-	-	-	-	-	-	-	44	46	0		
330	-	-	-	-	-	-	-	53	55	0		
360	-	-	-	-	-	-	-	62	64	0		

1) If Repetitive Group(RG) falls under the dive limit, allow for a minimum surface interval of 14 hours before next diving, equivalent to the first dive.  
 2) UPTD (Unit Pulmonary Toxicity Dose) value on Table is applicable only for the first dive, not for repetitive dives.

Table 3 Non-Decompression Repetitive Diving Table NSK-R2

NSK-R2		No-Decompression Repetitive Diving Table										
Depth (m)	letters	Allowable No-D Limits (min) for Repetitive Factors (RF)										Decom. Stops (min) at 3m
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	
9	272	250	230	214	200	187	176	166	157	150	5	
12	136	125	115	107	100	93	88	83	78	75	5	
15	60	55	50	45	41	38	36	34	32	31	4	
18	40	35	31	29	27	26	24	23	22	21	4	
21	30	25	21	19	18	17	16	15	14	13	4	
24	20	18	16	15	14	13	12	12	11	11	3	
27	16	14	12	11	11	10	9	9	8	8	3	
30	13	11	10	9	9	8	8	7	7	7	3	
33	10	9	8	8	7	7	6	6	6	6	2	
36	8	7	7	6	6	6	5	5	5	5	2	
39	7	6	6	5	5	5	4	4	4	4	2	
42	6	5	5	5	4	4	4	3	3	3	2	

1). Allowable No-D Limits (min) for Repetitive Factors (RF) is assigned to actual bottom time.  
 2). If either Repetitive Dives or Multi-day Diving is assigned to No Decompression Diving, whatever the bottom time is, it is encouraged to conduct a decompression stop at 3m.

Table 2 Repetitive Group Table NSK-R1

NSK-R1		Repetitive Group Table												
Repetitive Factors and Surface Interval Table														
Repetitive Group (RG)	Repetitive Factors (RF) for Surface Interval (SI) in hr:min													
	0:00	0:15	0:30	1:00	1:30	2:00	3:00	4:00	6:00	9:00	12:00	14:00		
letters	0014	0029	0059	0089	0119	0179	0239	0299	0539	0719	0839	9999		
A	1.4	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1		
B	1.5	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1		
C	1.6	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1		
D	1.8	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1		
E	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1		
F	2.0	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1		
G		1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1		
H			1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1		
I				2.0	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.1	1.1	1.1		
J					1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1		
K						2.0	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1		
L	No Decompression Stop Limit						2.0	1.7	1.6	1.4	1.2	1.1		
M	連続潜水範囲							1.8	1.6	1.4	1.2	1.1		
N									1.9	1.7	1.4	1.2	1.1	
O										2.0	1.7	1.4	1.2	1.1

1). The section of No Decompression Stop Limit does not apply Repetitive Factors (RF). Alternatively, a total bottom time taking from the preceding dive and repetitive dive is calculated with a Table. If there is difference in depth between the preceding dive and the repetitive dive, allow for the bottom time of the preceding dive by adopting the depth of the repetitive dive.  
 2). If there is the surface intervals of 14 hours (840min), the Repetitive Factors (RF) from the previous dive is less than 1.0, and therefore a dive is not considered as a repetitive dive.

圧潜水の範囲内となる。

この115分を超えて潜水を行う場合は、減圧停止を指定された水深で、安全なレベルまで窒素を排出してから水面に戻ることになる。この場合、水深3mに5分と指定されている。

以上のように、減圧症を防ぐために NSK-N1-12 および R1, R2 により潜水時間、水面休息時間、浮上の際の停止水深、停止時間が決められているのである。

ただし、最近の専門的な潜水を伴う作業や調査のみならず、アマチュアによるレジャーダイビングにおいても浮上時の指標として、たとえ減圧停止が必要のない潜水時間であっても、5～3mの水深で「安全停止」を3～5分程度行うことが、減圧症に罹患しない潜水を行う上での常識となっている(日本水中科学協会, 2012)。よって今回の調査では、搜索の起点となる場所に浮標を設置して、その浮標と錘を繋ぐロープにつかまって安全停止を行った。

このようにして、本調査(最大水深:12m)における潜水可能時間を算出し、2回目の潜水および3回目の潜水においては、減圧停止を行うことを予測した潜水計画を立て調査を行った。

船上からの視認と搜索方法の検討

この千葉県御宿町岩和田沖における調査では、我々の潜水調査前にマルチビームソナーを使って、詳細な3次元海底地形データが得られている(Fig. 2)。そのデータに基づき、Fig. 3の地図に示したように9区画に分割して、調査の対象区を絞り込み、GPSを使って漏れと無駄のないように調査期間中の計画を作成した。

これらの区画の内、潜水調査の対象区画は、水深

の浅い①, ②, ③となった。

調査初日は、船が出港できる上限の状況であったため、①の高まりのある場所で短時間の潜水によ

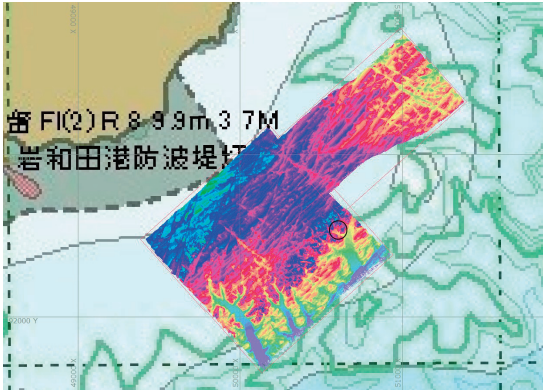


Fig. 2 Bathymetry map from multi-beam sonar data showing the diving survey area (made by Windy Network)

り、翌日からの捜索方法を検討するための下見を行った。潜水時間は10分で、岩礁の周囲を見て簡易的に写真を撮影して浮上するスケジュールであった。投锚しないドリフトダイビングであったため、ダイバーが潜降すると船は少し離れた場所からダイバーの排気する泡を視認して、ダイバーの位置を観察することになる。海中の視界は予想以上に悪く、激しいサージ(横揺れ)があり、さらに海底はすき間なく海藻(カジメ)が密集していて、全く思うように行動ができない状況であった。予定の潜水時間になり浮上すると、船は我々ダイバーから南東方向に1 km ほど離れた位置にあった。体力の消耗を避けるため、始めは浮上位置からあまり動かないようにした。しかしながら、徐々に船が離れてゆくことが分かったため、こちらから近づき、浮上してから40分後に回収された。このダイバーを船上から視認する方法と捜索方法に関しては、結果の章で記述する。



Fig. 3 Proposed survey area. The survey area by the multi-beam sonar was divided into 9 blocks, and the blocks 1, 2 and 3 were targets of the diving survey.

## 結果および考察

### 準備機材に関して

千葉県海岸線全域は、国内では東北や北海道に匹敵するほど、漁業者の海全般に対する発言力が強い場所である。そのような場所では、ダイビングが許可されている場所以外で潜水を伴う作業や調査を行う際、厳しい制限があり、現地のダイビングサービスからスクーバボンベをレンタルする場合、管轄漁業の許諾書が必要になり、かつレンタル本数の出納が厳格に管理される。

また、調査時期が現地におけるダイビング繁忙期と重なり、レンタルのスクーバボンベの数が不足しやすくなり、さらに観光・行楽客で特に海岸線が賑わうため、道路が著しく混み合う。スクーバボンベの貸し出し場所と船の出る港は、車で通常20分程度の距離(約12 km)であるが、この時期はその倍以上の時間を要する場合があります。実質的な調査時間が大幅に短縮されてしまう。このことは、調査全体の効率を下げることにつながる。調査から戻り使用した器材を洗浄し、ミーティングをしながら自分たちでボンベに空気を充填する作業は、充実感がありお互いの理解や調査内容のコンセンサスを深めることに役立った。こうした共同作業を全員でできたのは、調査メンバーの全てが高気圧空気の充填経験者で、バルブコック操作やドレイン抜きなどの作業(U. S. Navy, 1985, 関ほか訳, 1987)に精通していたことが幸いした。この方法は調査メンバー内のコミュニケーションにおいて有効であり、調査に対する全体的な質の向上が図れたと考える。

### 潜水計画

本潜水調査では、潜水深度が10 m台前半であったため、減圧よりもガスマネジメントに重きをおいたプランニングを行った。方法の章で記述した通り、計画される潜水時間は、減圧が必要となる時間の1/3以下であり、たとえ3回の潜水を連続して行ったとしても、無限圧潜水時間内で調査を終えることができ、1日のダイビングで減圧症に罹患する恐れは少ない。それよりも、本調査域のように、潮の流れやサージの強い場所では、ダイバーの編成により注意が必要である。こうした場所での潜水経験が少ないダイバーは、空気の消費量が異常に多くなる恐

れがあるため、空気消費量の差が大きいダイバー同士をバディ(相棒)としなければならない。つまり、残圧が少なくなってしまったダイバーが残圧の多いダイバーから空気をシェアできる体制で潜水する必要がある。また、方法の章で軽作業18ℓ/分とした空気消費量であるが、状況に応じて中作業の30ℓ/分で計算した方がより安全性の高い計画ができる。その場合、水深12 m(2.2 ATA)の平均空気消費量は66ℓ/分となり、5 MPaの空気を残した状態で浮上するには、25分の潜水が限界になる(池田, 1987)。

### 浮標の設置と変形搜索法

船を使用する定点調査では、船を調査地点に固定するために投錨することが一般的な方法である。この場合、アンカーロープを伝って潜降・浮上ができるため、調査機器を持っている状態でも、安定したスピードを確保することができる。しかし、調査を行った御宿では、そもそも船を固定する必要性のある漁を行わないため、錨が用意されていない。従って常に船は、流した状態で待機することになるが、これでは調査初日のように、風浪がある場合はダイバーを見失う危険性が高くなる。その対策として2日目の調査から、コンクリート製ブロックを4つ連結して錘にした調査点浮標(Fig. 4の赤い旗の付いた黄色いブイ)を設置した。船をGPSで調査対象区のポイントへ誘導して、その浮標を投入した後に、ダイバーは浮標のロープを伝わって潜水した。

下見をするまでは、円形搜索法で調査を行う予定でいたが、海藻の繁茂が著しいため、この方法によ



Fig. 4 Lifting and recovery SCUBA equipment

る搜索は不可能と判断した。コンクリート製ブロックを起点として、50 m のテープメジャーを固定、それを持って北方向へ移動して、根と根の間にできた視界の開けた任意の距離の場所を始点してから等距離で、時計回りで搜索した。その際、2組の調査ダイバーの内1名は、調査点浮標とは別に、もう一つのアルフアフラッグ(安全旗)付き浮き輪状の安全浮標にロープを固定し、そのロープを持って移動することで、水中のダイバーの搜索位置状況が船上からも確認できるようにした(NOAA, 1991, 社会スポーツセンター監・真野ほか訳, 1996)。

## ま と め

今回のサン・フランシスコ号の水中遺跡調査においては、3ヶ年計画の初回であることから、①調査効率を考慮した機材の準備、②ガスマネジメントを主体とした潜水計画、③船上からの視認方法と遺跡搜索方法の3つの側面から調査全体の安全性の基本を構築した。

- ①に関しては、発電機、高圧空気充填機、スクーバボンベを含めた主要な機材は全て事前に調達しておくことは、調査の効率を上げるためだけでなく、メンバー間のコミュニケーションを円滑にし、調査の質の向上にもつながることがわかった。
- ②に関しては、調査海域および目的に適合し、「潜水作業マニュアル」に基づいた、安全な潜水計画を作成することができた。現場では、調査点浮標と安全浮標を用意して、潜水調査にあたった。
- ③に関しては、潜水経験を考慮した人材選択、漁協からの備船、海況など、それぞれの現場の状況に適切に対応した手法を取ることができた。

ここに示した調査に限らず、全くリスクのない潜水調査はない。それだけに、常に多角的な側面から安全性を検討して、全ての調査員の安全が確保されるよう、様々な技術レベルの調査員に対応した、潜水器材の使用法や潜水方法を開発して行く必要がある。

## 謝 辞

今回の研究に当たり、現地調査において貴重な助言や協力を給りました御宿漁業協同組合、ならびに本調査に対してご理解をいただきました御宿町教育委員会に深く感謝をいたします。

また、ご多忙中にもかかわらず、査読をしていただきました匿名の査読者に対して、謹んで感謝の意を述べます。

## 引用文献

- 荒木伸介(1985) 水中考古学, 考古学ライブラリー 35, ニュー・サイエンス社, 東京, 69p.
- 中央労働災害防止協会編(2016) 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, 384p.
- 池田知純(1995) 潜水医学入門: 安全に潜るために, 大修館書店, 東京, 290p.
- 木村淳(2006) 展望 日本水中考古学発展への模索: 世界の水中考古学研究との比較を通じて, 考古学研究, 53(1), 19-23.
- 日本水中科学協会編(2012) 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, 300p.
- 日本潜水協会, 国土交通省港湾局監(2015) 潜水作業マニュアル (Ver. 1), (一社)日本潜水協会, 東京, 538p.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (1991) NOAA diving manual: diving for science and technology. 社会スポーツセンター監, 真野善洋・関邦博・野村武男・山崎昌廣訳(1996) NOAA (アメリカ海洋大気局) diving manual, (財)社会スポーツセンター, 東京.
- Nishi, R., B. Hobson, Defence and Civil Institute of Environmental Medicine, and Universal Dive Techtronics Inc. (1992) DCI-EM diving manual: air decompression procedures and tables, Universal Dive Techtronics, Inc., British Columbia, 187p.
- U.S. Navy (1985) U S Navy diving manual, Navy Department, Washington, D.C. 関邦博・真野善洋・横山曠大訳(1987) U.S.NAVY ダイビング・マニュアル, 朝倉書店, 東京, 509p.