# 沖ノ鳥島周辺における研究調査

(報告書)

2022(令和4)年3月

東京都

# 目次

1	調査(	の概要	. 1
	(1) 背景	코 	. 1
	(2) 目的	灼	. 1
	(3) 調査	<b>荃体制</b>	. 2
	(4) 調査	查行程と天候	. 3
	(5) 調査	査に使用した船舶等	. 8
2	現地(	における調査活動	10
	(1) 外額	見調査	10
	1)	ローンによる島全景の空撮	10
	② マ	ルチビーム音響測深装置による観測	14
	③ 自	律型無人探査機(AUV)による観測	21
	(2) 海洋	羊調査	26
	① 気	象・海象調査	26
	② 水	質調査(環境 DNA 調査を含む)	35
	(3) 環境	竟調査	46
	① 生	物相観測	46
	2 7	イクロプラスチック調査	51
3	<b>キ</b> レ )	አ <del>ለ</del>	5 <i>1</i> 1

東京都は、令和4年1月末、沖ノ鳥島周辺において令和3年12月5日及び6日に 実施した調査活動の様子を「現地調査活動記録」として取りまとめ、公表しました。 本報告書は、航海情報や調査内容など、航海終了時において必要な記録を中心に現 地での調査活動の様子をまとめた「現地調査活動記録」について、内容を追記し、更 新したものです。

#### 1 調査の概要

# (1) 背景

日本最南端に位置する小笠原諸島の沖ノ鳥島は、我が国の国土面積約 38 万km²を上回る約 42 万km³もの広大な排他的経済水域の根拠となる重要な国境離島であり、海洋国家としての我が国の地位を堅持し、国益を維持する上で極めて重要な役割を担っている。

四方を海に囲まれ、国土面積も狭隘な我が国にとって、排他的経済水域は、海洋エネルギーや鉱物資源の開発、水産資源の利用を排他的に行うことが認められている貴重な場であり、また、海洋の科学的調査、海洋環境の保護・保全等についての管轄権を有する水域である。その根拠となる沖ノ鳥島は、海洋立国を目指す我が国の要衝と位置付けられ、法により、周辺の排他的経済水域の保全及び利用を促進することが必要な特定離島に指定されており、周辺海域も含めた維持・保全や利活用、普及啓発は東京都においても重要な課題である。

こうした沖ノ鳥島の重要性に鑑み、東京都は、その維持・保全や利活用に向けて、 東京都としてどのような取組が可能か、取組の方向性を検討していく上での基礎と なる情報を得るため、沖ノ鳥島周辺において、現地の最新の状況を把握する基礎的 な調査を実施することとした。

# (2) 目的

沖ノ鳥島においては、これまでも国が島の適切な維持・保全に取り組んでおり、 東京都も、水産振興の観点から、漁業調査指導船による周辺海域における魚類等の 生態調査や、海洋環境の変化を把握するための定点観測等を実施してきた。

しかし、沖ノ鳥島は、太平洋上に孤立した無人島であることから、常時の調査・ 観測が困難である一方、島や周辺海域の状況は刻一刻と変遷を遂げており、学術的 研究という視点での調査・観測情報が不足しているとの意見も聞かれる現地の最新 の状況を把握することは、国境離島や周辺海域の維持・保全等の観点から重要であ る。

現地の最新の状況を把握して、情報の収集や整理・分析等を行い、国境離島及び 周辺海域の維持・保全や利活用に繋がる手掛かりを得るため、東京都は、令和3年 11月5日付けで学校法人東海大学と「沖ノ鳥島及び沖ノ鳥島周辺海域における研 究調査実施に係る協定」を締結した。

当該協定に基づき、令和3年12月2日(木)から10日(金)まで、東海大学が 所有する海洋調査研修船「望星丸」を用いて現地に赴き、5日(日)及び6日(月) にかけて、沖ノ鳥島周辺における外観調査や海洋調査、環境調査など、今後の分析の基礎となる情報を得るための調査を実施した。なお、本調査では、沖ノ鳥島の二つの小島には上陸せず、東西約 4.5 km、南北約 1.7 kmのサンゴ礁の外側から船上において実施した。

## (3) 調査体制

多面的に調査・観測を行い、国境離島及び周辺海域の維持・保全や利活用について幅広く示唆が得られるよう、海洋探査学や海洋物理学、浮遊生態学、サンゴ礁生態学、魚類学、環境 DNA 学など、今回の外観調査、海洋調査、環境調査の実施に必要な専門的な知識・経験を有する東海大学海洋学部の研究者を中心に、補助スタッフや船員など、56人から成る体制を構築し、機能に応じて班を編成した(図 1)。

全体統括 (4名\*)

調査責任者※、主席調査員※、都職員 ※うち2名は各班の人数に含む

外観観測班 (9名)

ドローン・マルチビーム音響測深装置・AUV による現況観測

海洋調査班 (5名)

気象・海象調査、水質調査、環境 DNA 調査

環境調査班 (9名)

生物相観測、マイクロプラスチック調査

記録・映像班(7名)

航海・作業等の記録

船舶運航班 (24名)

※一部船員は、操船だけでなく、調査機材の扱い等の船上作業も実施

(図1)調査体制

## (4) 調査行程と天候

令和3年12月2日(木)午前8時に清水港を出港し(図2)、沖ノ鳥島周辺に到着した5日(日)未明から6日(月)正午過ぎにかけて現地調査を実施した後、10日(金)午前9時に清水港に帰港した。

出港前々日の11月30日(火)にフィリピンの東で発生し、12月4日(土)頃に小笠原近海に進んでくる予想であった台風第21号の影響などにより、沖ノ鳥島周辺を含め、調査航海中は強い風と厳しい波浪が続いた。

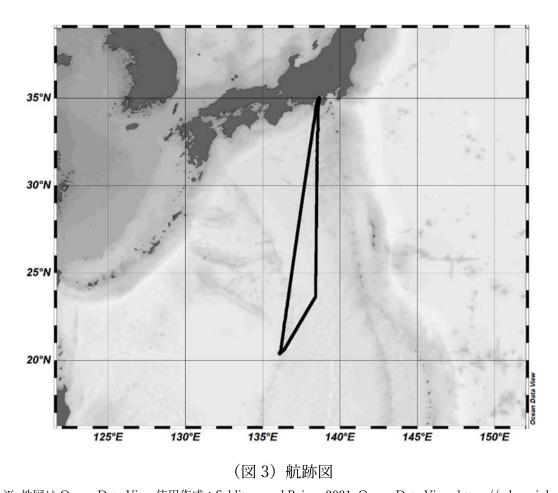
このため、調査活動の安全確保の観点から、甲板作業や観測機器の曳航を伴う一部調査は見送り、随時海況を見極めながら、できる限りの調査を可能な地点で行うこととした。また、当初は7日(火)午前中まで調査を行う予定であったが、現地の気象・海況の回復が見込めなかったことから、予定を繰り上げて、6日(月)午後に沖ノ鳥島周辺海域から離脱することとした。

こうした調査行程の変更は、調査航海中の朝と夜の全体ミーティングにおいて、調査員全員に共有された。航跡図を図3に、当初予定していた調査地点を図4に、 実際の調査行程を表1に、台風第21号の経路図を図5に、船内で日々行われた全体ミーティングの様子等を図6及び図7に示す。

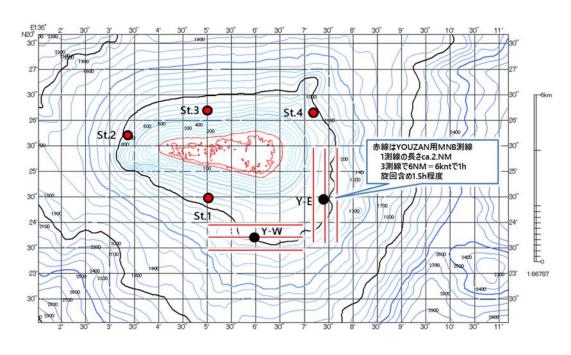
なお、航海初日である2日(木)には、全員が参加する避難訓練が行われた。また、沖ノ鳥島周辺に到着する前日の4日(土)及び同島周辺海域を離脱した6日(月)には、我が国の領海や排他的経済水域における警戒監視等を行う海上保安庁の航空機を目視した(図8)。



(図2) 沖ノ鳥島に向けて清水港を出港する様子



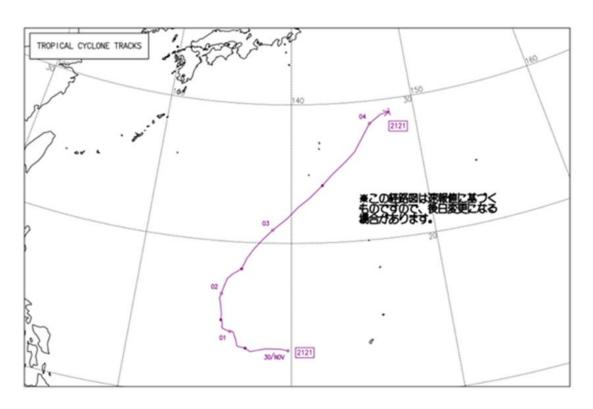
※ 地図は Ocean Data View 使用作成:Schlitzer and Reiner,2021. Ocean Data View, <a href="https://odv.awi.de">https://odv.awi.de</a>



(図4) 当初予定していた調査地点及び測線図

# (表1) 実際の調査行程

時程(開始時間	間)	概要
12月02日(木)	8:00	清水港出港
	9:00	駿河湾内にて AUV の着水試験やドローンの試運転等
		(航海)
12月05日(日)	4:00	沖ノ鳥島周辺に到着
	4:30	島北東部にて海洋調査(XCTD による水温・塩分測定)
	6:15	島の外周にて外観調査(マルチビーム観測)
	7:00	島南西部にて海洋調査(気象・海象)
	8:50	島南西部にて海洋調査(採水)
	14:15	島南西部にて海洋調査・環境調査(採水)
	15:00	島南西部にて外観調査(マルチビーム観測)
	18:00	島南西部にて海洋調査(採水)
12月06日(月)	7:00	島南西部にて海洋調査(気象・海象)
	8:40	島南西部にて海洋調査・環境調査(採水)
	10:05	島南西部にて海洋調査(XCTD による水温・塩分測定)
	10:40	島南西部にて外観調査(ドローンによる空撮)
	12:50	島南西部にて海洋調査(海水透明度)
	13:30	調査終了、清水港に向けて出航
		(航海)
12月09日(木)	23:00	駿河湾内に到着、錨泊
12月10日(金)	9:00	清水港帰港



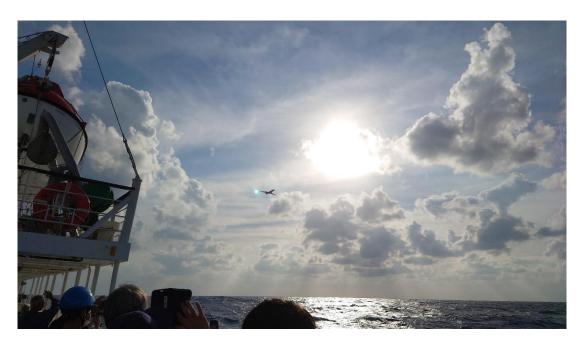
(図5) 令和3年台風第21号の経路図(気象庁HP)



(図 6) 船内の全体ミーティング会場 (2021 (令和 3) 年 12 月 2 日)



(図7)全体ミーティングの様子(2021(令和3)年12月4日)



(図8) 沖ノ鳥島周辺海域において警戒監視等に当たる海上保安庁の航空機

## (5) 調査に使用した船舶等

東海大学が所有する海洋調査研修船「望星丸」を使用した(図 9)。「望星丸」には、音波により海底地形を調べることのできるマルチビーム音響測深装置や、自動気象観測装置、海水の流れを計る音響ドップラー流向流速計、自動水質分析装置、海水の特性や流れの解析等に使うデータを測定するセンサーによって構成されるCTD(電気伝導度(塩分)・水温・水深計 | Conductivity Temperature Depth profiler)、採水器など(図 10)、海洋観測に必要な機器が装備されている。

また、海中における観測のため、いであ株式会社が所有するホバリング型 AUV (自律型無人探査機 | Autonomous Underwater Vehicle)「YOUZAN」(図 11) 及びその運用に必要な作業艇として海洋エンジニアリング株式会社が所有する「開洋丸3号」(アキレスボート・船外機付き)(図 12)を借用した。AUV は海中ドローンとも呼ばれ、母船とケーブルでつながっている探査機と比べて行動の自由度が高く、ホバリング型の AUV は、前進だけでなく上下や横方向にも推進機を持ち、一定の場所での静止や障害物の自動回避など、複雑な動きが可能である。「YOUZAN」は、民間が使用する商用化 1 号機として 2019 年度に導入された。



資格 | 遠洋、国際航海、旅客船(第一種船)、(海洋調査練習船)

国際総トン数 | 2,174 トン

全長 | 87.98 m

航海速力 | 15 ノット (27.8 km/h)

最大乗船定員 | 計 190 名 (含 乗組員)

(図9)調査に使用した「望星丸」



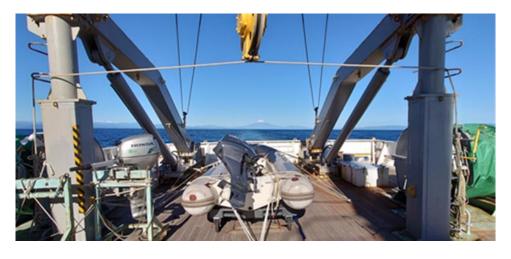
(図 10)「望星丸」に搭載された CTD 採水器





項目	仕様
寸法	長さ1.3m×高さ0.77m×幅0.7m
重量	275kg
最大潜航深度	2,000m
巡航速度	0.2~0.3m/s
最大航行速度	0.62m/s
最大潜航時間	8時間
スラスター	水平4機、垂直2機
写真撮影	スチルカメラ2機、LEDフラッシュ4灯
動画撮影	4Kカメラ、常時点灯LED2灯 ROVモードカメラ
観測項目	プロファイリングソナー(海底地形) 濁度計 水温・塩分計 pHセンサー 障害物検知ソナー 地形観測用カメラ・レーザー

(図 11) ホバリング型 AUV「YOUZAN」



(図 12)「望星丸」の後部作業甲板に積み込まれた「開洋丸 3 号」

## 2 現地における調査活動

# (1) 外観調査

① ドローンによる島全景の空撮

## ア 調査目的

船上からは海面に近い目線でしか島の様子を観ることができないが、ドローンを用いることにより、最大高度約 150m から外観を観察することが可能となる。そこで、「望星丸」が航行できない浅海域の状況や、環礁(サンゴ礁)の砕波位置、島の外観など、沖ノ島島の最新の全景を空中から確認する。

#### イ 調査方法

現地到着後、島の外周を時計回りで 2 周した後、ドローンにより計 3 回、島の南側、リーフの外側から、沖ノ鳥島全体の状況を撮影した。1 回目は 6 日 (月) 10 時 40 分から、2 回目は同日 10 時 55 分から、3 回目は同日 11 時 20 分から行った。風向  $50\sim60$  度、風速 12m/秒以上、天候は曇りであった。

1回目、2回目のフライトは、東海大学が準備したドローン4種類・5機の中で、一番風に対する抵抗が少なく高速で飛行可能な機体を使用した。これに広角レンズを取り付け、機体は常に風上に向けて飛行し、操縦者以外のもう1人が船上からカメラ方向の操作を行った。使用機体の最大飛行時間は約20分であるが、2回のフライトとも風が強かったことから、安全を考慮し、1回につき10分程度の飛行とした。3回目のフライトでは、東京都が準備したドローンを使用し、これに360度カメラを取り付けて飛行した。ドローンによる空撮の様子を図13に示す。



(図13) ドローンによる空撮の様子

# ウ 現地における調査活動の結果

強風下での調査を余儀なくされたため、風向きに対して島陰に当たる沖ノ鳥 島南側からのみの空撮に限られたが、今後の分析等の基礎となる最新の現地映 像を撮影することができた。写真例を図 14~図 19 に示す。



(図14) 沖ノ鳥島全景(東側)



(図15) 沖ノ鳥島全景(西側) と空撮時の「望星丸」位置



(図16) 北小島の様子



(図17) 観測所基盤



(図18) 旧観測拠点施設と新観測拠点施設



(図19) 東小島の様子

得られた図 14~図 19 の空中写真では、沖ノ鳥島周囲の砕波位置や、鉄製の消波ブロックとコンクリート護岸で防護された東小島、北小島等の様子が明瞭に捉えられている。

# エ考察、今後の課題等

沖ノ鳥島のリーフ外側から空撮を行ったところ、明瞭な砕波が確認できる。 これは、急勾配のリーフからリーフエッジ(低潮線)に至る水深変換点で発生 していると考えられることから、砕波位置より内側が沖ノ鳥島と認識できる。

今回の調査は、強風の合間を縫い、限られた時間の中で、風向きに対して島陰に当たる沖ノ鳥島の南側において、リーフの外側から行ったものである。砕波位置を真上から確認していないため、波浪や風雨等による沖ノ鳥島への影響等について議論を尽くすだけの材料を提供することはできない。しかし、台風の常襲地帯にあるなど、厳しい自然環境に置かれている中で、外観上の特段の変化やその兆候が見られなかった現地の最新の様子を確認できた。こうした画像データは現状を記録する上で重要な意味を有する。一定期間をおいて現況確認を繰り返すことによって、経年変化等を見出すことが可能となることから、リーフエッジやサンゴ礁の成長に関する経過、砂礫生産・堆積の状況など、様々な現地情報の収集に努め、それらを蓄積していくことが沖ノ鳥島の維持・保全や利活用に資するものとなる。

#### ② マルチビーム音響測深装置による観測

#### ア 調査目的

様々な形で海洋と関わり、利用する上で、もっとも基礎となるデータが海底の地形図だと言われる。生態系や水産資源の分布、鉱物資源の産状などを調査するためには、あらかじめ海底の様子を把握しておくことが欠かせない。そこで、「望星丸」に搭載されているマルチビームを活用し、船体の直交方向に多数の音波ビームを扇状に発することによって、最新の海底地形を確認する。

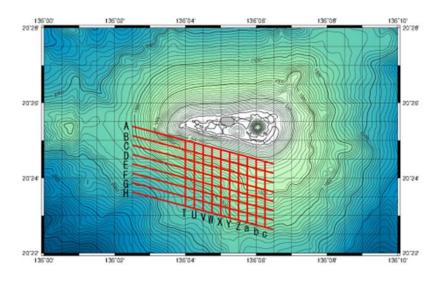
#### イ 調査方法

マルチビーム観測に先立ち、マルチビームによる音響データの海中伝搬速度、密度測定のための補正値(水深に伴う温度変化)を得るため、5日(日)及び6日(月)に XCTD (eXpendable Conductivity Temperature Depth)プローブを海中に投入した(詳細は「2(2)海洋調査② 水質調査」参照)。音響測深は、海面で発射した音波が海底で反射し、再び海面に戻ってくるまでの時間と音波の海中伝搬速度(音速)から水深を決定する方法であり、水中の音速は、水温、塩分、及び圧力の変化に起因して変化するためである。

また、XCTD プローブとは、温度センサーや電気伝導度を測定するセンサーが組み込まれた筒状の小型機器であり、船上から海洋に投げ込み、沈降していく間に観測を行ってデータを船上に送るものである。「望星丸」には、船舶からケーブルによって曳航し、水温と塩分の鉛直分布を測りながら、必要な深さの海水も採取できる CTD 採水器が搭載されているが、大型機器を使用できない荒天時には、投げ込み式の XCTD が活用される。

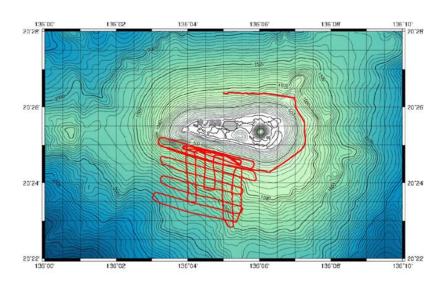
「望星丸」が沖ノ鳥島の東部に到着した5日(日)未明の海況は、風向39度、風速14.1m/秒であった。また、島の北部では高いうねりに伴い、船舶の揺れも大きく、マルチビーム観測ができない状況であった。このため、マルチビーム観測は、5日(日)15時以降に、風浪・波浪の少ない島の南西部において集中的に実施することとした。図20にマルチビーム観測の計画測線を、図21に実際の航跡図を、表2に航跡図に示した各測線の調査時刻と位置を示す。

船の揺れが大きいと、測定データにノイズや誤差を含む割合が多くなるため、 観測は船速 5knot で行い、音波ビームを扇状に発する範囲であるスワス角は 30 度にて一定とし、うねりが大きいと予想された場合は測線途中でも観測を切り 上げ、次の測線に移行することとした。



(図20) マルチビーム観測の計画測線

※ 海上保安庁水路部発行「海の基本図」(沖ノ鳥島6577-1(海底地形図)1991年発行)のデータに加筆



(図21) マルチビーム観測測線・航跡図

※ 海上保安庁水路部発行「海の基本図」(沖ノ鳥島6577-1(海底地形図)1991年発行)のデータに加筆

(表 2) 各測線の入線時間・入線位置・終了時間・終了位置

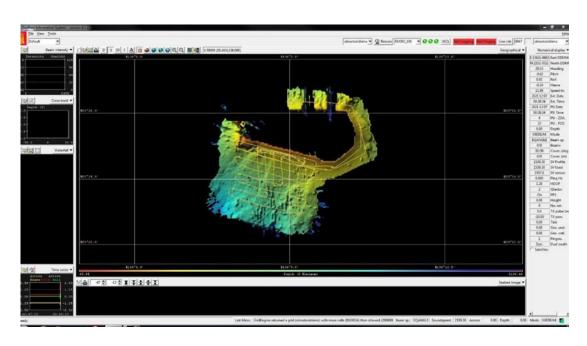
	In Time	In Lat	In Lon.	Out Time	Out Lat.	Out Lon.
沖ノ鳥島周回	2021/12/05_06:17:34	20° 26.3641′ N	136° 04.9082' E	2021/12/05_08:21:19	20° 24.9695′ N	136° 07.4300′ E
LineA	2021/12/05_15:03:45	20° 24.6268′ N	136° 05.4992′ E	2021/12/05_15:28:44	20° 25.1640′ N	136° 03.3740′ E
LineB	2021/12/05 15:33:59	20° 24.9444′ N	136° 03.3127′ E	2021/12/05 16:03:08	20° 24.3061′ N	136° 05.7671' E
LineC	2021/12/05 16:08:15	20° 24.0574′ N	136° 05.7748′ E	2021/12/05 16:34:46	20° 24.6585′ N	136° 03.3973' E
LineD	2021/12/05 16:40:57	20° 24.3934′ N	136° 03.5615′ E	2021/12/05 17:02:49	20° 23.8742′ N	136° 05.4074' E
LineE	2021/12/05_17:09:11	20° 23.7592′ N	136° 05.1115′ E	2021/12/05_17:30:08	20° 24.1574′ N	136° 03.3829' E
LineF	2021/12/05_17:35:40	20° 23.8867′ N	136° 03.4873' E	2021/12/05_18:00:05	20° 23.3839′ N	136° 05.4195′ E
LineG	2021/12/05_18:05:39	20° 23.2063′ N	136° 05.1738' E	2021/12/05_18:28:08	20° 23.7109′ N	136° 03.2124' E
LineH	2021/12/05_18:32:16	20° 23.4968′ N	136° 03.1460' E	2021/12/05_18:59:29	20° 22.9597′ N	136° 05.2972' E
LineZ	2021/12/05_19:04:16	20° 23.2615′ N	136° 05.4979' E	2021/12/05_19:15:32	20° 24.2702′ N	136° 05.5184' E
LineY	2021/12/05_19:20:18	20° 24.1534′ N	136° 05.2855′ E	2021/12/05_19:35:41	20° 22.9197′ N	136° 05.2768' E
LineX	2021/12/05_19:40:57	20° 23.1312′ N	136° 04.9999' E	2021/12/05_19:58:50	20° 24.6347′ N	136° 05.0041' E
LineW	2021/12/05_20:02:45	20° 24.6263′ N	136° 04.7377′ E	2021/12/05_20:12:05	20° 23.9098′ N	136° 04.7673′ E
LineV	2021/12/05_20:15:15	20° 23.8045′ N	136° 04.5338' E	2021/12/05_20:27:28	20° 24.7953′ N	136° 04.4878′ E
LineU	2021/12/05 20:29:58	20° 24.8230′ N	136° 04.2478' E	2021/12/05 20:44:02	20° 23.5993′ N	136° 04.2458' E
LineT	2021/12/05 20:48:48	20° 23.6454′ N	136° 04.0107′ E	2021/12/05 21:03:50	20° 24.9096′ N	136° 03.9748′ E

# ウ 現地における調査活動の結果

調査期間全般にわたって海況が悪かったことから、沖ノ鳥島を取り囲む十分なデータは得られなかったが、島の南西部については今後の分析に生かすことのできる情報を得ることができた。観測時の操作 PC 及びディスプレイの表示例を図 22 に、その海底地形(未処理)の例を図 23 に示す。

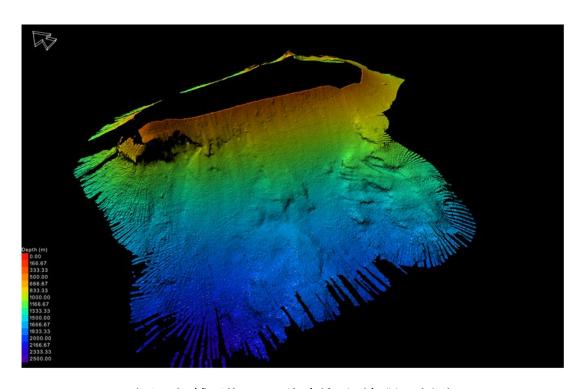


(図 22) マルチビーム観測時の操作・データ収録システム

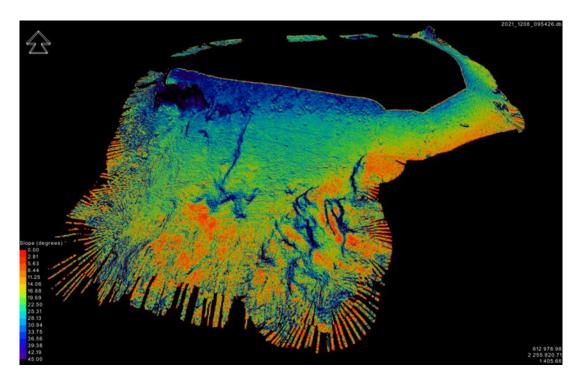


(図23) 本調査で得られた海底地形 (未処理) の例

得られたマルチビーム観測のデータを各種補正し、地形データ解析を実施し3D化した海底地形の画像を図24に、また、補正後の傾斜分布を色調した画像を図25に示す。



(図 24) 補正後の 3D 海底地形 (色調は水深)

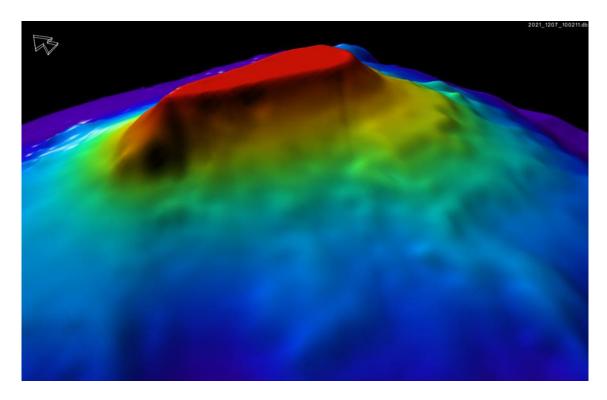


(図25) 補正後の傾斜分布(色調は傾斜角度)

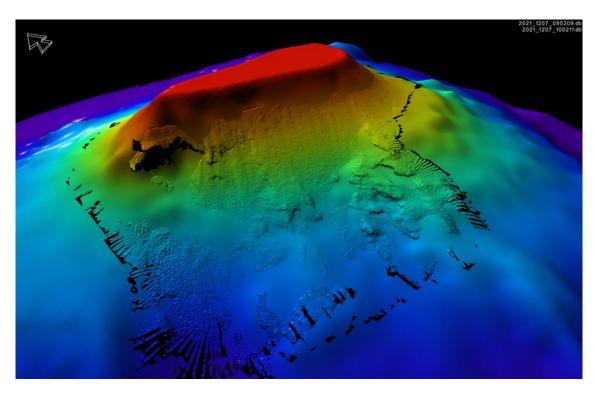
左記の今回の現地調査で得られた 3D 海底地形の画像を、沖ノ鳥島周辺海底地形図 (海上保安庁,1991) を基に作成した 3D モデル (図 26) に重ね合わせ、両者を比較した。重ね合わせた範囲は今回得られたデータ範囲に留まるが、重ね合わせて作成したモデルを図 27 に示す。

両者を比較したところ、図 26 は等深線が 20m 毎である一方、今回得られたデータの等深線は 5m 毎であったこともあり、細部までの地形変化が明瞭に確認でき、特徴の違いが見られた。具体的には、図 26 では見られない細かな凹凸の変化が、今回得られたデータを用いて作成した図 27 の 3D モデルでは明瞭に確認することができる。

また、沖ノ鳥島南西部水深 500m~1,000m の斜面で、図 26 では急斜面としか見えないが、図 27 では過去の海底地すべりの可能性が高いと思われる。加えて、図 27 では、沖ノ鳥島南西部水深 500m~1,000m 斜面の傾斜変換水深域の詳細が明瞭に見られるほか、上部から下部に連なる谷筋が明瞭である。



(図 26) 海底地形図(海上保安庁, 1991)を基に作成した 3D モデル



(図 27) 図 26 に今回の現地調査で得られた 3D 海底地形を重ねたモデル

#### エ 考察、今後の課題等

今回の調査航海では、調査期間全般にわたって海況が悪かったことから、沖ノ鳥島を取り囲む十分なデータは得られず、沖ノ鳥島の南西から南側に至る斜面でのみ調査が行なわれた。沖ノ鳥島周辺海底地形図(海上保安庁,1991)を基に作成した3Dモデル(図26)と、マルチビーム観測によって得られたデータの解析結果を重ね合わせて作成した3Dモデル(図27)との比較により、沖ノ鳥島の南西部海底斜面について分析を行ったところ、1991年の海上保安庁水路部のデータとは異なった海底地形が見受けられた。

両者の海底地形の違いは、主に観測機器の精度、すなわち、観測技術の向上により詳細な海底地形データが得られたことによるものと考えられるが、両者のデータ取得がなされたのが 1991 (平成 3) 年と 2021 (令和 3) 年とであることに鑑みれば、約 30 年間に至る微細な地形変化も要因であろう。特に、両者の平坦面の水深の違いは、主に急斜面の地すべり等による影響が考えられる。

図 27 で示された南西部の水深 500m程度で確認できる急崖は、1991 (平成3)年の海上保安庁水路部のデータでは見られない。つまり、1991 (平成3)年以降に発生した地形変化である可能性が示唆され、海底地すべりの可能性も推察される。

沖ノ鳥島は、急峻な海山の頂上に発達した環礁であり、中新世(およそ 2,300 万年前から 530 万年前)以前に形成された火山島が水没して長い歳月をかけてサンゴが堆積して造られた島である。そのため、南西側水深 500m程度で確認された急崖が他の箇所でも認められれば、沖ノ鳥島を形成するサンゴ礁へ影響する可能性も考えられる。また、サンゴ礁の外側は急な斜面が形成されており、サンゴの成長が遅いと今後海底地すべりを引き起こす可能性もないとは限らない。

サンゴ礁は沖ノ鳥島において自然の防波堤の役割を担っていることからも、 サンゴの生育や海中の堆積状況等を把握することは重要である。沖ノ鳥島は熱 帯低気圧又は台風の通り道でもあり、沖ノ鳥島の維持・保全という観点から、 定期的に確認する必要がある。

また、海底の様子は、生態系や水産資源の分布、鉱物資源の産状などを調査 していく上で最も基礎となる情報である。今回得られたデータは部分的ではあ るものの、今後の海洋資源の把握や、気象・海象等に伴い海底部がどう変化し ていくかなどの中長期的なモニタリングの一助ともなり得るものと考えられる。

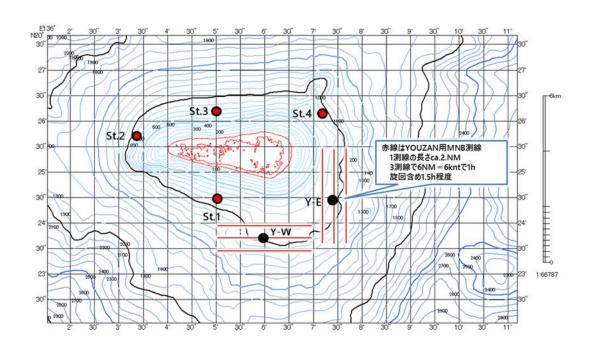
#### ③ 自律型無人探査機 (AUV) による観測

# ア 調査目的

日本最南端にある沖ノ鳥島は、約3,000万年前に伊豆小笠原マリアナ古海嶺から分裂した九州パラオ海嶺上に存在し、その周辺海域には、マンガン団塊やコバルトリッチクラストなど、コバルトやニッケルを含有した海洋鉱物資源の賦存が期待されている。しかし、その産状や分布状況に関する情報はほとんどない。そこで、マルチビーム観測によって得られた海底地形の状況を踏まえ、4Kカメラ等を搭載したAUVを用いて、海底基盤岩や、海底に沈んだサンゴ礁の様子、有望資源の賦存状況等の海中撮影を試み、鉱物資源の分布など、沖ノ鳥島周辺海域の実態把握の一助とする。

### イ 調査方法

当初計画では、下図に示す Y-E 及び Y-W 地点付近の 2 か所にて観測を行う方針とし、現地海域においてマルチビーム観測により最新の海底地形データを取得後、調査測線を決定した上で、4K 対応ビデオカメラによる動画撮影とスチルカメラによる海中の撮影を行うものとした。



(図4再掲) 当初予定していた調査地点及び測線図

調査航海に先立ち、出港前々日の11月30日(火)に、使用する機器の積込 及び艤装を実施した。積込及び艤装状況の様子を、図28及び図29に示す。



(図 28) AUV を「望星丸」へ積み込む様子



(図 29) AUV や水中音響測位装置等の艤装状況

また、12月2日(木)に出港後、清水港泊地に錨泊し、「望星丸」に装備された船尾クレーンを用いて海中に吊架し、浮力調整及び音響通信試験を実施した。

浮力調整試験は、バラスト(重し)による潜航と浮上を行う AUV において、バラスト未装着で浮く状態、バラスト 2 個装着時に沈む状態であることを、潜航前に確実に確認する必要があるために行うものである。

実際に使用するバラストを用いて、バラスト未装着、2 個装着時の浮力状況を確認し、AUV の浮力調整に異常がないことを確認した。浮力調整試験時の状況を図 30 に示す。



(図30) 清水港泊地での浮力調整試験の様子

また、音響通信試験は、艤装した音響測位装置や音響信号伝送装置が AUV 本体と正常に通信が行える状況であるか確認するために行うものである。

吊架により AUV を海面下 15m まで沈めて音響通信試験を実施し、音響測位 装置及び音響モデムが AUV 本体と正常に通信を行えること、音響通信機器類 に異常がないことを確認した。音響通信試験時の状況写真を図 31 に示す。



(図31) 清水港泊地での音響通信試験の様子

# ウ 現地における調査活動の結果

調査海域では、日中は常時約 10 m/秒の風と 2 m 以上のうねりを伴っていた (「2(2) 海洋調査 ① 気象・海象調査」表 3 「1 時間おきの気象・海象目視データ」、同表 4 「10 分おきに記録した気象等データの一部」参照)。

調査初日となる5日(日)は、7時時点で北東からの風速が15m/秒以上、波高も3mを超えていたため、沖ノ鳥島南側の静穏域に回り込み、海況を確認した。しかし、風浪の影響が大きく、作業艇による揚収作業等が安全に実施できないと判断されたため、観測を見送った。5日(日)の海況写真を図32に示す。



(図32)5日(日)の海況

調査2日目となる6日(月)も、午前中の風速は12m/秒以上で、波高も4mとなる予報であった。このため、5日(日)同様、作業艇による揚収作業等が安全に実施できないと判断され、今回の調査におけるAUVによる海中観測は中止となった。6日(月)の海況写真を図33に示す。



(図33)6日(月)の海況

#### エ 考察、今後の課題等

厳しい海況に阻まれた今回の調査では、AUVを用いた海中の現況観測は断念せざるを得なかった。しかしながら、マルチビーム観測によって、AUVを用いた海中観測に必要な情報を得ることができた。AUVのような自律的な観測機器等を実際に使用する場合には、詳細な海底データが不可欠である。今回持ち込んだホバリング型 AUVの「YOUZAN」は、障害物の自動回避など複雑な動きが可能な最新鋭の機材ではあるものの、あらかじめ海底や斜面の凸凹、くぼみや岩などを察知しておくことで、安全かつ効率的な調査を進めることが可能となる。沖ノ鳥島周辺海域では、海洋鉱物資源の賦存が期待されている一方で、その産状や分布状況に関する情報はほとんどないことから、今回は確認することができなかった視覚的情報の把握に努めることで、沖ノ鳥島や周辺海域の利活用の一助とすることが望まれる。

## (2) 海洋調査

# ① 気象・海象調査

#### ア 調査目的

船舶に搭載された各種計器を定期的に観測すること等により、調査日の気象・ 海象状況を明らかにする。

## イ 調査方法

「望星丸」に搭載された自動気象観測装置などの計測機器により、航走しながら、風向・風速・気温・気圧等を測定したほか、目視による風浪・うねり・雲・天候の観測を実施した。

また、調査期間中における沖ノ鳥島周辺の流れの水平分布を把握するため、 人工衛星に搭載されたマイクロ波レーダ高度計によって得られた絶対海面力学 高度から海表面流を推定した。海面高度を測定し、その傾きを求めると海面で の流れを推定することができる。絶対海面力学高度は、フランス国立宇宙セン ターのデータアーカイブ AVISO (https://www.aviso.altimetry.fr/en/home.html) からダウンロードし、0.25 度×0.25 度に格子化された準リアルタイムデータを 使用した。また、海表面流は、絶対海面力学高度に対して地衡流平衡を仮定す ることによって算出した。

#### ウ 現地における調査活動の結果

日中の天気は、概ね晴又は薄曇であったが、雲量(空全体を 10 とした場合の雲が占める割合で、0 又は 1 のときは快晴、2  $\sim$  8 のときは晴、9 又は 10 のときは曇)は多い状態であった。

風向・風速は、調査初日となる5日(日)は6時17分の日の出以降、北東から15m/秒を超える強い風が続き、翌6日(月)も概ね同様の傾向であった。

また、気温は、昼夜をとおして 25°C前後で大きな変化は見られず、気圧は 1,010hPa 程度で推移していた。なお、海水温は 27.5°C程度であった。沖ノ鳥島の平均的な風速 6m/秒、気温 26.8°C、海水温 27.7°Cと比べると、風が強い一方で、気温や海水温は概ね平均並みと言える水準であった。

海面はかなり波があり(風浪階級  $0\sim9$  段階のうち概ね 4)、また、波のうねりはやや高い(うねり階級  $0\sim9$  段階のうち概ね 4)状態であった。

沖ノ鳥島周辺海域で観測した1時間おきの気象・海象目視データを表3に、10分おきに記録した気象等データの一部を表4に示す(表5~表9は凡例)。

(表 3) 沖ノ鳥島周辺海域で観測した 1 時間おきの気象・海象目視データ

観測時点		北緯		東経		工品	æπ/:	雲量	風浪							
年	月	日	時刻	度	分	度	分	天候	雲形	芸里	向き	高さ(m)	階級	向き	高さ(m)	階級
2021	12	5	0:00	21	25.734	136	17.570	С	-	9	-	-	-	-	-	-
			1:00	21	12.053	136	15.464	c	-	9	-	-	-	-	-	-
			2:00	20	58.220	136	12.958	bc	-	6	-	-	-	-	-	-
			3:00	20	44.400	136	11.179	bc	-	8	-	-	-	-	-	-
			4:00	20	30.640	136	9.132	bc	-	6	-	-	-	-	-	-
			5:00	20	24.299	136	6.006	bc	-	8	-	-	-	-	-	-
			6:00	20	26.214	136	4.087	bc	-	8	-	-	-	-	-	-
			7:00	20	24.333	136	5.781	bc	Sc,Cu	7	NE	2.5	4	NE	3.0	4
			8:00	20	26.367	136	5.692	bc	Sc,Cu	6	NE	3.5	5	NE	4.5	7
			9:00	20	24.802	136	4.138	bc	Sc,Cu	6	NNE	1.5	4	NE	2.5	4
			10:00	20	24.796	136	4.684	bc	Sc,Cu	6	NNE	1.5	4	NE	2.0	4
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,			11:00	20	24.580	136	5.473	bc	Sc,Cu	6	NE	1.5	4	NE	2.0	4
			12:00	20	24.696	136	5.087	bc	Sc,Cu	8	NE	1.5	4	NE	2.0	4
			13:00	20	24.895	136	4.163	С	Sc,Cu	9	NE	1.5	4	NE	2.0	4
			14:00	20	24.869	136	4.246	bc	Sc,Cu	8	NE	1.5	4	NE	2.0	4
			15:00	20	24.484	136	5.861	С	As,Cu	9	NE	1.5	4	NE	2.0	4
			16:00	20	24.383	136	5.462	С	As,Cu	9	NE	1.5	4	NE	2.0	4
	***************************************		17:00	20	23.958	136	5.125	С	As,Cu	9	NE	2.0	4	NE	3.0	4
			18:00	20	23.402	136	5.347	0	-	10	-	-	-	-	-	-
			19:00	20	22.963	136	5.282	c	-	9	-	-	-	-	-	-
			20:00	20	24.675	136	4.992	bc	-	8	-	-	-	-	-	-
			21:00	20	24.519	136	3.967	c	-	9	-	-	-	-	-	-
			22:00	20	24.848	136	3.966	bc	-	7	-	-	-	-	-	-
0001	10		23:00	20	24.530	136	5.370	С	-	9	-	-	-	-	-	-
2021	12	6	0:00	20	24.544	136	5.405	С	-	10	-	-	-	-	-	-
			1:00	20	24.659	136	4.820	С	-	10	-	-	-	-	_	-
			2:00 3:00	20	24.670 24.488	136	4.510 5.309	С	-	10	-	-	-	-	-	-
			4:00	20 20	24.400	136	4.061	С	-	10	-	-	-	-	-	-
			5:00	20	24.818	136 136	4.236	o bc	-	10 8	-	-	-	-	-	-
			6:00	20	24.837	136	4.230			9					_	
			7:00	20	24.807	136	4.113	c bc	As,Cu	8	NE	2.0	4	ENE	2.0	4
			8:00	20	24.779	136	4.884	bc	As,Cu As,Cu	8	NE	2.0	4	NE	2.0	4
			9:00	20	24.713	136	3.483	bc	Ac,Cu	8	NE	2.0	4	ENE	2.5	4
			10:00	20	24.606	136	3.983	bc	Ac,Cu	8	ENE	2.0	4	ENE	2.5	4
			11:00	20	24.645	136	4.297	bc	Ac,Cu	7	NE	2.0	4	ENE	2.0	4
			12:00	20	24.628	136	4.322	bc	Ac,Cu	6	NE	1.5	4	ENE	2.0	4
			13:00	20	24.752	136	4.503	bc	Ac,Cu	8	NE	1.2	3	ENE	2.0	4
			14:00	20	27.806	136	10.924	bc	Ac,Cu	8	NE	1.5	4	NE	3.0	4
			15:00	20	34.383	136	19.923	bc	Sc,Cu	8	NE	1.5	4	NE	4.0	7
			16:00	20	42.997	136	26.979	С	As,Sc	9	NE	1.5	4	NE	4.0	7
			17:00	20	50.940	136	32.367	bc	As,Cu	8	NE	1.5	4	NE	3.0	4
			18:00	20	59.824	136	38.155	bc	-	8	-	-	-	-	-	-
			19:00	21	9.532	136	44.462	bc	-	8	-	-	-	-	-	-
			20:00	21	19.416	136	51.036	bc	-	5	-	-	-	_	-	-
			21:00	21	29.342	136	57.743	С	-	9	-	-	-	-	_	-
			22:00	21	39.395	137	4.570	bc	-	8	-	-	-	-	-	-
			23:00	21	49.399	137	11.358	bc	-	6	-	-	-	-	-	-

(表 4) 10 分おきに記録した気象等データの一部

観測時点				北緯	J	東経	船速	水温	真風速	真風向	気温	湿度	日射	気圧	
年	月	日	時刻	度	分	度	分	knot	°C	m/s	度	°C	%	W/m²	hPa
2021	12	5	0:10	21	23.408	136	17.410	14.1	26.1	13.1	40.1	24.03	53.6	0.0	1,014.5
			1:00	21	12.053	136	15.464	14.0	26.9	13.6	37.9	23.91	59.1	0.0	1,014.2
			2:00	20	58.220	136	12.958	13.9	27.2	14.4	35.4	24.05	54.2	0.0	1,013.3
			3:00	20	44.400	136	11.179	14.0	27.5	13.0	32.7	24.15	57.1	0.0	1,012.8
			4:00	20	30.640	136	9.132	14.0	27.5	13.2	35.4	24.22	61.4	0.0	1,012.0
			5:00	20	24.299	136	6.006	4.6	27.5	14.3	28.2	24.52	63.7	0.0	1,011.6
			6:00	20	26.214	136	4.087	3.5	27.6	14.6	48.0	24.50	66.4	0.0	1,012.2
			7:00	20	24.333	136	5.781	5.3	27.5	15.1	42.3	25.15	62.9	23.1	1,012.9
			8:00	20	26.367	136	5.692	5.8	27.5	15.4	38.2	25.16	59.0	212.4	1,012.4
			9:00	20	24.802	136	4.138	2.8	27.5	14.6	40.4	25.35	62.3	442.1	1,012.9
			10:00	20	24.796	136	4.684	3.5	27.5	15.4	38.0	25.19	61.2	245.8	1,012.2
			11:00	20	24.580	136	5.473	4.0	27.5	14.8	30.8	25.41	61.3	641.2	1,011.6
			12:00	20	24.696	136	5.087	4.0	27.5	15.2	41.0	25.67	58.0	377.9	1,010.9
			13:00	20	24.895	136	4.163	4.4	27.5	14.2	44.2	25.67	58.5	343.7	1,010.2
			14:00	20	24.869	136	4.246	3.2	27.4	15.2	38.4	25.65	57.9	493.5	1,009.6
			15:00	20	24.484	136	5.861	4.7	27.4	14.1	43.1	25.47	60.7	244.5	1,009.3
			16:00	20	24.383	136	5.462	4.7	27.4	15.7	39.4	25.48	62.6	92.0	1,009.1
			17:00	20	23.958	136	5.125	4.8	27.4	15.1	39.5	25.57	64.6	3.1	1,009.5
			18:00	20	23.402	136	5.347	5.1	27.4	15.1	39.4	25.43	66.8	0.0	1,010.2
			19:00	20	22.963	136	5.282	4.6	27.4	15.6	51.6	25.38	67.4	0.0	1,010.8
			20:00	20	24.675	136	4.992	5.6	27.4	15.7	57.1	25.72	66.8	0.0	1,010.8
			21:00	20	24.519	136	3.967	4.5	27.4	16.2	61.1	25.68	66.9	0.0	1,010.4
			22:00	20	24.848	136	3.966	3.8	27.4	15.0	54.2	25.77	66.2	0.0	1,010.9
			23:00	20	24.530	136	5.370	4.2	27.4	14.6	45.6	25.66	70.2	0.0	1,010.5
2021	12	6	0:00	20	24.544	136	5.405	2.7	27.3	14.2	44.6	25.72	69.8	0.0	1,010.1
			1:00	20	24.659	136	4.820	4.3	27.4	13.1	50.4	25.75	72.2	0.0	1,010.0
			2:00	20	24.670	136	4.510	3.9	27.4	13.9	37.3	24.08	81.3	0.0	1,009.4
			3:00	20	24.488	136	5.309	3.8	27.4	13.2	41.2	24.46	82.7	0.0	1,009.0
			4:00	20	24.839	136	4.061	4.7	27.4	11.7	52.9	24.65	84.3	0.0	1,009.0
			5:00	20	24.818	136	4.236	4.2	27.4	12.7	57.7	25.69	80.4	0.0	1,008.6
			6:00	20	24.837	136	4.115	3.3	27.4	11.8	56.3	24.82	84.4	0.0	1,008.8
			7:00	20	24.807	136	4.561	2.3	27.4	13.3	55.1	25.38	82.6	17.0	1,008.2
			8:00	20	24.779	136	4.884	3.0	27.4	16.0	49.8	25.50	87.2	263.2	1,007.5
			9:00	20	24.713	136	3.483	5.4	27.4	13.8	57.5	25.92	83.7	279.9	1,008.8
			10:00	20	24.606	136	3.983	2.6	27.4	12.2	50.2	26.29	83.2	375.1	1,008.6
			11:00	20	24.645	136	4.297	0.3	27.4	11.4	52.3	26.49	81.4	416.8	1,008.5
			12:00	20	24.628	136	4.322	0.2	27.4	10.6	53.1	26.78	79.5	659.8	1,007.7
			13:00	20	24.752	136	4.503	0.1	27.4	8.7	38.9	26.13	88.2	576.2	1,007.3
			14:00	20	27.806	136	10.924	11.0	27.5	9.7	50.6	26.25	87.1	352.1	1,006.6
			15:00	20	34.383	136	19.923	10.9	27.4	10.1	46.5	26.69	84.3	185.2	1,006.5
			16:00	20	42.997	136	26.979	11.4	27.3	9.8	40.2	26.48	87.0	118.7	1,006.7
			17:00	20	50.940	136	32.367	8.5	27.1	9.1	47.1	26.02	94.0	24.6	1,007.0
			18:00	20	59.824	136	38.155	11.3	26.8	8.9	32.8	26.18	93.8	0.0	1,007.5
			19:00	21	9.532	136	44.462	11.4	26.3	8.7	43.7	26.16	95.3	0.0	1,008.3
			20:00	21	19.416	136	51.036	11.2	26.4	7.8	41.4	26.43	93.5	0.0	1,008.8
			21:00	21	29.342	136	57.743	12.0	26.5	7.4	40.2	26.49	92.9	0.0	1,008.8
			22:00	21	39.395	137	4.570	12.3	26.5	6.1	47.4	26.32	93.9	0.0	1,009.0
			23:00	21	49.399	137	11.358	12.0	26.5	5.3	47.0	26.17	94.9	0.0	1,008.4

(表 5) 天候記号

記号	天気	記号	天気	記号	天気
b	快晴	Z	煙霧	rs	みぞれ
bc	晴	f	霧	S	明
С	薄曇	d	霧雨	h	あられ、ひょう
0	曇	r	雨	t	雷

<sup>※</sup> 海上保安庁海洋情報部情報利用推進課/日本海洋データセンターHP「気象関係コード表」 (https://www.jodc.go.jp/data\_format/fixed\_wave\_code.htm#weahter) を加工して作成

(表 6) 風の強さと吹き方

風の強さ (予報用語)	平均風速 (m/s)	おおよそ の時速	速さの目安	人への影響
やや強い風	10 以上 15 未満	$\sim~50~{ m km}$	一般道路の 自動車	風に向かって歩き にくくなる。傘がさ さない。
強い風	15 以上 20 未満	$\sim~70~{ m km}$		風に向かって歩け なくなり、転倒する 人も出る。
	20 以上 25 未満	∼ 90 km	高速道路の 自動車	何かにつかまって
非常に強い風	25 以上 30 未満	~110 km	ПЖТ	いないと立ってい られない。
	30 以上 35 未満 ~125 km		<b>杜</b>	屋外での行動は極
猛烈な風	35 以上 40 未満	$\sim$ 140 km	特急電車	めて危険。
	40 以上	140 km∼		

# ※ 気象庁 HP「風の強さと吹き方」

(https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/yougo\_hp/kazehyo.html) を加工して作成

(表7) 雲形の種類

層	名称	英名 (略語)	概要
	巻雲	Cirrus (Ci)	繊維状をした繊細な、離ればなれの雲で、一般に 白色で羽毛状、かぎ形、直線状の形となることが 多い。
上層 (CH)	巻積雲	Cirrocumulus (Cc)	小さい白色の片が群をなし、うろこ状又はさざ波 状の形をなした雲で、陰影はなく一般に白色に見 える場合が多い。
	巻層雲	Cirrostratus (Cs)	薄い白っぽいベールのような層状の雲で陰影は なく、全天を覆うことが多く、普通日のかさ、月 のかさを生ずる。
	高積雲	Altocumulus (Ac)	小さな塊が群をなし、まだら状又は数本の並んだ 帯状の雲で、一般に白色又は灰色で普通陰があ る。雲片は部分的に毛状をしていることもある。
中層 (CM)	高層雲	Altostratus (As)	灰色の層状の雲で、全天を覆うことが多く、厚い 巻層雲に似ているが日のかさ、月のかさを生じな い。この雲の臼井部分では丁度すりガラスをとお して見るようにぼんやりと太陽の存在がわかる。
	乱層雲	Nimbostratus (Ns)	ほとんど一様でむらの少ない暗灰色の層状の雲で、全天を覆い雨又は雪を降らせることが多い。 この雲のいずれの部分も太陽を隠してしまうほ ど厚い。
	層積雲	Stratocumulus (Sc)	大きな塊が群をなし層又はまだら状、うね状となっている雲で白色又は灰色に見えることが多い。 この雲には毛状の外観はない。
	層雲	Stratus (St)	灰色の一様な層の雲で霧に似ている。不規則にちぎれている場合もある。霧雨、細氷、霧雪が降ることがある。この雲を透して太陽が見えるときはその輪郭がはっきりわかる。
下層 (CL)	積雲	Cumulus (Cu)	垂直に発達した離ればなれの厚い雲で、その上面 はドームの形をして隆起しているが、底はほとん ど水平である。この雲に光が射す場合は明暗の対 照が強い。
	積乱雲	Cumulonimbus (Cb)	垂直に著しく発達している塊状の雲で、その雲頂は山または塔の形をして立ち上っている。少なくとも雲の頂の一部は輪郭がほつれるか又は毛状の構造をしていて、普通平たくなっていることが多い。

<sup>※</sup> 気象庁 HP「H30.3 気象庁観測部『気象の観測を行う場合に』気象庁雲形種類表、雲の状態種類表」(https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kansoku\_guide/kansoku\_doc.pdf)を加工して作成

(表 8) 風浪階級

階級	風浪階級の説明	波の	高さ(	m)
0	鏡のようになめらかである		0	
1	さざ波がある	0	~	0.1
2	なめらか、小波がある	0.1	~	0.5
3	やや波がある	0.5	~	1.25
4	かなり波がある	1.25	~	2.5
5	波がやや高い	2.5	~	4
6	波がかなり高い	4	~	6
7	相当荒れている	6	~	9
8	非常に荒れている	9	~	14
9	異常な状態	14	~	

#### ※ 出典は表5と同様

※ 風浪とは、その場所で吹いている風によって生じた波で、個々の波は不規則で尖っている。 発達した風浪ほど波高が大きく、波長や周期は長い。

(表 9) うねり階級

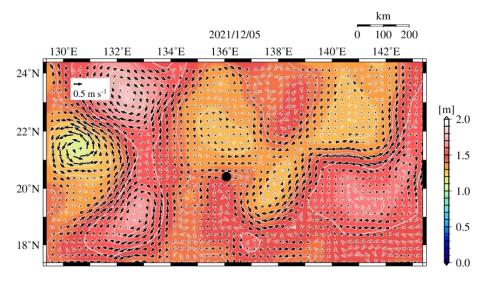
階級	うねり階級の説明							
0	うねりがない							
1	短く又は中位の	弱いうねり (波高 2m 未満)						
2	長く	羽(・) /4より (仮向 ZIII 不個)						
3	短く							
4	中位の	— やや高いうねり(波高 2m 以上 4m 未満)						
5	長く							
6	短く							
7	中位の	高いうねり(波高 4m 以上)						
8	長く							
9	2方向以上からうねりがきて、海上が混沌としている場合							

#### ※ 出典は表5と同様

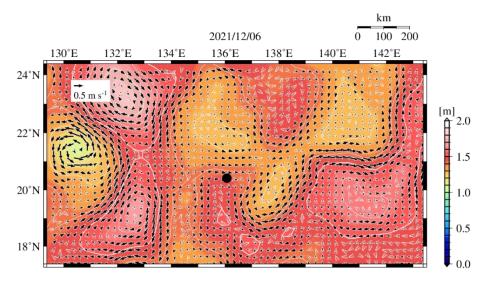
- ※ うねりとは、遠くの台風などにより作られた波が伝わってきたもので、滑らかな波面を持ち、 波長の長い規則的な波。風浪とうねりから成る海洋表面の波動のうち、風によって発生した 周期が1~30秒程度のものを波浪という。
- ※ 「短く」とは波長 100m 未満 (周期 8.0 秒以下) の程度を、「中位の」とは波長 100m 以上 200m 未満 (周期 8.1 秒から 11.3 秒まで) の程度を、「長く」とは波長 200m 以上 (周期 11.4 秒以上) の程度をいう。

現地調査が行われた5日(日)及び6日(月)の絶対海面力学高度とそれから推定された海表面流(海表面地衡流)の水平分布を図34及び図35に示す。図中のカラーは絶対海面力学高度、矢印は海表面流、黒丸は沖ノ鳥島を示す。絶対海面力学高度の等値線の間隔は0.1mとした。

両日とも沖ノ鳥島は、北緯 19 度、東経 136 度付近に存在する正の絶対海面力学高度の縁に位置していた。この正の絶対海面力学高度周辺では、時計回りの循環が存在し、その循環に伴って、沖ノ鳥島周辺では、0.1~0.3ms<sup>-1</sup>程度の東寄りの流れが形成されていた。以上のことから、5 日(日)及び6日(月)の沖ノ鳥島周辺は時計回りの循環の縁に位置し、両日ともこの循環に伴う東寄りの流れの中で調査が実施されていたことが確認された。



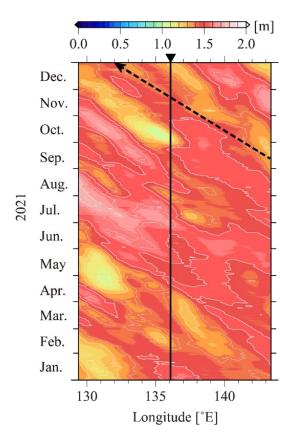
(図34)5日(日)の絶対海面力学高度と海表面流の水平分布



(図35)6日(月)の絶対海面力学高度と海表面流の水平分布

2021年1月1日から12月31日までの北緯20度22分30秒(沖ノ鳥島が位置する緯度帯に相当する)における絶対海面力学高度の時間-経度断面を図36に示す。図中のカラーは絶対海面力学高度、黒い点線の矢印は海洋擾乱が東から西へ0.12ms<sup>-1</sup>の速度で伝播するときの方向と傾き、黒い縦線は沖ノ鳥島が位置する東経136度4分52.1秒を示す。絶対海面力学高度の等値線の間隔は0.1mとした。

沖ノ鳥島が位置する緯度帯では、年間を通じて、100~300km の水平スケールを持つ正の絶対海面力学高度が 0.12ms<sup>-1</sup>程度(図 36 の矢印)の速度で東から西へ伝播していた。現地調査が行われた 12 月 5 日(日)及び 6 日(月)付近にも沖ノ鳥島周辺では正の絶対海面高度が西方伝播していることから、図 34 及び図 35 において島周辺で確認された正の絶対海面高度は、島の東方から伝播してきたものであると言える。このような 100~300km の水平スケールを持つ正の絶対海面力学高度は中規模渦と呼ばれ、北半球では西方伝播する特徴がある。以上のことから、沖ノ鳥島が位置する緯度帯では、年間を通して中規模渦が西方伝播しており、この中規模渦が 1~3 ヶ月に 1 回程度の頻度で島周辺に到達していたことが明らかになった。



(図 36) 2021 年の絶対海面力学高度の時間 - 経度断面

## エ 考察、今後の課題等

「望星丸」に搭載された計測機器による観測や目視により、現地において気象・海象を把握するとともに、人工衛星観測データを用いて、沖ノ鳥島周辺の絶対海面力学高度と海表面流の時空間的な構造を解析した。

沖ノ鳥島周辺では、年間を通じて中規模渦が西方伝播していた。この中規模 渦は、水平スケールと西方伝播の特徴から判断すると、地球自転の緯度変化の 影響を受けた海洋波動であると考えられる。これに加えて、沖ノ鳥島周辺では、 年間を通じて中規模渦が 1~3 ヶ月に 1 回程度の頻度で到達していた。このことから、沖ノ鳥島周辺の海洋構造は、島の東方から伝播して来る中規模渦に強く影響されており、この中規模渦の到達に伴って数ヶ月の時間スケールで変化していると考えられる。

沖ノ鳥島や周辺海域の維持・保全等を考える上で、まず島周辺の基本的な海洋構造を把握することが必要であり、それが海洋構造の季節・経年変化である。今回の解析から得られた結果は、沖ノ鳥島周辺の海洋構造の季節・経年変化にとって、島へ到達する中規模渦の規模や頻度が重要であることを示している。したがって、今後、沖ノ鳥島周辺の海洋構造の季節・経年変化を把握していくためには、今回行ったような人工衛星観測データを用いた中規模渦の挙動に関する解析が有効であると言える。しかし、人工衛星観測データから得られる情報は海面に限定されるため、人工衛星観測データの解析を継続するとともに、海洋内部の情報を得るための調査も行っていくことが必要である。

また、人工衛星のデータ等が豊富に得られやすい現代においては、多くの情報を人工衛星のデータから把握することができる。本土から隔絶された外洋離島の研究調査に当たっては、こうしたデータを活用していくことも有効である。

### ② 水質調査 (環境 DNA 調査を含む)

### ア 調査目的

生物生産の源となる栄養塩の状況等を把握するとともに、魚類相の基礎知見 の蓄積に資する環境 DNA の採取など、生物の生息・生育の場となる海洋の水 質の現状を把握し、生物生産性や海域利用の在り方に資する基礎的情報を得る。

# イ 調査方法

当初計画では、島周囲の6か所に観測地点を設け、CTD 採水器により、水深 1,000m までの水温・塩分・クロロフィル量の鉛直プロファイルを作成するとと もに、うち4地点では、表層・中間層・最低層の3層における栄養塩分析用の 採水及び表層における環境 DNA 分析用の採水を実施することとした。なお、 環境 DNA とは、生物の体液等から海中に溶け出している生物由来の DNA (若 しくはRNA)であり、解析することで生息する魚類の種類が推定できる。

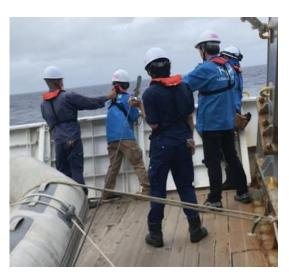
### ウ 現地における調査活動の結果

調査期間全般にわたって海況が悪く、甲板作業や観測機器の曳航が安全に実 施できないと判断されたことから、計画地点での CTD 採水器による水温・塩 分把握や、サンプル採水は実施できなかった。

そのため、水温・塩分については、マルチビームによる音響データの水中伝 搬速度や密度測定のための補正値(水深に伴う温度変化)を得ることも兼ね、2 地点(XCTD 1205、XCTD 1206)で XCTD を投入した。その様子を図 37 及 び図38に、結果を表10に示す(図39及び図40は表10をグラフ化したもの)。



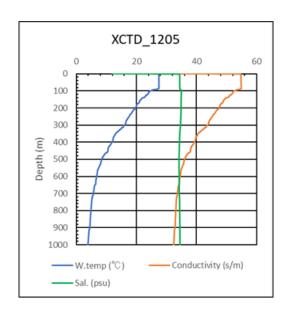


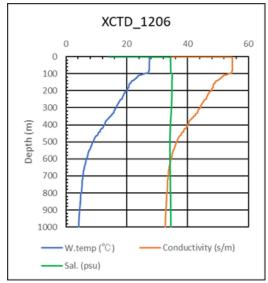


(表10) XCTD\_1205とXCTD\_1206の結果(10mごと)

	20211205 04:2	5:26 20-25.9800N	136-08.3010E	20211206 10:06	i:03 20-24.5384N	136-04.1200E	500	8.47	36.053	34.148	8.71	36.280	34.147
Depth (m)		Conductivity (s/m)		W.temp (°C)			510	8.28	35.888	34.154	8.51	36.099	34.147
1	27.49	54.068	32.562	27.43	52.866	31.955	520	8.16	35.768	34.153	8.34	35.933	34.147
10	27.53	54.791	34.358	27.39	54.681	34.375	530	8.00	35.633	34.146	8.13	35.753	34.151
20	27.57	54.865	34.372	27.39	54.696	34.381	540	7.68	35.363	34.152	7.91	35.753	34.131
30	27.53	54.821	34.370	27.40	54.696	34.378	550	7.45	35.303	34.148	7.48	35.181	34.147
40	27.56	54.851	34.374	27.37	54.696	34.393	560	7.45	34.902	34.159	7.48	35.161	34.158
50	27.55	54.851	34.372	27.37	54.696	34.394	570	7.10	34.793	34.164	7.29	34.895	34.156
60	27.56	54.866	34.371	27.35	54.681	34.399	580	6.96	34.733	34.170	7.10	34.849	34.160
70	27.56	54.881	34.379	27.35	54.696	34.402	590	6.87	34.733	34.181	6.88	34.669	34.171
80	27.57	54.896	34.379	27.34	54.696	34.407							34.171
90	27.05	54.551	34.513	27.10	54.530	34.466	600	6.76	34.583	34.186	6.68	34.503	
100	24.55	52.482	34.890	25.38	53.295	34.846	610	6.63	34.463	34.185	6.47	34.322	34.188
110	24.18	52.091	34.902	23.75	51.661	34.908	620	6.53	34.375	34.186	6.40	34.262	34.187
120	23.76	51.650	34.890	23.29	51.164	34.891	630	6.49	34.358	34.195	6.32	34.202	34.189
130	23.09	50.966	34.879	22.74	50.556	34.850	640	6.47	34.343	34.194	6.09	34.006	34.201
140	22.46	50.244	34.827	21.70	49.423	34.818	650	6.22	34.132	34.206	5.95	33.901	34.218
150	21.62	49.405	34.835	21.31	49.070	34.819	660	5.99	33.938	34.210	5.84	33.810	34.218
160	21.17	48.940	34.834	20.79	48.528	34.809	670	5.94	33.893	34.207	5.72	33.705	34.227
170	20.92	48.685	34.822	20.64	48.386	34.815	680	5.84	33.803	34.214	5.61	33.630	34.244
180	20.17	47.920	34.818	20.59	48.333	34.814	690	5.70	33.698	34.227	5.59	33.630	34.243
190	20.07	47.822	34.814	20.18	47.925	34.809	700	5.63	33.653	34.237	5.49	33.539	34.254
200	19.77	47.515	34.815	20.10	47.847	34.807	710	5.59	33.623	34.240	5.46	33.524	34.253
210	19.15	46.873	34.797	19.31	47.046	34.799	720	5.33	33.428	34.279	5.41	33.494	34.268
220	18.75	46.480	34.794	18.98	46.700	34.789	730	5.20	33.338	34.299	5.24	33.374	34.295
230	18.44	46.165	34.784	18.72	46.444	34.786	740	5.14	33.308	34.317	5.23	33.374	34.302
240	17.89	45.580	34.760	18.49	46.203	34.777	750	5.09	33.278	34.333	5.23	33.374	34.297
250	17.61	45.302	34.746	18.00	45.684	34.748	760	5.06	33.263	34.344	5.20	33.359	34.305
260	17.18	44.845	34.712	17.62	45.299	34.732	770	5.02	33.248	34.362	5.15	33.321	34.306
270	16.80	44.440	34.686	17.29	44.957	34.714	780	4.97	33.203	34.362	5.11	33.298	34.318
280	16.52	44.140	34.663	16.93	44.571	34.686	790	4.95	33.203	34.371	5.10	33.298	34.322
290	16.48	44.109	34.660	16.63	44.261	34.665	800	4.90	33.158	34.369	4.87	33.133	34.369
300	16.01	43.578	34.611	16.43	44.037	34.649	810	4.81	33.098	34.382	4.78	33.072	34.386
310	15.74	43.314	34.597	15.99	43.568	34.611	820	4.77	33.083	34.400	4.74	33.042	34.387
320	15.04	42.564	34.539	15.78	43.357	34.599	830	4.75	33.068	34.400	4.72	33.033	34.394
330	14.30	41.791	34.475	15.54	43.086	34.571	840	4.70	33.038	34.402	4.71	33.027	34.391
340	13.75	41.206	34.428	15.01	42.535	34.528	850	4.64	32.993	34.413	4.70	33.027	34.396
350	13.21	40.659	34.392	14.41	41.896	34.474	860	4.62	32.978	34.412	4.67	33.010	34.401
360	12.80	40.254	34.363	13.96	41.430	34.440	870	4.60	32.963	34.413	4.59	32.952	34.408
370	12.37	39.819	34.337	13.44	40.900	34.398	880	4.59	32.963	34.416	4.50	32.877	34.414
380	12.26	39.714	34.333	12.97	40.421	34.367	890	4.52	32.918	34.426	4.46	32.862	34.426
390	12.19	39.644	34.326	12.76	40.210	34.356	900	4.46	32.873	34.431	4.44	32.847	34.428
400	11.86	39.324	34.308	12.47	39.924	34.333	910	4.27	32.723	34.445	4.40	32.817	34.428
410	11.54	38.994	34.289	12.23	39.683	34.319	920	4.19	32.663	34.458	4.30	32.741	34.438
420	11.07	38.529	34.258	11.79	39.223	34.282	930	4.16	32.648	34.455	4.27	32.726	34.442
430	10.75	38.225	34.243	11.24	38.692	34.259	940	4.12	32.618	34.465	4.22	32.696	34.448
440	10.61	38.094	34.237	11.15	38.614	34.249	950	4.09	32.603	34.468	4.22	32.696	34.450
450	10.53	38.004	34.225	10.49	37.966	34.220	960	4.02	32.543	34.471	4.19	32.666	34.450
460	10.23	37.718	34.210	10.22	37.695	34.198	970	4.02	32.543	34.468	4.14	32.636	34.453
470	9.41	36.923	34.174	9.63	37.123	34.169	980	3.97	32.501	34.468	4.16	32.651	34.452
480	9.11	36.653	34.162	9.30	36.808	34.160	990	3.93	32.468	34.472	4.14	32.641	34.456
490	8.76	36.323	34.154	9.07	36.596	34.152	1000	3.85	32.408	34.474	4.14	32.636	34.448
130	5.70	50.020	5 1.104	3.01	55.550	0 1.102	1000	0.00	52.100	\$ 11.11T	1.4.7	52.000	51.110

沖ノ鳥島の北東で投入した XCTD\_1205、南西で投入した XCTD\_1206 の測定データのいずれも、水温は、表面から水深約 100m までは 27  $^{\circ}$   $^{\circ}$   $^{\circ}$  化が少なく、それより下部では徐々に降温し、水深約 470m からは 10  $^{\circ}$   $^{\circ}$  を下回り降温の程度は緩やかとなった。一方、塩分は水深による明瞭な変化傾向は見られず 34psu 台であった。





(図39) XCTD\_1205の結果

(図40) XCTD\_1206の結果

XCTD による観測データのほか、「望星丸」に搭載され、船底からポンプアップした表面海水の水温や電気伝導度(塩分)を連続的に測定するサーモサリノグラフによって 1 分おきに表層水関係のデータを記録した。船内の研究室に備え付けられたサーモサリノグラフを図 41 に、1 分おきに記録された表層水関係データを表 11 に示す。



(図41) サーモサリノグラフ(連続水質観測装置)

(表 11) 1分おきに記録した表層水関係データの一部

観測時点		北緯	J	東経	進路	船速	気温	電気伝導度	塩分	クロロフィル
年月日時刻	度	分	度	分	度	knot	°C	S/m	PSU	μ g/l
2021 12 5 0:00	21	42.391	136	29.239	185.2	14.3	26.146	26.474	34.302	0.03
1:00	21	19.583	136	25.663	191.2	14.2	26.950	27.233	34.214	0.04
2:00	20	96.531	136	21.499	190.2	14.0	27.254	27.503	34.251	0.04
3:00	20	73.502	136	18.576	184.6	13.9	27.513	27.794	34.257	0.04
4:00	20	50.553	136	15.177	184.4	14.1	27.495	27.793	34.269	0.04
5:00	20	40.544	136	9.834	286.4	4.7	27.555	27.810	34.263	0.03
6:00	20	43.763	136	6.922	54.9	3.5	27.639	27.932	34.217	0.04
7:00	20	40.579	136	9.440	279.7	5.0	27.486	27.779	34.270	0.04
8:00	20	43.933	136	9.696	92.9	5.5	27.533	27.842	34.249	0.03
9:00	20	41.358	136	6.998	77.5	2.7	27.496	27.861	34.265	0.03
10:00	20	41.287	136	7.952	107.2	3.9	27.477	27.951	34.269	0.03
11:00	20	40.827	136	9.157	176.7	4.2	27.471	27.977	34.277	0.03
12:00	20	41.230	136	8.339	298.1	4.1	27.449	27.943	34.272	0.03
13:00	20	41.529	136	6.779	284.1	4.2	27.450	27.942	34.277	0.03
14:00	20	41.409	136	7.188	111.0	3.1	27.437	27.927	34.286	0.03
15:00	20	40.930	136	9.670	316.5	4.4	27.432	27.734	34.280	0.03
16:00	20	40.594	136	9.267	106.2	4.3	27.386	27.691	34.289	0.03
17:00	20	39.878	136	8.717	107.6	4.9	27.368	27.669	34.285	0.03
18:00	20	38.950	136	9.109	106.3	5.2	27.354	27.657	34.279	0.03
19:00	20	38.274	136	8.962	84.2	3.9	27.378	27.680	34.287	0.03
20:00	20	41.186	136	8.143	283.3	5.0	27.351	27.666	34.285	0.03
21:00	20	41.037	136	6.603	358.3	4.7	27.393	27.690	34.283	0.03
22:00	20	41.463	136	6.477	291.0	3.7	27.378	27.650	34.285	0.03
23:00	20	40.930	136	8.804	289.0	3.9	27.357	27.629	34.270	0.03
2021 12 6 0:00	20	40.875	136	9.117	107.5	2.9	27.332	27.614	34.284	0.03
1:00	20	41.131	136	7.863	281.4	4.5	27.422	27.702	34.267	0.03
2:00	20	41.106	136	7.669	94.3	3.9	27.416	27.669	34.257	0.03
3:00	20	40.881	136	8.704	296.7	4.1	27.411	27.663	34.260	0.03
4:00	20	41.445	136	6.605	286.9	4.4	27.436	27.661	34.252	0.03
5:00	20	41.403	136	6.903	285.2	4.1	27.414	27.675	34.254	0.03
6:00	20	41.354	136	6.971	111.2	3.0	27.434	27.701	34.255	0.03
7:00	20	41.326	136	7.681	103.4	2.1	27.415	27.683	34.254	0.03
8:00	20	41.213	136	8.291	125.0	4.7	27.380	27.669	34.254	0.03
9:00	20	41.229	136	5.601	282.3	5.4	27.416	27.696	34.250	0.03
10:00	20	40.969	136	6.716	118.1	2.3	27.388	27.719	34.253	0.03
11:00	20	41.081	136	7.170	51.6	0.3	27.387	27.744	34.258	0.03
12:00	20	41.039	136	7.206	148.0	0.2	27.407	27.804	34.258	0.03
13:00	20	41.251	136	7.496	262.1	0.3	27.413	27.793	34.264	0.03
14:00	20	46.574	136	18.556	54.4	10.7	27.463	27.902	34.237	0.03
15:00	20	57.544	136	33.540	53.0	10.7	27.363	27.737	34.279	0.03
16:00	20	72.019	136	45.201	32.5	11.2	27.335	27.676	34.285	0.03
17:00	20	85.170	136	54.152	34.9	8.8	27.093	27.452	34.253	0.03
18:00	21	0.061	136	63.831	33.2	11.4	26.736	27.113	34.208	0.03
19:00	21	16.251	136	74.342	31.8	11.4	26.246	26.654	34.236	0.03
20:00	21	32.733	136	85.305	30.7	11.8	26.436	26.810	34.160	0.03
21:00	21	49.270	136	96.497	33.0	11.7	26.491	26.886	34.198	0.03
22:00	21	66.036	137	7.885	33.8	12.2	26.488	26.875	34.258	0.03
23:00	21	82.712	137	19.191	32.1	12.0	26.504	26.885	34.287	0.03

栄養塩及び環境 DNA 分析のためのサンプル採水については、CTD 採水器の曳航に代え、5日(日)と6日(月)に島の周囲において、船内の第二研究室又は後部甲板にて水深およそ 5m の表層水を採取した。採水の様子を図 42 に示す。



(図 42) 採水の様子

栄養塩分析用の採水は、4 地点にて行い(5 日(日)は船を徐々に移動しながら実施)、瓶を共洗い3回後、海水を採取し冷凍(-50°C)で保存した。採水の状況を表12に示す。

(表 12) 栄養塩分析用採水の状況

	採水地点①	採水地点②	採水地点③	採水地点④
採水	第二研究室	後部甲板にて 採取		
	500ml	₹ 5m)		
位置 (緯度)	20-24.8046 N	20-24.4837 N	20-23.2077 N	20-24.8585 N
位置(経度)	136-04.1506 E	136-05.4117 E	136-05.4967 E	136-03.2448 E
年月日		2021.12.6 (月)		
時刻	08 時 59 分	14 時 22 分	18 時 02 分	
水深(m)	719	665		
水温 (°C)	27.493	27.435	27.352	27.422
塩分(psu)	34.266	34.279	34.279	34.249

帰港後、採水により得られたサンプル 4 本を用いて栄養塩類濃度を分析したところ、表 13 に示すとおり、全窒素の値は  $0.17\sim0.23$ mg/L、全リンの値が  $0.006\sim0.010$ mg/L、全有機体炭素の値が  $0.8\sim1.3$ mg/L であった。

窒素とリンは、生物の生育に欠かせない栄養素で、海中にも含まれる元素である。全窒素(TN: Total Nitrogen)は、無機体窒素と有機体窒素の総量で表され、そのうち、無機性窒素は、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素に、有機性窒素は、蛋白質に由来するものとそうでないものとに分類される。

また、全リン(TP: Total Phosphorus)は、水中に含まれる無機及び有機リン化合物中のリンの総量を言う。水中の窒素やリンなどの栄養塩が多くなると、富栄養化の状態となり、藻類の異常繁殖により赤潮などの原因となることが知られている。

全有機体炭素(TOC: Total Organic Carbon)は、水中に存在する有機物の 総量を、有機物中に含まれる炭素量で表わした「水の汚れ」を示す指標の一つ として用いられる。

表 13 の栄養塩類濃度の分析結果は、当該海域において、顕著な富栄養化や汚染が進行しているわけではないことを示すものである。一方、全窒素の値は、外洋域としては若干高い値を示しており、これが今回の採水方法によるものか、海洋の特徴を示しているものかについては留意が必要である。

(表 13) 得られたサンプルを用いた栄養塩類濃度の分析結果

試験項目	単位	2021.12	2.5 (目)	2021.12.6 (月)	
时代"大"人	十匹	South-1	South-2	South West-1	South West-2
全窒素(TN)	mg/L	0.17	0.20	0.23	0.20
全リン (TP)	mg/L	0.010	0.009	0.006	0.007
全有機体炭素(TOC)	mg/L	1.3	0.8	0.9	1.2

<sup>※</sup> TN:JIS K 0102 (2019) 15.6, TP:JIS K 0102 (2019)46.3.1, TOC:JIS K 0102 (2019) 22 法による解析結果

環境 DNA 分析用の採水は、2 地点にて行い、採取後、0.45µm フィルター (Sterivex, Millipore)にて濾過し、RNA 保存溶液 (RNAlater Solution, Invitrogen) 又は DNA 保存溶液 (Buffer ATL Tissue lysis buffer, Qiagen)を添加後、冷凍 (-50°C)で保存した。採水の状況を表 14 に、船内の研究室に設置された環境 DNA 分析用採水装置を図 43 に示す。

(表 14) 環境 DNA 分析用採水の状況

		採水地点①	採水地点②
		第二研究室 (ウェットラボ) にて採取	後部甲板にて採取
		120L 表層水(2	k深およそ 5m)
	位置 (緯度)	20-24.8799 N	20-24.5628 N
	位置 (経度)	136-04.2651 E	136-04.2505 E
	年月日	2021.12.5 (日)	2021.12.6 (月)
開始	時刻	08 時 52 分	08 時 51 分
	水深 (m)		953
	水温 (°C)	27.498	27.388
	塩分(psu)	34.266	34.253
	位置 (緯度)	_	20-24.7980 N
	位置 (経度)	_	136-03.1371 E
	年月日	_	2021年12月06日
終了	時刻		9時03分
	水深 (m)		1,220
	水温 (°C)	<u> </u>	27.420
	塩分(psu)	_	34.250



(図 43) 環境 DNA 分析用採水装置

帰港後、採水により得られたサンプル 12 本を解析した結果、全サンプルから環境 DNA (若しくは RNA) が検出された。これらを魚類 DNA データベースと照合したところ、表 15 に示すとおり、ヒメダイ属やブダイ科魚類、アイゴ属魚類やニザダイ属魚類などの岩場などに生息する魚類、スズメダイ科魚類などサンゴ礁域に生息する種、マグロ類などの回遊魚、また、中深層や深海に生息するハダカイワシ科魚類など、少なくとも 46 種の DNA が検出された。

(表 15) 環境 DNA サンプルから検出された海産魚の種(属)

	和名	Species		和名	Species
1	ナミダクロハギ	Acanthurus japonicus	24	ホタルビハダカ	Lampadena urophaos
2	スジクロハギ	Acanthurus leucopareius	25	ホソトンガリハダ カ	Lampanyctus nobilis
3	ナガニザ	Acanthurus nigrofuscus	26	アカマツカサ	Myripristis berndti
4	シマハギ	Acanthurus triostegus	27	ゴマテングハギモ ドキ	Naso maculatus
5	フトミカヅキハダ カ	Bolinichthys distofax	28	テングハギ属	Naso sp.
6	モンダルマガレイ	Bothus mancus	29	タカサゴヒメジ	Parupeneus heptacanthus
7	ギンガメアジ属	Caranx sp.	30	リュウキュウエビ ス	Plectrypops lima
8	ゴコウハダカ属	Ceratoscopelus sp.	31	ヒメダイ属	<i>Pristipomoides</i> sp.
9	シテンチョウチョ ウウオ	Chaetodon quadrimaculatus	32	ハナゴイ	Pseudanthias pascalus
10	ツクシトビウオ属	Cheilopogon sp.	33	ベンテンウオ	Pteraclis aesticola
11	オニハゲブダイ	Chlorurus frontalis	34	ニシキヤッコ	Pygoplites diacanthus
12	ハゲブダイ	Chlorurus sordidus	35	ハナアイゴ	Siganus argenteus
13	アミメミノカエル ウオ	Cirripectes imitator	36	ヨロンスズメダイ	Stegastes insularis
14	ハマトビウオ属	Cypselurus sp.	37	ヨロイホシエソ	Stomias nebulosus
15	シロハナハダカ	Diaphus perspicillatus	38	Symbolophorus cf evermanni	Symbolophorus cf evermanni
16	ユメハダカ属	Diplophos sp.	39	ハコベラ	Thalassoma quinquevittatum
17	クロタチカマス	Gempylus serpens	40	マグロ属	Thunnus sp.
18	ヒレナガヤッコ	Genicanthus watanabei	41	マアジ属	Trachurus sp.
19	トンプソンチョウ チョウウオ	Hemitaurichthys thompsoni	42	チチブ属	<i>Tridentiger</i> sp.
20	ニノジトビウオ属	Hirundichthys sp.	43	アカオビシマハゼ	Tridentiger trigonocephalus
21	カツオ	Katsuwonus pelamis	44	オキアジ	Uraspis helvola
22	Lampadena anomala / ガンテンハダカ	Lampadena anomala / Diaphus luetkeni	45	オキアジ属	<i>Uraspis</i> sp.
23	カガミイワシ	Lampadena luminosa	46	ツマリウキエソ / ヤベウキエソ	Woodsia nonsuchae / Vinciguerria nimbaria

XCTD 等による水温・塩分の観測や、栄養塩及び環境 DNA 分析のためのサンプル採水に加え、調査行程の最後、風が弱まった一瞬の機を捉え、透明度の調査も実施することができた。表面観測の結果は図 44 のとおりであり、25.7m の透明度のデータが得られた。清水港や近隣海域では 5~10m程度であることと比べ、透明度は高かったと言える。



(図44) 透明度確認の様子と表面観測の結果

#### エ 考察、今後の課題等

我が国最南端の国境離島である沖ノ鳥島は、国土面積を上回る広大な排他的 経済水域を有している。天然資源の探査・開発などを含めた経済的活動につい ての主権的権利を有する排他的経済水域では、沿岸国は、海洋の科学的調査、 海洋環境の保護・保全等についての管轄権も有する。そうした観点からは、現 地で海水のサンプルを採取し、水質の現状を把握することは重要な意味を持つ。

今回は荒天と強風のために、当初計画していた CTD 採水器を使用することができず、また、沖ノ鳥島のリーフエッジに接近することも難しい状況であった。このような中で、比較的波浪が穏やかな島の南側において、水温や塩分の連続的なデータを記録するとともに、海域の表層水を船の海水汲み上げポンプにて採水し、その海水を分析に供した。

水温や塩分の XCTD による鉛直プロファイルの作成は、沖ノ鳥島の北東、南西の 2 測点に限られたため、局所的に環境が異なるのか、それとも島の回りの環境は一様なのか等について考察するまでには至っていないが、栄養塩類濃度の分析結果からは、一般的にきれいな海と言われている国立・国定公園に係る海域の水質とほぼ変わらない栄養塩の状態であると見られ、水質汚染についての懸念も認められなかった。

環境 DNA 解析による魚類種の推定に当たっても、海底付近に生息する種やサンゴ礁域に生息する種についての十分な情報を得るには至らなかった。しかしながら、今回の調査において少なくとも 46 種の魚類の生息が確認できたことは、今後の沖ノ鳥島及び沖ノ鳥島の位置する小笠原諸島における魚類の多様性の形成と維持機構の研究に重要な基礎的データを得られたものと考えられる。

また、今回の採水地点は必ずしも島に近いというわけではなかったことを勘案すれば、その中でサンゴ礁域に生息する魚類の DNA が多数検出されたことは、沖ノ鳥島の環礁内には豊富なサンゴ礁性魚類の分布が予想される。

さらに、荒天で風や潮の流れが強い中での表層水での分析において、マグロ類やカツオ類などの有用水産魚類の DNA が検出されたことも、この海域で豊富な水産資源が生息している、若しくは、それらの資源にとって重要な生息海域である可能性を示唆しているものと思われる。従って、今回、回遊魚やサンゴ礁域の魚類の生息が確認されたことは、沖ノ鳥島周辺での魚類相調査と水産利用等の観点で有益な情報を提供したものと考えられる。

外洋域である沖ノ鳥島周辺は、アクセスが難しく、海洋に関する調査・観測情報が不足していると言われる一方、それが故に、海洋研究のベースとしての利用価値は極めて高いものと思料される。水深や島からの距離等を変えて、様々な地点でサンプル採水・分析等を行うことで、沖ノ鳥島があることよって栄養塩や生物相にどのような効果や影響をもたらしているのか、島と周辺海域の生態系の繋がり等の知見が深まっていく。周辺海域も含め、その維持・保全や利活用等を検討していくため、更なる情報や知見の蓄積を図っていく必要がある。

### (3) 環境調査

### ① 生物相観測

### ア 調査目的

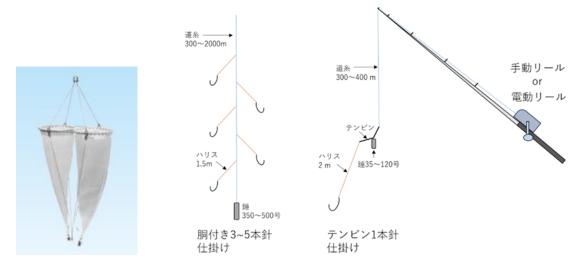
亜熱帯の外洋域は貧栄養で生物生産性が低いと言われるが、沖ノ鳥島のように外洋域に存在する島や海山の周辺では、他の外洋表層に比べて生産性が高くなり、多様な魚類や無脊椎動物が生息することが知られている。また、回遊性魚類の産卵場として利用されていることも予想されており、海洋生態系・食物連鎖の基礎となるプランクトンの現状を把握することは重要である。しかし、沖ノ鳥島周辺海域における動物プランクトン等についての知見は少ない。そこで、沖ノ鳥島周辺海域における小型~中型動物プランクトンや魚類を採集し、生息・生育する生物の種類組成を把握する。

# イ 調査方法

当初計画では、島周囲の 4 か所に観測地点を設け、プランクトンネット曳きによる調査、手釣り及び釣具による釣り調査を行うこととしていた。

プランクトンネット曳きによる調査は、NORPAC-Twin ネット(図 45、口径 45cm・ネット長約 2m・目合 0.335mm と目合 0.1mm)を用いる。水深 150m から 0m にかけて鉛直曳きを行い、採集されたプランクトンは中性ホルマリン海水にて固定し、その後、沈殿管に移して静置することでプランクトンの生物量(容積:L)を計測することとした。計測後にサンプル瓶に移して持ち帰り、実体顕微鏡を用いて、主要な動物プランクトン分類群(カイアシ類や枝角類、ヤムシ類など)の出現個体数を計数するものである。なお、NORPAC-Twin ネットは、北太平洋地域でプランクトンを調査する際に用いられる標準的なプランクトンネットであり、様々な研究機関等が同一種のネットを使って調査をすることでデータの比較可能性を担保している。

手釣り及び釣具による釣り調査では、「望星丸」の舷から、天秤仕掛け若しくは胴付き仕掛け(図 46)で、オキアミ、サバの切り身などを餌として、表層から海底付近(最大水深 1,000m)までを対象とした採捕を実施し、採集された魚類は、各種 1~3 個体を写真撮影用に冷凍で持ち帰り、写真撮影後に 10%ホルマリンで固定、70%エタノールに置換し液浸標本として、若しくは除肉し骨格標本として保管することとした。あわせて、得られた魚類のうち、多く採集された種に関しては、消化管を冷凍して持ち帰り、消化管内容物のマイクロプラスチック調査についても実施することとした。



(図 45) NORPAC-Twin ネット

(図46) 釣りによる魚類採取

# ウ 現地における調査活動の結果

プランクトンネット曳きによる生物採集は、調査期間全般にわたって海況が悪く、15m/秒以上の風と高いうねりが常に発生するなど、甲板作業や観測機器の曳航が安全に実施できないと判断されたことから、中止となった。

それに代わるものとして、6日(月)に島の南西において、船の海水汲み上げポンプによる表層水を用いた動物プランクトンの採集を試みた。生物相分析用採水の状況を表 16に示す。200Lの海水をプランクトンネット(目合 0.1mm)で濾し取ることで、少量の動物プランクトン試料を得た。5%中性ホルマリンで固定、持ち帰り検鏡したところ、小型カイアシ類がほとんどであった。

(表 16) 生物相観測用採水の状況

		採水地点①
		後部甲板にて採取 200L 表層水(水深およそ 5m)
	位置 (緯度)	20-24.3938 N
	位置 (経度)	136-04.6498 E
	年月日	2021.12.6 (月)
終了	時刻	08 時 41 分
	水深 (m)	904
	水温 (°C)	27.384
	塩分(psu)	34.254

沖ノ鳥島南西海域の表層水から得られた動物プランクトンの内訳を表 17 に示す。総個体数密度は  $1,610 \operatorname{ind/m^3}$ であり、カイアシ類が全体の 76.4%で優占して出現し、次いでノウプリウス幼生が多かった。

カイアシ類は体長 0.5mm 以下の小型の種がほとんどで、カラヌス目、キクロプス目、ソコミジンコ目の順に多かった。枝角類は Evadone 属(エボシミジンコ)、十脚類は Lucifer 属(ユメエビ)、尾虫類では Fritillaria 属(サイヅチボヤ)が 1 個体出現した。多毛類は遊泳性のゴカイと思われる個体の破片が採集された。また、単細胞動物の有孔虫も多数出現した。

(表 17) 動物プランクトンの出現分類群と個体数

分類群	個体数密度(ind/m³)
カイアシ類 カラヌス目	660
キクロプス目	385
ソコミジンコ目	185
枝角類(ミジンコ)	5
十脚類	5
節足動物ノウプリウス幼生	260
軟体動物(腹足類)	30
環形動物(多毛類)	5
脊索動物(尾虫類)	5
有孔虫	70

魚類相と消化管内のマイクロプラスチックの出現状況の把握を目的とした手釣り及び釣具による釣り調査についても、当日は風速 10m/秒以上、流速約3knot と極めて海況が悪かったため、実施は不可能と判断され、中止となった。

なお、船舶に飛び込んできたトビウオ科 3 種 5 個体を捕獲した。具体的には、オオメナツトビ(Cypselurus unicolor)2 個体、チャバネトビウオ(Cypselurus spilonotopterus)1 個体、ニノジトビウオ(Hirundichthys speculiger)2 個体であり、これらの 3 種は、加藤ほか(2006)によって沖ノ鳥島周辺に出現するトビウオ科魚類として報告された 8 種に含まれていた。

#### エ 考察、今後の課題等

船の海水汲み上げポンプによる表層水から出現した動物プランクトンのうち、カラヌス目カイアシ類は、Clausocalanidae 科と Paracalanidae 科の小型種がほとんどであり、これらは熱帯域の外洋表層に分布する種が多く含まれるグループである。そのほかの動物プランクトンも熱帯から温帯に分布する種類が主であり、本州周辺でみられるような中型から大型の動物プランクトンは出現しなかった。これらのことから、動物プランクトンの出現状況は、熱帯外洋域の特性を反映したものであったと思われる。

その一方で、沿岸・内湾性の Acartiidae 科カイアシ類も少数ではあるが出現し、さらにノウプリウス幼生のうち約 4 分の 1 は固着性のフジツボ類の浮遊幼生であった。採集測点は水深約 1,000mの外洋域ではあるが、沖ノ鳥島のリーフ内とその周辺は水深が浅いために沿岸性の種が生息しており、そこからリーフ外に流れ出した動物プランクトンが採集されたものと推定される。

中型動物プランクトンが多く生物量が高い温帯海域に比べて、熱帯海域は小型動物プランクトンが主であるために生物量は低いことが一般的であり、本調査海域も同様の結果であったと思われる。

今回の調査における動物プランクトンの採集は、船の汲み上げポンプを用いた海面下数メートルの採集であり、さらに1測点のみの結果である。そのため、調査海域における動物プランクトンの数的評価はできない。しかしながら、一般的な熱帯外洋生態系とは異なり、沖ノ鳥島内とその周辺に存在するサンゴ礁生態系や浅海域で生産された生物群の影響を少なからず受けている可能性が考えられた。

沖ノ鳥島周辺海域における海洋生物についての知見は少なく、海洋生態系に関する情報は不十分である。本調査航海においては荒天のために十分な観測はできなかった。外洋域に点在する島や海山は、ほかの外洋表層に比べて低次生物生産性が高くなるために、海洋生物が生息し、育成するための貴重な場所である。そのため、魚類などの水産生物の調査だけでなく、低次生物生産に関係するプランクトン等も評価することが必要である。その結果をもとに、沖ノ鳥島のリーフ内外の海洋生態系・食物連鎖を検討することで、海洋生態系における沖ノ鳥島の重要性は増すものと考えられる。

また、沖ノ鳥島周辺における魚類相研究としては、新宮ほか(1991)、加藤ほか(2006)、前田・小埜田(2006)、前田ほか(2006)、小埜田ほか(2006a)、小埜田ほか(2006b)、米山ほか(2006)及び三上ほか(2007)があり、トビウ

オ科やサバ科などの水産上重要種やクロボウズギス科などの稀種(木村ほか, 2015)が報告されている。しかし、これらの研究は、それぞれ数回の曳網もしくは投縄に止まり、近年においても沖ノ鳥島周辺から和名の提唱されていなかった稀種が得られているなど(石川ほか, 2020)、十分に本海域の魚類相が解明されているとは言い難い。加えて、沖ノ鳥島のリーフ内も含めて行われた研究は米山ほか(2006)及び三上ほか(2007)に限られる。

沖ノ鳥島は日本最南端の島であり、日本周辺海域に生息する魚類の種多様性を理解し、水産資源としての利活用を考える上で重要な海域である。今後の利活用の可能性などを検討していくため、リーフ内も含め包括的な生物相の調査が望まれる。

# (参考文献)

- 石川仁瓶, 大橋槙平, 田中文也, 清藤秀理, 中山直英. 2020. ホテイエソ亜 科魚類 *Eustomias gibbsi* の日本周辺海域における新たな記録. 魚類学 雑誌, 67 (1): 101-106
- 木村清志,米沢淳爾, Marcelo R. S. Melo. 2015. クロボウズギス科 *Pseudoscopelus obtusifrons* の日本からの記録. 魚類学雑誌, 62 (2): 177–182
- 加藤憲司, 小埜田 明, 前田洋志, 川辺勝俊. 2006. 沖ノ鳥島周辺海域で採集されたトビウオ科魚類に関する漁業生物学的知見. 東京都水産海洋研究報告, 1:65-71
- 前田洋志, 小埜田 明. 2006. 沖ノ鳥島周辺における仔稚魚相. 東京都水産 海洋研究報告, 1:31-49
- 前田洋志, 小埜田 明, 土屋 光太郎. 2006. 表中層トロールにより沖ノ鳥島 および伊豆・小笠原諸島周辺海域から採集された魚類および無脊椎動 物. 東京都水産海洋研究報告, 1:31-49
- 小埜田 明, 前田洋志, 米山純夫. 2006a. 沖ノ鳥島周辺海域における立て縄調査. 東京都水産海洋研究報告, 1:21-26
- 小埜田 明, 前田洋志, 米山純夫. 2006b. 沖ノ鳥島周辺海域における曳き 縄調査. 東京都水産海洋研究報告, 1:27-30
- 新宮千臣,田川 勝,山田梅芳,三谷卓美. 1991. 沖ノ鳥島周辺海域における漁業資源調査,沖ノ鳥島周辺海域の魚類. 西海区水産研究所. 154 pp 米山純夫,妹尾 晃太郎,前田洋志,小埜田 明,林原 毅. 2006. 沖ノ鳥島
  - サンゴ礁の海洋動物、東京都水産海洋研究報告、1:73-85

### ② マイクロプラスチック調査

#### ア調査目的

日常生活においてプラスチック製品が使われ始めて約60年が経つが、廃棄されたプラスチック類が海洋へ流れ着き、海洋プラスチック汚染(Marine Plastics Pollution)として問題となっている。マイクロプラスチック(以下「MPs」という。)とは、一般に5mm以下のプラスチック片のことを指し、主に海岸など、破砕され世界中で分布が認められている。Isobe et al. (2007)によれば、MPsの観測浮遊密度は、東アジア地域で3.70個/㎡、瀬戸内海で0.39個/㎡、北太平洋で0.12個/㎡、南極海で0.031個/㎡であり、人間活動との関係が示唆されている。生態系や海洋動物、人間社会にも影響する可能性がある環境中や生物体内の MPs の分布の広がりや生物への暴露状況等を知ることは重要であるが、外洋域における MPs の量や種類に関する情報は乏しい。そこで、陸域や人為的な影響を受けにくい特色を有している沖ノ鳥島の周辺海域において、浮遊 MPs の試料を得て、分布、種類、量等の情報を収集する。

### イ 調査方法

当初予定では、島周囲の 4 か所に観測地点を設け、ニューストンネット(図 47、離合社 Cat. No. 5552、口枠 75cm 角 (0.56G、ステンレス鋼製)・側長 300m・網地はニップ 60 目(目合 <math>0.35mm)・底管は塩化ビニール製( $10\phi \times 25cm$ ))を用いて、海水表面がネット開口部上端からおよそ 1/3 の位置になるようロープで調整し、船速 2knot で 10 分曳網することとした。

ネット揚収後は、濾水計を読み取り、外側から海水をかけてコッドエンド(採集されたプランクトンを濃縮して回収するネットの末端部分)に試料を流し落としてねじ口瓶に移し、冷凍(又は冷蔵)保存して持ち帰り、フェントン試薬(過酸化水素水に硫酸鉄(II)を混合したもの)で有機物を分解した後、溶液中の浮遊物を回収、MPsを抽出することとした。また、前記「①生物相観測」の手釣り及び釣具による釣り調査により得られた魚類のうち、多く採集された種に関しては、消化管を冷凍し持ち帰り、消化管内容物を調査することとした。





(図 47) ニューストンネット

# ウ 現地における調査活動の結果

調査期間全般にわたって海況が悪く、甲板作業や観測機器の曳航が安全に実施できないと判断されたことから、計画地点におけるニューストンネットの曳網による表層水の MPs 調査を行うことはできなかった。

それに代わるものとして、参考調査のため、船内研究室又は後部甲板にて水深およそ 5m の表層水を採取した。1,000L を目合  $330\mu m$  のメッシュで濾過後、採集物を 500ml (5 日 (日)分)又は 1,000ml (6 日 (月)分)のプラスチック広口瓶に回収し、冷凍( $-50^{\circ}$ C)で保存した。MPs 分析用採水の状況を表 18 に示す。なお、船内の配管を通過した海水は、沖ノ鳥島周辺海域の MPs を表すものではないことに留意が必要である。

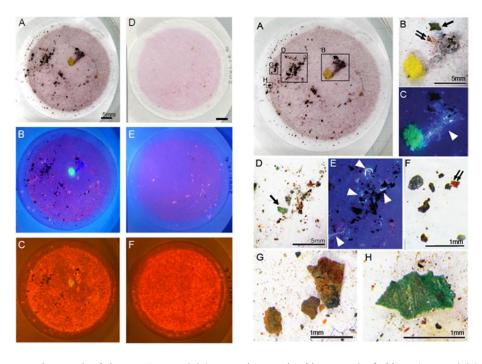
(表 18) MPs 分析用採水の状況

		採水地点①	採水地点②
		第二研究室 (ウェットラボ) にて採取	後部甲板にて採取
		1,000L 表層水(	・ 水深およそ 5m)
	位置 (緯度)	20-24.6593 N	20-24.8531 N
	位置 (経度)	136-05.1828 E	136-03.2981 E
	年月日	2021.12.5 (日)	2021.12.6 (月)
開始	時刻	14 時 15 分	09 時 09 分
	水深 (m)	_	1,095
	水温 (°C)	27.436	27.421
	塩分(psu)	34.283	34.249
	位置 (緯度)	20-24.0998 N	20-24.4108 N
	位置 (経度)	136-05.9175 E	136-04.2680 E
	年月日	2021.12.5 (日)	2021.12.6 (月)
終了	時刻	16 時 06 分	09 時 28 分
	水深(m)	_	1,036
	水温 (°C)	27.381	27.385
	塩分(psu)	34.288	34.253

帰港後、持ち帰った標本を、プラスチック表面に付着する蛍光性の染色試薬 であるナイルレッド(最終濃度 0.5 µg/ml)で染色後、ガラス繊維濾紙(Whatman GF/A)に濾過し、可視光、UV-LED 375 ブラックライト(コンテック PW UV943H-04)、及び青色 LED トランスイルミネーター(オプトコート LEDB-SB0XH) 照射下で観察した。その画像を図 48 及び図 49 に示す。

図 48 は、A~C が第二研究室及び CTD 格納庫のホースから汲んだ海水、D ~F が後部甲板ホースから汲んだ海水により得た試料で、A·D が明視野、B· Eがブラックライト照射、C・FがBVライト照射下である。

図 49 は、第二研究室及び CTD 格納庫から採取した海水をガラス繊維濾紙 (Whatman Gf/A) で濾過した様子であり、B 又は D は、濾紙 A 上の B 又は D 領域を拡大したもの、C 又は E は、B 又は D を同視野でブラックライト照射し たものである。濾紙上には様々な形状のものが見られ、繊維が絡まったもの(C、 D) やブラックライトで光る繊維も多く見られた(矢尻)。塗料片又はプラスチ ック片と思われるもの(矢印、H)が見られたが、周囲が鋭利なことから海洋上 の MPs ではなく船内のごみと思われる。また、サビと思われる茶色い小片も多 く見られた(二重矢印、G)。黒い鉱物のようなものも確認され(F)、海底火山 由来の軽石の可能性もあるが詳細は不明である。後部甲板で採取した海水から はほとんど小片は得られなかったことから、今回見られた小片は、海水ととも に船内の給水管を通過した船舶由来のものと思料される。



(図48) 採水で得た試料 (図49) 第二研究室等で得た試料

### エ 考察、今後の課題等

調査期間全般にわたって海況が悪く、ニューストンネットによる調査は実施できなかったため、海面表層のマイクロプラスチック調査の代替方法の可能性として、船内の配管を通過した表層水を採取し通常の方法で観察したが、得られた標本は調査海域のものか船由来のものなのか判別することはできなかった。

沖ノ鳥島は周辺に大陸や島などがない外洋離島であり、人間活動の影響を受けにくい海域としての海洋環境調査の観測点に適している。いわゆる低潮線保全法に基づく基本計画においても、沖ノ鳥島を拠点とした活動の目標として、人為的影響を受けない環境を生かした地球環境の観測等や、島の特徴を生かした地球規模での環境関連の観測、生態系、地球内部構造、海洋循環構造に関する観測を行う等の研究活動の拠点としての利用が掲げられている。調査に適している海況(波高 1~2m以内)で、島周辺域 3~5 箇所の調査を行うことができれば十分な結果が得られるものと考えられる。

#### 3 まとめ

沖ノ鳥島は、国土面積を上回る広大な排他的経済水域の根拠となる、国益に直結する国境離島である。いわゆる低潮線保全法により、周辺の排他的経済水域の保全及び利活用を促進することが必要な特定離島として指定されており、周辺海域も含めた維持・保全や利活用は東京都においても重要な課題である。さらに、維持・保全や利活用を進めていく上で、沖ノ鳥島について多くの方の理解・関心を得ていくことが欠かせない。

今回の調査航海では、日本最南端の国境離島である東京都の沖ノ鳥島の維持・保全や利活用に向けて、その手掛かりを得るため、現地の最新の状況を把握する基礎的な調査を実施した。調査に当たっては、多面的に調査・観測を行い、幅広く示唆が得られるよう、海洋にまつわる様々な分野で研究活動を行っている研究者を中心とした調査体制を構築した。このような学際を超えて多角的な視点に立った沖ノ鳥島周辺海域における研究調査は、実質的に初めての試みであったと言えよう。

直前に発生した台風の影響が残る強い風と厳しい波浪の中、現地の状況に応じ、 当初予定していた調査計画を随時変更せざるを得なかったが、島の外観や周辺海域 の水質、生物の生息状況など、今後の分析の基礎となる貴重な現地映像やデータ、 サンプル等を収集することができた。 外観調査では、ドローンによる島全景の空撮や、海洋の利活用を検討する上で最も基礎となる情報と言われる海底地形の分析及び3Dモデルによる可視化を行った。

また、海洋調査では、海水のサンプルを用いて、生物の生息・生育に欠かせない海洋の栄養分の状況や、環境 DNA 分析により周辺海域に生息することが推定される魚類種の把握を行うなど、海域利用の在り方の検討に資する基礎的情報を得た。

環境調査について、サンプリング用ネットの曳航による動物プランクトンや魚類、マイクロプラスチック等の採取は、海況が悪く実施できなかったが、表層水のサンプルの参考分析により、我が国唯一の熱帯気候に属し、陸域から隔絶された外洋離島である沖ノ鳥島の特異性の一端を把握することができた。

沖ノ鳥島は、他の海域や陸域からの直接的な影響を受けにくい地理的環境にあることから、今回の調査を通じて得られたデータやサンプルは、他地域における調査との比較対象の基礎となり得るものでもある。アクセスが難しく、学術的研究という視点での調査・観測情報が不足していると言われる国境離島や周辺海域の利活用の可能性などの検討を進めていくためには、更なる情報や知見の蓄積が欠かせない。今回の現地調査で得られた海底地形の情報を活用した AUV による有望資源の賦存状況の把握や、少なくとも 46 種の魚類の生息が確認された現地周辺海域における生物の捕捉、有用魚種の探索など、今回、荒天により実施できなかった調査をはじめ、今回の調査結果や課題を踏まえた新たな調査を行うなどのプロセスを繰り返し、成果を積み重ねていくことが必要である。

また、東京都では、本報告書にまとめた沖ノ鳥島周辺で実施した研究調査活動のダイジェスト動画を 2021 (令和3) 年 11 月に開設したウェブサイトに掲載しているほか、今回の現地調査に携わった研究者を招いたシンポジウムを 2022 (令和4)年3月に開催するなど、沖ノ鳥島について、より多くの方に知ってもらうための情報発信にも取り組んでいる。今後も、研究調査と情報発信を相互に連携し、その両面から、沖ノ鳥島の維持・保全や利活用等に取り組んでいく必要がある。