

東京都 沖ノ鳥島・南鳥島に関する研究調査事業
実施類型 A 実施機関 いであ株式会社

沖ノ鳥島周辺海域の海底地形及び 生物相把握のための研究調査

(令和4年度 成果報告書)

2023(令和5)年2月



目次

1. 報告内容の要旨	1
2. 研究調査の概要	2
2.1 研究調査開始当初の背景及び課題	2
2.2 研究調査の目的	4
2.3 研究調査の達成目標・期待される効果	4
2.4 研究調査の実施体制	6
3. 当年度の研究調査の実施内容	7
3.1 調査航海の行程等	7
3.1.1 航海スケジュール	7
3.1.2 使用船舶	8
3.2 海底地形調査	10
3.2.1 実施目的	10
3.2.2 実施方法	10
3.2.3 実施結果	12
3.2.4 考察	17
3.2.5 研究調査の成果（達成目標に対する到達度）、今後の課題・展望等	19
3.3 AUV 調査	20
3.3.1 実施目的	20
3.3.2 実施方法	20
3.3.3 実施結果	22
3.3.4 考察	43
3.3.5 研究調査の成果（達成目標に対する到達度）、今後の課題・展望等	44
3.4 環境 DNA 調査	45
3.4.1 実施目的	45
3.4.2 実施方法	45
3.4.3 実施結果	50
3.4.4 考察	58
3.4.5 研究調査の成果（達成目標に対する到達度）、今後の課題・展望等	58
4. まとめ	59
5. 資料	60
5.1 参考文献	60

5.2 資料..... 60

この報告書は、東京都が行う「沖ノ鳥島・南鳥島に関する研究調査事業」として決定された研究調査「沖ノ鳥島周辺海域の海底地形及び生物相把握のための研究調査」に係る今年度の実施内容を取りまとめたものです。

研究協力者（五十音順）

臼井朗（高知大）、岡西政典（広島修道大学）、小川晟人（国立科学博物館）、喜瀬浩輝（産業技術総合研究所）、木戸ゆかり（JAMSTEC）、櫛田優花（立正大学）、小枝圭太（琉球大学）、駒井智幸（千葉県立中央博物館）、藤原義弘（JAMSTEC）、松岡大輔（JAMSTEC）

1. 報告内容の要旨

研究調査の初年度となる令和 4 年度は、沖ノ鳥島周辺海域において、マルチビームソナーによる海底地形調査、AUV（自律型無人探査機）潜航調査及び CTD による水質観測、海水試料採水を実施し、魚類・甲殻類の環境 DNA 分析を行った。

海底地形調査では、沖ノ鳥島周辺海域の 2000m 以浅海域のほとんどのエリアで調査を行うことができた。調査範囲は昨年度の 3 倍以上をカバーすることができ、島周囲の詳細な地形が明らかとなった。これは、今後の島の利活用に寄与する重要な地形図であると考えられる。島の北方及び南西斜面は比較的なだらかで、南東、東、北東斜面は基盤の地質構造を反映していると考えられるやや複雑な地形であった。島の西方に正断層と推定される急峻な高まりがみられた。今後、さらに広範囲に詳細地形データ取得・解析等の調査を行うとともに底質観察と試料採取を実施することにより、島の成り立ちの解明、そして保全・利活用に向けた取り組みに資することが期待される。

AUV 調査では島の北側斜面で 3 回の潜航を行い、水深 1000m～1450m で海底の観察を行うことができた。取得した映像・画像で節足動物門 15 種類、棘皮動物門 13 種類、脊椎動物門 21 種類など合計 63 種類が確認された。その結果を地図上に整理することで一様に分布している種、分布に偏りのある種を確認した。さらに海底のモザイク画像を作成し、礫混じりの砂が広がる海底の様子を地図上で示すことができた。底質は、観察範囲では石灰岩、有孔虫砂などの生物起源によるものが支配的であり、島の基盤と考えられる火成岩は観察されなかった。海底試料採取は実施していないが、石灰岩に付着する黒色の薄層は、近隣海山で観察される鉄マンガンクラストの特徴とよく似ていた。

環境 DNA 調査では、2 地点において表層、水深 1000m・1700m の 3 層で採水された計 6 サンプルから 111 種類の魚類と 13 種類の甲殻類の DNA が確認された。そのうち、AUV 調査において確認された種と一致したのはシギウナギのみであったが、ホラアナゴ科やアッコウ科なども科レベルの分類で環境 DNA 解析と整合的であった。また、既報の採捕調査で確認されていると一致するものも 37 種類確認された。表層で種類数が最も多く検出されているのは予想通りであったが、1000m、1700m の深海においても一定数の種類数が検出できた。また、採捕調査の困難な深海魚も検出されており、環境 DNA 調査の有効性が示された。サンゴ礁が生息域と思われる魚類はほぼ表層に限られたのに対し、回遊性魚は各層で検出された。さらに、深海魚は 1000m 層で多くみられるなど、各層に生息する魚類が効果的に検出できている。甲殻類に関しては、沖ノ鳥島由来と考えられるサンゴ礁に生息する種はほぼ表層に限られている。また、深海種が多く検出されており、魚類同様、採捕困難な種の検出に環境 DNA 調査は有効であることが示唆されている。

2. 研究調査の概要

2.1 研究調査開始当初の背景及び課題

国土最南端に位置する沖ノ鳥島（図 2-1 参照）は、約 42 万 km^2 の排他的経済水域の基点となる重要な国境離島である。排他的経済水域は、海洋エネルギーや鉱物資源の開発、水産資源の開発及び利活用を排他的に行うことが認められており、国境離島周辺の広大な排他的経済水域の活用を見出すことは国益にも大きく寄与する。沖ノ鳥島周辺海域では、これまで工業技術院により 80 年代にコバルトやニッケル等の貴重な金属を多く含む、マンガンクラストが確認されている。90 年代には海上保安庁の調査により周辺海域の 5 万分の 1 の海底地形図が作成され、2000 年以降は東京都による水産振興のための魚類等の生態調査が実施されてきたが、東京から約 1,700km 離れているという地理的特性もあり、科学的研究調査は進んでいない状況であった。また、周辺に海洋島が存在しない絶海の孤島という特性上、特異な生態系が形成されている可能性があるが、そうした生態系の開発等による環境への耐性も不明であり、生物多様性の現状把握及び十分な環境モニタリングが今後の利活用には必要となる。

昨年（令和 3 年）実施された現地調査では荒天の為、沖ノ鳥島の南側における海底地形測量調査の実施に留まり、自律型無人探査機（AUV）による潜航調査は実施することができなかった。また環境 DNA 調査においても荒天の為、表層 5m の採水しか行えず、沖ノ鳥島周辺の岩礁に生息する種や回遊性の種が主に検出され、深海性の出現種は限られた種しか検出されていない（表 2-1 参照）。マルチビームソナーによる調査では島の南西側の詳細な地形データを得たことで、過去の海底地形変動の可能性が示唆され（図 2-2 参照）、本調査において島全域の詳細な地形データを得ることができれば、沖ノ鳥島の構造発達史及び、今後の島の利活用の基礎資料になるものと考えられる。

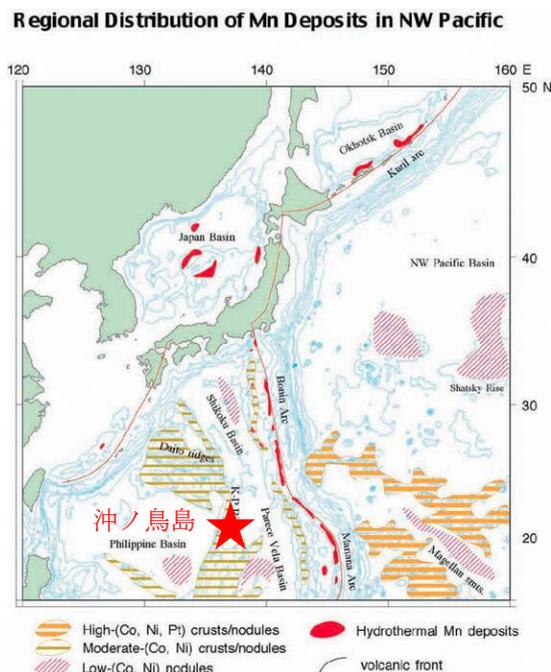


図 2-1 沖ノ鳥島の位置図（出典：高知大学 海底鉱物資源研究室 HP 一部改変）

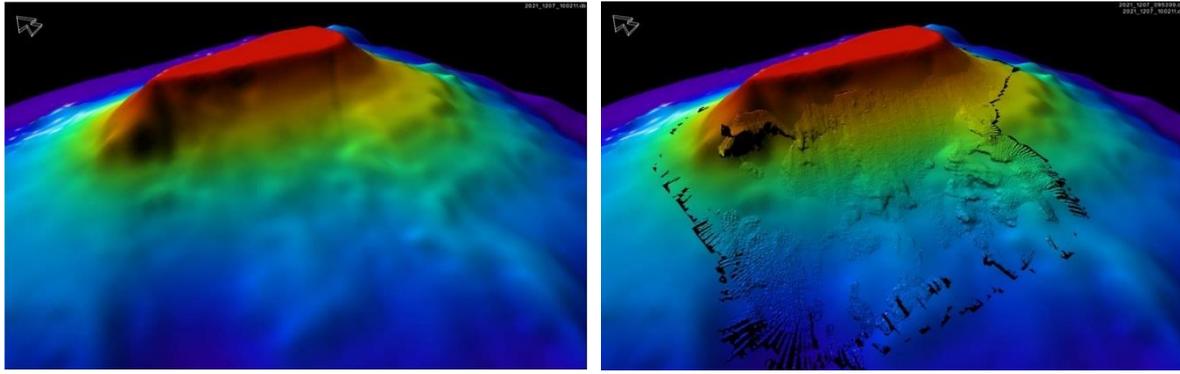


図 2-2 海底地形図（海上保安庁 1991）をもとに作成した 3D モデル（左：50m メッシュ）、右図に令和 3 年度の調査において得られた海底地形を重ねた 3D モデル（右：5m メッシュ）
（出典：沖ノ鳥島周辺における研究調査（報告書）令和 4 年）

表 2-1 令和 3 年度の環境 DNA 調査の結果

（出典：沖ノ鳥島周辺における研究調査（報告書）令和 4 年）

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

2.2 研究調査の目的

日本の最南端に位置する小笠原諸島の沖ノ鳥島は、日本の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り、周辺海域も含めた維持・保全や利活用等は、東京都においても重要な課題となっている。一方で、アクセスが難しく、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を図ることが欠かせない。そのため、都では、令和3年12月に実施した沖ノ鳥島周辺における現地調査の結果も生かした沖ノ鳥島の維持・保全や利活用等につながる研究調査を深め、都民生活や東京の都市力の維持発展に資することを目的として、研究調査を行うものである。

2.3 研究調査の達成目標・期待される効果

本研究調査が実施されることにより、沖ノ鳥島の成り立ち、周辺海域のマンガングラストの賦存及び生物相に関する知見が得られることが期待される。沖ノ鳥島の成り立ち＝構造発達史がわかれば、九州・パラオ海嶺に分布する海山の中で、なぜ本島のみが水没せず、我が国の領土を形成しているのか、また、将来的に地殻変動を含む作用でどのような姿になっているか、今後の本島の維持・保全、利活用等の上で重要な知見をもたらすものである。マンガングラストに関しては、本島及び周辺海域において確認されているのはその存在のみであり、南鳥島及びその周辺海域に比べて得られている情報は極わずかである。本調査で本島斜面の賦存状況が詳細に観察できれば、周辺海域での効率的な海底鉍物資源調査の重要な基礎情報となる。南鳥島海域における系統的な調査により、レアアース泥、マンガングラスト、マンガングラストの3種の鉍物資源がここ10年で多量に見つかり産業化のための技術開発が進んでいる。沖ノ鳥島周辺海域においても同様の状況であることは十分に期待できる。また、本調査において得られた生物相に関する知見により、離島環境での特異な生物群集の現況を把握できるとともに、環境評価を含めた将来的な開発の基礎的なデータとなり得る。鉍物・生物における基礎的なデータは沖ノ鳥島及び周辺海域の利活用を進めるために重要なデータとなり、利活用が進むことは、東京都のさらなる発展にもつながる。

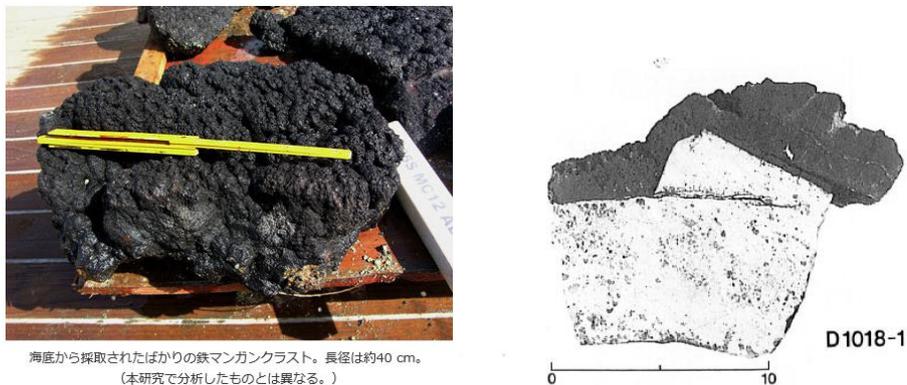


図 2-3 他海域で採取されたマンガングラスト(左：国立研究開発法人産業技術総合研究所 HP より)と沖ノ鳥島周辺海域で採取されたマンガングラスト(右：工業技術院、1989)

1. 事業の概要

(4) 事業の必要性

① 海洋資源開発の拠点形成

平成22年7月13日に閣議決定された低潮線保全基本計画において、我が国の排他的経済水域等に存在する鉱物資源の円滑な開発・利用を推進することとされている。

海洋資源開発にあたっては、掘削船や運搬船等への補給や、採掘した鉱石の積み替え等のため、近隣に船舶の係留等が可能な拠点が必要となる。

沖ノ島島周辺海域は、再生可能エネルギーの安定供給や、自動車のEV化の基盤として需要が高まっているコバルトやニッケルを含有したクラストの賦存が期待されていることから、港湾施設を早急に整備し、特定離島の周辺海域における海洋鉱物資源開発を推進することは極めて重要である。



出典:「海底鉱物資源未利用レアメタルの探査と開発 (臼井朗著、オーム社)」を元に作成



コバルト



ニッケル



電池・自動車部品
(ニッケル、コバルト)



フェロニッケル
(ステンレス鋼の材料)
(ニッケル)

図 2-4 関東地方整備局 HP より

(令和3年9月15日 関東地方整備局 事業評価監視委員会資料)

2.4 研究調査の実施体制

本研究調査の実施体制を表 2-2 に示した。

表 2-2 実施体制

担当項目	所属	氏名
管理技術者 現場責任者	いであ株式会社 環境調査事業本部 外洋調査部	高島 創太郎
総括	いであ株式会社 環境調査事業本部	木川 栄一
生物分析	いであ株式会社 環境創造研究所 環境生態部	横岡 博之
環境 DNA	いであ株式会社 環境創造研究所 遺伝子解析室	白子 智康
AUV 運用	いであ株式会社 環境調査事業本部 外洋調査部	長野 和則
AUV 運用 マルチビームデータ 解析	いであ株式会社 環境調査事業本部 外洋調査部	高月 直樹
AUV 運用	いであ株式会社 環境調査事業本部 外洋調査部	田岡 智
事務担当者	いであ株式会社 営業本部 東日本営業情報部	長井 大
調査船運用	海洋エンジニアリング株 式会社	福永 卓司

3. 当年度の研究調査の実施内容

3.1 調査航海の行程等

3.1.1 航海スケジュール

本研究調査において実施する航海は、台風等や荒天の影響を勘案し表 3-1 に示す、航海の候補期間を設定し、第一候補期間において、表 3-2 に示す航海スケジュールで実施した。

現地での調査項目は、海底地形調査、AUV 調査、環境 DNA 調査とするが、限られた調査日数を有効活用するため、現地の気象・海象状況を考慮した上で、船側と実施項目を調整し、安全第一で実施可能な調査エリアや調査項目を優先し、調査を実施する方針とした。

実際の現地調査詳細スケジュールは、表 3-3 に示すとおりとした。

表 3-1 航海実施予定期間

実施候補	期間
第一候補	令和 4 年 8 月 14 日～令和 4 年 9 月上旬
第二候補	令和 4 年 9 月中旬～令和 4 年 10 月中旬

表 3-2 航海スケジュール実績

航海日程	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	8/14	8/15	8/16	8/17	8/18	8/19	8/20	8/21	8/22	8/23	8/24	8/25
作業内容	艀装 出航	回航	回航	回航 現地着	調査	調査	調査	調査 現地発	回航	回航	回航	帰港 解装
海底地形 調査				XCTD	●	●	●	●				
AUV 調 査							● Dive01 Dive02	● Dive03				
環境 DNA 調査					● St.1	● St.2						

表 3-3 現地詳細スケジュール

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	備考
8/17 0日目	研究者	回航																								到着後 XCTD	
	船側																							現地着	XCTD		
8/18 1日目	研究者						表層 採水	採水 処理	AUV 試験	CTD																	到着後、沖ノ島島を一周し状況を視察 AUV超音波通信試験、着揚試験 CTD採水・環境DNA
	船側	移動	MBES				沖ノ島島 視察																		MBES		
8/19 2日目	研究者								ミー ティング	表層 採水	CTD																荒天のため、AUV調査中止 CTD採水実施
	船側		MBES																							MBES	
8/20 3日目	研究者								準備		AUV潜航						揚収										AUV投入7時揚収16時を目安
	船側		MBES						移動																	MBES	
8/21 4日目	研究者								準備		AUV潜航						揚収	回航 準備									AUV投入7時揚収15時30分を目安
	船側		MBES						移動																		

3.1.2 使用船舶

本研究調査で使用する船舶は、図 3-1 に示す海洋エンジニアリング株式会社の所有する第二開洋丸とした。第二開洋丸の配置図を図 3-2 に示す。

なお、出港場所及び帰港場所は、久里浜港を使用した。

諸元		外観
船舶名	第二開洋丸	
所有者	海洋エンジニアリング (株)	
全長	62.87m	
総トン数	842 トン	
乗船 研究者	最大 15 名	

図 3-1 第二開洋丸の概要

IMO 船舶識別番号：129317

信号符字：8KYO

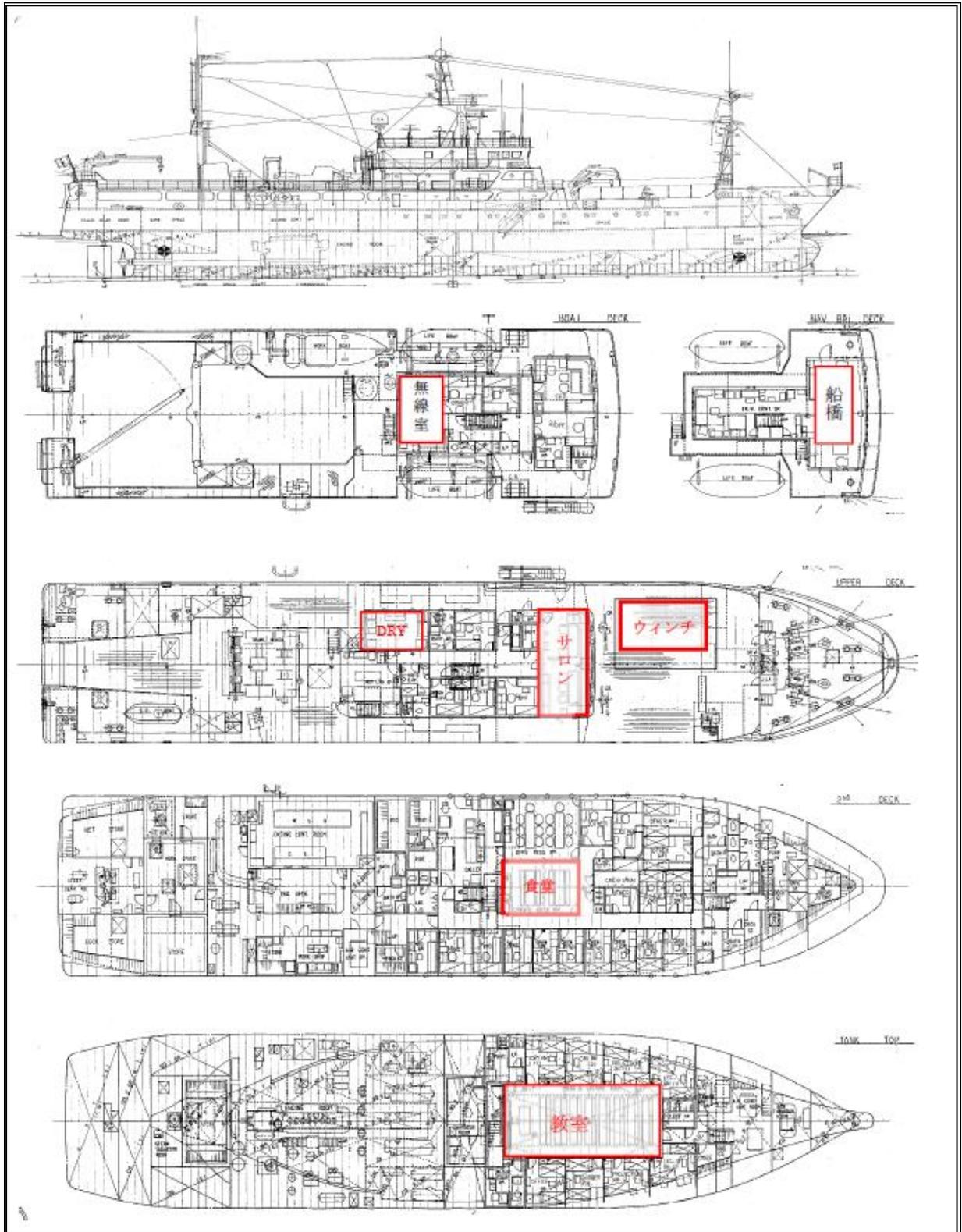


図 3-2 第二開洋丸配置図

3.2 海底地形調査

3.2.1 実施目的

昨年実施された現地調査では、マルチビームソナーによる調査では島の南西側の詳細な地形データを得たことで、過去の海底地形変動の可能性が示唆され（図 2-2 参照）、マルチビームソナーによって得られたデータは沖ノ鳥島の成り立ち＝構造発達史を解明する為の重要なデータとなることが示された。しかし、依然として沖ノ鳥島全域でのデータはまだ不足している。その為、本調査において島全域の詳細な地形データを得ることで、沖ノ鳥島の構造発達史及び、今後の島の利活用の基礎資料となりうるデータを取得することを目的とする。

3.2.2 実施方法

第二開洋丸に艀装しているマルチビームソナー（EM304 Kongsberg 社）を用いて、海底地形の調査を行うものとした。調査イメージを図 3-3 に示し、データ取得状況を写真 3-1 に示した。

調査エリアは、昨年度実施できなかった島の北側海域を中心とし、過去にマンガクラストが採取されている本島西側、北東側海域の 2,000m 以浅とした(図 3-4 参照)。

本調査で得られた海底地形をもとに、AUV 調査における潜航地点及び調査経路を選定するものとした。

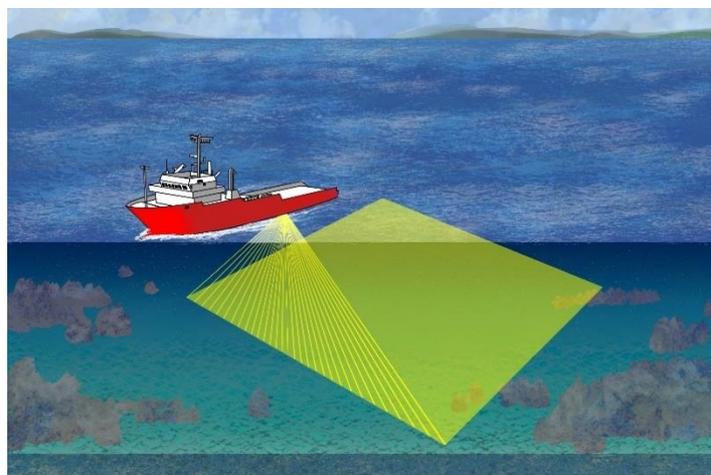


図 3-3 マルチビームソナーによる海底地形調査イメージ

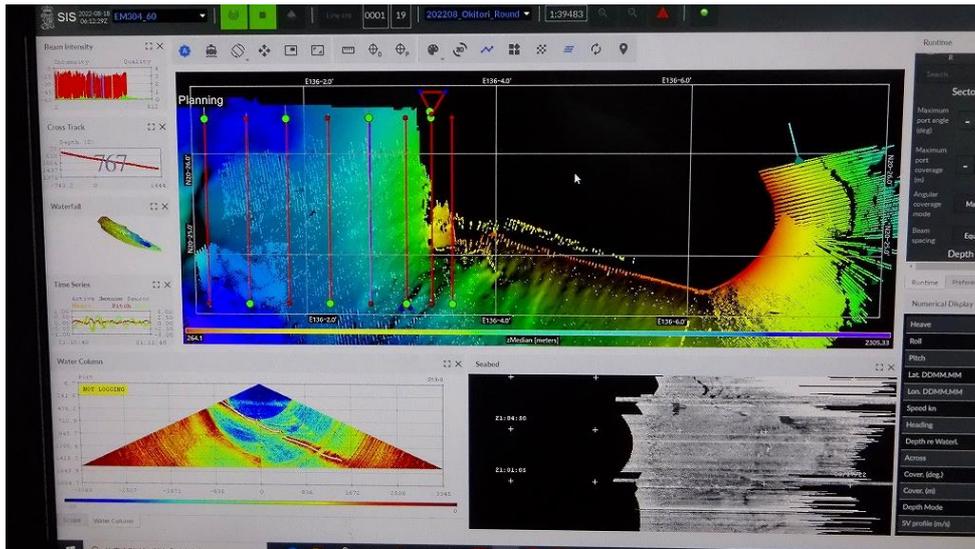


写真 3-1 マルチビームソナーによるデータ取得状況

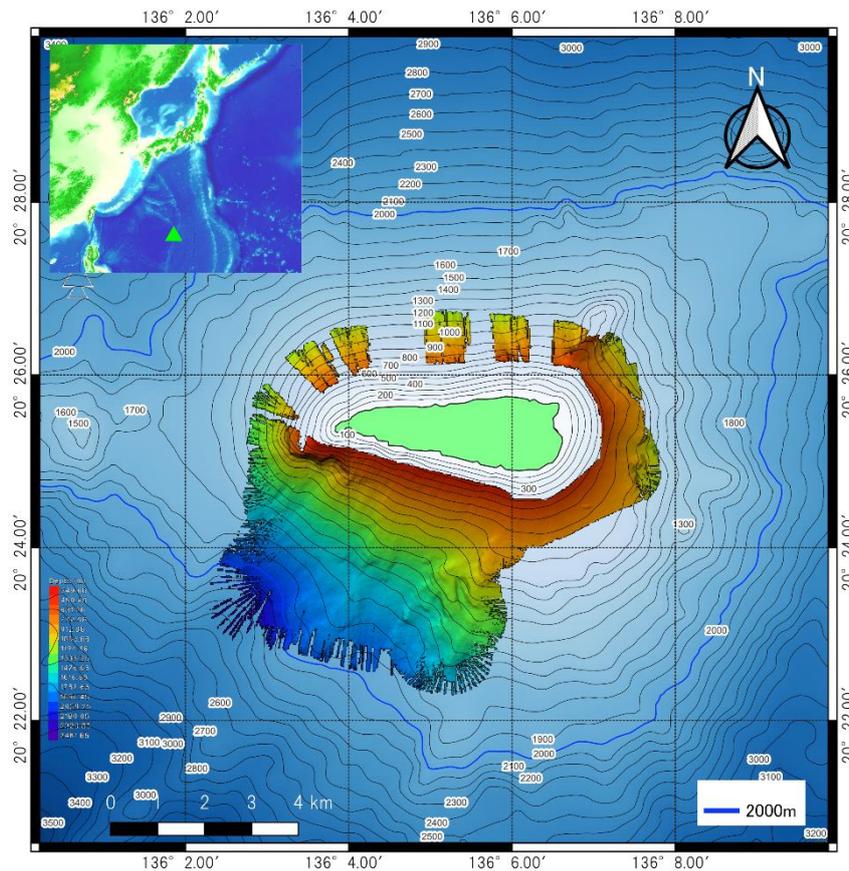


図 3-4 海底地形調査位置図

(段彩図は昨年のデータ、水深 2000m 以浅エリアが本年の調査対象エリア)

3.2.3 実施結果

海底地形調査は 8/18-21 の 4 日間に渡り実施し、沖ノ鳥島周辺海域の 2000m 以浅の海域のほとんどのエリアについて調査を行うことができた。調査面積は 146km²であった（昨年度は 37km²）。図 3-5 に航跡図を、図 3-6 に本年のデータによる測量結果を、図 3-7 に昨年のデータによる測量結果を、図 3-8 に昨年のデータと結合させたデータによる測量結果を示す。また、海上保安庁（1991）の海図をもとに作成した 3D モデルと本年と昨年のデータを元に作成した 3D モデルを図 3-9 に示す。本年度及び昨年度のデータは 10m メッシュのデータで、海上保安庁（1991）の海図の元データは 900m メッシュのデータである。本年のデータは波浪により、昨年のデータが取得できた島の南西エリアのデータ取得状況が思わしくなく、昨年のデータと合わせることでより広範囲の地形を示した。

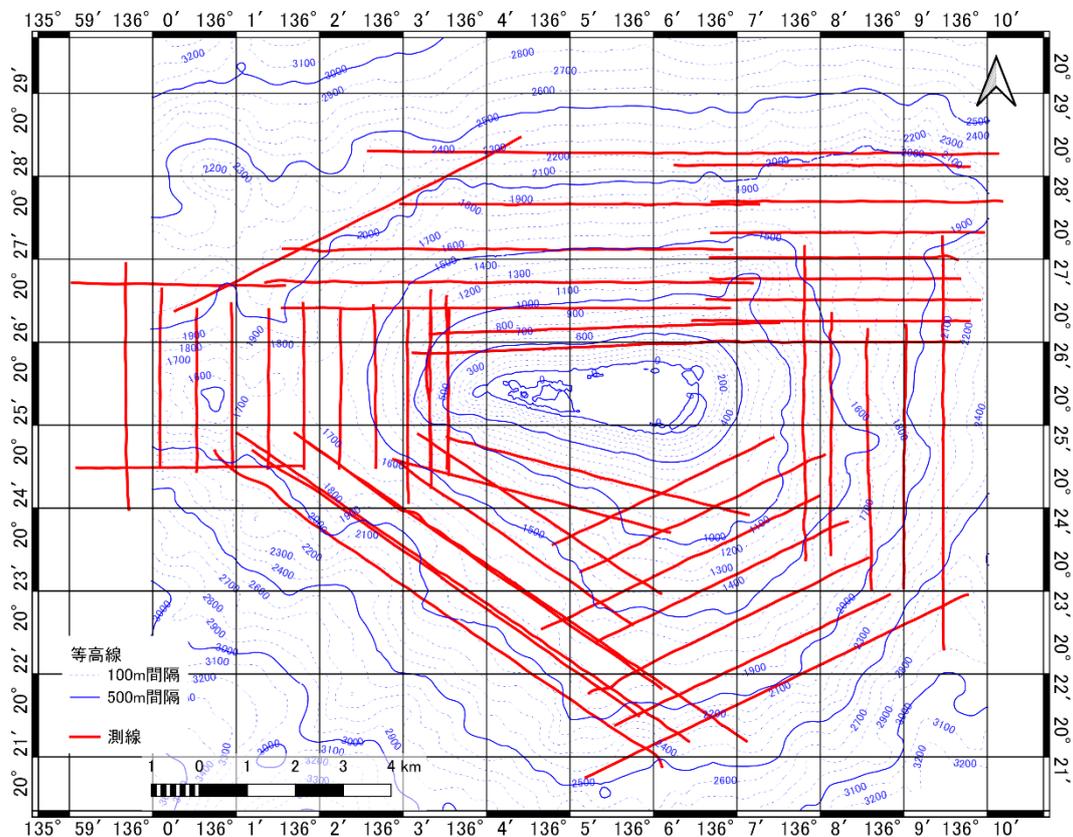


図 3-5 海底地形調査の航跡図

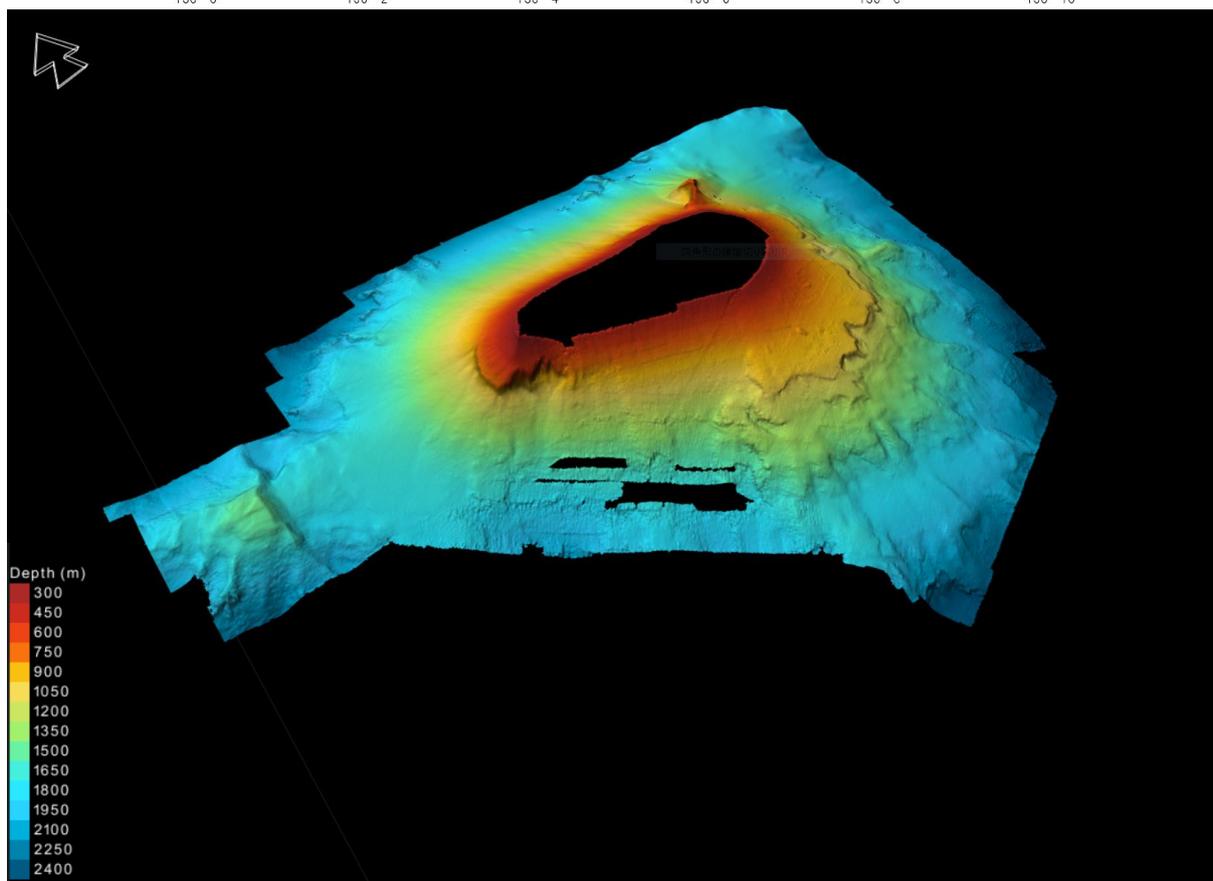
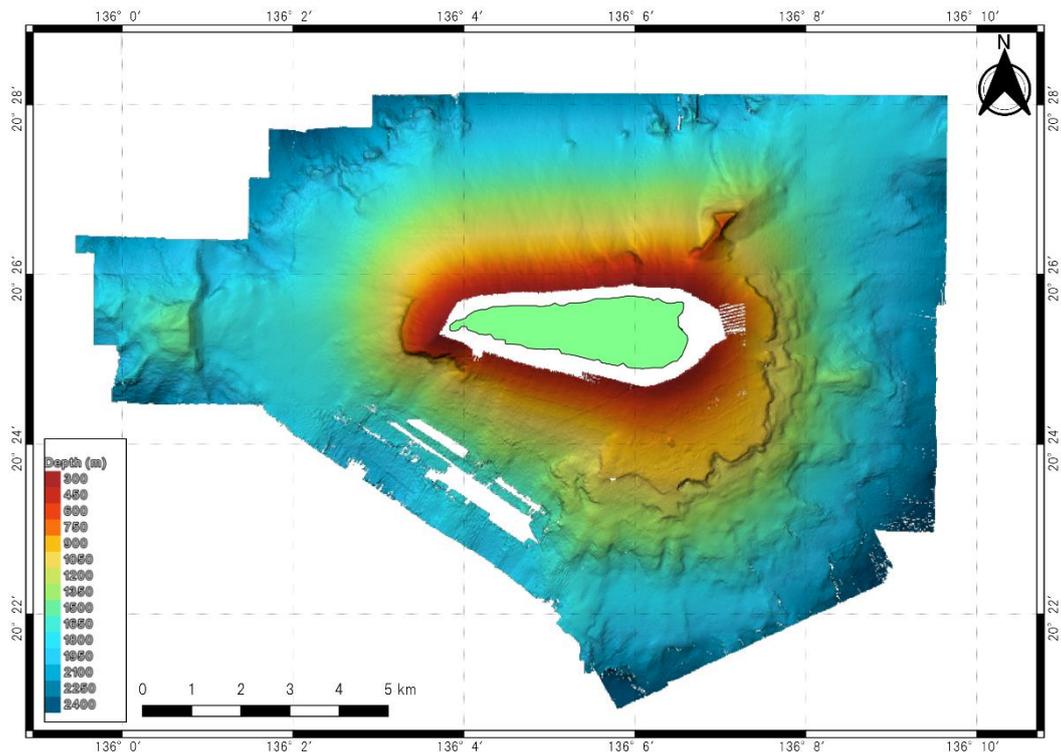


図 3-6 本年度の調査結果

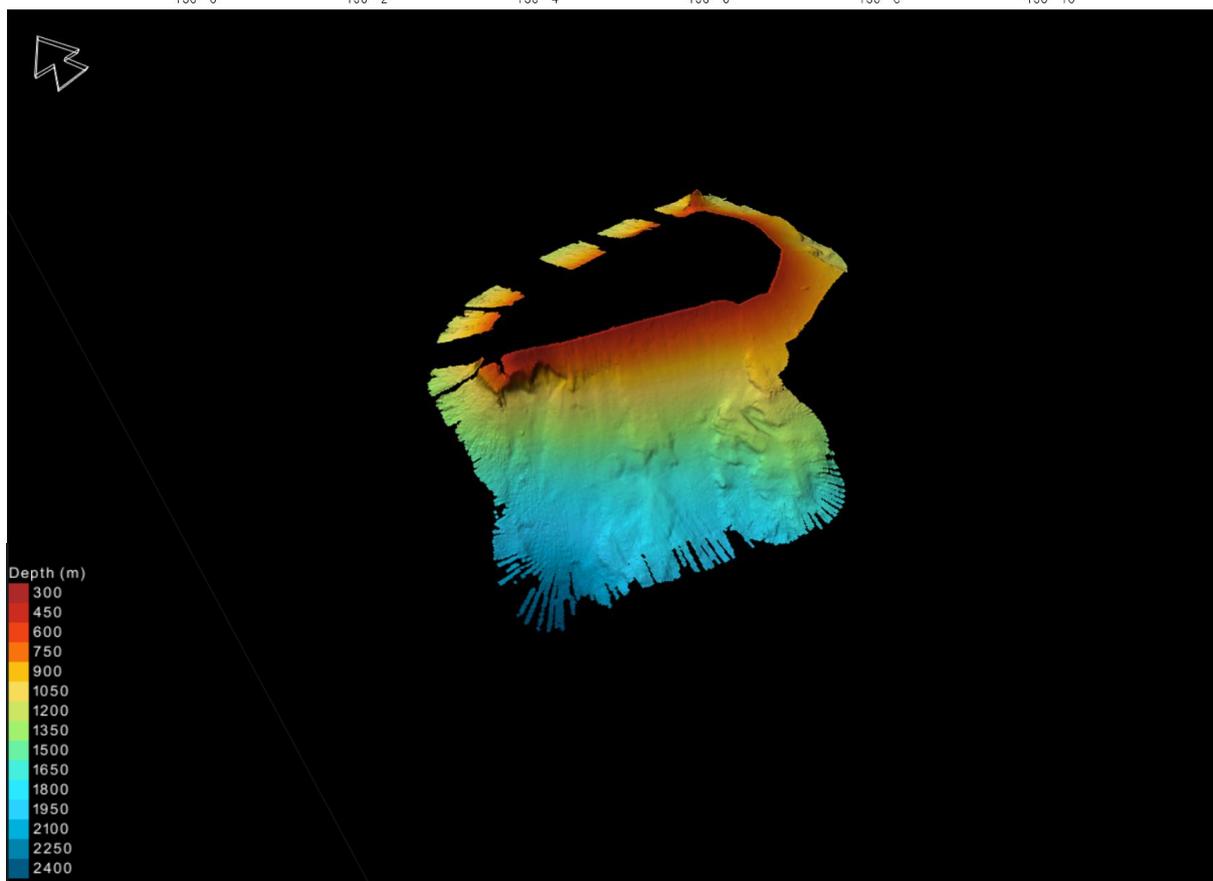
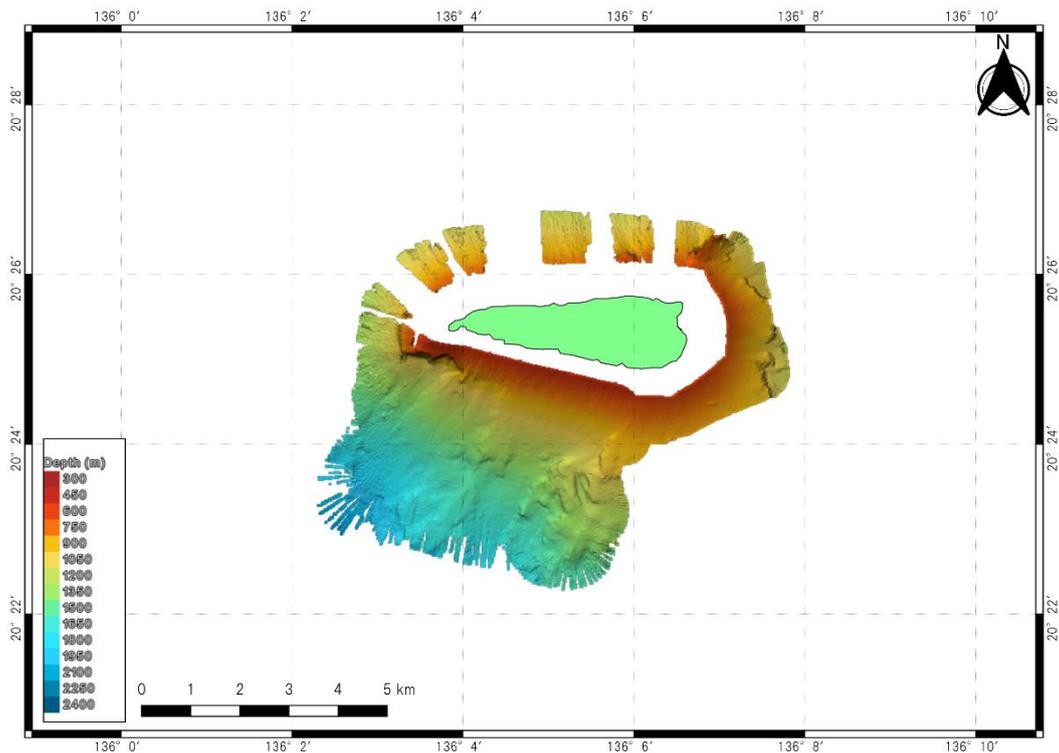


図 3-7 昨年度の調査結果

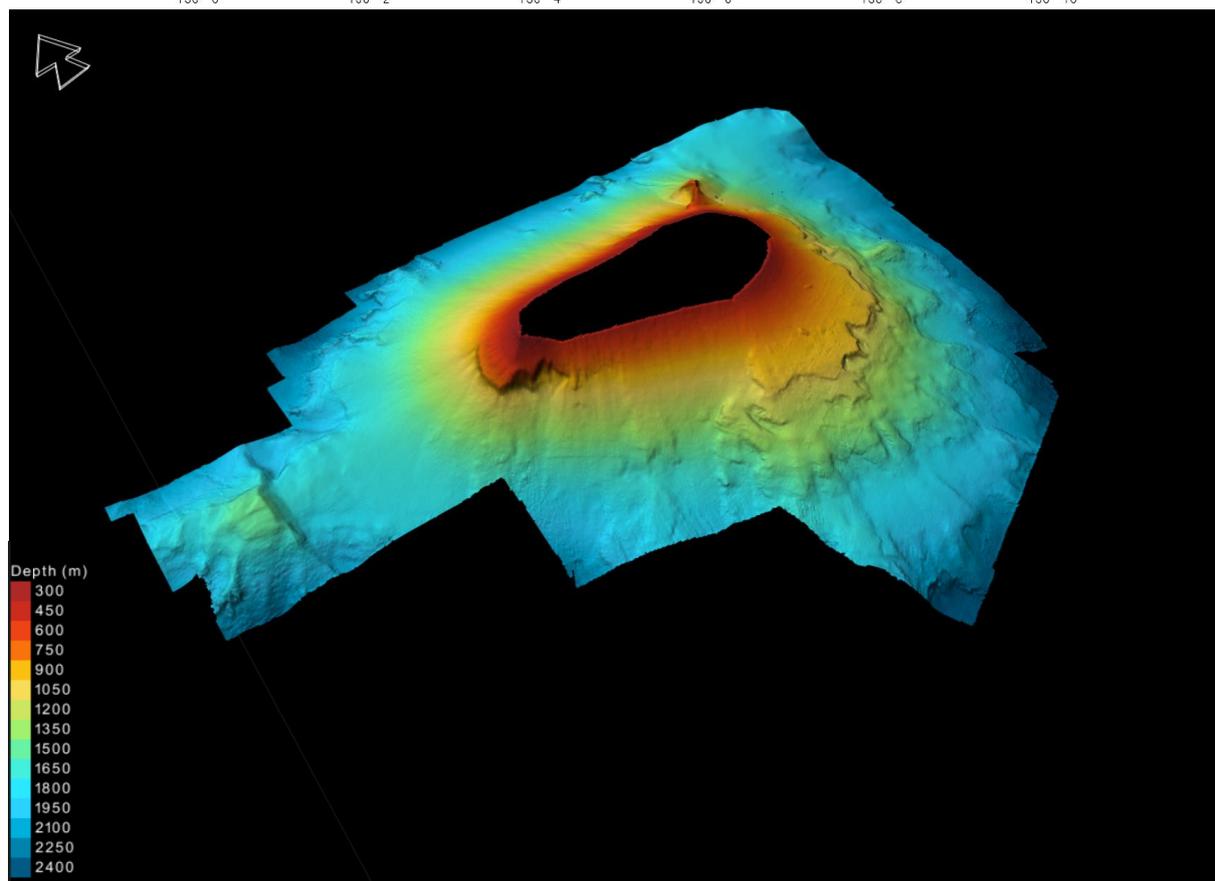
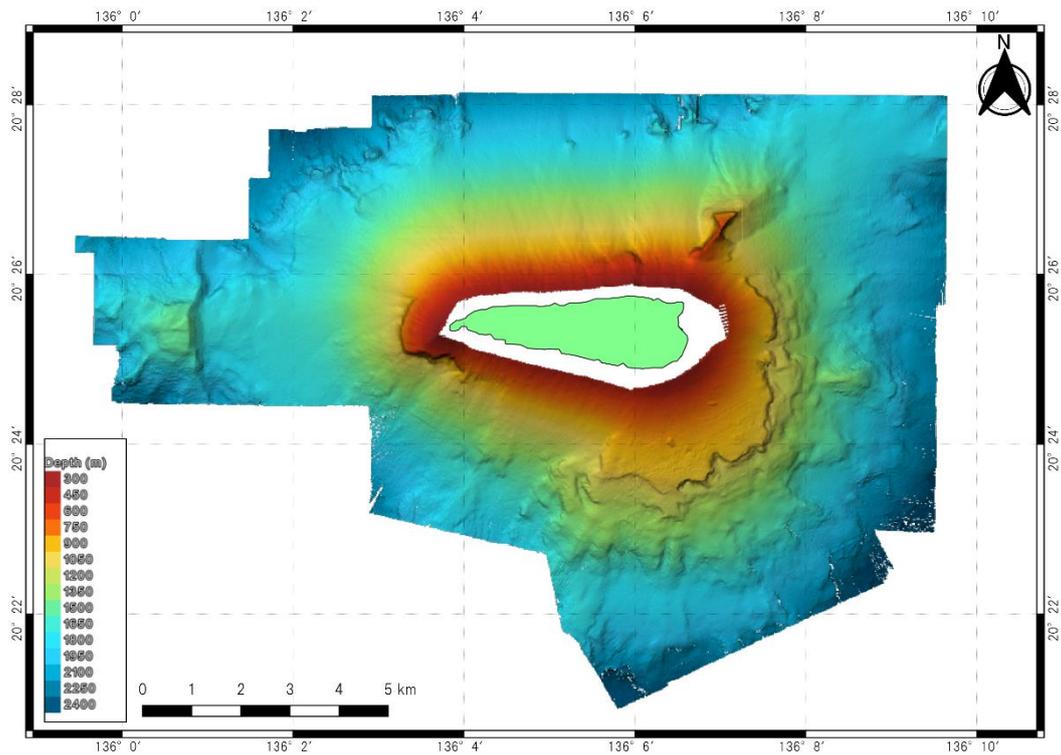


図 3-8 本年度と昨年度の調査結果を合わせたデータ

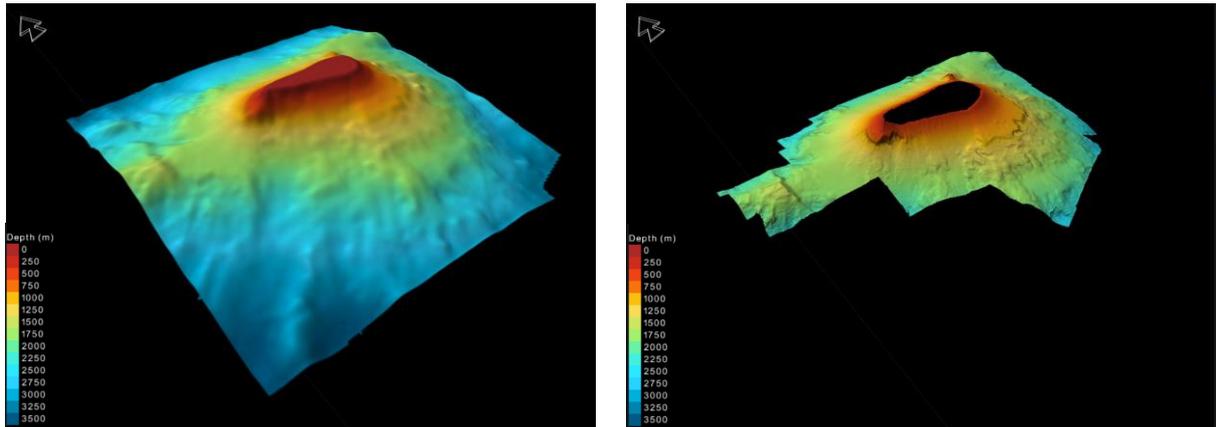


図 3-9 海底地形図（海上保安庁 1991）をもとに作成した 3D モデルと本年度と昨年度のデータを元で作成した 3D モデル

3.2.4 考察

本年と昨年データを重ねることで、沖ノ鳥島周辺海域のほとんどを確認することができた(図 3-8)。島の北方及び南西斜面は比較的なだらかで、南東、東、北東斜面は地質構造を反映していると思われるやや複雑な地形であった。この内、特徴的な地形を図 3-10 に示す。

島北東側ではほぼ南北走行のやや急峻な地形的高まりが確認された。該当部の水深の頂点部は水深約 600m、裾野部は 1000m 程である。その形状については沖ノ鳥島が沈降する過程での波浪等による浸食作用の影響が考えられるが、当該部分だけ形状を残していることから、沖ノ鳥島本島を構成する基盤岩との関連が示唆される。また、島の西側では正断層と思われる急峻な地形の高まりが確認されている。この断層がどこまで続いているかは今回の海底地形の調査範囲からはその全貌を確認することができなかった。今後の調査でその規模を明らかにすることは本島の成り立ちを考察する上で重要な知見となり得ると考えられる。海上保安庁(1991:900m メッシュ)の海図を元にしたデータでは、このような特徴的な地形はある程度判別はできたものの、崖状の地形になっていることまでは確認できず、今回の調査で得られた詳細な 3D モデルで明確になったものである。

今後、詳細な地形解析を実施するにあたり、深層学習による海底地形図の超解像手法を開発した。具体的には、沖ノ鳥島の 5 万分の 1 海底地形図に対して、50m メッシュから 12.5m メッシュへの 4 倍の詳細化を実現するものである。適用した超解像手法は、ESRGAN と呼ばれる深層畳み込みニューラルネットワークによる超解像アーキテクチャを海底地形図用に改良したものである(日高他、2021)。日高らの開発した手法は、沖縄トラフの 100m メッシュおよび 50m メッシュのデータから学習を行った 2 倍超解像モデルであるが、各種パラメータのチューニングによって 4 倍超解像モデルへと拡張した。

入力した低解像度画像、正解値として使用する高解像度画像、および超解像モデルを適用した結果を図 3-11 に示す。高解像度画像は今年度調査において得られたデータから、精度検証用に切り出しを行ったものである。沖ノ鳥島の北北東に位置する急峻な谷上の地形(黒点線内)に着目すると、超解像結果では、高解像データに見られるのとほぼ同様にシャープな地形が再現されていることが分かる。つまり、超解像手法により低解像データから高解像画像を得ることができる。今回用いた超解像モデルは沖縄トラフのデータのみで学習されたものであるが、今後、沖ノ鳥島周辺の海底地形パターンも学習することで、より精度の高い超解像を得られるように改良を加えていきたい。この超解像手法を用いて、低解像データのみしか存在しない海域においての詳細な海底地形解析を実施していきたいと考えている。

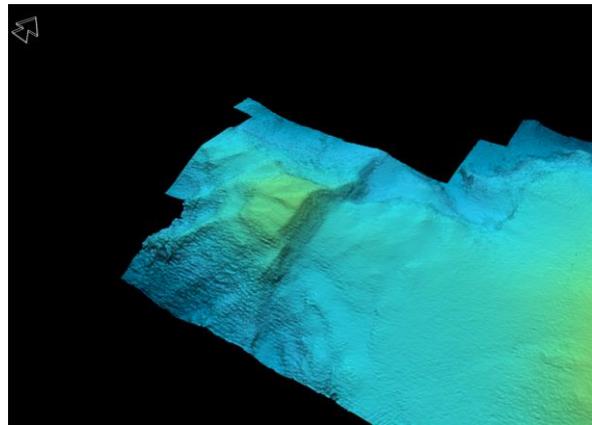
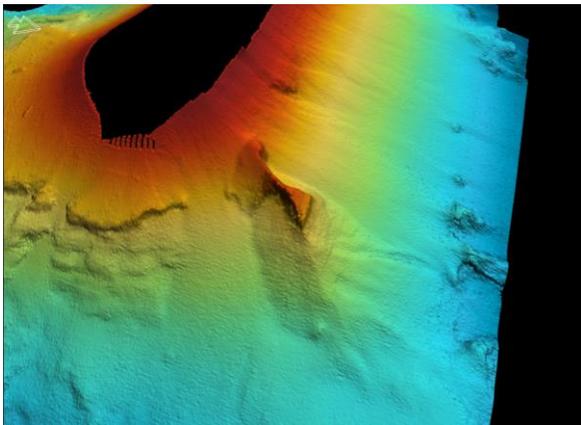
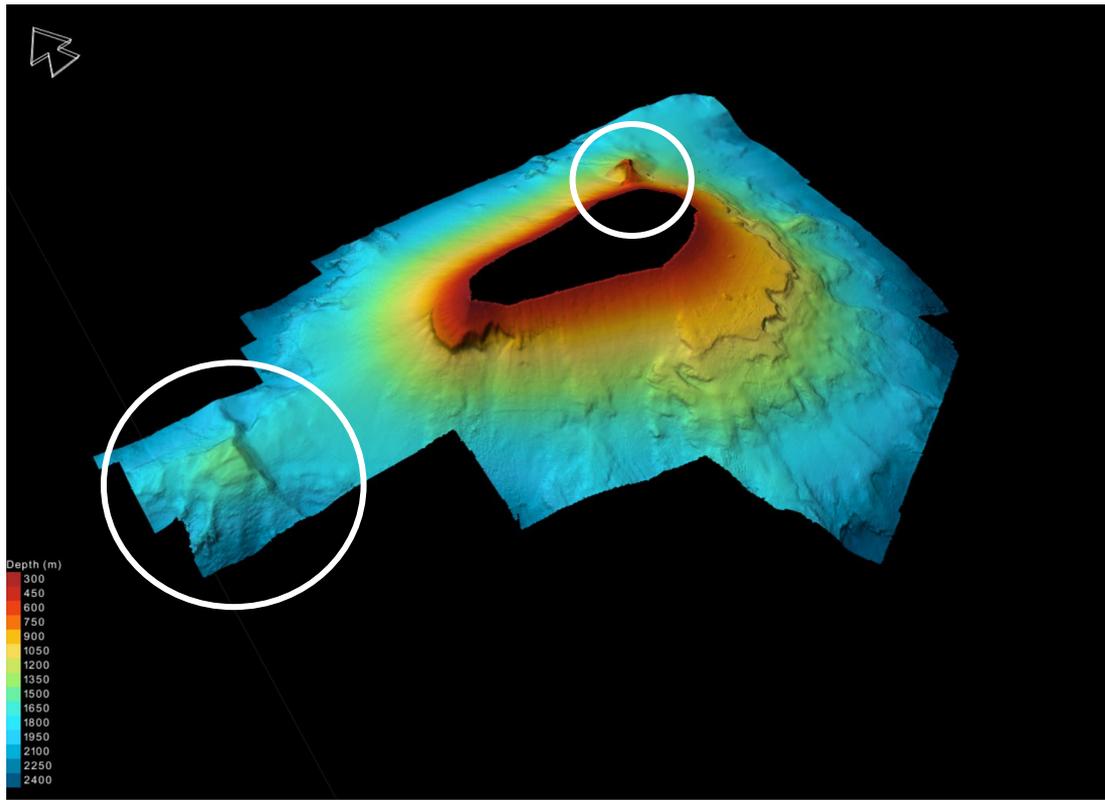


図 3-10 海底地形調査で確認された特徴的な地形

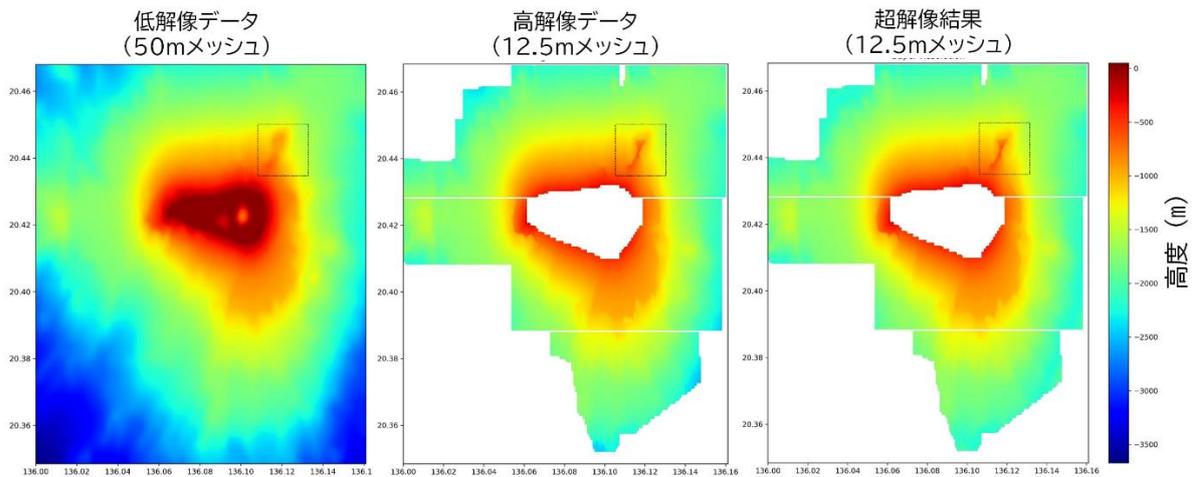


図 3-11 低解像度画像、高解像度画像および超解像モデルを適用した結果

3.2.5 研究調査の成果（達成目標に対する到達度）、今後の課題・展望等

本年度の調査結果によってマルチビームソナーによって得られたデータは沖ノ鳥島の成り立ち＝構造発達史を解明する為の重要なデータとなりうることを示されたが、海底地形だけでは、特徴的な地形を述べることはできず、実際の観察及びサンプルの採取も併せて実施することで、さらなる見解を得ることが可能だと考えられる。本年度の調査で実施した AUV による調査では、AUV は急峻な地形の調査を得意としておらず、またサンプルの採取ができないため、ROV あるいは、ドレッジによる試料採取を行うことでさらなる見解を得ることが可能だと考えられる。

沖ノ鳥島は、約 4 千万年から 2 千万年の間の海底火山活動により形成された海洋島が沈降する過程でサンゴ礁が堆積したのが島の成り立ちである。今回の調査でも上述したような地形的特徴がわかったが、今後、当該海域でのより広範囲な詳細地形調査及び島の基盤となる火成岩試料の採取分析を実施することができれば、島の形成過程が明らかになり、島の保全・利活用に向けた取り組みに資することが期待される。

3.3 AUV 調査

3.3.1 実施目的

海底地形調査では広範囲の海底地形の把握を行うことができるが、実際の海底の映像を視覚的に捉えることができない。また、既往調査で行われている直接的な底質の採取では、スポット的な情報しか得ることができない。そこで、AUV を用いて海底撮影を行い生物相や基盤岩、造礁サンゴ及び鉱物資源の有無を視覚的にまた広範囲に渡って確認することを目的とする。

3.3.2 実施方法

ホバリング型 AUV「YOUZAN」を用いた海底面の観察を実施する。「YOUZAN」は最大潜航深度 2,000m、最大 8 時間の潜航が可能であり、事前にプログラムされたコース・高度で海底を探索することができる。「YOUZAN」の諸元を図 3-12 に示し、潜航イメージを図 3-13 に示した。

AUV 調査で得られた海底映像より、生物の生息状況の確認を行い、環境データや海底質と合わせて航跡上に生物の分布状況を整理し、ハビタットマップの作成を行うものとした。

なお、ハビタットマップは、GIS 上で一元管理し、生物の分布状況に関して可視化が可能となる整理を実施した。



ようざん
YOUZAN

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	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 3-12 ホバリング型 AUV「YOUZAN」諸元



図 3-13 「YOUZAN」の潜航イメージ

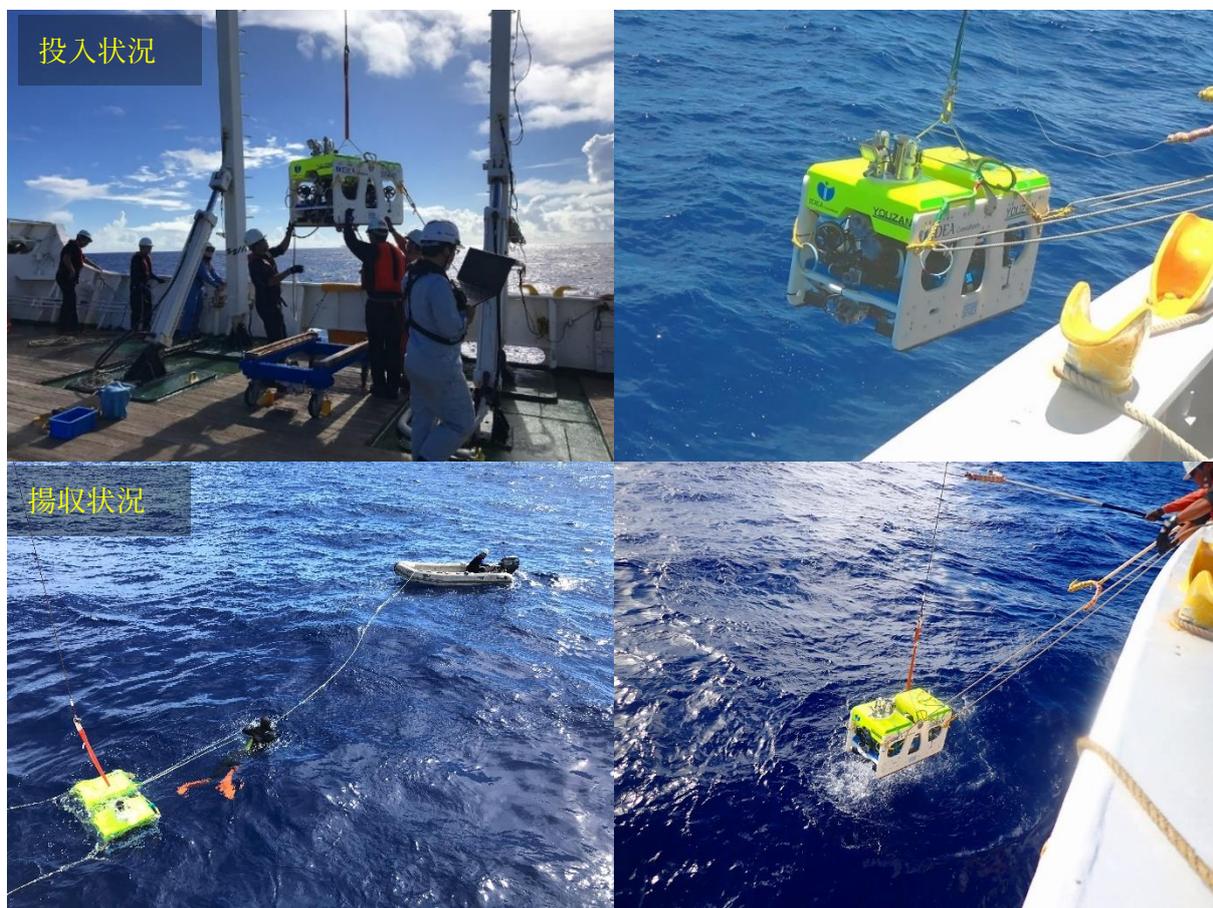


写真 3-2 「YOUZAN」投入揚収状況

3.3.3 実施結果

(1) 潜航実績

AUV 調査における各潜航の位置図を図 3-14 に、潜航概要を表 3-4 各潜航の概要に、潜航の時系列グラフ及び搭載しているペイロード（水温・塩分・濁度・pH）の結果を図 3-15～図 3-17 に示す。Dive01 ではスタート地点から水深の深い方向へと調査を開始したが、地形が急峻な為、地形に追従することができず、高度を維持出来なかった為、8:40 頃から高度が上がり始め、その後高度が高くなりすぎた為、高度値が取得できない状態が生じている。

Dive01 では水深約 1000m～1300m、Dive02 では約 1250m～1300m、Dive03 では約 950m～1450m の水深幅を潜航したが、水温は約 3～5℃付近、塩分は約 35、濁度は 0 付近、pH は 8 付近と安定した値となっており、水深によるこれらの環境項目に顕著な変化は見られなかった。

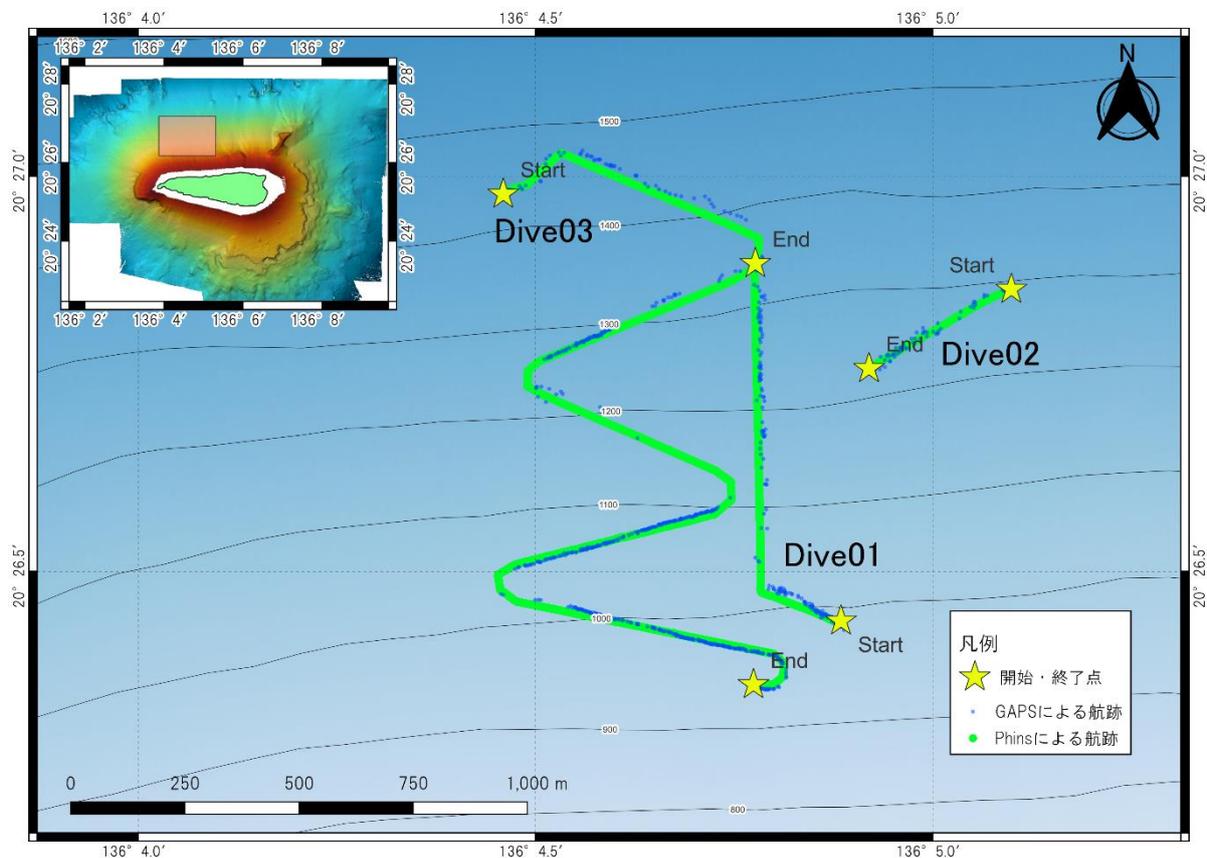


図 3-14 各潜航の位置図

表 3-4 各潜航の概要

月日	潜航時間	海底調査時間	調査時間	水深帯	調査距離	調査面積
2022/8/20	07:17～10:32	08:04～09:31	1:27	996～1331m	1001m	2254m ²
2022/8/20	12:03～14:42	13:02～13:45	0:43	1248～1308m	373m	1152m ²
2022/8/21	07:23～13:41	08:28～13:41	4:13	941～1466m	3221m	12969m ²

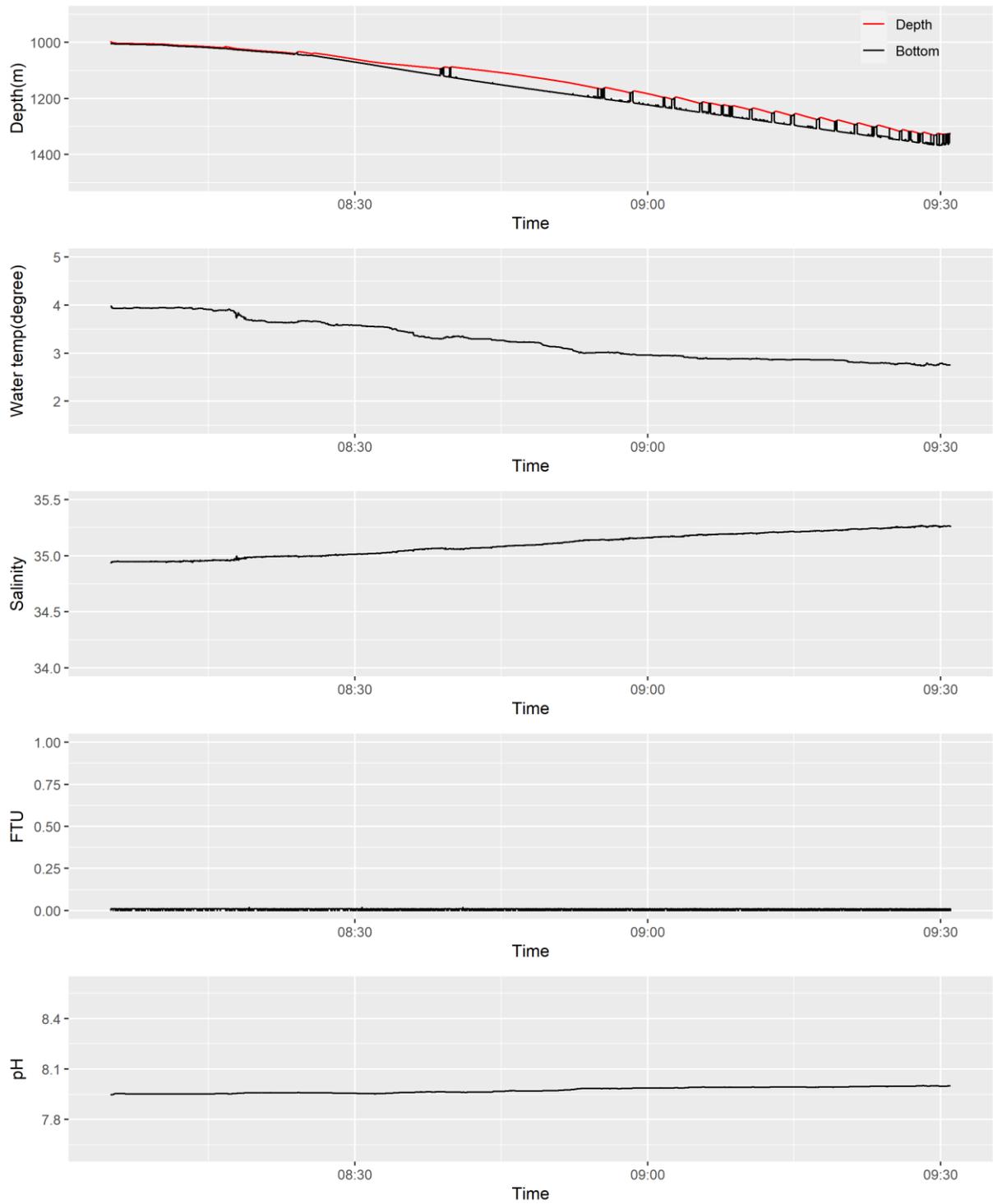


図 3-15 Dive01 の時系列グラフ

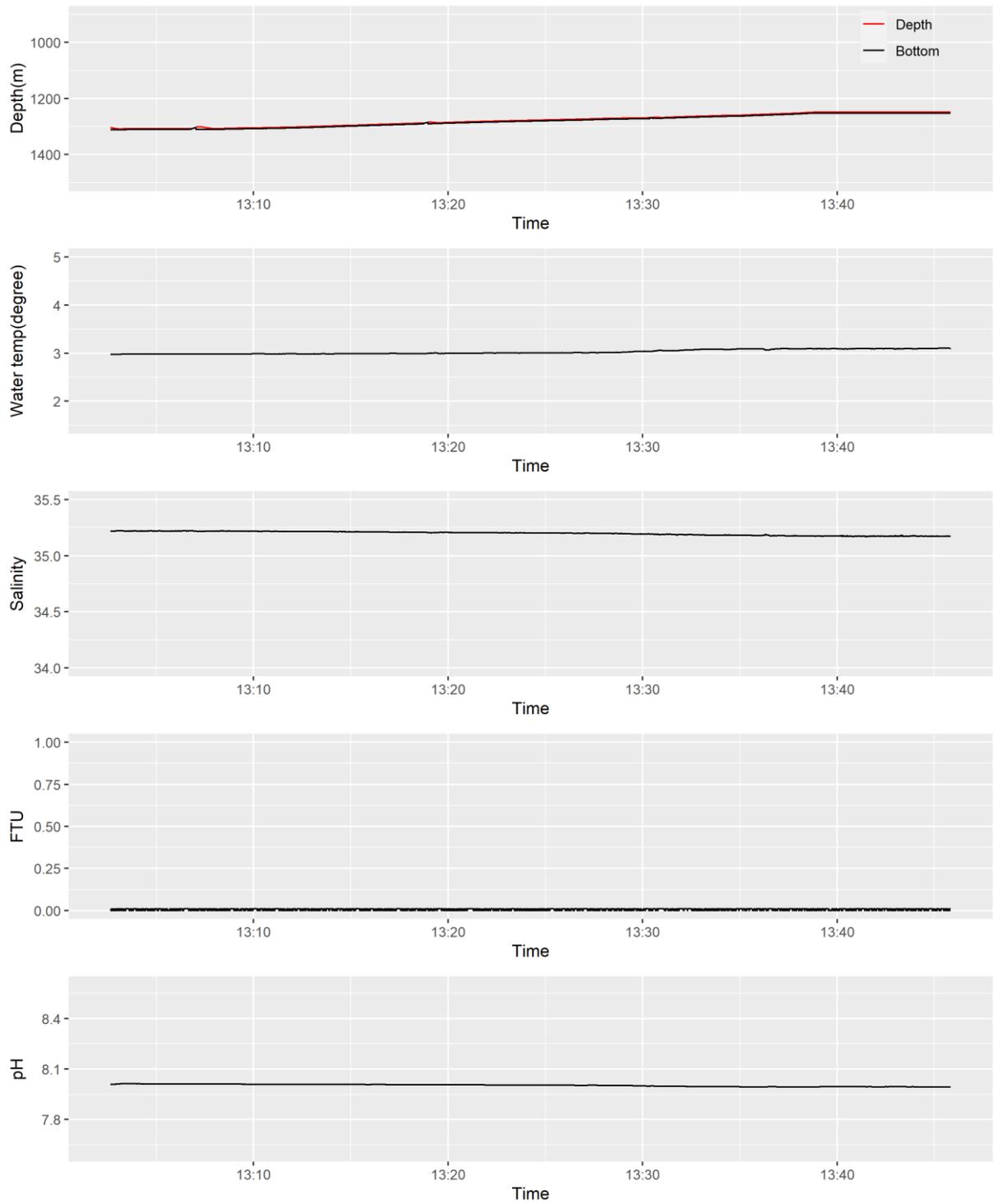


図 3-16 Dive02 の時系列グラフ

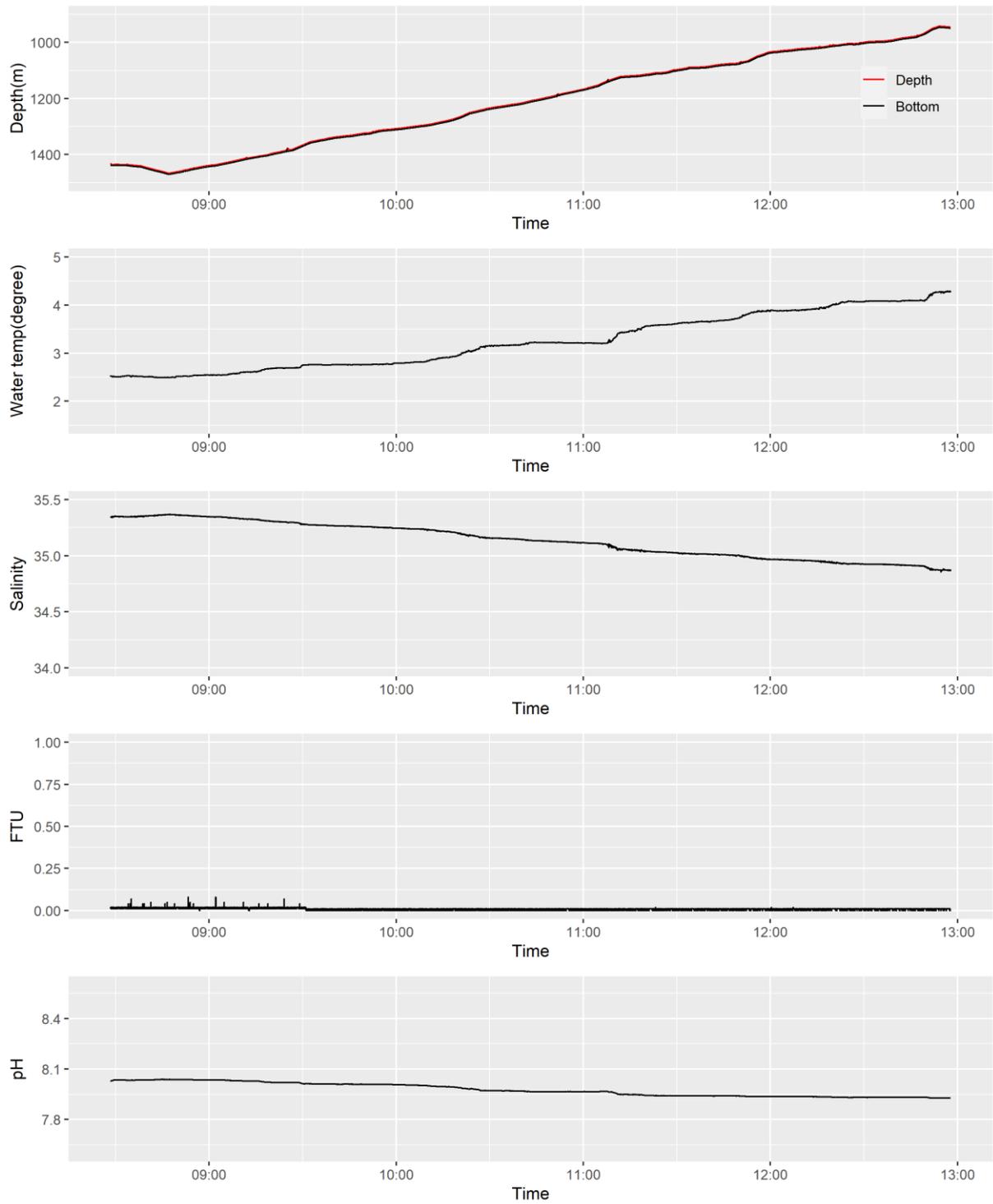


図 3-17 Dive03 の時系列グラフ

(2) 海底観察結果

AUV に搭載されたスチルカメラの画像は概ね 4 秒に 1 枚撮影しており、これらの写真から画像に写っている生物の同定、カウントを行った。各潜航で撮影され、海底観察に用いた画像の枚数を表 3-5 に示す。各生物分類群の専門家に適宜ヒアリングを行い、生物の同定結果に反映させた。なお、本結果は標本に基づくものではなく、画像からの同定のため、種まで同定できるものは少なく、多くは上位分類群で止まっている。また、不確定な種は“と思われる”等と表記している。今回の結果は、今後の研究次第で変更になる可能性がある。

海底観察の結果確認された生物の種類数は、エビやカニなどの節足動物門 15 種類、ウミシダやウニなどの棘皮動物門 13 種類、魚類などの脊椎動物門 21 種類など全 63 種類 (表 3-6) で、確認された生物の一覧を表 3-7 に、一部生物の写真を写真 3-3 に示す。この内、ある程度の分類群 (科・属) まで同定され、個体数が多かった表 3-8 に示す 7 種類を代表的な生物として選定し、時系列の出現頻度とハビタットマップで整理を行った。例えば“ウニ綱”等は個体数が多いものの、上位の分類群までの同定となっており、含まれる種が多いことから時系列及びハビタットマップの整理には入れていない。シギウナギは後述の環境 DNA 調査において採水試料中から遺伝子が検出された。

代表的な生物の出現頻度とカウントされた種類数の時系列グラフを図 3-18~図 3-20 で示す。ほとんどの種類で同時に出現する個体数は 1~2 個体であったが、Dive03 ではヒメウミシダ科が最大 12 個体と多く確認されている。これは巨石をハビタットとして生息していたためである (図 3-24)。また、同時に出現した種類数は水深によって大きな偏りは見られなかった。

表 3-5 海底観察に使用した写真の枚数

潜航名	海底観察に使用した写真枚数
Dive01	447 枚
Dive02	648 枚
Dive03	4290 枚

表 3-6 動物門別生物種類数

動物門	種類数
刺胞動物門	12
軟体動物門	2
節足動物門	15
棘皮動物門	13
脊椎動物門	21
合計種類数	63

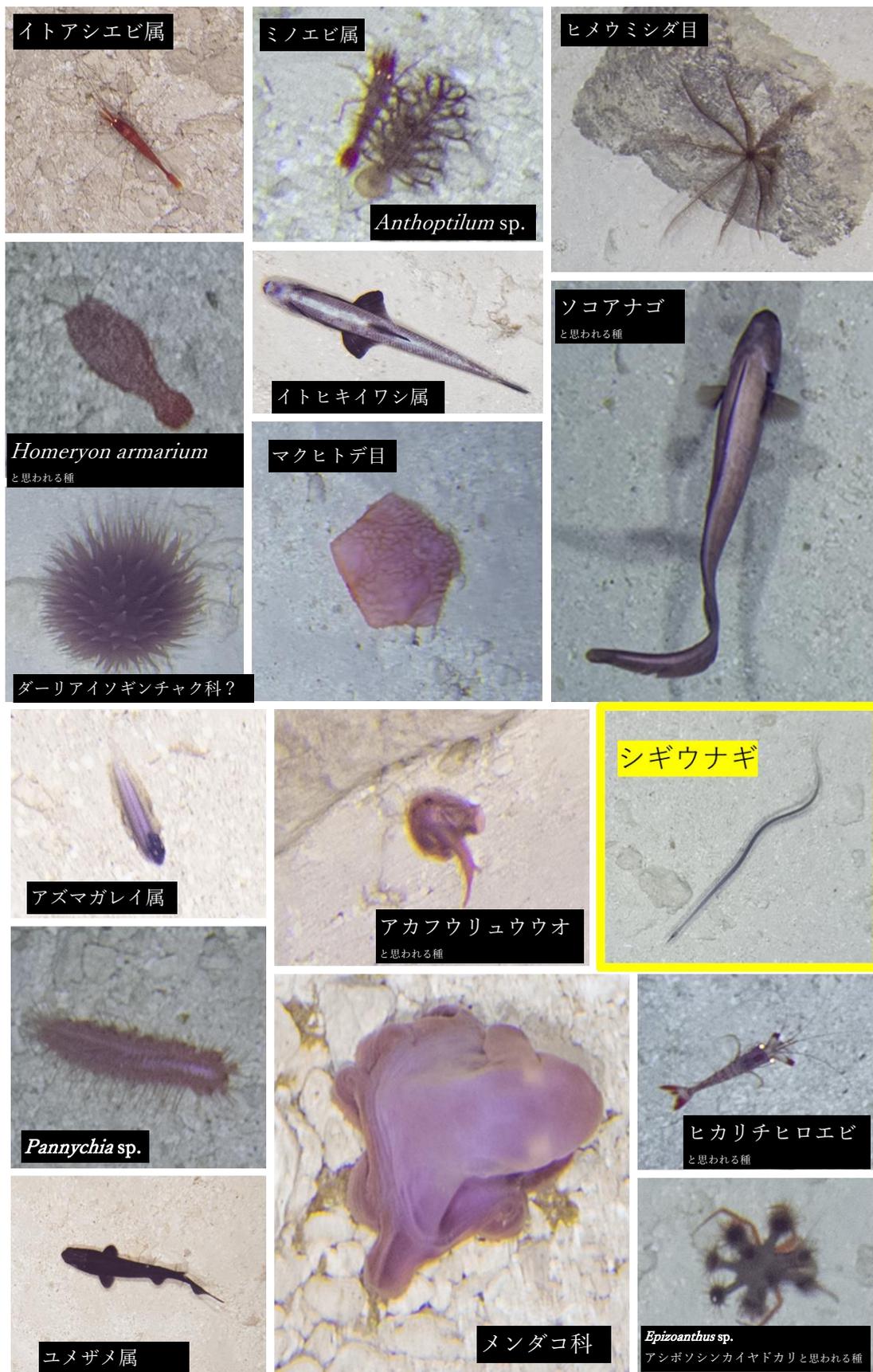


写真 3-3 AUV による海底観察で確認された生物

表 3-7(1) AUV による海底観察で確認された生物一覧

調査日：2022年8月20-21日
調査方法：AUVによる撮影

No.	門	綱	学名	和名	環境DNA	水深(m)	生活様式	分布	出現個体数		
									Dive01	Dive02	Dive03
1	刺胞動物門	ヒドロ虫綱	Tubulariidae?	クダウミヒドラ科?		400-600 ^a	固着	-	-	-	1
2		花虫綱	Coralliidae?	サンゴ科?		400-800 ^a	固着	-	-	-	6
3			<i>Anthoptilum</i> sp.			600-800 ^a	固着	-	-	-	9
4			<i>Umbellula</i> sp.?			1000-3000 ^a	固着	-	-	-	8
5			Primnoidae	オオキンヤギ科		200-3000 ^a	固着	-	-	-	1
6			Calcaxonia?			-	固着	-	-	-	3
7			<i>Epizoanthus</i> sp.			-	固着・寄生	-	-	-	1
8			<i>Calliactis</i> sp. or <i>Paracalliactis</i> sp.?			-	固着・寄生	-	-	1	16
9			Edwardsiidae?	ムシモドキンチャク科?		-	底生/移動?	-	-	-	2
10			Liponematidae?	ダーリアインギンチャク科?		200-800 ^a	底生/移動?	-	2	-	1
11			Actinifera	インギンチャク目		-	底生/移動?	-	-	2	19
12			Cnidaria	刺胞動物門(花虫綱orヒドロ虫綱)		-	固着	-	-	-	8
13	軟体動物門	頭足綱	Opisthoteuthidae	メンダコ科		1000-3000 ^a	底生	-	1	-	1
14		腹足綱	Pleurobranchaeidae	ウミフクロウ科		200-600 ^a	底生	-	-	-	13
15	節足動物門	軟甲綱	Mysida	アミ目		-	遊泳	-	-	-	10
16			Aegidae?	グソクムシ科?		-	底生	-	-	-	1
17			<i>Aristaeopsis</i> cf. <i>edwardsiana</i>	オオミツトゲチヒロエビと思われる種		274-1850 ^a	遊泳	インド・西太平洋	-	1	32
18			<i>Aristeus</i> cf. <i>virilis</i>	ヒカリチヒロエビと思われる種		230-900 ^a	遊泳	インド・太平洋の熱帯-温帯域	-	-	3
19			Aristeidae	チヒロエビ科		陸棚辺縁部-3000 ^a	遊泳	-	4	-	17
20			<i>Pasiphaea</i> sp.	シラエビ属		表層-3000 ^a	遊泳	-	1	-	10
21			<i>Acanthephyra</i> cf. <i>eximia</i>	トゲヒオドシエビと思われる種	△	200-4700 ^a	遊泳	世界中に広く分布	8	1	52
22			<i>Nematocarcinus</i> sp.	イトアジエビ属		700-2400 ^a	底生	-	7	5	84
23			<i>Heterocarpus</i> cf. <i>longirostris</i>	<i>Heterocarpus longirostris</i> と思われる種		428-1020 ^a	底生	太平洋	-	-	1
24			<i>Heterocarpus</i> sp.	ミノエビ属		-	底生	-	3	7	40
25			<i>Homeryon</i> cf. <i>armarium</i>	<i>Homeryon armarium</i> と思われる種		520-700 ^d	底生	九州パラオ海嶺,日光海山	1	-	2
26			<i>Parapagurus</i> cf. <i>furci</i>	アンボソシンカイヤドカリと思われる種		311-2500 ^a	底生	西太平洋	-	-	2
27			<i>Parapagurus</i> or <i>Sympagurus</i> sp.	シンカイヤドカリ属 or オキヤドカリ属		300-2500 ^a	底生	-	1	1	24
28			Homolidae	ホモラ科		-	底生	-	-	1	12
29			Malacostraca	軟甲綱		-	底生	-	-	1	10

*注1：本同定結果は画像によるもので、標本によるものではないため、不確かな情報を含んでいる。

*注2：環境DNA欄の○は検出されたことを、△は上位分類群レベルで一一致した種類の検出を示す。

*注3：参考資料は以下に示す通りである。

- Benthic Deepwater Animal Identification Guide V3/ https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/animal_guide/animal_guide.html
- 林(1992) 日本産エビ類の分類と生態 I. 根鰓亜目
- 藤倉ほか(2012) 潜水調査船が観た深海生物 第2版
- 林(2007) 日本産エビ類の分類と生態 II. コエビ亜目 (1)
- Sea Life Base/ <https://www.sealifebase.ca/summary/Heterocarpus-longirostris.html>
- Komai&Tsuchida(2014) Deep-Sea decapod crustaceans (Caridea, Polychelida, Anomura and Brachyura) collected from the Nikko Seamounts, Mariana Arc, using a remotely operated vehicle "Hyper-Dolphin"
- 朝倉ほか(2006)/ ヤドカリ類の分類学, 最近の話題-オキヤドカリ科その2
- Fish Base/ <https://www.fishbase.se/search.php>
- 中坊(2013) 日本産魚類検索図鑑 第3版.
- Koeda et al.(2021) Deep-Sea Fish Fauna on the Seamounts of Southern Japan with Taxonomic Notes on the Observed Species

同定協力者

刺胞：喜瀬 浩輝, 柳田 優花

節足：駒井 智幸

棘皮：岡西 政典, 小川 晟人

魚類：小枝 圭太, 藤原 義弘

表 3-7 (2) AUV による海底観察で確認された生物一覧

調査日：2022年8月20-21日
調査方法：AUVによる撮影

No.	門	綱	学名	和名	環境DNA	水深(m)	生活様式	分布	出現個体数		
									Dive01	Dive02	Dive03
30	棘皮動物門	ウミユリ綱	Antedonidae	ヒメウミンダ科	-	-	付着	-	-	6	150
31		ヒトデ綱	Velatida	マクヒトデ目	-	-	底生	-	1	-	-
32		クモヒトデ綱	Ophiuroidea	クモヒトデ綱	-	-	寄生	-	-	-	2
33		ウニ綱	Cidaroida	オウサマウニ目	-	-	底生	-	-	-	2
34			Scutellina	カシバン目	-	-	底生	-	-	-	3
35			Echinoidea	ウニ綱	-	-	底生	-	-	4	32
36		ナマコ綱	<i>Pannychia</i> sp.		-	-	底生	-	-	-	1
37			Laetmogonidae?	カンテンナマコ科?	-	-	底生	-	-	-	1
38			Elasipodida?	板足目?	-	-	底生	-	-	-	3
39			<i>Paelopatides</i> sp.?		-	-	底生	-	-	-	1
40			Deimatidae	オニナマコ科	-	-	底生	-	-	-	3
41			Synallactidae or Psychropotidae	Synallactidae or Psychropotidae	-	-	底生	-	-	-	8
42			Holothuroidea	ナマコ綱	-	-	底生	-	-	-	1
43	脊椎動物門	軟骨魚綱	Chimaeridae	ギンザメ科	-	-	遊泳	-	-	-	前方カメラでのみ観察
44			<i>Odontaspis ferox</i>	オオウニザメ	10-2000 ^b	-	遊泳	相模湾以南,オーストラリア,大西洋	-	-	1
45			<i>Centroscymnus</i> sp.	ユメザメ属	270-3700	-	遊泳	-	-	1	-
46		硬骨魚綱	<i>Aldrovandia affinis</i>	トカゲギス	383-2615 ^c	-	遊泳	岩手県以南,インド-西太平洋,大西洋	2	-	7
47			<i>Halosaurus macrochir</i>	クロオビトカゲギス	899-3300 ^d	-	遊泳	茨城県以南,日光海山,インド-西太平洋,大西洋	4	-	16
48			<i>Histiobranchus cf. bathybius</i>	ソコアナゴと思われる種	△ 295-5440 ^e	-	遊泳	東北沖以南,正保海山,北太平洋,北大西洋 ^f	-	-	1
49			<i>Synaphobranchus</i> sp.	ホラアナゴ属	△ 230-3200 ^g	-	遊泳	-	-	-	3
50			Synaphobranchidae	ホラアナゴ科	△ -	-	遊泳	-	-	-	2
51			<i>Nemichthys scolopaceus</i>	シギウナギ	○ 100-4337 ^h	-	遊泳	-	-	-	1
52			<i>Bathypterois</i> sp.	イトヒキイワシ属	△ 260-5150 ⁱ	-	底生/遊泳	-	12	1	26
53			<i>Ipnops</i> sp.	チョウチンハダカ属	-	-	遊泳	-	-	-	2
54			Macrouridae	ソコダラ科	△ 200以深	-	遊泳	-	1	-	3
55			Ophiidiidae	アシロ科	△ -	-	遊泳	-	1	-	-
56			Gadiformes or Ophiidiiformes	タラ目orアシロ目	-	-	遊泳	-	-	-	13
57			Lophidae	アンコウ科	△ -	-	底生/遊泳	-	-	-	1
58			<i>Halicmetus cf. ruber</i>	アカフウリュウウオと思われる種	345-740 ^j	-	底生/遊泳	駿河湾以南,インド-西太平洋	-	-	1
59			<i>Halicmetus</i> sp.	アミメフウリュウウオ属	-	-	底生/遊泳	-	-	1	3
60			Ogcocephalidae	アカグツ科	-	-	底生/遊泳	-	-	-	6
61			<i>Symphurus</i> sp.	アズマガレイ属	△ -	-	底生/遊泳	-	3	-	15
62			Cynoglossidae	ウシノシタ科	△ -	-	底生/遊泳	-	2	-	7
63			Osteichthyes	硬骨魚綱	-	-	遊泳	-	2	1	13

*注1: 本同定結果は画像によるもので、標本によるものではないため、不確かな情報を含んでいる。

*注2: 環境DNA欄の○は検出されたことを、△は上位分類群レベルで一致した種類の検出を示す。

*注3: 参考資料は以下に示す通りである。

- a. Benthic Deepwater Animal Identification Guide V3/ https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/animal_guide/animal_guide.html
- b. 林(1992) 日本産エビ類の分類と生態 I. 根鰓亜目
- c. 藤倉ほか(2012) 潜水調査船が観た深海生物 第2版
- d. 林(2007) 日本産エビ類の分類と生態 II. コエビ亜目 (1)
- e. Sea Life Base/ <https://www.sealifebase.ca/summary/Heterocarpus-longirostris.html>
- f. Komai&Tsuchida(2014) Deep-Sea decapod crustaceans (Caridea, Polychelida, Anomura and Brachyura) collected from the Nikko Seamounts, Mariana Arc, using a remotely operated vehicle "Hyper-Dolphin"
- g. 朝倉ほか(2006) ヤドカリ類の分類学, 最近の話題-オキヤドカリ科その2
- h. Fish Base/ <https://www.fishbase.se/search.php>
- i. 中坊(2013) 日本産魚類検索図鑑 第3版.
- j. Koeda et al. (2021) Deep-Sea Fish Fauna on the Seamounts of Southern Japan with Taxonomic Notes on the Observed Species

同定協力者

刺胞：喜瀬 浩輝, 棚田 優花

節足：駒井 智幸

棘皮：岡西 政典, 小川 晟人

魚類：小枝 圭太, 藤原 義弘

表 3-8 代表的な生物

種名	代表的な写真	特徴
トゲヒオドシエビ と思われる種		深海性のエビ.海底付近を蛇行しながら活発に遊泳する。水深 200-4700m,世界中に広く分布しており、同科同属の別種が環境 DNA で検出された。節足動物門軟甲類（エビ・カニ等）で 2 番目に多く数が確認された。
イトアシエビ属		深海性のエビであり、脚が細長いことが特徴。海底面に棲息。全種中 2 番目、節足動物門軟甲類で最も多く数が確認された。
ミノエビ属		深海性のミノエビの仲間で <i>H. longirostris</i> と思われる種の可能性はあるが、画像からは判別が困難であった。節足動物門軟甲類で 3 番目に多く数が確認された。
ヒメウミシダ科		主に深海性のウミシダで露出した岩盤に巻脚で付着する。ウミシダ類は時に浮遊することもある。全種中最も多く数が確認された。
イトヒキイワシ属		海底に胸鰭で立つ魚であり、活発に泳がない。日本近海では 3 種知られている。水深 260-5150m 程度に生息する。魚類では最も多くの個体が確認された。
アズマカレイ属		海底にへばりついている 10cm 程度のシタビラメの仲間であり、既知種は 4 種が知られている。水深 50-815m 程度に生息する。ウシノシタ科と生息水深が異なっていた。
ウシノシタ科		多くの種が含まれる科で、海底にへばりついているシタビラメの仲間である。アズマカレイ属と生息水深が異なっていた。

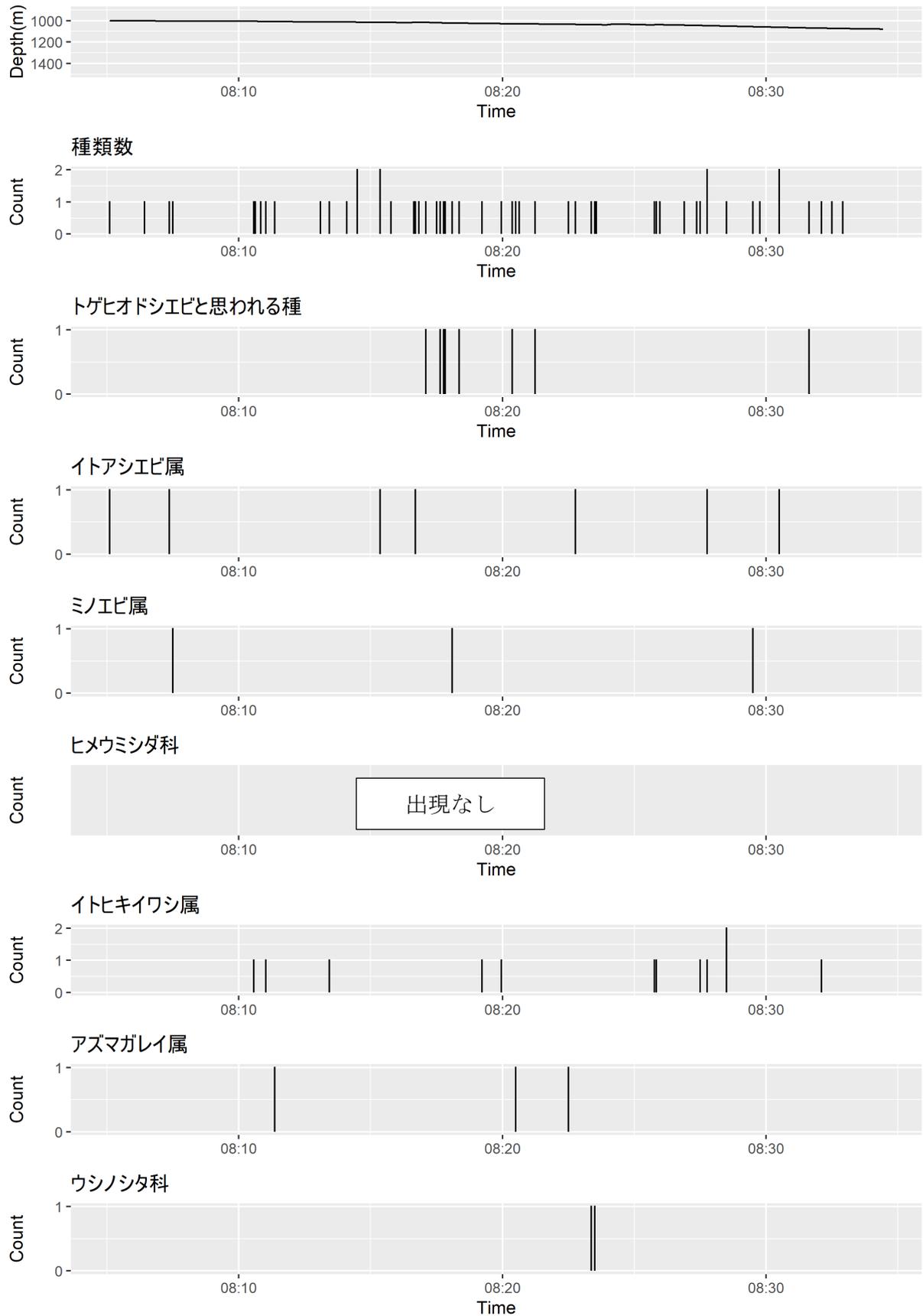


図 3-18 Dive01 における代表的な生物の出現時系列グラフ

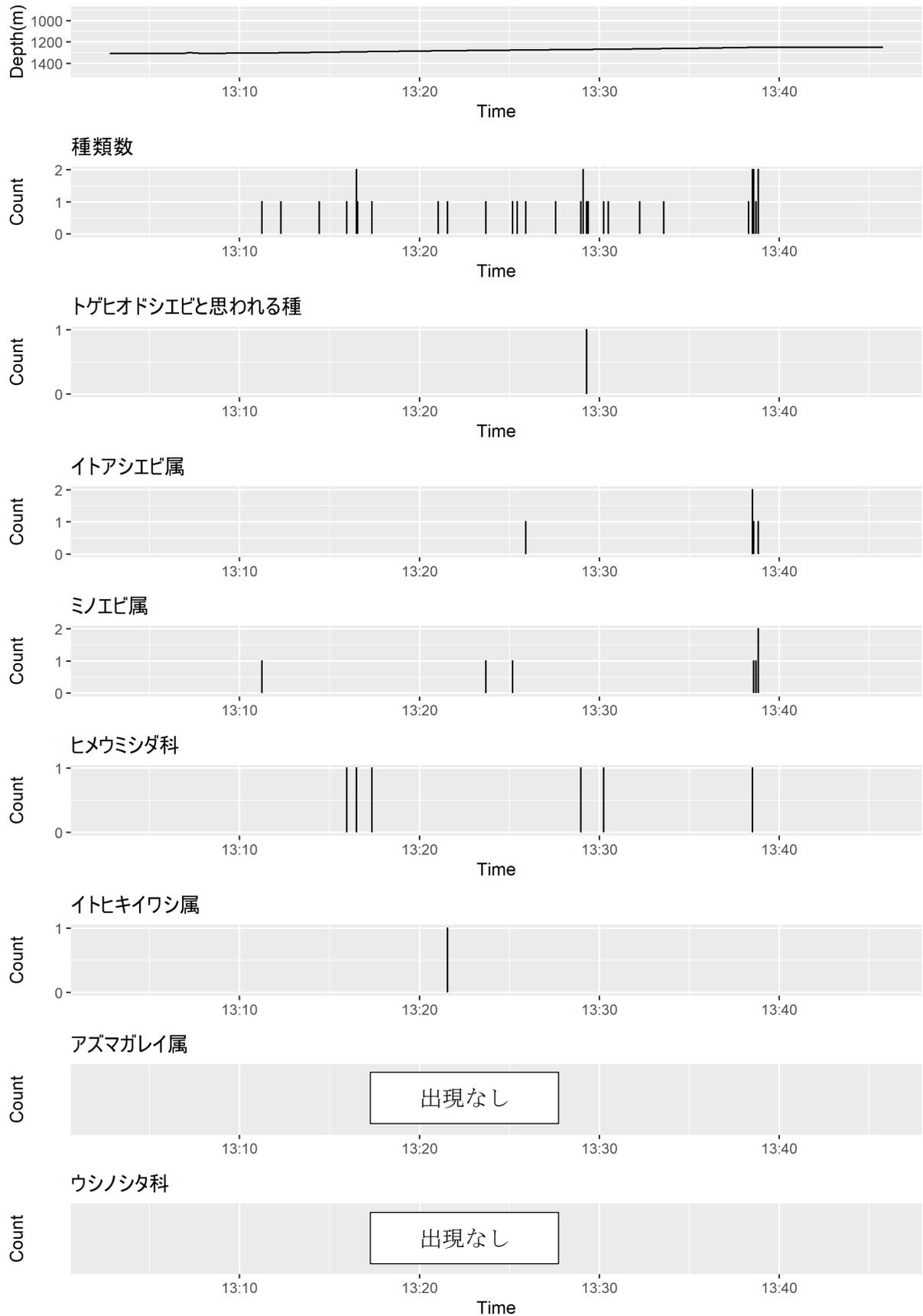


図 3-19 Dive02 における代表的な生物の出現時系列グラフ

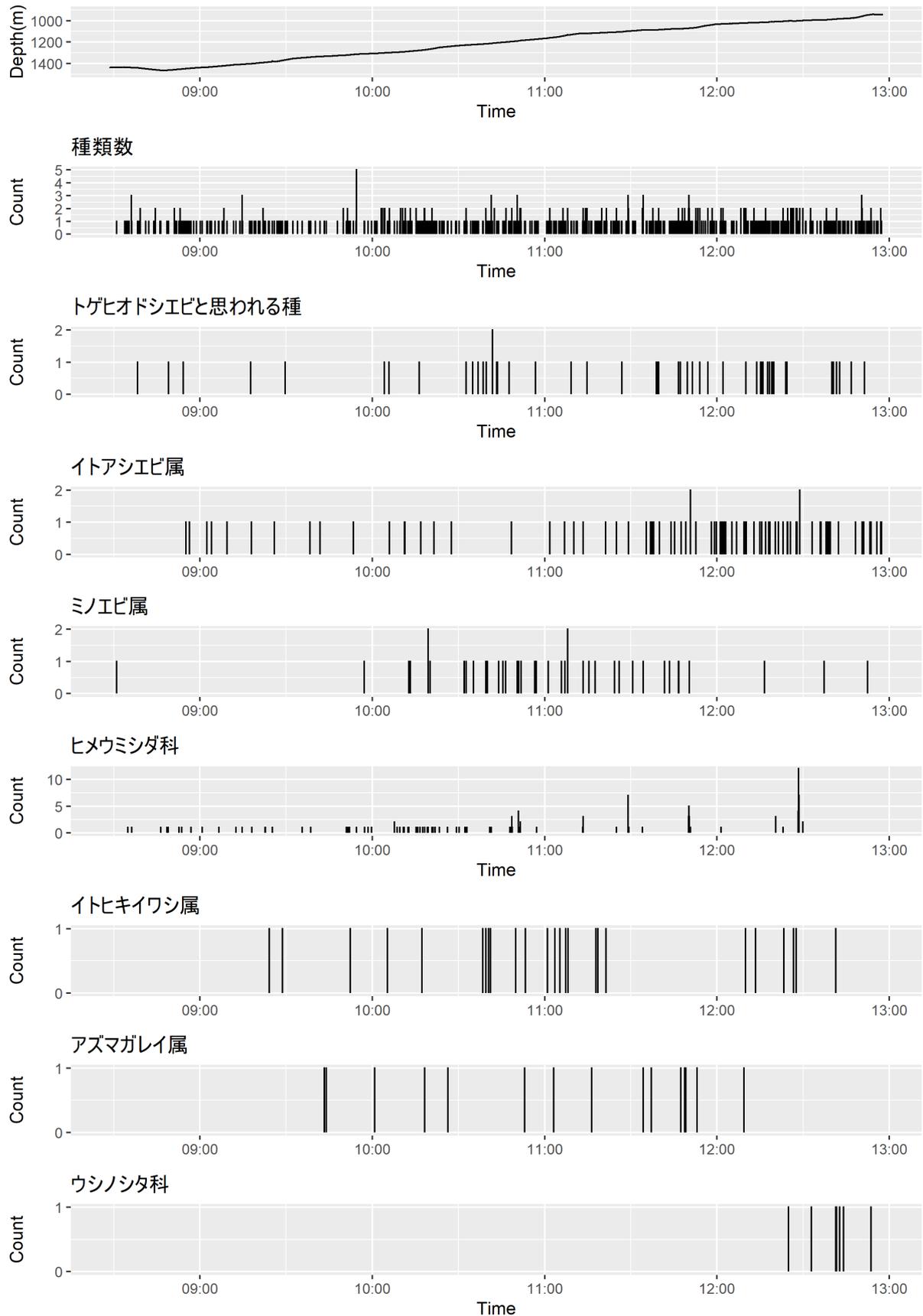


図 3-20 Dive03 における代表的な生物の出現時系列グラフ

(3) ハビタットマップ

AUVによる海底観察で確認された代表的な7種類の生物について、各生物の分布状況（ハビタットマップ）を図3-21～図3-26に示す。アズマガレイ属とウシノシタ科はアズマガレイ属が水深1000m以深で、ウシノシタ科が1000m以浅で多く確認されたため、同じ図（図3-26）に示している。トゲヒオドシエビと思われる種とイトアシエビ属は水深1100m以浅で出現頻度が高く、ミノエビ属は水深1100mから1300mで出現頻度が高く、イトヒキイワシ属は水深1100mから1200mで出現頻度が高かった。

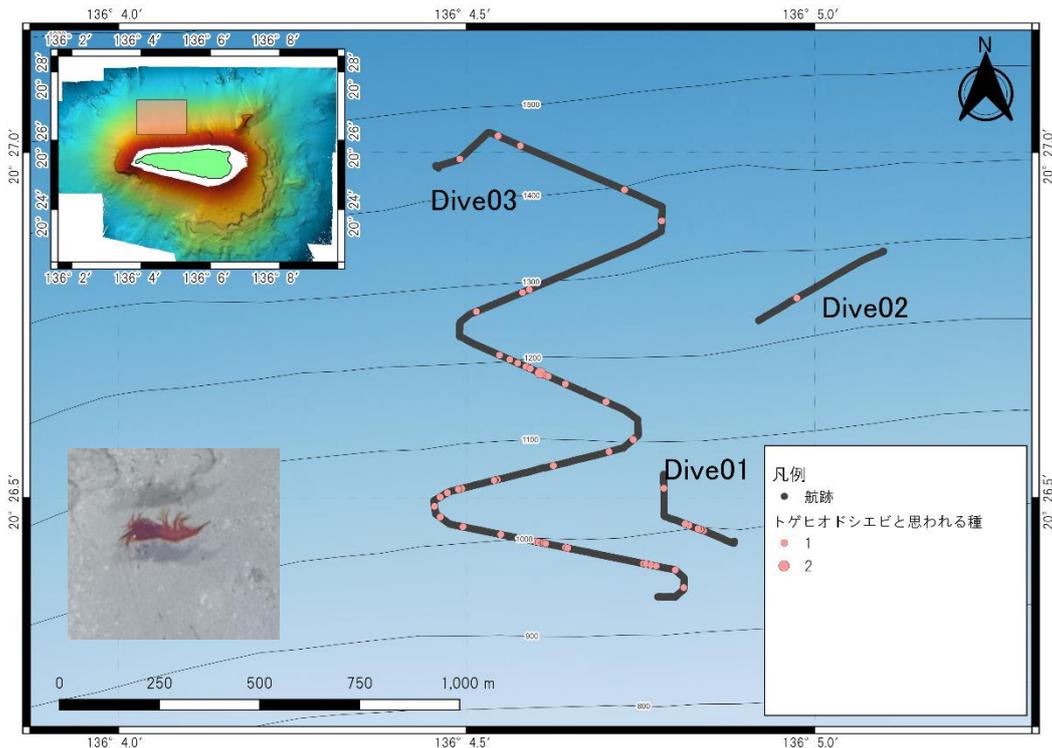


図 3-21 ハビタットマップ トゲオヒオドシエビと思われる種

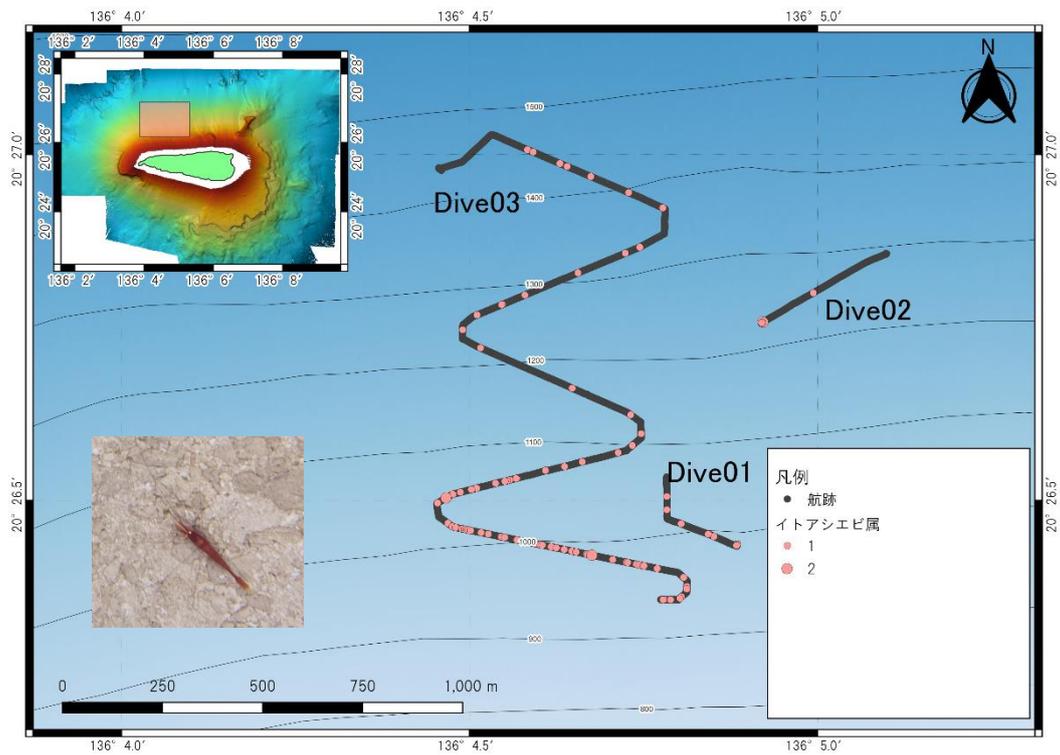


図 3-22 ハビタットマップ イトアシエビ属

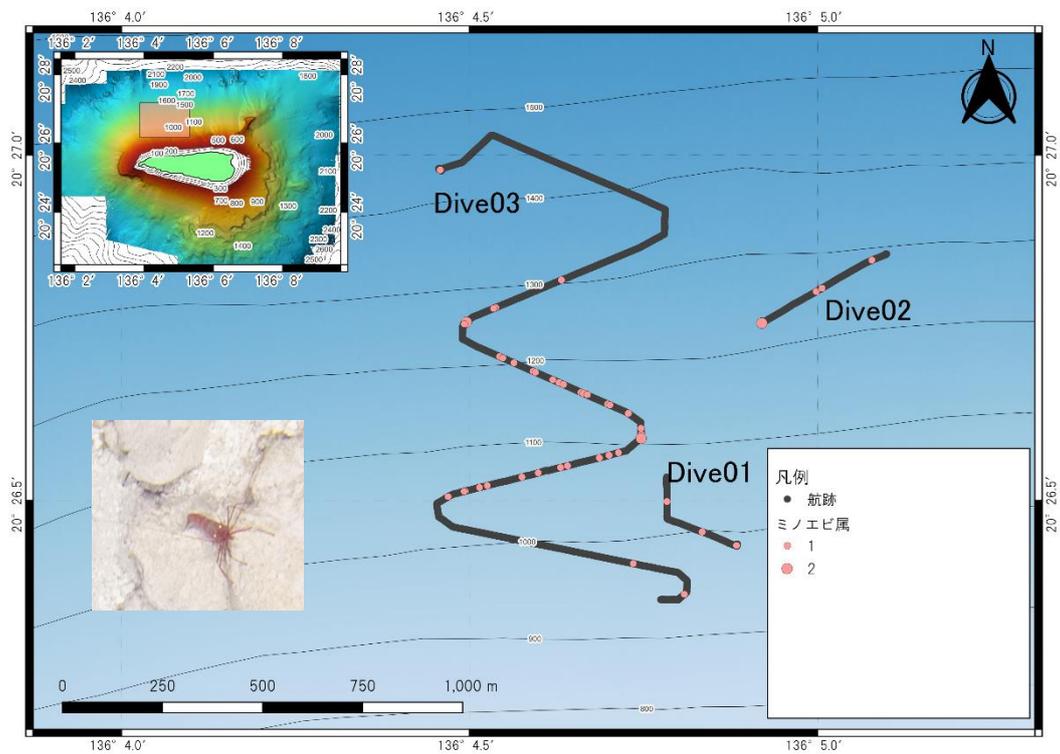


図 3-23 ハビタットマップ ミノエビ属

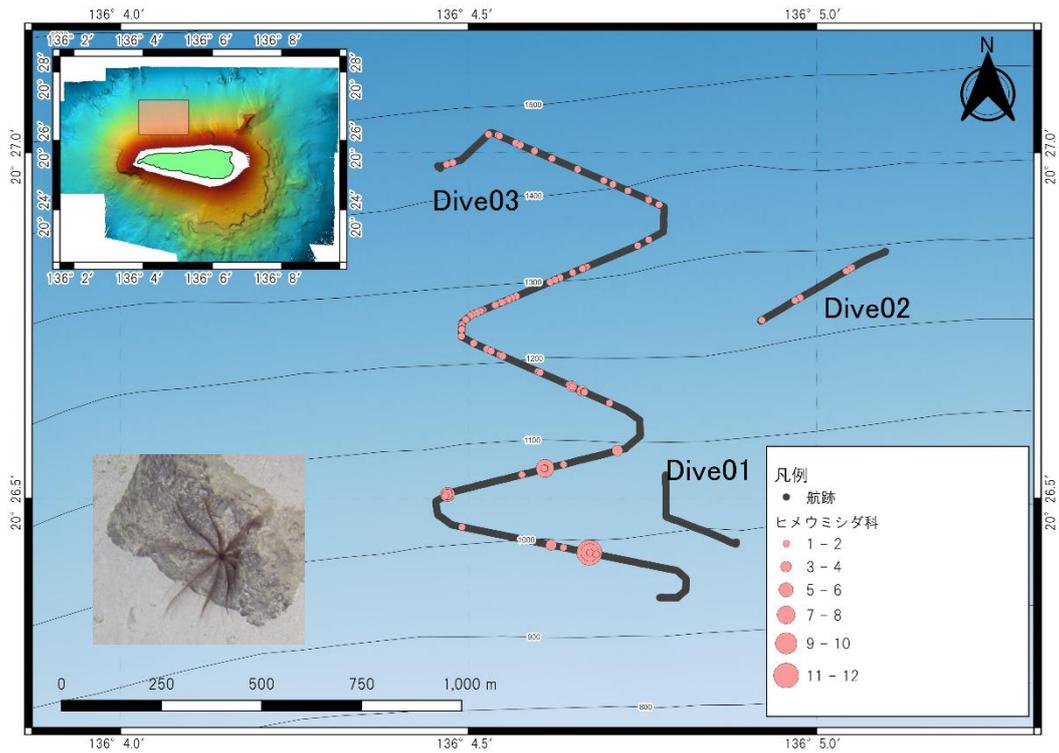


図 3-24 ハビタットマップ ヒメウミシダ科

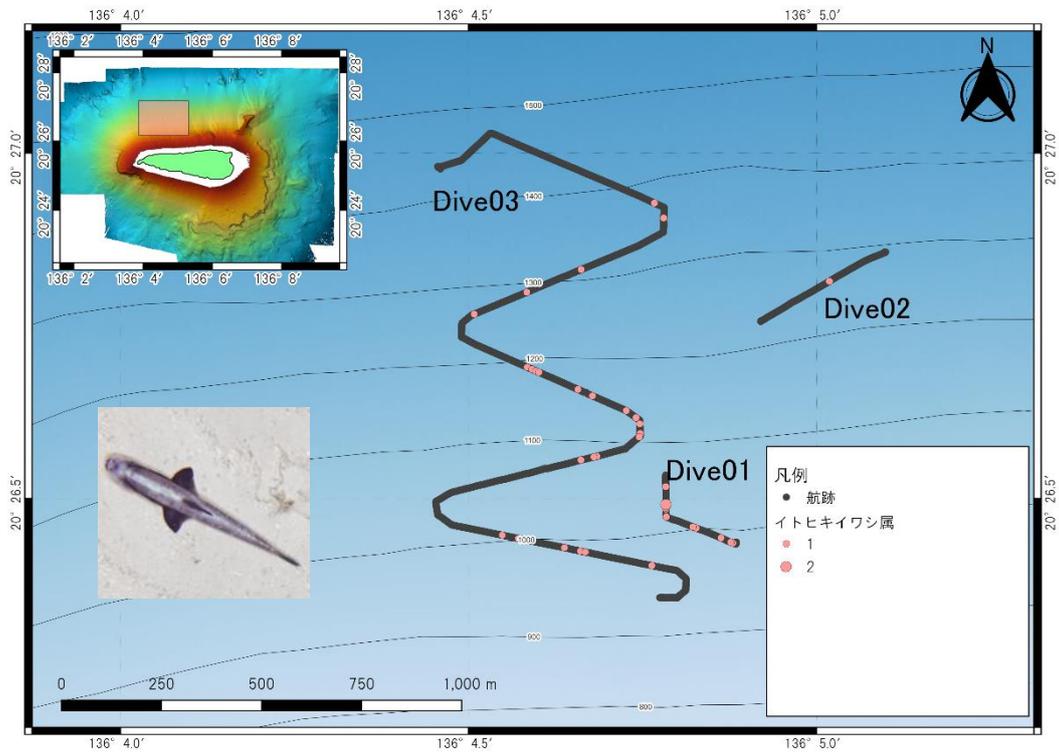


図 3-25 ハビタットマップ イトヒキイワ属

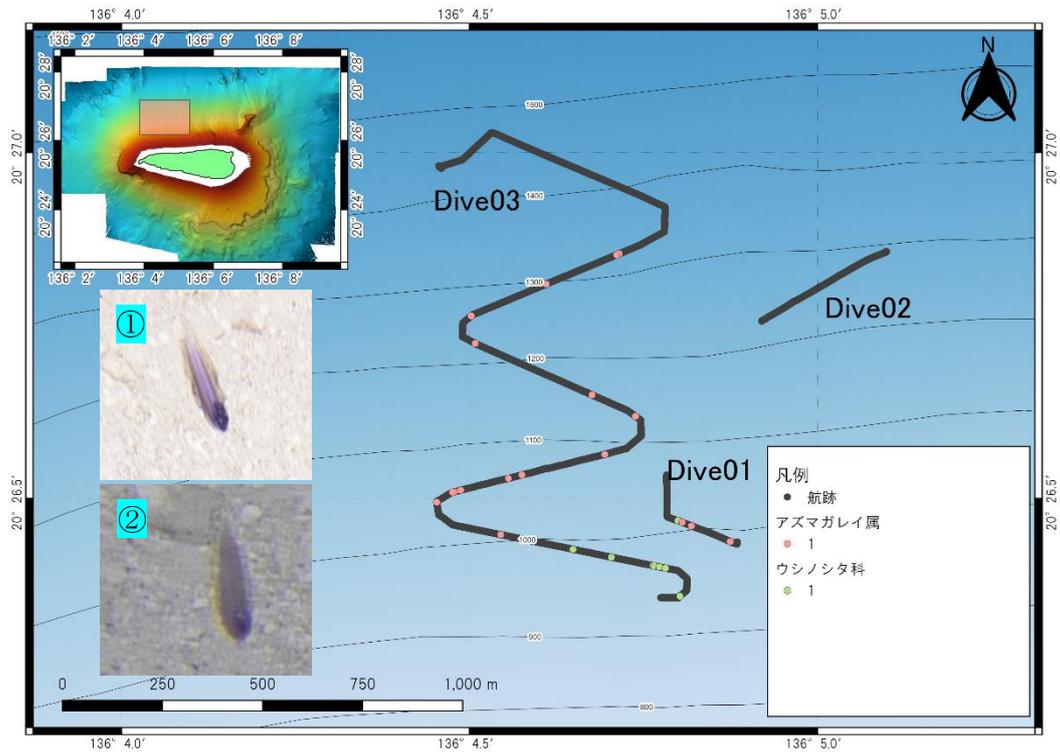


図 3-26 ハビタットマップ ①アズマガレイ属・②ウシノシタ科

(4) 海底のモザイク画像

ステルカメラで撮影された画像から海底のモザイク画像を作成した。モザイク画像の全体図を図 3-27 に、拡大図を図 3-28～図 3-30 に示す。調査海域の海底はいずれも礫混じりの砂で構成されており、時折最大 3 m 程度の礫が混じるような状況であった。底質は、石灰岩、有孔虫砂などの生物起源によるものが支配的であり、島の基盤と考えられる火成岩は観察されなかった。海底試料採取は実施していないが、石灰岩に付着する黒色の薄層は、近隣海山で観察される鉄マンガンクラストの特徴とよく似ている。

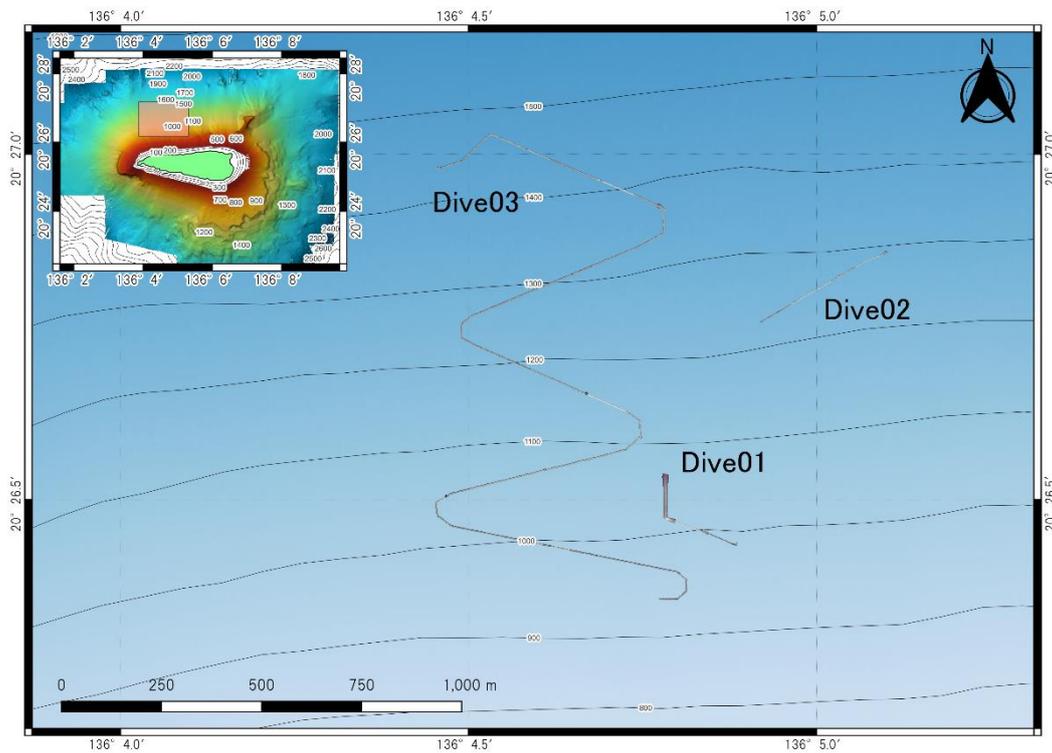


図 3-27 海底のモザイク画像全体図

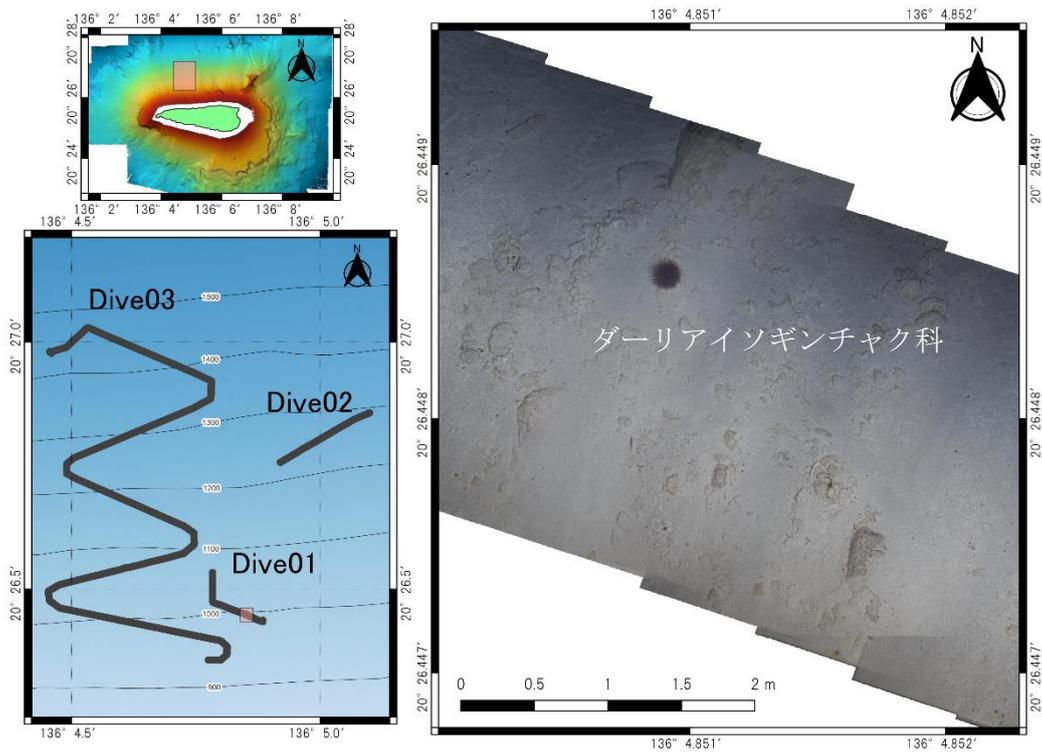


図 3-28(1) 海底のモザイク画像 Dive01 拡大図

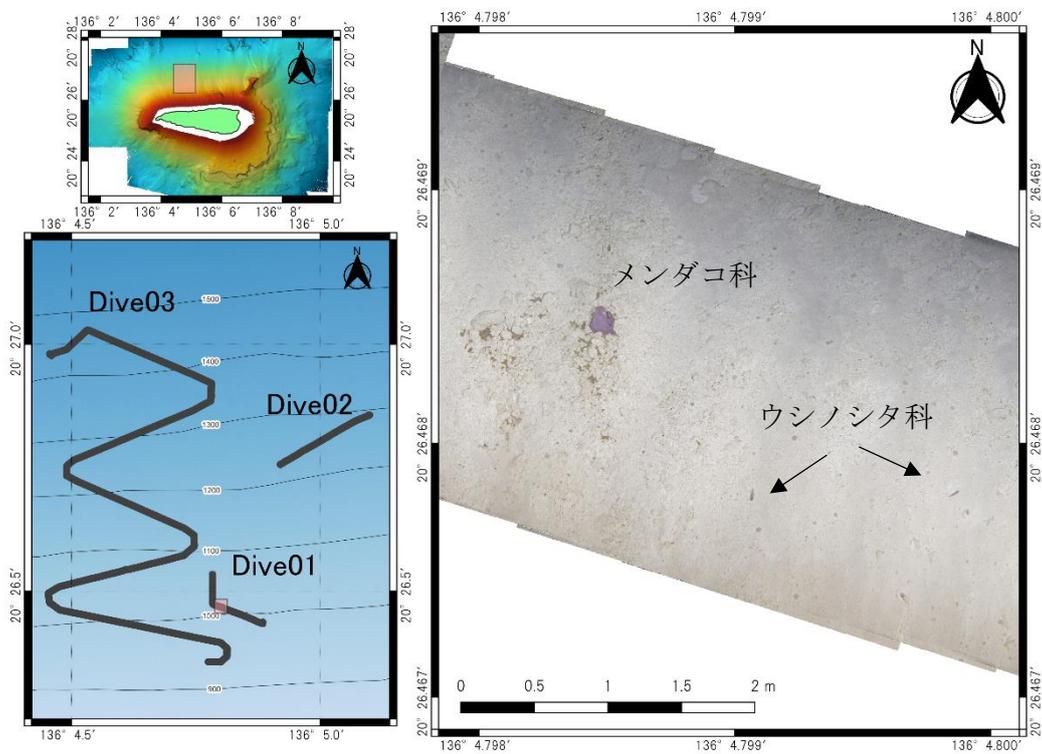


図 3-28(2) 海底のモザイク画像 Dive01 拡大図

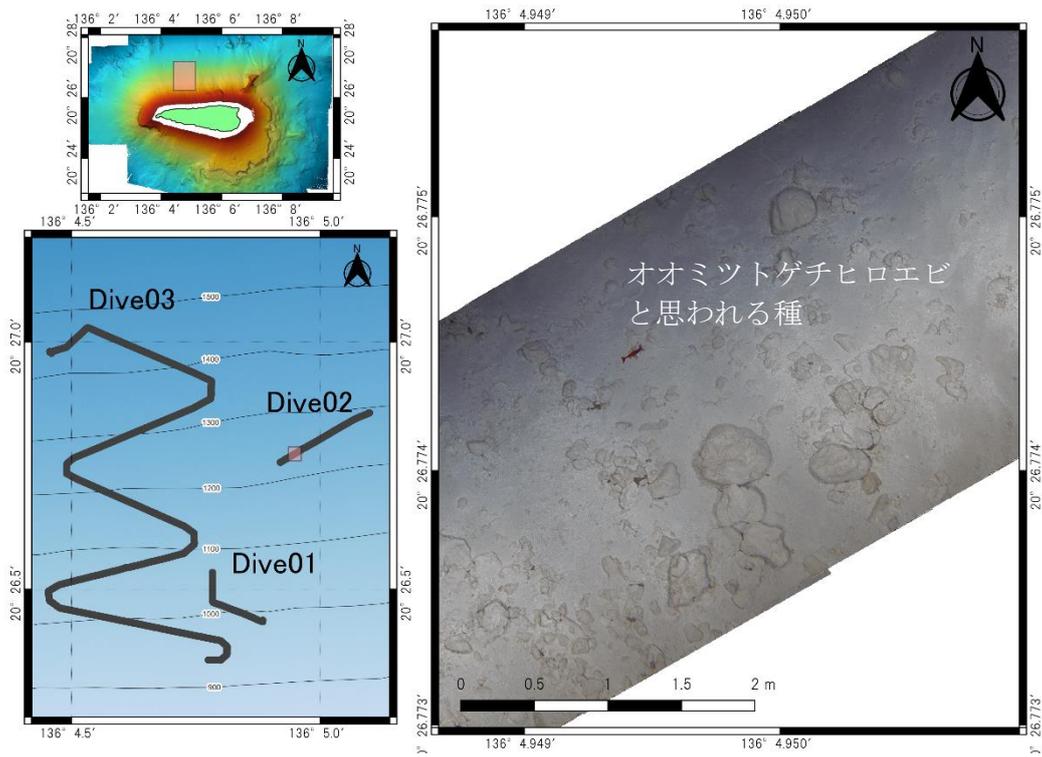


図 3-29 海底のモザイク画像 Dive02 拡大図

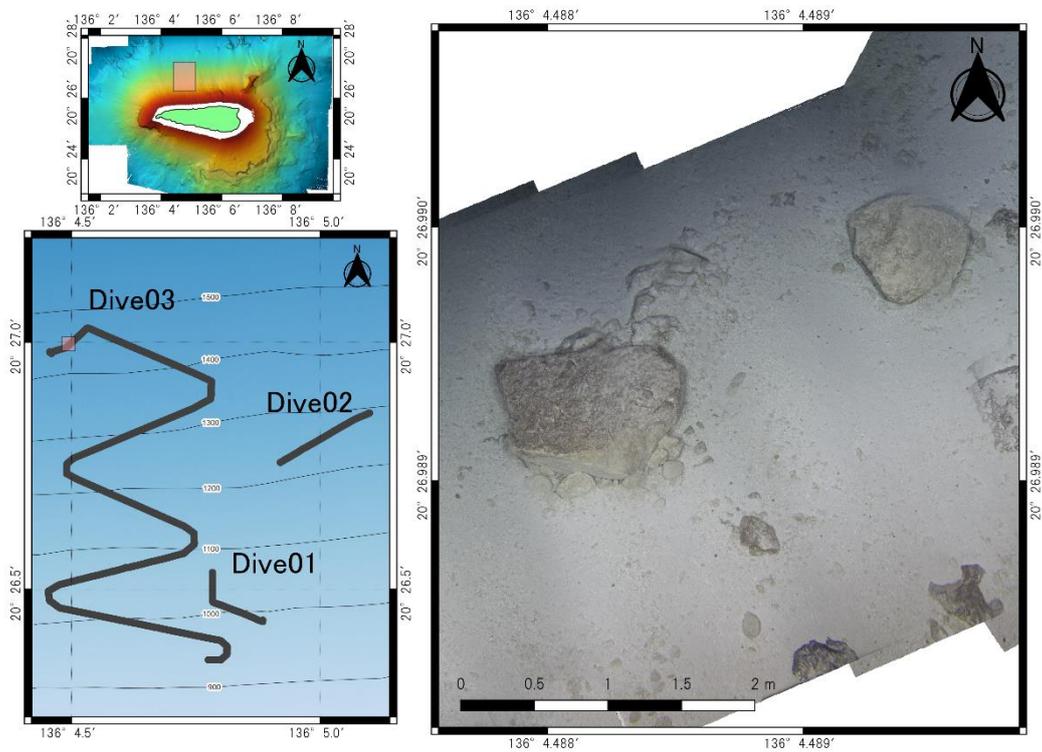


図 3-30(1) 海底のモザイク画像 Dive03 拡大図

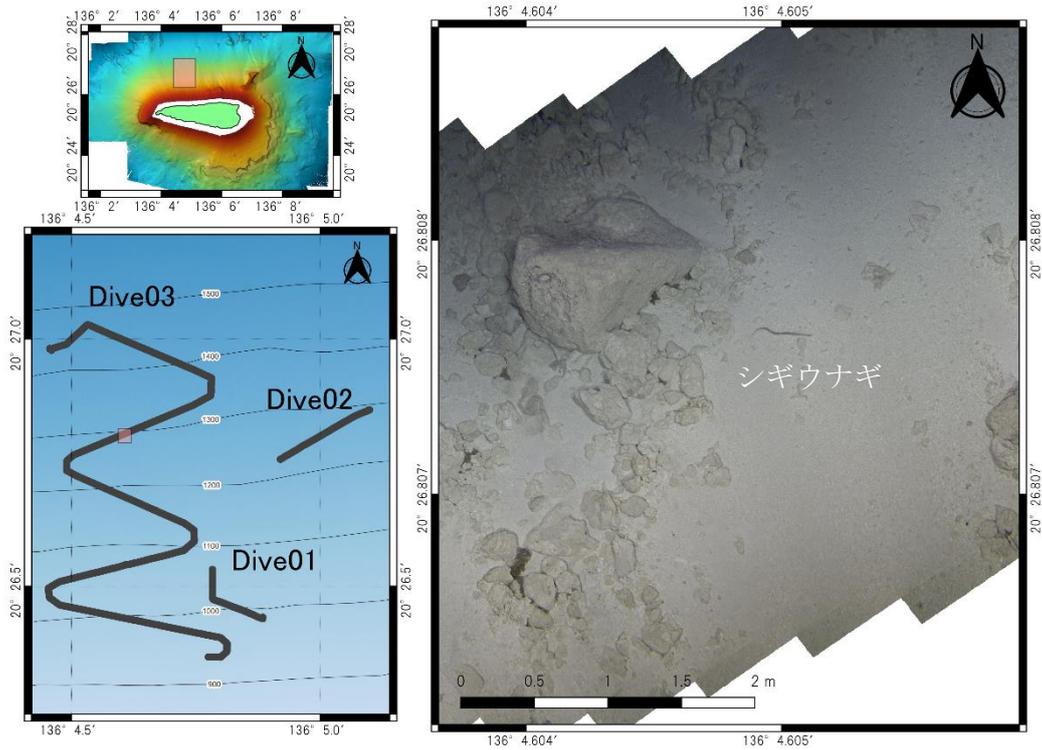


図 3-30(2) 海底のモザイク画像 Dive03 拡大図

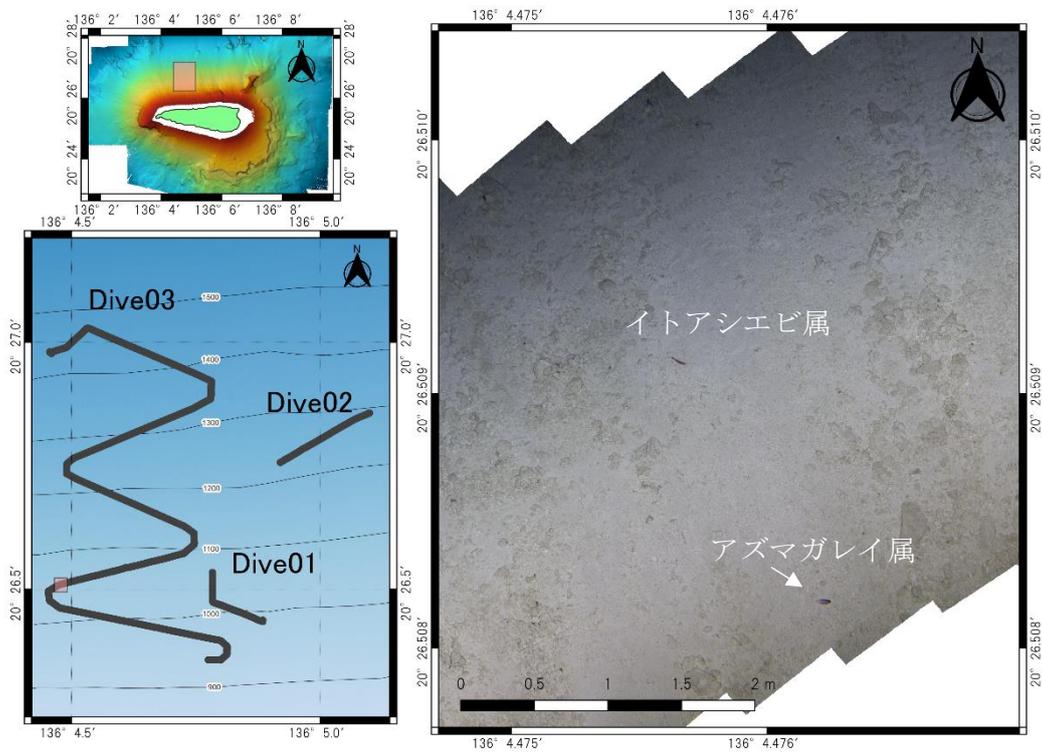


図 3-30(3) 海底のモザイク画像 Dive03 拡大図

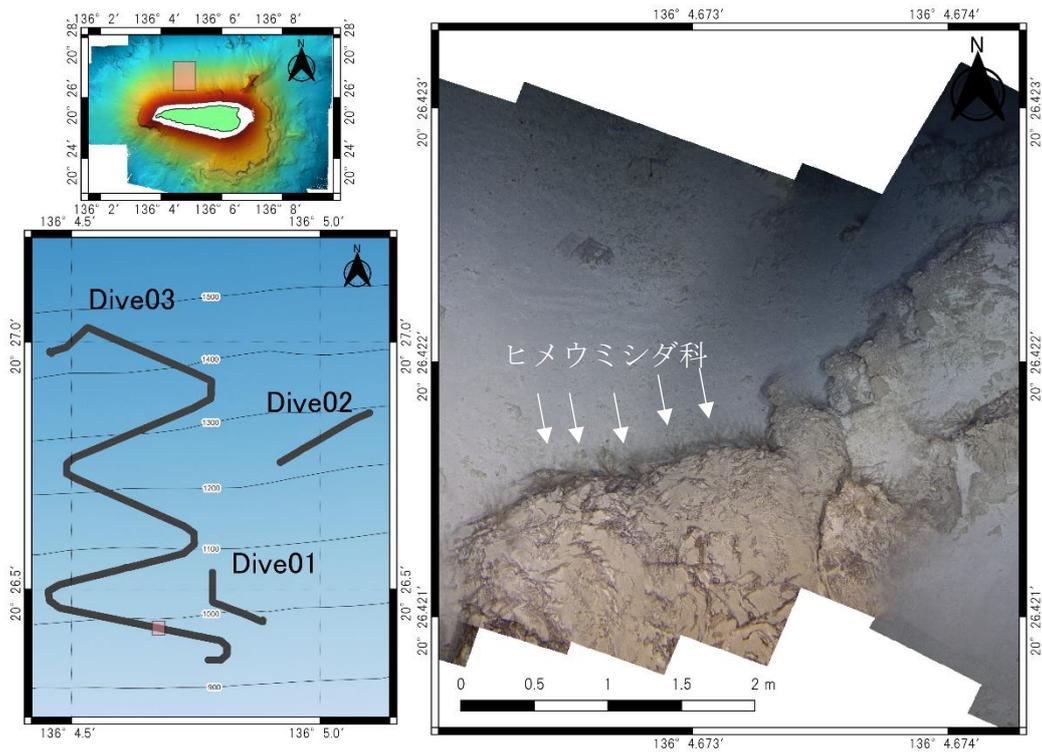


図 3-30(4) 海底のモザイク画像 Dive03 拡大図

3.3.4 考察

本年度調査において、AUV で水深約 1000m～1400m 付近の海底を潜航した結果、濁度 (FTU) に変化は見られなかった。特に潜航距離の長い Dive03 を注目してみると、水温は水深が深い方と浅い方を比較すると約1.7℃上昇しており、塩分と pH は低下していた(図 3-17)。

代表的な生物の分布状況をみると、トゲヒオドシエビと思われる種とイトアシエビ属は水深 1100m 以浅で出現頻度が高く、ミノエビ属は水深 1100m から 1300m で出現頻度が高く、イトヒキイワシ属は水深 1100m から 1200m で出現頻度が高かった。特に、アズマガレイ属とウシノシタ科の 2 種類においては、アズマガレイ属が 1000m 以深で、ウシノシタ科が 1000m 以浅で個体数が多く、顕著な分布の違いがみられた(図 3-20)。両種とも砂底に表在する同様な生活様式であるが、水温や水深等の僅かな差が分布の違いをもたらした可能性が考えられた。今後、本海域においてより広範囲に海底観察を実施することで、他の生物でもこのような分布の違いを見いだせる可能性がある。

そのほか、海綿類は深海調査では頻繁にみられる部類であるが、今回の調査範囲ではみられなかった。一般に岩盤などの基質の上で生活する生物のため、底質が砂質であることが要因として挙げられるが、海底の潮流の速さなども影響している可能性が考えられた。

本年度調査では、後述の環境 DNA 調査も行った。AUV の調査は有索の ROV 調査に比べて広範囲な調査が可能ではあるが、大きな機器が大光量で近づいてくるため、忌避行動を取る生物もいると考えられる。AUV 調査に他の調査手法を組み合わせることで、より多くの知見を得ることが可能となる。

3.3.5 研究調査の成果（達成目標に対する到達度）、今後の課題・展望等

生物について、63種類が確認されたが、チョウチンハダカ属のように日本未記録属も含まれており（琉球大学 小枝氏私信）、他に確認された生物についても未記録属や未記載種（＝新種）が含まれている可能性は高い。

確認された種が未記載種であることを証明するためには、標本に基づく研究が望まれている。しかし、AUVの調査は広範囲を調査することができるが、生物を採集することができない。一般に、深海生物の生態的知見は乏しいが、AUVによる調査は広範囲な海底観察が可能であり、深海生物の分布状況について新たな知見を得ることが出来る。採集調査の前にAUVによる広域な潜航調査を行うことで、「どの場所に、どのような生物が分布しているのか」をあらかじめ把握できるため、効率的な調査が可能となる。

今後、沖ノ鳥島周辺海域の生物相をより深く解明するため、ベイトトラップやドレッジなどの漁獲調査、ROVによるサンプリングが望まれる。今回実施した環境DNA調査などの様々な調査手法を組合わせた研究を進めることによって、さらなる知見がもたらされると考えられる。引き続き、沖ノ鳥島周辺海域におけるベースライン調査を実施することによって、未記載種や水産有用種をはじめとした様々な生物の分布状況が明らかになり、本海域の豊かな生物多様性が解明されることが望まれる。

水深が1000m～1450mで実施された本潜航調査では、基盤岩を構成する火成岩及びその基盤岩を被覆する鉄マンガンクラスト等の鉱物資源は確認することができなかった。ただし、石灰岩礫の表面を薄く被覆する黒色の膜は、鉄マンガンクラストの可能性がある。海底のモザイク画像で示すことができたため、基盤岩が露出すると考えられるより高水深の海底において調査地点を増やすことで、島の成り立ちばかりでなく沖ノ鳥島周辺海域の海底鉱物資源についてより知見を得ることが可能であると考えられる。

3.4 環境 DNA 調査

3.4.1 実施目的

AUV 調査では、海底に接近して調査を行うため、大型の遊泳生物が写りにくく、映像の鮮明度によっては種の同定に限界がある。一方、環境 DNA 調査では、AUV 調査では確認できない生物の生息可能性をデータにより示すことができる。AUV 調査だけでなく環境 DNA 調査を併せて実施することにより、限られた調査期間で、効果的に沖ノ鳥島における生物の生息状況を把握することを目的とした。

3.4.2 実施方法

(1) 採水

環境 DNA 調査は、CTD に搭載されている採水器により、所定の水深で採水された試料を用いて、環境 DNA の分析を行うものとした。使用する CTD の概要を図 3-31 に示し、環境 DNA 調査イメージを、図 3-32 に示した。

調査地点は 2 箇所とし、採水層は表層 0m と中層 1000m、下層はウインチのケーブル長 2000m を考慮して 1700m 程度の 3 層とした。各層当たり 60L の試料を採取し、魚類、甲殻類の環境 DNA 分析に供するものとし、試料採取と併せて CTD による水温、塩分の鉛直測定も実施した。

環境 DNA 調査の作業状況を、写真 3-4 に示す。

諸元		外観
機器名	SBE32+SBE19 plus V2	
最大水深	7,000m	
観測項目	水深・水温・塩分	
採水容器 搭載本数	12 本	
採水量/本	10L	
採水層	表層：(バケツ) 1000m：(CTD 採水) 1700m：(CTD 採水)	

図 3-31 使用した CTD 及び搭載されている採水器

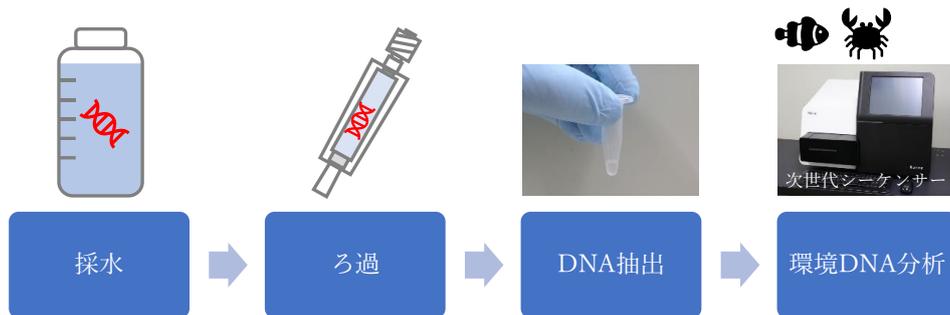


図 3-32 環境 DNA 調査のイメージ

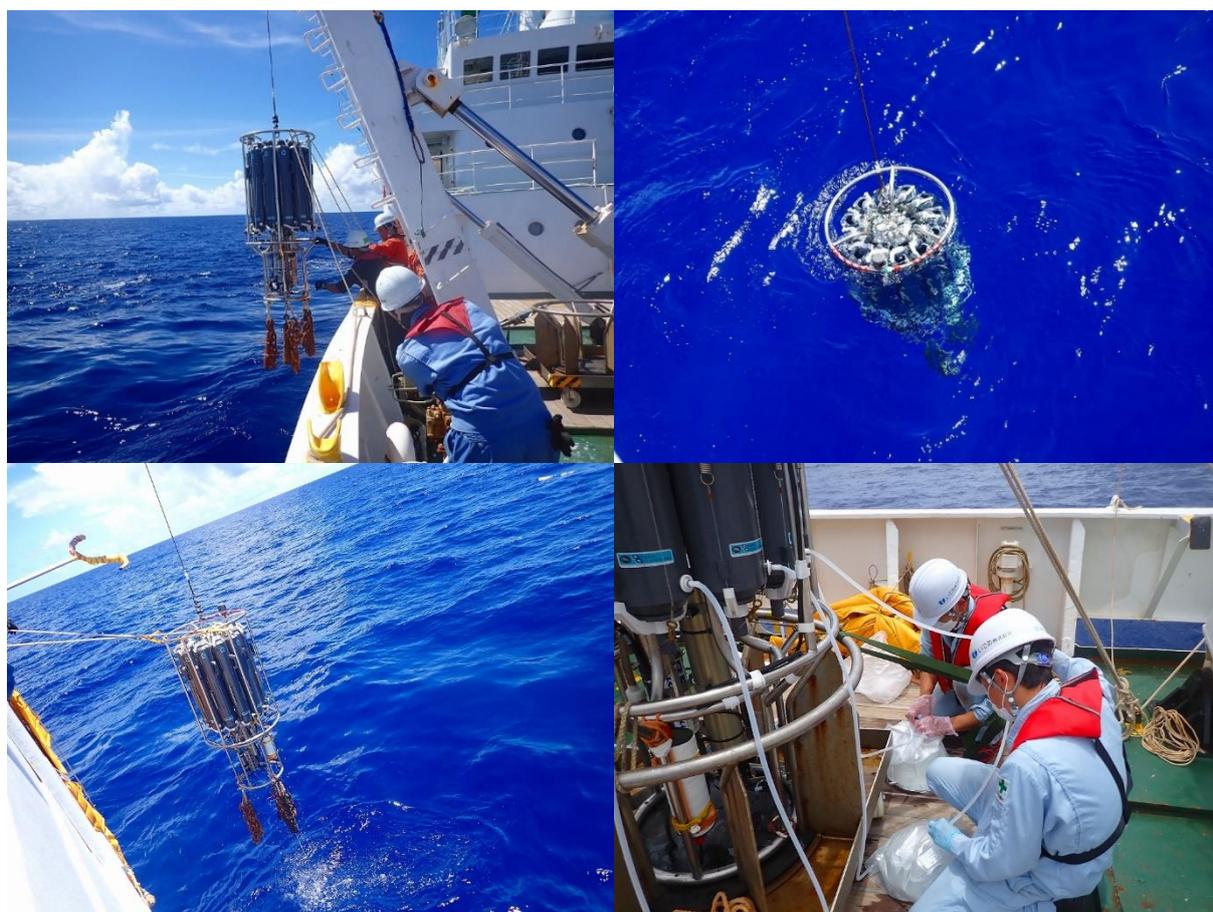


写真 3-4 CTD 採水機による作業状況

(2) 採水処理（ろ過）

海水サンプルは、CTD による採水後、採水容器ごとに 10L 容量のユニオンコンテナ（折り畳み式タンク）に移し、室内にてろ過作業を実施した(写真 3-5 参照)。採水したサンプルには、サンプルろ過中の環境 DNA の分解を抑制するため、採水直後に 10%塩化ベンザルコニウム溶液を最終濃度が 0.01%になるよう添加し、十分に混合した。ろ過は、チューブポンプを用いた加圧ろ過方式とし、ろ過フィルターには市販のカートリッジ型フィルター（メルクミリポア社製 Sterivex-HV、孔径 $0.45\mu\text{m}$ ）を使用した。使用機材の概要を図 3-33 に示し、ろ過作業イメージを、図 3-34 に示した。

なお、ろ過資材は、すべて未使用の新品とし、事前にサンプルごとに個別に包装したものを使用した。船内でのろ過作業時には、最低限の接続作業のみの実施とすることでろ過時のコンタミネーションを可能な限り防止する対策を行った。

ろ過後のフィルターは、未使用のチャック付ビニール袋に入れて封を閉じた後、 -80°C 設定の冷凍庫に保管した。

	
ユニオンコンテナ（10L） 採水したサンプルの一時保管用	送液ポンプ サンプルをフィルターへ送液するためのポンプ
	
高強度ローラーポンプ用シリコンチューブ コンテナとフィルターの接続用	ステリベクスフィルター（$0.45\mu\text{m}$） ろ過フィルター

※画像はすべてアズワンHPより引用 (<https://axel.as-1.co.jp/>)

図 3-33 ろ過に使用する機材



図 3-34 ろ過作業のイメージ



写真 3-5 船内でのろ過作業状況

(3) DNA 分析

以降の分析に関する作業は、一般社団法人環境 DNA 学会により公開されている「環境 DNA 調査・実験マニュアル Ver.2.2 (2020 年 4 月 3 日発行)」に従って実施した。ろ過後のフィルターからの環境 DNA の抽出は、DNA 抽出キット (QIAGEN 社製 DNeasy Blood & Tissue Kit) を用い、フィルター1本 (10L) あたり 1 サンプルとして以降の分析を実施した。魚類相解析は、前述の環境 DNA 学会マニュアル及び Miya *et al.*(2015)に従い、MiFish プライマーセットを用いた DNA メタバーコーディング法 (いわゆる MiFish 法) により行った。MiFish 法は、環境 DNA による魚類相モニタリングツールとして非常に有用であることが広く知られている手法である。また、甲殻類については、十脚目を網羅的に検出する MiDeca プライマーセットを使用した (Komai *et al.*, 2019)。

データ解析は、ソフトウェア bcl2fastq 及び Clident により配列結合やデノイジング等を行ったのち、ソフトウェア blastn により参照配列との相同性検索を行った。その際、魚類は、一致率 98.5%以上を採用基準として得られた DNA 配列から種を同定した。一方、甲殻類はデータベースの登録数が少ないことが想定されたため、97%以上を採用基準として得られた DNA 配列から種を同定した。



図 3-35 実験風景 (左: DNA 抽出、右: PCR 調整)

3.4.3 実施結果

(1) CTD 採水

CTD による採水は 8 月 19 日と 8 月 20 日の 2 回実施した。調査地点図を図 3-36 に、調査概要を表 3-9 に示す。CTD によって観測された水温、塩分及びそれらより計算された海水の密度、T-S ダイアグラムを図 3-37、図 3-38 に示す。両地点ともに水温・塩分の値は一般的に外洋で見られるような鉛直構造と同じような傾向を示し、特に地点による違いは見られなかった。

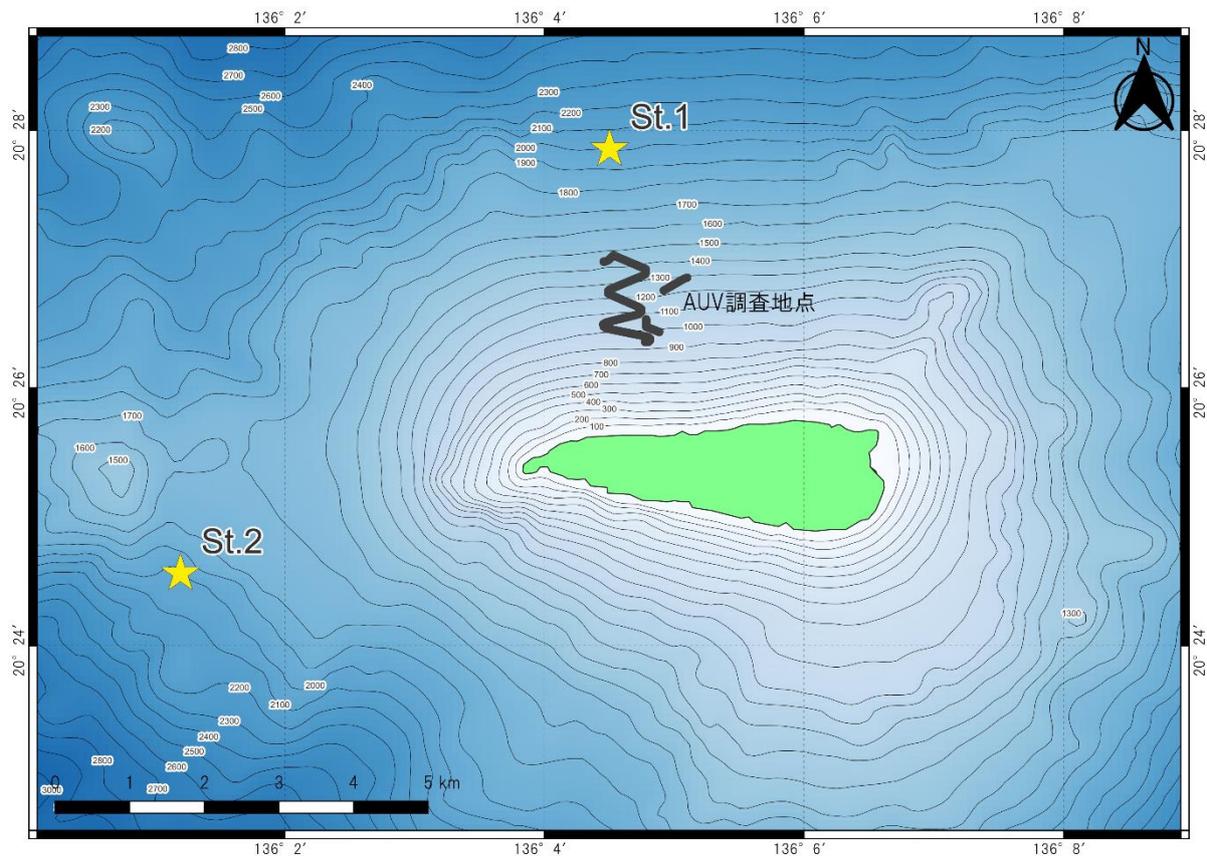


図 3-36 CTD 採水の調査地点図

表 3-9 CTD 採水の調査概要

地点名	開始時間	終了時間	最大水深	地点水深
St.1	9:22	10:56	1787m	1870m
St.2	9:48	11:27	1730m	1850m

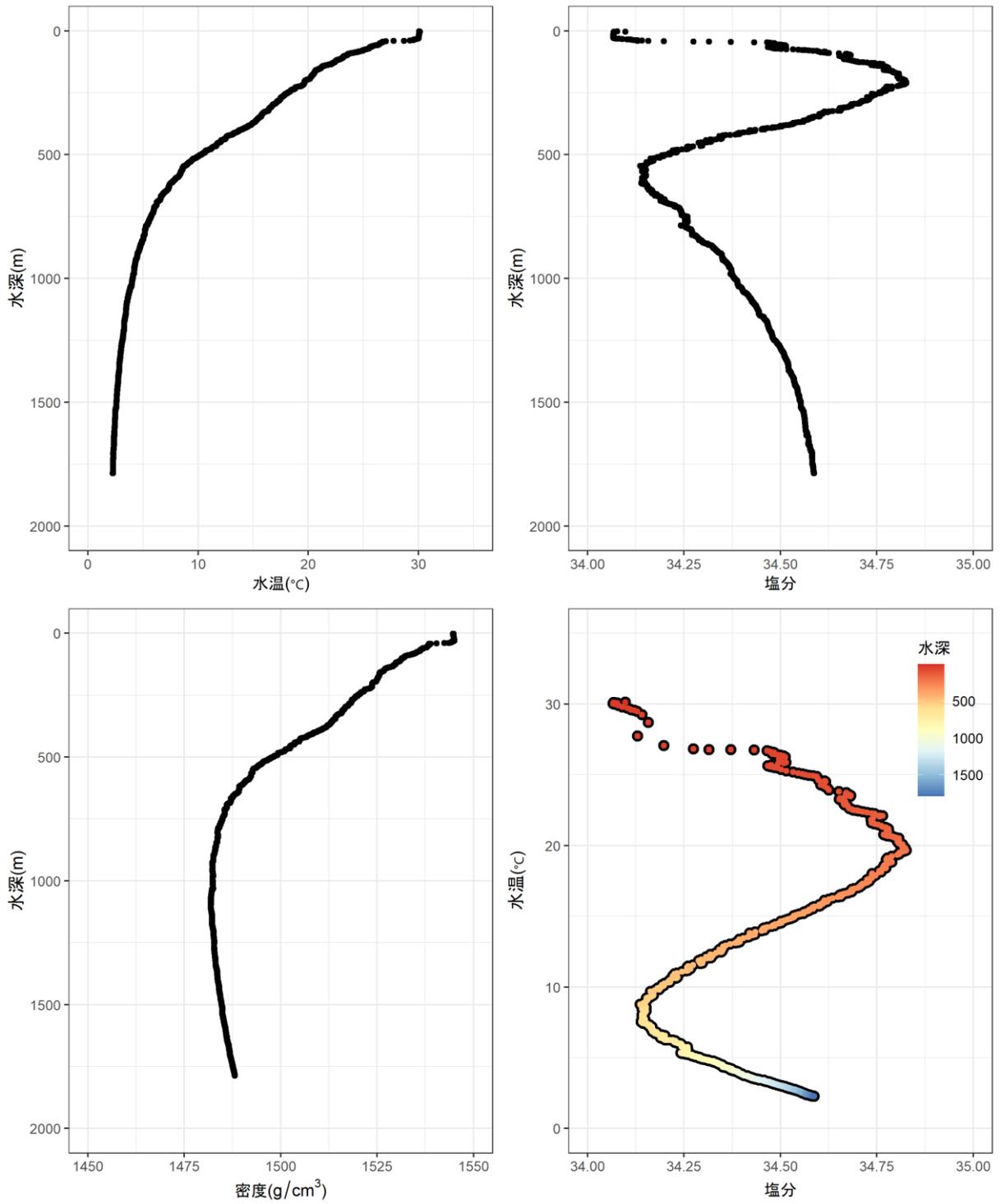


図 3-37 St.1 における CTD 結果

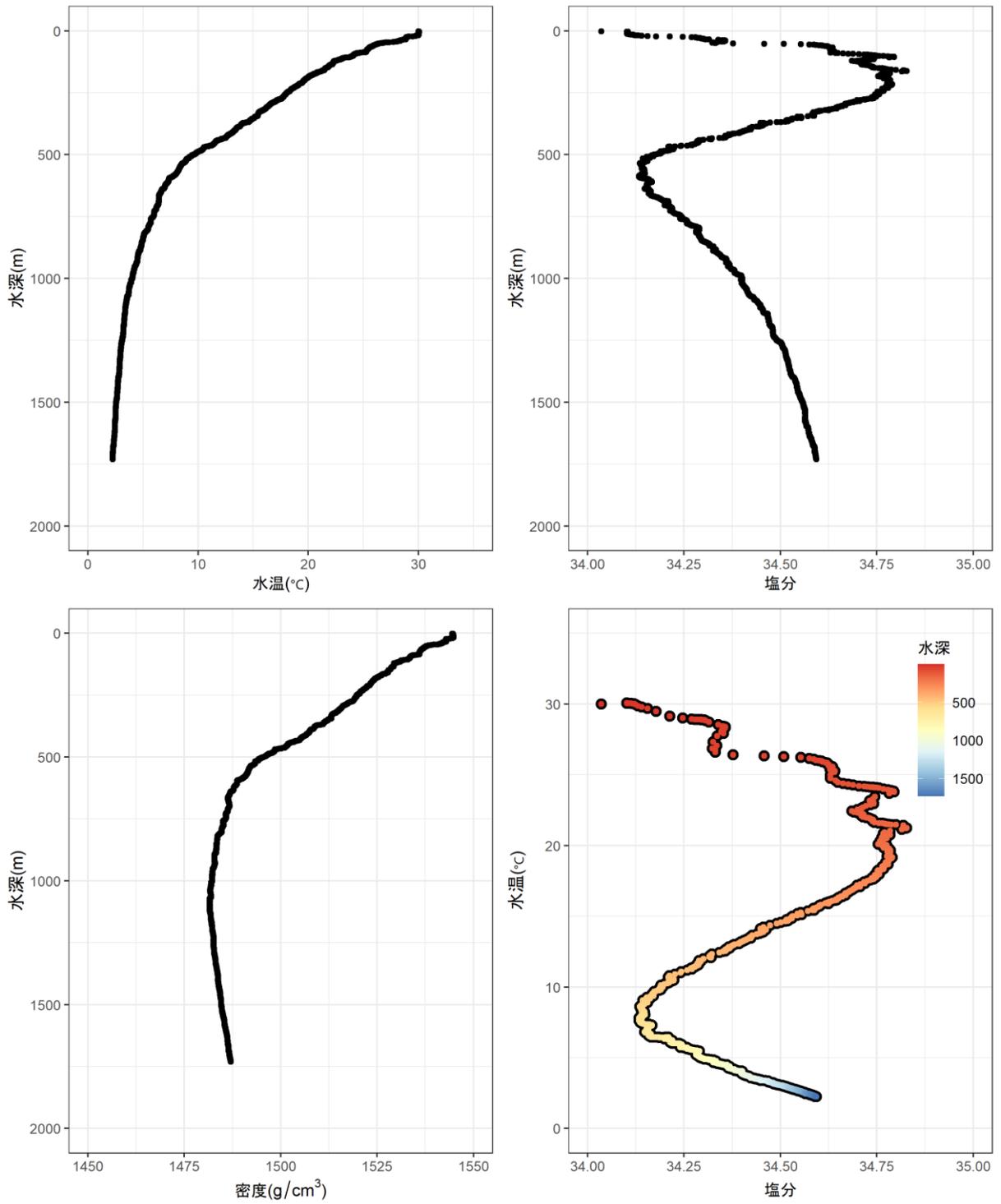


図 3-38 St.2 における CTD 結果

(2) 環境 DNA 分析

魚類の環境 DNA 分析の結果を図 3-39 および表 3-10 に示す。生息環境がサンゴ礁に分類される魚種については、ほぼ表層のみで検出されており、1000m 及び 1700m ではほとんど検出されなかった。一方、回遊性の魚種については、いずれの水深でも同程度検出された。深海性の魚種についても、あまり差は見られなかったが、1000m において最も多く検出された。

検出された魚種については、各地点 3 層、2 地点で採水された計 6 サンプルから 111 種類であった。そのうち、AUV 調査において確認された種と一致したのはシギウナギ(写真 3-6)のみであった。また、既報の採捕調査で確認されている種と一致したのは、タイワンアイノコイワシやトビウオ等、37 種類であった。令和 3 年度に実施された環境 DNA 調査で確認されている種と一致したのは、トンプソンチョウチョウウオやクロタチカマス等、13 種類であった。

甲殻類の環境 DNA 分析の結果を図 3-40 および表 3-11 に示す。魚類の結果同様、生息環境がサンゴ礁に分類される種は、表層のみで検出された。外洋性の甲殻類については、すべての採水層で検出されたが、表層において最も多かった。深海性の甲殻類については、1000m および 1700m でのみ検出された。

検出された甲殻類の種については、全 13 種類であった。魚類の結果とは異なり、甲殻類では、既報の採捕調査および令和 3 年度に実施された環境 DNA 調査で確認されている種と一致した種は確認されなかった。



写真 3-6 シギウナギ

表 3-10 (1) 環境 DNA 分析結果 (MiFish プライマーによる網羅的解析)

No.	画像データとの一致 ¹⁾	既報の採捕データとの一致 ¹⁾	R3年度環境DNA結果との一致 ¹⁾	科名	和名	学名	採水日	調査地						生息環境 ²⁾	生息水深 ²⁾				
								表層								1000m		1700m	
								st.1	st.2	st.1	st.2	st.1	st.2			st.1	st.2		
							確認種数	111	55	48	29	41	15	15					
							総リード数	1,297,042	149,978	210,385	304,017	321,141	169,924	141,597					
1				メジロザメ科	オグロメジロザメ	<i>Carcharhinus amblyrhynchos</i>		275	275	0	0	0	0	0	0	サンゴ礁、海洋回遊性	0 - 1000 m		
2				ウツボ科	トラウツボ	<i>Enchelycore nardalis</i>		129	129	0	0	0	0	0	0	サンゴ礁	8 - 60 m		
3		○		カササギウシ科	タイワンサシノイウシ	<i>Encrasicholina punctifer</i>		49,991	2,458	46,762	0	771	0	0	0	サンゴ礁、海洋回遊性	5 - 35 m		
4		△		イトウダイ科	クロオビマツカサ / コガネマツカサ	<i>Myripristis kuetzingi / M. pralinii</i>		784	784	0	0	0	0	0	0	サンゴ礁	0 - 65 m		
5		△		イトウダイ科	コガネマツカサ	<i>Myripristis pralinii</i>		278	0	278	0	0	0	0	0	サンゴ礁	8 - 50 m		
6		○		イトウダイ科	トガリエビス	<i>Sargocentron spiniferum</i>		269	269	0	0	0	0	0	0	サンゴ礁	1 - 122 m		
7		○		イトウダイ科	アオスイエビス	<i>Sargocentron tiera</i>		896	896	0	0	0	0	0	0	サンゴ礁	1 - 183 m		
8			△	トビウオ科	オオアカトビ / カラストビウオ / アカトビ	<i>Chelopogon suttoni / C. cyanopterus / C. atrisignis</i>		21,919	380	3,544	2,984	11,545	3,466	0	0	サンゴ礁、海洋回遊性	0 - 20 m		
9				ハダ科	ヌグイラン	<i>Gammistes sexlineatus</i>		1,122	0	1,122	0	0	0	0	0	サンゴ礁	1 - 130 m		
10		△		アジ科	メダカ	<i>Scorpaenopsis diabolus</i>		306	306	0	0	0	0	0	0	サンゴ礁	0 - 170 m		
11		△	○	アジ科	インドオキアジ / オキアジ	<i>Uraspis uraspis / Uraspis helvola</i>		1,793	0	1,793	0	0	0	0	0	サンゴ礁	20 - 130 m		
12				フエダイ科	ヒメフエダイ	<i>Lutjanus gibbus</i>		1,091	0	1,091	0	0	0	0	0	サンゴ礁	1 - 150 m		
13		○		フエダイ科	ヨコシマクロダイ	<i>Monotus grandoculis</i>		766	766	0	0	0	0	0	0	サンゴ礁、非移行性	1 - 100 m		
14			○	チョウチョウウオ科	ドンフンチョウチョウウオ	<i>Hemitaenichthys thompsoni</i>		11,298	0	11,298	0	0	0	0	0	サンゴ礁	4 - 300 m		
15				ベラ科	ヒトスジモテノウオ	<i>Oxycheilinus unifasciatus</i>		195	0	195	0	0	0	0	0	サンゴ礁	1 - 160 m		
16				ベラ科	コガシラ	<i>Thalassoma amblycephalum</i>		2,714	2,714	0	0	0	0	0	0	サンゴ礁	1 - 15 m		
17			○	ブダイ科	ハゲブダイ	<i>Chirurgus sordidus</i>		1,983	1,059	884	0	0	0	0	0	汽水、サンゴ礁、海洋回遊性	0 - 50 m		
18				ブダイ科	オウムブダイ	<i>Scarus psittacus</i>		1,369	695	674	0	0	0	0	0	サンゴ礁	2 - 25 m		
19				ブダイ科	イチモンジブダイ	<i>Scarus forsteri</i>		429	0	429	0	0	0	0	0	サンゴ礁	3 - 30 m		
20		○		ツノダシ科	ツノダシ	<i>Zanclus cornutus</i>		991	0	991	0	0	0	0	0	サンゴ礁	3 - 182 m		
21		○	○	ニザダイ科	シマハギ	<i>Acanthurus triostegus</i>		813	0	813	0	0	0	0	0	サンゴ礁	0 - 90 m		
22		△		ニザダイ科	ニシキハギ	<i>Acanthurus lineatus</i>		2,067	762	1,305	0	0	0	0	0	サンゴ礁	0 - 15 m		
23		△	○	ニザダイ科	スジクロハギ	<i>Acanthurus leucoparvus</i>		366	366	0	0	0	0	0	0	サンゴ礁	1 - 85 m		
24		○		ニザダイ科	モンツキハギ	<i>Acanthurus olivaceus</i>		592	592	0	0	0	0	0	0	サンゴ礁	3 - 46 m		
25		△		ニザダイ科	ナンヨククロハギ	<i>Acanthurus nigros</i>		13,702	1,447	0	0	10,343	0	1,912	0	サンゴ礁	1 - 90 m		
26		△	△	ニザダイ科	ミヤコテングハギ	<i>Naso lituratus</i>		227	0	227	0	0	0	0	0	サンゴ礁	0 - 90 m		
27		△		モンガラカワハギ科	アミモンガラ	<i>Canthiokermis maculata</i>		1,771	1,771	0	0	0	0	0	0	サンゴ礁	1 - 110 m		
28		○		ウグ科	コケムシウグ / ミソレフグ	<i>Arothron nigropunctatus / A. meleagris</i>		873	873	0	0	0	0	0	0	サンゴ礁	3 - 25 m		
29		○		ハリセンボン科	ネズミフグ / ヤセハリセンボン	<i>Diodon hystrix / D. oxybunus</i>		799	799	0	0	0	0	0	0	サンゴ礁	2 - 50 m		
30				アカエイ科	アカエイ	<i>Hemirhamphys akabei</i>		174	174	0	0	0	0	0	0	汽水、底生、海洋回遊性	10 - 9 m		
31				アカエイ科	カラスイエイ	<i>Pteroplatytrygon violacea</i>		521	0	0	0	0	521	0	0	底生	1 - 381 m		
32		△		イワアナゴ科	カワリアナゴ	<i>Robinia catherinae</i>		479	479	0	0	0	0	0	0	底生	140 - 243 m		
33				ゴンズイ科	ゴンズイ	<i>Plotosus japonicus</i>		18,015	6,603	11,412	0	0	0	0	0	底生、温帯			
34		△		イトウダイ科	キビシマツカサ	<i>Myripristis chryseres</i>		3,494	0	324	0	3,170	0	0	0	底生	12 - 350 m		
35				ホウボウ科	ホウボウ	<i>Oblodactylus spinosus</i>		250	0	250	0	0	0	0	0	底生	25 - 815 m		
36				エボシダイ科	ホソオキメダイ	<i>Cubicops pauciradus</i>		14,473	6,825	330	7,318	0	0	0	0	底生	180 - 550 m		
37				ムカシクロタチ科	ムカシクロタチ	<i>Scombrobrach heterolepis</i>		7,758	0	0	0	7,758	0	0	0	底生、海洋回遊性	100 - 900 m		
38		○		クロタチカマス科	ホソクロタチ	<i>Diplospinus multistriatus</i>		19,355	628	0	0	0	18,727	0	0	底生	50 - 1000 m		
39				カワハギ科	カワハギ	<i>Stephanolepis cirrifer</i>		1,141	1,141	0	0	0	0	0	0	底生、海洋回遊性			
40		○	△	トビウオ科	トビウオ	<i>Chelopogon aego aego</i>		13,579	8	0	37	7,193	1,430	4,913	0	外洋性	0 - 9 m		
41		○	△	トビウオ科	ヒメアカトビ	<i>Ogysseus angusticeps</i>		806	0	586	12	8	0	0	0	遠洋、海洋回遊性	0 - 20 m		
42		△	△	トビウオ科	イマトビウオ / オオメナトビ	<i>Chelopogon arcticeps / C. unicolor</i>		5,125	4	22	267	210	588	4,034	0	外洋性、海洋回遊性	0 - 20 m		
43		△	△	トビウオ科	カラストビウオ / ウチダトビウオ	<i>Chelopogon cyanopterus / Opsyelurus narensii</i>		17,378	0	19	9,180	5,803	2,130	246	0	外洋性、海洋回遊性	0 - 20 m		
44		○	△	トビウオ科	イダテントビウオ	<i>Exocoetus volitans</i>		440,392	662	5,199	160,569	58,049	128,291	87,622	0	外洋性、海洋回遊性	0 - 20 m		
45		△	△	トビウオ科	オジロトビ / イダテントビウオ	<i>Chelopogon exilis / Exocoetus volitans</i>		849	0	7	276	63	352	151	0	遠洋、海洋回遊性	0 - 9 m		
46			△	トビウオ科	ニシトビウオ / ホソアオトビ	<i>Hirundichthys speculiger / Hi. oxycephalus</i>		11,416	1,299	978	2,174	5,245	1,720	0	0	遠洋、海洋回遊性	0 - 9 m		
47		○		トビウオ科	サヨトビウオ	<i>Oxyorhamphus micropterus micropterus</i>		77,716	615	70,865	0	6,236	0	0	0	遠洋、海洋回遊性	0 - 1 m		
48				トビウオ科	ダルマトビ	<i>Promethichthys sealei</i>		4	0	0	0	0	0	0	0	遠洋、海洋回遊性	0 - 20 m		
49				コンニャク科	スジコバン	<i>Phtheichthys lineatus</i>		14	14	0	0	0	0	0	0	遠洋、海洋回遊性	0 - 5 m		
50		○		シラ科	シラ	<i>Coryphaena hippurus</i>		231	231	0	0	0	0	0	0	汽水、外洋性、海洋回遊性	0 - 85 m		
51				シラ科	エビスシラ	<i>Coryphaena equisele</i>		462	0	462	0	0	0	0	0	遠洋、海洋回遊性	0 - 400 m		
52		△		シマガツオ科	シマガツオ	<i>Brama japonica</i>		287	0	0	287	0	0	0	0	遠洋、海洋回遊性	271 - 620 m		
53				マカジキ科	バショウカジキ / マカジキ / フウライカジキ / クロカジキ / シロカジキ	<i>Istiophorus platypterus / Kajika audax / Tetrapturus angustirostris / Makaira mazara / I. indica</i>		1,637	1,011	134	0	0	0	492	0	遠洋、海洋回遊性	0 - 200 m		
54		○	○	クロチカマス科	クロチカマス	<i>Gempylus serpens</i>		7,277	1,135	119	0	6,024	0	0	0	遠洋、海洋回遊性	0 - 600 m		
55		○		サハ科	カマスサワラ	<i>Acanthocybium solandri</i>		1,386	884	502	0	0	0	0	0	遠洋、海洋回遊性	0 - 20 m		
56		○	○	サハ科	カツオ	<i>Katsuwonus pelamis</i>		21,252	10,410	9,260	0	1,582	0	0	0	遠洋、海洋回遊性	0 - 260 m		
57			△	サハ科	クロマダロ / タイセイヨウクロマダロ / ビンナガ	<i>Thunnus orientalis / T. thynnus / T. alalunga</i>		7,244	4,599	1,648	0	0	997	0	0	汽水、遠洋、海洋回遊性	1 - 550 m		
58			△	サハ科	メバチ / タイセイヨウマダロ / キハダ / ミナミマダロ	<i>Thunnus obesus / T. atlanticus / T. albacares / T. maccoyii</i>		30,770	22,511	2,445	0	5,814	0	0	0	遠洋、海洋回遊性	0 - 1500 m		

注1) 画像データおよび平成18年度東京都水産庁研究報告、令和3年度の環境DNA結果との一致欄の「○」は種レベルで一致した種を、「△」は上位分類群で一致した種を示す。
 注2) 魚類に関する情報を包括的に収集しているデータベース「FishBase」の情報を示す。
 注3) 複数種が同一の塩基配列だった場合には「/」で併記した。

表 3-11 環境 DNA 分析結果 (MiDeca プライマーによる網羅的解析)

No.	アクセッション番号	一致率	代表配列	画像データとの一致 ¹⁾	既報の採捕データとの一致 ¹⁾	科名	和名	学名	採水日		2022/8/18		2022/8/19		2022/8/18	2022/8/18	2022/8/19	生息環境 ²⁾	生息水深 ²⁾
									採水層	表層	1000m		1700m						
確認種類数									st.1	st.2	st.1	st.2	st.1	st.2					
総リード数									443,207	58,441	24,726	0	94,962	149,434	115,644				
1	LC469672.1	98.225	GCTTTAC			ワタリガニ科	ウエークベニツゲガニ	<i>Thalamita seurati</i>	8,301	8,301	0	0	0	0	0	0	0	底生	0 - 60 m
2	KM888839.1	100	GGTTTAT			オウギガニ科	Luniella scabricula	<i>Luniella scabricula</i>	6,290	6,290	0	0	0	0	0	0	0	底生	0 - 5 m
3	NC_039170.1	100	GCTTTAC		△	オヨギチヒロエビ科	スベスベチヒロエビ	<i>Gennadas parvus</i>	90,013	10,755	0	0	79,258	0	0	0	0	外洋性	? - 3935 m
4	MK950934.1	100	GCTTTAC		△	オヨギチヒロエビ科	マルソコチヒロエビ	<i>Maorrancais investigatoris</i>	34	0	0	0	34	0	0	0	0	深海	0 - 1690 m
5	MH542982.1	100	ACTTTAC	△		ヒオドシエビ科	ヤリヒオドシエビ	<i>Acanthephyra acutifrons</i>	5,963	0	5,963	0	0	0	0	0	0	外洋性	357 - 4200 m
6	KP075892.1	99.379	ACTTTAC	△		ヒオドシエビ科	Acanthephyra media	<i>Acanthephyra media</i>	78,599	0	0	0	0	0	0	78,599	0	外洋性	1280 - 1280 m
7	MF197200.1	100	ACTTCAT			ヒオドシエビ科	フタスジアタマエビ	<i>Notostomus elegans</i>	15,670	0	0	0	15,670	0	0	0	0	深海	450 - 5380 m
8	KP725603.1	99.375	ACTTTAT			ヒオドシエビ科	トゲオキヒオドシエビ	<i>Oplophorus gracilirostris</i>	37,045	0	0	0	0	0	0	37,045	0	深海	10 - 2400 m
9	KP725657.1	99.363	ACTTTAC			ヒオドシエビ科	マルトゲヒオドシエビ	<i>Systemaspis debilis</i>	149,434	0	0	0	0	149,434	0	0	0	深海	0 - 3716 m
10	MH542994.1	99.412	GCTTTAT		△	サクラエビ科	クシノハカスミエビ	<i>Allosergestes pectinatus</i>	3,908	0	3,908	0	0	0	0	0	0	外洋性	25 - 725 m
11	MG677866.1	100	ACTTTAT		△	オキアミ科	Euphausia brevis	<i>Euphausia brevis</i>	363	141	222	0	0	0	0	0	0	外洋性	0 - 1872 m
12	MG677872.1	97.619	ACTTTAT		△	オキアミ科	Euphausia recurva	<i>Euphausia recurva</i>	26,138	16,474	9,664	0	0	0	0	0	0	外洋性	? - 500 m
13	MG677873.1	98.788	ACTTGAT		△	オキアミ科	Euphausia tenera	<i>Euphausia tenera</i>	21,449	16,480	4,969	0	0	0	0	0	0	外洋性	0 - 1000 m

注1) 画像データおよび平成18年東京都水産海洋研究報告との一致欄の「○」は種レベルで一致した種を、「△」は上位分類群で一致した種を示す。
 注2) 海洋生物に関する情報を包括的に収集しているデータベース「SeaLifeBase」の情報を示す。

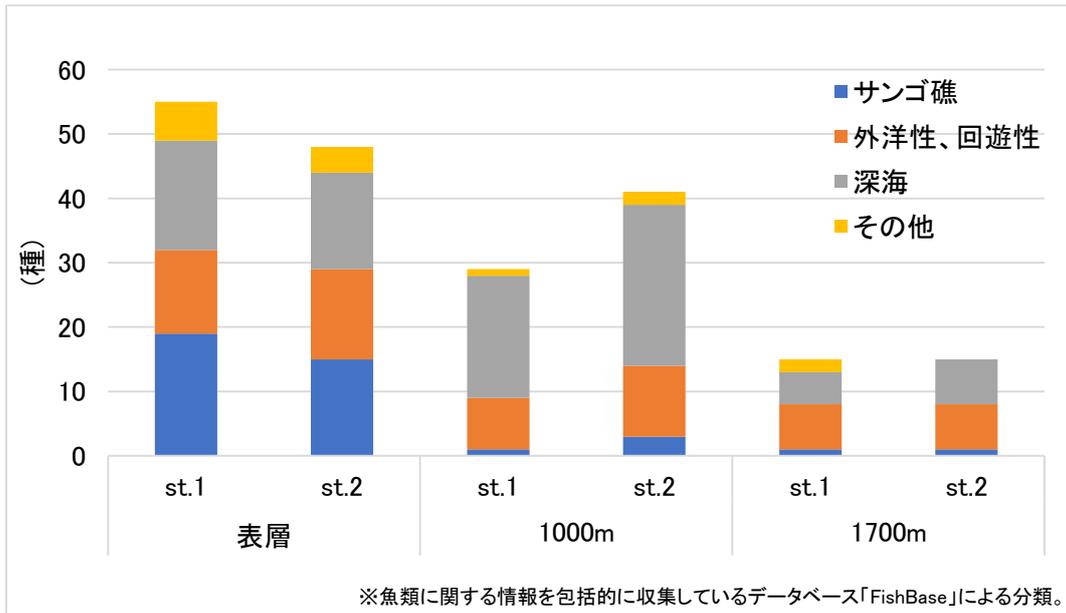


図 3-39 各採水層における検出種数の割合（魚類）

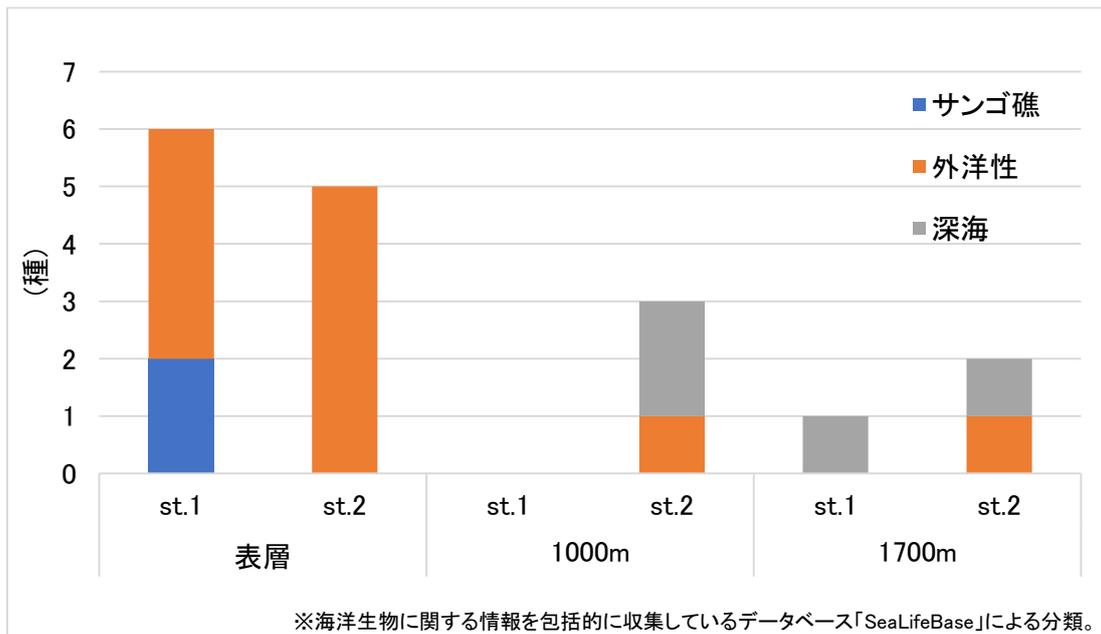


図 3-40 各採水層における検出種数の割合（甲殻類）

3.4.4 考察

魚類、甲殻類ともに AUV 調査や沖ノ鳥島周辺の過去の採捕調査（加藤ら 2006、小埜田ら 2006^{1,2}、前田ら 2006^{1,2}、米山ら 2006）では確認できなかった種を多く検出することができた。特に、魚類ではヨコエソ科やハダカイワシ科、甲殻類ではオヨギチヒロエビ科やヒオドシエビ科といった深海性の生物種が多く検出されており、採捕調査の困難な深海生物について環境 DNA 調査の有効性が示された。

加藤ら（2006）の調査では、沖ノ鳥島周辺海域において 8 種のトビウオが捕獲されており、漁業資源としての価値が高いと報告されている。同様に、本調査で実施した環境 DNA 調査でも外洋性のトビウオ科が多く検出されており、漁業資源としての利用が期待される。

魚類の表層の検出結果では、オグロメジロザメやツノダシ等のサンゴ礁域でよくみられる種が検出された。同様に、甲殻類の表層においてもサンゴ礁や岩礁に生息するウェークベニツケガニや *Luniella scabricula* が検出された。これらのことから、採水地点は、両地点ともに 3~5km ほど離れているが、沖ノ鳥島のサンゴ礁由来の DNA を検出していると考えられた。サンゴ礁に分類される魚種については、ほぼ表層のみで検出されており、特に表層では沖ノ鳥島のサンゴ礁由来の魚種の影響を受けやすい可能性が示唆された。また、各採水層で検出された魚種の生息環境の比率は、大きく異なっていたことから、異なる水深で採水することで、その水深に生息する魚種を効果的に検出できる可能性が示唆された。

甲殻類については、画像データおよび既報の採捕調査と一致する種は検出されなかった。ただし、科レベルで一致する種は検出されたことから、両手法における同定精度の差が影響している可能性が考えられた。また、甲殻類についてはデータベースの不足により、一致率が低く、種同定に至らないものが多く検出された。今後、環境 DNA 調査による甲殻類の検出精度を高くするためには、データベースの充実が不可欠であると考えられた。

3.4.5 研究調査の成果（達成目標に対する到達度）、今後の課題・展望等

魚類、甲殻類ともに AUV 調査や過去の採捕調査では確認されなかった生物種を検出することができた。さらに、採捕調査の困難な深海性の生物種が検出されており、環境 DNA 調査により限られた調査期間で効果的に生物の生息状況を把握することが可能となった。また、各採水層で検出された魚種の生息環境の比率は、大きく異なっていたことから、異なる水深で採水することで、その水深に生息する魚種を効果的に検出できる可能性が示唆された。

甲殻類については、データベースの不足により、一致率が低く、種同定に至らないものが多く検出された。今後、環境 DNA 調査による甲殻類の検出精度を高くするためには、データベースの充実が不可欠であると考えられた。また、本調査では分析対象としていないが、データ解析の段階でクジラやイルカ等の海棲哺乳類が検出されている可能性が示唆された。次年度は、海棲哺乳類についても環境 DNA 調査の対象とすることで、沖ノ鳥島周辺のより広範な生物多様性調査が実施できると考えられた。

4. まとめ

研究調査の初年度となる令和 4 年度は、沖ノ鳥島周辺海域において、マルチビームソナーによる海底地形の調査、それにより得られた地形を基にした島の北側で AUV による潜航調査、AUV 潜航予定水深付近及び島の西側の 2 地点で CTD による水質観測、海水試料の採水を行い、魚類・甲殻類の環境 DNA 分析を行った。

海底地形調査では、沖ノ鳥島周辺海域の 2000m 以浅海域のほとんどのエリアで調査を行うことができ、いくつかの特徴的な地形も確認された。特徴的な地形は沖ノ鳥島の成り立ちを明らかにするためにも重要な地形であると考えられ、成り立ちを明らかにすることは海底資源の賦存の可能性やその場所を絞り込むために重要な因子である。

AUV 調査では島の北側で 3 回の潜航を行い、水深 1000m~1400m で海底の観察を行うことができた。得られた海底の映像に写った生物を 63 の分類群・種に分けて整理を行った。またその結果を地図上に整理することで一様に分布している種、分布に偏りのある種を確認した。さらに海底のモザイク画像を作成し、石灰岩礫混じりの石灰岩・有孔虫砂が広がる海底の様子を地図上で示すことができた。海底の映像からは鉱物資源と思われるような鉱石は確認できなかったが、石灰岩礫を覆う黒色膜は鉄マンガンクラストである可能性が高い。モザイク画像を地図上に表示し、詳細な海底の状況を位置情報と共に確認できたことから AUV 調査が今後、より深度に調査箇所を広げていくことで島の基盤岩を覆う鉄マンガンクラストが確認できることが期待される。また、本調査では撮影された生物の 63 種類の中には、チョウチンハダカ属のように日本未記録属も含まれることから本海域が独自の生物相をもった生態系を形成している可能性が示唆された。離島等の隔離された生態系は攪乱に弱く、失われると戻らないことから沖ノ鳥島周辺海域がどのような生態系を形成しているかを明らかにすることは生物多様性を維持する上でも重要である。

環境 DNA 調査では、2 地点において表層、水深 1000m・1700m の 3 層で採水された計 6 サンプルから 111 種類の魚類と 13 種類の甲殻類の DNA が確認された。そのうち、AUV 調査において確認された種と一致したのはシギウナギのみであったが、ホラアナゴ科やアンコウ科なども科レベルの分類で環境 DNA 解析と整合的であった。また、既報の採捕調査で確認されていると一致するものも 37 種類確認された。また、採捕調査の困難な深海魚も検出されており、生態系を把握する手段として環境 DNA 調査の有効性が示された。

採水層の下層は 1700m であり、AUV の調査深度より深いところであったが、AUV が撮影した画像に出現した生物であっても、DNA が確認されていないものも多い。これは深海性の生物のデータベースが充実していないことも可能性の一つとして考えられる。AUV 調査や環境 DNA 調査においては実際の生物のサンプルを得ることで画像からの詳細な同定、環境 DNA のデータベースの拡充を行うことができるため、生物サンプルを得るような調査手法も加えることが重要だと思われる。

5. 資料

5.1 参考文献

- 1) 日高 弥子, 松岡 大祐, 桑谷 立, 金子 純二, 笠谷 貴史, 木戸 ゆかり, 石川 洋一, 木川 栄一. 2021. 深層学習による海底地形図超解像の手法比較と検証. 情報地質 Vol.32, No.1 : 3-13.
- 2) M. Miya, Y. Sato, T. Fukunaga, T. Sado, J. Y. Poulsen, K. Sato, T. Minamoto, S. Yamamoto, H. Yamanaka, H. Araki, M. Kondoh and W. Iwasaki. 2015. MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: detection of more than 230 subtropical marine species. Royal Society Open Science, 2(7):150088.
- 3) T. Komai, R.O. Gotoh, T. Sado, M. Miya. 2019. Development of a new set of PCR primers for eDNA metabarcoding decapod crustaceans. Metabarcoding and Metagenomics, 3:e33835.
- 4) 加藤憲司, 小埜田明, 前田洋志, 川辺勝. 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.
- 5) 小埜田明, 前田洋志, 米山純夫. 2006. 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.
- 6) 小埜田明, 前田洋志, 米山純夫. 2006. 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.
- 7) 前田洋志, 小埜田明. 2006. 沖ノ鳥島周辺海域における仔稚魚相. 東京都水産海洋研究報告, 1 : 51-63.
- 8) 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.
- 9) 米山純夫, 妹尾浴太郎, 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.
- 10) NOAA Ocean Exploration. 2023. Benthic Deepwater Animal Identification Guide V3/
https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/animal_guide/animal_guide.html 2023.1.23 閲覧.
- 11) 林健一. 1992. 日本産エビ類の分類と生態 I. 根鰓亜目(クルマエビ上科・サクラエビ上科). 生物研究社.
- 12) 藤倉克則, 奥谷喬司, 丸山正. 2012. 潜水調査船が観た深海生物 第2版 深海生物研究の現在. 東海大学出版会.
- 13) 林健一. 2007. 日本産エビ類の分類と生態 II. コエビ下目(1). 生物研究社.
- 14) Palomares, M.L.D. and D. Pauly. Editors. 2022. SeaLifeBase.
<https://www.sealifebase.ca/summary/Heterocarpus-longirostris.html> 2023.1.23 閲覧.
- 15) Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2022. FishBase. <https://www.fishbase.se/search.php>. 2023.1.23 閲覧.
- 16) T. Komai and S. Tsuchida. 2014. Deep-Sea decapod crustaceans (Caridea, Polychelida, Anomura and Brachyura) collected from the Nikko Seamounts, Mariana Arc, using a remotely operated vehicle "Hyper-Dolphin". Zootaxa 3764 (3): 279-316.
- 17) 朝倉彰, 渡部元, 太田秀, 橋本惇. 2006. ヤドカリ類の分類学, 最近の話題-オキヤドカリ科その2. 海洋と生物 163, 28(2):211-226.
- 18) 中坊 徹次. 2013. 日本産検索 全種の同定 第三版. 東海大学出版会.
- 19) Deep-Sea Fish Fauna on the Seamounts of Southern Japan with Taxonomic Notes on the Observed Species.
- 20) K. Koeda, S. Takashima, T. Yamakita, S. Tsuchida, Y. Fujiwara. Deep-Sea Fish Fauna on the Seamounts of Southern Japan with Taxonomic Notes on the Observed Species. Journal of Marine Science and Engineering. 2021; 9(11):1294.

5.2 資料

- 1) 海上保安庁. 2013. 海底地形図 沿岸の海の基本図 沖ノ鳥島 6577-1.