

久米島における海洋温度差発電プラント設置のための海洋調査 (2016年~2022年における水温, 塩分, 溶存酸素量の評価)

吉村 英行^{*1}, 大原 順一^{*1}, 西田 哲也^{*1}, 古賀 淳司^{*1}, 田中 辰彦^{*1}, 富賀見 清彦^{*1}, 井原 剛^{*1}, 岡本 平太^{*1}, 中村 公彦^{*1}, 植田 貴宏^{*1}, 中塚 久輝^{*1}, 榊 良祐^{*1}, 山本 幸典^{*1}, 広瀬 直毅^{*2}, 安永 健^{*3}, 森崎 敬史^{*3}, 浦田 和也^{*3}, 平山 伸^{*4}, 池上 康之^{*3}

Oceanographic Survey for Installation of OTEC Plant in Kumejima (Assessment of seawater temperature, salinity, and dissolved oxygen from 2016-2022)

Hideyuki Yoshimura^{*1}, Junichi OHARA^{*1}, Tetsuya NISHIDA^{*1}, Junji KOGA^{*1}, Tatsuhiko TANAKA^{*1}, Kiyohiko FUKAMI^{*1}, Tsuyoshi IHARA^{*1}, Heita OKAMOTO^{*1}, Kimihiko NAKAMURA^{*1}, Takahiro UEDA^{*1}, Hisateru NAKATSUKA^{*1}, Ryosuke SAKAKI^{*1}, Kousuke YAMAMOTO^{*1}, Naoki HIROSE^{*2}, Takeshi YASUNAGA^{*3}, Takahumi MORISAKI^{*3}, Kazuya URATA^{*3}, Shin HIRAYAMA^{*4} and Yasuyuki IKEGAMI^{*3}

^{*1}National Fisheries University

2-7-1 Nagatahon, Shimonoseki, Yamaguchi, 759-6595, Japan

^{*2}Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

6-1 Kasugakouen, Kasuga, Fukuoka, 816-0803, Japan

^{*3}Institute of Ocean Energy, Saga University

1 Honjo, Saga-shi, Saga, 840-8502, Japan

^{*4}Regional Innovation Center, Saga University

1 Honjo, Saga-shi, Saga, 840-8502, Japan

Abstract

In this study, we conducted an oceanographic survey from 2016 to 2022 to determine whether the Kumejima area is appropriate as an area for an Ocean Thermal Energy Conversion commercial plant, and evaluated the potential of the Kumejima area for an OTEC commercial plant. Specifically, the potential for an OTEC commercial plant in the Kumejima area was clarified by analyzing the seasonal effects of seawater temperature distribution in the surface and deep waters and the water temperature distribution from a long-term perspective. In addition, by conducting an oceanographic survey of the Aguni Basin in the northeastern part of Kumejima Island, the results of the survey were also discussed to clarify the influence of the Aguni Basin on the sea area surrounding Kumejima Island.

Key words : Kumejima, Aguni Basin, Ocean Thermal Energy Conversion, Deep Ocean Water, Conductivity Temperature Depth profiler.

1. 緒 言

2050年のカーボンニュートラル実現のためには、化石燃料を使用せず、持続可能なエネルギーの確保が必要であり、海洋の表層海水と海洋深層水との温度差による熱エネルギーを電気エネルギーに変換する海洋温度差発電(OTEC)は、その問題に貢献できる有望な発電方式として期待されている。OTECは、表層海水と海洋深層水との温度差を安定的に確保する必要があり、日本近海でもOTEC導入に適した海域を選定するために、多くの海洋

原稿受付 2023年1月27日

^{*1} 水産大学校 (〒759-6595 下関市永田本町2丁目7-1)

^{*2} 九州大学応用力学研究所 (〒816-8580 春日市春日公園6-1)

^{*3} 佐賀大学海洋エネルギー研究所 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

^{*4} 佐賀大学リージョナル・イノベーションセンター (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

E-mail of corresponding author: yoshimura@fish-u.ac.jp

調査が行われている。日本近海では、長崎県の対馬海域における OTEC 導入のための評価を行うために海洋調査を実施している(Junya Ichinose, *et al*, 2007)。また、沖縄県の久米島海域や東京都の沖ノ島海域でも、OTEC 導入のための評価を行うために海洋調査を実施している(Masateru Ishida, *et al*, 2020)。OTEC 導入に関して特に力を入れているのが、沖縄県である。県のプロジェクトとして沖縄県久米島では、世界に先駆けて OTEC の実証研究が、沖縄県や佐賀大学、民間企業が連携して 2013 年 6 月より開始され、国内外から多くの見学者が訪れるなど、世界的に注目されている OTEC 研究拠点となっている(Yasuyuki Ikegami, 2016)。久米島では、OTEC 商用プラントの設置海域としても国内最有力候補地であり、2014 年に内閣府から海洋温度差発電の実証フィールドとして選定されているなど、国家プロジェクトとして期待されているエネルギー分野となっている(Secretariat of the Headquarters for Ocean Policy, 2014)。2020 年度には、久米島町は海洋温度差発電を核として「2040 年までに、島内で消費されるエネルギーの 100%を再生可能エネルギーによって自給する」ことを目標とする「久米島町エネルギービジョン 2020」を発表している(Kumejima Energy Vision 2020, 2020)。また、2021 年度より 2 年間、久米島町は政府の支援を得て、既存の 10 倍以上になる大規模取水プロジェクトの調査を政府の支援を得て開始している(Department of Economy, Trade and Industry, Okinawa General Bureau, Cabinet Office, 2017)。

そこで、本研究では、OTEC 商用プラントの設置海域として適切であるかどうかを判断するための長期的な海洋調査を実施し、久米島海域の OTEC 商用プラントのポテンシャルについて評価を行った。具体的には、表層水と深層水の水温分布について、季節による影響や長期的な視点での水温分布の分析を行うことで、久米島海域の OTEC 商用プラントのポテンシャルについて明らかにした。また、久米島北東部にある粟国海盆の海洋調査を行い、粟国海盆が久米島周辺海域に及ぼす影響を明らかにするための結果についても報告する。

2. 調査海域及び期間

図 1, 図 2 に観測を実施した海域を示す。主な観測点として、佐賀大学海洋エネルギー研究所久米島サテライトの東方海域(沖縄県海洋深層水研究所の海洋深層水取水管が設置されている場所)の近辺とした。この海域は、比較的陸地に近い場所で急激に深くなっており、将来の取水管設置に有利な海底地形である。2021 年 8 月の調査では、久米島北東部に位置する粟国海盆も調査対象としている。これは久米島海域の海水は、粟国海盆由来の海水ではないかと想定されており、久米島海域で OTEC 商用プラントのポテンシャルを明らかにするために、粟国海盆の海水分析は非常に重要であると考えられる。観測時期や観測点をまとめたものを表 1 に示す。調査は 2016 年 1 月から 2022 年 11 月まで実施した。各調査における最下水深度や表層水温は表 2 から表 11 に示す。

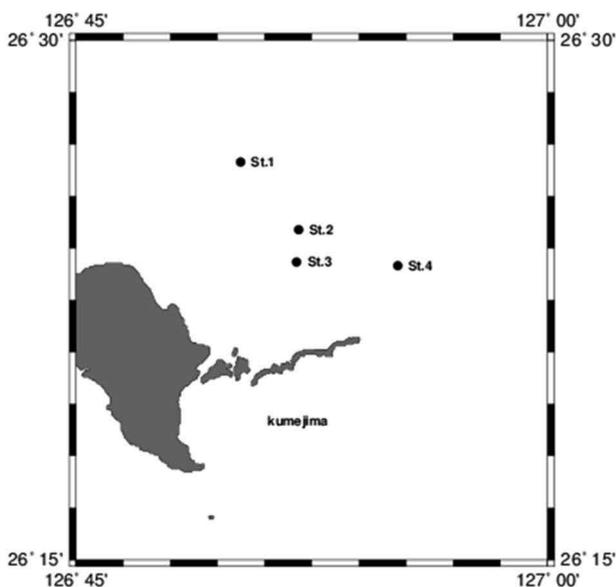


Figure 1 Observation area (St.1~St.4)

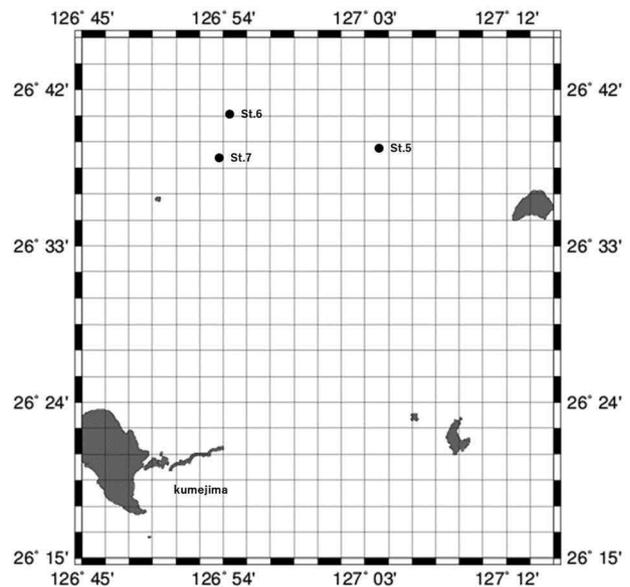


Figure 2 Observation area (St.5~St.7)

Table 1 Observation points

Survey years	Months	Number of surveys	Measuring points	Vessels
2016	January	4	St.1, St.2, St.3, St.4	Koyomaru
2017	January	4	St.1, St.2, St.3, St.4	
2018	January	4	St.1, St.2, St.3, St.4	
	June	3	St.1, St.2, St.3	
2019	December	4	St.1, St.2, St.3, St.4	
2020	July	3	St.1, St.2, St.4	
	December	4	St.1, St.2, St.3, St.4	
2021	March	4	St.1, St.2, St.3, St.4	Tenyomaru
	August	4	St.1, St.2, St.3, St.4	Koyomaru
		3	St.5, St.6, St.7	
2022	November	4	St.1, St.2, St.3, St.4	

Table 2 Observation points (2016/01)

St.No.	Latitude	Longitude	Depth [m]	Surface seawater temperature [°C]
1	26° 25.60' N	126° 49.97' E	903	23.0
2	26° 23.87' N	126° 51.87' E	952	23.1
3	26° 23.00' N	126° 51.94' E	871	23.2
4	26° 23.17' N	126° 54.98' E	757	23.1

Table 3 Observation points (2017/01)

St.No.	Latitude	Longitude	Depth [m]	Surface seawater temperature [°C]
1	26° 26.17' N	126° 50.09' E	928	23.7
2	26° 24.00' N	126° 52.14' E	1,001	24.0
3	26° 23.02' N	126° 52.09' E	898	23.9
4	26° 23.05' N	126° 55.02' E	716	23.9

Table 4 Observation points (2018/01)

St.No.	Latitude	Longitude	Depth [m]	Surface seawater temperature [°C]
1	26° 26.00' N	126° 49.94' E	886	22.2
2	26° 24.02' N	126° 51.96' E	981	22.3
3	26° 22.94' N	126° 54.95' E	882	22.3
4	26° 22.99' N	126° 52.00' E	636	22.3

Table 5 Observation points (2018/06)

St.No.	Latitude	Longitude	Depth [m]	Surface seawater temperature [°C]
1	26° 25.90' N	126° 50.30' E	927	26.1
2	26° 23.90' N	126° 51.80' E	929	25.6
3	26° 23.10' N	126° 51.90' E	900	25.7

吉村 英行, 大原 順一, 西田 哲也, 古賀 淳司, 田中 辰彦, 富賀見 清彦,
井原 剛, 岡本 平太, 中村 公彦, 植田 貴宏, 中塚 久輝, 榎 良祐,
山本 幸典, 広瀬 直毅, 安永 健, 森崎 敬史, 浦田 和也, 平山 伸, 池上 康之

Table 6 Observation points (2019/12)

St.No.	Latitude	Longitude	Depth [m]	Surface seawater temperature [°C]
1	26° 25.87' N	126° 50.17' E	931	23.4
2	26° 23.89' N	126° 51.80' E	1,015	23.4
3	26° 23.12' N	126° 54.88' E	861	23.4
4	26° 22.96' N	126° 51.90' E	726	23.4

Table 7 Observation points (2020/07)

St.No.	Latitude	Longitude	Depth [m]	Surface seawater temperature [°C]
1	26° 25.89' N	126° 50.17' E	912	29.9
2	26° 23.87' N	126° 51.87' E	962	29.7
4	26° 23.17' N	126° 54.98' E	784	30.0

Table 8 Observation points (2020/12)

St.No.	Latitude	Longitude	Depth [m]	Surface seawater temperature [°C]
1	26° 25.89' N	126° 50.17' E	890	24.0
2	26° 23.87' N	126° 51.87' E	932	24.7
3	26° 23.30' N	126° 51.94' E	834	24.7
4	26° 23.17' N	126° 54.98' E	641	24.5

Table 9 Observation points (2021/03)

St.No.	Latitude	Longitude	Depth [m]	Surface seawater temperature [°C]
1	26° 25.91' N	126° 50.24' E	959	22.3
2	26° 23.86' N	126° 51.95' E	949	22.4
3	26° 22.94' N	126° 52.04' E	890	22.7
4	26° 23.14' N	126° 55.08' E	756	22.5

Table 10 Observation points (2021/08)

St.No.	Latitude	Longitude	Depth [m]	Surface seawater temperature [°C]
1	26° 25.85' N	126° 50.08' E	909	28.3
2	26° 23.72' N	126° 51.93' E	949	28.2
3	26° 23.02' N	126° 51.97' E	878	28.2
4	26° 23.18' N	126° 55.08' E	796	28.1
5	26° 38.71' N	127° 04.07' E	1889	27.8
6	26° 40.56' N	126° 54.54' E	1461	28.1
7	26° 38.10' N	126° 53.88' E	1109	28.1

Table 11 Observation points (2022/11)

St.No.	Latitude	Longitude	Depth [m]	Surface seawater temperature [°C]
1	26° 25.89' N	126° 50.17' E	905	26.4
2	26° 23.87' N	126° 51.87' E	947	26.2
3	26° 23.30' N	126° 51.94' E	885	26.2
4	26° 23.17' N	126° 54.98' E	749	26.3

3. 調査項目及び観測方法

調査は水産大学校練習船の耕洋丸、天鷹丸を使用した。図3に耕洋丸、図4に天鷹丸の写真を示す。耕洋丸の主な仕様は、87.59 m(長さ)×13.60 m(幅)×8.8 m(深さ)、国際総トン数 2,703 t、航海速力 14.0 knot、定員は合計 109 名(乗組員 42 名、教員 7 名、学生 60 名)である(National Fisheries University website)。天鷹丸の主な仕様は、64.67 m(長さ)×11.90 m(幅)×6.98 m(深さ)、国際総トン数 1,354 t、航海速力 12.0 knot、定員は合計 87 名(乗組員 28 名、教員 8 名、学生 50 名、予備員 1 名)である(National Fisheries University website)。表 12 に観測項目を示す。観測は、Conductivity Temperature Depth profiler (Sea-Bird Electronics, Inc. SBE 9 Plus)を用いて、水深、水温、塩分、溶存酸素量などをそれぞれの観測点でCTD用ウインチ(Φ9.53 mm×5,000 m)により海中に投入し、線速 1.0 m/s 以下で投下し、表層から海底に近い位置まで観測し、搭載している多筒採水器(ニスキンボトル 10L×12 本)を用いて測定した。また、海水温度は海洋では水深によって圧力が変化し、深層水は圧力の影響で水温が高めになるため、現場水温ではなく水圧による温度上昇分を除去したポテンシャル水温にて評価している。図 5、図 6 は使用した CTD の写真を示す。

Table 12 Observation items

No.	Item	Unit
1	Pressure (Depth)	Db
2	Temperature	°C
3	Conductivity	S/m
4	Dissolved Oxygen	mL/L



Figure 3 Koyomaru



Figure 4 Tenyomaru



Figure 5 CTD (Operation)



Figure 6 CTD

3. 調査結果 (海水温度について)

3・1 冬季の海水温度鉛直分布について

図7から図13に2016年1月から2022年11月の冬季における海水温度の鉛直分布を示す。表層の海水温度は22°Cから24°Cで推移している。また水深が150m付近までは海水温度は緩やかに減少していることが分かる。水深600m付近まで水温は減少し続け、水深800m以深は6°Cから5°C付近で推移していることがわかる。また、冬季においては、表層水と深層水の温度差は少なくとも16°C以上は確保できる。OTECに必要な表層水と深層水の温度差20°Cには満たないものの、表層水と深層水の温度差が16~19°Cと、冬季においても比較的安定した温度差となっている。したがって当海域においては、冬季でもOTECプラントによる安定的な電気供給が可能であることが示された。

3・2 夏季の海水温度分布について

図14から図16に2018年6月から2021年8月の夏季における海水温度の鉛直分布を示す。表層の海水温度は25°Cから30°Cで推移している。また水深が150m付近までは冬季の結果とは異なり、海水温度は急激に減少していることが分かる。水深600m付近までは冬季の結果と同様に水温は低下し続け、水深800m以深は6°Cから5°C付近で推移していることがわかる。夏季においては、表層水と深層水の温度差は少なくとも19°C以上は確保でき、OTECに必要な表層水と深層水の温度差20°Cの条件を概ね満たしている。したがって冬季の結果も踏まえたうえで、当海域においては、年間を通してOTECプラントによる安定的な電気供給が可能であることが示された。

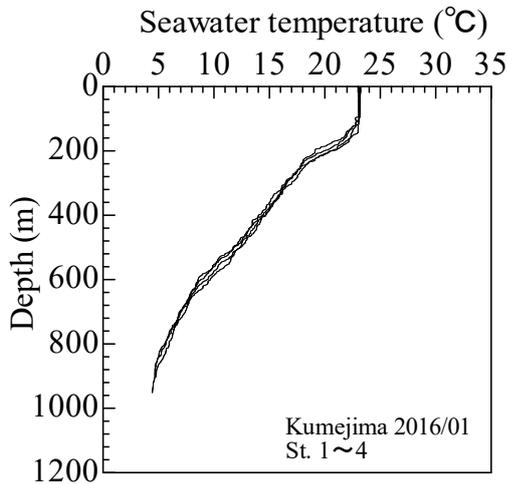


Figure 7 Vertical seawater temperature profile
(2016/01)

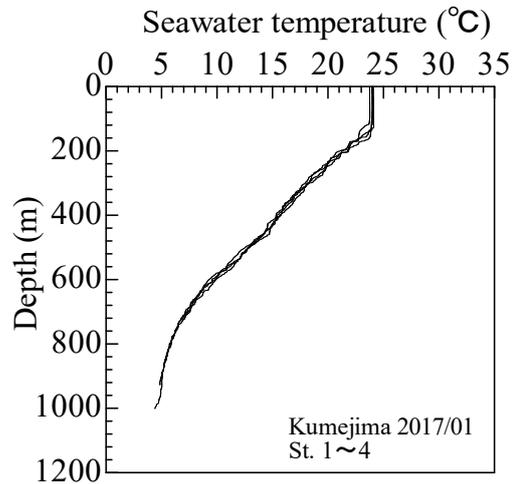


Figure 8 Vertical seawater temperature profile
(2017/01)

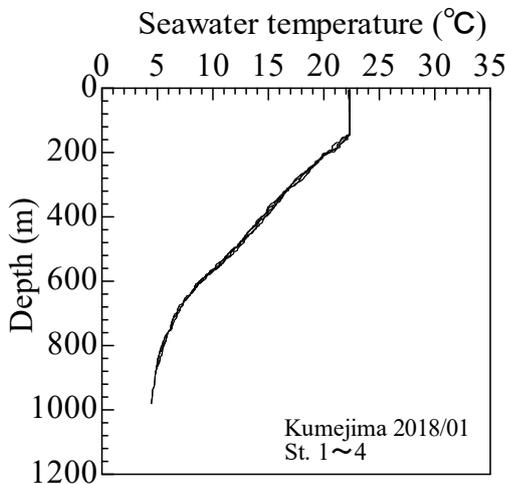


Figure 9 Vertical seawater temperature profile
(2018/01)

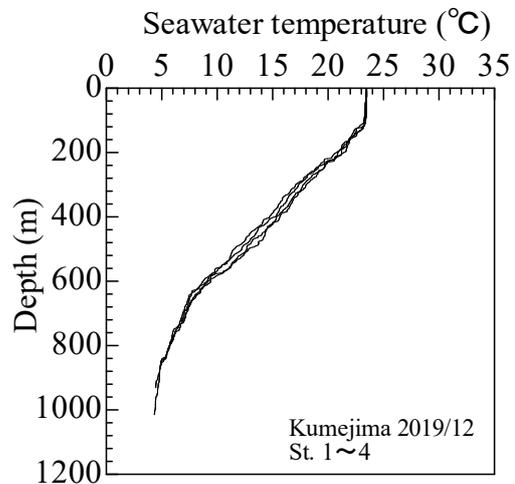


Figure 10 Vertical seawater temperature profile
(2019/12)

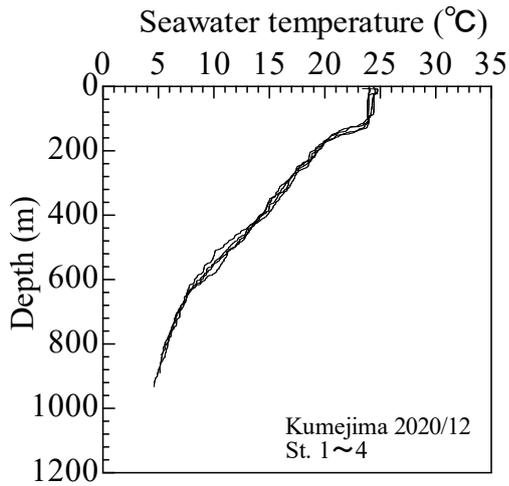


Figure 11 Vertical seawater temperature profile
(2020/12)

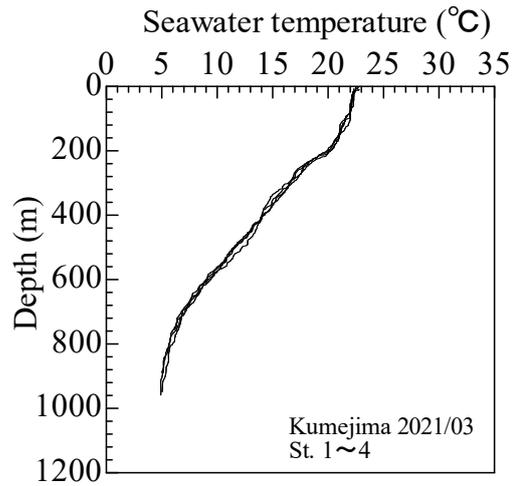


Figure 12 Vertical seawater temperature profile
(2021/03)

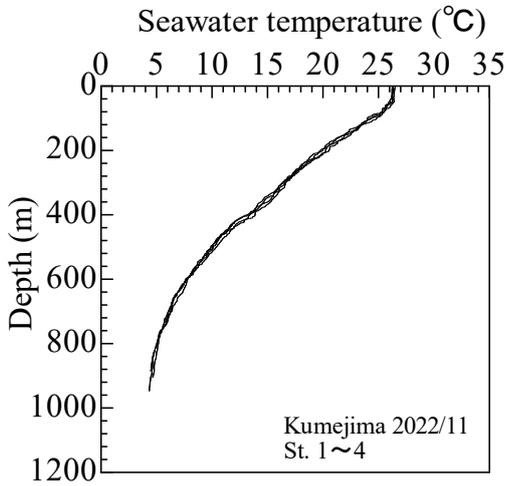


Figure 13 Vertical seawater temperature profile
(2022/11)

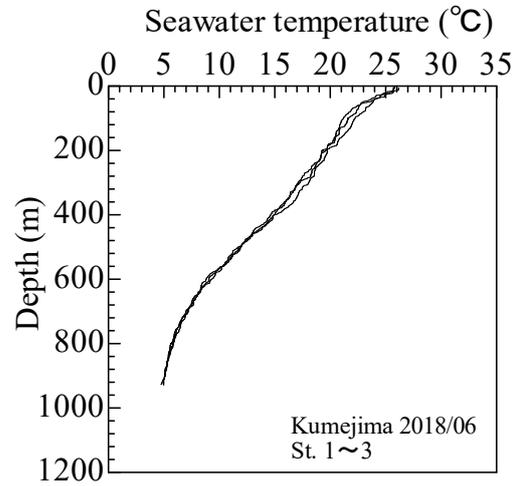


Figure 14 Vertical seawater temperature profile
(2018/06)

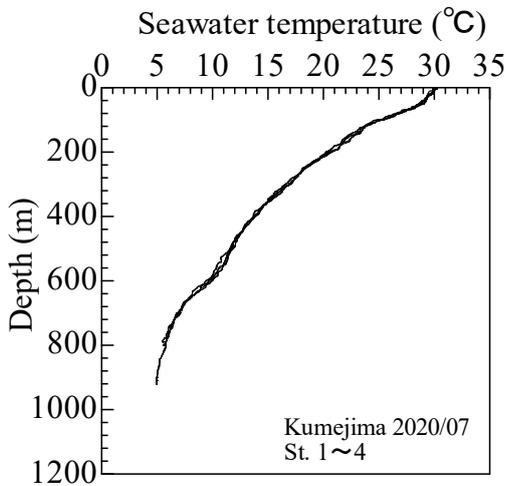


Figure 15 Vertical seawater temperature profile
(2020/07)

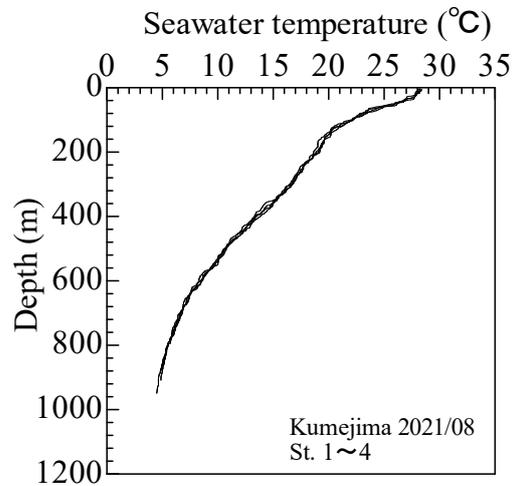


Figure 16 Vertical seawater temperature profile
(2021/08)

3・3 当海域の海水温度分布による OTEC プラント導入評価

図 17 に 2016 年 1 月から 2022 年 11 月の当海域の水深と水温の経時変化を示す。OTEC プラント導入の評価するうえで、どの水深で熱源となる海水を採取するかがとても重要となる。

高熱源は、表層水を利用できればよいが、海面付近はゴミなどの漂流物があり、それらを採取することでそれらの処分費や採水ポンプの故障というデメリットが想定される。したがって、表層水ではなく水深 20 m 以深の採水が望ましいが、表層水と比較的浅い水深での海水温度に違いのある海域では、表層水と深層水の温度差を利用する OTEC には不利に働いてしまう。しかし、当海域では、冬季においては、表層水と水深 100 m の海水温度は同等であり、夏季においては、表層水と水深 100 m の海水温度は差があるものの、冬季の水深 100 m の海水温度と同等であり、年間を通して安定した高熱源を確保することができる。

低熱源は、冬季、夏季に関係なく、年間を通して水深 800 m で 5°C~6°C の低熱源を確保することができる。また水深 800 m 以深では、大きな水温低下がほぼ望めないため、水深 800 m 付近で採水することが望ましいことがわかる。

2016 年 1 月から 2022 年 11 月までの調査結果でもわかるように、その年の気候変動によらず、水深に対する海水温度は安定に推移している。また、冬季における表層水や水深 100 m の水温は年々少しずつではあるが上昇傾向が見られるが、夏季については、調査当日の気温などの天候に左右されやすく、調査年数が少ないため、水温の変化は判断できない。一方で冬季、夏季における水深 600 m 以深の水温は年々少しずつではあるが低下傾向が見られ、表層側と深層側の温度差が年々大きくなっている。また、当海域においては、OTEC に必要な表層水と深層水の温度差 20°C に比較的近い海水を安定的に供給することが可能であり、OTEC プラントを運用するにあたり、最適な海域であることが示された。

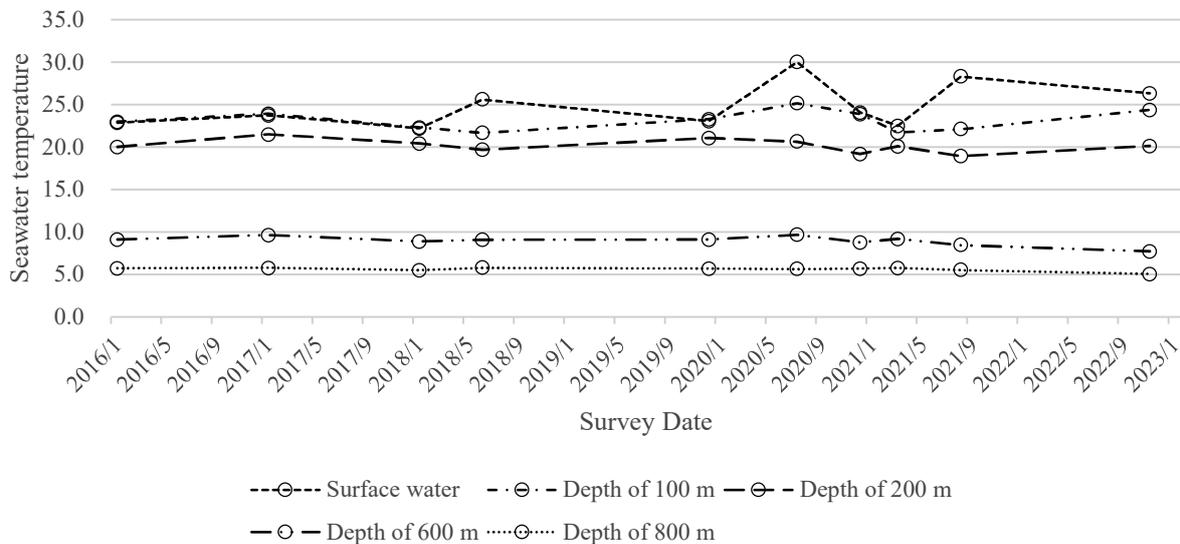


Figure 17 Change over time in seawater temperature

4. 調査結果（塩分について）

4・1 冬季の塩分鉛直分布について

図 18 から図 24 に 2016 年 1 月から 2022 年 11 月の冬季における塩分の鉛直分布を示す。2022 年 11 月を除き、St.1~St.4 のどの観測点においても塩分の鉛直分布は同様の傾向を示していることが確認できた。また、共通して極大値、極小値が存在することがわかる。水深 200 m までは一定、あるいは緩やかに増加し、その後、水深 600 m まで緩やかに減少する。水深 600 m から以深は微増し収束していく。水深 200 m 付近で 34.80~34.92 PSU、水深 600 m 付近で 34.26~34.31 PSU を示している。2022 年 11 月に関しては、後述に示す夏季と同様の傾向が見ら

れた。水深 200 m までは大きく増加し、その後、水深 600 m まで緩やかに減少する。水深 600 m から以深は微増し収束していく。また、塩分の値は他の結果と比べて 0.5 程度大きくになっている。

4・2 夏季の塩分鉛直分布について

図 25 から図 27 に 2018 年 6 月から 2021 年 8 月の夏季における塩分の鉛直分布を示す。St.1～St.4 のどの観測点においても塩分の鉛直分布は同様の傾向を示していることが確認できた。また、共通して極大値、極小値が存在することがわかる。水深 200 m までは大きく増加し、その後、水深 600 m まで緩やかに減少する。水深 600 m から以深は微増し収束していく。水深 200 m 付近で 34.79～34.90 PSU、水深 600 m 付近で 34.24～34.31 PSU を示している。

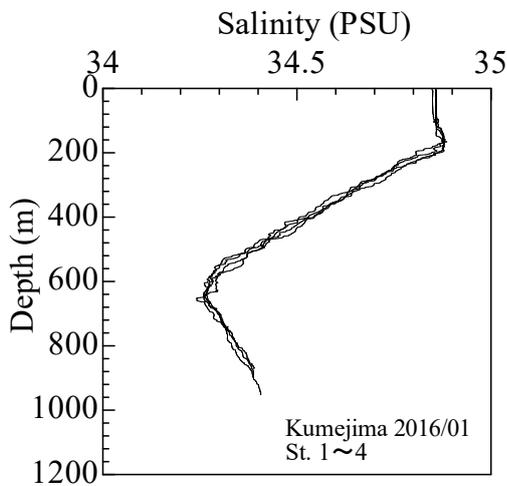


Figure 18 Vertical seawater salinity profile
(2016/01)

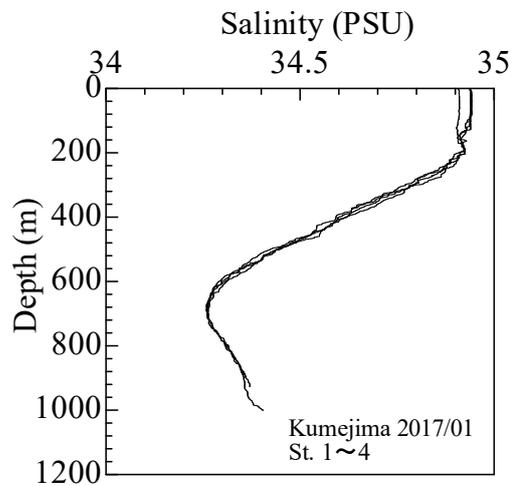


Figure 19 Vertical seawater salinity profile
(2017/01)

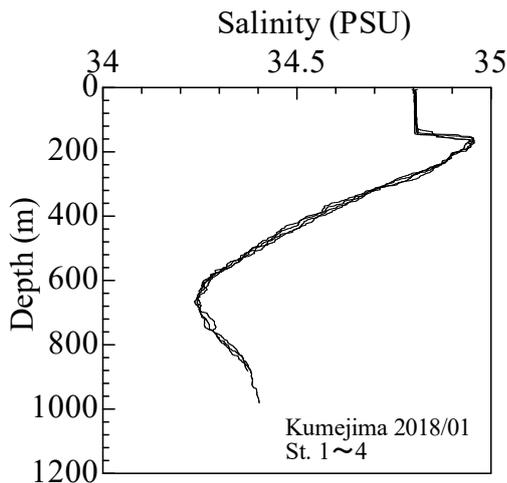


Figure 20 Vertical seawater salinity profile
(2018/01)

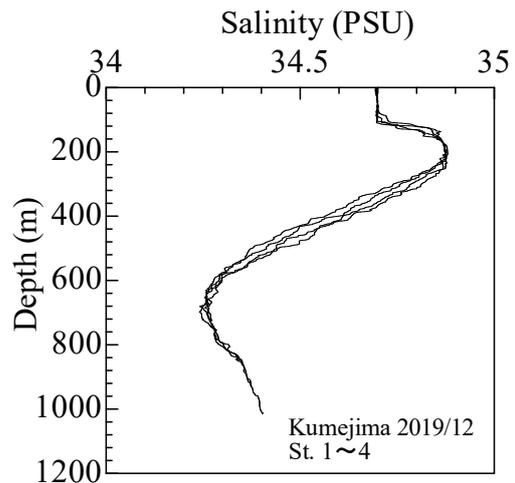


Figure 21 Vertical seawater salinity profile
(2019/12)

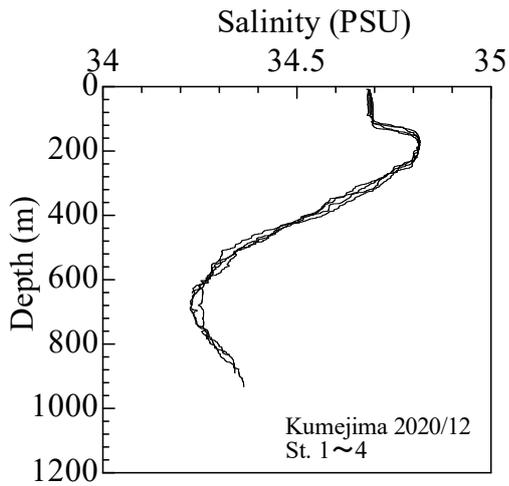


Figure 22 Vertical seawater salinity profile (2020/12)

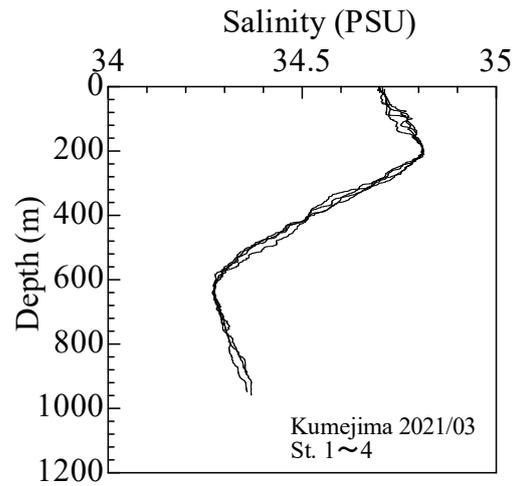


Figure 23 Vertical seawater salinity profile (2021/03)

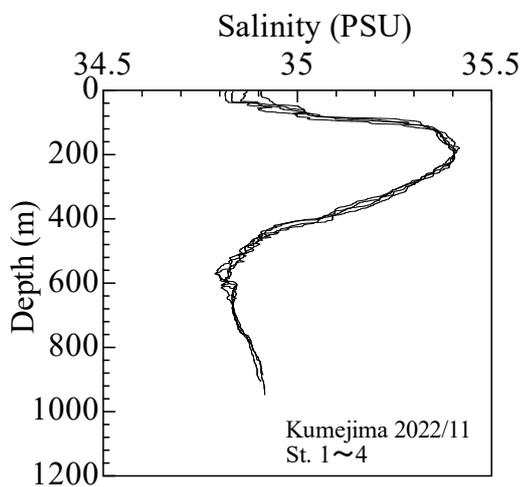


Figure 24 Vertical seawater salinity profile (2022/11)

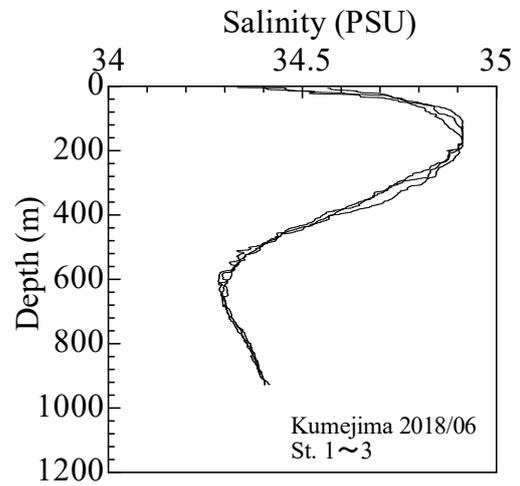


Figure 25 Vertical seawater salinity profile (2018/06)

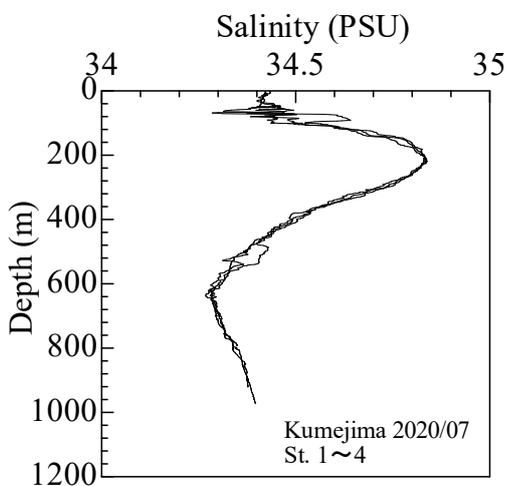


Figure 26 Vertical seawater salinity profile (2020/07)

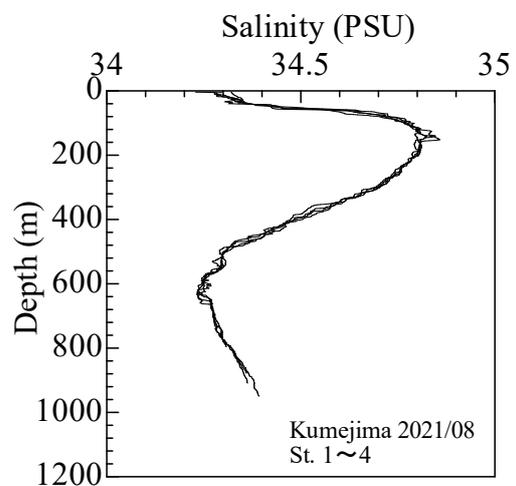


Figure 27 Vertical seawater salinity profile (2021/08)

4・3 当海域の塩分分布の経時変化

図 28 に 2016 年 1 月から 2022 年 11 月の当海域の水深と塩分の経時変化を示す。夏季において、表層と水深 200 m の塩分の値に大きな差が見られる傾向にある。一方で冬季においては 2022 年 11 月を除き、表層と水深 200 m の塩分の値は、観測時期によって差は見られるが、夏季ほど大きな差は見られない。2022 年 11 月に関しては、過去の結果とは異なり夏季と同様の傾向が見られた。また、全体的に塩分の値が 0.5 程度大きくなっており、過去の結果と傾向が大きく異なる結果となった。したがって、今後は長期的な傾向の変化があるのではないかと想定される。この結果を踏まえて更なる長期的な調査が必要ではないかと考える。また、本報では塩分の量を評価しているだけであり、具体的な栄養塩の種類や量の分析結果を踏まえた評価については明らかにしていない。OTEC プラントの副産物である海洋深層水の利用するにあたり、塩分の量だけでは明確な情報にはならない。したがって次報では、具体的な栄養塩の種類や量の分析を行い、久米島海域の海洋深層水のポテンシャルを明らかにする予定である。

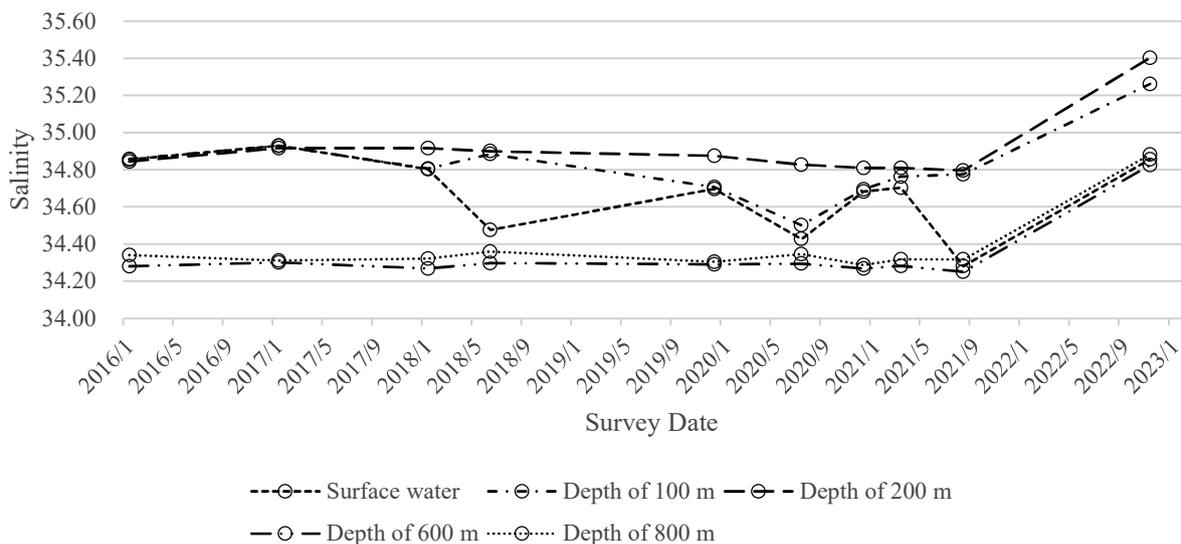


Figure 28 Change over time in seawater salinity

5. 調査結果（溶存酸素量について）

5・1 冬季の溶存酸素量の鉛直分布について

図 29 から図 35 に 2016 年 1 月から 2022 年 11 月の冬季における溶存酸素量の鉛直分布を示す。観測時期によって傾向にややばらつきがあるものの、表層から水深 150 m 付近までは一定あるいは微量に減少し、その後、水深 800 m 付近までは緩やかに減少し、水深 800 m 以深になると収束していく。

5・2 夏季の溶存酸素量の分布について

図 36 から図 38 に 2018 年 6 月から 2021 年 8 月の夏季における溶存酸素量の鉛直分布を示す。観測時期によって傾向にややばらつきがあるものの、表層から水深 800 m 付近までは緩やかに減少し、水深 800 m 以深になると収束していく。

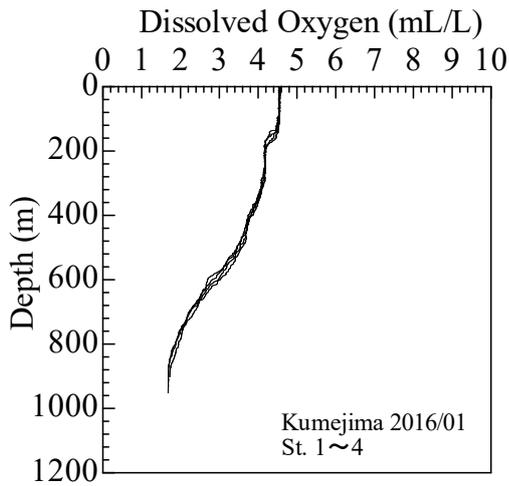


Figure 29 Vertical dissolved oxygen profile (2016/01)

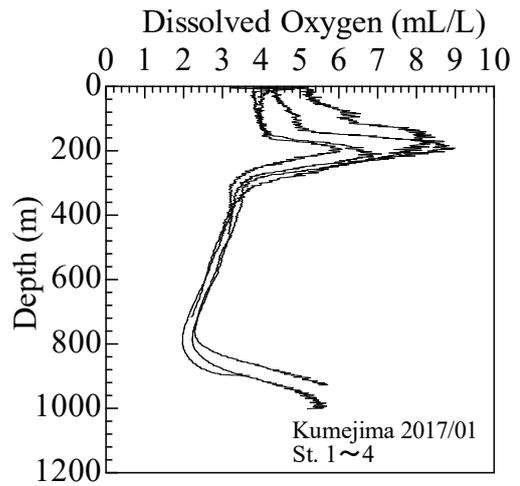


Figure 30 Vertical dissolved oxygen profile (2017/01)

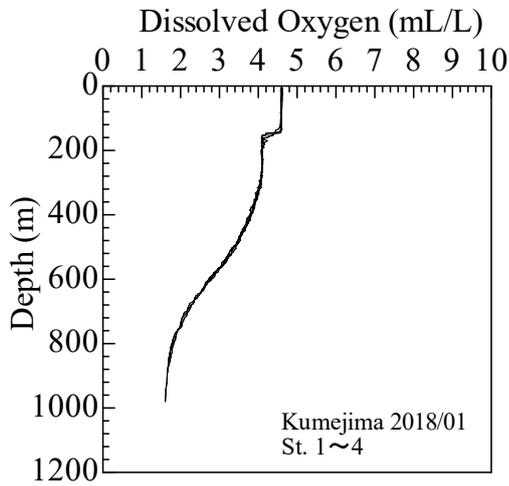


Figure 31 Vertical dissolved oxygen profile (2018/01)

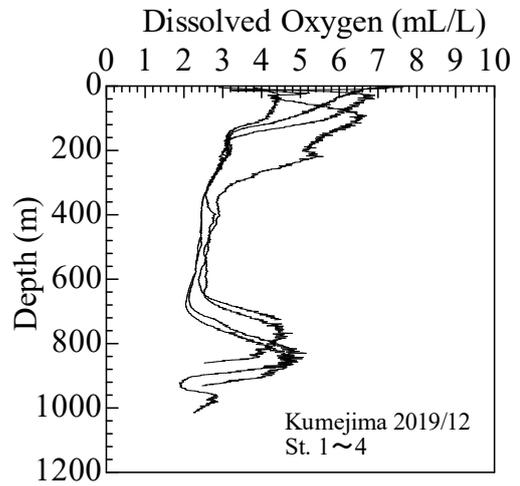


Figure 32 Vertical dissolved oxygen profile (2019/12)

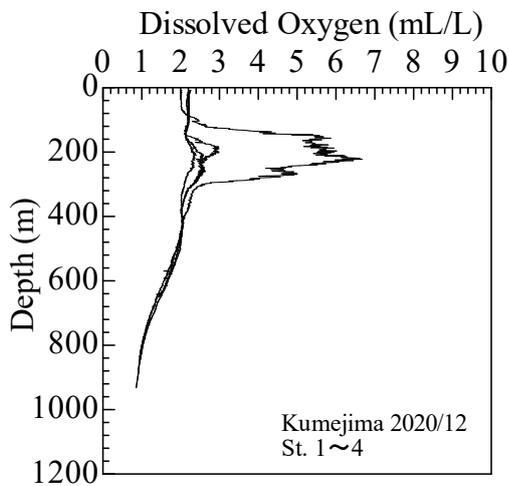


Figure 33 Vertical dissolved oxygen profile (2020/12)

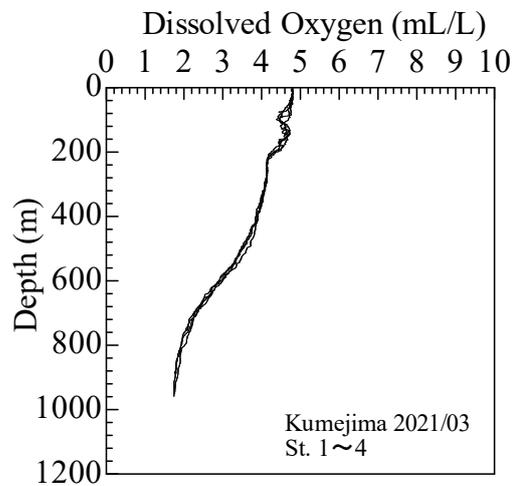


Figure 34 Vertical dissolved oxygen profile (2021/03)

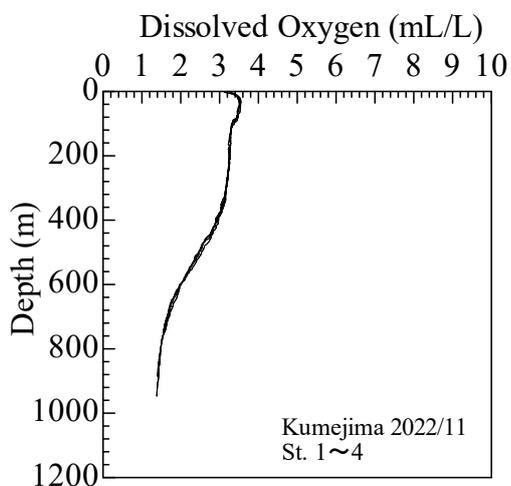


Figure 35 Vertical dissolved oxygen profile
(2022/11)

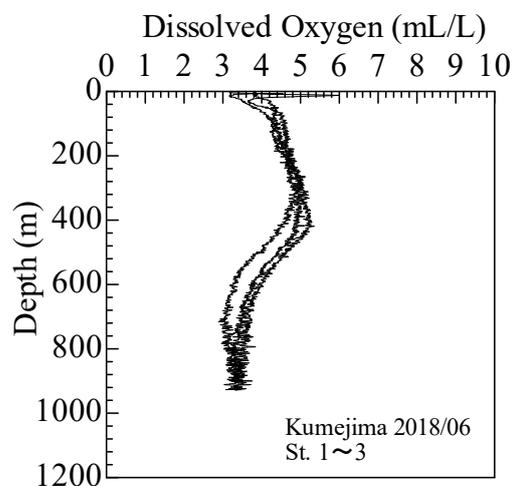


Figure 36 Vertical dissolved oxygen profile
(2018/06)

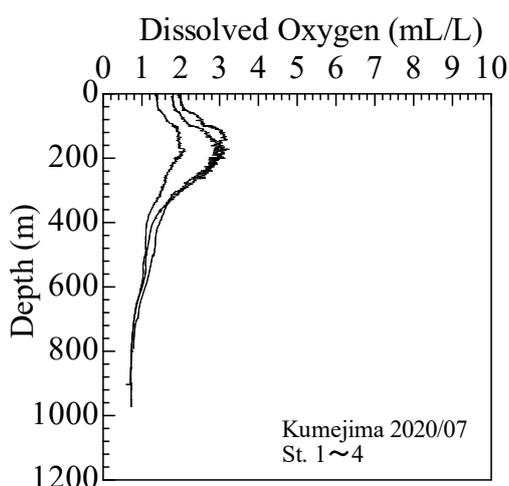


Figure 37 Vertical dissolved oxygen profile
(2020/07)

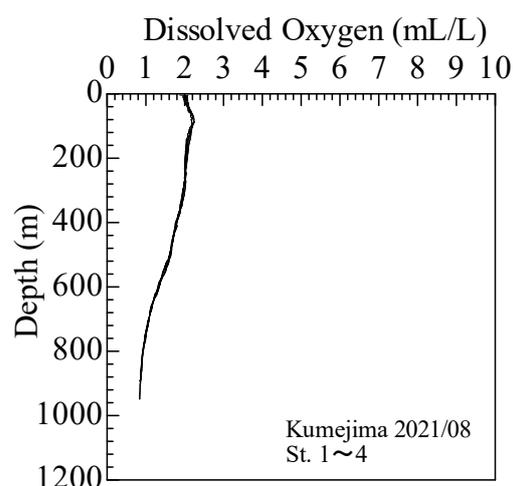


Figure 38 Vertical dissolved oxygen profile
(2021/08)

6. 調査結果（水塊について）

図39から図46に2016年1月から2022年11月の冬季、夏季におけるT-Sダイアグラムを示す。2022年11月の塩分の値が他の結果より大きく変化したため、一部大きなズレが生じているものの、全体的には同様の傾向を示していることが分かる。2022年11月の塩分に関しては、過去の結果と傾向が大きく異なる結果となっており、今後は長期的な傾向の変化があるのではないかと想定される。この結果を踏まえて更なる長期的な調査が必要ではないかと考える。

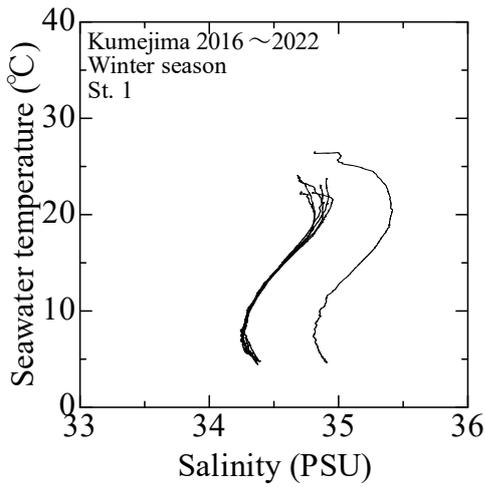


Figure 39 Comparison of water mass
(Winter season St.1)

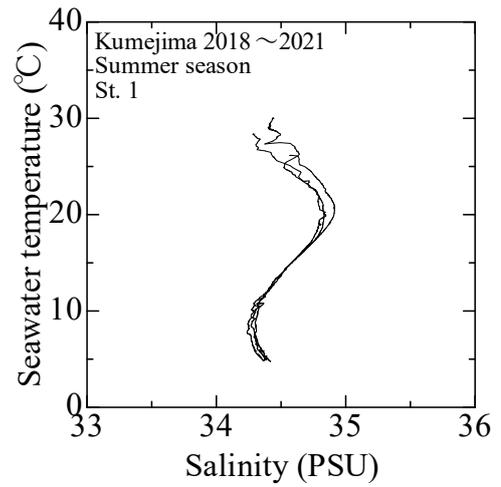


Figure 40 Comparison of water mass
(Summer season St.1)

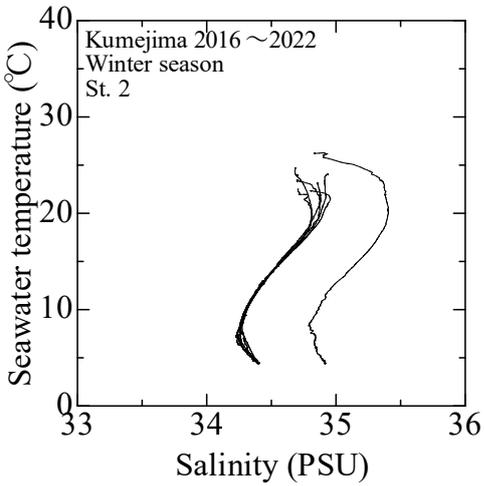


Figure 41 Comparison of water mass
(Winter season St.2)

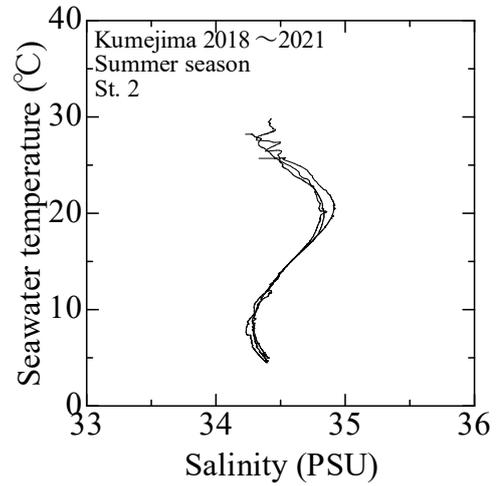


Figure 42 Comparison of water mass
(Summer season St.2)

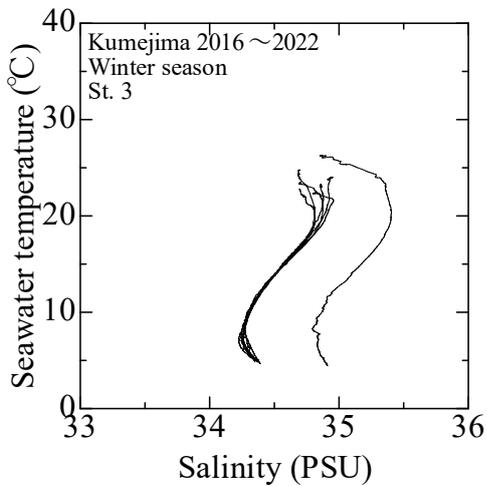


Figure 43 Comparison of water mass
(Winter season St.3)

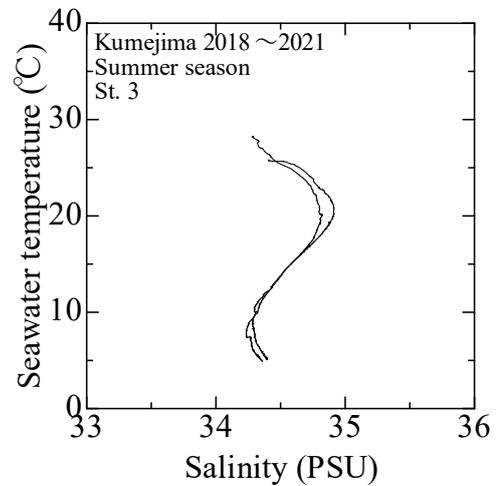


Figure 44 Comparison of water mass
(Summer season St.3)

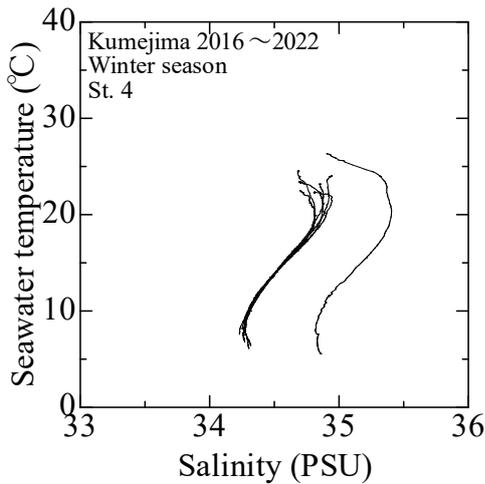


Figure 45 Comparison of water mass
(Winter season St.4)

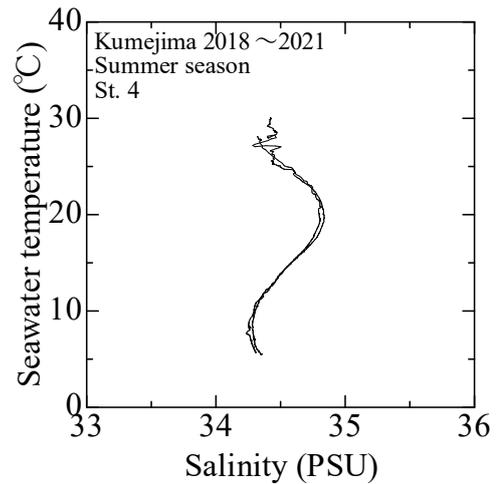


Figure 46 Comparison of water mass
(Summer season St.4)

7. 粟国海盆の海水との比較検証について

図 47, 図 49, 図 51 は, 2021 年 8 月に実施した久米島海域の海水温度鉛直分布, 塩分鉛直分布, 溶存酸素量鉛直分布の結果を示す. 図 48, 図 50, 図 52 は, 同時期に実施した粟国海盆の海水温度分布, 塩分鉛直分布, 溶存酸素量鉛直分布の結果を示す. 3 つの鉛直分布の結果をそれぞれ比較してみると同様の傾向が見られる. したがって, 久米島海域は粟国海盆の影響を受けているのではないかと推測される. また, 粟国海盆は深度が深く, 海水温度, 溶存酸素量は水深 1000 m 以深では値が収束しているが, 塩分は水深 1000 m から 1500 m までは緩やかに増加し, 水深 1500 m 以深では値が収束していることが分かった. しかしながら本報では, 8 月の夏季の条件における海水温度, 塩分, 溶存酸素量の 3 項目について比較しているだけであり, 今後は冬季の条件での海洋調査の実施や, 詳細な海水成分分析を行うことで, より多くの調査データについて比較することで久米島海域の海水が粟国海盆の由来の海水であることを次報で明らかにしていきたい.

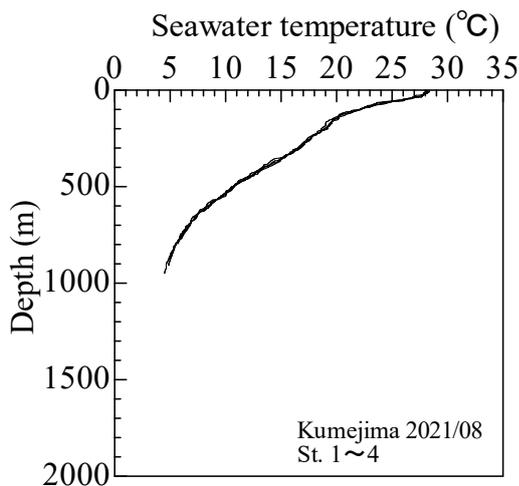


Figure 47 Vertical seawater temperature profile
(Kumejima)

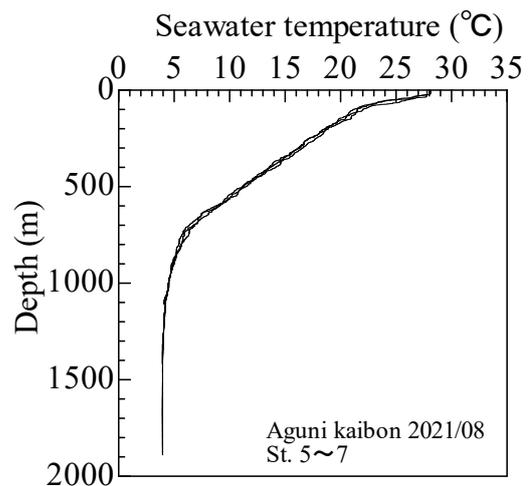


Figure 48 Vertical seawater temperature profile
(Aguni kaibon)

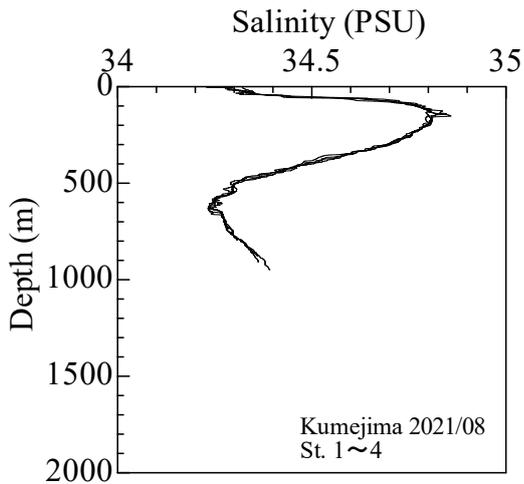


Figure 49 Vertical seawater salinity profile
(Kumejima)

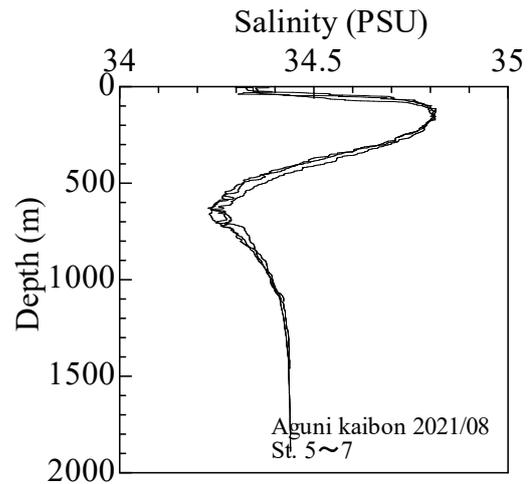


Figure 50 Vertical seawater salinity profile
(Aguni kaibon)

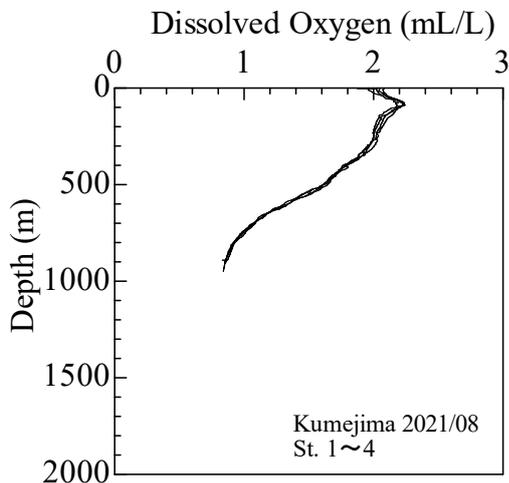


Figure 51 Vertical dissolved oxygen profile
(Kumejima)

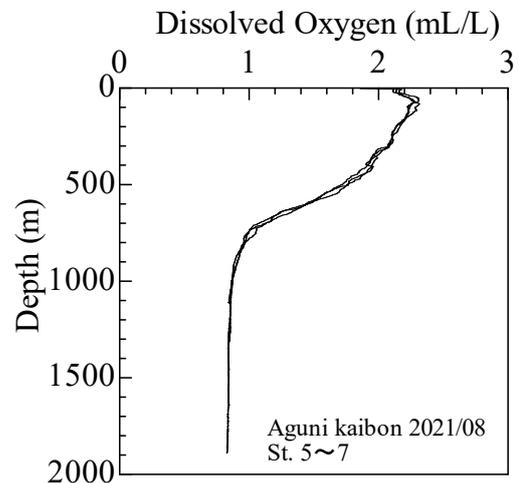


Figure 52 Vertical dissolved oxygen profile
(Aguni kaibon)

8. 結 言

久米島における海洋温度差発電複合利用のための海洋調査を 2016 年 1 月から 2022 年 11 月まで継続して行った結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 冬季の表層の海水温度は 22°C から 24°C で推移している。また、水深 800 m 以深は 6°C から 5°C 付近で推移している。表層水と深層水の温度差は少なくとも 16°C は確保でき、OTEC に必要な表層水と深層水の温度差 20°C に比較的近い海水を安定的に供給可能であり、当海域においては、冬季でも OTEC プラントによる安定的な電気供給が可能であることが示された。
- (2) 夏季の表層の海水温度は 25°C から 30°C で推移している。また、水深 800 m 以深は 6°C から 5°C 付近で推移している。表層水と深層水の温度差は少なくとも 19°C は確保でき、OTEC に必要な表層水と深層水の温度差 20°C を概ね満たしており、当海域においては、夏季でも OTEC プラントによる安定的な電気供給が可能であることが示された。
- (3) 2016 年 1 月から 2022 年 11 月までの調査結果より、その年の気候変動によらず、水深に対する海水温度は安定に推移している。また、冬季における表層水や水深 100 m の水温は年々少しずつではあるが上昇傾向が見られるが、夏季については、調査当日の気温などの天候に左右されやすく、調査年数が

少ないため、水温の変化は判断できない。一方で冬季、夏季における水深 600 m 以深の水温は年々少しずつではあるが低下傾向が見られ、表層側と深層側の温度差が年々大きくなっている。したがって、当海域においては、OTEC に必要な表層水と深層水の温度差 20°C に比較的近い海水を安定的に供給することが可能であり、OTEC プラントを運用するにあたり、最適な海域であることが示された。

- (4) 冬季の塩分の鉛直分布は、水深 200 m までは一定、あるいは緩やかに増加し、その後、水深 600 m まで緩やかに減少する。水深 600 m から以深は微増し収束していく。水深 200 m 付近で 34.80～34.92 PSU、水深 600 m 付近で 34.26～34.31 PSU である。
- (5) 冬季の塩分の鉛直分布は、水深 200 m までは大きく増加し、その後、水深 600 m まで緩やかに減少する。水深 600 m から以深は微増し収束していく。水深 200 m 付近で 34.79～34.90 PSU、水深 600 m 付近で 34.24～34.31 PSU である。
- (6) 2016 年 1 月から 2022 年 11 月の当海域の水深と塩分の経時変化について、夏季では表層と水深 200 m の塩分の値に大きな差が見られる傾向にある。一方で冬季では、表層と水深 200 m の塩分の値は、観測時期によって差は見られるが、夏季ほど大きな差は見られない。2022 年 11 月に関しては、過去の結果とは異なり夏季と同様の傾向が見られた。また、全体的に塩分の値が 0.5 程度大きくなっており、過去の結果と傾向が大きく異なる結果となった。したがって、今後は長期的な傾向の変化があるのではないかと想定される。この結果を踏まえて更なる長期的な調査が必要ではないかと考える。また、本報では塩分の量を評価しているだけであり、具体的な栄養塩の種類や量の分析結果を踏まえた評価については、次報に示す予定である。
- (7) 冬季の溶存酸素量の鉛直分布は、観測時期によって傾向にややばらつきがあるものの、表層から水深 150 m 付近までは一定あるいは微量に減少し、その後、水深 800 m 付近までは緩やかに減少し、水深 800 m 以深になると収束していく。
- (8) 夏季の溶存酸素量の鉛直分布は、観測時期によって傾向にややばらつきがあるものの、表層から水深 800 m 付近までは緩やかに減少し、水深 800 m 以深になると収束していく。
- (9) 久米島海域と粟国海盆の海水温度分布、塩分鉛直分布、溶存酸素量鉛直分布の結果をそれぞれ比較してみると同様の傾向が見られる。したがって、久米島海域は粟国海盆の影響を受けているのではないかと推測される。今後は冬季の条件での海洋調査の実施や、詳細な海水成分分析を行うことで、より多くの調査データについて比較することで久米島海域の海水が粟国海盆の由来の海水であることを次報で明らかにしていきたい。

文 献

- Junya Ichinose, et al, Oceanographic investigation for designing of an ocean thermal energy conversion in the vicinity of the Tsushima Island, Deep Ocean Water Research, Vol.8, No.1 (2007), pp.7-21.
- Masateru Ishida, et al, Ocean Thermal Energy Conversion Plant Using Integrated Hybrid Cycle - Kumejima and Okinotorishima -, OTEC, Vol.25, (2020), pp.61-68.
- Yasuyuki Ikegami, Pioneering Demonstration of Ocean Thermal Energy Conversion on Kumejima Island, Okinawa, Japan, -Toward a Stable Power Source Role in Renewable Energy-, Journal of Industry-Academia-Government Collaboration, Vol.12, No.8 (2016), pp.14-16.
- Secretariat of the Headquarters for Ocean Policy, Cabinet Secretariat, Results of Selection of Marine Renewable Energy Demonstration Field, (2014).
- Kumejima Energy Vision 2020, (2020).
- Department of Economy, Trade and Industry, Okinawa General Bureau, Cabinet Office, Survey on the potential for regional revitalization using deep seawater in remote island areas, (2017).
- National Fisheries University website; https://www.fish-u.ac.jp/b_rensyusen/kouyoumaru/top.html
- National Fisheries University website; https://www.fish-u.ac.jp/b_rensyusen/tenyoumaru/top.html

吉村 英行, 大原 順一, 西田 哲也, 古賀 淳司, 田中 辰彦, 富賀見 清彦,
井原 剛, 岡本 平太, 中村 公彦, 植田 貴宏, 中塚 久輝, 榊 良祐,
山本 幸典, 広瀬 直毅, 安永 健, 森崎 敬史, 浦田 和也, 平山 伸, 池上 康之

Table 13 Vertical Distributions (2016/01 St.1)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	23.0	34.85	4.56
20 m	23.0	34.85	4.53
100 m	22.7	34.86	4.50
200 m	19.9	34.84	4.20
400 m	14.6	34.54	3.82
600 m	9.6	34.29	3.02
800 m	5.9	34.33	1.94
903 m	4.7	34.38	1.71

Table 14 Vertical Distributions (2016/01 St.2)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	23.1	34.85	4.56
20 m	23.1	34.85	4.54
100 m	23.0	34.85	4.55
200 m	19.1	34.80	4.16
400 m	14.6	34.54	3.86
600 m	9.4	34.28	2.97
800 m	5.6	34.34	1.88
952 m	4.4	34.40	1.67

Table 15 Vertical Distributions (2016/01 St.3)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	23.2	34.85	4.53
20 m	23.2	34.85	4.53
100 m	23.0	34.85	4.54
200 m	20.5	34.86	4.17
400 m	14.0	34.50	3.74
600 m	8.8	34.27	2.81
800 m	5.5	34.34	1.86
871 m	4.6	34.38	1.69

Table 16 Vertical Distributions (2016/01 St.4)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	23.1	34.84	4.53
20 m	23.1	34.84	4.56
100 m	23.1	34.85	4.53
200 m	20.6	34.86	4.17
400 m	14.4	34.52	3.81
600 m	8.5	34.28	2.70
757 m	6.4	34.31	2.05

Table 17 Vertical Distributions (2017/01 St.1)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	23.7	34.90	3.82
20 m	23.7	34.91	5.15
100 m	23.7	34.90	6.14
200 m	21.2	34.91	7.71
400 m	15.7	34.62	3.22
600 m	9.5	34.29	2.73
800 m	5.8	34.30	2.43
928 m	4.8	34.36	5.48

Table 18 Vertical Distributions (2017/01 St.2)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	24.0	34.93	5.19
20 m	24.0	34.93	4.34
100 m	24.1	34.93	4.87
200 m	21.1	34.90	8.40
400 m	15.4	34.59	3.39
600 m	9.2	34.29	2.79
800 m	5.7	34.31	2.23
1001 m	4.4	34.40	5.18

Table 19 Vertical Distributions (2017/01 St.3)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	23.9	34.93	3.19
20 m	23.9	34.94	4.13
100 m	23.9	34.93	3.99
200 m	21.7	34.92	5.82
400 m	15.6	34.61	3.15
600 m	9.8	34.30	2.55
800 m	5.7	34.31	1.96
898 m	4.9	34.36	3.70

Table 20 Vertical Distributions (2017/01 St.4)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	23.9	34.93	3.24
20 m	23.9	34.94	3.84
100 m	23.9	34.93	3.95
200 m	21.8	34.92	6.45
400 m	15.3	34.59	3.15
600 m	9.9	34.31	2.56
716 m	7.1	34.26	2.19

Table 21 Vertical Distributions (2018/01 St.1)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	22.2	34.79	4.56
20 m	22.2	34.80	4.59
100 m	22.2	34.80	4.57
200 m	20.2	34.92	4.07
400 m	14.3	34.52	3.78
600 m	8.8	34.27	2.72
800 m	5.5	34.32	1.80
886 m	4.8	34.38	1.65

Table 22 Vertical Distributions (2018/01 St.2)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	22.3	34.80	4.60
20 m	22.3	34.80	4.59
100 m	22.3	34.80	4.59
200 m	20.4	34.91	4.09
400 m	14.6	34.55	3.81
600 m	9.0	34.27	2.79
800 m	5.3	34.33	1.77
981 m	4.4	34.40	1.60

Table 23 Vertical Distributions (2018/01 St.3)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	22.3	34.80	4.58
20 m	22.3	34.80	4.59
100 m	22.3	34.80	4.58
200 m	20.5	34.91	4.10
400 m	14.4	34.54	3.78
600 m	8.7	34.26	2.74
800 m	5.5	34.31	1.82
882 m	4.8	34.37	1.66

Table 24 Vertical Distributions (2018/01 St.4)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	22.3	34.81	4.61
20m	22.3	34.80	4.61
100 m	22.3	34.80	4.58
200 m	20.4	34.91	4.07
400 m	14.6	34.55	3.82
600 m	8.9	34.26	2.77
636 m	8.0	34.25	2.54

Table 25 Vertical Distributions (2018/06 St.1)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	26.1	34.56	4.54
20 m	25.1	34.65	3.33
100 m	22.2	34.85	4.30
200 m	19.6	34.89	4.57
400 m	14.9	34.57	4.93
600 m	9.3	34.31	3.80
800 m	5.8	34.35	3.22
927 m	4.7	34.41	3.07

Table 26 Vertical Distributions (2018/06 St.2)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	25.6	34.33	3.16
20 m	25.6	34.52	4.04
100 m	21.1	34.90	4.62
200 m	19.7	34.90	4.70
400 m	14.9	34.57	5.16
600 m	9.0	34.29	4.00
800 m	5.8	34.35	3.46
929 m	4.9	34.40	3.32

Table 27 Vertical Distributions (2018/06 St.3)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	25.7	34.40	3.81
20 m	25.3	34.60	3.97
100 m	21.6	34.89	4.40
200 m	19.3	34.88	4.73
400 m	14.5	34.55	4.66
600 m	8.8	34.28	3.26
800 m	5.6	34.36	3.15
900 m	5.0	34.39	3.44

吉村 英行, 大原 順一, 西田 哲也, 古賀 淳司, 田中 辰彦, 富賀見 清彦,
井原 剛, 岡本 平太, 中村 公彦, 植田 貴宏, 中塚 久輝, 榎 良祐,
山本 幸典, 広瀬 直毅, 安永 健, 森崎 敬史, 浦田 和也, 平山 伸, 池上 康之

Table 28 Vertical Distributions (2019/12 St.1)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	23.4	34.69	2.95
20 m	23.4	34.69	6.17
100 m	23.3	34.70	5.79
200 m	21.2	34.87	3.01
400 m	15.6	34.63	2.45
600 m	9.1	34.29	2.21
800 m	5.6	34.29	4.03
931 m	4.4	34.37	2.46

Table 29 Vertical Distributions (2019/12 St.2)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	23.4	34.69	7.55
20 m	23.4	34.69	6.33
100 m	23.3	34.69	4.73
200 m	21.4	34.87	3.15
400 m	15.3	34.61	2.43
600 m	9.4	34.29	2.23
800 m	5.6	34.31	4.35
1015 m	4.3	34.40	2.29

Table 30 Vertical Distributions (2019/12 St.3)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	23.4	34.69	7.65
20 m	23.4	34.69	4.73
100 m	23.2	34.69	6.40
200 m	20.8	34.87	5.16
400 m	14.6	34.56	2.90
600 m	9.0	34.29	2.58
800 m	5.7	34.30	4.24
861 m	4.9	34.35	2.53

Table 31 Vertical Distributions (2019/12 St.4)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	23.4	34.69	3.78
20 m	23.3	34.69	4.30
100 m	23.2	34.72	4.13
200 m	20.7	34.87	3.13
400 m	15.1	34.59	2.78
600 m	8.7	34.27	2.37
726 m	6.7	34.27	4.32

Table 32 Vertical Distributions (2020/07 St.1)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	29.9	34.43	1.34
20 m	29.4	34.41	1.39
100 m	24.6	34.54	1.84
200 m	20.1	34.83	1.91
400 m	13.7	34.50	1.11
600 m	9.2	34.28	0.96
800 m	5.7	34.33	0.73
912 m	4.9	34.37	0.73

Table 33 Vertical Distributions (2020/07 St.2)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	29.7	34.42	1.76
20 m	29.4	34.40	1.81
100 m	25.0	34.51	2.32
200 m	20.4	34.82	2.77
400 m	13.5	34.49	1.26
600 m	9.6	34.30	0.99
800 m	5.4	34.35	0.72
962 m	4.6	34.39	0.72

Table 34 Vertical Distributions (2020/07 St.4)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	30.0	34.42	1.99
20 m	29.4	34.41	2.00
100 m	25.1	34.46	2.71
200 m	20.5	34.82	2.86
400 m	13.6	34.48	1.44
600 m	9.6	34.29	1.07
784 m	5.5	34.34	0.78

Table 35 Vertical Distributions (2020/12 St.1)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	24.0	34.68	2.22
20 m	23.9	34.68	2.19
100 m	23.8	34.69	2.19
200 m	18.9	34.80	2.34
400 m	14.3	34.53	2.06
600 m	8.2	34.26	1.57
800 m	5.7	34.27	1.00
890 m	5.1	34.34	0.91

Table 36 Vertical Distributions (2020/12 St.2)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	24.7	34.68	2.26
20 m	24.5	34.68	2.21
100 m	23.8	34.69	2.19
200 m	19.3	34.81	2.45
400 m	14.1	34.51	2.03
600 m	8.8	34.27	1.64
800 m	5.8	34.28	1.02
932 m	4.6	34.36	0.85

Table 37 Vertical Distributions (2020/12 St.3)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	24.7	34.68	2.25
20 m	24.6	34.68	2.18
100 m	23.9	34.69	2.17
200 m	19.3	34.81	2.88
400 m	14.3	34.53	2.03
600 m	8.7	34.26	1.68
800 m	5.5	34.29	0.99
834 m	5.2	34.32	0.92

Table 38 Vertical Distributions (2020/12 St.4)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	24.5	34.67	2.02
20 m	24.5	34.68	2.00
100 m	23.9	34.69	2.42
200 m	19.1	34.81	5.94
400 m	14.7	34.56	2.06
600 m	9.2	34.26	1.65
641 m	7.5	1.38	34.23

Table 39 Vertical Distributions (2021/03 St.1)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	22.3	34.71	4.77
20 m	22.3	34.71	4.78
100 m	21.5	34.77	4.47
200 m	19.8	34.81	4.24
400 m	14.1	34.52	3.85
600 m	9.1	34.28	2.92
800 m	5.6	34.32	1.92
959 m	4.9	34.36	1.74

Table 40 Vertical Distributions (2021/03 St.2)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	22.4	34.70	4.79
20 m	22.2	34.70	4.81
100 m	21.7	34.78	4.39
200 m	20.0	34.81	4.33
400 m	14.0	34.51	3.85
600 m	9.0	34.27	2.89
800 m	5.9	34.31	2.01
949 m	5.0	34.35	1.76

Table 41 Vertical Distributions (2021/03 St.3)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	22.7	34.69	4.77
20 m	22.2	34.70	4.78
100 m	22.0	34.72	4.69
200 m	20.2	34.80	4.38
400 m	14.2	34.52	3.90
600 m	9.4	34.28	2.99
800 m	5.6	34.31	1.93
890 m	5.0	34.35	1.76

Table 42 Vertical Distributions (2021/03 St.4)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	22.5	34.69	4.80
20 m	22.3	34.70	4.79
100 m	21.5	34.77	4.47
200 m	20.2	34.80	4.33
400 m	14.0	34.51	3.89
600 m	9.2	34.28	2.94
756 m	6.1	34.30	2.04

吉村 英行, 大原 順一, 西田 哲也, 古賀 淳司, 田中 辰彦, 富賀見 清彦,
井原 剛, 岡本 平太, 中村 公彦, 植田 貴宏, 中塚 久輝, 榎 良祐,
山本 幸典, 広瀬 直毅, 安永 健, 森崎 敬史, 浦田 和也, 平山 伸, 池上 康之

Table 43 Vertical Distributions (2021/08 St.1)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	28.3	34.29	1.98
20 m	27.9	34.31	1.99
100 m	21.9	34.78	2.17
200 m	18.6	34.78	2.00
400 m	13.7	34.49	1.79
600 m	8.4	34.24	1.33
800 m	5.4	34.32	0.92
909 m	4.8	34.36	0.85

Table 44 Vertical Distributions (2021/08 St.2)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	28.2	34.22	1.87
20 m	27.9	34.31	2.03
100 m	22.2	34.76	2.20
200 m	19.0	34.79	2.02
400 m	13.3	34.48	1.75
600 m	8.5	34.24	1.34
800 m	5.4	34.32	0.91
949 m	4.4	34.39	0.84

Table 45 Vertical Distributions (2021/08 St.3)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	28.2	34.28	2.04
20 m	27.8	34.32	2.05
100 m	22.1	34.77	2.19
200 m	19.1	34.80	2.05
400 m	13.4	34.48	1.77
600 m	8.4	34.24	1.33
800 m	5.5	34.31	0.92
878 m	4.9	34.35	0.86

Table 46 Vertical Distributions (2021/08 St.4)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	28.1	34.32	2.08
20 m	27.8	34.34	2.08
100 m	22.1	34.77	2.20
200 m	18.8	34.79	2.06
400 m	13.2	34.47	1.79
600 m	8.3	34.26	1.31
796 m	5.6	34.30	0.93

Table 47 Vertical Distributions (2021/08 St.5)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	27.8	34.29	2.00
20 m	27.7	34.34	2.15
100 m	22.0	34.78	2.28
200 m	18.8	34.79	2.16
400 m	14.1	34.52	1.91
600 m	9.1	34.29	1.45
800 m	5.6	34.31	0.96
1000 m	4.4	34.39	0.86
1889 m	3.9	34.44	0.82

Table 48 Vertical Distributions (2021/08 St.6)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	28.1	34.30	1.85
20 m	28.0	34.33	2.11
100 m	21.5	34.79	2.22
200 m	18.5	34.78	2.13
400 m	13.5	34.46	1.94
600 m	8.8	34.25	1.43
800 m	5.6	34.32	0.96
1000 m	4.4	34.39	0.86
1461 m	3.9	34.43	0.84

Table 49 Vertical Distributions (2021/08 St.7)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	28.1	34.38	2.15
20 m	28.0	34.35	2.13
100 m	21.1	34.79	2.23
200 m	18.6	34.78	2.13
400 m	13.6	34.47	1.92
600 m	8.7	34.24	1.44
800 m	5.4	34.33	0.95
1000 m	4.5	34.38	0.87
1109 m	4.0	34.42	0.83

Table 50 Vertical Distributions (2022/11 St.1)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	26.4	34.81	3.27
20 m	26.4	34.81	3.51
100 m	24.8	35.18	3.37
200 m	19.7	35.40	3.24
400 m	13.8	35.09	2.97
600 m	7.6	34.81	1.97
800 m	5.1	34.87	1.48
905 m	4.6	34.90	1.41

Table 51 Vertical Distributions (2022/11 St.2)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	26.2	34.83	3.29
20 m	26.2	34.83	3.52
100 m	24.3	35.26	3.32
200 m	20.2	35.40	3.25
400 m	13.3	35.05	2.93
600 m	7.7	34.82	2.00
800 m	5.0	34.88	1.48
947 m	4.3	34.91	1.38

Table 52 Vertical Distributions (2022/11 St.3)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	26.2	34.86	3.12
20 m	26.2	34.86	3.49
100 m	24.2	35.28	3.31
200 m	20.5	35.40	3.25
400 m	13.0	35.03	2.89
600 m	7.7	34.84	1.98
800 m	5.0	34.88	1.48
885 m	4.4	34.91	1.39

Table 53 Vertical Distributions (2022/11 St.4)

Depth	Seawater temperature	Salinity	Dissolved oxygen
Surface	26.3	34.90	3.12
20 m	26.3	34.91	3.46
100 m	24.0	35.31	3.32
200 m	19.9	35.40	3.26
400 m	13.3	35.05	2.92
600 m	7.7	34.82	2.00
749 m	5.5	34.85	1.54