

沖ノ鳥島海域における水産資源開発と海洋エネルギー利用のための海洋調査

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 水産大学校
	公開日: 2024-10-11
	キーワード (Ja):
	キーワード (En): Ocean Investigation; Okinotorisima; OTEC; CTD
	作成者: 植田, 貴宏, 西田, 哲也, 大原, 順一, 田中, 辰彦, 浦, 啓助, 浦田, 和也, 池上, 康之
	メールアドレス:
URL	所属:
	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2012026

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



沖ノ鳥島海域における水産資源開発と海洋エネルギー 利用のための海洋調査

植田貴宏^{1*}, 西田哲也¹, 大原順一¹, 田中辰彦², 浦 啓助²,
浦田和也³, 池上康之³

Ocean Investigation for Fisheries Resources Development and Utilization of Ocean Energy in the Sea Region Surrounding OKINOTORISHIMA

Takahiro Ueda^{1*}, Tetsuya Nishida¹, Junichi Ohara¹, Tatsuhiko Tanaka², Keisuke Ura²,
Kazuya Urata³ and Yasuyuki Ikegami³

An assessment of the nutrients, ocean resources, and ocean environment, which are vital to fisheries resources, is essential to preserve the fisheries resources in the vicinity of Okinotorishima. However, not many continuous investigations have been conducted. For the development of fisheries resources and utilization of ocean energy, an oceanographic investigation was conducted by the training ship Koyo Maru of the National Fisheries University. The investigations were carried out on the 9th and 10th of January, 2006 and the survey parameters consisted of, water depth, seawater temperatures at various depths, salinity, dissolved oxygen level, and water nutrients at various depths. The results were as follows: 1) The seawater temperature was approximately 24 °C at each observation point and decreased sharply to approximately 18 °C at a depth of approximately 200 m. At depths greater than 200 m, seawater temperature decreased gradually and 5 °C was recorded at 1000 m. The temperature difference between the surface and a depth of 1000 m was approximately 19 °C at each observation point. 2) High salinity levels from 34.7 to 34.9 PSU were observed from the surface to depths near 400 m. The salinity levels decreased to about 34.2 PSU near depths of 700 m. The salinity from depths greater than 700 m showed a tendency to increase. 3) The observation result showed that the amount of silicate around the surface was small. Therefore, it is possible to increase the number of diatoms (phytoplankton) by upwelling deep seawater and releasing silicate-rich water at the surface. 4) The phosphate levels at the surface ranged from 0 to 0.07 $\mu\text{mol/l}$. The level increased sharply until a depth of 500 m and was about 1.7 $\mu\text{mol/l}$ at a depth of approximately 1200 m. The phosphate at depths greater than 1200 m exhibited a tendency to decrease. This tendency was similar to that observed in the case of silicate.

Key words : Ocean Investigation, Okinotorishima, OTEC, CTD

¹水産大学校海洋機械工学科 (Department of Ocean Mechanical Engineering, National Fisheries University)

²水産大学校練習船天鷹丸 (Training Ship Tenyo maru, National Fisheries University)

³佐賀大学海洋エネルギー研究センター (Institute of Ocean Energy, Saga University)

*別刷り請求先 (corresponding author) : ueda@fish-u.ac.jp

1. 緒言

現在, 水産資源の継続的な有効利用や環境を改善するために, 海洋エネルギーを利用する再生可能な代替エネルギーの開発が検討されている。一方で, 東日本大震災後における電力不足に伴い再生可能エネルギーの開発が急務の課題となっており, その1つとして, 海洋熱エネルギーを利用する海洋温度差発電 (OTEC) が有望と考えられている。我が国の海洋温度差発電による熱エネルギー量の見積もりは, 海洋温度差発電委員会で行われており, 日本の排他的経済水域内での熱エネルギー量を換算すると, 年間 1000×10^{11} kWh になる。これは石油に換算すると, 約 86 億トンに相当する。このエネルギーの 1% を利用することができるとしても, 約 1 億トンの石油に相当するエネルギーが取り出せることになる¹⁾。また, OTEC は稼働中の CO₂ の排出が他に比べて極めて少ない発電方法であり, 再生可能エネルギーを利用した発電システムのうち, 唯一安定した電力を供給するベースロード形発電システムになり得ると考えられている (海洋温度差発電 CO₂ 排出原単位: 0.014kg-CO₂/kWh, 太陽光発電: 0.153 kg-CO₂/kWh, 火力発電: 0.563kg-CO₂/kWh)²⁾。また, OTEC の特徴として発電で使用した後の海水の副次的な利用が上げられるが, OTEC で用いた深層海水は, 表層海水と比べて, リン酸塩, ケイ酸塩, 硝酸塩など植物性プランクトンが増殖するために不可欠な栄養塩類も豊富に含まれているため, 発電に使用した後の深層海水を表層に放流することにより, 漁場の肥沃化も可能となる。また, 低温の海水を使用することにより海藻類を養殖することも検討されている。

しかし, OTEC を実際設置する場合, システム構成上熱源となる表層及び深層の温度差が大きく, また配管圧力損失の面から比較的浅水深で低水温の海水が得られる場合に, システム設計及び性能上有利になるとされており³⁾, 従って OTEC システムの設計にあたっては設置場所の十分なフィージビリティスタディーが必要と考えられている。

現在, OTEC の設置場所の調査や概念設計に関する研究は世界各国で行われている^{3), 4)}。これまで, 著者らは, 南太平洋のフィジー海域における海水淡水化装置を組み合わせたハイブリッド OTEC システムの最適化設計のための海洋調査を行っている⁵⁾。また, 日本周辺海域においては島根沖, 沖永良部海域等で設置可能な候補地の海洋調査を行っている⁶⁾。特に, 対馬海域においては, OTEC システムの設置の可能性について検討するために, 練習船を用い

た海洋調査を継続的にを行っている。当該海域の海洋物理データと海底地形について報告している⁷⁾。このように, 日本近海においても OTEC の設置に有望な海域は存在するが, 特に沖ノ鳥島は日本の排他的経済水域内で唯一熱帯に区分され, 日本近海における OTEC システム設置可能な候補地の中で最も適した地域の一つと考えられる。しかし, 実際に沖ノ鳥島近海における OTEC を用いて海洋エネルギーの利用と水産資源の開発を行う場合, まず OTEC 設置のための設計資料としての海洋物理データ (水温, 塩分, 溶存酸素等) が必要であり, OTEC の副次的な多目的利用として水産資源開発を行う場合には, 海域における栄養塩類の鉛直分布等の把握が必要となってくる。しかし, 沖ノ鳥島における気象, 海象調査や表層の海洋物理データ⁸⁾については, 他研究機関により継続的に行われているが, その周辺海域における各層における海洋物理データ, 栄養塩類についての海洋調査は, ほとんど行われていない。

本報は, 2006 年 1 月に水産大学校練習船耕洋丸を用いて沖ノ鳥島海域での海洋調査を行い, OTEC 設置のための設計資料と水産資源開発に必要な各調査点における各層海洋物理データ及び栄養塩等の調査結果について報告する。

2. 調査

2.1 調査海域, 期間

Fig. 1 に, 調査を行った海域を示す。

調査は, 沖ノ鳥島周辺海域の 20° 20' N ~ 20° 30' N, 136° 00' E ~ 136° 10' E である。▲印は, 沖ノ鳥島内の小島 (北小島, 東小島) である。調査点は Fig. 1 に示す

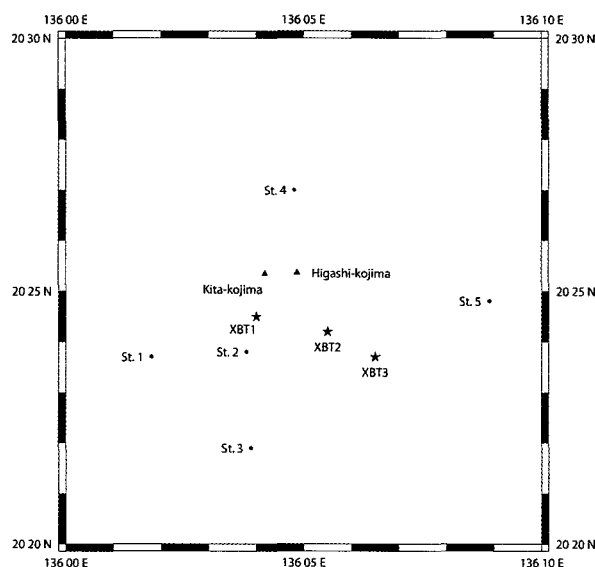


Fig. 1. Investigation site (Okinotorisima)

St.1～5である(CTDによる調査)。また、Fig. 1中★印は、XBTの調査点であり、調査期間は2006年1月9日、10日である。

2.2 調査方法

調査は、水産大学校練習船耕洋丸(全長81.4 m、幅13.00 m、総トン数1988.62 ton、航海速力は14.0 knot)で行った。

水温、塩分、溶存酸素量の測定は、CTD(Conductivity Temperature Depth)と、XBT(Expendable Bathy Thermography)で行った^{9),10)}。水温、塩分、溶存酸素量は、調査船に搭載している電気伝導度水温水深計(Sea-Bird Electronics, Inc. SBE 9plus CTD Profiler CTD-O₂)を、各調査点で調査ウインチにより海中に投入し、線速1.0 m/sで降下させ、水深0.0 mから指定深度まで1.0 m毎に測定を行った。

水温を用いた密度の計算の際にはポテンシャル水温を用いて、海面水温の測定は採水バケツ法で、ガラス製棒状温度計を用いて計測を行った¹⁰⁾。

塩分は、15℃、1気圧におけるKCl標準溶液(1 kg中に32.4356 gKClを含んだ水溶液)の電気伝導度に対する水圧及び温度の補正を行い、電気伝導比により求めた。

溶存酸素量は酸素センサーにより測定された電流値を用いて、水圧、水温の補正を行った酸素飽和率を求め、これに海水中の酸素飽和量を掛け合わせて求めた。

また、CTDに取り付けられたロゼット採水器により、各層採水を実施した。採取したサンプル水は凍結保存して持ち帰り、その後、栄養塩の分析を行った。採水は、St.1～5までの全調査点において、各層で実施した。採水は、CTD搭載の採水器より500 mlのポリ容器に採取した。そして、密閉後分析まで凍結保管した。また、凍結時の容器の破損を避けるため、サンプル水は容器の80%まで封入した。

サンプル水は、佐賀大学海洋エネルギー研究センターで水質の分析を実施した。

分析項目は、全調査点において、pH、ケイ酸(SiO₂)及びリン酸(PO₄)について計測を実施し、加えてSt.5については、硝酸性窒素(NO₃)、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、全有機炭素(TOC)についても計測した。

ケイ酸(SiO₂)、リン酸(PO₄)、硝酸性窒素(NO₃)、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素、全窒素(T-N)、全リン(T-P)についての分析は、分光光度計(SHIMADZU UVmini1240)

を用い、吸光光度法¹¹⁾で行った。また、pHの計測はガラス電極式計測器で行った¹²⁾。

3. 調査結果

3.1 水温

Fig. 2は、各調査点(St.1～St.5)における鉛直方向の水温分布を示す。Fig. 2中下方の黒い部分は海底を示す。横軸の調査点は、左から調査を行った順となっている。Fig. 2より、各調査点の表層は24℃程度である。200 m付近で約18℃まで急激に下がり、その後は徐々に水温は低下し、1000 m付近では5℃となり、1000 m以深では水温の低下はほとんど無い。また、各調査点間での水温分布は変わらず、調査時期における、各調査点の表層と1000 mの間での温度差は約19℃となる。

Fig. 3は、XBTによる調査点(Fig. 1中★印西側より、XBT1,2,3)の鉛直方向の水温分布を示す。Fig. 3中下方の黒い部分は海底を示す。XBTの調査の場合、CTD調査と異なり、より海底近く低層の水温を計測する事が可能である。そのため、今回海底付近の水温の分布を正確に把握

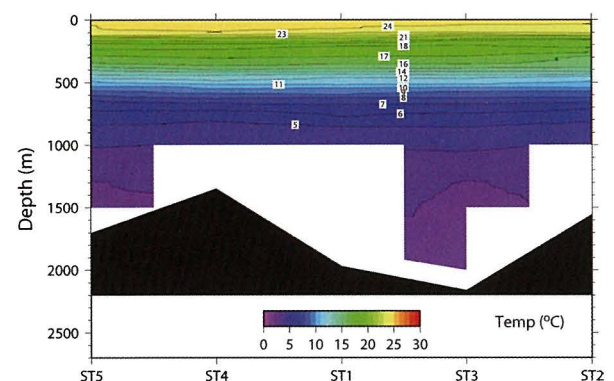


Fig. 2. Vertical profile of seawater temperature for each station (CTD)

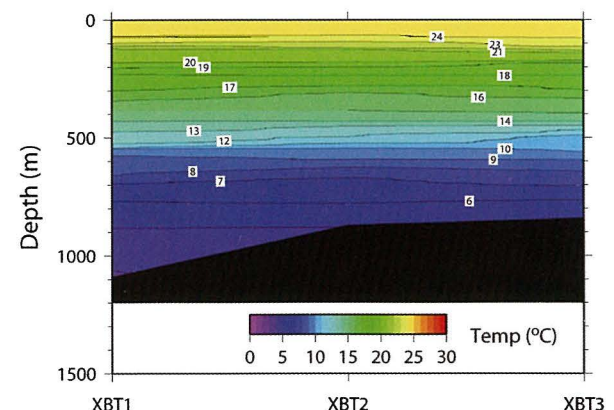


Fig. 3. Vertical profile of each seawater temperature for each station (XBT)

するために実施した。XBT の観測結果より, 最深部である海底付近の水温は, 観測点 XBT1 では約 3.9°C , 観測点 XBT2,3 では約 5.0°C であった。CTD 調査と XBT 調査の結果を比較すると, 各調査点における XBT 調査の温度の鉛直分布は, CTD 調査の結果とほぼ一致している。

OTEC システムを, 正味出力当たりの建設コストを抑えて建設するためには, 表層と深層の温度差が最低約 15.0°C 以上¹⁾が必要と考えられていることから, 表層と深層の水温は, 熱源条件として OTEC システムの性能を決める上で非常に重要である。特に, 熱交換器の伝熱性能は表層・深層の温度や温度差によって変わるため, 熱交換器の総伝熱面積に大きく関係し, 従って, 表層海水, 冷海水流量, ひいては作動流体ポンプの動力も変化することが考えられる。従って, OTEC システム設置にあたっては, 設置海域の温度条件の把握は非常に重要である。

著者らは, すでに対馬の調査海域においてハイブリッド OTEC システムを設置する場合について, 熱源条件, 冷海水取水管長さについて性能解析を行っており, 発電端出力 1000 kW のプラントで, 温度差約 23°C の場合, 正味発電主力は 490 kW が得られるであろうと報告している¹³⁾。沖ノ島島周辺海域においても, 今後本調査結果を反映させた性能解析が必要であると考えられる。

また, OTEC の副次的な利用を考える上では, 特に発電に使用した後の低温の深層海水の有効利用が問題となってくる。前述したとおり, 低温の深層海水の利用方法には, 種々の可能性が考えられるが²⁾, 沖ノ島島の立地条件を考えると, 周辺海域での操業で得られた漁獲物の鮮度保持ため, 漁獲物の中継基地としての利用する可能性も充分考えられる¹⁴⁾。

3.2 塩分

Fig. 4 は, 各調査点 (St.1 ~ St.5) における鉛直方向の塩分分布を示す。Fig. 4 より, 表層から 400 m 程度までは,

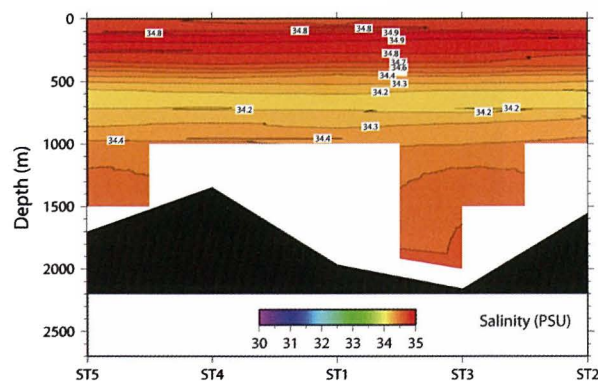


Fig. 4. Vertical profile of salinity for each station (CTD)

$34.7 \sim 34.9$ PSU の高塩分層が存在する。 700 m 程度では, 約 34.2 PSU と低くなる。 700 m 以深では増加傾向にある。

熱交換器 (蒸発器, 凝縮器) を設計する際には, 輸送性質の熱物性に海水の塩分が大きく影響する。これは, 熱交換器内の流れや伝熱現象に関係し, 熱交換器の伝熱面積を算出するには, 設置海域における塩分の把握が重要である。また, OTEC を運転する際, 発電端出力に対して運転に必要な各ポンプのポンプ動力の占める割合は非常に大きく, 10 万 kW のシステムの場合でも約 23% に達すると言われている¹⁾。特に, 冷海水取水管における配管圧力損失がポンプ動力に与える影響は大きいと考えられ, 塩分ひいては海水の物性値がポンプ動力に及ぼす影響については, 今後, 得られたデータを使用した性能解析を行う必要がある。

また, OTEC で使用した海洋深層水を利用して漁場造成を行う際, 放流した深層水を植物プランクトンの光合成が行われる有光層に対流させることが必要になる。放流した海水は, 主に塩分と温度に依存する海水の密度差による沈降を防ぐために, 表層水と混合して, その温度の層へ放流する必要があり, そのために, 深層海水の塩分を把握しておく事は非常に重要である。

3.3 溶存酸素量

Fig. 5 は, 各調査点 (St.1 ~ St.5) における鉛直方向の溶存酸素量の分布を示す。Fig. 5 より, 表層から 500 m 程度までは, $4.6 \sim 4.2\text{ ml/l}$ である。 600 m 以深で急激に低下する。 800 m 以深では, 1.6 ml/l の低溶存酸素層が存在している。このようなある水深にわたって生じる酸素欠乏層は, 酸素を消費する海水動物やその降下遺骸の酸化による有機物分解に対して, 対流による酸素の補給が不足することに帰因している¹⁵⁾。

海水中の溶存酸素量は, OTEC と海水淡水化装置を組み

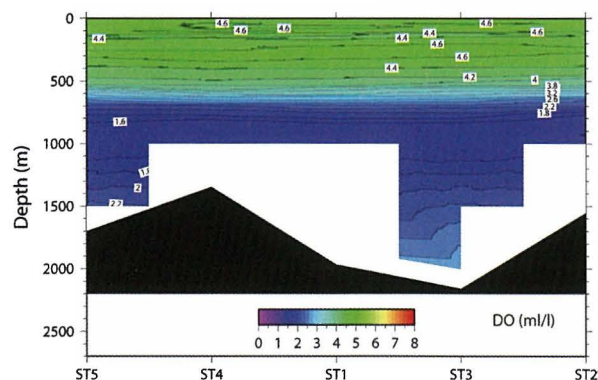


Fig. 5. Vertical profile of dissolved oxygen for each station (CTD)

合わせたハイブリッド OTEC システムの海水淡水化装置を設計する際に重要であり、特に真空ポンプの所要動力に影響を与える。また、海水淡水化装置の造水用凝縮器の凝縮熱伝達を考える場合、水蒸気中に空気が混入すると凝縮熱伝達は大きく低下する。Jakob によると、水蒸気内の空気含有率 2.0 % において、平均熱伝達係数が約 1/3 に低下することが示されている¹⁶⁾。従って、溶存酸素量は、特にハイブリッド OTEC システムの設計を考える上で非常に重要であり、OTEC 設置が予想される海域の溶存酸素量を把握することは重要である。溶存酸素量が真空ポンプの所要動力及び熱交換器の伝熱性能に与える影響については、今後、得られたデータを使用した性能解析を行う必要がある。

また、この海域の深層の溶存酸素量は、800m 以深では 1.6 ml/l となる。この値は、実際に海洋深層水を利用した海洋生物の増養殖が行われている高知県における海洋深層水の値よりかなり低いため¹⁷⁾、この水深の深層水を増養殖に用いる場合、エアーレーション等を実施し、溶存酸素量を管理する事が必要と考えられる。

3.4 本調査と JODC データ及び他海域のデータとの比較

Fig. 6,7 は、St.2 における水温、塩分の調査データと、JODC (日本海洋データセンター) 調査データ¹⁸⁾と比較を示す。JODC データは、沖ノ鳥島近海 (20°30'N, 136°00'E) のデータである。Fig. 6,7 より、表層においては、季節が異なるため水温、塩分いずれも差がみられる。200 m 以深では、水温、塩分の分布は一致している。このことから、本調査結果は、信頼性があると考えられる。

Fig. 8 は、St.2 における水温の調査データと、同じ太平洋におけるニューカレドニア周辺海域¹⁸⁾、ハワイ周辺海域⁴⁾及び室戸海域¹⁹⁾における水温の比較を示す。Fig. 8 より、ニューカレドニア周辺海域の水温鉛直分布と沖ノ鳥島周辺海域の St.2 における水温鉛直分布はほぼ一致している。これはどちらの海域も同じ海洋循環系統に存在するためと考えられる。一方、室戸海域における水温鉛直分布との比較においては、水深 400m 程度では、同一水深においては室戸海域の方が低い傾向を示したが、水深が深くなるにつれて、沖ノ鳥島とニューカレドニア周辺海域のデータに近づく傾向が見られた。これは、日本周辺海域においては、オホーツク海起源の中層水の影響が若干あるためと考えられる¹⁷⁾。また、ハワイ周辺海域と室戸海域とでは、ほぼ同一の水温分布となったが、最深層では、沖ノ鳥島、ニューカレドニア、ハワイ周辺海域いずれも同様の水温となった。

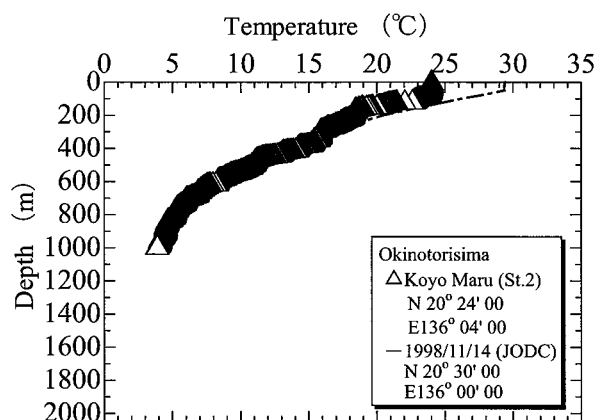


Fig. 6. Vertical profile of seawater temperature(St.2)

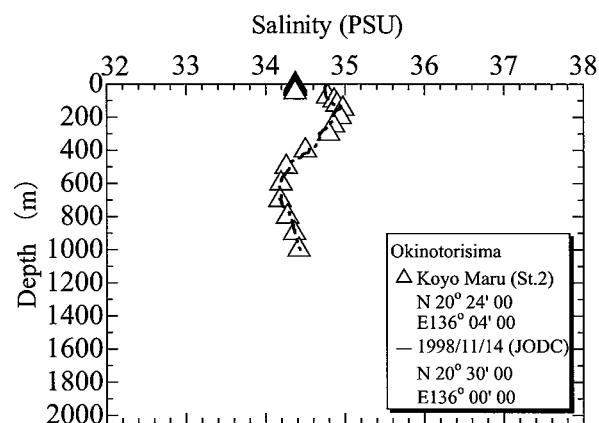


Fig. 7. Vertical profile of salinity(St.2)

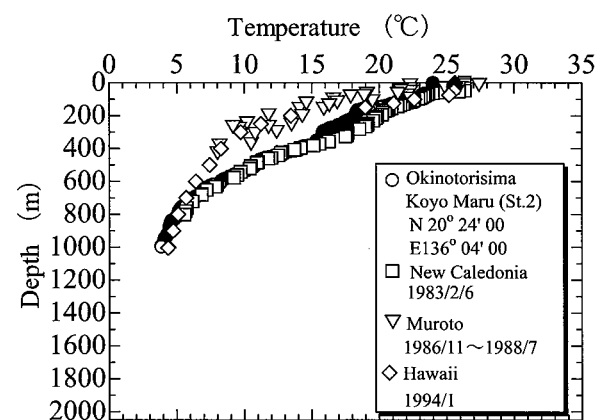


Fig. 8. Comparison with research data and other waters

調査海域の特性を把握するためには、水塊がどこに由来するかを把握しておく必要がある。しかし、本論文は沖ノ鳥島における海洋温度差発電を利用した海洋エネルギーの利用と水産資源の開発を目的としており、海域における設計条件の把握さえ出来れば、必ずしも海域の特性を把握する必要は無いと考えている。ただし、当該海域の水塊の分布がどこに近いのかについては、Fig. 9 の T-S 線図にある程度は把握している。Fig. 9 より、当該海域の水塊特性は、

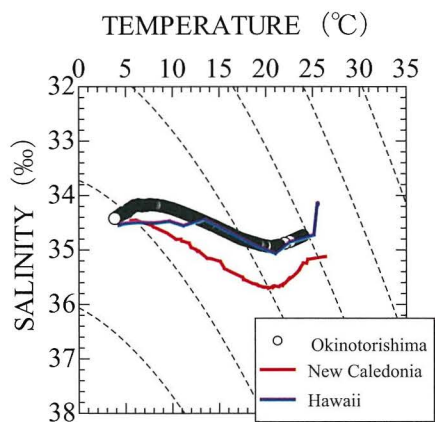


Fig. 9. T-S diagram

同じ北太平洋に属するハワイ周辺海域に非常に近いことがわかる。

3.5 栄養塩類

3.5.1 pH, ケイ酸 (SiO_2), リン酸 (PO_4)

Fig. 10 は, 水深と pH の鉛直分布を示す。Fig. 10 より, pH は表層付近では, 8.35 ~ 8.50 で, 水深が深くなるにつれて, 低くなり, 水深 1000 m 付近では, 7.88 ~ 7.93 となる。これは, 室戸における海洋深層水 (表層 8.1 ~ 8.3, 水深 320 m 7.8 ~ 7.9) の傾向と近似している¹⁴⁾。

Fig. 11 は, 水深とケイ酸の鉛直分布を示す。ここでのケイ酸は, ケイ酸態ケイ素である。Fig. 11 より, St.3 の場合, ケイ酸は, 表層では約 10 $\mu\text{mol/l}$ である。水深 500 m で増加し, 水深 1200 m 程度で約 100 $\mu\text{mol/l}$ となっている。表層付近は, 生物によるケイ酸の消費で希薄になると考えられる。深度が増すと太陽光が届きにくくなるため, 生物による消費が少なくなるので増加すると考えられる。1200 m 以深では逆に減少している。

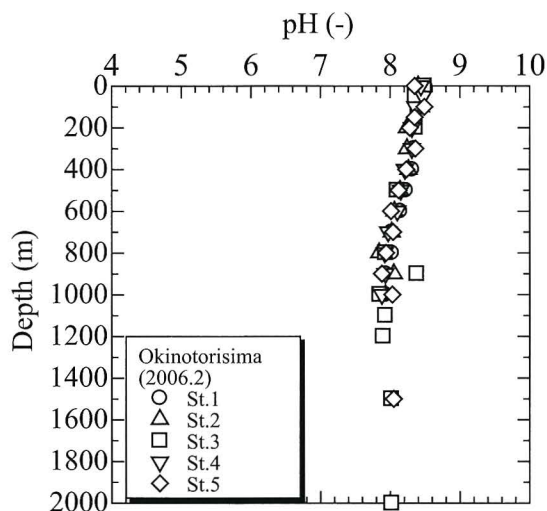
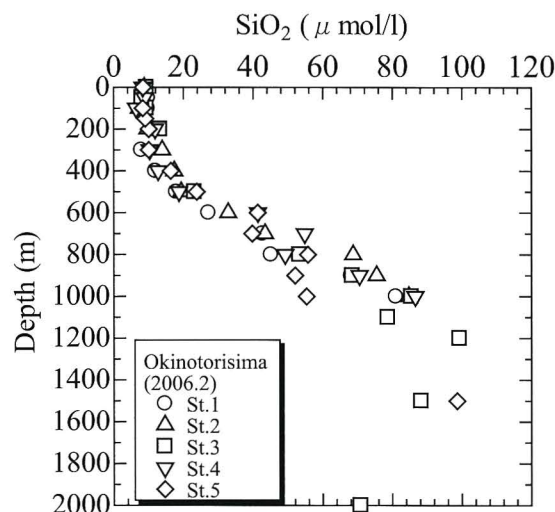


Fig. 10. Vertical profile of pH

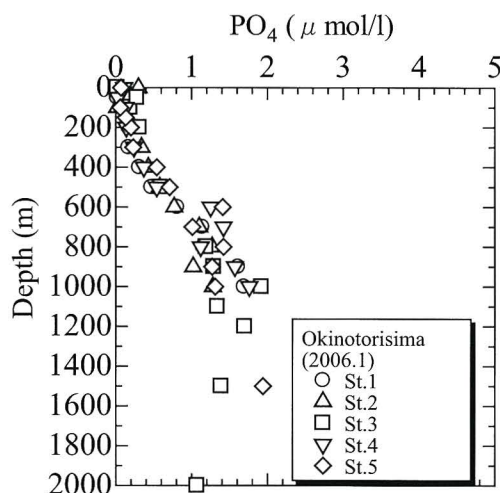
Fig. 11. Vertical profile of SiO_2 concentration

ケイ酸は, 珪藻類の細胞の殻を形成している物質であり, 珪藻類の増殖の際には非常に重要な物質である¹¹⁾。

植物プランクトンは大別して, 鞭毛藻類と珪藻類に分けられ, 魚類は珪藻類を好むといわれている。したがって, 人工漁場創成のためにケイ酸を測定する必要がある。

Fig. 12 は, 水深とリン酸の鉛直分布を示す。リン酸は藻類が増殖するために必要な要素の一つである。Fig. 12 より, St.3 の場合, リン酸は, 表層では約 0 ~ 0.07 $\mu\text{mol/l}$ である。深さ 500 m で増加し, 水深 1200 m 程度で約 1.7 $\mu\text{mol/l}$ となっている。これは, 深層に行くほど沈降したプランクトンや生物の遺骸などから放出され, 多く溶存していると考えられる。1200 m 以深では逆に減少傾向を示している。この傾向は, ケイ酸と共通している。このことについては, 今後継続的に調査が必要と考えられる。

以上の事から, 調査海域において表層付近のケイ酸の量

Fig. 12. Vertical profile of PO_4 concentration

が少ないため、深層水の汲み上げを行い、表層にケイ酸が豊富な海水を放流する事により、珪藻類（植物プランクトン）を増加させることが考えられる。

3.5.2 硝酸性窒素 (NO_3), 亜硝酸性窒素, アンモニア性窒素, 全窒素 (T-N), 全リン (T-P), 全有機炭素 (TOC)

Fig. 13 は、水深と硝酸性窒素の鉛直分布を示す (St.5)。Fig. 13 より、硝酸性窒素は、表層ではほとんど認められなかった。水深が深くなると増加し、水深 1500 m では、約 $40 \mu\text{mol/l}$ となる。硝酸性窒素は、種々の窒素化合物が酸化されて生じた最終生成物である。以上の事から、表層付近では、生物に消費され量が少ないが、深層では、生物の死骸が沈降するため濃度が高くなると考えられる。従来の研究より、海洋深層水を利用した養殖が行われている高知県室戸岬沖の深度 200m で $10 \sim 20 \mu\text{mol/l}$ と報告されている²⁰⁾。

Fig. 14 は、水深と全窒素の鉛直分布を示す (St.5)。Fig. 14 より、全窒素は、各層によってばらつきが大きく一定でない。全窒素は、無機態窒素（アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素等）と有機態窒素の総量である。

Fig. 15 は、水深と全リンの鉛直分布を示す (St.5)。Fig. 15 より、全リンは、表層では $0.64 \mu\text{mol/l}$ である。水深が深くなるにつれて増加し、水深 1500 m では、約 $6.59 \mu\text{mol/l}$ となる。全リンは、無機態リンと有機態リンの総量である。先に述べたリン酸は、溶溶性無機態リン酸であり、全リンとは異なる。

Fig. 16 は、水深と TOC の鉛直分布を示す (St.5)。Fig. 16 より、TOC は、表層から深層にかけて、 $6.5 \sim 12.0 \text{ mg/l}$

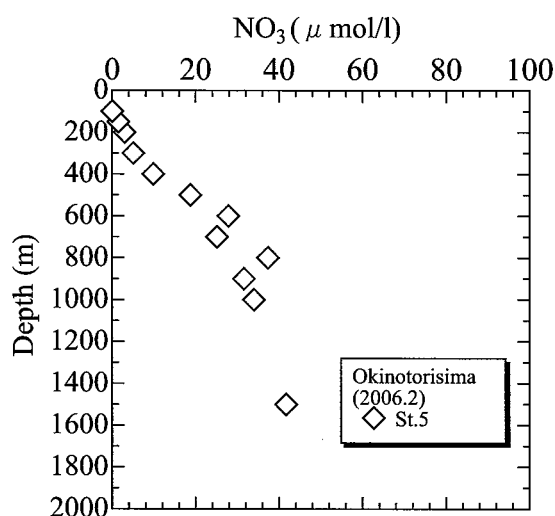


Fig. 13. Vertical profile of NO_3 concentration (St.5)

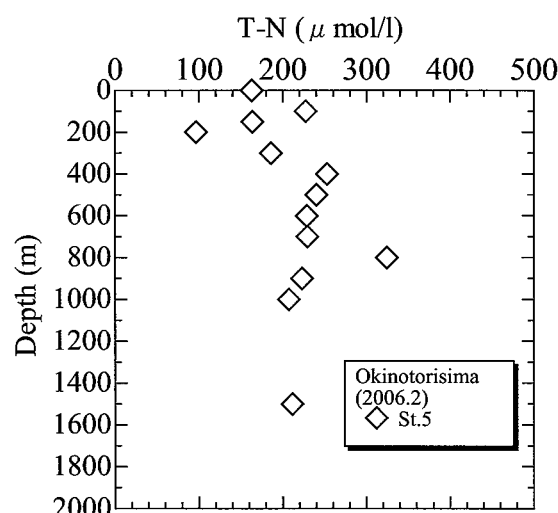


Fig. 14. Vertical profile of T-N concentration (St.5)

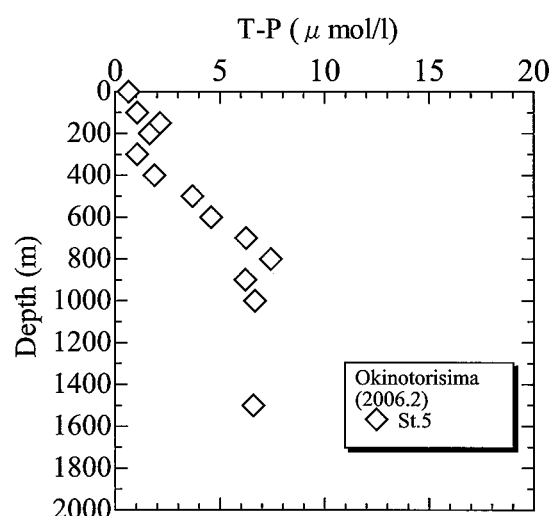


Fig. 15. Vertical profile of T-P concentration (St.5)

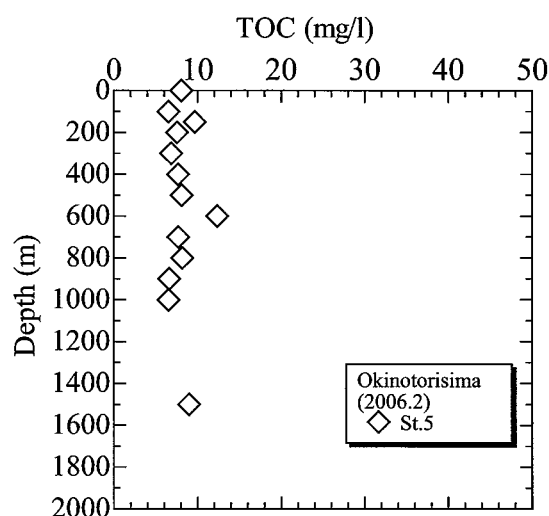


Fig. 16. Vertical profile of TOC concentration (St.5)

の間である。TOC は、水中に存在する有機物質中の炭素量を表したものである。

亜硝酸性窒素及びアンモニア性窒素は、全調査点で計量範囲外であった。

4. 結論

本調査は、水産資源開発と海洋エネルギー利用のために、沖ノ鳥島近海の海洋調査を行った。以下、結果を示す。

1. 水温は、各調査点 (St.1 ~ St.5) の表層は 24 °C 程度である。200 m 付近で約 18°C まで急激に下がり、その後は徐々に水温は低し、1000 m 付近では 5 °C となり、1000 m 以深では水温の低下はほとんど無い。また、各調査点間での水温分布は変わらず、各調査点の表層と 1000 m の間での温度差は約 19 °C となる。
2. 塩分は、各調査点 (St.1 ~ St.5) の表層から 400 m 程度までは、34.7 ~ 34.9 PSU の高塩分層が存在する。700 m 程度では、約 34.2 PSU と若干低くなる。700 m 以深では増加する。
3. 溶存酸素量は、各調査点 (St.1 ~ St.5) の表層より約 500 m までは、4.6 ~ 4.2 ml/l である。600 m 以深で急激に低下する。800 m 以深では、1.6 ml/l の低溶存酸素層が存在している。このため、この深層水を水産物の養殖・畜養等に利用する場合には、溶存酸素量が重要となる。
4. 栄養塩類は、St.3 の場合、ケイ酸は、表層では約 10 $\mu\text{mol/l}$ である。水深 500 m で増加し、水深 1200 m 程度で約 100 $\mu\text{mol/l}$ となり、1200 m 以深では逆に減少している。ケイ酸の量が少ない表層付近に、深層水の汲み上げを行い、表層にケイ酸が豊富な海水を放流する事により、珪藻類 (植物プランクトン) を増加させる必要がある。
5. リン酸は、St.3 の場合、表層では約 0 ~ 0.07 $\mu\text{mol/l}$ である。深さ 500 m で増加し、水深 1200 m 程度で約 1.7 $\mu\text{mol/l}$ となる。1200m 以深では逆に減少傾向を示した。

5. 謝辞

本研究を遂行するに当たり、調査航海の遂行全般にわたり、水産大学校練習船耕洋丸船長以下乗組員の皆様に多大なご協力を賜りました。また、採水の水質分析の面では、佐賀大学海洋エネルギー研究センターの皆様には、多大なご指導を賜りました。ご協力頂きました。深く感謝申し上げます。

6. 参考文献

- 1) 上原春男: 海洋温度差発電読本. オーム社, 東京, (1982)
- 2) 上原春男: 海洋温度差発電を用いた新産業創出と国土保全. 海洋温度差エネルギー利用研究会 (AOTEC), 1-4(2004)
- 3) W. A. Wolff, W. E. Hubert, P. M. Wolff: OTEC World Thermal Resource. Proc. OTEC Conf., 13.5.1-13.5.7 (1978)
- 4) 乾栄一, 長友洪太, 西田哲也, 池上康之, 中岡勉, 上原春男: 海洋温度差発電設置のための世界海域のエネルギー源調査. OTEC, 5, 1-19 (1994)
- 5) 中岡勉, 西田哲也, 一瀬純弥, 長友洪太, 水谷壮太郎, 巽重夫, 松下稔, Tim Pickering, 池上康之, 上原春男: フィジー海域の海洋温度差発電及び再生エネルギーの推定. 海洋深層水研究, 4(2), 57-66(2003)
- 6) 中岡勉, 西田哲也, 長友洪太, 水谷壮太郎, 巽重夫, 一瀬純弥, 松下稔, Tim Pickering, 池上康之, 上原春男: 海洋温度差発電設置のためのフィジー海域の海象調査. OTEC, 9, 45-101 (2003)
- 7) 一瀬純弥, 中岡勉, 西田哲也, 植田貴宏, 中島大輔, 秦一浩, 水谷壮太郎, 島崎渉, 和嶋隆昌, 浦田和也, 池上康之: 対馬海域における海洋温度差発電設計のための海洋調査. Deep Ocean Water Research, 8(1), 7-21 (2007)
- 8) 中杵岩男, 藤森英俊, 木邑純一: 沖ノ鳥島における気象・海象調査. 海洋科学技術センター試験研究報告書, JAMSTECR, 43, 143-152 (2001)
- 9) <http://www.seabird.com/index.htm>
- 10) <http://www.tsk-jp.com>
- 11) 奥 修: 吸光光度法ノウハウ. 技報堂出版, 東京, 63-65 (2002)
- 12) 気象庁: 海洋観測指針. 13-15(1999)
- 13) 中岡勉, 西田哲也, 一瀬純弥, 中島大輔, 植田貴宏: 海洋エネルギーを利用したハイブリッド海洋温度差発電システムの研究—対馬海域—. 日本海水学会第 58 年会研究技術発表会講演要旨集, 2-3(2007)
- 14) 中谷三男: 海洋深層水. 水産社, 東京, 153-154 (2002)
- 15) 日本材料学会編: エネルギーと材料. 裳華房, 東京, 253-254 (1991)
- 16) M. Jakob: Heat Transfer. Wiley, 1, 692(1949)
- 17) 藤田大介, 高橋正征: 海洋深層水利用学. 成山堂書店, 東京, 46-84(2006)
- 18) <http://www.jodc.go.jp>

- 19) 平野敏行：沿岸の環境圏. フジテクノシステム, 東京, 1253(1998)
- 20) 筒井浩之, 豊田孝義：海洋深層水の利用研究と今後の展望. 日本海水学会, 54(4), 290 (2000)