

海洋温度差発電設置のための フィジー海域の海象調査

中岡 勉^{*1} 西田 哲也^{*1} 長友 洪太^{*2}
水谷 壮太郎^{*2} 巽 重夫^{*2} 一瀬 純弥^{*2}
松下 稔^{*3} Tim PICKERING^{*4} 池上 康之^{*5} 上原 春男^{*5}

Investigation of marine meteorology off the coast of the Fiji island
for ocean thermal energy conversion

Tsutomu NAKAOKA Tetsuya NISHIDA Kohta NAGATOMO
Sohtaro MIZUTANI Shigeo TATSUMI Junya ICHINOSE
Minoru MATSUSHITA Tim PICKERING Yasuyuki IKEGAMI
And
Haruo UEHARA

Summary

In order to determine suitable Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) power plant sited in the Fiji island, the investigation of marine meteorology carried out off the coast of the Fiji island in the Pacific Ocean using a training ship of the National Fisheries University on 5-7 December 1996, 3-4 December 1997, 3-5 December 1998 and 4-6 December 1999. Salinity, sea water temperature and dissolved oxygen rate is measured from surface to bottom of the oceans. At site 31 on 7 December 1996 in the coast of the Fiji ocean the temperature of surface sea water is 27.7 °C while the temperature of sea water at a depth of about 800 m is 5.2 °C. For example, the mean salinity is about 34.4 ‰ and the dissolved oxygen is 4.38 ml/l at a depth of about 800 m. For example 1, the energy rate use ocean thermal energy become about 120 times as much as electric power on the republic of Fiji.

Key words : OTEC, Ocean, Investigation, Marine Meteorology, Fiji

1. 緒 言

フィジー共和国は、南太平洋の中心部(メラネシア海域)に位置し、約330の諸島から成り、多くは火山活動又は珊瑚礁の隆起によりできている。気候は、熱帯性気候でもっとも暑い2月を中心に雨量が多く、首都スヴァエの年間降雨量は、3000 mmとなっている。面積は、四国とほぼ同じ18333 km²で、人口

は約81.1万人である。経済面では、砂糖生産と観光が二大産業となっている。

フィジー共和国の1年間の総発電量は、510 GWh (1999年)¹⁾である。フィジー共和国の電力源は、水力が82.35%、17.65%が化石燃料に頼っている。しかし、化石燃料の輸送費用が高く、電気もすべての島へ行き渡っていない現状である。また、化石燃料の使用で二酸化炭素の排出による地球温暖化による海面上昇も懸念されている。そのために、フィジー共和国を含めた南太平洋諸国では、海洋温度差発電を建設する

*1 水産大学校 海洋機械工学科 (759-6595 山口県下関市永田本町 2-7-1)

*2 水産大学校 練習船耕洋丸 (759-6595 山口県下関市永田本町 2-7-1)

*3 水産大学校 水産学研究科 (759-6595 山口県下関市永田本町 2-7-1)

*4 The University of the South Pacific (P. O. Box 1168, Suva, Republic of Fiji)

*5 佐賀大学海洋エネルギー研究センター (840-8502 佐賀県佐賀市本庄町 1 番地)

ための計画が進んでいる²⁾。

海洋温度差発電を陸上設置で多目的で使用する場合は、建設費は建設場所の気候、地形、設置地域の社会基盤などに大きく影響される。そのため、プラントを設置する場合には、海象データの十分な調査を実施し、設置場所にあった最適設計やフィージビリティスタディを行う必要がある。

現在、OTECの設置場所の選定や概念設計については、日本および世界各国で行われている³⁾。上原らは、候補地の1つである島根沖でOTECの発電実験を行った⁴⁾。また、フィリピン海域での海洋調査を行い、この海域での概念設計を行った⁵⁾。また、日本での最も有力な候補地である沖永良部海域では、3回の海洋調査を行った⁶⁾。そして、この調査結果を参照し、10 MWのOTECプラントと海水淡水化装置を組み合わせたハイブリットサイクルについて報告を行っている⁷⁾。

現在、フィジー共和国を含んだ南太平洋諸国では、海洋温度差発電の計画が進められているが、フィジー共和国海域での海洋

データは日本海洋データセンタ(JODC)等で調べられたものではなく、この海域での海洋温度差発電のためのデータは極めて不足している。そこで、本研究は、南太平洋のフィジー海域に適した OTEC システムの設計を行うために、調査船を利用して海洋調査を行い、その結果について解析するとともにこの海域の特性について明らかにする。さらに、この海域での利用再生エネルギー量についても推算を行う。

2. 調査

2.1 調査場所

図1は、調査を行った海域を示す。調査海域は、フィジー共和国周囲である。

図2は、1996年、1997年、1998年、1999年に海洋調査を行った海域を示す。

図中の(a)は、1996年の Kadave 島の南西側、(b)は、Beqa 島の東側、(c)は、1997年の Beqa 島と One 島のスヴァの南側、(d)は、1998年の Beqa 島の間のカンダブ水路、

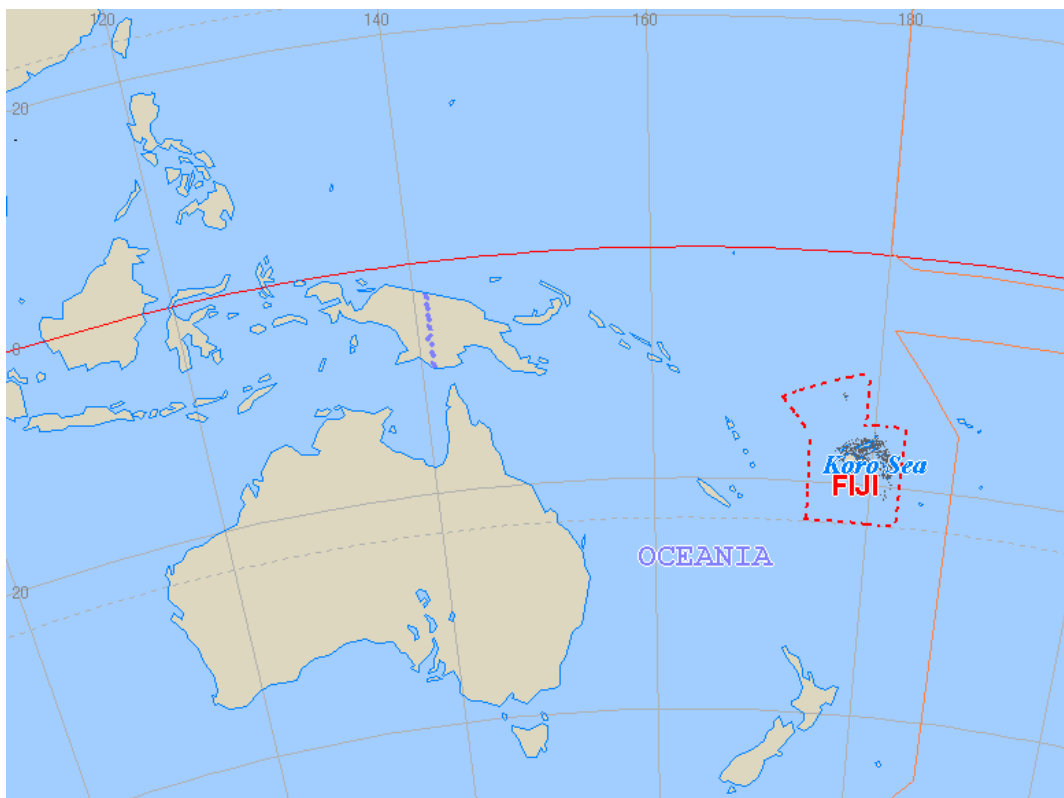


図1 調査海域(フィジー共和国周辺)

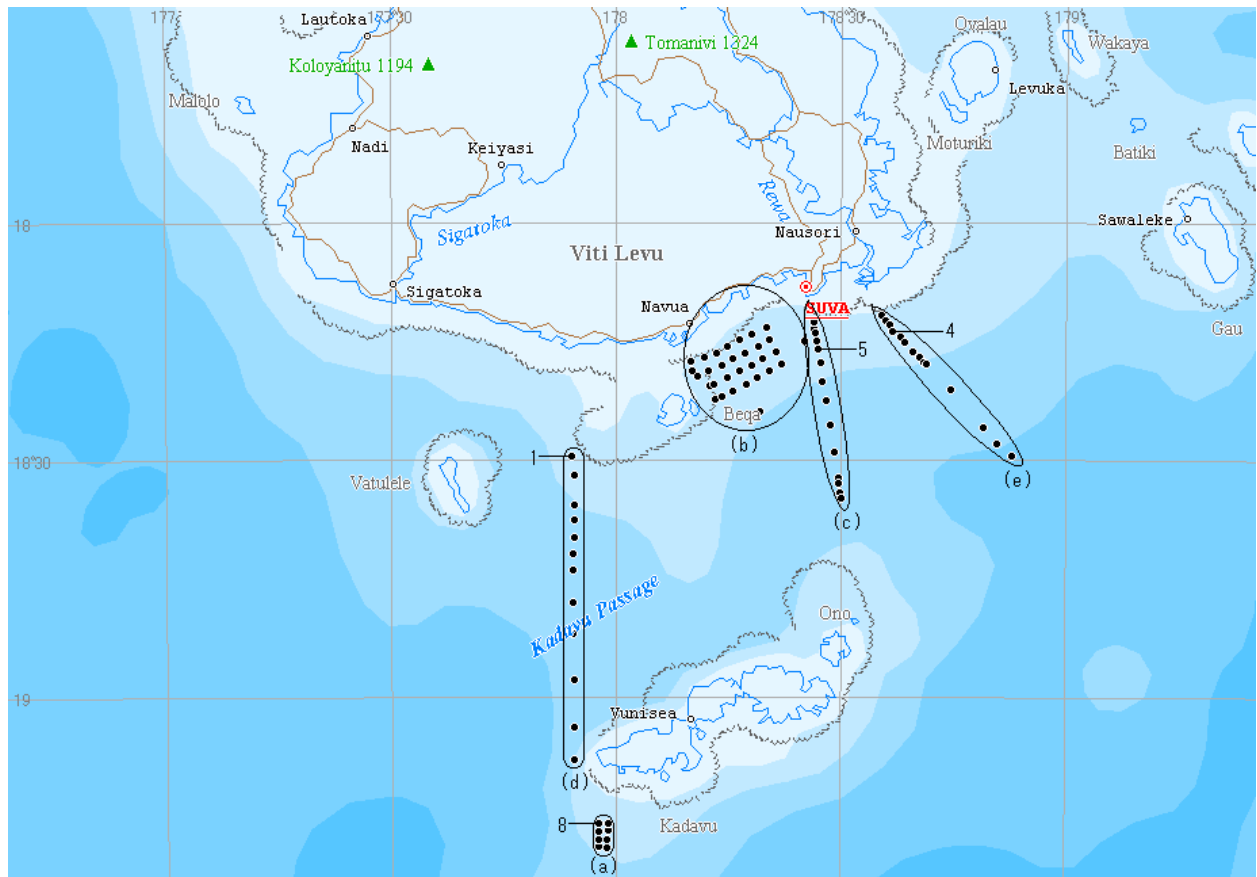


図2 年毎の調査海域

(e)は、1999年のBeqa島のスヴァの東南側である。

図3(a)～(e)は、図2に示した年度毎の調査海域の測定箇所を詳細に示したものである。図中の(・)印と番号は、測定点を示す。

1996年の調査は、Kadave島の南西側、測定箇所は8点、Beqa島の東側、測定箇所は31である。測定範囲は、南緯 $19^{\circ} 15.87'$ ～ $19^{\circ} 18.94'$ 、東経 $177^{\circ} 57.54'$ ～ $177^{\circ} 58.87'$ 、南緯 $18^{\circ} 13.22'$ ～ $18^{\circ} 23.93'$ 、東経 $178^{\circ} 10.00'$ ～ $178^{\circ} 25.02'$ の2ヶ所である。

1997年は、Beqa島のスヴァ南側、測定箇所は14点である。測定範囲は、南緯 $18^{\circ} 12.46'$ ～ $18^{\circ} 34.87'$ 、東経 $178^{\circ} 26.41'$ ～ $178^{\circ} 29.99'$ である。

1998年は、Beqa島とOno島の間のカンダブ水路、測定箇所は12点である。測定範囲は、南緯 $18^{\circ} 29.56'$ ～ $19^{\circ} 07.92'$ 、東経 $177^{\circ} 54.09'$ ～ $177^{\circ} 54.46'$ である。

1999年は、Beqa島のスヴァ東南側、測定箇所は14点である。測定範囲は、南緯 $18^{\circ} 11.72'$ ～ $18^{\circ} 29.44'$ 、東経 $178^{\circ} 35.34'$ ～ $178^{\circ} 52.83'$ である。

2.2 調査船

図4は、調査に使用した水産大学の練習船耕洋丸を示す。

図5は、調査船の概観のレイアウトを示す。

表1は、調査船の仕様を示す。この調査船は、全長81.4m、幅13.0m、総トン数1990.17tである。主エンジンは、3800 PS、回転数は230 rpmである。航海速力は、14 ktである。

2.3 調査方法

2.3.1 塩分濃度、海水温度、水深

図6は、電気伝導度水温水深計(CTD- O_2)センサーおよび(CTD- O_2)測定装置の写真を示す。

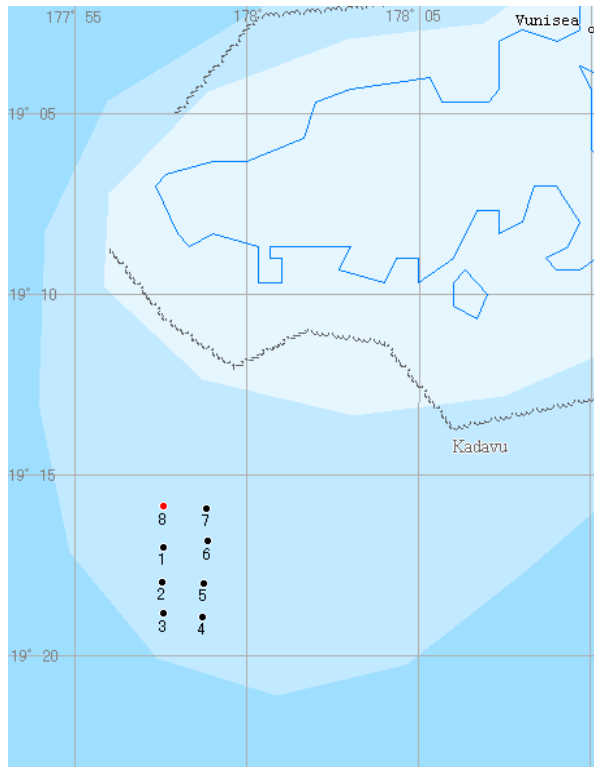


図 3(a) 調査海域(1996 年)

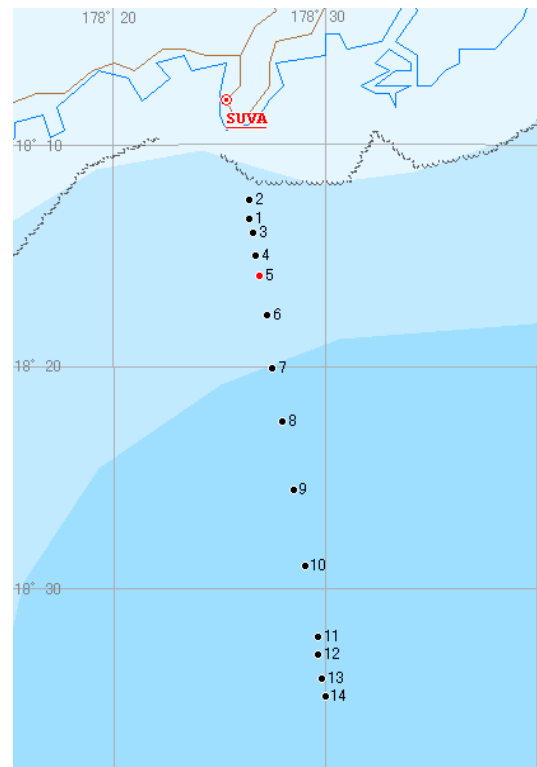


図 3(c) 調査海域(1997 年)

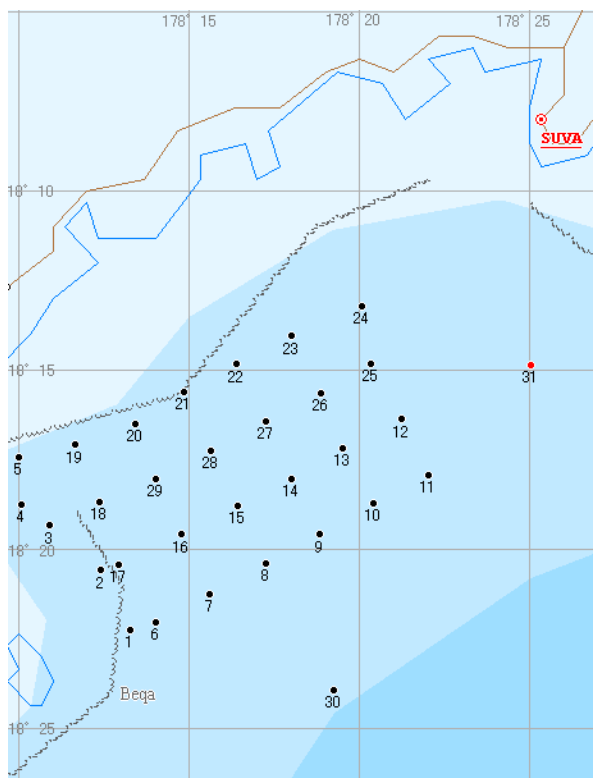


図 3(b) 調査海域(1996 年)

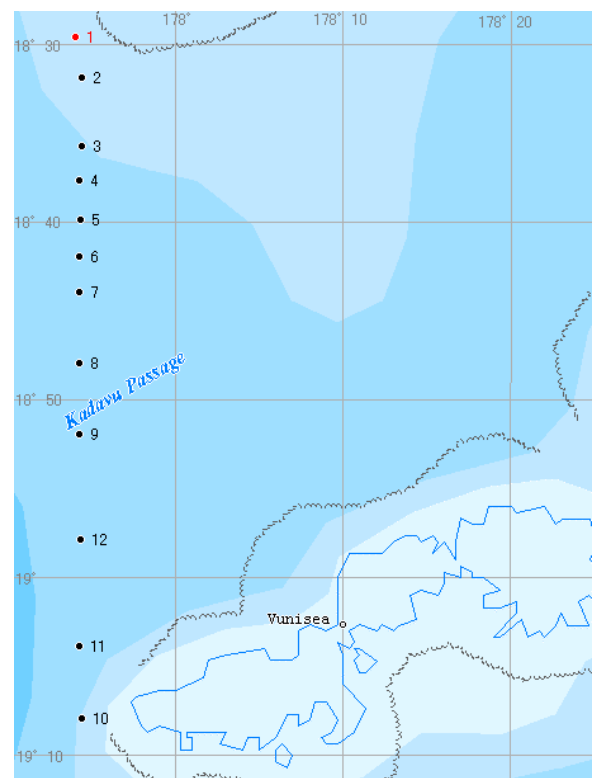


図 3(d) 調査海域(1998 年)

塩分濃度、海水温度、水深、溶存酸素量の測定は、図3(a)～(e)に示す各測定点で調査船を漂泊させ、電気伝導度水温水深計(CTD-0₂) (電気伝導度：(範囲：1～65 mmho, 精度：±0.005 mmho)、温度：(範囲：-32～+32 °C、精度：±0.005 °C (-3～+32 °C))、圧力：(範囲、精度：0～320 db, ±0.5 db, 0～650 db, ±1.0 db, 0～1600 db, ±1.6 db, 0～3200 db, ±3.2 db, 0～6500 db, ±6.5 db))を海に投入し水深0mから海底までを1 m 毎に行った。

電気伝導度センサーは、電極式(0.4 cm x 0.4 cm x 3 cm)である。

温度センサーは、サーミスター型(200 Ω, @20 °C)である。

圧力センサーは、歪みゲージ型(350 Ω)である。

塩分濃度は、15 °C, 1気圧におけるKC1標準溶液(1kg中に32.4356g KC1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った測定時の電気伝導比により求められる。

温度は、水は圧力を加えると温度が上がるので、深層の水を比較する場合に、ポテンシャル水温を用いる。この水温は、各水

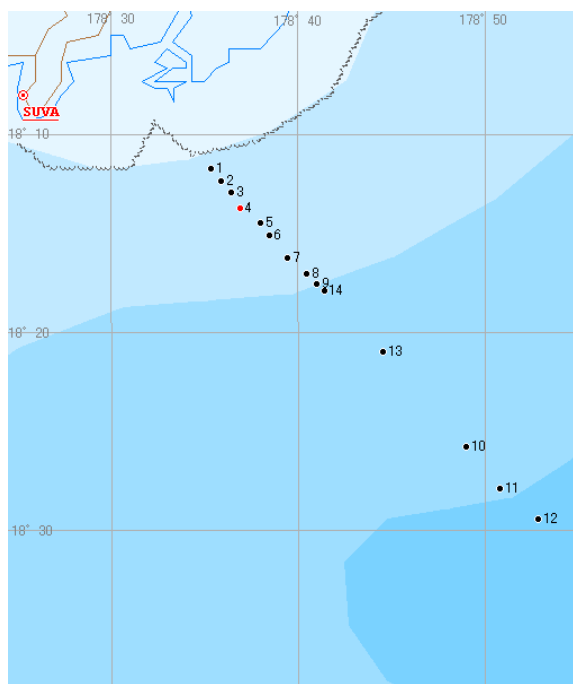


図 3(e) 調査海域(1999 年)

表1 調査船(耕洋丸)の仕様

Length	81.4	m
Breadth	13.0	m
Gross Tonnage	1990.17	t
Sea Speed	14.0	kt
Main Engine	3800 PS x 230 rpm	



図 4 調査船(耕洋丸)

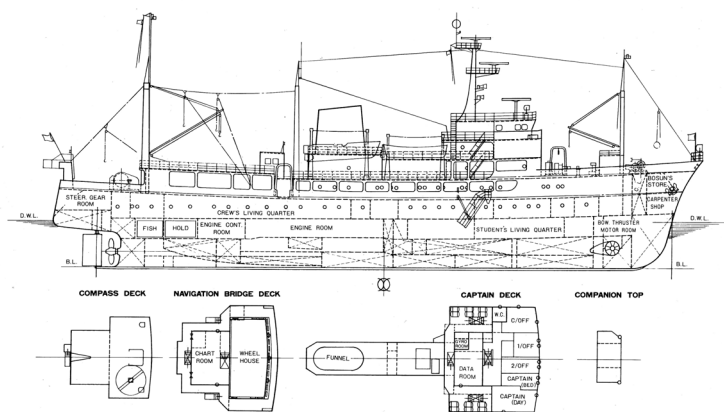


図 5 調査船のレイアウト

深の水を熱収支なしに、海表面(水圧0 db)に移動した時(断熱上昇)の値である。

水深は、鉛直方向の指標に水圧(db)を用いている。水圧と水深の関係式より算出した。

2.3.2 溶存酸素量

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、水温の補正を行い酸素飽和率を求め、その酸素飽和率に海水中の酸素飽和量を掛け合わせて求めた。

3. 調査結果

表2は、調査年度毎の測定数、測定範囲、温度(最大、最小)、深さ(最大)、塩分濃度(最大、最小)、溶存酸素量(最大、最小)を示す。

図7(a)(b)(c)は、1996年度の測定データの一例を示す。

図7(a)(b)(c)は、図3(a)中の測定点8(赤点)、kadavu島の南西側の海域の海水温度、塩分濃度、溶存酸素量分布を示す。測定点8の位置は、南緯19°15.87′、東経177°57.56′である。最大深さは、678 mである。

図7(a)よりわかるように、表層の海水温度は27.3℃、深さ678 mで6.4℃となる。表層と深層の温度差は、20.9℃である。温度分布は、表層から約30 mまで一定である。その後、温度降下する。

図7(b)よりわかるように、表層の塩分濃度は34.8‰、深さ678 mで34.4‰となる。塩分濃度分布は、表層より約200 mまで増加している。その後、深さ200 m以上になると約600 mまで減少する。

図7(c)よりわかるように、表層の溶存酸素量は3.83 ml/l、最大深さ678 mで4.73 ml/lとなる。

溶存酸素量は、表層より約30 mまで減少し、その後100 mまで増加する。その後、約200 mまで減少し約600 mまで増加する。

図8(a)(b)(c)は、1996年度の測定データの一例を示す。

図8(a)(b)(c)は、図3(b)中の測定点31

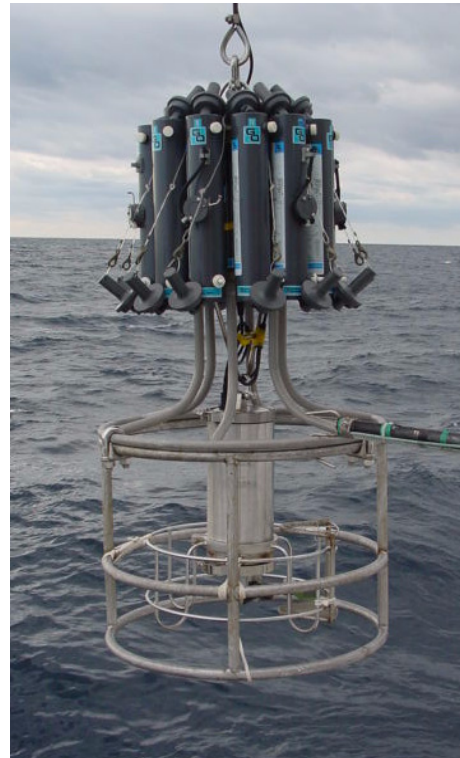


図6 電気伝導度水温水深計(CTD-O₂)センサー及び(CTD-O₂)測定装置の写真

(赤点)、Beqa島の東側の海域の海水温度、塩分濃度、溶存酸素量分布を示す。測定点31の位置は、南緯18°14.85′、東経178°25.02′である。最大深さは、944 mである。

図8(a)よりわかるように、表層の海水温度は27.7℃、深さ944 mで4.2℃となる。表層と深層の温度差は、23.5℃である。温度分布は、表層から約600 mまで温度降下する。約600 m以上になると傾きが大きくなり降下する。

図8(b)よりわかるように、表層の塩分濃度は34.7‰、最大深さ944 mで34.5‰となる。塩分濃度分布は、表層より約200 m

まで増加する。深さ約 200 m から 600 m まででは減少し、約 600 m 以上になるとほぼ一定である。

図 8(c) よりわかるように、表層の溶存酸素量は 3.36 ml/l、最大深さ 944 m で、4.06 ml/l となる。溶存酸素量は、表層より 100 m まで増加する。約 100 m から 200 m までは減少する。約 200 m から 600 m までは増加して、その後、約 600 m 以上になると減少する。

図 9(a) (b) (c) は、1997 年度の測定データの一例を示す。

図 9(a) (b) (c) は、図 3(c) 中の測定点 5 (赤点)、フィジー沖、首都スヴァ南の海域の海水温度、塩分濃度、溶存酸素量分布を示す。測定点 5 の位置は、南緯 18° 15.93'、東経 178° 26.86' である。最大深さは、846 m である。

図 9(a) よりわかるように、表層の海水温度は 26.7 °C、最大深さ 846 m で 4.8 °C となる。表層と深層の温度差は、21.9 °C である。温度分布は、表層より約 50 m まではほぼ一定で、その後、温度降下する。約 600 m 以上で傾きが大きくなり温度降下する。

図 9(b) よりわかるように、表層の塩分濃度は 35.3 ‰、最大深さ 846 m で 34.4 ‰となる。塩分濃度分布は、表層より約 50 m まで増加し、約 50 m から 150 m までは、ほぼ一定である。約 150 m から 200 m まで増

加する。約 200 m から 600 m までは減少し、約 600 m 以上では少し増加する。

図 9(c) よりわかるように、表層の溶存酸素量は 4.59 ml/l、最大深さ 846 m で 7.15 ml/l となる。溶存酸素量は、表層より約 600 m までは増加する。その後は傾きが大きくなって増加する。

図 10(a) (b) (c) は、1998 年度の測定データの一例を示す。

図 10(a) (b) (c) は、図 3(d) 中の測定点 1 (赤点)、フィジー沖、Beqa 島南西の海域の海水温度、塩分濃度、溶存酸素量分布を示す。測定点 1 の位置は、南緯 18° 29.59'、東経 177° 54.09' である。最大深さは、795 m である。

図 10(a) よりわかるように、表層の海水温度は 28.5 °C、最大深さ 795 m で 5.3 °C となる。表層と深層の温度差は、23.2 °C である。温度分布は、表層から約 20 m まではほぼ一定である。その後約 600 m まで温度降下する。約 600 m 以上になると傾きが大きくなり降下する。

図 10(b) よりわかるように、表層の塩濃度は 35.3 ‰、最大深さ 795 m で 34.4 ‰となる。塩分濃度分布は、表層より約 30 m まで一定である。その後約 100 m まで増加する。深さ約 100 m から 600 m まで減少して、約 600 m 以上になると一定となる。

図 10(c) よりわかるように、表層の溶存

表 2 測定数、測定範囲、温度、最大深さ、塩分濃度、溶存酸素量 (1996~1999 年)

Date	Site number	Latitude (S)	Longitude (E)	Temperature (°C)		Depth (m) (MAX)	Salinity (‰)		Dissolved Oxygen Rate (ml/l)		DATA
				(MAX)	(MIN)		(MAX)	(MIN)	(MAX)	(MIN)	
1996/12/5	8	19° 15.87~ 19° 18.94	177° 57.54~ 177° 58.87	27.5	6.4	678	35.78	34.22	4.87	3.13	Appen. 1
1996/12/5-7	31	18° 13.22~ 18° 23.93	178° 10.00~ 178° 25.02	28.0	3.0	1902	35.79	34.22	4.68	2.63	Appen. 2
1997/12/3-4	14	18° 12.46~ 18° 34.87	178° 26.41~ 178° 29.99	27.0	2.4	1793	35.75	34.38	7.57	4.59	Appen. 3
1998/12/3-5	12	18° 29.56~ 19° 07.92	177° 54.09~ 177° 54.46	28.9	2.2	1983	35.97	27.80	3.38	2.27	Appen. 4
1999/12/4-6	14	18° 11.72~ 18° 29.44	178° 35.34~ 178° 52.83	28.4	2.3	2008	36.03	30.06	3.28	1.13	Appen. 5

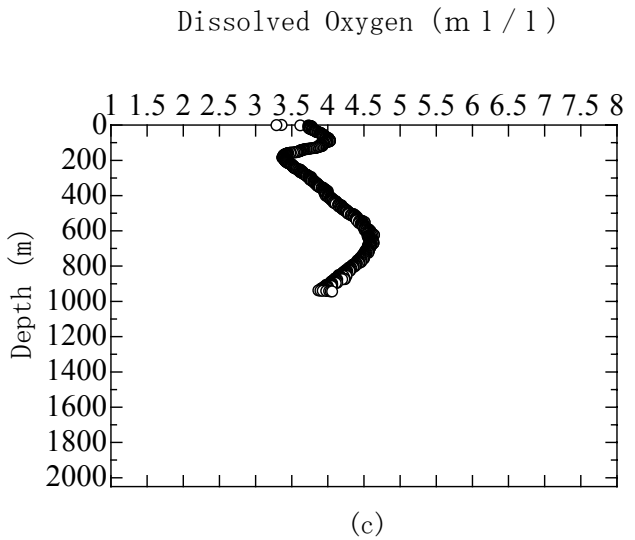
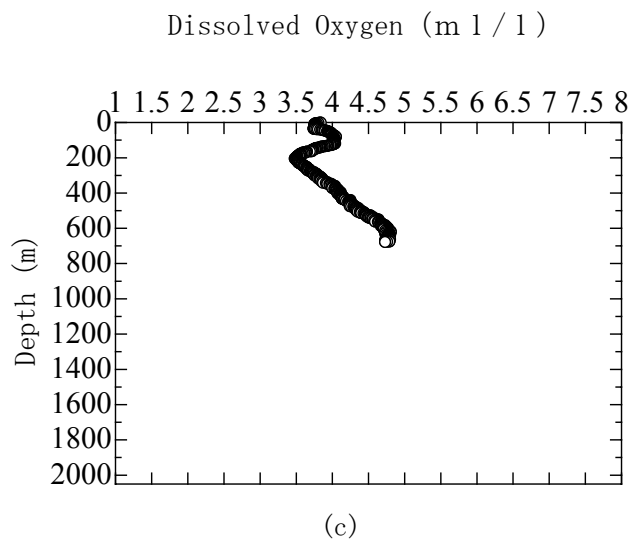
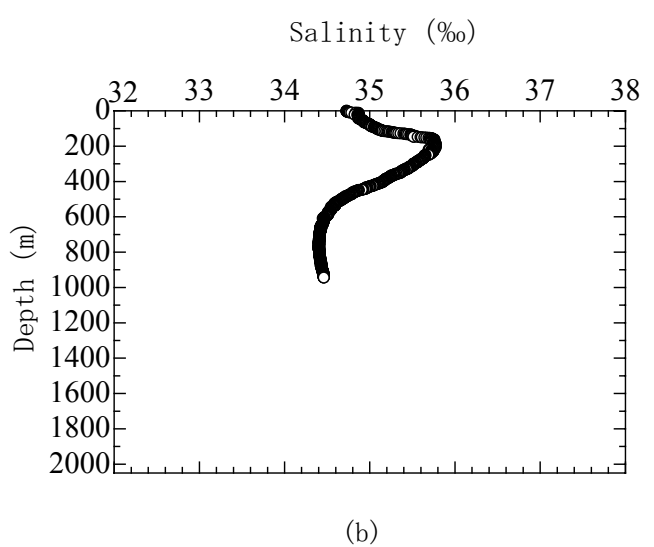
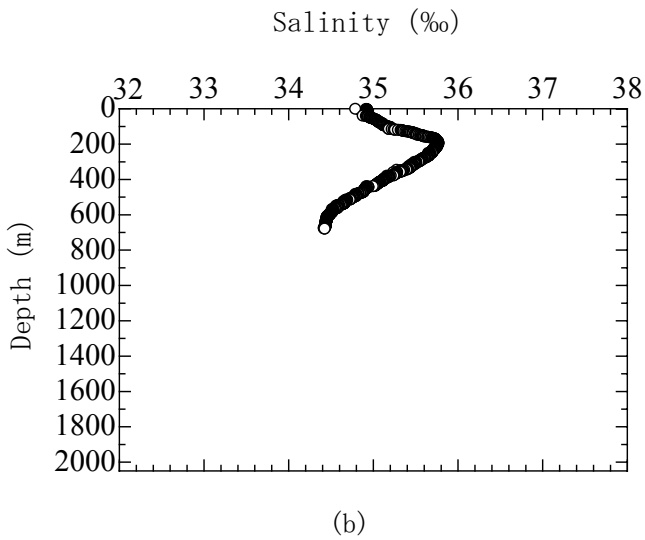
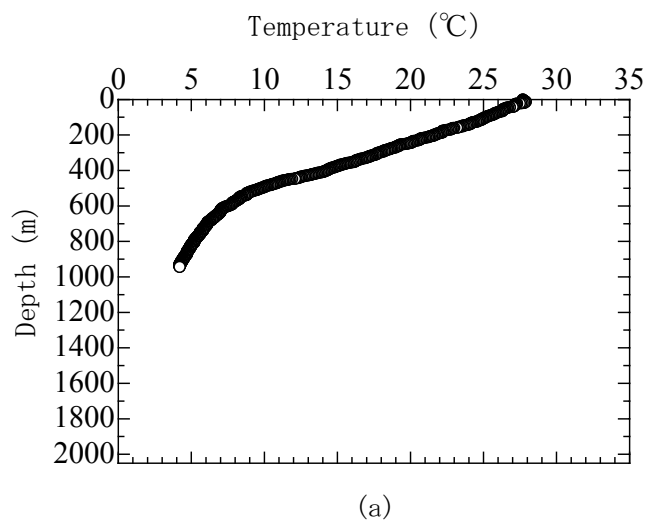
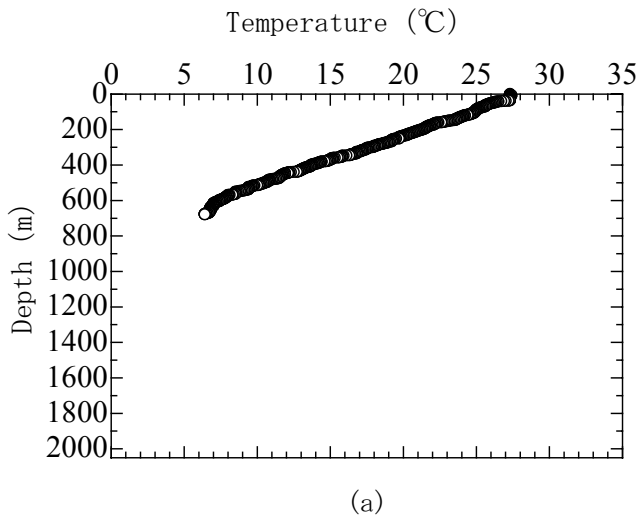
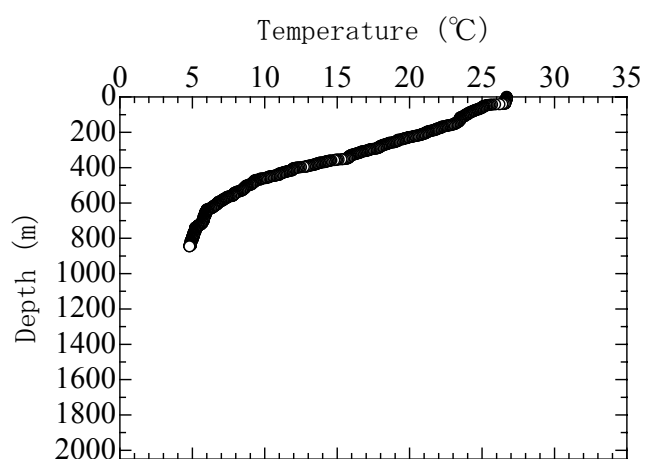
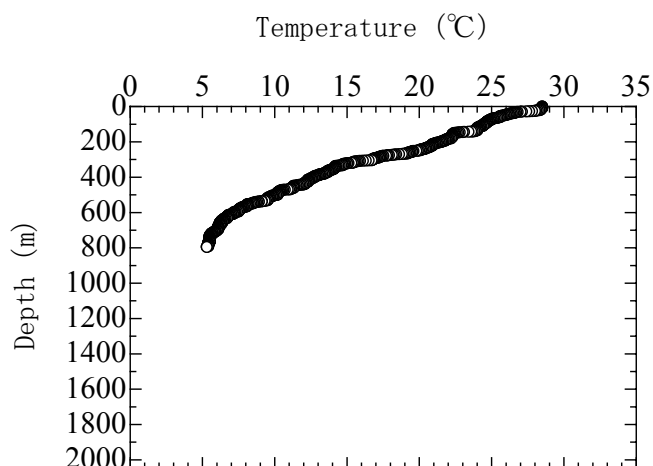


図7 測定データ(1996年, Site 8)

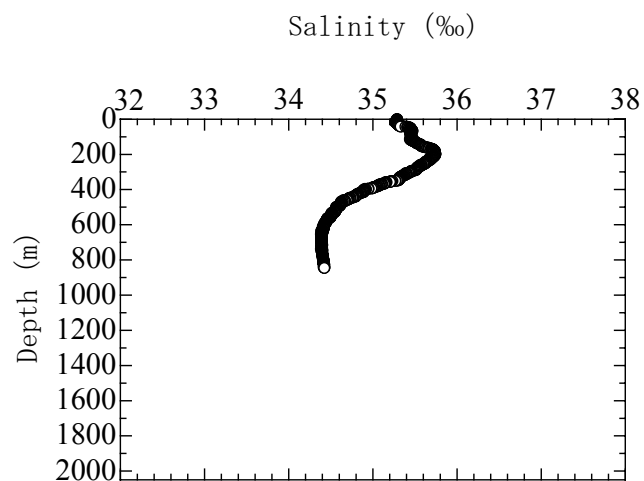
図8 測定データ(1996年, Site 31)



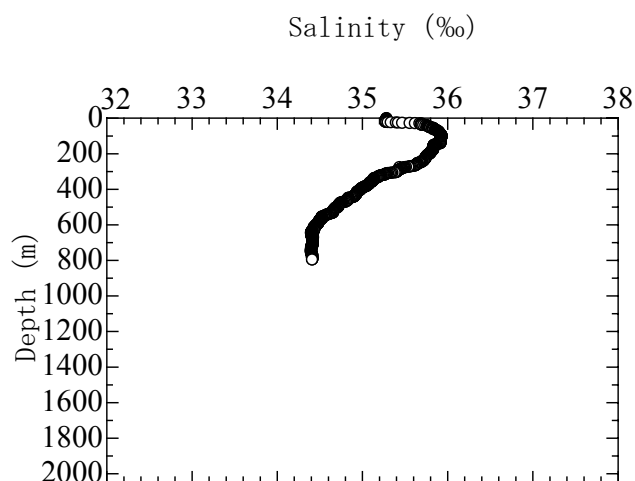
(a)



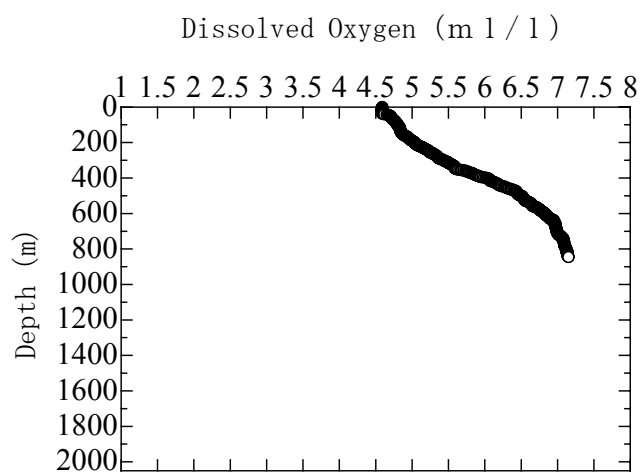
(a)



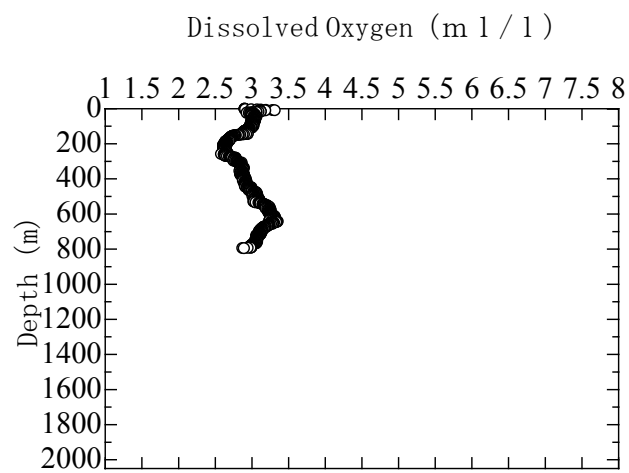
(b)



(b)



(c)



(c)

図9 測定データ(1997年, Site 5)

図10 測定データ(1998年, Site 1)

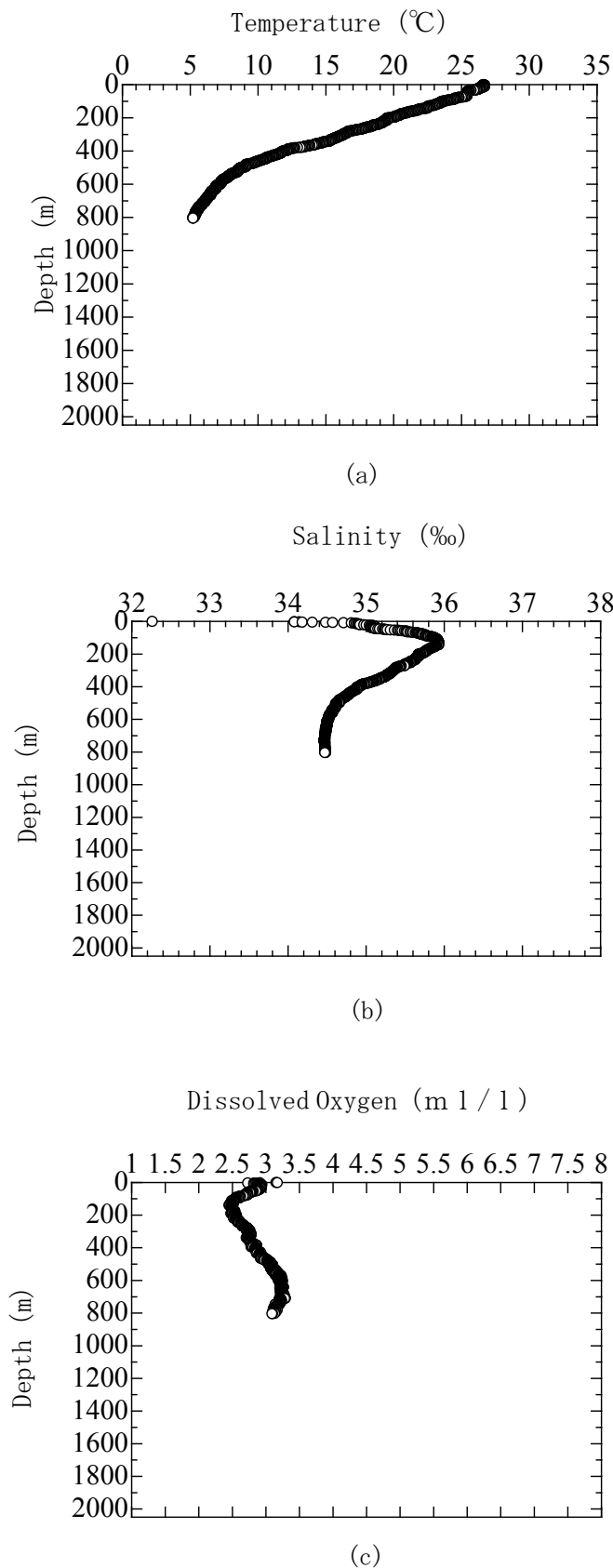


図 11 測定データ (1999 年, Site 4)

酸素量は 2.90 ml/l、最大深さ 795 m で 2.89 ml/l となる。溶存酸素量は、表層より約 30 m までは変動している。その後、約 300 m まで減少し、約 300 m から 650 m までは増加する。約 650 m 以上になると減少する。

図 11(a) (b) (c) は、1999 年度の測定データの一例を示す。

図 11(a) (b) (c) は、図 3(e) 中の測定点 4 (赤点)、フィジー沖、首都スヴァ南東の海域の海水温度、塩分濃度、溶存酸素量分布を示す。測定点 4 の位置は、南緯 $18^{\circ} 13.73'$ 、東経 $178^{\circ} 36.89'$ である。最大深さは、804 m である。

図 11(a) よりわかるように、表層の海水温度は 26.6°C 、最大深さ 804 m で 5.2°C となる。表層と深層の温度差は、 21.4°C である。温度分布は、表層から 804 m まで温度降下する。

図 11(b) よりわかるように、表層の塩分濃度は 32.3‰ 、最大深さ 804 m で 34.5‰ となる。塩分濃度分布は、表層より約 150 m まで増加する。約 150 m から 600 m までは減少する。約 600 m 以上になるとほぼ一定である。

図 11(c) よりわかるように、表層の溶存酸素量は 3.15 ml/l 、最大深さ 804 m で 3.09 ml/l となる。溶存酸素量は、表層で増加し、その後、約 150 m までは減少する。約 150 m から 600 m まで増加する。約 600 m 以上になると、少し減少する。

4. 海水温度、塩分濃度、溶存酸素量の検討

4.1 海水温度の変化

図 12(a)～(e) は、1996 年～1999 年の海水温度の変化を示したものである。縦軸は深さ、横軸は緯度を示す。

図 12(a) は、測定日は、1996 年 12 月 5 日である。最大深さは、678 m である。また、測定範囲は、東経 $177^{\circ} 57.54' \sim 177^{\circ} 58.87'$ である。

図 12(b) は、測定日は、1996 年 12 月 5～7 日である。最大深さは、1902 m である。

また、測定範囲は、東経 $178^{\circ} 10.00'$ ~ $178^{\circ} 25.02'$ である。

図 12(c)は、測定日は、1997 年 12 月 3~4 日である。最大深さは、1793 m である。また、測定範囲は、東経 $178^{\circ} 26.41'$ ~ $178^{\circ} 29.99'$ である。

図 12(d)は、測定日は、1998 年 12 月 3~5 日である。最大深さは、1983 m である。また、測定範囲は、東経 $177^{\circ} 54.09'$ ~ $177^{\circ} 54.46'$ である。

図 12(e)は、測定日は、1999 年 12 月 4~6 日である。最大深さは、2008 m である。また、測定範囲は、東経 $178^{\circ} 35.34'$ ~ $178^{\circ} 52.83'$ である。

図 12(a)~(e)よりわかるように、深さが深くなるに従って温度が下がる。表層の温度は、 26.4°C ~ 28.9°C の範囲である。深さ約 50 m~100 m で約 25.0°C 、深さ約 200~250 m で約 20.0°C 、深さ約 350 m~400 m で約 15.0°C 、深さ約 500 m で約 10.0°C 、深さ約 800 m で 5.0°C となる。深さ約 500 m を越え、約 5.0°C が存在する深さ約 800 m までは、深さ 300 m の差がある。

以上、海水温度の変化は、深さに対する冷海水の分布がわかり、熱源の温度差を決める際に重要となる。また、OTEC が可能な場所としては、表層と深層の海水温度差が最低約 15°C 以上必要であるので、海水取水管の長さは、海水温度が 10.0°C である水深約 500 m まで必要である。また、海水温度 5.0°C を使用する場合は、深さ約 800 m まで必要となる。

4.2 塩分濃度の変化

図 13(a)~(e)は、1996 年~1999 年の塩分濃度の変化を示したものである。縦軸は深さ、横軸は緯度を示す。

図 13(a)より、塩分濃度は深さ約 50 m で 35.0‰ である。深さ約 250 m まで増加し、 35.7‰ となる。それ以降は、水深が増すと減少する。

図 13(b)より、塩分濃度は深さ約 100 m で 35.0‰ である。深さ約 150 m~200 m まで増加して、 35.7‰ となる。それ以降は、

水深が増すと減少する。

図 13(c)より、塩分濃度は深さ約 100 m で 35.5‰ である。深さ約 150 m~200 m まで増加して、 35.7‰ となる。それ以降は、水深が増すと減少する。

図 13(d)より、塩分濃度は深さ約 20 m で 35.5‰ である。深さ約 200 m まで増加して、 35.7‰ となる。それ以降は、水深が増すと減少する。

図(e)より、塩分濃度は深さ約 50 m で 35.0‰ である。深さ約 200 m まで増加して、 35.7‰ となる。それ以降は、水深が増すと減少する。

以上、この塩分濃度の変化は、OTEC の海水取水管内の表層と深層との塩分濃度差による圧力損失を算出する際に重要であり、この塩分濃度の分布を考慮して算出する必要がある。

4.3 溶存酸素量の変化

図 14(a)~(e)は、1996 年~1999 年の溶存酸素量の変化を示したものである。縦軸は深さ、横軸は緯度を示す。

図 14(a)より、溶存酸素量は深さ約 100 m で 4.0 ml/l である。深さ約 200 m まで減少して、 3.5 ml/l となる。それ以降は、水深が増すと増加する。

図 14(b)より、溶存酸素量は深さ約 100 m で 4.0 ml/l となる。深さ約 200 m まで減少して、 3.5 ml/l となる。深さ約 750 m まで増加して、 4.5 ml/l となる。それ以降は、水深が増すと減少する。

図 14(c)より、溶存酸素量は表層で 4.6 ml/l である。深さ約 300 m で 5.5 ml/l で、深さ約 500 m まで増加して 6.5 ml/l となる。それ以降は、深さが増すと増加する。この海域の溶存酸素量は、他の海域に比べて大きな値となる。

図 14(d)より、溶存酸素量は表層から約 150 m で 3.0 ml/l となる。深さ約 200 m まで減少して、 2.7 ml/l となる。深さ約 600 m~650 m まで増加して 3.3 ml/l となる。それ以降は、水深が増すと減少する。

図 14(e)より、溶存酸素量は約 100 m で

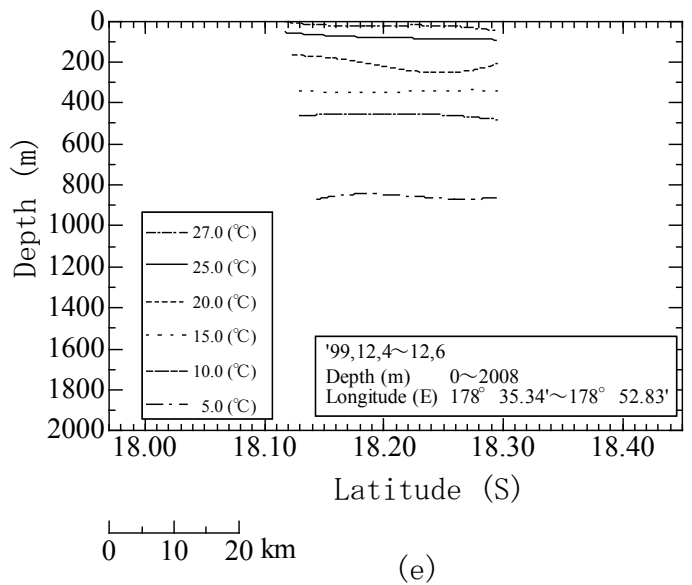
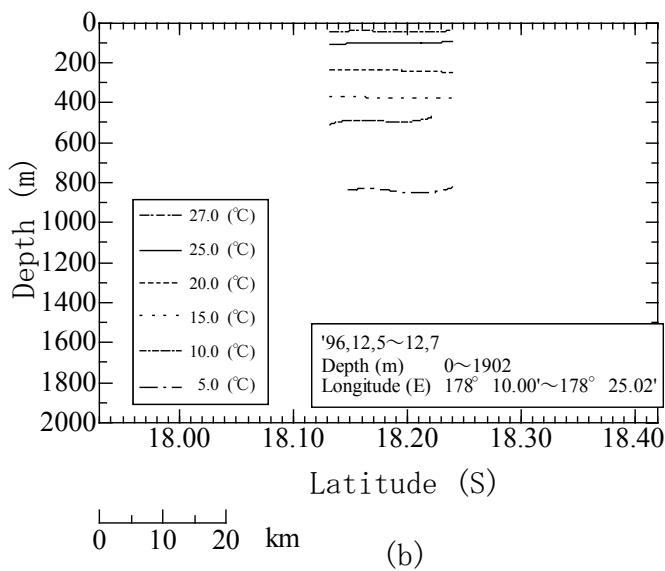
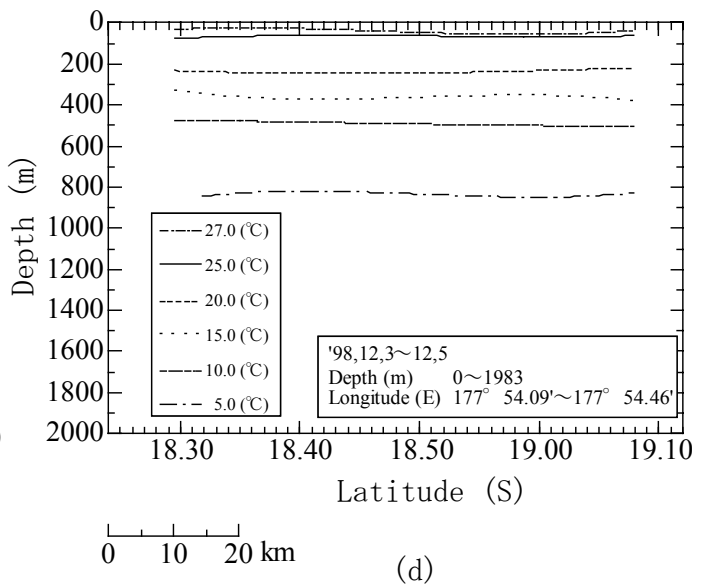
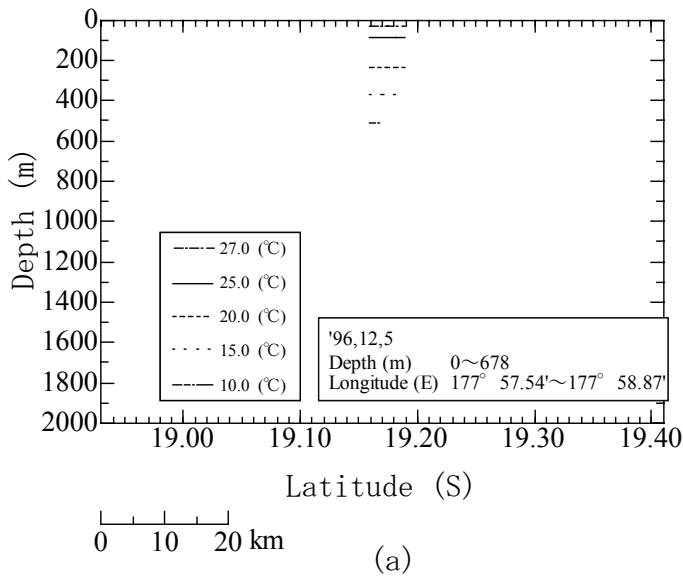
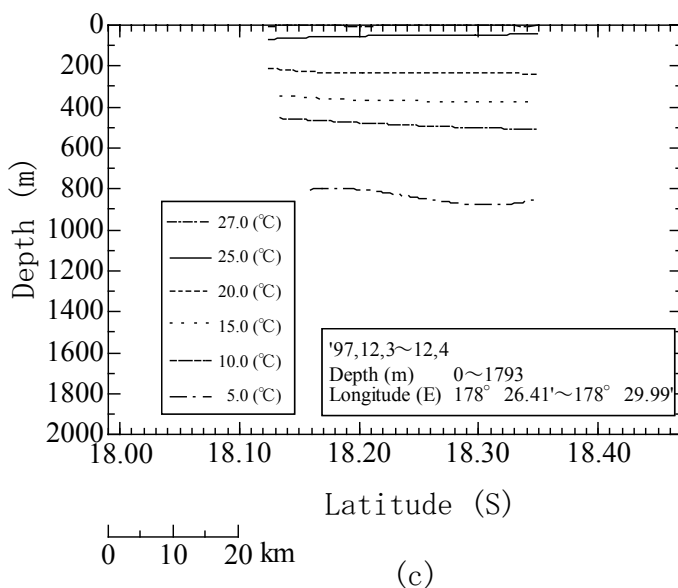


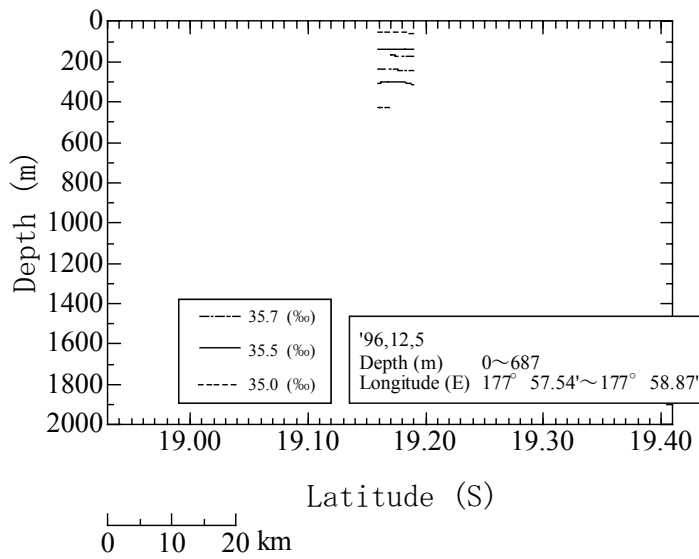
図 12(a)~(e) 海水温度の変化



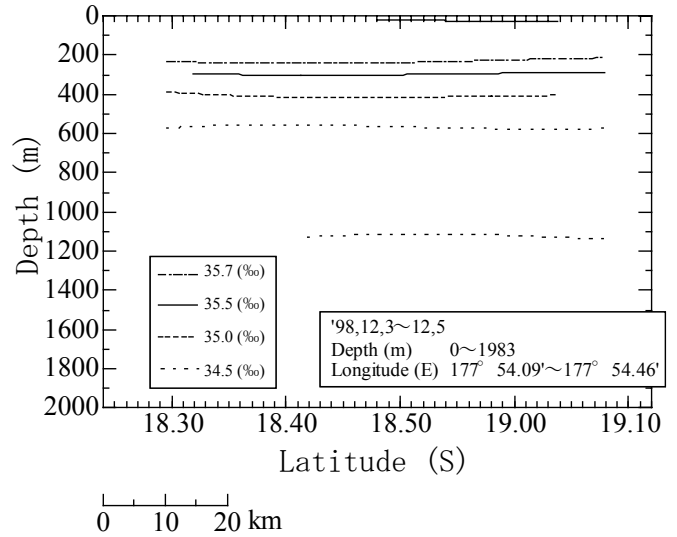
2.7 ml/l である。深さ約 700 m~800 m まで増加して、3.2 ml/l となる。それ以降は、水深が増すと減少する。

この海域は、図 14(d)と同様な溶存酸素量の値となる。

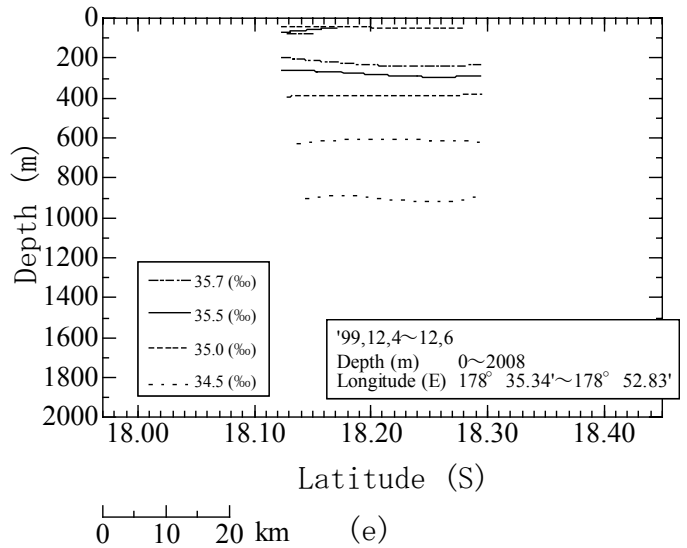
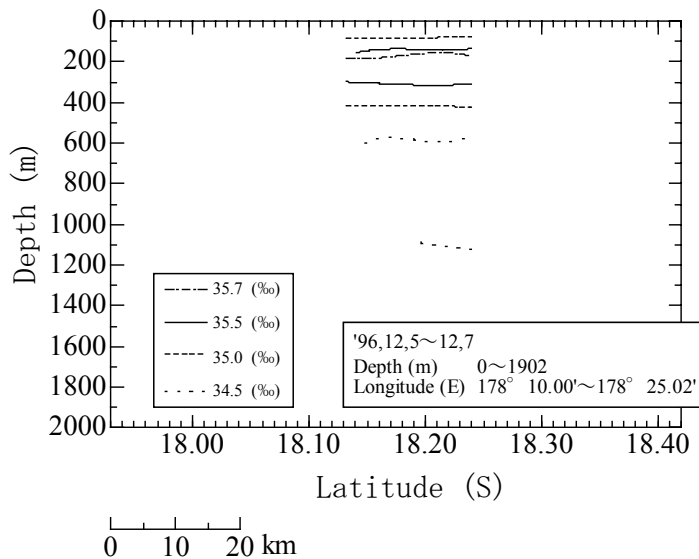
以上、この溶存酸素量の変化は、ハイブリッド OTEC システムの中の海水淡水化システムで海水をフラッシュ蒸発させて、造水用凝縮器で凝縮して淡水を作る過程で真空ポンプが必要であるが、その真空ポンプの動力を見積もる際に必要となる。また、この溶存酸素量の変化は、養殖に関するプランクトンの量や栄養塩に関係しているものと考えられる。この溶存酸素量につい



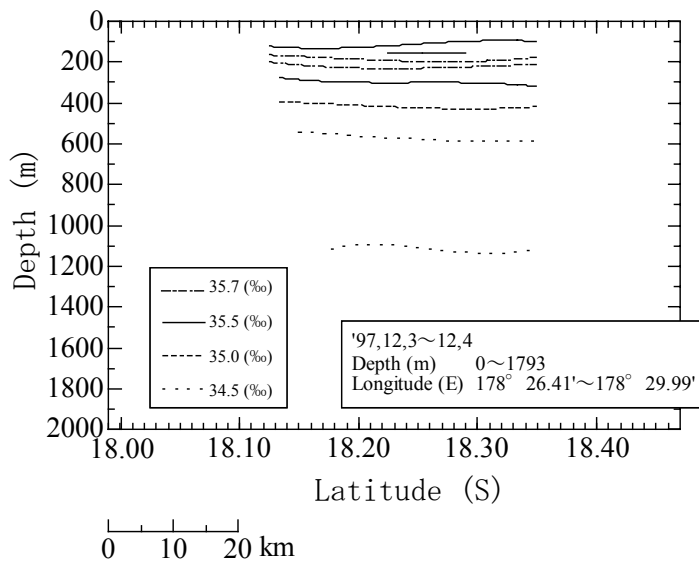
(a)



(d)



(e)



(c)

図 13(a)～(e) 塩分濃度の変化

では、さらに検討が必要である。

4.4 海底地形の検討

図 15 は、調査海域(図 3(b), 1996 年)の海底地形を示す。X 軸に経度、Y 軸に水深、Z 軸に緯度を示す。

図 15 よりわかるように、緯度が大きくなると水深が深くなっている。しかし、環礁に近いところの測定点 5, 20, 21, 22, 23 は、他の測定点と異なって水深が浅くなっている。

以上、この海底地形は、OTEC システムで利用する海洋深層海水を取水する管の設置方法や長さを決定する際に重要なものとなる。

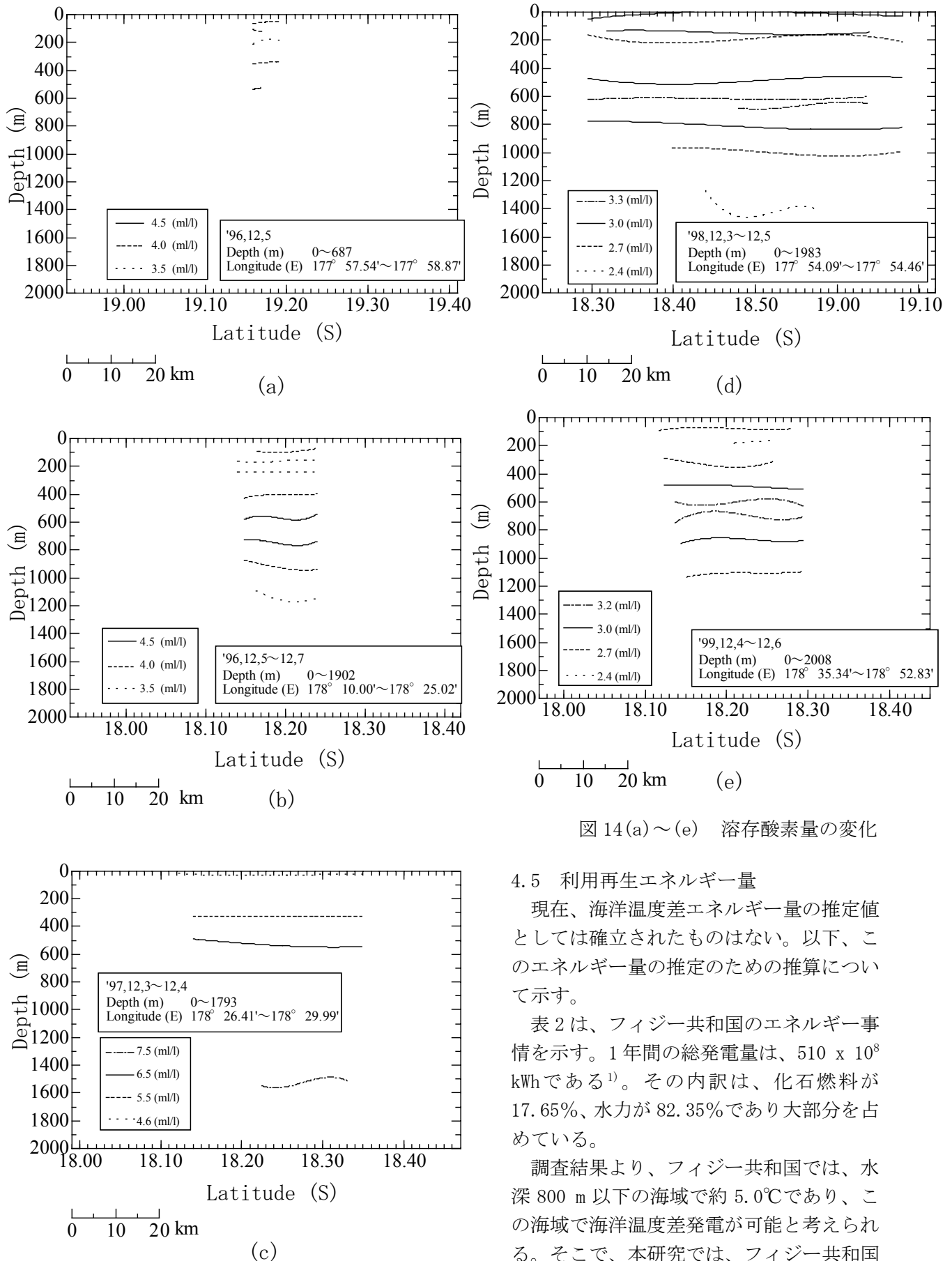


図 14(a)~(e) 溶存酸素量の変化

4.5 利用再生エネルギー量

現在、海洋温度差エネルギー量の推定値としては確立されたものはない。以下、このエネルギー量の推定のための推算について示す。

表 2 は、フィジー共和国のエネルギー事情を示す。1 年間の総発電量は、 510×10^8 kWh である¹⁾。その内訳は、化石燃料が 17.65%、水力が 82.35% であり大部分を占めている。

調査結果より、フィジー共和国では、水深 800 m 以下の海域で約 5.0℃ であり、この海域で海洋温度差発電が可能と考えられる。そこで、本研究では、フィジー共和国

の海域でOTECに利用可能な面積 A_F は $8.9 \times 10^{11} \text{ m}^2$ として、そのエネルギー量を推算する。なお、フィジー共和国の水面上の国界の面積は $1.13 \times 10^{12} \text{ m}^2$ であり、全海域に占める割合は、79 %である。また、この海域の表面温度は、調査結果より、平均温度の約 $27.0 \text{ }^\circ\text{C}$ とする。

1) 推算 1

高野は、海洋温度差のエネルギー量を次式で見積もっている⁸⁾。フィジー海域の利用再生エネルギー量 E_F は、これらを参考にしてみ積ると次のようになる。

$$\begin{aligned} E_F &= c_p \times m \times \Delta T & (1) \\ &= 4.2 \times 9.17 \times 10^{16} \times 22.0 \\ &= 8.47 \times 10^{18} \quad [\text{kJ}] \end{aligned}$$

ここで、

$$\begin{aligned} c_p &: \text{海水の定圧比熱}(4.2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})) \\ m &: \text{海水の質量}(8.9 \times 10^{11} \times 10^2 \times \\ &\quad 1.03 \times 10^3 = 9.17 \times 10^{16} \text{ kg}) \\ \Delta T &: \text{温度差}(22.0 \text{ K}) \end{aligned}$$

ここで、 m は、海水の質量である。 m は、OTECに利用可能な面積($A_F = 8.9 \times 10^{11} \text{ m}^2$)、表層海水平均深さ 100 m と海水の密度($1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)を掛けて得られる。

ここで、温度差 ΔT は、平均表層温度の約 $27.0 \text{ }^\circ\text{C}$ と水深 800 m の約 $5.0 \text{ }^\circ\text{C}$ との差である。

さらに、このエネルギー量の連続的な利用を考える場合には、エネルギー量としては再生可能なエネルギー供給量でなければならない。その値は、この海洋温度差エネルギー量を海水の循環に要する時間で除することで求められる。

海水の循環期間を 1000 年 とすれば、利用再生エネルギー量 E_{FR} は、次式のようになる。

$$\begin{aligned} E_{FR} &= 8.47 \times 10^{18} / 3 \times 10^{10} \\ &= 2.8 \times 10^8 \quad [\text{kW}] & (2) \end{aligned}$$

ここで、海水の循環期間 1000 年 は、次式となる。

$$\begin{aligned} &(1000 \times 365 + 250) \times 24 \times 3600 \\ &\approx 3 \times 10^{10} \quad [\text{s}] & (3) \end{aligned}$$

この利用再生エネルギー量 E_{FR} をランキンサイクル熱効率が 2.5% のOTECにより変換すると仮定すると、OTECに利用再生エネルギー量 E_{F0} は $7.0 \times 10^6 \text{ kW}$ となる。

このエネルギー量 E_{F0} は、フィジー共和国の発電出力が $5.82 \times 10^4 \text{ kW}$ であるので約 120 倍 となる。

2) 推算 2

海面から海中への太陽エネルギーの単位面積当たりの熱量 q は、次式より算出される⁹⁾。

$$q = \frac{c}{\pi} \left(\frac{h}{k \cdot T'} \right) \left(\frac{\Delta T}{T} \right) \quad (4)$$

ここで、

$$\begin{aligned} c &: \text{太陽定数}(1.35 \times 10^3 \text{ W/m}^2) \\ h &: \text{蒸発のモル熱量}(40308.4 \text{ J/mol}) \\ k &: \text{気体定数}(8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})) \\ T &: \text{表面温度}(27.0^\circ\text{C}) \\ T' &: \text{表面絶対温度}(300.85 \text{ K}) \\ \Delta T &: \text{温度差}(1.0 \text{ }^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

利用再生エネルギー量 E_{FR} は、海面から海中への太陽エネルギーの単位面積当たりの熱量 q に、このフィジー海域の利用可能な面積 A_F を乗じたものである。

太陽エネルギー量の大半は海洋表層部で吸収され、蒸発、熱放射、対流を通じて大気との間でのエネルギー交換および海流による輸送に費やされ、海洋深層への熱拡散は極めて小さい。そのために、このエネルギー量 E_{FR} のうち 2% を利用すると次式となる。

$$\begin{aligned} E_{FR} &= 0.02 \times q \times A_F & (5) \\ &= 0.02 \times 256.5 \times 8.9 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$= 4.57 \times 10^9 \quad [\text{kW}]$$

ここで、 A_F はフィジー海域のOTECに利用可能な面積($= 8.9 \times 10^{11} \text{ m}^2$)である。

この利用再生エネルギー量 E_{FR} ($= 4.57 \times 10^9 \text{ kW}$)をランキンサイクル熱効率が2.5%のOTECにより変換すると仮定すると、OTECの利用再生エネルギー量 E_{FO} は $1.14 \times 10^8 \text{ kW}$ となる。

このエネルギー量 E_{FO} は、フィジー共和国の発電出力が $5.82 \times 10^4 \text{ kW}$ であるので約1959倍となる。

付表1は、図2中の(a)の測定点1~8の水深、海水温度、塩分濃度、溶存酸素量の測定データを示す。測定日は、1996年12月5日である。

付表2は、図2中の(b)の測定点1~31の水深、海水温度、塩分濃度、溶存酸素量の測定データを示す。測定日は、1996年12月5~7日である。

付表3は、図2中の(c)の測定点1~14の水深、海水温度、塩分濃度、溶存酸素量の測定データを示す。測定日は、1997年12月3~4日である。

付表4は、図2中の(d)の測定点1~12の水深、海水温度、塩分濃度、溶存酸素量の測定データを示す。測定日は、1998年12月3~5日である。

の水深、海水温度、塩分濃度、溶存酸素量の測定データを示す。測定日は、1999年12月4~6日である。

5. 結 論

南太平洋のフィジー海域に適した OTEC システムの最適設計を行うために海洋調査を行った。また、この海域の利用再生エネルギー量について検討を行った。以下の結果を得た。

- (1) 表層温度は、1996年~1999年の調査範囲内では、 $26.4 \sim 28.9 \text{ }^\circ\text{C}$ である。
深層温度は、海底地形によって異なるが、深さが約800 mで約 $5 \text{ }^\circ\text{C}$ である。
- (2) 1996年の(a), (b)の場合、塩分濃度は、深さが約50 m~100 mで約35.7 ‰となる。深さが約150~250 mまで増加して約35.7 ‰となり、深くなると減少する。1997年、1998年、1999年の場合、塩分濃度は、深さが約20 m~100 mで約35.5 ‰となる。深さが約150 m~200 mまで増加して約35.7 ‰となり、深くなると減少する。
- (3) 1996年の(a), (b)の場合、溶存酸素量は、深さが約100 mで約4.0 ml/lとなる。深さが約200 mまで減少して3.5 ml/lとなる。

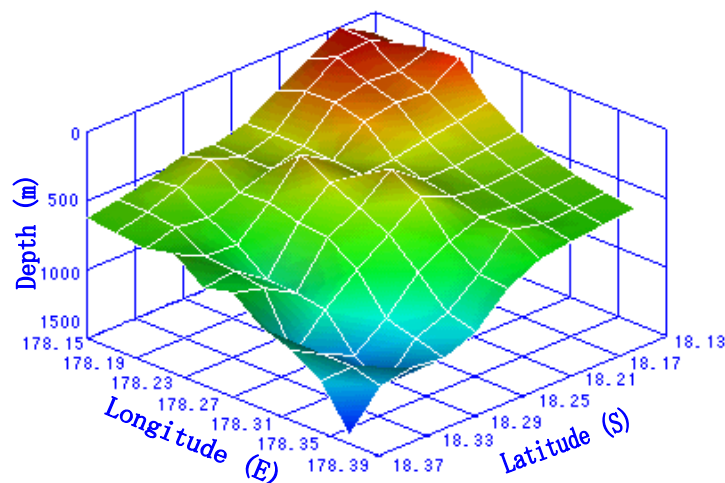


図15 海底地形(1996年)

付表5は、図2中の(e)の測定点1~14

深さ約750 mまでは、水深が増すと増加

する。

1997年の(c)の場合、溶存酸素量は、表層で4.6 ml/lである。深さ約300 mで約5.5 ml/l、深さ約500 mまで増加して6.5 ml/lとなる。それ以降は、深さが増すと増加する。この海域は、溶存酸素量は、他の海域に比べて大きな値となる。1998年、1999年の場合、溶存酸素量は、表層から約100 m~150 mで約2.7~3.0 ml/lである。深さ200 mで約2.7 ml/lとなる。深さ約600 m~800 mで約3.0~3.2 ml/lとなり、それ以降は、水深が増すと減少する。

- (4) 推算 1 の場合、フィジー海域の OTEC に利用再生エネルギー量は、発電出力の約 120 倍となる。

以上、フィジー海域は、ハイブリッドOTECシステムの設置場所としては最適と考えられる。今後、調査結果を参照して、海洋深層水を利用するハイブリッドOTECシステムについて性能解析を行う予定である。

フィジー共和国は、人口、社会状況、海象等から考えると年間の総発電量に相当する海洋深層水を利用するハイブリッドOTECシステムが考えられる。まず、第一段階としては、実現の可能性がある1000~3000 kW級のパイロットプラントの建設が望まれる。

Ocean Energy Conf., (1980), 14.1-1-14.4-7.

- 5) H. Uehara, C. O. Dilao and T. Nakaoka, Conceptual Design of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Power Plants in the Philippines, J. of Solar Energy Engineering, 41-5 (1988), 431-441.
- 6) 乾 栄一, 長友洪太, 中岡 勉, 西田哲也, 上原春男, 宮良明男, 海洋温度差発電設置のための沖永良部海域の海象調査, OTEC, 3. (1990), 1-7.
- 7) H. Uehara, A. Miyara, T. Nakaoka and T. Nishida, A Study of an Ocean Thermal Energy Conversion Plant Using Integrated Hybrid Cycle in the Oki-no-Enbu Island, Proc. of the Second International Offshore and Polar Engineering Conf., (1992), 599-606.
- 8) 海洋深層水利用研究会ニュース, 第6巻, 第1号, (2000), 8-10.
- 9) エネルギー変換懇話会編, エネルギー資源工学, (1991), 178-181.

文 献

- 1) <http://www.cia.gov/publications/factbook>
- 2) 佐賀大学理工学部海洋温度差エネルギー実験施設, 南太平洋諸国発展のための海洋温度差発電システム, (2001), 1-6.
- 3) W.A. Wolff, W. E. Hubert and P.M. Wolff, OTEC World Thermal Resource, Proc. Ocean Conf., (1979), 13.5.1-13.5.7.
- 4) H. Uehara, T. Nakaoka, S. Nagasaki and H. Yokoyama, Deployment of Cold Water Pipe in the Japan Sea, Proc. of 7th