

フィジー海域の海洋温度差発電のための 海洋調査及び再生エネルギーの推定

Oceanographic observations and an estimate of the renewable energy
for ocean thermal energy conversion in the coast of the Fiji island

中岡 勉¹・西田 哲也¹・一瀬 純弥¹・長友 洪太¹・水谷壮太郎¹・巽 重夫¹
松下 稔¹・Tim PICKERING²・池上 康之³・上原 春男³

Tsutomu NAKAOKA, Tetsuya NISHIDA, Junya ICHINOSE, Kohta NAGATOMO,
Sohtaro MIZUTANI, Shigeo TATSUMI, Minoru MATUSHITA, Tim PICKERING,
Yasuyuki Ikegami and Haruo Uehara

Abstract

Republic of Fiji and many other countries in the tropical and subtropical areas desire both electric power by the ocean thermal energy conversion (OTEC) and drinking water from desalinated seawater. Then, a hybrid OTEC system combined with a desalination plant by use of deep ocean water is under consideration. For actual construction of the OTEC system, the choice of location is essentially important. In this paper, oceanographic data of seawater temperature, salinity and dissolved oxygen obtained off the coast of Suva of the Viti Levu Island of the Fiji islands in the Pacific Ocean at the beginning of December 1996, 1997, 1998 and 1999 are reported as well as bottom topography. The renewable energy available from the exclusive economic zone in the Fiji islands is estimated based on the oceanographic data obtained. Estimates of renewable energy by the two methods give about 120 and 1959 times as much as the current electric power in the Republic of Fiji, respectively.

Key Words: deep ocean water, oceanographic observation, Fiji, OTEC, renewable energy

要 旨

フィジー共和国をはじめとして熱帯や亜熱帯の多くの国々は、電気と水を確保するために海洋温度差発電 (OTEC) と海水淡水化のプラント建設が期待されている。そのために、海洋深層水を利用する OTEC と海水淡水化のプラントを組み合わせたハイブリッドシステムが考えられている。この OTEC を中心に据えたトータルシステムを考える場合、設置場所の選定が重要となる。この論文は、1996, 97, 98, 99 年の 12 月上旬に太平洋のフィジー群島 Viti Levu 島の Suva 沖で調査した水温・塩分・溶存酸素と海底地形にもとづいて、フィジー経済水域内での OTEC の再生エネルギーを 2 つの方法で試算した。その結果は、それぞれフィジー共和国の現在の発電出力 5.82×10^4 kW の 120 倍と 1959 倍となった。

キーワード: 海洋深層水, 海洋調査, フィジー, 海洋温度差発電, 再生エネルギー

¹独立行政法人水産大学校 (〒759-6595 山口県下関市永田本町 2-7-1)

²The University of the South Pacific (P. O. Box 1168, Suva, Republic of Fiji)

³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)

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、多くは火山活動や珊瑚礁の隆起によってできている。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 Suva 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、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 510×10^6 kWh である (<http://www.cia.gov/publications/factbook>, 1999)。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、化石燃料は価格が高く、電気はすべての島へ行き渡っていないのが現状である。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のために、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、海洋深層水を利用する海水淡水化装置を組み合わせた海洋温度差発電（OTEC）システム（ハイブリッド OTEC システム）を建設するための計画が進んでいる（佐賀大学理工学部附属海洋温度差エネルギー実験施設報告, 2001）。

ハイブリッド OTEC システムを陸上に設置して多目的で使用する場合、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。そのために、この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、設置場所にあったフィジビリティ・スタディを行う必要がある。

現在、海洋温度差発電の設置場所の調査や概念設計は、日本および世界各国で行われている（Wolff ら, 1979）。上原らは、候補地の 1 つである島根沖で OTEC の発電実験を行っている（Uehara ら, 1980）。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ている（Uehara ら, 1988）。日本での候補地の 1 つである沖永良部海域では、3 回の海洋調査を行っている（乾ら, 1990）。そして、この調査結果を参照し、発電端出力 10 MW の OTEC プラントと海水淡水化装置を組み合

わせたハイブリッドシステムについて報告している（Uehara ら, 1992）。

現在、フィジー共和国を含む南太平洋諸国では、ハイブリッド OTEC システムの建設計画が進められているが、フィジー共和国沿岸海域での公表海洋データはなく、この海域での海洋深層水利用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ハイブリッド OTEC システムを設計するために、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、この海域での海洋温度差発電による再生エネルギーをも試算する。

2. 調 査

2.1 調査場所

フィジー共和国でのハイブリッド OTEC 陸上システムの設置候補地として Viti Levu 島の Suva の南側地域が考えられるので、調査は図 1 に示した Viti Levu 島の南側海域において、1996, 97, 98, 99 年の 12 月上旬に実施した。図 1 の(a), (b), (c), (d), (e)が取水管設置候補地であるので、想定される取水管設置路に沿って、また、OTEC のための海洋深層水は最低 5 ～ 10 °C 以下の温度が必要であるので、このような観測域と観測点をとった。1996 年 12 月 5 ～ 7 日に実施した(b)観測域の詳細を図 2 に示した。調査海域の水深は 87 m ～ 1902 m である。

2.2 調査方法

調査は水産大学校の練習船耕洋丸で実施した。同船は全長 81.4 m、幅 13.0 m、総トン数 1990.17 t、主エンジンは 3800 PS、回転数は 230 rpm、航海速度は 14 kt である。

塩分・水温・深さ・溶存酸素は、図 1 に示す各観測点で調査船を漂泊させ、電気伝導度水温水深計（Neil Brown Instrument Systems, Inc. Mark IIIB CTD Profiler CTD-O₂）（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

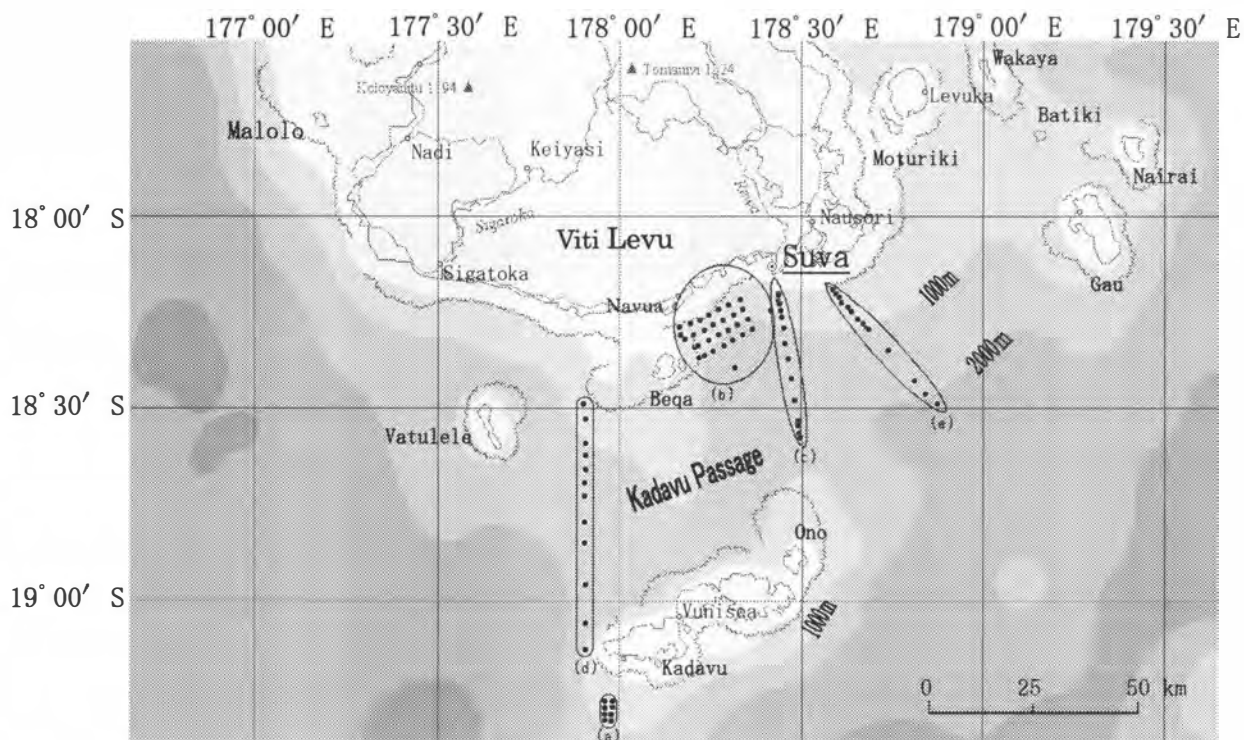


図1 フィジー共和国 Viti Levu 島 Suva 沖で実施した海洋調査の観測域。
図中の黒点が観測点で、(a)(1996 年)、(b)(1996 年)、(c)(1997 年)、(d)(1998 年)、(e)(1999 年)

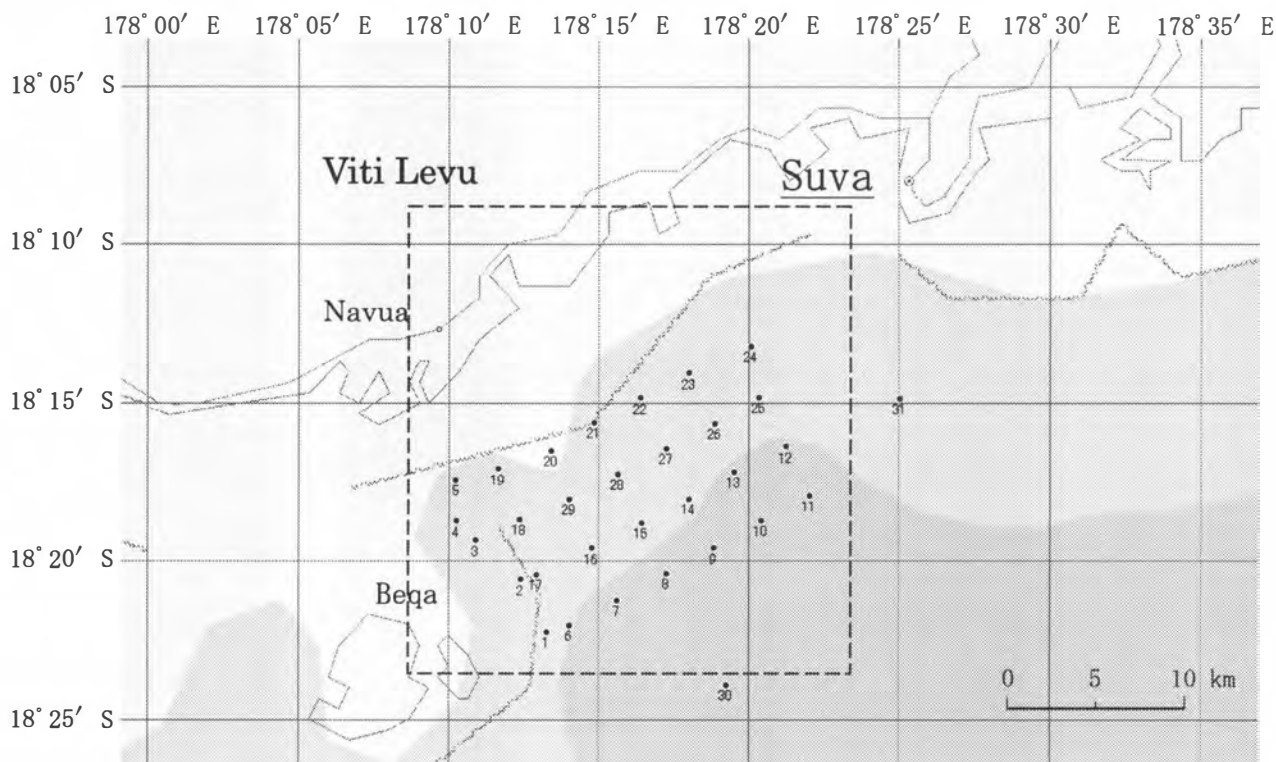


図2 1996 年 12 月 7 日(b)の観測域と実際の観測点 (数字をともらった点)。

℃)), 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)) を海に投入し深さ 0 m から海底までを 1 m 毎に測

定した。

電気伝導度センサーは電極式, 温度センサーはサーミスター型 (200 Ω , @20.0 $^{\circ}\text{C}$), 圧力センサーは歪みゲージ型 (350 Ω) である。塩分は, 15.0 $^{\circ}\text{C}$,

1 気圧における KCl 標準溶液 (1 kg 中に 32.4356 g KCl を含んだ水溶液) の電気伝導度に対する水圧および温度の補正を行った測定時の電気伝導比により求めた。水は圧力を加えると温度が上がるので、温度はポテンシャル水温を用いた。深さは、水圧と深さの関係式より算出した。溶存酸素は、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。また、酸素飽和率を求めるために必要な係数は、ウィングラー法による適定酸素値と比較して決定した。

3. 結果と考察

3.1 水温・塩分・溶存酸素の鉛直分布

図 3 (a)~(e)に示した 1996 年~1999 年の水温の鉛直分布からみると、本観測データ内では、観測年及び観測位置による顕著な違いは確認されなかったが、同一時期の 8~22 測点を詳しくみると、各深さでの測定値には 0.1~1.0℃の温度変化が観察され、その傾向は 800 m 以浅でより大きい傾向が認

められた。水温は表層の 26.4~28.9℃から 600 m 付近の 7.1~7.6℃まで深さと共に急速に低下し、表層混合層ははっきりせず、表層から著しい水温躍層がみられた。600 m 以深は測定した 1400~1902 m の 2.4~3.0℃まで水温は徐々に低下した。

水温は、OTEC の熱源である温度差を決める際に重要で、特に、ハイブリッド OTEC システムでは、表層と深層の温度差が最低約 15.0℃以上必要のために、海水取水管の長さは水温 10.0℃の深さ約 500 m まで必要である。また、水温 5.0℃を使用する場合は深さ約 800 m まで必要となる。

水温が急速に低下する 600 m 以浅では、水温と同様に測点間での塩分変動が 600 m 以深より大きい (図 4)。更に、600 m 以浅では、塩分は表層で 34.0~35.3 PSU と低く、かつ年による変動が大きく、深さとともに 100~200 m の 35.8~36.0 PSU まで増大し、それ以深では低下が認められた。深さ 600 m で 34.4~34.6 PSU となり、600 m 以深では、深さとともに塩分はわずかに上昇した。塩分は、ハイブリッド OTEC システムの構成機器の設計の際に、伝熱に関する輸送物性値を見積もるた

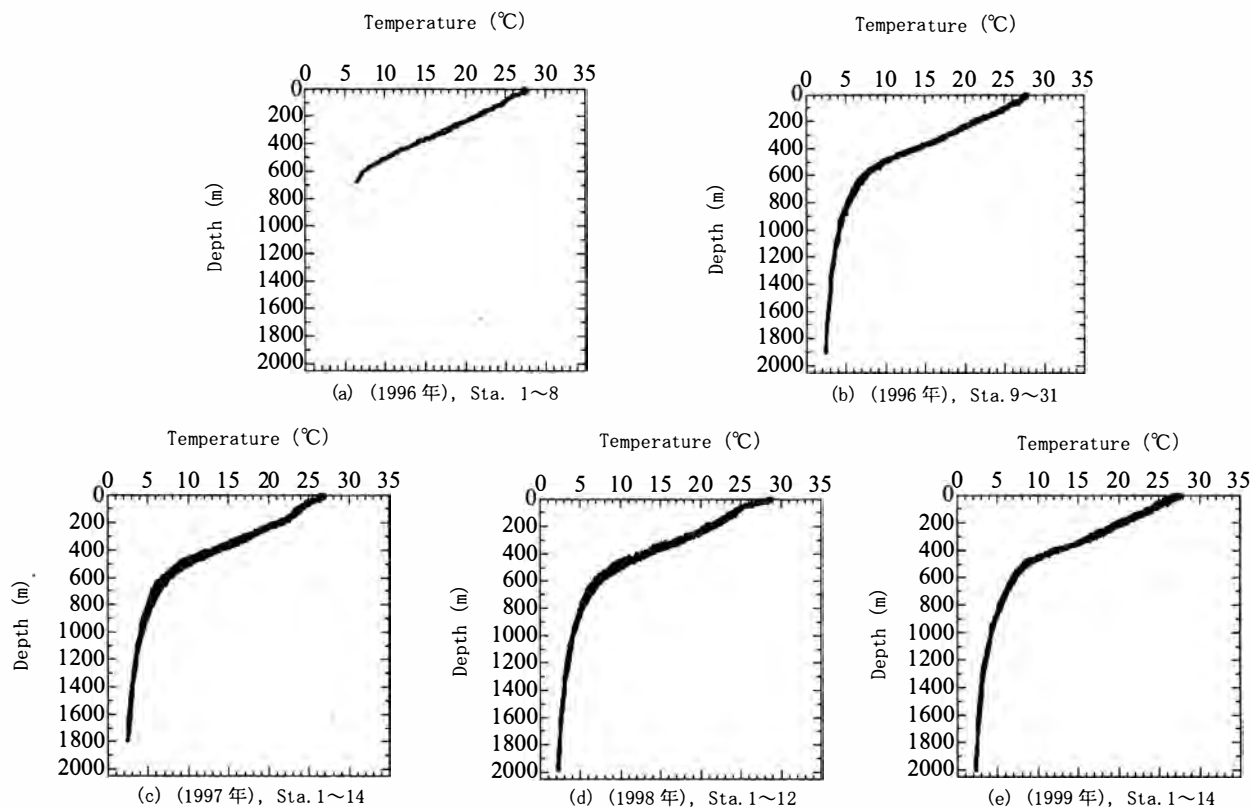


図3 フィジー共和国 Viti Levu 島 Suva 沖で 1996, 97, 98, 99 年 12 月に観測した水温の鉛直分布。

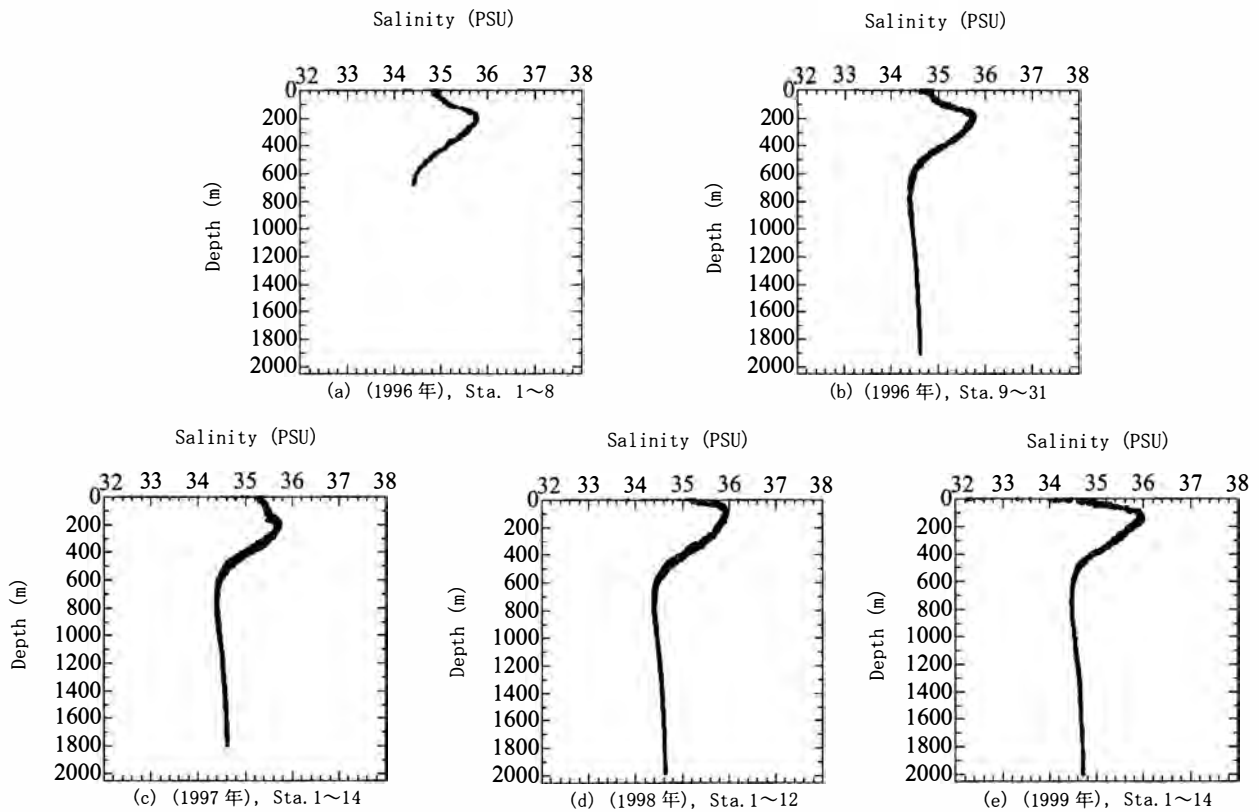


図4 フィジー共和国 Viti Levu 島 Suva 沖で 1996, 97, 98, 99 年 12 月に観測した塩分の鉛直分布。

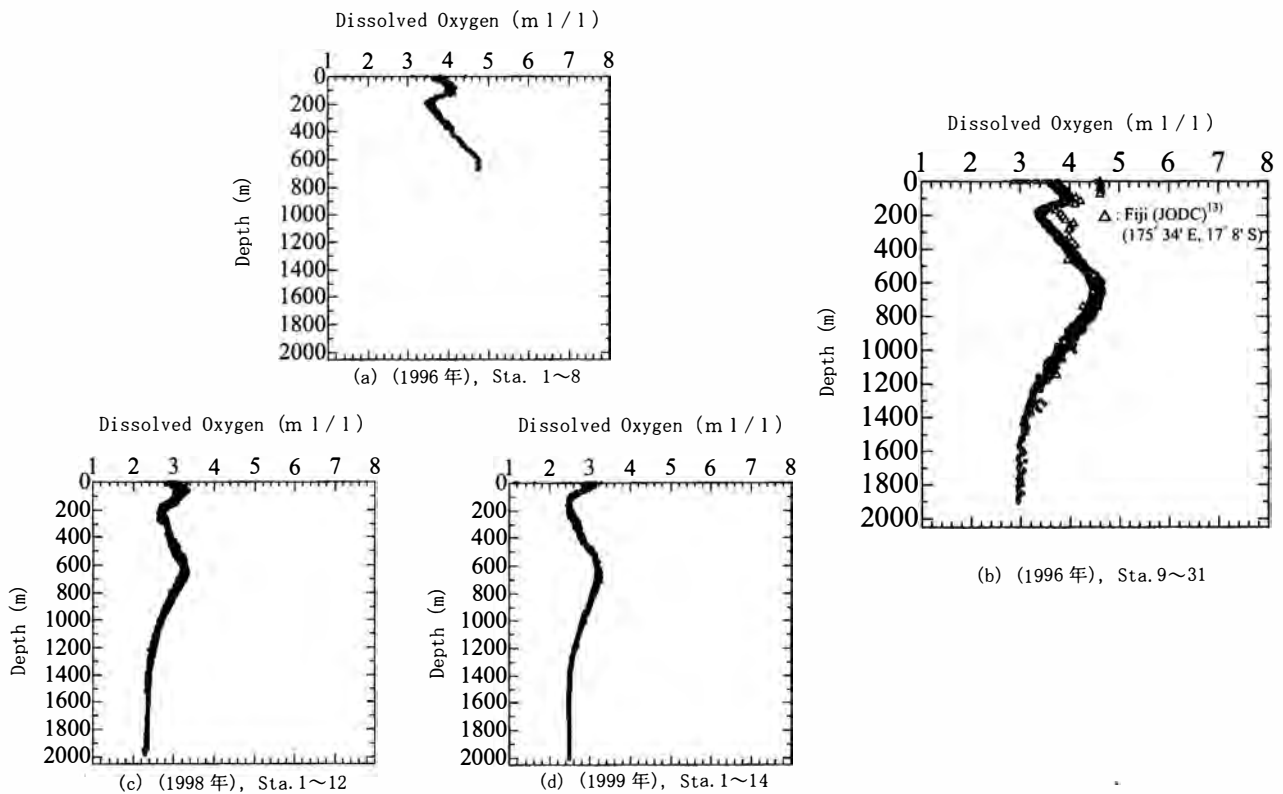


図5 フィジー共和国 Viti Levu 島 Suva 沖で 1996, 98, 99 年 12 月に観測した溶存酸素の鉛直分布。

めに必要となる。

図 5 (a)~(d)は、1996 ~ 1999 年の溶存酸素の鉛直分布を示す。ただし、1997 年の測定データは、

センサーが不良のために除いた。溶存酸素の鉛直分布も水温・塩分と同様に深い方に比べて浅い方で測点間での変動が大きかった。図 5 (a)(b)では、溶存

酸素は表層で 3.5 ～ 3.6 ml/l, 深さとともに増大して 100 m で 4.0 ～ 4.2 ml/l, それ以深は減少して 200 m で 3.3 ～ 3.4 ml/l, それ以深では再び増加して 600 m で 4.6 ～ 4.8 ml/l, それ以深では, 深さとともに 3.0 ml/l まで減少した. 図 5 (b)中には, 日本海洋データセンター (JODC) による Viti Levu 島の西側海域 (175°34'E, 17°8'S) の溶存酸素のデータを示す (△印) (<http://www.jodc.go.jp>, 1997). 図より, 本調査と JODC のデータを比較すると, 表層付近では変動が見られるが, 約 100 m 以深では同様な傾向を示す. 図 5 (c)(d)では, 溶存酸素は表層で 2.8 ～ 3.1 ml/l, 深さとともに減少して 100 ～ 200 m で 2.5 ～ 2.6 ml/l, それ以深は増加して 600 ～ 800 m で 3.2 ～ 3.4 ml/l, さらに, それ以深では深さとともに 2.3 ～ 2.5 ml/l まで溶存酸素は減少した. 溶存酸素濃度は, ハイブリッド OTEC システム内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, その動

力を見積る際に必要となる. また, この溶存酸素濃度は, 水産物の養殖・蓄養利用の際に重要となる.

3.2 水 塊

T-S ダイアグラムをみると, 水温約 5.0 °C 以下では, 34.4 ～ 34.8 PSU, 水温約 5.0 °C 以上～約 24.0 °C 以下 (深さ約 800 m ～約 100 m) では, 34.4 ～ 36.0 PSU の高塩分水が分布し, 水温が約 24.0 °C 以上～表層までは, T-S ダイアグラムは弧を描くようなパターンを示す (図 6 (a)～(e)). これは, フィジー共和国は年間降水量も多く, 表層に塩分の低い沿岸水の影響を受けた水が分布しているためと考えられる. 各年の平均値を比べると深さ約 250 m 以深ではパターンは一致し, 水塊の性質は同様と考えられる (図 6 (f)). 深さ約 250 m 付近以浅では, 年ごとに T-S ダイアグラムのパターンは変動し, 水塊の性質は異なっている.

南太平洋諸国 (ハワイ, ニューカレドニア) (<http://www.jodc.go.jp>, 1997), パラオ (池上ら, 2002),

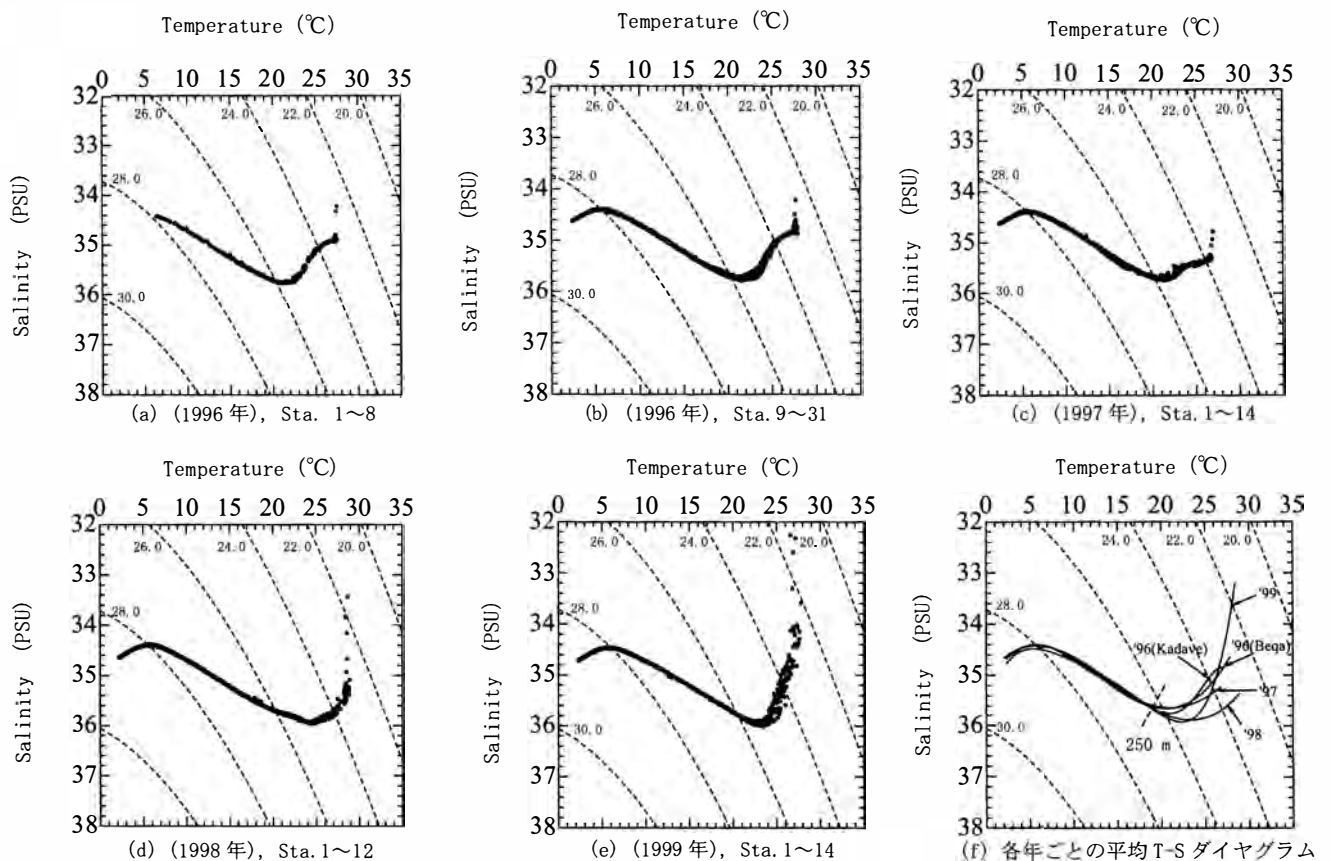


図 6 フィジー共和国 Viti Levu 島 Suva 沖で 1996, 97, 98, 99 年 12 月の各年観測点で得られた水温・塩分ダイアグラム, 破線は密度 (σ_t) (kg/m^3).

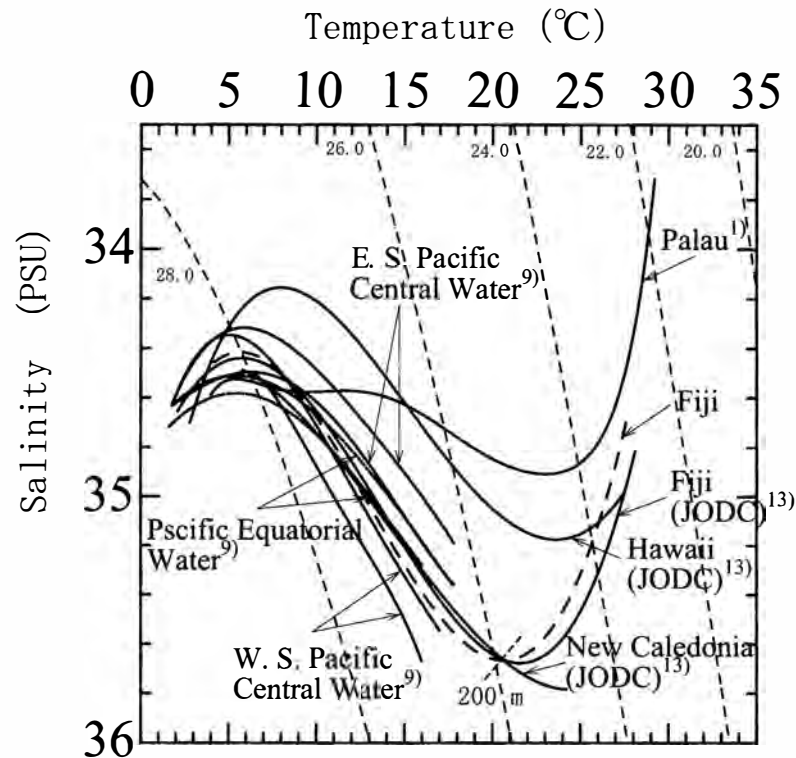


図7 南太平洋諸国（ハワイ，ニューカレドニア，パラオ），東・西南太平洋及び太平洋赤道周辺での T-S ダイアグラム，破線は密度（ σ_t ）(kg/m³)．

東・西南太平洋及び太平洋赤道周辺（Sverdrup ら，1942）の水塊の T-S ダイアグラム（図 7）をみると，フィジーの水温-塩分の特性は，深さ 200 m 以深では，フィジー（<http://www.jodc.go.jp>，1997）とほぼ同じ傾向を示し，また，ニューカレドニアとも同じ傾向を示す．深さ約 200 m 以上から表層の範囲では，フィジーの値は弧を描くパターンが大きい．また，水温が約 16～18℃以下では，西南太平洋と太平洋赤道周辺の海域と同じ傾向を示す．パラオの水塊と比較すると，同じ弧を描くようなパターンを示すが塩分濃度分布に差異がみられる．

3.3 海底地形

図 2 に示した調査対象海域で 1996 年に測深し，海底地形を調べた（図 8（上図））．また，OTEC 設置の場所や距離を調べるための観測値に基づく等深線図を示す（図 8（下図））．調査海域では，より南東側で深くなる傾向を示した．しかし，環礁に近い Sta. 5, 20, 21, 22, 23 では，深さが浅くなっている．

海底地形に沿って OTEC の海水取水管を設置する場合，詳細な海底地形の起伏状況を調べる必要がある．温度の分布に加えて，以上の海底地形より，

OTEC 用の管路の設置場所は，海底沈設方式を採用した場合には図 1 の(a)海域で陸から約 12.6 km，(b)で約 9.9 km，(c)で約 9.0 km，(d)で約 5.3 km，(e)で約 12.5 km 以上と考えられる．そのために，陸上に OTEC を設置する場合，最短な(d)海域でも，海水取水管は約 5.3 km 以上の長さが必要となる．

3.4 再生エネルギー

海洋温度差エネルギーの推定値としては確定されたものはないが，1977 年に省エネルギーセンターの委員会が行った日本の経済水域内での海洋温度差エネルギーの総量は 1 年間に 1.0×10^{14} kWh になり，石油に換算すると約 8.6×10^9 t に相当することを示している（日本熱エネルギー技術協会，1977）．一方，表 1 は，1999 年のフィジー共和国の発電・電力消費とエネルギー資源生産・消費量で，1 年間の総発電量は， 510×10^6 kWh である（<http://www.cia.gov/publications/factbook>，1999）．その内訳は，化石燃料が 17.65 % と水力が 82.35 % で，水力が大部分を占めている．

OTEC に有効な 5.0℃の海洋深層水は，本調査海域では 800 m 以深に分布した．フィジー共和国の

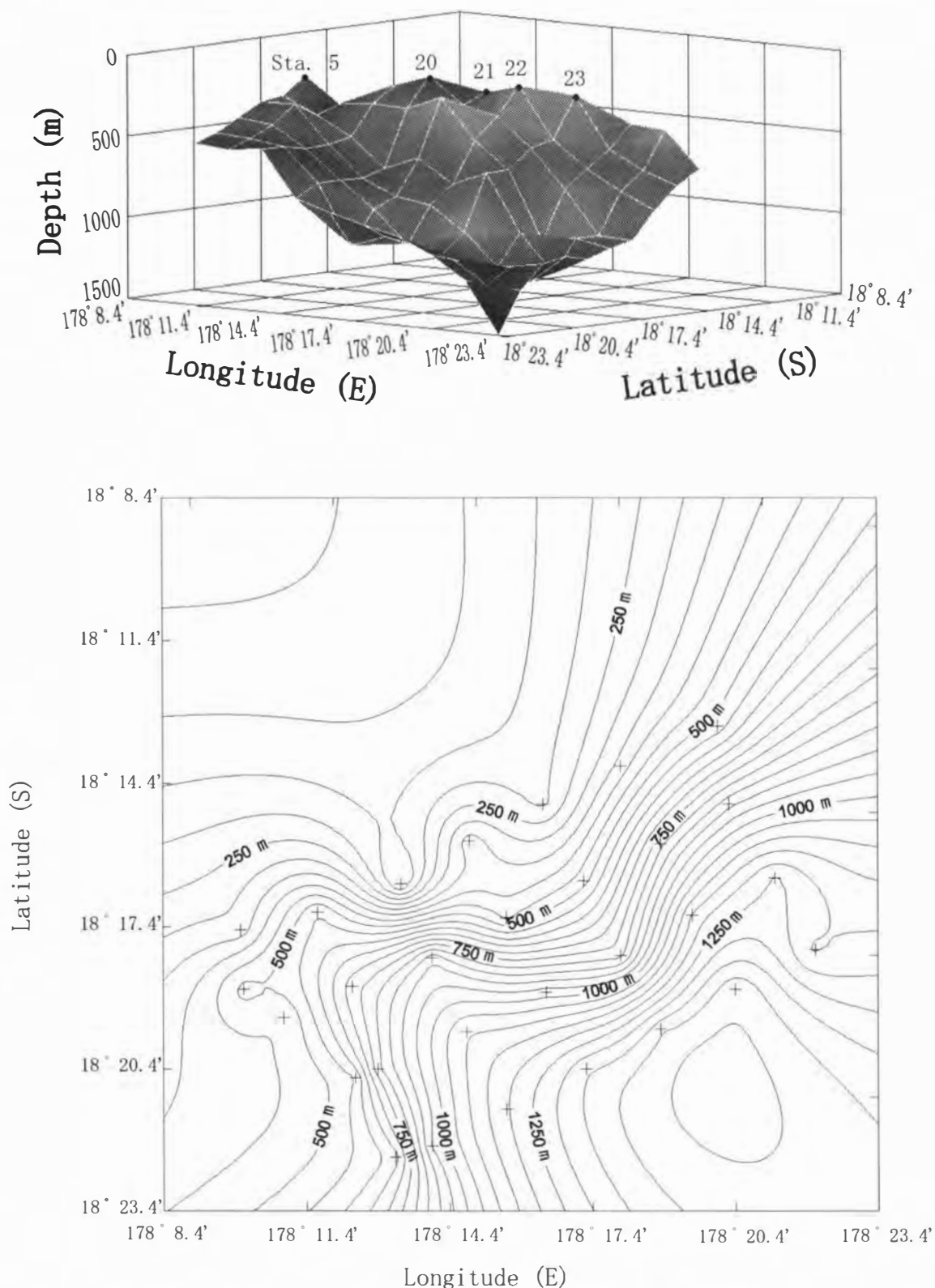


図8 フィジー共和国 Viti Levu 島 Suva 沖の海底地形 (上図) と等深線 (下図)。等深線図中の+印は観測点。

経済水域 (A_{EF}) $1.13 \times 10^{12} \text{ m}^2$ の内で、水深 800 m 以深の面積 (A_F) は $8.9 \times 10^{11} \text{ m}^2$ で全経済水域の約 79 % である。また、本調査における表層水温は、 $26.4^\circ\text{C} \sim 28.9^\circ\text{C}$ であり平均 27.6°C となる。本調査の 4 年間のデータは、測定期間が 12 月上旬

と限られているため、JODC の他の 2 月と 5 月のデータを参考にとすると、表層水温は、 27.4°C と 28.1°C となる。エネルギーの推定における表層平均水温は、本調査及び JODC のデータをもとに 27.0°C を周年平均水温として用いることとする。

表1 1999年のフィジー共和国の発電・電力消費とエネルギー資源生産・消費量 (http://www.cia.gov/publications/factbook, 1999)

Electricity	Electricity production [kWh]	510 million
	Electricity consumption [kWh]	473.3 million
	Electricity - production by source	fossil fuel : 17.65 % ; hydro : 82.35 % ; nuclear : 0 % ; other : 0 %
Energy Resources	Production	Oil 0 (thousand barrels per day)
		Coal 0 (million tons)
		Gas 0 (trillion cube feet)
	Consumption	Oil 6 (thousand barrels per day)
		Coal 0.02 (million tons)
		Gas 0 (billion cubic feet)

そこで、フィジー共和国における OTEC 再生エネルギーの推定では、5.0℃の海洋深層水は 800 m 以深に分布し、表層水温は 27.0℃と仮定し、以下の 2つの方法で行った。

高野 (2000) は、海洋温度差のエネルギーを次式(1)で見積っており、これをフィジー海域に適用して再生エネルギー (E_F) を見積ると、

$$E_F = c_p \times m \times \Delta T \quad (1)$$

$$= 4.2 \times 9.17 \times 10^{16} \times 22.0 = 8.47 \times 10^{18} \text{ [kJ]}$$

ここで、

c_p : 海水の定圧比熱 (4.2 kJ/(kg・K))

m : 海水の質量 ($8.9 \times 10^{11} \times 10^2 \times 1.03 \times 10^3 = 9.17 \times 10^{16} \text{ kg}$)

ΔT : 温度差 (22.0 K)

ここで、海水の質量 (m) は、フィジー海域の場合は OTEC に利用可能な面積 ($A_F = 8.9 \times 10^{11} \text{ m}^2$) に表層海水平均深さ 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。温度差 (ΔT) は、表層平均水温の約 27.0℃と深さ 800 m の約 5.0℃との差である。

さらに、このエネルギーの連続的な利用を考える場合には、エネルギー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 (高野, 2002) と仮定すれば、再生エネルギー (E_{FR})

は、次式(2)のようになる。

$$E_{FR} = E_F / \text{海水の循環期間} \quad (2)$$

したがって、フィジー共和国周辺海域では、

$$E_{FR} = 8.47 \times 10^{18} / 3 \times 10^{10} = 2.8 \times 10^8 \text{ [kW]}$$

ここで、海水の循環期間 1000 年は、

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

この再生エネルギー (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、OTEC 再生エネルギー (E_{FO}) は $7.0 \times 10^6 \text{ kW}$ となり、フィジー共和国の発電出力 $5.82 \times 10^4 \text{ kW}$ (http://www.cia.gov/publications/factbook, 1999) の約 120 倍となる。

もう一つの推定は、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) (式(4)) をもとにしたものである (エネルギー変換懇話会編, 1991)。

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

ここで、

c : 太陽定数 ($1.35 \times 10^3 \text{ W/m}^2$)

h : 蒸発のモル熱量 (40308.4 J/mol)

k : 気体定数 (8.314 J/(mol・K))

T : 表層平均水温 (27.0℃)

T' : 表面絶対温度 (300.15 K)

ΔT : 温度差 (1.0℃)

再生エネルギー (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 (E_F) のうち 2% を利用すると仮定する (エネルギー変換懇話会編, 1991) と次式(5)となる。

$$E_{FR} = 0.02 \times q \times A_F \quad (5)$$

$$= 0.02 \times 257.2 \times 8.9 \times 10^{11} = 4.58 \times 10^9 \text{ [kW]}$$

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。この再生エネルギー (E_{FR}) $4.58 \times 10^9 \text{ kW}$ 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、OTEC 再生エネルギー (E_{FO}) は $1.14 \times 10^8 \text{ kW}$ となり、フィジー共和国の発電出力の約 1959 倍となる。

4. 結 論

南太平洋のフィジー海域に適した海洋深層水を利用する海水淡水化装置を組み合わせた OTEC システム (ハイブリッド OTEC システム) の最適設計のための海洋調査を実施し、また、この海域の再生エネルギーについて検討し、以下の結果を得た。

- (1) 1996-99 年の 12 月初旬に Viti levu 島 Suva 沖で実施した 4 回の観測では、水温・塩分の鉛直分布に顕著な違いは確認されなかった。表層水温は、 $26.4^\circ\text{C} \sim 28.9^\circ\text{C}$ で、深さ約 800 m で約 5.0°C の水温が確認された。
- (2) 水温・塩分の鉛直分布では、600 m を境にして以浅は以深に比べてより大きな変動が観察された。
- (3) 溶存酸素の鉛直分布では、水温・塩分と同様に浅い方が、深い方に比べてより大きな変動が観察された。
- (4) T-S ダイアグラムの各年の平均値を比べると深さ約 250 m 以深ではパターンが一致し、水塊の性質は同じで、深さ約 250 m 付近以浅では、年ごとに T-S ダイアグラムのパターンが変動し、水塊の性質が異なっている。調査海域の水温-塩分の特性は、深さ 200 m 以深では、フィジーやニューカレドニアと同じ傾向を示した。深さ約 200 m 以浅では、フィジーの値は弧を描くパターンが大きい。また、水温が約 $16 \sim 18^\circ\text{C}$ 以下では、西南太平洋と太平洋赤道周辺の海域と同じ傾向を示した。
- (5) 調査海域の海底地形は、南東側で深さが深くなる傾向を示した。しかし、環礁に近い Sta. 5, 20, 21, 22, 23 では水深が浅くなる。陸上に OTEC を設置する場合、(d) の海域では海水取水管の長さは約 5.3 km 以上必要となる。

- (6) フィジー経済水域内での OTEC 用の再生エネルギーは、海洋調査結果を用いて、表層と深層の温度差での熱量と太陽エネルギーの単位面積当たりの熱量の 2 つの方法から試算し、それぞれフィジー共和国の現在の発電出力の 120 倍と 1959 倍となった。

文 献

- エネルギー変換懇話会編 (1991): エネルギー資源工学。オーム社, 178-181 頁。
- <http://www.cia.gov/publications/factbook> (1999).
- <http://www.jodc.go.jp> (1997).
- 池上康之, 浦田和也, 福宮健司, 野田信雄, Gregorio Decherong (2002): パラオ海域における海洋深層水利用のための海洋調査. 第 6 回海洋深層水利用研究会全国大会 海洋深層水 2002 久米島大会講演要旨集, 27 頁。
- 乾 栄一, 長友洪太, 中岡 勉, 西田哲也, 上原春男, 宮良明男 (1990): 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, 1-7 頁。
- 日本熱エネルギー技術協会 (1977): 低熱落差発電システムに関する調査研究。
- 佐賀大学理工学部附属海洋温度差エネルギー実験施設報告 (2001): 南太平洋諸国発展のための海洋温度差発電システム. 1-6 頁。
- Sverdrup, U. H., Johnson, W. M. and Fleming, H. R., (1942): The oceans, Prentice-Hall, Inc., 1-1087 pp.
- 高野健三 (2002): 海洋深層水利用研究会ニュース, 海洋深層水のエネルギー量. 6 (1), 8-10 頁。
- Uehara, H., Nakaoka, T., Nagasaki, S. and Yokoyama, H., (1980): Deployment of cold water pipe in the Japan Sea. Proc. 7th Ocean Energy Conf., 14.1-1-14.4-7 pp.
- Uehara, H., Dilao, O. C. and Nakaoka, T., (1988): Conceptual design of ocean thermal energy conversion (OTEC) power plants in the Philippines. Solar Energy, 41 (5), 431-441 pp.
- Uehara, H., Miyara, A., Nakaoka, T. and Nishida, T., (1992): A study of an ocean thermal energy conversion plant using integrated hybrid cycle in the Oki-no-Erabu island. Proc. Second International Offshore and Polar Engineering Conf., 599-606 pp.
- Wolff, A. W., Hubert, E. W. and Wolff, M. P., (1979): OTEC world thermal resource. Proc. Ocean Conf., 13.5.1-13.5.7 pp.

(2003. 5. 6 受付, 2003. 10. 17 受理)