

室戸岬東岸の底層域における長期流況観測

萩原 運弘*・清水 勝公**・森野 仁夫***・江 副 楠 雄****

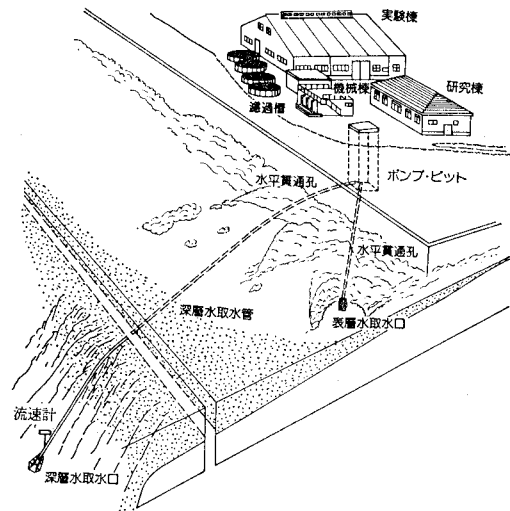
1. ま え が き

水深数百 m 以深の深層水は富栄養、低温、清浄などの特性を有することから温度差発電、水産、医薬品等の多目的な活用 (The Natural Energy Laboratory of Hawaii, 1986) が行われている。我が国でも、初めての生物生産のための深層水有効利用実験施設が 1989 年 3 月高知県室戸岬東岸域に完成した(萩原ら, 1989)。図—1 および表—1 に、実験施設の配置と仕様を示す。

本研究では、深層水有効利用実験の一環として深層水取水管先端近傍の底層域（水深約 300 m）における流況特性を把握する目的で実施した流速と水温に関する 1 年間の長期観測結果，ならびに陸上施設に汲み上げられた深層水と表層水の水温特性に関する長期測定結果について報告するものである。

2. 観 測 方 法

深層水取水口近傍の流速および水温の測定は、図—2



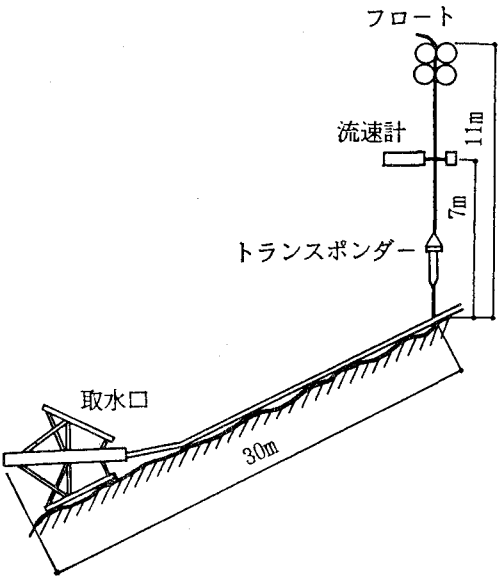
図—1 深層水有効利用実験施設

* 正会員 工博 清水建設(株) 技術研究所 主任研究員
** 正会員 清水建設(株) 技術本部 主査
*** 清水建設(株) 技術研究所
**** 清水建設(株) 技術本部 グループ長

表—1 実験施設の仕様

項目	仕 様
深層水取水量	460m ³ /日
表層水取水量	460m ³ /日
深層水取水深度	320m
深層水取水管	管路延長；2650m, 管径；125mm 管種；鉄線鍍装ポリエチレン管
表層水取水管	管路延長；10m, 管径；125mm 管種；塩化ビニル管
取水ポンプ	型式；塩化ビニル樹脂製, 7.5 kw 設置高さ；DL-2.7m (地下ピット内)
陸上施設	実験棟；鉄骨平屋建 630m ² 研究棟；鉄骨平屋建 146.1m ² 機械棟；コンクリートブロック造 40m ² ろ過槽；48.2m ²

に示すように深層水取水口から 30 m 離してフロート係留した水温センサー付の流向流速計により 1988 年 12 月 7 日から 1989 年 12 月 15 日までの約 1 年間実施した。流向流速計は記録器内蔵型のロータ型であり、流速、流



図—2 流速計設置状況

向および水温のデータは毎正時 10 分間取得され順次記録装置に送られた。そして約 1 年後に、切り離し装置を作動させて回収された。また、1988 年 12 月 8 日と 1989 年 9 月 15 日の冬季と夏季の 2 回、深層水取水口付近の水温鉛直分布を XBT により測定した。

一方、陸上施設に汲み上げられた深層水および表層水の水温については、表—2 および 図—3 に示すように濾

過槽直前および実験棟入口にシース型熱電対を取り付けて 1989 年 7 月から計測を継続している。

3. 底層域における流況特性

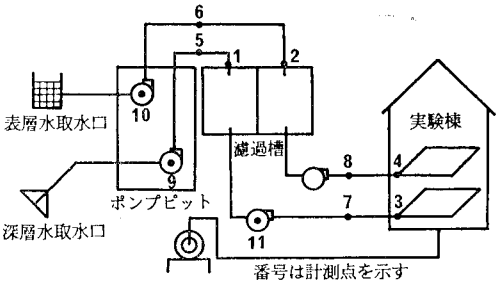
図—4 に、1988 年 12 月 7 日から 1989 年 10 月 8 日までの約 10 カ月間における水深約 300 m の底層域での流速、流向、流速の北および東方成分、水温の経時変化を示す。

(1) 流 速

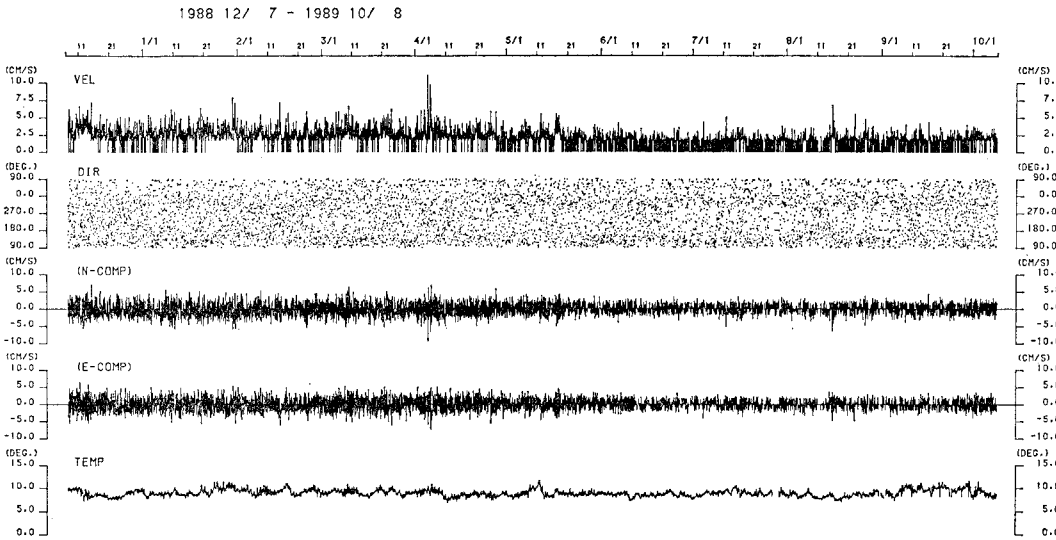
時刻歴データによると、1988 年 12 月から 1989 年 5 月中旬までの流速はそれ以降に比べて変動が大きく、最大流速 11.0 cm/s も 1989 年 4 月 5 日に出現している。また、N-COMP の経時変化記録からこの時には南向きの流速成分が卓越している。1986 年 12 月に深層水取水管の設計、施工に先立ち行った浅海域における 48 時間流速観測結果によると、水深 50 m、100 m および 260 m の海底面上 10 m の最大流速はそれぞれ 0.42 m/s、0.23 m/s、0.25 m/s であり、これらに比べて今回の底層域での流速は微弱であった。図—5、図—6 に流速および流向の頻度分布を示す。2~3 cm/s の流速の出現頻度が最も多く、全体の 48% であった。また、6 cm/s 以下の流速が全体の 95% の割合を占めていた。一方、流向は全方位で出現しているが、南東方向の流れが全体の 25% を占めていた。図—7 は全期間の流速の進行ベクトルである。全体的に南西向きの流れが卓越しているが、これは、この海域では室戸岬沖を通過する黒潮の一部が紀伊半島に衝突するため、反時計回りの環流が生じていると地元で言われていることと一致している。しかし、こうした動きは 1989 年 4 月中旬までで、それ以降はほとんど変動が見られない。

表—2 計 測 点

No.	計測項目	計測器
1	深層水取水温度	シース型 T 熱電対
2	表層水取水温度	シース型 T 熱電対
3	深層水給水温度	シース型 T 熱電対
4	表層水給水温度	シース型 T 熱電対
5	深層水取水量	流速計
6	表層水取水量	流速計
7	深層水給水量	流速計
8	表層水給水量	流速計
9	深層水取水電力量	パルス発信型電力量計
10	表層水取水電力量	パルス発信型電力量計
11	深層水給水電力量	パルス発信型電力量計



図—3 計測点配置図



図—4 流速および水温の経時変化

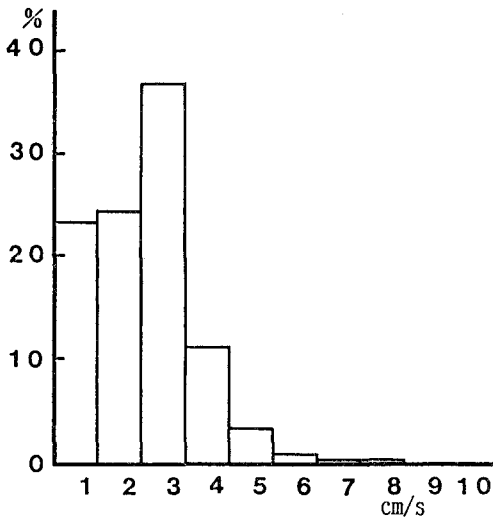


図-5 流速頻度分布

(2) 水 温

時刻歴データをみると、1988年12月から1989年5月中旬までの水温の変動がそれ以降に比べて大きく、流速の変動と密接に関係していることがわかる。しかし、その変動範囲は小さく、水深約 300 m の底層域での水温は年間を通して 7°C (1989.4.11) $\sim 11.5^{\circ}\text{C}$ (1989.5.11) の範囲であった。図-8はXBTによる冬季(1988.12.8)

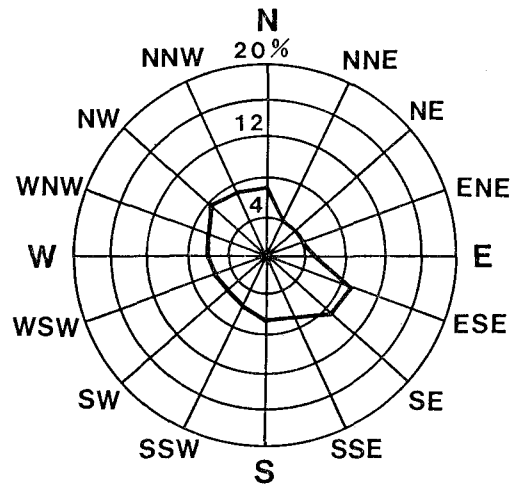


図-6 流向頻度分布

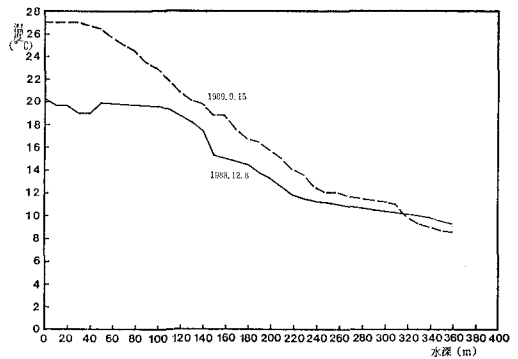


図-8 鉛直水温分布

と夏季(1989.9.15)の水温の鉛直分布を示したものである。海面水温は冬季で 20°C 、夏季では 27°C と非常に変動が激しいが、水深約 320 m の底層域での水温は冬季も夏季もほぼ 10°C 程度であり、非常に安定している。

4. 深層水取水施設での水温特性

(1) 給水温度の変動特性

実験棟内(計測点 3, 4)での深層水と表層水の日平均給水温度の経時変化を 図-9 に示す。また、水深約 300 m の底層域における水温(毎日 12 時)の経時変化も合わせて示している。深層水の給水温度は前述したように

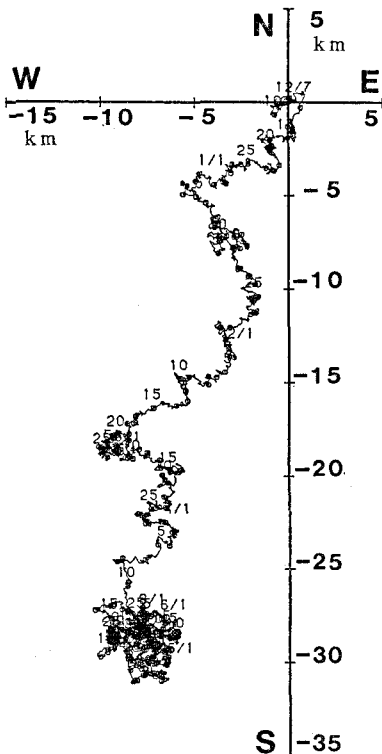


図-7 進行ベクトル

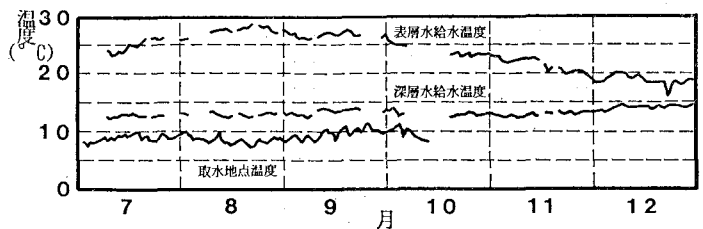


図-9 給水温度の経時変化

表層水と比べると季節変動が少なく安定している。そして、1989年7月から1989年12月まで6ヵ月間の最高水温は15.2°C (1989.12.9)，最低水温は12.1°C (1989.10.19)であり、平均水温は13.4°Cであった。この水温は深層水取水口近傍の底層域の水温に比べて、平均的に約4°C程度高くなっていた。また、この期間の深層水給水水温は夏季から冬季に向かって徐々に上昇する傾向が見られる。同様の傾向は、底層域の水温に対しても認められる。一方、この期間の表層水の平均給水水温は23.6°Cであるが、夏季(1989.8.20)に最高水温29.7°Cを、また冬季(1989.12.19)に最低水温16.1°Cを記録しており、陸上の気象条件の季節的影響を受けて10月から12月にかけて徐々に水温が低下している。この表層水給水温度の低下の時期は、深層水給水温度の上昇の時期と一致しており、この時期に海水の鉛直混合が生じたものと推測される。

(2) 深層水取水口水温の推定

一般に、周囲海水中に置かれた管路内を流れる流体の入口温度は、式(1)の微分方程式を式(2)の境界条件を用いて解くことにより式(3)のように求められる。

$$\pi DK(\theta_0 - \theta_w)dl = C_p G d\theta_w \dots\dots\dots (1)$$

$$\left. \begin{array}{l} l=0 : \quad \theta_w = \theta_{en} \\ l=L : \quad \theta_w = \theta_{ex} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

$$\theta_{en} = \theta_0 - (\theta_0 - \theta_{ex}) / \exp(-\pi DKL / C_p G) \dots\dots\dots (3)$$

ここに、

D : 管径 (m), K : 熱貫流率 ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$),

C_p : 定圧比熱 ($\text{kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}$), G : 流量 (kg/h),

l : 管長 (m), θ_0 : 周囲海水温度 ($^\circ\text{C}$),

θ_w : 管内温度 ($^\circ\text{C}$), θ_{en} : 入口温度 ($^\circ\text{C}$),

θ_{ex} : 出口温度 ($^\circ\text{C}$) である。

表-3に示す条件を用いて計算した結果を図-10に示す。深層水取水口の計算水温は9°Cであり、これは図-9に示した深層水取水口近傍(水深約300m)での観測水温9.8°Cと比較的よく一致している。なお、図-10を見ると底層域から汲み上げられた深層水は、水深

表-3 計算条件

$\theta_{ex} = 13.7^\circ\text{C}$, $D = 0.122\text{m}$, $K = 12.66\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$,
 $C_p = 0.935\text{Kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}$, $G = 38925.1\text{kg}/\text{h}$

水深 h (m)	管長 L (m)	周囲海水温度 θ_0 ($^\circ\text{C}$)
0~10	320	27.0
10~60	1550	26.6
60~100	120	24.4
100~140	120	20.7
140~180	120	17.9
180~220	120	15.6
220~260	120	12.8
260~300	120	11.5
300~320	60	10.6

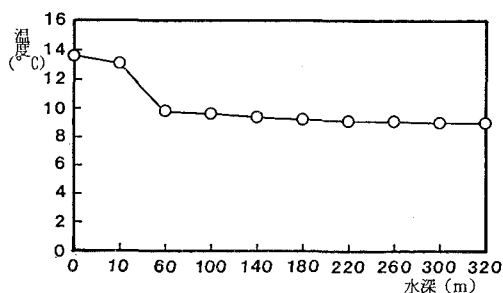


図-10 水温の計算結果

60m から10mの間で急激に上昇している。これは、この区間での管路長が1550mと長く、かつ周囲海水温度も比較的高いためである。

5. あとがき

本研究では、1989年3月に高知県室戸岬東岸域に完成した陸上設置型深層水有効利用施設を使用し、深層水取水口近傍の底層域における流向流速と水温、ならびに陸上の実験施設に汲み上げられた深層水と表層水の水温に関する長期観測結果について述べた。得られた主要な結果を要約すると次のとおりである。

(1) 水深約300mの底層域における流速は6cm/s以上になることは稀であり、2~3cm/sの流速が取得データの48%を占め非常に微弱であった。また、流向は全方位で出現していたが、南東方向の流れが全体の25%を占めていた。

(2) 全期間の進行ベクトルについてみると、黒潮の一部が反時計回りの環流となるため南西方向の流れが卓越していた。しかし、1989年4月以降はこうした動きは認められなかった。

(3) 水深約300mの底層域における水温は変動が少なく年間を通して7°C~11.5°Cの範囲にあり、年平均水温は約9°Cであった。一方、陸上施設に汲み上げられた深層水給水年平均温度は13.4°Cであり、これは底層域よりも約4°C程度上昇していた。

(4) 陸上施設に汲み上げられた深層水給水温度、取水量、取水管の熱貫流率および海水の鉛直温度分布を用いて推定した深層水取水口水温の計算値は観測結果と比較的よい一致を示した。

なお、本研究は海洋科学技術センターとの共同研究の一環として実施したものである。

参考文献

- 萩原運弘・清水勝公・奥津宣孝・豊田孝義・中島敏光・石井進
 — (1989): 生物生産のための深層水取水施設の設計と施工, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 854~858.
 The Natural Energy Laboratory of Hawaii (1986): Annual Report.