

水中超音波によるテレメータ

金 成 誠 一

UNDERWATER ACOUSTICAL TELEMETRY FOR OCEANOGRAPHICAL AND LIMNOLOGICAL RESEARCH

By *Seiichi KANARI*

Synopsis

The acoustic telemetering device was designed for measuring depth, water temperature and turbidity in reservoirs and lakes. This instrument is self-contained, and transmits the modulated super sonic f-m signal to a hydrophone near the surface of the lake or reservoir.

This instrument was applied to the observation in Biwa Lake and Amagase reservoir, and some typical temperature stratifications in Biwa Lake were clearly recorded. There was the discrepancy between the records of the temperature profile observed in a jumping layer of water temperature in accordance with the lowering speed of the instrument, and it was found that this discrepancy may be due to a time constant of the thermal element.

1. 緒 言

測定量の電波による遠隔測定が最近非常に発達し、ラジオゾンデあるいはロケットなどによる気象観測などに使われるようになったが、水は電波に対して不透明なので、電波を水中の遠隔測定に用いることはできない。水中音波は比較的小さな減衰で相当長い距離を伝播することができるので、電波による遠隔測定の技術をそのまま利用して、電波のかわりに水中音波を Carrier とすることによって水中での遠隔測定を行なうことができる。この方式の最初の具体化は米国の W. Dow^{1), 2)} らによって行なわれた。その後英国³⁾、ソ連⁴⁾ などにおいてもこの方式の有効性が注目され、大いに将来の発展が期待されている。著者は上述の方式の発展のひとつの試みとして、水温、濁度ならびに深さなどを測定伝送する装置を試作したが、構造と特性についてはすでに報告した。今回、その装置によって、びわ湖ならびに天ヶ瀬貯水池において観測を試み、水温の成層状態を記録することができたので、その結果を報告する。

2. 観 測

びわ湖および天ヶ瀬貯水池における観測点位置は Fig. 1 および Fig. 2 に示すとおりである。びわ湖の Station—2 (水深約 96 m) では昭和41年8月25日 13 h 30 m に観測を行なった。また Station—1 (水深約 70 m……京大理学部大津臨湖実験所定点のひとつ) では昭和41年11月7日 13時および8日11時45分、13時20分、15時05分の各時刻に観測を行なった。天ヶ瀬貯水池では11月18日14時00分に測定を行なった。びわ湖の Station—No.1 および No.2 における観測では送信器深度を指示するはずの圧力発振器が完調ではなかったので、ウインチの Wheel Gauge の指示値から深度を決定した。

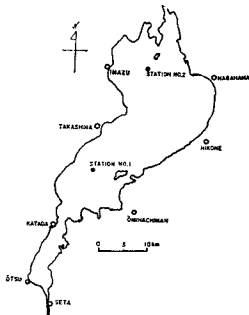


Fig. 1. Location of the station No. 1 and No. 2 in Biwa Lake.

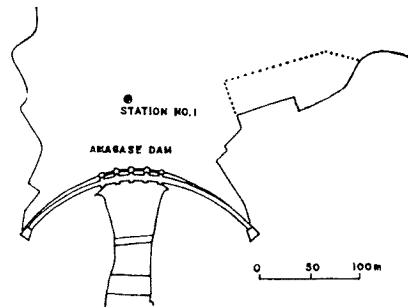


Fig. 2. Location of the station No. 1 in Amagase reservoir,

観測は、各測点に船を固定し、舷側から送信器を鉛直に水中に沈めながら (Photo. 1), 送信器から送られてくる変調音波を受波、復調し、順次その復調信号を自記記録計に記録した。なお、天ヶ瀬貯水池での観測においては、水温、濁度、圧力ならびに二つの基準信号の計 5 Channels が完全に動作し、期待どおりの記録を得ることに成功した。

3. 観 測 記 録

Fig. 3(a)~(f) および Fig. 6(a), (b) に測定された記録を示す。Fig. 3(a) に示した 8月26日の記録では信号にかなり大きな雑音が現われているが、これは送信回路の一部断線に起因するものであることがわかり、その後の記録にはまったく現われなくなった。したがって、8月26日の測定値はあまり信頼できない。Fig. 3(b)~(e) および Fig. 6(a), (b) の記録には Wheel Gauge から読みとった送信器深度が実線 (Trace of Vertical Position) で示してある。その深度スケールは記録紙の全巾(百分分)を 100 m にとって示してある。

今回の実験では、60 mm/minute および 20 mm/minute の 2つの chart speed を適宜切換えて記録をとったが、記録の見易さの点ではむしろ 20mm/minute の chart speed が適しているように思われる。11月8日13時20分 (Fig. 6(a)), 15時05分 (Fig. 3(e)), および11月18日14時 (Fig. 3(f)) の記録はいずれも 20 mm/minute の chart speed, また上記以外のものは 60 mm/minute の chart speed で記録したものである。

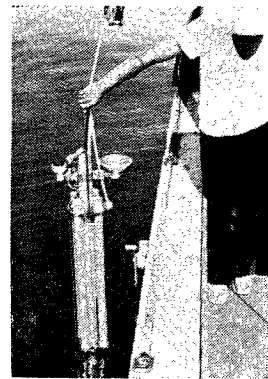


Photo. 1 View of the transmitter lowering from the side of the ship.

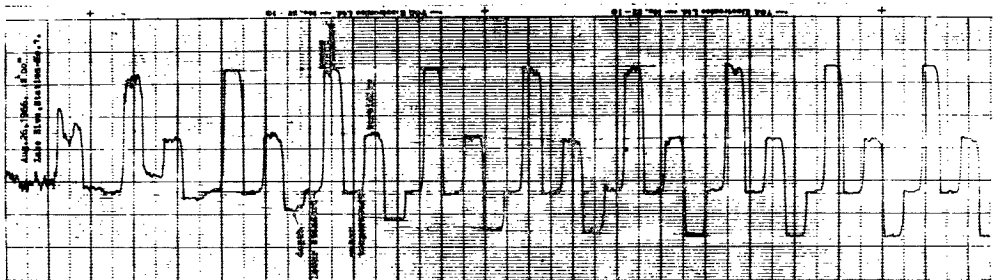


Fig. 3(a) The telemetered record ; 12h00m at the station No.2 in Biwa Lake, Aug. 26, 1966.

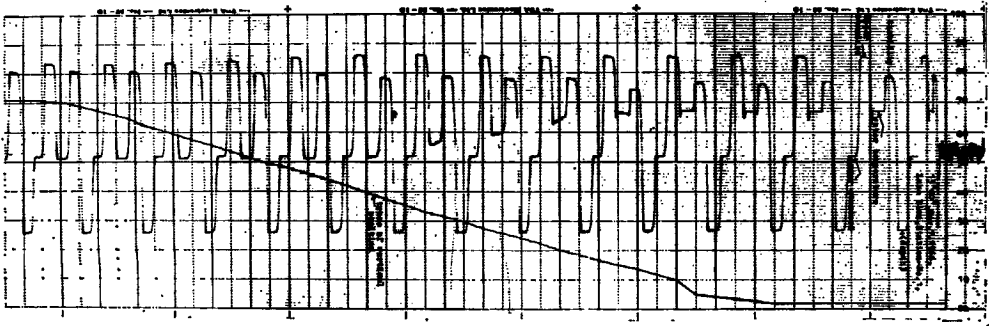


Fig. 3(b) The telemetered record ; 13h 00m at the station No.1 in Biwa Lake, Nov. 7, 1966.

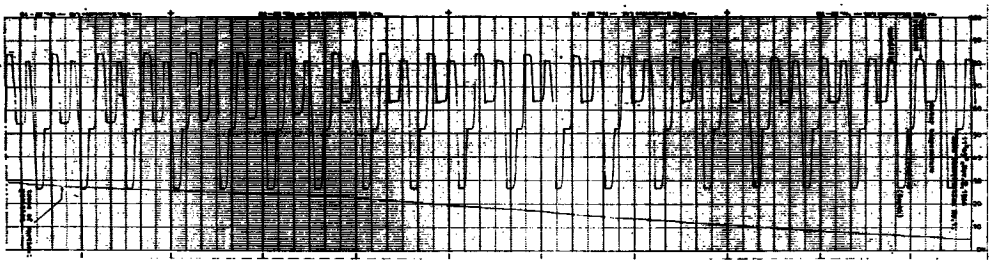


Fig. 3(c) The telemetered record ; 11h 45m at the station No.1 in Biwa Lake, Nov. 8, 1966.

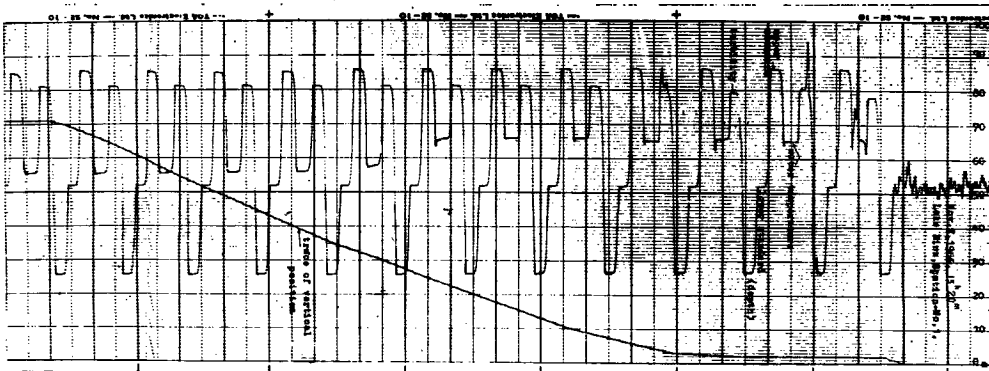


Fig. 3(d) The telemetered record ; 13h 20m at the station No.1 in Biwa Lake, Nov. 8, 1966.

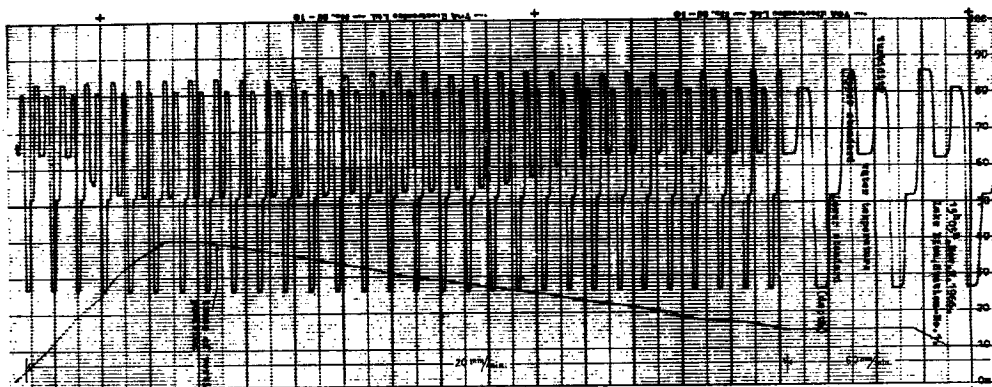


Fig. 3(e) The telemetered record ; 15h 05m at the station No.1 in Biwa Lake, Nov. 8, 1966.

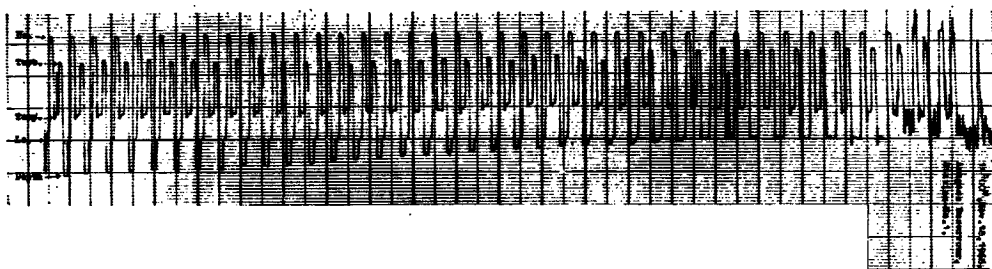


Fig. 3(f) The telemetered record ; 14h 00m at the station No.1 in Amagase resevoir, Nov. 18, 1966.

Fig. 3(f) の天ヶ瀬貯水池での記録には、送信器の降下とともに、送信器の深度を示す信号が明瞭に記録されている（記録紙巾のほぼ中央部から下側に向かって一様に長さが増加している信号）。記録紙上では、1目盛がほぼ 4 m の深度に相当する（前述の Wheel Gauge の指示値に対する目盛とは関係がない）。

なお、記録紙に示した Us, Turb., Temp., Ls. および Depth などの記号はそれぞれ Upper standard, Turbidity, Temperature, Lowerstandard および Depth の 5 Channels の各信号を表わすものである。

4. 観測結果ならびに考案

それぞれの記録紙上に一定間隔で記録された水温、濁度、圧力等の各測定要素の指示値をなめらかな曲線で結び（たとえば、Fig. 6(a), (b)），その曲線の値を 10 mm 毎に読みとり、較正曲線²⁾によって、それぞれの値を決定した。濁度については、0.2 g/l 以上のにごりを対象にして設計されているために、いづれの記録も可測範囲外（0.2 g/l 以下）にあり、その値を具体的に決定することはできなかった。ただし、天ヶ瀬貯水池の一例だけは、表面から数 m の層をのぞいて、僅かながらにごりが現われているのが見られる。

水温の測定結果はまとめて Fig. 4 に示してある。水温の可測範囲は 5°C~32°C までであるが、8°C 以下の値に対しては較正曲線の直線性が良くないので、その値はあまり信頼できない。しかしながら、水温の成層状態はかなり明瞭にとらえられている。

天ヶ瀬貯水池における観測においては、深度指示特性を調べるために、送信器のロープの長さを同時に測定して、自記記録深度との比較を行なった。すなわち、ロープの長さから測定した送信器深度を横軸に、そのときの深度指示信号の周波数（記録から読みとったもの）をたて軸にとって両深度の相関を調べた結果は

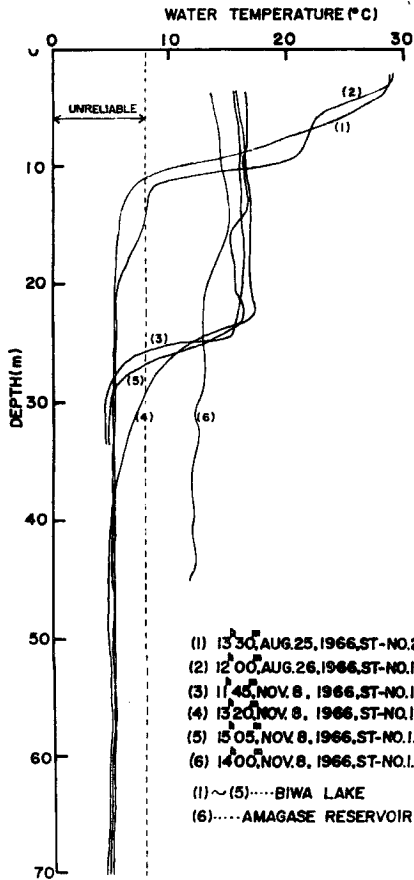


Fig. 4 The vertical temperature distributions obtained from the telemetered records.

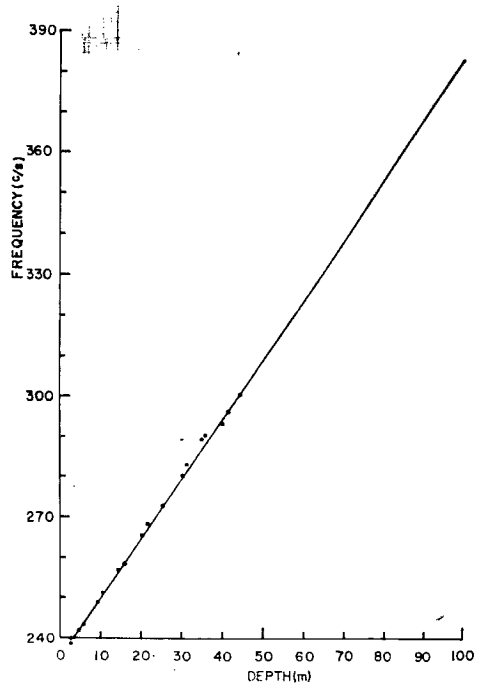


Fig. 5 The calibration curve for the reading of the depth signal.

Fig. 5 に示されるとおりで、この直線のまわりの点のばらつきは Full scale の $\pm 2\%$ 以下であり、このことから指示深度の測定精度は $\pm 2\text{ m}$ 程度であることがわかる。

5. 送信器の降下速度と測定誤差

本装置の測温素子も通常の温度計と同様、有限の時定数を持っており、このような装置を温度勾配の大きな層中に降下させてゆく場合には、現実の温度勾配は同一であるにもかかわらず、その降下速度に応じてかなり様子の異なった記録が得られるであろうことは容易に想像される。その 1 例を Fig. 6 (a), (b) に示す。またこの記録の読みとり結果から温度躍層の前後だけをとくにとり出して Fig. 7 (a) に示してある。これらの記録は、ほぼ同一時刻に降下速度を大巾に変えて記録したものであり、Fig. 6 (a) の記録 (Fig. 7 (a) の (i)) は約 3 cm/sec 、また Fig. 6 (b) の記録 (Fig. 7 (a) の (ii)) は約 12.5 cm/sec の降下速度に対するものである。両者の比較からその値は同一深度で最大 2.7°C の指示差を示すことがみられ、この差は装置の降下速度、したがって感温部の時定数に原因していることが予想される。このふたつの記録のうち、Fig. 7 (a) の (i) は真の温度分布により近いものと考えられる。そこで、Fig. 7 (a) の (i), (ii) の曲線を



Fig. 6 (a) The telemetered record ; 13h 20m at the station No.1 in Biwa Lake, Nov. 8, 1966.

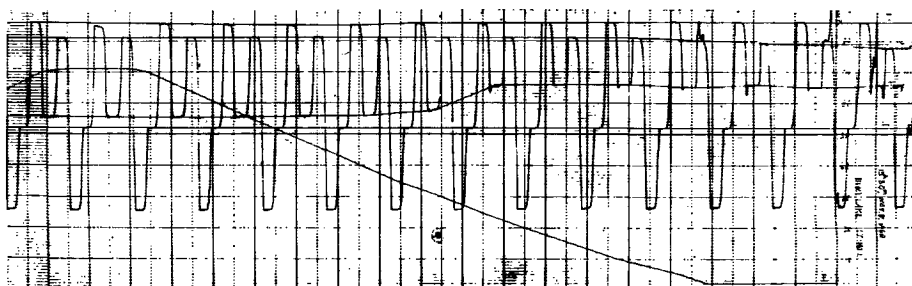


Fig. 6 (b) The telemetered record ; 13h 30m at the station No.1 in Biwa Lake, Nov. 8, 1966.

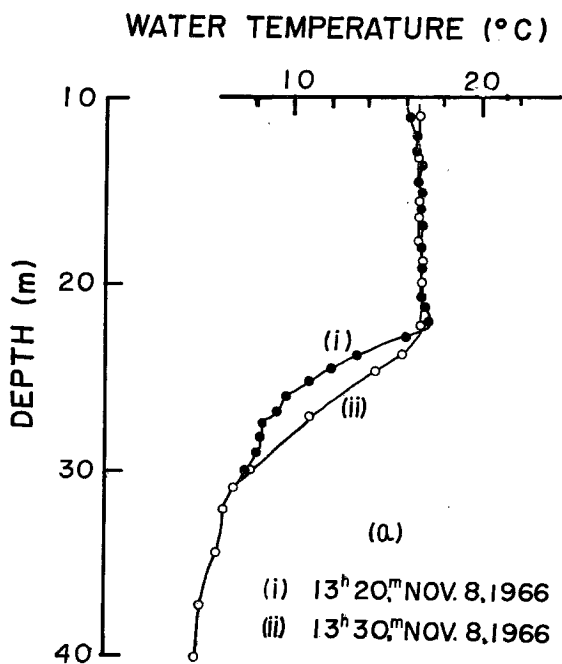


Fig. 7 (a) The vertical temperature distributions obtained from the Fig. 6 (a) and 6 (b).

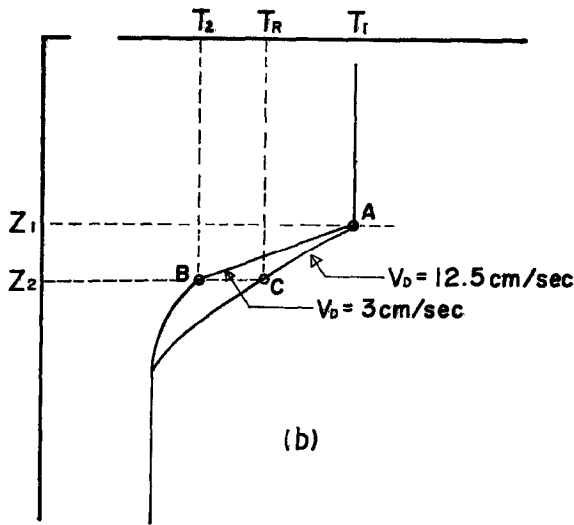


Fig. 7 (b) An example of the discrepancy of the observed temperature profiles due to the different lowering speeds.

Fig. 7 (b) のように単純化し、 $\overline{AB}$ のような温度分布に対して、降下速度および時定数によって指示誤差 $\overline{BC}$ がどれくらいになるかを計算してみよう。今、A点の深さを Z_1 、その温度を T_1 、B点の深さを Z_2 、その温度を T_2 とし、装置の指示値を U 、装置の降下速度を V_D 、装置の時定数を τ で表わし、指示温度の変化率が真温度と指示温度の差に比例すると仮定すると次のような簡単な微分方程式が成立つ⁹⁾、

$$\tau V_D \frac{dU}{dZ} = (U - T_1) \dots \dots \dots (1)$$

$\overline{AB}$ 間の測定すべき温度が

$$T = T_1 + \frac{\gamma}{V_D} (Z - Z_1) \dots \dots \dots (2)$$

のような分布をしている時、

$$\left. \begin{array}{l} T = T_2 \\ Z = Z_2 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

$$\left. \begin{array}{l} U = T_R \\ Z = Z_2 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

の条件のもとに(1)式の Z_2 層に対する解は次のように与えられる。

$$T_R - T_2 = -\gamma\tau + [(T_1 - T_2) + \gamma\tau] \exp\left\{-\frac{Z_2 - Z_1}{V_D\tau}\right\} \dots \dots \dots (5)$$

ここに γ は定数であり、 $\frac{\gamma}{V_D}$ は $\overline{AB}$ の温度勾配を表わす。一方感温部に急激に 15°C の温度差を与えたときの温度指示値の時間変化を Fig. 8 に示す。これから、感温部の時定数を求めると12秒という値が得られる。これを仮りに装置の時定数とみなし、かつ、Fig. 7 (a) から Fig. 7 (b) の A、B および C 点に対応する値を次のように決める、

$$\begin{aligned} T_1 - T_2 &= 5.0^\circ\text{C} \\ Z_2 - Z_1 &= 200 \text{ cm} \\ \gamma &= -0.25^\circ\text{C/sec.} \\ V_D &= 12.5 \text{ cm/sec.} \end{aligned}$$

この値を用いて (5) 式から $(T_R - T_2)$ を計算すると

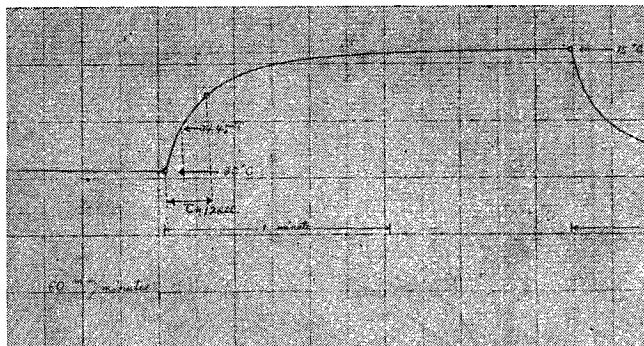


Fig. 8 The temperature change of the thermal element when the temperature of surrounding water changed instantaneously by 15°C. The time constant of the thermal element can be determined from this curve.

$$T_R - T_2 = +3.544^\circ\text{C}$$

となって、ほぼ実際の温度差、2.7°C に非常に近い値が得られる。すなわち、降下速度に応じてこのような大きな温度差が現われるということは、こうした temperature gradient の大きな層の観測に対しては現在の感温部の時定数が大きすぎることを示している。実際、海洋観測に用いられている Diving BT の時定数は 0.2 秒位⁹⁾であるが、それでも Diving による降下速度、約 3 m/sec に対しては長すぎるといわれている。現在の装置の Sampling period は約 45 秒であり、時定数だけを極端に小さくしても意味がないので、その両者を短縮することが出来れば、かなり有効な測器として使用できるであろう。

6. 結 語

今回の Vertical transmission の実験によって

- (1) 本装置は湖水または海洋の温度成層の模様を容易に記録することができる。
 - (2) より早い降下速度で記録をとるためには時定数ならびに Sampling period をもっと小さくする必要がある。
 - (3) 濁度の最小測定値が 0.2 g/l ということは通常の観測には適していない。
- などの事実が明らかになった。

11月18日の観測から、はじめて 5 channels が完全に伝送されるようになったので、今後は上記の点の改良を進めつつ、本装置をより有効な観測に応用することを考えている。殊にびわ湖の潮流などに関連した興味ある観測が可能であろう。

謝 辞

この研究に際し有益な助言と励ましを頂いた、当研究所、奥田節夫教授に感謝する。また、実験に際しては、京都大学理学部大津臨湖実験所の所員各位の御協力に心から感謝する。なお、この研究は文部省科学研究費の補助によるものであることを付記し、ここに謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) W. Dow, Underwater Telemetering, No. 880, Deep Sea Res, Vol.2, 1954, pp.145—151
- 2) D.E. Campbell, R.J. Cyr, and C. Crosier, Underwater Telemetry for Oceanographic Research, Electronics, Jan. 12. 1962, pp.53—68

- 3) M.J. Tucker, R. Bowers, F.E. Pierce and B.J. Barrow. An acoustically telemetering depth gauge, Deep Sea Res. Vol.10, 1963, pp.471—478
- 4) A.N. Paramanov, The use of the principles of discrete counting for the transmission of data from deep sea measurements, Okeanologia, Vol.1, No.4, 1961, pp.710—716
- 5) 金成誠一：水中超音波によるテレメータ，京大防災研究所年報第9号，昭和40年度，pp.479—490
- 6) S. Kanari, Underwater Acoustic Telemetry for Oceanographical and Limnological Research (Part I), Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Vol.15, Part 3 1066, pp.71—80
- 7) S. Kanari, Underwater Acoustic Telemetry for Oceanographical and Limnological Research (Part II), Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Vol.15, Part 3, 1966, pp.81—94
- 8) Allyn C. Vine, Oceanographic Instrumentation for measuring Temperature, Report of Naval Research, 1952, pp.55—69
- 9) たとえば宮内鉄也：温度測定，コロナ社，1949年127頁～128頁