

貯水池の手作り自動観測システムと水温分布特性

A Handmade Automatic Observation System and Water Temperature
Characteristics in a Reservoir

真野 明*・後藤光亀**

By Akira MANO and Koki GOTO

A handmade automatic system is developed to observe hydraulic phenomena of a reservoir. The system is composed of a personal computer which collects data and controls traverse equipments, the hardware, measurement instruments and the software. Special attention is paid to the controller. The system enables one to get the vertical hydraulic profile of the reservoir through one year except ice covered period.

The obtained water temperature distribution shows stratification and mixing characteristics affected by wind, the sun radiation, and the atmospheric temperature. Key words: automatic observation, reservoir, water temperature, mixing layer

1. まえがき

著者らは貯水池や湖沼などの水理現象、水質変化、藻類などの微生物の増殖の機構解明や予測モデルの開発を最終的な目標とした、水理・水質の共同研究を1987年にスタートさせた¹⁾。これらの現象は互いに影響しあっており、両分野で積み重ねられてきた手法や知見を総合することによって糸口がつかめるような問題も少なくない。また貯水池の中では、様々の時間スケールをもった現象が混在しており、数分～数時間単位の風による混合から、日周期の成層、混合現象、年周期の気温変動による水の循環等が上記の現象に関係している。

この研究を行なっていく上で基礎となるのは、現場の詳しい測定であり、上記の種々の時間スケールの現象をとらえる連続的で長期間にわたる自動計測システムの開発が不可欠である。従来も国内のいくつかの地点では自動観測が行なわれているが、外部の研究者がそのデータを利用するには制限がつくし、また測定項目や測定方法なども必ずしも研究目的に合致していない。このような状況から自前の自動観測装置を持ちたいところであるが、市販の観測システムは高価であり大学等の研究機関では容易には導入できなかった。

幸い近年のパソコンの普及によって、手作りであれば比較的安価にこのようなシステムを作り上げること

* 正会員 工博 東北大学助教授 工学部土木工学科

** 正会員 工博 東北大学講師 工学部土木工学科

(〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉)

ない。著者らは3年前にこの開発を始め、現地で試
 が出来る状況になってきている反面、この様なシス
 テムを設計するに当たって参考となる総合的な情報
 は少行錯誤しながら改良を重ねてきた。今年度ほぼ
 このシステムが完成し、データが継続的に取れるよ
 うになったので、ここにシステムの概要を報告する
 ものである。また、測定結果について若干の考察を
 行なった。

2. 観測システム

(1) システム概要

観測を行なうに当たって対象とする貯水池はでき
 るだけ少ない測点で現象が把握出来るよう、外部と
 の水の出入りができるだけ少ない孤立系とし、上水
 用の予備貯水池である仙台市中原貯水池とした。図
 -1にこの平面図を示す。長さが460m、幅が1
 00~150mの人工の貯水池であり、水深は満水
 位で7mである。この中に取水用のベンチがA、B、
 Cと3本あるがこの中のBにパソコンと気象観測機
 器を設置した。また貯水池の中には図示の位置に工
 事用足場パイプで組んだ観測タワーを設置し、3方
 よりステンレスワイヤーで緊張し振動を防止した。
 この位置で水温と流速の鉛直分布を測定した。

システム全体の機器構成を図-2に示す。ベンチ
 に設置したNEC PC9801にA/Dボード、
 DIOボードを取り付け、データの入力とモーター
 の制御を行なった。測定機器は表-1に示すように
 気象関係の機器Bとタワーの所で鉛直分布を測定し
 た機器Aからなる。測定データは平均や分散等の簡
 単な処理をこの計算機で計算してフロッピーディ
 スクに書き込むほか、水温と流速の時系列については
 データ圧縮を行なったのちフロッピーに書き込んだ。
 データは2、3日でディスク一杯になるので交換し、
 研究室に持ち帰ったのち、光ファイバーの通信ネッ
 トワークを通じて東北大学大型計算機センターのACOS2000システムに送り処理をする。現在ハード
 ディスク等を使えばより多くのデータを貯めることができ、データ交換の周期を長くできる。しかしこの間
 のデータを確実に取得するためには、不意の停電等に自動で対応しなければならない。このためにシステム
 が高価になるので、本システムではデータ交換の周期を短くすることによりデータ欠測の危険を減らした。

(2) トラバース装置および制御

図-3は鉛直分布を測定するためのトラバース装置の概要である。タワーにガイドレールを取り付け、駆
 動用のワイヤーをモーターで巻き上げることによりトロリーを上方に移動させ、またワイヤーを緩めること
 によりトロリーの自重で下方に移動させる。この装置やトロリーにつける観測機器の保安と駆動装置の制御

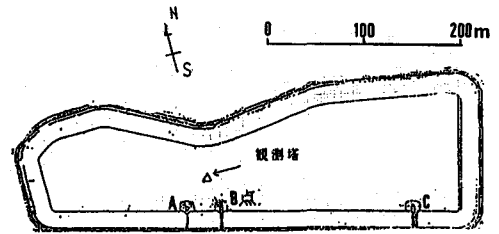


図-1 中原貯水池

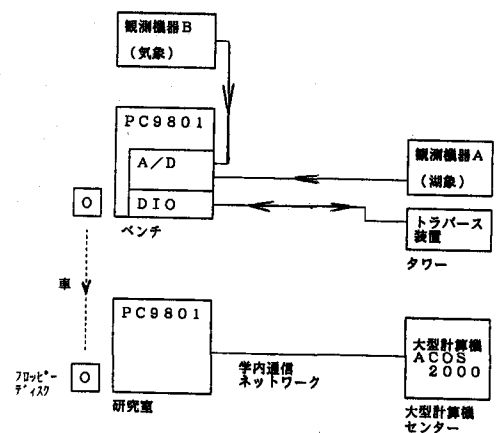


図-2 観測システム概要

表-1 観測機器一覧

分類	名 称	台数
A	高応答水温計	1
	低応答水温計	1
	2成分電磁流速計	1~2
B	風向風速計	1
	日射計	1
	乾式気温計	1
	湿式気温計	1

のために以下に述べる3つのスイッチを設けた。

(a) 上限スイッチ：観測機器の中の電磁流速計はセンサーが水面に露出すると焼ききれるので、プログラムの暴走や水面の低下などによってこの状態になることを防ぐ。この機構は、トロリーの直上に磁気式のマイクスウィッチを浮かべておき、トロリーが接近するとスイッチがはいるようにした。(b) 下限スイッチ：トロリーが最下点まで降りた状態を検出するためのもので、トロリーにこのためのワイヤーを取り付けておき、規定量繰り出したときにスイッチが入るようにした。(c) 弛緩スイッチ：トロリーを降下させるとき引っかかった状態を検出する。駆動用ワイヤーにスイッチを押しつけておき、これが緩んだときにスイッチが入るようにした。またこれらのスイッチや機動関係の機器はすべて水面付近から上に設置し、故障が生じたときの保守が簡単に行えるようにした。

トロリーの移動量は駆動用ワイヤーに取り付けたロータリーエンコーダーの出力パルスをカウントする事によりえた。

図-4はトラバース装置の制御用の信号のフローを示したものである。ベンチとタワーの間は50m程度離れており、DIOボードの規格であるTTL信号では減衰が生じ誤動作の原因となる。このため途中はRS232C規格(±15V)に変換して通信した。このための信号の変換及び復元にはIC(MAX232CPE)を用いた。各信号のうち01,02,03はコンピュータからみた各1ビットの出力信号であり、01,02 モーターを正転、逆転させるための信号であり、制御専用IC(SR11-2P)を介してモーターを制御した。I1,I2,I3,I4は入力信号である。トロリーの上下限スイッチの変化は一旦フリップ・フロップ回路を通して保持(ラッチ)したあとコンピュータに入力する。03はこの回路をリセットするための出力信号である。

(3) ソフトウェア

これらトラバース装置の制御、データのA/D変換、計算、データ圧縮、フロッピーディスクへの書き込み等はすべてMS-DOS上の言語N88BASICでプログラムしコンパイルして実行した。また現場で計測している多様なデータをすべてグラフィック画面に表示し一目で全体を把握できるようにした。さらに大型計算機上に次章に示すデータ処理用のプログラムを用意し、持ち帰ったフロッピーを即処理することにより、現場の現象の把握と計測機器のチェックを行なった。

(4) その他

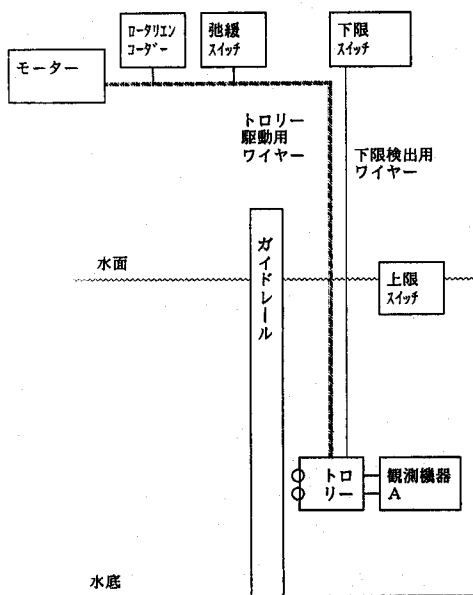


図-3 トラバース装置

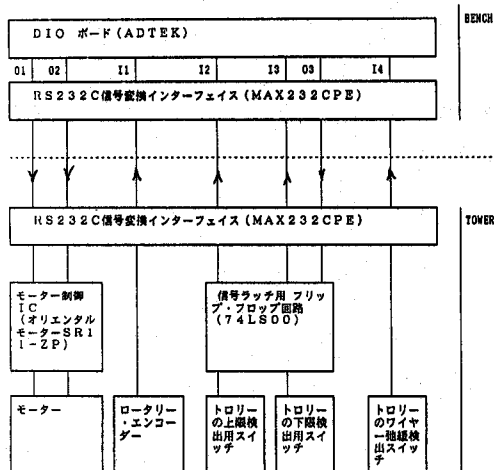


図-4 制御信号のフロー

本装置は1990年7月下旬に落雷にあい、一部を破損した。落雷対策用の専用の機器が市販されているが高価であり、設置していない。

この現場は冬季間1カ月程度、水面が氷結する。この間は観測が出来ない。

以上述べてきたように本システムは手作りではあるが、連続的な観測を可能にするためには、ハードウェアの種々の工夫と十分なソフトウェアの準備が必要であり、開発に3年を要した。

3. 観測結果および考察

1990年の8月と9月の測定例を図-5(a)と(b)に示す。計測の条件は鉛直方向に0.5m間隔で15点の測点を設け、各点の測定時間45秒、A/D変換のサンプリング周波数10Hz、各点の測定周期40分である。座標軸zは水底を0とし鉛直上方を正に取った。水面の位置が約7mである。図の最上段は風速ベクトルの時系列を示したもので、ベクトルの終点が時間軸上に来るようにしてある。上が北で時計回りに方位角をとってある。図の2番目は風速の絶対値の時系列で10分間平均値である。図の3番目は10分間平均日射(単位kW/m²)、4番目は気温(Ta:単位C)の時系列である。一番下の図は水温(Tw)の時空間分布を表わしたものである。

8月のデータを見ると水面近くで日々の日射で昼の間成層が発達し、夜間の放射冷却で混合が生じていることが分かる。またその深さは8月の初めでは、z=5m付近であったものが、日数の経過とともに徐々に深くなり、月の終わりには2.5m程度まで深くなっている。混合層より下の温度分布は安定しており、長期的な温度上昇のトレンドを示す。

しかし詳細に見ると、これらのトレンドの上には1時間~8時間程度の細かい振動が乗っている。しかも8月8日付近の分布を見れば明らかにこの振動は温度成層の中で鉛直上方あるいは下方に伝播している。このときの密度の鉛直分布から計算される、BRUNT VAISALA振動の周期は100秒のオーダーである。また貯水池の長手方向に発達する単節振動表面波セイシュの周期も約100秒である。前述の温度変動の周期はこれらよりもはるかに大きく内部波による振動と考えることが出来る。梶浦²⁾や富永³⁾は密度の鉛直分布が指数関数的に変化する場合の内部波の理論モード解を紹介しているが、それによると内部波の波速は次のように近似できる。

$$c_n \sim DN / n\pi, \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (1)$$

ここで、 c_n は第nモードの波速で、nは鉛直方向の節の数、Dは水深、NはBRUNT VAISALA振動数である。 $n = 1$ として計算すると、内部波の波速は表面波の波速の約1/60となる。水平方向の波数は貯水池の境界条件から決まると考えると、内部波、表面波とも波数は同じと考えることができ、数時間のオーダーの振動周期はこの内部波の波速によって説明できる。詳しい定量的な議論は密度分布に本実測値のものをを用い、数値計算によらなければならないが、オーダーは変わらない。

Muraokaら⁴⁾は中禅寺湖において観測を行い、水平方向の同時観測や定点観測の時系列を用いて内部波の存在を明らかにしたが、本システムで得られた平均水温の時空間分布からも内部波の存在が示された。

8月10日には台風11号が仙台付近を通過した。これに伴って南東の最大で8m/sに達する強風が長時間吹いた。この間日射はほとんどなく気温変動も小さかった。このため水面付近の成層は現われず、混合領域の下端が台風前のz=5.5mから通過直後のz=2.5mまで広がった。しかしその後急速に回復しz=3.5mまで上がっている。このような混合形態は従来大きな湖で報告されているもの⁵⁾とは異なっており、本研究で対象としている貯水池のスケールでは風波の発達が小さいため、風による混合が顕著には現れないものと考えられる。

9月に入ると、底層の高温化がとまり、混合層の最下層が1枚づつめくられるような形で混合していき、混合層の深さが深くなる。日々の成層の強度は8月に比べて弱くなるが、深いところまで日射が到達している事が分かる。9月20日には台風19号の宮城県への接近に伴って、風が強くなり10m/sを越える南

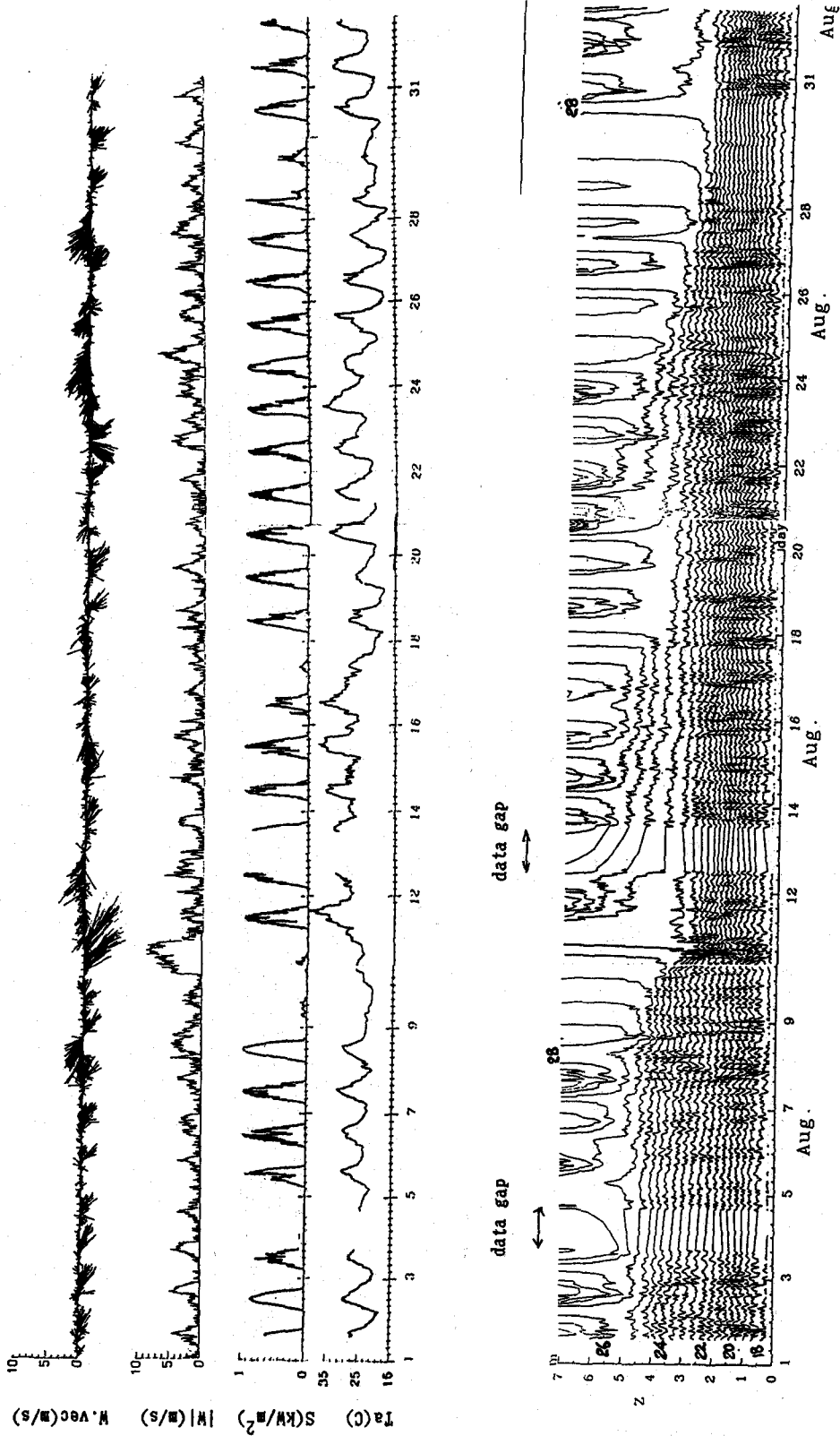


図-5 (a) 1990年8月の気象と水温分布

W.Vec(m/s)



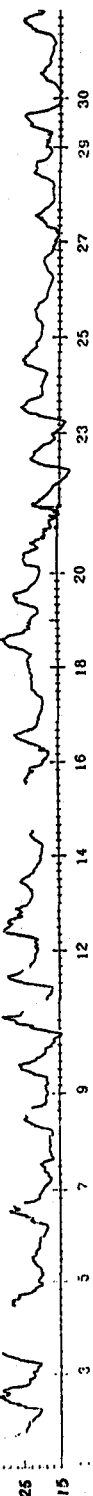
|W|(m/s)



S(kW/m²)



Ta(C)



data gap

data gap

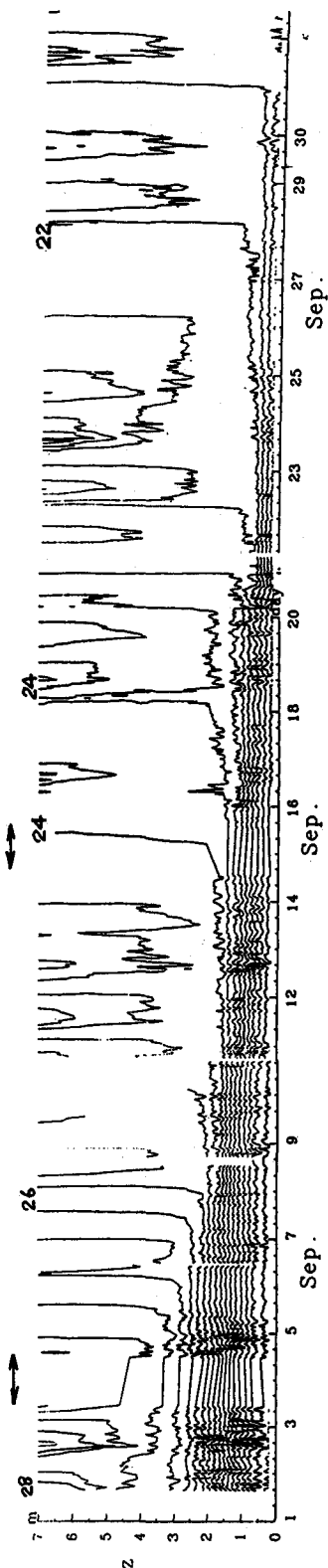


図-5 (b) 1990年9月の気象と水温分布

西の風が吹き、後北西の風に変わった。これに伴って底面近くの温度分布に乱れが生じたが、これはその後すぐ回復しており温度成層を完全に破壊するに至っていない。

図-6の(a)と(b)に日最低気温と混合層(ML)における日最低水温の関係を示した。8月24日まで水温、気温共上昇傾向にあり、それ以降は下降している。この期間日最低気温は混合層の水温より5~8度低い。この長期的なトレンドの上に日最低気温では10~14日程度の短い周期の変動がのっており、この変動振幅を緩和した形で混合層の中の日変動が現われている。8月10、11日に水温がさがっているのは、前に述べた台風11号の影響である。

4. おわりに

本研究の結論を列挙するすると次の通りである。

- (1) 貯水池における手作りの自動観測システムを開発した。
- (2) 日射、風、気温を外乱とする、水温分布特性を明らかにした。

今後流速データや温度の時系列について詳しい解析を行なっていきたいと考えている。

本研究をまとめるにあたり、東北大学工学部の佐藤敦久教授、澤本正樹教授、石川忠晴助教授より貴重な助言を頂いた。また観測を継続するに当たっては工学部4年の長尾正之、斉藤隆両君の熱心な努力によっている。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 後藤光電・真野 明：貯水池の水温日成層に関する基礎研究、第45回年次学術講演会概要集、第2部、pp.844-845, 1990.
- 2) 寺本俊彦編：海洋物理学Ⅱ、海洋学講座2、東京大学出版会、pp.1-37, 1976.
- 3) 富永政英：海洋波動－基礎理論と観測結果、共立出版、591p., 1976.
- 4) Muraoka, K. and Hirota, T.: Observation of internal seiche and wave in thermally stratified lake, Jour. Hydroscience and Hydraulic Eng. Vol.2, No.3, pp.45-55, 1984.
- 5) 田中昌宏・石川忠晴：日成層形成時の吹送流の特性について、土木学会論文集、第405号/Ⅱ-11, pp.63-72, 1989.

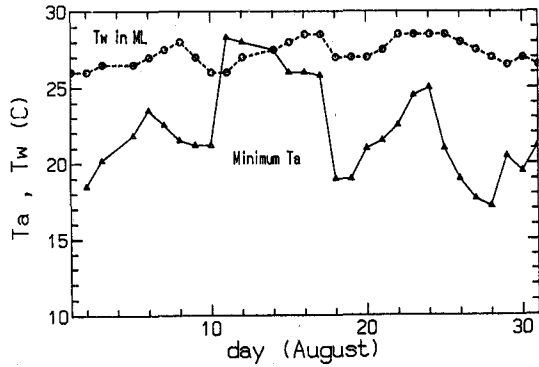


図-6 (a) 混合層の温度特性(8月)

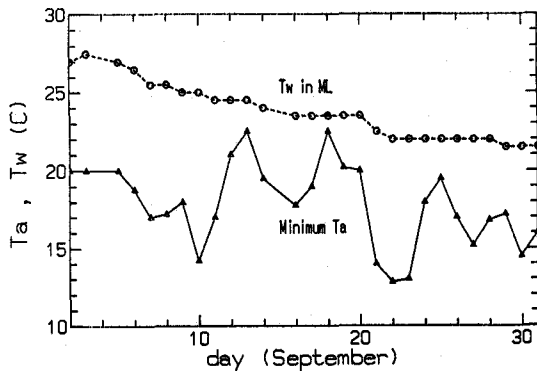


図-6 (b) 混合層の温度特性(9月)