

TCT プロファイラを用いた琵琶湖の 水温・電気伝導度・濁度の観測

奥村 康昭・遠藤 修一・角尾 慶子・鷲見 和也

Observations of Water Temperature, Electric-Conductivity and Turbidity using TCT Profiler in Lake Biwa

Yasuaki OKUMURA, Shuichi ENDOH,
Keiko KADOO and Kazuya SUMI

Abstract

The temperature, conductivity and turbidity of lake water are very important indices of a lake environment. Conductivity reflects the total amount of concentration of major ions (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-). Turbidity correlates the concentration of SS (Suspended Substance). A TCT-profiler was designed for monitoring of a lake environment. It is able to quickly measure temperature, electric-conductivity and turbidity at every 0.5m interval in a water column. A high speed boat equipped with the TCT-profiler makes it possible to collect data over a wide area of a lake. Measured data are automatically memorized and stored within the sensor unit, as the profiler, suspended from an ordinary rope, moves up and down beneath the lake surface.

Observations were carried out at several locations in Lake Biwa, and useful data were obtained. Turbid water due to heavy rains was transported from the Ane River into the center of lake by the lake current (cyclonic gyre). The transportation speed of turbid water was estimated over a two day period at about $5\text{cm}\cdot\text{sec}^{-1}$, which corresponded to the gyre speed.

Key words: TCT-profiler, electric conductivity, turbidity, lake environmental monitoring, Lake Biwa

1. はじめに

湖沼の汚染が全国的に進み、その改善策についてさまざまな論議がなされている。この問題の解決のためには湖沼環境の正確なモニタリングを行い、現状を把握するとともに、物質循環のメカニズムの解明が必要である。湖内の物質は空間的に分布し、その分布は時間と共に変動する。空気中や水中など空間的な広がりを持つ場におけるモニタリングを実施する場合、測定器を一定地点に固定して連続記録を取る方法と、車輛や船舶に測定器を搭載して移動しながら観測をし、空間的な分

布を調べる方法がある。両者を組み合わせて観測を行い、時間・空間的な変化と分布を知ることが重要であるが、後者の方法は費用と人手が必要であり、前者の方法だけが使用される場合が多い。

琵琶湖でも事情は同じで、滋賀県や国によって湖内の数カ所に固定（係留式ののものもある）の観測所が近年になって設置され、一定地点における連続モニタリングが行われるようになった。しかし、データの空間的な分布を得るためのモニタリングは、調査船による限られた地点におけるものだけで、観測データの立体構造を議論できるほど密ではない。空間分布のモニタリングを行う場合、

常に問題になるのは、観測点の密度と観測に要する時間の関係である。分布の精度を上げようとするれば観測網を密にする必要があり、そのために多数の時間を必要とし観測値の同時性が乏しくなる。また観測の同時性を重視すれば、観測点が粗くなり分布の精度が悪くなる。両方を同時に満足させるためには、迅速な観測を可能にする測定器の開発と高速艇の使用が必要である。

モニタリングを行う項目としてはBODやCOD、懸濁物質(SS)、C、N、P濃度等、多数の調査項目(㈱日本水質汚濁研究協会, 1984)がある。しかし、化学的な項目はいずれも採水をして、ろ過するなどの操作を含むため、現場で簡単に、短時間にその値を知ることは困難である。しかし、物理的なセンサを使用すればこの困難を回避することができる。水質を簡単に測定できるセンサは限られているが、水温や濁度、電気伝導度などは比較的簡単に測定が可能である。あとで述べるように濁度はSS濃度に依存するので動植物プランクトンや鉱物などの懸濁態粒子濃度の指標に、また、電気伝導度は溶存イオン濃度の指標になる。両者を組み合わせたり単独に用いることによって湖の汚染の指標として利用でき、その観測は簡便な環

境モニタリング法となる。我々は、水温、濁度および電気伝導度を指標として、琵琶湖の環境モニタリングを行うためにTCT (Temperature, Conductivity and Turbidity) プロファイラを設計・製作し、実際にそれを琵琶湖の環境モニタリングに使用した。

この論文では、TCT プロファイラの構造と、濁度と電気伝導度の環境指標としての意味、および琵琶湖での観測結果について述べることにする。

2. TCT プロファイラ

製作したTCT プロファイラのセンサ部と、湖上での観測システムをFigure 1に示す。これは従来から海洋で広く使用されているケーブル式のSTDとは異なり、センサ部とデータ処理部が完全に分離されているので、特殊なワイヤを使用する必要がなくロープなどで簡単に船上から測器を昇降させることができる。センサ部をロープで水中に降下させると、圧力計によって検出された水深が0.5 m変化する毎に、自動的に水温・電気伝導度・濁度の値がセンサ部内の半導体メモリーに蓄えられる。湖底に達した後、センサ部を船上に回収し、処理部とケーブルで接続してデータを読み

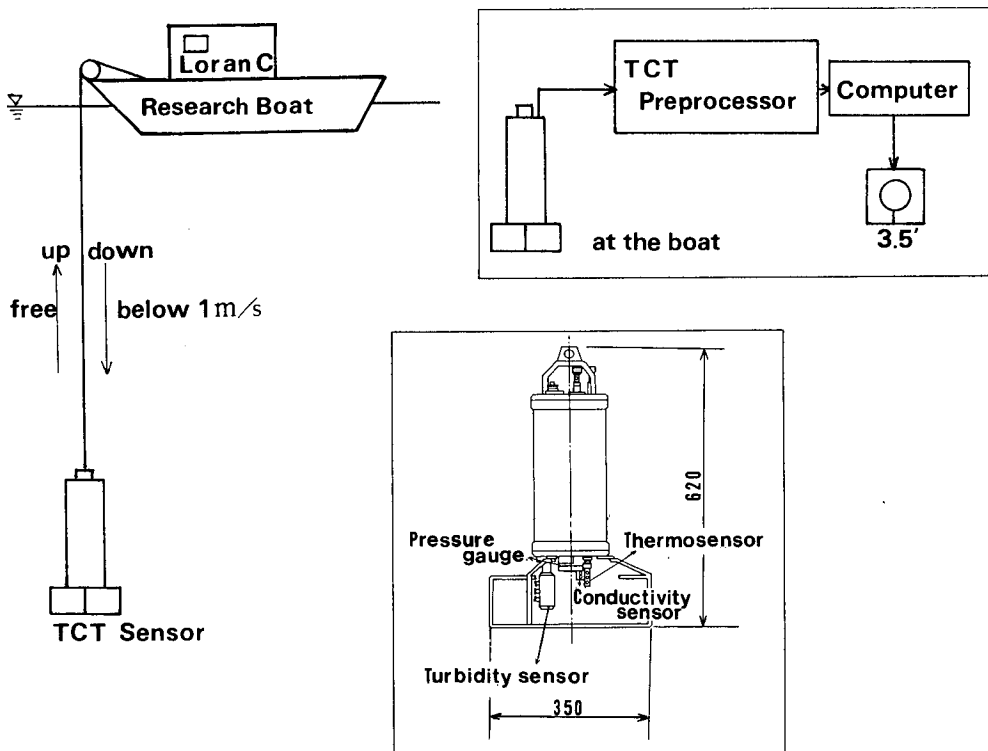


Fig. 1. Schematic diagram of the observation method and sensor unit of the TCT profiler.

Table 1. Characteristics of the sensors of the TCT profiler.

Sensor	Depth	Temperature	Conductivity	Turbidity
	Variable capacitance	Pt element	Four electrodes	Back scattering
Range	0~200m	-5~40°C	0~1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	0~120ppm
Accuracy	$\pm 22\text{cm}$	$\pm 0.05^\circ\text{C}$	$\pm 1\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	$\pm 1\text{ppm}$
Resolution	5cm	0.01°C	0.3 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	0.1ppm
Response(90%)	0.1sec	0.25sec	0.1sec	1sec

取る。読み取ったデータはラップトップ型パソコンに転送し、モニタを行うと同時にフロッピーディスクに保存する。観測に要する時間は水深 50 m の場所であっても、センサ部の水中での昇降に約 2 分、船上でのデータの読み取りに約 1 分と、従来に無い迅速な観測が可能である。

水温、電気伝導度、濁度、水深の測定に使用している各センサの特性を一括して Table 1 に示す。これらの特性は琵琶湖での観測を前提としたものであるが、他の淡水湖でも使用可能である。

水温センサは、白金測温抵抗体である。白金測温抵抗体は、温度計に良く使用されるサーミスタよりは低感度であるが直線性に優れているので精密測定に向く。温度の測定範囲は -5~40°C である。

電気伝導度の測定方式は四電極法である。海洋で電気伝導度を測定する場合には電磁誘導式 (AGAARD and van HAAGEN, 1963) が使用されるが、電気伝導度の小さい湖沼には適していない。淡水の電気伝導度の測定には電極を使用した方式が良く用いられ、使用する電極の数によって、2 電極法や 4 電極法 (鹿野ら, 1985) などがある。電極の数が少ないほど構造が簡単であるが、電極汚染の影響が大きいので精度の維持には注意が必要である。野外で使用する測定器の場合には、構造が少し複雑になるが、電極汚染の影響が小さく、出力特性の直線性に優れている 4 電極法が適している。電気伝導度計の校正は KC1 水溶液で行った。測定範囲は 0~1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ である。電気伝導度の値は水温によって変化するので温度補正を行う必要がある。電気伝導度の温度係数を 2.3% として、必要に応じて 18°C か 25°C の値へ補正している。この論文では特に断らない限り 18°C へ補正した値を用いている。

濁度の測定は近赤外線 (940 nm) の後方散乱光の強度から求める光学式である。超音波を用いた濁度計もあるが、一般に低濁度である湖沼での使用には適していない。光学式濁度計には透過光方

式や散乱光方式、あるいは両者を組み合わせた方式等がある (荒木・高橋, 1976)。ここで採用した後方散乱光方式は、構造が簡単で、感度が高く、出力特性が線形という利点がある。近赤外線は水中での透過率が可視部の約 1/10 であるから、外乱光の影響を受けにくく、また、発光・受光素子に性能の高いものが多く、センサを製作するのに都合がよい。濁度計の校正は通常のカオリンを用いて行った。測定範囲は 0~120 ppm である。

センサ部の水中重量は 6.5 kg であるので、ウインチがなくても人力で容易に昇降ができる。センサ部の水中での降下速度は、最も応答速度の遅いセンサ(ここでは濁度)に依存するが、Figure 1 に示すように各センサが下部に配置されていることにより水との接触が容易になり、毎秒 1 m 程度の速度で降下させても充分なデータが得られる。海洋観測では 1~5 m 間隔ごとの観測が通常であるが、琵琶湖の夏期や河口域では鉛直方向に水質が急変することがあり、0.5 m 間隔毎にデータを取得している。濁度センサの応答は遅いので、濁度に関しては解析に使用するのは 1 m 間隔毎のデータである。本器は水中を降下するときだけにデータを取得するので、センサ部が着底した後は高速で回収ができ、観測に使用する時間が短縮できる。

3. 湖沼環境指標としての濁度と電気伝導度

濁度は、一般に水中の懸濁物 (SS) 濃度を反映するといわれているが、SS には湖内で生産される動植物プランクトンと、湖に流入した土壌粒子が含まれている。その組成や分布は季節や水域、水深の違いによって様々に変化し、赤潮発生時や大雨後には特異な状況を呈する。

夏期の琵琶湖の湖心部で TCT プロファイラの観測と同時に各層の採水を行い、実験室での処理によって得た SS 濃度と濁度との関係を Figure 2 に示す。濁度と SS 濃度の間には、○で囲んだ部分を除いて良い直線関係があり、その回帰式は SS 濃度を $S(\text{mg}\cdot\text{l}^{-1})$ とし、濁度を $T(\text{ppm})$ とすれば

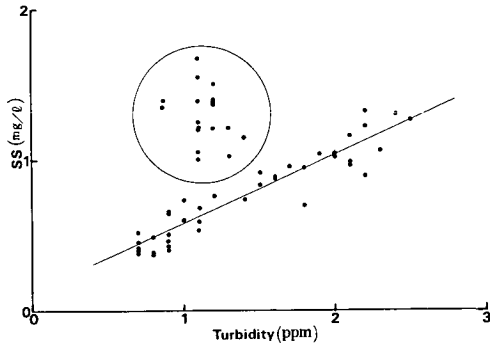


Fig. 2. Relation of the concentration of SS (Suspended Substance) to the turbidity.

$$S = 0.126 + 0.455 \cdot T \quad (1)$$

となる。相関係数は 0.93 で大変高い。○で囲んだ部分は、成層期の表水層の場合で、SS の灼熱減量が 65% 以上もあることから、主として植物プランクトンを捉えたものと考えられる。

SS の灼熱減量が 65% 以下の場合には、(1) 式で示すようにカオリン濁度と SS 濃度には極めて良い対応関係がある。成層期の深水層や、植物プランクトンのあまり多くない非成層期には濁度の値から SS 濃度が推定できる。植物プランクトンは一次生産の重要な位置を占めているが、その濃度はこの濁度センサでは精度良く測定できない。しかし、成層期の表水層でも懸濁物の濃度の目安にはなる。植物プランクトンの濃度を求めるためにはバリオセンサや蛍光光度計 (角井ら, 1991) を用いればよい。

海水の塩分量は電気伝導度から求められている (気象庁, 1970) ことから分かるように、電気伝導度は水中の溶存イオン濃度によって定まる。湖沼の電気伝導度は汽水湖を除いては海洋に比較してはるかに小さく、環境指標として今まではあまり使用されていなかった。濁度の場合と同様に、TCT プロファイラの観測と同時に採取された湖水の分析結果から得られた、電気伝導度とイオン濃度の関係を Figure 3 に示す。これは、琵琶湖芦川河口周辺における主要イオン (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) の総濃度と、電気伝導度の関係を表すグラフである。イオンの総濃度とは、 $\text{meq} \cdot \text{l}^{-1}$ で表した主要イオンの濃度を単純に合計したものであり、各々のイオンの電気伝導度への寄与率は考慮にいれていない。各々の測定値で各イオンの濃度に差異があるにもかかわらず、両者の間には比較的良い直線関係が存在する。回帰式はイオン濃度を I ($\text{meq} \cdot \text{l}^{-1}$) とし、電気伝導度を C ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) とすれば

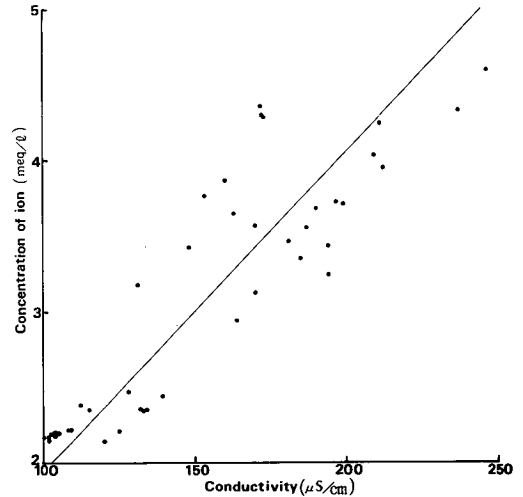


Fig. 3. Relation of the concentration of major ions to the electric-conductivity.

$$I = -0.275 + 0.0218 \cdot C \quad (2)$$

となる。相関係数は 0.90 である。したがって、(2) 式を用いれば電気伝導度の値から総イオン濃度をかなり正確に推定することができる。

4. 琵琶湖における水温・電気伝導度・濁度の観測

4-1. 観測の方法

TCT プロファイラを用いて琵琶湖全域の環境モニタリングを、1989 年 5 月から 1990 年 6 月までの約一年間にわたり、月に一回 2 日連続して実施した。観測を実施した月日と、各日の総観測地点数を Table 2 に示す。観測を予定していた地点数は後でも述べるように 58 であるが、天候の急変や機器のトラブルにより、それよりも少なくなっている場合がある。

琵琶湖に Figure 4 に示すような 9 本の観測線を設定し、各測線上に 2 km 間隔で観測点を設けた。各測線は、過去に琵琶湖で行われた研究で使用された測線 (岡本, 1971) を参考にし、琵琶湖北湖全域を均等に覆うように決定した。塩津湾と琵琶湖大橋および南湖の 3 測点を加えて、全部で 58 地点になる。観測は、巡航速度 20 ノットの「清流 II」(滋賀大学湖沼実習施設所有) を用いて行われ、測点の正確な位置はロラン C 航法装置で求めた。

4-2. 定点における季節変化

水温・電気伝導度・濁度の定点における季節変化を Figure 5 に示す。

データは Figure 4 上に ▲ で示されている第 3

Table 2. List of observations in Lake Biwa during 1989-1990.

Date	Total Stations
20 May.1989	53
21 May.1989	50
16 Jun. 1989	58
17 Jun. 1989	54
14 Jul. 1989	58
15 Jul. 1989	58
2 Aug. 1989	58
7 Aug. 1989	58
15 Sep. 1989	57
16 Sep. 1989	47
14 Oct. 1989	51
17 Nov.1989	58
18 Nov.1989	58
14 Feb. 1990	58
15 Feb. 1990	27
5 Apr. 1990	10
6 Apr. 1990	58
25 Jun. 1990	55
26 Jun. 1990	58

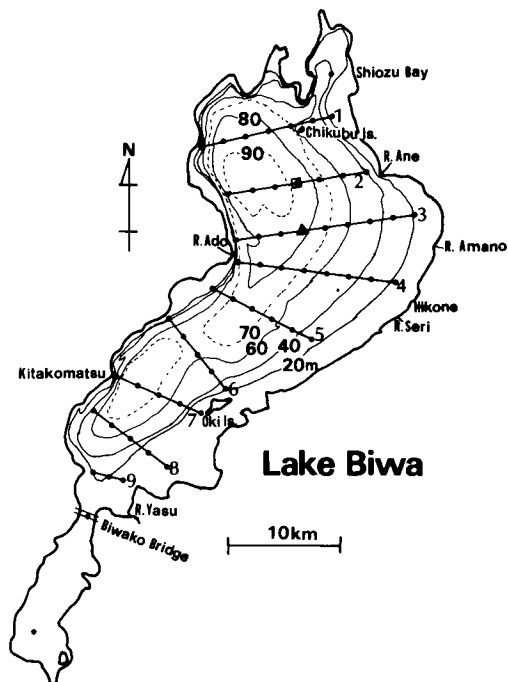


Fig. 4. Bathymetry map of Lake Biwa and the locations of the observation sites.

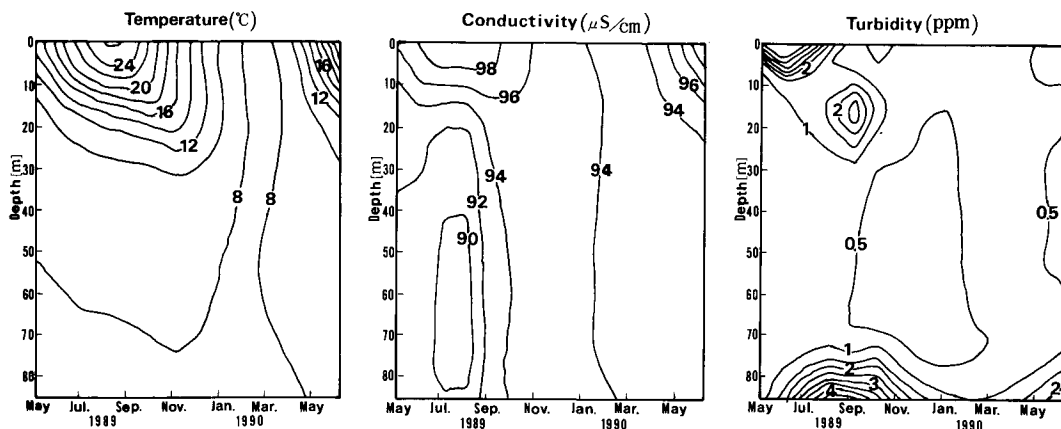


Fig. 5. Seasonal changes in water temperature (left), electric-conductivity (middle) and turbidity (right) at fourth site from the west coast on the survey line 3 of Fig. 4 from May 1989 to June 1990.

測線の西岸から4番目の観測点のものであり、水深は85mである。左から順に水温・電気伝導度・濁度である。

水温の季節変化は通常琵琶湖北湖で見られるもので、夏季には顕著な成層があることが分かる。底層水の常時の水温は7°C位であるが、1990年には8°Cを越えている。これは1990年の冬が暖冬のため湖北の積雪が少なく、また平均気温も高かつ

たことによって、冷水の流入が少なかったことによるのであろう。

電気伝導度は、成層期の表層で大きくなり弱いながらと水温と同じく成層をしている。水温成層により湖水の鉛直循環が抑制され、上下の混合が妨げられることによって水質も成層するためであると思われる。

濁度の値は6月頃の表層と、成層期の底層を除

いて余り大きくはない。6月の表層で濁度が大きくなるのは植物プランクトンの増殖によるものである。1989年の9月の20m層付近で大きな値を示しているのは、あとで述べるように姉川から洪水に伴う高濁度水塊が流入したためである。成層期の底層で大きな値を示す部分は湖底高濁度層と呼ばれ、現在、琵琶湖の水質形成の問題と関連して、その成因と維持機構の研究が大きな課題になっている。

4-3. 水温・電気伝導度・濁度の空間分布

琵琶湖を1km間隔のメッシュに分割し、各観測値を計算によってメッシュの交点上の値に補間した。補間法は、メッシュに近い観測点を5個選びだし、メッシュ点と観測点との距離の2乗の逆数を重みとした加重平均である。

水温・電気伝導度・濁度の深さ5m毎の各月の平面分布図をFigure 6~8に示す。電気伝導度と濁度の表面での値はやや信頼性にかけるのでここには示してない。その代わりに湖底上1mの分布図を示してある。

電気伝導度については地域的な差はあまりみられない。安曇川の電気伝導度は湖水より小さいが、その影響を受けて、安曇川沖で湖水より電気伝導度の小さい水塊が見つかる場合があった。また、Figure 7の9月の15m層を見れば分かるように、洪水による流入水の電気伝導度は湖水より小

さく洪水の特徴を良く表している。しかし、流域に石灰岩地帯を有する東岸の河川(姉川・天野川・芹川など)は電気伝導度が湖水より大きいのが特徴であるが、河川流量が小さい場合には、その影響はこの調査では分からなかった。

濁度の空間分布の特徴は、南湖と接続する部分と河川水の影響があるところでは大きな値を示すことである。特に野洲川の沖ではいつも大きな値を示している。また、1988年の9月には主として姉川と野洲川から流入した洪水による低温の濁水塊が温度躍層に貫入し、湖流に乗って湖中へ進入して行く様子を捉えることができた。その様子は、濁度の平面分布図であるFigure 8の15,20m層の図を見れば良く分かる。この件に関しては節をあらためて後ほど述べることにする。

4-4. 水温分布から見た環流の季節変化

Figure 6の水温の平面分布を見ると、湖の中心部に周囲と比較して水温の低くなっている部分が存在する。水温が周囲より低いのは水温躍層が浅くなっているためであって、地衡流の性質を持った流れが存在することを示している。これは第一環流と呼ばれる反時計廻りの水平循環流であり、琵琶湖の成層期に存在する一番規模の大きな流系である(奥村・遠藤, 1985; ENDOH and OKUMURA, 1993)。

水温の鉛直分布より求めた湖面における力学的

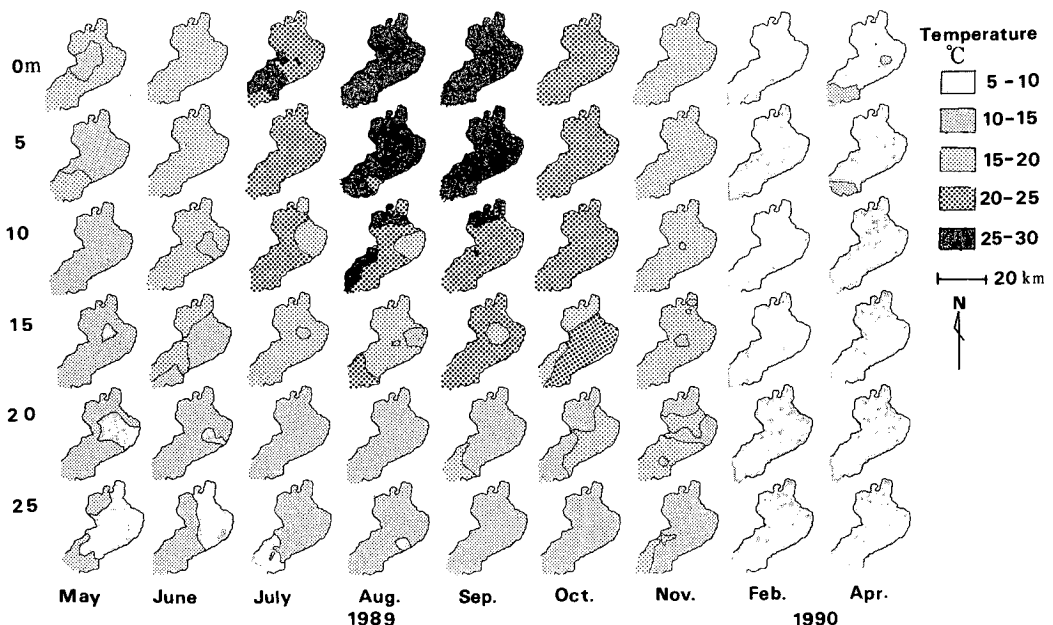


Fig. 6. Seasonal changes of horizontal distributions in water temperature at the depths of every 5m from May 1989 to April 1990.

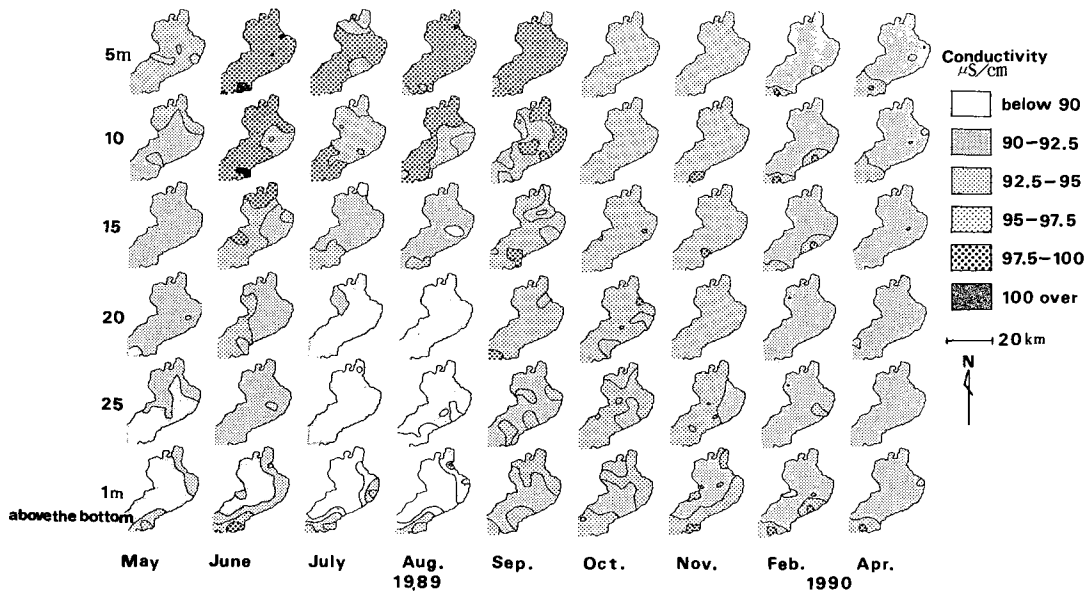


Fig. 7. Seasonal changes of horizontal distributions of electric-conductivity at the depths every 5m, and 1m above the lake bottom from May 1989 to April 1990.

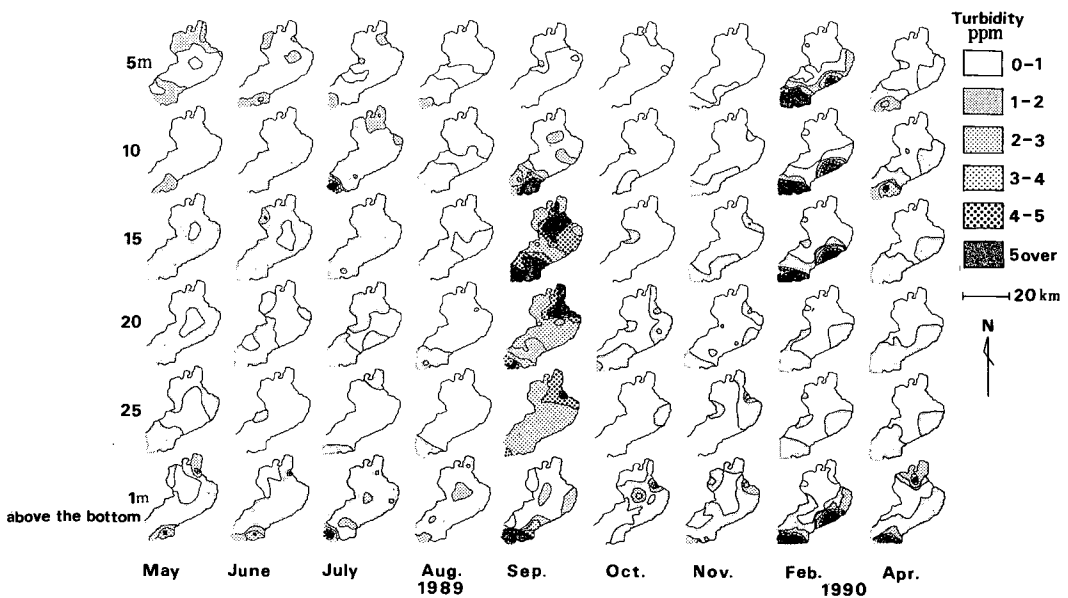


Fig. 8. Seasonal changes of horizontal distributions of turbidity at the depths every 5m, and 1m above the lake bottom during May 1989 to April 1990.

高度 (30 db 面に準拠) の平面分布を Figure 9 に示す。Figure 9 の等値線が環状に閉じている部分に第一環流が存在し、その中心部では力学的高度が低くなっていて、温度躍層が浅くなっていることを示している。Figure 9 の 5 月の図を見れば、既に第一環流が存在していることがわかり、その後

水温や貯熱量の変化 (岡本, 1993) と同じく徐々にその勢力が大きくなり、9 月には最大になる。10 月のデータは一日分しかなく、Figure 9 からははっきりとした環流は捉えられていない。しかし、11 月でも規模は小さいながらも第一環流は存在したことが分かる。

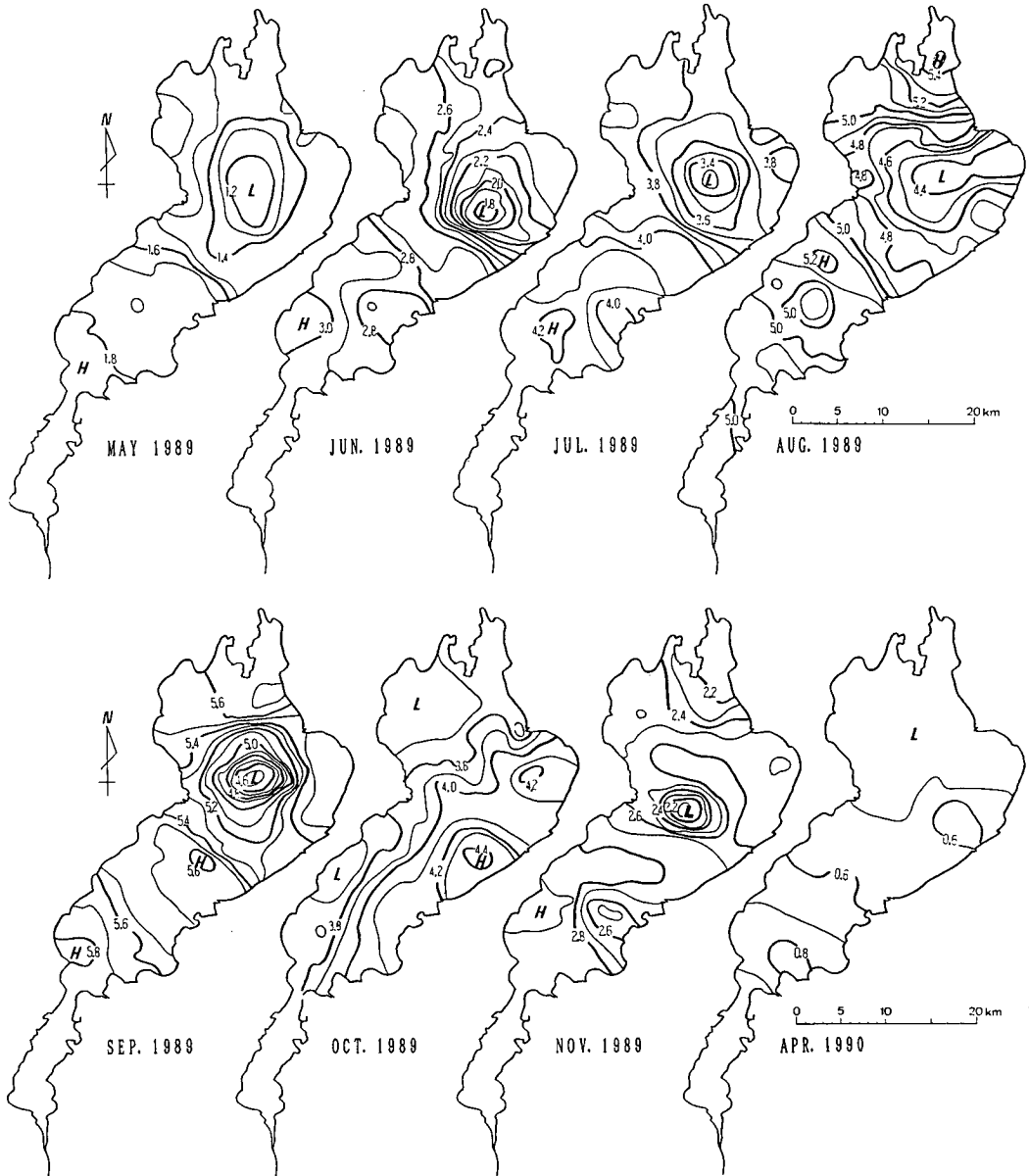


Fig. 9. Seasonal changes of dynamic topographies (in dynamic centimeters) at the lake surface referred to 30dbar surface from May 1989 to April 1990.

琵琶湖には第一環流の他に、時計廻りの第二環流が第一環流の南に比較的安定して存在することが知られている (ENDO and OKUMURA, 1993)。Figure 9 を見ると、第一環流の南側に力学的高度の高い水域が存在することが多いのが分かる。しかし、時計廻りの環流は、力の釣り合いとして、遠心力とコリオリ力が逆向きであるため、圧力傾度力、すなわち力学的高度の分布としては現れにくい。

4-5. 洪水に伴う河川からの濁水の流入

先にも述べたように、今回の観測において大規模な河川水の流入状況を捉えることができた。それは、1989年9月13、14日に台風19号がもたらした大雨に伴う洪水によって、姉川から大量の低温濁水塊が温度躍層に貫入していく場合である。濁水が湖心部まで湖流によって移動して行く様子を Figure 10 と 11 に示す。観測は9月15日と16日に行われ、Figure 10 は15日における深さ17 m

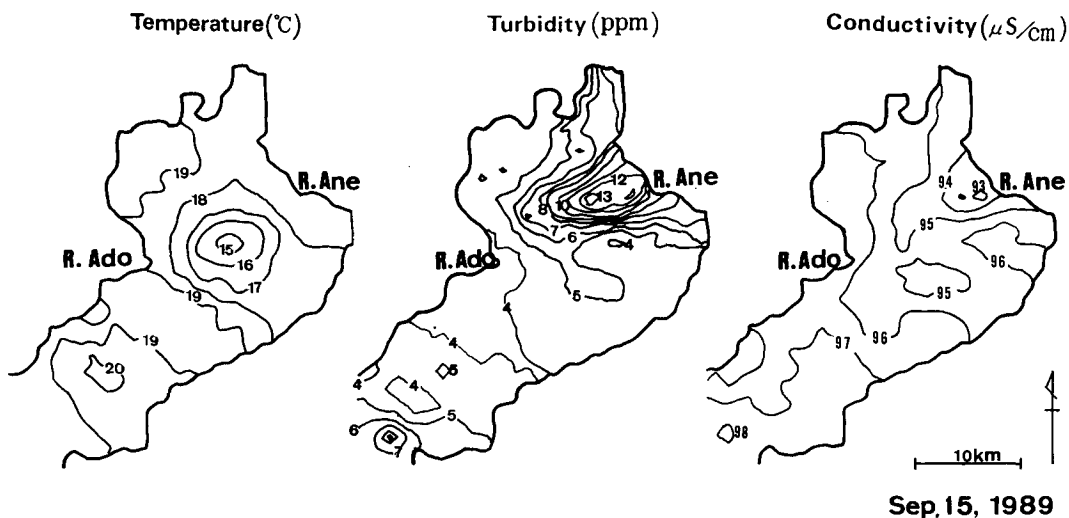


Fig. 10. Horizontal distributions of water temperature (left), turbidity (middle) and electric-conductivity (right) at the depth of 17m on September 15, 1989.

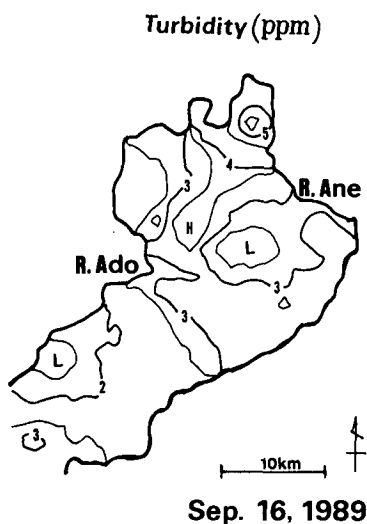


Fig. 11. Horizontal distribution of turbidity at the depth of 21m on September 16, 1989.

層の水温・濁度・電気伝導度の平面分布である。Figure 11はFigure 10より約20時間後の16日の21m層における濁度の平面分布であり、濁水塊が西岸の安曇川沖にまで移動していることを示している。また、Figure 12は15日の第3測線上の鉛直断面内の水温・濁度・電気伝導度の分布であり、濁水が温度躍層内に貫入していることが見てとれる。

Figure 10の電気伝導度と濁度の平面分布図を見ると、姉川から流入した低電気伝導度の濁水塊

が、第一環流に乗って湖の中心部へと進入している。そして、Figure 11の濁度の平面分布図に示すように20時間後には、反時計廻りに移動しながら安曇川沖に達している。姉川から流入した濁水塊のフロントの両日の位置差から湖流の速度を求めたところ、約 $5\text{ cm}\cdot\text{sec}^{-1}$ であり、この値は水温分布から力学計算によって得られた流速にほぼ等しい。

洪水は表面流出が主であり懸濁物を多く含むので濁度は大きくなるが、電気伝導度の値は小さくなる場合が多い。このことはFigure 10の電気伝導度の平面分布図に示されているが、そのことを確認するために9月15日の竹生島の南5kmの観測点（第2測線の西岸から4番目、Fig. 4の■印）における水温・電気伝導度・濁度の鉛直分布を描いたものがFigure 13である。この図を見れば温度躍層付近では濁度が大きく、電気伝導度の値が小さくなっていて、河川から流入した濁水であることを示している。また、濁度のピークが電気伝導度のピークよりやや深いのは、濁水が湖中に流入して流速が小さくなると、懸濁物が濁水から分離して沈降を始めるためであると考えられる。図は示していないが、16日の安曇川沖のデータを用いて鉛直分布図を描くとFigure 13と同じようになり、Figure 11の水塊は河川からの流入水であることが推定される。そして、濁度のピークは電気伝導度のピークよりさらに深くなっている。

この観測により、洪水流による低電気伝導度の

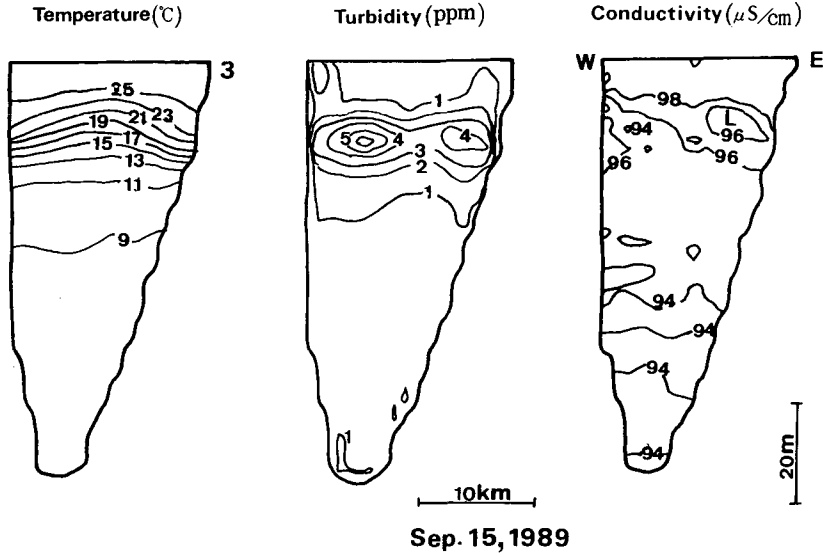


Fig. 12. Vertical-section of distributions of water temperature (left), turbidity (middle) and electric-conductivity (right) on the survey line 3 on September 15, 1989.

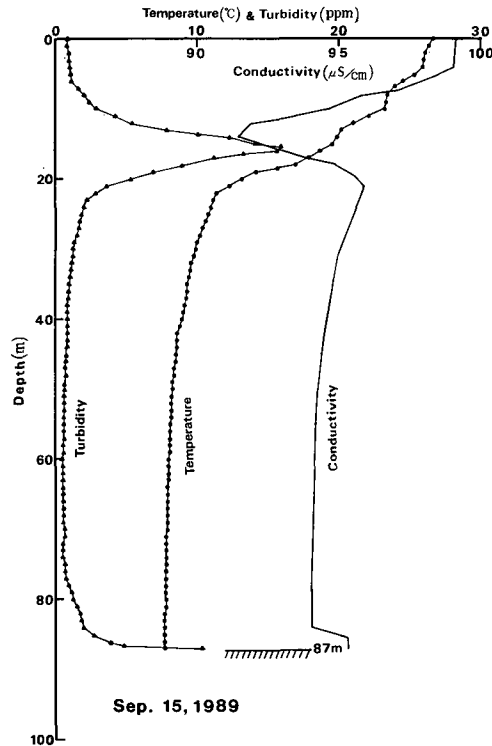


Fig. 13. Vertical profiles of water temperature, electric-conductivity and turbidity at the midpoint of the survey line 3 on September 15, 1989.

濁水塊が環流に乗り、湖の中心部まで運ばれている様子を初めて捉えることができた。

4-6. 湖底高濁度層

Figure 13 の鉛直分布図を見れば濁度の値が湖底近くで大きくなっていることが分かる。この湖底で濁度が大きくなる部分のことを湖底高濁度層

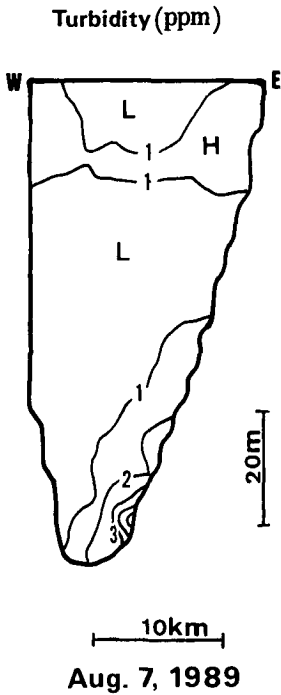


Fig. 14. Vertical-section of distributions of turbidity on the survey line 3 on August 7, 1989.

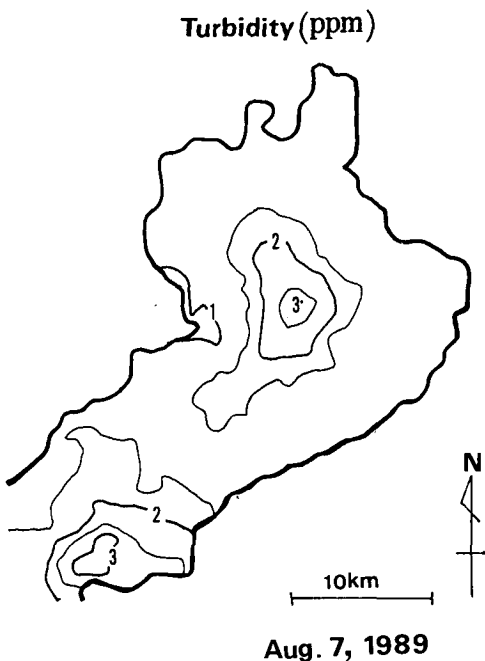


Fig. 15. Horizontal distribution of turbidity 1m above the bottom in the same time as in Fig. 14.

(benthic nepheloid layer) と呼んでいる。

底近くの高濁度層は、海洋で光散乱の増加する層として発見され、その後世界中の海や5大湖でも見つかって研究が進められている(例えば PLANK *et. al.*, 1972; MUDROCH, 1992)。また、日本でも瀬戸内海における谷本・星加(1991)や、前田ら(1987)の琵琶湖における研究がある。

Figure 14 は鉛直断面内の濁度の分布図であるが、この図を見ても高濁度層の存在は明らかで、湖心部で値が大きくなる。この図は測線3に沿った8月7日のものであるが、Figure 8の湖底上1mの濁度の平面分布の季節変化を見ても分かるように、成層期には常時存在している。

Figure 15 は、Figure 14と同じ8月7日の湖底上1mの濁度の平面分布を拡大したものである。この図を見れば北部の安曇川沖に濁度が周囲より大きくなっている部分がある。この濁度が大きくなる位置は第一環流の中心部の位置とほぼ一致している。濁度の大きくなる位置と、第一環流の中心部の位置が一致するのは、第一環流によって輸送、蓄積された懸濁物が環流の中心に集まってくるためであると考えられ、第一環流域の水が中心部に向かって収束している(ENDO, 1986)ことを示している。

謝 辞

この論文をまとめるに当たり、貴重なご意見をいただきました長岡技術科学大学の村田正男教授と滋賀大学教育学部の板倉安正教授、また、いつも御指導いただいている大阪電気通信大学工学部の山本淳之教授と岡本巖滋賀大学名誉教授、滋賀大学教育学部の川嶋宗継教授、ならびに観測に協力された大阪電気通信大学の大西良雄講師、および大阪電気通信大学と滋賀大学の学生諸君に感謝します。

なお、TCT プロファイラの製作には㈱ユニオンエンジニアリングとアレック電子㈱の協力を得た。

摘 要

濁度・電気伝導度・水温を深さ0.5m毎に測定できるTCTプロファイラを設計・製作して、琵琶湖全域の環境モニタリングを実施した。

TCTプロファイラは、迅速な観測が行えるので、船の漂流による誤差が少なく、高速艇を併用すれば密な観測網が設けられ、空間分布に関する詳しいデータを得ることができる。観測データは現場でモニタをすると同時に、フロッピーディス

クに格納するので、その後の処理・解析が容易である。また、軽量小型であることから、特殊な巻き上げ装置を必要とせず普通のロープで容易に観測が行える。

環境指標としての濁度と電気伝導度について検討を加えた。その結果濁度は成層期の表層を除いた懸濁態粒子の濃度に、電気伝導度は溶存イオンの総濃度に良く対応することが明らかになった。

TCT プロファイラを使用して琵琶湖北湖全域のモニタリングを継続的に行い、水温・電気伝導度・濁度の時間、空間分布を調べた。水温は春から秋にかけて表層が高く底層に近づくほど低くなり成層をする。成層期には水温分布の立体構造から流れの状態を推定することができ、地衡流の性質を持った第一環流の存在が15m深の水温の平面分布上に一番良く表れている。5月には第一環流は存在し、その後水温の上昇と共に勢力が増大し9月に最大になる。そして、11月にも弱いながらも存在している。

電気伝導度の空間分布には特に興味をひく特徴はなかったが、夏の表層では電気伝導度が $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 以上になるのに対して底層では $90 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 以下の値を示し、弱いながらも成層していることが分かった。これは水温の成層によって、湖水の鉛直循環が妨げられることによるものと思われる。

濁度は成層期の表層付近と湖底直上で大きな値を示した。底層の高濁度層は主として成層期にだけ存在しているが、その平面分布で濁度が大きくなる位置と、第一環流の中心部の位置がよく一致する。

大雨の直後の観測では姉川と野洲川から流入した洪水が湖流にのって湖中へと分散して行く様子を捉えることができた。姉川からの濁水塊の移動速度は約 $5 \text{cm}\cdot\text{sec}^{-1}$ となり、環流による運搬であることが推定された。

文 献

- AAGAARD, E.E. and R. H. van HAAGEN (1963): A Probe Type Induction Conductivity Cell. p. 11-17, In Marine Sciences Instrumentation, 2. Plenum Press.
- 荒木 峻・高橋昭共編 (1976): 濁度. 「水質汚濁の自動分析」化学同人: 169-184.
- ENDO, S. (1986): Diagnostic Study on the Vertical Circulation and the Maintenance Mechanisms of the Cyclonic Gyre in Lake Biwa. *J. of Geophysical Res.*, 91-C1: 869-876.
- ENDO, S. and Y. OKUMURA (1993): Gyre System in Lake Biwa Derived from Recent Current Measurements. *Jpn. J. Limnol.*, 54: 191-197.
- 角井嘉美・斎藤俊幸・西本昭男・津田良平 (1991): 植物プランクトンの光ファイバセンシング. 日本陸水学会第56回大会講演要旨集: 34-35.
- 気象庁編 (1970): 塩分 (電気伝導度法). 「海洋観測指針」日本海洋学会: 168-174.
- MUDROCH, A. and P. MUDROCH (1992): Geochemical Composition of the Nepheloid Layer in Lake Ontario. *J. Great Lakes Res.*, 18: 132-153.
- 前田広人・三田村緒佐武・児玉哲夫・江口 充・来田秀雄・河合 章 (1987): 琵琶湖水の動態に関する実験的研究総合報告書(2) 第3章北湖における物質の沈降, 堆積, 分解, および溶出. 「滋賀県琵琶湖研究所研究報告」, 86-A05: 29-74.
- (社)日本水質汚濁研究協会編 (1984): 水質調査. 「湖沼環境調査指針」公害対策技術同友会: 115-146.
- 岡本 巖 (1971): 琵琶湖の湖流「琵琶湖国立公園学術調査報告書」同調査団: 177-213.
- 岡本 巖 (1992): 湖の熱収支. 「びわ湖調査ノート」人文書院: 38-46.
- 奥村康昭・遠藤修一 (1985): 琵琶湖における連続測流(1)一測流の方法と流況の概要一. 陸水学雑誌, 46: 135-142.
- PLANK, W. S., H. PAK and J. R. V. (1972): Light Scattering and Suspended Matter in Nepheloid Layers. *J. Geophys Res.*, 77: 1689-1694.
- 鹿野快男・長谷部信也・島村俊樹・田原虎次・藍房 和・渡辺兼五 (1985): 四電極法による導電率計と根系成長計測. 計測自動制御学会論文集, 21: 1072-1079.
- (著者: 奥村康昭, 大阪電気通信大学工学部, 〒575 四條畷市大字清滝 1130-70; 遠藤修一・角尾慶子・鷺見和也, 滋賀大学教育学部地学教室, 〒520 大津市平津 2-5-1; Yasuaki OKUMURA, Faculty of Engineering, Osaka Electro-Communication University, Ooaza Kiyotaki, Shijonawate, Osaka 〒575; Shuichi ENDO, Keiko KADOO and Kazuya SUMI, Department of Earth Science, Shiga University, 2-5-1 Hiratsu, Otsu 〒520)

1993年3月11日 受付

1993年7月2日 受理