

原著 [Original article]

野洲川河川水の分散

遠藤修一<sup>1)</sup>・奥村康昭<sup>2)</sup>・川嶋宗継<sup>1)</sup>・福山直憲<sup>1)</sup>・大西祐子<sup>1)</sup>  
中村直子<sup>1)</sup>・馬場礼子<sup>1)</sup>・田中聡子<sup>1)</sup>

Dispersion of Yasu River Water in Lake Biwa

Shuichi ENDOH<sup>1)</sup>, Yasuaki OKUMURA<sup>2)</sup>, Munetsugu KAWASHIMA<sup>1)</sup>, Naonori FUKUYAMA<sup>1)</sup>, Yuko ONISHI<sup>1)</sup>,  
Naoko MAKAMURA<sup>1)</sup>, Reiko BAMBA<sup>1)</sup> and Satoko TANAKA<sup>1)</sup>

Abstract

Continuous spatial observations of the water quality of Lake Biwa and the Yasu River were conducted during 1997 and 1999. The water quality of the river shows typical seasonal variations, though with sudden increases in turbidity and decreases in both temperature and electric conductivity after a heavy rainfall. A comparison of water temperature between the lake and river indicates a seasonal change of river water dispersion in the lake. The river water flows into the lake surface layer in spring, intrudes into the thermocline in summer and fall, and flows into the bottom layer of the lake in winter. Based on these results, the renewal time of lake water is estimated to be 17.03% a year. This value is the result of a poor renewal ratio in spring and an acceleration of water exchange in summer and fall. The intrusion of a considerable amount of river water into the thermocline caused by a typhoon is especially important for the rapid renewal of lake water.

**Key words:** Lake Biwa, Yasu River, water temperature, renewal time, seasonal change

摘 要

びわ湖に流入する野洲川河川水の分散を明らかにするために、2年間にわたって河川および湖内で水質の連続観測や移動観測を行った。野洲川では、水温や電気伝導度に明瞭な季節変化がみられ、台風などの大雨による増水時には急激な水温低下、濁度上昇、および電気伝導度の低下が観測された。河川とびわ湖各層との水温比較により、春季には河川水のほうが高温のため湖面に拡がるが多く、夏季から秋季にかけて河川水は水温躍層の中に貫入し、冬には河口付近で潜り湖底に沿って流入することがわかった。この結果を用いて、びわ湖水の入れかわりを評価したところ、17.03%/年という値が得られた。これは完全混合と非混合の中間の値であるが、河川水が春季には表層に流入することによる交換率の悪さと、成層期に水温躍層に貫入することによる入れかわりの促進をともに反映している。年間を通してみれば、成層期における大量の降水が湖水の入れかわりに対してきわめて大きな効果をもつことになる。キーワード：びわ湖、野洲川、水温、湖水の入れかわり、季節変化

(2006年6月15日受付；2007年1月27日受理)

<sup>1)</sup> 滋賀大学教育学部, 〒520-0862 大津市平津 2-5-1  
Faculty of Education, Shiga University, 2-5-1 Hiratsu, Otsu 520-0862, Japan (連絡著者 遠藤修一 E-mail: endoh@sue.shiga-u.ac.jp)

<sup>2)</sup> 大阪電気通信大学工学部, 〒572-8530 大阪府寝屋川市初町 18-8  
Faculty of Engineering, Osaka Electro-Communication University, 18-8 Hatsumachi, Neyagawa 572-8530, Japan

## はじめに

湖沼の水質は、湖内での物理学的・化学的・生物学的変化によって変動するものの、基本的には流入河川水の水質に大きく依存している。各々の河川水質は流域の地質や土地利用などによって特徴づけられるが、気象条件の違いによって質・量ともに著しい変化を呈する。したがって、河川水による湖沼の水質形成や生態系への影響などを正確に評価するためには、湖に流入する河川水の動態を長期的に追跡するとともに、湖内での河川水の分散過程を定量的に把握しなければならない。淡水湖に流入する河川水は主として河川水温と湖水水温との差によって流入深度が変化するが、この特徴的な現象が湖水中での物質循環や生態系に対してきわめて重要である(Lindell, 1980; 岡本ほか, 1990)。

筆者等は、びわ湖に流入する主要な河川の一つである野洲川を対象として、水文・水質観測を継続実施するとともに、びわ湖の水質や湖流を連続的に測定することによって、河川水の水質・流量の季節変化、河口域及び湖内における河川水の分散過程、さらには河川によってもたらされる溶存・懸濁物質の挙動について定量的な把握を行っている(奥村ほか, 1997, 2003a; 遠藤, 1999)。本小論では、びわ湖および野洲川において2年間にわたり実施した水質連続観測、およびその結果から評価される河川水の流入パターンの季節変化と湖水の入れかわりについて論じる。

## 方 法

1997年から現在に至るまで、毎月一回、TCTプロファイラとクロロテック(ともに(株)アレック電子製)を用いて、びわ湖の北湖南部水域から南湖北部水域にかけて移動観測を継続実施している。ここでは、おもに1997～1999年に実施した観測結果について報告することにし、Fig. 1に測点の配置を示す。この観測では、各測点において水温・電気伝導度・濁度の値を深さ0.5mごとの鉛直分布として取得した。各水質項目の測定精度は、水温0.05°C、電気伝導度0.1  $\mu\text{S cm}^{-1}$ 、および濁度0.1  $\text{mg L}^{-1}$ である。また、すべての測点では透明度、pH、風向・風速、気温、湿度などの観測も併せて実施するとともに、特徴的な水質分布がみられる水域においては各層の採水を行い、蛍光X線アナライザ(島津製作所)を用いて懸濁物質の化学元素分析(Al, Fe, P, S, Mn)を行なった。観測には、巡航速度約20ノットの調査艇『清流』(滋賀

大学所有)を使用し、各測点の位置はGPSにより決定した。

また、近江舞子沖(水深73m)の測点Aにサーミスタチェーンを設置し、1997年4月から2年間にわたり各層の水温の連続観測を行った(馬場ら, 1999)。自記水温計は、湖面(0m)、5m、10m、15m、20m、25m、30m、40m、50mおよび70mの10層に設置した。観測で使用した温度計はOnset Computer Corporation製のメモリー式温度計Optic StowAway Temp(測定精度は0.2°C)であり、データ取得の時間間隔は10分である。また、測点Aの南方約3kmの地点にブイ式の気象観測装置を設置し、風向・風速、気温、湿度の連続観測を実施した(奥村ら, 2003b)。

野洲川流域の水質を把握するために1997年9月から1999年8月まで毎月一回の割合で野洲川流路に沿った13地点で水温・電気伝導度・pH・透視度の観測を行った。また、びわ湖に流入する他の河川水の特徴と季節変化をとらえるために、愛知川、犬上川、姉川、安曇川において水温と電気伝導度の観測を1997年6月から1998年12月まで毎月一回実施した。観測に使用したのは、水温・電気伝導度計(CONDUCTIVITY METER CM-11P, 東亜電波工業(株)製)である。

野洲川河口から約3km上流に位置する服部大橋(Fig. 1の測点C)付近において、1997年6月から1998年5月までの毎日1回、水温・電気伝導度・pHを測定するとともに、透視度・水位等の観測を行った。引き続き、同じ地点において自記水温計による河川水温の連続観測を2年間にわたって実施した。温度計は、上記サーミスタチェーンで使用したものと同じで、測定間隔は10分である。

1997年夏には野洲川河口沖に自記流速計とセディメントトラップを設置し、流向流速、水温、懸濁物質の沈降フラックス、化学組成、および粒径を調べた。セディメントトラップにはアクリル製の円筒形(内径10cm、深さ30cm)のものを使用し、粒度分析にはレーザー回折式粒度分布測定装置(島津製作所)を用いた。

## 結 果

## 河川水の季節変化

1997年6月から開始した毎日の野洲川観測は、一日の欠測もなく1998年5月まで365日間連続で実施した。毎日の観測時刻は7:30頃を基本としたが、日によって多少の相違が生じている。Fig. 2は、1年間の水温と電

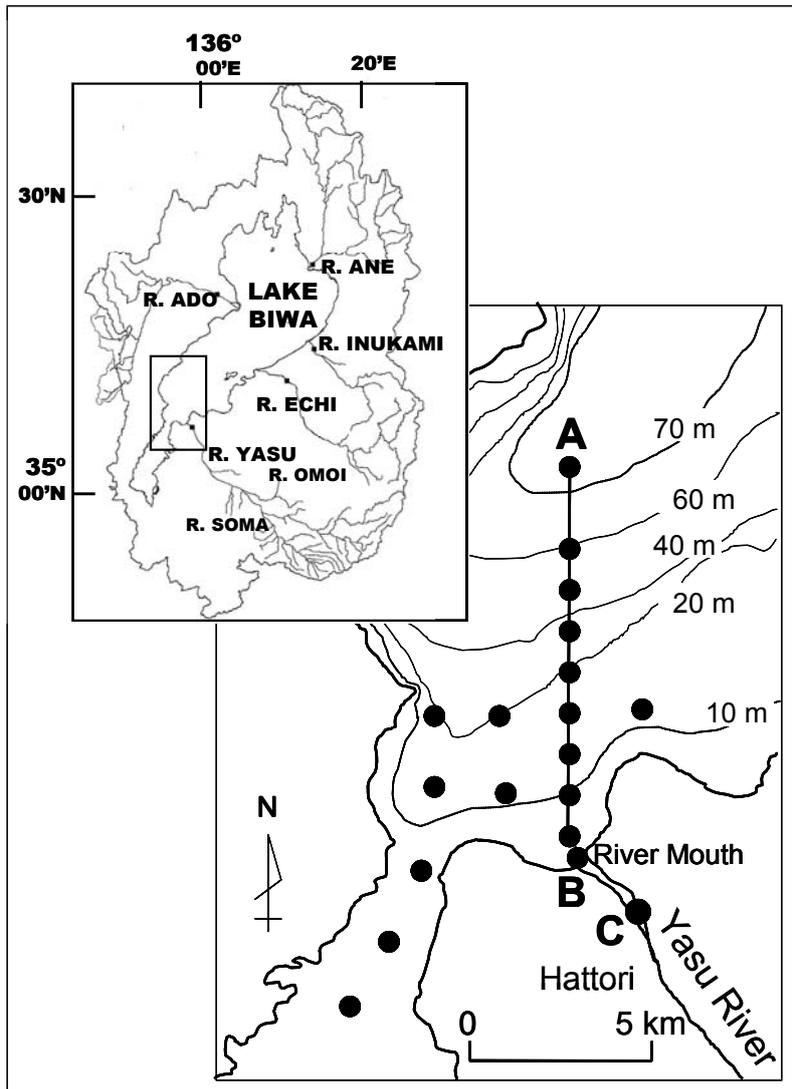


Fig. 1. Map of Lake Biwa showing observation stations.

図 1. 観測点の配置 .

気伝導度の変化を示したものであり、下段には野洲川上流のアメダス観測点である土山における日降水量を示した。電気伝導度は温度換算により 18℃の値を示す。

これをみると、野洲川河川水は 3～4 日程度の大きな変化を見せながら、典型的な季節変化を示している。電気伝導度について見ると、服部大橋付近における河川水は年間を通してびわ湖水の電気伝導度（約 105  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ）よりも高く、流量の少ない時期には 300  $\mu\text{S cm}^{-1}$  を越える値を示す。一方、まとまった降水があると、雨水による希釈効果が生じて河川水の電気伝導度は低下し、びわ湖水の電気伝導度を下回る場合もみられる。

野洲川流路に沿った移動観測からは、野洲川上流や支流の柚川では電気伝導度は 80～150  $\mu\text{S cm}^{-1}$  と比較的

低い値を示すが、支流の思川における 500  $\mu\text{S cm}^{-1}$  を超す高電気伝導度のために、本流との合流後には 200  $\mu\text{S cm}^{-1}$  程度になり、びわ湖水の約 2 倍の電気伝導度を保ったままびわ湖に注ぐことがわかった。思川の高電気伝導度の原因は、流域の工業団地からの排水と思われるが、今後さらに詳しい調査が必要である。

#### 河川水の分散

毎月 1 回の割合で実施した TCT プロファイラとクロロテックによる定期観測結果から、野洲川河口沖の鉛直断面における水温と濁度の分布を Fig. 3 に示す。測線は、Fig. 1 に示す測点 A と B を結ぶラインである。これらの分布から以下の点を指摘することができる。

春季（3 月から 6 月）には、河川水の方が湖水よりも

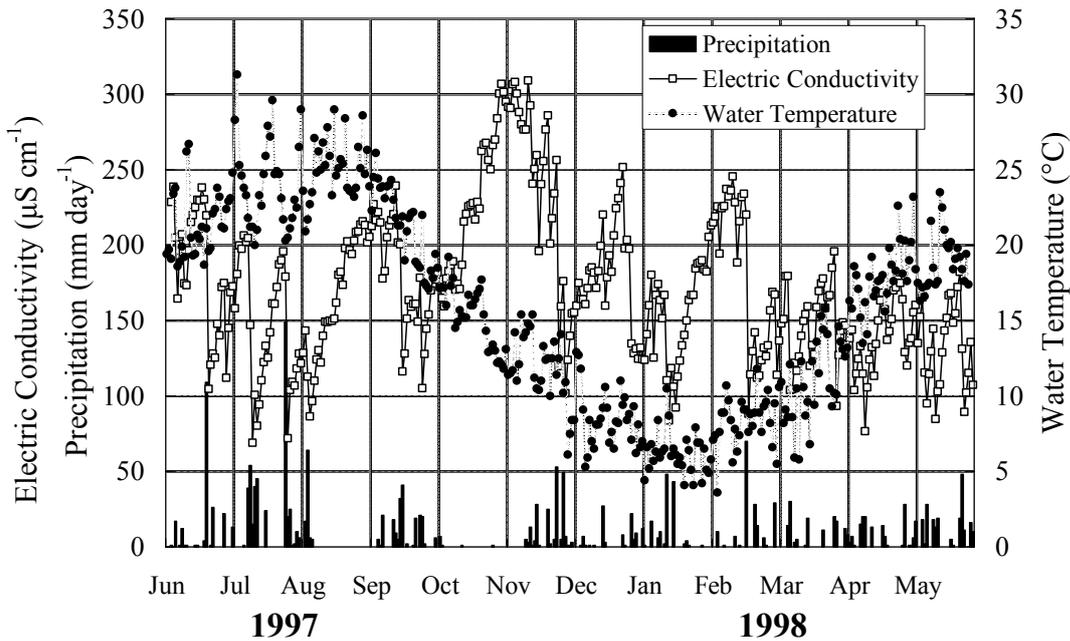


Fig. 2. Seasonal changes in water temperature and electric conductivity measured by 365-day routine survey.

図2. 野洲川服部大橋付近における365日観測で得られた水温と電気伝導度。

高温となる場合が多く、河口付近では河川水が湖面付近に拡がるように湖に流入する。一方、晩春になると夜間において河川水が湖水よりも低温となる場合が多くなることと、びわ湖で水温が成層しはじめるために河川水は河口付近で湖水の下に潜り、湖底に沿って湖に流入することが推定される。また、この時期には植物プランクトンのブルームが見られ、表層においてクロロフィル $a$ 濃度や濁度の高い分布が観測された。

夏季の7月から9月には、河川水の温度が湖水の表面水温より低くなることが多く、かつ湖底水温よりも高いために、河川水は河口付近で湖水の下に潜り、その後水温躍層の中に貫入していく様子が捉えられた。台風などの大雨後には、この傾向が顕著であり、後述するように高濁度で低電気伝導度の河川水が躍層に沿ってかなり沖合にまで達しているのが観測された。夏季における野洲川河川水の躍層への貫入現象はTanaka et al.(1996)によって報告されているが、鷺ほか(1997)とEndoh et al.(1998)は降雨後に河川から流入した土壌起源物質が湖底高濁度層の厚さや濁度の変動の原因であることを報告している。

秋季の10月から12月においては、水温躍層が20～40 mと深くなるが、河川水の流入様式は夏季の場合と同様である。すなわち河川水は河口付近で潜り、湖底沿いに沖へと進み、その後水温躍層に貫入する。なお、湖

面冷却や風による鉛直混合が発達するため、この時期には河口付近で鉛直方向によく混ざった濁度や電気伝導度の分布が見られることが多い。

冬季の1月から3月では湖面冷却と鉛直混合が発達し、水温は鉛直方向にほぼ一様となる。湖水よりも低温な河川水は河口沖で湖水の下に潜り、その後湖底の傾斜に沿って密度流として深層に流入している様子が見られる。2月中旬から3月にかけて河川水の温度は日中において湖水の表面水温より高くなるようになるが、夜間では逆に、春が近くなるにつれて河川水が日中には表層に、夜間には湖底に沿って流入するようになる。しかし、この時期のびわ湖ではまだ水温成層が弱いので、湖面冷却と風による鉛直混合によって結果的に河口付近の全層で濁度の上昇がみられる。

野洲川河口沖では、上記測線のほかにFig. 1に示す各測点においても観測を実施した。その結果、野洲川河川水が湖底に沿って流入する場合には、東岸に沿って北向きに流入していくことが多いことがわかった。このことは、1997年に実施した野洲川沖でのADCP (Acoustic Doppler Current Profiler; ドップラー式多層流向流速計)による曳航観測結果や野洲川沖に設置した流速計による測流結果(奥村ほか, 1998)からも野洲川河口沖において流入河川水の北流頻度が高いことが確認されている。このような流入パターンは河口密度流にコリオリ力が作

野洲川河川水の分散

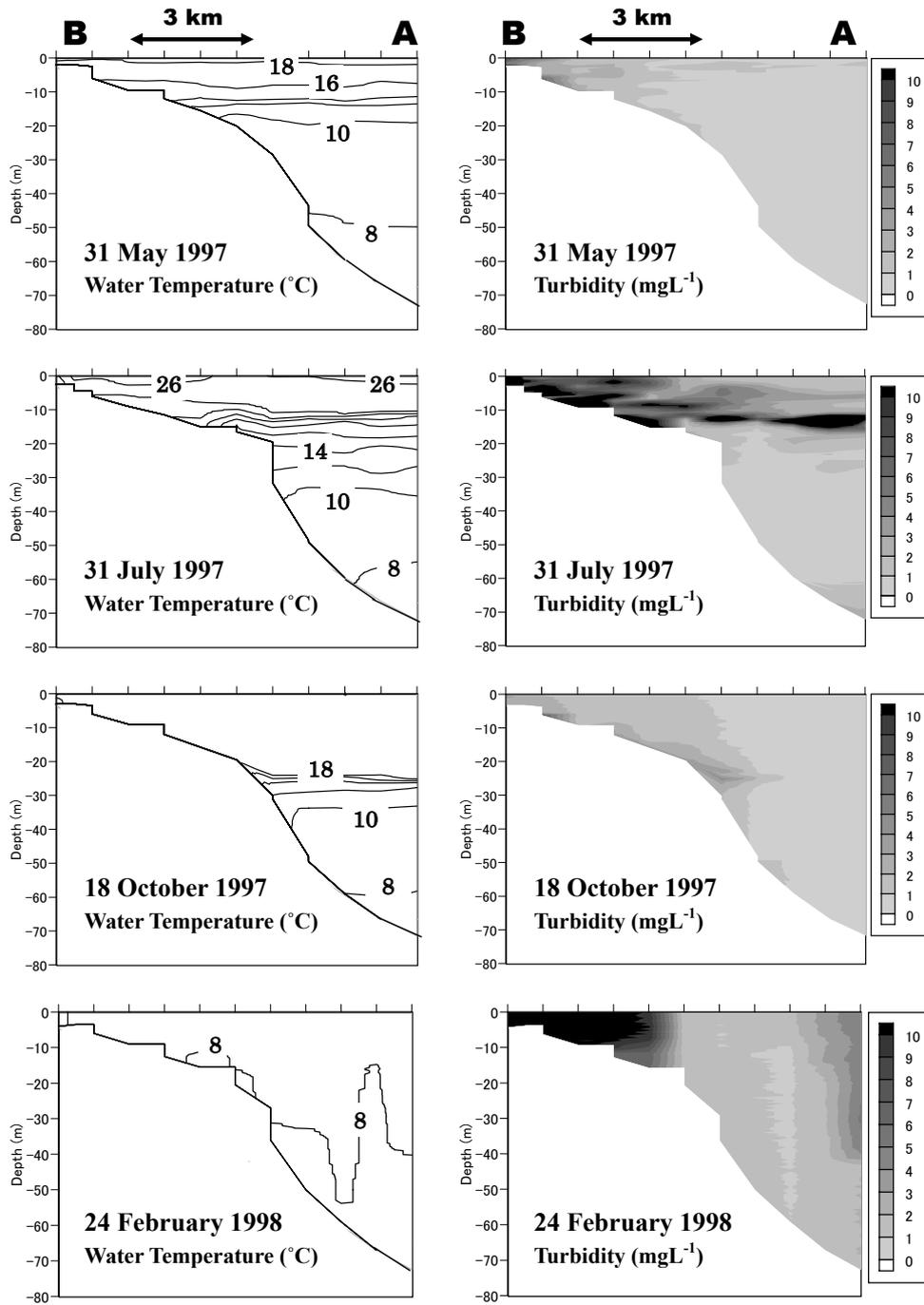


Fig. 3. Vertical section of water temperature and turbidity off Yasu River.  
 図3. 各季節における野洲川河口沖の水温と濁度の鉛直断面.

用した結果生じるものと考えられるが、さらに詳細な検証が必要であろう。一方、河川水がびわ湖の表層に流入する場合には、河軸の延長（北西）方向に向かって沖合に広がる場合の多いことが確認できた。

洪水時の河川水流入

1997年7月26日から28日にかけて、台風9号による大量の降雨があり、彦根では82mm、土山では194mmを記録した。この降雨により野洲川は増水し、大量の河川水がびわ湖に流入した。Fig. 4は、7月28日、31日、8月4日の測線A-Bにおける濁度と電気伝導度の鉛直二

次元分布を示したものである。7月28日にはすでに野洲川河口から沖合約5 kmまで濁水が拡がっており、河口での濁度は $250 \text{ mg L}^{-1}$ を越えている。同日の電気伝導度の分布は濁度とよく似ているが、大量の降雨によって河川水は希釈され、河口付近での電気伝導度の値は $80 \mu\text{S cm}^{-1}$ と通常よりかなり低く、かつびわ湖よりも低い値を示している。

7月31日の分布図を見ると、高濁度で低電気伝導度の水が水温躍層に沿って河口から10 km以上の沖合にまで達している。一方で、河口からは電気伝導度の高い水

が流入しているのを見ることが出来る。これはFig. 2で指摘したように、河川流量の減少に伴う電気伝導度の上昇である。8月4日の分布からは、やや沖合の水温躍層内に高濁度・低電気伝導度の水が存在することと、湖底高濁度層が発達しているようすを見ることが出来る。すなわち、大雨に伴う大量の河川水は湖内に流入後、一部の懸濁物は沈降するものの、全体として鉛直方向の拡散をあまり受けずに沖合に運搬されていくようである。一般に、河川水の分散を調べる場合に、保存性物質の性格を持つ電気伝導度を指標（トレーサー）とすることが多

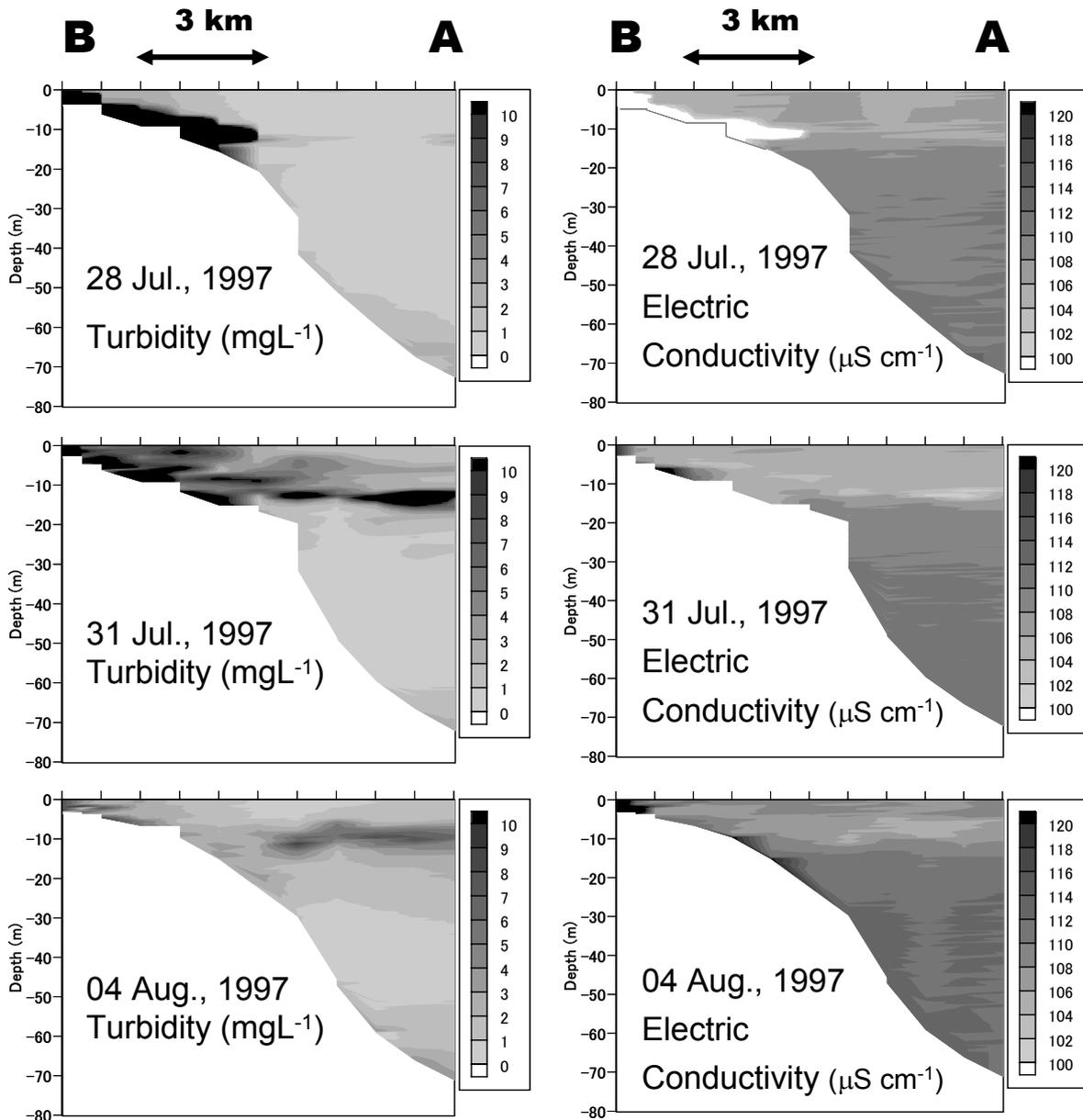


Fig. 4. Vertical section of turbidity and electric conductivity after heavy rainfall.

図4. 大雨後の野洲川河口沖における濁度と電気伝導度の分布（1997年7月28日、31日、8月4日）。

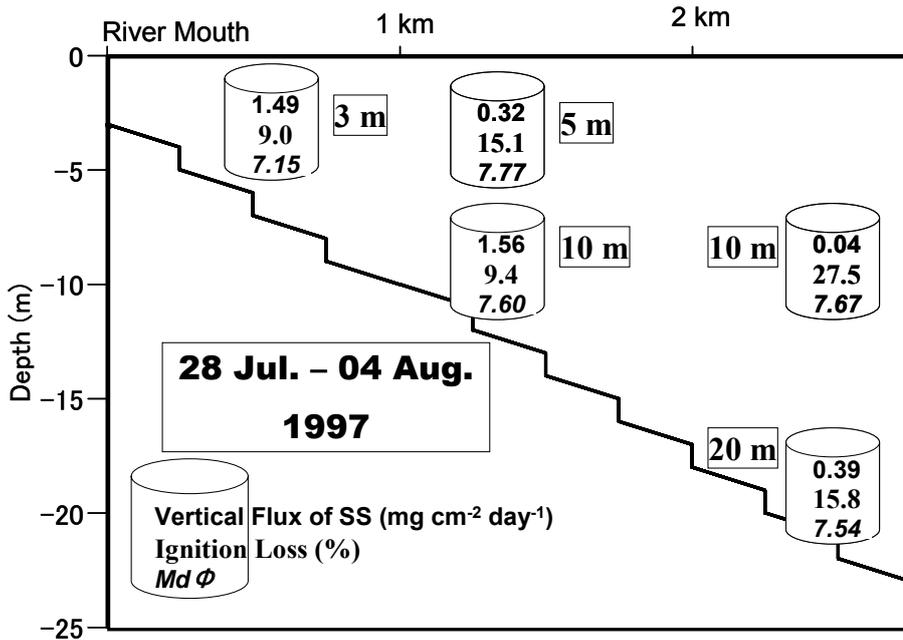


Fig. 5. Characteristics of suspended substance collected by sediment traps at the mouth of Yasu River. Numerals show vertical flux of suspended substance (upper), ignition loss (middle), and phi median diameter of particles (bottom).

図 5. 野洲川河口におけるセディメントトラップ観測結果。数字は、上段：懸濁物質の鉛直輸送フラックス、中段：強熱減量、下段：平均中央粒径を示す。

いが、大量の降雨後の河川水をトレースする場合には、希釈による電気伝導度の一時的な低下という現象に注意する必要がある。

Fig. 5 は 7 月 28 日から 8 月 4 日まで河口沖に設置したセディメントトラップによって捕集された沈降物の概要である。強熱減量をみると河口付近および底層の沈降物の大部分は無機物である。蛍光 X 線による元素組成分析結果をみると、懸濁物質中の Al, Fe, P, S, Mn の重量比は、それぞれ 5.40 %, 4.30 %, 0.12 %, 0.06 %, 0.28 % であり、懸濁物質の主成分が土壌起源の Al と Fe であることが明らかである。懸濁物の沈降フラックスについては河口および底層において大きな値を示し、平均中央粒径 (Md φ) の分布から比較的大きな粒子が岸近くで沈降しながらも全体としては湖底に沿って沖合に運搬されているようすをみることができる。

#### びわ湖と野洲川の水温比較

Fig. 6 は、自記温度計の記録から、河川水とびわ湖各層のそれぞれの日平均水温を 1 年間にわたって示したものである。びわ湖では、年間の最高水温は 8 月下旬の約 28°C で、最低水温は 2 月下旬から 3 月初旬に記録された約 8°C である。また、成層期において水温躍層付近の深さで、内部波によると思われる大きな振幅をもった水温

変動が卓越している。野洲川での最高水温は 7 月中旬の 28°C、最低水温は 2 月初旬に記録された 4°C であり、これらの出現時期はびわ湖より約 1 ヶ月早くなっている。

野洲川の河川水温とびわ湖の表面水温との関係に着目すれば、3 月から 7 月ごろまでは総じて河川水温の方が高く、8 月から 2 月まではびわ湖の表面水温の方が高くなっている。10 分ごとの水温記録を見ると、野洲川水温とびわ湖表面水温にはともに明瞭な日変化がみとれる。一例として 3 月上半期の 1 時間ごとの水温変化を Fig. 7 に示す。びわ湖の表面水温の日較差は 1°C 程度であるが、野洲川水温の日較差は 5°C に及ぶ。このように河川水温の日較差が大きいため日中と夜間で河川水温と湖水温の関係が逆転する場合も多い。

これらの水温計記録から、1 時間ごとの値を用いて野洲川河川水の流入深度を求めた。すなわち、任意の時間における野洲川河川水の水温が、同じ時刻のびわ湖のどの深さの水温と一致するかを調べ、これを月ごとに集計した。その結果を Fig. 8 に示す。この図は各月における河川水の流入深度の割合 (%) を示したものである。これを見ると、河川水は 1 月と 2 月には底層に流入し、その後 3 月から 5 月までは湖面に拡がるのがわかる。6 月から 8 月までは、表層と水温躍層に流入する機会が多く、9 月から 12 月までは圧倒的に水温躍層に流入する

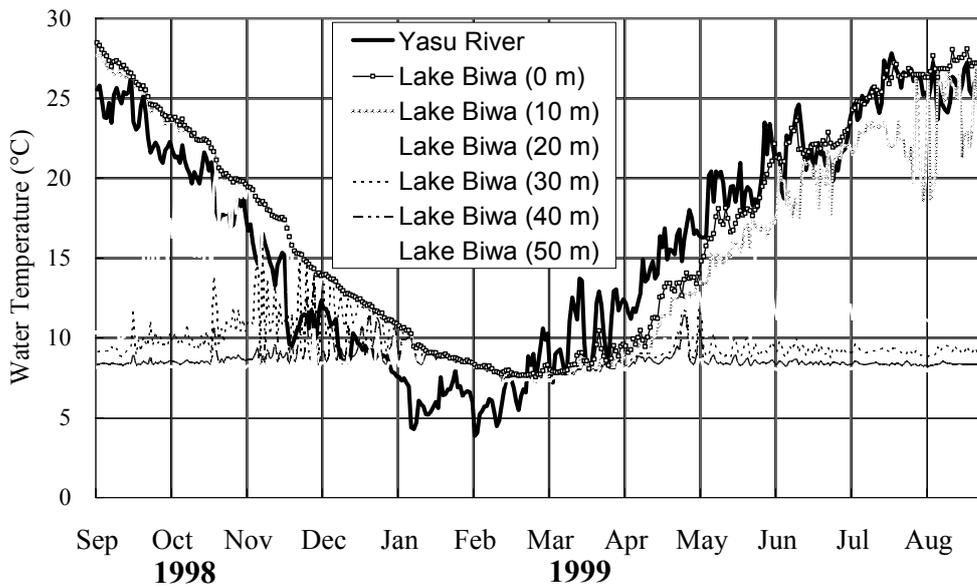


Fig. 6. Seasonal change in daily-mean water temperature of Yasu River and at several depths in Lake Biwa.  
 図 6. 野洲川水温とびわ湖各層水温の季節変化（日平均値）.

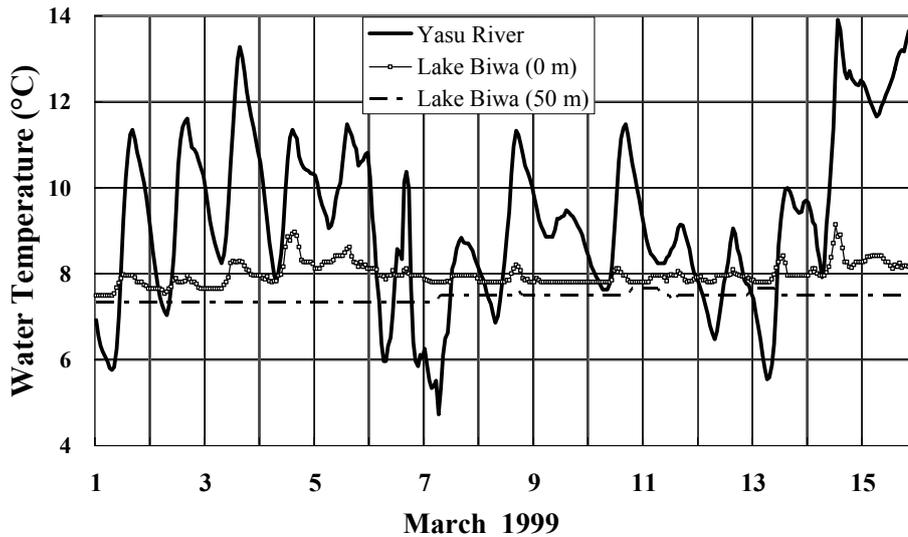


Fig. 7. Time changes in hourly measured water temperature of Yasu River and Lake Biwa.  
 図 7. 1999 年 3 月上半期における野洲川とびわ湖水温（1 時間ごとの記録）.

頻度が高い。

以上は流入頻度（割合）についての議論であり、びわ湖の各深さに流入する水量を求めるためには河川流量の時系列を知る必要がある。幸いにして、インターネットで野洲川の水位が公開されていたので（建設省, 1999a), これをダウンロードして、水位-流量曲線を設定することにより、河川流量を算出した。水位-流量曲線は公開されている前年度のもの（建設省, 1999b) を多少修正して決定した。1年間を通じた野洲川流域の降

水量、河川水位、流量、および水温の変化を Fig. 9 に示す。これをみると、9月と10月に平水位よりも約1 m 高い水位のピークがみられ、特に9月下旬には河川流量が  $300 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$  に達している。

野洲川河川水の流入深度（Fig. 8）と河川流量（Fig. 9）を用いて各月の河川水の流入深度別流量を計算によって求めた。結果を Fig. 10 に示す。この図から読み取れることは、1998 年の9月と10月にみられる大量の河川水の大部分はその月の水温躍層に相当する 10-20 m または

野洲川河川水の分散

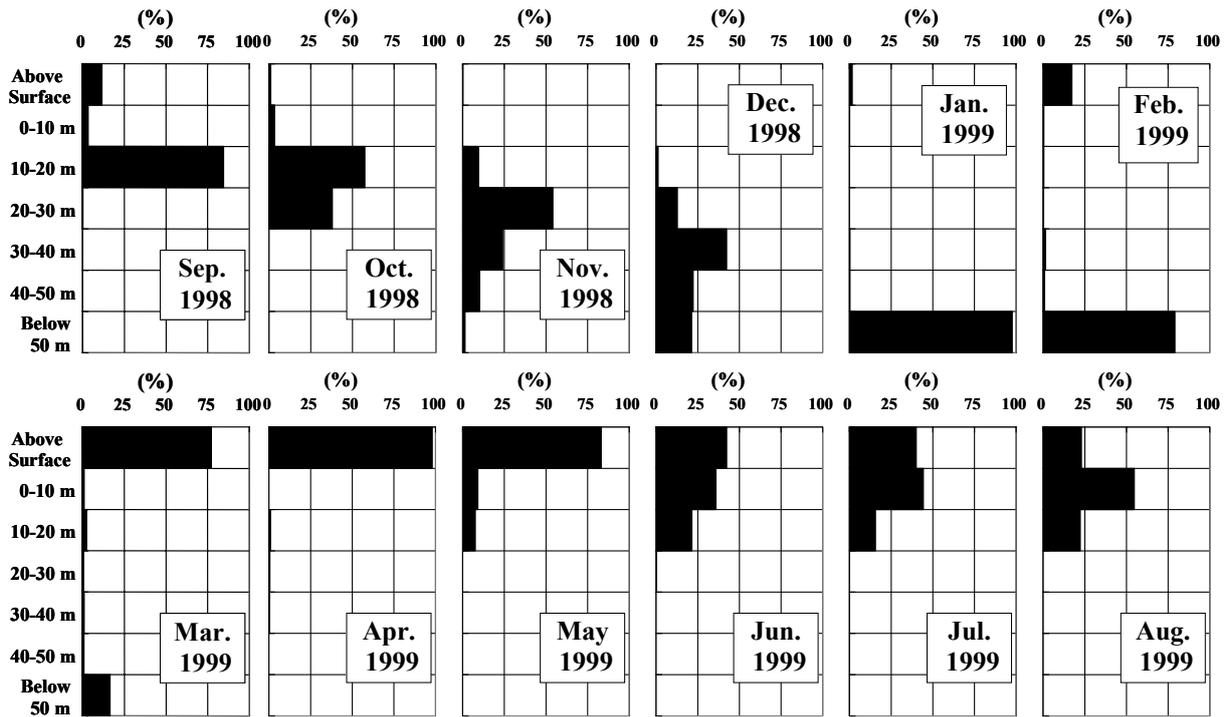


Fig. 8. Seasonal changes in flowing depth of river water into Lake Biwa.

図 8. 各月における野洲川河川水のびわ湖への流入深度別割合 (%)。

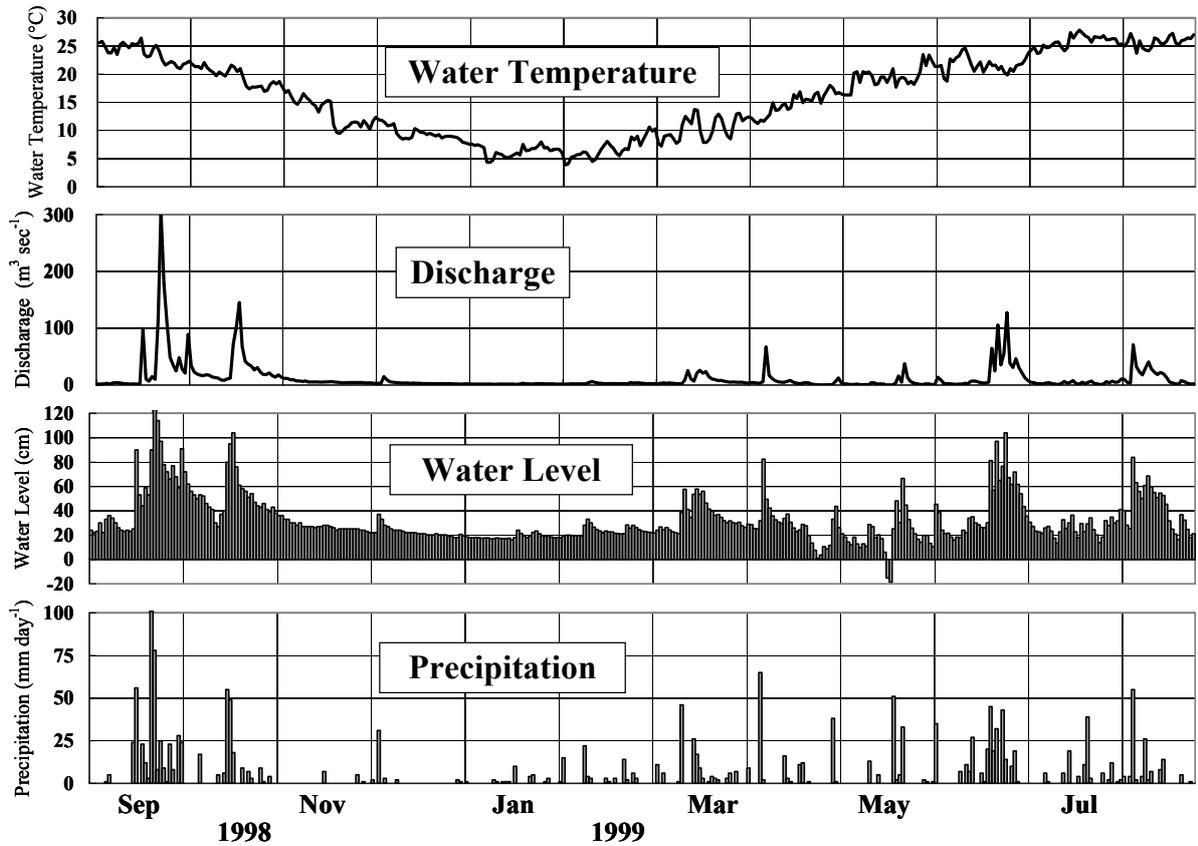


Fig. 9. Seasonal changes in precipitation, water level, discharge, and water temperature at Hattori (see Site C, Fig. 1).

図 9. 野洲川下流（服部大橋）における日降水量，河川水位，流量，水温の季節変化。

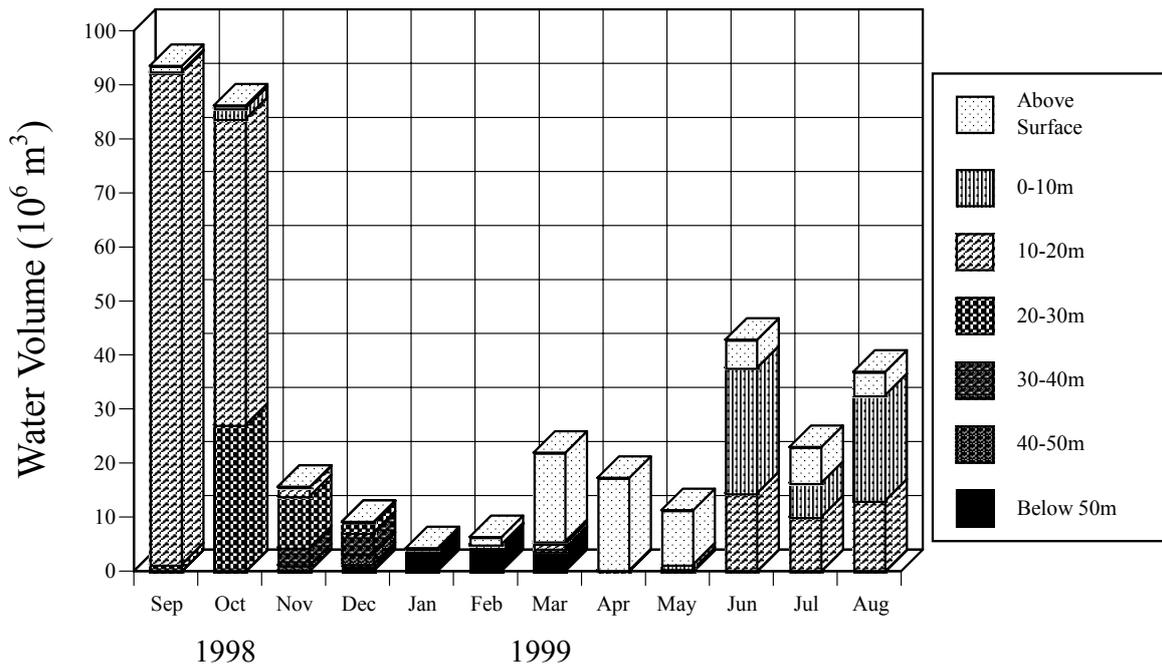


Fig. 10. Inflowing water volume at several depths of Lake Biwa.

図 10. びわ湖の各層に流入した野洲川河川水の量.

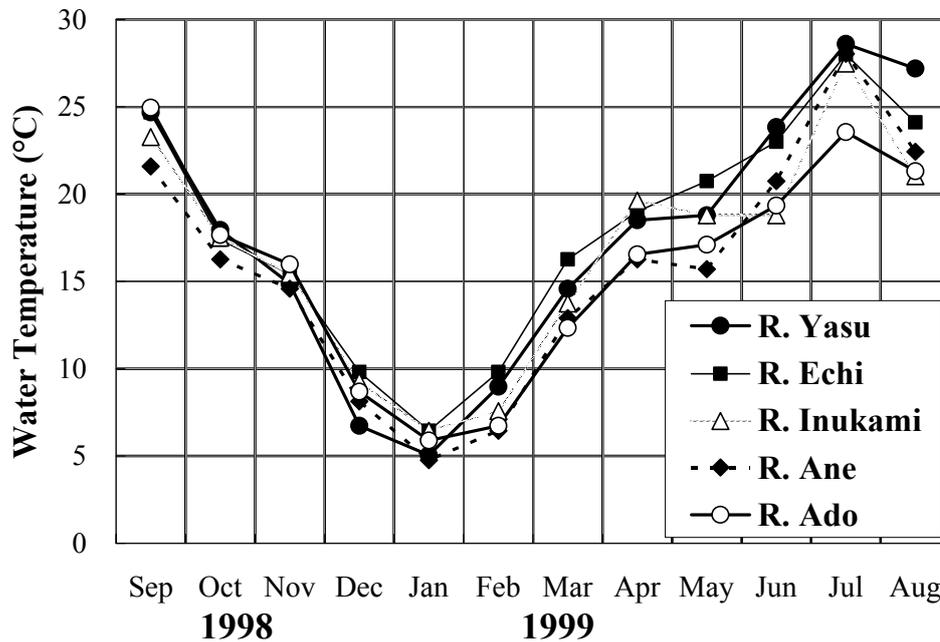


Fig. 11. Seasonal changes in water temperature of some main rivers flowing into Lake Biwa.

図 11. びわ湖に流入する主要河川の水温季節変化.

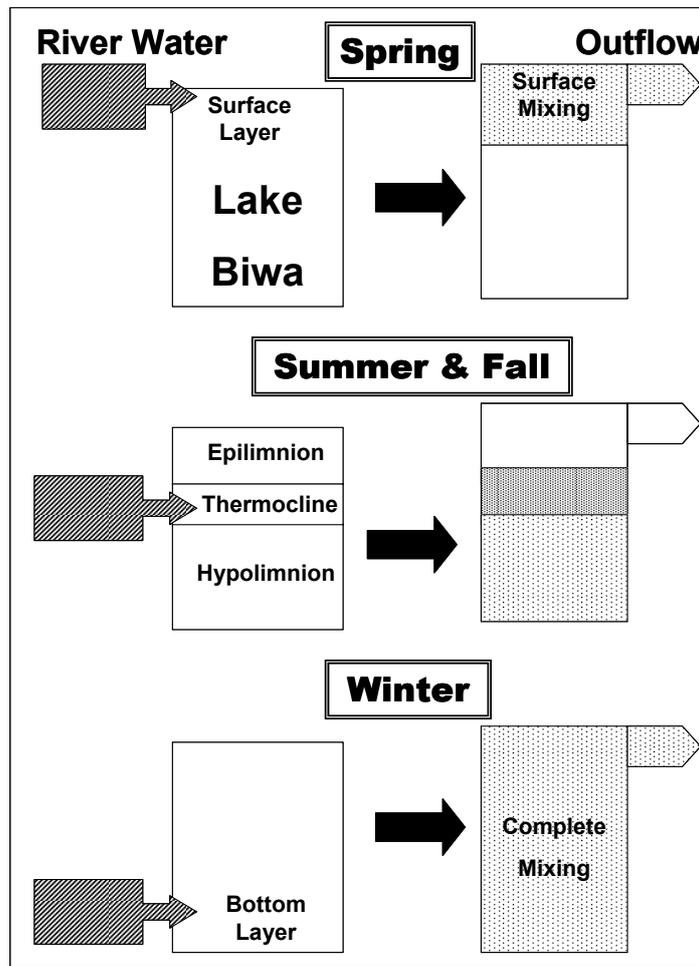


Fig. 12. A conceptual model of lake water renewal.

図 12. びわ湖水の入れかわりモデル.

20-30 m の層に流入している。11 月から 2 月までは総じて河川流量は少なく、おもに底層へ流入する。3 月から 5 月までの流量も多くはないが、大部分の河川水はびわ湖表層へと流入している。6 月から 8 月までの期間は比較的流量が多く、びわ湖の表層から 20 m 深までの深さに流入することがわかる。年間を通した野洲川河川水の流入量は  $3.7 \text{ 億 m}^3 \text{ yr}^{-1}$  である。

### 考 察

#### 湖水の入れかわり

Fig. 11 はびわ湖に流入する主な河川の水温の季節変化を示したものであるが、各河川水温にはそれほど大きな差がないことから、野洲川の深度別流量のパターン (Fig. 10) をびわ湖に流れ込む河川のすべてに適用し、びわ湖水の入れかわりについて考察を行った。基本的な

考え方を Fig. 12 に示す。すなわち、春季にびわ湖表層に流入した河川水は表層での混合を受け、混合した水が流出すると考えられる。混合層の厚さについては、この時期の成層状態と表層のエクマン層の厚さを考慮した結果 10 m を採用した。なお、エクマン層の厚さを求める際の鉛直渦動拡散係数は Endoh (1986) にしたがって  $10 \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$  と仮定した。成層期においては、水温躍層に流入した河川水は表層とは混合せず、躍層以深の水とのみ完全混合すると仮定した。冬季には、びわ湖に流入した河川水は、湖面冷却や鉛直混合によって完全に混合し、混合水がびわ湖から流出するものとした。すなわち、春季には表層部分混合方式、成層期は深層部分混合方式(表層では非混合方式)、非成層期には完全混合方式を採用したことに相当する。

1998 ~ 1999 年における野洲川からの流入量が  $3.7 \text{ 億 m}^3$  であることから、滋賀県琵琶湖研究所 (1988) にし

Table 1. Renewal ratio (%) of lake water calculated by three different models.

表 1. 計算によって求めた各月における湖水の入れかわり率. 完全混合方式と非混合方式による値も示す.

Model / Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Total
Complete Mixing Model	0.91	0.95	1.14	1.31	1.31	2.06	1.97	1.09	3.54	2.67	0.73	0.73	16.97
Non-Mixing Model	0.92	0.96	1.15	1.33	1.33	2.11	2.01	1.10	3.67	2.75	0.73	0.73	17.29
This Study	0.92	0.96	1.14	1.27	1.28	2.03	1.94	1.09	3.63	2.74	0.73	0.73	17.03

たがって、びわ湖に流入する河川水の総量に占める野洲川河川水量を 9 % とし、この計算ではびわ湖に流入する全河川流量を 40 億 m<sup>3</sup> とした。以上のような設定で、湖水の入れかわりを月ごとに 1 年間にわたって求めた。その結果を示したのが Table. 1 である。比較のために、年間を通した完全混合方式および非混合（トコロテン）方式の場合の結果についても示す。

水の入れかわりが大きいのは河川流量が多い 9 月と 10 月であり、それぞれ約 3 % の入れかわり率となる。逆に河川流量の少ない 11 月から 2 月まででは 1 % 以下の入れかわり率となっている。各月の湖水入れかわり率を見ると、当然のことながら非混合方式よりも小さな数字となっているが、4 月から 6 月までは完全混合方式に比べてもより小さな値となる。これは春季の河川水が表層に流入するために、湖水の入れかわりとしてはきわめて効率が悪いことを意味している。一方、9 月と 10 月については、河川水が水温躍層に流入するために非混合方式に近いことから、入れかわり効率は大きく、完全混合方式よりも大きな値を示している。

年間を通じた入れかわり率は 17.03 % となり、これは完全混合方式の 16.97 % よりも大きな値となった。すなわち、9 月や 10 月には台風によって大量の降水がもたらされ、増水した河川水がびわ湖の水温躍層に貫入することにより、湖水の入れかわりが促進されることを意味する。

びわ湖への年間河川流量は降水量に依存し、年によりかなり変化するが、以上の推論からおおよそ 20 年でびわ湖の水はほぼ入れかわると考えられる。すなわち、我々の努力次第で人間の一代よりも短い時間で碧いびわ湖を取り戻すことが可能である。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたって、滋賀大学の岡本巖教授には河川水の分散に関して貴重なコメントをいただいた。また、大阪電気通信大学の山本敦之教授には懸濁物

の粒度分析に関してご指導をいただいた。滋賀大学教育学部と大阪電気通信大学の学生諸氏には観測や分析に多大な協力をいただいた。ここに記して深く感謝する次第である。

## 文 献

- 馬場礼子・遠藤修一・下田力 (1999) : ADCP とサーミスタチェーンによるびわ湖の流況の連続観測. 日本陸水学会第 64 回大会 (彦根) 講演要旨集 : 121.
- Endoh, S. (1986) : Diagnostic study on the vertical circulation and the maintenance mechanisms of the cyclonic gyre in Lake Biwa. *J. Geophys. Res.*, 91C1: 869-876.
- Endoh, S., K. Sagi, N. Fukuyama, M. Kawashima and Y. Okumura (1998) : Seasonal variation of turbidity in Lake Biwa. *J. Lake Science*, 10: 267-273.
- 遠藤修一 (1999) : 水と風と. 『びわ湖から学ぶ』, 大学教育出版 : 13-25.
- 建設省 (1999a) : 水文水質データベース (<http://www1.river.go.jp/>).
- 建設省 (1999b) : 流量年表. 建設省河川局編
- Lindell, T. (1980) : Hydrographic characteristics. Ecological effect of wastewater. In *Pollutant Effects in Freshwater: Applied Limnology*, E.B. Welch (ed.): 16-47. E.& F.N. Spon.
- 岡本巖・遠藤修一・熊谷道夫 (1990) : 琵琶湖における河川水の分布と分散. 滋賀県琵琶湖研究所研究報告 No.89-A05 : 3-34.
- 奥村康昭・遠藤修一 (1997) : 琵琶湖における連続測流(Ⅲ) 年間を通じた流況変動. *陸水学雑誌*, 58 : 293-303.
- 奥村康昭・遠藤修一 (1998) : 琵琶湖野洲川河口沖の流況. 日本陸水学会第 63 回大会 (松本) 講演要旨集 : 220.
- 奥村康昭・大西良雄・遠藤修一 (2003a) : びわ湖の底層における溶存酸素飽和度と水温の連続観測. *陸水学雑誌*, 64 : 35-38.
- 奥村康昭・遠藤修一 (2003b) : プイ式気象ステーションによる観測と琵琶湖北湖南部水域の気象特性. *陸水学*

雑誌, 64: 103-112.

鷺邦彦・遠藤修一・川嶋宗継・奥村康昭・服部達明・中山聖子 (1997): びわ湖における湖底高濁度層の季節変化. 陸水学雑誌, 58: 27-44.

滋賀県琵琶湖研究所 (1988): 滋賀県地域環境アトラス.  
Tanaka, Y., T. Kimoto and R. Tsuda (1996): Turbid water penetration from Yasu River into Lake Biwa at the seasonal thermocline. Japanese Journal of Limnology 57: 457-465.