

大橋川～宍道湖における高塩分水塊の動態観測 (2000 年夏)

徳岡隆夫¹・上野博芳²・三瓶良和³・西村清和⁴・須崎 聡⁵
松田滋夫⁶・久保田俊輔⁷・鈴木重教⁸

Long-term observation of high-saline watermass at R. Oohashigawa-Lake Shinji area, Shimane Pref., Japan (Observation in Summer, 2000)

Takao Tokuoka¹, Hiroyoshi Ueno², Yoshikazu Sampei³, Kiyokazu Nishimura⁴,
Akira Suzaki⁵, Shigeo Matsuda⁶, Shunsuke Kubota⁷ and Shigenori Suzuki⁸

Abstract: A long-term observation was performed during the summer season in 2000. The observation system developed by the present writers' contributions consists of several sub-systems such as an acoustic reflection profiling system for spatial distribution survey of halocline (Model SC-3), an underwater acoustic reflection measurement systems for long-term observation of halocline behaviour (On-line mode model SC-2 and Off-line mode CL-3), a thermometry system using optical fiber distributed temperature sensor (MOodel DTS-80) and a temperature salinity measurement system using multiple CT sensors (Model MCTH-2). The observations were successfully carried out from July 11 to 28.

Key words: saline wedge, oxygen-poor water mass, coastal lagoon, LakeShinji, Ohashigawa

1. はじめに

中海から大橋川を経て宍道湖へ流入する高塩分層はさまざまな条件によって貧酸素化していることがあり、環境へ悪影響を与えることがある。貧酸素水塊の問題は社会的にも注目を集めているが、それへの対策を考えるにあたっては、まず高塩分層の挙動を明らかにしておく必要がある。筆者らの塩水楔研究グループは 1992 年以来、塩水楔 (塩分躍層) の動態観測法の開発を行ってきたが、それらについては

徳岡ほか (2001 a) で、まとめて紹介している。また、大橋川における観測についてはこれまでに徳岡ほか (1999, 2001 b) で報告している。今回は大橋川から宍道湖にかけて、高塩分水塊がどのように流入するかについて 2000 年夏に観測を行った結果について報告する。大橋川から宍道湖へ流入する高塩分水塊は時に貧酸素化していて、それがとくに夏場に向かう時期に起こるコノシロの大量死やヤマトシジミの斃死と関係があるのではないかという指摘がなされていて、このような観測で実態を明らかにする

¹ 徳岡汽水環境研究所 (島根大学名誉教授) Tokuoka Laboratory for Studies of Brackish Water Environments (Professor Emeritus, Shimane University)

² 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科 Japan Advanced Institute of Science and Technology in Hokuriku

³ 島根大学総合理工学部 Faculty of Science and Technology, Shimane University, Matsue 690-8504, JAPAN

⁴ 産業技術総合研究所海洋資源環境研究部門 Marine Geology Department, Geological Survey of Japan

⁵ 千本電機(株) Senbon Denki Co. Ltd.

⁶ クローバテック(株) Clovertech Inc.

⁷ OCC Corporation

⁸ (株)鶴見精機 The Tsurumi-Seiki Co. Ltd.



図1 大橋川から宍道湖にかけての連続観測の機器設置位置と湖底地形(地形は島根県土木部による宍道湖大橋改修工事測深図および1万分の1湖沼図宍道湖をもとに作成)

Fig. 1 Observation area for the behavior of high-saline water at R. Oohashigawa

ことが社会的にも求められていたことから、国土交通省(当時は建設省)出雲工事事務所の協力・支援を得て行ったものである。

謝辞: 国土交通省出雲工事事務所および調査に御協力をいただいた宍道湖漁業協同組合、大橋での水質連続観測データを参照させていただいた島根県内水面水産試験場にお礼申し上げます。

2. 観測場所と観測内容

宍道湖に近い大橋川の松江大橋から宍道湖の東部(嫁ヶ島の北方まで)について、大橋川を経て宍道湖に高塩分水塊がどのように流入するかを捉えることを目的に観測網を設置した。陸上基地局は宍道湖大橋の南側にある国土交通省の宍道湖流量観測所に置いた。これらについてまとめて図1に示す。

観測機器と観測期間は以下のとおりである。

・塩水楔音響プロファイリング装置(SC-3型)と水質計(YSI, 600 XL)による船上からの観測: 高塩分水塊が宍道湖に流入しているタイミングを捉えて2000年7月14, 23, 28日に行った。

・各種機器を川床に設置しての連続観測: 2000年7月11~28日に塩水楔音響動態観測システム(オンライン式SC-2型, オフライン式CL-3型), マルチCTセンサー温度塩分計測システム(MCTH-2型), 光ファイバ温度分布計測システム(DTS-80型)による連続観測で, 設置条件は以下のとおりである。

(1) 塩水楔音響動態観測システム(オンライン式SC-2型)

3地点, 測定時間間隔: 1分

設置条件(位置, 水深)及びデータ収集期間(表示は月.日.時)

- ・ON1 3.2m
- ・ON2 4.1m
- ・ON3 5.1m

(2) マルチCTセンサー温度塩分計測システム(MCTH-2型)

5地点, 測定時間間隔: 5分

- ・CT1 4.8m
- ・CT2 4.5m
- ・CT3 4.7m
- ・CT4 3.6m
- ・CT5 3.5m

(3) 光ファイバ温度分布計測システム (DTS-80 型)

F1～F15 までの延長距離 1500 m 間の湖底に光ファイバを敷設して、観測をおこなった。

なお、流向流速計はこれらに合わせて 1 台を川床に設置したが、転倒により、比較できる記録は得られなかった。

観測期間は宍道湖大橋の改修工事とこの付近を中心に行われる松江水郷祭を勘案して決められたものである。また、機器の設置場所は日常的に漁業（主にシジミ漁）が行われている水域であるために宍道湖漁業組合と現地で協議を行い、また潮の流出入についての現場の経験を参考にして機器の設置場所を設定することとした。とくに光ファイバについては宍道湖側に長距離にわたって設置することになるために、そのルートにそっては旗で標示することとして、漁業者に観測期間中は十分に注意してもらうこととして行った。なお、ダイバーにより機器の設置状況の確認を行った。

3. 音探機器と水質計による船上からの観測結果

高塩分水塊が宍道湖に流入しているタイミングに合わせて塩水楔音響プロファイリング装置 (SC-3 型) により船上からの観測を行い、その後に取り返ししながら、水質計を用いて音探記録を照合しながら適当な地点を選定して水深 1 m ごとに水質（温度・塩分・溶存酸素・電気伝導度・pH）を測定した。7 月 23 日と 28 日の結果をそれぞれ図 2, 図 3 に示す。

(1) 7 月 23 日 (図 2)

中海の大橋川への航路の深みになっている辺りから大橋川、宍道湖湖心までの観測を行った。この期間は強風が続き、高塩分層が大橋川に大規模に流入していた時であり、貴重な記録が得られた。中海から大橋川の大橋あたりまでは全体が一様であり、その先でやや混合が起り、宍道湖に入った赤ブイ 12 の地形的高まりの辺りからこの一様な水塊が宍道湖の湖底平原に向けて薄く入り込んでいる状態が観察される。この層は湖心の東（地点 20, 丸数字 2 の左）まで続くが、その先では無くなり、全体が一様となる。上記の結果は同じく図 2 に示した 7 地点での水質測定の結果と調和的である。中海と大橋川では全体が 26 PSU 程度であり、宍道湖の赤ブイ 10 あたりから下位の薄い中塩分層と上位の低塩分層に分かれ、さらに宍道湖湖心では一様な低塩分層からなっていて、上記の記録を裏付けている。

(2) 7 月 28 日 (図 3)

上記の大規模な高塩分層の宍道湖への流入が終わり、通常の状態に戻った時であり、機器撤収日に観測を行った。大橋川では表層部とその下位との間でやや成層していて、宍道湖の赤ブイ 12 あたりから西では宍道湖の底そって湖心にまで入り込む水塊が認められる。湖底近くでは音響的に 2 つの水塊に分かれているのが観察される。上記の結果は同じく図 3 に示した 5 地点での水質測定の結果と調和的である。

4. 水底に設置した各種機器による連続観測

7 月 11 日から 28 日（マルチ CT センサの 7 月 18 日 11.40～19 日 15.00 までの欠測を除く）にかけての観測結果について以下に述べる。

(1) 塩水楔音響動態観測システム（オンライン式 SC-2 型）による観測

図 1 に示す 3 地点に機器を設置した。ON 1 がケーブル長 400 m であるので、もっとも離れた宍道湖側に、あとの 2 つ（ケーブル長 200 m）を下流側に設置している。ON 2（宍道湖大橋西、水深 4.1 m）の記録を図 4 に示す。図中で水面近くから水中に向かう濃いノイズが各所に見られるが、これらは風によって表層近くでの攪拌が音響的に捉えられているものである。湖底から立ち上がり、時間の経過とともに変化する濃い反射面が水中の大きな密度差の部分での反射であり、すなわち塩分の変化するところで、ON 2 地点を通過し、また後退する高塩分水塊の動きを捉えている。7 月 21 日午後から 7 月 25 日にかけては高塩分水塊がこの地点を通過して宍道湖側に流入が続いていることがわかる。ON 1 および ON 3 の記録はここに示していないが、上記とほぼ同様の記録が得られた。

(2) 塩水楔音響動態観測システム（オフライン式 CL-3 型）による観測

オフライン式 CL-3 型はバッテリー駆動でオンライン式とことなって設置場所をフリーとした機器である。今回は新たに温度センサについても組み込んでいる。2 器をそれぞれ宍道湖側の航路中（OFF 3）と航路より南の湖底（OFF 2）に設置した。深度はともに 3.3 m である。7 月 11 日～18 日の OFF 3 の記録を図 5 に示す。オンライン式と同様に高塩分水塊の流出入が捉えられている。水面近くでの垂直方向の反射は同様に風によるノイズである。水温を同時

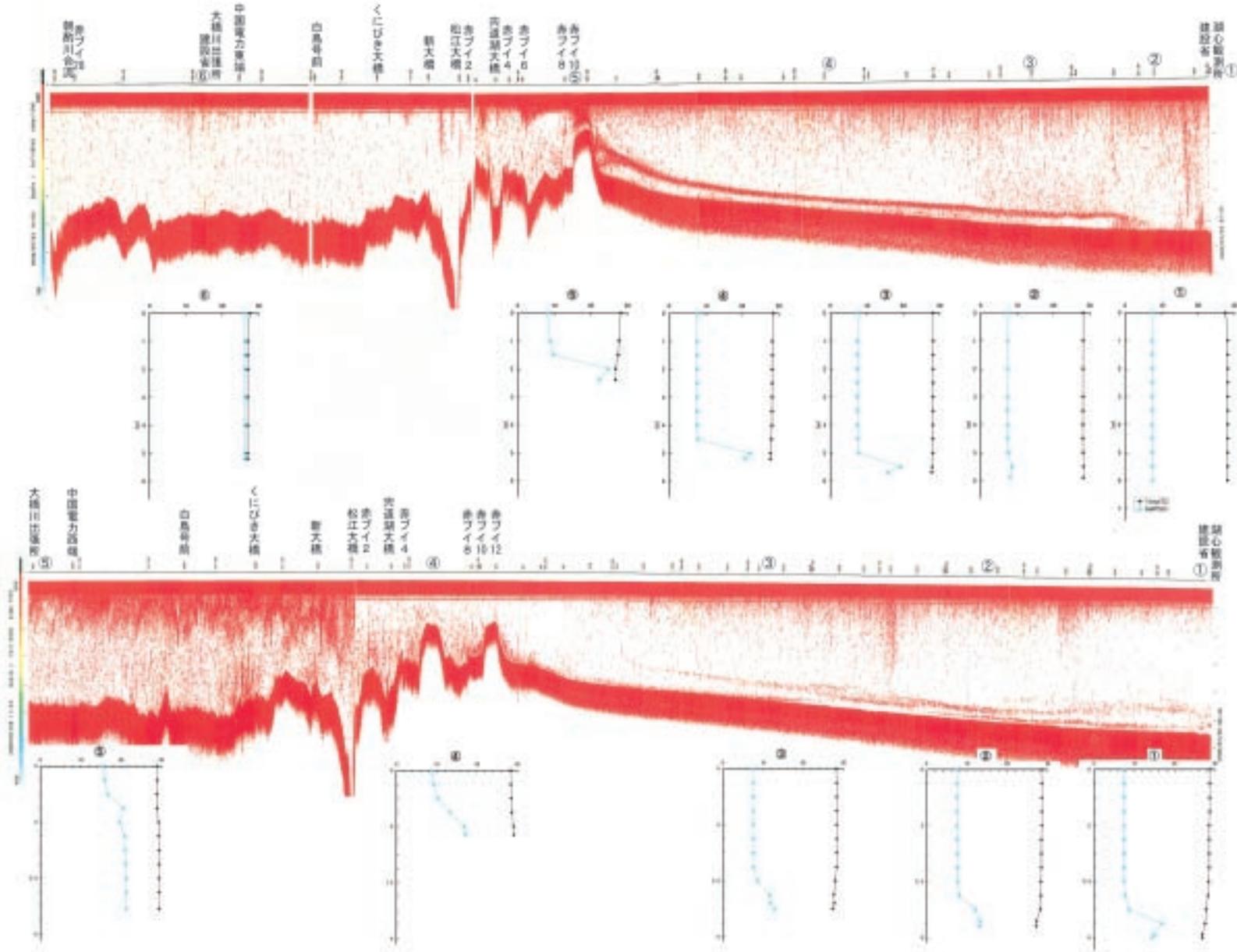


図2 (上図) SC-3型による大橋川～穴道湖高塩分水塊の動態観測 (2000.7.23). グラフは地点 (丸数字) の水深 (m) ごとの温度 (°C) と塩分 (PSU) 分布を示す.

Fig. 2 A record of spatial distribution of high-saline water between Oohashi River and Lake Shinji by acoustic reflection profiling system (Model SC-3, July 23, 2000)

図3 (下図) SC-3型による大橋川～穴道湖高塩分水塊の動態観測 (2000.7.28). グラフは地点 (丸数字) の水深 (m) ごとの温度 (°C) と塩分 (PSU) 分布を示す.

Fig. 3 A record of spatial distribution of high-saline water between Oohashi River and Lake Shinji by acoustic reflection profiling system (Model SC-3, July 28, 2000)

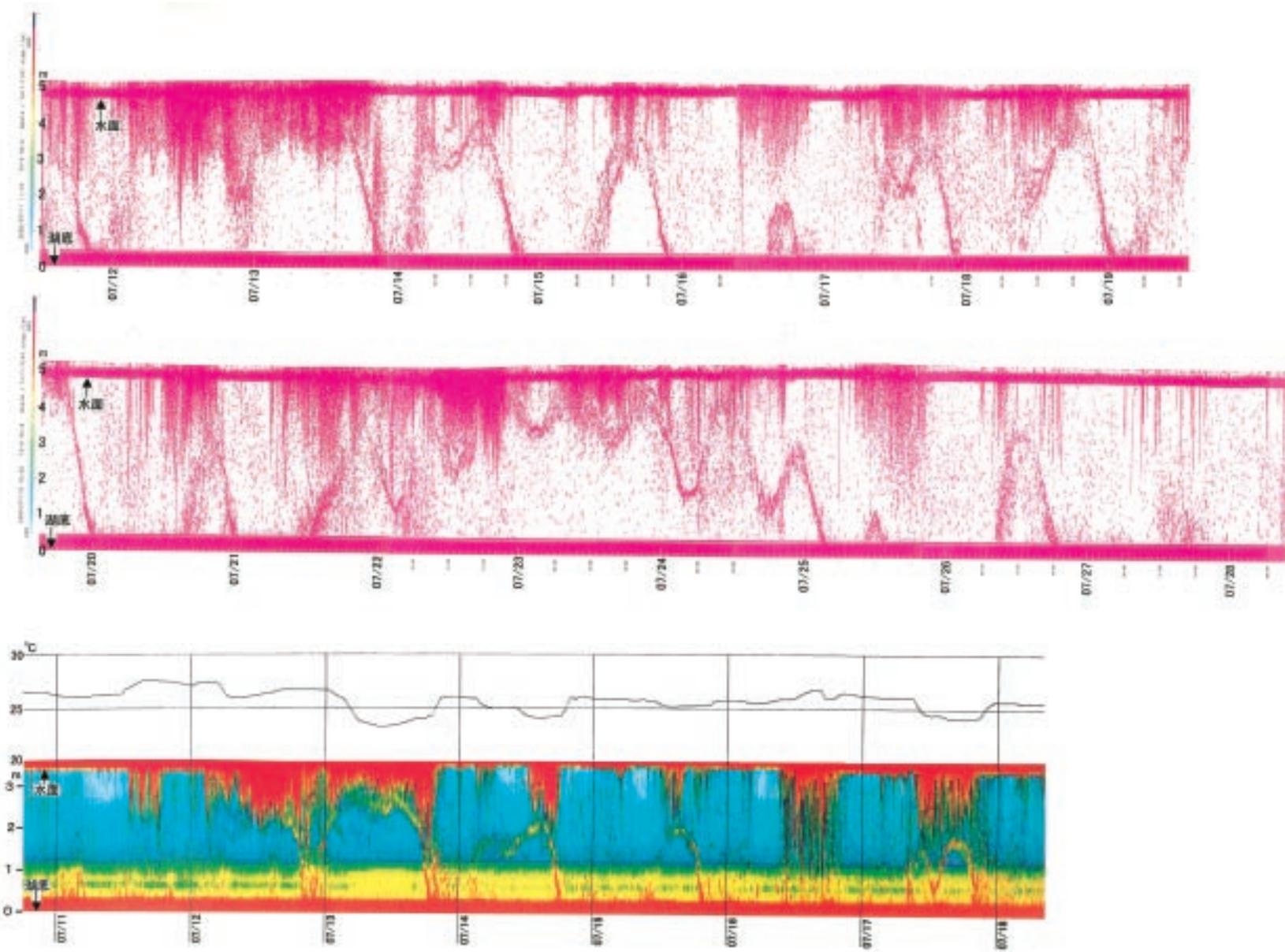


図 4 (上図) 塩水楔音響動態観測システム (オンライン式 SC-2 型) による高塩分水塊の進入・後退の記録 (2000 年 7 月 11 日～28 日, ON 2)

Fig. 4 A record of the behavior of high-saline water mass at ON 2 (Lake Shinji) by SC-2 (July 11~28)

図 5 (下図) 塩水楔音響動態観測システム (オフライン式 CL-3 型) による高塩分水塊の進入・後退の記録 (2000 年 7 月 11 日～18 日, OFF 3)

Fig. 5 A record of the behavior of high-saline water mass at OFF 3 (Lake Shinji) by CL-3 (July 11~18)

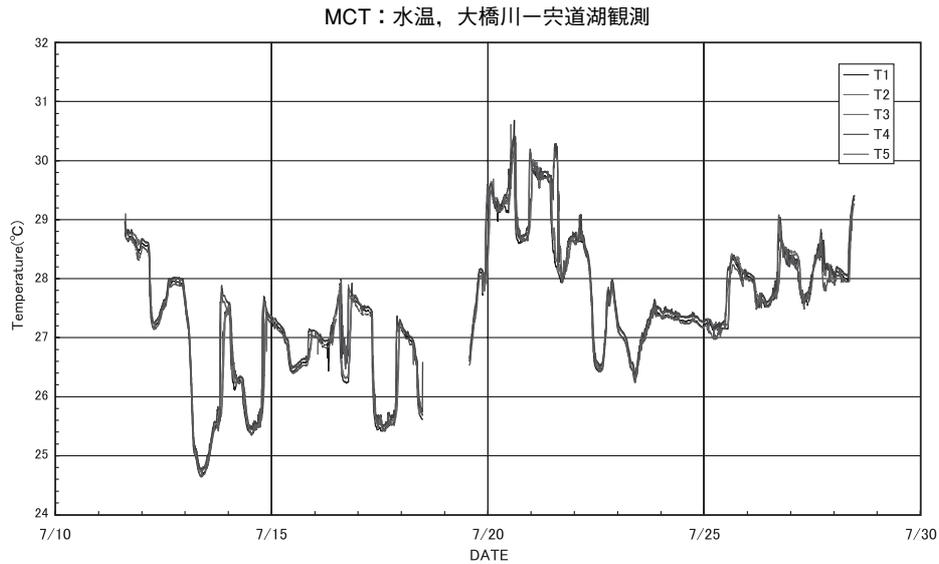


図 6-1 マルチ CT センサによる川床 5 地点での温度連続観測記録 (2000 年 7 月 11 日~7 月 28 日)

Fig. 6-1 Time series data of temperature at the bottom 5 points of R. Oohashi by Multi-CT sensor (July 11~28, 2000)

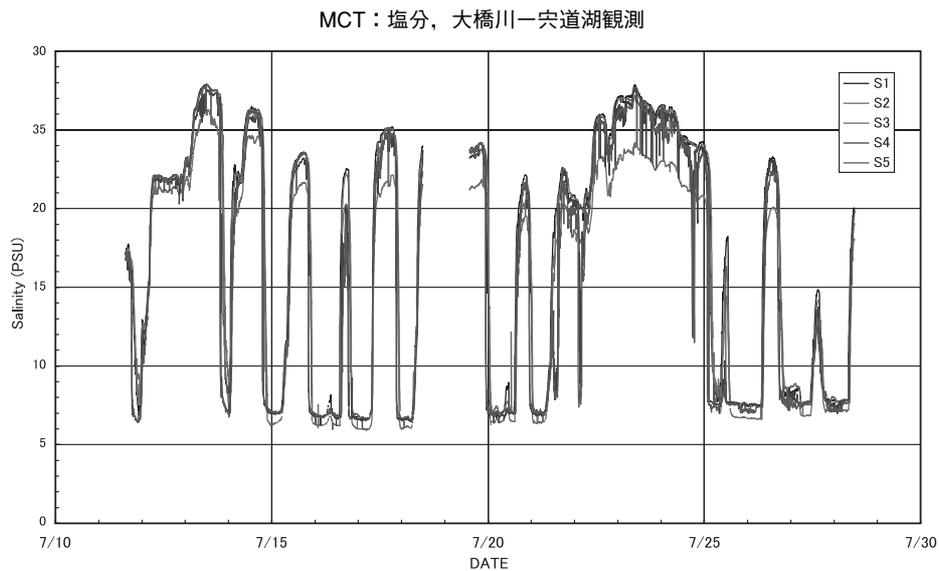


図 6-2 マルチ CT センサによる川床 5 地点での塩分連続観測記録 (2000 年 7 月 11 日~7 月 28 日)

Fig. 6-2 Time series data of salinity at the bottom 5 points of R. Oohashi by Multi-CT sensor (July 11~28, 2000)

に測定していることから高塩分水塊がその上位の低塩分水塊よりも温度が低いことがわかる。

(3) マルチ CT センサー温度塩分計測システム (MCTH-2 型) による観測

本機は温度と電気伝導度 (塩分に換算) を連続して多点で測定する目的で開発されたものである。700

m 長のケーブルで接続されたセンサ 5 つ (CT 1, CT 2, CT 3, CT 4, CT 5) を図 1 のように設置して観測を行った。各センサ間はそれぞれ 100 m である。CT 4 と CT 5 とは航路中ではあるがやや浅い所に設置された。全体の温度と塩分の記録を図 6-1, 6-2 に、宍道湖に高塩分水塊が連続的に流入した 2000 年 7 月 21 日~23 日の記録を図 7-1, 7-2 に示す。こ

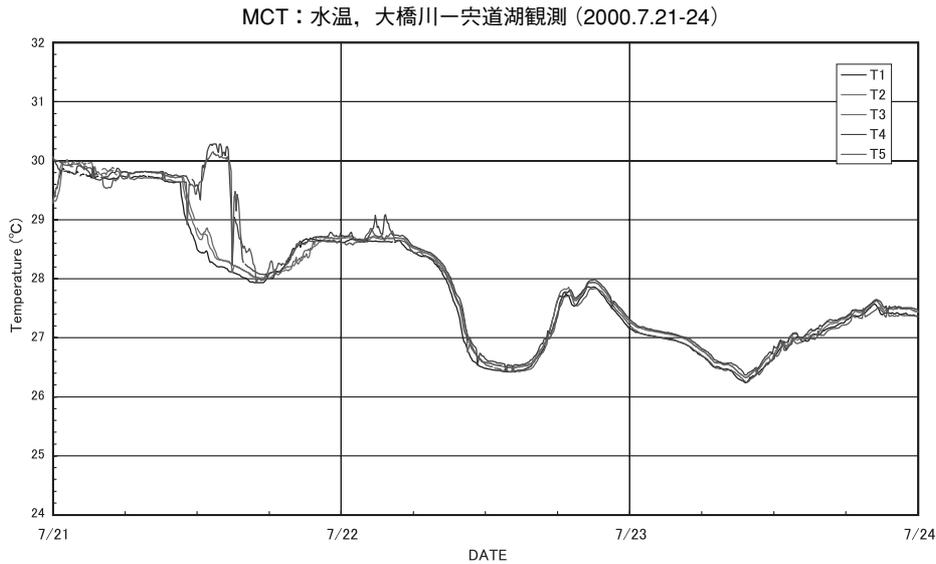


図 7-1 マルチ CT センサによる川床 5 地点での温度連続観測記録（2000 年 7 月 21 日～23 日）

Fig. 7-1 Time series data of temperature at the bottom 5 points of R. Oohashi by Multi-CT sensor (July 21~23, 2000)

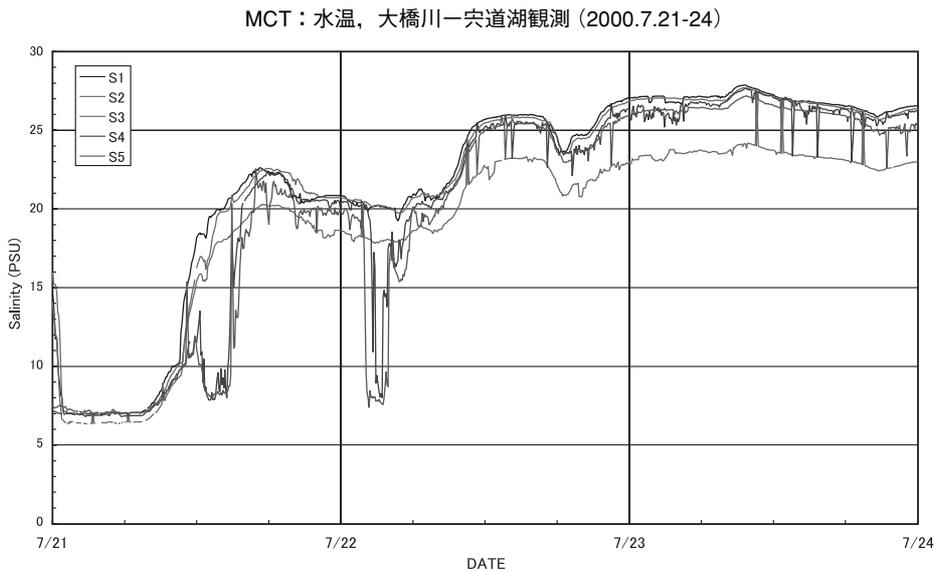


図 7-2 マルチ CT センサによる川床 5 地点での塩分連続観測記録（2000 年 7 月 21 日～23 日）

Fig. 7-1 Time series data of salinity at the bottom 5 points of R. Oohashi by Multi-CT sensor (July 21~23, 2000)

これらの図で明らかなように、温度と塩分の変化が完全に対応していることから、温度・塩分のことなる水塊が動いていることがわかる。ただし、水塊ごとの塩分の違いは大きいですが、温度の違いはそれほど大きくはない。各センサともほぼ同調して変化していることから、水塊の動きが比較的速いことがわかる。各センサ間はそれぞれ 100 m であるので、原

データから、例えば塩分が急激に変化する時間を比較すれば、水塊の移動速度を計算することができる。

(4) 光ファイバ温度分布計測システム (DTS-80 型) による観測
1500 m の光ファイバケーブルを図 1 のように設

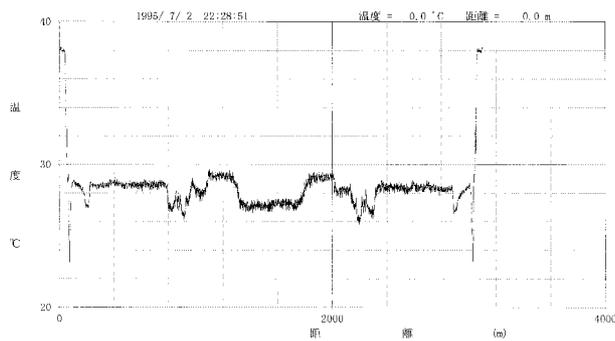


図8 光ファイバ温度分布計測システム (DTS-80 型) による測線 1500 m 間の温度分布測定例 (2000 年 7 月 2 日 22:28:51)

Fig. 8 A case of temperature distribution obtained by Optical fiber sensor DTS-80 along 1500 m optical fiber cable (time, 22:28:51, July 2, 2000)

置して (宍道湖大橋東から宍道湖の湖底平原に移る水深 3 m を越えた地点まで), 各 1 m ごとの温度分布を計測した. 今回は 5 分ごとに観測を行った. 観測記録の 1 例を図 8 に示す. 光ケーブルはループになっているので, 1500 m のところで折り返し, 測線上では各点で 2 度計測していることになる. 今回の観測ではできるだけ長い距離を確保するために種類の異なる 2 本のケーブル (1000 m および 500 m) が使用された. 図 1 でわかるように観測基点から約 1000 m の距離の辺りが宍道湖の地形の急変点にあたっていて, ケーブルの継ぎ目がほぼその位置にきている. ケーブルの継ぎ目では機械的な理由によって温度変化が生じるので, 上記のことと合わせて, 温度変化が図では強調して現れることがある. しかし, 光ファイバの基点に近い位置と終点には小型温度計 (WaDaR) を設置して, これらにより光ファイバの温度補正を行っているので, データの信頼性については問題はない. WaDaR による温度データを図 9-1, 9-2 に示す.

(2) のマルチ CT センサで示したように川床での温度の変化は塩分の変化と一致していることから, 温度の測定によって異なる水塊の動きを知ることができる. 観測基点からケーブル長 100 m (宍道湖大橋東の航路部) の位置からケーブル長 1500 m までの 7 月 11 日から 28 日までの 1000 地点の 5 分ごとの温度データを 1°C ごとに区分してデータ処理した結果を図 10 に示す. 縦軸が距離, 横軸が時間である. この温度分布のパターンから温度 (および塩分) の異なる水塊が早い速度で宍道湖に流入することがわかる. 一方, 宍道湖から流出する場合については

温度変化はそれほど規則的ではない.

5. 考 察

建設省による宍道湖湖心観測所における観測データおよび島根県内水面水試による大橋での観測データを参照して, 以下に考察する.

1) 高塩分層動態観測 (集中観測) を 7 月 14, 23, 28 日の 3 回行った. 内水面水試の大橋の水質情報と本調査の SC-2 観測システムとマルチ CT センサによるリアルタイムのデータを参考にして舟を走らせることとした. しかし, 高塩分層が宍道湖へ流入するのはとくに西風が強いときであるので, 実際に可能であったのは上記の 3 回で, SC-3 による調査で大橋川から宍道湖にかけての水塊の成層構造を全体として可視化して捉えることができた. とくに 7 月 23 日 (図 2) と 28 日 (図 3) の記録を比較すると, 前者では高塩分水塊が宍道湖に大規模に流入していた時であり, 後者はそれが終わって平常の状態に戻った時である. 前者では宍道湖の底にそって流入した高塩分層が湖心の手前まで到達している. 後者ではそれが湖心にまで達したことがわかるが, 同時に底層付近では 2 つの水塊に分かれていて, 高塩分水塊が入りこんだ後の複雑な動きがあることがわかる. 宍道湖での SC-3 による観測は初めて行われたことであり, この方法で成層構造を捉えることができることが明らかになった.

2) 塩水楔音響動態観測システム (オンライン式 SC-2 型) は図 1 に示すように 3 点に設置され, 大橋川を経て宍道湖に流入する高塩分水塊の時間的空間的な動態が明らかにされた. これらの記録をみると大橋川での高塩分水塊の動きは弱いまあいには弱混合の塩水楔型になるが, 一般的には弱混合から緩混合型である. また, 1) で明らかのように, 宍道湖の赤ブイ 10, 12 を越えて湖底平原に入るところでは宍道湖側からの低塩分水塊の下に潜り込む形となる.

3) マルチ CT センサ温度塩分計測システム (MCTH-2 型) による観測では 700 m 長のケーブルで接続されたセンサ 5 つにより, 川床を移動する水塊の温度と塩分が測定される. 図 6-1, 2 では各センサともほぼ同調して変化していることから, 水塊の動きが比較的速いことがわかる.

4) 光ファイバ温度分布計測システム (DTS-80 型) による観測では 1500 m の光ファイバケーブルを用いて, 各 1 m ごとの温度分布の観測を行った. マルチ CT センサによる観測で明らかのように川床での

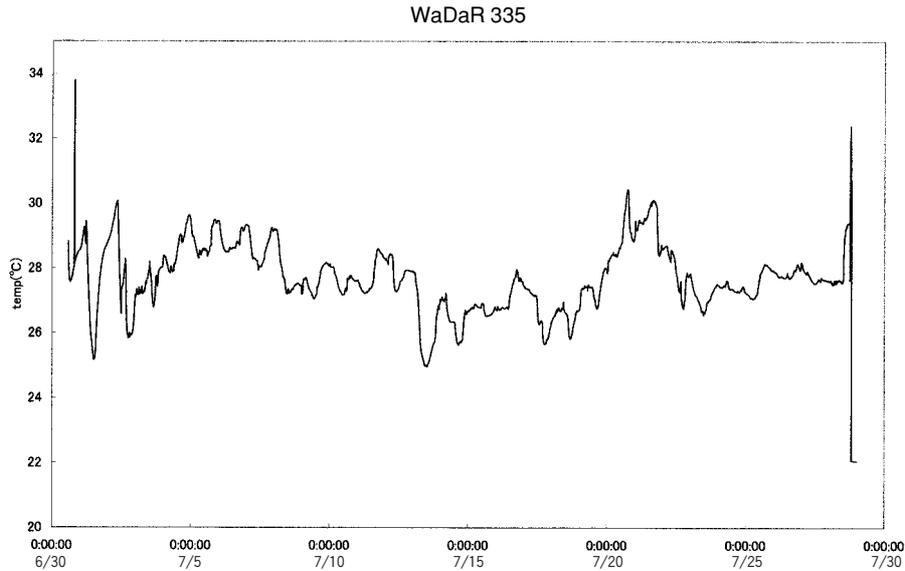


図 9-1 小型水温計 (WaDaR) による光ファイバ 100 m 地点の温度記録 (2000年7月11日~7月28日)

Fig. 9-1 Time series data of temperature at the 100 m point of Optical fiber sensor (July 11~28, 2000)

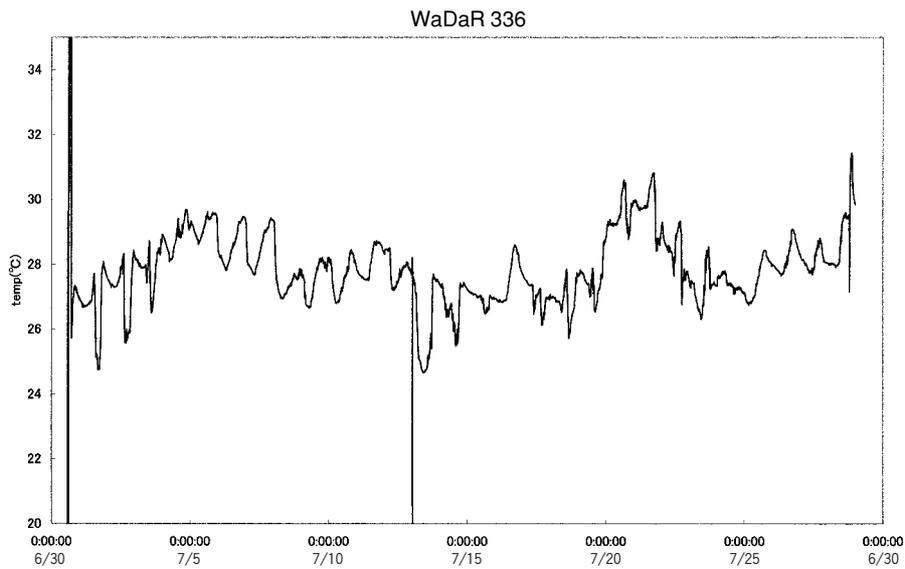


図 9-2 小型水温計 (WaDaR) による光ファイバ 1500 m 地点の温度記録 (2000年7月11日~7月28日)

Fig. 9-2 Time series data of temperature at the 1500 m point of Optical fiber sensor (July 11~28, 2000)

温度の変化は塩分の変化と一致することから、温度の測定によって異なる水塊の動きを知ることができる。全体としてみると、温度の降下はまず下流側で起こり、急速に上流側に及ぶこと、一方、温度の上昇はこの逆の方向で起こるので、このことは高塩分水塊が上流に向かって侵入し、また降下することを示していることが分かる。1400 m 間の各 1 m ごと、5 分ごとの温度データを 1°C ごとに区分してデータ

処理した結果を示した図 10 では、温度（および塩分）の異なる水塊が速い速度で宍道湖に流入し、一方、宍道湖から流出する場合には温度変化はそれほど規則的ではないことから流下する低塩分水塊との間で混合が起こっていることが推定される。このように光ファイバの利用によって、水塊の時間的空間的な動きを捉えることができる。

5) 大橋川から宍道湖への高塩分層の流入は航路の

表 1 オンライン音探 (ON 2-ON 3 間) およびマルチ CT センサ (CT 5-CT 1 間) での高塩分水塊の移動速度の算出

Table 1 Travel speeds of high saline watermass calculated by SC 2 (between ON 2 and ON 3) and Multi CT sensor (between CT 5 and CT 1)

case#	Flow	Date	point 1	Time 1	point 2	Time 2	distance (m)	velocity (m/h)
1	up-stream	2000/7/14	ON 2	1:30	ON 3	1:00	190	-380
			CT 5	1:25	CT 1	0:30	392	-428
2	down-stream	2000/7/14	ON 2	20:20	ON 3	21:10	190	228
			CT 5	19:05	CT 1	21:15	392	181
3	up-stream	2000/7/15	ON 2	9:40	ON 3	9:00	190	-285
			CT 5	6:35	CT 1	5:20	392	-314
4	down-stream	2000/7/15	ON 2	21:40	ON 3	22:20	190	285
			CT 5	20:55	CT 1	22:40	392	224
5	up-stream	2000/7/16	ON 2	14:20	ON 3	13:50	190	-380
			CT 5	14:35	CT 1	13:40	392	-428
6	down-stream	2000/7/16	ON 2	19:50	ON 3	20:40	190	228
			CT 5	18:50	CT 1	20:40	392	214

深みに沿って進むことが確かめられ、また宍道湖においては赤ブイ 10 から 12 にかけての地形的高まり (水深 2 m 弱) が大きな役割を果たしていることが明らかになった。大橋川からこの位置まで流入してきた水塊は、ここから先では湖底地形にそって這うように侵入している。

6) 宍道湖の湖底平原に入った高塩分水塊はそれまでの早い速度から減じて緩やかに湖底に沿って侵入していくことが SC-2 による観測で明らかになった。

7) 図 1 に示すように、松江大橋から宍道湖にかけての湖底地形をみると、嫁が島の北東の所までは航路維持のための浚渫が行われていて、ほぼ 4 m の深みが続いているが、その先の宍道湖の湖底平原に緩やかに移行する間には水深 2 m の高まりが存在する。大橋川から宍道湖にかけての高塩分水塊の流入は基本的にはこの深みにそって起こっていて、各種の観測機器はそれにそって設置された。観測期間中で高塩分水塊が移動した典型的な例である 2000 年 7 月 14, 15, 16 日の流入と流出についてオンライン音探 (ON 2~ON 3 間) とマルチ CT センサ (CT 2~CT 5 間) での速度を計算すると、表 1 のようになる。流入の速度はその時々潮位・風・気圧によってさまざまに変化するが、これらの値はおおよそその高塩分水塊の動く速度を示していると云ってよい。一方、光ファイバのデータ (図 10) をみると、上記の数値の得られた松江大橋から宍道湖大橋に至る範囲でみると、1°C ごとに示した色のパターンから流入速度を計算することができるが、それより宍道湖側では規則的な変化を示さないことから、水塊が複雑な動きをしていることがわかる。とくに嫁が島北東の地形的な高まりの所では水塊の動きが断たれているものと判断される。

8) 本調査によって大橋川から宍道湖に流入しようとする高塩分水塊は嫁が島の北東に位置する地形的な高まりによってしばしば阻止され、容易には宍道湖の湖底平原にまで流れ込まないことが推測されるに至った。宍道湖にまで貧酸素化した水塊が入り込んだ場合にはそれが容易には解消されず、水環境に大きな悪影響を与える可能性があることから、このことは重要な意味をもっている。嫁ヶ島は新第三紀の松江層の玄武岩からなっていて、その対岸の松江温泉付近にも同じ時代の玄武岩が分布しているので、上記の高まりも一連の玄武岩からなることが推定される。

引用文献

- 徳岡隆夫・三瓶良和・亀井健史・西村清和・鈴木重教・松田滋夫・久保田俊輔・須崎 聡・上野博芳 (1999) 塩分躍層 (塩水楔) 動態観測システムの開発 - 汽水域の貧酸素水塊問題への貢献 - . LAGUNA (汽水域研究, 島根大学汽水域研究センター), 6号, 179-187.
- 徳岡隆夫・三瓶良和・西村清和・須崎聡・松田滋夫・久保田俊輔・鈴木重教・上野博芳 (2001 a) 塩水楔観測システムの開発 (テクノオーシャン 2000 ポスター展示の紹介). LAGUNA (汽水域研究, 島根大学汽水域研究センター), 8号, 101-110.
- 徳岡隆夫・三瓶良和・上野博芳・西村清和・須崎聡・松田滋夫・久保田俊輔・鈴木重教・(2001 b) 大橋川における高塩分水塊の動態観測 (1999 年秋). LAGUNA (汽水域研究, 島根大学汽水域研究センター), 8号, 79-90.

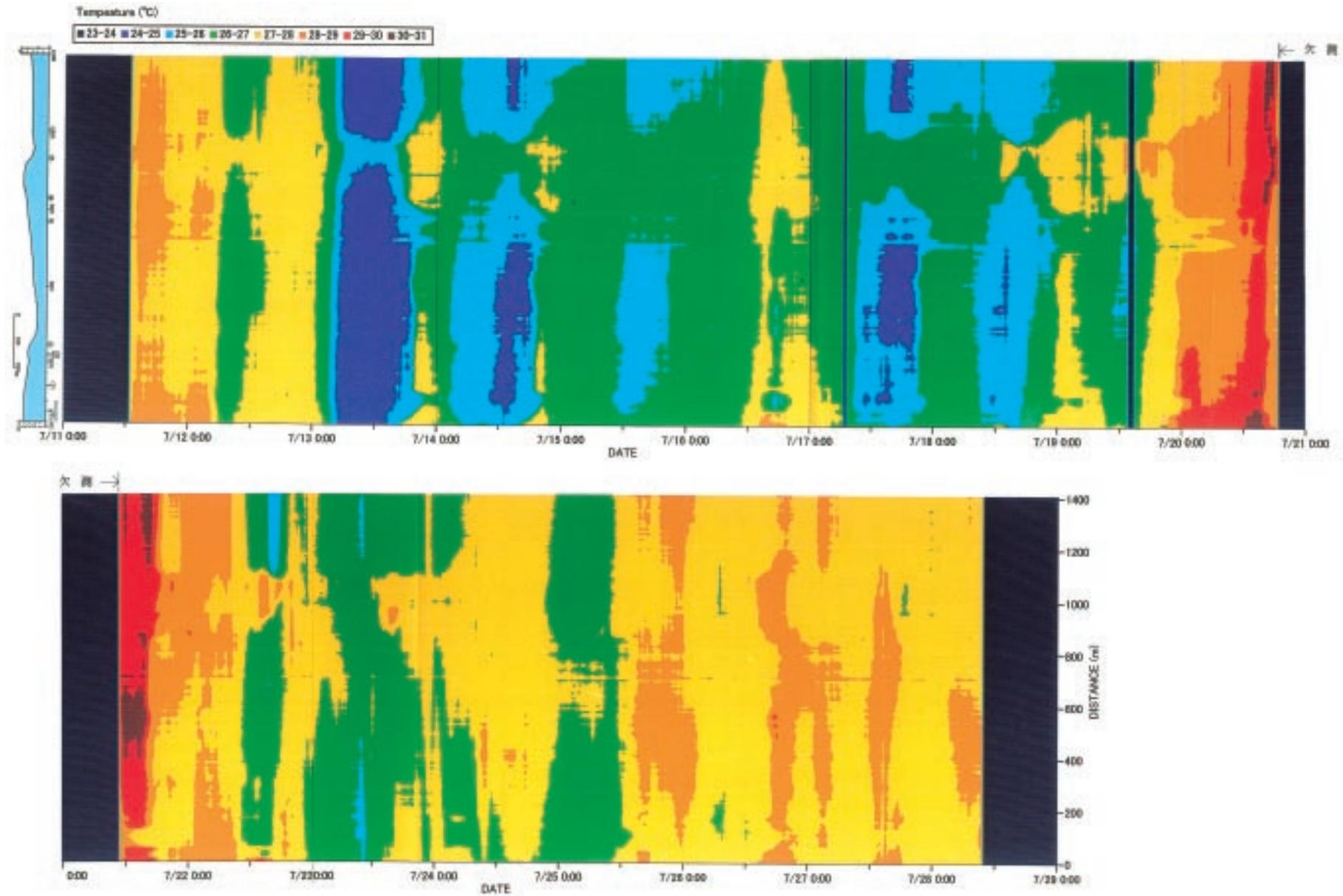


図 10 光ファイバ温度分布計測システム (DTS-80 型) 記録をデータ処理して得られた温度分布と時間変化のカラーマップ (ケーブル長 100 m ~ 1500 m 間). 図の下側が大橋川 (東) 側, 上側が宍道湖 (西) 側で, 川床の地形を上図の左, ケーブル長を下図の右に示す.

Fig. 10 Color mapping of time series data of temperature at the bottom of R. Oohashi by Optical fiber sensor DTS-80 (July 11 ~ 28, 2000)