

江の川の塩水楔－塩水溯上の長期連続観測システムの開発－ (渇水期溯上例, 1998年12月～1999年2月)

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

Saline wedge at River Gonokawa – Development of long-term observation system of saline wedge behaviour – (Observation at a period of water shortage during Dec. 1998-Feb.1999)

Takao Tokuoka¹, Yoshikazu Sampei¹, Hiroyoshi Ueno², Kiyokazu Nishimura³,
Satoshi Suzaki⁴, Shigeo Matsuda⁵, Shunsuke Kubota⁶
and
Shigenori Suzuki⁷

Abstract: We have developed a long-term observation system for the study of saline wedge at the mouth of river. The preliminary survey at the lower stream of River Gonokawa of Shimane Prefecture was done in 1997, and was reported by Tokuoka et al. in 1998. The successive two surveys were done in 1998 fiscal year and the results at a period of water shortage during December 23, 1998 and February 14, 1999 are reported in the present paper. The following instruments of echo-sounders (SC-2 and SC-3 of Senbon-Denki Co. Ltd.), echo-sounder (CL-2 of Clover Tech Co. Ltd.), Optical fiber system of Y.O. System Co. Ltd. and Multi CT Sensor of Tsurumi-Seiki Co. Ltd. with Electro Water Velocity Meter and IC Memory Thermometer were used for observation of saline wedge. The movements of saline wedge were successfully caught by the above instruments, and the present composite long-term observation system has been evidenced to be very useful for analysing saline-wedge behaviour.

1 島根大学総合理工学部

Faculty of Science and Technology, Shimane University, Matsue 690-8504, JAPAN

2 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科

Japan Advanced Institute and Technology in Hokuriku

3 地質調査所海洋地質部

Marine Geology Department, Geological Survey of Japan

4 千本電機 (株)

Senbon Denki Co. Ltd.

5 クローバテック (株)

Clovertech Inc.

6 (株) ワイ・オー・システム

Y.O.System Inc.

7 (株) 鶴見精機

The Tsurumi-Seiki Co. Ltd.

はじめに

江の川は弱混合型(塩水楔型)の感潮河川の日本における代表的な例としてよく知られている(たとえば西條・奥田, 1996). 筆者らはこれまでおもに中海・宍道湖において汽水域の塩分躍層の長期連続観測システムの開発研究を行ってきたが(徳岡ほか, 1994, 1995, 1996; 西村ほか, 1994, 1996), このシステムが河口域の塩水楔の観測でも有効であると考え, 1997年度に江の川での観測を行い, 報告した(徳岡ほか, 1998). 江の川では, 塩水は通常は河口から4~7kmの範囲で, 渇水期には河口から8kmにある赤栗の瀬を越えて溯上することがある. 上記の調査では塩水溯上の実態が不明であったことから, まず船上からの音波探査で淡塩境界を捉えることによって塩水溯上限界がどのあたりにあるかをあらかじめ把握した上で, 河口から5.5 km 地点を基点として各種機器を設置し, 観測を行った. その結果, 塩水溯上と河川流量の間に密接な関係があることと溯上・降下の実態を捉えることができた(徳岡ほか, 1998).

1998年度は, 1) 恒常的に塩水楔が発生している流域(A 地点), および, 2) 渇水期にのみ塩水が溯上する流域(B 地点)での調査を立案し, 調査を行った. 前者(A 地点)は河口より3.4km地点をベースとしてその上流4.2km地点までの範囲, 後者(B 地点)は河口より7.4km地点をベースとし, 6.4~7.6kmの範囲である(図1).

観測機器は昨年度に引き続いて下記のものを使用した, いくつかの機器については新たに改良を行った.

- ・塩水楔音響探査システム(曳航式)SC-1型およびこれを新たに改良したSC-3型(千本電機株式会社製)
- ・塩水楔音響探査システム(川床設置オンライン式)SC-2型(千本電機株式会社製)
- ・塩水楔音響探査システム(川床設置オフライン式)CL-1型を新たに改良したCL-2型(クローバテック株式会社試作)
- ・光ファイバ式温度分布計測システムDTS80(株)ワイ・オー・システム製)
- ・マルチCTセンサ(株式会社鶴見精機試作)
- ・流向流速計(メモリー電磁流速計ACM-8M型およびACM-16M型, アレック電子製)
- ・ICメモリー式小型水温計T.S WaDAR(株式会社鶴見精機製)なお, 陸上から船位の測量を行いながら各種機器を設置し, スキューバダイビングに

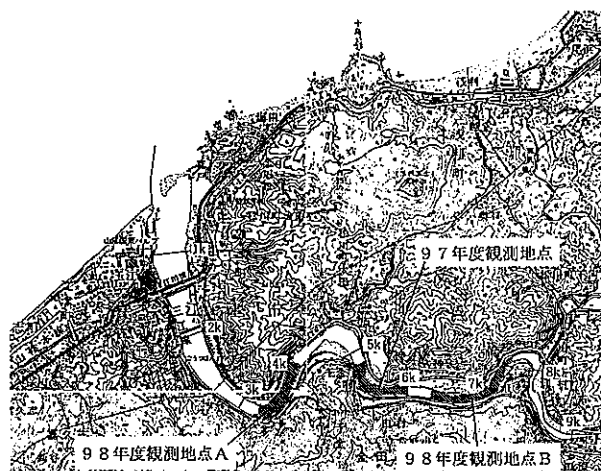


図1. 江の川下流部における塩水溯上調査(1997年度および1998年度).

Fig. 1. Index Map showing observed area of the lower stream of R. Gonokawa (1997 and 1999 fiscal years).

よって設置状況を確認している.

A地点での調査では1998年10月の洪水によって観測データのかなりの部分を失ったが, B地点の調査では幸いにも数年に一度程度の渇水期に調査を行うことができ, 塩水溯上の実態をよく捉えることができた. ここではその結果(1998年12月23日~1999年2月14日)の概要について報告する. なお, 全体の調査結果についてはデータが膨大なものになるので, 1997年度のデータとあわせて島根大学汽水域研究センターの特別報告として別途報告の予定である.

塩水楔音響探査システム SC-3型による船上からの淡塩境界調査

本機は放電破壊記録式のSC-1型の後継機として, 超音波を用いた感熱式記録器で, 小型軽量化とバッテリー内蔵型を目的として開発されたものである. 淡塩境界の記録は, 感熱記録紙に10階調で出力されるとともに, 外部へ送信トリガ信号とともに, アナログ信号として出力される. この外部出力信号を利用することにより, デジタル収録器へのデータ収録を容易に行うことが可能である.

B地点での観測機器の設置に先行して行った観測の記録(1998年12月23日)の一部(河口から4.8~8.2kmの区間)を図2に示す. 図3に河口から9.1kmの川平での河川流量を示す. この図からわかるように, 1998年12月中旬から1999年1月中旬にかけては流量が小さく(50m³/s程度), もっとも上流まで塩水溯上が起こっていた時期にあたっている. 図2では塩水が8.0km地点を越えた高まりの先まで溯上していたこと

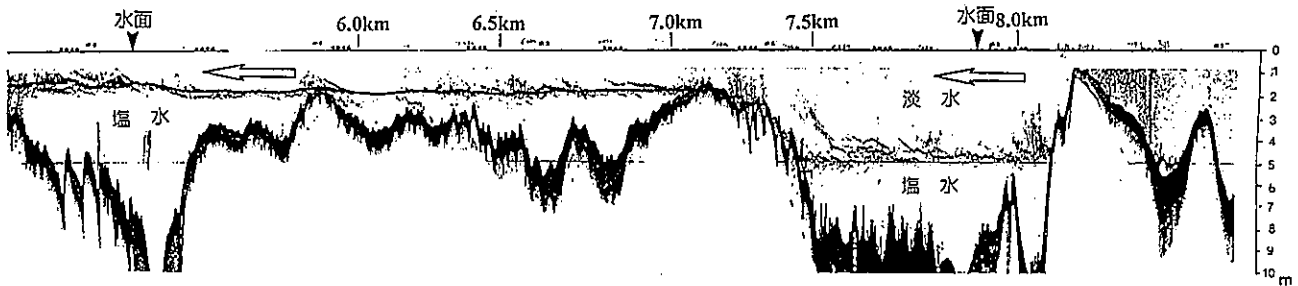


図2. 船上からの探査による江の川の渇水期の塩水溯上状況 (1998年12月23日).

Fig.2. Saline water invasion at a period of water shortage in R.Gonokawa observed by echo-sounding system SC-3 by Senbon-denki Co.Ltd.).

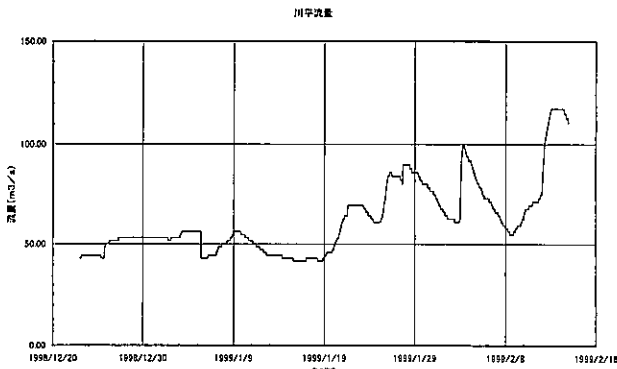


図3. 川平水位観測所における流量 (1998年12月～1999年2月).

Fig.3. Flow amount at Kawahira Observatory, Hamada Branch Office, Ministry of Construction (Dec., 1998 - Feb., 1999).

が示されている。溯上している塩水とその上を流下する淡水の境界が明瞭に識別され、淡塩境界面では連行現象がよく観察される。この記録は塩水溯上が起きている際のもので、7.2kmから7.5kmにかけての川底の高まりからその先の淵に至るところで、下流側から塩水が地形にそって流れ下るように入り込みつつある状況が捉えられている。

河口から塩水溯上域までのいくつかの地点を選んでの水質測定の結果を図4に示す。この時期には溯上する塩水と流下する淡水は温度差が大きく、また両者は容易には混合せず、比較的シャープな境界が保たれていることがわかる。音響的に捉えられる境界の深度と塩分が垂直方向で急激に変化する深さとはよく一致している。溯上する塩水は7.0kmの高まりまでは、ほぼ30PSUを保っているが、その先の地形の高まりを越えると、約10PSUに減じている。ここでは淡塩境界での反射は、それより下流域に比べると弱い。

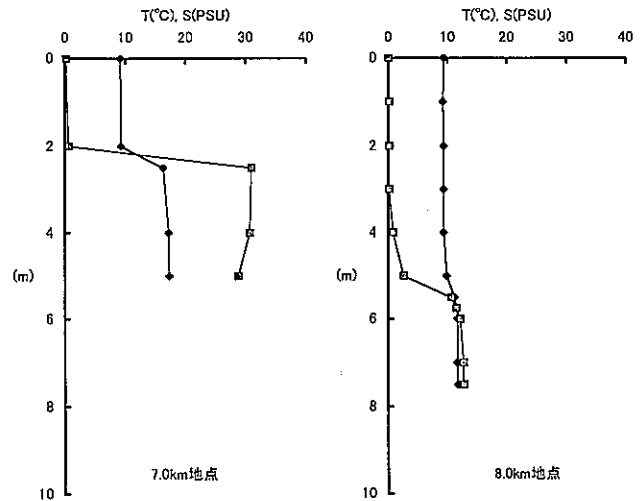


図4. 水質計による水質測定 (1998年12月23日).

Fig. 4. Temperature and salinity measurements at R. Gonokawa (Dec. 23, 1998).

渇水期におけるB地点での塩水溯上調査

河口から7kmあたりで適当な基地になる地点を選定することとし、赤栗の集落のもっとも西の7.4km地点を観測基地として、各種観測機器を図5のように設置した。塩水溯上の観測においては川底の形態を把握しておくことがもっとも重要であることから、船上から塩水楔音響探査装置SC-3型を用いての川底地形の横断測量を50mごとに行い、その上で、深みに沿って各種機器を設置した。図5に示した機器設置方向に沿った川底縦断地形は図版Iに示されている。

1. 塩水楔音響探査装置 (SC-2型, 川床設置オンライン式) による淡塩境界の時系列変化の観測

この機器は設置地点での淡塩境界の状態変化を時系列で捉えるもので、送受波器3基 (ON1, 2, 3) がそれぞれ400m, 200m, 200mのケーブルで記録部に

連結している。それぞれの送受波器の位置と深度は、以下のとおりである。

	河口からの距離	水深
ON3	7.5 km	7.3 m
ON2	7.3 km	3.4 m
ON1	7.1 km	3.2 m

観測期間中に3回の塩水溯上が観測された。それらの記録を図6に示す。なお、観測期間中の河川流量は図3に示されている。

(1) 流量減少（最大渇水時）に伴う塩水楔の溯上（1998.12.23-12.27）

この時期はそれ以前から続いた数年に一度の渇水期にあたっていて、機器設置時点での流量は $45\text{km}^3/\text{s}$ 以下であり、すでに観測区間を越えて塩水が 8.0km 地点にまで到達していた（図2）。図6Aは下流側のON1と上流側のON3の記録である。両地点で淡塩境界面が認められ、境界面は短時間で振動している。これは上流での人為的な流量の調節によって起こっているものと推定される。ON3は上流側に位置するが、深みに設置されているので、淡塩境界の川底からの高さはON1よりも高い位置にある。12月23日から24日にかけては、下流側ON1では淡塩境界はシャープ

だが、上流側のON3では23日にはやや不鮮明で、24日になるとしだいに鮮明になっていく。ON3では淡塩境界面は12月27日にむけて次第に低下して行くが、これは流量が $50\text{m}^3/\text{s}$ を越えて増大していくこと（図3参照）に対応している。中流に位置するON2は設置深度が浅いために、観測期間中には塩水溯上は認められなかった。従って、淡塩境界はON2の設置深度あたりか、それよりやや深いところに位置していたことになる。

(2) 流量減少に伴う塩水溯上と再降下（1999.1.31-2.2）

この期間のON1の記録を図6Bに示す。1月29日以降に流量が約 $60\text{m}^3/\text{s}$ にまで減少することによって川底から 2m の高さまで塩水が溯上した。淡塩境界面は短周期で振動している。上流側のON2、ON3では淡塩境界は認められない。このことから、塩水楔の先端はON1を越えたが、ON2には達せず、2月2日からの流量の増加によってこの区間より下流に後退したことがわかる。

(3) 流量減少に伴う塩水溯上と再降下（1999.2.7-2.8）

この期間のON1の記録を図6Cに示す。2月7日の後半から8日にかけて流量が $55\text{m}^3/\text{s}$ 以下にまで減少した際に川底からの高さ 1m までに塩水が溯上した。淡

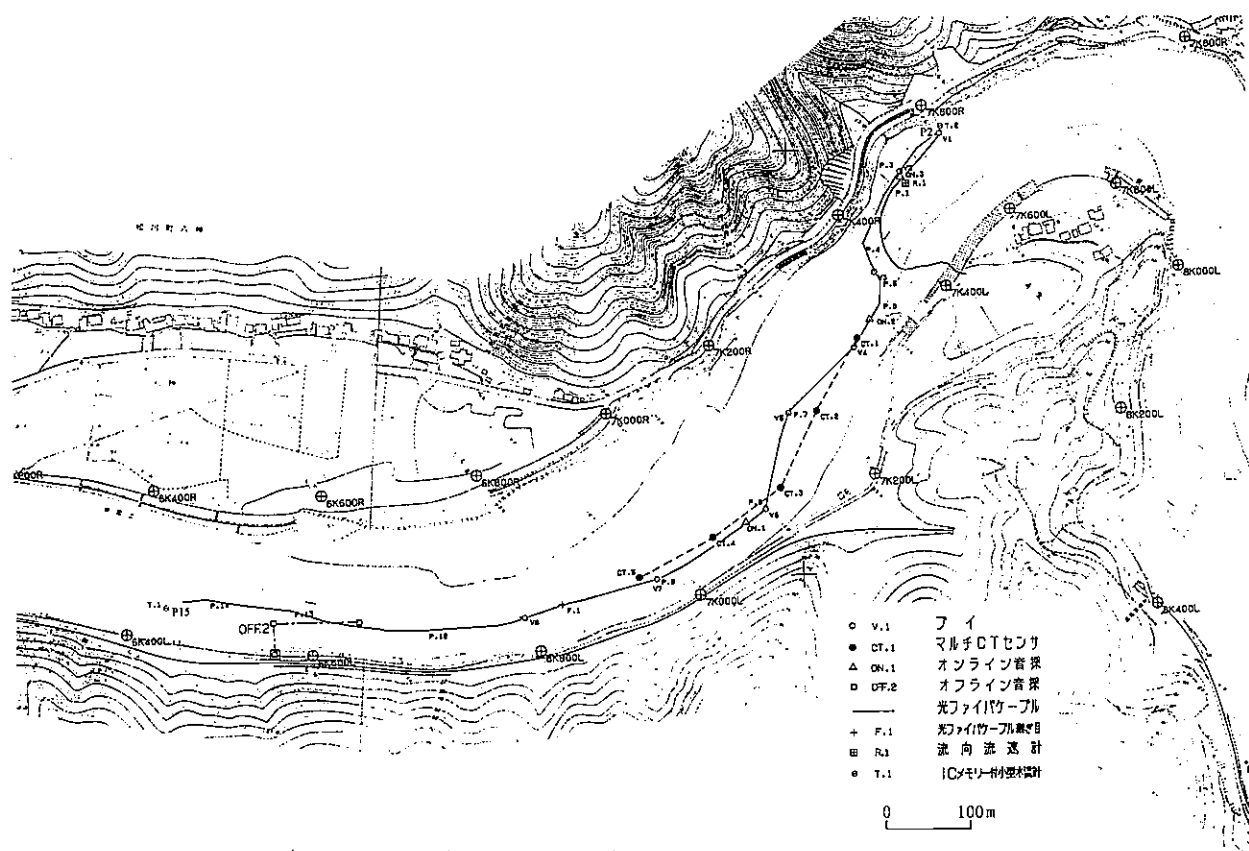


図5. 渇水期の調査（B地点）での各種機器の設置位置。

Fig. 5. Map showing observed area (locality B) by various equipments in the lower stream of R. Gonokawa at a period of water shortage.

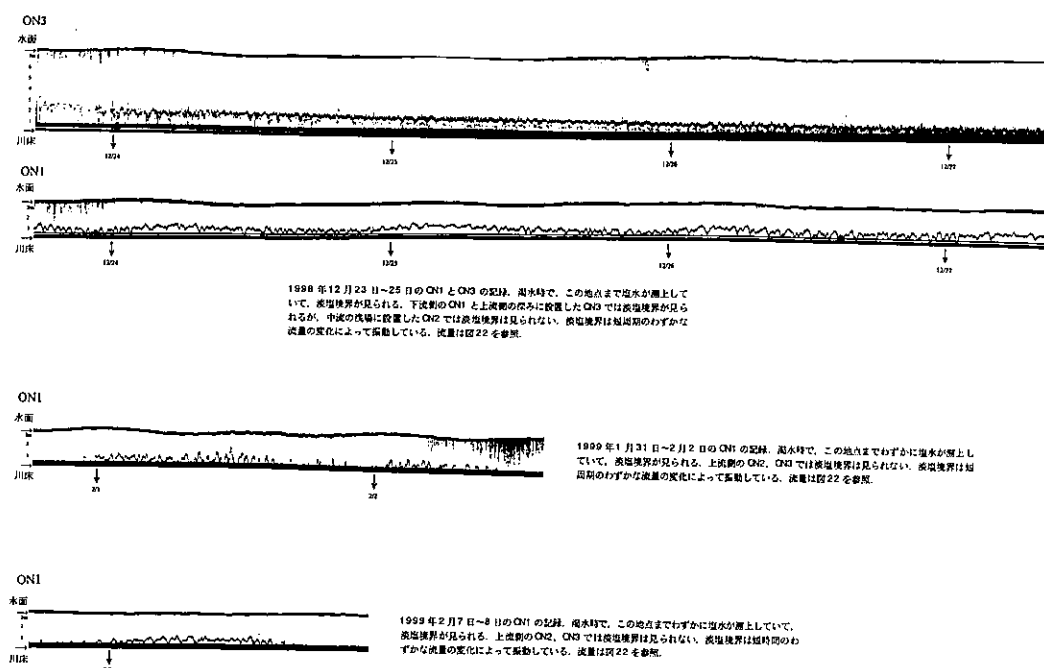


図6. 川底に設置した塩水楔探査システムSC-2型（千本電機株式会社製）による塩水遡上時の観測（1998年12月23-25日、1999年2月1-2、7-8日）。

Fig.6. Saline water invasion at R. Gonokawa observed by echo-sounding system (SC-2, Senbon-denki Co. Ltd.), Dec. 23-25, 1998, Feb. 1 - 2 and 7 - 8, 1999.

塩境界面は短周期で振動している。上流側のON2、ON3では淡塩境界は認められない。このことから、塩水楔の先端はON1を越えたが、ON2には達せず、2月8日からの流量の増加によってこの区間より下流に後退したことがわかる。

2. 塩水楔音響探査装置（CL-2型、川床設置オフライン式）による淡塩境界の時系列変化の観測

この装置は記録部と送受波器を耐圧ケースに格納し、川底に設置するという形状で昨年度の調査がなされた。この場合、全ての器材が水中にあるために、設置場所を任意に選択できるという利点があるが、設置時の動作の確認に難点があり、またデータ回収時には全ての器材を引き上げなければならないため、長期の連続観測には不利であった。このため昨年度に得られた技術をもとに、機動性を犠牲にすることなく連続観測を行えるように、全体の電源供給をバッテリー駆動としたまま、記録部のみを陸上に設置するタイプのシステム（CL-2型）が新たに設計試作され、観測が行われた。観測は河口から2.5km地点と6.6km地点で、前者では子機1台を100mのケーブルで、後者では子機2台を100mおきにケーブルで記録部につないで、川のほぼ中央部の川底に1999年1月15日に設置し、連続観測を行った（図5）。記録に

はノイズが大きい部分があるが、淡塩境界面が捉えられた。河口から6.6km地点では遡上・塩水楔の降下が3回観測された。

3. マルチCTセンサーによる川底5地点での温度・塩分変化の連続測定

マルチCTセンサはXCTD (Expendable Conductivity, Temperature & Depth Profiling System, 鶴見精機製) をもとに川床設置型の観測機器として試作されたものである。昨年度に江の川において初めて使用され、塩水楔の観測に有効であることが実証された。今回はセンサとケーブルとのつなぎの部分に改良を加えて再度試作した。総延長500mの多芯ケーブルの先端から100m間隔に温度・電気伝動度センサを5個を接続し、川底近く（約15cm上）の水温・電気伝動度を連続測定し、両者から塩分（PSU）を換算する仕様となっている。光ファイバの測線にはほぼ平行するようにケーブルを河口からの距離6.95 km～7.3kmの川底に敷設し、センサ5個（CT1, CT2, CT3, CT4, CT5）が以下のように設置された。測定は10分間隔で行った。

	河口からの距離	水深
CT1	7.3km	3.1m
CT2	7.2km	1.9m
CT3	7.1km	2.7m

CT4	7.05km	3.6m
CT5	6.95km	4.7m

機械的なトラブルから全期間での観測は行えなかったが、1999年1月27日～2月14日の連続記録が得られた。この期間に2度の塩水溯上・降下が観察された。全体をまとめた結果を図版III b～gに示す。水温についてみると、規則的な日変化の上に2月1日、8日を中心にして2回の大きな変化が重なっている。塩分についてみると同様に同じ時期に25PSU程度のピークがあり、それ以外の期間では塩分はほとんどゼロを示している。両者の変化がよく一致することから、水温・塩分の2回の大きな変化は塩水溯上・降下によるものであることがわかる。なおこの変化は、流量（図3）の変化と一致している。

4. 光ファイバ式温度分布計測システムによる川底での水温分布の連続測定

使用した光ファイバ式温度分布計測システムDTS80（（株）ワイ・オー・システム製）は1本の光ファイバケーブルで多くの点の温度測定が同時に、しかも連続的に行える。ケーブルの1mごとに温度が測定され、精度は4kmの範囲で±0.2℃程度である。今回は約9分ごとに1回の測定を行うように設定した。図5に示すように、光ファイバケーブルを観測基地から総延長約1500mまでの川底の深みに沿って設置した。観測された実距離は河口から6.4～7.6 kmの1200mの間である。川床温度分布の測定例を図7に示す。また、全期間の川底の水温の時空変化を図版I～III aに示す。上記のCTセンサによる観測（図版III）で、水温の変化は塩水塊の移動によるものであることが明らかなので、この図は塩水楔の溯上・降下を表現していることになる。この図の色変化のパターンから塩水楔の溯上・降下が時空的にどのように起こったかを知ることができる。図版III aに示したように河口からの距離6.6～6.8kmあたりは地形的な凹部をなしていて、塩水がしばしばトラップされることが示されている。光ファイバケーブルによる水温データについては、クロスチェックのためにICメモリ式小型水温計（T.S WaDAR, 温度センサ サーミスタ測定範囲 -2～35℃, 精度は0.064℃）を図5に示すように2地点（T1, T2）に、光ファイバに連結して設置して測定した。測定は5分間隔である。T1は光ファイバのポイント15, T2はポイント2にそれぞれ対応している。T1, T2地点での水温の経時変化を光ファイバの対応するポイントでのそれと比較すると、絶対温度では約2.3℃の違いがあり、光ファイバの温

度が高く表示された（図7）。この原因は今回の光ファイバの初期温度の設定の問題であって、両者の温度変化のパターンはお互いによく一致していることから、光ファイバによる温度計測は相対温度としては正確に計られていることは明らかである。なお、前年度の光ファイバによる温度計測は水温計によるそれと、互いによく一致していた（徳岡ほか, 1998）。図版I～III aでは水温計による温度をもとにして、光ファイバの温度を一律に2℃の補正を行って表示している。なお、マルチCTセンサによる温度計測と水温計によるそれとは、互いによく一致している。

5. メモリ電磁流速計による水温・流向・流速の連続測定

メモリ電磁流速計ACM-8M型をオンライン型音波探査機ON3の近くに、図5に示すように設置した。

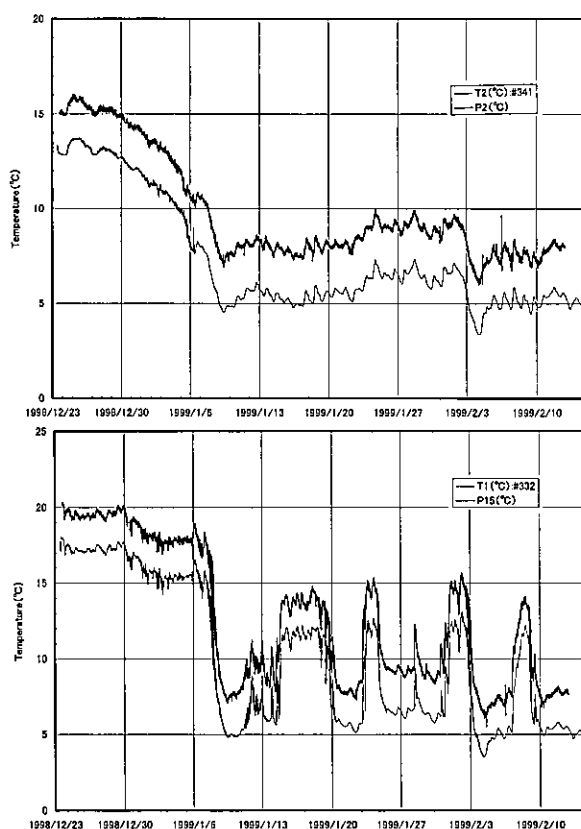


図7. 光ファイバによるP2（上流側）、P15（下流側）地点の川床水温とICメモリ付き小型水温計による対応するT2（上流側）、T1（下流側）地点における川床水温の時系列変化の比較。

Fig.7. Comparison of time series data of bottom water temperature between optical fiber system (P2: upper stream side; P15: lower stream side) and thermometer with IC memory (T2: upper stream side; T3 lower stream side).

データは10分ごとに測定するように設定した。記録部の容量の不足から1998.12.23～1999.1.7までのデータのみが得られた。この間は渇水期であって塩水溯上が設置地点におよび、貴重な記録が得られた。1998.12.23, 1999.1.1, 1.6の各1日間の温度・流向・流速データをまとめて図8に示す。オンライン音探ON3のこの時期の塩水溯上のデータと比較すると、溯上時に水温・流向・流速が変化することがわかる。

まとめと考察

1. 平成10年度の調査では恒常的に塩水楔が発生している河口から3.4km (A) 地点と、上流の渇水期に塩水楔が到達する7.4km (B) 地点を基点として調査を行った。前者では1998年10月の台風による洪水で観測機器の流失によって一部の記録が回収できなかったが、予定した調査が行われ、塩水楔の実態を明らかにすることができた。これまで塩水楔については多くの観測例が報告されているが、良い気象条件の時

に限って主に各地点ごとの鉛直方向の水質（とくに塩分）を測定するという方法によっていたために、塩水楔の実際の挙動を把握しようとしても、限界があった。ここで採用した調査法は、淡塩境界をまず音波探査によって連続的に捉え、各種機器を使用して多角的な観測を行うシステムである。観測には(1)曳航式塩水楔音響探査システム、(2)川床設置式塩水楔音響探査システム（オンライン式）、(3)同（オフライン式）、(4)光ファイバ式温度分布計測システム(5)光ファイバ式温度分布計測システム(6)流向流速計、(7)水温計が使用された。本報告では渇水期の塩水溯上がよく捉えられた地点Bの観測の概要を記述した。

2. 機器(1)はSC-1型からSC-3型に改良されたもので、船上からの音波探査によって淡塩境界を鮮明に捉えられる。これによって塩水溯上限界の位置を正確に押さえることができ、また、淡塩境界で下位の塩水が上位の淡水の流下によって削り取られる現象などが観察された。

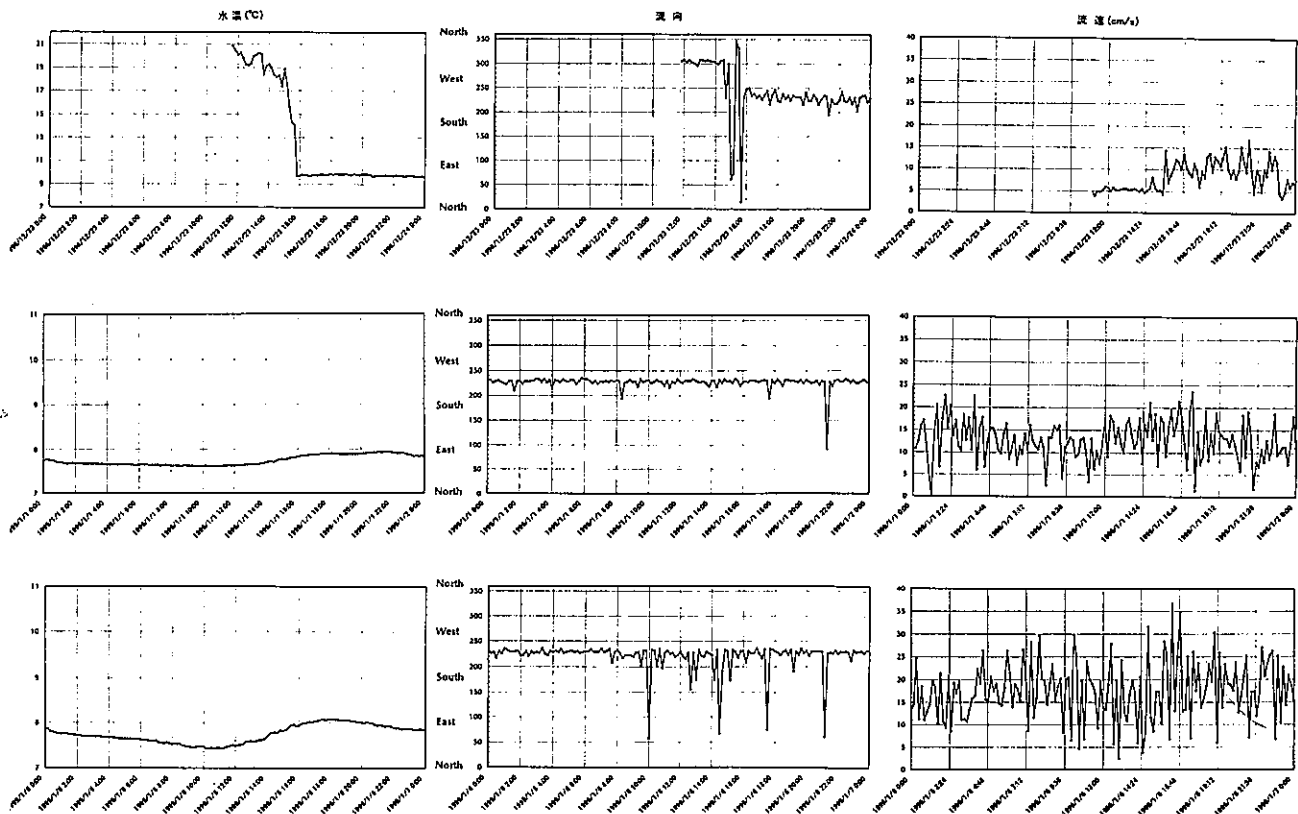


図8. メモリー電磁流速計（アレック電子 ACM-8M 型）によるオンライン音探 ON1 地点での水温・流向・流速の連続測定（1998.12.23～1999.1.7）。

Fig. 8. Time series data of water temperature, flow-direction and velocity and ON point by ACM-8M of Allec Densi Co. Ltd. (Dec. 23, 1998 ~ Jan. 7, 1999).

3. B地点では湧水期に観測を行うことができた。とくに各種機器を設置した1998年12月23日以降に流量が50m³/s程度の期間が続いたことから、以下のような貴重な湧水期のデータが得られた。

3-1) 機器(2)による1998年12月23～24日の観測では淡水境界面がしだいに鮮明になっていくことから、溯上してくる塩水がマウンドを越えて深みに浸入していく際には、しだいに塩分を増していく形で進行することが明らかになった。

3-2) 機器(4)は1999年2月1, 8日を中心にした2回の塩水溯上・降下を捉えることができた(図版III b～g)。5つのセンサの温度・塩分データから溯上・降下の速度が計算される。

3-3) 機器(5)は河口からの距離6.4～7.6kmに設置し、全期間の川床の深みにそった温度分布を時系列で明らかにすることができた(図版I～IIIa)。この期間には溯上する塩水と流下する淡水とは大きく温度を異にし、また機器(4)の測定から温度と塩分の変化が完全に対応していることから、この図の色変化は塩水の溯上・降下を示すことになり、そのパターンから塩水の溯上・降下の実態を読み取ることができる。たとえば1999年1月6日のデータによると、流量が43m³/sに低下した際に塩水楔の先端は7.0kmから7.6kmまで溯上し、この間に2時間半から3時間を要したので、おおよそ時速200m程度(約5.5cm/s)の速度で溯上していったことがわかる。河口からの距離6.6～6.8km辺りでその下流・上流域より高温の部分が時間的に連続しているのは、そこが凹部をなしていて、塩水がしばしばトラップされることを示している。

3-4) 機器(6)の流向・流速計はデータを10分ごとに測定するようにセットしたことから、日数的には短期間となったが、幸運にも塩水が溯上して行く、まさにその時の状態を計測することができた(図8)。1999年1月6日の溯上の時間帯には5cm/sの上流に向かう流れ(川底から70cm上位)が測定されていて、これを溯上速度とみることができる。この値は上記3-3の光ファイバによって求めた溯上速度と一致する。

4. 各機器によって得られた塩水楔の溯上・降下を川平の流量変化と比較すると、両者の間には密接な関係があることが明らかになった。塩水は流量の減少によって溯上し、増大によって降下する。江の川における塩水溯上限界と河川流量との関係は図9の一次式で示すことができる。

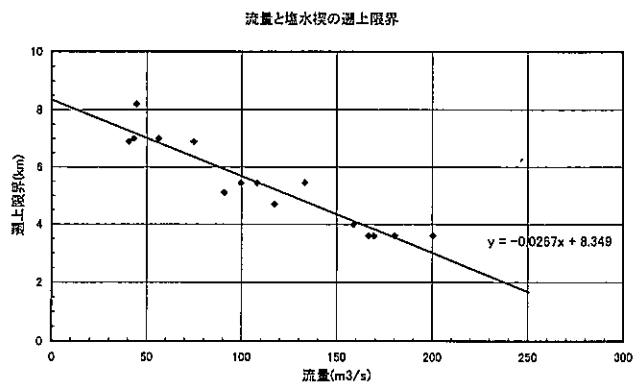


図9. 江の川における塩水溯上限界と河川流量の関係。

Fig. 9. Relationship between saline invasion limit and the amount of out flowing water.

謝辞：この調査は平成9, 10年度の河川整備基金および一部を文部省科学研究費補助金(基盤研究 A, 課題番号 07009006, 代表徳岡隆夫)により行った。実際の調査にあたっては建設省中国地方建設局浜田工事事務所の全面的な協力を頂いた。また、出雲グリーン株式会社には現地調査で協力を頂いた。船の借用にあたっては江津漁業協同組合と江の川漁業協同組合の協力をいただいた。江の川漁業協同組合には調査への協力と河川状況についての情報を提供していただいた。これらの各位および機関に厚く御礼申し上げます。

文 献

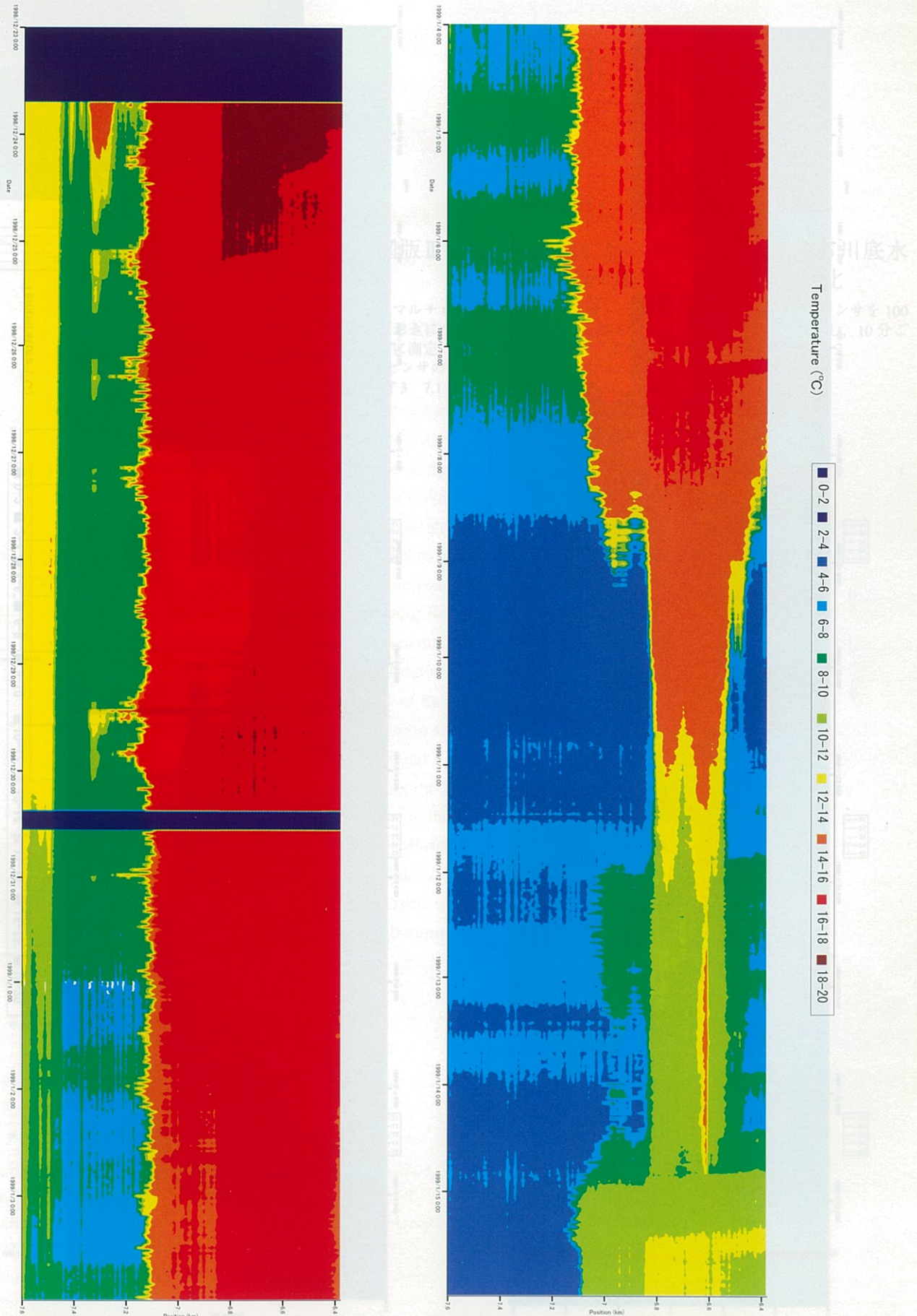
- 西村清和・安間 恵・土屋洋一・松田滋夫・徳岡隆夫・井内美郎(1994) 塩水楔調査のための水中音響探査機の開発。LAGUNA(汽水域研究), 1, 1-9。
- 西村清和・松林 修(1996) 光ファイバ分布型温度センサの海洋および湖沼調査への適用。海洋調査技術, 8, 17-31。
- 西條八束・奥田節夫, 編(1996) 河川感潮域—その自然と変貌—。名古屋大出版会, 248p。
- 徳岡隆夫・大西郁夫・三瓶良和・瀬戸浩二・田村嘉之・高安克巳・安間 恵・土屋洋一・松田滋夫・井内美郎・西村清和(1994) 音波探査による中海・宍道湖の塩分躍層の検討とその意義。LAGUNA(汽水域研究), 1, 11-26。
- 徳岡隆夫・高安克巳・三瓶良和・瀬戸浩二・井内美郎・西村清和・安間 恵・須崎 聡・松田滋夫・山中 正(1995) 汽水湖塩分躍層の動態長期観測システムの開発(予報)。LAGUNA(汽水域研究), 2, 21-27。

徳岡隆夫・三瓶良和・亀井健史・玉里圭太郎・西村清和・松田滋夫・須崎 聡 (1996) 汽水湖中海における塩分躍層動態の長期観測, LAGUNA (汽水域研究), 3, 73-90.

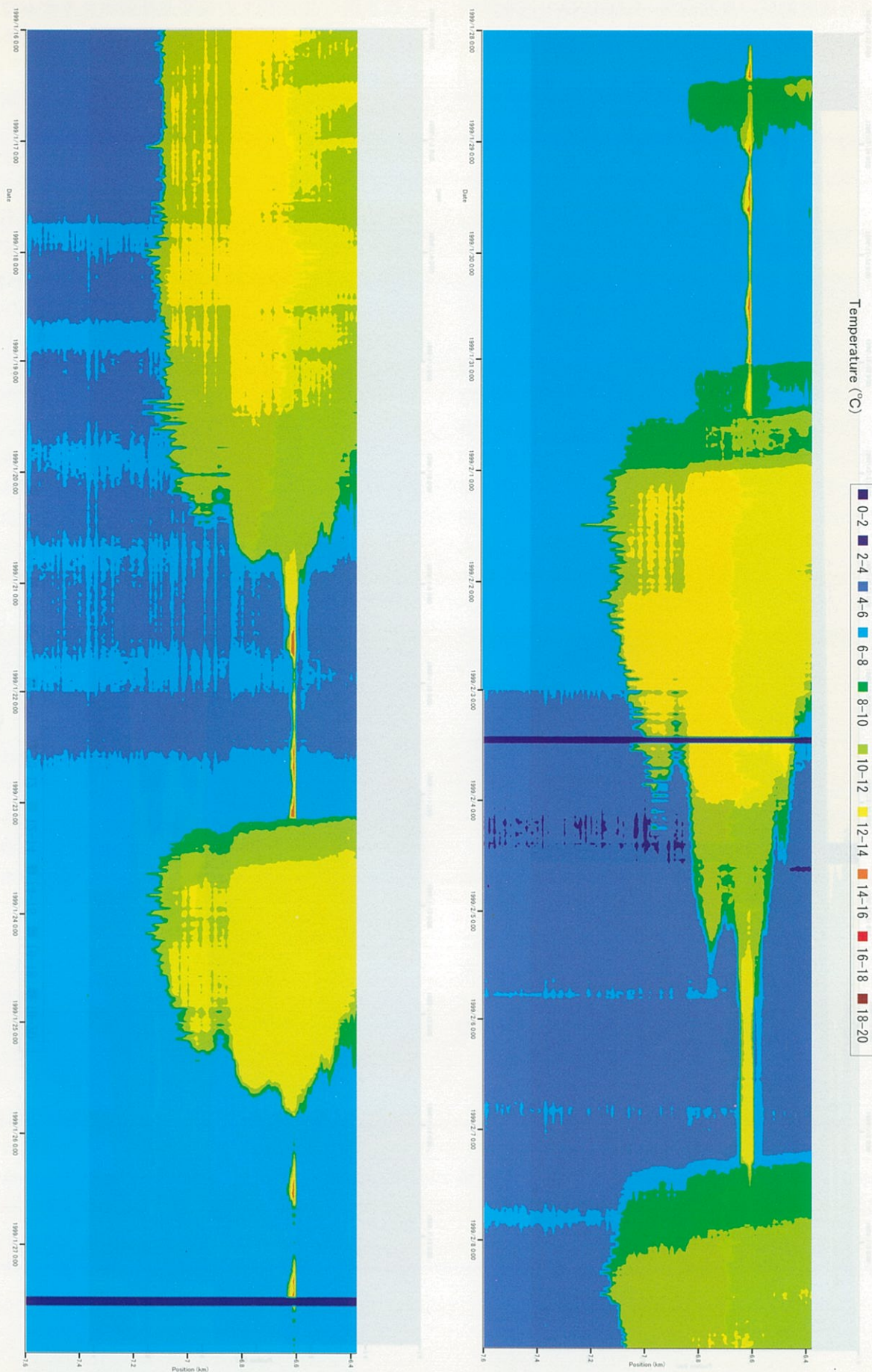
徳岡隆夫・三瓶良和・亀井健史・西村清和・須崎 聡・松田滋夫・久保田俊輔・鈴木重教 (1998) 江の川の塩水楔 ー塩水溯上の長期連続観測システムの開発ー (予報). LAGUNA (汽水域研究), 5, 197-208.

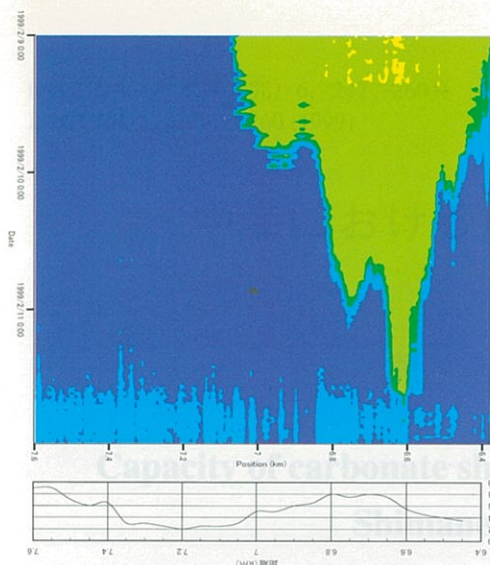
図版 I (図版 I ~ IIIa) 江の川における塩水潮上による川底水温の時空変化 (その 1, 1998 年 12 月 23 日 ~ 1999 年 2 月 12 日)

河口から 6.4 km ~ 7.6 km の深みに沿って敷設した光ファイバ式温度分布計測システムによる。横軸は川底 10 m ごと、30 分に 1 回の測定値を取り込み (原データは 1 m ごと、6 分に 1 回測定)、水温の変化を 2℃ ごとでデータ処理。河川水より高温の塩水楔が川底にそって潮上・降下する様子をビジュアル化している。川底地形は図版 IIIa 参照。



図版Ⅱ 江の川における塩水湖上による川底水温の時空変化 (その2, 説明は図版Ⅰ)

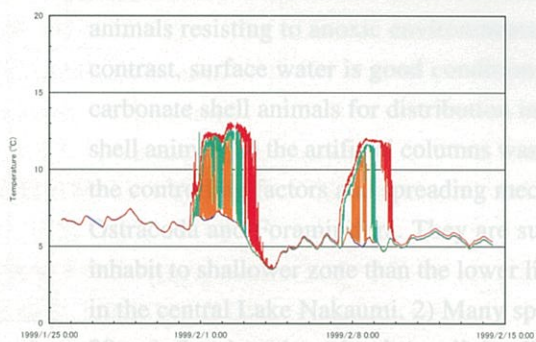




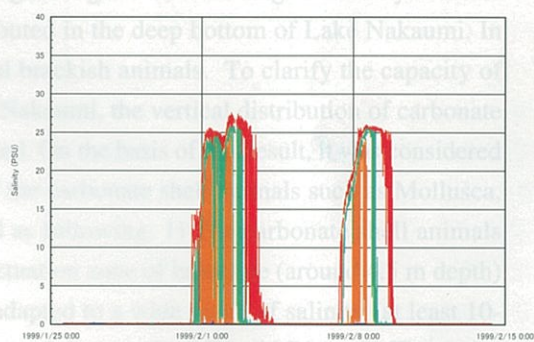
図版Ⅲa 江の川における塩水潮上による川底水温の時空変化(その3,説明は図版Ⅰ)

図版Ⅲb～g 江の川における塩水潮上による川底水温・塩分の地点ごとの時系列変化

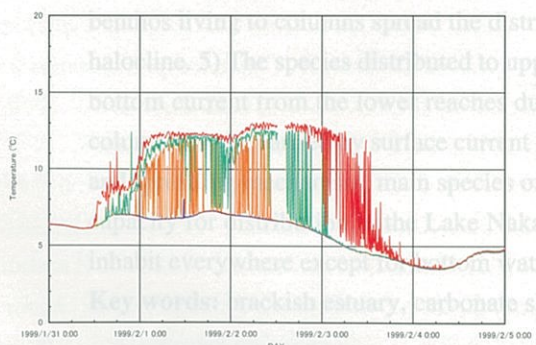
マルチCT (電気伝導度・温度) センサによるもので、5つのセンサを100 m おきにつなぎ、河口からの距離 6.95 km～7.3 km の川底に設置し、10 分ごとに測定。温度・塩分の変化の一致から、塩水楔の移動がわかる。
(センサの位置と水深: CT 1 7.3 km, 3.1 m; CT 2 7.2 km, 1.9 m; CT 3 7.1 km, 2.7 m; CT 4 7.05 km, 3.6 m; CT 5 6.95 km, 4.7 m)



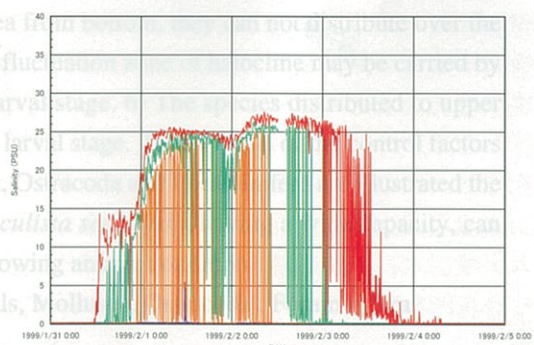
b: 1999.1.25～2.14 の水温の変化



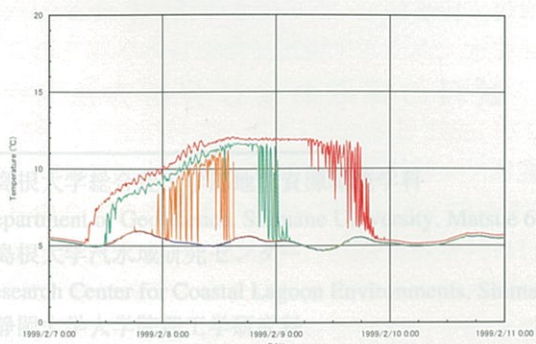
c: 1999.1.25～2.14 の塩分の変化



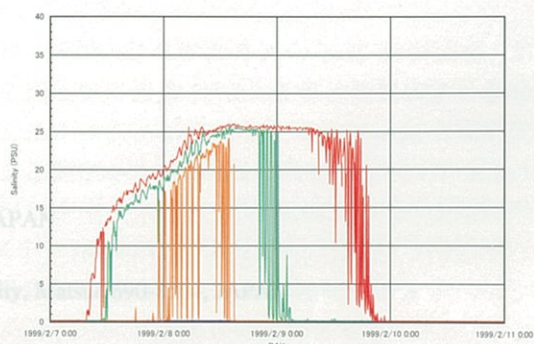
d: 1999.1.31～2.4 の水温の変化



e: 1999.1.31～2.4 の塩分の変化



f: 1999.2.7～2.10 の水温の変化



g: 1999.2.7～2.10 の塩分の変化