

# 江の川の塩水楔

## — 塩水溯上とその上流の地下塩水との関係 —

(1999 年 12 月~2000 年 2 月)

徳岡隆夫<sup>1</sup>・三瓶良和<sup>1</sup>・上野博芳<sup>2</sup>・西村清和<sup>3</sup>・須崎 聰<sup>4</sup>  
松田滋夫<sup>5</sup>・久保田俊輔<sup>6</sup>・鈴木重教<sup>7</sup>・池田龍彦<sup>8</sup>

**Saline wedge at River Gonokawa, Shimane Pref., Japan**  
**—Saline water intrusion at estuary river and its relation to the underground water—**  
**(Observation at a period of water shortage during Dec. 1999–Feb.2000)**

**Takao Tokuoka<sup>1</sup>, Yoshikazu Sampei<sup>1</sup>, Hiroyoshi Ueno<sup>2</sup>, Kiyokazu Nishimura<sup>3</sup>, Akira Suzaki<sup>4</sup>,  
Shigeo Matsuda<sup>5</sup>, Shunsuke Kubota<sup>6</sup>, Shigenori Suzuki<sup>7</sup>, and Tatsuhiko Ikeda<sup>8</sup>**

**Abstract:** A new monitoring system for the observations of spatial and temporal movement of halocline occurring at boundary between fresh water (the low-salinity water) and salt water (the high-salinity water) has been developed and applied since 1992. The saline wedge (salt-water intrusion along the bottom of river) has been observed at the lower stream of River Gonokawa of Shimane Prefecture since 1997, and when discharge rate decreased below 50 m<sup>3</sup>/s in 1999, we observed for two months that the head of saline wedge invaded up to 7.2 km. A groundwater well was installed at the riverbank for the observation of groundwater system. The well is 50 m in length and penetrates the alluvial sand and gravels. The preliminary results from this observation well indicate that the boundary between saline and fresh water in adjacent subsurface aquifer system moves downward when the discharge rate at the river increases. Consequently the movement of saline wedge is positively related with the boundary between saline and fresh water in subsurface aquifer system.

**Key words:** saline wedge, halocline, groundwater, Gonokawa

### 1. はじめに

江の川の塩水楔の観測については 1998 年 12 月から 1999 年 2 月にかけての渇水期に各種観測機器を

使用しての結果を報告した(徳岡ほか, 1999b)。これに引き続いて 1999 年 12 月から 2000 年 2 月に塩水溯上の観測を行い, 同時に渇水期に塩水が溯上する範囲より上流に深度 50 m の井戸を設置して地下

<sup>1</sup> 島根大学総合理工学部 Faculty of Science and Technology, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> 地質調査所海洋地質部 Marine Geology Department, Geological Survey of Japan

<sup>4</sup> 千本電機(株) Senbon Denki Co., Ltd.

<sup>5</sup> クローバテック(株) Clovertech Inc.

<sup>6</sup> (株)ワイ・オー・システム Y.O.Systems Inc.

<sup>7</sup> (株)鶴見精機 The Tsurumi-Seiki Co., Ltd.

<sup>8</sup> 国土交通省中国地方整備局浜田工事事務所 Hamada Branch, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

に貯留されている塩水塊についての連続観測を行い、塩水遡上と地下の塩水との動きの関係を捉えることにした。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て（たとえば西條・奥田，1996），筆者らのグループは1997年度から観測機器の開発とともに観測を行ってきた（徳岡ほか，1998 および1999 a）。江の川では、塩水は通常は河口から4～7 kmの範囲で、渇水時には河口から8.2 kmにある赤栗の瀬にまで至り、大渇水時にはこれを越えて遡上する。1998年度には河口からの距離7.4 km地点をベースとし、6.4～7.6 kmの範囲で観測を行い、河川水位（流量）と塩水遡上限界との関係を検討した。1999年度は渇水（この場合は50 m<sup>3</sup>/s）が始まった1999年12月始めから次にのべる3つの観測を行った。観測地域を図1に示す。

## 2. 調査の概要

### 2-1. 舟上からの音波探査による塩水楔の観測

河口から赤栗の瀬に至る範囲について、塩水楔音響探査システム SC-3 型を改良した SC-3 R 型（千本電機株式会社製，記録部はクローバテック株式会社製）によって塩水楔の発達状況の観測を計3回（1999.9.10, 10.27, 12.4）行った。また、川床までの垂直方向の水質（温度・電気伝導度・塩分・pH・DO）測定を各回とも4地点で行った。

### 2-2. 川床設置機器による河口から7.4～8.2 km地点での連続観測

前年度（徳岡ほか，1999）と同じく7.4 km地点を基点として渇水の始まった1999年12月始めから2000年2月にかけて連続観測を行った。使用した機器は以下のとおりで、設置にあたってはスキューバダイビングによる確認を行った。

- ・塩水楔音響探査システム SC-2 型（川床設置，オンライン式）（千本電機株式会社製）
- ・塩水楔音響探査システム CL-2 型および新たに改良された CL-3 型（川床設置，オフライン式）（クローバテック株式会社製）
- ・水温・電気伝導度・塩分を測定するマルチ CT センサ（株式会社鶴見精機製）
- ・光ファイバ式温度分布計測システム DTS-80（株式会社ワイ・オー・システム製）
- ・ICメモリ付き小型水温計 WaDaR（株式会社鶴見精機製）

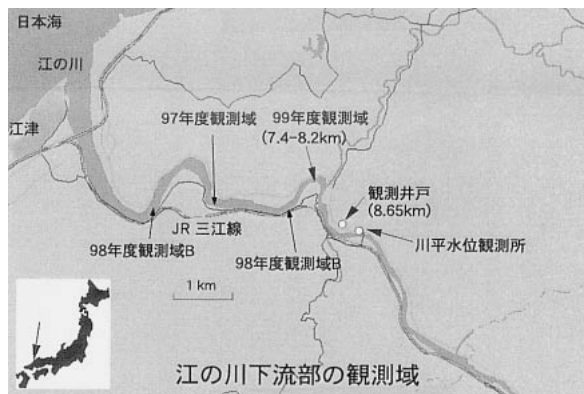


図1 江の川における塩水遡上調査観測区域と地下水調査観測井の位置。

Fig.1 Index map showing observed area of the lower stream of R. Gonokawa and the site of the observation well.

- ・流向流速計（メモリー電磁流速計 ACM-16 M 型，アレック電子製）

### 2-3. 市村観測井での地下水観測

通常の渇水時には塩水が遡上しない松川町市村（江の川右岸，河口からの距離8.65 km）の堤防上に深さ50 mの観測井を1999年10月に設置し（GL 14.63 m）し，5回（1999.10.27, 11.18, 12.3, 2000.1.8, 2.3）の水位・水質（温度・電気伝導度・塩分・pH・DO）の測定を行った。また試作された井戸用マルチ CT センサ（圧力センサによる水位測定装置付きで共著者の鈴木・西村による；GLからの位置：CT 1, -37.5 m；CT 2, -40.5 m；CT 3, -41.5 m；CT 4, -42.5 m；CT 5, -45.5 m；水位センサ, -19.5 m；測定時間間隔，5分）を設置して35日間（1999.12.3日～2000.1.7）の連続観測を行った。

## 3. 調査結果

### 3-1. 舟上からの音波探査による塩水楔の観測

塩水楔音波探査機 SC-1 型を改良した SC-3 R 型を用いて行った。SC-3 型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千本電機株式会社により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。1999.9.10, 10.27, 12.4

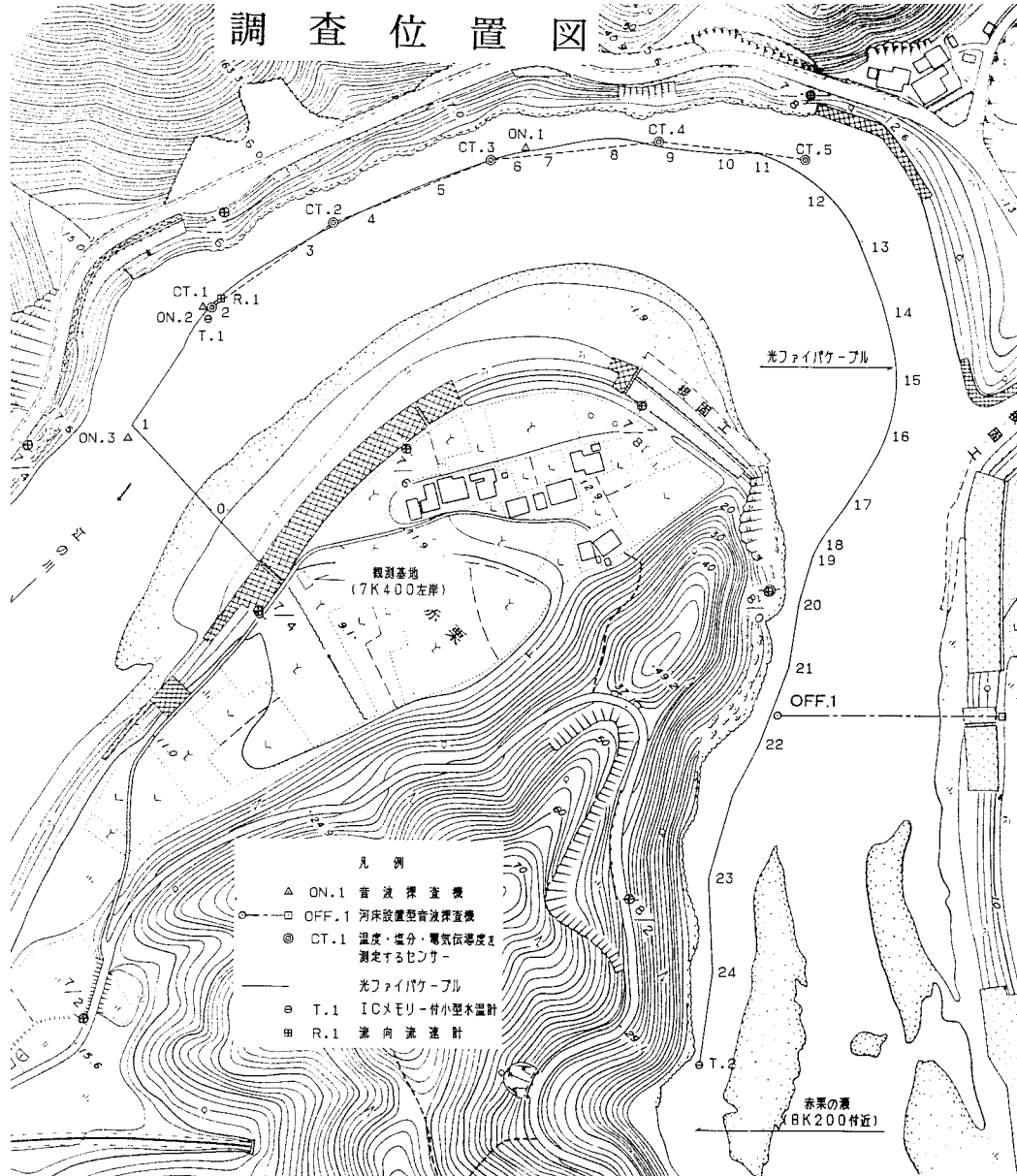


図2 塩水溯上観測機器設置位置図。

Fig.2 Map showing observed area for saline wedge by various equipments.

の3回の調査で観測された塩水溯上限界はそれぞれ5.2 km, 8.2 km, 7.0 kmであった。塩水溯上限界は後述する江の川の流量の変化(図5)とよく対応している。12月4日の記録を図版1-1に示す。

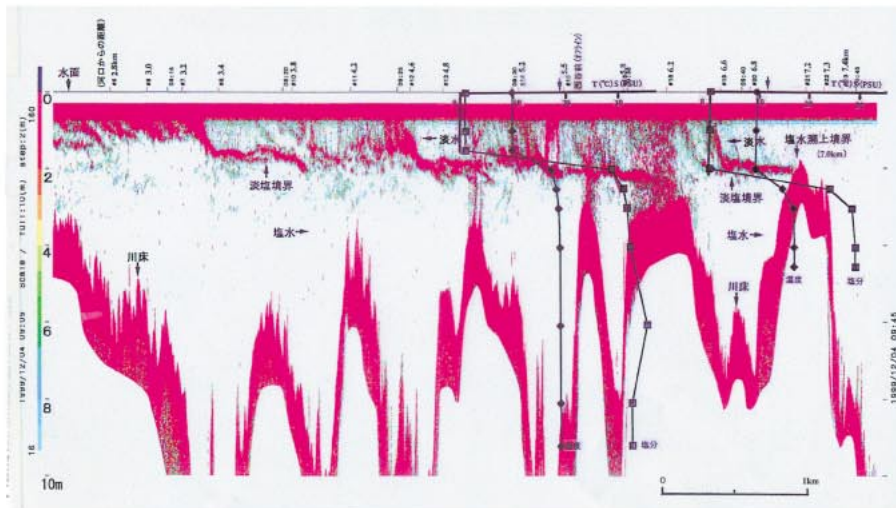
これらの観測ではそれぞれ直後に舟を引き返して各4地点を選んで水質測定を行っている。結果を音探記録(図版1-1)のなかに示す。音響的に識別される淡塩境界は各地点で垂直方向に見いだされる塩分の急変する位置によく相当している。いずれの場合も溯上限界域において入りこんだ塩水は25 PSU以上を保っていて、上位を流れる淡水と混合は弱いことがわかる。また、全域にわたって流下する淡水

によって下位の塩水が削りとられる現象(連行)が観察され、とくに川床地形が下流に向かって深みから高まりへと変化する辺りでそれが著しい。

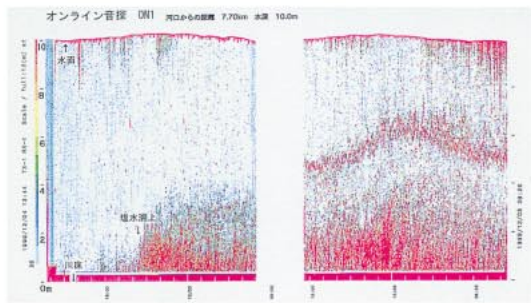
### 3-2. 川床設置機器による河口から7.4～8.2 km地点での連続観測

渇水期に調査することをねらって12月4日に機器を図2のように設置し、連続観測を開始した。結果としては機器設置を行った12月4日から6日にかけての期間が冬期にもっとも流量が減じた時期にあたっていて、50 m<sup>3</sup>/sを下回ったが、その後は流量がむしろ増えていった。流量が30 m<sup>3</sup>/s程度まで

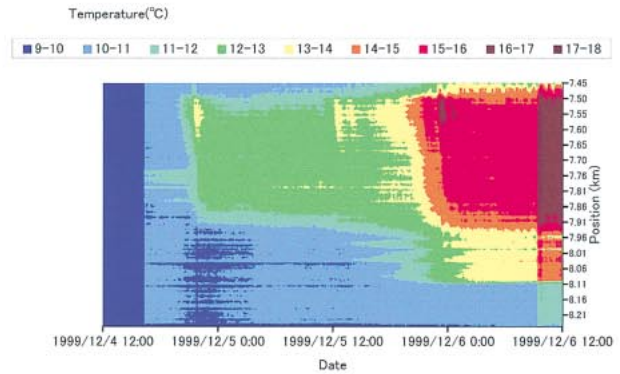
図版 1 (1~7)



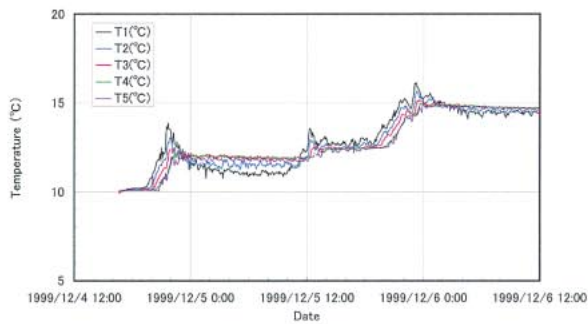
1-1 江の川の塩水楔 (1999年12月4日の記録). 音響プロファイリングシステム SC-3 R 型による淡塩境界分布.



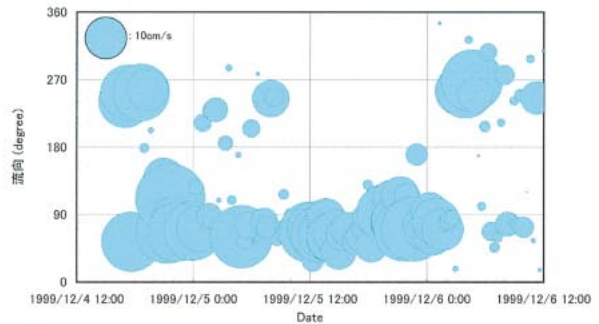
1-2 川床設置オンライン探査装置 ON 1, ON 2, ON 3 に記録された塩水潮上 (1999年12月4日~6日).



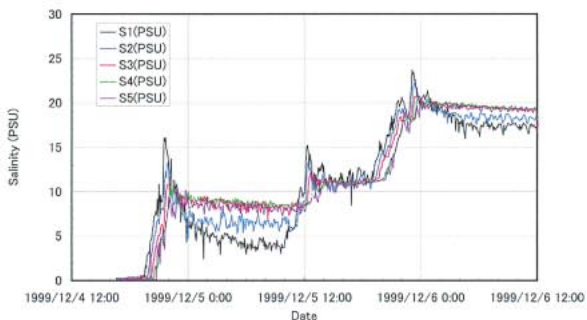
1-5 光ファイバによる塩水潮上時の川床温度の時空変化 (1999年12月4日~6日.)



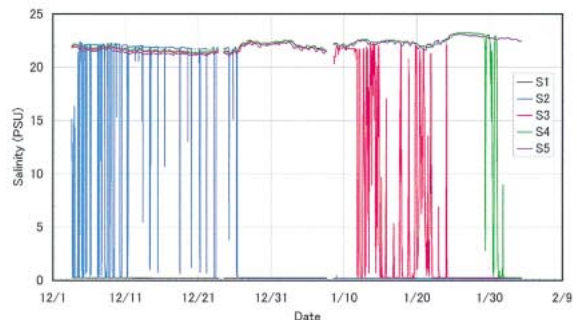
1-3 マルチ CT センサによる塩水潮上時の川床温度変化 (1999年12月4日~6日).



1-6 メモリー電磁流速計 ACM による塩水潮上時の流速の連続測定結果 (1999年12月4日~6日).



1-4 マルチ CT センサによる塩水潮上時の川床塩分変化 (1999年12月4日~6日).



1-7 市村観測井の5点での井戸用マルチ CT センサによる塩分の連続観測 (1999年12月4日~2000年2月3日)

下がることを期待したが、それは実現しなかった。しかしながら、12月4～6日にかけての流量の減少の際に、赤栗の瀬の近くまでの塩水溯上が観測された。この結果について以下に述べる。

(1) 塩水楔音響探査システム (SC-2 a 型, 川床設置オンライン式, 千本電機製) による淡塩境界の時系列変化の観測

送受波器3基 (ON 1, 2, 3) がそれぞれケーブルで記録部に連結している。なお、今回使用した機器は川床近くの記録をとれるように SC-2 型から SC-2 a 型に改良した送受波器を使用した。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
ON 1	7.70 km	10.0 m
ON 2	7.55 km	8.0 m
ON 3	7.45 km	8.7 m

各地点とも測定間隔は2分である。今回の実観測期間はそれぞれ計24日である。観測期間中に川平での流量が  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  を切って赤栗の瀬に至る塩水溯上が起こった1999年12月4～6日の ON 1 の記録を図版1-2に示す。記録は示していないが、ON 3, ON 2, ON 1 の順に川床をはい上がる塩水塊の通過があったこと、また塩水溯上が時間的に上流に進むにしたがって淡塩境界面の反射が強くなることから、塩水の濃度が増していくこと、などがわかる。

(2) 川床設置型塩水楔音響探査システム (CL-2 および CL-3 型, 川床設置オフライン式, クローバテック製) による淡塩境界の時系列変化の観測

昨年度に開発された CL-2 型 (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システム) およびこれをもとに反射面をより鮮明に捉えるための改良とあらたに水温センサを組み込んだ CL-3 型をもちいて観測を行った。観測地点と期間は以下のとおりである。

	河口からの距離	水深
OFF 1	8.10 km	8.5 m
OFF 2	5.50 km	8.0 m
OFF 3	2.00 km	8.4 m

観測期間は OFF 1 と OFF 2 が CL-3 型で33日、OFF 3 が CL-2 型および CL-3 型で61日である。図3に CL-3 型による河口から5.5 km 地点で得られた潮汐によって振動する淡塩境界面の連続記録 (1999年12月6～11日) を示す。

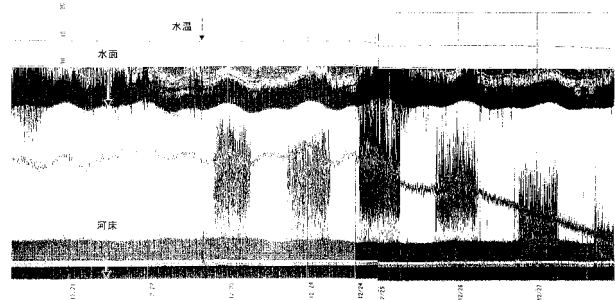


図3 塩水楔音響探査システム CL-3 型 (川床設置, オフライン式) OFF 2 連続記録 (河口から5.5 km, 1999年12月6日～2000年1月8日)。

Fig.3 A record of saline wedge by the underwater acoustic reflection measurement system of Off-line Model CL-2.

(3) 水温, 電気伝導度を測定するセンサ (マルチ CT センサ, 鶴見精機製) による川床5地点での温度・塩分変化の連続測定

マルチ CT センサは江の川の塩水溯上観測のために鶴見精機によって平成9年度に試作され、その都度改良が加えられてきたものである。延長700 m の多芯ケーブルに温度・電気伝導度センサを5個接続し、川底近く (川底から15 cm 上) の水温・電気伝導度を連続測定し、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ほぼ平行するようにケーブルの敷設を河口からの距離7.55 km～7.81 km の川底に行い、センサ5個 (CT 1, CT 2, CT 3, CT 4, CT 5) を設置した。各地点での測定は5分間隔である。

	河口からの距離	水深
CT 1	7.55 km	8.0 m
CT 2	7.63 km	8.0 m
CT 3	7.68 km	8.6 m
CT 4	7.76 km	8.8 m
CT 5	7.81 km	9.9 m

1999年12月4日～6日の塩水溯上時の温度および塩分の記録をそれぞれ図版1-3 および1-4に示す。

温度と塩分の時系列変化は良く一致することから、塩水楔の移動を知ることができる。

(4) 光ファイバ式温度分布計測システム DTS-80, (株)ワイ・オー・システム製による川底での水温分布の連続測定

平成9, 10年度と同様に使用した光ファイバ式温度分布計測システムは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1 mごとに温度が測定され、精度は4 kmの範囲で $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 程度である。今回は河口からの距離7.45～8.25 kmにわたって全長1000 mで設置した。測定は5分間隔で、観測期間は1999年12月4日～2000年1月7日の計34日である。水温 $2^{\circ}\text{C}$ ごとに区切ってカラー表示した1999年12月4～6日の結果を図版1-5に示す。なお、光ファイバケーブルによる水温データのクロスチェックのためにICメモリ式小型水温計(T.S WaDaR, 鶴見精機製, 温度センサーミスタ、測定範囲 $-2\sim 35^{\circ}\text{C}$ , 精度は $0.022^{\circ}\text{C}$ )を2地点(T1, T2)に、光ファイバに連結して設置して測定していて、光ファイバによる温度測定が精確であることを確認している。

#### (5) 流向流速計による水温・流向・流速の連続測定

メモリー電磁流速計ACM-16M型(アレック電子製)を音波探査機ON1の近く(7.55 km地点, 水深8.1 m)に設置し, 1999年12月4日～2000年1月7日の計34日, 測定間隔20分毎で観測を行った。12月4～6日のデータを図版1-6に示す。

#### (6) 江の川の水位・流量変化

調査期間中の江の川の川平観測所(河口から9.1 km)の1時間ごとの水位・流量データ(国土交通省中国地方建設局浜田工事事務所による)にもとづいて塩水潮上時の12月4日～6日のデータを図4および5に示す。

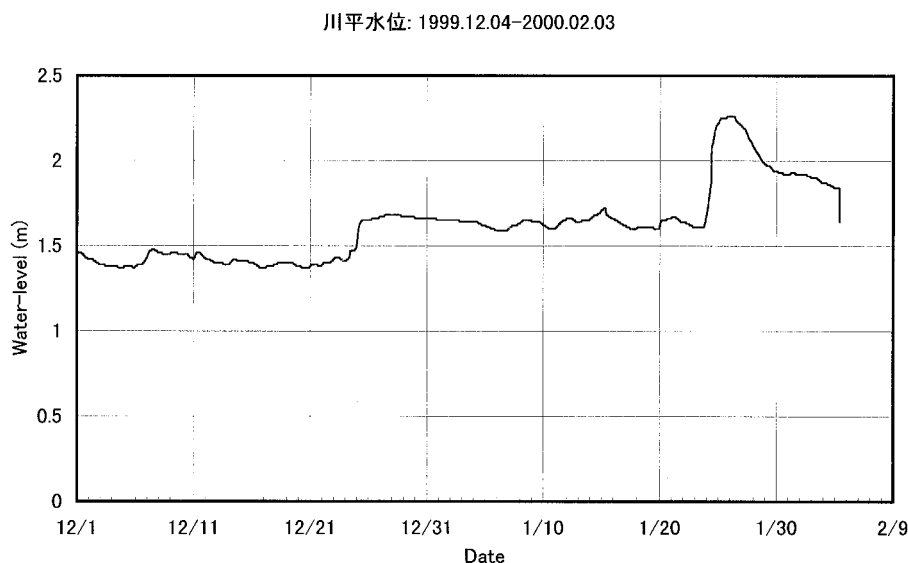


図4 川平における水位(1999年12月1日～2000年1月28日, 国土交通省浜田工事事務所による)。

Fig.4 Water level at Kawahira Observation Site (Dec. 1, 1999～Jan. 28, 2000).

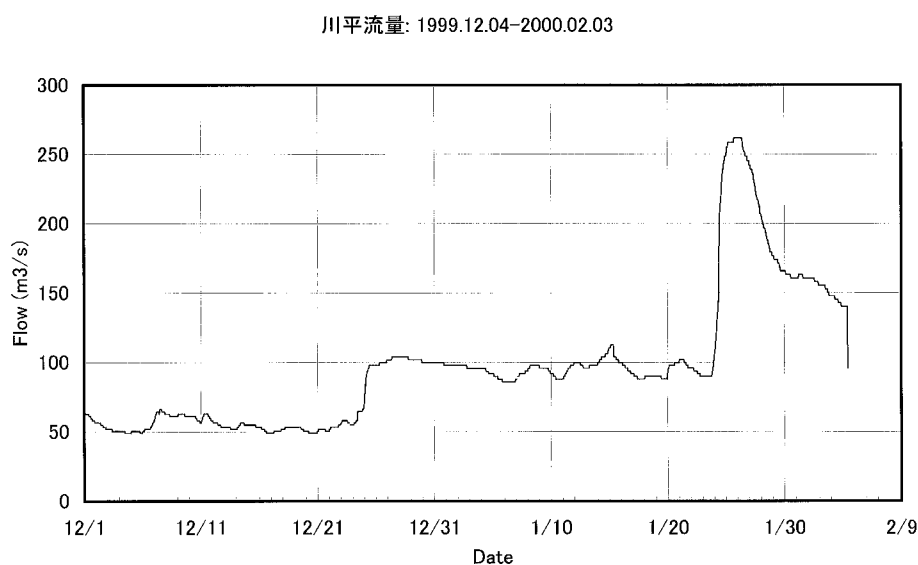


図5 川平における流量(1999年12月4日～6日, 国土交通省浜田工事事務所による)。

Fig.5 Discharge late( $\text{m}^3/\text{s}$ ) at Kawahira Observation Site (Dec. 1, 1999～Jan. 28, 2000).

### 3-3. 市村観測井での地下水観測

#### (1) 観測井の位置の選定とボーリング

江の川での塩水潮上とその上流に貯留された地下の塩水塊との関係を明らかにするために適当な場所を選定して観測井を設置し, 新たに開発された井戸用マルチCTセンサ(圧力センサ付き)を使用して観測を行うことにした。これまでの国土交通省浜田工事事務所による調査(昭和61年および平成6年



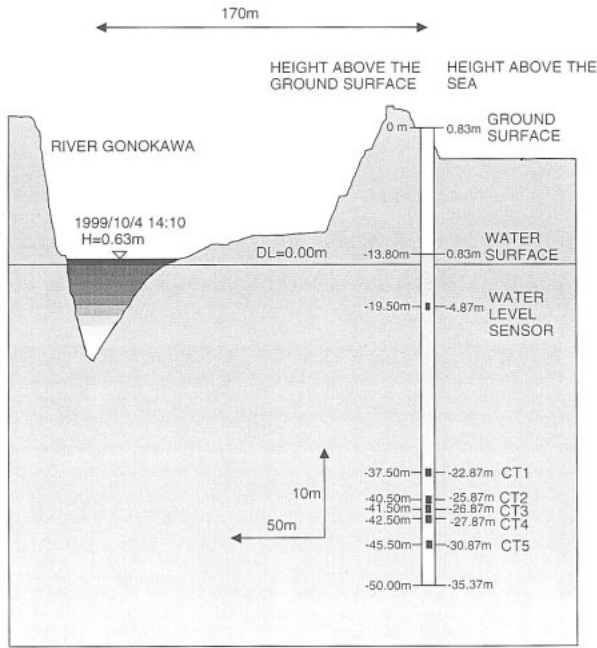


図6 設置された市村観測井の概要.

Fig.6 Configuration of monitoring sensors in the Ichimura observation well installed at 8.65 km from the river mouth.

度の報告書による)で、河口からの距離9kの松川橋の近くまで大洪水の際には地下に塩水が存在することがわかっていたことから、地下に塩水がほぼ恒常的に存在し、かつ沖積砂礫層がすくなくとも50mの厚さで分布し、かつ川の流路に近く、ボーリングの可能な場所を選定することとして、河口からの距離8.65kの松川町市村の河川堤防上でボーリングを行った。オールコア採取を行い、すべて砂礫層からなることから、一連の沖積層と判断した(図6)。井戸は径110mmのケーシングで適当な間隔に孔をあけて地下水の移動に問題を生じないような仕上げとした(写真1, 2参照)。

(2) 観測井における水位および温度・塩分観測  
水質計600XL(YSIナノテック社)によって温度・電気伝導度・塩分・溶存酸素・pHを連続観測期間中1回を含めて計5回行った。結果を図7～11に示す。

(3) 井戸用マルチCTセンサの設置と地下水位・温度・塩分の連続観測

新たに試作した井戸用マルチCTセンサはマルチCTセンサ(西村ほか, 1998)を改造して観測井において垂直方向に適当な深さにおいて温度と電気伝導度(塩分)を時系列で測定しようとするものであ



写真1 江の川の右岸堤防(市村)におけるボーリング



写真2 採取されたボーリングコアの沖積砂礫層



写真3 観測井へのCTセンサの設置

る。センサと測定方法は同じで、地下水位測定のための圧力センサを装着している。淡塩境界の深度は変動することから、設置前に水質計によって深度を確認し、変動幅を考慮してケーブル長を調節することによってセンサの位置を固定して観測を行った。設置状況を写真3に示す。連続観測を計61日間(1999年12月3日～2000年2月3日)行った。セ

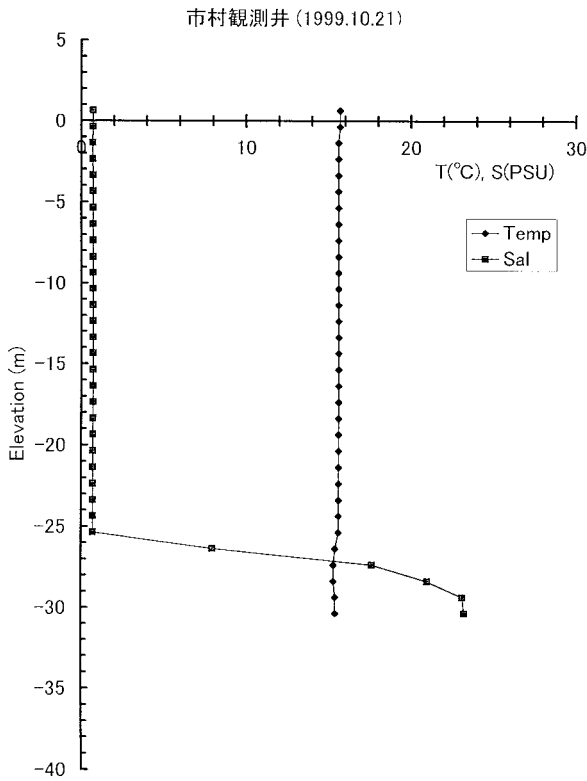


図7 市村観測井における水質観測 (その1) 1999年10月21日.

**Fig.7** Temperature and salinity distribution at the observation well (Oct. 21, 1999).

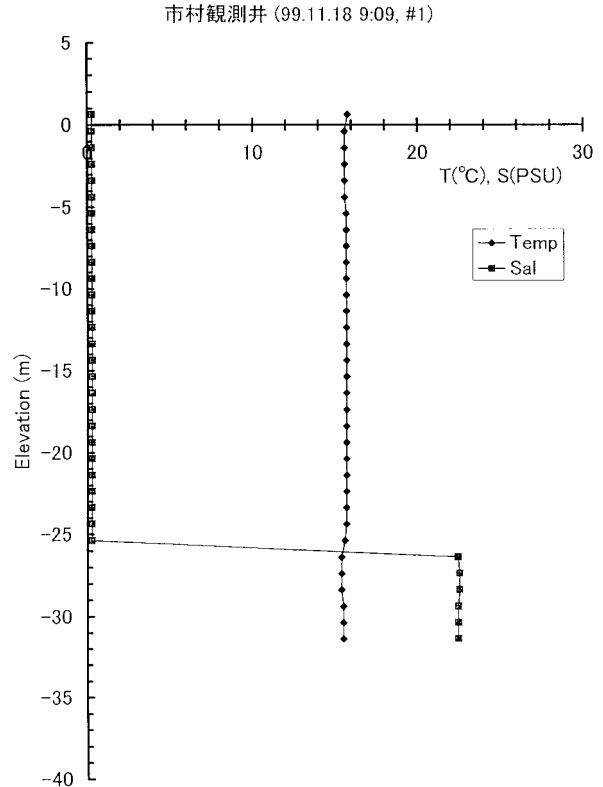


図8 市村観測井における水質観測 (その2) 1999年11月18日.

**Fig.8** Temperature and salinity distribution at the observation well (Nov. 18, 1999).

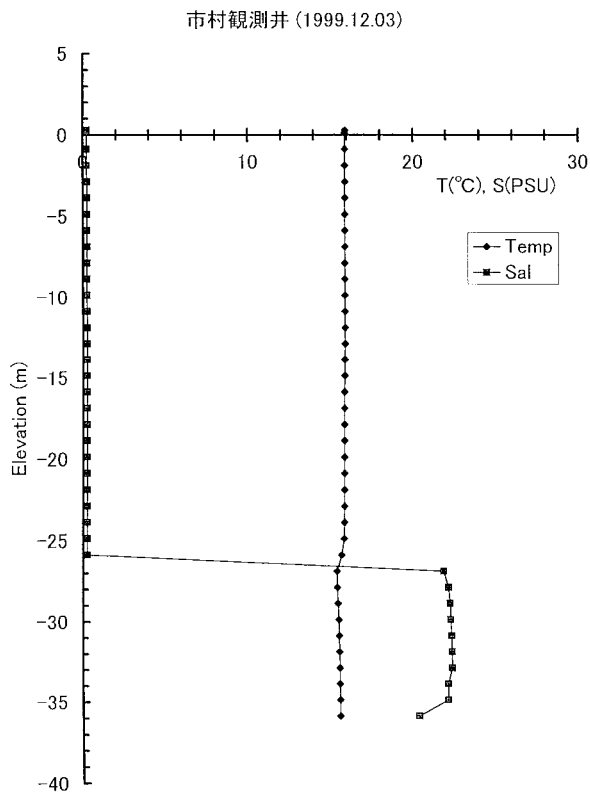


図9 市村観測井における水質観測 (その3) 1999年12月3日.

**Fig.9** Temperature and salinity distribution at the observation well (Dec. 3, 1999).

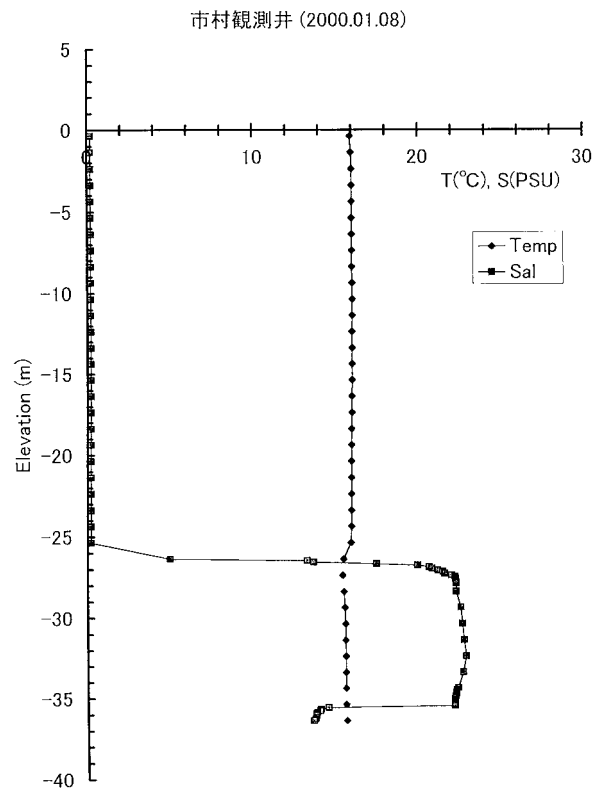


図10 市村観測井における水質観測 (その4) 2000年1月8日.

**Fig.10** Temperature and salinity distribution at the observation well (Jan. 8, 2000).



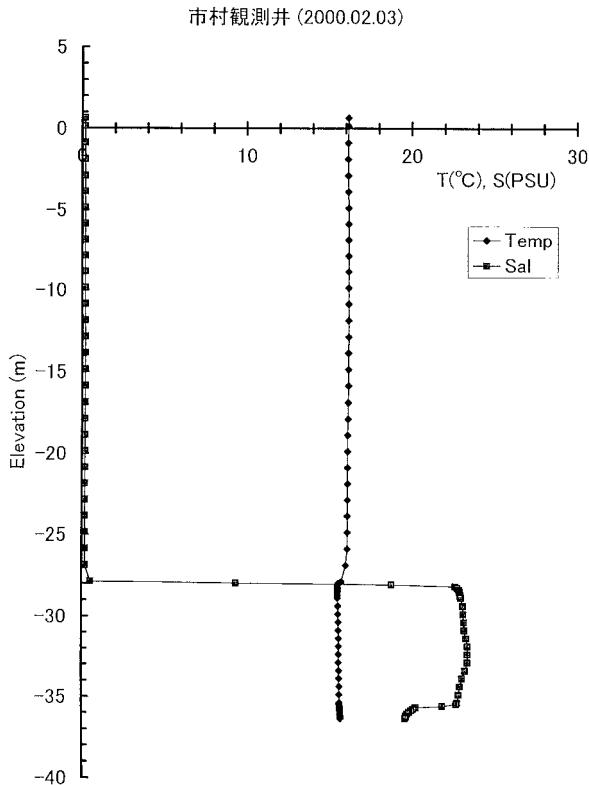


図 11 市村観測井における水質観測 (その 5) 2000年2月3日

Fig.11 Temperature and salinity distribution at the observation well (Feb. 3, 2000).

ンサ CT1～CT5 および圧力センサの測定間隔は5分である。地下水位の変動を図12に、CT1～CT5における温度と塩分の時系列変化をそれぞれ図13および図版1-7に示す。

#### 4. 観測結果についての考察

##### 4-1. 江の川の塩水湖上

(1) 塩水湖上が起こった際にその上流の地下に貯留されている塩水塊がどのような反応をするかを知るためにこの観測を行った。江の川の塩水湖上は河川の水位・流量の変化と直接関係して起こっていることが各種の機器を併用した総合的な観測によってこれまでに明らかにされている(徳岡ほか, 1998, 1999b) ことから, 1999年12月4日に川平流量が $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下となり, 赤栗の付近まで塩水湖上が起こった機会を捉えてこの一連の観測を行った。結果としてその後の流量の減少はほとんどなく, 逆に流量が増加したことから, 流量の減少(塩水楔の後退)に伴う地下の淡塩境界の動きが捉えられた。

(2) SC-3R 塩水楔音響プロファイリングシステム

による塩水湖上観測では1999年12月4日に塩水楔の先端が河口からの距離7.0 kmの位置にたっていることがわかる。先端での塩分は30 PSUである(図版1-1)。

(3) 河口からの距離7.4 km～8.2 kmに各種観測機器を設置(図2)して, 塩水湖上の観測を34日間行った。結果としては機器を設置した12月4日から6日までが, この季節としてはもっとも流量が小さくなり, 赤栗の瀬の近くまで塩水湖上が起こった。各種機器による観測結果はまとめて図版1に示されている

(4) オフライン式塩水楔探査装置は上記の観測を補足するために, あらたに温度センサをつけた機器によって2.0 km, 5.5 km, 8.1 km地点での観測を行った。河川流量の変化と潮汐に対応してこれらの地点で淡塩境界が振動していることが記録された(図3)。

##### 4-2. 塩水湖上域より上流に設置した観測井での地下水の塩水塊の動き

(1) 塩水湖上とその上流の地下に貯留された塩水との関係を明らかにするために松川町市村で深度50 mの観測井を設置し, 新たに試作した機器を用いて地下水位とともに温度・塩分の連続観測を行った。観測井での水位・水質測定(図7～11)では, 地下水面は川床面よりわずかに高く(数10 cm), 淡塩境界はDL-25～26 mに位置している。淡塩境界以下の塩水は21～22 PSUで上位の淡水とは比較的シャープな境界面(漸移帯は数10 cm以下の厚さ)で接している。いずれの測定でも最深部では塩分が急激に低下している。より下位に被圧した淡水層が存在していることによる影響と考えられる。また, 塩水層中では中位のあたりでやや塩分が高い。温度の変化は全体として小さいが, 塩分の変化と対応している。

(2) 地下水位は振幅20 cmまでの規則的な変動が認められ, 潮汐によるものと判断される(図12)。水位の変動は河川の水位・流量の変動(図4, 5)と連動していて, 両者の時間差(河川水位データは1時間ごと)は認められない。

(3) 淡塩境界の変動を知るために淡塩境界を中心としてセンサー5つを上からCT1-(3 m)-CT2-(1 m)-CT3(1 m)-CT4-(3 m)-CT5の順に設置し, 温度と塩分についての連続観測を行った(図13および図版1-7)。淡塩境界は潮汐の影響とともに, 河川の水位(結果として流量)の変化と応答してい

Well-MCT: 江の川市村観測井, 1999.12.04-2000.02.03

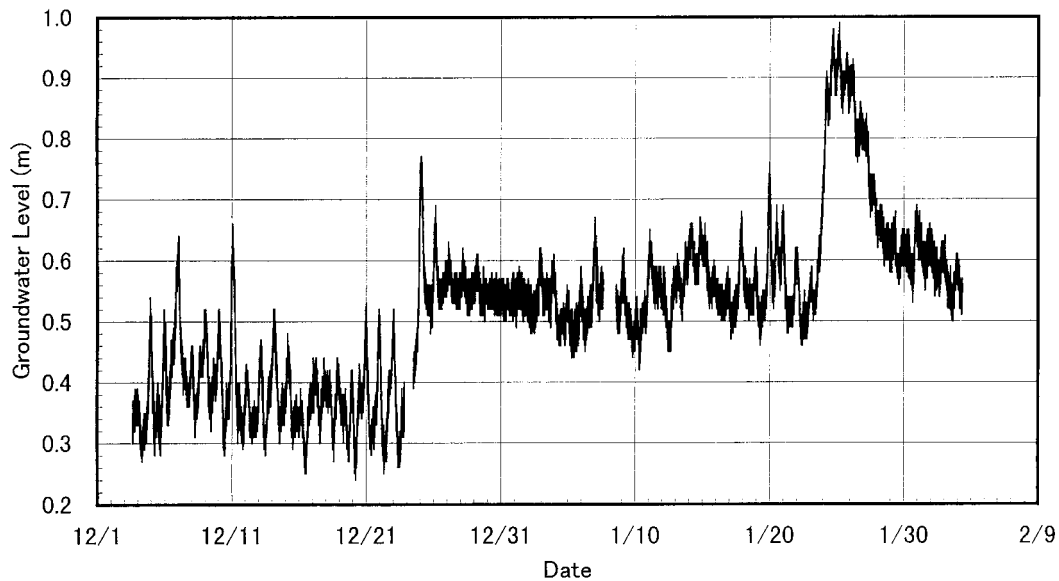


図 12 市村観測井での地下水位の連続観測 (1999年12月4日~2000年2月3日).

Fig.12 Water table at the Ichimura Observation Site (Dec. 4, 1999~Feb. 3, 2000)

Well-MCT: 江の川市村観測井, 1999.12.04-2000.02.03

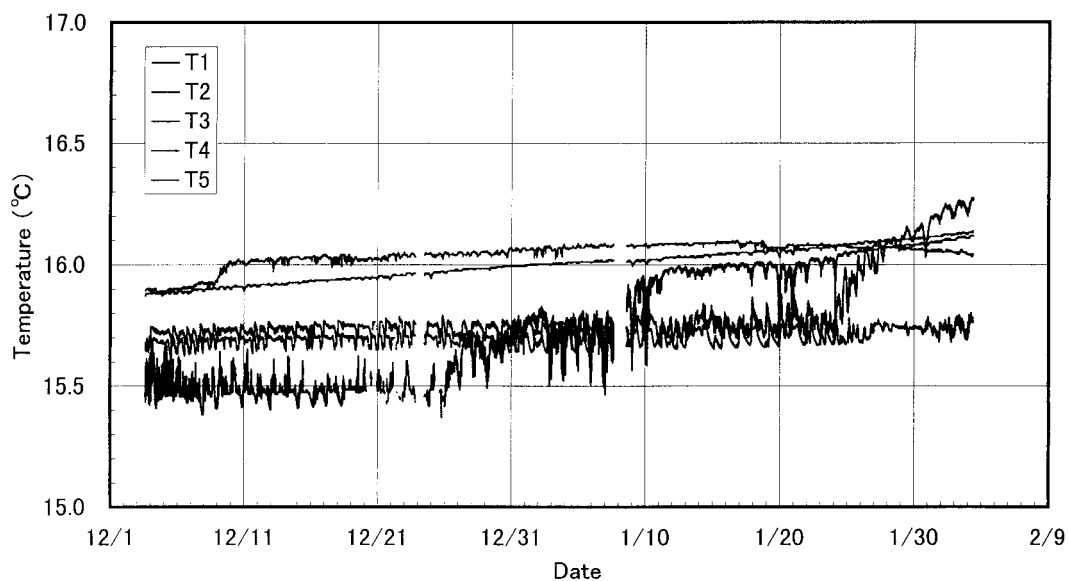


図 13 市村観測井の5点での井戸用マルチ CT センサによる温度の連続観測 (1999年12月4日~2000年2月3日).

Fig.13 Variation of temperature at each monitoring level at the observation well.

ることが明らかになった。観測期間中に CT 1 は常に淡水中にあった。CT 2 は 12 月 3 日以降 26 日までは淡塩境界付近にあって潮汐による淡塩境界の振動によって塩分はほぼ 0 あるいは 22 PSU で変化し、その変化の時間は次第におそくなり、27 日以

降は淡水中に入ったままとなる。このことは淡塩境界が次第に CT 2 に近づき、ついにはそれ以下に下がったことを意味する。つぎに CT 3 についてみると 1 月 24 日以降には淡塩境界はこれより下に下がったことがわかる。さらに CT 4 では 2 月 1 日以

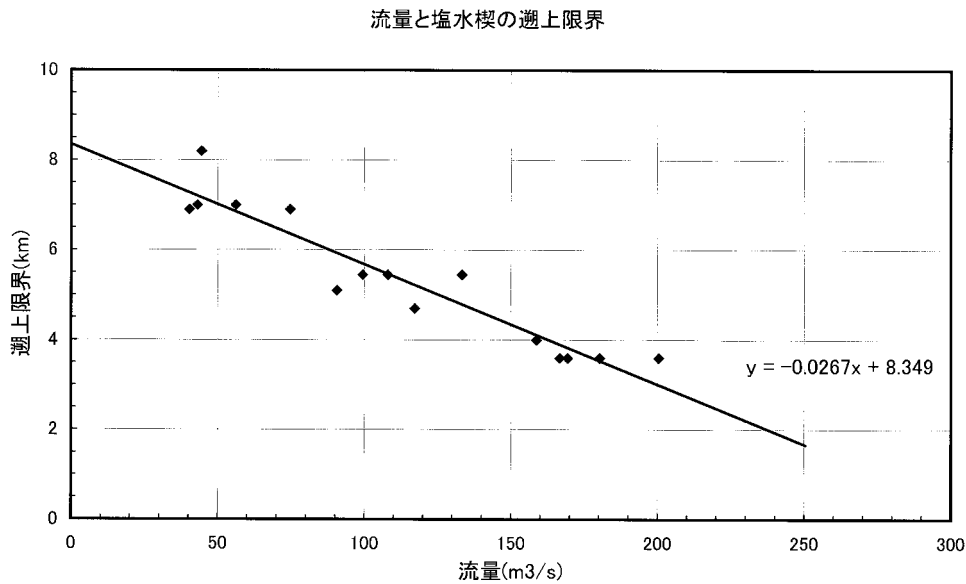


図 14 江の川における塩水溯上距離と河川流量 (川平観測所) の関係。  
**Fig.14** Relationship between saline invasion limit and the discharge amount.

降に淡塩境界はそれ以下に下がっている。これらの変化を川平の水位変化と比較すると時間差をおいてよく相関していることが明らかである。その時間差はおおよそ2日程度と判断される。

(4) 観測井での淡塩境界の変化と塩水溯上との関係について考察する。塩水溯上は河川流量の変化に対応しているので、今回の調査では12月初めに赤栗のあたりまで溯上した塩水楔はその後の河川流量の増大で後退したことが明らかである。今回の調査では塩水溯上が起こった最中に観測を開始したので、赤栗付近まで溯上した時期に地下の淡塩境界がどのように変動したかは明らかにできなかったが、流量が増し(水位が上昇し)て、塩水楔が後退した際に赤栗より先の地下に貯留された塩水塊の水位は下がったことは明らかである。このことから、塩水溯上とその先の地下に貯留された塩水塊が連動していることが確かめられた。

### 5. まとめと今後の課題

塩水楔の観測システムについては1992年以降、本研究グループによって開発が進められ、特に江の川においてこの4年間観測が行われた。その結果、塩水溯上限界と河川流量とは図14に示すように正の相関をしていることが明らかになった。ただし、流量が30 m³/s以下となるような渇水時に塩水楔の先端の位置を実測によって捉えた例はないので、今後

渇水が起こった際の調査が必要である。この調査では流量が50 m³/sを上回った冬期の渇水期に通常の渇水時の塩水溯上限界である赤栗の瀬(河口から8.2 km)までの範囲で観測を行い、予測どおりの結果を得たが、それ以上の流量の減少は起こらなかった。

塩水溯上限界より上流の地下に貯留された塩水と塩水溯上の関係については河口からの距離9.65 kmに深さ50 m (GL-35.37 m)の観測井を設置して新たに井戸用のマルチCTセンサを試作して連続観測を行った。その結果、河川流量と地下水位は時間差なしに連動していること、また流量が増加した際には時間差をおいて淡塩境界は下がることが確認された。流量の増加で塩水楔の先端は後退するので、塩水溯上と地下の淡塩境界とは連動していると云える。しかしながら今回の観測では上に述べたようにその後の塩水溯上はなかったので、溯上時に地下の淡塩境界が上昇するところを捉えることは出来なかった。また、淡塩境界を検出するためのセンサ5つは3, 1, 1, 3 mの間隔で設置されていたために、その変動はこれらセンサの深度を通過する時点でしか捉えられていない。観測時期のチャンスと更なる機器の工夫はこれからの課題である。

### 引用文献

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.

西村清和・鈴木重教・徳岡隆夫 (1998) 多点型 CT センサケーブル測定システムの開発と汽水域での塩分・温度観測実験－. 海洋理工学会誌, **4**: 41-54.

西條八束・奥田節夫 (1996 編) 河川感潮域. 名古屋大学出版会, 248 p.

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－塩水湖上の長期連続観測システムの開発－(予報). LAGUNA (汽水域研究), **5**: 197

-208.

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 a) 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), **6**: 179-187.

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 (1999 b) 江の川の塩水楔－塩水湖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). LAGUNA (汽水域研究), **6**: 233-245.