

江の川における塩水遡上域より上流の地下での 淡塩境界変動の連続観測 (2000 年 10~11 月)

徳岡隆夫¹・上野博芳²・三瓶良和³・西村清和⁴・鈴木重教⁵

The long-term observation of the boundary between saline and fresh water in subsurface aquifer system beyond the saline water invasion area at River Gonokawa, Shimane Pref., Japan (October to November, 2000)

Takao Tokuoka¹, Hiroyoshi Ueno², Yoshikazu Sampei³,
Kiyokazu Nishimura⁴ and Shigenori Suzuki⁵

Abstract: A groundwater well was installed at the river bank for the observation of groundwater system. The well is 50 m in length and penetrates the alluvial sand and gravels.

The long-term observation of the freshwater and saltwater boundary using the monitoring sensor of temperature and conductivity as well as the water table was successfully carried out from Oct. 10 to Nov. 30, 2000.

Key words: saline wedge, halocline, groundwater, Gonokawa

1. 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例として知られている。江の川では、塩水は通常は河口から4~7 kmの範囲で、また渇水期には河口から8.2 kmの赤栗の瀬を越えて10 kmに至るまで遡上することがあり、その観測は西條・奥田(1996)で1960年代に行われた例が報告されていて、最近では著者らが報告している(徳岡ほか, 1998, 1999 および 2001)(図1)。通常は赤栗の瀬より上流では塩水遡上は起こらないが、ここでは川床下に厚く堆積している沖積砂礫層中には高塩分水が常に存在していて、渇水期や地下水の過剰汲み上

げによってこれまでに塩害が発生したことがあり、この高塩分層の実態や塩水遡上とどのような関係にあるのかを把握しておくことは地下水利用の上からも明らかにしておくべき課題であった。そのために、1999年度には河口からの距離8.65 kmの江の川右岸の堤防上に深度50 mの観測井が設置され、淡塩境界を含む地下水観測がなされ、その結果、河川流量・水位が増大(遡上した塩水の後退と一致する)するとともに、赤栗より先の地下に貯留された塩水塊の水位が下がったことが観測され、塩水遡上とその先の地下に貯留された塩水塊とはなんらかの関係があることが確かめられた(徳岡ほか, 2001)。

¹ 徳岡汽水環境研究所(鳥根大学名誉教授) 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 鳥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 (株)鶴見精機 The Tsurumi-Seiki Co. Ltd.



図1 江の川と市村観測井の位置

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

このような興味ある観測結果は、今後起こりうる渇水の際の対策を検討する上で重要であること、また、さらに言えば、地球温暖化による海面上昇に伴って起こる地下水の塩水化の問題を考える上で貴重なデータを提供することにもなることから、さらに詳しい観測を行うことにした次第である。調査地域は図1に示すとおりである。

謝辞：この研究は国土交通省中国地方整備局浜田工事事務所のご協力とご支援のもとに行われたものである。記してお礼申し上げます。

2. 市村観測井と観測機器の設置、観測方法、観測期間

前年度と同じ松川町市村（右岸 8 k 650）の既設観測井を利用して、温度・電気伝導度・塩分センサ5台（マルチCTセンサについては西村ほか、1998を参照）および水位計1台を設置して30日間の連続観測を行った。前年度は淡塩境界の変動幅が明らかでなかったことから、5つのセンサの間隔を3, 1, 1, 3 mとして8 m間での観測を行ったが、今回はおおよその変動幅がわかっていたこと、また、淡塩境界の変動をより詳しく捉えるために5つのセンサを1 m間隔とし、この間で淡塩境界の上下の動きを捉えることにした。なお、観測開始前に淡塩境界がどの深さにあるかを観測した上で、新たに制作された井戸用マルチCTセンサ（鶴見精機製、各センサ位置は-40, 41, 42, 43, 44 m,）を設置することとした（図2および3）。観測は2000年10月11日～11月30日の計51日行った。なお、水質計（YSI, 600

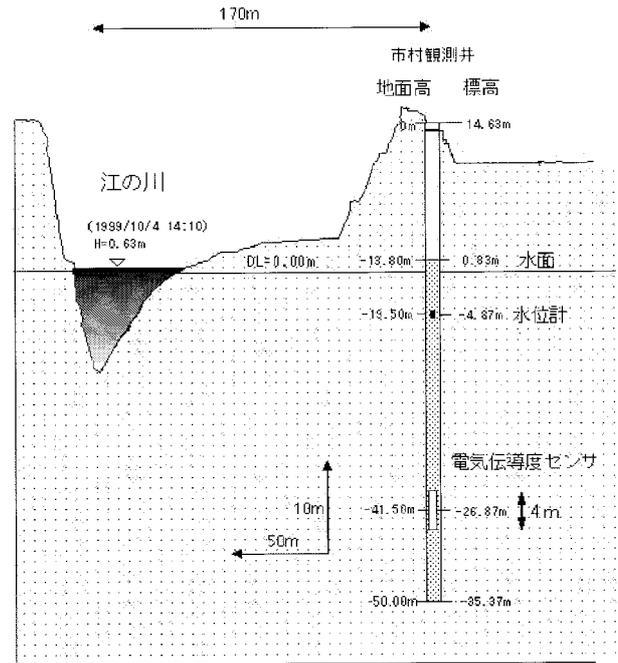


図2 市村観測井の位置と概要

Fig. 2 Configuration of the Ichimura observation well at 8.65 km from the river mouth.

XL)による1 mごとの水質（水温、塩分、電気伝導度）の観測は機器設置前と撤去後、およびその後1回行った。

なお、徳岡ほか（2001）で記述されているように、地下の地質は一連の砂礫層からなり、すべて沖積層と考えられ、この間に有効な不透水層は存在しない。井戸は径110 mmで、ケーシングには適当な間隔に孔をあけて地下水の移動がフリーとなるような仕上げとなっている。

3. 水質計による深度1 mごとの水質測定

地下水の連続観測直前の10月11日と機器の撤去（11月30日）の数時間後、および12月19日の3回の観測を行った。結果を図4, 5, 6に示す。淡塩境界はTP-24～27 mの位置にあり、観測日ごとに異なっている。しかし、どの場合も淡塩境界はシャープであり（ただし、温度の変化はごくわずかである）、厚さ1 m以内で急激に移り変わっている（11月30日のデータではやや乱れが認められるが、これは約3時間前に井戸中に吊り下げていた機器を撤去した影響が表れているためである）。これは前年度の観測でも同様であった。下位の塩水は22～25 PSUであり、最深部の約2 mでは急激に塩分が減少する傾向がどの場合にも認められる。この現象はこ

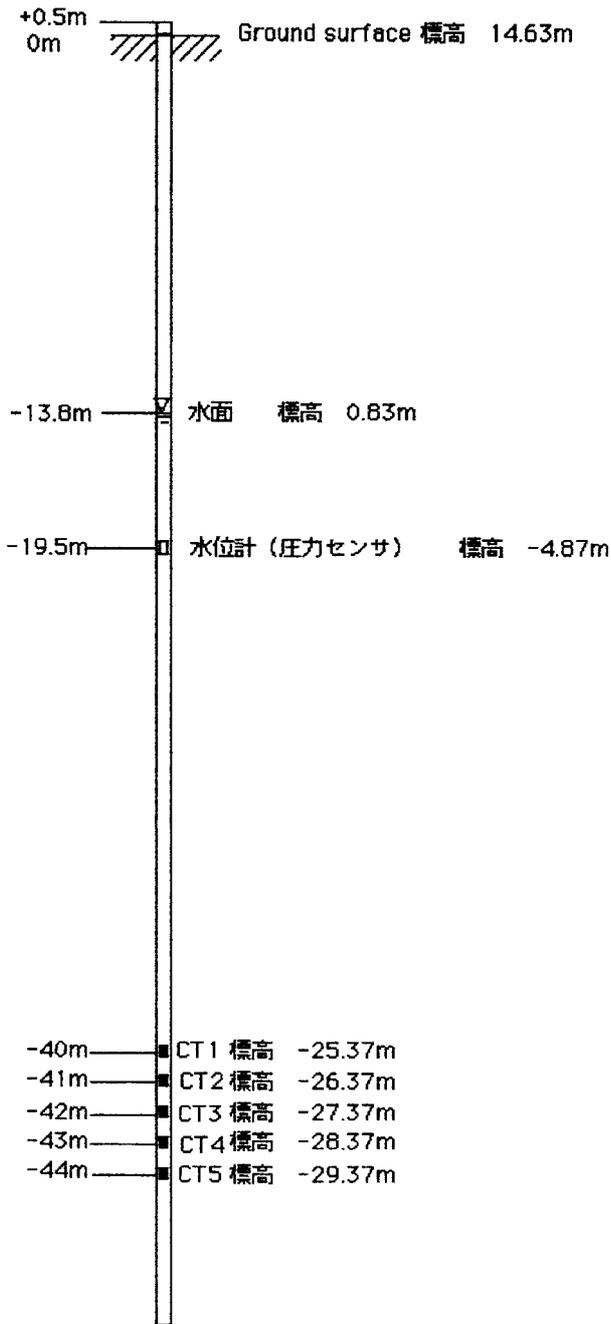


図3 市村観測井の概要と温度・電気伝導度センサ (CT1~CT5) の位置

Fig. 3 Configuration of monitoring sensors installed in the Ichimura observation well.

れより深部に被圧された地下水が存在していて、その影響によるものと推定される。しかしながら井戸の深さがここまでであるので、判断はできない。

4. 江の川の流量と水位のデータ

江の川の流量と水位については国土交通省浜田工

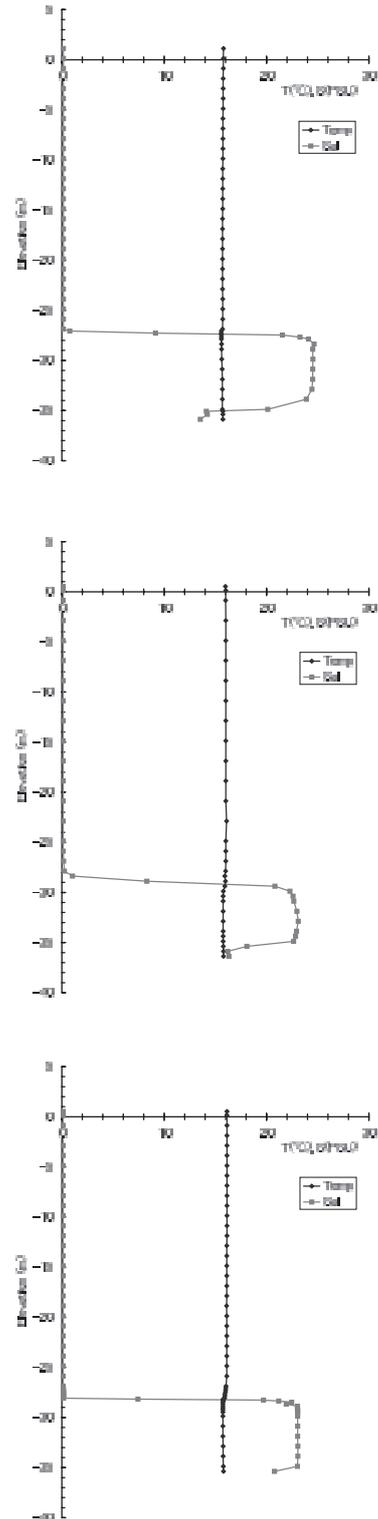


図4 観測井での温度・塩分の垂直分布 (2000.10.11)

Fig. 4 Temperature and salinity distribution at the observation well (Oct. 11, 2000).

図5 観測井での温度・塩分の垂直分布 (2000.11.30)

Fig. 5 Temperature and salinity distribution at the observation well (Nov. 30, 2000).

図6 観測井での温度・塩分の垂直分布 (2000.12.19)

Fig. 6 Temperature and salinity distribution at the observation well (Dec. 19, 2000).

事務所によって各地で観測が長期にわたって続けられている。観測井にもっとも近い位置にある川平（河口からの距離 9.1 km）の流量を図 7, 8 に、水位を図 9, 10 に示す。

5. 観測井における地下水位の連続観測

水位計を水質観測センサとともに地下水面より約 4 m 下位に設置して連続観測（測定は 5 分ごと）を行った。結果を図 11, 12 に示す。水位は潮汐を反映した規則的な変動をしている。11 月 2 日からの急激な水位の上昇は江の川の水位・流量の増大を直接反映したものと考えられる。

6. 観測井における 5 点での水質（温度・塩分・電気伝導度）の連続観測

温度および電気伝導度のセンサを 1 m おきに 5 個（深度 TP-40, -41, -42, -43, -44 m；図 3）を淡塩境界がほぼ中心にくるように設置して、2000 年 10 月 11 日～11 月 30 日に連続観測を行った。測定時間間隔は 5 分である。深度ごとの温度変化をそれぞれ図 13, 14 に、塩分の変化を図 15, 16 に示す。

水温の変動：図では各深度ごとに温度が異なっているが、値の違いは小さく、各機器の特性によるものと見なすのが適当であり、機器間の違いを議論することはできない。しかし、各機器ごとの温度変化については信頼できる値が得られていると考えてよい。いずれの深度においても 11 月 2 日のから 3 日にかけて大きな変化がみられる。これらの変化は塩分の変化と対応している。

塩分の変動：深度 S 1～S 5（-40, -41, -42, -43, -44 m）ごとの塩分変化をみると、11 月 2 日から 3 日にかけて大きな変化が認められる。10 月 11 日以降、S 1, S 2, S 3 のセンサは淡水中にあり、S 3 と S 4 の間に淡塩境界が位置している。10 月 18 日以降はセンサ S 4 は淡塩境界の上に出ることがあり、10 月 29 日以降はこれが頻繁になっている。11 月 2 日には淡塩境界は急激に変化し、11 月 3 日未明には全てのセンサが淡水中に入っている。これは江の川の水位・流量の増大と関係していると判断される。ただし、11 月 2 日には一時深度 1～5 の全てのセンサが塩水中に入っていて、淡塩境界が一時的に下降したことを示している。

7. まとめと考察

1. 市村観測井（河口からの距離 8 k 650, 深度 50 m）で水位計と井戸用マルチ CT（電気伝導度・温度）センサ（5 個のセンサを 1 m おきに設置）を用いて淡塩境界を中心に 51 日間の連続観測を行った。その結果、1999 年 12 月～2000 年 1 月の観測（徳岡ほか、2001）と同様に、江の川の塩水溯上とその先の地下に貯留された塩水との間には関係があって、江の川の流量が増加（塩水が降下）した場合に、地下の淡塩境界は時間差をおいて降下することが確かめられた。ただし、江の川の流量が減少した場合（塩水が溯上）した場合の挙動については、今回の観測でも良いチャンスが得られず、明らかにすることができなかった。
2. 今回の観測では、江の川の急激な流量・水位の上昇の直後に淡塩境界は一時的に上昇するという興

川平流量：2000.10.11-11.30

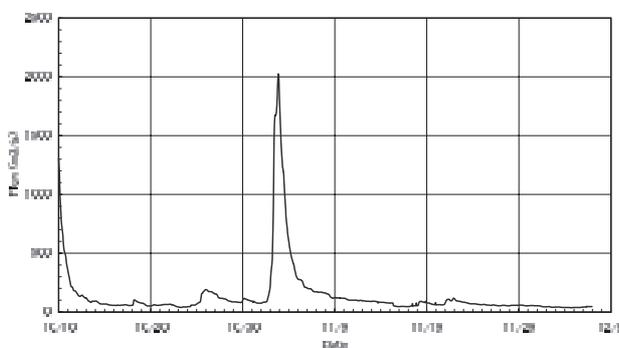


図 7 川平観測所における江の川の流量変化（2000.10.10～12.6）

Fig. 7 Discharge rate (m^3/s) at Kawahira Observation Site (Oct. 10～Dec. 6, 2000)

川平流量：2000.10.11-11.30 (4)

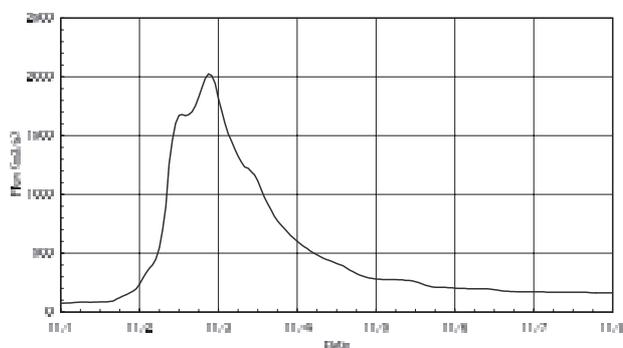


図 8 川平観測所における江の川の流量変化（2000.11.1～11.7）

Fig. 8 Discharge rate (m^3/s) at Kawahira Observation Site (Nov. 1～Nov. 7, 2000)

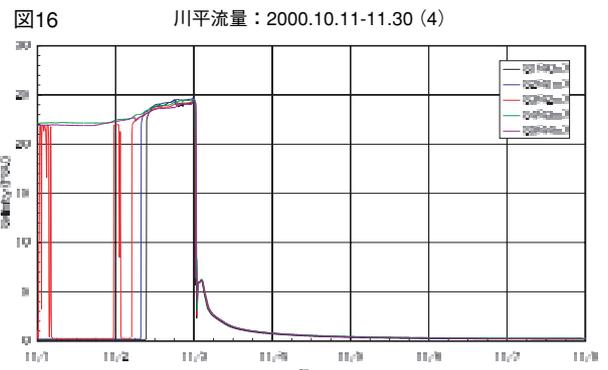
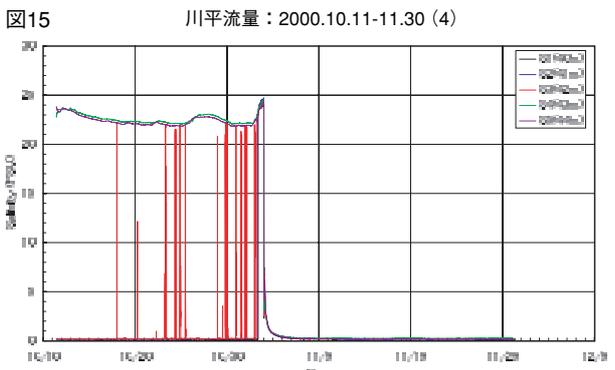
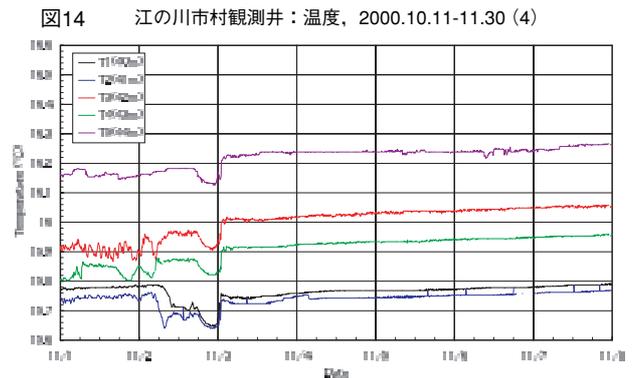
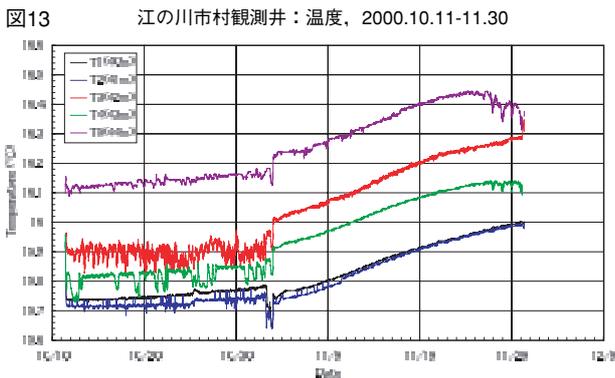
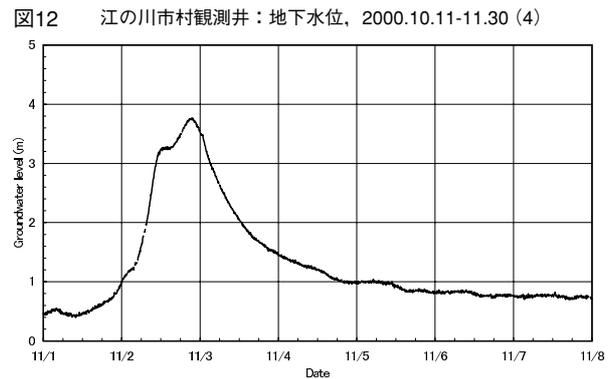
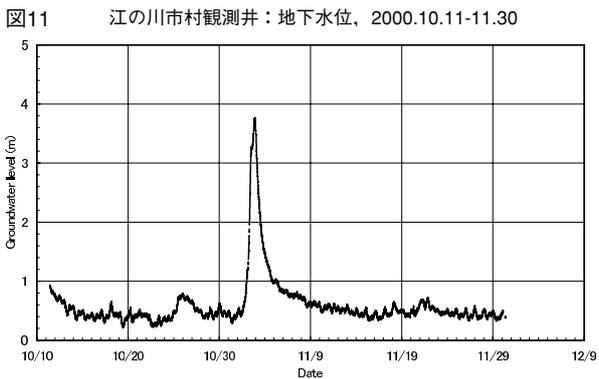
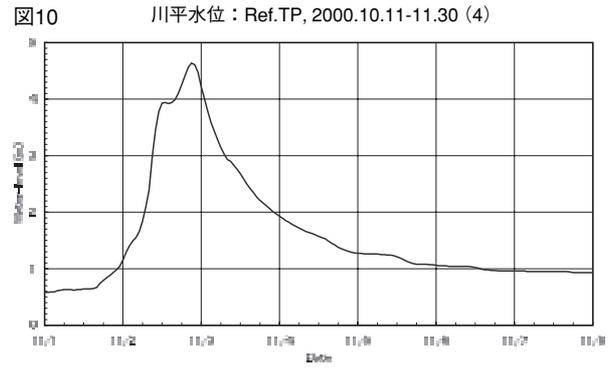
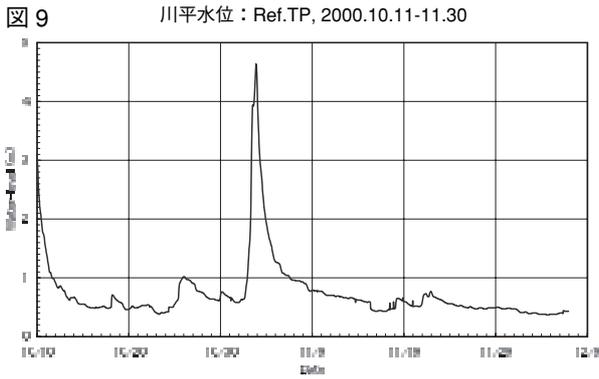


図9 川平観測所における江の川の水位変化 (2000.10.10~12.6)

Fig. 9 Water level at Kawahira Observation Site (Oct. 10~Dec. 6, 2000)

図10 川平観測所における江の川の水位変化 (2000.11.1~11.7)

Fig. 10 Water level at Kawahira Observation Site (Nov. 1~Nov. 7, 2000)

図11 観測井における地下水位変化 (2000.10.10~11.30)

Fig. 11 Water table at the observation well (Oct. 10~Nov. 30, 2000)

図12 観測井における地下水位変化 (2000.11.1~11.7)

Fig. 12 Water table at the observation well (Nov. 1~Nov. 7, 2000)

図13 観測井における各深度ごとの温度変化 (2000.10.10~11.30)

Fig. 13 Variation of temperature at each monitoring level at the observation well (Oct. 10~Nov. 30, 2000).

図14 観測井における各深度ごとの温度変化 (2000.11.1~11.7)

Fig. 14 Variation of temperature at each monitoring level at the observation well (Nov. 1~Nov. 7, 2000).

図15 観測井における各深度ごとの塩分変化 (2000.10.10~11.30)

Fig. 15 Variation of salinity at each monitoring level at the observation well (Oct. 10~Nov. 30, 2000).

図16 観測井における各深度ごとの塩分変化 (2000.11.1~11.7)

Fig. 16 Variation of salinity at each monitoring level at the observation well (Nov. 1~Nov. 7, 2000).

味ある事実が明らかになった。2000年11月2～3日に起こったことで、流量・水位の変化(1時間ごとの測定)とほぼ同調して起こっている。このような特異な現象の解明は今後の課題としたい。

3. 淡塩境界の変動を1m間隔で設置した温度・塩分センサで捉えるという今回用いた方法では、その動きを捉えるには限界がある。今後はより狭い間隔で淡塩境界を捉えるか、あるいは直接検出する方法を検討する必要がある。

4. 市村観測井が設置されて以降に水質計による1mごとの観測は1999年12月から2000年11月までに計10回行われた。ほぼ年間を通しての地下水の変動を観測したことになり、これらを整理すると、以下の点が指摘できる。1) 地下水位の変動幅は約4m以上である。2) 淡塩境界の変動は地下水位の変動と同じ規模である。3) 地下水(淡水)は季節ごとに温度が異なり、秋から冬にかけては上昇傾向にあり、春から秋にかけて下降傾向にある。とくに、3)の現象は地下水の流動にはかなりの時間がかかっていることを示唆しており、上記の1と2で示した淡塩境界の変動ともどのような関係にあるのかを、市村観測井での年間を通した観測や別途観測井を設置してそれらの間の応答を調べるなどによって今後解明する必要がある。

引用文献

- 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－. *J. Adv. Mar. Sci. Tech. Soci.*, 4, 41-54.
- 西條八東・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, 島根大学汽水域研究センター), 5号, 197-208.
- 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) 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－(湧水期潮上例, 1998年12月～1999年2月). *LAGUNA* (汽水域研究, 島根大学汽水域研究センター), 6号, 233-245.
- 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・池田龍彦(2001) 江の川の塩水楔－塩水湖上とその上流の地下塩水との関係－(1999年12月～2000年2月). *LAGUNA* (汽水域研究, 島根大学汽水域研究センター), 8号, 67-78.