

## 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)

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

### Development of saline wedge observation system (Introduction of Poster Exhibition at TECHNO-OCEAN 2000)

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

テクノオーシャンは隔年で開催される国際シンポジウム (TECHNO-OCEAN 2000 INTERNATIONAL SYMPOSIUM) で、2000 年度は 11 月 9-11 日に神戸国際展示場で行われた。今回は「人は海について何を思ったのか、そして 21 世紀地球社会と海との関わりは」のメインテーマのもとに海洋科学技術センターなどの共催のもとで行われた。例年、海洋調査開発機器メーカーの大型の展示がなされるが、今回ははじめて学術研究団体展が併せて開催されることになり、20 グループほどの参加があった。当グループは前回テクノオーシャン'98 シンポジウムから参加したが、今回の呼びかけに応じて、一般の興味も沿岸や汽水域にも伸びてきていると感じ取って出展することにした。以下の 4 つが展示したポスターである。

汽水域の水の動きをしらべる (その 1)

— これまでに開発した観測機器 —

汽水域の水の動きをしらべる (その 2)

— 中海での塩分躍層の観測 —

汽水域の水の動きをしらべる (その 3)

— 大橋川での高塩分水塊の観測 —

汽水域の水の動きを調べる (その 4)

— 感潮河川「江の川」の塩水くさびの観測 —

当研究グループは 1992 年以来汽水域の塩分躍層を音響的に捉えられるのではないかとアイデアのもとに研究を始め、文部省科学研究費試験研究 B を平成 4~5 年度及び平成 6~7 年度に採択されたことから大学と官・産の共同により機器開発を軌道にのせることができた。それらの成果については本誌にその都度報告してきた。本研究グループは当初は中海を主な調査対象として塩分躍層の観測を行うなかで機器の開発を行ってきたが、平成 9 年度からは鳥根県の江の川を対象に塩水楔の観測を建設省中国地方建設局浜田工事事務所の協力で行うようになってから、機器の開発を飛躍的に進めることができた。その後、平成 11 年度からは中海・宍道湖にも観測

<sup>1</sup> 鳥根大学総合理工学部 Faculty Science & Engineering, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan  
E-mail: tokuoka@riko.shimane-u.ac.jp

<sup>2</sup> 地質調査所 Marine Geology Dept., Geological Survey of Japan

<sup>3</sup> 千本電機(株) Senbon Denki Co., Ltd.

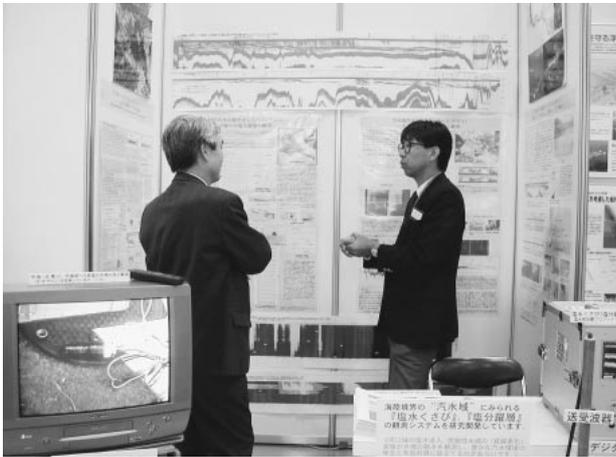
<sup>4</sup> クローバテック(株) Clovertech Inc.

<sup>5</sup> (株)ワイ・オー・システム Y.O. Systems Inc.

<sup>6</sup> (株)鶴見精機 The Tsurumi-Seiki Co., Ltd.

<sup>7</sup> 北陸先端科学技術大学院大学 Janan Advanced Institute of Science and Technology in Hokuriku

の場を再び拡げて、とくに両湖をつなぐ大橋川で高塩分水塊がどのようにして宍道湖にまで流入するかの観測を同、出雲工事事務所の協力によって行うようになった。これは社会的にも貧酸素水塊が環境への悪影響を与えることに対する社会的な関心にも応えることを目指してのことである。ポスター3と4はこれら両機関の協力があって初めてできたものである。展示ではポスターの他に新たに開発した観測機器とともに調査の様子をビデオで示すなどして、なかなか好評であった(写真)。多くの研究者および機器開発メーカーも、汽水域を含む沿岸域が人の生活や環境保全の問題とかかわって重要であることをよく認識してきていることが感じられた。



以下は研究団体展示パンフレットに示した本グループの宣伝である。  
「本グループは河口域の塩水クサビや汽水湖の塩分躍層を対象に学・官(工技院地質調査所)・産(千本電機[株], クローバテック[株], [株]ワイ・オー・システム, [株]鶴見精機)の協力により機器開発と観測を行ってきました。水質測定を基本にした従来の観測法ではクサビや躍層の実態を捉えることは困難でしたが、水中の塩分急変部で生じる超音波の反射を可視化した測器(航走式・水底設置式)、海洋での投下式測器 XCTD をもとに開発した温度塩分測定システム、光ファイバケーブル自体を温度センサとした分布型温度計を併用することによって、それらの動きをリアルに捉えることに成功しました。本システムは塩水の流動により生じる良好な環境や停滞による貧酸素化から生じる環境悪化、温暖化による塩水侵入・地下水の塩水化などの観測に有効です。」  
(徳岡記)

## 参 考 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.
- 西村清和・徳岡隆夫・三瓶良和・須崎 聡・松田滋夫・久保田俊輔・鈴木重教・上野博芳(2000) 汽水域の環境計測システム. TECHNO-OCEAN 2000 PROCEEDINGS, 855-858.
- 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.
- 徳岡隆夫(2000) 汽水域をとらえる-江の川の塩水楔観測. 月刊「水」, 11月号, 16-23.
- 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・池田龍彦(2000) 感潮河川における塩水湖上と地下水との関係: 江の川の観測例. TECHNO-OCEAN 2000 PROCEEDINGS, 715-720.

# 汽水域の水の動きをしらべる(その1)

## — これまでに開発した観測機器 —

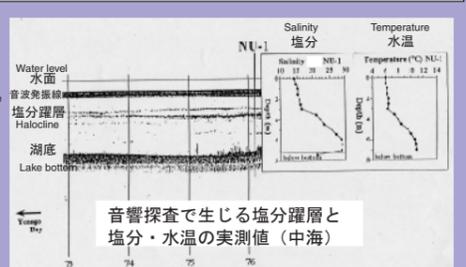
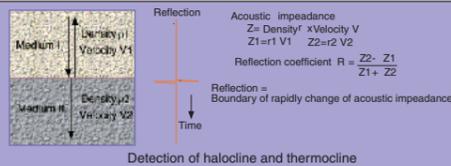
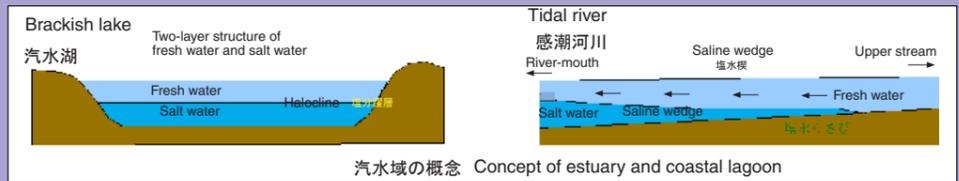
### Study the movement of the water in estuaries and coastal lagoons

#### 1. 汽水域での観測の意義と機器開発

陸と海の接点に存在する汽水域はどこでも数千年の歴史を経て成立したもので、そこには環境変化の試練を受けた豊かな生態系がみられる。淡水と塩水の二層構造は汽水域の特徴で、その分布や移動方向などを知ることは、汽水域の環境保全および将来予測に重要である。塩水の流動により良好な水底環境が生じ、一方、酸素が消費された貧酸素水塊が漁場に侵入すると魚類が死滅するなどの被害が生じる。さらにグローバルな視点で環境問題を考える場合、地球温暖化による海面上昇の影響は真っ先に汽水域に現れるので、汽水域における水の挙動を定量的かつ時系列的に把握することが急務となってきているが、従来の観測方法は地点毎の水質(主に塩分)の測定のみであり、その実際の挙動をとらえることは困難だった。そこで我々のグループは、8年前から、音波、光ファイバ温度センサ、高精度の塩分・温度センサ等を用い、広範囲・長期連続測定可能な観測機器を新たに開発し、観測を行い、水環境の保全や創造のために必要な基礎的データの取得を行っている。

##### 1. Introduction

A brackish water area (estuaries and coastal lagoons) which is located at the contact between land and sea, has been formed through a history of thousands of years, and there is a rich ecosystem which has been affected by the environmental changes. Brackish-water lakes and/or tidal river occur this area. Two-layer structure of fresh and salt waters is a characteristic of the brackish water. To know the distributions and transfer directions of fresh and salt waters is important for environmental preservation and future prediction of the brackish water. Good bottom environment is maintained by the flow of salt water, while the damage of the fishes dying out is generated by the invasion of an anoxic water mass to fishing ground. Moreover, when environmental problem is considered from the global viewpoint, the brackish water area is a suitable place as monitoring post of the global environment research, because the effect of sea surface elevation by global warming appears at the very beginning in brackish water. Recently, though it is an urgent need to determine the behavior of the water in such brackish water quantitatively and sequentially, the conventional observation method was only a measurement of water quality (salinity mainly) of the every site, and it was difficult to understand the actual behavior. Accordingly, since 1992 our group has been developing new observation instruments for wide area and long-term measurements using ultrasonic waves, optical fiber temperature sensors, high-precision salinity and temperature sensors, etc., and has been carrying out the observation. And now, we are acquiring basic data for preservation and creation of the hydrosphere environment.



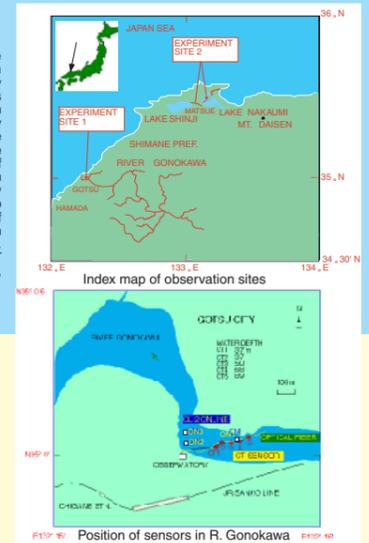
#### 2. 汽水域で起こる現象

汽水域では塩水(高塩分水)と淡水(低塩分水)の密度差から、両者が容易にまじわらず、その境目に、塩分が急激に変化する塩分躍層が生じる。これに超音波を当てると魚群探知器が魚をとらえるのと同じように強い反射が生じる。塩分の急変するところでは、水の音響インピーダンス(密度×速度)が急変するからである。この測定原理を利用して塩分躍層の分布や塩水層の厚さを把握することができる。また海水が流入する河川(感潮河川)では上流に遡上した海水の先端部(塩水楔(くさび))を超音波で同様にとらえることができる。このようにして、塩水楔音響プロファイリングシステムと塩水楔音響動態観測システムが生まれた。

塩水と淡水では塩分が大きく違っているが、水温を測ってみると、やはり相違している。しかも塩分が急変するところで水温も急変する。このことは、水温を測れば、ある程度塩分を推定できることを意味し、水底で水温を連続的に測れば、塩水、淡水の流動を捉えることができる。光ファイバ式温度分布計測システムはこれに応用し、塩水塊の分布や動きを観測する。我々は新たに開発した観測機器を用い、島根県東部の中海、宍道湖、大橋川、島根県西部の江の川などの汽水湖・感潮河川で観測を行っている。

##### 2. Phenomena in brackish water

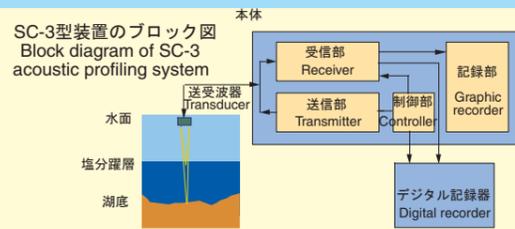
In brackish water, the salt water (the high-salinity water) and the fresh water (the low-salinity water) are not easily mixed because of the density difference between them, and a halocline where the salinity rapidly changes is developed at the boundary of both waters. Reflections similar to a fishfinder detecting fish are generated at this boundary, when ultrasonic wave is put in the brackish water. This is because an acoustic impedance (density x acoustic velocity) of the water also changes suddenly at the halocline. It is possible to examine distribution of the halocline and the thickness of the salt water layer using this measurement principle. In this way, the following were produced: "Underwater acoustic reflection profiling system for survey of halocline" and "Underwater acoustic reflection measurement system for long-term observation of halocline behavior". Not only the salinity but also the temperature vary from salt water to fresh water. Moreover, the salinity and the water temperature also change suddenly at the same depth. It means that we can estimate the salinity of water by measuring of water temperature. And it is possible to detect the flow of fresh and salt waters, if the water temperature is continuously measured on the bottom. "Thermometry system using optical fiber distributed temperature sensor" and "CT multi-sensor temperature salinity measurement system" are based on this principle, and they observe distribution and movement of the salt water mass.



#### 3. 新たに開発した観測機器

##### (1) 塩水楔音響プロファイリングシステム (航走式: SC-3型)

航走しながら200kHzの超音波を水面から水底に向かって発信し、塩分躍層で生じる反射波を受信し、塩分躍層の分布、形状を記録データとして捉えることができる。反射信号はデジタル化されデータ収録器に記録される。

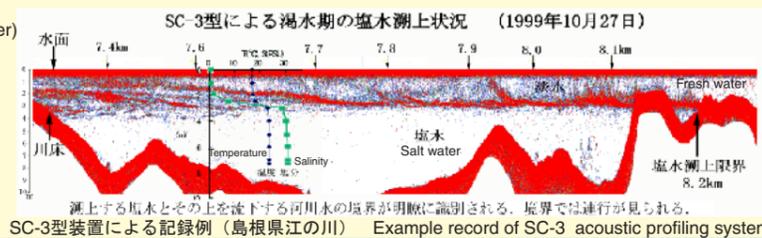


##### 3. Measurement systems for brackish water observation

(1) An acoustic reflection profiling system for spatial distribution survey of halocline (Model SC-3)

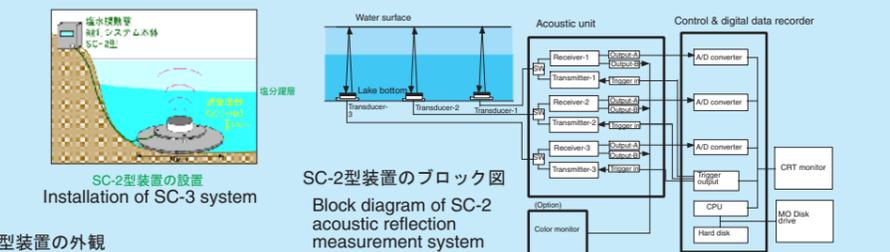
This acoustic profiling system was made by improvement of 200kHz precision echo sounder. A receiver of the system was used as amplifiers to maintain the linearity and fidelity of signal. The system measures reflection amplitude and detect the weak reflector caused by the rapid change of acoustic impedance at the halocline in brackish water. Distribution of the halocline and thickness of the salt water layer can be recorded as profile records. Analog reflection signal is converted to digital signal and recorded in a digital data logger.

Basic specifications of measurement system	
(1) Acoustic reflection profiling system for spatial distribution survey of halocline (Model SC-3)	(3) Thermometry system using optical fiber distributed temperature sensor (Model DTS-80)
Transducer Frequency 200kHz Beam angle 6 degree Straight type Recorder Internal Ni-Cd battery or External battery(12V) DC12V, 0.6A	Temperature range 200 - 300 Temperature accuracy ±0.2 (measuring time 10min) Spatial resolution 1m Measuring distance 80m/loop Number of channel 4 loops Power supply AC 100V, 200W (Y.O. systems Inc.)
(2) Underwater acoustic reflection measurement systems for long-term observation of halocline behavior (On-line model, Model SC-2)	(4) Temperature salinity measurement system using multiple CT sensors (Model MCTH-2)
Transducer Frequency 200kHz Beam angle 6 degree Transmission pulse width 15-110ms Gain adjustment 0-30dB System controller and data logger A/D converter 12bit, sampling frequency 1MHz CPU 16MHz RAM 64Kbytes, HD 6GB MO disk drive 200Mbytes (SenboDenki Co., Ltd. and Clovertech Inc.)	Temperature and conductivity Temperature sensor Thermistor Temperature range 2-35 Temperature accuracy ±0.02 Conductivity sensor Conductivity range 0-70000cm Conductivity accuracy 0.03%/cm Number of sensors 5 Interval of sensors 100m Cable length 700m Interval of measurement 5, 10, 15, 20, 30min (Tsurumi-sasaki co., Ltd.)



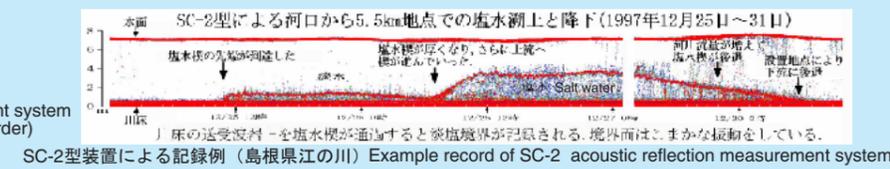
##### (2) 塩水楔音響動態観測システム (オンライン式: SC-2型, オフライン式: CL-3型)

200kHzの超音波を発信する送受波器を水底に固定し、水面に向かって音波を発信する。塩分躍層で生じる反射波を連続的に記録し、時間、空間的な動態を捉える。オンライン方式の装置では、送受波器は3台あり、最長400mのケーブルで陸上の記録部に接続され、リアルタイムの測定が可能である。またオフライン方式の装置はバッテリー駆動ですので、設置場所がフリーとなる利点がある。



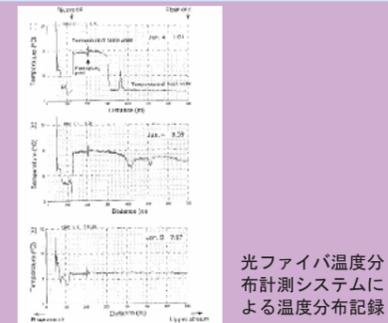
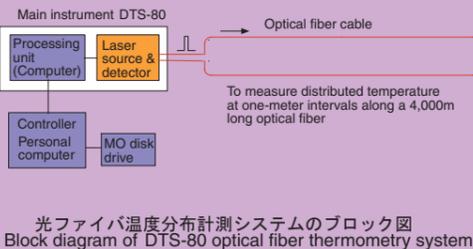
(2) An underwater acoustic reflection measurement systems for long-term observation of halocline behavior (On-line model, Model SC-2; Off-line model, Model CL-3)

The transducer which sends out an ultrasonic wave of 200kHz in the system is set up on the bottom of water, and the ultrasonic wave is sent toward the surface of the water. The reflection generated by the halocline is continuously recorded in the systems, consequently, the system detects temporal and spatial behavior of the brackish water. An on-line system, model SC-2 has three transducers with cables of 200m or 400m. The end of the cables is connected to the system on land. On the other hand an off-line system, model CL-2 can be placed anywhere we like because the system is driven by a battery power.



##### (3) 光ファイバ温度分布計測システム (DTS-80型)

光ファイバケーブル自体を温度センサとして利用する温度計で、光ファイバケーブルを湖底や川底に敷設して温度を測定する。光ファイバケーブルの全長は最大4kmで、1m毎4,000点のケーブルに沿った分布温度が得られる。温度精度は±0.2℃。汽水域の湖や河川では淡水と塩水に温度差があり、水温の変化を捉えることにより塩水塊の分布や動きを知ることができる。

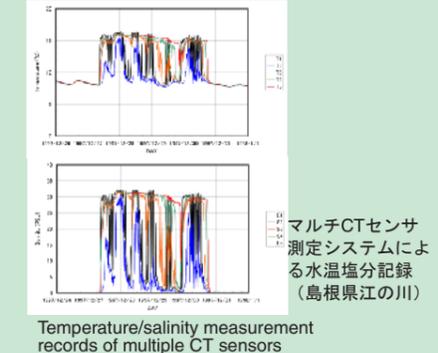
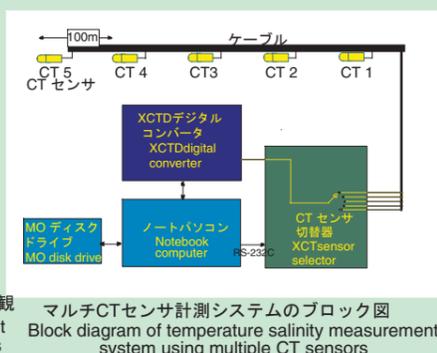


(3) A thermometry system using optical fiber distributed temperature sensor (Model DTS-80)

The optical fiber thermometry system is a thermometer using an optical fiber as temperature sensor. This system may not have as high accuracy as thermistor thermometers, but it has the great capability of simultaneous multi-point temperature measurements using only one optical fiber cable. For example, temperatures can be measured at 4,000 points at an interval of one meter along a 4,000m long optical fiber. The system can measure spatial and temporal distribution of water-bottom temperature in brackish water.

##### (4) マルチCTセンサ温度塩分システム (MCTH-2型)

海洋での水温・塩分測定用の投下式測器であるXCTDをベースにして、湖底や川底の温度、電気伝導度(塩分)を広範囲に測定できるようにした測定システムである。XCTDプローブを改造したCTセンサを100m間隔で5個つなぎ、水底の近くの塩分と水温を高精度に連続的(5分毎)に測定できる。



(4) A temperature salinity measurement system using multiple CT sensors (Model MCTH-2)

CT (Conductivity/Temperature) multi-sensor temperature salinity measurement system is based on XCTD (Expendable Conductivity, Temperature & Depth Profiling System) for oceanographic observation. The system utilizes five modified XCTD probes as its CT sensors. Each CT sensor is connected with a 700m long multi-wire cable at an interval of 100m, and the cable is connected at its end to a measurement control and data logging system. The CT sensors are installed on the bottom of a brackish water lake or a tidal river, and the continuous measurement (5 min. interval) of temperature and salinity can be carried out.

# 汽水湖の水の動きをしらべる(その2)

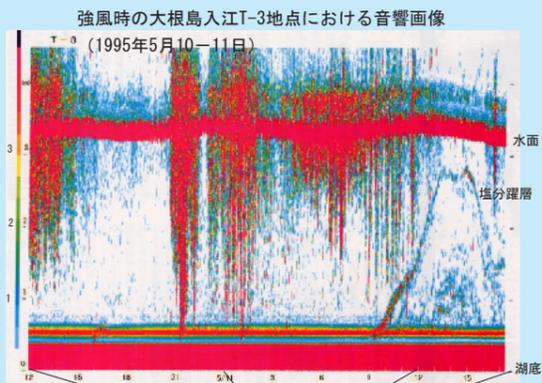
## — 中海での塩分躍層の観測 —

汽水湖では高塩分層が下に、低塩分層が上に重なり、その間に塩分が急変する塩分躍層ができています。これは2つの層の密度差から起こることで、なかなか混じり合いません。特に夏になって上層の水温が高くなってくると、密度差はさらに大きくなるので、下の高塩分層は底のほうに停滞し、有機物の分解や生物によって含まれている酸素がしだいに減っていき、貧(無)酸素の高塩分水塊を生じさせ、湖底からのリンの溶出をもたらすなどして水質を悪化させます。また、この水塊が潮位・気圧・風の吹き方によって湖の底を這うように移動することがコノシロやマトジミの大量死と関係があるのではないかと考えられています。

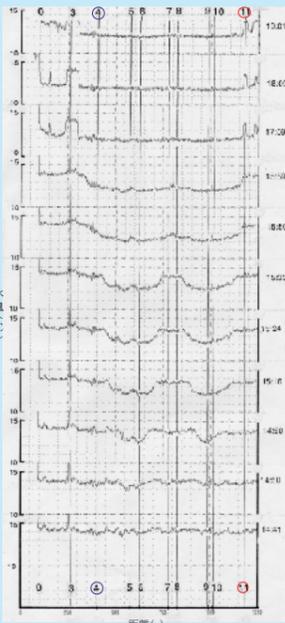
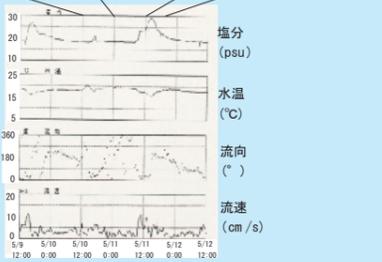
これまで塩分躍層は船上から水質計を降ろして水質(塩分)を測定することによって行われてきました。しかし、この方法だと、天気が悪い時には観測ができません。くわしくデータをとろうとすると、観測点や観測の回数を増やさなければならず、経費もたくさんかかることとなります。私たちの研究グループは、(その1)で示したように、湖底に観測機器を設置して塩分躍層の動きを昼夜を問わず、また天候にとらわれずにその動きを連続的にとらえる方法を開発しました。これによって、中海では強い風が長時間に渡って吹くと高塩分水塊が移動を始め、陸に近い湖棚にはい上がってくる現象や、台風のような強風で湖が荒れた時には塩分躍層は消失するのではなく、大きく振動して、風が弱まるとまたもとに戻るといった驚くべき現象が明らかになっています。



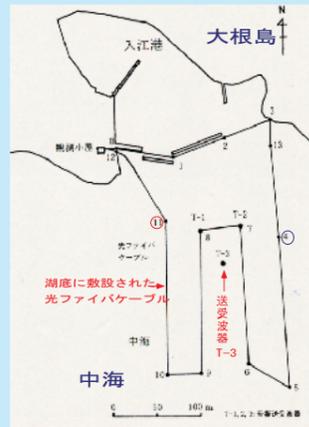
### ☆強い風が吹くと高塩分水塊が湖棚へはい上がってくる。(大根島入江での観測例 1995年5月10-11日)



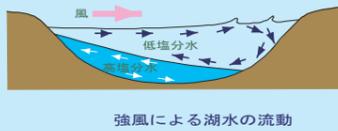
温度塩分センサ付き流向流速計による塩分、水温、流向、流速の経時変化



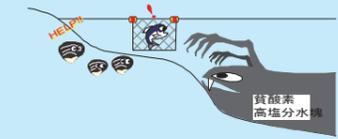
光ファイバ分布型温度センサによる海底水温分布と時系列変化



観測機器の設置図 (中海大根島入江湖岸)



強風による湖水の流動



貧酸素高塩分水塊の漁場への侵入

中海の大根島入江港の沖合約200m先に塩分楔音響動態観測システムの送受波器3台を設置しました。送受波器を設置した場所の水深は3.5m程度で、通常、水面から湖底まで低塩分水で満たされており、ふだん塩分躍層は存在していません。水温、塩分、塩分層の動きを把握するため、温度塩分センサを備えた流向流速計や光ファイバ分布温度センサも同時に湖底に設置しました。観測データの中で、典型的な塩分躍層の現れた音響断面を図(左上図)に示しました。この記録では、5月11日8時頃から送受波器T-3付近に沖合いから塩水が到来し12時~14時には水面下約50cmまで塩分躍層が上昇したことを示しています。塩水層が到来した時、湖底の塩分、水温、流向流速はどのように変化するかをグラフ(左下図)に示しました。音響記録の塩分躍層の上昇と、塩分の上昇、水温の低下が相関していることがわかります。また、流向は北向き(0, 360度)から南向き(180度)に変化しますが、これは塩水塊の動きを反映しています。また光ファイバケーブル(右上図)には、高塩分水塊の湖岸への到来に伴って湖底水温が低下する様子が光ファイバケーブルの各地点で検知されています(中図)。光ファイバケーブルの南端から順次水温が低下して低温の高塩分水でみだされることがわかります。

この長期観測により、湖岸付近では、主に強風(観測域付近では西風)が吹いた後、湖水下層の塩水塊が湖岸(湖棚)に到来することがわかりました。

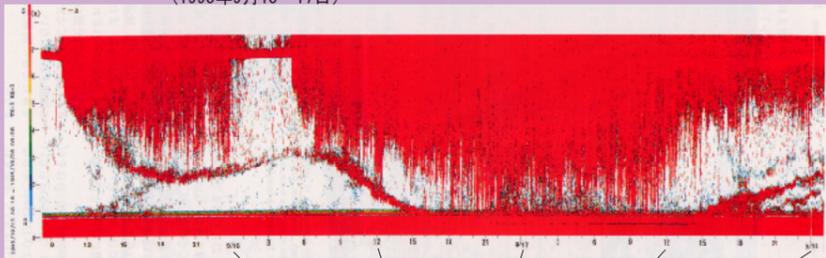


観測機器の設置作業

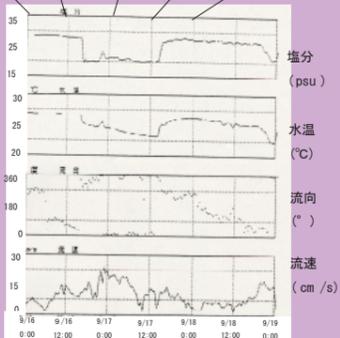


### ☆台風するとき、塩分躍層は消失されずに大きく振動する。(中海中心部での観測例 1995年9月15-17日)

強風時の中海中心部T-3地点における音響画像 (1995年9月15-17日)



温度塩分センサ付き流向流速計による塩分、水温、流向、流速の経時変化



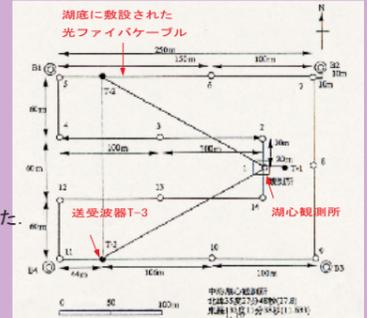
観測機器の設置作業



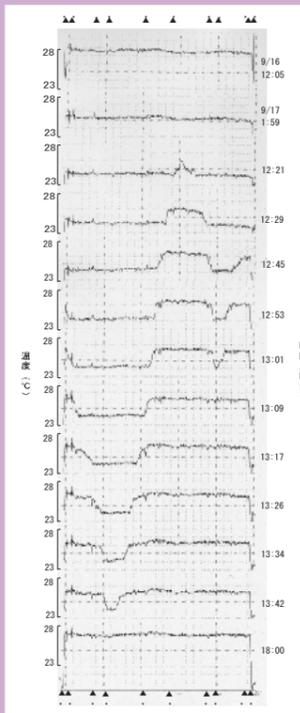
流向流速計



建設省中海湖心観測所 この付近に観測機器を設置した。



観測機器の設置図



光ファイバ分布型温度センサによる海底水温分布と時系列変化

中海の湖心に設置された建設省中海湖心観測所(写真上)を中心に、音響送受波器3台、光ファイバ分布温度センサ、流向流速計、小型サーミスタ水温計を湖底に設置し、長期観測を行いました。観測水域の水深は6.5m程度で、通常、水面下3m付近に塩分躍層が存在しますが、天候により塩分躍層と湖水の動態は大きく変化することがわかりました。1995年9月15-17日の大型台風12号が接近したときの塩分躍層動態観測の記録を示します。台風12号の接近により、風が強まり、それに従い、水中に音響ノイズが現れ、音響反射面(塩分躍層)が下降して行きました。9月16日23時には風速15.7m/sに達し、それとともに反射面も湖底に達したのと思われます。同時観測の湖底の塩分測定結果では、塩分が急激に低下しています。これは下層の高塩分層がこの付近から移動し、上層の低塩分水が湖底まで満たされたことを示しています。また光ファイバ分布型温度センサ(右上図)は、温度の高い高塩分水塊が戻ってきた時の温度変化を刻々と記録しています(右下図)。

制作 2000年11月 徳岡隆夫(鳥取大学総合理工)・西村清和(地質調査所)  
 塩水観測研究グループ 徳岡隆夫・三原良和(鳥取大学総合理工)・西村清和(地質調査所)・岩崎敏(宇都宮大学)・松田誠夫(クローバックス(株))・久保田俊輔(株)・ワイ・オー・システム・鈴木重敏(株) 鶴見精輔・上野博芳(北陸先端科学技術大学院大学)

# 汽水域の水の動きをしらべる (その3)

## - 大橋川での高塩分水塊の観測 -

汽水湖中海では下位の高塩分層と上位の中塩分層の間に塩分躍層があります。これは 境水道から中浦水門を経て入ってくる海水と斐伊川 宍道湖 大橋川を経て中海に入ってくる水塊が密度差からたやすくは混じり合わないことから起こります( (その2) 参照)。湖底付近の高塩分水塊はとくに夏場には停滞して貧(無)酸素化し、気象条件によっては大橋川を湖上して、宍道湖にまで入りこみます。大橋川を生活の場としている漁師は、「川底を這うように澄んだ、冷たい水が上がってくるがそれだ!」と語っています。この水には魚はおらず、この水が上がってくるとまったく漁にならないとのこと。 (その1) で説明した機器を矢田の渡し付近に設置して行った観測から、以下に説明します。

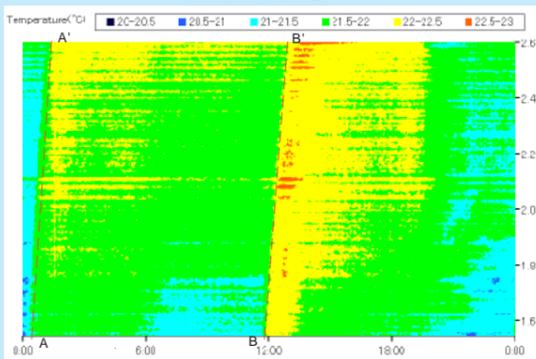


大橋川付近の空中写真

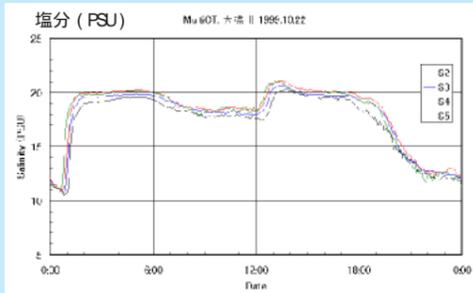
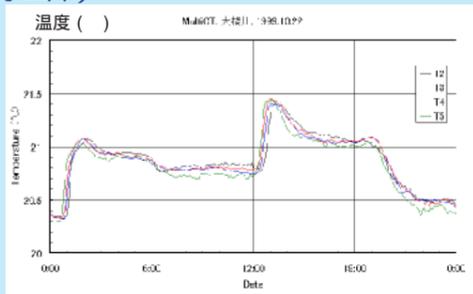
### 大橋川での一日の水の動きをとらえる (1999年10月2日)



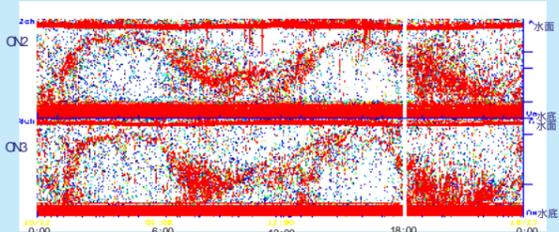
観測機器の設置図



光ファイバ分布型温度センサによる川床温度の時空間分布  
中海入口(大橋川河口)からの距離 1.6kmから宍道湖側へ 2.6kmまでの1000m間(縦軸)の川床の温度変化が0.5℃ごとで示されています。温度の急激な変化は水塊が這うことを意味するので(右図)、0時すぎに大橋川をはい上がった水塊がいったんは退き、再度昼からはい上がっていったことがわかります。図のA-A'、B-B'の傾きは水塊がはい上がる速度を示しています。前者では0.35m/s(1.26km/h)、後者では0.27m/s(1.05km/h)となります。

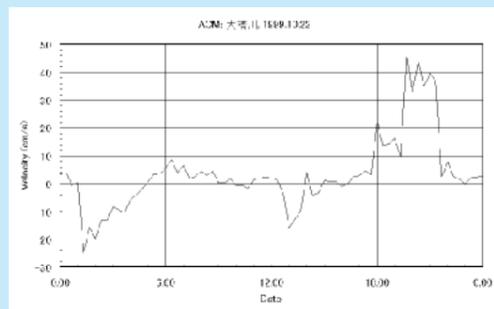


マルチセンサによる温度塩分測定  
4つのセンサが川床に約100mおきに設置されています。温度と塩分の変化が完全に一致していることから、水塊の動きを知ることができます。CT2からCT5までは240mであるので、最初はい上がり速度は0.2m/s(0.72km/h)、二度目は0.2m/s(0.72km/h)となります。



音響動態観測システム

川床に設置した2つの受受波器が、同様に2回の水塊の動きがあったことを示しています。午前 時すぎにはい上がった水塊は昼前に後退しましたが、この位置から後退しきれずに再びはい上がっていったことがよくわかります。



流向流速計で観測された流速



観測機器の水底設置作業



マルチセンサの敷設作業



光ファイバケーブルの敷設

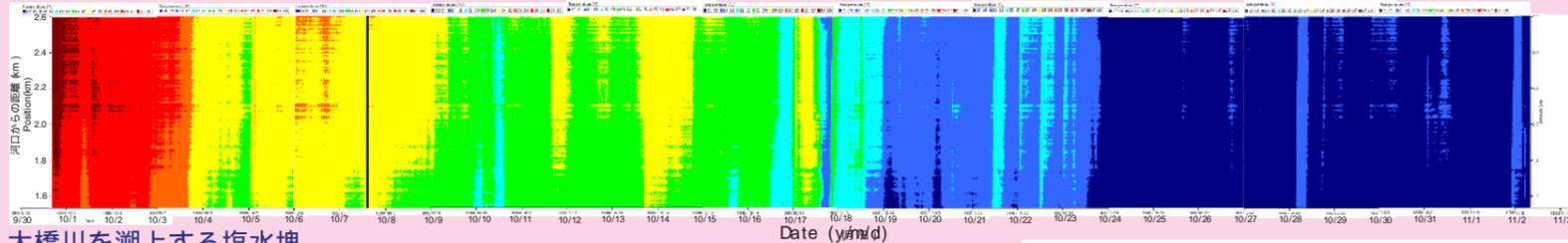


光ファイバケーブルの敷設

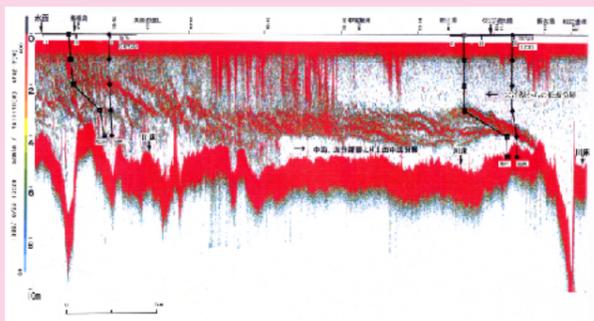


観測室での機器調整

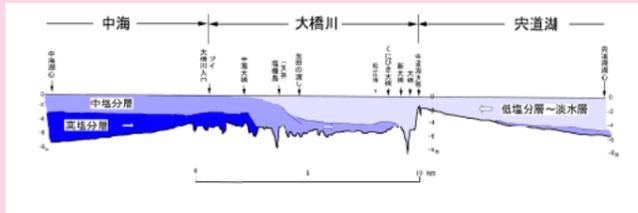
### 光ファイバ温度センサで一ヶ月の温度変化をみる (1999/9/30~ 1999/11/2)



大橋川を溯上する塩水塊



塩水塊音響プロファイリングシステム(航走式:SC-3型)による大橋川(塩橋島~大橋間)の水塊分布(1999年10月2日,10:30~11:05の記録)  
中海側からの中塩分水塊の先端部が新大橋付近にまで達し、その上を宍道湖からの低塩分水塊がそれを削りながら流れています。水深2~3mあたりに重なるように見える音響反射面はそこで塩分が急変していることを示しています。水面直下の濃い帯状部は音源からの直接反射、縦の線は波による乱れを示しています(上記の大橋川の一日の水の動きを示した観測データと同じ時間帯で測定しています)。



中海~大橋川~宍道湖にかけての水塊の分布(概念図)

中海では下位の高塩分層が上位の中塩分層と塩分躍層で接し、宍道湖では湖底付近に中塩分層がうすく拡がりますが、大部分は低塩分~淡水層からなっています。大橋川では中海側からの中塩分水塊と宍道湖側からの低塩分~淡水塊が斐伊川の流量、潮の干満・風・気圧などによって複雑な出入りをします。中海の高塩分水塊は通常は塩橋島を越えることはあきませんが、気象条件によっては大橋に至り、さらに宍道湖にまで流入します。

### まとめ

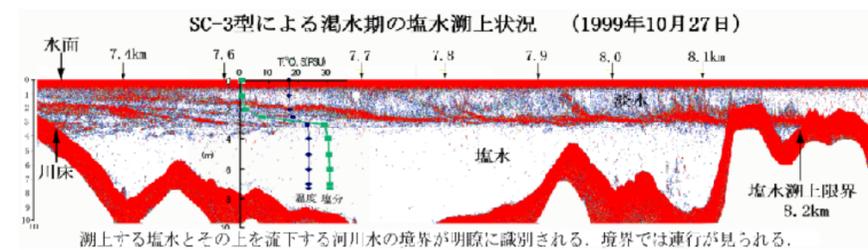
この観測システムによって高塩分水塊の動きを目で見えるようにリアルにつかまえることに成功しましたが、溶存酸素(DO)の測定が組み込まれていないこともあって、かんじんの無酸素水塊の宍道湖への来襲はまだとらえられていません。さらに改良を加えて、大橋川で長期の観測を続ければ、高塩分水塊が中海から宍道湖にどのようなタイミングで入り込むのかを明らかにすることが可能です。また、光ファイバをはじめとしてこれらの観測機器を中海から宍道湖まで連続して系統的に設置すれば、全体の水の動きをつかまえることもできるでしょう。大橋川をさかのぼる高塩分水塊の速度は今回観測した矢田の渡しから松江大橋(県内水面水試の観測による)の間まででみると時速1~2km程度でゆっくりしたものですから、それが無酸素で、まわりの水環境に悪影響を与えるおそれがあるときに工学的な手段を使って破壊することも夢ではありません。

# 汽水域の水の動きをしらべる (その4) - 感潮河川「江の川」の塩水くさびの観測 -

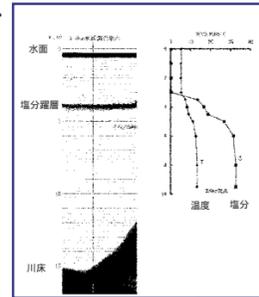
河口域では一般に流下する河川水の下位に海側から海水がもぐりこみながら溯上する塩水楔(くさび)が形成されます。流量が大きく、干満の差が小さい河川では淡水と海水はあまり混合せず、海(塩)水は川床を這うようにして溯上して行きます。塩水溯上の起こる範囲は日本の大きな河川では数 kmから数 10km、世界の大河では数 100kmに及び例があります。日本海に注ぐ江の川は感潮河川の代表的な例として知られていて、下流域では自然の状態が良く保存されているので、塩水楔の観測には好適な条件を備えています。建設省浜田工事事務所の支援のもとに行われた観測機器開発による観測例を以下に紹介します。塩水の溯上は川床の浚渫や上流での取水によって促進され、さまざまな被害が起こります。また、地球温暖化による海面上昇では塩水侵入が進み、地下水の塩水化により水資源に影響を与えることになるので、それをモニターしておくことは重要です。塩水くさびは河川管理上で重要な意味を持っていますが、これまでの調査は水質測定のみによっていたために、その実際の挙動を捉えることは困難でした。また、測定点や観測時間を増やしても、経費がかさむばかりで、実態の解明には限界がありました。ここに紹介する観測システムによって、塩水溯上がどこまで及んでいるかを船上からの音波探査ですみやかにとらえることができ、また、各種の機器を川床に設置することによってその動きを連続的にリアルにとらえることが初めて可能になりました。



江の川

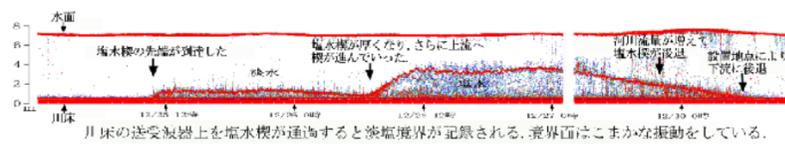


塩水楔音響プロファイリングシステム(航走式: SC-3型)による湧水期の塩水溯上状況(1999年10月27日)



音響探査で生じる塩水楔(塩分躍層)と塩分水温の実測値(1999年2月14日)

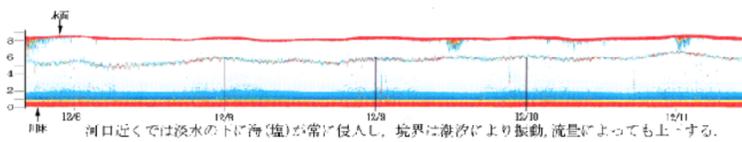
江の川はその源を広島県山県郡大朝町阿佐山に発し、本流の長さ約 200km、流域の広さ 3870km<sup>2</sup>で全国 16位、流域人口は約 23万人です。中国山地を越えて日本海に注ぐ先行性河川で、上流部では河川争奪が各所でみられ、地形学的にはもっとも特徴があり、注目されている河川の一つです。また下流部では豊富な水量と日本海側は潮位差が小さいことから、弱混合型感潮河川の日本における代表例として知られています。江の川ではスキは河口から 15kmにわたって溯上しており、アユとともに魚釣りの名所として知られています。



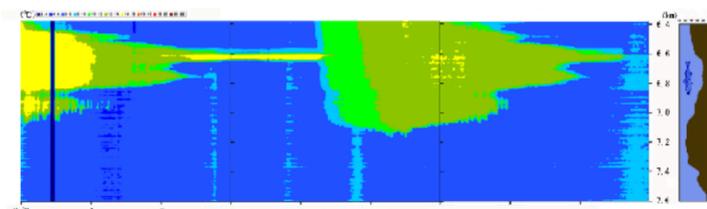
塩水楔音響動態観測システム(オンライン式: SC-2型)による河口から 5.5km地点での塩水溯上と降下(1999年12月25日~31日)



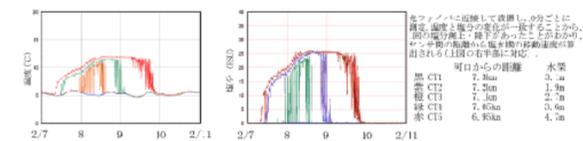
江の川下流部の観測域



塩水楔音響動態観測システム(オフライン式: CL-3型)による河口から 5.5km地点での淡水塩境界(1999年12月6日~11日)



光ファイバ温度センサによる川床水温の時間空間変化からみた塩水溯上と降下(1999年2月3日~11日)



マルチCTセンサ温度塩分計測システム(MCTH-2型)による川床での温度・塩分の変化(1999年2月7日~10日)



塩水楔音響プロファイリングシステム(SC-型)による航走調査



音響動態観測システムの送受波器の設置作業



光ファイバケーブルの設置準備



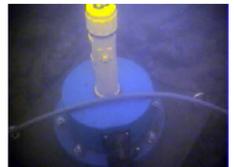
光ファイバケーブルの敷設作業



マルチCTセンサの設置準備



水中撮影でとらえた淡水塩境界(潮目)



川床に設置したオフライン音響動態観測システム用送受波器



川床に設置した光ファイバケーブル(左)とオンライン音響動態観測システム用送受波器(右)

制作 2000年1月 徳岡隆夫(鳥松大学総合理工)・西村清和(地質調査所)・上野博(北陸先端科学技術大学院大学) 塩水楔研究開発グループ 徳岡隆夫・三原良和(鳥松大学総合理工)・西村清和(地質調査所)・須崎敏(千本電機(株))・船田浩夫(コロロパック(株))・久保田俊輔(株)ワイ・オー・システム)・鈴木重隆(株)観見機械)・上野博(北陸先端科学技術大学院大学)