

# LAGUNA

## 汽水域研究

No.13 June 2006



SHIMANE UNIVERSITY



島根大学  
汽水域研究センター

Research Center for Coastal Lagoon Environments

**編集委員**

國井秀伸・瀬戸浩二・堀之内正博  
倉田健悟・ナラシマル ラジェンドラン

**Editorial Board**

*Hidenobu Kunii, Koji Seto, Masahiro Horinouchi,  
Kengo Kurata, Narasimmalu Rajendran*

LAGUNA (汽水域研究) No.13  
2006 年 (平成 18 年) 6 月発行

●編集・発行  
島根大学汽水域研究センター  
〒690-8504 松江市西川津町 1060  
TEL&FAX 0852-32-6099

●印刷  
(有)高浜印刷  
〒690-0133 松江市東長江町 902-57  
TEL 0852-36-9100

### ■ Original Articles

- Actual Situation of Movement of Anoxic Water through the Ohashi River and Its Effects on Lake Shinji  
1–7 *Tomoyasu Fujii, Shimpei Moriwaki  
Setsuo Okuda*
- Allozymic study on the reproductive traits of a remaining *Zostera marina* population in Lake Nakaumi, Japan.  
9–12 *Satoru Araki and Hidenobu Kunii*
- Recent Ostracoda from Urauchi Bay, Kamikoshiki-jima Island, Kagoshima Prefecture, southwestern Japan  
13–28 *Toshiaki Irizuki, Hiroyuki Takata  
Katsura Ishida*
- Reexamination of bottom topography and sediments in the northeastern part of Lake Nakaumi  
29–42 *Takao Tokuoka, Ayumi Fukita  
Tadashi Nakamura, Kei Anma and  
Kiyokazu Nishimura*
- Saline water intrusion into the Aganogawa River  
43–62 *Masaaki Tateishi, Yu Honda  
Takao Tokuoka, Ayumi Fukita  
Shigeo Matsuda, Kei Anma and  
Kiyokazu Nishimura*
- Salt water intrusion into the Shimanto River  
63–77 *Yoshio Inouchi, Takahiko Inoue  
Tomoaki Nakahara, Takao Tokuoka and  
Ayumi Fukita*
- Preliminary research on salinity and flow rate profiles of a river with an estuarine zone  
by the analysis of water quality monitoring data 79–88 *Yoshiaki Tsuzuki*
- An attempt of modification of Carlson's trophic state index (TSI) for brackish lakes in Japan  
89–98 *Yoshiaki Tsuzuki*

### ■ Short note

- Living benthic foraminifera from Urauchi Bay, Kamikoshiki-jima Island, Kagoshima Prefecture, southern Japan  
99–107 *Hiroyuki Takata, Toshiaki Irizuki and  
Katsura Ishida*

### ■ Note

- Record examples of compact sidescan sonar in the coastal lagoons and estuaries  
109–118 *Kiyokazu Nishimura, Masato Joshima  
Takao Tokuoka and Ayumi Fukita*

### ■ Miscellanea

- A prototype of Environmental Database for Lakes Shinji and Nakaumi  
119–133 *Yoshiaki Tsuzuki, Daisuke Nakayama and  
Hidenobu Kunii*

### ■ Erratum

135–137

### ■ Annual Report of Research Center for Coastal Lagoon Environments

139–149

### ■ Editorials

149

### ■原 著 論 文

□大橋川を遡上する貧酸素水塊の実状と宍道湖に及ぼす影響

1-7 藤井智康・森脇晋平・奥田節夫

□アロザイム解析による中海の残存アマモ群落の繁殖特性の検討

9-12 荒木 悟・國井秀伸

□Recent Ostracoda from Urauchi Bay, Kamikoshiki-jima Island,  
Kagoshima Prefecture, southwestern Japan

13-28 Toshiaki Irizuki, Hiroyuki Takata  
Katsura Ishida

□中海北東部の湖底地形・地質の再検討—湖底環境修復への課題—

29-42 徳岡隆夫・吹田 歩・中村唯史  
安間 恵・西村清和

□阿賀野川の塩水湖上

43-62 立石雅昭・本多 結・徳岡隆夫  
吹田 歩・松田滋夫・安間 恵  
西村清和

□四万十川の塩水湖上

63-77 井内美郎・井上卓彦・中原知明  
徳岡隆夫・吹田 歩

□Preliminary research on salinity and flow rate profiles of a river with an estuarine zone  
by the analysis of water quality monitoring data

79-88 Yoshiaki Tsuzuki

□An attempt of modification of Carlson's trophic state index (TSI) for brackish lakes in Japan

89-98 Yoshiaki Tsuzuki

### ■短 報

□鹿児島県上甕島浦内湾の現生底生有孔虫群

99-107 高田裕行・入月俊明・石田 桂

■ノ　　ー　　ト

□汽水域におけるコンパクトサイドスキャンソーナーの記録例

109-118 西村清和・上嶋正人・徳岡隆夫  
吹田 歩

■資　　料

□宍道湖・中海環境データベースプロトタイプ

119-133 都筑良明・中山大介・國井秀伸

■訂　　正

135-137

■島根大学汽水域研究センター活動報告

139-149

研究活動

教育活動

国際交流

社会との連携

■編　集　後　記

149

# 大橋川を遡上する貧酸素水塊の実状と宍道湖に及ぼす影響

藤井智康<sup>1</sup>・森脇晋平<sup>2</sup>・奥田節夫<sup>3</sup>

## Actual Situation of Movement of Anoxic Water through the Ohashi River and Its Effects on Lake Shinji

Tomoyasu Fujii<sup>1</sup>, Shimpei Moriwaki<sup>2</sup>, Setsuo Okuda<sup>3</sup>

**Abstract:** It is well known that the highly saline water and anoxic water mass in the lower layer of Lake Nakaumi frequently creep up towards the Ohashi River, and this water sometimes directly flow into Lake Shinji through the Ohashi River (fujii, 1996, 1998), but the process of the encroachment of anoxic water mass through the Ohashi River is unknown in detail. Recently, many filed experiment are carried out as a countermeasure of anoxic water extinction in the Ohashi River, but little is known about the effect of countermeasure. As a beginning of the verification on its effects, we calculated the oxygen deficit amount based on observation results. Therefore, we found that the oxygen deficit amount was 242 kg in the period of less than  $DO\ 1.5\ mg \cdot l^{-1}$ , and dissolved oxygen concentration deviation flux changed in the range of from 0 to  $50\ g \cdot sec^{-1}$ . Consequently, it was found that the supply of oxygen was necessary for several  $10\ g \cdot sec^{-1}$  to satisfy the inhabiting condition of the *corbicula japonica* PRIME.

**Key words:** tidal river, saline water intrusion, oxygen deficit amount,

### はじめに

島根県東部から鳥取県西部に位置する宍道湖・中海は、大橋川によって連結水域を構成しており、さらに中海は境水道によって日本海とつながり、斐伊川から境水道に至る連続した水系を構成している汽水域である。宍道湖の水環境は、斐伊川からの流入河川水と中海から大橋川を通じて遡上する塩水によって大きく変化する。中海・宍道湖における水環境問題としては、とくに夏季の底層貧酸素化現象が顕著であり、この現象は水質、底質に大きな影響を及ぼし(伊達ほか, 1989, 神谷ほか, 2001), 水産資源にも悪影響を及ぼすことが知られている(中村, 1998)。また、宍道湖湖底貧酸素化の一要因として、

Fujii (1996) および藤井(1998)の中海西部水域(水深 3 m)における塩分躍層振動調査および大橋川内航走観測の結果によれば、水深 1.5 m 付近に形成された塩分躍層の振動により、電気伝導度  $30\ mS \cdot cm^{-1}$  以上(塩分 16 psu 以上)の塩水が大橋川を遡上し、塩分躍層が水深 50 cm の高いレベルまでに達したときには宍道湖付近まで流入している。またそれと同時に DO が  $3\ mg \cdot l^{-1}$  程度の貧酸素水が大橋川を遡上していることから、周期的に高塩分・貧酸素水が直接流入すること、および宍道湖の湖底堆積物による酸素消費(津田, 1995)などが考えられている。さらには、中海から宍道湖に至る間の大橋川の遡上塩水塊内での酸素消費によって貧酸素化し、宍道湖に流入することが考えられる。

<sup>1</sup> 奈良教育大学教育学部地学教室 Nara University of Education, Department of Earth Science, Nara 630-8528, Japan

<sup>2</sup> 島根県水産試験場 Shimane Prefectural Fisheries Experimental Station, Hamada 697-0051, Japan

<sup>3</sup> 奥田水圏環境研究所 Okuda Laboratory for Studies of Hydrosphere Environments, Okayama 700-0983, Japan

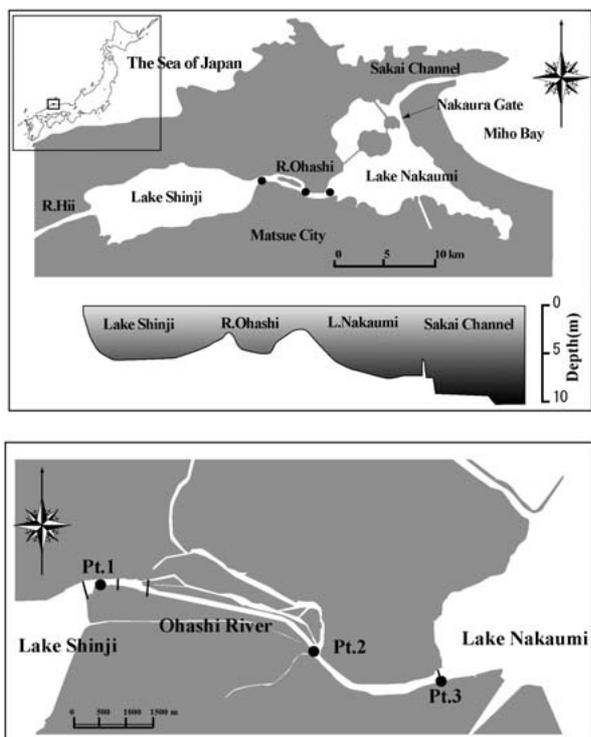


図 1. 大橋川における調査地点

Pt.1：鳥根県内水面水産試験場による水質自動監視システム、Pt.2 および Pt.3：定点連続観測地点を示す。

**Fig. 1.** Map showing the location of Lake Shinji, Ohashi River, Lake Nakaumi and Sakai Channel. Solid circles show the location of the automated water quality meter (Pt. 2, 3). Pt.1 shows the location of the automated water quality monitoring system by Shimane Prefectural Freshwater Fishery Experimental Station

近年、汽水湖の水環境に関連し、これら貧酸素水対策の一つとして、中海と宍道湖をつなぐ大橋川において、酸素吹き込みの実証実験等が多数実施されている。しかしながら、その効果について検証する第一段階として、大橋川を通じての塩水遡上形態を明らかにし、大橋川における水理条件を解析する必要がある。

そこで、本論文では中海から大橋川を通じて宍道湖へ流入する高塩分・貧酸素水の遡上形態の解析および貧酸素水の酸素欠損量を算出し、宍道湖に及ぼす影響について考察することを目的とする。

## 方 法

### 大橋川における水理条件

図 1 に示されるように、中海と宍道湖をつなぐ大橋川(全長 7.5 km)において、塩水遡上過程を追跡するために、1999 年 9 月 8 日～17 日および 2000 年 8

月 8 日～11 日に 2 地点(矢田地点 Pt.2 および中海地点 Pt.3)の底層(底上 20 cm)にハイドロラボ社製多項目水質計 Sonde 4 (測定精度：水温 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ；塩分 $\pm 1\%$ ；溶存酸素濃度 $\pm 0.2\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )を設置し、それぞれ 10 分間隔で水温、塩分、溶存酸素濃度の定点連続観測を行った。

また、宍道湖と大橋川の境界である松江大橋下の大橋川地点の Pt.1 については、鳥根県内水面水産試験場水質自動監視システムの底層(底上 1.5 m)の水温、塩分、溶存酸素濃度の連続記録データを使用した。

### 溶存酸素濃度偏差フラックスの算定

図 1 に示される 2000 年 7 月に Pt.1 で得られた 10 分間隔の塩分、溶存酸素濃度データを用いて貧酸素水塊の宍道湖へのフラックスについて解析を行った。

通常、貧酸素水塊が水産生物に悪影響を及ぼす濃度は  $3.0\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  以下とされているが、中村(1998)は、宍道湖に生息しているヤマトシジミは、溶存酸素濃度(以下 DO と称す)が  $1.5\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  以上あれば数日間は生息が可能であるという実験結果を示している。著者らは、この値を宍道湖における貧酸素水塊の臨界値として定義し、大橋川を通じて宍道湖に流入する貧酸素水流入量を算出することを試みた。

そこで、DO が  $1.5\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  を基準とし、溶存酸素濃度偏差を  $\Delta\text{DO} = \text{DO}(\text{実測値}) - 1.5\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  と定義した。また、次式に示すように DO が  $1.5\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  以下の貧酸素水の流入量を溶存酸素濃度偏差フラックスと定義し、図 2 に示す下層(水深 4 m 以深)について、それぞれ解析を行った。

$$Q = \sum (\Delta S) \cdot V$$

$$F_{\Delta\text{DO}} = \sum (\Delta S) \cdot V \cdot (\Delta\text{DO})$$

ここで、Q：流量( $\text{m}^3\cdot\text{sec}^{-1}$ )、 $\Delta S$ ：下層部断面積( $\text{m}^2$ )、V：断面に垂直な流速成分(東方流速をプラス)( $\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ )、 $\Delta\text{DO}$ ：溶存酸素濃度偏差( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )、 $F_{\Delta\text{DO}}$ ：溶存酸素濃度偏差フラックス( $\text{g}\cdot\text{sec}^{-1}$ )、 $\Sigma$ は下層通水断面の全量を示す。

### 酸素欠損量の算出

松江大橋下においては中層より下層で DO が  $1.5\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  以下の値が頻繁に観測されることから底上 2.5 m の中層から河床までの通過断面を考えた。そこで、2000 年 7 月において、貧酸素水が大規模に遡上する期間を抽出し、DO が  $1.5\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$

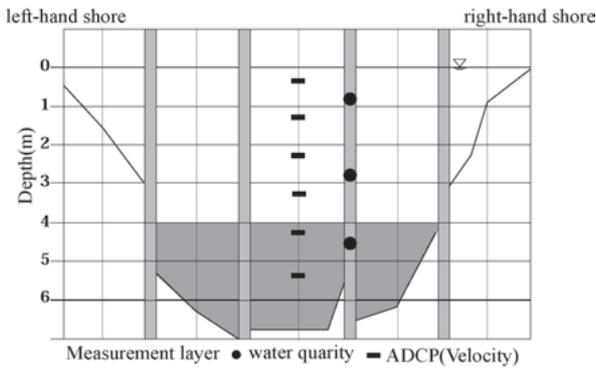


図2. 大橋川 Pt.1 における断面模式図

図中の●は水質観測層，■は ADCP による流速観測層をそれぞれ示す。

**Fig. 2.** Schematic diagram shows the cross section at Pt.1 in the Ohashi River. Solid circle shows the observation layer with water quality meter, Solid rectangle shows the observation layer with ADCP. Shaded portion shows the lower layer in the Ohashi River.

以下に低下し始めた時刻から  $1.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  以上に上昇した時刻までの期間において数値積分することによって酸素欠損量を算出した (図3)。

$$M_{\Delta DO} = \int_a^b F_{\Delta DO} dt$$

ここで、 $M_{\Delta DO}$ : 酸素欠損量 (g),  $a$ : DO が  $1.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  以下に低下し始めた時刻,  $b$ : DO が  $1.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  以上に上昇し始めた時刻,  $F_{\Delta DO}$ : 溶存酸素濃度偏差フラックス ( $\text{g} \cdot \text{sec}^{-1}$ ),  $t$ : 観測時刻を示す。

## 結果と考察

### 大橋川の塩水遡上形態

図4に示されるように、1999年9月11日には、1日2回 Pt.3 から時間遅れで Pt.1 まで高塩分水が到達している様子がわかる。これは、潮汐による両湖の水位差によって生じた潮流により生じていると考えられる。また、1999年9月13日においては大橋川中央部の Pt.2 までは高塩分水が到達しているものの、松江大橋の Pt.1 まで到達していない。同様に、2000年においては8月9日~10日、10日~11日にかけて Pt.1 まで高塩分水が到達している (図5)。したがって、実測された結果より大橋川の遡上パターンには、次のことが考えられる。

- (1) 高塩分水は、中海から大橋川を通じて宍道湖に到達して流入する
- (2) 高塩分水は、宍道湖まで到達する以前に、下げ潮あるいは水位差条件による大橋川の流れによって折り返す

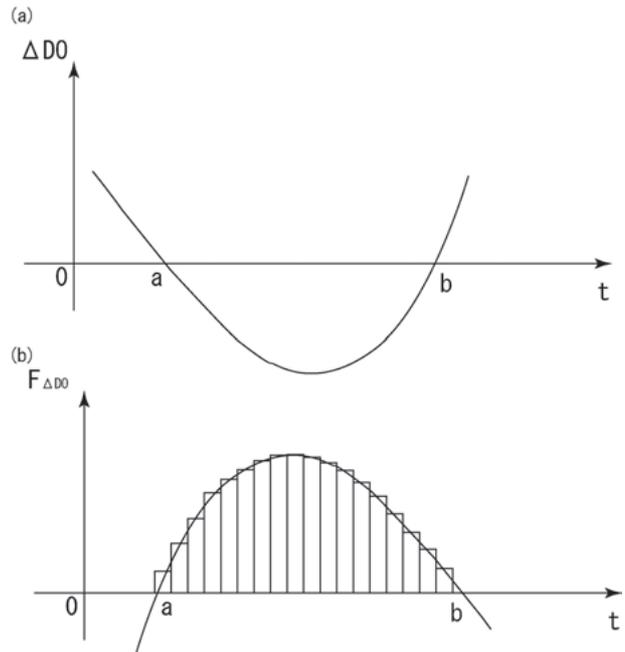


図3. 溶存酸素濃度偏差 ( $\Delta DO$ ) と溶存酸素濃度偏差フラックス ( $F_{\Delta DO}$ ) の算出模式図

**Fig. 3.** Schematic diagram shows the fluctuation of dissolved oxygen concentration deviation ( $\Delta DO$ ) and dissolved oxygen concentration deviation flux ( $F_{\Delta DO}$ ), respectively.

この2通りが考えられる。

一般に日本海のように潮位差が小さい感潮河川においては弱混合型の塩水くさび型として流入すると考えられるが (図6)、大橋川においては宍道湖・中海が連結しているために、両端の水位差のみに支配されるのではなく、中海における内部波の河口への這い上がりや、降水にともなう大橋川を通じての河川水の流出状態の変化などによって遡上パターンが変化すると考えられる。実際に過去の観測事例として、島根県衛生公害研究所 (1991)、吉村 (1993)、Fujii (1996) および森脇ほか (2003) においても、様々なパターンで高塩分水が大橋川を通じて宍道湖に流入しているという結果が得られている。今回の調査結果について、1999年9月では松江地点降雨量が  $152.5 \text{ mm}$  (平年値  $202.4 \text{ mm}$ ) および2000年7月、8月では松江地点降雨量が、それぞれ  $74.5 \text{ mm}$ ,  $26.5 \text{ mm}$  (平年値  $240.5 \text{ mm}$ ,  $144.4 \text{ mm}$ ) と平年に比べて降雨が少なく塩水遡上や貧酸素水塊が発生しやすい夏季の2ヶ年の調査であるが、同様に塩水遡上パターンには、時間や場所によって様々な形態を呈することがわかった。大橋川における遡上形態については、大橋川内の複雑な河床地形や中流部での河川の合流なども考慮し、さらに詳細な調査を行う必要が

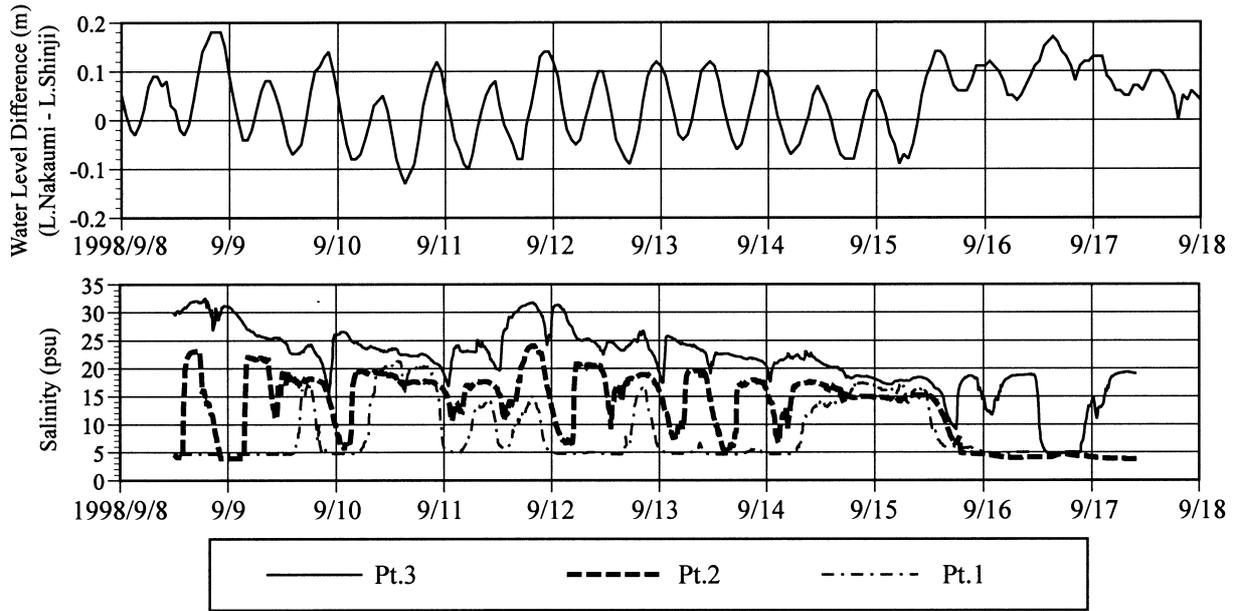


図4. 大橋川両端の水位差と大橋川底層における塩分の時系列変化(1999年9月8日~17日)

Fig. 4. Temporal variations in water level difference between both lakes and salinity at the bottom of the Ohashi River from 8 to 17 September, 1999

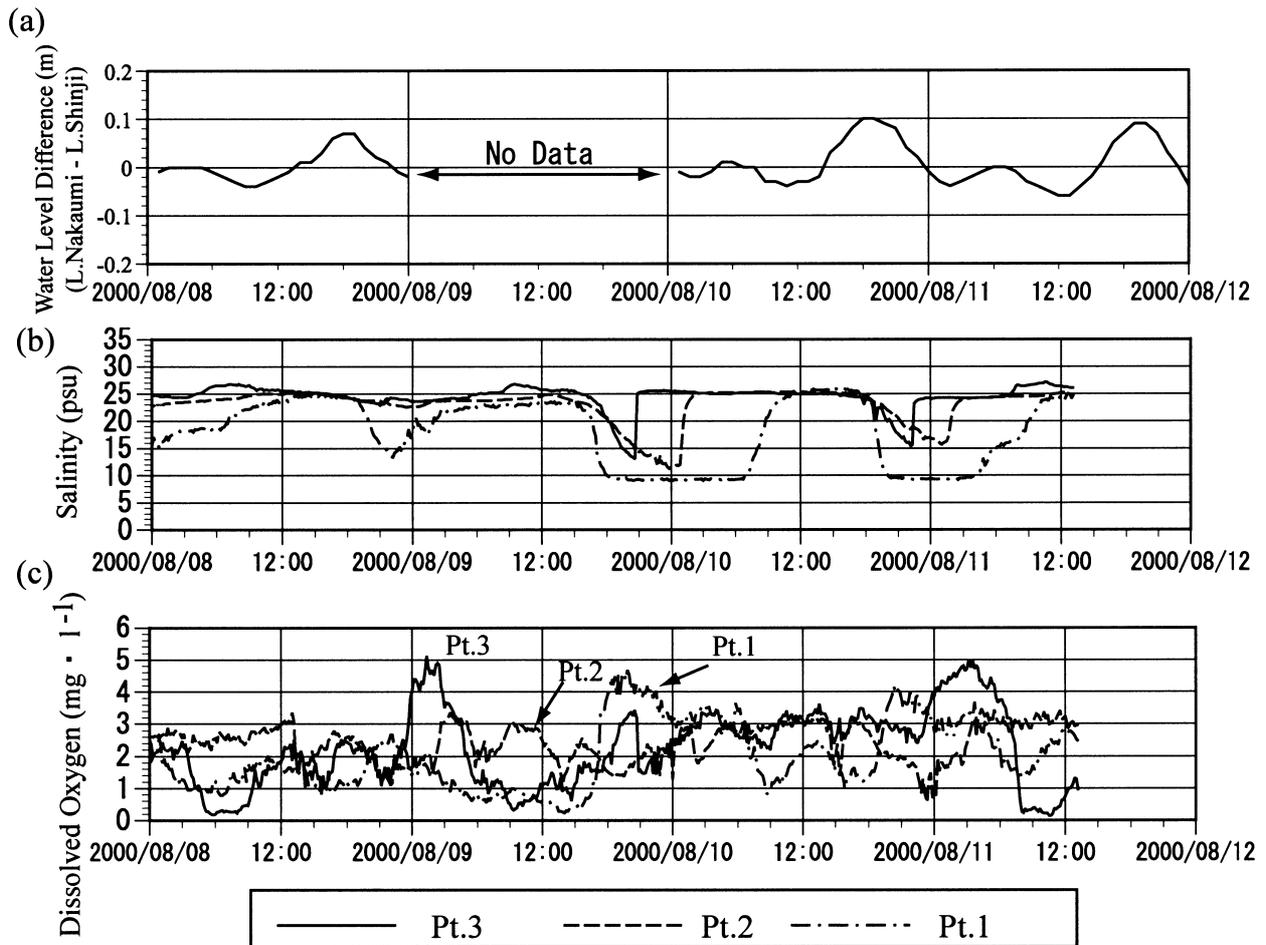


図5. 水位差・塩分・溶存酸素濃度の時系列変化(2000年8月8日~11日)

(a) 両湖の水位差, (b) 塩分, (c) 溶存酸素濃度を示す。

Fig. 5. Temporal variation in (a) water level difference between both lakes, (b) salinity and (c) dissolved oxygen in the Ohashi River from 8 to 11 August, 2000

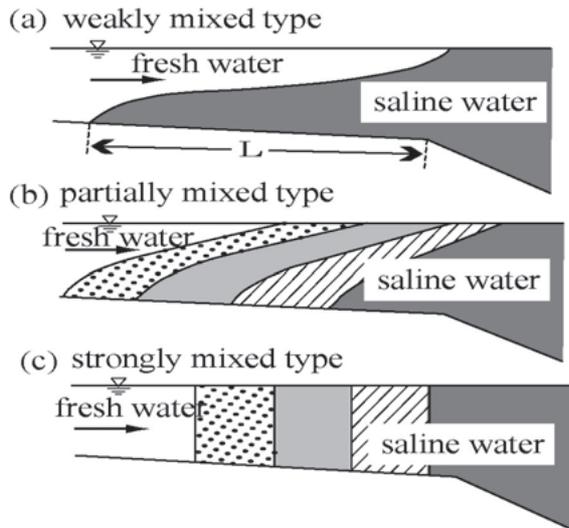


図6. 感潮河川における塩水遡上パターン  
**Fig. 6.** Schematic diagram showing the saline water inflow pattern in the tidal river

あると考えられる。

次に、松江大橋下を通過する水塊についての塩分と溶存酸素濃度について着目すると、底層の塩分と溶存酸素濃度には逆相関 ( $r = -0.66$ ) の関係があり、25 psu 以上の高塩分水が観測される時には、 $4.0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  以下の低溶存酸素濃度を示しており、宍道湖に貧酸素水が流入している可能性があると考えられる。(図7)。

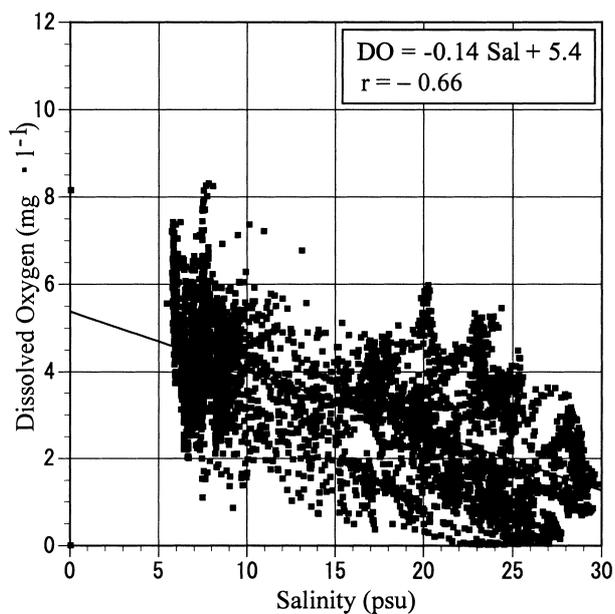


図7. 大橋川 (Pt.1) における塩分と溶存酸素濃度の関係 (2000年7月1日~31日)

**Fig. 7.** Relationship between salinity and dissolved oxygen concentration (DO) at the bottom layer of Pt.1 from 1 to 31 July, 2000.

また図8に示されるように、1994年の近畿大学グループ(津田, 1995)が、大橋川と宍道湖との境界付近の底層(底上0.5 mと1.5 m)に水質計を設置して行った調査結果をみると、電気伝導度と溶存酸素濃度の変動に逆相関の関係があることがわかる。

これらのことから、大橋川を遡上して、高塩分・貧酸素の水が宍道湖に流入し、水深の深い湖央部付近の底層でさらに貧酸素化するものと考えられる。ただし、大橋川内での貧酸素化については詳細な調査を実施し、塩水遡上期間中の酸素消費量について検討する必要がある。

### 遡上水が宍道湖に及ぼす影響

2000年7月1日~31日の期間について解析した結果(図9)、この期間のうち溶存酸素濃度の欠測がなく、十分に機器メンテナンスが行われていた期間である2000年7月17日を抽出し、酸素欠損量の解析を行った。

表1および図10に示されるように、 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  以下の期間の酸素欠損量は242 kgであり、1回の貧

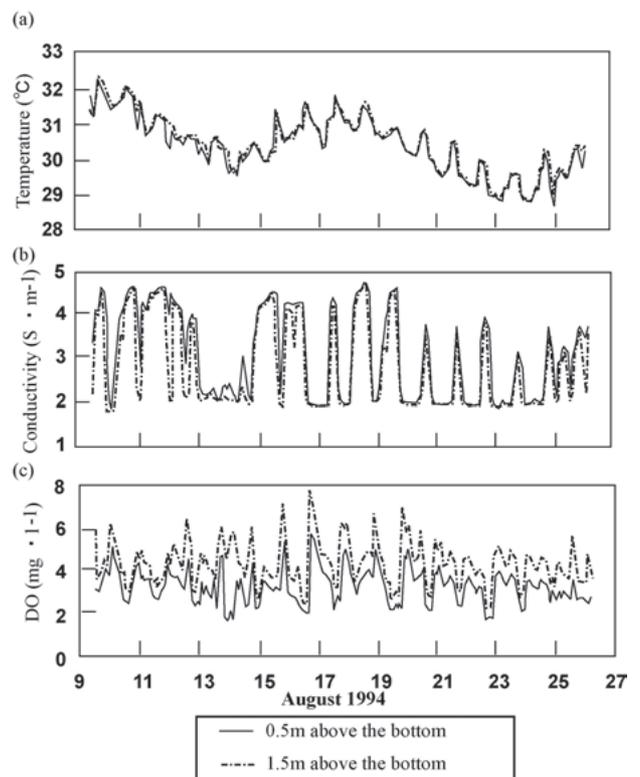


図8. 大橋川西端における水温・電気伝導度・溶存酸素濃度の時系列変化(1994年8月9日~26日)。(津田, 1995より)。

**Fig. 8.** Temporal variation in (a) temperature, (b) conductivity and (c) dissolved oxygen at western mouth of the Ohashi River from 9 to 26 August, 1994. (from Tsuda, 1995).

表 1. 大橋川を遡上する酸素欠損量

Table 1. Oxygen deficit amount through the Ohashi river.

unit: kg

Direction	DO deficit amount
L.Nakaumi →L.Shinji	1113.5
L.Shinji→L.Nakaumi	-871.5
total	242.0

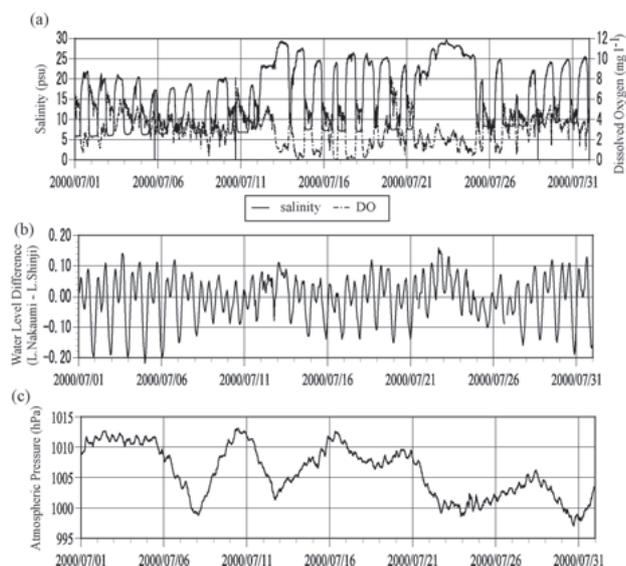


図 9. 大橋川 (Pt.1) における塩分・溶存酸素濃度, 水位差 (中海-宍道湖), 気圧の時系列変化 (2000年7月).

Fig. 9. Temporal variation in (a) salinity and dissolved oxygen at the Pt.1 (b) water level difference between Lake Nakaumi and Lake Shinji, and (c) atmospheric pressure at the center of Lake Nakaumi in July, 2000.

酸素水塊の遡上期間中の酸素欠損量は数 100 kg 程度であることがわかった。また, 溶存酸素濃度偏差フラックスは,  $1.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  以下の時,  $0 \sim 50 \text{ g} \cdot \text{sec}^{-1}$  の範囲で変動をしており, ヤマトシジミの生息条件を満たすためには数  $10 \text{ g} \cdot \text{sec}^{-1}$  程度の酸素の供給が必要になることがわかる。

しかしながら, 河川に酸素を注入することができたとしても河川の水利特性を十分に考慮し, 対策を行う必要がある。大橋川のように両湖の水位差により変化する場合, 塩水遡上が途中で折り返す場合もあることから, 詳細な調査によって対策場所や注入時間などを予測し, 決定する必要がある。また, 大橋川における塩水の拡散状況を把握し, 対策場所や酸素の吹き込み量について検討する必要がある。

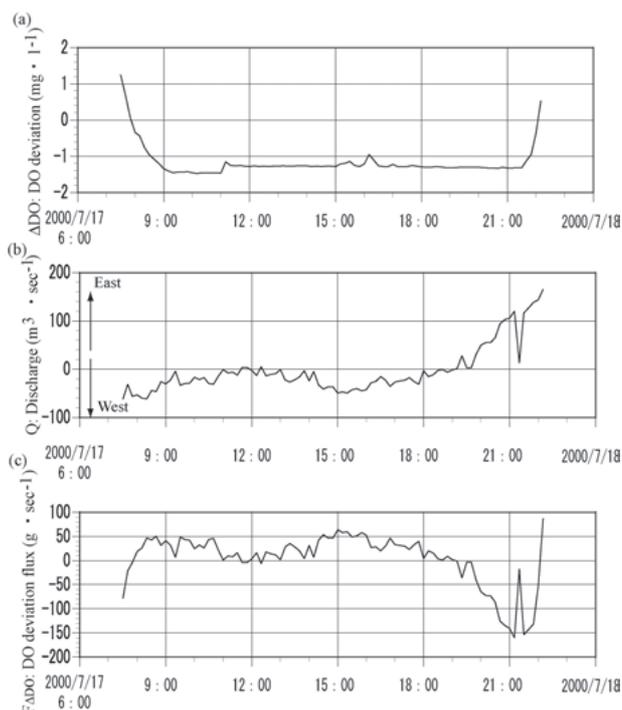


図 10. 酸素欠損量の計算結果

(a) 溶存酸素濃度の偏差, (b) 流量, (c) 溶存酸素濃度偏差フラックス。

Fig. 10. Calculation results of oxygen deficit amount. (a) DO deviation, (b) discharge, and (c) DO deviation flux, respectively.

## まとめ

今回の調査結果から次のことがわかった

- (1) 大橋川の塩水遡上パターンとして, 一つは, 遡上塩水が宍道湖まで到達し, もう一つは途中で折り返すことが考えられる。
- (2) 一回の貧酸素水塊の遡上期間中の酸素欠損量は, 数 100 kg 程度であった。
- (3) 一回の貧酸素水塊の遡上期間中,  $1.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  以上に保つためには, 数  $10 \text{ g} \cdot \text{sec}^{-1}$  程度の DO の供給が必要である。

大橋川における水利特性は, 大橋川両端の水位差のみに支配されるのではなく, 中海における内部波の河口への這い上がりや, 降水にともなう大橋川を通じての河川水の流出状態の変化などによっても変化するために, 様々な条件において詳細な調査を実施する必要がある。また, 最近の干陸および淡水化中止により, 中浦水門の撤去や締め切り堤防の開削などがあり, これまでの環境条件とは大きく異なることが予想され, 高塩分水や貧酸素水塊の遡上に関しては, 長期的なモニタリングが必要である。

## 引用文献

- 伊達善夫・橋谷 博・清家 泰・近藤邦男・奥村稔・藤永 薫 (1989) 12年間の定期調査から見た中海・宍道湖の水質—季節変化, 経年変化, 平年値—. 山陰地域研究 (自然環境), 5: 89-102
- Fujii, T. (1996) Relationship of internal waves with tidal and wind drift effects and propagation of internal Kelvin waves in a brackish lake-Nakaumi. Jpn. J. Limnol. 58: 241-260
- Fujii, T. (1998) Relationship between internal oscillation and movement of anoxic water in a connected brackish water region -Lake Nakaumi and the Ohashi River. Jpn. J. Limnol. 59: 1-12
- 神谷 宏・石飛 裕・井上徹教・中村由行・山室真澄 (2001) 富栄養化した汽水湖沼における高水温・貧酸素時の堆積物からの溶存態リン(DOP)とリン酸の溶出. 陸水学雑誌, 62, 1: 11-21
- 中村幹雄 (1998) 宍道湖におけるヤマトシジミ *Corbicula japonica* PRIME と環境との相互関係に関する生理生態学研究. 北海道大学博士論文: 59-95.
- 津田良平 (1995) 宍道湖内における環境要素の分布とその変動. 島根県委託 1994年度宍道湖湖底貧酸素化調査成果報告書: 9-13.
- 島根県衛生公害研究所 (1991) 大橋川における栄養塩フラックス調査報告書.
- 森脇晋平・藤井智康・福井克也 (2003) 大橋川における高塩分水塊の遡上現象, LAGUNA (汽水域研究), 10: 35-45
- 吉村 亮 (1993) 大橋川における塩水の遡上. 岡山理科大学理学研究科修士論文: 1-20.

## アロザイム解析による中海の残存アマモ群落の 繁殖特性の検討

荒木 悟<sup>1</sup>・國井秀伸<sup>1</sup>

### **Allozymic study on the reproductive traits of a remaining *Zostera marina* population in Lake Nakaumi, Japan.**

**Satoru Araki<sup>1</sup> and Hidenobu Kunii<sup>1</sup>**

**Abstract:** The reproductive trait of *Zostera marina* population in Lake Nakaumi was studied by the use of allozyme analysis. The studied population is one of the remaining seagrass beds in Lake Nakaumi. Among nine loci analyzed, Pgm-1 showed two alleles (a and b) while other eight were monomorphic by the fixation of single allele. Among 26 leaf samples analyzed, 21 indicated genotype ab (heterozygotes) and 5 were genotype bb (homozygotes). No sample was genotype aa. The frequency of heterozygotes was significantly higher than the expected value in the Hardy-Weinberg equilibrium. This suggests the population has been maintained mainly by clonal growth (vegetative reproduction). Because each of the samples was collected from different growth patch, the result also suggests that patches were formed not only by seed dispersal but also by clonal spread or dispersal of vegetative shoots.

**Key words:** allozyme; clonal growth; Lake Nakaumi; seagrass bed; *Zostera marina*

### はじめに

アマモ等の海草や、ホンダワラ等の海藻が繁茂する海域は、一般に藻場と呼ばれ、漁場として古くから利用されている。藻場には、内湾などの砂泥質の浅場に発達するアマモ場や、岩場に発達するガラモ場、アラメ場などがある。コンブ・カジメ類が繁茂する場所は、海中林とも呼ばれる(横浜, 2003)。これらの藻場は、魚類、甲殻類、貝類などの様々な生物の生活、産卵の場として利用され、また、海草、藻類が枯死した後の残骸は、海浜、沿岸域の小動物、微生物の腐食連鎖に利用される。そのため、藻場は、沿岸生態系の生物群集の重要な基盤となっている(den Hartog, 1970; 川崎, 2003; Nakaoka, 2005)。

島根県の中海では、1950年代まで、沿岸の広い範

囲がアマモ場だった(平塚, 2004)。中海のアマモ場は、弓ヶ浜半島周辺の干拓、航路の浚渫による生育場所の消失などの影響で減少し、現在、境港市外江(とのえ)町の沿岸などに、小規模な群落が残存する。中海のアマモ場を回復するには、アマモが生育可能な砂泥質の浅場の再生と水質の改善に加え、種子、または、草体(以下、シュートと呼ぶ)の移植が必要と考えられる。外江町などの残存群落は、中海の環境に適した遺伝的性質を保持していると考えられるため、中海のアマモ場の回復を進める上で、種子、およびシュートの供給源として重要である。また、群落を保全し、拡大を促進するためには、その生態的特徴の理解が必要である。

瀬戸内海や浜名湖などの一部では、冬にシュートが消滅し、種子だけが越冬する一年生のアマモ個体

<sup>1</sup> 島根大学汽水域研究センター Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University

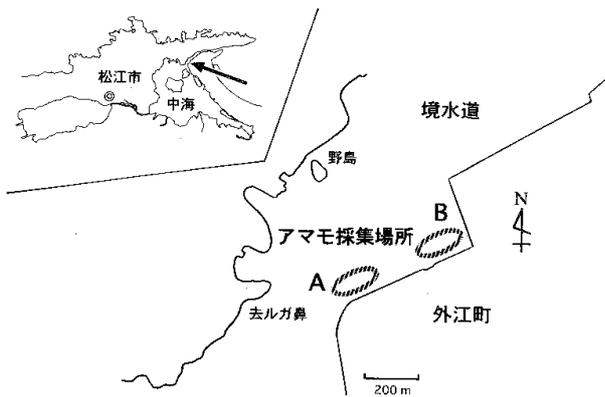


図 1. 調査地.

**Fig. 1.** Study site. Two areas (A and B) in which leaf samples of *Zostera marina* were collected are indicated.

群が知られている(鷺山ほか, 2002). しかし, ふつう, アマモは多年生であり, 地下茎を伸長して新たなシュートを形成するクローン成長によっても繁殖する. この場合, 新たに形成されるシュートは, 元のシュートと遺伝的に同一なクローンである. 同じクローンに属するシュートをまとめてジェネットと呼ぶ.

本研究では, 外江町のアマモ個体群を対象にアロザイム解析を行ない, この群落は, どのように繁殖, 存続しているか検討した. 外江町沿岸の個体群は, 冬の間もシュートが見られるので明らかに多年生である. しかし, 種子とクローン成長の両方でシュートが作られているのか, それともシュートは主にクローン成長で作られ, 種子に由来するものはごく一部なのか, あるいはその逆かといった, 繁殖の具体的な特徴は理解されていない. 自然状態での分布の拡大速度や, 浚渫, 土砂の流入などの攪乱が生じた場合の個体群の回復力は, その個体群がどのように繁殖するかによって大きく変わってくる. そこで, 中海に残存する個体群を対象に, アロザイム解析を行ない, その繁殖特性を検討した.

## 方 法

アロザイム解析は, 細胞が生産する酵素の対立遺伝子と遺伝子型の頻度から, 生態, 進化を推定する手法である. 植物生態学では, 交配様式, 雑種の推定, 集団間の遺伝的交流, 地理的変異の解析などに利用される(Soltis and Soltis, 1989; 工藤・嶋村, 2005).

外江町の群落が広がる水域の南岸に沿って, 分析用の葉の採集を行なった(図 1). 外江町のアマモ群

落は, 様々な大きさのパッチ(シュートがある範囲にまとまって生育する状態)からなり, 小型のパッチは数十 cm 四方, 大型のものは数 m 四方に及ぶ. 小型のパッチは, シュート同士が地下茎でつながった同一のクローンの可能性がある. 今回は, なるべく群落全体の遺伝的組成を解析するため, 岸辺に分布する各パッチから 1 枚ずつ葉を採集した. 群落南岸の西側 3 分の 1(図 1 の領域 A)で 12 枚, 東側 3 分の 1(領域 B)で 14 枚, そして中央の 3 分の 1 の領域(A と B の間)は岸辺にパッチが殆どなかったために 1 枚, 合計 27 枚の葉を採集した.

葉は乾燥しないように持ち帰り, Soltis et al. (1983) および Araki and Kadono (2003) の方法によって, シキミ酸脱水素酵素 (SkD), リンゴ酸脱水素酵素 (MDH), グルコースリン酸イソメラーゼ (PGI), 6-ホスホグルコン酸脱水素酵素 (6 PG), アルコール脱水素酵素 (ADH), ホスホグルコムターゼ (PGM) の 6 種の酵素を分析した. これらの酵素の電気泳動パターンから, 複数の対立遺伝子の存在が示された遺伝子座について, 以下の 2 点を検討した.

(1) 領域 A と領域 B の間で, 対立遺伝子頻度を比較した (Fisher の正確確率検定). これによって, 二つの領域の間で, 花粉のやり取り, 種子の分散といった遺伝的交流が制限され, 分断化が生じているかどうかを検討した.

(2) ホモ接合体とヘテロ接合体の頻度を, Hardy-Weinberg 平衡 (HW 平衡) の場合の期待頻度と比較した ( $G$  検定). HW 平衡は, 全個体がランダム交配に由来すると仮定したときの遺伝子型頻度である. これによって個体群の繁殖特性を検討した. HW 平衡の場合の期待頻度は, 全体のサンプル数が少ないため, Levene の式によって算出した(根井, 1990). 検定は, 各遺伝子型の頻度をホモ接合体とヘテロ接合体にまとめて行ない, Williams の方法による  $G$  値の修正を行なった (Sokal and Rohlf, 1995).

## 結 果

解析の結果, Mdh-1, Mdh-2, Mdh-3, Pgi-1, Pgi-2, 6 pg, Adh, Pgm-1, Pgm-2 の, 9 遺伝子座の酵素活性が検出された. SkD の活性は検出されなかった. 活性が検出されたもののうち, Pgm-1 以外の 8 つの遺伝子座については, 対立遺伝子の変異がなく, 27 サンプル全てについて単型だった. 一方, Pgm-1 には 2 つの対立遺伝子 (a, b) があつた. 領域 B で採集した葉のうち 1 枚は, PGM の酵素活性が失

表 1. 外江町アマモ個体群の Pgm-1 各遺伝子型の頻度と HW 平衡での期待頻度.

**Table 1.** The detected and expected genotype frequencies of Pgm-1 in the *Zostera* population at Tonoe.

遺伝子型 Genotype	観測頻度 Detected	期待頻度 Expected
aa	0	4.1
ab	21	12.8
bb	5	9.1
Total	26	26

われていたため、解析できたのは、領域 A で 12 シュート、領域 B で 13 シュート、その間で 1 シュートの、合計 26 シュートである。

領域 A の 12 シュートと中央の 1 シュートは、全て遺伝子型が ab のヘテロ接合体だった。領域 B の 13 シュートのうち、5 シュートは bb のホモ接合体、8 シュートは ab のヘテロ接合体だった。今回分析した 26 シュートの中に、遺伝子型が aa のホモ接合体は見られなかった。

対立遺伝子頻度は、領域 A は、a, b ともに 0.50、領域 B は、a が 0.31, b が 0.69 だった。Fisher の正確確率検定の結果、二つの領域間の対立遺伝子頻度の差は有意ではなかった ( $P > 0.05$ )。

26 シュート中のホモ接合体とヘテロ接合体の頻度、および、HW 平衡の場合の期待頻度を表 1 に示す。G 検定の結果、外江町の個体群は、HW 平衡に比べて、有意にヘテロ接合体の割合が多く、ホモ接合体が少ないことが判った ( $G = 10.96$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.005$ )。

## 考 察

### 1. 繁殖様式

外江町のアマモ群落は、岸沿いのパッチの分布は途中で途切れているものの、対立遺伝子頻度は領域 A と B の間で有意な差は無かった。よって、この個体群が東西に分集団化し、互いに独立して存続しているという傾向は示されなかった。

個体群全体で見ると、Pgm-1 の遺伝子型は、明らかにヘテロ接合が多かった。通常、ヘテロ接合体の過剰は、種子からの定着が少なく、かつ、ヘテロ接合体のジェネットがクローン成長で広まった場合に生じる。よって、外江町のアマモ群落は、種子ではなく、主にクローン成長で存続していると考えられる。ただし、ab, bb といった遺伝子型の変異があっ

たことから、群落全体は、単一ではなく、複数のジェネットを含むと考えられる。また、ヘテロ接合体だけに限っても、全てが同じジェネットのクローンとは限らない。

クローン成長で存続する個体群は、遺伝的な性質の多様性に乏しいため、有性繁殖（この場合は種子繁殖）で存続する個体群に比べて環境の変化に弱いと言われることがある。しかし、遺伝的な性質の違いに応じたジェネットの存続/消滅を引き起こすような環境の変化が、自然界で実際にどのくらい生じているかということは、必ずしも理解されていない。そういった環境の変化が生じなければ、個体群がクローン成長によって長期間存続することはあり得る。実際、アマモでは、同じジェネットが数十年～数百年存続していると推測される例が知られている (Reusch et al., 1998; 1999)。

### 2. 繁殖様式とパッチ形成の関係

全サンプルを異なるパッチから採集したにも関わらず、その遺伝的組成にクローン成長による増殖の効果が見られたことから、次の 3 つの可能性が示唆される。

- (1) 一つのジェネットからなる小型のパッチが、クローン成長によって複数の方向に拡大し、間の古いシュートが枯死することによって、互いに離れたパッチを形成してきた。
- (2) 元々はパッチ状の分布ではなく、少数のジェネットからなる連続したアマモ場が広がっていたが、何らかの攪乱によって群落の細分化が生じ、現在みられるように小型のパッチが散在する状態になった。
- (3) 何らかの理由で、地下茎での他のシュートとの連結が切れたシュートが漂流し、流れ付いた所で再び埋もれて定着し、新たなパッチが形成されてきた。

種子以外のシュート部分の分散とその定着は、アマモでは詳しく知られていないが、他の海草で報告、または示唆されており (Waycott and Barnes, 2001; Campbell, 2003)、海草の分布拡大の一つの方法と考えられる。ただし、もし分散と定着が頻繁に生じていれば、パッチの周辺のあちこちに、単独のシュート、または数本のシュートだけからなるシュート群が散在するはずである。外江町アマモ群落は必ずしもそうなおらず、シュート部分であれ、種子であれ、分散によるパッチの形成は頻繁ではないと考えられる。

### 3. まとめと保全上の問題

以上から、外江町のアマモ個体群は、全体が同一のクローンではないものの、その存続にはクローン成長が大きく寄与しており、現在みられるパッチ状分布の形成にも、種子だけでなく、クローン成長が関与していると考えられる。

また、種子からの定着が少ないと考えられることから、大規模な土砂の流入や浚渫などの攪乱があった場合、群落の回復に時間がかかると予想される。このような攪乱が生じないように保全するべきである。また、この場所で種子からの定着が少ない理由として、(1)この群落の水域に、種子の発芽、または、その後の成長を阻害する何らかの要因がある、(2)群落が小規模すぎて、生産された種子が殆ど流出してしまっているという二つの可能性が考えられる。もし(1)であるとするれば、中海のアマモ場の再生を進める上で、外江町の水域環境を参考にするのは必ずしも最善ではないということになる。種子からの定着率は、波浪、底質などの条件で変化するため(van Katwijk and Wijgengangs, 2004)、なるべく種子からの定着が生じやすい条件の場所を創出する注意が必要である。

## 引用文献

- Araki, S. and Kadono, Y.(2003) Restricted seed contribution and clonal dominance in a free-floating aquatic plant *Utricularia australis* R. Br. in southwestern Japan. *Ecol. Res.*, 18: 599–609.
- Campbell, M. L.(2003) Recruitment and colonization of vegetative fragments of *Posidonia australis* and *Posidonia coriacea*. *Aquat. Bot.*, 76: 175–184.
- den Hartog, C.(1970) *The sea-grasses of the world*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 273 pp.
- 平塚純一(2004) 1960年以前の中海における肥料藻採集業の実態. *エコソフィア*, 13: 97–112.
- 川崎保夫(2003) 海草群落(アマモ場)の機能と修復・創生. *海洋と生物*, 145: 85–91.
- 工藤洋・嶋村良治(2005) 湿原における種子の水散布. : 草木を見つめる科学. (編) 種生物学会. pp.183–204. 文一総合出版, 東京.
- Nakaoka, M. (2005) Plant-animal interactions in seagrass beds: ongoing and future challenges for understanding population and community dynamics. *Popul. Ecol.*, 47: 167–177.
- 根井正利(1990) 分子進化遺伝学. 培風館, 東京, 433 pp.
- Reusch, T. B. H., Stam, W. T. and Olsen, J. L.(1998) Size and estimated age of genets in eelgrass, *Zostera marina*, assessed with microsatellite markers. *Mar. Biol.*, 133: 519–525.
- Reusch, T. B. H., Bostrom, C., Stam, W. T. and Olsen, J. L.(1999) An ancient eelgrass clone in the Baltic. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 183: 301–304.
- Sokal, R. R. and Rohlf, F. J.(1995) *Biometry*. 3rd ed. Freeman and Co., New York, 887 pp.
- Soltis, D. E., Haufler, C. H., Darrow, D. C. and Gastony, G. J.(1983) Starch gel electrophoresis of ferns: A compilation of grinding buffers, gel and electrode buffers, and staining schedules. *Am. Fern J.*, 73: 9–27.
- Soltis, D. E. and Soltis, P. S.(eds.) (1989) *Isozymes in plant biology*. Discorides Press, Portland, 268 pp.
- van Katwijk, M. M. and Wijgengangs, L. J. M.(2004) Effects of locally varying exposure, sediment type and low-tide water cover on *Zostera marina* recruitment from seed. *Aquat. Bot.*, 80: 1–12.
- 鷲山裕史・吉川康夫・永谷隆行・石渡達也(2002) 浜名湖におけるアマモの分布について. 静岡県水産試験場研究報告, 37:37–40.
- Waycott, M. and Barnes, P. A. G. (2001) AFLP diversity within and between populations of the Caribbean seagrass *Thalassia testudinum* (Hydrocharitaceae). *Mar. Biol.*, 139: 1021–1028.
- 横浜康継(2003) 海の森と地球環境. *海洋と生物*, 145: 80–84.

# Recent Ostracoda from Urauchi Bay, Kamikoshiki-jima Island, Kagoshima Prefecture, southwestern Japan

Toshiaki Irizuki<sup>1</sup>, Hiroyuki Takata<sup>2</sup>, Katsura Ishida<sup>3</sup>

**Abstract:** At least one hundred and forty-six ostracode species were obtained from 29 surface sediment samples collected from Urauchi Bay, Kamikoshiki-jima, Kagoshima Prefecture, southwestern Japan. Four biofacies (IM, I, M, and O) were identified on the basis of Q-mode cluster analysis. Biofacies IM is distributed in the innermost part of the eastern inlet of the bay and contains many *Xestoleberis hanaii*. Biofacies I is distributed in the inner part of the bay and contains many *Loxococoncha uranouchiensis*. Biofacies M is found in the middle part of the bay and contains *Loxococoncha tosaensis*, *Pistocythereis bradyi*, *Nipponocythere bicarinata*, and *Ambtonia obai*, which are typical middle muddy bay species. Biofacies O is in the outer part of the bay and contains *Loxococoncha japonica*, *Loxococoncha optima*, and *Neonesidea oligodentata*, which live in areas under the influence of open water. *Spinileberis quadriaculeata* and *Cytheromorpha acupunctata*, which are typical inner muddy bay species, are restricted to part of the bay, whereas *Bicornucythere* species, which are typical enclosed inner-middle muddy bay species, are absent from the bay. These distributions suggest that there is little input of fine inorganic sediments or organic matter from the hinterland of Urauchi Bay because the bay is situated in small islands off the main islands of Japan, surrounded by hard sedimentary rocks, and no large rivers flow into the bay. Even when these sediments and organic matter enter the bay, they are transported to the deeper bay bottom or open seas due to the steep geomorphology along the coasts of the bay.

**Key words:** Recent, Ostracoda, Urauchi Bay, Kamikoshiki-jima Island, southwestern Japan

## 1. Introduction

Many studies of Recent Ostracoda (Crustacea) in the enclosed bays of the four large islands of Japan (Hokkaido, Honshu, Shikoku, and Kyushu Islands) have been conducted (e.g., Ishizaki, 1968, 1969, 1971; Ikeya and Hanai, 1982; Bodergat and Ikeya, 1988; Ikeya *et al.*, 1992; Yamane, 1998; Yasuhara and Irizuki, 2001; Irizuki *et al.*, 2003). Ikeya and Shiozaki (1993) identified the ostracode species common in Recent enclosed bays in Japan and discussed their ecological aspects. Several small islands are distributed from southern Kyushu to Ryukyu Islands, in southwestern Japan (Fig. 1), which

are separated from each other by deep straits. The Tokara Strait is one of those straits and is the geographical barrier to many organisms that have low mobility, such as terrestrial animals. It is possible that the presence of the Tokara Strait has influenced the migration and speciation of the Ostracoda. Only one report of Recent Ostracoda from southern Kyushu Island has been published (Kagoshima Bay, southernmost Kyushu Island; Bodergat *et al.*, 2002). However, this bay is very large and open marine waters flow directly into the bay. No Recent Ostracoda have been reported from enclosed bays of the very small islands separated from the large main islands of Japan, except those in the Ryukyu

<sup>1</sup> Department of Geosciences, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan.

<sup>2</sup> Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan

<sup>3</sup> Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University, 3-1-1 Asahi, Matsumoto 390-8621, Japan

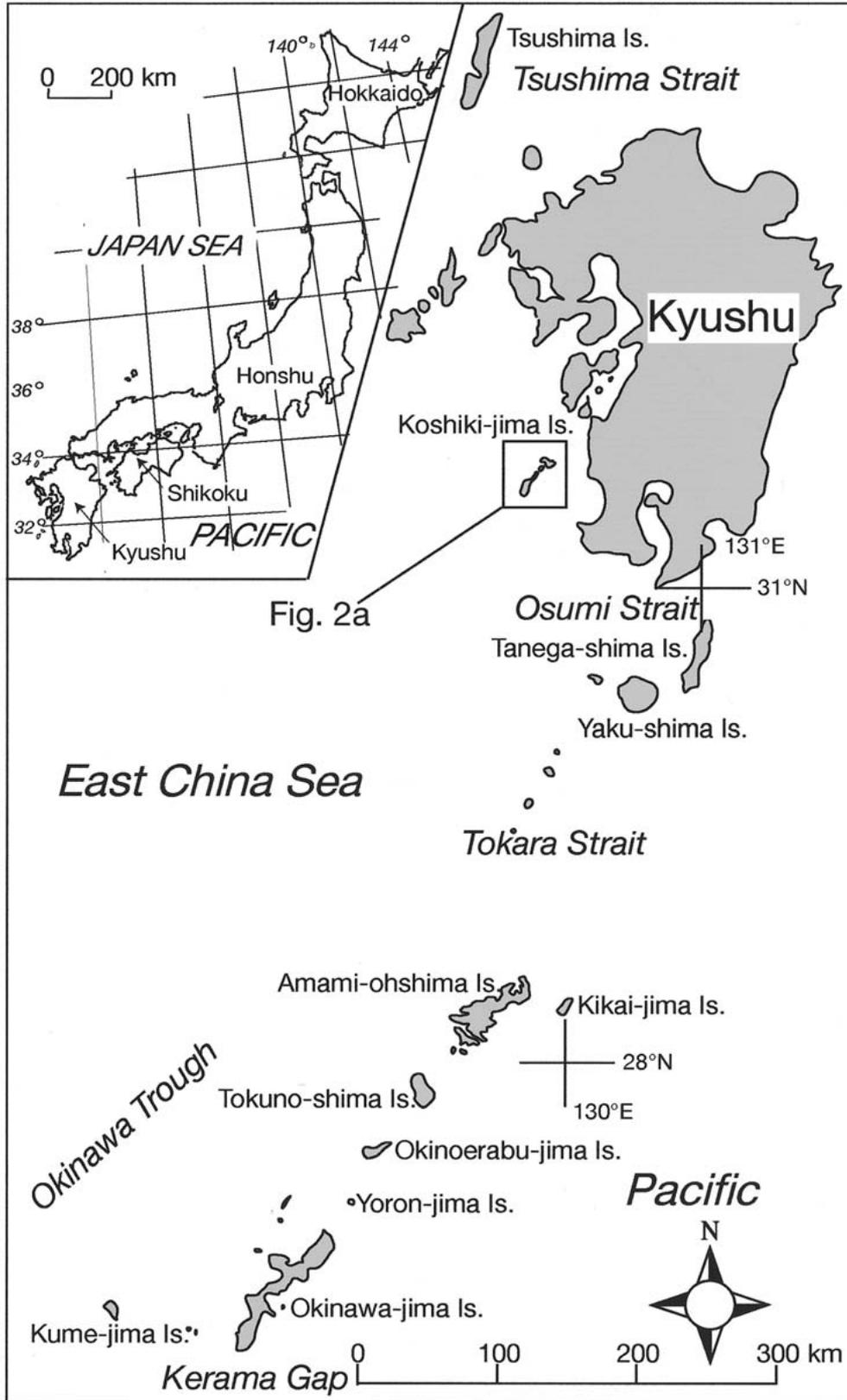
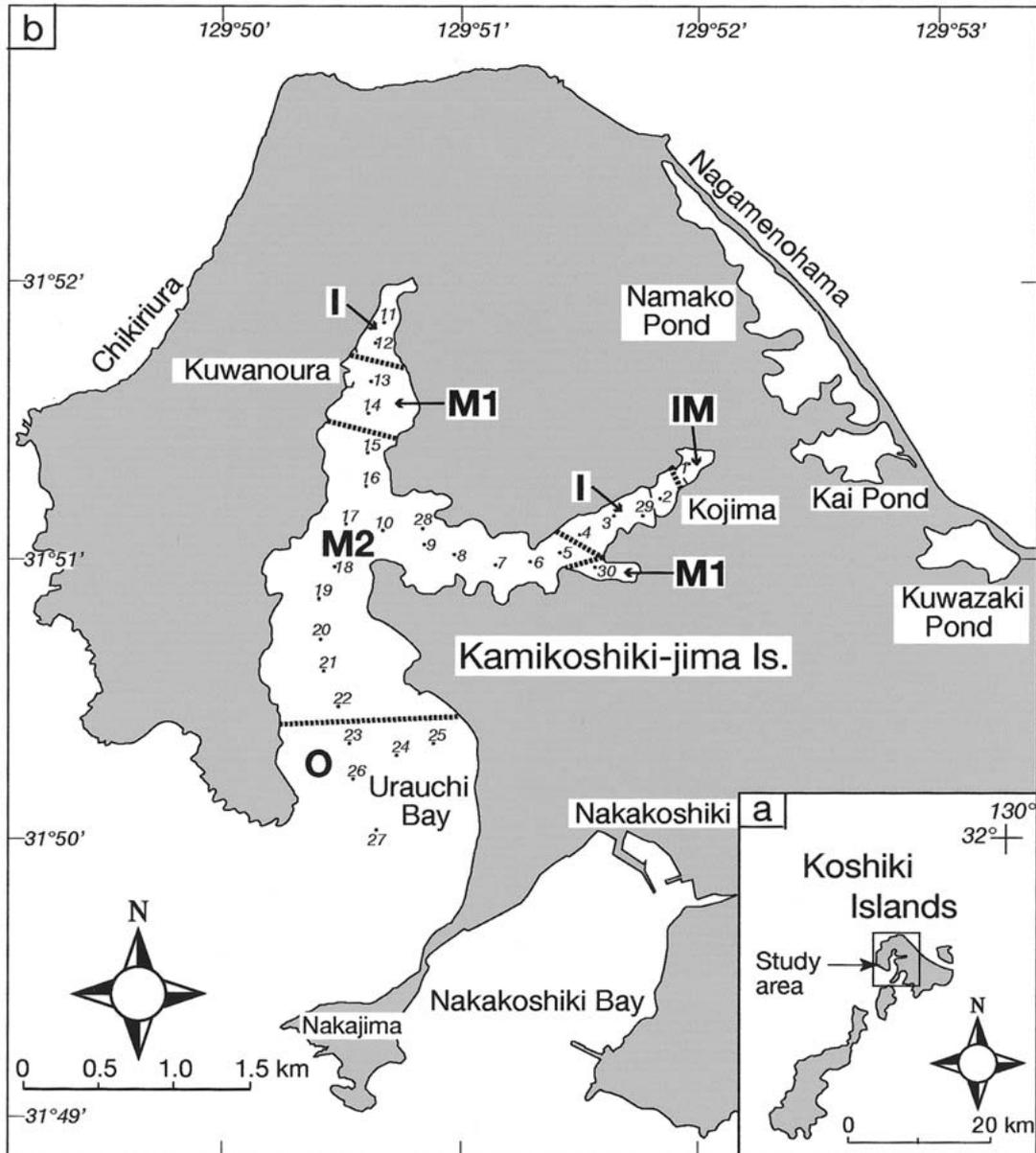


Fig. 1. Index maps of the Japanese Islands and the detailed locations of selected small islands in southwestern Japan.



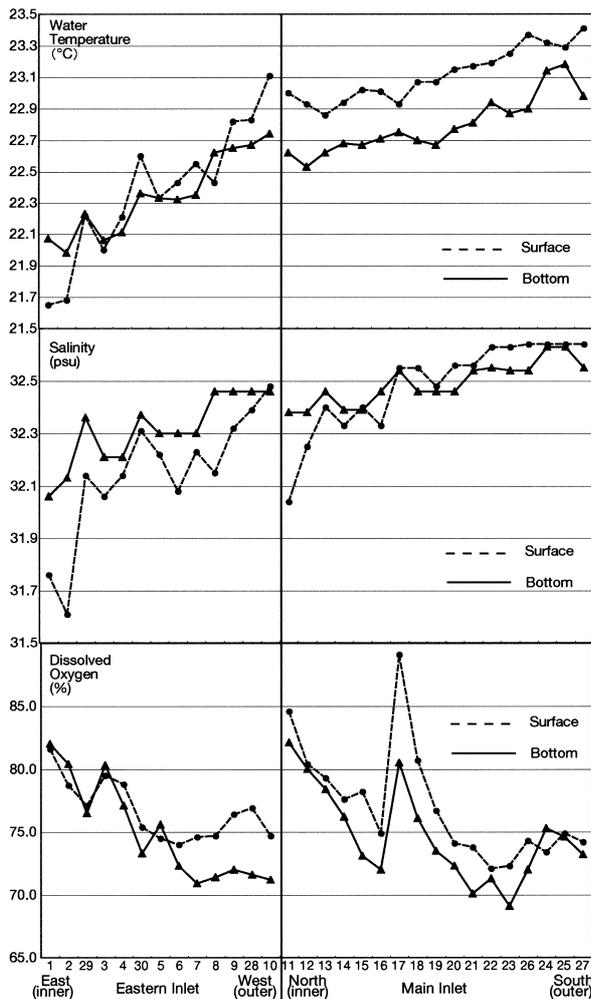
**Fig. 2.** Maps showing the location of Urauchi Bay (a) and sampling localities (b). IM, I, M 1, M 2, and O mean ostracode biofacies or subbiofacies.

Islands (Okinawa-jima Island etc.; Fig. 1). Therefore, we investigated the Recent Ostracoda from Urauchi Bay on Kamikoshiki-jima Island, off Kyushu Island, which is situated to the north of the Tokara Strait.

## 2. Localities and Methods

Koshiki-jima Island is situated 30–50 km off Kushikino Port, Kagoshima Prefecture, southwestern Japan (Figs. 1, 2) and consists of three small islands (Kamikoshiki, Nakakoshiki, and Shimokoshiki-jima Islands). The water depth between Kyushu Island and Koshiki-jima Island is less than 100 m, suggesting that both islands were connected during the last glacial

period. Urauchi Bay is located in the northwestern part of Kamikoshiki-jima Island (Fig. 2). It is a Y-shaped, narrow and elongated bay with a longer axis of about 4.5 km. The width at its mouth is about 1.2 km. The water depth is about 25 m in the middle to outer parts of the bay and 45 m at the bay mouth. There is little inflow of fresh water. Only small streams are distributed in the bay head areas. The Paleogene Kamikoshiki-jima Group (the Nakakoshiki, Oshima, and Segami Formations, in ascending order) is predominantly distributed around Urauchi Bay. It is mainly composed of non-marine to marine alternating beds of sandstone and mudstone (Inoue *et al.*, 1979). Along part of the western coast of the bay, non-marine to marine sandstone and mudstone



**Fig. 3.** Spatial variations of water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinity (psu) and dissolved oxygen (%) in surface and bottom waters.

of the Cretaceous Himenoura Group are exposed (Inoue *et al.*, 1982). These hard rocks form the steep geomorphology along many parts of the bay coast.

A total of 30 surface sediment samples (UU-1 to UU-30; Fig. 2) were collected, using an Ekman–Birge grab sampler from a small ship on November 6–7, 2004. The intervals between sample sites were about 250 m. We determined the thickness of the oxygenated layer, and the color and smell of the sediments. We then collected samples for ostracode, foraminiferal, and total organic carbon, total nitrogen, and total sulfur contents (CNS) analyses from the uppermost 1 cm of the surface sediments using a small spoon, and soaked them in 10% neutral formalin. Residual samples were washed on a 2 mm mesh sieve on the ship and the macrobenthic animals were described. Only ostracodes are reported in this study. Takata *et al.* (2006) have reported the benthic foraminifers and total organic carbon, total nitrogen, and total sulfur contents of the same samples.

We investigated the depth variations in water

temperature, salinity, and dissolved oxygen of the surface and bottom waters using the Hydrolab Quanta package.

### 3. Laboratory Procedures

Wet surface-sediment samples were washed through a 0.063 mm sieve on a 3 L beaker, into which the finer sediments (i.e., mud particles) were eluted with the washing water. After washing, one part per hundred volumes of the stirred water containing the finer sediments was collected from the beaker using a pipette, and the sediments were dried and weighed. The coarser sediments on the sieve screen were soaked in 0.5% Rose Bengal solution, for easy identification of living ostracode and foraminiferal specimens. These samples were washed thoroughly, dried, and weighed. The total weight of a sample was calculated as the weight of the dried coarse sediments plus 100 times the weight of the dried fine sediments.

All ostracodes were picked from the separated sediment samples, which included about 200 individuals, on a 0.125 mm sieve. The number of specimens refers to both valves and carapaces.

### 4. Results and Discussion

#### 4.1. Environments on the study dates

(1) **Water temperature:** Surface and bottom water temperatures ranged from 21.7 $^{\circ}\text{C}$  to 23.4 $^{\circ}\text{C}$  and 22.0 $^{\circ}\text{C}$  to 23.2 $^{\circ}\text{C}$ , respectively (Table 1; Fig. 3). The bottom water temperature was lower than the surface temperature at all sites except UU-1 to 3, UU-8 and UU-29. Although water temperature depends mainly on climate in measurement time of the investigation days, it seemed to be lower in the inner part of the eastern inlet and higher in the outer part of the main inlet. Differences between the surface and bottom water temperatures were small in all areas (Table 1).

(2) **Salinity:** The salinity of the surface and bottom waters ranged from 31.6 to 32.6 psu and 32.1 to 32.6 psu, respectively (Table 1; Fig. 3). Salinity increased toward the outer bay. Surface salinity in the innermost part of both the eastern and main inlets was slightly lower due to the inflow of small amounts of fresh water. The bottom salinity was slightly higher than that of the surface at UU-1 to UU-9, UU-28 to UU-30 in the eastern inlet and at UU-11 to UU-14 and UU-16 in the main inlet. In contrast, the bottom salinity was slightly lower than that of the surface waters in the middle to outer bay. Thus, no salinity layer was present on the days of the study (Table 1).

(3) **Dissolved oxygen:** Dissolved oxygen in both the surface and bottom waters ranged from 70 to 90% (Table

**Table 1.** Details of sample localities. WD: water depth, DO: dissolved oxygen.

Sample	Date	Time	Latitude (WGS84)	Longitude (WGS84)	Sediment	WD(m)	Temp.(°C)		Salinity(psu)		DO(%)	
							surface	bottom	surface	bottom	surface	bottom
UU-01	2004.11.6	10:05	31° 51.538'	129° 51.830'	slightly muddy granuler v.c.s-c.s.	1.8	21.7	22.1	31.8	32.1	81.6	82.0
UU-02	2004.11.6	10:16	31° 51.424'	129° 51.712'	granuler m.s.	3.7	21.7	22.0	31.6	32.1	78.7	80.4
UU-03	2004.11.6	10:32	31° 51.363'	129° 51.515'	muddy f.s.	11.0	22.0	22.1	32.1	32.2	79.5	80.3
UU-04	2004.11.6	10:58	31° 51.297'	129° 51.358'	muddy m.s.	14.1	22.2	22.1	32.1	32.2	78.8	77.1
UU-05	2004.11.6	11:31	31° 51.225'	129° 51.273'	f.sandy mud	22.0	22.3	22.3	32.2	32.3	74.5	75.6
UU-06	2004.11.6	12:01	31° 51.194'	129° 51.153'	silt	23.7	22.4	22.3	32.1	32.3	74.0	72.3
UU-07	2004.11.6	16:49	31° 51.190'	129° 51.004'	silt	26.5	22.6	22.4	32.2	32.3	74.6	70.9
UU-08	2004.11.6	16:33	31° 51.216'	129° 50.858'	silt	27.3	22.4	22.6	32.2	32.5	74.7	71.4
UU-09	2004.11.6	16:13	31° 51.249'	129° 50.709'	silt	27.7	22.8	22.7	32.3	32.5	76.4	72.0
UU-10	2004.11.6	15:51	31° 51.301'	129° 50.539'	sandy silt	28.1	23.1	22.7	32.5	32.5	74.7	71.2
UU-11	2004.11.6	13:35	31° 52.054'	129° 50.544'	ill-sorted m.s.	3.9	23.0	22.6	32.0	32.4	84.6	82.1
UU-12	2004.11.6	13:49	31° 51.985'	129° 50.512'	muddy m.s.	11.4	22.9	22.5	32.3	32.4	80.4	80.0
UU-13	2004.11.6	14:08	31° 51.846'	129° 50.490'	muddy f.s.	18.7	22.9	22.6	32.4	32.5	79.3	78.4
UU-14	2004.11.6	14:27	31° 51.728'	129° 50.474'	muddy f.s.	22.8	22.9	22.7	32.3	32.4	77.6	76.2
UU-15	2004.11.6	15:00	31° 51.588'	129° 50.466'	silt	28.8	23.0	22.7	32.4	32.4	78.2	73.1
UU-16	2004.11.6	15:30	31° 51.473'	129° 50.470'	sandy silt	28.3	23.0	22.7	32.3	32.5	74.9	72.0
UU-17	2004.11.7	9:46	31° 51.325'	129° 50.370'	sandy silt	30.6	22.9	22.8	32.6	32.5	89.1	80.5
UU-18	2004.11.7	10:10	31° 51.170'	129° 50.325'	slightly muddy f.s.including m.s.	28.2	23.1	22.7	32.6	32.5	80.7	76.1
UU-19	2004.11.7	10:35	31° 51.059'	129° 50.268'	slightly muddy f.s.including m.s.	29.0	23.1	22.7	32.5	32.5	76.7	73.5
UU-20	2004.11.7	10:58	31° 50.907'	129° 50.271'	slightly muddy f.s.including m.s.	27.9	23.2	22.8	32.6	32.5	74.1	72.3
UU-21	2004.11.7	11:16	31° 50.799'	129° 50.283'	slightly muddy f.s.including m.s.	28.0	23.2	22.8	32.6	32.5	73.8	70.1
UU-22	2004.11.7	11:40	31° 50.662'	129° 50.340'	slightly muddy f.s.including m.s.	28.5	23.2	22.9	32.6	32.6	72.1	71.3
UU-23	2004.11.7	11:58	31° 50.547'	129° 50.384'	slightly muddy m.s.	29.0	23.3	22.9	32.6	32.5	72.3	69.1
UU-24	2004.11.7	14:23	31° 50.495'	129° 50.601'	sorted m.s.	15.2	23.3	23.1	32.6	32.6	73.4	75.3
UU-25	2004.11.7	14:38	31° 50.548'	129° 50.751'	well-sorted m.s.	8.5	23.3	23.2	32.6	32.6	74.9	74.6
UU-26	2004.11.7	14:57	31° 50.412'	129° 50.417'	slightly muddy m.s.	29.6	23.4	22.9	32.6	32.5	74.3	72.0
UU-27	2004.11.7	15:17	31° 50.228'	129° 50.517'	well-sorted c.s.	28.9	23.4	23.0	32.6	32.6	74.2	73.2
UU-28	2004.11.7	15:56	31° 51.306'	129° 50.711'	sandy silt	27.0	22.8	22.7	32.4	32.5	76.9	71.6
UU-29	2004.11.7	13:15	31° 51.367'	129° 51.648'	slightly muddy m.s.	10.0	22.2	22.2	32.1	32.4	77.1	76.5
UU-30	2004.11.7	13:50	31° 51.175'	129° 51.435'	muddy f.s.	10.0	22.6	22.4	32.3	32.4	75.4	73.3

f.s.: fine sand, m.s.: medium sand, c.s.: coarse sand, v.c.s.: very coarse sand

1; Fig. 3). Thus, Urauchi Bay in the study season is in an oxic condition. The dissolved oxygen in the bottom waters was slightly lower than that of the surface waters at all but four sites (UU-1 to UU-3 and UU-5) in the inner part of the eastern inlet. It tended to decrease toward the outer bay areas. However, the differences in dissolved oxygen between the surface and bottom waters were small.

**(4) Sediments:** Samples from the innermost part of the eastern inlet (UU-1 and 2) consisted of granular medium to very coarse sand (Table 1), with mud contents of less than 10% (Table 1; Fig. 4). The mud content increased toward the middle part of the bay and substrates changed from sand to muddy sand. Samples UU-6 to UU-10 in the middle part of the eastern inlet of the bay were composed of silt, with a very thick (4–5 cm) oxidized layer of a yellowish brown color. Sample UU-11, which was taken from the innermost part of the main inlet, consisted of poorly sorted medium sand with a mud content of less than 10%. Samples UU-15 to 17 consisted of mud, with a thick yellowish-brown-colored oxidized layer. The mud content decreased toward the outer part of the bay and samples UU-24 to 26 consisted of well-sorted medium sand. Sample UU-27, which was collected in the outermost part of the bay, was composed of coarse sand. Thus, no oxygen-poor bottom sediments were observed in Urauchi Bay on the study dates.

#### 4.2. Ostracode biofacies

At least 146 species were obtained from 29 samples (Table 2). Most of them are composed of dead valves or carapaces and living specimens were few (Table 3). Fifty-seven species, of which total number of specimens was more than 10, are shown in Figs. 5 to 9. The Shannon-Wiener function was used for the index of species diversity. Equitability ( $E$ ) was calculated using the function of Buzas and Gibson (1969). Q-mode cluster analysis was conducted on the basis of 28 samples, each containing more than 100 specimens, and 65 species that were represented by more than three specimens in any sample. Horn's overlap index (Horn, 1966) was used as the similarity index and clustering was performed with an unweighted pair group arithmetic method of averages (UPGMA). The computer program used for the analysis was PAST (Paleontological Statistics), which is a free, easy-to-use data analysis package designed for paleontological data (Hammer *et al.*, 2001). The results indicate four ostracode biofacies (IM, I, M, and O), described below (Figs. 2–4).

**(1) Biofacies IM:** This biofacies is composed of only one sample (UU-1), which was collected in the innermost part of the eastern inlet. *Xestoleberis hanaii* is the dominant species in this biofacies. This species lives on and around seaweeds, mainly in intertidal rocky shores and *Zostera* beds (Okubo, 1984; Kamiya, 1988). The

**Table 2.** Faunal list of Recent Ostracoda from Urauchi Bay. The number of specimens refers to both dead (valves and carapaces) and living specimens.

	UU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	29	30	total
<i>Aglaiocypris ? nipponica</i> Okubo, 1980		2				1											1					1									5
<i>Ambtonia obai</i> (Ishizaki, 1971)						6	13	12	13	22	26				2	24	57	30	3	9	7	10	4	1				3			242
<i>Argilloecia lunata</i> Frydl, 1982						1																									1
<i>Argilloecia</i> sp.		1					2																								3
<i>Aurila cymba</i> (Brady, 1869)		29	10	6	2							8	11		2				2			3		2	2	2	4		8	2	93
<i>Aurila hataii</i> Ishizaki, 1968																				1						1	1				3
<i>Aurila spinifera</i> Schornikov & Tsareva, 1995						6	7	3	1	3	3			5	1	1	3			3	1		1					3	2	2	45
<i>Aurila cf. uranouchiensis</i> Ishizaki, 1968				2	3	11	5			2				2	2	1					2	3	3		1		2	10	2	2	53
<i>Aurila</i> sp.																					1										1
<i>Australimoosella tomokoae</i> (Ishizaki, 1968)																			1	1											2
<i>Bythoceratina angulata</i> Yajima, 1987							1	1										1									1	1			5
<i>Bythoceratina hanaii</i> Ishizaki, 1968						2	1								1				1				1	1	2			1			10
<i>Bythoceratina cf. hanaii</i> Ishizaki, 1968				1	1	1	1																								4
<i>Bythoceratina</i> sp. 1							2																								2
<i>Bythoceratina</i> sp. 2									1																						1
<i>Bythocythere cf. maisakensis</i> Ikeya & Hanai, 1982																							1	2	2						5
<i>Bythocythere</i> sp.																						1									1
<i>Callistocythere alata</i> Hanai, 1957				1	1	1	1						1			1				3				1		1		7	1	19	
<i>Callistocythere asiatica</i> Zhao, 1984			2				2				1											1		4	3						14
<i>Callistocythere japonica</i> Hanai, 1957				4	2		1		1						1											1					10
<i>Callistocythere numaensis</i> Frydl, 1982						1																									1
<i>Callistocythere pumila</i> Hanai, 1957						1					1																			1	3
<i>Callistocythere tateyamaensis</i> Frydl, 1982						1	1						1																		3
<i>Callistocythere tosaensis</i> (Ishizaki, 1968)		3	1																	1											5
<i>Callistocythere undulatifacialis</i> Hanai, 1957		2	1	6	9	12	9	8	2	5		1	4	7	3	5	8	6			7	4	3	4			4	10	9	4	133
<i>Callistocythere</i> sp.						1										2	1				1	2	1								8
<i>Cletocythereis bradyi</i> Holden, 1967								1																				1			2
<i>Cobanocythere</i> sp.																					1										1
<i>Copytus posterosulcus</i> Wang, 1985						4	1	1	6	1					1	5															19
<i>Coquimba ishizakii</i> Yajima, 1978		2				1										1						1	1	2	2		1	3			14
<i>Coquimba cf. subgibba</i> Hu, 1982										1						1	3				1					2					8
<i>Coquimba</i> sp.																						1									1
<i>Cornucoquimba shimajiriensis</i> Nohara, 1987																									2						2
<i>Cornucoquimba tosaensis</i> (Ishizaki, 1968)				1		2	1																					1			5
<i>Cornucoquimba</i> sp.						1																									1
<i>Cythere</i> sp.							1								1	2				1											5
<i>Cytherelloidea hanaii</i> Nohara, 1976			2	3	14	12	10	9	13	11			1	3	12	30	10	2	12	12	9	6	5				3	3			182
<i>Cytherois cf. nakanoumiensis</i> Ishizaki, 1969					2																										4
<i>Cytherois cf. uranouchiensis</i> Ishizaki, 1968		1	1								1												2					1	12	18	
<i>Cytherois</i> sp. 1					2	3				2		1	1									2						1			13
<i>Cytherois</i> sp. 2		1	2		4	3	4		1		1		2	3		2	1	1	1	1	4	1					2		3	38	
<i>Cytheromorpha acupunctata</i> (Brady, 1880)			1	25	55	12	8	19	17	3	4	22	18	28	49	17	1	7	1	1								1	3	64	356
<i>Cytheroptern donghaiense</i> (Zhao, 1988)				1	2	1	2	5	3						3	5	1			3		1									27
<i>Cytheropteron</i> sp.																				1											1
<i>Eucythere</i> sp.															1																1
<i>Hanaiborchella</i> sp.										1										1											2
<i>Hemicytherura cuneata</i> Hanai, 1957			1			1		1		2	1				3	1	1			2			2	2	1	1	2				21
<i>Hemicytherura kajiyamai</i> Hanai, 1957																				1	1				3		1				6
<i>Hemicytherura tricarinata</i> Hanai, 1957			1								3	1			1										1						7
<i>Hemicytherura</i> sp.																								1							1
<i>Isocythereis roochuensis</i> Nohara, 1987																				1											1
<i>Loxoconcha hattorii</i> Ishizaki, 1971			5	2								1																	1		9
<i>Loxoconcha harimensis</i> Okubo, 1980			1			3	2													2		1				2	2	1		2	16
<i>Loxoconcha japonica</i> Ishizaki, 1968			3	1	1	14	10	7	4	10	6	1	8	2	7	11	10	16	16	13	17	15	23	29	4	21	7	5	2	2	263
<i>Loxoconcha kattoi</i> Ishizaki, 1968			1	1	5	7	3	1		2				1	1					2		2	2	2			1			2	35
<i>Loxoconcha kitanipponica</i> Ishizaki, 1971			2	1	1	6	4		2								2											3	1	2	25
<i>Loxoconcha optima</i> Ishizaki, 1968							1			4					1	1	2	3	2	5	1	3	5	9	8	2				47	
<i>Loxoconcha pulchra</i> Ishizaki, 1968											2	2																			4
<i>Loxoconcha uranouchiensis</i> Ishizaki, 1968		104	54	41	34	32	31	20	4	3	5	29	111	24	7	6	12	8	7	1											

Table 2. (continued)

	UU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	29	30	total	
<i>Paracytheridea dialata</i> Gou & Huang, 1983					1												1														2	
<i>Paracytheridea neolongicaudata</i> Ishizaki, 1966																									1						1	
<i>Paradoxostoma aculeoliferum</i> Schornikov, 1975								2	1	1	2				1		2			2	3		1	2	2	1		4			24	
<i>Paradoxostoma brunneum</i> Schornikov, 1975							1							1					1	2	1	2		1	1		1				11	
<i>Paradoxostoma coniforme</i> Kajiyama, 1913						1													1										1		3	
<i>Paradoxostoma convexum</i> Okubo, 1977						1	3		1										1												6	
<i>Paradoxostoma cf. denticulatum</i> Okubo, 1977																							2								2	
<i>Paradoxostoma japonicum</i> Schornikov, 1975																								1							1	
<i>Paradoxostoma cf. lunatum</i> Okubo, 1977																						1									1	
<i>Paradoxostoma setoense</i> Schornikov, 1975																				1	2						1				4	
<i>Paradoxostoma cf. setosum</i> Okubo, 1977							1			1									1												3	
<i>Paradoxostoma yatsui</i> Kajiyama, 1913						2						2					3			1		1	3		2						14	
<i>Paradoxostoma</i> sp. 1		1	1			4												1										2			11	
<i>Paradoxostoma</i> sp. 2						1		1	1		1						1			3	2		2		1		1				14	
<i>Paradoxostoma</i> sp. 3						2	1	1													1	1	1		1	1					9	
<i>Paradoxostoma</i> sp. 4																						1	1								3	
<i>Paradoxostoma</i> sp. 5						3	1																					1		1	6	
<i>Paradoxostoma</i> sp. 6							1	2		2			1		1							1	2								4	
<i>Paradoxostoma</i> spp.						1														2	2	1		1							14	
<i>Parakrithe</i> sp.						2		1	2	2							2	1													10	
<i>Parakritheta pseudadonta</i> (Hanai, 1959)		5	2	1	1	7	6	1			3	1	1	2		1	7	2	4	2	5	3	3	4	1		2	2	3		69	
<i>Perrisocytheridea inabai</i> Okubo, 1983			5	3		1	1					10	1				1	1	2	1	1	1	1	1	6	1		1	10	2	50	
<i>Phlyctocythere</i> sp.																						1									1	
<i>Pistocythereis bradyiformis</i> (Ishizaki, 1968)						1	5	64	62	20	15	12	19		1	16	22	46	37	19	3	4	4	4	3			6	5	43	411	
<i>Pistocythereis bradyi</i> (Ishizaki, 1968)						2	3	37	81	33	18	42	50			13	14	59	109	97	14	43	37	57	36	8		2	17	2	6	780
<i>Pontocythere japonica</i> (Hanai, 1959)																						1	2								4	
<i>Pontocythere kashiwarensis</i> (Hanai, 1959)						4	5	2	1		1	2	2	3	1		1	1	1	2	4	2	3	1	2	3	3	8	1	53		
<i>Pontocythere miurensis</i> (Hanai, 1959)								1														1	2								4	
<i>Pontocythere sekiguchii</i> Ikeya & Hanai, 1982																															2	
<i>Pontocythere</i> sp. 1		4	5	9	1	6		1				28	8	1	1				6	1	3	5	5	4	5	2	2	2	7	1	107	
<i>Pontocythere</i> sp. 2										1																					1	
<i>Pontocythere</i> sp. 3																					1										2	
<i>Propontocypris attenuata</i> (Brady, 1868)							1	2	1	1		2	1									1	1					1			11	
<i>Propontocypris clara</i> Zhao, 1988																								1							1	
<i>Propontocypris pirifera</i> (G.W. Müller, 1894)						2																									2	
<i>Propontocypris</i> sp. 1		14	1	3	2	2	2				1				1					1	1			1	1		1		1		32	
<i>Propontocypris</i> sp. 2		4	1	2	1								4	2						1	1	1	1	3	4					1	26	
<i>Propontocypris</i> sp. 3																							1								1	
<i>Pseudoaurila japonica</i> (Ishizaki, 1968)						2	11	1	1		1						1			1								1			19	
<i>Pseudocythere frydli</i> Yajima, 1982								1																	1		2				4	
<i>Pseudocythere</i> sp.								1																							2	
<i>Pseudosammocythere tokyoensis</i> Yajima, 1978						1		1								1															3	
<i>Robustaurila ishizakii</i> (Okubo, 1980)																							3				1				5	
<i>Robustaurila salebrosa</i> (Brady, 1869)																										3					3	
<i>Schizocythere kishinouyei</i> (Kajiyama, 1913)											1				1				1	1						3	1	1	1		9	
<i>Sclerochilus mukaishimensis</i> Okubo, 1977						1								1						1		1						1	1		6	
<i>Sclerochilus</i> sp.																															2	
<i>Sclerochilus ?</i> sp.																															1	
<i>Semicytherura kazahana</i> Yamada et al., 2005																					2	2			1	1	2				8	
<i>Semicytherura mukaishimensis</i> Okubo, 1980		1	1			1					1						1	1		2	3	2							2		15	
<i>Semicytherura okinawaensis</i> Nohara, 1987											2																					2
<i>Semicytherura polygonoreticulata</i> Ishizaki & Kato, 1976							1																2								3	
<i>Semicytherura sasameyuki</i> Yamada et al., 2005						1		1														1	1								4	
<i>Semicytherura wakamurasaki</i> Yajima, 1982																															1	
<i>Semicytherura</i> sp. 1							3	3	1	1												1	1		1	2		3	1		17	
<i>Semicytherura</i> sp. 2		1		2	1	1	1			1											1	4	1	2	2	3			3		24	
<i>Semicytherura</i> sp. 3																															1	
<i>Spinileberis quadriaculeata</i> (Brady, 1880)		1	2	6	11	16	10	3		3	1	3	6	10	20	9	14					1	2					1	9	64	192	
<i>Thalassocypris inujimensis</i> Okubo, 1980						1		1	1		1										1	1									2	8
<i>Trachyleberis ishizakii</i>																																

**Table 3.** Species list of living ostracode specimens.

	UU	1	2	6	9	11	12	15	19	25	26	29	30	total
<i>Ambtonia obai</i> (Ishizaki, 1971)				1	1									2
<i>Aurila cymba</i> (Brady, 1869)			1											1
<i>Callistocythere alata</i> Hanai, 1957												1		1
<i>Callistocythere tosaensis</i> (Ishizaki, 1968)		2												2
<i>Callistocythere undulatifacialis</i> Hanai, 1957											1	1		2
<i>Cytherelloidea hanaii</i> Nohara, 1976									1					1
<i>Cytherois</i> cf. <i>uranouchiensis</i> Ishizaki, 1968												1		1
<i>Loxoconcha optima</i> Ishizaki, 1968										2				2
<i>Loxoconcha tosaensis</i> Ishizaki, 1968											1		1	2
<i>Loxoconcha uranouchiensis</i> Ishizaki, 1968		4			2	1						2		9
<i>Nipponocythere bicarinata</i> (Brady, 1880)									1					1
<i>Parakriothella pseudadonta</i> (Hanai, 1959)		1												1
<i>Pistocythereis bradyi</i> (Ishizaki, 1968)							1							1
<i>Pontocythere</i> sp. 1						3								3
<i>Propontocypris</i> sp. 2			1											1
<i>Trachyleberis scabrocuneata</i> (Brady, 1880)			7											7
<i>Xestoleberis hanaii</i> Ishizaki, 1968		1										1		2
Number of living specimens		8	9	1	1	5	1	1	2	2	2	6	1	39

species diversity and equitability are both lowest among the biofacies ( $H(S) = 1.47$ ,  $E = 0.24$ ).

(2) **Biofacies I:** This biofacies is composed of six samples (UU-2 to 4, 11, 12, and 29), which were collected from the inner part of the bay. It is characterized by an abundance of *Loxoconcha uranouchiensis*. This species lives abundantly on sandy sediments around *Zostera* beds (Kamiya, 1988). *Loxoconcha tosaensis*, which is a muddy-bay species (e.g., Ishizaki, 1968), is a subordinate species. Species diversity and equitability are low to moderate in this biofacies ( $H(S) = 1.98$ – $2.89$ ,  $E = 0.27$ – $0.49$ ).

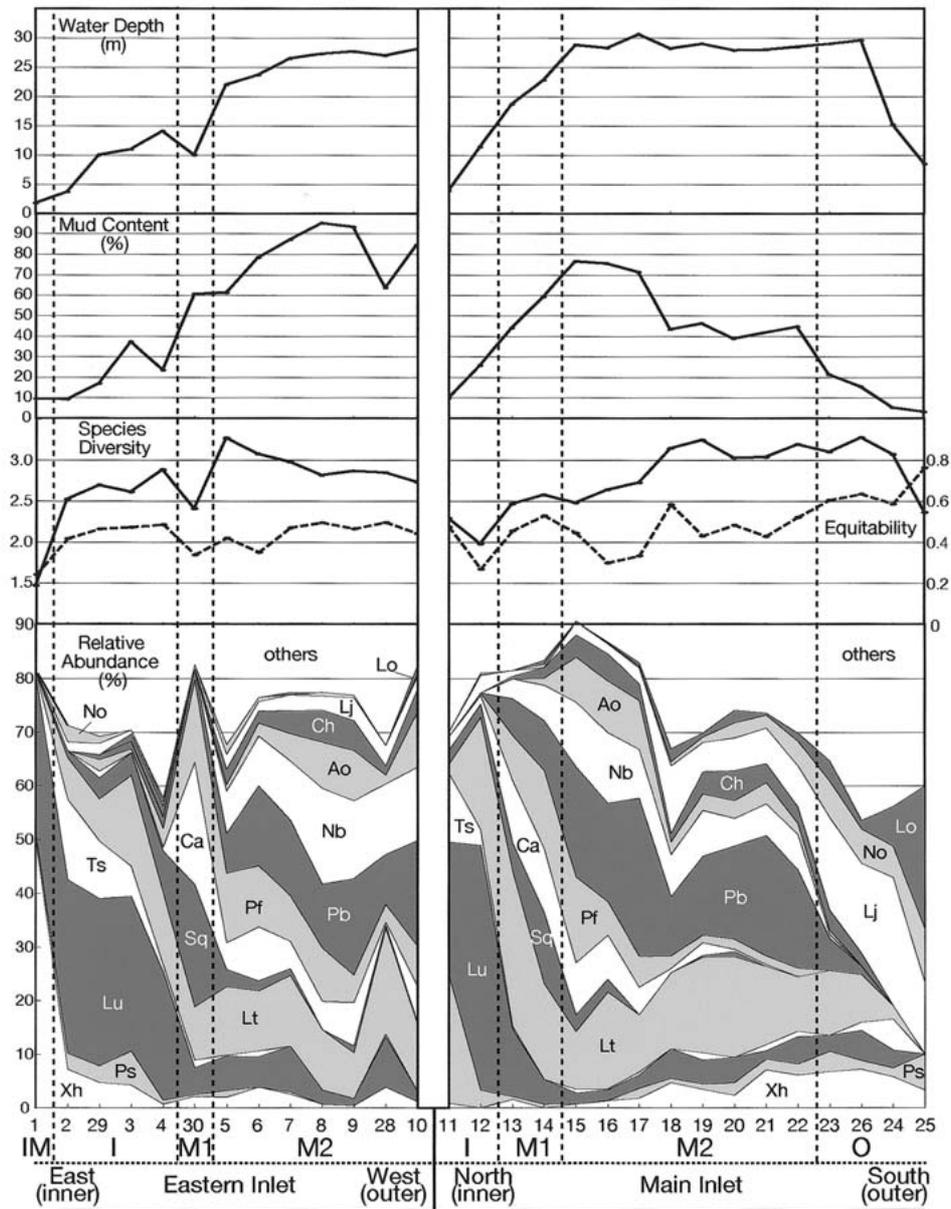
(3) **Biofacies M:** This biofacies is composed of 18 samples, which were collected in the middle part of the bay and is divided into two subbiofacies (M 1 and M 2). Subbiofacies M 1 is composed of three samples (UU-13, 14, and 30). *Loxoconcha tosaensis*, *Cytheromorpha acupunctata*, and *Spinileberis quadriaculeata* are the main species of this subbiofacies. The latter two species are characteristic of enclosed inner bays in Japan (Ikeya and Shiozaki, 1993). Species diversity and equitability are moderate ( $H(S) = 2.41$ – $2.58$ ,  $E = 0.34$ – $0.53$ ). Subbiofacies M 2 is composed of 15 samples (UU-5–10, 15–22, and 28). *Pistocythereis bradyi*, *L. tosaensis*, *Nipponocythere bicarinata*, and *Ambtonia obai* are dominant in this subbiofacies, most of which live abundantly in muddy middle bays of more than 10–15 m in depth (e.g., Yasuhara *et al.*, 2005). Such phytal species as *Loxoconcha japonica* and *Paradoxostoma* spp. are also present. *Cytherelloidea hanaii*, which is a subtropical species (Nohara, 1981), is common in this subbiofacies. Species diversity is moderate to high and equitability is low to moderate ( $H(S) = 2.48$ – $3.27$ ,  $E = 0.30$ – $0.58$ ).

(4) **Biofacies O:** This biofacies is composed of three samples (UU-23, 24, and 26), which were collected from the outer part of the bay. *Loxoconcha japonica*,

*Neonesidea oligodentata*, and *Loxoconcha optima* are dominant in this biofacies. The former two species live on seaweeds around rocky tidal shores or *Zostera* beds and all three species live in areas under the influence of open water (e.g., Okubo, 1975; Kamiya, 1988). Species diversity and equitability are moderate to high ( $H(S) = 3.08$ – $3.28$ ,  $E = 0.52$ – $0.63$ ).

#### 4.3. Relationships between dominant species, biofacies, and environmental factors

*Loxoconcha uranouchiensis*, which is the dominant species of biofacies I, is abundant in the inner shallowest part of the bay, where substrates are composed of sand to muddy sand. Its relative abundance rapidly decreases at a water depth of more than about 15 m in the middle of the bay. *Loxoconcha tosaensis*, which is the subordinate species in biofacies I and the dominant species in biofacies M, occurs at a water depth of about 5 m and is the dominant species in muddy sand to muddy bottoms at water depths of around 15 m. *Ambtonia obai*, *N. bicarinata*, and *P. bradyi*, which are major members of biofacies M, have similar depth distributions. They occur mainly in muddy bottoms at a water depth of more than about 15 m. *Pistocythereis bradyi* is the dominant species at water depths of 25–30 m. These species are rare on sandy bottoms in the outer part of the bay (biofacies O). *Loxoconcha japonica*, *L. optima*, and *N. oligodentata*, which are major members of biofacies O, are rare in the inner to middle parts of the bay, but are abundant in the sandy bottoms of the outer parts of the bay, which are under the influence of open water. Species diversity increases gradually toward the outer bay. Thus, the species distributions and biofacies are controlled by water depth, substrates, and the degree of influence of open water.



**Fig. 4.** Spatial variations of water depth (m), mud content (%), species diversity ( $H(S)$ ), equitability, and the relative abundance (%) of selected species in each locality. Xh: *Xestoleberis hanaii*, Ps: *Pontocythere* sp. 1, Lu: *Loxoconcha uranouchiensis*, Ts: *Trachyleberis scabrocuneata*, Lt: *Loxoconcha tosaensis*, Sq: *Spinileberis quadriaculeata*, Ca: *Cytheromorpha acupunctata*, Pf: *Pistocythereis bradyformis*, Pb: *Pistocythereis bradyi*, Nb: *Nipponocythere bicarinata*, Ao: *Ambtonia obai*, Ch: *Cytherelloidea hanaii*, Lj: *Loxoconcha japonica*, No: *Neonesidea oligodentata*, Lo: *Loxoconcha optima*. IM, I, M1, M2, and O mean ostracode biofacies or subbiofacies.

#### 4.4. Comparisons with Recent Ostracoda in other enclosed bay areas in Japan

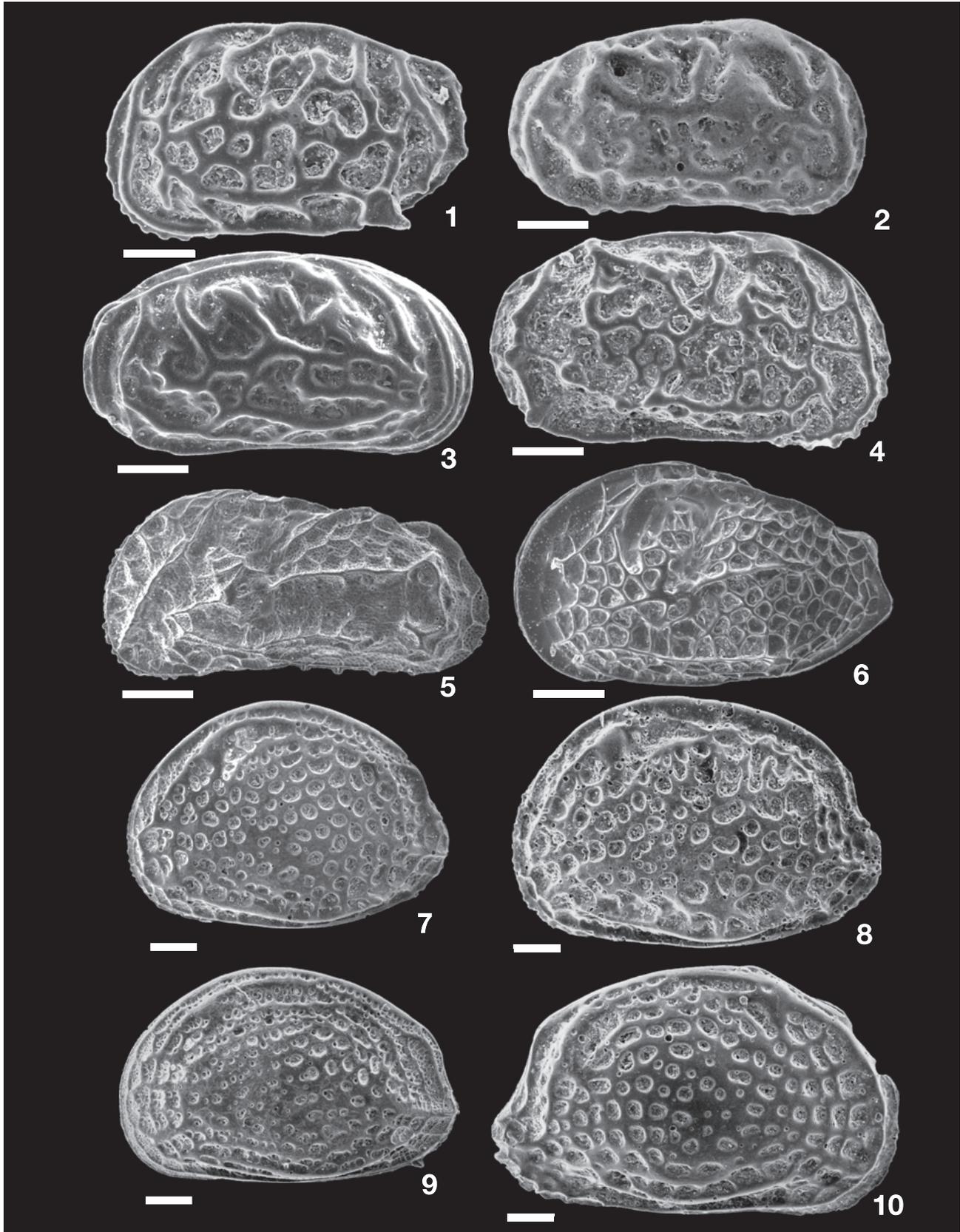
The Recent Ostracoda in enclosed bay areas of the main islands of Japan have been comprehensively studied, as mentioned above. Ikeya and Shiozaki (1993) have compiled several earlier studies and identified *S. quadriaculeata*, *Bicornucythere bisanensis*, and *C. acupunctata* as the dominant species in most inner enclosed bays in Japan. In the enclosed bays of

southwestern Japan, such as Osaka and Uranouchi Bays, *Bicornucythere* sp. (= *B. bisanensis* form M of Yasuhara and Irizuki, 2001) occurs abundantly in the inner to middle parts of the bays (Yasuhara and Irizuki, 2001; Irizuki *et al.*, 2005). The genus *Bicornucythere* (*B. bisanensis* and *Bicornucythere* sp.) is not present in Urauchi Bay. *Spinileberis quadriaculeata* and *C. acupunctata* are the most dominant species at only one locality (UU-30). On behalf of these species, *L.*



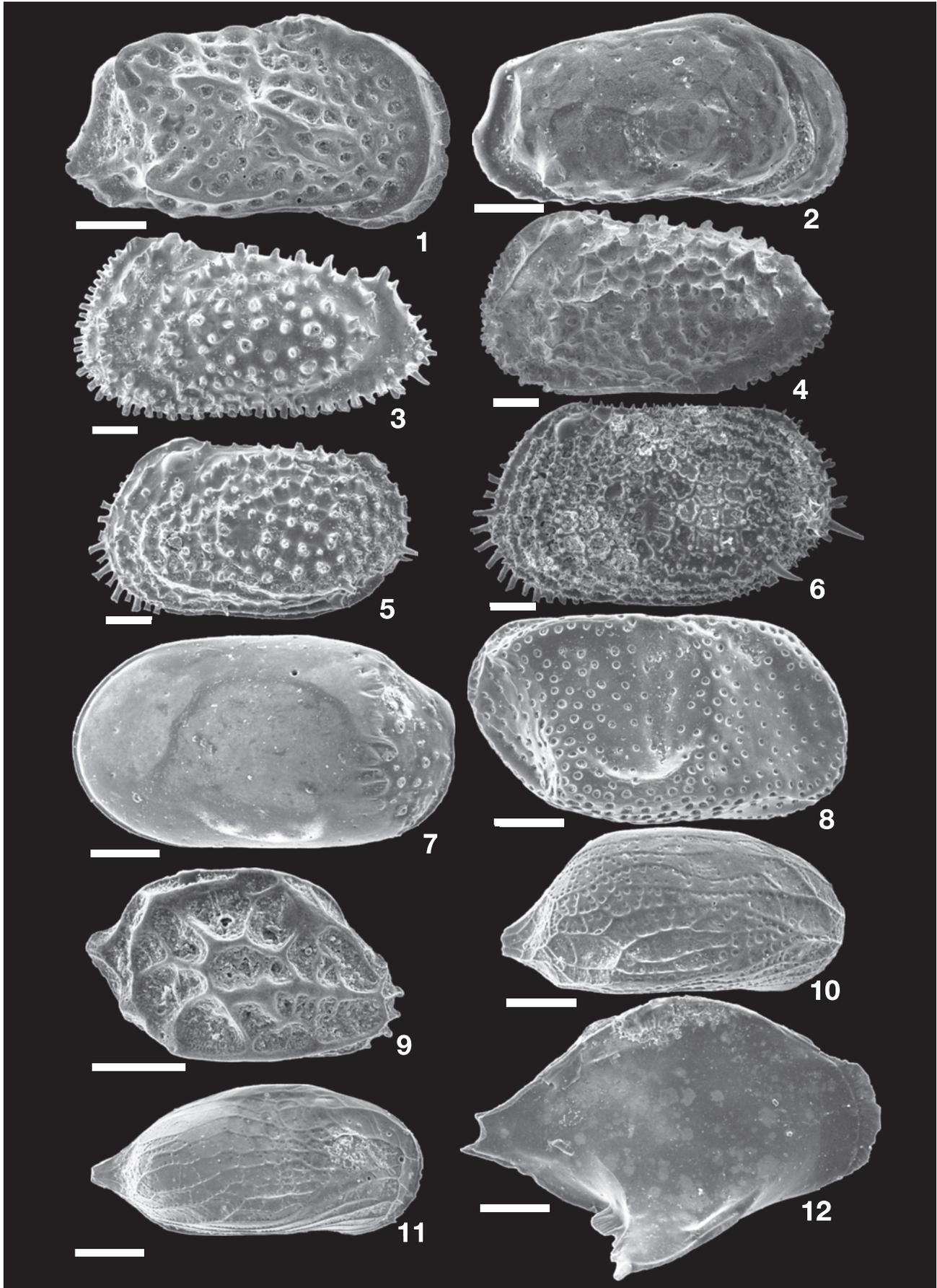
**Fig. 5.** Scanning electron micrographs of the selected ostracode species. Scale bars are 0.1 mm. LV: left valve, RV: right valve, LC: left lateral view of carapace.

1. *Cytherelloidea hanaii* Nohara, 1976, adult, LV, sample UU-18, 2. *Neonesidea oligodentata* (Kajiyama, 1913), female, RV, sample UU-25, 3. *Macrocypris* sp., adult, LV, sample UU-6, 4. *Propontocypris attenuata* (Brady, 1868), adult, LC, sample UU-21, 5. *Propontocypris* sp. 1, juvenile, LV, sample UU-1, 6. *Propontocypris* sp. 2, juvenile, LV, sample UU-12, 7. *Perrisocytheridea inabai* Okubo, 1983, adult, RV, sample UU-29, 8. *Pontocythere kashiwarensis* (Hanai, 1959), female, LV, sample UU-29, 9. *Pontocythere* sp. 1, female, LV, sample UU-20, 10. *Coptys posterosulcus* Wang, 1985, juvenile, LV, sample UU-9, 11. *Parakriithe* sp., juvenile, LV, sample UU-10, 12. *Parakriithella pseudadonta* (Hanai, 1959), female, RV, sample UU-3



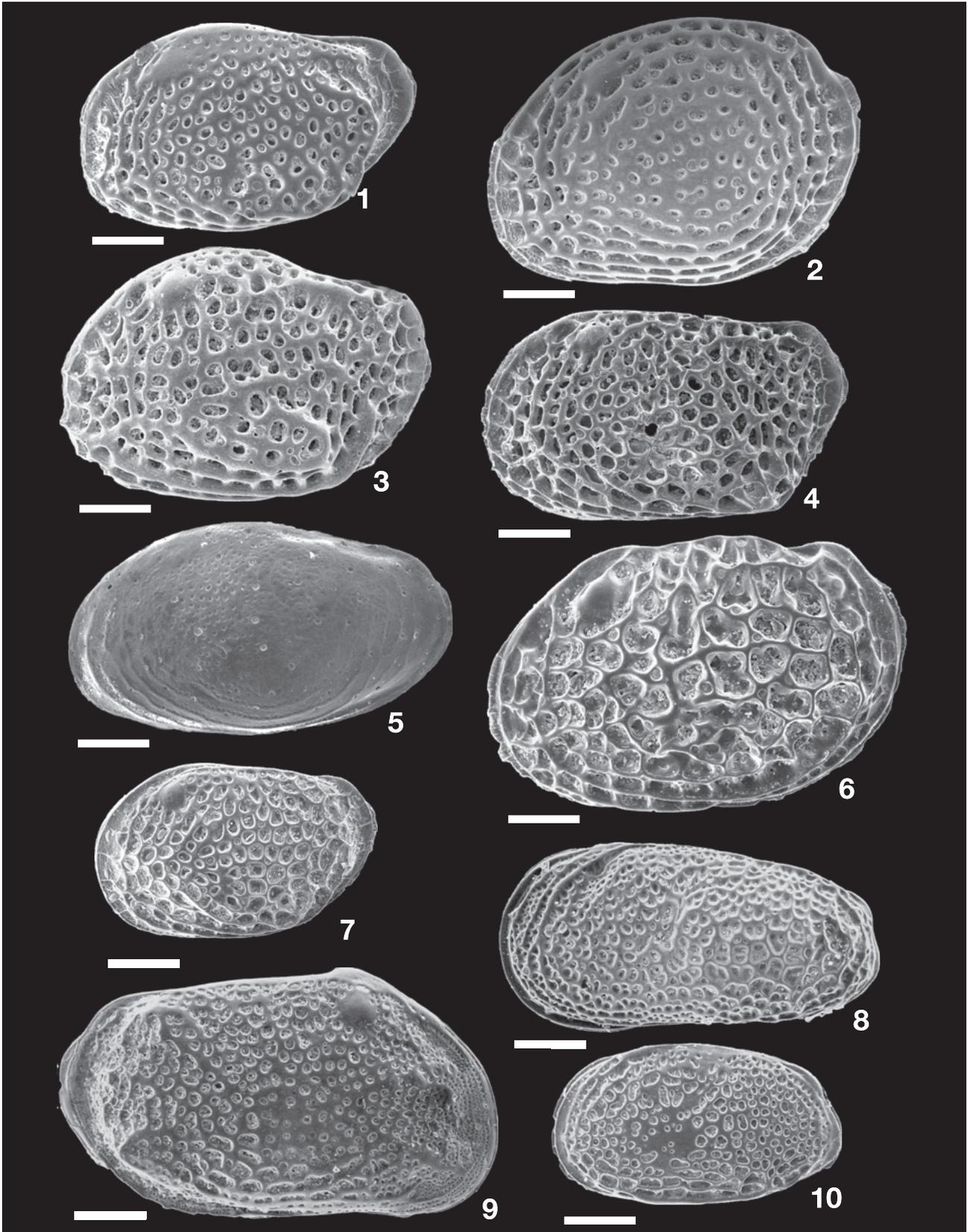
**Fig. 6.** Scanning electron micrographs of the selected ostracode species. Scale bars are 0.1 mm. LV: left valve, RV: right valve, RC: right lateral view of carapace.

1. *Callistocythere alata* Hanai, 1957, female, LV, sample UU-29, 2. *Callistocythere asiatica* Zhao 1984, female, RV, sample UU-2, 3. *Callistocythere japonica* Hanai, 1957, adult, RC, sample UU-25, 4. *Callistocythere undulatifacialis* Hanai, 1957, female, RV, sample UU-5, 5. *Paracathacythere costaereticulata* Whatley and Zhao, 1991, male, LV, sample UU-3, 6. *Spinileberis quadriaculeata* (Brady, 1880), female, LV, sample UU-30, 7. *Aurila cymba* (Brady, 1869), female, LV, sample UU-29, 8. *Aurila spinifera* Schornikov and Tsareva, 1995, female, LV, sample UU-5, 9. *Aurila* cf. *uranouchiensis* Ishizaki, 1968, adult, LV, sample UU-29, 10. *Pseudoaurila japonica* (Ishizaki, 1968), female, RV, sample UU-5



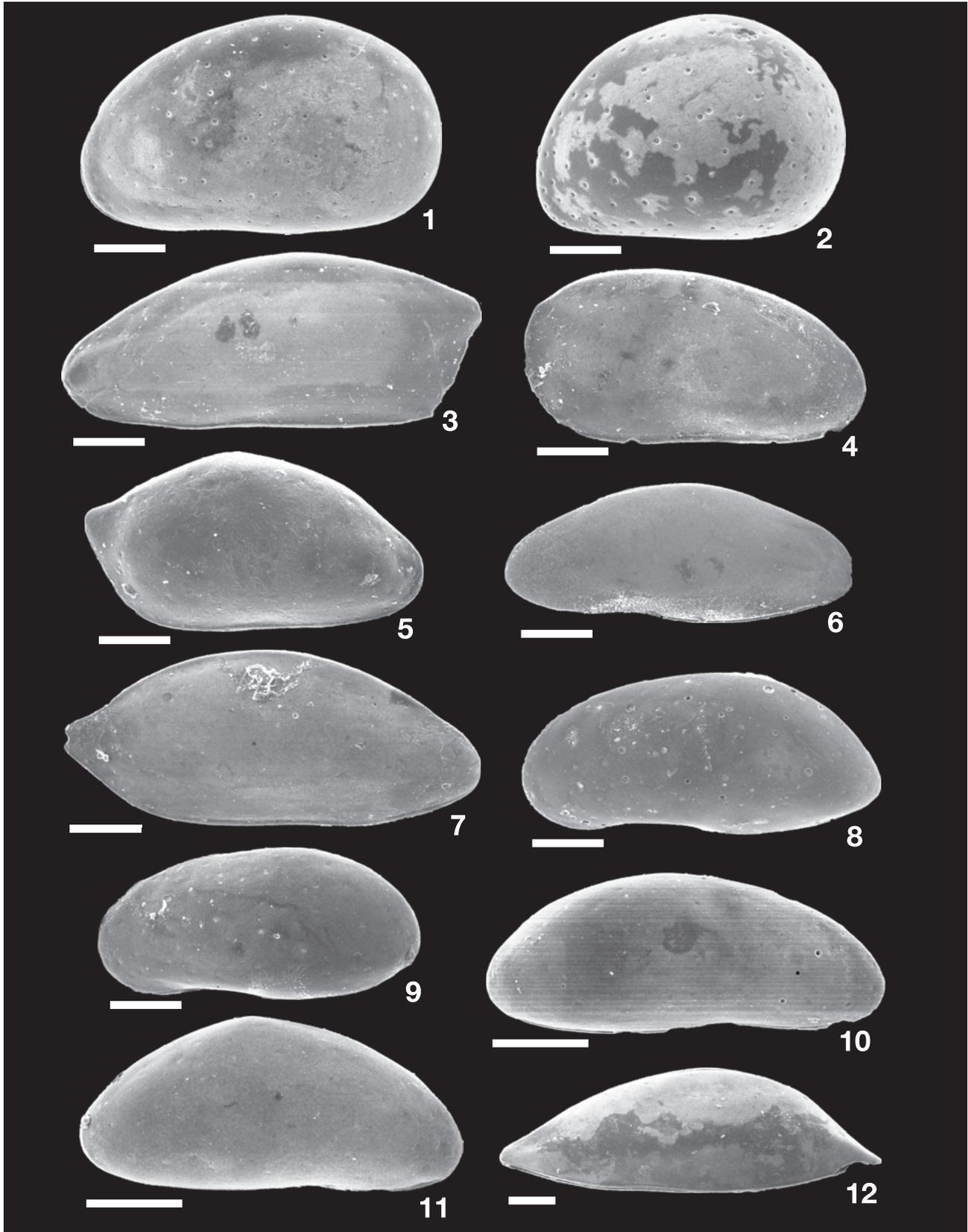
**Fig. 7.** Scanning electron micrographs of the selected ostracode species. Scale bars are 0.1 mm. LV: left valve, RV: right valve, LC: left lateral view of carapace.

1. *Neohornibrookella ractea* (Brady, 1866), adult, RV, sample UU-19, 2. *Coquimba ishizakii* Yajima, 1978, female, RV, sample UU-23, 3. *Trachyleberis ishizakii* Yasuhara *et al.*, 2002, female, LV, sample UU-12, 4. *Trachyleberis scabrocuneata* (Brady, 1880), female, LC, sample UU-29, 5. *Pistocythereis bradyformis* (Ishizaki, 1968), female, LV, sample UU-8, 6. *Pistocythereis bradyi* (Ishizaki, 1968), female, LV, sample UU-21, 7. *Ambtonia obai* (Ishizaki, 1971), female, LV, sample UU-10, 8. *Bythoceratina hanaii* Ishizaki, 1968, adult, RV, sample UU-24, 9. *Hemicytherura cuneata* Hanai, 1957, female, RV, UU-23, 10. *Semicytherura mukaishimensis* Okubo, 1980, adult, RV, sample UU-29, 11. *Semicytherura* sp. 1, female, RV, sample UU-5, 12. *Cytheropteron donghaiense* (Zhao, 1988), adult, RV, sample UU-16



**Fig. 8.** Scanning electron micrographs of the selected ostracode species. Scale bars are 0.1 mm. LV: left valve, RV: right valve.

1. *Loxoconcha harimensis* Okubo, 1980, female, LV, sample UU-26, 2. *Loxoconcha japonica* Ishizaki, 1968, female, LV, sample UU-18, 3. *Loxoconcha kattoi*, Ishizaki, 1968, female, LV, sample UU-2, 4. *Loxoconcha kitanipponica* Ishizaki, 1971, female, LV, sample UU-29, 5. *Loxoconcha optima* Ishizaki, 1968, juvenile, LV, sample UU-24, 6. *Loxoconcha tosaensis* Ishizaki, 1968, female, LV, sample UU-16, 7. *Loxoconcha uranouchiensis* Ishizaki, 1968, female, LV, sample UU-1, 8. *Cytheromorpha acupunctata* (Brady, 1880), female, LV, sample UU-30, 9. *Loxocorniculum mutsuense* Ishizaki, 1971, adult, RV, sample UU-5, 10. *Nipponocythere bicarinata* (Brady, 1880), female, LV, sample UU-5



**Fig. 9.** Scanning electron micrographs of the selected ostracode species. Scale bars are 0.1 mm. LV: left valve, RV: right valve, RC: right lateral view of carapace.

1. *Xestoleberis hanaii* Ishizaki, 1968, female?, LV, sample UU-1, 2. *Xestoleberis ishizakii* Schornikov, 1975, juvenile, LV, sample UU-22, 3. *Paradoxostoma aculeoliferum* Schornikov, 1975, adult, LV, sample UU-16, 4. *Paradoxostoma brunneum*, Schornikov, 1975, adult, RV, sample UU-6, 5. *Paradoxostoma yatsui* Kajiyama, 1913, adult, RV, sample UU-24, 6. *Paradoxostoma* sp. 1, adult, RV, sample UU-5, 7. *Paradoxostoma* sp. 2, adult, RV, sample UU-5, 8. *Neopellucistoma inflatum* Ikeya and Hanai, 1982, adult, LV, sample UU-5, 9. *Cytherois* cf. *uranouchiensis* Ishizaki, 1968, adult, LV, sample UU-30, 10. *Cytherois* sp. 1, adult, RV, sample UU-6, 11. *Cytherois* sp. 2, juvenile, RV, sample UU-2, 12. *Xiphichilus* sp., adult, RC, sample UU-15

*uranouchiensis* is the dominant species in the inner part of the bay. Thus, there are none, or relatively few, species characteristic of the enclosed inner bays of Japan. According to Ikeya and Shiozaki (1993), *S. quadriaculeata* prefers to live on silty bottoms (Md = 5–8 phi) in brackish waters (salinity = 20–30 psu) at water depths of 2–7 m; *C. acupunctata* is abundant on sandy bottoms (Md = 2–3 phi) in brackish waters (27–30 psu) at water depths of 2–3 m; and *B. bisanensis* (including *Bicornucythere* sp.) is abundant in similar environments to those of *S. quadriaculeata* but prefers to live in deeper waters than the latter (5–10 m in depth). All three species live in flocculent layers and at the top of the oxidized layer. A flocculent layer is composed mainly of inorganic grains of less than 0.1 mm, decomposing organic matter, and fragments of pellets (Ikeya and Shiozaki, 1993). In most of the inner parts of Urauchi Bay, at depths of less than about 10 m, sandy to granular sediments with low mud content cover the bottom surfaces, where flocculent layers are possibly not well developed. Moreover, bottom-water salinity there is slightly higher than that in optimal habitats for those species, suggesting that open marine water flows into even the inner part of the bay. Only locality UU-30 is close to optimal conditions for these species. Thus, there is only a small area where these species prefer to live. This suggests that there is little input of fine inorganic sediments and organic matter from the hinterland of Urauchi Bay because the bay is situated in small islands off the main islands of Japan and is surrounded by hard sedimentary rocks, and no large rivers enter the bay. The results of the CNS analyses also support this interpretation (Takata *et al.*, 2006). Even when sediments do flow into the bay, they are transported to deeper middle-bay bottoms or open seas because of the steep geomorphology of the coasts of the bay. It is possible that enclosed inner-bay species have decreased on or disappeared from these small isolated islands during each interglacial period of the Pleistocene.

Species living in the tropical seas around the Okinawa Islands, such as *Neohornibrookella lactea* and *Cornucoquimba shimajiriensis* (e.g., Nohara, 1987; Tabuki *et al.*, 1987; Tabuki, 2001), are rarely found in Urauchi Bay, and species that live abundantly in the bays of those islands, such as the genera *Neomonoceratina*, *Bishopina*, and *Keijia*, are not found at all in Urauchi Bay.

## 5. Conclusions

1. At least 146 species were obtained from 29 surface sediment samples from Kamikoshiki-jima Island off Kyushu, southwestern Japan.
2. They were grouped into four biofacies on the basis of

Q-mode cluster analysis.

3. The dominant species in the inner part of the bay is *Loxococoncha uranouchiensis*. Species that dominate enclosed inner muddy bays in Japan are not present or are restricted to small areas in Urauchi Bay.

## Acknowledgments

We thank S. Yamaguchi of Marushima-so for his helpful supports of surveys. This study was supported by the Grant-in-Aid for Scientific Research (Grant nos. 15540451 and 17540442) of the Scientific Research Fund of the Japan Society for the Promotion of Science.

## References

- Bodergat, A.M. and Ikeya, N. (1988) Distribution of Recent Ostracoda in Ise and Mikawa Bays, Pacific coast of Central Japan. In: Evolutionary Biology of Ostracoda-Its fundamentals and applications. (eds.) Hanai, T., Ikeya, N. and Ishizaki, K. pp. 413–428. Kodansha, Tokyo and Elsevier, Amsterdam.
- Bodergat, A.M., Ishizaki, K., Oki, K. and Rio, M. (2002) Currents, civilization, or volcanism? Ostracodes as sentinels in a patchy environment: Kagoshima Bay, Japan. *Micropaleontology*, 48: 285–299.
- Buzas, M.A. and Gibson, T.G. (1969) Species diversity: benthonic foraminifera in western North Atlantic. *Science*, 163: 72–75.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education and data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4: 9 p. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue\\_1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue_1_01.htm)
- Horn, H. S. (1966) Measurement of “overlap” in comparative ecological studies. *Amer. Natur.*, 100: 419–424.
- Ikeya, N. and Hanai, T. (1982) Ecology of Recent ostracodes in the Hamana-ko region, the Pacific coast of Japan. *Bull. Univ. Mus. Univ. Tokyo*, 20: 15–59.
- Ikeya, N. and Shiozaki, M. (1993) Characteristics of the inner bay ostracodes around the Japanese islands—the use of ostracodes to reconstruct paleoenvironments. *Mem. Geol. Soc. Japan*, 39: 15–32 (in Japanese with English abstract).
- Ikeya, N., Zhou, B.C. and Sakamoto, J. (1992) Modern ostracode fauna from Otsuchi Bay, the Pacific coast of Northeastern Japan. In: Centenary of Japanese Micropaleontology. (eds.) Ishizaki, K. and Saito, T. pp. 339–354. Terra Sci. Publ. Co., Tokyo.
- Inoue, E., Sato, Y., Takai, Y., Nakao, S. (1979) Geological studies on the Kamikoshiki-jima Group (Paleogene), off Southwestern Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 30: 141–176 (in Japanese with

- English abstract).
- Inoue, E., Tanaka, K. and Teraoka, Y. (1982) Geology of the Nakakoshiki district. Quadrangle Ser., Scale 1: 50,000, Geol. Surv. Japan, 99 p. (in Japanese with English abstract).
- Ishizaki, K. (1968) Ostracodes from Uranouchi Bay, Kochi Prefecture, Japan. Sci. Rep. Tohoku Univ., 2 nd Ser. (Geol.), 40: 1–45.
- Ishizaki, K. (1969) Ostracodes from Shinjiko and Nakanoumi, Shimane Prefecture, Western Honshu, Japan. Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.), 41: 197–224.
- Ishizaki, K. (1971) Ostracodes from Aomori Bay, Aomori Prefecture, Northeast Honshu, Japan. Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.), 43: 59–97.
- Irizuki, T., Nakamura, Y., Takayasu, K., Sakai, S. (2003) Faunal changes in Ostracoda (Crustacea) in Lake Nakaumi, southwest Japan, over the last 40 years. Geosci. Rep. Shimane Univ., 22: 149–160 (in Japanese with English abstract).
- Irizuki, T., Seto, K., Nomura, R. (2005) Faunal changes in Ostracoda in enclosed inner bay with relation to anthropogenic environmental changes-an example of Uranouchi Bay, Kochi Prefecture-. Abstracts with Programs The 2005 Annual Meeting The Palaeontological Society of Japan, 147 p. (in Japanese, title translated).
- Kamiya, T. (1988) Morphological and ethological adaptations of Ostracoda to microhabitats in *Zostera* beds. In: Evolutionary Biology of Ostracoda-Its fundamentals and applications. (eds.) Hanai, T., Ikeya, N. and Ishizaki, K. pp. 303–318. Kodansha, Tokyo and Elsevier, Amsterdam.
- Nohara, T. (1981) Notes on the ostracode genus *Cytherelloidea* from the Senkaku-retto, Okinawa. Biol. Mag. Okinawa, 19: 41–45.
- Nohara, T. (1987) Cenozoic ostracodes of Okinawa-jima. Bull. Coll. Educ. Univ. Ryukyus, 37: 1–103.
- Okubo, I (1975) *Bairdia oligodentata* Kajiyama, 1913 and *Bairdia* sp. in the Inland Sea, Japan (Ostracoda). Res. Bull. Okayama Shujitsu Junior Coll., 5: 93–100.
- Okubo, I. (1984) On the life history and the size of *Xestoleberis hanaii*. Res. Bull. Shujitsu Women's Coll., 14: 19–43.
- Tabuki, R. (2001) Plio-Pleistocene and Recent subtropical Ostracoda in Okinawa. In: 14th International Symposium on Ostracoda Guidebook of Excursions. (ed.) Ikeya, N. pp. 21–44. The Organising Committee of ISO 2001, Shizuoka.
- Tabuki, R., Nakano, T. and Nohara, T. (1987) Preliminary report on ostracode fauna from Sekisei-sho area, Yaeyama Islands. Bull. Coll. Edu. Univ. Ryukyus, 31: 323–335. (in Japanese with English abstract).
- Takata, H., Irizuki, T. and Ishida, K. (2006) Living benthic Foraminifera from Urauchi Bay, Kamikoshikijima Island. Laguna, 13: 99–107 (in Japanese with English abstract).
- Yamane, K. (1998) Recent ostracode assemblages from Hiuchi-nada Bay, Seto Inland Sea of Japan. Bull. Ehime Pref. Sci. Mus., 3: 19–59 (in Japanese with English abstract).
- Yasuhara, M. and Irizuki, T. (2001) Recent Ostracoda from the northeastern part of Osaka Bay, southwestern Japan. Jour. Geosci. Osaka City Univ., 44: 57–95.
- Yasuhara, M., Yoshikawa, S. and Nanayama, F. (2005) Reconstruction of the Holocene seismic history of a seabed fault using relative sea-level curves reconstructed by ostracode assemblages: Case study on the Median Tectonic Line in Iyo-nada Bay, western Japan. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 222: 285–312.

## 中海北東部の湖底地形・地質の再検討 —湖底環境修復への課題—

徳岡隆夫<sup>1</sup>・吹田 歩<sup>1</sup>・中村唯史<sup>2</sup>・安間 恵<sup>3</sup>・西村清和<sup>4</sup>

### Reexamination of bottom topography and sediments in the northeastern part of Lake Nakaumi

Takao Tokuoka<sup>1</sup>, Ayumi Fukita<sup>1</sup>, Tadashi Nakamura<sup>2</sup>,  
Kei Anma<sup>3</sup> and Kiyokazu Nishimura<sup>4</sup>

**Abstract:** Sandbar sediments are underlain in the bottom of the northeastern part of the Lake Nakaumi. These are a part of the Yumigahama Sandbar, and assigned to have been formed by the Jomon Transgression in the Holocene Age. The data of echo-sounding surveys by Yuniboom in 1986 (summarized by Mitsunashi and Tokuoka, 1990) and SH 20 by Fukita et al. (2001) were reexamined, and SH 20 survey along the coastal area was newly carried out in 2005. The sand body has a thickness up to 20 m, and are interfingering with Holocene muddy sediments which is extensively distributed in the bottom of Lake Nakaumi. The natural gentle slopes of the lake bottom which reflect original sandbar surface have been completely replaced by the Nakaumi Reclamation Project, etc. to the rugged bottom surfaces not suitable for the survival of aquatic organisms.

**Key words:** Lake Nakaumi, Yumigahama sandbar, echo-sounding survey, reclamation, mitigation

#### 1 はじめに

中海湖底の音波探査については本庄水域を除く中海西南部について三梨ほか(1986)で、中海北東部について三梨ほか(1987)で、本庄水域について徳岡ほか(1991)で報告された。これらについては中海・宍道湖—地形・底質・自然史アトラス—(三梨・徳岡, 1988 編)と中海北部(本庄工区)アトラス(徳岡・高安, 1992 編)で、探査記録とそれらの解釈が詳しく示されている。ここで再検討するのは三梨ほか(1986)で報告された中海北東部の弓ヶ浜沿いのユニブームによる記録で、弓ヶ浜砂州の中海湖底下への

広がりについてである。また、上記の一連の調査の後、吹田ほか(2001)は大根島玄武岩の中海湖底下への広がりについて地層探査装置 SH 20 による音波探査結果を報告しているが、その際に得られたこの地域に関連した2つの測線の記録についても検討を行った。さらに、2005年には西村がSH 20のデジタル化のテストを行う機会を得て弓ヶ浜沿いをテストフィールドとして調査を行ったので、その際の記録についても述べる。

現在では、弓ヶ浜沿いの中海湖底は、人為的な改変が著しく進んでいるために本来の地形がわかりにくくなっているが、1万分の1中海湖沼図(1962年測

<sup>1</sup> 徳岡汽水環境研究所 Tokuoka Laboratory for Studies of Brackish Water Environments, Nishikawatsu-cho 748-86, Matsue 690-0823, Japan

<sup>2</sup> 三瓶フィールドミュージアム財団 Sanbe Field Museum, Tane 1121-8, Sanbe-cho, Oda City, 694-0003, Japan

<sup>3</sup> 川崎地質株式会社 Kawasaki Geological Engineering Co. Ltd., Minato-Ku, Tokyo 108-8377, Japan

<sup>4</sup> 産業技術総合研究所 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba 305-8567, Japan

量, 国土地理院)で明らかのように, 水深7m 辺りまでは弓ヶ浜砂州につらなる緩やかに中海側に傾斜する砂州地形が, 崎津沖から北北西に, 江島の西南縁に向けて存在していた. このことは海上保安庁水路部による海図1174(1956年測量)でも明らかである. 中海臨海地帯の地盤(建設省計画局ほか, 1967編)では, 弓ヶ浜半島を内浜, 中浜, 外浜に区分し, この順に美保湾の方に付着されていったこと, 内浜砂州は中海湖底下に江島にまで繋がっていた古弓ヶ浜砂州を母胎として出来たもので, 形成時期については縄文時代と推定した. また, 大西・高安(1982)はこれに相当する砂州を水中砂州と呼び, 内浜砂州とともに縄文海進によって形成されたものとして古地理の変遷を描いた. その後, 三梨ほか(1986)は音波探査によって中海湖底下の砂州の広がり江島に向かって成長して行ったことが明らかにし, 内浜砂州がこれを覆うと考えた. 上記の音波探査結果も含めて中海・宍道湖の形成史をまとめた徳岡ほか(1990)の古地理図では示されていないが, 高安・徳岡(1993)はこの考え方で, 約4000年前の古地理図に水中砂州の存在を描いている.

中海湖底下の砂州については, 音波探査記録とその解釈図が三梨・徳岡(1988)でまとめて示されている. 弓ヶ浜に続く浅い湖底下に, 広く, 厚く分布する砂層は, 中海干拓淡水化事業やそれ以前・以後のさまざまな事業によって浚渫され, 現在では湖底の砂州地形は殆んど失われている. 中海干拓事業は中止となったことから, この事業によって改変させられた自然をできるだけもとに戻すのがこれからの課題であるが, 水中砂州の修復もその1つである. この報告では弓ヶ浜沿いの湖底下に存在する砂州の形成史と人為的な破壊の状況を明らかにして, 中海の環境の修復・再生を考える上での基礎資料を提供する.

## 2 中海北東部における音波探査データとその解釈

### 2.1 三梨ほか(1987)によるユニブーム調査

この調査は三梨ほか(1986)に引き続くもので, 島根大学が工業技術院地質調査所(現, 産業技術研究所)および川崎地質株式会社と共同研究として行ったものである. 測位は電波測位機トリスポンダーを使用し, 他の機器とともにユニブーム(EG & G社, 230-1型)が測線間隔250mで曳航された. 調査の目的が中海全体の地質を捉えることにあったため

に, 弓ヶ浜沿いの浅場にまで調査範囲が及んでいないが, 弓ヶ浜砂州の湖底下への延長については捉えられている. また, 湖底地形をみると, その範囲では浚渫されたところがほとんどであるのに, 美保空港沖だけに砂州の西斜面が残されていることが記述されている. ユニブーム音響記録については解釈図とともに三梨・徳岡(1988)にすべて掲載されている. 弓ヶ浜砂州の湖底下への広がりをこれらの記録から再検討すると, 後述するように, 図1に示した範囲であることがわかる. ユニブームによる調査では泥層が厚く分布する中海の広い範囲では音響散乱層が出現するために, 湖底下の成層状態は明らかにできないが, 弓ヶ浜沿いの砂層が分布する範囲ではそれが明瞭に捉えられ, 砂州の堆積層であることがわかる. 形態をよくとどめている音響記録例を図2, 図3に示す(測線位置は図1を参照).

**CS2 測線(図2)** 三梨・徳岡(1988)の解釈図にもとづいて, 一部の改変を行っている. 測線の中海側では大根島玄武岩の上に更新統の安来層, 完新統の中海層(泥層)が重なる. 砂州堆積層は中海層の泥層に覆われる関係にあり, 弓ヶ浜側に広く分布する. 砂層中には砂州を特徴づける斜交層理が認められる. 砂層の分布範囲では広く浚渫が行われていて, 原地形が失われている.

**K3 測線(図3)** 三梨・徳岡(1988)の解釈図にもとづいて, 一部の改変を行っている. 美保空港延長滑走路先端あたりから崎津沖に至る弓ヶ浜沿いの測線である. 安来層の上位に砂州堆積層が重なっている. 砂州堆積層は成層状態から, 図中に示すように, S1~S4層に区分される. 地点9に近い美保空港滑走路延長事業の際のボーリングデータを図中に示した. 音響記録と対応させると, 底置層をなすシルト~砂質土の上位に前置層をなす斜交層理をもった砂層が重なっていることがわかる. 測線の北半部では砂州堆積層の上面をなす湖底面が残っているが, 南半部では浚渫で失われている.

### 2.2 吹田ほか(2001)によるSH20調査

吹田ほか(2001)では中海湖底下の大根島玄武岩の分布が既存の音探資料とSH20による調査をもとに検討されたが, 大根島から弓ヶ浜へのC-C'測線および江島の東から南東への測線で湖底下の砂州の構造を示す音響記録が得られている. これらの一部を図4, 5に示す. また, 1960年に地質調査所によって行われたNB4ボーリングの結果(三梨・徳岡, 1988)を図4のなかに示した.

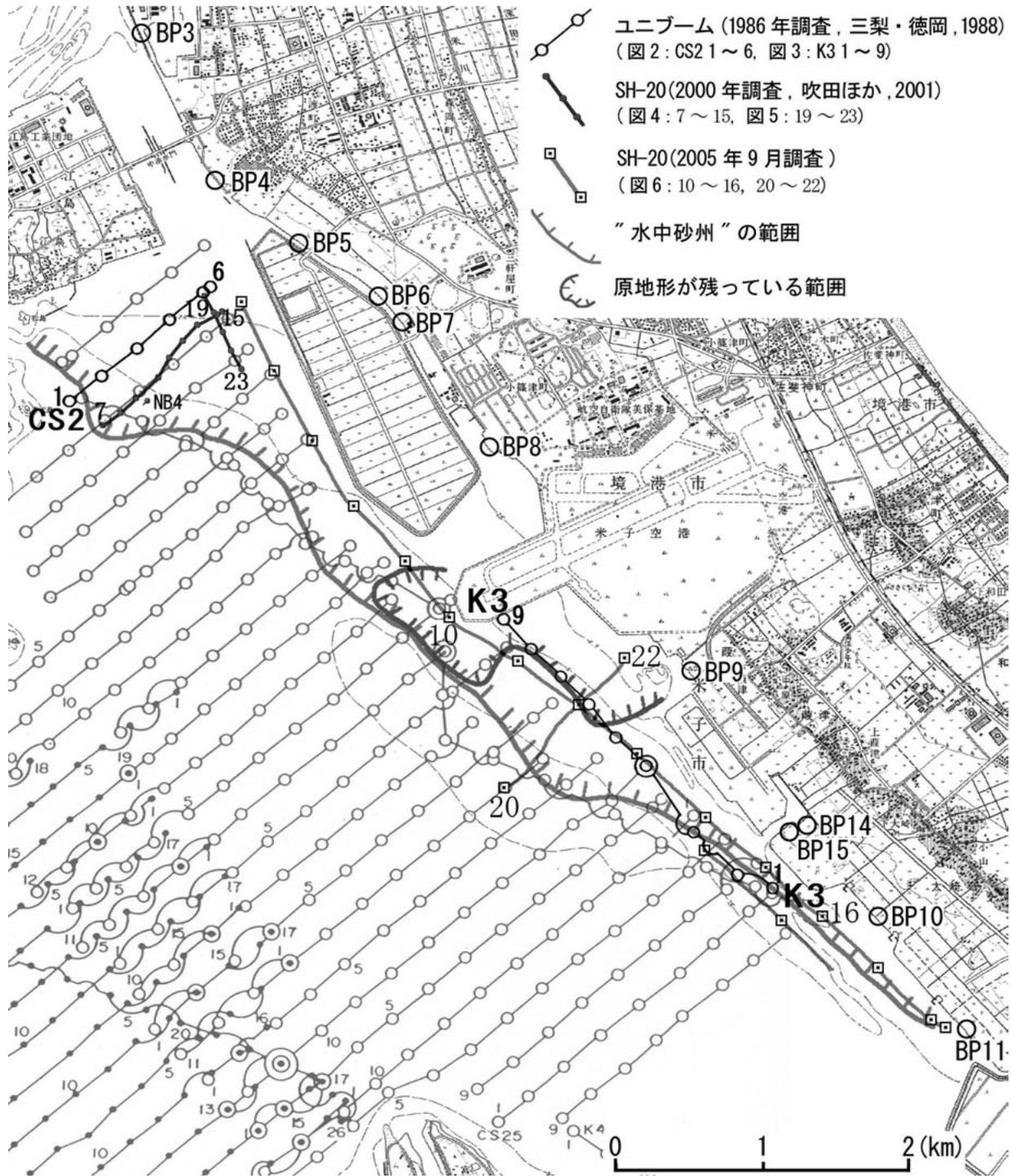


図1. 音波探査測線

湖底下の浚渫範囲（水中砂州の分布範囲と一致する）、浚渫されずに原地形が残っている範囲、および中村ほか（2001）の弓ヶ浜の中海側湖岸沿いの地質断面の位置と建設省による1995～1996ボーリング位置を合わせて示す。

Fig. 1. Echo-sounding survey routes.

C-C' 測線(図4) 三梨・徳岡(1988)のCS-3 測線とほぼ同じ位置にあり、よく一致した音響記録が得られている。中海側では大根島玄武岩の上位に安来層、さらに中海層の泥層が重なっている。砂州堆積層の広がり地帯8～9間までで、中海層の泥層に覆

われている。砂州堆積層はこれより弓ヶ浜側に分布していて、斜交層理が明瞭である。弓ヶ浜側では東に傾斜し、中海側では西に急傾斜している。砂州分布範囲は浚渫によって原地形が失われていて、浚渫によってできた凹凸地形上には二次的な堆積層が薄

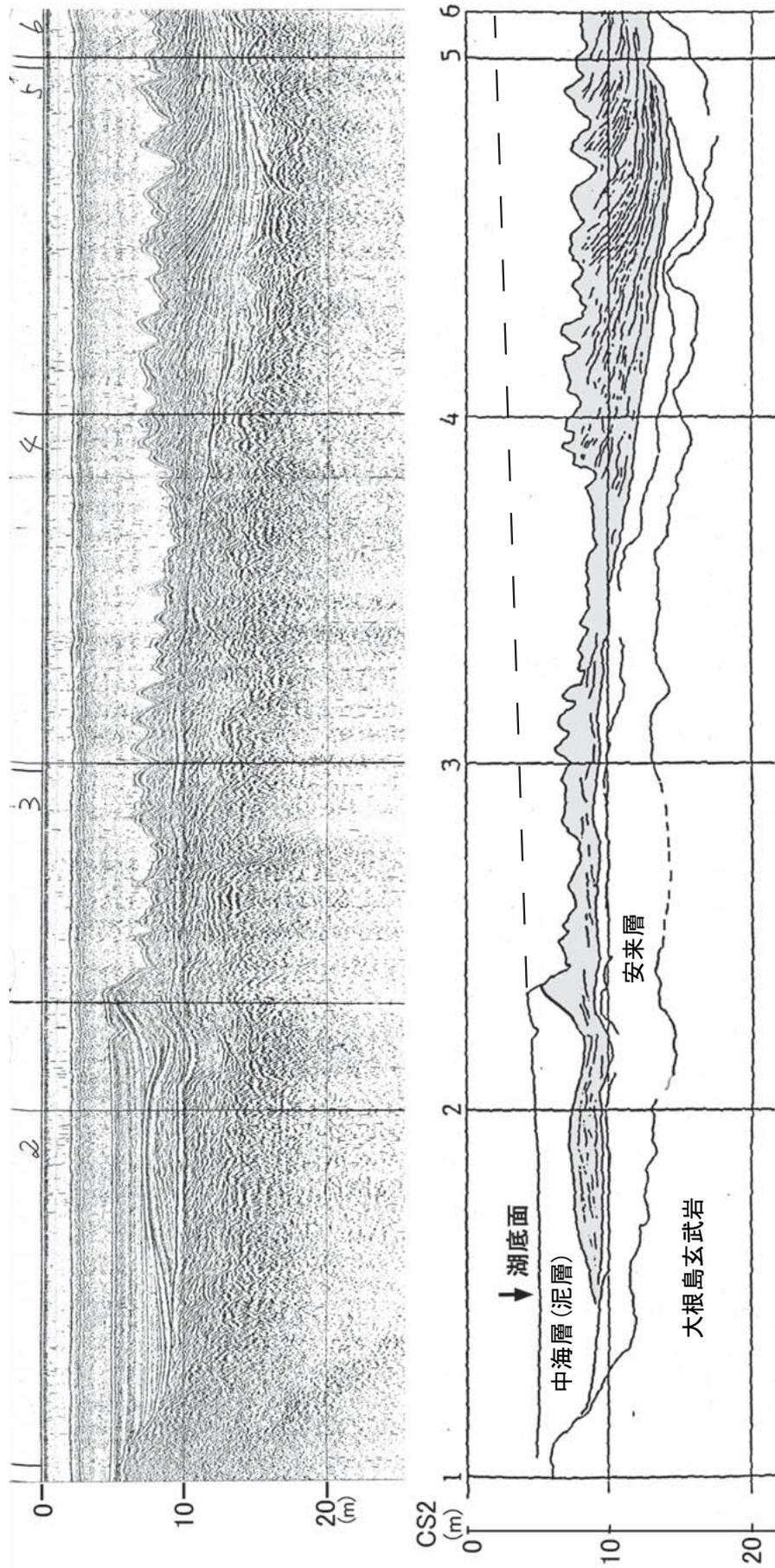


図 2. ユニブーム調査 CS 2 測線の結果と解釈図 (三梨・徳岡, 1988 による, 一部改変)  
湖底面に続く破線は浚渫前の原地形面を示す。

Fig. 2. A record of the echo-sounding survey (Yuniboom, route CS 2) and its interpretation.

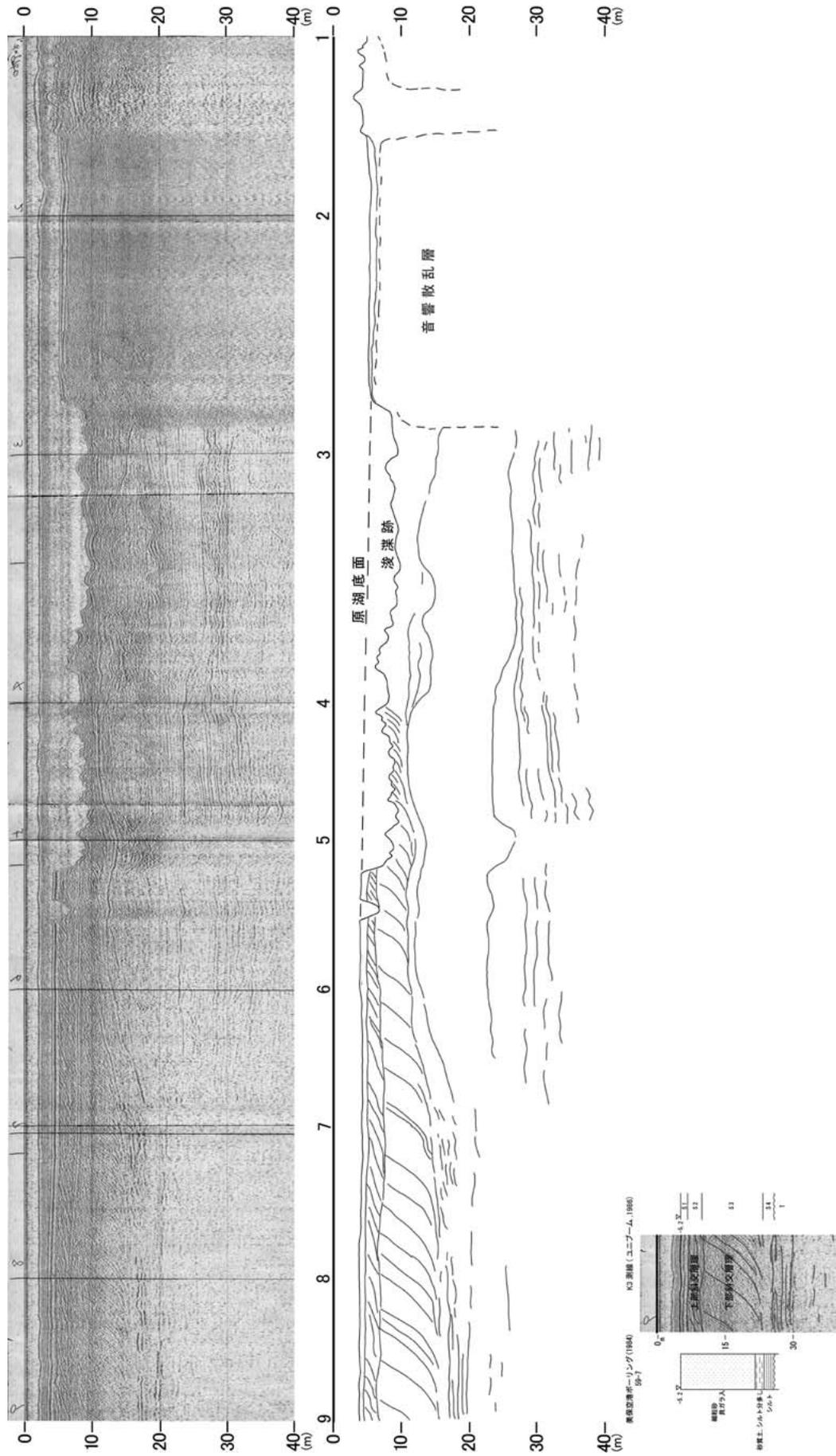


図 3. ユニブーム調査 K 3 測線の結果と解釈図 (三梨・徳岡, 1988 による, 一部改変)  
美保空港延長事業によるボーリング資料を合わせて示す。

Fig. 3. A record of the echo-sounding survey (Yuniboom, route K 3) and its interpretation.

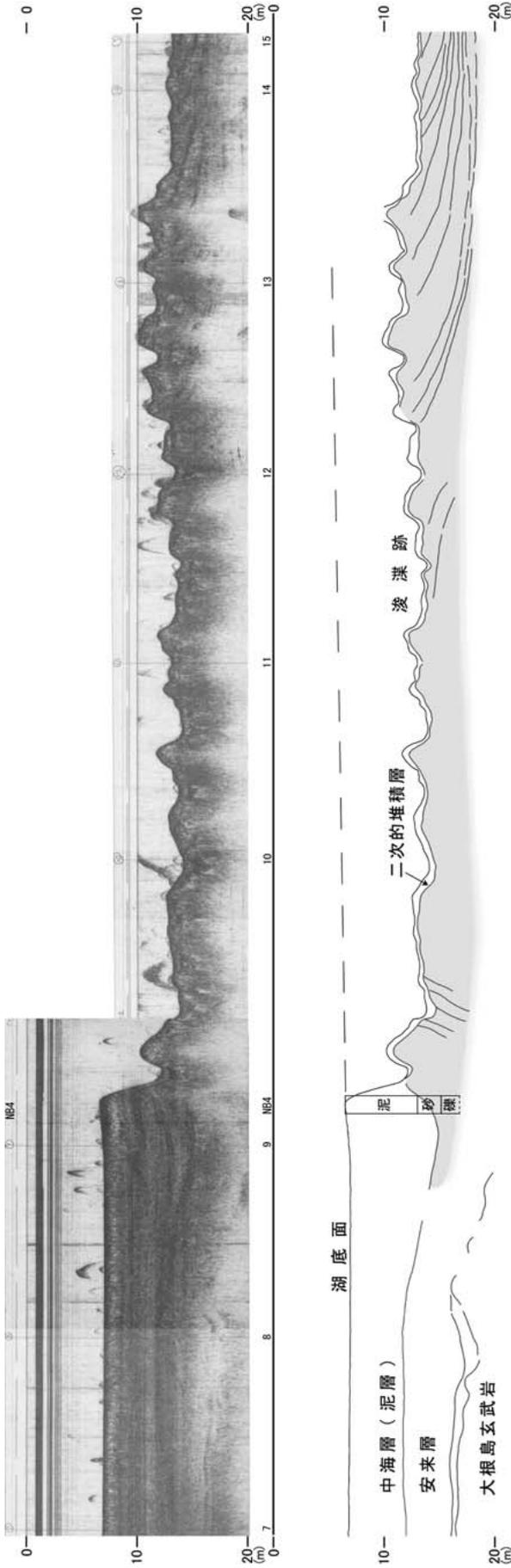


図 4. SH 20 大根島一弓ヶ浜測線 (7~15 まで) の結果と解釈図 (吹田ほか, 2001, 一部改変). 地質調査所による NB 4 ポーリング結果 (三梨・徳岡, 1988) をあわせて示す.  
 Fig. 4. A record of the echo-sounding survey (SH 20, Daikonshima St.7-Yumigahama St.15 route) and its interpretation.

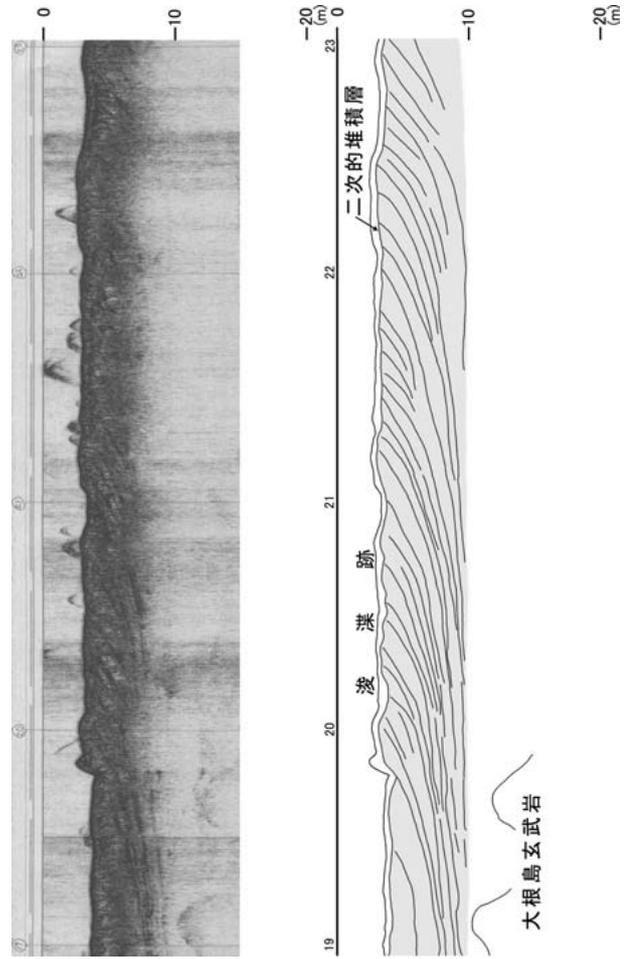


図 5. SH 20 江島から南東への測線 (19~23 までを示す) の結果と解釈図 (吹田ほか, 2001, 一部改変).  
 Fig. 5. A record of the echo-sounding survey (SH 20, Eshima St.19-St.23 route) and its interpretation.

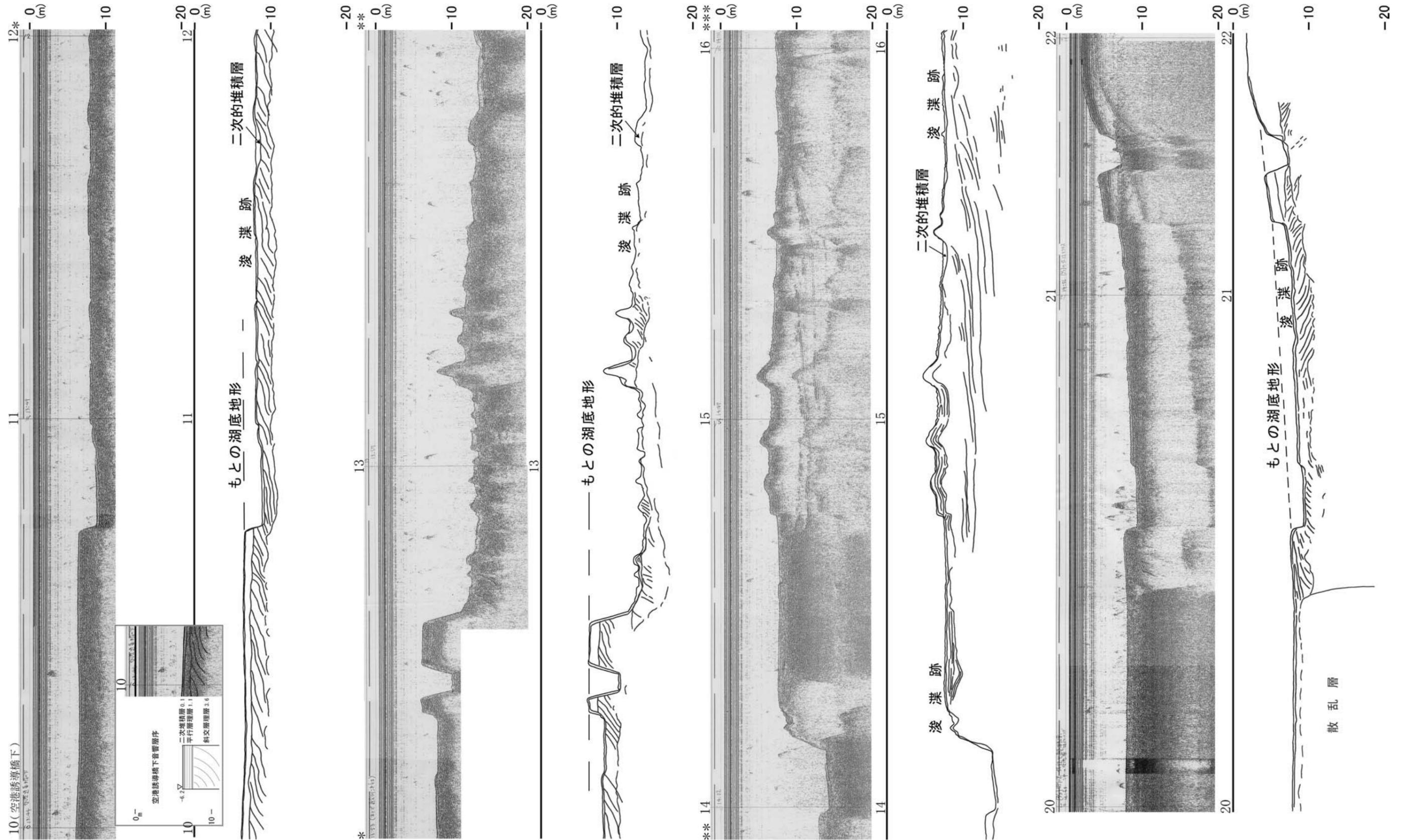


図 6. 2005 年 9 月の SH 20 による調査測線の結果と解釈図 (地点 10~16 および地点 20~22 間を示す. 12 と 21 は 2 つの測線の交点)  
 Fig. 6. The records of the echo-sounding survey (SH 20, St.10~16 and St. 20~22) on September, 2005 and their interpretation.

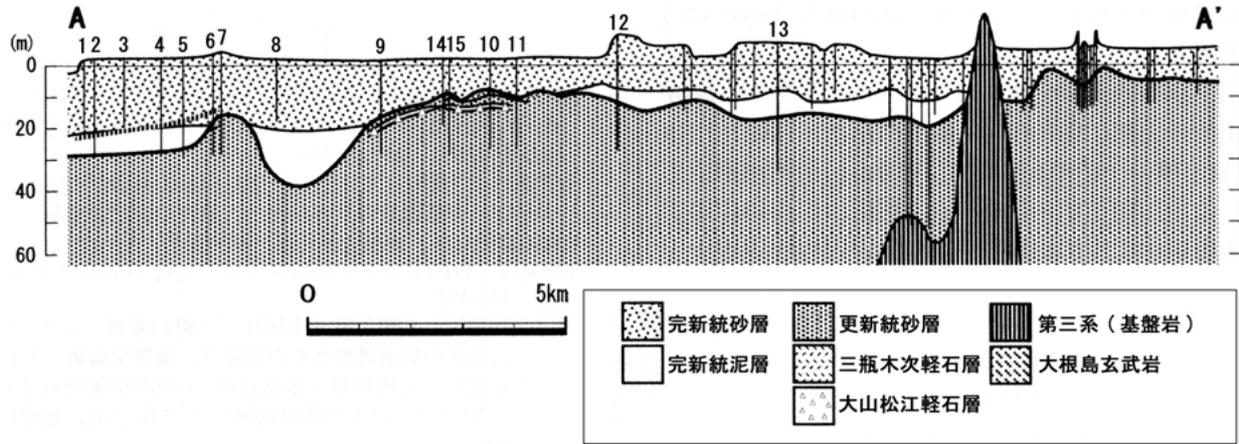


図7. 弓ヶ浜半島中海側の地質断面(中村ほか, 1993による, 一部改変; 断面位置は図1を参照)

Fig. 7. A geologic cross section of the southwestern part of the Yumigahama Sandbar (Nakamura et al., partly modified).

く覆っている。地質調査所によるボーリングNB4は、ほぼこの測線上に位置し(図1), 三梨・徳岡(1988)に柱状図の記載がある。その層序を図中に示す。音響記録とはよく一致している。

江島東から南東への測線(図5) 砂州の斜交層理が明瞭に記録された地点19~23の記録を示す。砂州の上面をなしていた湖底面は、浚渫によっておおきくえぐられ、すべて失われている。浚渫によってできた凹凸をなす地形面上には、二次的な堆積層が薄く覆っている。

### 2.3 2005年のSH20による調査

SH20地層探査機のデジタル化のためのテストの一環として2005年9月2日に中浦水門から南へ、弓ヶ浜沿いの海域で西村・徳岡・吹田によって調査を行った(測線は図1参照)。この調査では湖底下の砂州の陸側への拡がりをも明らかにするために、なるべく湖岸沿いに測線を設定した。また、空港南のところで、この測線と交叉するNE-SW測線を設定した。得られた記録を解釈図とともにまとめて図6に示す。

弓ヶ浜湖岸沿い測線：湖底下の堆積層はすべて砂州の堆積層からなっていて、斜交層理が全体として認められる。砂州の原地形は空港沖の地点9から地点11の手前まで連続的に見られるが、これ以外では一部に削り残しがあるが、殆どは浚渫によって失われている。音響記録を解釈図とともに図6に示す。空港誘導橋(地点10)の辺りで見ると、水深6.2mの平坦な湖底面に図中に示すような層序が認められ、砂州の構造が明らかである。地点12を越えた辺りでは原地形面が一部削り残されていて、それより先で

は深くまで浚渫されていて、その下位に砂州をなす堆積層が存在している。また、浚渫後の凹凸には二次的な堆積層が薄く広がっている。

空港南NE-SW測線：湖底下では砂州がつくる海底面が緩く中海側に傾斜し、浚渫によって削り取られていることがわかる。削られた凹部には薄く二次的な堆積層が認められる。砂州の斜交層理をみると全体として背斜の形態をしている。沖側のところでは砂層が中海層の泥層に覆われるようになり、これより沖合いには砂州は延長しない。中海層の泥層が厚くなるところでは、音響散乱層となっている。

### 3 中海湖底下の砂層と内浜砂州の関係

上記で示したように中海湖底下の砂層は、図3で示したように、底置層をなす泥質層の上位に前置層をなす砂層が重なっている関係にあり、砂層中には砂州を特徴付ける斜交層理が発達していて、全体としてみると彦名から北北西へ江島に向けて砂州が延長していったと推定される。いっぽう、内浜砂州はその伸びの方向は弓ヶ浜半島に沿っていて、やや異なっていることから、前者がやや古い可能性があるが、両者とも完新世の海進に伴って形成されたことは明らかであるので、ここでは前者も内浜砂州の一部として扱う。中村ほか(2001)では弓ヶ浜半島の中海側にそって系統的に行われた建設省によるボーリングコアの検討から内浜の地下断面を示している。中海沿岸沿いの地質断面を図7に示す。内浜砂州を構成する砂層はTP-10~20mまでに分布していて、中央部では下底が高まりをなし、DMP, SKP火山灰層に覆われる更新世の砂州を覆っている。そ

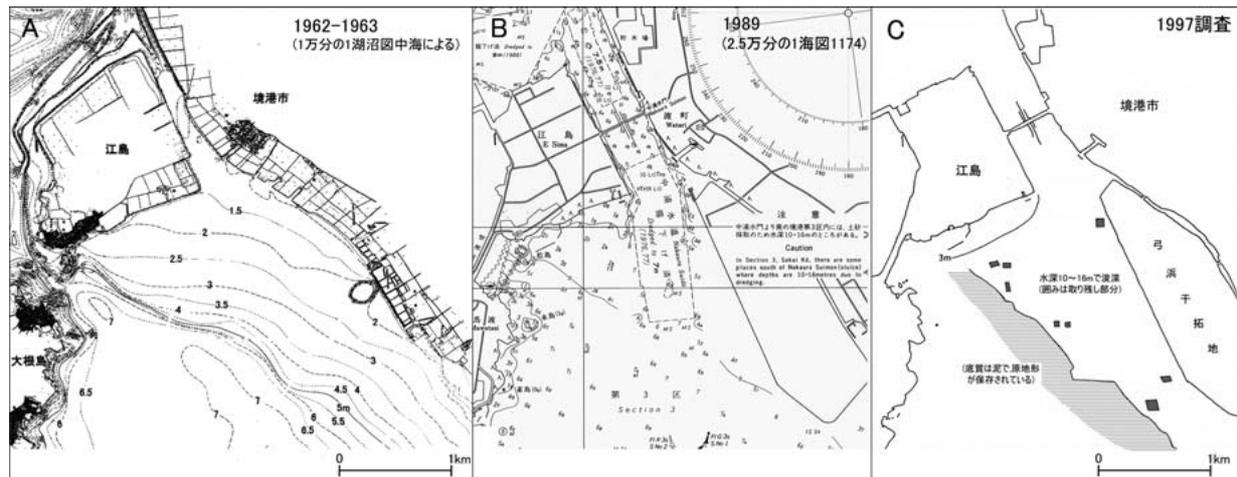


図 8. A, B, C. 江島南から弓ヶ浜工区沖にかけての地形の変遷 (C については本文参照)

Fig. 8. The subaqueous geomorphologic changes of the Lake Nakami at the area between the Eshima Island and Yumigahama reclaimed land.

の北西側と南東側では内浜砂州の下位には中海層の泥層があり、アカホヤ火山灰層を挟んでいる。上記に示した音波探査結果では砂層の中海側への広がりには図 1 に示した範囲で、これを越えると中海層の泥層に覆われるようになり、急激に尖滅している。また図には示していないが、CS 25, CS 26 測線などでは中海層の泥層を砂層が覆う関係が認められる(三梨・徳岡, 1988)。したがって全体としてみると、砂層と中海層の泥層は、これまでも指摘されてきたように、指交関係にあることが明らかである。また、美保空港の滑走路延長工事の際のボーリング資料と K 3 測線の音響記録とは図 3 に示したようによく一致していて、湖底下砂州と内浜砂州が一連のものとして形成されたことを示している。

#### 4 弓ヶ浜沿い湖底の人為的改変

既存の音波探査資料および 2005 年 9 月の SH 20 による調査結果から、弓ヶ浜沿いの中海湖底下の人為的な改変状況を各測線ごとに検討すると、中海湖底では内浜砂州が露出している部分では、その殆どで浚渫が行われていることがわかる。浚渫の行われた範囲は図 1 に示したとおりで、内浜砂州の分布と完全に一致している。この範囲を越えると砂層は中海層の泥層に覆われるようになり、かつ急激に尖滅するので、船上からの浚渫作業は経験的にそこで打ち切る慣わしであったと思われる。浚渫された砂は中海干拓淡水化事業による弓ヶ浜工区および彦名工区の埋め立て、また、それ以前の崎津干拓などで使用されたものとみられる。

もっとも地形改変の著しい江島の南から弓ヶ浜干拓地にかけての湖底地形の変遷について図 8 A, B, C に示し、以下に述べる。

A: 1962~1963 年の測量で作成された 1 万分の 1 湖沼図の一部で、中海側に緩く傾く湖底地形が水深 6.5 m あたりまで広がっている。湖沼図には底質についても示されていて、この部分が砂からなることが示されている。この範囲までが内浜砂州の広がりであり、これより中海側にはほぼ平坦な、泥からなる湖底が広く広がっている。

B: 1989 年出版の 2.5 万分の 1 海図 No.1174 で、中海干拓淡水化事業による弓ヶ浜干拓地とともに中浦水門の南の部分が 1976, 1977 年に掘り下げられたことが示されている。この海図では、航路にかかわる部分以外については 1954 年の地形測量による水深が示されているが、水門よりも南の湖底には「土砂採取のために水深 10~16 m のところがある」との注意が付記されている。

C: 1997 年に音響測深機をもちいて東西 15 測線、南北 3 測線を測深して作成したもので (1997 年度島根大学理学部地質学科の梅木香里の卒業研究による)、水深 6.5 m までの砂州にあたる部分が水深 10 m 以上までほとんど浚渫されてしまっている。浚渫範囲で小さく囲んだ部分は浚渫を逃れたところで、原地形がわずかに保存されている。この浚渫範囲は湖底下の砂層の分布範囲とほぼ一致している。

つぎに、弓ヶ浜半島の中海側の人為的な改変がどのように進んだかを年代ごとの地形図資料などをもちいて検討した結果を図 9 A~F としてまとめ、以下に述べる。

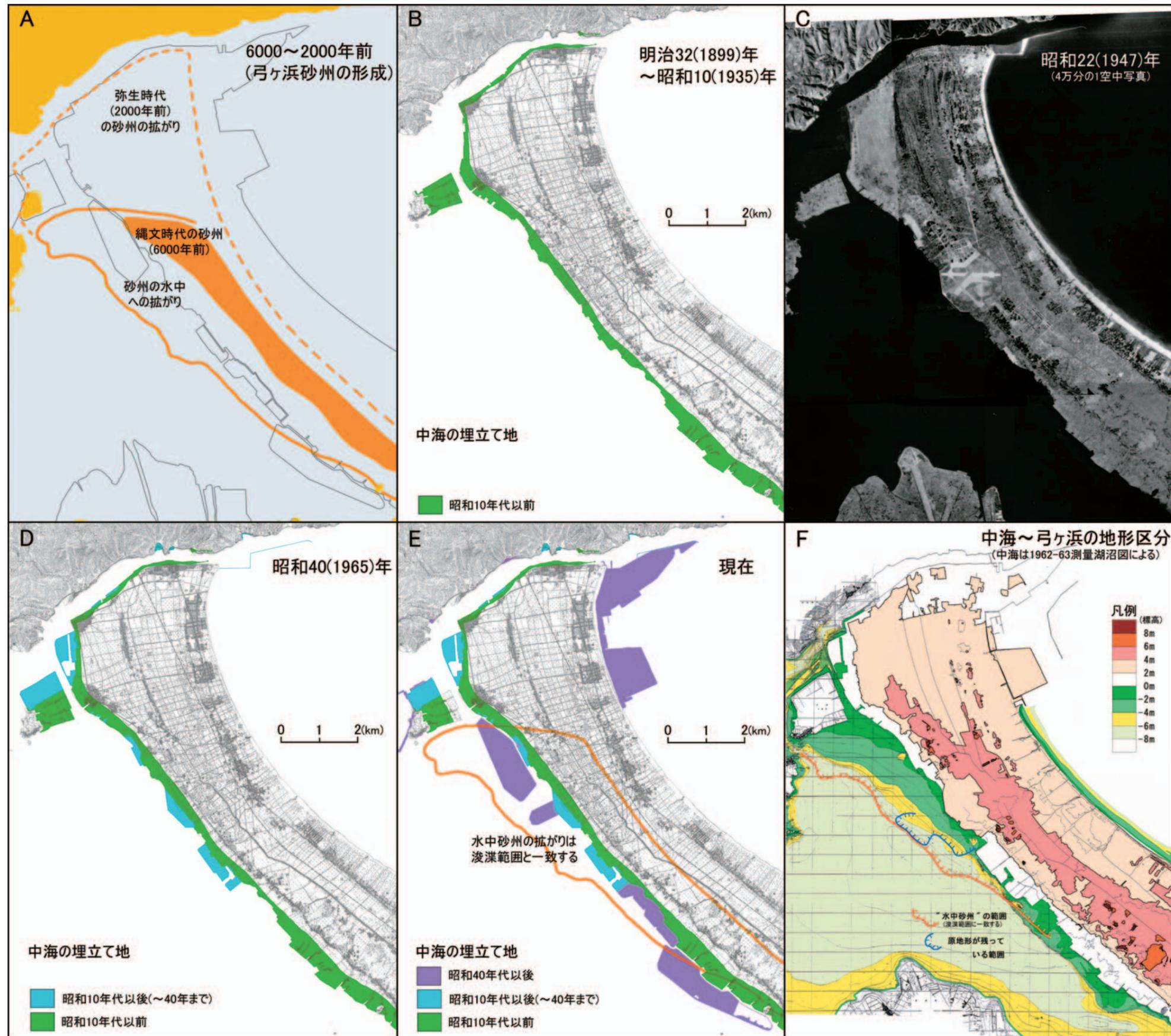


図9. A~F.弓浜半島と中海北東部の地形の変遷

Fig. 9. The developments of the Yumihama Sandbar during the Holocene Age (A), the developments of reclaimed lands from the lake (B to E), and the geomorphologic divisions of the Lake Nakaumi-Yumigahama Sandbar-Miho Bay area (F).

A：6000～2000年前の弓ヶ浜形成史を、これまでの古地理図資料（徳岡ほか，1990，高安・徳岡，1993，中村ほか，1996）をもとに上記に示した資料を検討して6000年前と2000年前の弓ヶ浜砂州の広がりを示した。縄文海進による海面上昇とともに新第三系基盤の高まり（粟島など）や更新世砂州をもとにして水面下に砂州が形成されていった。まず中海寄りに米子から江島に向けて水面下に砂州が延びて行き、海面の上昇とともに美保湾側に砂が付加することによって成長していった。現在の内浜砂州は約6000年前には離水した部分と考えられる。中海湖底下で浚渫された範囲は上記砂州の範囲と一致している。これより北へどこまで広がっていたかは明らかではないが、約2000年前には境水道の辺りまで達し、また、美保湾側へも付加が進んだと考えられる。

B：1899（明治32）年測量の5万分の1地形図に昭和10年代以前の埋め立て地の範囲を示した。地形図を比較すると、中海側で1899～1935年までに埋め立てられた所はごくわずかで、大部分がこれ以前に造成された土地で、米川を利用した「砂流し新田」および「砂上げ新田」である。

C：1947（昭和22）年、米軍撮影の空中写真である。昭和10年以降に造成されたのはごくわずかで、美保空港付近のみである。

D：第二次世界大戦後は食糧難から全国的に農地の造成が計られ、中海では崎津干拓、江島干拓などが行われた。埋め立てには湖底の砂が使われた。

E：昭和40年代以降は全国的に大規模開発の時代で、中海では1963年以降に干拓事業の工事が進行し、弓ヶ浜、彦名干拓地が埋め立てにより造成された。これらの埋め立てのために湖底の砂が利用され、大規模に浚渫された。その範囲は水中砂州の分布範囲にほぼ一致する。

F：中海湖底から弓浜半島にかけての地形分布を1つの図として示した。弓浜半島の高度分布は米子・境港都市計画計画図（2500分の1地形図）をもとに作成したものである。弓浜半島沿いに延びる高度4m以上の所は境港に向かって延びる部分を除いて内浜の範囲と一致する。高度8m以上とした大部分は内浜砂州の砂丘である。内浜では人為的な改変がすすんでいるが、全体としての砂州の形は保たれている。中海側の2m以浅の部分はB～Eに示した造成地である。江島では造成地の一部がEで示したように中海淡水化のために水域に戻され、事業の中止後もそのままとなっている。中海湖底については1万分の1湖沼図（1962～1963測量）によるものである。

中海側の湖底砂州の傾斜は美保湾側と比べると緩やかである。ただし、崎津干拓地よりも南では江戸時代以降から続いた人為的な改変のために地形がやや急になっている。内浜砂州の形成当時から美保湾側には沿岸流が存在していたことは明らかで、内浜砂州も中海側に緩く、美保湾側に急な傾斜をしていた筈である。その後、中浜、さらに外浜が美保湾側に付加して行き、現在みられる美保湾側の急な海底地形は外浜によるものである。中海湖底下では崎津干拓よりも北では水深6～6.5mに地形の急変点があり、これより浅い部分が内浜砂州の一部で、すべて砂からなっている。図中にはユニブームとSH20による音響探査で明らかになった砂層の分布範囲を示しているが、その範囲は浚渫によって地形の改変が行なわれた範囲と見事なまでに一致している。ただし、美保空港沖には、図中に示したように、砂州の原地形がかなりの範囲で残っている。この地形面上にはSH20による調査では10cm程度までの二次的な堆積層が覆っていると推定されるが、その下位は内浜砂州の砂からなっている。

## 5 まとめ—湖底環境修復への課題—

弓ヶ浜沿いの中海湖底下の地質についてはユニブーム音響探査機などを用いた調査が1986年に島根大学理学部地質教室を中心として組織的になされ（三梨ほか，1987）、この結果は三梨・徳岡（1988）でまとめられた。ただし、この時点では水中砂州とされたものの存在は明らかにされたが、弓ヶ浜（内浜）砂州との関係では深い検討は行われなかった。両者の関係について2005年にSH20による調査を行う機会を得て、その他のデータについても検討してみた。その結果、湖底下の砂州堆積層は完新統中海層とは指交関係にあること、また、内浜砂州の堆積層とは一連のものであることが明らかになった。水面下の砂州の分布範囲は音響探査の結果を吟味すると、水深6.5m辺りにある地形の急変点までで、ここまでが砂州の範囲である。そしてこの砂州の分布範囲は中海干拓事業などのために行われた砂採取のための浚渫の範囲と一致している。すなわち、縄文時代に湖底下に形成された砂州の砂が埋め立てのために殆んど消費されたということになる。最近では、弓浜半島の中海沿岸域では地下水位の上昇による畑作への影響が大きな問題となっているが、湖底下に緩い傾斜で広がる砂州の地形が人為的な改変によって失われてしまったことが、大きく影響してい

ることは疑いない。また、かつてこの砂州地形上には多様な生物が生息し、漁業も盛んであったことが知られている。これらの回復のためには、失われた砂州地形の修復がまずもって必要である。現在では殆どこの砂州地形が失われているが、図1および図9Fに示したように、美保空港沖にはかなりの範囲でもこの砂州地形が残されているところがある。この範囲を中心として詳しい地形、底質、底生生物の調査を行った上で、湖底環境の修復を計ることは1つの実現可能な方策であると考えられる。

## 引用文献

- 吹田(2001)音波データ解析による中海湖底下の大根島火山の広がりとは三次元可視化, 島根大学地球資源環境学研究報告, 20: 205-216
- 建設省計画局・鳥取県・島根県(1967編)中海臨海地帯の地盤, 都市地盤調査報告書.
- 三梨 昂・後藤慎二・鈴木徳行・大西郁夫・高安克己・武田伸二・徳岡隆夫・山内靖喜・安間 恵・浅野 広・金井 豊・井内美郎・水野篤行(1986)中海の湖底地形と堆積層(概報), 山陰地域研究, 自然環境, 3: 167-174.
- 三梨 昂・後藤慎二・大西郁夫・瀬戸浩二・高安克己・徳岡隆夫・安間 恵・松岡弘和・中原昌樹・井内美郎(1987)中海西南部の湖底地形と堆積層(続報), 山陰地域研究, 自然環境, 2:71-79.
- 三梨 昂・徳岡隆夫(1988編)中海・宍道湖-地形・底質・自然史アトラス-, 島根大学山陰地域研究総合センター: 115 p.
- 中村唯史・重松信治・徳岡隆夫(2001)弓ヶ浜砂州の地下地質. 島根大学地球資源環境学研究報告, 20: 189-194.
- 大西郁夫・高安克己(1982)中海の生いたち, 飢宇の入海, 島根大学地域分析研究会: 211 p.
- 高安克己・徳岡隆夫(1993)中海・宍道湖. 特集海跡湖, アーバンクボタ, 32: 38-47.
- 徳岡隆夫・大西郁夫・高安克己・三梨 昂(1990)中海・宍道湖の地史と環境変化, 地質学論集, 36, 15-34.
- 徳岡隆夫・高安克己(1992編)中海北部(本庄工区)アトラス, 島根大学山陰地域研究総合センター: 92 p.

## 阿賀野川の塩水潮上

立石雅昭<sup>1</sup>・本多 結<sup>1</sup>・徳岡隆夫<sup>2</sup>・吹田 歩<sup>2</sup>  
松田滋夫<sup>3</sup>・安間 恵<sup>4</sup>・西村清和<sup>5</sup>

### Saline water intrusion into the Aganogawa River

Masaaki Tateishi<sup>1</sup>, Yu Honda<sup>1</sup>, Takao Tokuoka<sup>2</sup>, Ayumi Fukita<sup>2</sup>,  
Shigeo Matsuda<sup>3</sup>, Kei Anma<sup>4</sup> and Kiyokazu Nishimura<sup>5</sup>

**Abstract:** Salt water intrusion into the Aganogawa River was measured on November 19 and 20, 2004, and October 16 and 17, 2005 at spring tide, using mainly a SC-3 acoustic profiling system and water quality meter called TPM CLOROTEC. Velocity, direction and depth were also measured at two stations in the latter observation. SC-3 acoustic profiling system is an improved 200 kHz precision echosounder, that records the distribution of the halocline and the thickness of the saltwater layer as profile records. TPM CLOROTEC is a towing-type water quality meter, and real time data of depth, temperature, salinity, turbidity and chlorophyll-a can be obtained on the ship. These two instruments are very useful to recognize time-space distribution and changes of the halocline. At the Aganogawa River saline intrusion has been known to reach up to 14 km from the river mouth, and has been wrongly interpreted to the cause of the Niigata Minamata Disease. Our observation has successfully visualized the behavior of salt water intrusion into the Aganogawa River

**Key words:** Aganogawa River; saline wedge; echo-sounding survey, Niigata Minamata Disease

#### 1 はじめに

潮位差の小さい日本海側の大きな河川では塩水の侵入は弱混合型であることが知られていて、阿賀野川(図1)もその代表例である。日本の感潮河川については三井(1970)のまとめがあり、建設省土木研究所(1993)は全国の感潮河川の実態についてまとめ、西條・奥田(1996)は河川感潮域について解説し、徳岡ほか(2001)は塩水楔観測システムを提案している、最近では弱混合河川の塩水潮上については徳岡ほか(1999)が江の川について、安間ほか(2005)が

天塩川およびサロベツ川について報告している。とくに阿賀野川では1965年に新潟水俣病が発生し、その原因として前年の新潟地震において信濃川河口部の農業倉庫が被害を受け、そこから流出した農薬が海に出て、さらに阿賀野川に塩水の潮上とともにもたらされ、下流域に被害を及ぼしたとする「塩水くさび」説が主張され、塩水くさびについての調査が行われている。それによると塩水は河口から6 km以上潮上していて、河川流量、干満によって変化すること、塩水と上位の淡水の境界はかなり明瞭であり、弱混合の状態にあることなどが裁判記録のなか

<sup>1</sup> 新潟大学理学部 地質科学教室 Department of Geosciences, Faculty of Science, Niigata University, Niigata 950-2181, Japan

<sup>2</sup> 徳岡汽水環境研究所 Tokuoka Laboratory for Studies of Brackish Water Environments, Matsue 690-0823, Japan

<sup>3</sup> クローバテック株式会社 Clovertech Inc.

<sup>4</sup> 川崎地質株式会社 Kawasaki Geological Engineering Co. Ltd., Tokyo 108-8377, Japan

<sup>5</sup> 産業技術総合研究所 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba 305-8567, Japan

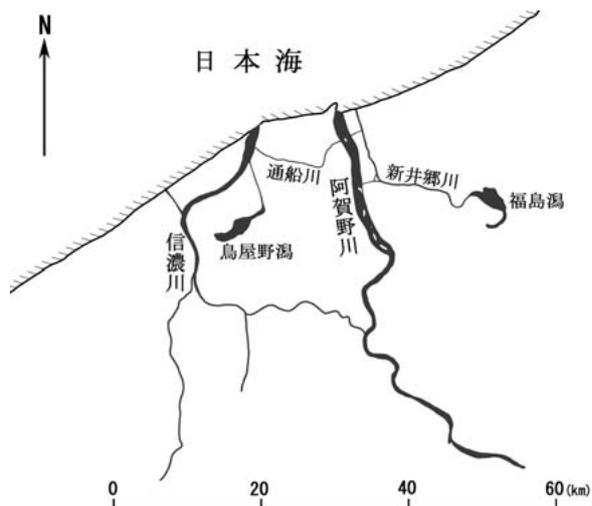


図1. 調査地域位置

Fig. 1. Index map

にも記述されている。塩水くさび説は患者の発生が塩水湖上の範囲を越えて上流 60 km にまで至ったことから、原因として採用されることはなかったが、新潟水俣病の原因究明を遅らせ、あいまいにする結果となったことが知られている（新潟水俣病共闘会議東京事務局製作，新潟水俣病裁判判決全文，1972 による）。

阿賀野川の潮位変動量は大潮時で 46 cm，小潮時で 10 cm，感潮区間は河口から 16 km，最大塩水湖上距離は 14 km であることが知られている（建設省土木研究所河川部河川研究室，1993）。また，小戸田（2000）によると，感潮域は河口から 12 km，汽水域を特徴づけるヤマトシジミ漁は大阿賀橋（河口から 9.3 km）より下流で行われていることが報告されている。ここではおもに塩水くさび音響プロファイリングシステム SC-3（徳岡ほか，2001），曳航式水質計（TPM CLOROTEC，アレック電子），および水質計（QUANTA Q，ハイドロラボおよび COMPACT CTD，アレック電子）を用いて 2004 年 11 月（小潮時）と 2005 年 10 月（大潮時）に行った観測結果について述べる。2005 年の観測では河床に流向流速計・温度塩分計・水位計（コンパクト EM・コンパクト CT・コンパクト TD，いずれもアレック電子製），および塩水くさび音響動態観測システム CL4，クローバテック）を設置して観測を行った。コンパクト EM は測定インターバル 1 秒，サンプル個数 60，バースト時間 5 分で平均，コンパクト CT および TD は測定インターバル 1 秒（グラフ表示は 5 分インターバル），コンパクト CTD は測定インターバル 0.1 秒，TPM クロロテックは測定インターバル 2 秒であ



図2. 阿賀野川における SC-3 調査測線（2004 年 11 月 19, 20 日）

地形図は 2.5 万分の 1 「松浜」および「水原」による。

Fig. 2. Surveye routes at the Aganogawa River (Nov.19 and 20, 2004)

る。位置測定にはカシミール 3D を使用した。この利用法については吹田・西村（2005）で解説している。これらの結果についても述べる。なお，2004 年の SC-3 と TPM クロロテックによる観測結果については，その一部を徳岡ほか（2005）で紹介した。

## 2 2004 年 11 月の観測

11 月 19, 20 日（小潮時）に観測を行った。測線を図 2 に，河口から 5 km の胡桃山水位観測所の水位データを図 3 に示す。これらの観測は数日にわたってかなり雨の続いた後であったことから，塩水くさびは全体として河口近くまで押し戻されていた状況下で行ったものである。また，この年の夏には阿賀野川で洪水があり，河口を両岸からかなり閉塞していた砂州は左岸側がほとんど失われた状況にあった。SC-3 および TPM クロロテックによる観測の時間帯は図 3 に，結果については図 4, 5, 6 にまとめて示す。

### 2.1 11 月 19 日の観測

塩水が湖上している範囲を中心として 3 回の縦断観測を行った（図 4）。満潮 2 時間半後（観測①），3 時間半後（観測②）および干潮時（観測③），デジタル記録収録時のトラブルがあり，アナログ記録を示

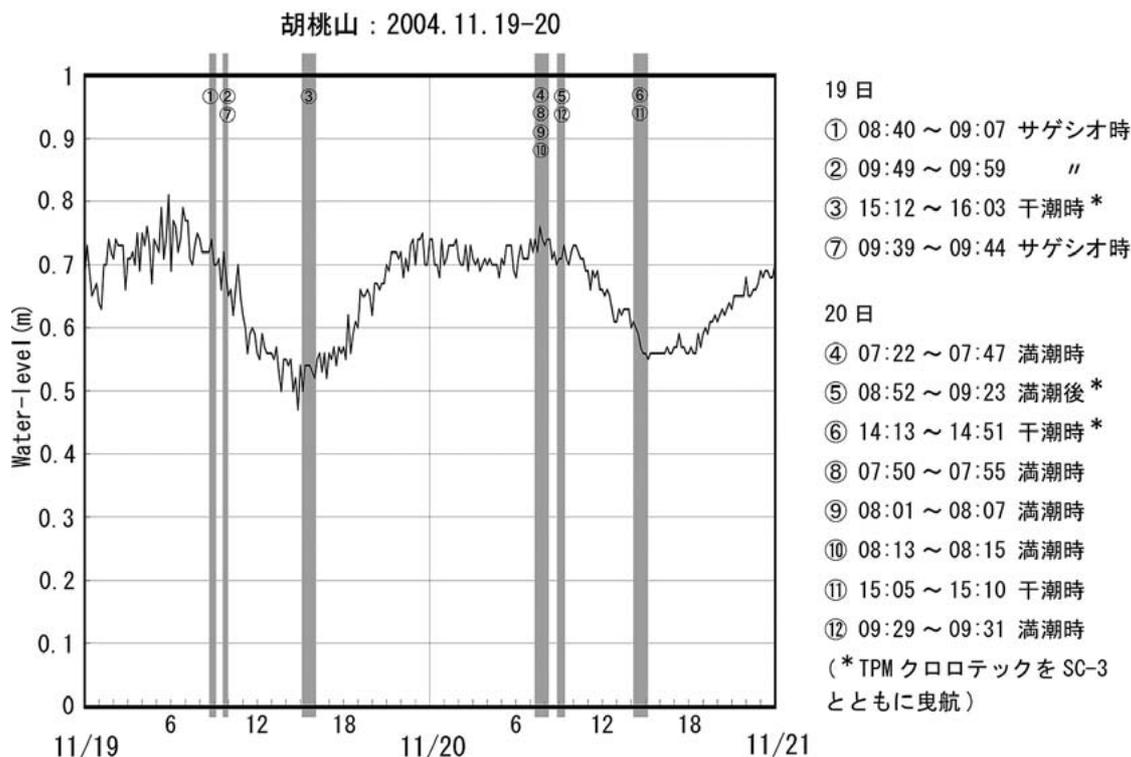


図3. 胡桃山水位観測所の水位データ (国土交通省阿賀野川河川事務所による) と観測時間帯 (2004年11月19, 20日)  
**Fig. 3.** Water-level changes at the Kurumiyama Station, Aganogawa River (Nov. 19 and 20, 2004)

す)で、くさび先端の位置は順次後退していて、干潮時には河口から1 kmの松浜橋付近にまで後退している。

①は満潮2時間半後の記録で、くさびの先端は河口からの距離1.7 kmにあり、松浜橋下流では淡塩境界部に流下する淡水による塩水のはぎとり(連行)がみられる。②は満潮3時間半後の記録で、くさびの先端の位置は①よりもわずかに後退している。水温・塩分の鉛直分布で明らかなように、上位の淡水と下位の塩水の境界は明瞭で、混合部は20 cm程度の厚さである。③は干潮時の記録で、くさびの先端の位置は松浜橋まで大きく後退している。この観測ではTPMクロロテックによる水質測定が連続的に行われた。その結果は図中に合わせて示している。音響(淡塩)境界で塩分値が大きく変化していて、これより下位ではほとんど30 PSU以上である。

縦断①の観測に引き続いて、塩水くさび先端よりもわずかに上流の2 km地点で横断観測を行った(図6の⑦)。この断面上では、塩水くさびの先端はこの位置にまで達していないが、これより左岸寄りの小さな深みには淡塩境界と認められる反射面が存在する。すなわち右岸よりの滲筋(本流にあたると思われる)では塩水がこの位置よりも下流に押し出されているが、小さな滲筋にそっては塩水が入り込ん

だままの状態にあるものと推定できる。

## 2.2 11月20日の観測

塩水が溯上している範囲を中心として3回の縦断観測を行った(図5)。満潮時(観測④)、1時間後(観測⑤)および干潮1時間半前(観測⑥)で、くさび先端の位置は④と⑤ではほぼ同じ位置にあり、前日の満潮2時間半後と比べると200 mほど前進した位置にある。⑥では④と⑤よりも大きく後退していて、前日の③の位置とほぼ同じである。観測の⑤と⑥ではTPMクロロテックによる観測が同時に行われ、水深と塩分の変化を音響記録とともに示している。いずれにおいても音響記録で認められる淡塩境界の厚さは20 cm程度で、水質測定から30 PSUを超える海水と上位の淡水が狭い漸移帯で接していることとよく一致している。

縦断記録④に対応する横断記録を⑧、⑨、⑩、同じく⑥に対応する横断記録を⑪として図6に示す。

⑧は満潮時の記録で、右岸側に5 mを越える深み、左岸側には3 mの深みがある。これらの滲筋には塩水は到達していない。⑨は満潮20分後の記録で、主流の滲筋には同様に塩水が溯上していないが、右岸側の2つの滲筋にそっては塩水が溯上していることがわかる(前日の横断測線⑦でも同様)。⑩

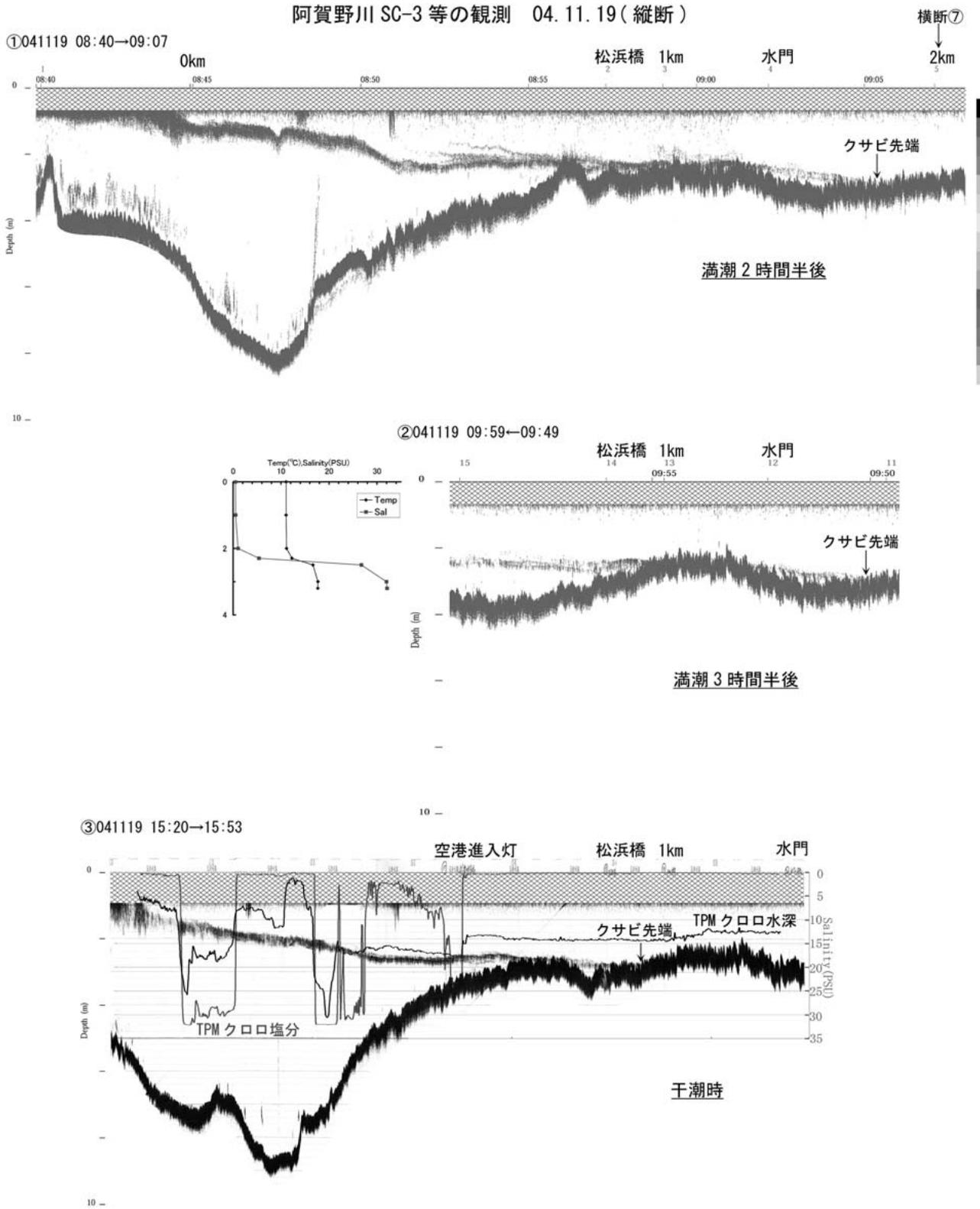


図 4. SC-3 による縦断調査記録 (2004 年 11 月 19 日)

Fig. 4. The data of the SC-3 acoustic profiling system (Nov.19, 2004)

阿賀野川 SC-3 等の観測 04. 11. 20 (縦断)

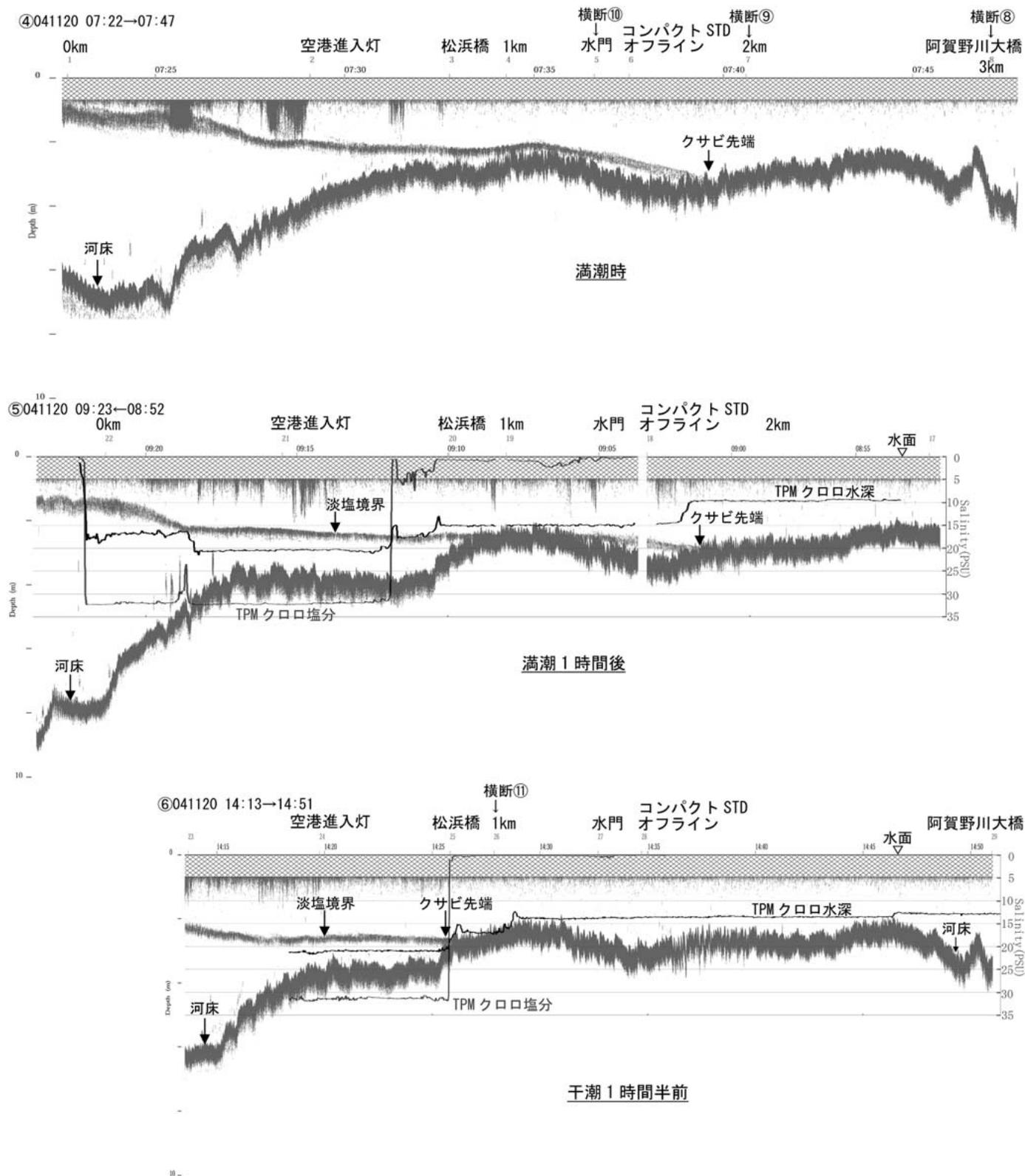
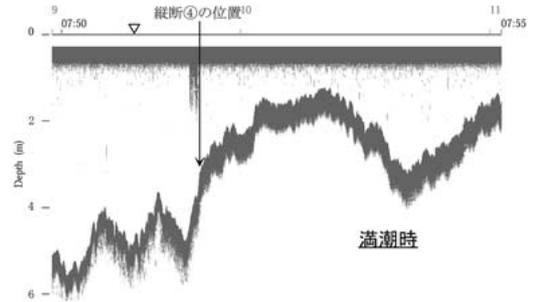


図 5. SC-3 による縦断調査記録 (2004 年 11 月 20 日)  
 Fig. 5. The data of the SC-3 acoustic profiling system (Nov.20, 2004)

阿賀野川 SC-3 等の観測（横断；19 日左⑦, 20 日右⑧～⑪）

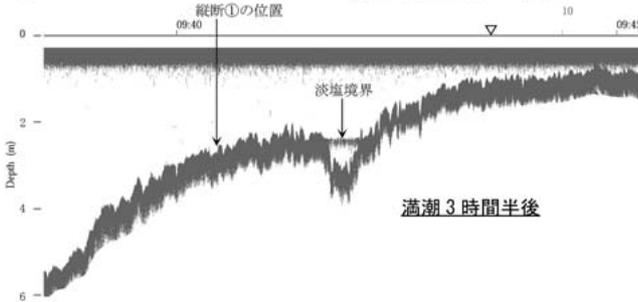
20 日

⑧041120 07:50～07:55 3km 横断（縦断④に対応）

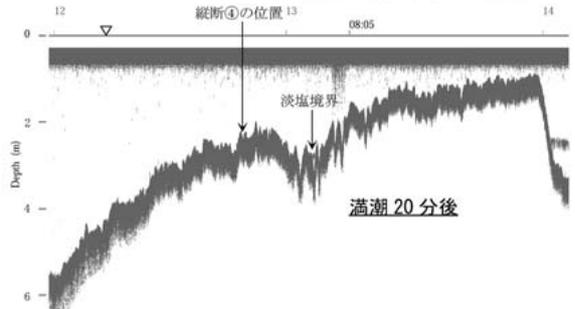


19 日

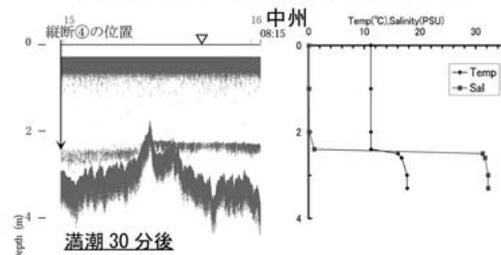
⑦041119 09:39～09:44 2km 横断（縦断①に対応）



⑨041120 08:01～08:07 2km 横断（縦断④に対応）

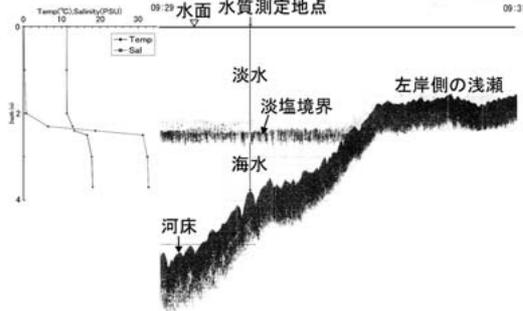


⑩041120 08:13～08:15 1.5km 横断（縦断④に対応，  
縦断測線上～右岸にむけて中州まで）



松浜橋北西（シジミ稚貝放流計画地点）の SC3 観測と水質測定  
（2004.11.20、小潮時の満潮 2 時間後）

⑫041120 08:29～09:31



⑪041120 15:05～15:10 1km 横断（縦断⑥に対応）

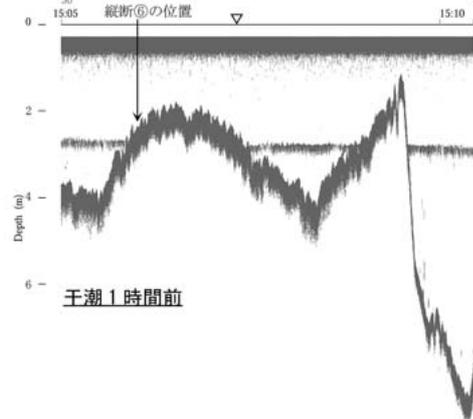


図 6. SC-3 による横断調査記録（2004 年 11 月 19, 20 日）

Fig. 6. The data of the SC-3 acoustic profiling system (Nov.19 and 20, 200)

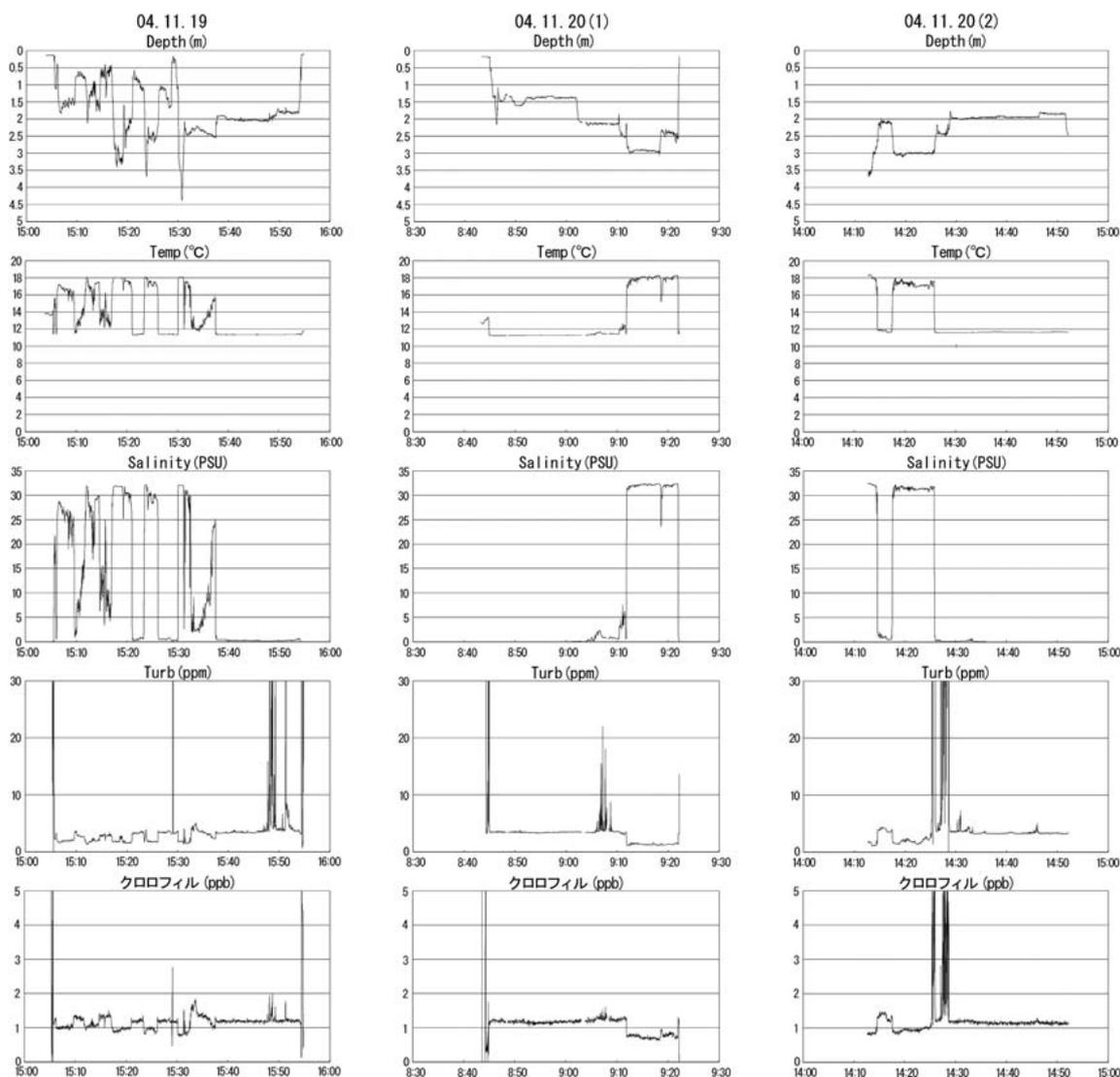


図7. TPM クロロテックによる水質データ(深度, 温度, 塩分, 濁度, クロロフィル a; 2004年11月19, 20日)  
**Fig. 7.** Time-series data of Depth, Temperature, Salinity, Turbidity and Chlorophyll-a by TPM CLOROTEC (Nov.19 and 20, 2004)

は満潮30分後の記録で, 横断⑨では右岸側の大きな濁りには塩水は達していないが, この地点は越えて溯上している. 中央の高まりより右岸側の滞筋には塩水が溯上していて, 横断⑨の深みにまで連続している. これらの2つの滞筋では淡塩境界の深度は異なっている.

⑪は干潮1時間前の記録で, 縦断⑥は高まりの位置を通過しているために塩水は認められないが, 右岸側の深みには塩水があり, 横断⑩の右岸側の塩水に連続している. さらに右岸沿いには水深9 mに達する滞筋があり, この塩水は横断⑨の右岸沿いの塩水にまで連続している. これらのことは主流滞筋に沿っては上流からの淡水の流れが強く塩水くさびが大きく後退させられているが, 左岸側の滞筋ではそれが弱いために, 塩水が溯上したままであること

を示している. 3つの塩水侵入路での淡塩境界の高さは同じで, 水深3 mにある. 満潮時に近い横断⑨⑩では淡塩境界はほぼ水深2.6 mであった. 満潮から干潮へは水位は約18 cm降下したのに対して, 淡水層の厚さは40 cm大きくなり, 淡塩境界面で見ると58 cm降下したことになる.

### 2.3 TPM クロロテックによる観測

11月19日の縦断観測③と11月20日の縦断観測⑤, ⑥ではSC-3音響観測とともにTPM クロロテックによる水質観測(深度, 温度, 塩分, 濁度, クロロフィル a)が同時に行われた. 図4と5にはSC-3音響記録と対応させて示している. 水質データについてはまとめて図7に示す.

SC-3音響記録と対応すると, 曳航体の深度位置が

淡塩境界よりも上にあるか下にあるかによって温度と塩分が急激に変わることがわかり、上位の淡水塊と塩水塊の水質の違いが明瞭である。濁度およびクロロフィル a についてみると、淡水塊と塩水塊では濃度が異なり、濁度およびクロロフィル a の値は淡水のほうが塩水よりもわずかに大きい傾向が認められた。

#### 2.4 松浜橋北西のヤマトシジミ漁場付近での観測

松浜漁協によってヤマトシジミの稚貝の放流が計画されている松浜橋北西(空港誘導灯北)の測線(図3の⑫)の音響記録と水質測定結果を図6の中に示している。この記録では上位の淡水と下位の塩水(海水)はごく狭い漸移帯で接していて、また、地形的にみても、ヤマトシジミの生息に適した汽水の範囲は非常に限られていることがわかる。ただし、この観測は河口砂州が夏季の出水で大きく消失した後で、しかも数日間続いた雨による流量の増加で塩水くさびが通常よりも大きく後退した状況下で行われたことから、ヤマトシジミの漁場としての適、不適を議論することはできない。

### 3 2005年10月の観測

10月16, 17日(大潮時)に前回と同様にSC-3およびTPMクロロテックとともにサイドスキャンソーナー(SportScan, Imagenex社製)による船上からの観測を行った。この観測では水質測定はコンパクトCTDによって行った。また、最初のSC-3による観測で塩水溯上状況を把握した上で適当な2地点(河口から1.5 km地点, 水深2.5 m(下流定点)と6.5 km地点, 水深2.3 m(上流定点))を選び、オフライン音響装置CL-4型と温度塩分計を設置した。上流定点には水位計(コンパクトTD)および流向流速計(コンパクトEM)を合わせて設置した。定点観測は10月18日まで連続して行った。今回の観測は平水時の観測で、観測期間中に顕著な流量の変化はなく、塩水は河口から約8~9 kmまで溯上している状況であった。なお、河口砂州については、前年度の観測時とは異なり、ほぼ通年の状況に戻った状態であった。曳航調査測線と定点観測位置、胡桃山(河口から5 km)における水位変化、これから1.5 km上流の上流定点における水位変化を、それぞれ図8, 9, 10に示す。SC-3音響記録についてはまとめて図11に示す。これらの結果のうちコンパクトCTDによる塩分については図11の中に示し、全体の水質測定データに

については図12, 13として示した。

#### 3.1 10月16日の観測

河床2地点に機器を設置して連続観測を行うためにSC-3により塩水溯上の状況をまず把握することとした。河口から10 km手前までのSC-3の記録を図11①に示す。この観測は干潮1時間後のもので、塩水くさびの先端は8 km地点を越えた所に位置していた。淡塩境界は明瞭で、上流へむけてごくわずかに傾斜している。境界面上には連行が見られる。

上記の観測結果にもとづいて、河床への機器設置地点を決め、前述のように設置を行った。その後、阿賀野川大橋から上流へJR鉄橋までと下流定点から松浜橋経由松浜港までについて、SC-3とサイドスキャンソーナーによる観測を行った(観測②)これらについては3-4で述べる。

#### 3.2 10月17日の観測

SC-3とサイドスキャンソーナーを併用して河口から塩水溯上の範囲を越えるところ(大阿賀橋の先)まで、1 kmごとに縦断観測および横断観測(観測③)を行った。SC-3の結果と1 kmごとに停船して測定した水質について、まとめて図11③に示す。(8, 9 km地点では横断観測結果にもとづいて縦断観測の測線位置を滲筋にくるように修正している)。この観測は無風状態で、観測範囲では表層での淡水の流れもほとんどない状況で行われた。干潮から上流へ向けての観測で、くさびの先端を捉えたのは干潮後3時間半で、前日の記録(観測①)と比較すると、くさびの先端はより上流まで前進していて、約9 km地点にあった。淡塩境界は明瞭で、上流へむけてごくわずかに傾斜している。境界面上には連行が見られる。1 kmごとの横断観測結果をみると、淡塩境界は横断方向にはほぼ水平であることがわかる。この観測では1 kmごとにコンパクトCTDを用いて水質測定を行った。塩分の鉛直分布については同図中に、全体の水質データについては図12に示した。いずれの地点においても音響反射面を境にして塩分は急激に変化している。淡塩境界面より下位の塩水塊は7 km地点までは30 PSUを超えていて海水であるが、これより上流では多少薄まっていて、9 km地点では26 PSUであった。

図11④はSC-3とTPMクロロテックを併用して8 km地点から下流へ、2 km地点までの満潮時の記録である。上段は音響記録で、淡塩境界面は明瞭で、上流へ向けてごくわずかに傾斜している。下段は音

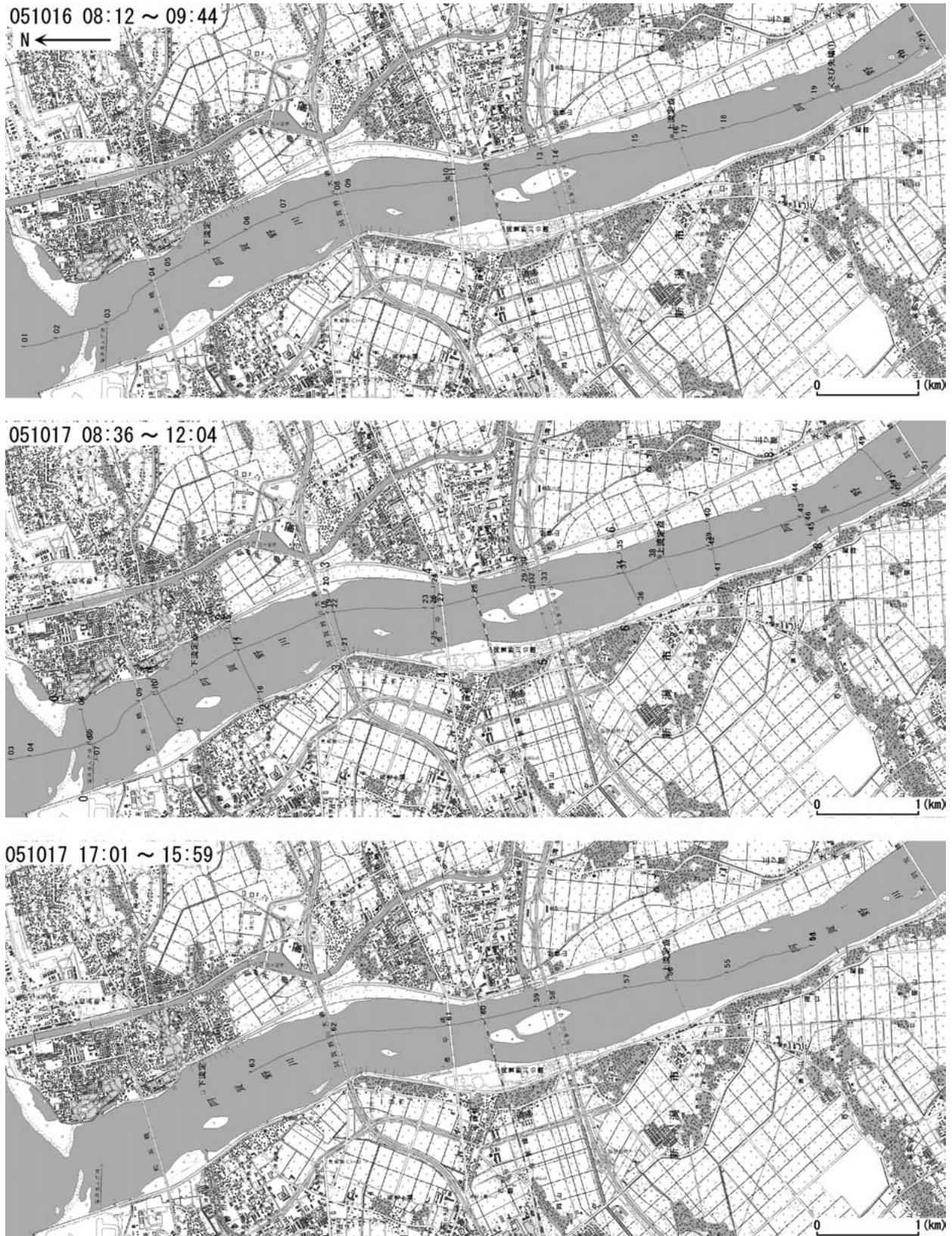


図 8. 阿賀野川における SC-3 調査測線 (2005 年 10 月 16, 17 日)  
地形図は 2.5 万分の 1「松浜」および「水原」による。  
Fig. 8. Surveyed routes at the Aganogawa River (October 16 and 17, 2005)

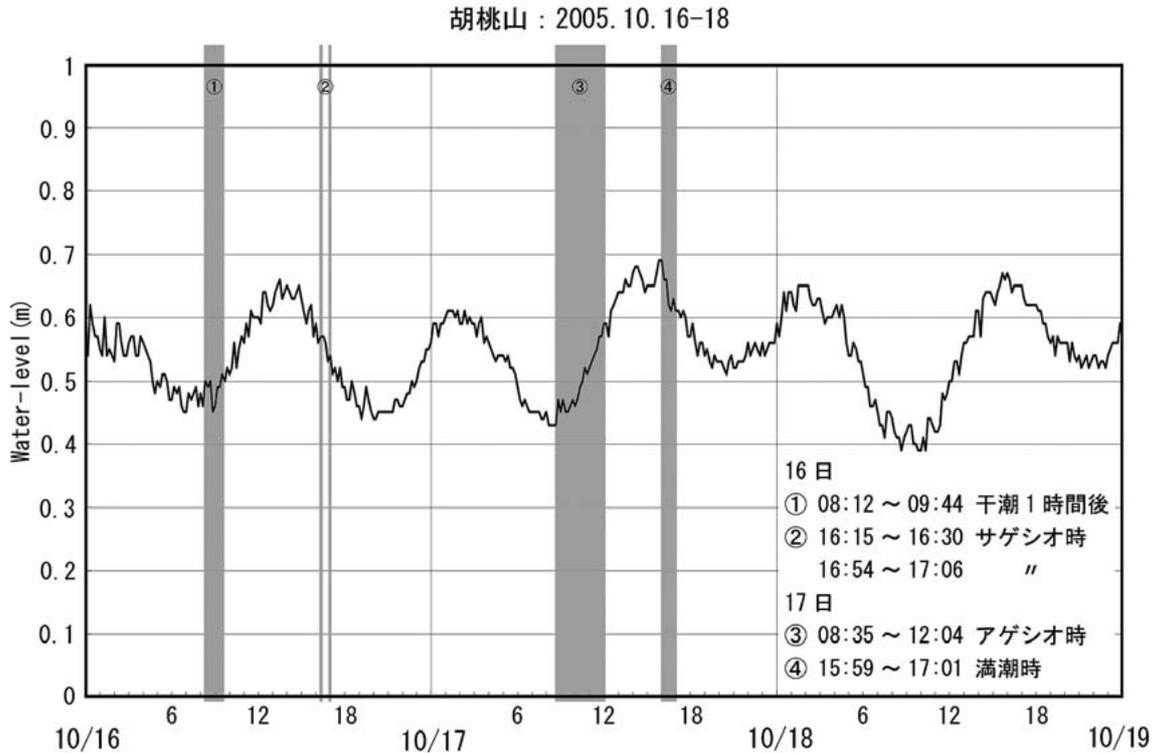


図9. 胡桃山水位観測所の水位データ(国土交通省阿賀野川河川事務所による)と観測時間帯(2005年10月16, 17日)

Fig. 9. Water-level changes at the Kurumiyama Station, Aganogawa River (October 16 and 17, 2005)

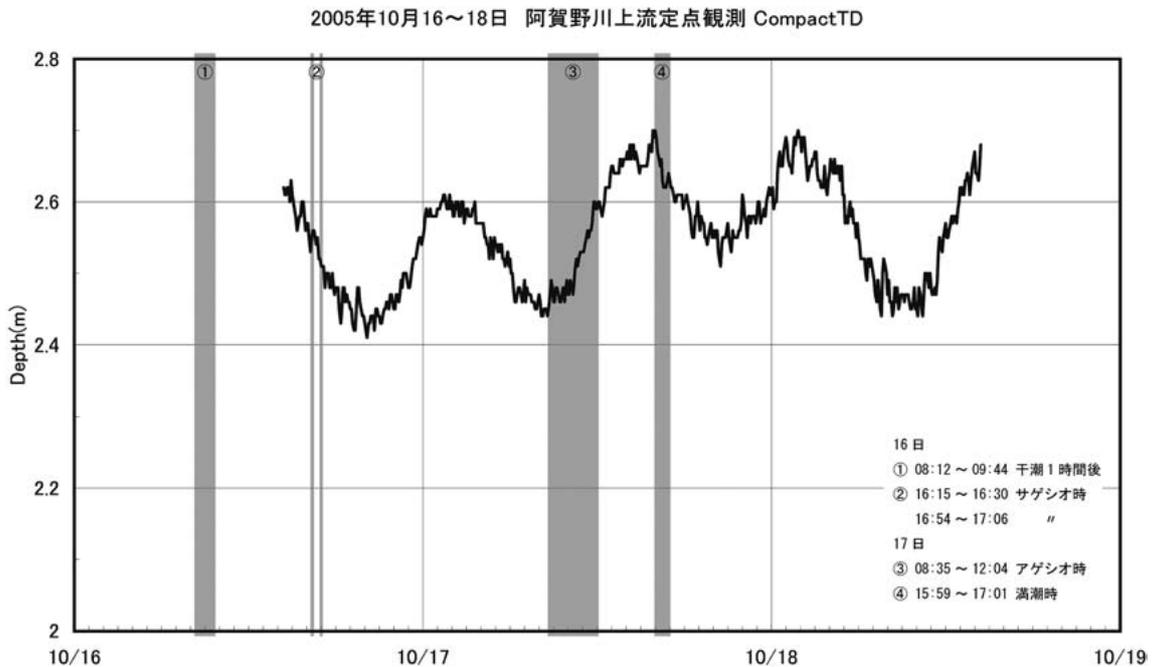


図10. 上流定点における水位データ(コンパクトTDによる; 2005年10月16~18日)

Fig. 10. Water-level changes at the upstream station (October 16~18, 2005)

響反射(淡塩境界)面とTPMクロロテックの深度およびこれに対応する塩分・濁度・クロロフィルaの変化を示している。

### 3.3 TPMクロロテックによる観測

前述のように、10月17日の午後の観測でSC-3とTPMクロロテック併用して行った(図11④)。船上でSC-3の記録により塩分躍層の深度を見ながら、

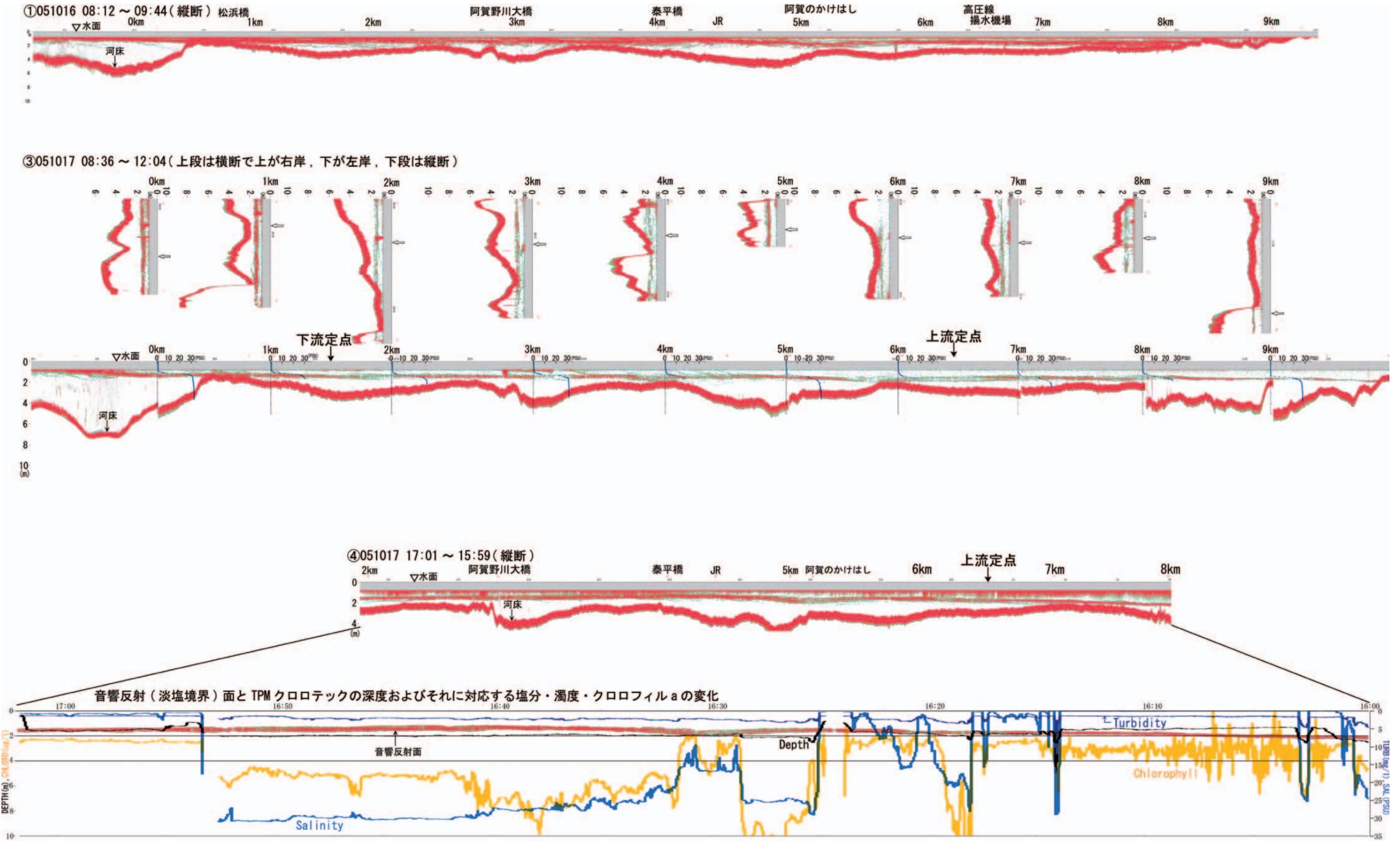


図 11. 阿賀野川における SC-3 調査結果 (2005 年 10 月 16, 17 日) および TPM クロロテックによる水質データ (深度, 温度, 塩分, 濁度, クロロフィル a; 2005 年 10 月 17 日)  
 Fig. 11. The SC-3 acoustic profiling system (October 16 and 17, 2005) and Time-series data of Depth, Temperature, Salinity, Turbidity and Chlorophyll-a by TPM CLOROTEC (October 17, 2005)

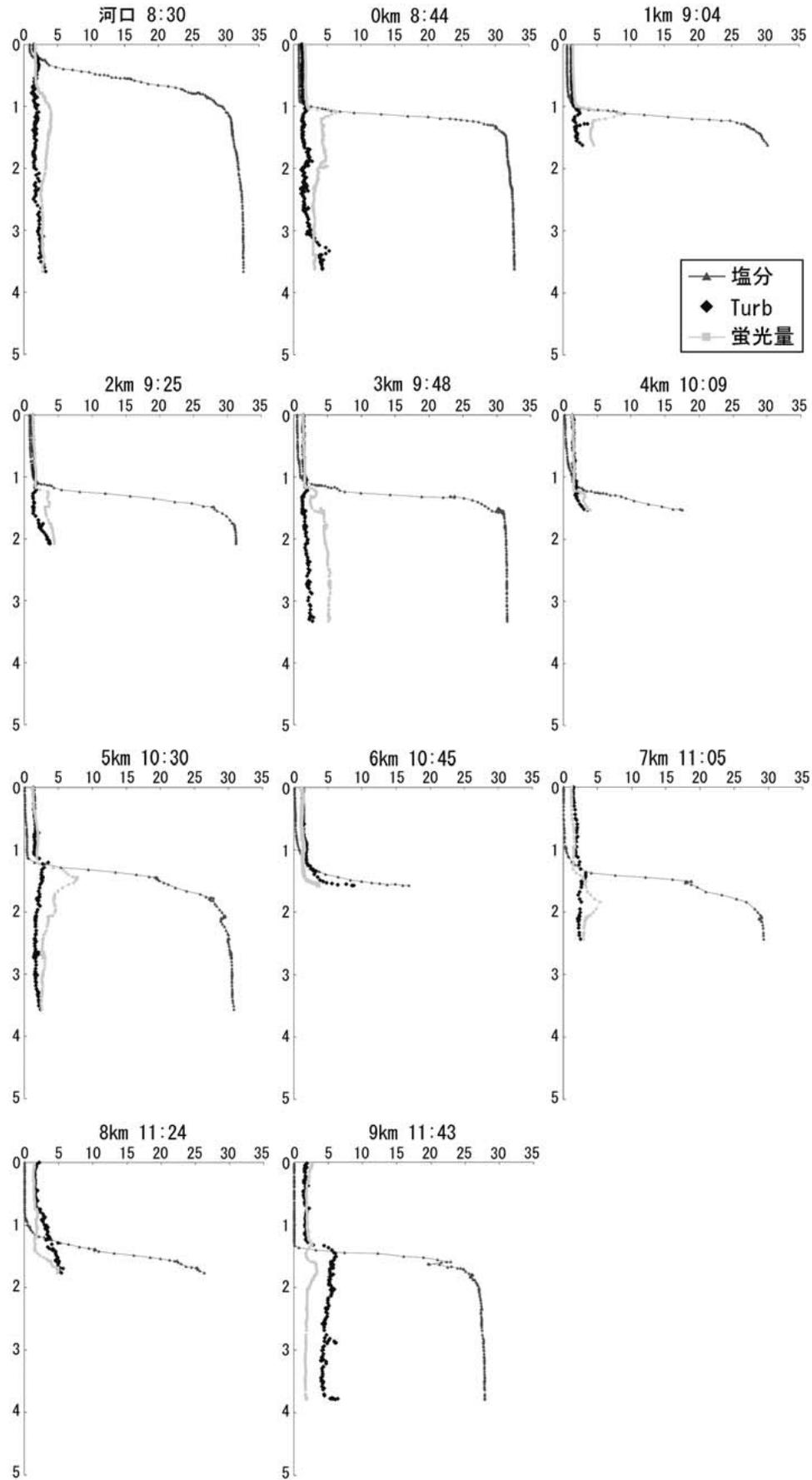


図 12. コンパクト CTD による水質データ (2005 年 10 月 17 日の縦断・横断時)

Fig. 12. Vertical Distribution of Salinity, Turbidity and Chlorophyll-a by COMPACT CTD (October 17, 2005)

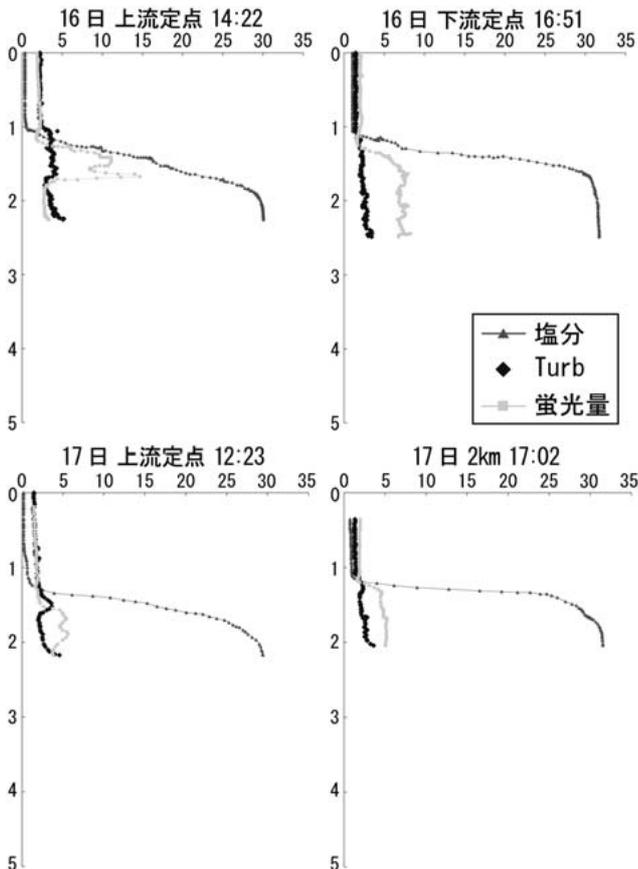


図 13. コンパクト CTD による水質データ (2005 年 10 月 16, 17 日残りのデータ)

Fig. 13. Vertical Distribution of Salinity, Turbidity and Chlorophyll-a by COMPACT CTD (October 16 and 17, 2005)

TPM クロロテックのセンサの深度を適当に調節しながら満潮時からサゲシオ時にかけて曳航観測を行ったものである。濁度およびクロロフィル a についてみると、淡水塊と塩水塊では濃度が異なり、濁度およびクロロフィル a の値は淡水のほうが塩水よりもわずかに小さく、前年度とは逆の結果が得られた。

#### 3.4 サイドスキャンソナーによる観測

10月16日の観測②および10月17日の観測③では SC-3 と併用してサイドスキャンソナーによる観測を行った。代表的な記録を SC-3 記録と対応させて、まとめて図 14 として示す。

10月16日：図 14②は阿賀野川大橋から上流に、泰平橋手前までの記録である(図上段)。図の右半部では全面に砂漣が認められる。形態が明瞭な部分を拡大して示している。砂漣の形からみると上流向けの流向を示し、河床に沿って塩水が溯上している状況で形成されたものと考えられる。SC-3 の記録による

河床断面の凹凸の形態とも調和的である。地点 22 は阿賀野川大橋の橋脚の画像で、右舷側に認められるのはその“漏洩 (crosstalk)”である。この橋脚をとりまくような明暗の様子は上流からの流れでできた凹凸地形と判断される。また、16:25 地点の左舷側の画像は河床の障害物と判断される。図 14②は阿賀野川から松浜漁港に入ったところの記録である。右舷側の深みに突堤の一部が写っていて、岸壁が続き、係留された船の底の部分が鮮明な画像として得られている。左舷側も対岸の岸壁と係留された船の底の画像が明瞭である。

10月17日：図 14③の縦断は大阿賀橋下の上流向けの左岸側の記録で、河床のところどころに突起物(沈木など)や地形的な凹凸が認められる。11:40 あたりの右舷側の記録は岸壁の一部と判断される。左舷側では浅くなる地形が認められる。この浅い棚の上では上流側からの流れを示す砂漣が認められる。図 14③の横断記録では左岸側の深みには塩水が溯上しているが、右岸側に向けては浅い棚部が広がっていて、その上には全面的に舌状の砂漣が認められる。その形態からは進行方向にほぼ直交する流れで形成されたと判断され、下流へ向かう表層部の流れの向きとよく一致している。

#### 3.5 河床設置機器による連続観測

10月16日の SC-3 第 1 回観測で塩水溯上の状況を把握した上で下流定点(河口から 1.5 km, 水深 2.5 m)および上流定点(河口から 6.5 km 地点, 水深 2.3 m)(図 8)を選定し、以下のように河床に機器を設置して 10月18日までの連続観測を行った。下流定点では音響装置に温度塩分計を添えて行い、上流定点では井桁に組んだ台上に流向流速計を設置し、水位計および温度塩分計を添え、音響装置はこれらと離して設置した。センサ部は前者では河床近くに、後者では河床から約 30 cm 上位に位置している。

##### 上流定点における水位変化(図 10)

胡桃山水位観測所の水位変化(図 9)と比較すると、両者間の距離は 1.5 km で、ほぼ同じ水位変化が記録されている。10月16~17日の間で流量には大きな変化はなかったので、この変化は潮汐によるものであることは明らかで、その幅は 20 cm 程度までである。

##### 上流定点における流向流速の変化(図 15)

流向流速は河床から 30 cm の高さで測定されている。淡塩境界は観測期間中は河床から 60~100 cm にあって、水位の変動幅は約 20 cm であるので、セ

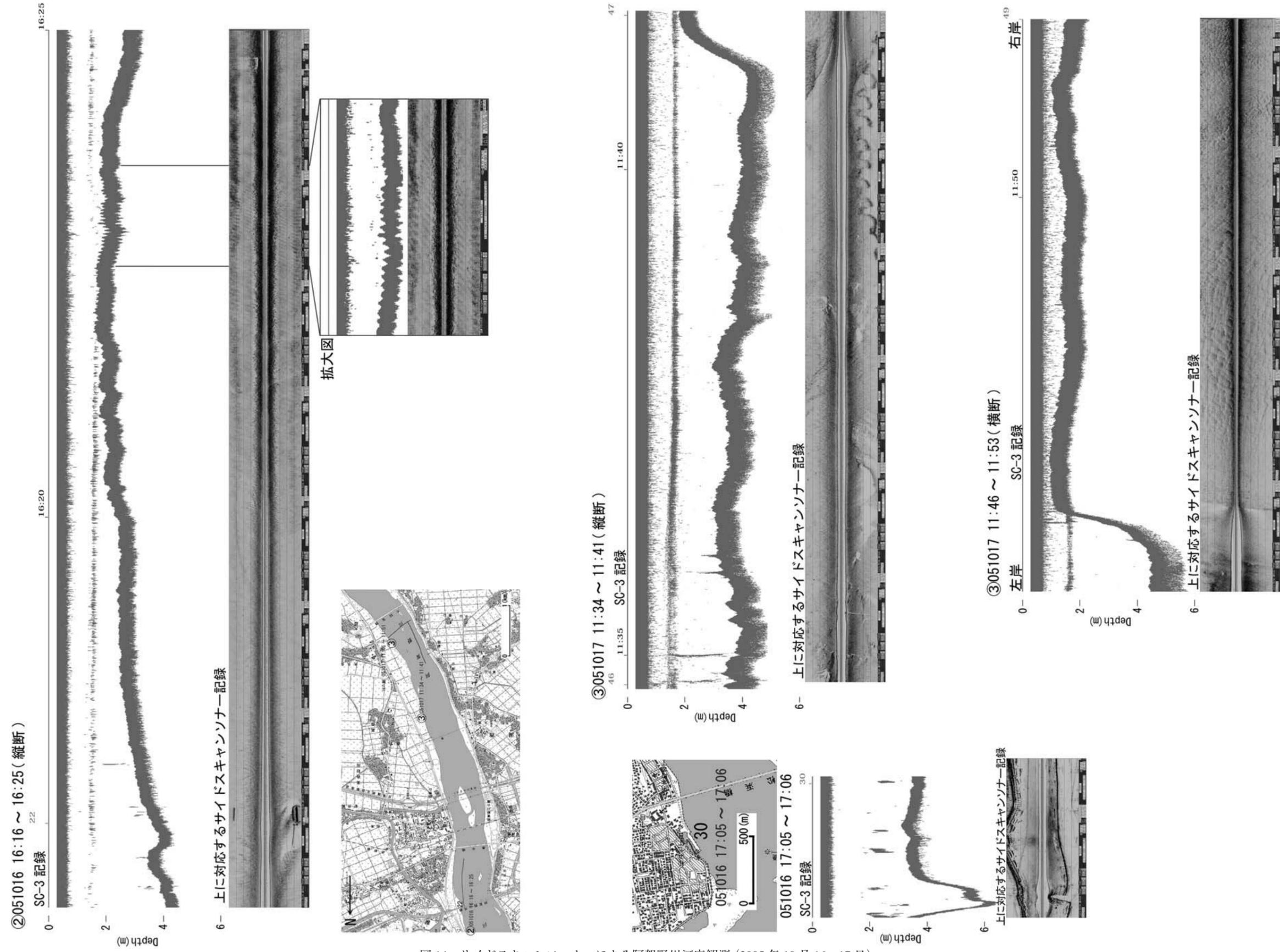


図 14. サイドスキャンソナーによる阿賀野川河床観測 (2005年10月16, 17日)

Fig. 14. The Side-scan sonar images of river bottom (October 16 and 17, 2005)

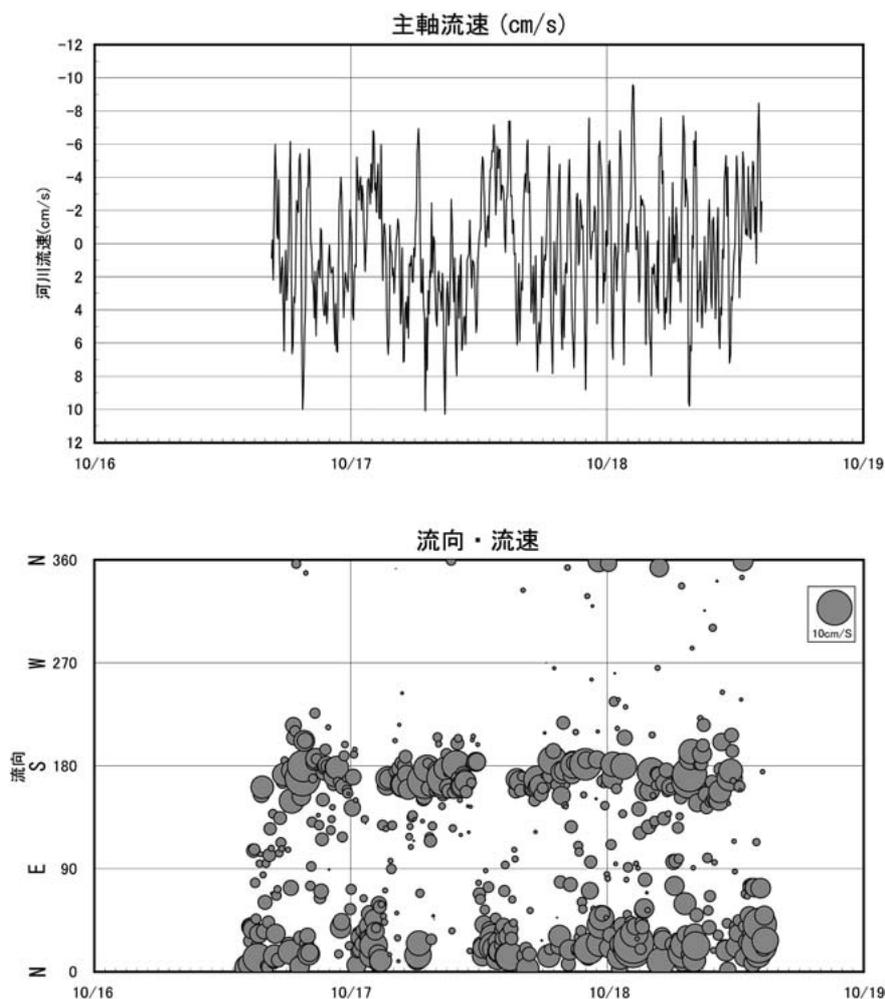


図 15. 上流定点におけるコンパクト EM による流向流速データ (2005 年 10 月 16～18 日)

Fig. 15. Flow direction and velocity at the upstream station by COMPACT EM (October 16～18, 2005)

ンサ部はほとんど塩水中にあったと判断されることから、塩水中の流向流速が測定されたことになる。流速がかなり小さいことから、データの信頼度に多少の問題があるが、流向は北および南に規則的に移り変わっているため、この大きな変化が塩水塊のアゲおよびサゲによる動きを示していると考えられる。主軸流速で見ると、アゲおよびサゲがかなり安定して認められる間は、水位変化 (図 9) でみても、アゲシオ時およびサゲシオ時の間と一致しているとみなせる。流速はアゲ、サゲとも最大でも 10 cm 以下、6 cm 程度で、ほぼ同じ規模である。

#### 両定点における温度・塩分の変化 (図 16)

上流定点の温度・塩分は観測期間中にほぼ一定であり、塩分は 29～30 PSU であることから、この位置に塩水が侵入していたことが明らかである。いっぽう、下流定点では温度は観測期間中にほぼ一定であ

るが、塩分については 32～16 PSU で、大きな変化を繰り返すという結果が得られた。上流定点にはこの間、塩水が湖上したままであったことは明らかなので、下流定点でこのような塩分の大きな変動が起こる理由は明らかでない。ひとつの解釈として、音探機器に添えて河床に寝かせて設置したことから、河床にそって移動する浮泥中にセンサ部が埋没することによって塩分値が変化するという可能性が考えられる。なお、上流定点ではこのような現象はまったく認められなかった。これはセンサ部が河床から 30 cm 上に突出していたことによると考えられる。

#### 4 まとめと討論

・2004 年 11 月の小潮時と 2005 年 10 月の大潮時に阿賀野川の塩水湖上の観測を塩水くさび音響プロファ

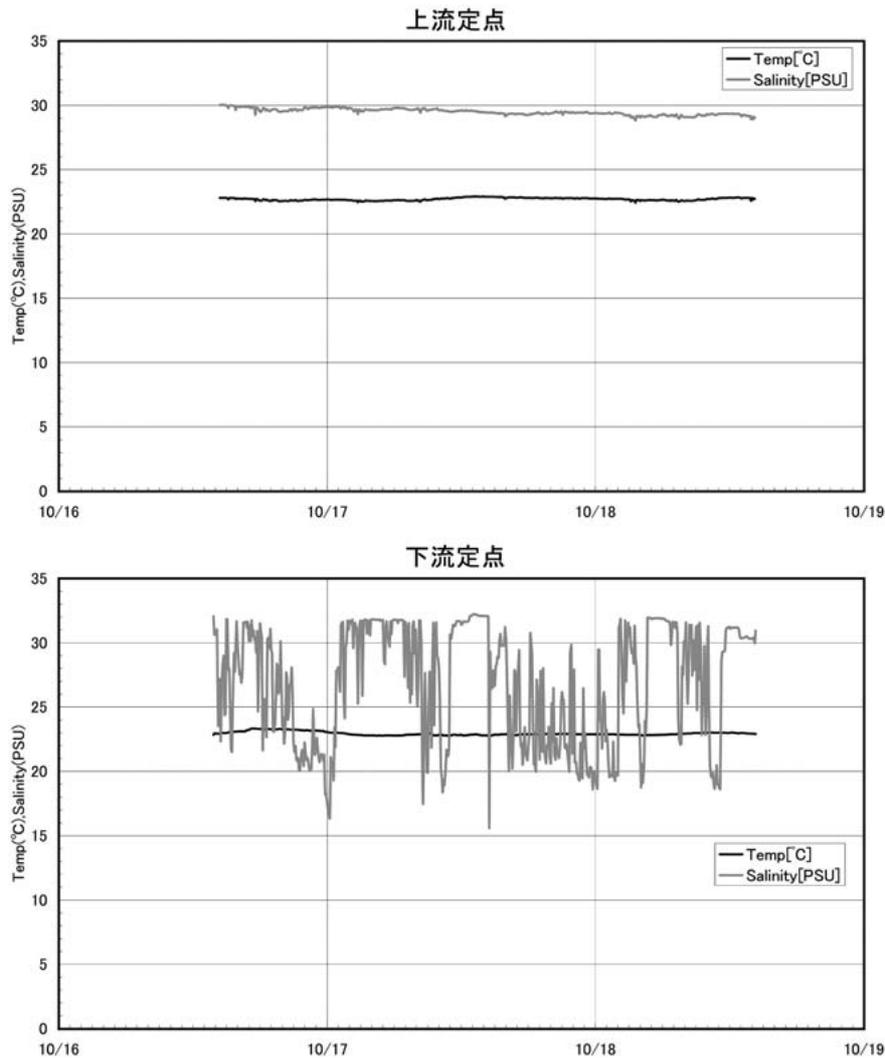


図 16. 上流および下流定点におけるコンパクト CT による温度・塩分データ (2005 年 10 月 16~18 日)

**Fig. 16.** Time-series changes of temperature and salinity at the upstream and lowerstream stations by COMPACT CT (October 16~18, 2005)

イリングシステムと水質計等を使用して行った。前者は降雨による流量の増大時で、塩水くさびの先端は河口から 1~2 km までの位置にあった。くさび先端の位置は満潮時は干潮時よりも数 100 m は前進している (図 4, 5)。後者は平水時で、くさびの先端は河口から 8~10 km の位置にあった。くさび先端の位置は満潮時は干潮時よりも約 2 km 前進している (図 11)。音響的に捉えられる淡塩境界はいずれの場合も明瞭で、上流にむけてわずかに傾斜していて、これより上位では下位の塩水塊が削られる連行現象がよくみられる。

・2004 年 11 月の観測は降雨によって流量が増大し、通常は 6 km 以上は溯上している塩水が下流に押し戻されていた状態と言える。2005 年 10 月の観測は渇水時で、塩水は 8 km 以上にまで溯上していて、干

潮時にもこれより下がることはない (図 11)。したがってこれより下流域では淡塩境界は干満によって上下するのみで、その大きさは水位差分の 20 cm 程度である。

・音響的に認められる淡塩境界は水質の鉛直分布の測定結果とも調和的で 20 cm ほどの厚さで上位の淡水塊と下位の塩水塊が接していることがわかる。2005 年 10 月の観測では下位の塩水塊は河口から 7 km くらいまでは 30 PSU 以上の海水であり、これより上流には次第に薄まり、9 km では 26 PSU 程度となる (図 11③)。

・2005 年 10 月の観測では図 8 に示した 2 つの定点を設けて河床に機器を設置して淡塩境界より下位の塩水塊の動態について 3 日間の連続観測を行った。上流定点では温度・塩分はこの間ほぼ一定の値で推移

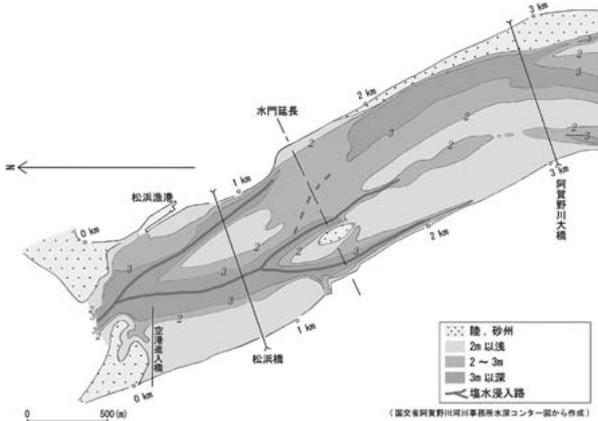


図 17. 阿賀野川河口域における滲筋(阿賀野川河川事務所の深浅測量図にもとづく)と塩水くさびの侵入状況(2004年11月20日)

Fig. 17. Salt intrusion along the channels at the river-mouth area of the Aganogawa River (Nov.20, 2004)

し、センサ部が塩水中にあったことがわかるが、下流定点での温度・塩分測定からは、塩水塊中に位置していたにもかかわらず、塩分値が32~16 PSUで大きく変動するという結果が得られた(図15)。上流側のセンサ部は河床から30 cm上位にあったのに対して、下流側のセンサ部は河床に沿っていたために、浮泥による一時的なセンサ部の埋積が起こって塩分値が変化した可能性が考えられる。また、上流定点には流向流速計を併設して観測したが、観測期間中はずっと塩水領域にあって、干満に対応して流向が変化することがわかった。流速が小さいので精度に多少の問題が残るが、最大でも10 cm/s、通常は6 cm/s程度で、アゲシオ時およびサゲシオ時とも大きさはほぼ同等であった(図16)。

・2004年11月の観測は流量が大きかったために、通常では河口をかなり閉塞して海水の流入を阻害する両岸からの砂州がほとんど失われていたという条件があったにもかかわらず、塩水くさびの先端は河口から2 kmより下流に後退していた。20日の観測では図6に示したように主流と支流の滲筋ではくさび先端の位置がことなっていた。これは滲筋によって流下する淡水による押し戻しが異なっていたことで説明できる。図17に阿賀野川河川事務所による5000分の1水深コンター図(平成2000年2月測量)から簡略化して作成した滲筋を示す。このような地形は2004年11月の観測時にも基本的に維持されていたことをSC-3による観測で確認している。この図で明らかなように、流速の小さい滲筋では溯上した塩水は後退することなく、かなりの時間留まることが可能であることがわかる。

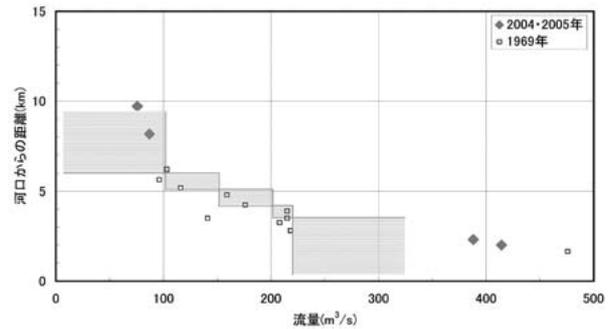


図 18. 阿賀野川における河川流量と塩水くさびの侵入距離との関係

2004および2005は今回の2回の観測による。1969の四角は新潟水俣病共闘会議東京事務局(1972)によるもので、網掛け部分は流量を段階区分した際の溯上範囲で、同資料にもとづく。

Fig. 18. Relationship between saline invasion limit and the amount of outflowing water.

・2004年11月19~20日の調査では塩水くさびの先端は河口から約2 kmまでの位置にあり、この時の河川流量は馬木観測所で約400 m³/sであった。2005年10月16~17日の調査ではくさびの先端は河口から約9 kmの位置にあり、上記観測所の流量は約80 m³/sであった。2つの時期の計4つのデータを図18に示す。流量と溯上距離の関係をこれらのデータから推定することが可能である。また、新潟水俣病裁判記録によると、1969年には塩水くさびの調査がなされ、溯上距離と日流量の関係が検討されている。これらのデータについても、参考として図19の中に示した(ただし、この流量は横越観測所のものである。阿賀野川河川事務所の2002年の流量データを見ると、横越および馬木観測所の日流量には大きな差はない)。両者を比較すると、1969年時には、2004、2005年に比べて、塩水がやや溯上しにくい河床環境にあった可能性がある。

・2004年11月のSC-3による観測では塩水くさびの先端の位置が4回捉えられている。くさび先端の位置と胡桃山観測所の水位との関係を図19に示した(丸数字は図3に示した観測時間帯)。図3をみると、観測①②④⑤は潮位の高い時、観測③は潮位の低いときで、アゲシオ時にくさびの先端が前進し、サゲシオ時に後退することが明らかである。すなわち、くさび先端の位置はおもに河川流量によって決まるが、感潮区間では干満による影響を考慮する必要がある。

・阿賀野川では1965年に新潟水俣病が発生し、その原因として一時、信濃川河口から流失した農薬が阿賀野川河口に至り、下流域を汚染したとする「塩水

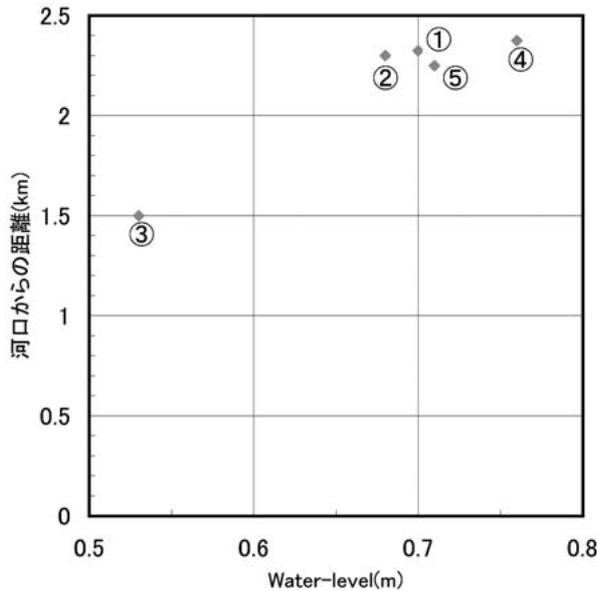


図 19. 阿賀野川河口域における水位と塩水くさびの侵入距離との関係

Fig. 19. Relationship between saline invasion limit and water level.

くさび説」が主張された。その発生源が上流 64 km の工場にあったことと塩水溯上域に患者が多く発生したということをあわせて考えると、上流からもたらされたメチル水銀を伴う細粒物質が塩水域で沈降・堆積し、比較的長期間河床に留まった可能性が指摘できる。

[謝辞] この調査を行うにあたり松浜漁業協同組合(木村 勲組合長)には船の利用と操船でお世話になり、伊藤健作氏には調査に協力いただいた。国土交通省阿賀野川河川事務所には水位・流量データの提供を受け、また 5000 分の 1 水深コンター図を利用させていただいた。記してお礼申し上げます。

## 引用文献

- 安間 恵・徳岡隆夫・吹田 歩・西村清和(2005)天塩川およびサロベツ川の塩水溯上. LAGUNA (汽水水域研究), 8: 15-22.
- 吹田 歩・西村清和(2005)フリーソフト「カシミール 3 D」を利用した汽水・沿岸域調査用ナビゲーションシステム. 海洋理工学会, 11: 81-87.
- 建設省土木研究所河川研究室(1993)感潮河川の塩水溯上実態と混合特性. 土木研究所資料: 82 p.
- 小戸田 明(2000)阿賀野川. 日本のシジミ漁業(中村幹雄編著, たたら書房): 144-151.
- 三井嘉都夫(1970)本邦主要河川の塩水溯上型について. 法政大学文学部紀要, 16: 29-44.
- 新潟水俣病共闘会議東京事務局(1972)新潟水俣病裁判判決全文.
- 西條八東・奥田節夫(1996 編)河川感潮域. 名古屋大学出版社: 248 p.
- 徳岡隆夫・吹田 歩・立石雅昭・西村清和・安間恵・松田滋夫・川澄敏治・関 達雄(2005)音響探査機(SC-3)と曳航式水質計(TPM CLOROTEC)を用いた塩水くさび・塩分躍層調査. LAGUNA (汽水水域研究), 12: 233-245.
- 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)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(汽水水域研究), 8: 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(1999)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—(濁水期溯上例, 1998 年 12 月~1999 年 2 月). LAGUNA (汽水水域研究), 6: 81-87.

## 四万十川の塩水溯上

井内美郎<sup>1</sup>・井上卓彦<sup>2</sup>・中原知明<sup>3</sup>・徳岡隆夫<sup>4</sup>・吹田 歩<sup>4</sup>

### Salt water intrusion into the Shimanto River

Yoshio Inouchi<sup>1</sup>, Takahiko Inoue<sup>2</sup>, Tomoaki Nakahara<sup>3</sup>,  
Takao Tokuoka<sup>4</sup> and Ayumi Fukita<sup>4</sup>

**Abstract:** Salt water intrusion into the Shimanto River was measured on June 16 and 17, and December 12 and 13, 2004 at spring tide, using a SC-3 acoustic profiling system which determines the spatial distribution of the halocline with the measurements of water quality (temperature, salinity and chlorophyll a). This system is an improved 200 kHz precision echosounder, that records the distribution of the halocline and the thickness of the salt-water layer as profile records. At the Shimanto River saline intrusion has been known to reach up to 9.8 km from the river mouth, and is known to reach in less than 8 km in the present days owing to the deposition of sandy sediments along the downstream area. Our observation has clarified that the saline wedge usually remains at the deep of 5.6 km, and that it exceeds sometimes upstream up to 7.5 km during flood tide. The behavior of the salt wedge at the moderately mixed rivers are clearly visualized by the present study.

**Key words:** Shimanto River, salt intrusion, saline wedge, echo-sounding survey

### 1 はじめに

四万十川は日本に残された数少ない清流の1つとして知られ、河口域に生息するアカメが淡水・海水境界を行き来して遊泳する姿の放映などにより、豊かな汽水環境が残されている川として話題を呼んでいる(図1)。四万十川名産のアオノリも、塩水が溯上することによって生育することが知られている。四万十川には、本流にダムが存在せず、比較的自然状態を保った河川であり、緩混合型とされている塩水溯上の実態を知るには適したフィールドであるといえる。河口域に形成される塩水くさびや塩水溯上時に形成される淡水・塩水の境界面の動きについて

の理論的な考察は行われているが(たとえば宇野木ほか, 1973, 土木学会水理委員会, 1999 など), その基礎となるデータは水質の鉛直分布を地点ごとに測定することによっていたために, 実態が十分に把握されていたとは言えない。日本各地の河川の塩水溯上については三井(1970)の報告があり, 建設省土木研究所(1993)は全国の感潮河川の実態についてまとめている。また, 西條・奥田(1996)では河川感潮域についての解説とともに, いくつかの実例が報告されている。塩水くさび・塩分躍層を音響を使って可視化し, 正確に捉える方法については徳岡ほか(1994)と西村ほか(1994)で提案され, その後, 江の川(徳岡ほか, 1998)や中海と宍道湖を繋ぐ大橋川

<sup>1</sup> 愛媛大学沿岸環境科学研究センター Research Center For Marine Environmental Studies, Ehime University, Matsuyama 790-8577, Japan

<sup>2</sup> 愛媛大学理工学研究科 Graduate School of Science and Technology, Ehime University, Matsuyama 790-8577, Japan (現 産業技術総合研究所地質情報研究部門)

<sup>3</sup> 愛媛大学理学部 Faculty of Science, Ehime University, Matsuyama 790-8577, Japan

<sup>4</sup> 徳岡汽水環境研究所 Tokuoka Laboratory for Studies of Brackish Water Environments, Matsue 690-0823 m Japan

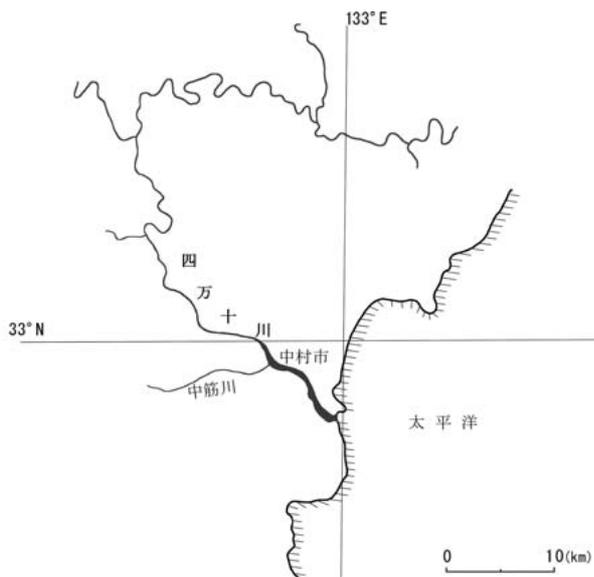


図 1. 四万十川の位置

Fig. 1. Index map.

(徳岡ほか, 2002)で報告されている。また徳岡ほか(2001)では塩水くさび・塩分躍層の観測法が紹介されている。この報告では、四万十川において2004年6月および12月の大潮時に音響探査と水質計を併用して観測を行った結果について述べる。なお、音響を用いた塩水溯上の調査については、関東的那珂川(熊沢ほか, 1994)、北海道の網走湖(池永ほか, 2002)や中国の長江(Shi and Kirby, 2003)などでも報告されている。

## 2 調査地域および調査方法

四万十川(渡川)の潮位変動量は大潮時で1.9 m, 小潮時で0.7 m, 感潮区間は河口から9.8 km, 既

往の塩水溯上距離は河口から9.8 km, 混合形態は緩混合とされている(建設省土木研究所, 1993)。塩水溯上距離については、近年では砂利採取が禁止されて久しく、河床の環境が保全されるようになったことから、塩水の溯上は通常は河口から5.6 kmの淵までで、この先の瀬を越えることはまれであるとみられている。四万十川の河床地形については国土交通省中村河川事務所によって200 mごとの横断地形が定期的に測量されていて、2002年の測量図によると、塩水溯上域にはいくつかの瀬と淵があることがわかる。河床地形は出水のたびごとに変わることが知られているが、今回の何回かの縦断観測でも、これらの地形はほぼ維持されていたと言えるので、ここでは記述の便宜のために「実崎(さんざき)の瀬(実崎から四万十大橋を越えるあたりまでの浅い部分, 写真1)」、「龍ヶ淵(その上流の水深15 mを越える深み, 写真2)」、「爪搔(つめがき)の瀬(左岸の丘陵部の延長にあたる浅い部分)」、「井沢の淵(井沢(後川との出会いの先)の深み)」、「山路の瀬(井沢より上流の浅い部分)と仮称することにする。今回の観測は、四万十川河口近くの一文字堤から山路の瀬を越えてその先の淵に至る河口から7.6 kmまでの範囲である。観測は2004年6月16~17日と12月12~13日の大潮時に行った。観測は以下に述べる塩水楔音響プロファイリングシステム(航走式SC-3型, 徳岡ほか, 2001)と水中投入式クロロフィル測定装置ACL 215(アレック電子), および一部は水質計Quanta-Q(ハイドロラボ)を用いて行った。測位にはDGPSを用い、船の測線誘導および調査後の航跡書き出しにはフリー地図ソフト「カシミール3D」(杉本, 2002)を用いた。なお、この測位システムの利用については吹田・西村(2005)で解説されている。



写真 1. 実崎の瀬と四万十大橋 (2004.12.12)

Photo 1. The shoal at Sanzaki and Shimanto-ohashi Bridge (Dec.12, 2004)



写真 2. 龍ヶ淵付近 (2004.12.13)

Photo 2. The Ryugafuchi pool (Dec.13, 2004)

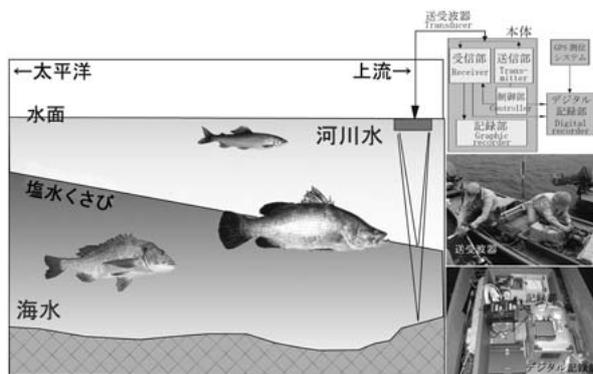


図2. SC-3 音響プロファイリングシステムと四万十川の塩水溯上のイメージ

Fig. 2. SC-3 acoustic profiling system and an image of salt intrusion into the Shimanto River.

### 航走式 SC-3 型塩水楔音響プロファイリングシステム

本体（制御部、アナログ記録部）と送受波器（SC-3：千本電機製）、デジタル記録部（SC-3 R：クローバーテック製）から構成されている（図2）。送受波器を船の舷側に固定し、送受体を水面下 30 cm に固定した。船を走らせながら超音波（200 kHz）を水面から水底に向かって発信し、淡水と海水の境界（塩分躍層）で生じる反射波を受信し、塩分躍層の分布、形状を記録断面として捉えることができる。反射信号はアナログ記録部で書き出すと同時にデジタル化されデータ収録器に記録される。デジタル記録機には、SC-3の音響データとともにGPSの測位データが記録される。

#### メモリークロロテック ACL 215 型（アレック電子）

水中投入式の多項目水質計で、測定用のセンサーゾンデと記録・保存用のディスプレイユニットから構成されている。水質データは深度、水温、塩分、クロロフィル a 量、光量子量を同時に測定する。内部メモリー型でセンサーを水中に 0.5 m/s で降下させることにより、0.1 m 毎にデータを得ることが出来る。

観測にあたっては、潮汐データは海上保安庁による土佐清水の潮汐値を参考とし、河川水位は国土交通省水文水質データベースによる実崎（河口から 3 km）および具同（河口から 9.5 km）の値（1 時間ごとの速報値）を使用した。

## 3 2004 年 6 月の観測

2004 年 6 月 16 および 17 日（大潮時）に観測を行った。観測期間中の実崎および具同の水位変化をそれぞれの観測時間帯とともに図 3（上）に、測線を図 4

に示す。具同での水位変化記録によると、6 月 12 日の降雨により増大した流量が平常に戻る前で、漸減し、やや水位が高い状況下での観測であった。16 日の干潮時および 17 日の満潮時に、河口から塩水溯上範囲までを航走して得られた記録を図 5 に、くさび先端部付近について、潮位の変化に合わせて観測した記録を、水質測定結果とともに図 6 に示す。また、6 月 17 日の水質測定結果をまとめて図 7 に示す。

図 5 に示すように、塩水溯上範囲は河口から 5.8 km の井沢の淵までで、水深 2 m あたりに比較的シャープで、ほぼ水平な淡水・塩水境界（以下では、音響的に認められる下位の塩分層と上位の低塩分～淡水層とのシャープな境界を便宜的に淡塩境界と呼ぶ）が認められる。この境界は河口から 5 km より上流ではややくさび状となり、流下する淡水の下に潜り込んでいる。干潮時と満潮時の記録を比較すると、実崎の瀬で明らかのように、満潮時には淡塩境界面が干潮時に比べて底上げされていることがわかる。干潮時と満潮時の実崎での水位差は 1.5 m であるので、この分が底上げされていることになる。16 日干潮時のくさび先端の井沢の淵では、表層で 0.1 PSU 以下、4 m 以深では 31.6 PSU、河口部では表層で 1.7 PSU、2 m 以深では 34.3 PSU であり、17 日の満潮時のくさび先端に近い井沢の淵では表層で 0.17 PSU、4 m 以深では 31.9 PSU、河口部では表層で 4.0 PSU、2 m 以深では 33.7 PSU であった。すばわち海水がほとんど希釈されずに井沢の淵にまで達し、その上を流下する淡水がごくわずかに下位の海水と混合しながら、明瞭な境界面をもって河口まで達することがわかる。なお、干潮時のほうが全体として淡塩境界が明瞭で、また、くさび先端付近での連行が顕著である。

図 6 には、井沢の淵におけるくさび先端部について、16 日の干潮時（A）と満潮時（B, C, D）、17 日の満潮時（E, F）の記録を示している。くさび先端は、満潮時には井沢の淵を越えようとする位置にあるが、満潮に向けてわずかではあるが前進している。音響反射面と水質測定の結果からみると、下流側から河床にそって海水が注入され、次第に上位の混合層を押し上げて行き、最終的には山路の瀬を越えて、くさびの先端がさらに前進するものと考えられる。ただし、この淵より上流には水深 1 m より浅い瀬が続くことから、これを越えて溯上することはまれで、より潮位が上昇したり、渇水が続いた時のみ、溯上が起こると推定される。いっぽう、増水時や潮位がより低下した際には、塩水くさびの先端は

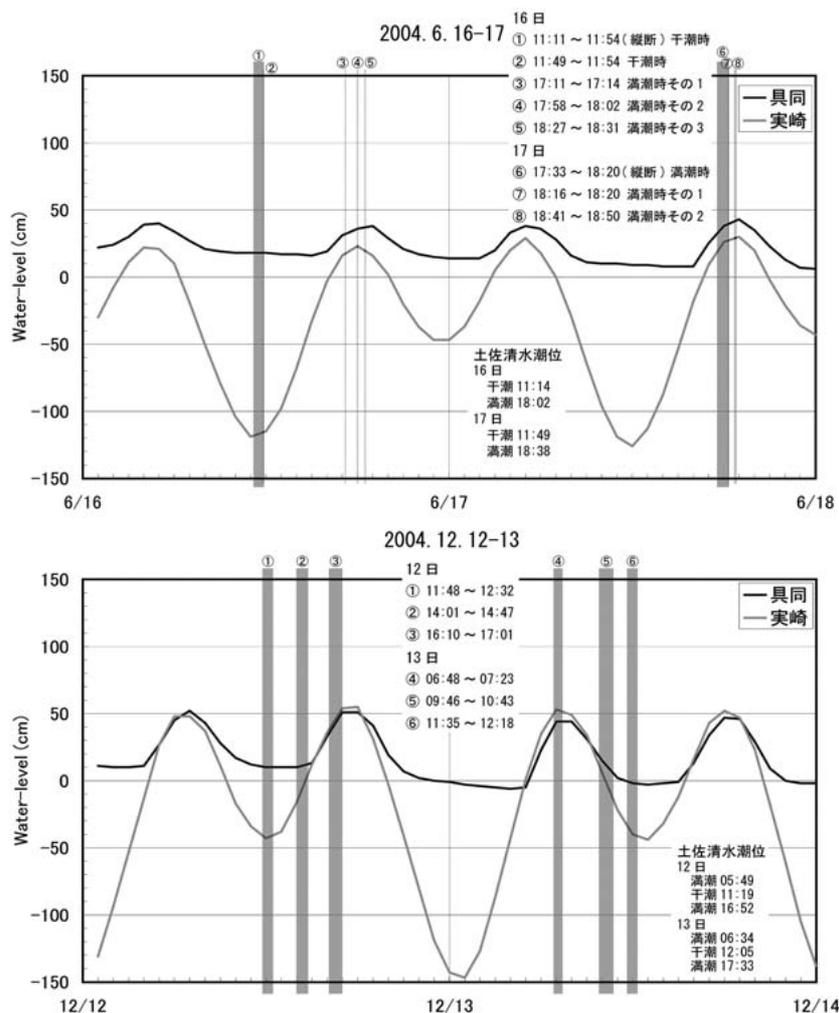


図3. 観測期間中(20004.6.16~17,2005.12.12~13, いずれも大潮時)の四万十川水位変化(実崎および具同). 観測時間帯をあわせて示す. 河口から上流への縦断観測は2004年6月16日の①および17日の⑥, これら以外は塩水くさび先端部付近の観測.

Fig. 3. Water-level changes at the Sanzaki and Gudo Stations, Shimanto River (June 16~17 and Dec. 12~13, 2005; spring tide)

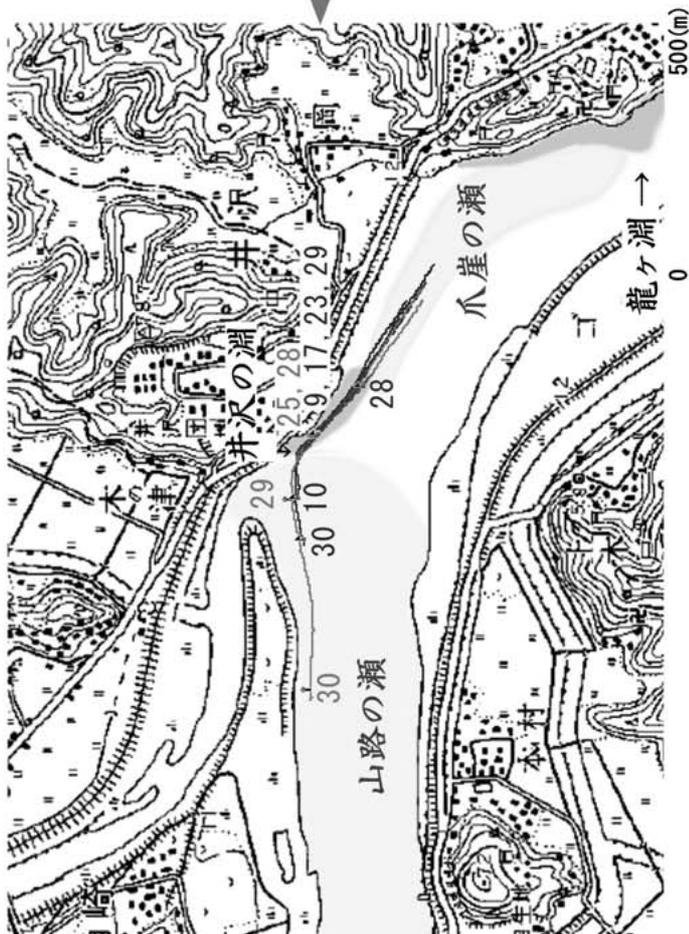
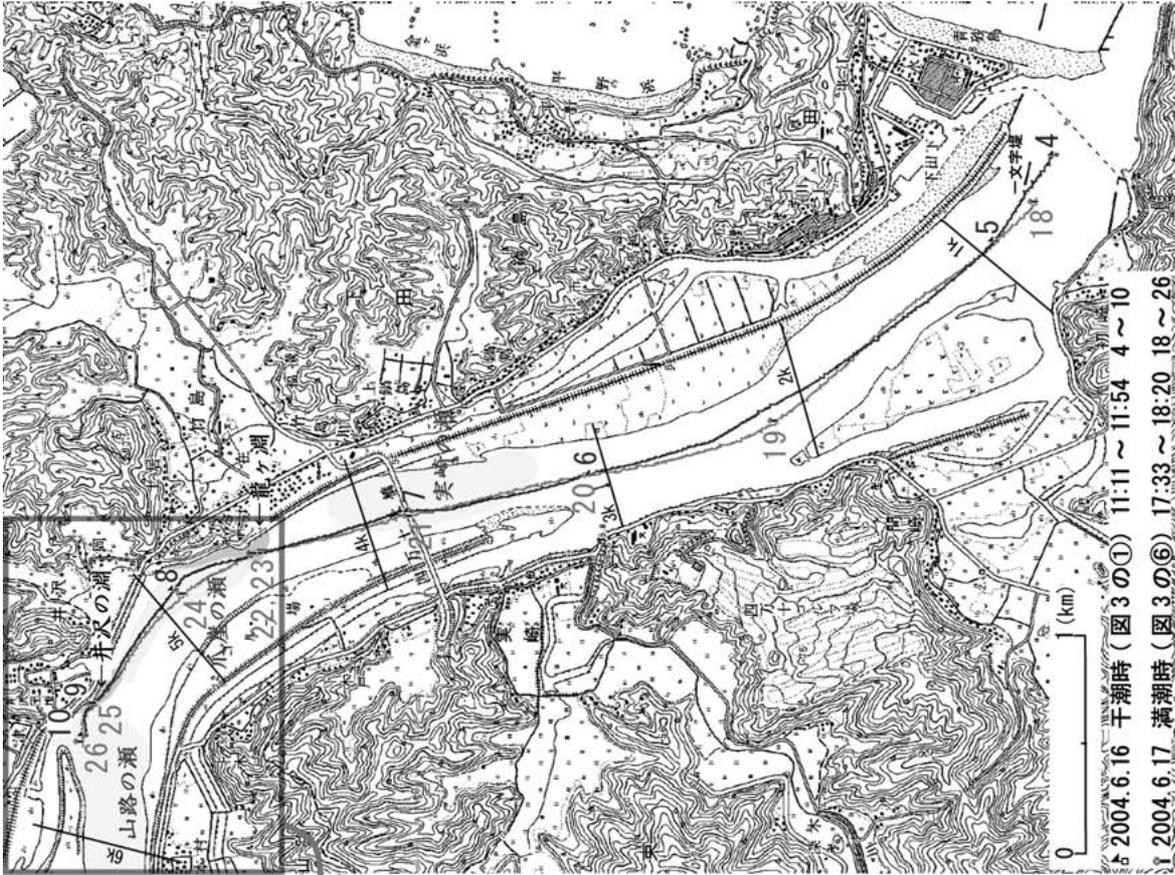
四万十大橋(河口から3.8 km)より下流に後退し, これより上流の2つの淵(龍ヶ淵と井沢の淵)には塩水がトラップされる状況が出現するものと考えられる.

#### 4 2004年12月の観測

12月12および13日(大潮時)に, 6月とほぼ同様の観測を行った. 具同での水位変化記録によると, 12月5日を中心とした降雨により増大した流量が平常に戻りつつ, 漸減する状況下での観測であった. ただし, 通常の渇水期の冬と比べると, 水位はやや高かった. 前述の6月16, 17日の観測と比較すると, 具同の水位は全体として低いので, 流量はやや小

い状況にあった. また, 実崎の水位は, 満潮時には12月のほうが高い状況にあった. したがって, 12月の観測時には, 塩水の溯上がより進む状況にあったことがわかる. この観測では, 船を2艘使用し, 音響観測と水質観測を平行して行った. 観測期間中の実崎および具同の水位変化は, それぞれの観測時間帯とともに図3(下)に示されている.

SC-3による縦断観測の測線を図8に, 得られた音響記録については, 12日(干潮時, アゲシオ時, 満潮時の順に3回)および13日(満潮時, サゲシオ時, 干潮時の順に3回)をまとめて図9に示す. 水質データ(温度・塩分・クロロフィルa)についてはまとめて図10(12月12日)および図11(12月13日)に示す. なお, 塩分の鉛直分布については代表的な地点



塩水くさび先端付近観測 SC-3 測線 (丸数字は図3 参照)

2004.6.16		(マーク)	
A	干潮時 ②	11:49 ~ 11:54	9 10
B	満潮時 その1 ③	17:11 ~ 17:14	17
C	満潮時 その2 ④	17:58 ~ 18:02	23
D	満潮時 その3 ⑤	18:27 ~ 18:31	28 29 30
2004.6.17			
E	満潮時 その1	18:16 ~ 18:20	25
F	満潮時 その2	18:41 ~ 18:50	28 29 30

図4. SC-3 音響探査測線 (2004.6.16 干潮時および6.17 満潮時) 拡大図は塩水楔先端付近の SC3 測線で、地形図は2.5 万分の1「土佐清水」による。

Fig. 4. Surveyed routes at the Shimanto River (June 16 ~ 17, 2004)

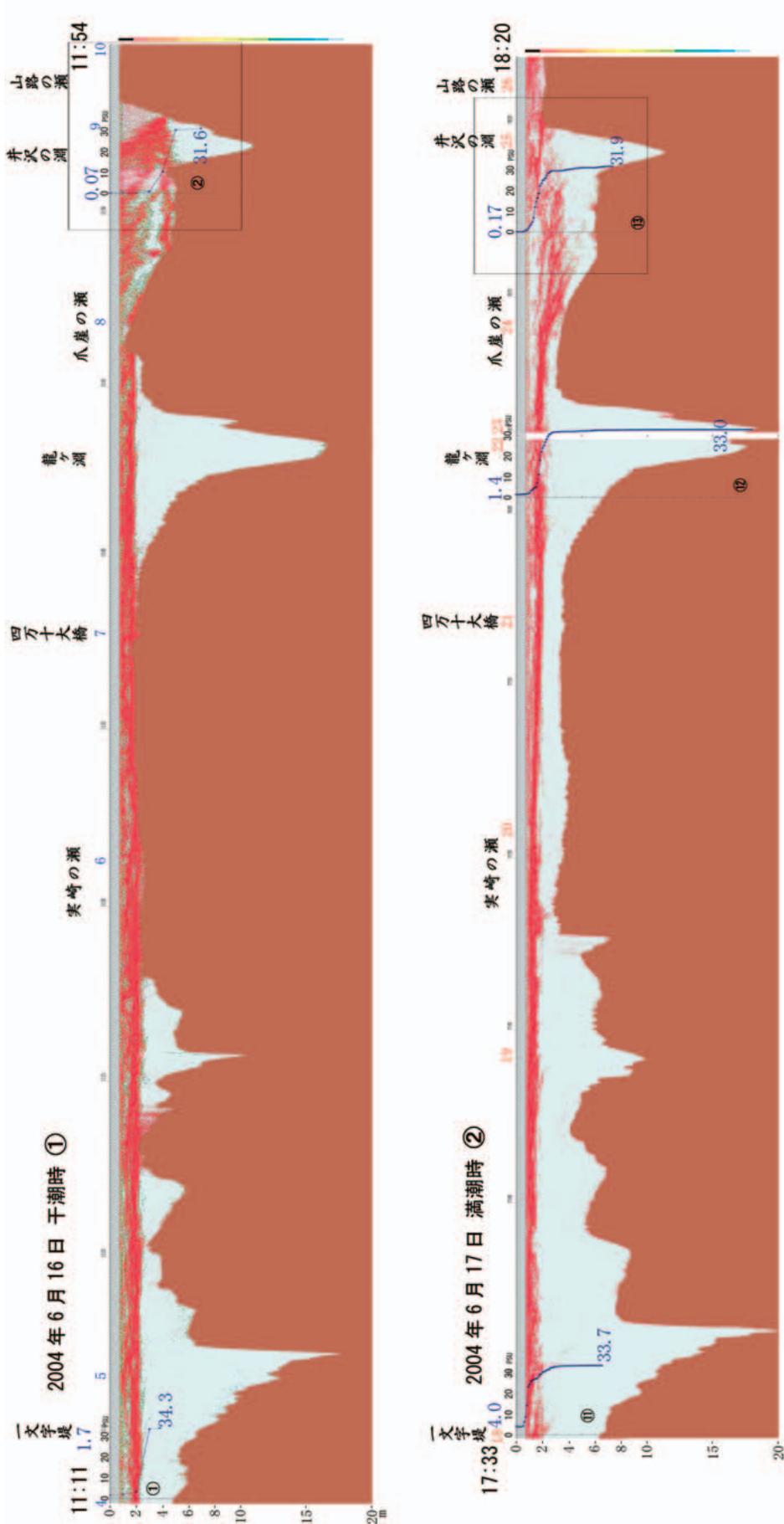


図 5. SC-3 音響探査結果 (2004.6.16 日の干潮時および 17 日の満潮時の縦断観測)

Fig. 5. The data of the SC-3 acoustic profiling system (June 16, ebb tide and June 17, flood tide)

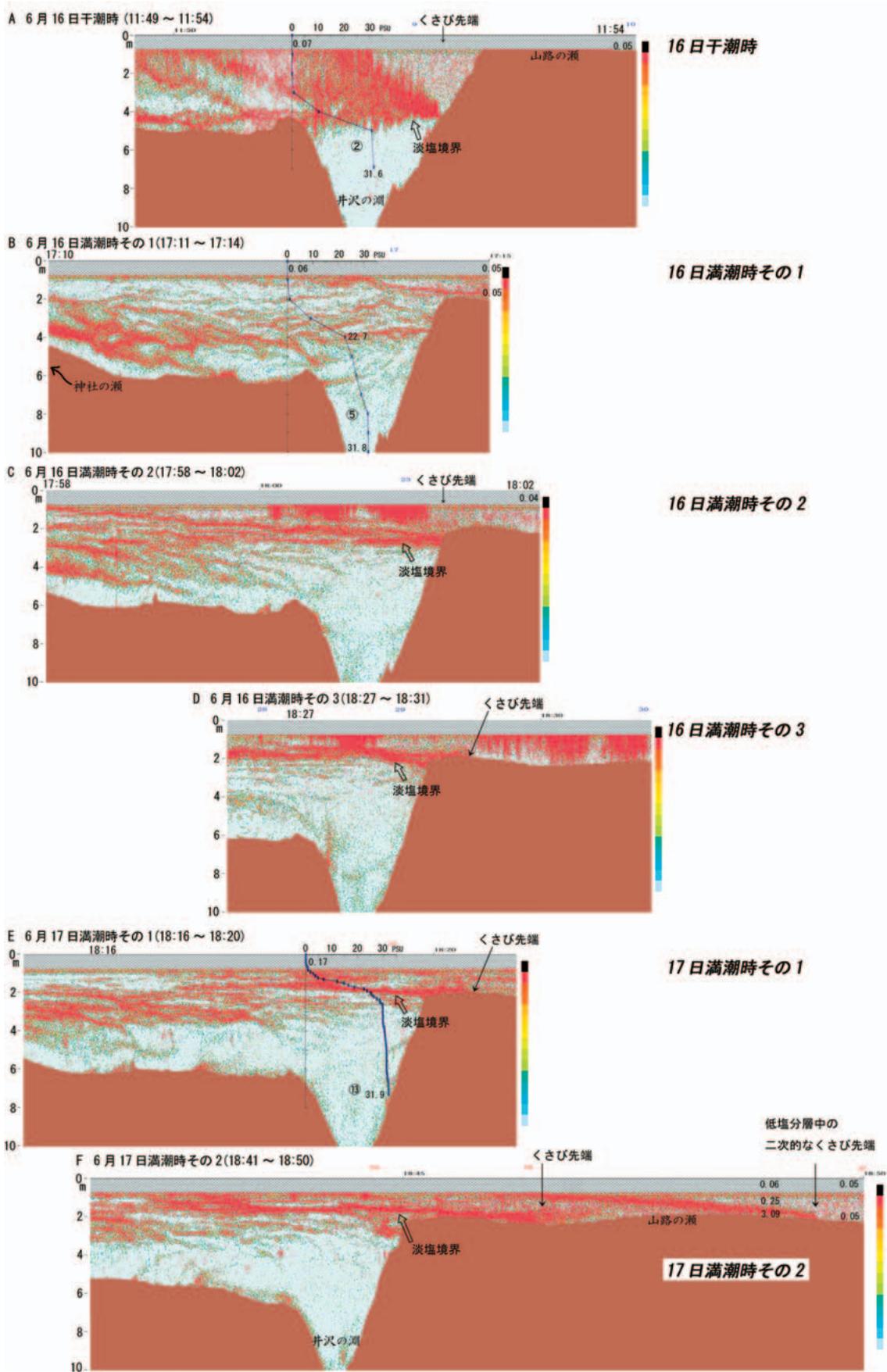


図6. SC-3音響探査結果(2004.6.16~17, 塩水くさび先端部の動態). 井沢の淵で干潮時の淡塩境界(A)が次第に上昇し, 満潮時(B~F)に山路の瀬を越えて塩水くさびとして前進する状況を時系列で示す.

Fig. 6. The time-series behavior of frontal part of saline wedge by the SC-3 acoustic profiling system (June 16~17, 2004)

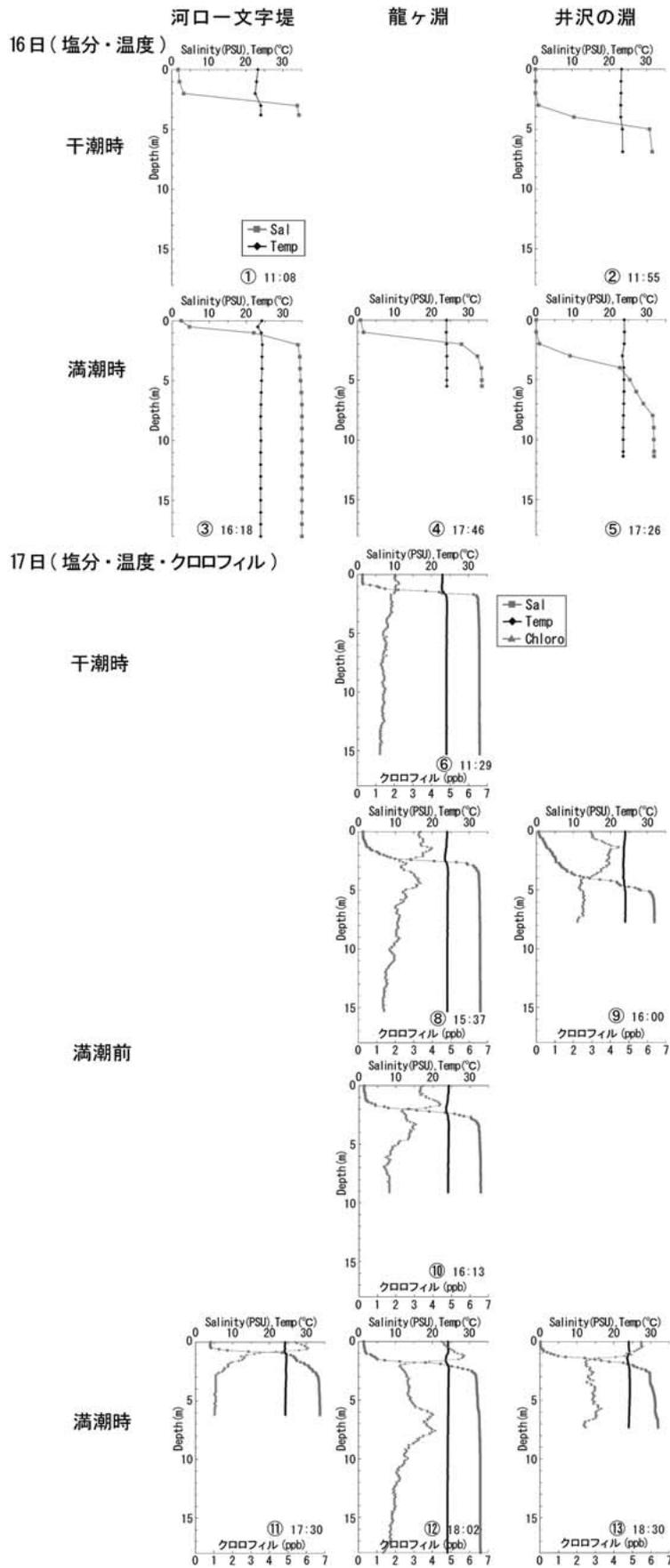


図7. 水質(温度・塩分・クロロフィル a)の鉛直分布(2004.6.16~17)  
 Fig. 7. Vertical distribution of temperature, salinity and chlorophyll-a (June 16~17, 2004)

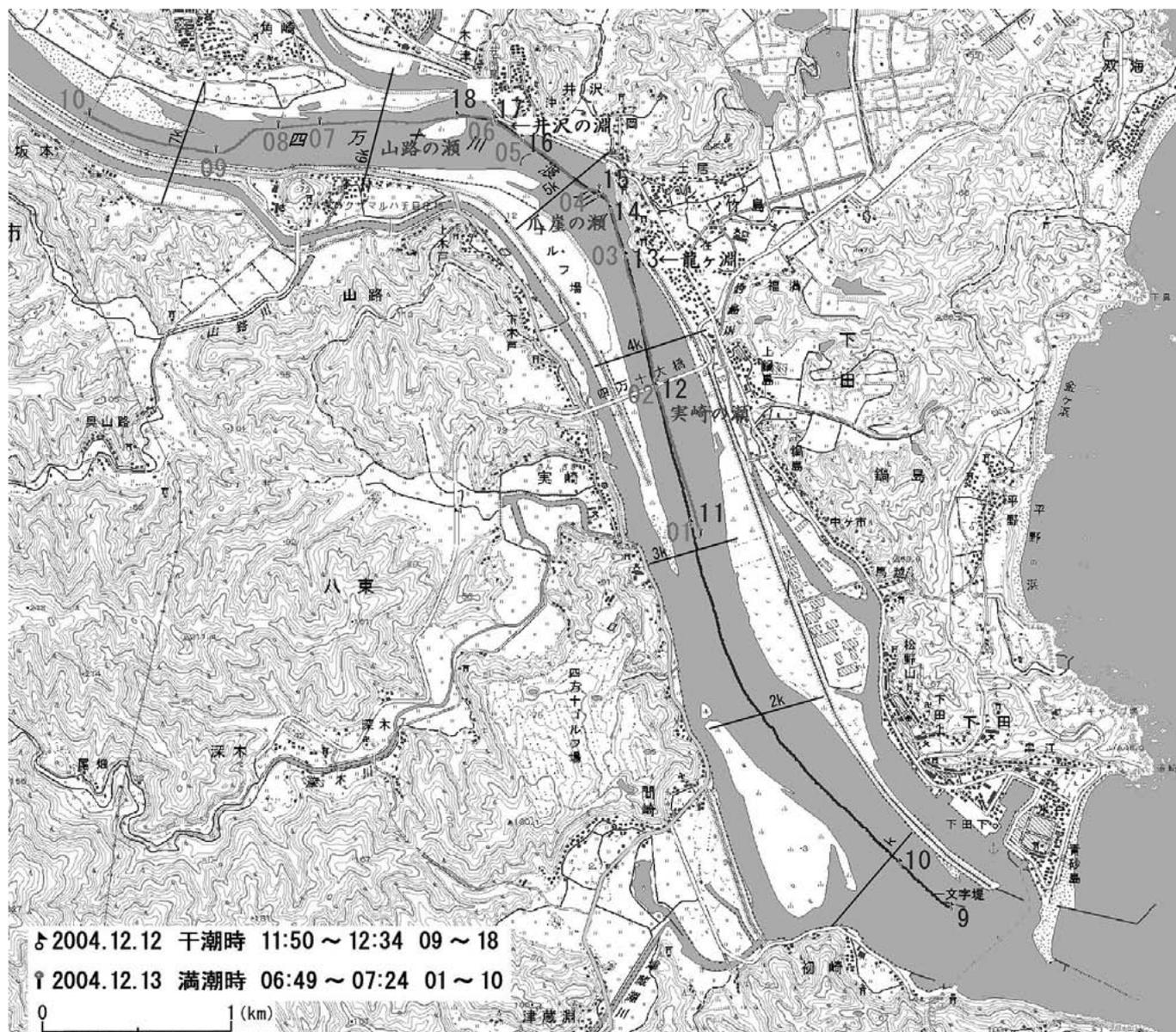


図 8. SC-3 音響探査測線 (2004.12.12 日および 13 日)

地形図は 2.5 万分の 1「土佐清水」による。

Fig. 8. Surveyed routes at the Shimanto River (Dec. 12~13, 2004)

について図 9 の中に示している。

12 月 12 日 (図 9, 上 3 段) : 干潮時①, アゲシオ時②, および満潮時③の 3 回である。なお, 満潮時③は, デジタル記録が収録時のトラブルで失われたために, アナログ記録を示している。干潮時①の記録を 6 月 16 日の干潮時の記録と比較すると, 塩水がより侵入した状況にあって, くさびの先端は井沢の淵では, より高い位置にある。これは具同での水位から推定される河川流量が 6 月 16 日より小さかったことと調和的である。アゲシオ時②の記録では淡塩境界が干潮時と比較してやや厚くなっていて, 境界部で混合がより進んでいると推定される。くさびの

先端は, 井沢の淵を越えて山路の瀬にかかっている。満潮時③の記録では, 淡塩境界はアゲシオ時とくらべてさらに厚くなっている。また, くさびの先端はより前進して, 山路の瀬を進んでいる。くさびの先端部では音響的に 2 つの境界が認められるが, 塩分測定からは上位の境界は薄い塩水中の境界 (二次的な境界と呼ぶ) であって, 下位の境界がくさびの先端とみることができる。満潮時③の記録を 6 月 17 日の満潮時の記録と比較すると, くさびの先端の位置はより前進していることが明らかである。これは具同および実崎の水位がより高く, また両者の水位差が殆んどないことと調和的である。

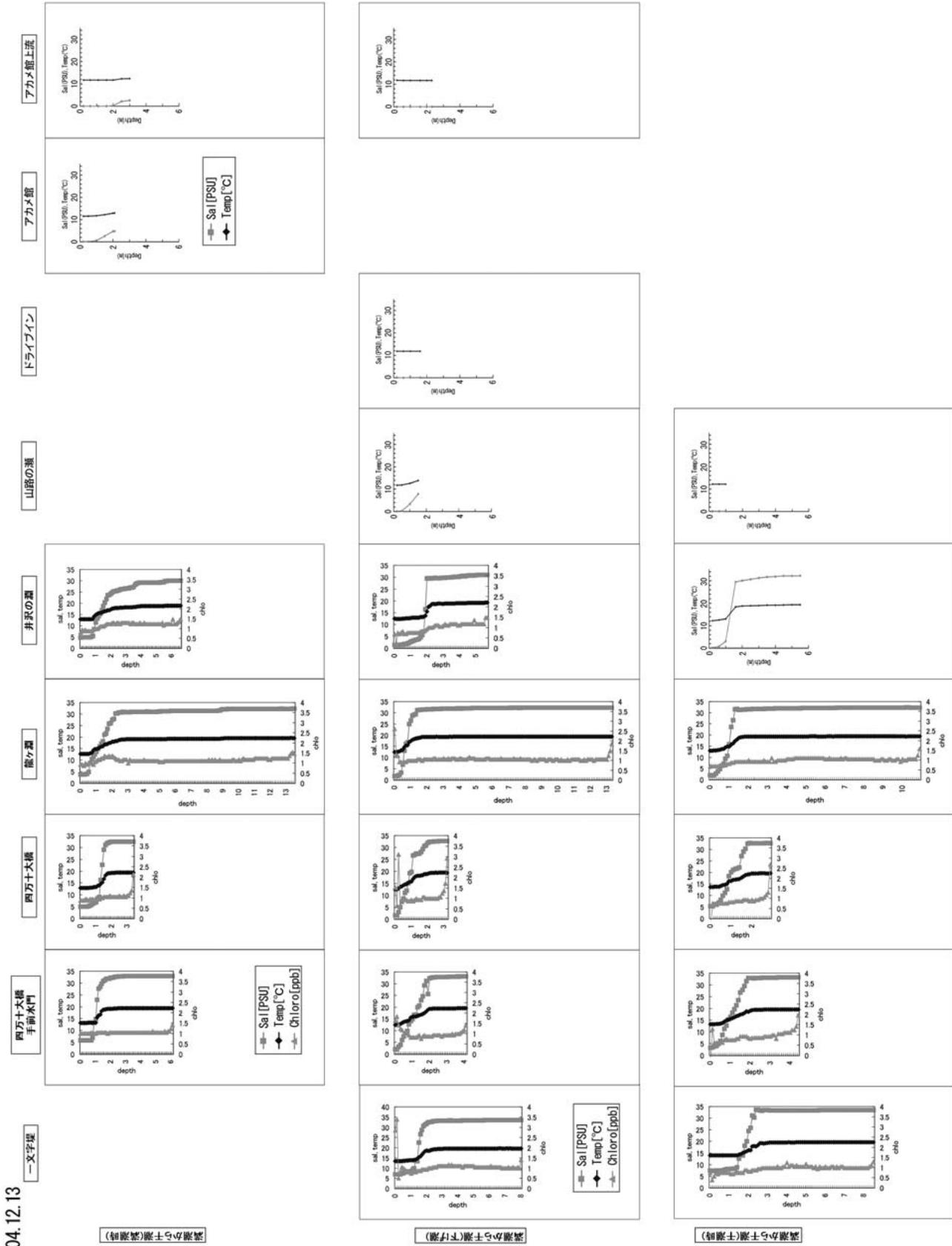


図 11. 水質 (温度・塩分・クロロフィル a) の鉛直分布 (2004.12.13)  
 Fig. 11. Vertical distribution of temperature, salinity and chlorophyll-a (Dec. 13, 2004)

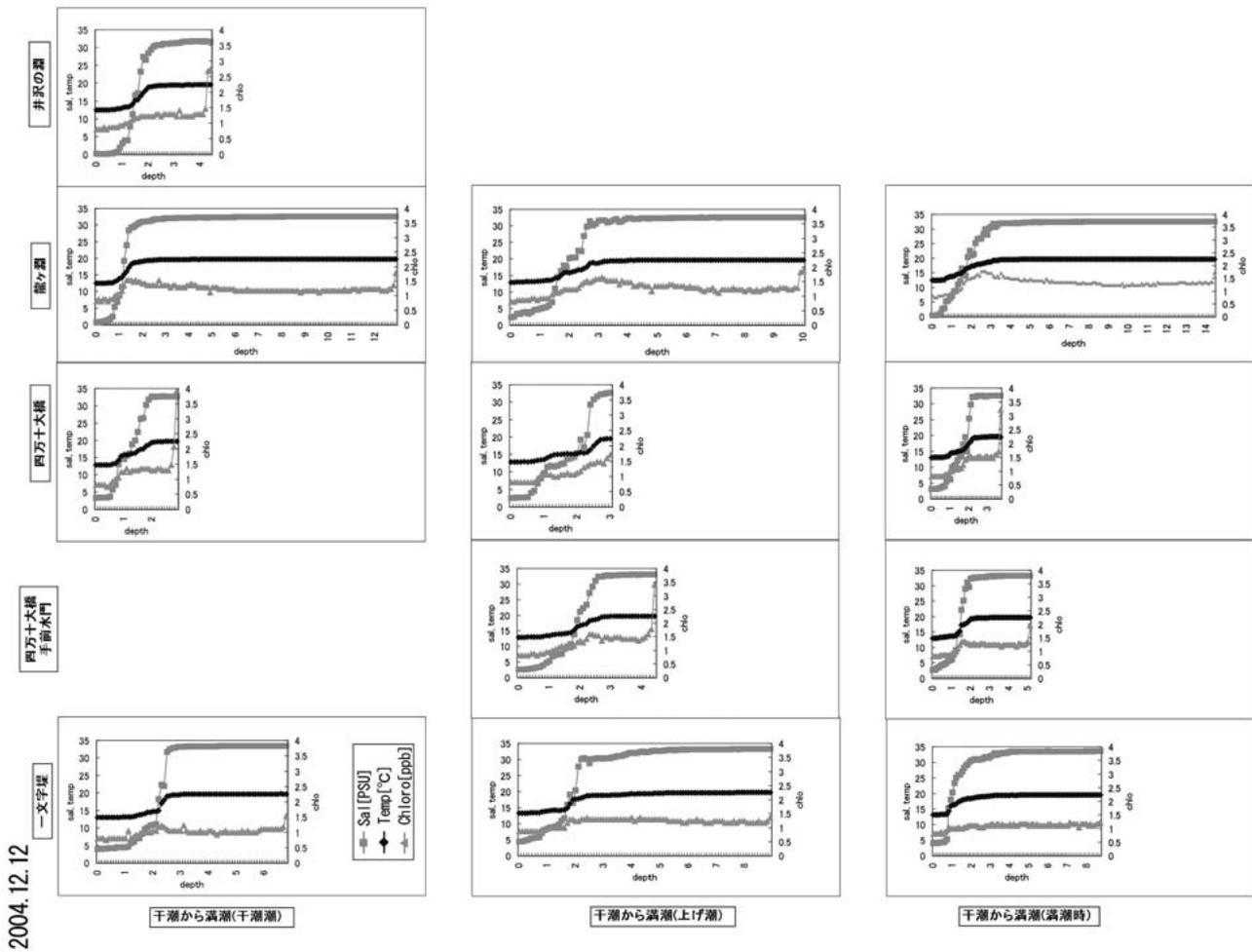


図 10. 水質 (温度・塩分・クロロフィル a) の鉛直分布 (2004.12.12)  
**Fig. 10.** Vertical distribution of temperature, salinity and chlorophyll-a (Dec. 12, 2004)

12月13日(図9, 下3段): 満潮時④, サゲシオ時⑤, および干潮時⑥の3回である。満潮時の記録④は, 前日の満潮時に比べると実崎および具同の水位で見るとほぼ同じであるが, くさびの先端はやや前進していて, 二次的なくさびの先端は山路の瀬の先の深みに垂れ込んでいる。サゲシオ時⑤から干潮時⑥にかけては, くさびの先端は次第に後退している。サゲシオ時の淡塩境界・塩水くさびの先端の形態は12日の干潮時①とほぼ同じである。6月16日の干潮時と比べると塩水くさびはより浸入していて, 山路の瀬を越える位置にある。この後, 干潮時⑥に向けてくさびの先端は後退し, 前日の干潮時①の状態とほぼ同じになる。

## 5 まとめ

四万十川の塩水溯上について2004年6月と12月の大潮時に塩水くさび音響プロファイリング装置SC-3と水質計を用いて調査を行った。四万十川では大潮時に潮位変動量は1.9m, 混合形態は緩混合とされているが, この装置によって塩水溯上の実態を可視化して捉えることができた。これは緩混合の河川では初めての例である。6月の調査では干潮時と満潮時の調査から, 塩水溯上は通常は河口から5.6kmの井沢の淵までであることを明らかにした(図5)。また, 塩水くさびの先端が潮の干満によってどのように変化し, 井沢の淵を越えて溯上する状況を捉えることができた(図6)。塩水(海水)はアゲシオ時に下流側から河床に供給され, 淡塩境界を押し上げて行き, 次第に境界が明瞭になって行く状況が明らかになった。さらに潮位が上昇したり, あるいは流量の減少時には井沢の淵を越えてその先の山路の瀬へと塩水くさびが侵入することは容易に起こりうることである。12月の調査では干潮時から満潮時まで, また満潮時から干潮時まで計6回の縦断観測を行い, 干満による淡塩境界面の変化と塩水くさびの侵入・後退の様子を水質測定とあわせて行い, 可視化して示した(図9)。6月の観測と比較すると河川流量がより小さかったことなどから, 塩水溯上がより起こりやすい条件にあった。くさびの先端は干潮時には井沢の淵にあったが, 満潮時に向けて山路の瀬を越え, 河口から7kmより上流の深みにまで達することが明らかになった。

淡塩境界のこのような形態は生物分布とも密接に関係していて, 多くの生物がこの境界面を利用して生息しているものと考えられる。四万十川では河口

域において海棲種である「アカメ」が淡塩境界面を自由に行き来する姿が放映され, 四万十川の名をさらに高めている。四万十川では塩水(海水)の溯上は河口から5.8kmの井沢の淵までは通常は溯上していることから, 海棲種はここまでは生息範囲である。ただし, これより下流の実崎の瀬は水深2mまでと浅く, 上流の淵へと連なる深い澗筋は河床地形からは認められないので, 龍が淵から井沢の淵にかけては流量の増大時と潮位が大きく低下する場合には海水がトラップされる条件にある。したがって, ここでの棲息種は限定されるものと考えられる。また, 四万十川の名産として高い評価を得ているアオノリは, 現地の漁業者によると, 塩水溯上域で収穫され, とくに塩水が井沢の淵を越えて上流にまで溯上する際に, そこに大発生するとのことである。現在の河床状況からすると, 山路の瀬への四万十川の塩水くさびの侵入は上述のように限られた条件下にあると言える。

四万十川の河口域では昭和49年当時に海水の浸透による農業被害をめぐって裁判で争われたことがあり, 中筋川「塩害訴訟」事件として知られている。その場所は四万十川の河口から約6kmあたりの四万十川右岸にあり, 現在の塩水溯上限界あたりで起こった問題である。この裁判の一審では, 農業用水として使用していた地下水の塩水化の原因を川底の砂利採取と新中筋川の開設として, 国の賠償責任を認めたが, 二審においては利用していた地下水は淡水レンズをなす被圧地下水であり, 井戸の汲みすぎによる塩水化であって, 中筋川の改修とは関係なく, また川の塩水化は受忍限度を越えるものとは言えないということから, 原告敗訴となった(判例時報, 760, 84~93および判例タイムズ, 473, 152~162, 1982および553, 168~182, 1985)。一審判決で記述されているように, 使用していた井戸が地表下6~15mの沖積砂礫層の地下水であること, 当時は砂利採取が盛んに行われていて, 地形図をみても河口からこの辺りまでの砂州のほとんどは消失していたことを考慮すると, 徳岡ほか(2001)の江の川での報告でも明らかのように, その原因は四万十川の塩水溯上と関係していた可能性が高い

【謝辞】 この調査を行うにあたってはアカメ館とNHK松山放送局の武内俊輔氏にご協力をいただいた。アカメ館の柴岡善教, 高岡和哲, 秋森 圭の各氏には操船とともに, 四万十川についていろいろと教えていただいた。また, 国土交通省中村河川事務

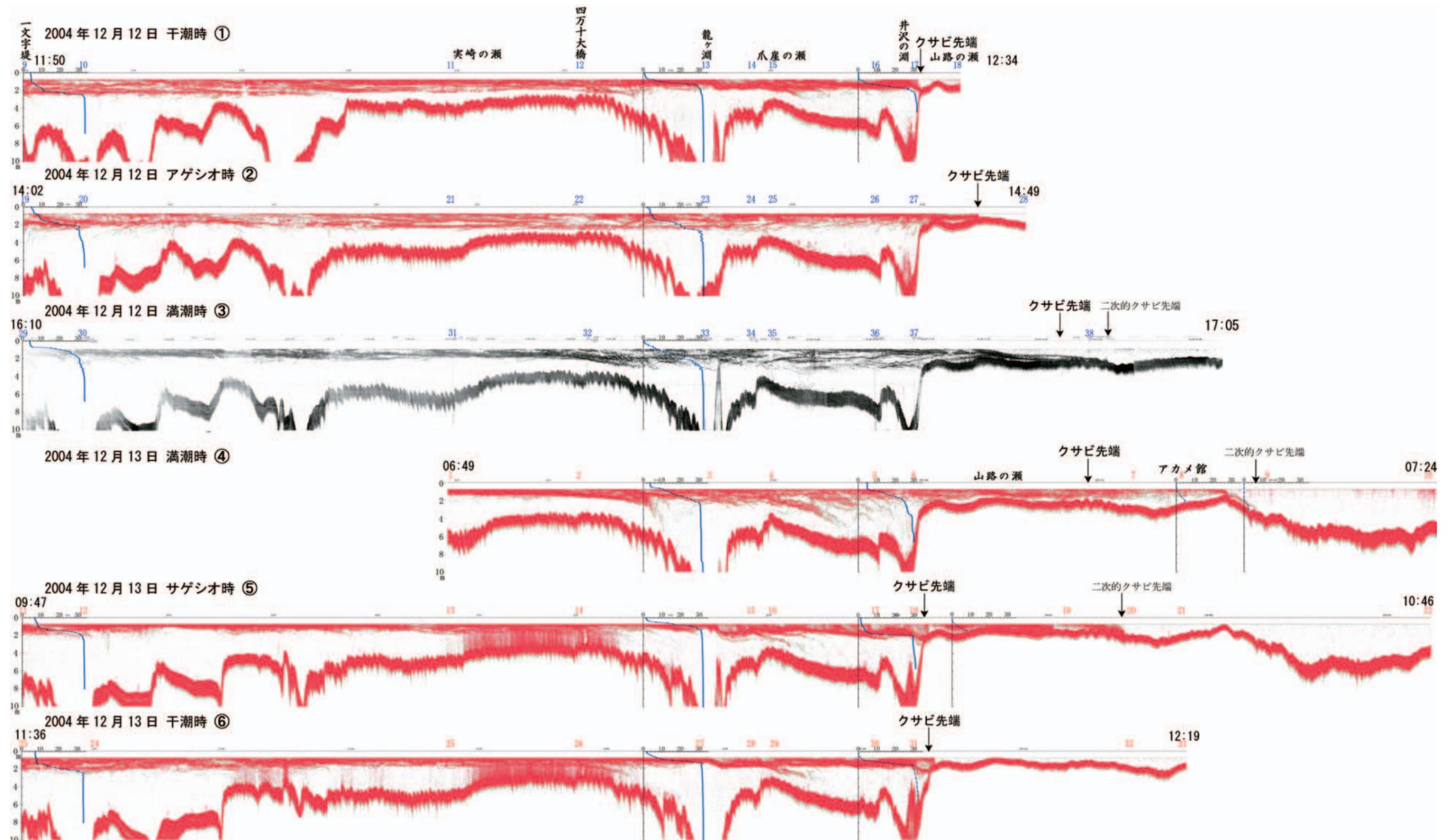


図9. SC-3音響探査結果(2004.12.12, 縦断観測および2004.12.13, 縦断観測)  
 Fig. 9. The data of the SC-3 acoustic profiling system (Dec. 12 and 13, 2004)

所による四万十川水位データおよび平成13年度定期測量の河川地形資料を利用させていただいた。記してお礼申し上げます。

## 引用文献

- 土木学会水理委員会編(1999)水理公式集: 713 p.
- 吹田 歩・西村清和(2005)フリーソフト「カシミール3D」を利用した汽水・沿岸域調査用ナビゲーションシステム, 海洋理工学会, 11: 81-87.
- 池永 均・向山公人・大島伸介・吉本健太郎・山田正(2002)網走湖における青潮発生に関する現地観測と数値解析の比較, 土木学会論文集, 775, II - 69: 11-27.
- 建設省土木研究所河川研究室(1993)土木研究所資料, 感潮河川の塩水潮上実態と混合特性: 82 p.
- 熊沢紀之・井内美郎・安田 聡・吉川秀樹(1994)那珂川の塩水くさび, 茨城大学教養部紀要, 26: 227-237.
- 三井嘉都夫(1970)本邦主要河川の塩水遡上型について, 法政大学文学部紀要: 29-44.
- 西條八束・奥田節夫編(1996)河川感潮域, 名古屋大学出版会: 248 p.
- 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波探査機の開発, LAGUNA (汽水域研究), 1: 1-9.
- Shi Z. and R. Kirby (2003) Observations of fine suspended sediment processes in the turbidity maximum at the north passage of the Changjiang Estuary, China, Jour. Coastal Research, 19: 529-540.
- 杉本智彦(2002)カシミール3D入門, 実業之日本社, 東京: 147 p.
- 徳岡隆夫・大西郁夫・三瓶良和・瀬戸浩二・田村嘉之・高安克己・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・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—塩水潮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・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)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), 8: 101-110.
- 徳岡隆夫・上野博芳・三瓶良和・西村清和・須崎聡・松田滋夫・久保田俊輔・鈴木重教(2002)大橋川～宍道湖における高塩分水塊の動態観測(2000年夏), LAGUNA, (汽水域研究), 9: 83-93.
- 宇野木早苗・上嶋英機・山下浩一(1973)河川潮汐の研究(第3報), 海岸工学論文集, 20: 371-376.

# Preliminary research on salinity and flow rate profiles of a river with an estuarine zone by the analysis of water quality monitoring data

Yoshiaki Tsuzuki<sup>1</sup>

**Abstract:** The published studies related to hydrodynamic, hydrologic and pollutant loads especially in the fields of rivers and estuaries were briefly summarized. Salinity in the upper and the bottom layers, and flow rate at the monitoring point near the river mouth of the Ebigawa River, Chiba Prefecture, Japan, were analyzed with tidal level fluctuation at the Chiba Port as a preliminary study for the development of a hydrodynamic and water quality model in the estuary segment of the Ebigawa River. Contour lines and anthropogenic water contribution to water flow were analyzed. Defining contour line patterns could enhance understanding of the flow and salinity patterns in the estuarine zone of the river. It was qualitatively confirmed that the tidal level fluctuation, fresh water inflow, and anthropogenic water influenced the salinity and flow rate at the monitoring point.

**Key words:** inner-city river, estuary, salinity wedge, tidal level, anthropogenic water

## 1 Introduction

River-mouth is consisted of fresh water flowing from the river and salt water from the sea. Because the movements of both these flows are complex, it is desirable to consider as two-layer flow in calculating pollutant loads at and/or near the river-mouth. The flows near the river-mouth are divided into three mixture patterns depending on the intensity of turbulence and mixture: 1) strong mixture, 2) moderate mixture, and 3) weak mixture (Fig. 1) (Tamai, 1980). In the case of strong mixture, water density is equal with the vertical direction and only horizontal water density gradient exists. In the case of moderate mixture, both vertical and horizontal water density gradient exist. In the case of weak mixture, fresh water in the upper layer and salt water in the bottom layer do not mix so much and make a definite layers, which is called salt wedge.

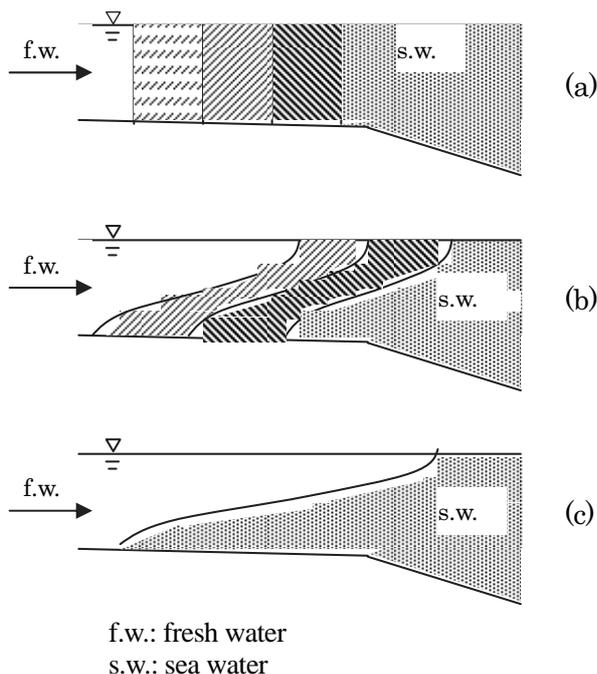
When the cross-section can be supposed not to be changed in the simulation model for strong mixture, salinity in the cross-section is considered as the same and the flows can be simplified as one-dimension model with

x-axis as the longitudinal direction.

A lot of hydrodynamic/hydraulic models have been developed to describe circulation, mixing and density stratification which can affect water quality and pollutant movement within a water body. These models are classified with their spatial dimensions: 1) one-dimension longitudinal models, 2) two-dimensional in the longitudinal and vertical, 3) two-dimensional in the horizontal (vertically averaged), and 4) fully three-dimensional. Some hydrodynamic/hydraulic models developed in the United States are shown in Table 1. In Japan, some hydrodynamic/hydraulic models have been developed by academics, business, and national level institutes including the Public Works Research Institute, the Industrial Science Institute, the National Institute of Environmental Science and so on.

Some hydrodynamics, hydrologic and pollutant loads related researches have been conducted in the Ebigawa River drainage area (Fig. 2), Chiba Prefecture, Japan, using rain-runoff and water quality models. Herath and Musiaka (1994) conducted study on water circulation in the Ebigawa River drainage area with monitoring data of

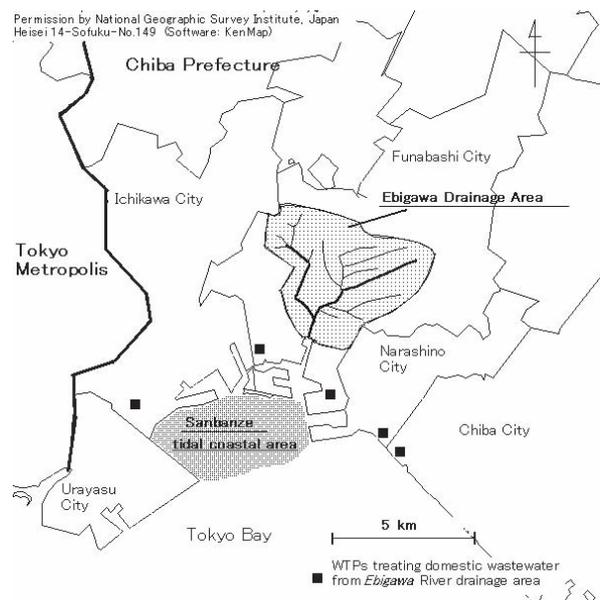
<sup>1</sup> Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan. E-mail: ytsuzuki@soc.shimane-u.ac.jp



**Fig. 1.** Types of density flows in the estuary near the river mouth: a) strong mixture, b) moderate mixture, and c) weak mixture. (prepared by the author after Tamai, 1980)

precipitation, flow rate and water level of rivers, ground water level, water contents of soils, meteorology data and so on. They found large contribution of anthropogenic water and wastewater (water and wastewater related to human activities) from households, factories and offices to total water balance in the drainage area. Anthropogenic water supply and wastewater amounts were calculated as  $636 \text{ mm y}^{-1}$  and  $105 \text{ mm y}^{-1}$  in contrast to  $1,468 \text{ mm y}^{-1}$  precipitation in 1993. Yangwen et al. (2001) modified a distributed hydrology model, Water and Energy Transfer Process (WEP) model, to study the effects of storm-water detention facilities in the Ebigawa River drainage area. Tsuzuki (2004) investigated the Ebigawa River of public monitoring data, estimated pollutant loads flowing into the Tokyo Bay through the Ebigawa River for BOD, COD, TN and TP originated from domestic wastewater and recommended to prepare and use environmental accounting housekeeping (EAH) books for domestic wastewater in order to reduce pollutant discharges from households. Yamazaki et al. (2005) modified a distributed runoff model based on the kinetic wave method by incorporating the interflow component in a synthesized manner in three urban river drainage areas including the Ebigawa River drainage area.

The aim of this study is to briefly summarize hydrodynamic, hydrologic and pollutant loads related studies in the estuarine zone of the river, and to investigate the salinity in the upper layer and the bottom layer at Yachiyo Bashi Bridge monitoring point, nearest



**Fig. 2.** The drainage area of the Ebigawa River, Chiba Prefecture, Japan. (Tsuzuki, 2004)

to the river mouth, with tidal level fluctuation as a preliminary study for the development of hydrodynamic and water quality models in the estuary segment of the Ebigawa River. Simple calculation of pollutant loads near the river mouth by use of public monitoring water quality, flow rate and tidal level data could be achieved based on the summarization. Flow rate and salinity in the estuarine zones of a inner-city river are considered to be dependent on fresh water flow from upper stream and tidal flow from lower stream. In this study, the influence of fresh water flow and tidal flow are qualitatively summarized based on the public monitoring data.

William (1972) writes in the preface that “designing and testing indicators of environmental quality are not mere academic exercises - scientists have a responsibility to make ‘environment’ comprehensible to all segments of society that justifiably demand a greater participatory role in determining the habitability of our planet.” Hackes (1972) insisted the importance for members of the environmental science community to come forward with environmental indices .... to explain their ecological concerns to the public at large .... Public participation and corporation of the stakeholders in the field of preservation of environment is being highlighted in these days in Japan also, and Natural Rehabilitation Promotion Act was enacted in 2004. Huge amounts of environmental monitoring data including water quality have been monitored especially in the developed countries including Japan. Showing what can be understood from the public monitoring data is one of the roles of members in the environmental science community as suggested by Hackes (1972). The author used public monitoring data from this point of view.

**Table 1.** Examples of hydrodynamic / hydraulic model (U. S. Army Corps of Engineers, 2005)

Model	Description	Steady State/ Dynamic	Dimension	Supporting Agency/ Developer
CE-QUAL-RIV1*	Hydrodynamic & Water Quality Model for Streams	Dynamic	1-D	USACE
CE-QUAL-W2*	2D Laterally-averaged Water Quality Model	Dynamic	2-D vertical	USACE
CH3D-WES*	Curvilinear Hydrodynamics in Three Dimensions – Waterways Experiment Station	Dynamic	3-D	USACE
CORMIX	A mixing-zone model	Steady State	3-D	USEPA
DYNHYD5	Link-Node Tidal Hydrodynamic Model	Dynamic	1-D	USEPA/CEAM
ECOMSED	Hydrodynamic and Sediment Transport Model	Dynamic	3-D	HydroQual, Inc.
EFDC*: Environmental Fluid Dynamics Code	Hydrodynamics and transport model	Dynamic	1-D to 3-D	Tetra-Tech/Virginia Institute of Marine Sciences
HEC-2/HECRAS*	River Analysis System	Steady State	1-D (HEC-2)	USACE/ HEC
HEM1D/HEM2D/ HEM3D	Hydrodynamic Eutrophication Model	Dynamic	1-D to 3-D	Virginia Institute of Marine Science
HSCTM-2D	Hydrodynamic and Sediment and Contaminant Transport Model	Dynamic	2-D lateral	USEPA/CEAM
MIKE-11/MIKE-21/MIKE-3*	Generalized Modeling Package-1D/ 2D/3D - Hydrodynamics	Dynamic	1-, 2- and 3-D	Danish Hydraulic Institute
POM	Princeton Ocean Model	Dynamic	3-D	Princeton University
RIVMOD-H	River Hydrodynamic Model	Dynamic	1-D	USEPA/CEAM
RMA-2V*	Hydrodynamic analysis model	Dynamic	2-D lateral	WES
UNET	1-D Unsteady Flow through a Full Network of Open Channels	Dynamic	1-D	USACE

## 2 Basic concepts and formulas of density flow

A series of basic concepts and formulas are summarized by e.g. Bowden (1967), Tamai (1980) and Okuda (1996). In this section, their texts were briefly summarized focusing on the basic concepts of the salinity and flow rate in the estuaries of rivers.

Bowden defined five types of estuarine circulation: 1) salt wedge estuary, 2) two-layer flow with entrainment, including fjords, 3) two-layer flow with vertical mixing, 4) vertical homogeneous (a) with lateral variation, and (b) laterally homogeneous, and 5) exceptional cases such as intensive, mixing in restricted sections, tributary estuaries, sounds straits (Table 2).

Basic principles controlling circulation and mixing in the estuarine zones in the rivers are expressed by the

equations of motion of the water and the equations of continuity of water and mass of salt (Bowden, 1967).

Let x-axis to be longitudinal direction and y-axis to be across the river, and z-axis to be vertical direction. Let u, v, w, to be the components of mean velocity at the point (x, y, z) at time t. Then, Equations of motion are expressed as:

$$\frac{Du}{Dt} - fv = -\alpha \left\{ \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right\} \quad (1)$$

$$\frac{Du}{Dt} - fu = -\alpha \left\{ \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right\} \quad (2)$$

$$0 = -\alpha \frac{\partial p}{\partial z} + g \quad (3)$$

**Table 2.** Types of estuarine circulation (modified by the author after Bowden, 1967.)

	Type	Physical processes	Forces
1	Salt wedge	River-flow dominant	Pressure gradients, field accelerations, coriolis effect, interfacial friction
2	Two-layer flow with entrainment, including fjords	River-flow, modified by tidal currents	Pressure gradients, field accelerations, coriolis effect, entrainment
3	Two-layer flow with vertical mixing	River-flow and tidal mixing	Pressure gradients, field accelerations, coriolis effect, turbulent shear stresses
4(a)	Vertical homogeneous with lateral variation	Tidal currents predominating	Pressure gradients, field accelerations, turbulent shear stresses, coriolis effect
4(b)	Vertical homogeneous laterally homogeneous	Tidal currents predominating	Pressure gradients, field accelerations, turbulent shear stresses
5	Exceptional cases: intensive mixing in restricted sections, tributary estuaries, sound, straits etc.		

where  $(D/Dt) = (\partial/\partial t) + [u(\partial/\partial x)] + [v(\partial/\partial y)] + [w(\partial/\partial z)]$ ;  $f$ : Coriolis parameter ( $= 2\omega \sin \phi$ );  $p$ : pressure at  $(x, y, z)$ ;  $\alpha$ : specific volume ( $= 1/\rho$ ),  $\rho$ : density;  $g$ : gravity acceleration;  $\tau_{xy}$ : stress on a plane perpendicular to  $x$ -axis acting in the  $y$ -axis direction.

The equation of continuity of volume is:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

The equation of conservation of salt may be written:

$$\frac{Ds}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x}(K_x \frac{\partial S}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_y \frac{\partial S}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_z \frac{\partial S}{\partial z}) \quad (5)$$

where  $K_x$ ,  $K_y$  and  $K_z$ : coefficients of eddy diffusion in the  $x$ ,  $y$ ,  $z$  directions, respectively. The solution of the estuarine circulation problem would involve solving the equations (1) to (5) in the conditions of typical estuarine zones of the rivers.

When considering on the two-layer flow, components of upper layer expressed with suffix 1 and lower layer with suffix 2, the equation of conservation of volume are expressed (Tamai, 1980):

$$\frac{\partial}{\partial t}(s-h) + \frac{\partial}{\partial x}u_1(s-h) + \frac{\partial}{\partial y}v_1(s-h) = Eq \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(h-b) + \frac{\partial}{\partial x}u_2(h-b) + \frac{\partial}{\partial y}v_2(h-b) = -Eq \quad (7)$$

where  $s$ :  $z$ -coordinate of water surface;  $h$ :  $z$ -coordinate of boundary;  $b$ :  $z$ -coordinate of bottom;  $E$ : entrainment coefficient;  $q$ : absolute of velocity difference of upper and lower layer expressed:

$$q = \begin{cases} +\sqrt{(u_1-u_2)^2 + (v_1-v_2)^2} & \left( \text{when } \sqrt{u_1^2 + v_1^2} > \sqrt{u_2^2 + v_2^2} \right) \\ -\sqrt{(u_1-u_2)^2 + (v_1-v_2)^2} & \left( \text{when } \sqrt{u_1^2 + v_1^2} < \sqrt{u_2^2 + v_2^2} \right) \end{cases} \quad (8)$$

Supposing the water density distribution to be uniform,  $\rho_2$  ( $=\text{const.}$ ) in the lower layer and linear relationship in the upper layer, water density in the upper

layer  $\rho$  is expressed:

$$\rho(z) = \rho_s + (\rho_2 - \rho_s) \frac{s-z}{s-h} \quad (9)$$

where  $\rho_s$ : water density at the surface.

The averaged water density in the upper layer is the average of  $\rho_s$  and  $\rho_2$ . The equation of conservation of mass is only for upper layer because the water density of lower layer to be uniform:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + U_1 \frac{\partial \rho_1}{\partial x} + V_1 \frac{\partial \rho_1}{\partial y} = \frac{K}{s-h} \nabla_h^2 \rho_1 (s-h) + \frac{\rho_2 - \rho_1}{s-h} Eq \quad (10)$$

where  $K$ : horizontal eddy kinematic diffusion coefficient; and

$\nabla_h^2$ : Laplacian in the horizontal plane ( $= \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2$ );

The equations of motion in the upper layer and lower layer presented by Tamai (1980) were complicated and are not shown in this paper.

Okuda (1996) explained basic principles of two-layer flow especially salt wedge and presented an equation for salt wedge length,  $L$ , for the weak mixture condition:

$$L = \frac{H(0.2F^{-2} - 2 + 3F^{2/3} - 1.2F^{4/3})}{2f_i} \quad (11)$$

where  $H$ : water depth average;  $F$ : density (inner) Froude number ( $= u / (\epsilon g H)^{1/2}$ );  $u$ : the average of upper layer velocity;  $\epsilon$ : ratio of density difference ( $= \Delta \rho / \rho$ );  $f_i$ : resistant coefficient of boundary layer.

Festa and Hansen (1976), as cited in Saijo and Okuda (1996), conducted numerical analysis of salinity and velocity distribution in the moderate mixture zones. They defined two-dimensional vertical cross sectional problems and simultaneously analyzed equation of motions and equations of advection and diffusion. In the analysis, they used two parameters:

$$\text{Rayleigh number: } Ra = \beta g (\Delta S_h) H^3 / (A_v K_v) \quad (12)$$

$$\text{Prandtl: } Pr = A_v / K_v \quad (13)$$

where  $\beta$ : salinity density coefficient,  $\rho = \rho_0 (1 + \beta S)$ ;  $\Delta S_n$ : salinity difference between salt water in the river mouth and fresh water in the upper river;  $A_v$ : vertical eddy kinematic viscosity coefficient;  $K_v$ : vertical kinematic diffusion coefficient.

They illustrated some figures showing flow rate and salinity profiles for the longitudinal length of the rivers.

### 3 Some studies on salinity in the estuary estuarine zones of rivers

Gillibrand and Balls (1998) used a one-dimensional salt intrusion model to investigate the hydrography of the Ythan Estuary, Scotland, and found that the model successfully simulated salinity distribution for periods of high and low water. Wang et al. (2004) analyzed residence time of the Danshuei River Estuary, Taiwan, using a laterally integrated two-dimensional hydrodynamic eutrophication model (HEM-2D) and found that relatively short residence time is likely to be one of the limiting factors that result in low phytoplankton biomass in spite of high nutrient concentrations. Liu et al. (2005) enhanced the model with a three-dimensional hydrodynamic model and a water quality model based on the laterally integrated operation substances in the water column.

In regards to more complex estuary model including salinity, the Estuarine, Coastal, and Ocean Model (ECOM), which was used by Blumberg et al. (1999), was based on 1) meteorological data; 2) water level elevation and temperature and salinity fields along the open boundary; and 3) freshwater inflows from 30 rivers, 110 wastewater treatment plants, and 268 point sources from combined sewer overflows (CSO) and surface runoff. They conducted three-dimensional simulations of estuarine circulation in the New York Harbor complex, Long Island Sound, and the New York Bight within the framework of a single grid system. Suzuki and Matsuyama (2000) conducted numerical experiments using a three-dimensional model to explain the wind-induced circulation in Tokyo Bay. The results of the numerical experiments agreed qualitatively with data from both the sea-surface temperature obtained by satellite images and field measurements at moored stations in the bay.

## 4 Methods

### 4.1 Water quality, flow rate and tidal level data

Water quality and flow rate data were obtained from web-site of Funabashi City (2003), Chiba Prefecture, named Funabashi Environmental Map, Ordinary Environment. Every two-hour monitoring for 24 hours has been conducted twice a Japanese fiscal year, from

April to March. These daily monitoring data were used for the analysis in this study. Tidal level data were obtained from the Japan Oceanography Data Center (JODC). Tidal data at Chiba Port collected by the Japan Coast Guard were used for the analysis.

### 4.2 Salinity contour

Salinity contours were illustrated for salinity of upper layer and bottom layer at Yachiyobashi Bridge, nearest to the river mouth of the Ebigawa River. There is a concurrent point about 930 m upstream of Yachiyobashi Bridge, where mainstream of the Ebigawa River and the Nagatsugawa River meet each other. The nearest monitoring points of each river upstream are Fujimibashi Bridge, about 250 m upstream of the concurrent point for Ebigawa River mainstream, and Shinbashi Bridge, about 100 m upstream (from Japanese fiscal year (JFY) 1976 to JFY 1991) and Funabashi Haim about 840 m upstream (from JFY 1992 up to current).

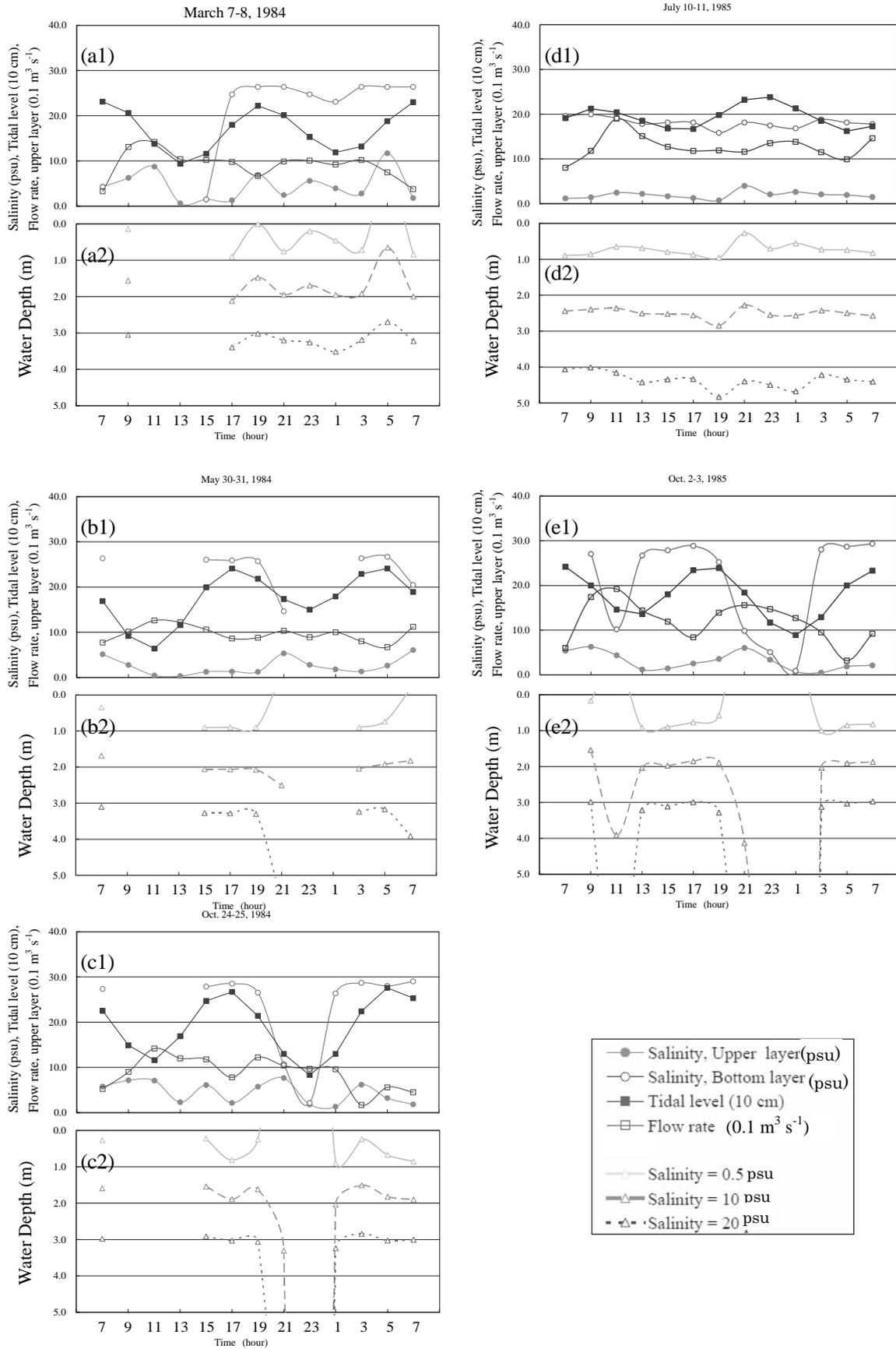
Contour lines for salinity of 0.5, 10 and 20 psu were developed using interpolation and extrapolation methods on the assumption of moderate mixture conditions.

## 5 Results and Discussions

Fig. 3 shows some examples of salinity and flow rate with contour lines of 0.5, 10 and 20 psu at Yachiyobashi Bridge monitoring point, and tidal level of Chiba Port in 24-hour monitoring.

Daily profiles of salinity in upper layer and bottom layer, flow rate, and tidal level on March 7th and 8th, 1984 were illustrated in Fig. 3 (a1). Salinity in upper layer fluctuated from 0.6 to 11.7 psu, and that in bottom layer changed from 0.7 to 26.4 psu. Flow rate of upper layer had its maximum value,  $1.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , in the late morning and its minimum value,  $0.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , in the early morning. Tidal level at Chiba Port changed in the range from 94 to 231 cm. Herath and Musiaka (1994) and Musiaka (2003) pointed out large contribution of anthropogenic wastewater to the flow rate of Ebigawa River reflecting life cycle of ordinary people: larger flow rate in the late morning and evening. During this monitoring period, large contribution of anthropogenic wastewater and influence of tidal level change were supposed to form a peak in the late morning and another peak from the evening to midnight. These fluctuations of anthropogenic water and tidal level might contribute to rather stable flow rate. In the midnight, anthropogenic water amount decreased gradually and tidal level increased after 1:00, therefore, salinity in Fig. 3 (a2) shows salt wedge around 5:00.

On May 30th-31st, 1984, the lowest tidal levels at 11:00 in the morning and at 23:00 at night, and highest tidal levels at 17:00 in the evening and 5:00 in the morning on 31st were observed (Fig. 3 (b1)). This tidal



**Fig. 3.** Salinity, flow rate and tidal level fluctuations in 24-hour monitoring, and contour lines of 0.5, 10 and 20 psu. From (a1) to (e1) are measured data, and from (a2) to (e2) are calculated values.

level fluctuation and anthropogenic water influenced the flow rate: a peak in the morning on 30th, stable from the afternoon to midnight, and decrease in the early morning on the next day. Salinity in the bottom layer is supposed to be low in the morning (some data deficit), had a peak from 15:00 to 19:00, decreased from 21:00, and again had a peak from 3:00 to 5:00. Contour lines show this salinity profile also especially for high concentration period (Fig. 3 (b2)).

On Oct. 24th-25th, 1984, tidal level fluctuation was almost the same as that on May 30th-31st, except for low tide at 23:00, which was much lower than that on May 30th and might cause the relatively large flow rate at 19:00 and lower flow rate at 3:00 and 5:00 (Fig. 3 (c1)). Contour lines of 10 and 20 psu (Fig. 3 (c2)) were almost the same as those on May 30th-31st shown in Fig. 3 (b2).

On July 10th-11th, 1985, tidal range was relatively smaller than those on other days in the figure (Fig. 3 (d 1)). Anthropogenic water influence was supposed to influence much to flow rate, especially for a peak at 11:00. On the contrary, both anthropogenic water and tidal level fluctuation might cause a slight peak at 1:00. Contour lines were rather flat comparing to other four cases shown in Fig. 3, which showed weak mixture was observed on this day.

On Oct. 2nd-3rd, 1985, higher tides were observed at 7:00 and 19:00, and lower tides were observed at 13:00 and 1:00 (Fig. 3 (e1)). Decrease of tidal level and anthropogenic water were supposed to cause low salinity at the bottom layer and a peak of flow rate at 11:00 and another peak from 19:00 to 23:00. Contour lines (Fig. 3 (e2)) reflected the salinity fluctuation especially at the bottom layer shown in Fig. 3 (e1).

The daily profiles of salinity, flow rate, anthropogenic water and tidal level were summarized in Table 3. Profiles of anthropogenic water in the table were derived from Musiaka (2003). In irrigation period, from May to July, agriculture use of groundwater and anthropogenic water including domestic wastewater contributed much to the flow rate of Ebigawa River, and anthropogenic water contributed much in non-irrigation period, from July to April (Musiaka, 2003). In regards to the effect of tidal level fluctuation, tidal fluctuation supposed to cause increase of flow rate during the periods after high tide and before low tide. For the period after low tide and before high tide, flow from the river mouth to upstream increased and might cause decrease of fresh water flow. It might also possible that sea water flow upstream should cause increase of flow rate by increase of bottom layer flow rate to the upstream, and consequently might increase upper layer flow rate at certain point of the stream depending on the upper and lower layer conditions. Therefore, it is worth to investigate these data minutely even though qualitatively.

On March 7th-8th, 1984, shown in Table 3 (a), high peaks of tidal level were on 7:00, 19:00 and 7:00, high peaks of anthropogenic water were supposed around at 13:00 and 1:00. So, it was anticipated that flow rate increase and salinity decrease could be observed around the time of these peaks. The monitoring data showed that flow rate increase and salinity decrease were observed before 13:00 and highest flow rate was observed at 9:00 and 11:00, lowest salinity was observed at 13:00 to 17:00 for the upper layer and at 15:00 for the bottom layer. However, flow rate increase and salinity decrease were not observed around 1:00.

On May 30th-31st, 1984, Table 3 (b), times for lowest tidal level and highest anthropogenic water were coincident, 11:00 and 23:00, when large flow rate and large salinity were anticipated. Flow rate had a peak around 11:00. Around 23:00, flow rate was rather flat or salinity decreased judging from contour lines (Fig. 3 (b 2)) and contour line pattern at 21:00 was "2", which means that contour line of 10 psu was above 5.0 m and 20 psu was below 5.0 m.

On Oct. 24th-25th, 1984, Table 3 (c), times of lowest tidal level were 11:00 and 23:00. Times of largest anthropogenic water were 13:00 and 1:00. The largest flow rate was recorded at 11:00, which might be expected as the effects of lowest tidal level at 11:00 and large anthropogenic water at 13:00. Salinity in the upper layer was largest at 11:00. Fresh water increased around 21:00 and 23:00, and salinity of the bottom layer was lower because of low and large anthropogenic water.

On July 10th-11th, 1985, Table 3 (d), times of lowest tidal level were 17:00 and 5:00. Anthropogenic water was largest at 11:00 and 23:00. Precipitation was recorded for three hours in the morning, July 11th, from 5:00 to 7:00 for each 2 mm/hour, which might cause increase of flow rate. However, Fig. 3 (b) and (e) also show similar increase of flow rate in the morning without precipitation. So, further consideration is necessary for the relationship between precipitation and flow rate. Flow rate was highest at 11:00, when anthropogenic water was high, and tidal level changed from highest to lowest during the period. Flow rate was smallest at 21:00, in the time of tidal level changed from lowest to highest. On the monitoring day, two-layer of salinity was rather clearly observed comparing to other monitored days in Fig. 3. It was observed that weak mixture was formed in these days. Therefore, from 17:00 to 23:00, lowest tide to highest tide, it was expected that upper flow from the river mouth to upstream in the bottom layer existed. Relatively high salinity was observed at 21:00, which might expected some portions of salt water in the bottom layer should enter in to the upper layer. At this time, 21:00, flow rate was lowest, which are considered to be rather quantitatively complicated

**Table 3.** Profiles of tidal level, anthropogenic water, flow rate, salinity and contour lines of salinity for 24-hour monitoring at Yachiyobashi Bridge, Ebigawa River, Chiba Prefecture.

(a) March 7th-8th, 1984														
Time	7	9	11	13	15	17	19	21	23	1	3	5	7	
Tidal level <sup>a</sup>	H	-	-	L	+	+	+	H	-	-	L	+	+	H
Anthropogenic water <sup>b</sup>		-	L	+	+	H	-	-	L	+	+	+	H	-
Flow rate <sup>c</sup>	(L)	+	H		H	-		-	+				-	(L)
Salinity, upper layer <sup>d</sup>		+	+	H	-	L		L	L	+			+	H
Salinity, bottom layer <sup>d</sup>						L	+	H	H	H	H	H	H	H
Contour line pattern <sup>e</sup>	3							3	3	3	3	3	3	3
(b) May 30th-31st, 1984														
Time	7	9	11	13	15	17	19	21	23	1	3	5	7	
Tidal level <sup>a</sup>	H	-	-	L	+	+	+	H	-	-	L	+	+	H
Anthropogenic water <sup>b</sup>	L	+	+	H	-	-	-	L	+	+	H	-	-	-
Flow rate <sup>c</sup>		+	+	H	H	-	-		+	-	+	-	-	L
Salinity, upper layer <sup>d</sup>		-	-	L	L	L	L	L	+	H	-	-	-	L
Salinity, bottom layer <sup>d</sup>						+	H	H	H	-			H	H
Contour line pattern <sup>e</sup>	3			1	3	3	3	3	2			3	3	3
(c) Oct 24th-25th, 1984														
Time	7	9	11	13	15	17	19	21	23	1	3	5	7	
Tidal level <sup>a</sup>	H	-	-	L	+	+	+	H	-	-	L	+	+	H
Anthropogenic water <sup>b</sup>		-	L	+	+	H	-	-	L	+	+	+	H	-
Flow rate <sup>c</sup>		+	+	H	-		-	L	+	-		-	L	+
Salinity, upper layer <sup>d</sup>		+	+	H	-	L	+	H	-	L	+	H	-	-
Salinity, bottom layer <sup>d</sup>						H	H	H	-	-	L	+	H	H
Contour line pattern <sup>e</sup>	3					3	3	3	-	2	1	3	3	3
(d) July 10th-11th, 1985														
Time	7	9	11	13	15	17	19	21	23	1	3	5	7	
Tidal level <sup>a</sup>		+	H	-	-	-	L	+	+	+	H	-	-	L
Anthropogenic water <sup>b</sup>	L	+	+	H	-	-	-	L	+	+	+	H	-	-
Flow rate <sup>c</sup>		+	+	H	-	-	-		L	+	+	H	-	L
Salinity, upper layer <sup>d</sup>									+	H	-			
Salinity, bottom layer <sup>d</sup>			-	-				-	L	+	H	-	-	+
Contour line pattern <sup>e</sup>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
(e) Oct 2nd-3rd, 1985														
Time	7	9	11	13	15	17	19	21	23	1	3	5	7	
Tidal level <sup>a</sup>	H	-	-	-	L	+	+	H	H	-	-	-	L	
Anthropogenic water <sup>b</sup>		-	L	+	+	H	-	-	L	+	+	+	H	
Flow rate <sup>c</sup>		+	+	H	-	-	-	L	+	+	H	-	-	
Salinity, upper layer <sup>d</sup>		+	H	-	-	L	+	+	+	+	H	-	-	
Salinity, bottom layer <sup>d</sup>		+	H	-	L	+	H	H	H	H	-	-	-	
Contour line pattern <sup>e</sup>		3	2	3	3	3	3	3	3	2	1	1	3	

a) H: high tide, L: low tide, -: tidal level decrease, +: tidal level increase;

b) Fluctuation pattern of anthropogenic water flow rate was derived from Musiaki (2003);

c) H: high peak, L: bottom peak, -: decrease, +: increase; (parentheses): end point time in the monitoring period and H or L was supposed from the available data;

d) H: high peak, L: bottom peak, -: decrease, +: increase;

e) 1: both contour lines of 10 and 20 psu are below 5.0 m, 2: contour line of 10 psu is above 5.0 m and 20 psu is below 5.0 m, 3: both contour lines are above 5.0 m.

observation. Another highest flow rate was observed at 1:00, which might be the results of the large anthropogenic water contribution and tidal level change from the highest to the lowest level.

On Oct 2nd-3rd, 1985, Table 3 (e), lowest tidal level and high peak of anthropogenic water observed at the same time at 13:00 and 1:00, which were the same as shown in Table 3 (a) and (b), March 7-8, 1984, and May 30th-31st, 1984, and similar to Table 3 (c), Oct 24th-25th, 1985. Large flow rate at 11:00 was coincidence with tidal level and anthropogenic water, however, another large flow rate at 21:00 was rather not coincidence with these two reasons, anthropogenic water and tidal level. Contour line pattern was “2” at 11:00 in the morning, and at the midnight, “2” at 23:00 and “1” at 1:00 to 3:00, fresh water increased in these times, which might be the results of the tidal level fluctuation and anthropogenic water.

Contour lines analyses shown in Fig. 3, and defining contour line patterns in Table 3 including anthropogenic water effects as a qualitative parameter, could enhance understanding of the flow and salinity patterns in the estuarine zone of a river.

These tendencies of the parameters of the monitored water quality and quantity data could be quantitatively studied in the further research. Some hydrodynamic/hydrologic models are to be established to figure out the flow rate and water quality profiles in the future works.

Supplement data for other monitoring periods, which are not described in the paper are to be available on homepage of ReCCLE, Shimane University.

## 6 Conclusion

As a preliminary study to illustrate water quality and quantity profiles in the estuarine zones of inner-city rivers, salinity, tidal level and flow rate were summarized for the Ebigawa River, Funabashi City, Chiba Prefecture, by use of public water monitoring data. Contour lines analyses, including anthropogenic water effects as a qualitative parameter, and defining contour line patterns could enhance the understanding of the flow and salinity patterns in the estuarine zone of a river. It was qualitatively assured that tidal level fluctuations and anthropogenic water, water related to human activities, are two main reasons of the flow rate of the estuarine zone and its salinity in the river.

## Acknowledgement

The water quality and flow rate data were obtained from the homepage of Funabashi City, Chiba Prefecture. The tidal level data were obtained from the Japan Oceanographic Data Center.

## References

- Blumberg, A. F.; Khan, L. A.; and St. John, J. P. (1999) Three-dimensional hydrodynamic model of New York Harbor Region, ASCE J. Hydraul. Eng. 125, 8, 799–816.
- Bowden, K.F. (1967) Circulation and diffusion, in Lauff, G.H. ed. Estuaries, pp.15–36, American Association for the Advancement of Science, Publication No.83, 757p.
- Cheng, L. W., Liu, S-Y., Hsu, M. H. and Kuo, A. Y. (2005) Water quality modeling to determine minimum instream flow for fish survival in tidal rivers, Journal of Environmental Management, 76, 293–308.
- Festa J. F. and Hansen D. V. (1976), A two dimensional numerical model of estuarine circulation: The effect of alternating depth and river discharge, Estuarine and Coastal Marine Science, Vol.4, 309–323.
- Funabashi City (2006) Funabashi Environmental Map, Ordinary Environment (available at <http://www.city.funabashi.chiba.jp/kankyohozen/envmap/watdata/index.html>, accessed in Feb., 2003) (in Japanese)
- Gillibrand, P. A. and Balls, P.W. (1998) Modeling salt intrusion and nitrate concentrations in the Ythan estuary, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 47, 695–706.
- Hackes, P. (1972) The uncommunicative scientists: the obligation of scientists to explain environment to the public, in William A. Thomas (ed.) (1972) Indicators of environmental quality, Environmental Science Research Series Vo.1, 31–41.
- Herath, S. and Musiake, K. (1994) Simulation of basin scale runoff reduction by infiltration systems, Journal of Water Science and Technology, 29 (4), 267–276. cited in K. Musiake: Résumé for Final Lecture at Institute of Industrial Science, Tokyo University (in Japanese) (available at <http://www.sss.fukushima-u.ac.jp/~musiake/lecture2-1-hp.pdf>, accessed on March 18th, 2006)
- Japan Oceanographic Data Center (JODC) (2006) Tidal level data (available at <http://www.jodc.go.jp/>, accessed on Jan., 2006) (in Japanese)
- Jia Y., Ni, G., Kinouchi, T., Yoshitani, J., Kawahara, Y. and Suetsugi, T. (2001) Study on effects of storm-water detention facilities in an urbanized watershed using a distributed model, Journal of Hydraulic Engineering, 45, 109–114. (in Japanese with English abstract)
- Musiake, K. (2003) Résumé for Final Lecture at Institute of Industrial Science, Tokyo University. (available at <http://www.sss.fukushima-u.ac.jp/~musiake/lecture2-1-hp.pdf>, accessed on March 18th, 2006) (in Japanese)
- Okuda, S. (1996) Chapter 2: Current patterns and salinity distribution in tidal rivers, in Yatsuka Saijo and Setsuo

- Okuda ed. Tidal river: their natural state and human-induced change, Nagoya University Publications, 248 p. (in Japanese)
- Saijo, Y. and Okuda, S. (ed.) (1996) Tidal river: their natural state and human-induced change, 47–83, Nagoya University Publications, 248p. (in Japanese)
- Suzuki, T. and Matsuyama, M. (2000) Numerical experiments on stratified wind-induced circulation in Tokyo Bay, Japan, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50, 17–25.
- Tamai, N. (1980) Chapter 4: Layer-type density flow, *in* Japan Society of Civil Engineers ed. New structures of civil engineering series 22, Hydrology of density flow, pp.127–190, Gihoudou Publications, 260p. (in Japanese)
- Thomas, W. A. (ed.) (1972) Indicators of environmental quality, Environmental Science Research Series Vo.1, Proceedings of a symposium held during AAAS meeting in Philadelphia, Pennsylvania, Dec. 26–31, 1971, 275p.
- Tsuzuki Y. (2004) Proposal of environmental accounting housekeeping (EAH) books of domestic wastewater based on water pollutant loads per capita: a case study of Sanbanze Tidal Coastal Zone, Tokyo Bay, *Journal of Global Environment Engineering*, Vol.10, 187–196.
- U. S. Army Corps of Engineers (2005) Improvements to the Great Lakes - St. Lawrence River, Biohydrological Information Base, In response to Public Law 106–53, Water Resources Development Act of 1999, Section 455(b), John Glenn Great Lakes Basin Program, Great Lakes Biohydrological Information, Appendix J: Information Resources, Modeling and Data Exchange. (available at [http://www.lre.usace.army.mil/\\_kd/Items/actions.cfm?action=ShowItem&item\\_id=4301&destination=ShowItem](http://www.lre.usace.army.mil/_kd/Items/actions.cfm?action=ShowItem&item_id=4301&destination=ShowItem))
- Wang, C.-F., Hsu, M.-H. and Kuo, A. Y. (2004) Residence time of the Danshuei River estuary, Taiwan, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60, 381–393.
- Yamazaki, R., Oka, Y. and Kodera, K. (2005) Estimation of the effects of storage and infiltration facility systems by runoff analysis based on GIS, (available at [http://www.csrc.k.hosei.ac.jp/pdf\\_vol18/vol18\\_20.pdf](http://www.csrc.k.hosei.ac.jp/pdf_vol18/vol18_20.pdf)) (in Japanese with English abstract).

# An attempt of modification of Carlson's trophic state index (TSI) for brackish lakes in Japan

Yoshiaki Tsuzuki<sup>1</sup>

**Abstract:** At the beginning of this study, as the first stage of trophic state index (TSI) related studies for brackish lakes in Japan, existing studies related to Carlson's TSI were briefly reviewed focusing on brackish lakes in Japan. Carlson's TSI and its modified indices had been applied to some brackish lakes in Japan. However, it had been difficult to find an applicable equation for TSI for these brackish lakes in Japan. Theoretically, the water quality of surface layers should be used for TSI, however, the regression coefficient using surface layer water quality data and all layers water quality data were almost the same to the extent of the preliminary analysis based on the existing study. In this study, TSI was applied to brackish lakes in Japan by following two methods. First, some characteristics of a few Japanese brackish lakes were summarized from lake databases to establish TSI for brackish lakes in Japan. However, it was difficult to find an applicable equation for TSI for brackish lakes in Japan. Second, equations to calculate TSI for brackish lakes in Tottori and Shimane Prefectures were tentatively presented after the regression analysis of publicly monitored water quality data. Preparing database of water quality, water quantity and physiographical parameters for the brackish lakes in Japan, and further consideration on the equations of TSI would be needed for better understanding of these parameters.

**Key words:** Carlson's trophic state index (TSI), brackish lake, environmental database, water quality, physiographical parameters

## 1 Introduction

Many kinds of indices to describe the state of lakes have been introduced and applied by for the purpose of lake management (e.g. Asano et al., 1999). These include Carlson's trophic state index (TSI) based on Secchi depth, total phosphorus (TP) and chlorophyll-a (Carlson, 1977) (Table 1) and a lake condition index (LCI) (Uttormark and Wall, 1975). In regards to capability of restoration of lakes, Fulmer and Cooke (1990) investigated some reservoirs in Ohio State and estimated achievable phosphorus concentration in bottom layer of lakes by use of the 25 % values of phosphorus concentration in rivers of most preserved with natural state in the drainage areas. Moreover, they applied hydrologic and demographic data and pollutant load model developed by Canfield and Bachmann (1981), which were based on a database of water quality of 290

natural lakes and 433 artificial lakes in the United States (Asano et al., 1999). Fulmer and Cooke adopted the 25 % values of phosphorus concentration to indicate realistic achievable concentration in the rivers by improving the wastewater treatments. They compared the estimated phosphorus concentration and actual phosphorus concentration, and used Carlson's TSI to indicate the current and predicted states of the reservoirs. They selected four reservoirs with large water quality improvement potential based on largeness of the difference between actual and potential nutrient levels (Fig. 1), in which higher actual nutrition level and lower potential nutrition level were observed.

Uttormark and Hutchins (1978) evaluated the applicability of four input/output models developed by Dillon and Rigler (1974), and Vollenweider (1975, 1976). They discussed on the land based pollutant loads reduction effects for the lakes using the input/output

<sup>1</sup> Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan. E-mail: ytsuzuki@soc.shimane-u.ac.jp

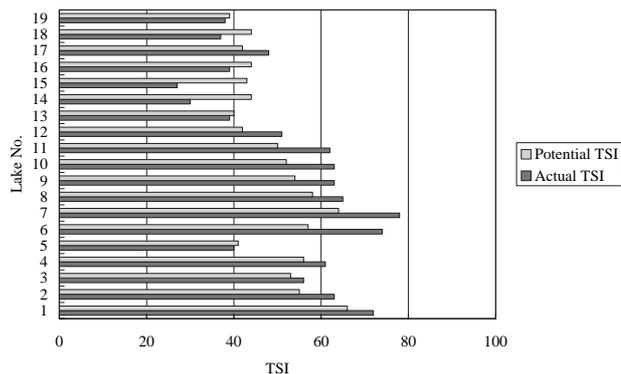
**Table 1.** Carlson's trophic state index (TSI) based on Secchi depth, total phosphorus (TP) and chlorophyll-a. (Carlson, 1977)

TSI	Secchi depth† (m)	T-P ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Chlorophyll-a ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
0	64	1	0.04
10	32	2	0.12
20	16	4	0.34
30	8	8	0.94
40	4	16	2.6
50	2	32	6.4
60	1	65	20
70	0.5	130	56
80	0.25	260	154
90	0.12	519	427
100	0.06	1032	1183

models e.g. mean depth versus  $L(1-R) / \rho$  (where  $L$ : specific area phosphorus loading,  $\text{ML}^{-2}\text{T}^{-1}$ ,  $R$ : phosphorus retention coefficient (-) ( $= (P_{\text{in}} - P_{\text{out}}) / P_{\text{in}}$ ),  $\rho$ : flushing rate, ( $= Q / V$ ,  $Q$ : annual water flow rate,  $\text{L}^3\text{T}^{-1}$ ,  $V$ : lake volume,  $\text{L}^3$ ),  $z\rho$  (where  $z$ : mean depth,  $L$ ) versus  $L$ , residence time versus averaged inflow phosphorus concentration, and flushing rate versus biomass expressed as phosphorus. They evaluated the effectiveness of Carlson's TSI calculated from Secchi depth and LCI (Uttormark and Wall, 1975). They evaluated the effectiveness of these models and indices and pointed out the necessity of their further developments.

Recent studies related to TSI for brackish or lagoon environments, simulation models and their results were discussed to state the trophic conditions of water bodies. Marques et al. (2003) introduced exergy-based indices, the exergy index and specific exergy as ecological indicators (orientors) to exhibit the state of the ecosystem in the Mondego estuarine ecosystem, Portugal, and they found that a more conservative river management would be effective for the restoration of the affected areas. Canu et al. (2003) analyzed the relationships of water quality and quantity parameters including the velocity fields of water, water temperature fields, the dynamics of phytoplankton, zooplankton, nutrients (ammonia, nitrate and phosphate), organic detritus (organic nitrogen, organic phosphorous and carbonaceous biological oxygen demand (CBOD)) and dissolved oxygen using a Finite Element Ecological Model for the Lagoon of Venice (VELFEEM) for the Lagoon of Venice ecosystems, Italy. They used an aggregate index of Water Quality Trophic Index (TRIX) to describe the state of water quality.

In Japan, National Institute of Environmental Studies has conducted accumulative research works on lake



**Fig. 1.** Current and achievable nutrient conditions in 19 lakes in Ohio State with Carlson's trophic state index (TSI). (TSI < 40: oligotrophic, TSI > 50: eutrophic) (after Fulmer, and Cooke, 1990)

management from late 1970s. Otsuki et al. (1981) applied the Carlson's TSI to 24 Japanese lakes and Aizaki et al. (1981a) modified Carlson's TSI to use for the Japanese freshwater lakes. Amano et al. (1991) investigated water quality characteristics of lakes in Japan using modified TSI developed by Aizaki et al. (1981a).

There were over 260 papers cited in Scopus (<http://www.scopus.com>) search with the words "trophic state index", however, there was no result by adding "brackish", but a dozen of results was found by adding "salt", of which one-fifth papers were related to medical field, and twenty results were found by adding "salinity" at the end of March, 2006. Therefore, the author concluded that TSI-related research in the fields of brackish or salt water is not so advanced yet.

The aims of this study are to briefly summarize the studies related to TSI especially studies in Japan and to apply the concepts of TSI to some Japanese lakes, especially brackish lakes including Lakes Shinji and Nakaumi to improve the understanding of the water quality indices especially for the brackish lakes.

## 2 Studies related to the TSI (trophic state index) in Japan

Otsuki et al. (1981) found applicability of Carlson's TSI to 24 lakes in Japan based on the publicly monitored water quality data. Aizaki et al. (1981a) also applied the Carlson's TSI to the Japanese lakes and made modification of the parameters for fresh water lakes. Table 2 shows the modified TSI and its associated parameters. Because of less correlation between the associate parameters for six brackish lakes (Supplement Table 1), they concluded that further investigation would be necessary to establish a TSI for brackish lakes. Better correlations of total nitrogen (TN) with other parameters than total phosphorus (TP) suggested that nitrogen was a

**Table 2.** Trophic state index (TSI) and its associated parameters for freshwater lakes in Japan. (Aizaki et al., 1981a)

TSI	Chl.-a <sup>a</sup> μg l <sup>-1</sup>	Secchi <sup>b</sup> m	T-P μg l <sup>-1</sup>	SS mg l <sup>-1</sup>	POC mg l <sup>-1</sup>	PON μg l <sup>-1</sup>	T-N mg l <sup>-1</sup>	COD mg l <sup>-1</sup>	Total bac. <sup>c</sup> No. ml <sup>-1</sup>
0	0.10	48	0.4	0.04	0.02	3	0.010	0.06	4.2×10 <sup>4</sup>
10	0.26	27	0.9	0.09	0.05	6	0.020	0.12	8.3×10 <sup>4</sup>
20	0.66	15	2.0	0.23	0.10	13	0.040	0.24	1.6×10 <sup>5</sup>
30	1.6	8.0	4.6	0.55	0.21	29	0.079	0.48	3.2×10 <sup>5</sup>
40	4.1	4.4	10	1.3	0.44	62	0.16	0.94	6.4×10 <sup>5</sup>
50	10	2.4	23	2.1	0.92	130	0.31	1.8	1.3×10 <sup>6</sup>
60	26	1.3	50	7.7	1.9	290	0.65	3.6	2.5×10 <sup>6</sup>
70	64	0.73	110	19	4.1	620	1.2	7.1	4.9×10 <sup>6</sup>
80	160	0.40	250	45	8.6	1340	2.3	14	9.6×10 <sup>6</sup>
90	400	0.22	555	108	18	2900	4.6	27	1.9×10 <sup>7</sup>
100	1000	0.12	1230	260	38	6500	9.1	54	3.8×10 <sup>7</sup>

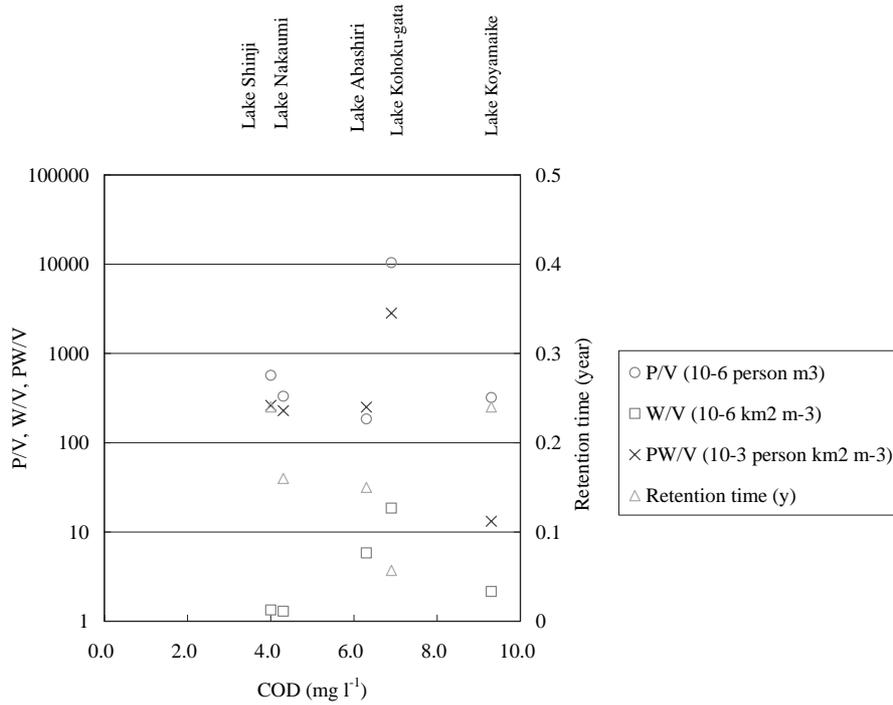
a: Chlorophyll-a; b: Secchi disk transparency; c: Total bacteria.

limiting nutrient in these brackish lakes. Goda (1981) examined the correlation of some physiographical indices to chemical oxygen demand (COD) as an eutrophication index for 26 lakes in Japan. The examined indices were W/V, river basin area per water volume of lakes, P/V, contributing population per water volume of lakes, and PW/V by plotting these indices versus averaged COD. He found the number of highly eutrophicated lakes were more restricted and their plots on the graphs of PW/V versus averaged COD were isolated further from other mesotrophic or oligotrophic lakes than in the graphs of P/V and W/V versus averaged COD. Tai et al. (1981) investigated species and generic entropy to describe the state of algal community in the Japanese lakes and found that the relative entropy, the ratio of entropy for aquatic samples to the maximum entropy, held promise for the studies of eutrophication of lakes. Aizaki et al. (1981b) made a comparative study of outdoor experimental ponds and a part of an actual lake in Japan in regards to phosphorus loading and TP concentration versus chlorophyll-a, POC and PON. They found the similarity of experimental ponds and the actual lake in regards to the relationships between these parameters. They also pointed out the importance of retention time in the lakes for the relationship between the concentration of phosphorus and chlorophyll-a. Kawai et al. (1981) investigated in vivo fluorescence measurement of chlorophyll-a and ascertained the photoinhibition, and they also found that the photoenhancement and longer period pH fluctuation attributed to the algal succession.

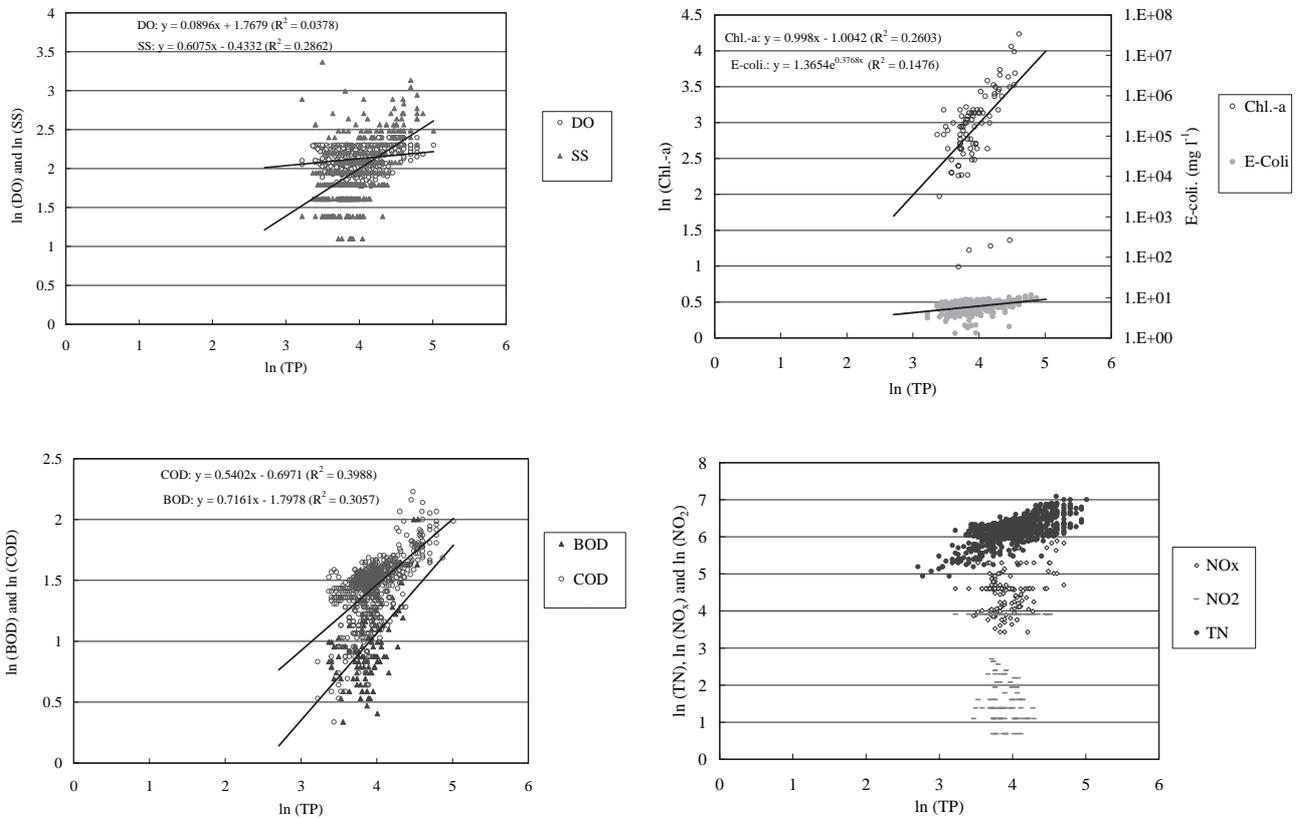
Amano et al. (1991) investigated water quality data of 197 monitoring points in 113 lakes in Japan from 1978 to 1988 focusing on COD and categorized the lakes in

Japan into four categories: (I) environmental quality standards (EQS) achieved, (II) easy to achieve EQS, only one or two years of excess COD EQS, (III) hard to accomplish EQS, more than three years of excess COD EQS and the averaged COD was under twice of the COD EQS, and (IV) hard to achieve EQS for a long time, all year excess of COD EQS and the averaged COD was more than twice of the COD EQS. They divided land based COD and internally produced COD, and compared to TSI calculated from TP, TSI (TP), and average of internally produced COD from 1985 to 1988 (Supplement Fig. 1). The correlations were reported as relatively high especially for the lakes with phosphorus as a limiting nutrient source and the relationships were almost the same as those reported by Aizaki et al. (1981 a). Based on the results of frequency distribution of TSI calculated from chlorophyll-a, TSI (Chl), based on the three groups of environmental standard zoning, AA, A and "B and C" (B and C were categorized into one group in their study), and four categories from (I) to (IV) described above, respectively, the following conclusions had been obtained. The numbers of the monitoring points with TSI (Chl) of more than or equal to 50 were relatively large for the lakes of the environmental standard zoning of A and "B and C", and category (III) and (IV). (Supplement Fig. 2 and 3).

Amano et al. (1981) further analyzed maximum permissive pollutant loads to accomplish EQS using Vollenweider model with phosphorus as a limiting nutrient (Fukushima et al. 1986). In this model, the following assumptions were hypothesized: 1) lakes were completely mixed, 2) calculation conditions were steady state and annually averaged conditions, and 3) input loading to lake was equal to the differences of pollutant



**Fig. 2.** Annual average COD (1980 or 1978) versus physiological parameters of five Japanese brackish lakes. (prepared by the author based on Otsuki et al., 1981)



**Fig. 3.** Correlation relationships between TP and other water quality parameters, DO, SS, Chl.-a, BOD, COD, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> and TN for brackish lakes in Shimane and Tottori Prefectures (log scale).

**Table 3.** Physiographical parameters and indices of five brackish lakes in Japan. (modified by the author after Goda, 1981)

Brackish lake	Catchment area	Water volume	Mean depth	Surface area	Population	W/V	P/V	COD (1980) <sup>a</sup>	Retention time	PW/V
	W (km <sup>2</sup> )	V (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	H (m)	A (km <sup>2</sup> )	P (10 <sup>3</sup> preson)	(10 <sup>-6</sup> km <sup>2</sup> m <sup>-3</sup> )	(10 <sup>-6</sup> person m <sup>3</sup> )	(mg l <sup>-1</sup> )	(y)	(10 <sup>-3</sup> person km <sup>2</sup> m <sup>-3</sup> )
Lake Abashiri	1357	233	7.2	32.5	43.1	5.824	185	6.3	0.150	251
Lake Kahoku-gata	272	14.7	1.8	8.2	152.8	18.503	10395	6.9	0.057	2827
Lake Koyamaike	41	19	2.8	6.8	6.1	2.158	321	9.3	0.240	13
Lake Nakaumi	690	533	5.5	96.9	176.7	1.295	332	4.3	0.160	229
Lake Shinji	460	344	4.2	81.8	195.7	1.337	569	4.0	0.240	262

a: Observed value of 1978, average of 75 % value for Lakes Kohoku-gata, Nakaumi and Shinji.

load inflow and outflow. Basic functions of the model are:

$$P_j = \frac{L \cdot (1 - R)}{q_s} = P_i \cdot (1 - R) \quad (1)$$

$$R = \frac{v}{v + q_s} \quad (2)$$

where  $P_j$ : average concentration in the lake ( $\text{g m}^{-3}$ ),  $L$ : pollutant loads per lake areas ( $\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$ ),  $q_s$ : water inflow ( $\text{m}^3 \text{y}^{-1}$ ),  $P_i$ : average concentration of inflow ( $\text{g m}^{-3}$ ),  $R$ : accumulation rate (-),  $v$ : apparent settling velocity ( $\text{m y}^{-1}$ ).

Eq. (2) is similar to have been presented by Chapra (1975). To estimate maximum permissible TP loads,  $P_i$  was calculated by eq. (1).  $P_j$  was determined by environmental standards zoning and TSI (COD) (Supplement Table 2). Pollutant loads and water inflow were derived from the Environmental Agency (1983). Apparent settling velocity was supposed to  $20 \text{ m y}^{-1}$ . Actual pollutant loads and maximum permissible pollutant loads for TP and COD were calculated for 83 lakes in Japan (Fig. 3). In regards to lakes in category (III) and (IV), they concluded that internally produced COD were relatively larger because land based nutrients highly exceeded the acceptable levels. Lakes Shinji and Nakaumi were classified into category (III).

### 3 Application of the TSI to some brackish lakes in Japan including Lakes Shinji and Nakaumi

#### 3.1 Current TSI of some brackish lakes in Japan

In this section, firstly the results of the studies by National Institute of Environmental Science in 1981 including physiographical parameter (Goda, 1981) and Carlson's index modified by Aizaki et al. (1981a) were summarized and adopted to some brackish lakes in Japan. Aizaki et al. (1981a) concluded that the modified Carlson's TSI were applicable to fresh water lakes in Japan, but for the brackish lakes in Japan. In this study, the same kinds of modification were applied using available brackish lakes data in Japan. Secondly, TSI and pollutant loads were summarized based on the methods

used by Amano et al. (1991).

#### (1) Physiographical parameters

Goda (1981) investigated 26 Japanese lakes including five brackish lakes on physiographical parameters and COD in the lakes. Table 3 and Fig. 2 show the relationships for five brackish lakes, Lakes Abashiri, Kohoku-gata, Koyamaike, Nakaumi and Shinji. He investigated 26 freshwater and brackish lakes and distinguished between hypertrophic lakes and special eutrophic lakes from other oligotrophic and mesotrophic lakes. Lake Kohoku-gata was considered as hypertrophic lake and Lakes Koyamaike and Abashiri were classified as specially eutrophic lakes based on the index, PW/V. COD was used as a parameter for eutrophication, because of the lack of parameters to indicate directly the conditions of eutrophication (Goda 1981). He stated the importance of mean depth of the lakes and showed that almost all W/V of the lakes with mean depth less than 10 m were larger than 1.0, and W/V of all the lakes with mean depth more than 10 m were less than 1.0. Moreover, COD of the latter were less than  $3.0 \text{ mg l}^{-1}$ . Considering the brackish lakes in Fig. 2, W/V and PW/V can be reasonable parameters to some extent to explain COD in the Lakes Shinji, Nakaumi, Abashiri and Kohoku-gata, however, it is a little difficult to find good parameters to explain COD for Lake Koyamaike which was known as a lake with large organic carbon pollutant loads.

#### (2) Carlson's TSI modification

Carlson (1977) used Secchi disk transparency as a major parameter for TSI, however, Aizaki et al. (1981a) pointed out that light diminishment coefficient of phytoplankton was not so large as those of dissolved materials or suspended materials and transparency did not depend so much on phytoplankton concentration. The authors concluded that chlorophyll-a, which indicated phytoplankton mass more directly than transparency, would be a better parameter for TSI. Walker (1979) proposed chlorophyll-a as a parameter for TSI and defined chlorophyll-a  $0.25 \text{ mg m}^{-3}$  as TSI 0, TSI increases 10 when chlorophyll-a increases twice. Aizaki et al. (1981a) considered on light diminishment in the water and reasonable maximum concentration of

chlorophyll-a in lake water, defined chlorophyll-a concentration of 1000 mg m<sup>-3</sup> as TSI 100, and chlorophyll-a concentration of 0.1 mg m<sup>-3</sup> as TSI 0.

$$TSI(100) = 10 \times \left( a + \frac{\ln 1000}{\ln b} \right) \quad (1)$$

$$TSI(0) = 10 \times \left( a + \frac{\ln 0.1}{\ln b} \right) \quad (2)$$

From the above equations, they calculated  $a$  is 2.46 and  $b$  is 2.5, therefore, TSI (Chl) was defined for freshwater lakes in Japan:

$$TSI(Chl) = 10 \times \left( 2.46 + \frac{\ln(Chl)}{\ln 2.5} \right) \quad (3)$$

They investigated water quality of 24 freshwater lakes and six brackish water lakes in Japan from 1977 to 1980, and found the following relationship for only freshwater lakes in Japan:

$$\ln(Chl) = 3.69 - 1.53 \ln(SD) \quad (r^2 = 0.96) \quad (4)$$

where SD: Secchi disk transparency (m).

$$\ln(Chl) = 6.71 + 1.15 \ln(TP) \quad (r^2 = 0.90) \quad (5)$$

where TP: total phosphorus (mg l<sup>-1</sup>).

By use of equations (3) and (4), and (3) and (5), they proposed the equations to calculate TSI from SD and TP:

$$TSI(SD) = 10 \times \left( 2.46 + \frac{3.69 - 1.53 \ln(SD)}{\ln 2.5} \right) \quad (6)$$

$$TSI(TP) = 10 \times \left( 2.46 + \frac{6.71 + 1.15 \ln(SD)}{\ln 2.5} \right) \quad (7)$$

Moreover, they found good correlations between other water quality parameters and TSI (Chl). When TSI (Chl) increased 10, SD increased 1.8 times, TP 2.2 times, SS (suspended solid) 2.4 times, POC (particulate organic carbon) 2.1 times, PON (particulate organic nitrogen) 2.2 times, TN (total nitrogen) 2.0 times, COD 2.0 times and total bacteria 2.0 times. They also found 2.5 times of transparency that was equal to euphotic zone depth (Table 2). On the contrary, in the brackish lakes, a good correlation was observed only between chlorophyll-a and transparency ( $r > 0.800$ ), however, correlations between TP and other parameters were considered as weak ( $r < 0.800$ ) (Table 3). They concluded that the application of TSI for brackish lakes was more difficult.

The water quality data of some brackish lake were added to the data of Aizaki et al. (1981a) and the same kind of analysis was conducted in this study. These brackish lakes were selected from the major lakes list of Geographical Survey Institute, Japan (2006) and their water quality data were obtained from the International Lake Environment Committee. The number of brackish lakes in the former list was 24, and water quality data were available only for four brackish lakes in the latter

database, Lakes Shinji, Hamana, Ogawara and Saroma. Regression coefficient of water quality data were calculated (Table 5) based on the collected data (Table 4). Water quality data for surface layer were used for four brackish lakes from the International Lake Environment Committee. In this study, weak correlations were also observed between water quality data of the brackish lakes. Further study would be necessary for applicability of Carlson's TSI like indices to brackish lakes in Japan. Calculation was conducted with all layers average data for four lakes from the International Lake Environment Committee (Table 6). The results showed that the tendency of the regression coefficient was almost the same as those shown in Table 5. Phytoplankton grow in the surface layers with light intensity, therefore, water quality parameters in the surface layers should be used.

### 3.2 Water quality data analysis for brackish lakes in Tottori and Shimane Prefectures

Correlation relationships were analyzed using publicly monitored water quality data (Ministry of the Environment, 2006; Shimane Prefecture, 2006; Tottori Prefecture, 2006) using SPSS® statistic analysis software. Annual average data from 1980 to 2003 were base of the dataset for the analysis. Some chlorophyll-a data were added from Shimane Prefecture (2006) and Tottori Prefecture (2006). Table 7 shows the regression coefficients, significance probability and number of data used for each calculation of regression coefficient of water quality parameters expressed as natural log scale. Correlation coefficient of TP and chlorophyll-a was the largest, 0.766. Besides this combination, combinations with absolute valued of correlation coefficient larger than 0.500 were observed for seven combinations, TP and BOD, TP and COD, TP and chlorophyll-a (Chl), NO<sub>x</sub> and SS, NO<sub>2</sub> and SS, DO and *E.coli*, and DO and TN. There were more combinations with significant relationships as indicated in Table 7.

Fig. 3 shows the correlation relationships between TP and other water quality parameters. The numbers of combinations with correlation coefficients larger than 0.600 in regards to a parameter with the other parameters were, three for COD, and two for TP, SS and TN. TP was selected as a key parameter of Fig. 3.

The relationship between TSI and TP in Table 8 was expressed as the following equation:

$$TSI_{BL}(TP) = 12.458 \cdot \ln(TP) + 11.264 \quad (8)$$

where TSI<sub>BL</sub> is trophic state index for brackish lakes.

By use of eq. (8) and relationships between TP and other water quality parameters, Chl.a, BOD, COD and TN, relationships between TSI<sub>BL</sub> and these water quality parameters were expressed as the following equations.

$$TSI_{BL}(Chl.a) = 12.458 \cdot \frac{\ln(Chl.a) + 1.0042}{0.998} + 11.264 \quad (9)$$

**Table 4.** Water quality parameters of surface layers for some brackish lakes in Japan.

Brackish lakes	Chl.a <sup>a</sup> μg l <sup>-1</sup>	Secchi <sup>b</sup> m	T-P mg l <sup>-1</sup>	SS mg l <sup>-1</sup>	POC mg l <sup>-1</sup>	PON μg l <sup>-1</sup>	T-N mg l <sup>-1</sup>	COD mg l <sup>-1</sup>	Total bac. <sup>c</sup> No. ml <sup>-1</sup>
L. Hamana <sup>d</sup>	25.0	1.6	0.044	36.2	2.1	370	0.457	13.3	5.7×10 <sup>6</sup>
L. Inohana <sup>d</sup>	23.0	2.1	0.056	39.5	2.2	350	0.775	9.6	4.5×10 <sup>6</sup>
L. Suigetsu <sup>d</sup>	8.3	2.5	0.580	7.8	1.7	210	0.215	1.8	3.0×10 <sup>6</sup>
L. Suga <sup>d</sup>	6.7	2.4	0.350	4.3	0.94	120	0.129	1.9	2.4×10 <sup>6</sup>
L. Kuguchi <sup>d</sup>	9.5	1.7	0.027	8.8	1.5	195	0.200	2.1	3.0×10 <sup>6</sup>
L. Hyuga <sup>d</sup>	3.7	4.0	0.026	18.0	0.65	67	0.117	7.5	n.a.
L. Shinji <sup>e</sup>	19.2	1.2	0.042	6.2	n.a.	n.a.	0.49	4.0	n.a.
L. Hamana <sup>f</sup>	18.4	3.1	0.034	n.a.	n.a.	n.a.	0.43	1.7	n.a.
L. Ogawara <sup>g</sup>	7.4	3.6	0.021	2.0	n.a.	n.a.	0.68	2.8	n.a.
L. Saroma <sup>h</sup>	n.a.	5.8	0.018	2.3	n.a.	n.a.	0.13	1.7	n.a.

a: Chlorophyll-a; b: Secchi disk transparency; c: Total bacteria; d: Aizaki et al. (1981a); e: 1985; f: 1984; g: 1985-86; h: 1978-79; e-h: International Lake Environment Committee, n.a.: not available.

**Table 5.** Square of regression coefficient of water quality parameters of surface layer for some brackish lakes in Japan exhibited in Table 4.

	Chl.a <sup>a</sup>	Secchi <sup>b</sup>	T-P	SS	POC	PON	T-N	COD
Secchi <sup>b</sup>	-0.453							
T-P	-0.389	-0.166						
SS	0.684	-0.359	-0.226					
POC	0.887 *	-0.751	-0.073	0.666				
PON	0.970 *	-0.734	-0.214	0.783	0.971 *			
T-N	0.643	-0.344	-0.344	0.492	0.829 *	0.861 *		
COD	0.421	-0.316	-0.308	0.927 *	0.469	0.639	0.408	
Total bac. <sup>c</sup>	0.967 *	-0.635	-0.579	0.921 *	0.850 *	0.959 *	0.725	0.981 *

a: Chlorophyll-a; b: Secchi disk transparency; c: Total bacteria.

The regression coefficient more than or equal to 0.800 are indicated by asterisk.

**Table 6.** Square of regression coefficient of water quality parameters for brackish lakes in Japan. Water quality of some lakes are the averages of all layers instead of the average of surface layer in Table 5.

	Chl.a <sup>a</sup>	Secchi <sup>b</sup>	T-P	SS	POC	PON	T-N	COD
Secchi <sup>b</sup>	-0.605							
T-P	-0.351	-0.165						
SS	0.725	-0.360	-0.231					
POC	0.887 *	-0.751	-0.073	0.666				
PON	0.970 *	-0.734	-0.214	0.783	0.971 *			
T-N	0.630	-0.338	-0.342	0.465	0.829 *	0.861 *		
COD	0.584	-0.312	-0.308	0.928 *	0.469	0.639	0.391	
Total bac. <sup>c</sup>	0.967 *	-0.635	-0.579	0.921 *	0.850 *	0.959 *	0.725	0.981 *

a: Chlorophyll-a; b: Secchi disk transparency; c: Total bacteria.

The regression coefficient more than or equal to 0.800 are indicated by asterisk.

**Table 7.** Regression coefficients, significance probability and number of data used for each calculation of regression coefficient for the brackish lakes in Shimane and Tottori Prefectures

	ln(TP)	ln(NO <sub>x</sub> )	ln(NO <sub>2</sub> )	ln(TN)	ln(BOD)	ln(COD)	ln(Chl.a)	ln(SS)	ln(E-coli.)
ln(NO <sub>x</sub> )	0.039								
ln(NO <sub>2</sub> )	-0.013	0.469 **							
ln(TN)	0.005	-0.114	-0.345 **						
ln(BOD)	-0.501 **	-0.131 *	-0.082	-0.464 **					
ln(COD)	-0.535 **	-0.472 **	-0.415 **	-0.308 **	0.331 **				
ln(Chl.a)	0.766 **	0.216 **	-0.076	0.013	-0.386 **	-0.468 **			
ln(SS)	-0.494 **	-0.526 **	-0.508 **	-0.023	-0.027	0.499 **	-0.381 **		
ln(E-coli.)	-0.199 **	-0.291 **	-0.477 **	0.515 **	-0.458 **	-0.124 **	-0.236 **	0.250 **	
ln(DO)	-0.171 **	-0.073	0.261 **	-0.620 **	0.412 **	-0.140 **	-0.134 *	-0.333 **	-0.585 **

\*\* The correlation is significant with 1% significant level (both sides).

\* The correlation is significant with 5% significant level (both sides).

**Table 8.** TSI (trophic state index) tentatively calculated based on TP for brackish lakes in Shimane and Tottori Prefectures

TSI	TP μg l <sup>-1</sup>	DO mg l <sup>-1</sup>	SS mg l <sup>-1</sup>	Chl.a <sup>a</sup> μg l <sup>-1</sup>	E-coli. No. ml <sup>-1</sup>	BOD mg l <sup>-1</sup>	COD mg l <sup>-1</sup>	TN μg l <sup>-1</sup>	NO <sub>x</sub> μg l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> μg l <sup>-1</sup>
0	0.4	5.4	0.4	0.1	4.4E-03	0.1	0.3	35	4.5	4.6
10	0.9	5.8	0.6	0.3	3.2E-02	0.2	0.5	54	7.4	5.4
20	2.0	6.2	1.0	0.7	2.3E-01	0.3	0.7	83	12	6.2
30	4.6	6.7	1.6	1.6	1.7E+00	0.5	1.1	128	20	7.2
40	10	7.2	2.6	3.7	1.2E+01	0.9	1.7	197	34	8.4
50	23	7.7	4.3	8.2	8.6E+01	1.5	2.7	303	57	9.7
60	50	8.3	7.0	18.2	6.2E+02	2.7	4.1	467	94	11.2
70	110	8.9	11.4	40.5	4.5E+03	4.8	6.4	720	157	13.0
80	250	9.6	18.5	90.2	3.3E+04	8.6	9.8	1111	260	15.1
90	555	10.3	30.2	201.0	2.3E+05	15.3	15.1	1712	433	17.5
100	1230	11.1	49.1	447.8	1.7E+06	27.2	23.4	2639	719	20.2

$$TSI_{BL}(BOD) = 12.458 \cdot \frac{\ln(BOD) + 1.7978}{0.5402} + 11.264 \quad (10)$$

$$TSI_{BL}(COD) = 12.458 \cdot \frac{\ln(COD) + 0.9671}{0.5402} + 11.264 \quad (11)$$

$$TSI_{BL}(TN) = 12.458 \cdot \frac{\ln(TN) - 4.0382}{0.5391} + 11.264 \quad (12)$$

TSI for brackish lakes in Shimane and Tottori Prefectures were tentatively calculated using the relationship between TSI and TP for freshwater lakes in Japan (Aizaki et al., 1981a), and the correlation relationships of TP and other water quality parameters (Table 8).

### 3.3 Fulmer and Cooke's application of TSI to the brackish lakes in Japan

At the planning stage of this study, capabilities of restoration of Japanese brackish lakes were planned to be analyzed using the analytical methods by Fulmer and Cooke (1990) in this section. The author intended to prepare TSI for the brackish lakes in Japan and to make comparison with natural state. However, it was not able to complete analyses for the equations to indicate TSI for the brackish lakes in Japan. Therefore, Fulmer and Cooke's application to brackish lakes in Japan is to be studied further.

## 4 Conclusion

Studies related to Carlson's trophic state index (TSI) were briefly reviewed focusing on brackish lakes in Japan. Carlson's TSI and its modified indices were applied to some brackish lakes in Japan by two different methods. Firstly, it was difficult to find an applicable equation for TSI for brackish lakes in Japan in accordance with the existing studies. Theoretically, water

quality of surface layer should be used for TSI, however, the regression coefficient using surface layer water quality and all layers water quality were almost the same to the extent of the analysis in this study. Secondly, equations to calculate TSI for brackish lakes in Tottori and Shimane Prefectures were tentatively presented after the regression analysis of publicly monitored water quality data.

Preparing database of water quality, water quantity and physiological parameters for the brackish lakes in Japan, and further consideration on the equations of TSI would be needed for better understanding of these parameters and water quality improvement in the lakes.

Supplement Tables and Figures will be available at ReCCLE homepage.

## Acknowledgement

Some data for the analysis were obtained from the Geographical Survey Institute, Japan and the International Lake Environment Committee, Ministry of the Environments, and Tottori and Shimane Prefectures. Comments from Prof. Dr. Hidenobu Kunii, Director, Research Center for Coastal Lagoon Environments (ReCCLE), Shimane University, and anonymous reviewers, and language proof editing by Dr. Farque Ahmed, Visiting Researcher at ReCCLE, Shimane University, to the former version of this paper further improved the quality of the paper.

## References

- Aizaki, M., Otsuki, A., Fukushima, T., Kawai, T., Hosomi M. and Muraoka, K. (1981a) Application of modified Carlson's Trophic State Index to Japanese lakes and its relationships to other parameters related to trophic state., Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud.,

- No.23, 13–31. (in Japanese)
- Aizaki, M., Otsuki A. and Kawai, T. (1981b) Relationship between nutrients loading and phytoplankton standing crop in outdoor experimental ponds., *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud.*, No.23, 63–88. (in Japanese)
- Amano, K., Fukushima, T., Aizaki, M. and Naito, M. (1991) COD criteria, their achievements and water quality characteristics in lakes in Japan., *in* M. Aizaki ed. Proceedings of 4th Symposium on Aquatic Carrying Capacity and its Application, 3–39, Jan. 8th, 1992, 81p. (in Japanese)
- Asano, T., Ohgaki, S. and Watanabe, Y. (ed.), K. Amano, H. Tanaka and J. Yoshitani (translated) (1999) Chapter 4: Lakes, *in* Restoration of aquatic ecosystems: science, technology, and public policy., 77–175., *translated from* National Resource Council (1992) Restoration of aquatic ecosystems: science, technology, and public policy., 590p. (in Japanese)
- Carlson, R.E. (1977) A trophic state index for lakes., *Limnol. Oceanogr.*, 22, 361–369.
- Canfield, D.E. and Bachmann, R.W. (1981) Prediction of total phosphorus concentration, chlorophyll-a, and secchi depths in natural and artificial lakes, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38, 414–423.
- Canu, D. M., Solidoro, C. and Umgiesser, G. (2003) Modeling the response of the Lagoon of Venice ecosystem to variations in physical forcings, *Ecological Modeling*, 170, 265–289.
- Chapra, S. C. (1975) Comment on 'An empirical method of estimating the retention of phosphorus in lakes' by W. B. Kirchner and P. J. Dillon, *Water Resource Research*, 11 (6) 1033–1034.
- Dillon, P. J. and Rigler, F. H. (1974) A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentrations in lake water., *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 31, 1771–1778., *cited in* Uttormark, P.D. and L.M. Hutchins (1978) Input/output models as decision criteria for lake restoration. *WIS WRC 78–03*. 61 p.
- Environmental Agency (1983) Survey report on countermeasures against eutrophication in lakes in 1982. *cited in* Amano, K., T. Fukushima, M. Aizaki and M. Naito (1991) COD criteria, their achievements and water quality characteristics in lakes in Japan., *in* M. Aizaki ed. Proceedings of 4th Symposium on Aquatic Carrying Capacity and its Application, 3–39, Jan. 8th, 1992, 81p. (in Japanese)
- Fukushima, T., Amano, K. and Muraoka, K. (1986) Simple prediction model for water quality in lakes 1: Some characteristics of drainage areas of lakes and nutrient concentrations in lakes, *Water pollution research*, 9, 586–595. *cited in* Amano, K., T. Fukushima, M. Aizaki and M. Naito (1991) COD criteria, their achievements and water quality characteristics in lakes in Japan., *in* M. Aizaki ed. Proceedings of 4th Symposium on Aquatic Carrying Capacity and its Application, 3–39, Jan. 8th, 1992, 81 p. (in Japanese)
- Fulmer, D. G. and Cooke, G. D. (1990) Evaluating the restoration potential of Ohio reservoirs., *Lake and Reservoir Manage.*, 6, 197–206.
- Geographical Survey Institute, Japan (2006) Major lakes in Japan, Atlas of Lakes in Japan, (available on <http://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/KOSYO/kosyo.html>, accessed on March 29th, 2006) (in Japanese)
- Goda, T. (1981) Mutual correlation of lake eutrophication indexes and the significance of physiographical properties., *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud.*, No.23, 33–48. (in Japanese)
- International Lake Environment Committee (2006) World Lake Database (available on <http://www.ilec.or.jp/eg/index.html>, accessed on March 29th, 2006)
- Kawai, T., Otsuki, A., Aizaki, M., Miyai, H. and Takahashi, M. (1981) Continuous measurements of in vivo fluorescence of chlorophyll-a, pH, solar radiation and other factors using algal growth in out door experimental ponds., *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud.*, No.23, 89–102. (in Japanese)
- Marques, J. C., Nielsen, S. N., Pardal, M. A. and Jørgensen, S. E. (2003) Impact of eutrophication and river management within a framework of ecosystem theories, *Ecological Modeling*, 166, 147–168.
- Ministry of the Environment, Japan (2006) Water quality monitoring data. (available at <http://mizu.nies.go.jp/mizu/download/download.asp>) (in Japanese)
- Otsuki, A., Aizaki, M., Kawai, T. and Fukushima, T. (1981) Application of Carlson's Trophic State Index to Japanese lakes., *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud.*, No.23, 3–12. (in Japanese)
- Shimane Prefecture (2006) Water quality monitoring data.
- Tai, S., Sudo, R. and Goda, T. (1981) Evaluation of trophic state in lake by entropy of information theory., *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud.*, No.23, 49–61. (in Japanese)
- Tottori Prefecture (2006) Water quality monitoring data.
- Uttormark, P.D. & Wall, J.P. (1975): "Lake classification -a trophic characterization of Wisconsin lakes.-" US EPA, Covallis. *Res. Lab. Rep. No. EPA 660/3-75-033*. *cited in* Uttormark, P.D. and L.M. Hutchins (1978) Input/output models as decision criteria for lake restoration. *WIS WRC 78–03*. 61 p.
- Uttormark, P.D. and Hutchins, L.M. (1978) Input/output models as decision criteria for lake restoration. *WIS WRC 78–03*. 61 p. (WRIL 230789) (Accessed on <http://wri.wisc.edu/Publications/70-79pub.html>)
- Vollenweider, R. A. (1975) Input-output models with special reference to the phosphorus loading concept in

- limnology., *Schweiz. Z. Hydrol.*, 37, 53–83. *cited in* Uttormark, P.D. and L.M. Hutchins (1978) Input/output models as decision criteria for lake restoration. WIS WRC 78–03. 61 p.
- Vollenweider, R. A. (1976) Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication, *Mem., Ist., Ital., Idrobiol.*, 33, 53–83. *cited in* Uttormark, P.D. and L.M. Hutchins (1978) Input/output models as decision criteria for lake restoration. WIS WRC 78–03. 61 p.

## 鹿児島県上甕島浦内湾の現生底生有孔虫群

高田裕行<sup>1</sup>・入月俊明<sup>2</sup>・石田 桂<sup>3</sup>

### Living benthic foraminifera from Urauchi Bay, Kamikoshiki-jima Island, Kagoshima Prefecture, southern Japan

Hiroyuki Takata<sup>1</sup>, Toshiaki Irizuki<sup>2</sup> and Katsura Ishida<sup>3</sup>

**Abstract:** The distribution of benthic foraminifera in Urauchi Bay was investigated to learn bay foraminiferal occurrence along the eastern part of the East China Sea. *Ammonia* sp. A, *Ammonia beccarii* forma 2, *Pseudorotalia gaimardii compressiuscula*, *Pseudononion japonicum*, *Nouria textulariformis*, *Frusenkoina compactiformis* and *Nummulites ammonides* are common constituents of the living (stained) foraminiferal assemblages in Urauchi Bay. These faunal associations are similar to those of Kagoshima and Tanabe Bays. *Ammonia* sp. A and *A. beccarii* forma 2 occur in the shallows of the inner parts of the bay, whereas *P. gaimardii compressiuscula* is common in the deep part of the middle to the outer parts of the bay.

**Key words:** Urauchi Bay, benthic foraminifera, *Ammonia* spp.

#### はじめに

鹿児島県薩摩川内市の上甕島の浦内湾は、東シナ海東部に位置する内湾水域のひとつである。東シナ海東部は日本海へ向かう黒潮の分枝の影響を受ける水域である。このような暖流の影響を受けた温暖な内湾水域に生息する現生底生有孔虫については、鹿児島湾 (Oki, 1989) や和歌山県の田辺湾 (Chiji and Lopez, 1969) など、検討されている。一方で、東シナ海東部の内湾水域における底生有孔虫の研究は、有明海などの閉鎖性の強い水域の事例が多い (たとえば, Akimoto *et al.*, 2002)。浦内湾における底生有孔虫の産状は、東シナ海東部の開放的な内湾水域に生息する底生有孔虫の産状を理解するのに、有用と考えられる。そこで、本論では、1) 浦内湾における底質環境の特徴を有機物の元素分析をもとに検討

し、2) 同水域における現生底生有孔虫群の特徴を考察した結果について、報告する。

#### 調査水域と研究方法

浦内湾は、鹿児島県上甕島の北西部に位置する Y 字型をした内湾である (図 1)。奥行きは約 4.5 km で、湾口部の幅は約 1.2 km である。湾の北部に小規模な河川が流入するものの、大きな流入河川はない。湾内の水深は、大半の水域で水深 20~25 m 前後であり、湾口部へ向けて深くなる (水深約 45 m)。同水域における底層水の塩分はおおむね 32 psu 前後であり、底層水の酸素飽和度は 70~90% である (Irizuki *et al.*, 2006)。湾内の底質については、大半の地点で泥~泥質細粒砂からなるが、湾の奥部の底質は、細れき質の中~粗粒砂 (UU-1, 2) や淘汰の悪い中粒砂

<sup>1</sup> Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan.

<sup>2</sup> Department of Geosciences, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan.

<sup>3</sup> Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University, 3-1-1 Asahi, Matsumoto 390-8621, Japan.

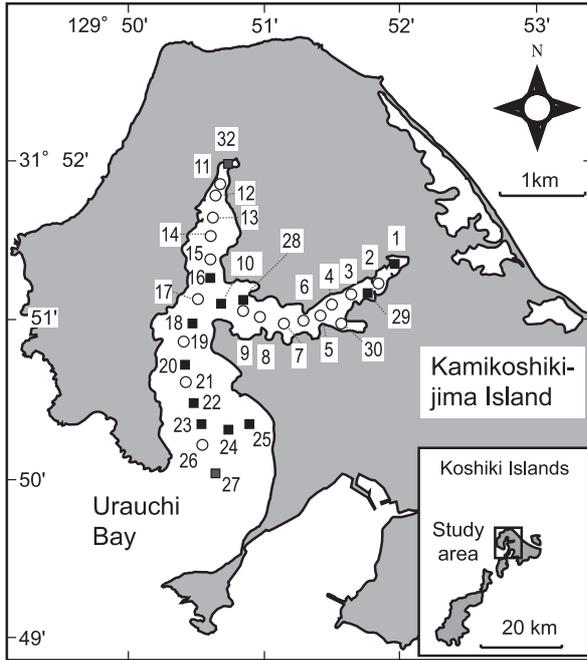


図1. 調査水域の地図と表層堆積物の採取地点 (白丸：底生有孔虫と堆積物中の有機物を分析した地点；黒四角：堆積物中の有機物を分析した地点)。

**Fig. 1.** Map of the study area; showing sampling localities (open circle: samples using foraminiferal and geochemical analysis; filled square: samples using geochemical analysis).

(UU-11) からなる。また、湾口部の底質は、淘汰のよい中粒砂 (UU-24~26) や粗粒砂 (UU-27) からなる。

2004年11月6~7日にかけて野外調査を行い、調査水域内の30地点より、エクマン・バージ式採泥器を用いて表層堆積物試料を採取した (図1)。これらの表層堆積物の表層約1 cmを、貝形虫・有孔虫分析用試料として分取し、10%中性緩衝ホルマリンを添加して保存した。また、有機物の元素分析用試料として、表層堆積物の表層数 mmを同時に採取し、冷凍保存した。このほか、湾北部の水深1 m未満の浅い地点 (UU-31, 32) でも、同様な手順で試料を採取した。

有機物の元素分析に用いた試料 (30試料) は、恒温乾燥器にて約40℃で乾燥させた後、メノウ乳鉢を用いて粉碎した。再び乾燥させた試料を、目安として10 mgとなるように秤量し、銀製固体用コンテナに分取した。これらの試料から炭酸塩に含まれる無機炭素を除去するために、110℃に設定したホットプレート上で、試料に1 mol/lの塩酸を適量滴下して、反応・乾燥させた。これらを、錫製固体用コンテナに封入し、分析用試料とした。これらの試料

表1. 浦内湾表層堆積物の採取水深、全有機炭素量 (TOC)・全窒素量 (TN)・全イオウ量 (TS), C/N比, 含泥率

**Table 1.** Water depth and total organic carbon, total nitrogen and total sulfur contents, C/N ratio and mud content of surface sediments of Urauchi Bay

Station	Depth (m)	TOC (%)	TN (%)	TS (%)	C/N ratio	Mud content (%) *
1	1.8	0.44	0.08	0.05	5.56	9.48
2	3.7	0.43	0.05	0.07	8.45	9.26
3	11.0	0.90	0.11	0.10	8.50	37.27
4	14.1	0.53	0.06	0.12	8.35	23.47
5	22.0	0.89	0.10	0.05	9.02	61.22
6	23.7	1.10	0.12	0.14	9.53	78.32
7	26.5	0.90	0.11	0.09	8.54	87.12
8	27.3	1.04	0.12	0.06	8.71	95.20
9	27.7	0.88	0.09	0.14	9.30	93.32
10	28.1	0.84	0.09	0.12	8.88	84.60
11	3.9	0.44	0.04	0.09	10.07	9.71
12	11.4	0.54	0.06	0.09	9.35	25.80
13	18.7	0.55	0.06	0.07	8.93	44.07
14	22.8	0.69	0.09	0.13	8.06	59.31
15	28.8	0.83	0.09	0.12	9.27	76.51
16	28.3	0.76	0.09	0.12	8.90	75.44
17	30.6	0.77	0.10	0.06	7.94	71.28
18	28.2	0.56	0.07	0.13	8.37	43.39
19	29.0	0.54	0.07	0.06	7.76	46.17
20	27.9	0.53	0.07	0.10	7.79	38.88
21	28.0	0.55	0.07	0.13	7.55	-
22	28.5	0.59	0.08	0.07	7.81	44.66
23	29.0	0.55	0.07	0.08	7.70	21.32
24	15.2	0.39	0.05	0.14	7.85	5.22
25	8.5	0.28	0.04	0.13	6.45	3.14
26	29.6	0.40	0.05	0.10	7.52	15.41
27	28.9	0.27	0.05	0.09	5.87	2.42
28	27.0	0.66	0.07	0.15	8.88	63.61
29	10.0	0.77	0.09	0.16	8.30	16.99
30	10.0	0.80	0.09	0.13	9.00	60.58
32	0.3	0.98	0.10	0.11	10.15	-

\* Irizuki et al. (2006)

を、島根大学汽水域研究センターに設置されているFISON社製CHNS元素分析器E.A. 1108を用いて、分析した。各試料の全有機炭素量・全窒素量・全イオウ量を、標準試料としてBBOT (2, 5-bis- (5-tert-butyl-benzoxanzol-2 yl)-thiophen)を用いることで、定量した。

有孔虫の検討には、Irizuki et al. (2006)が貝形虫を解析した試料と同一のものを用いた。これらは、粒径63 μm以上の画分について、ローズベンガル法による生体染色が行われたものである。本論で解析した試料は、図1に示す18試料である。これらの試料の検鏡用残査を、簡易試料分割器を用いて適宜分割し、底生有孔虫の生体 (染色) 個体を実体顕微鏡下で拾い出して、同定・計数した。

## 結果と考察

浦内湾における表層堆積物の全有機炭素量 (TOC)・全窒素量 (TN)・全イオウ量 (TS), 全有機炭素量と全窒素量の比 (C/N比) の分析結果を、表1に示す。TOCとTNは、湾央~湾奥部で高く、湾口部へ低くなる傾向がある。それらは含泥率と逆相関

(ともに  $r = -0.86$ ) を示すことから、本水域における TOC と TN の分布は、有機物の珪質粗粒碎屑物による希釈を反映すると考えられる。また、TS は 0.05 ~ 0.16% と低い値をとる。このような低い TS は、底層水の溶存酸素レベルが比較的高いことを、反映していると思われる。C/N 比は 5.56 ~ 10.15 にわたり、湾内の多くの地点で 7 ~ 9 の値を取るが、湾北部の浅所 (UU-11, 32) では 10 以上と高い。一般に、プランクトン起源と陸上高等植物起源の有機物の C/N 比は、それぞれ 6 前後、15 以上とされている (たとえば、Müller, 1977; 中井ほか, 1982)。そのため、浦内湾の底質中の有機物は、プランクトン起源のものが主体と考えられるが、湾北部では小規模な河川の流入によって、陸起源有機物の寄与が若干高くなっていると思われる。

底生有孔虫は、検討した 18 試料すべてで、生体 (染色) 個体の産出が認められたが、産出個体数が 100 個に満たない地点が多い (表 2)。底生有孔虫優占種の種構成は、水域によって異なり、湾奥部 (UU-3, 11) および湾内の支湾 (UU-26) では、*Ammonia beccarii* (Linné) forma 2, *Ammonia* sp. A, *Nauria textulariformis* Hada, *Pseudononion japonicum* Asano が多産する。なお、湾内の北部と東部で、種構成の相違は、とくに認められなかった。また、湾口部 (UU-30) では *Nummulites ammonoides* (Gronovius) が卓越する。それ以外の地点では *P. japonicum*, *Pseudorotalia gaimardii compressiuscula* (Brady), *N. textulariformis*, *Fursenkoina compactiformis* (McCulloch) が多産し、地点によって *Lagenammina* sp. A, *Eratidus?* sp. A が随伴する。これらの種の大部分は、鹿兒島湾 (Oki, 1989) や田辺湾 (和歌山県) (Chiji and Lopez, 1969) からのものである。これらの種は、鹿兒島湾では優占種となっていないが、その理由としては、Oki (1989) が鹿兒島湾の調査で対象とした深度 (水深 23 ~ 225 m) が、本研究のもの (水深 1.8 ~ 29.6 m) と比べて一般的に深いことによると考えられる。一方、他の内湾水域の研究事例と比較すると、有機物に富んだ底質環境を特徴づける *Ammonia beccarii* (Linné) forma 1 や *Trochammina hadai* Uchio の産出に乏しく、開放的な沿岸の浅海帯にも多い種である *P. gaimardii compressiuscula* や *P. japonicum* が多い (Matoba, 1970; 秋元・長谷川, 1989)。こうした特徴は、浦内湾に、水の密度成層や栄養塩の運搬による生物生産を促す大きな流入河川がないことに加え、湾内の水の溶存酸素レベルが高いことから、底質における有機物負荷が低いとめと考えられる。

日本の内湾水域で普遍的な 4 種の平面分布と深度分布を、図 2 に示す。*Ammonia* sp. A と *A. beccarii* forma 2 は湾の北部・東部の浅部で多い傾向がある。それに対して、*P. gaimardii compressiuscula* は、水深 20 m 以深の地点のみ産出する。*P. japonicum* は湾奥部と湾中部の一部で多産するが、とくに明瞭な深度分布は示さない。以上のように、*Ammonia* spp. は他の種と比べて、その多産が湾奥部の浅い深度に限られている。よって、これらの種は、湾奥部での生活を好むものと考えられる。Chiji and Lopez (1969) は田辺湾での現生底生有孔虫の検討から、*Ammonia beccarii tepida* (Cushman) (本論の *Ammonia* sp. A に相当すると思われる) を、温暖な内湾水域に特徴的な種とみなしている。一方で、彼らは本種が底層水の塩素量 19.11‰ (塩分にして 34.52 psu に相当) を下回る地点で多いことを、示唆している。しかし、今回の検討で、*Ammonia* sp. A や *A. beccarii* forma 2 の産状と塩分との間に明瞭な関係は、認められなかった。また、一般に沿岸潟湖や内湾域で底生有孔虫の分布に影響を及ぼす表層堆積物の含泥率 (粒度組成) や TOC・TS, C/N 比 (有機物の由来) との関連も、認められなかった。今回、比較に用いた水質・底質の観測結果は、調査時のものに限られている。そのため、浦内湾の底生有孔虫の産状について、他の季節の水質・底質の観測結果と比較して、さらなる検討を行うことは、今後の課題である。

## 謝 辞

島根大学総合理工学部地球資源環境学科の三瓶良和教授には、有機物の元素分析に多大なご協力をいただいた。海洋研究開発機構 地球内部変動研究センターの坂井三郎博士には、大型有孔虫の同定についてご教示いただいた。なお、本研究では日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 「九州から琉球弧の古地理の変遷に関連した貝形虫 (甲殻類) の進化古生物学的研究」 (研究代表者 入月俊明, 課題番号 15540451), および基盤研究 (C) 「新生代後期の対馬・朝鮮海峡の開閉に伴う貝形虫の分散・消滅・進化に関する研究」 (研究代表者 入月俊明, 課題番号 17540442) の一部を用いた。以上の方々に、心よりあつくお礼申し上げます。

## 引用文献

秋元和實・長谷川四郎 (1989) 日本近海における現生

表 2. 浦内湾より産出した底生有孔虫生体 (染色) 個体の産出表  
**Table 2.** Occurrence of living (stained) benthic foraminifera from Urauchi Bay

	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	17	19	21	26	30
<i>Ammonia beccarii</i> (Linne) forma 1	2																	
<i>Ammonia beccarii</i> (Linne) forma 2	2	7		1		4		1	8		4	1	1					
<i>Ammonia japonica</i> Hada				1		6	4				1	3	3		3	5		
<i>Ammonia</i> sp. A	4	15	11		1	7		6	21	4	3			1		1	3	13
<i>Amphistegina radiata</i> (Fichtel and Moll)				1	1													1
<i>Bolivina</i> cf. <i>gullinata</i> Egger															1	7		
<i>Bolivina robusta</i> Brady	1	9	3	1	1	8	6			5	3	4	4	2	1		1	2
<i>Bolivina semicostata</i> Cushman						1				1				2	3	1	2	
<i>Bolivina</i> sp. A		1												1				
<i>Bolivina</i> sp. B		1																
<i>Bolivina</i> sp. C			1															
<i>Bolivina</i> sp. indet.				1		1			3	2					1		1	
<i>Brizalina canvallaria</i> (Millett)							1		1	2						1		
<i>Brizalina pacifica</i> (Cushman and McCulloch)						1						1						
<i>Brizalina seminuda</i> (Cushman)		4	3	7	2	9			1	5	2	1	4	2	3		2	2
<i>Brizalina striatula</i> (Cushman)		4		6		7	7	12					3	2	2	6		
<i>Bulimina marginata</i> d'Orbigny	4	4	2	8	6	6			8	1		2	5	1		1		3
<i>Buliminella elegantissima</i> (d'Orbigny)	2																	
<i>Cancris auriculus</i> (Fichtel and Moll)		2	1	14	8	4	10	3			1	1		5	3			
<i>Cassidulina</i> sp.		2		1		1			1						1			
<i>Cellanthus claticulatus</i> (Fichtel and Moll)		1	1							1								2
<i>Cibicides lobatulus</i> (Walker and Jacob)				1														
<i>Cibicides subdepressus</i> Asano			1															
<i>Cyclogyra planorbis</i> (Schultze)		4							2									1
<i>Elphidium advenum</i> (Cushman)													1			1		
<i>Elphidium crispum</i> (Linne)		2																
<i>Elphidium jenseni</i> (Cushman)			1															
<i>Elphidium kusiroense</i> Asano									1									
<i>Elphidium reticulosum</i> Cushman										1	1		1					
<i>Elphidium subincertum</i> Asano									6									
<i>Elphidium</i> sp. A									1									
<i>Elphidium</i> sp. indet.		2		1														2
<i>Eratidus?</i> sp. A		13		5	2	15	3	8		6		7	3	1	1	5		
<i>Fissurina</i> spp.					1	1			1				1					1
<i>Frusenkoina compactiformis</i> (McCulloch)		4	4	7	6	14		5	2	3	2	6	8	3	1	1		1
<i>Glabratella</i> sp. A			1		1				2									
<i>Glabratella</i> sp. B														1				
<i>Globocassidulina</i> sp.						1												
<i>Guttulina</i> spp.																		2
<i>Gyroidinoides</i> sp. A		2	1	1		1	1								4	1		
<i>Gyroidinoides</i> sp. indet.			3	3	4	4		4	1			1	1		1	2		1
<i>Hanzawaia nipponica</i> Asano			2		1					1	1			1				
<i>Haplophragmoides</i> sp.			2															
<i>Hyalinea balthica</i> (Schröter)			1															
<i>Lagena</i> spp.		1					1											
<i>Lagenammia</i> sp. A		13		3	11	5			3	11	5	1	2	2		2	2	
<i>Loxostomina limbatum</i> (Brady)				3		3	2				1				3	4		
<i>Massilina inaequaris</i> Cushman																		1
<i>Miliolinella</i> sp. A	5		1			2												
<i>Miliolinella</i> sp. B									1									
<i>Nonionella stella</i> Cushman and Moyer		1				5	1		1			1	1	1				
<i>Nouria textulariformis</i> Hada	1	1	5	83	53	51	31	21		14	22	10	68	39	14	23	1	6
<i>Nouria</i> sp. A		1	4	2							2		1	2				

底生有孔虫の深度分布—古水深尺度の確立に向けて—。地質学論集, 32: 229–240.

Akimoto, K., Matsui, C., Shimokawa, A. and Furukawa, K. (2002) Atlas of Holocene benthic foraminifera of Shimabara Bay, Kyushu, Southwest Japan. The Kagoshima University Museum Monographs, 2: 1–111.

Chiji, M. and Lopez, S. M. (1969) Regional foraminiferal assemblages in Tanabe Bay, Kii Peninsula, Central Japan. Publication of the Seto Marine Biological Laboratory, 16: 85–125.

Irizuki, T., Takata, H. and Ishida, K. (2006) Recent Ostracoda from Urauchi Bay, Kamikoshiki-jima Island, Kagoshima Prefecture, southwestern Japan.

表 2. 続き  
Table 2. continued

	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	17	19	21	26	30
<i>Nummulites ammonoides</i> (Gronovius)				1						7						3	71	
<i>Patellina corrugata</i> Williamson						1												
<i>Planocassidulina</i> sp.						1									1			
<i>Planorbulina medditaranensis</i>																1		
<i>Pseudononion japonicum</i> Asano	2	12	15	23	7	24	23	8	17	19	3	6	3	4	17	18		31
<i>Pseudononion</i> sp. A		3				6			4	1								
<i>Pseudoparrella naraensis</i> Kuwano		1			1								3					
<i>Pseudoparrella tamana</i> Kuwano		1					1			1	2		1		1	1		1
<i>Pseudorotalia gaimardii compressiuscula</i> (Brady)				8	18	8	10	4				4	7	4	18			1
<i>Pyrgo</i> sp. A																		1
<i>Pyrgo</i> sp. B																		1
<i>Quinqueloculina akneriana</i> d'Orbigny									1									
<i>Quinqueloculina arenata</i> Said									5	1								
<i>Quinqueloculina elongata</i> Natland		2	2			3	3				1			1				2
<i>Quinqueloculina lamarkiana</i> d'Orbigny				1			1											
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linne)								2										
<i>Quinqueloculina</i> sp. A		2				4												
<i>Quinqueloculina</i> sp. B	2														1			
<i>Quinqueloculina</i> sp. indet.												1						1
<i>Rectobolivina raphana</i> (Paker and Jones)															2			
<i>Rectobolivina?</i> sp.									1									
<i>Reophax scorpius</i> Monfort					1		1	1					2		1	2	2	
<i>Reophax</i> sp. A						3							1			1		
<i>Reophax</i> sp. B						4												
<i>Reophax</i> sp. C		2							3	2								1
<i>Reophax</i> sp. indet.								1			2		1					
<i>Reusella aculeata</i> Cushman									1							1		
<i>Reusella pacifica</i> Cushman and McCulloch				1													1	
<i>Rosalina</i> sp. indet.		2				2				1				1				
<i>Spilocullina communis</i> Cushman and Todd		1		1						2								
<i>Spilocullina laevigata</i> Cushman and Todd		2																
<i>Spiroplectammina</i> sp. A	4																	
<i>Spiroplectammina</i> sp. indet.		1																
<i>Spiroplectinella saikaidensis</i> Akimoto			2			1				1								
<i>Stilostomella</i> sp.			1								1							
<i>Textularia</i> sp. A					1													
<i>Textularia</i> sp. B	1																	
<i>Textularia</i> sp. C					1													
<i>Textularia</i> sp. D									6									
<i>Textularia</i> sp. E																		1
<i>Textularia</i> sp. indet.			2						3	1								
<i>Trochammina pacifica</i> Cushman									3									
<i>Uvigerinella glabra</i> (Millet)	1	1			1	4	2		3	2	1							1
<i>Uvigerina vadeszens</i> Cushman			2			2					1	2						
<i>Valvulineria hamanaoensis</i> (Ishiwada)			1										1					
Agg. For am. gen. et sp. indet.									4		1			1				
Calc. Porcelaneous Foram. gen. et sp. indet.	1	7	3	3	3	2			4	4		4			2			
Calc. Hyaline Foram. gen. et sp. indet.		1				3	3			1	2		2			2		
Total	11	38	28	38	33	67	45	16	55	43	14	17	21	11	43	29	78	37
Sample weight (g)	11.66	2.10	7.35	6.48	7.15	6.09	8.21	7.88	5.37	5.96	6.61	5.00	5.42	4.69	6.47	-	6.58	6.79

LAGUNA, 13: 13–28.

Matoba, Y. (1970) Distribution of recent shallow water foraminifera of Matsushima Bay, Miyagi Prefecture, Northeast Japan. Science Reports of Tohoku University, ser. 2, Geology, 42: 4–85.

Müller, P. J. (1977) C/N ratio in Pacific deep-sea sediments; Effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. Geochimica et Cosmochimica acta, 41: 765–776.

中井信之・太田友子・藤澤寛・吉田正夫(1982)堆積物コアの炭素同位体比・C/N比およびFeS<sub>2</sub>含有量からみた名古屋港周辺の古気候, 海水準変動. 第四紀研究, 21: 169–177.

Oki, K. (1989) Ecological analysis of benthonic foraminifera in Kagoshima Bay, South Kyushu, Japan. South Pacific Study, 10: 1–191.

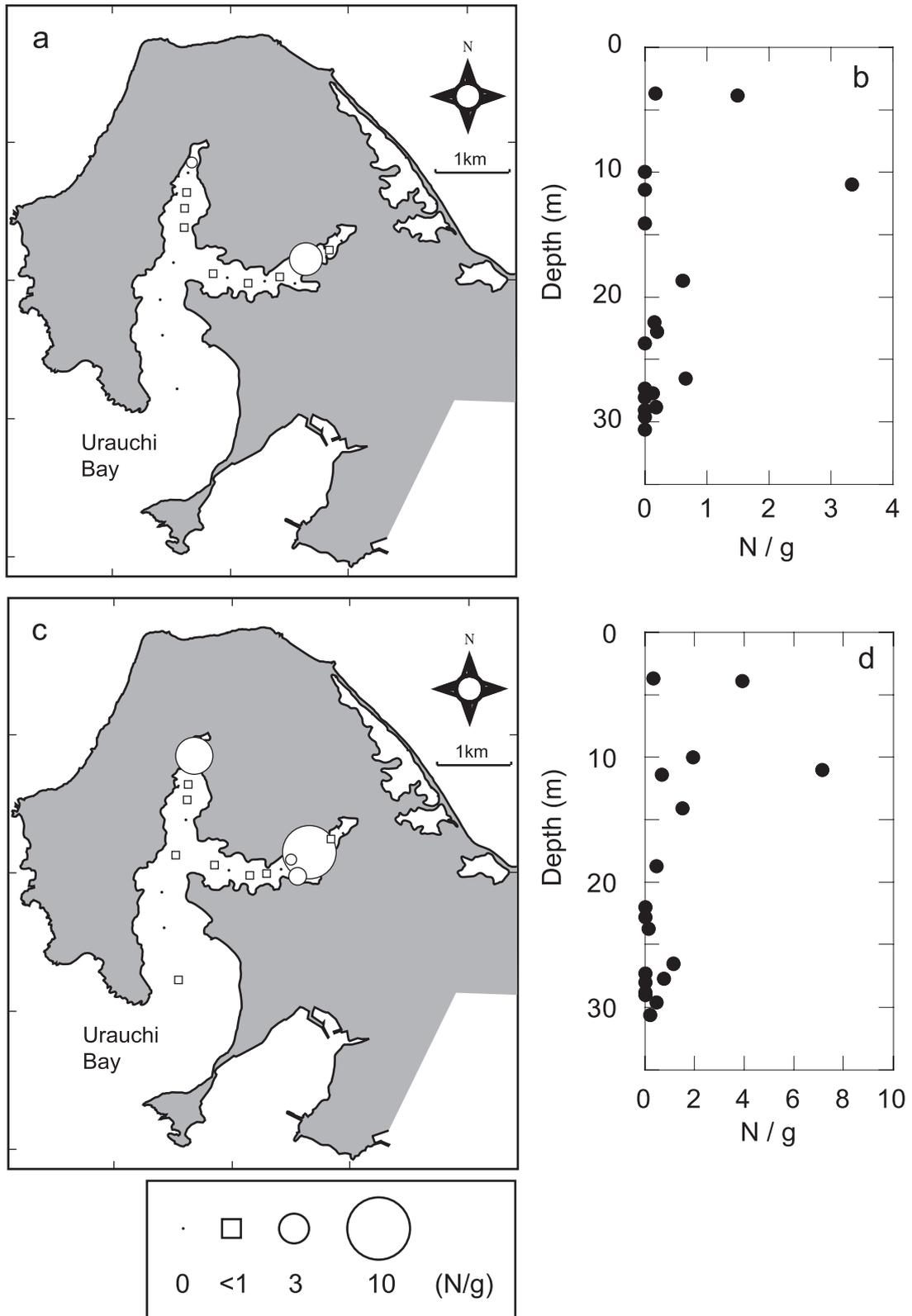


図2. 底生有孔虫4種の生体(染色)個体の平面・深度分布. UU-21のみは, 堆積物試料の乾燥重量が未計測なため, 産出/無産出を平面分布の図(a, c, e, g)にそれぞれ黒三角と点で示す.

**Fig. 2.** Geographic and vertical distribution of living (stained) abundance per unit weight of four foraminiferal species. Presence or absence of these species at station UU-21 was shown by filled triangle or dot in diagrams (a, c, e and g), respectively, because dry sample weight at this station was not measured.

(a, b) *Ammonia beccarii* forma 2, (c, d) *Ammonia* sp. A, (e, f) *Pseudorotalia gaimardii compressiuscula* and (g, h) *Pseudononion japonicum*.

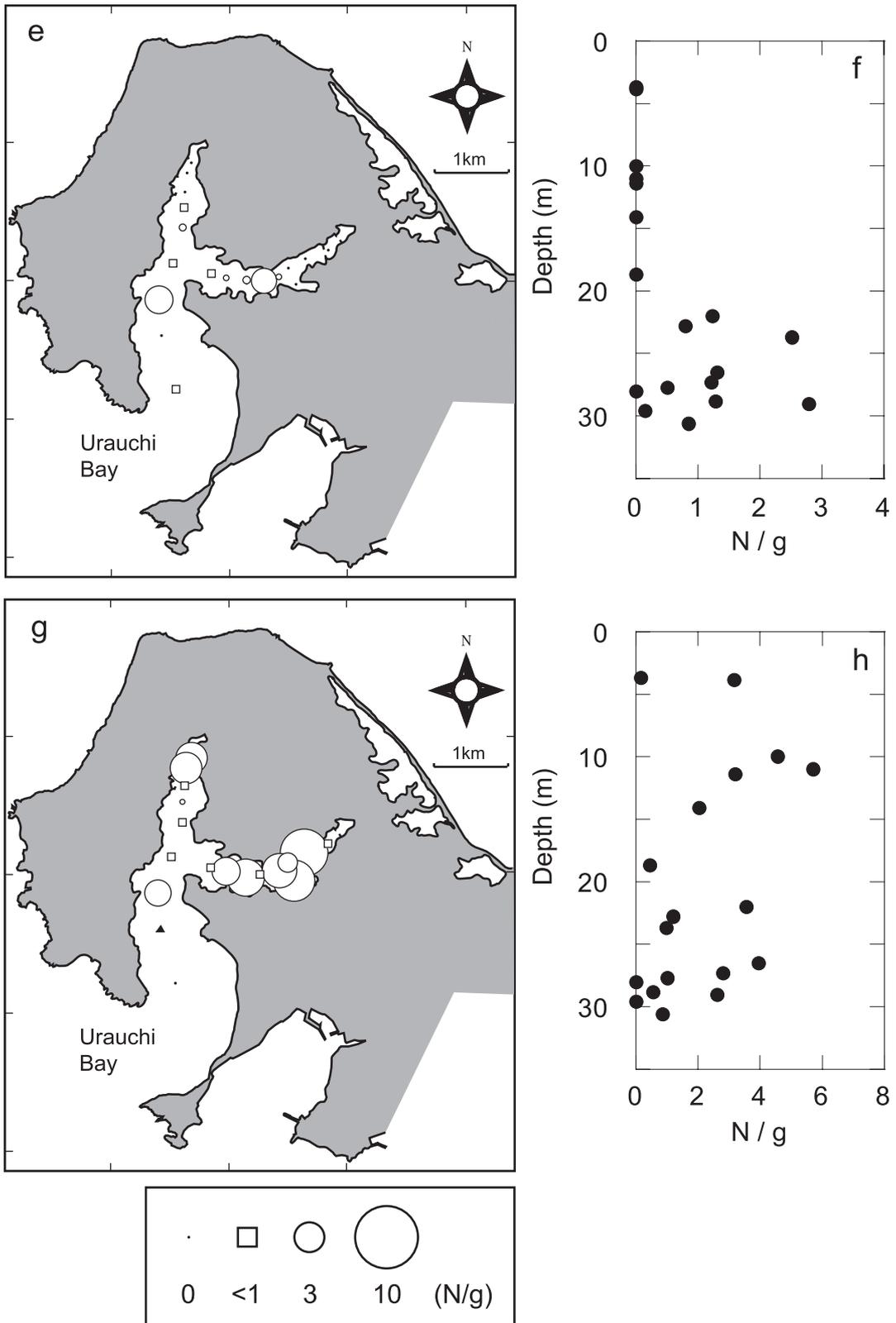


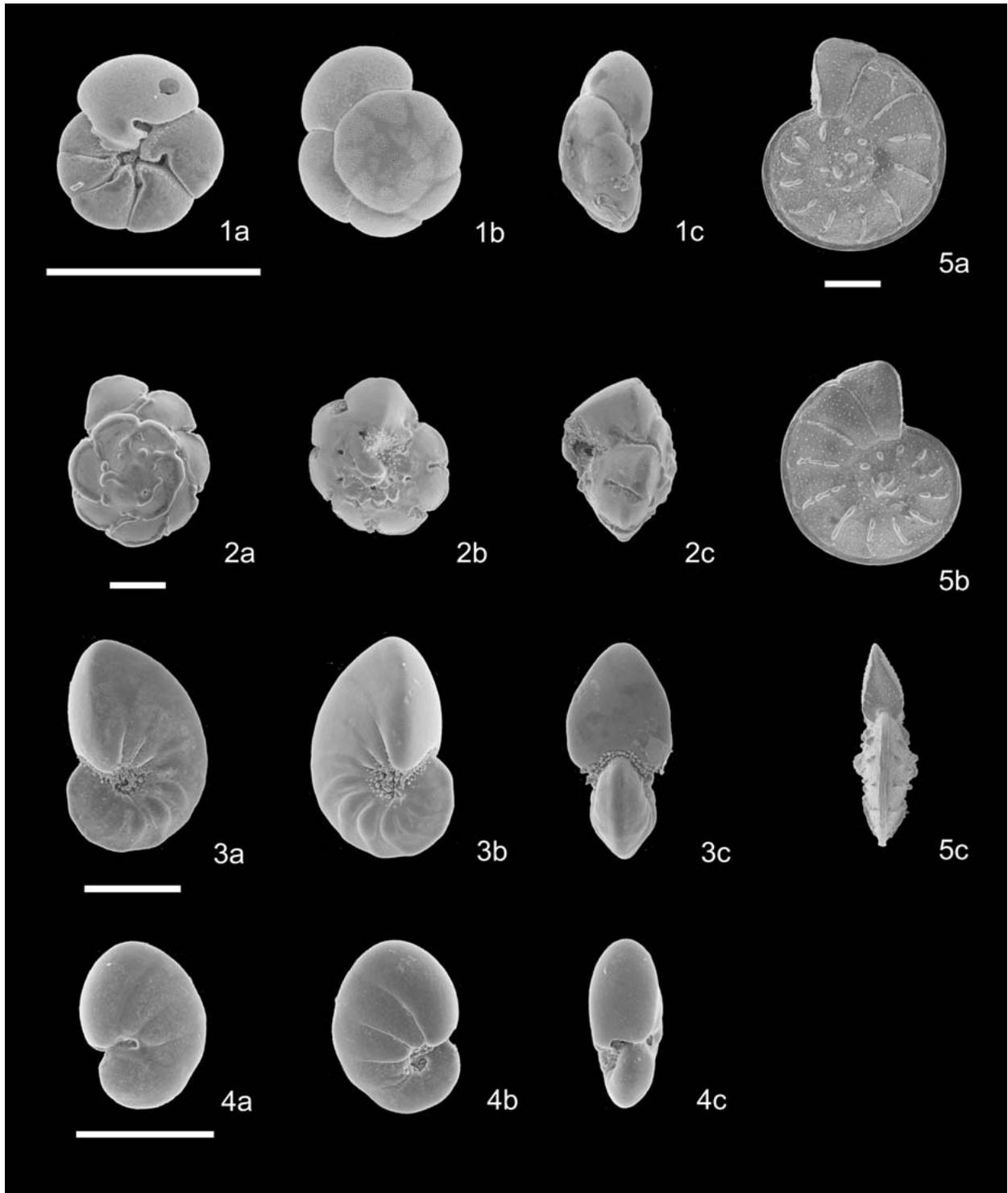
図2. 続き  
Fig. 2. continued



図版 1. 浦内湾より産出した底生有孔虫の走査型電子顕微鏡写真.

**Plate 1.** Scanning electron micrographs of benthic foraminifera from Urauchi Bay. Scale bars = 100  $\mu$ m.

- 1 a, b. *Nouria textulariformis* Hada
- 2 a, b. *Lagenammina* sp. A
- 3 a-c. *Eratidus?* sp. A
- 4 a, b. *Brizalina striatula* (Cushman)
- 5 a, b. *Bulimina marginata* d'Orbigny
- 6 a-c. *Fursenkoina compactiformis* (McCulloch)
- 7 a-c. *Ammonia beccarii* (Linné) forma 2



図版 2. 浦内湾より産出した底生有孔虫の走査型電子顕微鏡写真.

**Plate 2.** Scanning electron micrographs of benthic foraminifera from Urauchi Bay. Scale bars = 100  $\mu$ m.

- 1 a-c. *Ammonia* sp. A
- 2 a-c. *Pseudorotalia gaimardii compressiuscula* (Brady)
- 3 a-c. *Pseudononion japonicum* Asano
- 4 a-c. *Pseudononion* sp. A
- 5 a-c. *Nummulites ammonoides* (Gronovius)

ノート

## 汽水域におけるコンパクトサイドスキャンソナーの記録例

西村清和<sup>1</sup>・上嶋正人<sup>1</sup>・徳岡隆夫<sup>2</sup>・吹田 歩<sup>2</sup>

### Record examples of compact sidescan sonar in the coastal lagoons and estuaries

Kiyokazu Nishimura<sup>1</sup>, Masato Joshima<sup>1</sup>, Takao Tokuoka<sup>2</sup> and Ayumi Fukita<sup>2</sup>

**Key words:** record example; sidescan sonar; coastal lagoon; estuary; Lake Shinji; Lake Nakaumi; Ohashi River; Teshio River; Agano River

#### 1. はじめに

2002 年, 汽水域での調査にも使用できるコンパクトサイドスキャンソナー (SportScan, カナダ Imagenex 社製) を導入し, それに DGPS 受信機, 地図ソフト等を組み合わせてサイドスキャンソナーのシステム化を行い (西村ほか, 2004, 吹田・西村, 2005, 竹内, 2004), 中海等で水域実験を行った。また, 宍道湖・大橋川・中海 (島根県), 天塩川 (北海道) および阿賀野川 (新潟県) においてサイドスキャンソナーを使用する機会があり, 微地形調査を行った。本報告ではこれらの実験・調査での記録例を示し, コメントすることとする。図 1 に使用したサイドスキャンソナートウフィッシュを示す。トウフィッシュには支持棒を取り付け, それをボートの舷側に固定して航走するようになっている。サイドスキャンソナーの仕様概要を表 1 に示す。

#### 2. コンパクトサイドスキャンソナーの評価実験

コンパクトサイドスキャンソナーの性能評価の水域実験を中海で行ってきた。最近の実験結果を報告する。

(1) 異なった周波数による画像の比較 (2005 年 4 月 9 日)

発信周波数の違いによる水底画像の比較を中海弓ヶ浜工区湖岸で行った。本サイドスキャンソナーは発信周波数 800 kHz と 330 kHz を備えるが, 同時に 2 周波を使用することはできない。予め測線を設定し, 同一方向 (北西-南東方向) に 2 回航走し, 比較記録を得た。図 2 にその画像記録を示す。上図は発信周波数 800 kHz 指向角  $0.7^\circ \times 30^\circ$ , 下図は発信周波数 330 kHz 指向角  $1.8^\circ \times 60^\circ$  の記録である。左舷側

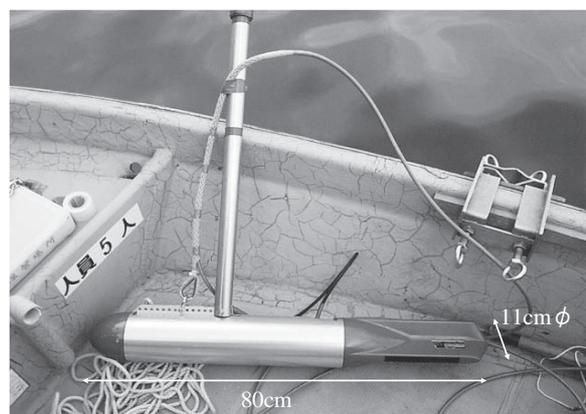


図 1. コンパクトサイドスキャンソナートウフィッシュ

Fig. 1. Compact sidescan sonar. Towfish.

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba 305-8567, Japan

<sup>2</sup> 徳岡汽水環境研究所 Tokuoka Laboratory for Studies of Brackish Water Environments, Nishikawatsu 748-86, Matsue 690-0823, Japan

表 1. コンパクトサイドスキャンソナーの仕様概要  
**Table 1. Basic specification of the compact sidescan sonar.**

トウフィッシュ バラスト トランスデューサ	モールドされたポリウレタン, アルミニウム ダイバーベルト 錘 2 x 330 kHz ビーム幅 1.8° (水平) x 60° (垂直) 2 x 800 kHz ビーム幅 0.7° (水平) x 30° (垂直)
探査レンジ (片舷)	15 m, 30 m, 60 m, 90 m, 120 m (周波数 800 kHz では 15 m, 30 m)
最大深度	30 m
通信インターフェース	RS 232 C シリアル (115,200 bps)
ケーブル	23 m 4 線 (電源, テレメトリー)
ソフトウェア	表示・記録用 OS: Windows 95, 98, me, XP
外形寸法	直径 11 cm, 長さ 80 cm 空中重量 4.6 kg (錘を除外)
電源	10-16 V (12 V, 0.3 A max)
曳航速度	2-3 kt

の強い反射は湖岸を示す。右舷側にいくつかの物体の反射が見られるが、発信周波数 800 kHz の画像の方が鮮明である。また、右舷側水底に細かい砂漣状ものが見られるが、これも発信周波数 800 kHz の方が鮮明に記録されている。総じて、発信周波数 800 kHz の方が 330 kHz に比べて分解能が良いことがわかる。しかし、330 kHz の場合、探査レンジが最大 120 m (片舷) に対して、800 kHz の探査レンジは 15 m, 30 m (片舷) にしか対応していない。

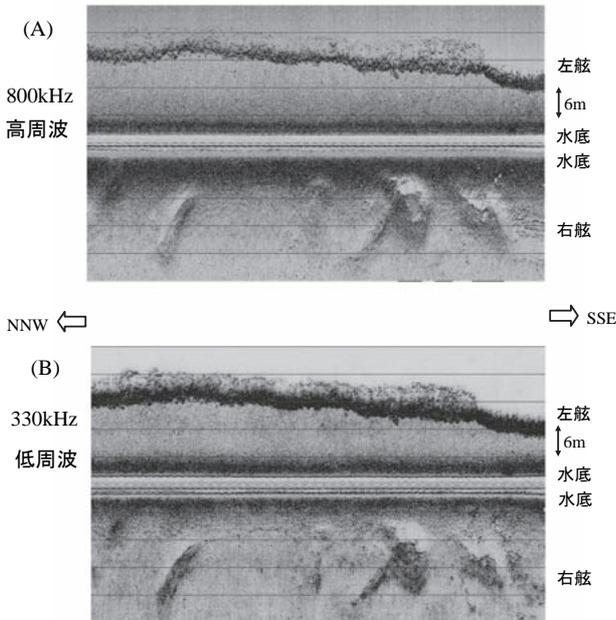


図 2. 異った周波数による画像の比較. 中海弓ヶ浜工区護岸沿い. 2005 年 4 月 9 日, レンジ 30 m, 利得 9 dB.  
**Fig. 2.** Comparison of the images of the different frequencies. Along the lake wall of the Yumigahama koku, Lake Nakaumi (April, 9, 2005, range 30 m, gain 9 dB).

(2) 水中物体の探索実験 (2004 年 9 月 1 日)

水中または水底に存在する物体が、サイドスキャンソナーでどのように画像として映るかは、きわめて興味深いところである。これらの情報の蓄積により、水中物体の探索や画像の解釈が、より正確に

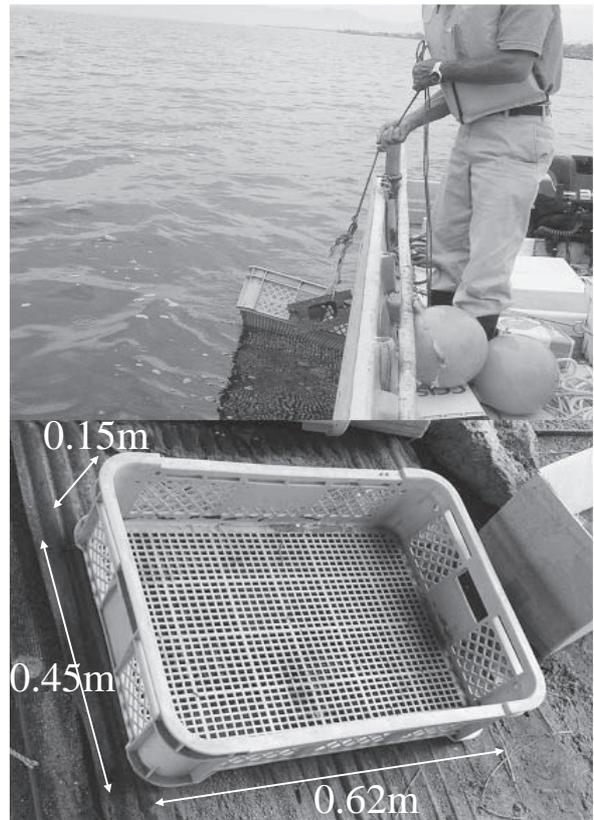


図 3. 水中物体の探索実験. プラスチックのかご(下)と係留系(上).  
**Fig. 3.** Search experiment of the submerged object. A plastic cage (lower) and mooring system (upper).

行えるようになる。その一例として、プラスチックの「かご」を水底に係留し、サイドスキャンソナーをその周りに周回させ、水中物体を探索する実験を行った。実験水域は中海(江島南岸, 江島港付近)である。箱型の「かご」は  $0.62 \times 0.15 \times 0.45$  m (高さ×幅×奥行) で片端にブロックを取り付け、高さの部分が直立するようにした(図3)。図4の航跡図に示すように、「かご」の周りを何回か回り、「かご」に対応する画像を得た(図5のA~D)。「かご」の反射波は「かご」の周囲の後方散乱強度と同程度の音圧を示し、「かご」が海底より高くなった量だけ影を形成している。影を作っている周囲を詳しく見ると、トウフィッシュ側から見て、影として白く抜ける手前で若干、値が高くなっているのがわかる。図5のA~Dに示すように、「かご」の影の幅または奥行きは、「かご」とサイドスキャンソナーの位置関係により変化している。画像表示ソフトに付属する「Target Calculation」を用いて、影の長さから「かご」の高さと幅(奥行)を求めた。図5のAでは、高さ0.7m, 幅(奥行)0.6m, Bでは、高さ0.8m, 幅(奥行)0.4



図4. 水中物体の探索実験の航跡図  
Fig. 4. Surveyed route of the search experiment of the submerged object.

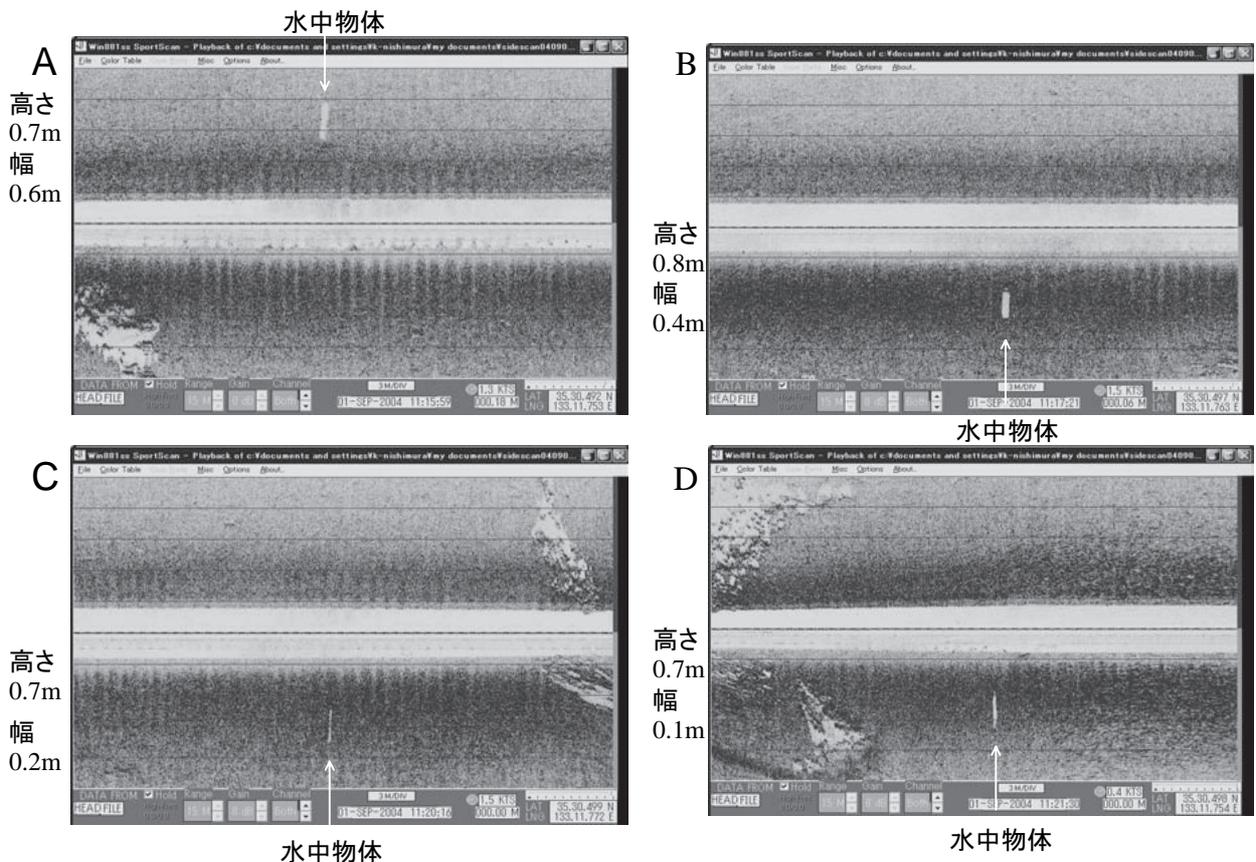


図5. 水中物体の探索実験の画像表示 2004年9月1日, レンジ15m, 利得8dB, 800kHz  
Fig. 5. Image record of the search experiment of the submerged object (Aug., 31, 2004, range 15 m, gain 8 dB, Frequency 800 kHz).

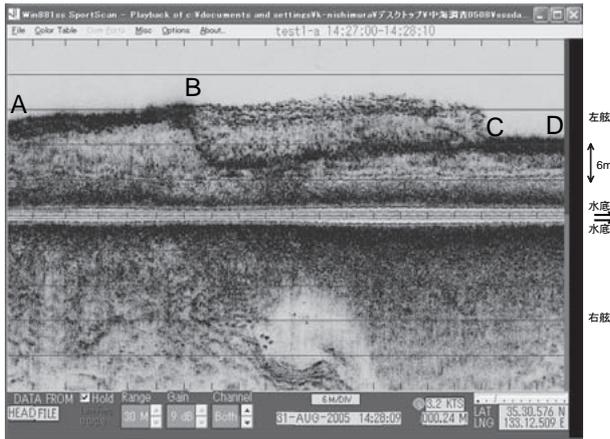
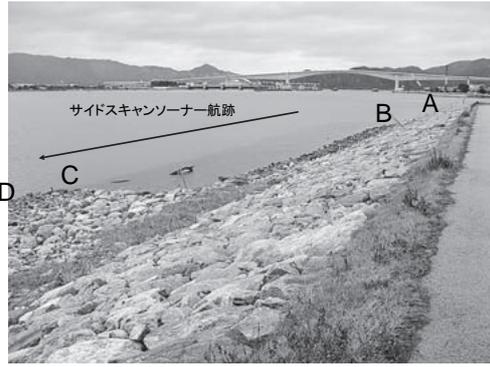


図 6. 湖岸地形と対応するサイドスキャンソナー画像記録。中海弓ヶ浜工区護岸沿い。2005 年 8 月 31 日、レンジ 30 m、利得 9 dB、周波数 330 kHz、速度 3.2 kt。  
**Fig. 6.** Image record of the sidescan sonar that corresponds to the topography of shore. Along the lake wall of the Yumigahama koku, Lake Nakaumi (Aug., 31, 2005, range 30 m, gain 9 dB, Frequency 330 kHz, ship speed 3.2 kt).

m, Cでは、高さ 0.7 m, 幅 0.2 m, Dでは、高さ 0.7 m, 幅 0.1 m と算出された。図 5 A, B は、高さ×奥行を見込んだ影であり、C, D は、高さ×幅を見込んだ影である。これらは妥当な値といえる。

(3) 湖岸地形とサイドスキャンソナー画像 (2005 年 8 月 31 日)

中海弓ヶ浜工区護岸沿いにおいて、湖岸地形と対応するサイドスキャンソナー画像を図 6 に示す。図 6 下図のサイドスキャンソナー画像において、左舷側の白く抜けた部分は陸上を示す。湖岸の水際 (A-B, C-D) には強い反射が認められる。この間は石垣状になっている所である。また B-C の間は水没した棚状の地形で、水際の捨石が画像として表示されている。サイドスキャンソナー画像に対応した湖岸の写真を図 6 上図に示す。それぞれの符号 A, B, C, D が対応する。写真とサイドスキャンソナー画像との位置関係が明瞭である。

3. 宍道湖、大橋川、中海での探査記録

2005 年 8 月 31 日 宍道湖から大橋川を通り中海に至る水域において、サイドスキャンソナーによる微地形探査を行った (図 7)。サイドスキャンソナーは探査レンジを 30 m、画像濃度調整のための利得を 9 dB、周波数を 330 kHz とし、測線開始から終了まで、設定を変えることはなかった。その中で代表的な記録を図 8 の A (宍道湖)、B (大橋川上流)、C (大橋川下流)、D (中海) に示した。図中の宍道湖 A と中海 D の記録の濃度を比較すると、D が薄いこ

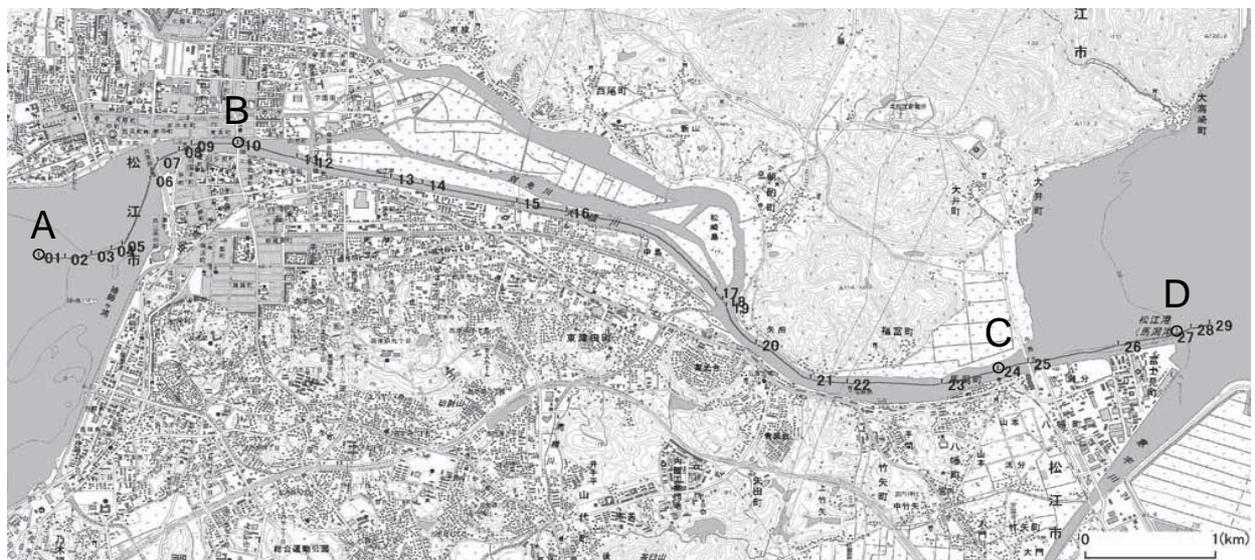


図 7. 宍道湖・大橋川・中海でのサイドスキャンソナー調査測線 (国土地理院, 1998)。  
**Fig. 7.** Surveyed route of the sidescan sonar at the Lake Shinji, Ohashi River and Lake Nakaumi.

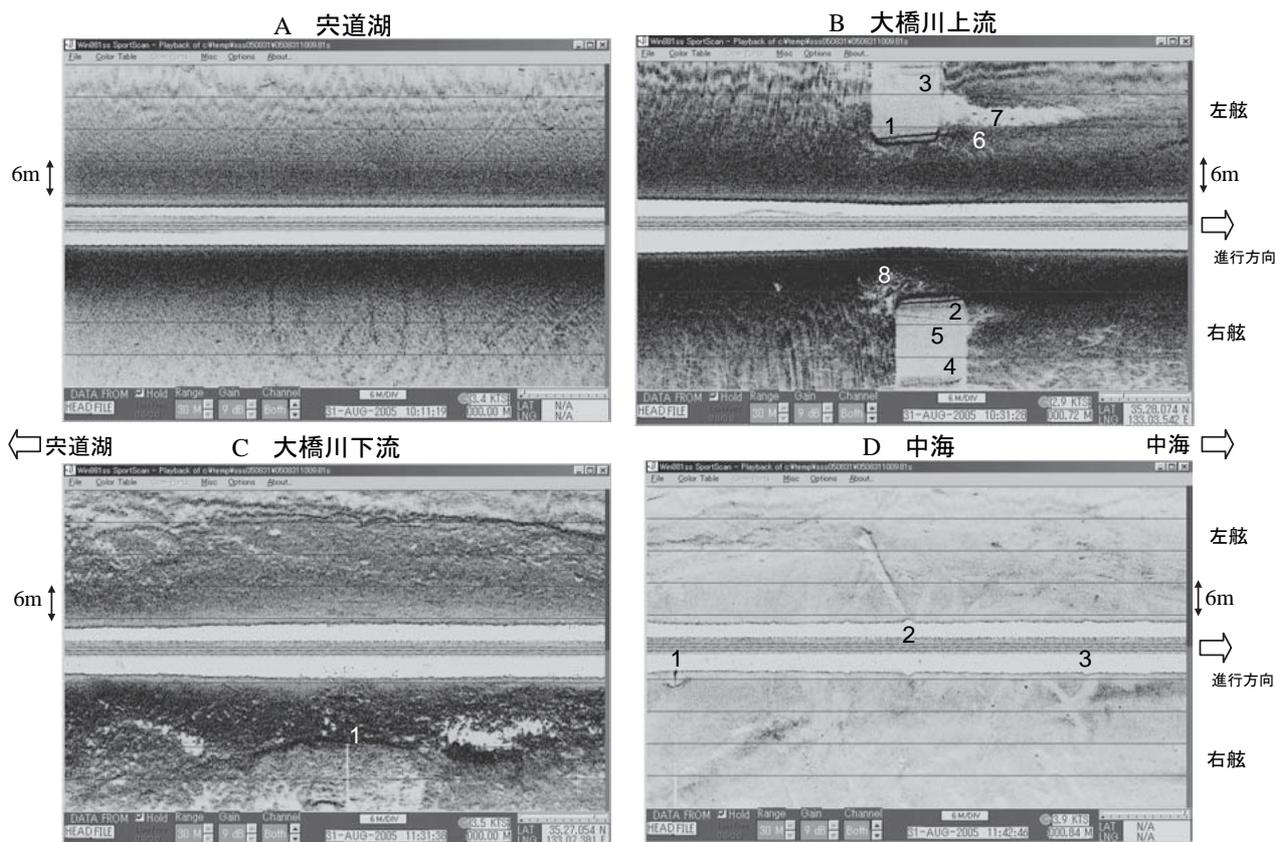


図 8. 宍道湖・大橋川・中海のサイドスキャンソナー画像記録(2005年8月31日, レンジ30m, 利得9dB, 周波数330kHz).

Fig. 8. Image record of the sidescan sonar in the Lake Shinji, Ohashi River and Lake Nakaumi (Aug., 31, 2005, range 30 m, gain 16 dB, Frequency 330 kHz).

とがわかる。これは散乱強度の違いによるものであることから、宍道湖 A の底質が砂質であるのに対して、中海 D の底質が泥質であることが推定される。以下、各記録の特徴を述べる。

(1) 宍道湖 (図 8-A)

宍道湖ではしじみ漁が行われ、画像にはしじみ搔き跡と思われる線条が多数認められる。

(2) 大橋川上流, 新大橋付近 (図 8-B)

図中 1, 2 は新大橋の各橋脚からの反射を示す。図の 3, 4 は、各橋脚 1, 2 の二重反射と思われる。左右に設置されているトランスデューサに片方からサイドローブなどにより反対側の音を受信してしまう現象が起き、片舷に大変強い反射ある場合、音響的なクロストークが生じる。5 は左舷側の橋脚 1 に対応するクロストークによる偽像である。6 には橋脚から下流に向かって高まりがあり、それによる影 7 が記録されていると思われる。8 付近には岩石が分布するよう見える。

(3) 大橋川下流 松島付近 (図 8-C)

図中の 1 はブイを示し、その係留索は線状の影と

して記録されている。この付近の河床は岩盤で、多数の石が存在することは散乱強度が強いことから判断される。

(4) 中海 (図 8-D)

図中の 1 はブイを示し、その係留索は線状の物体として記録されている。2, 3 は、白い影とそれに続く強い散乱強度の像になっていることから溝を示し、その大きさは、深さ 0.5 m, 幅 1 m 程度と思われる。

#### 4. 天塩川, パンケ沼での探査記録

2004年7月7~8日に北海道の天塩川, サロベツ川, パンケ沼において、塩水湖上の調査を実施した。それに合わせて、サイドスキャンソナー (周波数 330 kHz) による河床の微地形探査を行った (図 9)。

(1) パンケ沼の弧状の模様

天塩川, サロベツ川, パンケ沼ではしじみ漁が盛んで、底引きの金網で、しじみ搔きを行っている (図 10)。図 11 はサロベツ川近くのパンケ沼の河床画像記録で、多数の弧状の模様が一面に認められる (図



図9. 天塩川・パンケ沼の索引図.  
**Fig. 9.** Index map of the Teshio River and Lake Panke.

9索引図のAに対応). この模様はしじみ漁の底引きの痕跡と推定される.

(2) 天塩川の砂漣

図12は天塩川の河口から約12 km地点, サロベツ川出合い近くの河床の画像表示例である(図9索引図のBに対応). 河床一面に広がる砂漣が認められる. 30 mレンジ(片舷)で探査を行ったが, 記録の端部でも散乱波が受信でき, 実用的な記録となっている. 同時に塩水楔音響プロファイリングシステム(航走式, SC-3型, 周波数200 kHz, 徳岡ほか, 2005)



図10. しじみ漁(天塩川).  
**Fig. 10.** Fishing of corbiculas (Teshio River)

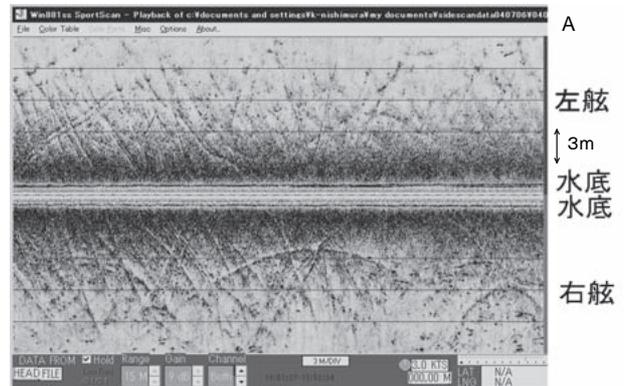


図11. サイドスキャンソナー画像記録. パンケ沼A(2004年7月6日, レンジ15 m, 利得9 dB, 周波数330 kHz, 速度3 kt).

**Fig. 11.** Image record of the sidescan sonar from the Lake Panke A (July, 6, 2004, range 15 m, gain 9 dB, Frequency 330 kHz, ship speed 3 kt).

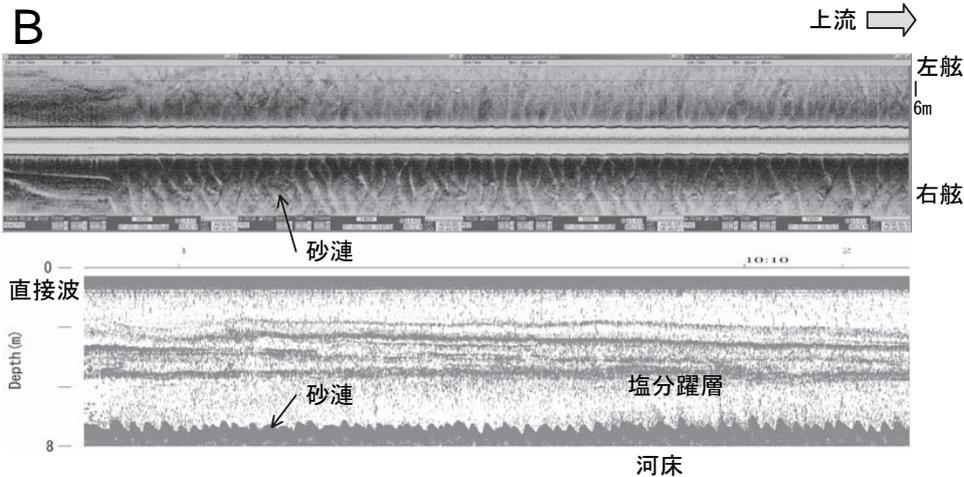


図12. サイドスキャンソナー画像表示(上)と河床地形プロファイル(下). 天塩川B(2004年7月7日, レンジ30 m, 利得8 dB, 周波数330 kHz).

**Fig. 12.** Image record of the sidescan sonar (lower) and profiling record of the riverbed topography (upper) from the Teshio River B (July, 7, 2004, range 30 m, gain 8 dB, Frequency 330 kHz).

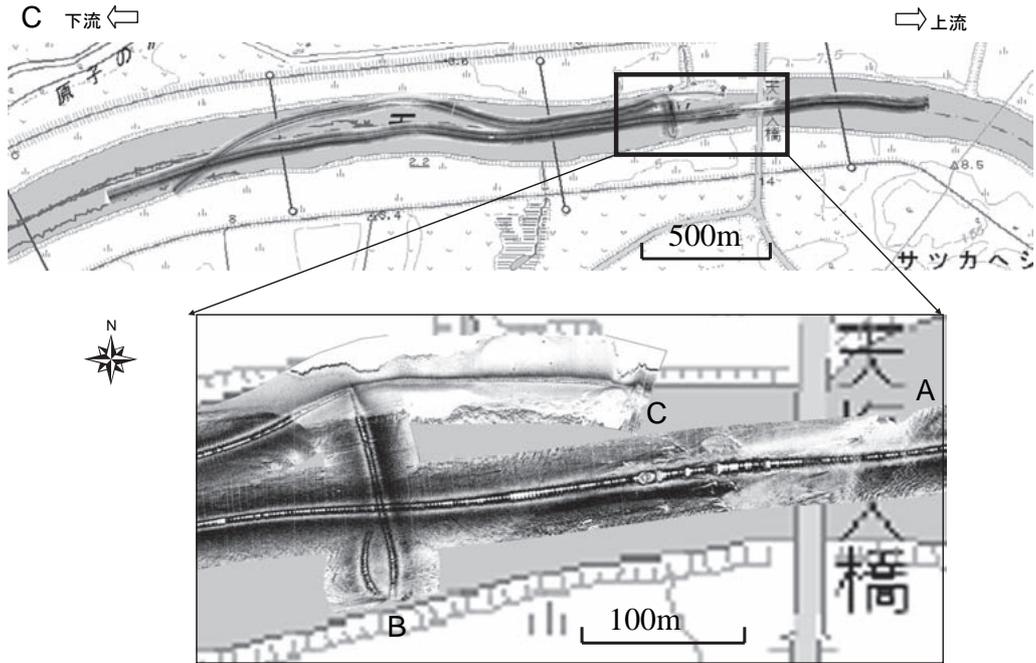


図 13. 天塩川における画像マッピング(国土地理院, 2004). 天塩大橋付近 C(2004 年 7 月 6 日, レンジ 30 m, 利得 9 dB, 周波数 330 kHz).

Fig. 13. Image mapping in the Teshio-ohashi Bridge of the Teshio River. (July, 6, 2004, range 30 m, gain 9 dB, Frequency 330 kHz).

を用いて河床地形プロファイルを得た。サイドスキャンソナーの記録の河床変化に比べ、SC-3 型では記録の縦横比を大きくとっているため、砂漣による河床地形の凹凸が強調されてわかりやすい。

(3) 天塩大橋付近のマッピング画像

図 13 は、天塩川の河口から 16~19 km 地点、天塩大橋付近の画像記録をモザイクマッピングソフトで処理し、地形図に貼り付けたものである(図9索引図の C に対応)。さらに、天塩大橋付近の画像を拡大して示した。図 13 の拡大画像において、画像記録は、中央の縦断記録 A、横断記録 B および右岸(北岸)側の縦断記録 C を合成したものである。これらの画像記録から川の中心部は散乱強度が強く、砂礫が分布し、一方、両岸付近は散乱強度が弱く、泥質であることが推定される。記録 C において、左舷側(北側)の岸に沿ってヤマトシジミの漁場として造成された水深 1 m の柵の張り出しが、また右舷側(南側)では露岩が続いていることがわかる。

5. 阿賀野川でのサイドスキャンソナー探査記録

2005 年 10 月 16~17 日、阿賀野川(図 14)において、塩水楔音響プロファイリングシステムによる塩

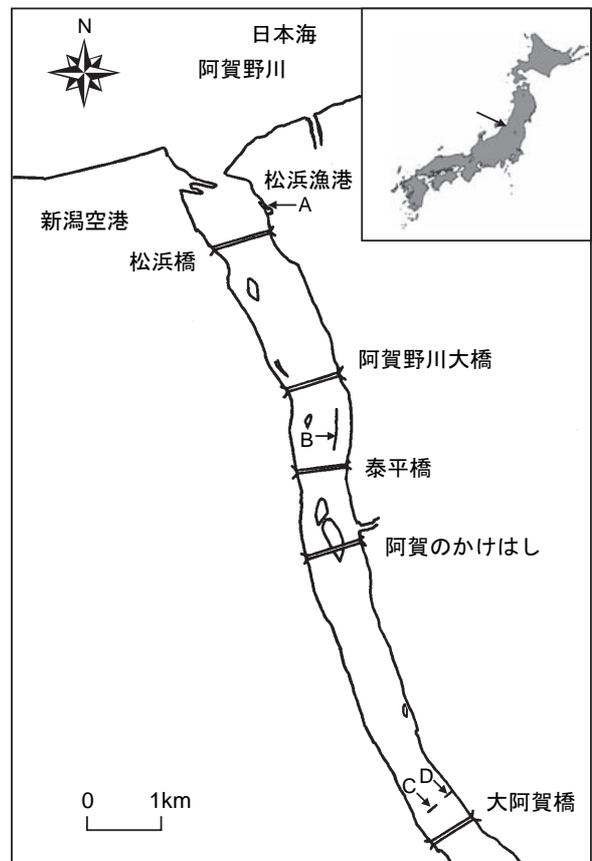


図 14. 阿賀野川の索引図。

Fig. 14. Index map of the Agano River.

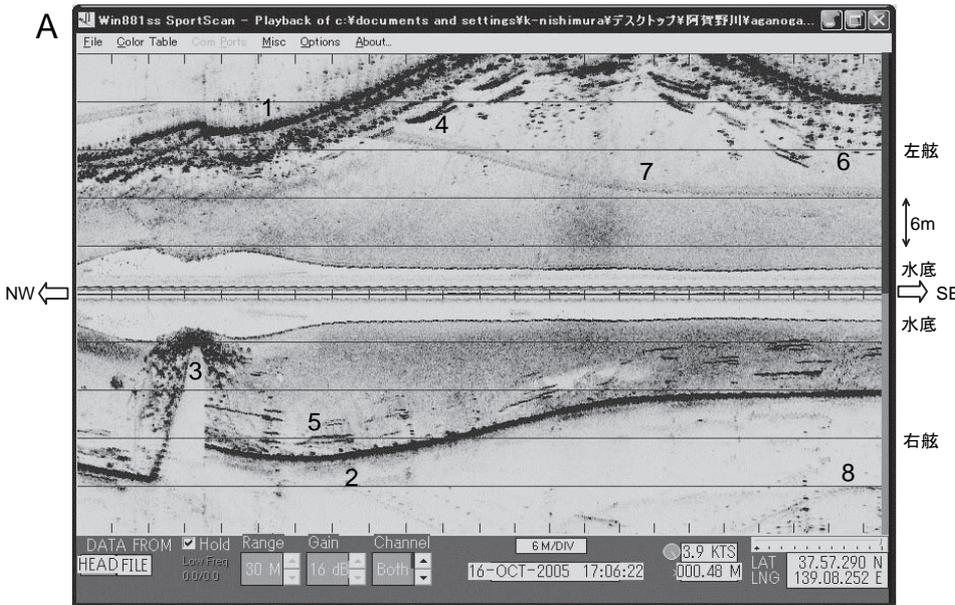


図 15. サイドスキャンソナー画像表示. 阿賀野川, 松浜漁港 A (2005 年 10 月 16 日, レンジ 30 m, 利得 16 dB, 周波数 330 kHz, 速度 3.9 kt).

Fig. 15. Image record of the sidescan sonar from the fishing port Matsuhama of the Agano River A (July, 6, 2004, range 30 m, gain 16 dB, Frequency 330 kHz, ship speed 3 kt).

水湖上調査およびサイドスキャンソナーによる河床の微地形調査を行った. ここではいくつかのサイドスキャンソナー (周波数 330 kHz) の記録画像を示す.

(1) 松浜漁港での画像記録

図 15 は阿賀野川河口域の松浜漁港入り口付近の画像記録である (図 14 の索引図の A に対応). 図中の 1, 2 は岸壁による反射を示す. 3 は突堤による反射を示し, 突堤の周りには石積みと思われる画像が得られている. 対応する写真を示す (図 16-a). 突堤の形状が良く一致している. 両岸には多数の漁船が係留されているが, それらが画像記録 4, 5 などに記録

されている. 記録を見ると, 船体の半分が船影として表示され, 船首と船尾が区別できる. 大部分の船の船首が河口 (NW) 方向を向いている. また左舷側の岸壁付近 (6) には, 直線が 3 本並んでいるが, 対応する写真 (図 16-b) から船の船尾の反射と思われる. また, 規則的な点状の反射が見られるが, 写真 (図 16-b) から, 係留用のパイプが反射しているものと思われる. 7, 8 の薄い線はクロストークによる偽像である. 7 は左舷側トランスジューサが 2 の岸壁の反射をとらえたもので, 8

は右舷側トランスジューサが 1 の岸壁の反射をとらえたものである. クロストークは殆どのサイドスキャンソナーで発生し, サイドロープの影響を抑えられなければならないので, 防止し難いものとなっている.

(2) 阿賀野川の砂漣 その 1

図 17 は, 阿賀野川河口より約 4 km 上流での縦断記録で, 図 14 の索引図の B に対応する. 画像記録には, その中央部に砂漣 (直線状カレントリップル) が見られる. 同時に取得した SC-3 による河床地形記録にも, 砂漣の凹凸が明瞭に記録されている.

(3) 阿賀野川の砂漣 その 2

図 24, 25 は阿賀野川河口より約 10 km 上流の地点

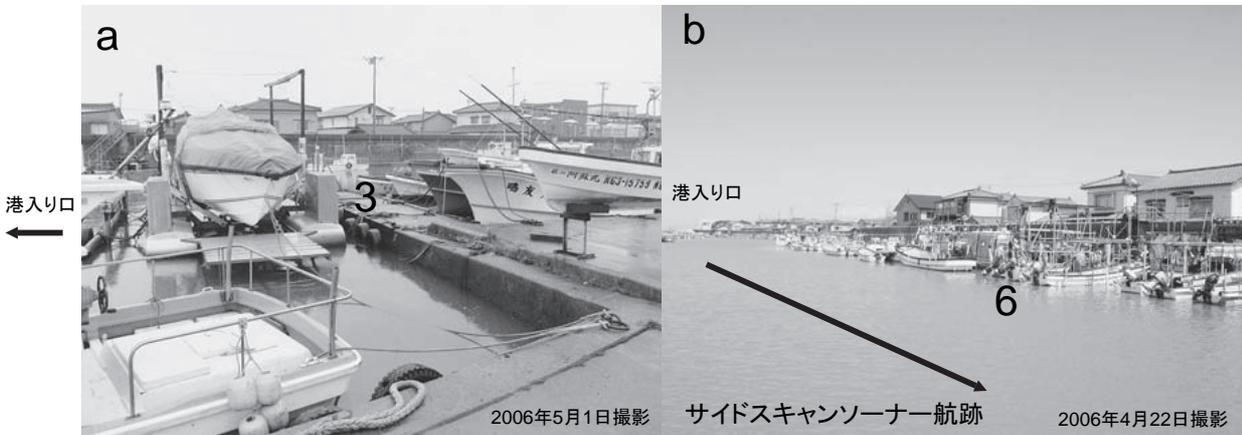


図 16. 図 15 の画像に対応する周辺の写真 (阿賀野川, 松浜漁港).

Fig. 16. Photograph of the surrounding correspond to the image record of Fig. 15 (Fishing port Matsuhama, Agano River).

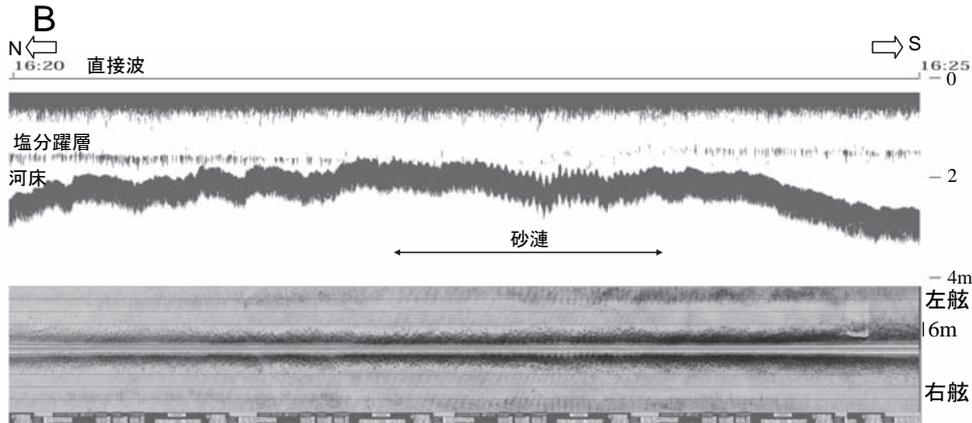


図 17. サイドスキャンソナー画像表示(下)と河床地形プロフィール(上). 阿賀野川 B. 2005 年 10 月 16 日, レンジ 30 m, 利得 16 dB, 周波数 330 kHz, 速度 4 kt.  
**Fig. 17.** Image record of the sidescan sonar (lower) and profiling record of the riverbed topography (upper) from the Agano River B (Oct., 16, 2005, range 30 m, gain 16 dB, Frequency 330 kHz, ship speed 4 kt).

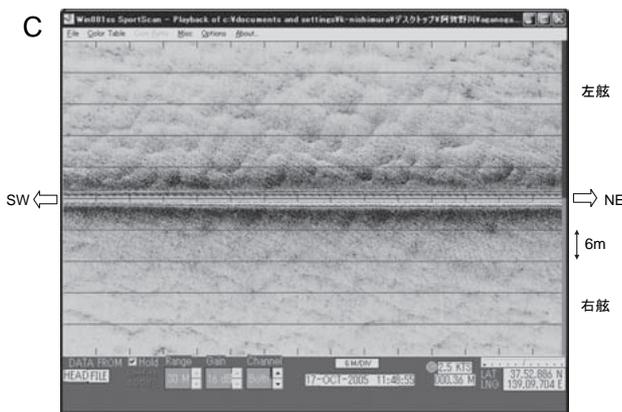


図 18. サイドスキャンソナー画像表示. 阿賀野川 C. 2005 年 10 月 17 日, レンジ 30 m, 利得 16 dB, 周波数 330 kHz, 速度 3 kt.  
**Fig. 18.** Image record of the sidescan sonar from the Agano River C (Oct., 17, 2005, range 30 m, gain 16 dB, Frequency 330 kHz, ship speed 3 kt).

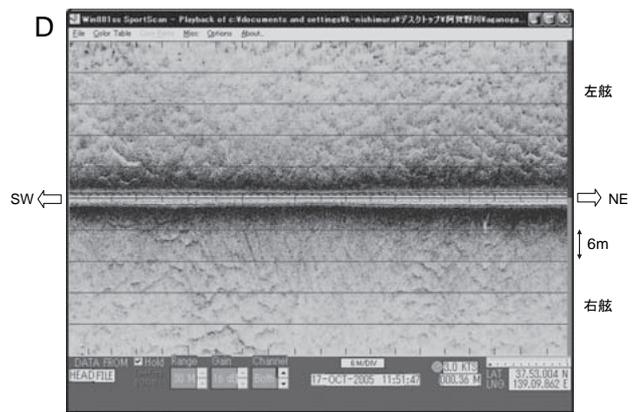


図 19. サイドスキャンソナー画像表示. 阿賀野川 D (2005 年 10 月 17 日, レンジ 30 m, 利得 16 dB, 周波数 330 kHz, 速度 3 kt).  
**Fig. 19.** Image record of the sidescan sonar from the Agano River D (Oct., 17, 2005, range 30 m, gain 16 dB, Frequency 330 kHz, ship speed 3 kt).

の横断記録で, 図 18, 19 の記録は図 14 の索引図の C, D にそれぞれ対応する. C, D の記録は共に砂漣(舌状カレントリップル)が表示されている. C と D の舌状カレントリップルを比較するとその大きさに違いがあり, 河床中央の C の方が, リップルの波長が長くなっていることが観察される.

## 6. おわりに

このコンパクトサイドスキャンソナーを導入して以来, 汽水域を中心に探査実験を行ってきた. ローコストな機種で, その性能に限界はあるもの

の, 種々の工夫により, 調査機器として汽水域の研究に活用できることが明らかになってきた. これらの記録例が, これから同種のサイドスキャンソナーを使用する人への参考になれば幸いである.

## 謝 辞

探査実験を行うにあたり, 島根大学汽水域研究センターには中海分室および船の利用でお世話になった. また松本貞夫氏(島根大学汽水域研究センター)には船の操船でご協力いただいた. 安間恵博士(川崎地質(株)), 立石雅昭教授, 本多結氏(新潟大学理

学部), 竹内倶佳博士(電気通信大学名誉教授), 植木俊明氏((株)海洋先端技術研究所)には, 探査実験およびデータとりまとめに関しお世話になった。以上の機関と各氏に厚くお礼申し上げる。

### 参 考 文 献

吹田歩・西村清和(2005)フリーソフト「カシミール3D」を用いた汽水・沿岸域調査用ナビゲーションシステム, 海洋理工学会誌, 11, 1, 81-87.

国土地理院(1998)数値地図25000(地図画像)松江, 国土地理院, CD-ROM.

国土地理院(2004)数値地図25000(地図画像)稚内,

国土地理院, CD-ROM.

西村清和・上嶋正人・徳岡隆夫・上野博芳・吹田歩・竹内倶佳(2004)汽水域調査のためのローコスト・コンパクトな音響調査機器(サイドスキャンソナー)のシステム化, LAGUNA(汽水域研究), 11, 43-51.

竹内倶佳(2004)サイドスキャンソナーの基礎 1, 海洋理工学会誌, 10, 2, 59-73.

徳岡隆夫・吹田 歩・立石雅昭・西村清和・安間恵・松田滋夫・川澄敏治・関 達雄(2005)音響探査機(SC-3)と曳航式水質計(TPM CLOROTEC)を用いた塩水くさび・塩分躍層調査, LAGUNA(汽水域研究), 12, 81-87.

## 宍道湖・中海環境データベースプロトタイプ

都筑良明<sup>1</sup>・中山大介<sup>1</sup>・國井秀伸<sup>1</sup>

### A prototype of Environmental Database for Lakes Shinji and Nakaumi

Yoshiaki Tsuzuki<sup>1</sup>, Daisuke Nakayama<sup>1</sup> and Hidenobu Kunii<sup>1</sup>

**Abstract:** Study Group on Environmental Database for Lakes Shinji and Nakaumi had been held during the first half of the Japanese Fiscal Year 2006 (*Heisei 17*) with participation of professionals from Shimane University and National and Local governments to information collection and dissemination and common ownership of the information related to environmental database in Japan and the world. After the Study Group, Discussion Group on Environmental Database for Lakes Shinji and Nakaumi has been held to discuss on a desirable environmental database for the area. The purposes of this article are to describe what kind of information was introduced to the participants in the Study Group, what kind of discussions were made in the Discussion Group, what kinds of prototype of the environmental database was developed after the discussions, and what kinds of progress are expected in the future. Many environmental related organizations have already disseminated environmental related information in the drainage area of the two Lakes using internet. One of the assignments of the environmental database will be considered to prepare the framework of the environmental data by use of clearing house mechanism (CHM) and catalog service (CS) with consideration of progresses of information technology. In addition to research purpose, administrative or project based purposes and information dissemination for ordinary citizens should be included in consideration of desirable directions of the environmental database and its contents.

**Key words:** Lakes Shinji and Nakaumi, environmental database, prototype

#### 1 はじめに

筆者らは 2004 年度末から 2005 年度まで、宍道湖・中海環境データベースについて検討してきた。2004 年末から構想した宍道湖・中海環境データベース研究会(以下、「研究会」とする)を 2005 年度前半に開催し、後半には宍道湖・中海環境データベース検討会(以下、「検討会」とする)として継続している。研究会は勉強会的な位置付けで、内外の環境データベースについての情報の収集、提供、共有を通じて、宍道湖・中海環境データベースの望ましい姿につい

での認識を共有することを当初の目的とした。検討会では、研究会で共有した認識に基づいてデータベースのプロトタイプを作成することを目的としている。

本稿は、宍道湖・中海環境データベースについて、研究会、検討会の内容を紹介しながら、検討事項の整理を行い、宍道湖・中海環境ベースのプロトタイプについて紹介し、今後の方向性および課題を整理することを目的とする。

なお、本稿は 2006 年 3 月に作成された。

<sup>1</sup> 島根大学汽水域研究センター Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan

表 1. 宍道湖・中海環境データベース研究会 (都筑, 2005b; 都筑・中山・國井, 2006a, b)

**Table 1.** Activities of Research Group on Environmental Database for Lakes Shinji and Nakaumi. (Tsuzuki, 2005b; Tsuzuki, Nakayama and Kunii, 2006a, b)

回	年	月日	内容
—	2005年	3月10日(木)	学内打ち合わせ
1		4月18日(月)	環境データベースについて1: 国内の海域・湖沼・河川・生物を対象とする環境データベース 1 国内(他地域)の環境データベース 1.1 海域・流域(東京湾、大阪湾、瀬戸内海) 1.2 河川(河川環境データベース) 1.3 湖沼(霞ヶ浦、琵琶湖) 1.4 生物・植生 2 GISシステムイメージとGISデータ
2		5月23日(月)	環境データベースについて2: 宍道湖・中海流域を対象とする環境関連データベース 1 Web-GISを活用した住民参加型の流域環境情報共有の取り組みと可能性 2 宍道湖・中海流域の環境関連データのGISを用いたアウトプット事例 3 国交省、出雲河川事務所の水質水文関連データベース
3		6月20日(月)	環境データベースについて3: 国外の環境データベース 1 金沢大学環日本海COE環境データベースに関する会議報告 2 アメリカの環境データベース 3 ヨーロッパの環境データベース 4 オセアニアの環境データベース
4		7月25日(月)	宍道湖・中海流域環境データベースの望ましい方向性1 1 地質に関するデータベースの例: GEON (アメリカ) 2 環境情報ステーションの進展 3 インベントリ、メタデータに関する話題提供 4 流域のデータベースについて(流域WGの報告など)
5		9月26日(月)	宍道湖・中海流域環境データベースの望ましい方向性2 1 流域のデータベース 2 インベントリ、メタデータ 3 環境データベースのプロトタイプ

表 2. 宍道湖・中海環境データベース研究会 流域分科会

**Table 2.** Activities of Drainage Area Working Group, Research Group on Environmental Database for Lakes Shinji and Nakaumi.

回	年	月日	内容
1	2005年	5月11日(水)	1) ワーキンググループ(WG)の位置付け、2) 集水域についての問題提起、3) 必要となるGISデータ
2		6月15日(水)	1) ベースマップ、2) 人口、3) 予算、4) 汚濁負荷量解析関連(流域・小流域の区切り方)、流域データの最小単位、水収支、流出係数、原単位、生活排水、畜産、検証、タイムフレーム、データの使い方、論文発表、整備情報、湖との関連)
3		7月19日(火)	1) 流出負荷量の算定、2) 流域管理運営の最小単位

## 2 宍道湖・中海環境データベース研究会と検討会

### 2.1 宍道湖・中海環境データベース研究会

島根大学、国土交通省、地方公共団体等が所有する多くの環境関連データを地理情報システム(GIS)等の手法を用いて「環境データベース」を構築するための情報共有を目的として、国、県(島根、鳥取)、大学の関係者が参加し、研究会が2005年4~9月に開催された(表1)。この他に、並行して流域データベースに関する流域ワーキンググループ(WG)を3回開催した。研究会は環境データベースに関する勉強会的な位置付けで、宍道湖・中海流域を含めた国内外の環境データベースについての参加者による情報共有を主な目的とした。流域WGは、特に参加者から要望があった(小)流域の区分についてを中心に議論するために開催した(表2)。

研究会の議事内容および主な資料については、PDFファイルなどに取りまとめて汽水域研究セン

ターの共用サーバー上に置いてある他、主な参加者にCD-Rで配布した。本稿の4章の内外の環境データベースの内容は、研究会での成果を元にしての。

### 2.2 宍道湖・中海環境データベース検討会

研究会は環境データベースに関する勉強会的な位置付けとしたのに対して、その後、2005年10月以降に開催している検討会は、実際のデータベース構築のための検討を行うことを目的としてきた。研究会で共有してきた情報などを元にして、参加者により描いた宍道湖・中海環境データベースのイメージ図を図1に示す。流域情報、湖内情報、文献情報の3種類の情報に区分し、この他に、活動・交流会についての情報を提供するというのがイメージの大枠である。流域情報は、研究会の流域WGでの成果を主な内容としながら、人口、土地利用、水量、水質などについての基本的情報を整理したものを目指している。湖内情報は、水質、底質、生物、湖岸などの情報が含まれるものとなると考えている。将来的に

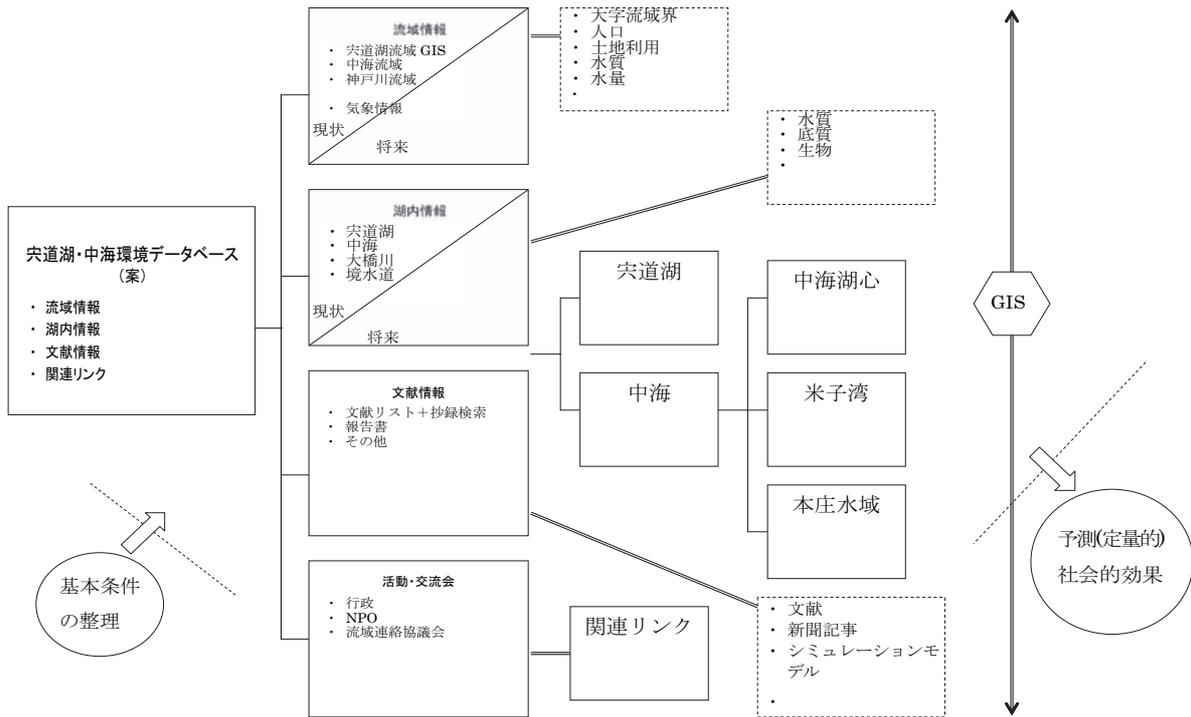


図 1. 宍道湖・中海環境データベースのイメージ図 (都筑, 2005b; 都筑・中山・國井, 2006a, b)

Fig. 1. A perspective of Environmental Database for Lakes Shinji and Nakaumi. (Tsuzuki, 2005b; Tsuzuki, Nakayama and Kunii, 2006a, b)

は、湖内を、宍道湖、中海の2つに大きく区分し、中海はさらに中海湖心、米子湾、本庄水域の3つに区分して、データの検索機能を持たせるという構想もある。文献情報は、文献のリストで、検索を可能とし、抄録にもアクセスが可能になるようなものを考えている。活動・交流会については、行政、NGO/NPO、流域連絡協議会などの活動に関する情報を整理して掲載し、情報提供するものである。ここでは、関係機関へのリンクが作成される予定である。

これらの情報について、地理情報システム (Geographic Information System, GIS) を用いて、データの整理、データの提供を行っていくことが提案されている。

さらに将来的には、何らかの形でシミュレーションを含めることを考えており、現状に関して基本条件を整理してインプットとし、アウトプットとして定量的な予測や社会的効果が得られるようなものとするのが目的の1つになる可能性もある。

なお、宍道湖・中海の地理情報システムの構築について、山室ら(1999)が現地調査データを GIS で一元的に管理し、生態系シミュレーションの基礎情報として提供することを提案している。

### 3 宍道湖・中海流域の環境関連情報

宍道湖・中海流域では、諸機関でそれぞれの環境関連データを公開している (表 3)。宍道湖・中海流域の環境情報を各機関でそれぞれ公開しているため、責任機関が明確であるというメリットがある反面、環境データの所在を含めて各機関への問い合わせが必要な場合もある。この点については、国交省の所管する河川、湖沼の水質データを、島根県中山間地域研究センターのデータベース、環境情報ステーションにおいて県の所管するデータと合わせて公開するようなサービスが 2005 年度初頭に開始されており、データの窓口の一元化の方向性もある。

### 4 内外の環境データベース

本章では、研究会で情報提供された内外の環境データベースについて、概要を紹介する。本章の内容は検討会において、宍道湖・中海環境データベースの将来的な方向性についての議論の元となってきたもので、宍道湖・中海環境データベースが一般公開される段階においては、この部分が本誌上で公開されていれば環境分野のデータベースの現状を踏まえた意見をいただくことも可能になる。さらに、将

表3. 宍道湖・中海流域の環境関連情報のインターネットでの公開状況（國井・都筑，2005；都筑，2005a, b；都筑・中山・國井，2006a, b；一部修正）

**Table 3.** Information dissemination of environmental related information of Lakes Shinji and Nakaumi via Internet by some related organizations. (Kunii and Tsuzuki, 2005; Tsuzuki, 2005a, b; Tsuzuki, Nakayama and Kunii, 2006a, b) (modified by the author)

機関	概要	URL
島根県内水面水産試験場	平成11年から毎月の水質調査結果を公表している。リアルタイムで大橋川の流向・流速を提供している。	<a href="http://www2.pref.shimane.jp/naisuisi/">http://www2.pref.shimane.jp/naisuisi/</a>
島根県生活環境部環境政策課	「しまね環境ナビ」を運用している。宍道湖中海関連では、湖沼水質保全計画を取り扱っているとともに、宍道湖中海環境情報ステーションを2005年5月より運用中である。	<a href="http://www.pref.shimane.jp/section/kankyo/">http://www.pref.shimane.jp/section/kankyo/</a>
宍道湖中海環境情報ステーション	現在のところ、みんなで調べる宍道湖流入河川調査、湖沼環境モニター、指標生物マップの3つのメニューがあり、Web-GISを活用した一般市民からの提供情報をとりまとめた地図上に表示し、一般市民の環境への関心を高めることを目的としていると考えられる。	<a href="http://www.chusankan.jp/shinjiko/MAP/MapPage.asp">http://www.chusankan.jp/shinjiko/MAP/MapPage.asp</a>
島根県土木部河川課	リアルタイムで水位雨量情報を提供している。島根県内の河川データ一覧およびマップがある。i-modeによる水位雨量情報も行なっている。	<a href="http://www.pref.shimane.jp/section/mizube/">http://www.pref.shimane.jp/section/mizube/</a>
国土交通省水文水質データベース	1980年代～2002年の水文、水質データを公開している。	<a href="http://www1.river.go.jp/">http://www1.river.go.jp/</a>
島根県中山間地域研究センター	島根県内の中山間地域部の人口、戸数、高齢者（1999版, 2002版）を主に中山間地域全般に関する様々なデータを整備している。国勢調査データ、道路データ、農林業センサスデータ、1/25000の地形図、航空写真（山間部のみ）など。Web-GISを活用して小学生などの一般市民からの環境関連情報の提供のコーナーがある。	<a href="http://www.chusankan.jp/">http://www.chusankan.jp/</a>
島根県農林水産部森林整備課・林業課「しまね森林情報ステーション」	森林計画図および森林簿のGIS整備を行なっている。県民共有の資料として公開している。	<a href="http://www.chusankan.jp/shinrin/">http://www.chusankan.jp/shinrin/</a>
島根県土木部砂防課	県内の地滑り危険箇所マップを公表している。2005年4月以降、土砂災害危険箇所検索システムを整備し、web上で公表している。	<a href="http://www.pref.shimane.jp/section/sabo/">http://www.pref.shimane.jp/section/sabo/</a>
島根県土木部斐伊川神戸川対策課	治水計画の経緯、昭和47年7月豪雨災害、志津見ダム、尾原ダム、斐伊川放水路、大橋川改修、など。	<a href="http://www2.pref.shimane.jp/hiikawa/">http://www2.pref.shimane.jp/hiikawa/</a>
島根県保健環境科学研究所	保健データ、環境データを掲載している。保健データは、感染症発生動向調査、平均寿命、平均余命、平均自立期間、年齢調整死亡率、SMRなど。環境データは、大気汚染物質広域監視システム「そらまめ君」へのリンクと、環境放射線リアルタイムデータの公開。	<a href="http://www2.pref.shimane.jp/hokanken/">http://www2.pref.shimane.jp/hokanken/</a>

来的には、現時点での環境データベースの概要を示す資料となるものと考え、ここに簡単に整理して記載する。

#### 4.1 東京湾、大阪湾、瀬戸内海の環境データベース

既存の公開（一部を含む）を目的とする環境関連のデータベースについては、大規模なものとして東京湾環境情報サービス、大阪湾環境データベース（以上、国土交通省地方整備局が作成）、せとうちネット（社団法人瀬戸内海環境保全協会が作成）等がある。

東京湾環境情報サービス (<http://www.tbeic.go.jp/>)

[opening.html](#), 国土交通省関東地方整備局港湾空港部)では、GISを用いて、東京湾の水環境の状況についてのデータなどを提供している。水質や底質の測定データについて、地図やグラフを利用した検索・閲覧が可能である。収録されているデータ所有機関は、関東地方整備局、国土技術政策総合研究所、沿岸自治体、データの種別は水質データ(海域)、底質データ(海域)、データの項目は健康項目、生活環境項目、ダイオキシン、現場観測項目、観測年はデータ種類によるが1970年代以降、各データはhtml形式の表として画面上に表示することができるが、項

目数に制限がある。

大阪湾環境データベース (<http://kouwan.pa.kkr.mlit.go.jp/kankyo-db/index2.asp>, 国土交通省近畿地方整備局)でも環境関連のデータ提供が行われている。数値情報データベースのコーナーでは、GISを活用し、複数の機関のデータを重ねて濃度コンタ図を画面上に描けるような工夫もされている。水質、底質、底生生物の測定データを検索・閲覧することができ、今後、登録する内容について拡大を図る予定であるとされている。データの活用利便性については、CSV形式(表形式)で「調査名称」ごとにダウンロードできる。

せとうちネット (<http://www.seto.or.jp/seto/>, 社団法人瀬戸内海環境保全協会)では、広域総合水質調査データも含めて各種の環境関連のデータを閲覧、利用することができる。データは年度単位でまとめてダウンロードできる。

#### 4.2 霞ヶ浦データベース

霞ヶ浦データベース (<http://www.nies.go.jp/db/index.html> から「霞ヶ浦データベース」を選択)は、国立環境研究所が公開している各種データベースの中で、「過去20年余りにわたって蓄えてきた霞ヶ浦の水環境に関する観測研究の成果をまとめたデータベース」と説明されている。気象データ、水質データ、生物データが、項目により1990年または2002年頃までのデータが公開されている。

この他に、CD-ROMで配布されている霞ヶ浦流域管理システムがある。これは、1995年に霞ヶ浦で開催された世界湖沼会議において、湖沼水質管理において流域管理が重要になることが指摘されたのを受けて、国立環境研究所が2002年に、霞ヶ浦の水質保全と結びつけることを目的として、つくば市、土浦市、阿見町を流れる河川を対象に作成したものである。GISを用いて、土地利用、生産活動、生活排水の処理等についての情報がまとめられている。

#### 4.3 琵琶湖

琵琶湖関連でも環境データベースや、環境関連の情報影響が各種行われている。例えば、国土交通省関連では、水のめぐみ館「アクア琵琶」が公開されている。この他に、京都市上水道局、琵琶湖研究所、滋賀県環境部局が環境関連のデータをホームページで公開しており、水質以外のデータベースとしては滋賀県衛生環境センター、琵琶湖博物館が環境関連のデータの提供を行っている。GISとデータベースを

組み合わせてデータ提供を行っている例としては、NTT西日本が参画して、もりやま水調ベマップ、赤野井湾流域環境情報(琵琶湖研究所プロジェクト)の提供を行っている。琵琶湖沿岸の航空写真を提供しているホームページもある。

また、国土交通省、県、市、大学などの多くの機関のデータを横断的に活用して琵琶湖の水質に関するデータベースを構築し、研究目的に活用する試みも進められている(藤井, 2004)。

#### 4.4 島根県遺跡データベース

島根大学が公開しているデータベースとして島根県遺跡データベースが挙げられる。島根大学地域貢献推進協議会・遺跡データベース分科会のHP (<http://iseki.ipc.shimane-u.ac.jp/bunkakai.html>)によると、平成14年度文部科学省地域貢献特別支援事業「古代出雲文化資料の公開活用」事業のために組織された「島根大学地域貢献推進協議会・古代出雲文化分科会」を前身として、平成15～16年度文部科学省地域貢献特別支援事業の一部である「島根県遺跡データベースシステムの構築」事業を実施するために、島根大学地域貢献推進協議会・遺跡データベース分科会が組織され、島根県遺跡データベース (<http://iseki.ipc.shimane-u.ac.jp/>)が作成された。同分科会の組織体制としては、大学は島根大学、地方公共団体は島根県教育委員会、松江市教育委員会、出雲市文化企画部芸術文化振興課、浜田市教育委員会が参加した。

データベースの内容は、初心者向け、中級者向け、専門家向けの各メニューと関連リンクとなっており、それぞれのレベルに応じた検索機能がある。

#### 4.5 水文水質データベースなどの河川関連データベース

水文水質データベース (<http://www.1.river.go.jp/>, 国土交通省河川局)では、河川水位、雨量、水質等のデータを参照することができる。観測所、年月、項目を選択すると、データの表がhtml表示される。この水文水質データベースを含む河川関連の3種類の情報が、水情報国土 (<http://www.mlit.go.jp/river/IDC/index.html>)に統合されている。3種類の情報とは、水文水質データベース(平成10年度開始)の他には、「川の防災情報(平成13年度開始)」と「河川環境データ(河川水辺の国勢調査「河川版」) ([http://www.3.river.go.jp/index\\_mizube.htm](http://www.3.river.go.jp/index_mizube.htm))」で、前者はリアルタイムの河川水位、雨量等を提供しており、後者は河川環境に関するデータを提供している。全体

に、簡易的なクリアリングハウス機能及びヘルプデスク機能をもたせて3種類のデータを提供しており、暫定的に水情報国土データ管理センターが運用している。

河川水辺の国勢調査は、6項目の生物調査(魚介類調査、底生動物調査、植物調査、鳥類調査、両生類・爬虫類・哺乳類調査、陸上昆虫類等調査)と、河川の瀬・淵や水際部の状況等を調査する「河川調査」、河川空間の利用者などを調査する「河川空間利用実態調査」の計8項目で構成されている。このうち生物調査は、全国109の一級水系河川すべてについて、毎年各項目を全国109水系の5分の1程度で実施し、5カ年で各調査が一巡するようなローテーションで実施している。この調査結果は河川環境データベースで公表しているほか、平成5年度から11年度のデータの一部は「河川水辺の国勢調査年鑑」により公表している。

#### 4.6 生物多様性情報クリアリングハウス・メカニズム (CHM)

大学・博物館、行政、民間調査機関、アマチュア研究者など、多くの団体・個人が、生物多様性に関わる多くの情報をそれぞれの形で所有している。生物多様性情報クリアリングハウス・メカニズム (CHM) (<http://www.biodic.go.jp/>, <http://www.biodiv.org/chm/>), 環境省自然環境局自然環境計画課, 生物多様性情報 CHM 事務局(ケベック, カナダ)では、他の団体・個人が作成したデータの利用に際しての利便性を図るため、共通のフォーマットのメタデータ(例えば、作成者, 作成時期, 作成方法, フォーマット, 著作権, 入手方法, 調査制度, など)をデータベース化し、これをインターネット上で公開して情報の共有化を諮っている。

日本では、条約事務局として環境省自然環境局自然環境計画課が、ナショナル・フォーカル・ポイントとして同局生物多様性センター (<http://www.biodic.go.jp/>)が登録されていて、平成15年8月から試験運用を行っており、現在はメタデータの登録、登録情報の検索・閲覧がWeb上で可能となっている。

#### 4.7 自然環境保全基礎調査 植生調査 2次メッシュ情報

2004年12月より、「第6回自然環境保全基礎調査植生調査」で行われた調査結果について、主に植生図を中心に紹介するために試験的に開設された

(<http://www.vegetation.jp/>, 環境省自然環境局生物多様性センター)。植生図とは何か、植生図はどのようにして作るのかなどの基本的な解説のほか、植生図の閲覧、植生図業務遂行に当たって実施されている委員会などの情報が掲載されており、リンクから各情報を利用することができるようになっている。

#### 4.8 オランダの環境データベース

Hugo Coops 客員教授(当時)によると、オランダの国家レベルの環境関連のデータベースとしては、国家水委員会 (National water board, DONAR) がデータベースを作成しており (<http://www.waterbase.nl>), これには、化学物質500種類、物理的パラメータ10種類、生物パラメータ1種類(クロロフィル)のデータが含まれている(第3回研究会)。この他に、PGO (民間データ提供組織)が動植物データベースを作成している他、地域水質データとしてのSTOWABASEがあり、自然データについては、県(Province)、森林局、NGOが協力してALTEIRA(植生データベース)を作成している。また、中央統計局 (Central Bureau of Statistics, CBS) も環境関連のデータベースに携わっているとのことであった。

最近のヨーロッパの水環境関連の政策では、European Commission Water Framework Directive が重要であり、国境を越えた政策が進展している。

#### 4.9 アメリカの環境データベース

アメリカの環境データベースには、多くの種類がある。例えば、水質モニタリングプログラム関連データベースとしては、(1)フロリダ・キーズ生態系システム総合プロジェクト (NOAA/NOS, EPA, フロリダ海洋研究所 (FMRI) など), (2) Washoe 郡地域水管理計画シリーズ, (3) カリフォルニア改造計画—ゴミ捨て場から健康な水辺へ—, (4) マイケル・ヴィンセント・マクギニーズ; ジョン・ターナー・ウーリー (カリフォルニア大学サンタバーバラ校), (5) 手法およびデータ比較検討委員会 (国家水質モニタリング会議, NWQMC), (6) 国家灌漑水質プログラム (内務省), (7) 国家水質アセスメントプログラム (NAWQA) 国家栄養塩センサス (地質調査局) などがある。

関係機関としては、連邦レベルでは、(1)連邦地理データ委員会 (FGDC, <http://www.fgdc.gov/>), (2)水情報調整プログラム (WICP, <http://water.usgs.gov/wicp/index.html>), (3)水情報諮問委員会 (ACWI), 地方レベルでは、(4)ネヴァダ州地域水計画委員会 (RWPC,

[http://www.co.washoe.nv.us/water/rwpc~color=grey&text\\_version=](http://www.co.washoe.nv.us/water/rwpc~color=grey&text_version=)), (5) Truckee 川 流 域 会 議 (<http://yournevada.com/remiges.php?choice=&month=5&year=2004&article=71>) などがある。

(1) は大統領官邸, 内閣レベル, 独立行政機関からの代表 19 名で構成される。州, 地方公共団体, インディアン自治区, 学識経験者, 民間企業と協力して, 国家空間データインフラ (NSDI) を策定している。NSDI は考え方, 基準, 手法について, これら関係機関と協力し, 地理データの作成と共有を行っている。(2) は連邦機関間の連携を図り, 天然資源管理および環境保護に関する政策決定のための水関連の情報の更新に務めている。(3) は水情報ユーザーと連邦水情報プログラムに関する連邦政府にアドバイスする専門家の意見を聴取し, 連邦水情報プログラムが国家の水関連情報のニーズを満たしているかについて検討している。(4) はネヴァダ州の条例により南 Washoe 郡の長期水計画を実施する目的で 1995 年に設立された。Washoe 郡総合地域水管理計画の策定と更新を責務としている。この計画は, 地域の現状および将来に関する水供給, 水質, 排水, 洪水流出, 洪水管理を対象としている。2005 年 1 月に最新の計画が策定されている。PWRC の対象とする範囲は約 1200 平方マイル (約 3,070 km<sup>2</sup>) で, 北は Washoe 溪谷から Warm Spring 溪谷, 東は Pyramid Lake Paiute インディアン保護区までに及んでいる。州の法律 (条例) により, インディアン保護区と Tahoe 湖の流域は, 対象範囲に入っていない。(5) は連邦, インディアン保護区, 州, 地域 (regional, local), その他の関係者, 合計 40 者が参加している。Truckee 川流域において, 土地・資源管理に関する 23 種類の機能を持つ, 15 種類のプログラムに, 各参加者が様々な形で参加している。23 種類の機能は, (1) 水量, (2) 水質, (3) 洪水被害削減, (4) オープン・スペース保護, (5) 住居地域管理と回復, の 5 つに区分される。

ここでは研究会で紹介された, Salton Sea Database と GEON Database を紹介する。

#### 4.9.1 Salton Sea

カリフォルニア州南部の Salton Sea で Salton Sea データベースプログラム (SSDP) が実施された。これは, Salton Sea 水辺水質モニタリングプログラムの一環として実施されたものである。Salton Sea 水辺水質モニタリングプログラムは, (1) 水質データの共有, 保管, 提供に関する協力を促進する, (2) データの互換性を促進するために水質サンプリン

グ, 分析に関する共通の方法を策定する, (3) Salton Sea の環境変化をモニタリングするため, 水質情報に関する総合的, 技術的評価を実施する, (4) 修復プロジェクトに関連する水質問題に対する技術的評価を実施する, ことを目的とするプログラムである。この中で, SSDP は, (1) 既存の水質データ収集に関するインベントリーの作成に際して水質技術委員会 (WQTC) を支援する, (2) Salton Sea およびその周辺の情報の窓口となる, (3) GIS および関連技術の支援を行う, (4) 情報の収集, 管理, 提供を目的として, 地理および情報科学の最新の考え方および技術を適用する, (5) 政策決定インフラとしてのデータ・情報管理のツールを開発する, (6) 多様な考え方に基づく活動を調整する, ことを目的としている。SSDP で特徴的と思われるのが, 既に関連の研究活動等を行っていた関連機関についてのレビューを詳細に行っていることである (図 2)。検討会の大枠として, データベースの目的を, (1) 研究, (2) 行政・事業, (3) 市民・県民, の 3 つに分けて考えてきた。その側面は, 図 2 では Research, General Monitoring, Other Objective/Purpose におおよそ対応していると考えられるが, 横軸の Historic, Current, Future という視点は, 本検討会ではあまり言及されてこなかった視点である。この点については, この地域では古環境を研究する分野があるので, 今後, このような視点からの整理を行うことも興味深いと言えるだろう。

また, 水質技術委員会 (WQTC) ワークショップでは, 6 つの基本的「道筋」として, (1) 組織および行政上の枠組み, (2) 情報技術, (3) 標準的手法/分析精度の確保 (QA), (4) 枠組みとなるデータ, (5) モデリングのためのアプリケーション, (6) 科学的ギャップ (考え方, データの相違など), についての議論が行われた。

以上のようなレビューの結果を元にして, GIS を活用したデータベースが作成, 公開されている (図 3)。上述の経緯に基づいた学術的な内容に加えて, 釣りなどのレクリエーションに関する情報, Salton Sea を舞台とする小説や映画に関する情報なども含まれている。

#### 4.9.2 GEON Database

来日中の元客員教授 David Dettman 博士によると, アメリカの地質分野では, GEON (The Geosciences Network, [www.geongrid.org](http://www.geongrid.org)) というデータベースが開発されている (第 4 回研究会)。GEON の特徴としては, 空間×時間の 4 次元のデータベースで, あらゆる地質データを取り込むことができること, 双方

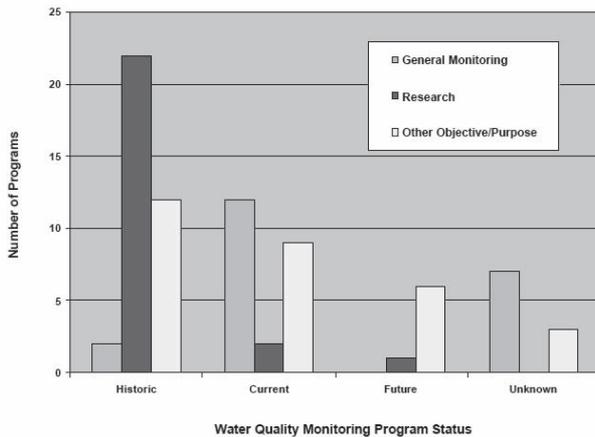


図2. Salton Sea データベースプログラムで実施された関連機関のレビューの結果の一例。研究目的の過去のデータについてのプログラムが最も多く、それに次いでその他の目的の過去のデータ、現在のデータおよび一般的な現在のデータについてのモニタリングの各プログラムが比較的多く行われている。

(The Redlands Institute, 2003) (permission from The Redlands Institute, University of Redlands)

**Fig. 2.** An example of the review results of the organizations related to environmental research in the region. The most number of programs are in the category of historic monitoring programs for the purpose of research, and second group consisted of historic and current monitoring for other objectives/purpose and general purpose monitoring for current environments. (The Redlands Institute, 2003) (permission from The Redlands Institute, University of Redlands)

向の機能を活用して地質学上の疑問、質問を発する機能とそれに回答する機能が備えられていること、が挙げられる。GEON をテーマとして、世界レベルでの会合が毎年開催されている。

#### 4.10 オセアニアの環境データベース

汽水域研究センター倉田助教授によると、ニュージーランドの研究所 Institute of Geological and Nuclear Sciences (GNS) は研究所のデータベースを Web で公開している (<http://www.gns.cri.nz>) (第3回研究会)。図4に GNS のデータベースリストを示す。このうち化石記録データベースは、1946年に化石記録の枠組みが作成され、政府と民間の研究者がフォームに記入することによりデータ登録が行われてきたものである。地質学会や GNS によって継続され、新しい記録と過去の記録の再検証が行われてきた。登録ユーザは Web から入力と検索が可能となっている。

#### 4.11 科学研究費公開促進費のデータベース

科学研究費の公開促進費の対象となったデータ

ベースは、2004年度に157件、2005年度に160件で、そのうちデータベースが取り扱う範囲を限定する意味でデータベース名に地名が含まれていると考えられるのは2004年度に16件、2005年度に10件と限られている(表4)。さらに、自然科学系のデータベースは数が少ない。環境関連のデータベースの国内外における整備の状況と、宍道湖・中海環境データベースのこの地域における重要性とを合わせて考えながら、今後の進展の方向性について考えていくことも必要であろう。

#### 4.12 水文分野の日本主導の世界レベルのデータベース

平成15~17年度科学技術振興調整費先導的研究等の推進の枠組みで行われた「水循環インフォマティクスの確立」では、地球水循環についての地上・衛星観測データ、数値気象予報モデル出力を統合的に利用可能とすることを主な目的として、水文学、気象学、IT、RS (リモートセンシング) / GIS 分野の研究者が共同研究を実施した(小池, 2006)。気候メモリーやテレコネクションを有する水循環システムを定量的に把握し、予測精度を向上させるためには、降雨、河川流量、蒸発散量、積雪、土壌水分などのデータを集積し、活用することが必要である。世界全体を対象とするこのような研究分野では、地上観測、衛星観測、数値気象予報モデル出力のデータ量は年間百テラバイト(テラは10の12乗)にものぼり、次元、時空間分解能、座標系、フォーマット、精度が異なる多種多様なデータを収集、アーカイブし、数値モデルなどに活用することを試みた。学問領域を超え、最新のIT分野におけるデータベース、ネットワーク技術、RS/GIS 技術を用いた結果、集中型データマイニングシステム、分散型データマイニングシステムを併用し、地球水循環データ統合システムの開発、公開、アジアモンスーン研究への適用、メタデータの設計、適用と国際社会への提案などの成果を上げている。

### 5 宍道湖・中海環境データベースのプロトタイプ

#### 5.1 概要

宍道湖・中海環境データベースのプロトタイプとして、流域情報、湖内情報、文献情報を作成することを2006年度の課題としている。そのうち、島根大学内に設置したプロトタイプ用サーバーには、湖内

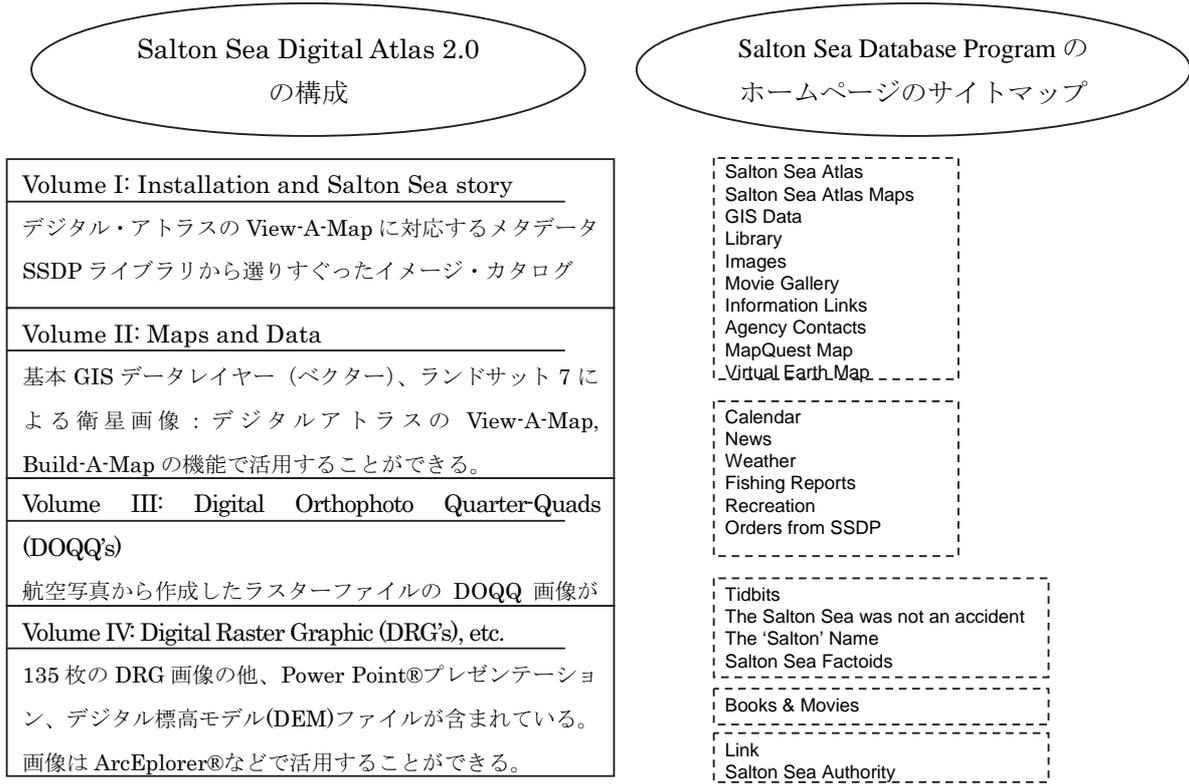


図3. Salton Sea Database Program の CD-ROM とホームページの構成 (The Redlands Institute, 2003 and 2006, <http://www.institute.redlands.edu/salton/>) (CD-ROM, ホームページを元に著者らが作成)

Fig. 3. Structure of the CD-ROM and the sitemap of the Salton Sea Database Program homepage. (The Redlands Institute, 2003 and 2006, <http://www.institute.redlands.edu/salton/>) (Prepared by the authors based on CD-ROM and the website)

	検索	制限	GIS	その他
○ PDQ地図 =石油データ検索地図	◎	-	△	
○ ニュージーランドの活断層データベース	◎	-	○	
○ GNS写真館データベース	◎	販売	-	
○ GNSデータ保存庫	◎	-	-	pdf
○ ニュージーランドの地球科学に関する文献目録	◎	-	-	abst.
○ デジタル地質学データベース(Qマップ=25万分の1地質図)		販売	○	shape
・地方の地質図とデータファイル				
・地下水のデータベース				
○ ニュージーランドの層序辞書	◎	-	-	
○ ニュージーランドの化石記録ファイル	◎	登録	△	
・ニュージーランドの層序区分ファイル				
・ニュージーランドの古生物のコレクションとデータベース				
・PETLAB: 全国の岩石および地質解析データベース				
・ニュージーランドの地球物理学の属性データベース				
・ニュージーランドの地磁気データベース				
・ニュージーランドの鉱物資源				
・全国の石炭地質学データベース				
・石油報告図書館				
・ニュージーランドの地熱システムデータベース				
・全国の地震情報データベース				
・強震データベース				
・ニュージーランドの火山データベース				
・ニュージーランドの地質学に関する文献目録				
・国際原子力機関の報告書コレクション				
・石油に関する体系的なデータベース				

○: Web上で検索可能

図4. ニュージーランドの研究所 (Institute of Geological and Nuclear Sciences) のデータベースリスト (<http://www.gns.cri.nz>) (第3回研究会倉田助教発表資料を著者らが一部改変)

Fig. 4. Database list of Institute of Geological and Nuclear Sciences, New Zealand (<http://www.gns.cri.nz>) (modified by the authors after presentation material by Associate Prof. Kurata at the third meeting of Study Group on Environmental Database for Lakes Shinji and Nakaumi).

表4. 文部科学省科学研究費の公開促進費で公開されているデータベースの件数と、取り扱う範囲を限定する意味でデータベース名に地名が含まれているデータベース

**Table 4.** Database disseminated with the Dissemination Promotion Fund of Science Research Promotion Funds of Ministry of Education, Science and Sports: the numbers of funded database and lists of databases with specific regional titles in FY 2004 and 2005.

	平成16年度	平成17年度
件数	157	160
地域性が強い と思われるもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アイヌ語音声データベース</li> <li>・インド学仏教学論文データベース</li> <li>・古代西アジアのアッカド語宗教文書データベース</li> <li>・関東地域記録史料情報データベース</li> <li>・北方関係資料総合データベース</li> <li>・ミャンマー社会経済史資料</li> <li>・タイ語三印法典データベース</li> <li>・平安京・京都遺跡GISデータベース</li> <li>・ベルシア古典文学テキストアーカイブ</li> <li>・北海道に分布する植物の生育環境別分類データベース</li> <li>・マダガスカル太平洋地磁気ネットワークデータベース</li> <li>・アジア自動気象観測装置ネットワーク (GAME-AA N) データベース</li> <li>・苫小牧研究林生命情報データベース</li> <li>・東南アジア保健医療統計データベース</li> <li>・南極海プランクトンデータベース</li> <li>・東南アジア地形図データベース</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・インド学仏教学論文データベース</li> <li>・ミャンマー社会経済史資料</li> <li>・タイ語三印法典・貝葉本統合データベース</li> <li>・東アジア所在日本語古典籍データベース</li> <li>・北海道に分布する植物の生育環境別分類データベース</li> <li>・東南アジア保健・生活統計データベース</li> <li>・南極海プランクトンデータベース</li> <li>・東南アジア関係文献目録</li> <li>・日本におけるスラブ地域研究文献データベース (第2期)</li> <li>・東南アジア地形図データベース</li> </ul>

情報を先行して整備している。湖内情報のプロトタイプの内容は、(1)水質情報、(2)プランクトン情報、(3)湖岸情報、とする予定である。(1)は総合理工学部の清家助教授が保有するデータ、(2)は教育学部の大谷教授が保有するデータ、(3)は汽水域研究センターの倉田助教授が保有するデータである。データベース作成に際して、保有するデータの電子化などを依頼した。プロトタイプは検討会メンバーに限定的に公開しており、今後、一般公開に向けて整備、検討を進めていく予定である。

## 5.2 流域情報

本年度は、流域情報のGISデータによる整備を行った。整備を行った情報は、(1)社会統計情報(人口分布、戸数分布)、(2)土地利用(水田の耕地面積、林種別)、(3)流域管理(小流域別流域表示、土地利用)(3)流域管理(小流域別流域表示、土地利用のグラフ化)などである。

## 5.3 湖内情報

先述のように、湖内情報は島根大学内に設置したプロトタイプ用サーバーに整備している。本節では、湖内情報のコンテンツについて簡単に説明する他、サーバーについての若干の技術的内容を述べることとする。

### 5.3.1 水質情報

1960年代以降の水質情報を提供する。論文発表を予定しているため、数値情報は現段階では公開せずに、水質のグラフをデータベースに含める予定である。GISを用いて地点を選択すると、その地点の水

質グラフが表示できる。

### 5.3.2 プランクトン情報

1980年代以降のプランクトン情報を提供する。プランクトン情報はMicrosoft® Excel®で整理されているので、数年間分のデータをサンプルとして、Excel®のデータをダウンロードして利用可能にするとともに、地点、プランクトンの種類を選択すると、数年間のプランクトン数(濃度)の推移がグラフ表示される。

### 5.3.3 湖岸情報

湖岸情報の元となるデータは2003年春に、宍道湖湖岸を約6時間かけて漁船から撮影したデジタル画像である。既に、この画像を元に、約600区間に区分して、宍道湖湖岸の特徴についてまとめた研究が発表されている(Kurata, 2005)。宍道湖・中海環境データベースに関する研究活動の一環として、この画像データの約600区間を、GISを用いて地図上に記載し、各区間の長さのデータを付加することを試みた。湖内情報のプロトタイプの1つとして、このデータの一部を公開している。

地図上に各区間を記録し、プロトタイプでは、各区間を選択すると、その区間の属性および特徴的な画像を見ることができる。

### 5.3.4 OSとソフトウェア

湖内情報のプロトタイプのOSには、Linuxを用いることを検討している。Linuxはリーナス・トパーズが、1990年代前半からUNIX系のコマンドをパーソナルなPC環境で実行することを目的として開発を始めたOSであり、当初からソースコードが公開されていて、オープンなコミュニティにより開発が

表 5. Linux の主なディストリビューション

Table 5. Some distributions of Linux.

RPM group	Debian group	Others
Red Hat Linux	Debian GNU/Linux	Slackware Linux
Turbolinux	Corel Linux	Plamo Linux
Miracle Linux	Omoikane GNU/Linux	
LASER5 Linux		
Vine Linux		
Konadate MUN/Linux		

行われている(濱野, 2001). 長所としては, (1)TCP/IP を中心にネットワークに強い OS とされている, (2) 安定している (例えば, Windows NT よりも), (3)セキュリティ関連の対策が素早い, (4) 情報が多い (=Solaris, FreeBSD, NetBSD などと比べてユーザーが多い), (5)商用アプリケーションが徐々に整いつつある, というような点が挙げられている. 一方, 短所としては, (1)Solaris ほど安定していない, (2)印刷環境が非常に弱い, (3)クライアントとしてのユーザビリティが進化の途上にある, (4)ドライバなど未対応のハードウェアがまだ多い, というような点が挙げられている. Linux にはいくつかのディストリビューションがある(表 5). 本格的なサーバー運用の際には, 可能な範囲でこれらディストリビューションの特徴を踏まえた選択を行うことが望ましいであろう.

上述のような Linux の OS としての特徴から, Webサーバー, メールサーバー, ネームサーバーなどのインターネットサーバーとして活用される場合が多い. インターネットに接続されていなくても, ファイルサーバー, データベースサーバーとして活用されていることが多い. 表 6 に主に Linux を OS とするサーバーについて, その概要を示す(濱野, 2001). 本環境データベースについては, Webサーバー, データベースサーバーを中心に, ファイルサーバーまでが検討対象である.

5.3.5 湖内情報プロトタイプ

湖内情報プロトタイプは, 5.3.1~5.3.3 に述べたようなコンテンツが, 5.3.4 のシステム上に構築されることを目標としている. その際に, 特に, 一括してダウンロード可能なデータについては, 利用者の利便性向上を目的として, メタデータを整備し, データの特徴, 性質, データ取得のための方法などを明示する方向で進めている.

5.4 文献情報プロトタイプ

文献情報は, 相崎(2000)の中海・宍道湖文献目録をプロトタイプとし, 相崎教授作成のホームページにリンクしてある.

表 6. Linux のサーバーの種類とその概要(濱野, 2001 を元に著者らが作成)

Table 6. Kinds of Linux server and their outlines. (Prepared by the author after Hamano, 2001)

種類	概要
Webサーバー	ブラウザからの要求に従って, 準備しておいたコンテンツ (HTMLやCGIなど) を送り返す機能. Apacheが利用されることが多い. 動的なページ生成をさせるため, perl, PHP, rubyなどで記述されたコードをバックエンドで動かすこともある.
メールサーバー	メーラーの送受信, 保管の機能. 従来は sendmail で主流であった. 最近は postfix や qmail など利用されている.
ネームサーバー	ホスト名をIPアドレスに変換する. 標準は BIND. 最近はセキュリティの関係でdjbdnsを使うこともある.
ファイルサーバー	Windowsから参照するにはSambaを, Linuxから参照するにはSfuuを利用する. Macintoshの場合にはNetatalkとMacintoshのApple Talkが利用できる.
データベースサーバー	各種のデータをストックし, その活用を可能とする. Softwareとしては, Access (Microsoft, MS), Open Office Base, Interbase, Firebird, Oracle, DB2 UDB (IBM), SQLServer (MS), FileMaker, MySQL, DB2 UDB (IBM), Oracle, PostgreSQLなどがある.

6 東京大学空間情報科学研究センター (CSIS) との共同研究

2005 年度途中より, 本研究における環境データを整理するためのベースとなるデータセットの充実を意図して, 東京大学空間情報科学研究センター (CSIS) との共同研究の申請を行い, CSIS の保有する GIS 情報を活用する体制を整えた. 本年度においては, 共同研究の枠組みを十分に活用できたとは言いがたい. 来年度以降, 鳥根県が保有するデータなどを含めて整理, 比較検討を行いながら, 活用の方法も含めて検討していくことが必要であると考えられる.

7 今後の方向性

流域情報, 湖内情報, 文献情報を統合して, 宍道湖・中海環境データベースのプロトタイプとして作成し, 関係者に公開し, 合意が取れた段階で一般公開する方向で進めている. 専門家, 関係者, 一般市民の意見, ニーズを歓迎し, 必要に応じて対応しながら, 有意義なものにしていければと考えている.

科学研究費公開促進費の対象となっているデータベースの中には, Globalbase という考え方を採用しているデータベースもある(森洋久, 2005) (図 5). Globalbase とは, データベースの集中型から自立分

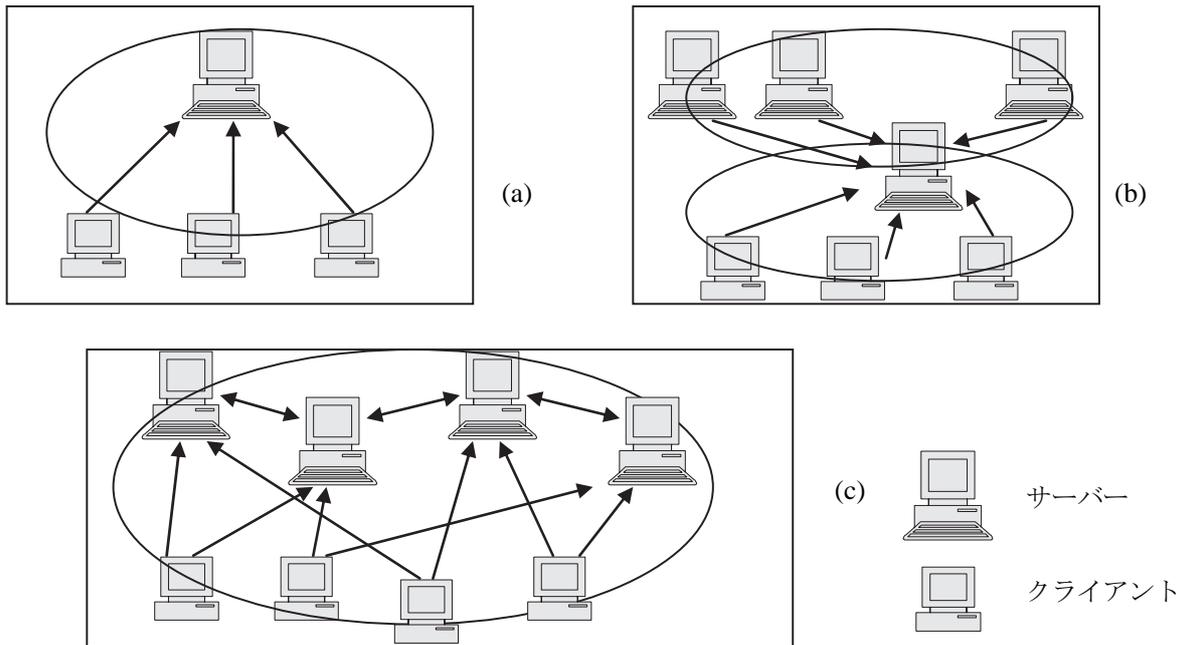


図5. サーバーとクライアントの関係の模式図. (a)従来型の集中型. データは全てサーバーに置く; (b)中央にクリアリング(重ね合わせ)サーバーを配置. データは周囲のサーバーに置かれ, 中央のサーバーは検索, オーバーラップの機能を持つ. クリアリングハウスメカニズム; (c) Globalbase の目指す完全自立分散型アーキテクチャ. 情報発信者と情報検索者の間には妨げとなる量的, 質的ボトルネックが何も存在しない状態を理想とする. (森(2005)を元に著者が作成)

**Fig. 5.** Illustrations for the relationships of server (s) and clients. (a): the simplest quasi-centralized architecture; (b): clearing house mechanism with a central server with searching and overlapping functions, peripheral servers with data recording function and clients; and (c) independent and distributed architecture with Globalbase, an ideal environment without any qualitative and quantitative bottleneck between information providers and receivers (Prepared by the authors after Mori (2005))

散型への流れをサポートするアーキテクチャで, 多くの OS (Linux, Mac, Solaris, Windows, FreeBSD) に対応している. 数年間のスパンで考えたときには, 宍道湖・中海環境データベースにもこのような新しい考え方を適用することも検討する必要があるかもしれない. 分散型アーキテクチャは, 例えばヨーロッパの数カ国にまたがる水道, 電力, ガス分野の多国籍企業 Schlumberger 社の大規模システムでも採用されている (Press Release(2000)). ただし, 同社のシステムは Oracle®を用いた汎用の Windows®ベースのアーキテクチャである. 土木分野の事業に分散型アーキテクチャを活用する事例もあり, Sun (2001) は, 共同事業のデータベース, クライアント管理アプリケーション, 3社のソフトウェアのインターフェース, VRML ブラウザによって構成される分散型アーキテクチャにより, 設計参加者全員が方針決定の過程とその合理的根拠を, 外部化し, 共有することができた, としている. Schoof(2004)は, ヨロッパのバイオインフォーマティクス, 植物細胞学分野の生物学者による分散型ネットワーク PlaNet

について報告している. PlaNet のインターネットを通じたデータのやり取りは BioMoby が活用されており, データオブジェクトは xml 形式, web サービスからのデータの読み取りには単純オブジェクト・アクセス・プロトコル (simple object access components, SOAP) が用いられている. このように, 分散型アーキテクチャは用途に応じて汎用の技術と考えられる. 先述の Globalbase はプラットフォームを問わない点が新しく, 今後の展開が注目されている技術である.

図6に宍道湖・中海環境データベース構築のための関係者の役割を示す. 1つの方向性として宍道湖・中海湖内および流域の情報, データを多数保有していると考えられる国, 県, 大学が, NGO/NPO, 一般市民と協力しながら, 宍道湖・中海環境データベースを構築することが望ましい. 市民との協働, 関係者との協力などの点について, 若干具体的に記述するとすれば, 次のような利点があると考えられる. 従来, 公共事業の方針などを巡って関係者が対立したような場合には, それぞれがそれぞれのデー

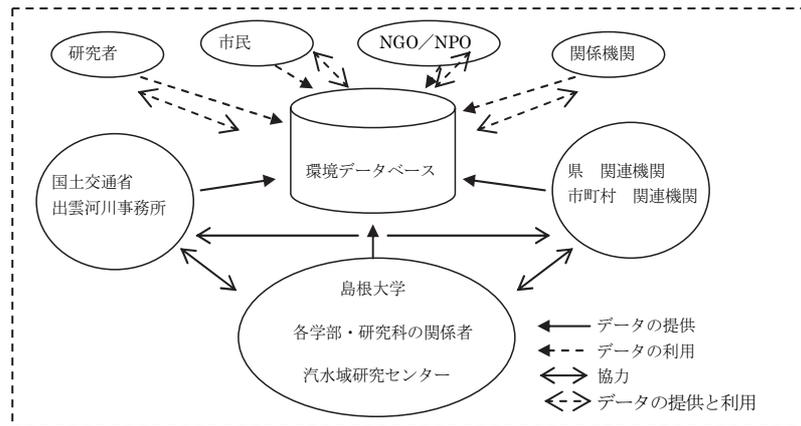


図6. 宍道湖・中海環境データベースに関する関係者の役割. データの配置方法については、集中型、クリアリングハウス型などから、どのような形態にするかを今後検討していく予定である。(國井・都筑, 2005; 都筑, 2005a, b; 都筑・中山・國井, 2006a, bを筆者らが一部修正)

**Fig. 6.** Stakeholders and their roles for the environmental database of Lakes Shinji and Nakaumi. Further considerations would be necessary in regards to actual data deployment including centralized architecture and clearing house mechanisms architecture (Modified by the authors after Kunii and Tsuzuki, 2005; Tsuzuki, 2005a, b; Tsuzuki, Nakayama and Kunii, 2006a, b;)

タを元に主張を展開することが通常であった。しかしながら、このデータベースによるある程度客観性があると考えられるデータ群が形成されることにより、宍道湖・中海流域の環境に関する共通認識のバックグラウンドとなることが可能となると考えられる。

市民意識の向上に関して、河川を活かしたまちづくりに関する動きの中では、パートナーシップによる河川管理のあり方に関する研究会(1999)が、「パートナーシップによる河川管理に関する提言」を行っている。提言では、基本的なパートナーシップ(協働)推進の視点として、(1)各主体の多様なかわりを再認識する、(2)情報を共有し、お互いを理解する、(3)多様なパートナーシップで取り組む、(4)パートナーシップによる取り組みはプロセスが重要である、ことが挙げられている。宍道湖・中海環境データベースが、特に(1)、(2)の部分で地域の市民(住民)参加、市民意識の向上に貢献することができれば望ましいと考えている。これらの点については、短期的には関係機関へのリンクがその機能を果たし、長期的には仮に各機関のデータがこのデータベースにも含まれるような方向になるとすると、それらのデータを含めたアウトプット用のインターフェースを工夫することによってその機能を果たすことができるようになると思われる。

## 謝 辞

宍道湖・中海環境データベース研究会および検討会のメンバーに謝意を表したい(50音順, 敬称略)。相崎守弘(島根大学生物資源科学部), 石飛裕(島根県保健環境科学研究所), 大谷修司(島根大学教育学部), 狩野好宏(島根県保健環境科学研究所), 倉田健悟(島根大学汽水域研究センター), 古津年章(島根大学総合理工学部), 小林康幸(島根大学総合理工学部), 作野広和(島根大学教育学部), 三瓶良和(島根大学総合理工学部), 清家泰(島根大学総合理工学部), 宗村広昭(島根大学生物資源科学部), 高安克己(島根大学), 武田育郎(島根大学生物資源科学部), 武邊勝道(松江高専数理科学科), 田中伸和(島根県内水面水産試験場), 南條吉之(鳥取県衛生環境研究所), 野村律夫(島根大学教育学部), 藤原敦夫(島根県環境生活部), 藤原真一(国土交通省出雲河川事務所), 藤山浩(島根県中山間地域研究センター), 箕田充志(松江高専電気工学科), 安木茂(島根県内水面水産試験場), 山田浩昭(鳥取県生活環境部), 湯浅丈司(国土交通省出雲河川事務所)。本研究の一部は、島根大学プロジェクト研究推進機構重点研究部門/汽水域の自然・環境再生研究拠点形成プロジェクト/水環境評価と地域連携推進プロセス構築チームの研究活動として行われた。本研究の一部は、東京大学空間情報科学研究センター(CSIS)との共同

研究として行った。流域情報については島根県の諸機関(中山間地域研究センター, 環境生活部環境政策課, 保健環境科学研究所, 農林水産部森林整備課)にお世話になった。流域データ, 湖岸データ整備, メタデータ整備は, 島根大学3年生(当時)の熱田さん, 木戸さん, 松崎さん, 松島さん, 米澤さんにお手伝いいただいた。

### 参考文献・資料

- 相崎守弘(2000) 中海・宍道湖文献目録, LAGUNA(汽水湖研究), 7, 85-105.
- Alsinet, T., Anso'tegui, C., Be'jar, R., Fern'andez, C. and Many, F.(2003) Automated monitoring of medical protocols: a secure and distributed architecture, *Artificial Intelligence in Medicine*, 27, 367-392.
- 藤井滋穂(2004) 湖沼水質問題についての新たな視点—琵琶湖水質問題とモニタリングデータ活用—, *水環境学会誌*, 27(8), 505-508.
- 濱野賢一朗(2001) Linux 入門～何ができるの?～, 東京大学情報基盤センター, コンピュータ・ネットワーク利用セミナー, 2001年3月([http://www.itc.u-tokyo.ac.jp/Seminar/013\\_20010305/index.html](http://www.itc.u-tokyo.ac.jp/Seminar/013_20010305/index.html))
- 小池俊雄(2006) 平成15～17年度科学技術振興調整費 先導的研究等の推進「水循環インフォマティクスの確立」総括報告 In: 平成15～17年度科学技術振興調整費 先導的研究等の推進「水循環インフォマティクスの確立」報告書, pp. 1-3, 65 p.
- 國井秀伸・都筑良明(2005) 宍道湖・中海環境データベースの構築に向けて, 環日本海域環境情報のデータベース構築に関するワークショップ, 金沢大学21世紀COEプログラム, 金沢市, 2005年6月
- Kurata, K.(2005) How do we restore the shoreline environment in a brackish water area?: a goal plus an assessment, *International Seminar, Sustainability of the Precious Water Environments*, 122-126(汽水域の沿岸をどのように修復するのか—目標と評価—, 127-131), Matsue, Japan, Jan. 29-30, 2005.
- 森洋久(2005) Globalbase project, 50 p. (available at <http://globalbase.sourceforge.jp/users/joshua/GLOBALBASE.pdf>)
- パートナーシップによる河川管理のあり方に関する研究会(1999) パートナーシップによる河川管理に関する提言 (available at <http://www.mlit.go.jp/river/kankyou/p11.html>)
- Schoof, H., Ernst, R. and Mayer, K.F.X.(2004) The PlaNet consortium: A network of European plant databases connecting plant genome data in an integrated biological knowledge resource, *Comparative and Functional Genomics*, 5(2), 184-189.
- Sun, M., Aouad, G. and Bakis, N.(2001) *Abstract of A multidisciplinary collaborative design system for civil engineering projects*, Proceedings of the Sixth International Conference on the Application of Artificial Intelligence to Civil and Structural Engineering, 2001, 21-22. (available at <http://www.scopus.com/scopus/record/display.url?view=basic&origin=resultslst&eid=2-s2.0-0035790996&sort=plf-f&src=s&sid=07X3pwcaTp8XWCkhYIglM2z%3a70&sort=q&sdt=b&sl=56&s=TITLE-ABS-KEY-AUTH%28%22distributed+architecture%22+AND+water%29&relpos=0>)
- The Redlands Institute, University of Redlands (2003) Salton Sea Digital Atlas CD-ROM Version 2.0.
- The Redlands Institute, University of Redlands (2006) Salton Sea Database Program ホームページ (available at <http://www.institute.redlands.edu/salton/>)
- 都筑良明(2005a) 宍道湖・中海環境データベース連絡協議会(仮称)について, 2005年4月(内部資料)
- 都筑良明(2005b) 宍道湖・中海流域環境データベース, 島根大学プロジェクト研究推進機構重点研究部門/汽水域の自然・環境再生研究拠点形成プロジェクト/水環境評価と地域連携推進プロセス構築チーム公開セミナー「宍道湖・中海の水環境と住民参加による環境保全」, 2005年11月, 松江市 (<http://pm75.soc.shimane-u.ac.jp/kisuijp/005.htm>)
- 都筑良明・中山大介・國井秀伸(2006a) 宍道湖・中海環境データベースの望ましい姿とは?, 第13回新春恒例 汽水域研究発表会, 松江市
- 都筑良明・中山大介・國井秀伸(2006b) 宍道湖・中海環境データベース研究会の報告, 第40回日本水環境学会年会, 仙台市
- 山室真澄・浦野庸子(1999) 宍道湖・中海の地理情報システムの構築, 中海・宍道湖の100年間の開発・利用及び環境変化—20世紀から21世紀へのメッセージ—講演資料集, 109-112, 1999年5月29-30日, 松江市
- Press Release (2000) New European data management centre helps utilities adapt to energy market deregulation; State-of-the-art facility brings secure Internet-based services to utilities throughout Europe, Press Release, Issue 157, 13 July 2000 (available at <http://>)

www.scopus.com/scopus/record/display.url?view=  
basic&origin=resultslist&eid=2-s2.0-0034644182&  
sort=plf-f&src=s&sid=5aCIH3\_OyLDNYsbusqB\_

nOLd%3a520&sot=q&sdt=b&sl=69&s=TITLE-ABS-  
KEY-AUTH%28%22distributed+architecture%22+  
AND+database+AND+water%29&relpos=1)

## **Correction to “Fossil benthic foraminifera from Aso-kai Lagoon, central Japan”**

**Hiroyuki Takata<sup>1</sup>, Satoshi Tanaka<sup>2</sup>, Shun-suke Murakami<sup>3</sup>,  
Koji Seto<sup>1</sup> and Katsumi Takayasu<sup>4</sup>**

In the paper, “Fossil benthic foraminifera from Aso-kai Lagoon, central Japan” by Hiroyuki Takata, Satoshi Tanaka, Shun-suke Murakami, Koji Seto and Katsumi Takayasu (LAGUNA, no. 12, p. 45–52), the table 1 was incorrect. Correct version appears below.

---

<sup>1</sup> Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan

<sup>2</sup> Kyoto University of Education, 1 Fujinomori, Fukakusa, Kyoto 612-8522, Japan

<sup>3</sup> Department of Geoscience, Interdisciplinary faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan

<sup>4</sup> Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan







(2005年1月～12月)

## 1. 研究組織

### 専任教員

センター長 教授 國井秀伸(保全生態学)  
副センター長 助教授 瀬戸浩二(同位体地球科学)  
助教授 堀之内正博(魚類生態学)  
助教授 倉田健悟(応用生態工学)

### 外国人研究員

教授 Hugo Coops(水圏生態学)  
平成17(2005)年1月～  
平成17(2005)年12月

### 日本学術振興会特別研究員

石田 桂(古生物学)  
平成16(2004)年4月～  
平成17(2005)年3月  
山田和芳(自然地理学)  
平成17(2005)年4月～  
平成20年3月(予定)

### 研究員

都筑良明(環境工学)  
平成16(2004)年12月～  
宮本 康(群集生態学)  
平成16(2004)年12月～  
高田裕行(微生物学)  
平成16(2004)年12月～  
荒木 悟(植物生態学)  
平成17(2005)年5月～  
中山大介(地理情報学)  
平成17(2005)年5月～  
香月興太(古海洋学)  
平成17(2005)年8月～

### 協力研究員

平成17(2005)年度47名.

### 研究支援組織

事務補佐員 福原千晴  
技術補佐員 船来桂子  
技能補佐員 松本貞夫

## 2. 平成17年度活動報告

### 2-1. 研究活動

#### 2-1-1. 研究資金(競争的資金・外部資金)

##### ○政策的配分経費(重点プロジェクト経費)

「汽水域の自然・環境再生研究拠点形成プロジェクト」20,000千円(センターの専任教員4名を含む今年度21名のプロジェクト推進担当者で分配)

##### ○科学研究費補助金

(研究代表者分)

基盤研究(A)(2)「宍道湖・中海の自然再生事業に適したモニタリング法の確立」(研究代表者: 國井秀伸)7,200千円(間接経費: 2,160千円)(平成16(2004)年度～平成18(2006)年度, 総額25,600千円)

基盤研究(C)(2)「汽水環境における塩分躍層付近の生物生産システムとその地質記録に関する研究」(研究代表者: 瀬戸浩二)500千円(平成15(2003)年度～平成17(2005)年度, 総額3,600千円)

若手研究(B)「魚類群集に対するコアマモ場の機能の解明—環境修復(海草藻場造成)を視野に入れて—」(研究代表者: 堀之内正博)500千円(平成15(2003)年度～平成17(2005)年度, 総額2,200千円)

若手研究(B)「斐伊川水系における岸辺インターフェイスの物質動態」(研究代表者: 倉田健悟)370千円(平成16(2004)年～平成18(2006)年度, 総額3,800千円)

特別研究員奨励費「汽水湖沼の堆積学的研究に基づく完新世気候変動と人間活動イベントの検出」(研究代表者: 山田和芳)1,100千円(平成17(2005)年度～平成19(2007)年度, 総額3,300千円(研究分担者分))

基盤研究(A)(1)「ケニアリフトにおける新第三紀環境変遷史: 類人猿から初期人類に至る進化史への貢献」(研究代表者: 島根大学 澤田順弘, 研究分担者: 瀬戸浩二)

基盤研究(A)(2)「タイ国におけるエビ養殖業と沿岸環境の実態に関する調査研究」(研究代表者: 東京大学 黒倉壽, 研究分担者: 堀之内正博)

基盤研究(B)(2)「熱帯地方のアマモ場とマングローブ域は稚魚の成育場として重要か?」(研究代表者: 東京大学 佐野光彦, 研究分担者: 堀之内正博)

##### ○受託研究

「オニバスの生態及び保全対策に関する調査研究」(委託者: 島根県, 受託者: 國井秀伸)700千円  
「宍道湖・中海に生息する水草類の分子系統解析」

(委託者：(財)ホシザキグリーン財団，受託者：  
國井秀伸) 300 千円

「鳥取大学連合大学院受託事業費(連合農学研究科  
経費)」(委託者：鳥取大学，受託者：國井秀伸)  
研究経費 329 千円，教育経費 19 千円

「サンゴ礁生物多様性保全地域の選定に関する研究  
(1) 保全すべきサンゴ礁生物多様性の探索」(委  
託者：環境省地球環境研究総合推進費 再委託  
者：(独)水産総合研究センター西海区水産研究  
所，受託者：堀之内正博) 1,000 千円

#### ○寄付金

「湖再生のための環境修復についての調査」(寄付  
者：(財)宍道湖・中海汽水湖研究所，受入者：  
國井秀伸)(平成 17(2005)年 1 月，10 月) 100 千  
円+300 千円

「太田川放水路に関する研究」(寄付者：(財)リバー  
フロント整備センター，受入者：國井秀伸)(平  
成 17(2005)年 5 月) 1,000 千円

「タイ南部ソクラー湖における汽水域の形成環境  
と近年の地球温暖化との関係の解明」(研究代表  
者：山田和芳，福武学術文化振興財団研究助成(地  
理)平成 17(2005)年 4 月～平成 18(2006)年 3  
月) 1,000 千円

「出雲平野の遺跡調査に関する環境考古学的研究」  
(寄付者：文化財調査コンサルタント株式会社，受  
入者：山田和芳)(平成 17(2005)年 4 月) 400 千  
円

「河口域の「栄養塩負荷－透明度－藻場」の関係を探  
る」(研究代表者：宮本 康，河川環境管理財団  
河川整備基金助成 平成 16(2004)年 6 月～平成  
17(2005)年 5 月) 850 千円

「海水流入の変動が下流域の河川生態系に与える影  
響：外海の海面変動に注目して」(研究代表者：  
宮本 康，河川環境管理財団河川整備基金助成  
平成 17(2005)年 6 月～平成 18(2006)年 5 月) 900  
千円

#### ○その他外部資金

「生活排水の環境家計簿－三番瀬(東京湾のケー  
スタディ)－下水道振興基金海外研究発表助成  
(寄付者：都筑良明(公益信託下水道振興基金)，  
受入者：都筑良明) 100 千円

「中国エルハイ湖堆積物による過去 10 万年間のモン  
スーン変動の高精度復元とグローバルな気候変動  
のトリガーの解明」(研究代表者：山田和芳，ア

サヒビール学術振興財団研究助成 平成 17  
(2005)年 6 月～平成 18(2006)年 5 月) 700 千円

#### ○共同研究

「北海道サロマ湖における底質環境に関する研究」  
サロマ湖養殖業組合．受入れ研究者：瀬戸浩二．  
300 千円．平成 17 年度．

「微小領域分析および微小環境観測手法に基づく白  
亜紀温暖地球における有機物生産と埋没過程の研  
究」(研究代表者：(独)海洋研究開発機構 北里  
洋，相手方：汽水域研究センター 國井秀伸) 100  
千円 平成 16(2004)年 8 月～平成 17(2005)年  
3 月

## 2-1-2. 研究成果の公表

### 國井秀伸

(論文等)

生態系管理専門委員会(2005)自然再生事業指針．保  
全生態学研究，10：63-75.

國井秀伸(2005)島根の汽水湖沼の湿生植物群落．  
(財)日本自然保護協会編，87-91．文一総合出版．  
(報告書・その他)

國井秀伸(2005)宍道湖・中海のグランドデザイン．  
海洋政策研究所編，80-81．(財)シップ・アンド・  
オーシャン財団．

Sakuno, Y., Ehara, R., and Kunii, H.(2005) Monitoring  
red tide bloom using MODIS data in Lake Nakaumi,  
Japan, Proceedings of Asian and Pacific Coasts 2005,  
pp.571-574.

作野裕司・江原 亮・國井秀伸(2005)MODIS デー  
タを用いた中海の赤潮モニタリング－2004 年．  
LAGUNA(汽水域研究)，12：37-44.

安藤義範・山本孝洋・笹田直樹・國井秀伸(2005)  
実生によるバイカモ群落の回復．水草研究会誌，  
83：9-10.

(国際シンポジウム・招待講演発表)

Araki, S. and Kunii, H.(2005) Seedling safe-site and  
probable process of community development in two  
marsh-plants along Lake Nakaumi, Japan. Interna-  
tional Seminar on the Sustainability of the Precious  
Water Environment. 29-30 January 2005, Matsue,  
Japan.

Sakuno, Y., Ehara, R. and Kunii, H.(2005) Monitoring  
red tide bloom using satellite ocean color sensor,  
“MODIS” in Lake Nakaumi. International Seminar on

the Sustainability of the Precious Water Environment. 29–30 January 2005, Matsue, Japan.

Kunii, H. and Mizoyama, I. (2005) What's going on in the degraded coastal lagoon Lakes Shinji and Nakaumi, Japan. Asian Wetland Symposium 2005. 6–9 February 2005, Bhubaneswar (Orissa), India.

國井秀伸 (2005) 「宍道湖・中海環境データベースの構築に向けて」. 環日本海域環境情報のデータベース構築に関するワークショップ. 金沢大学自然科学研究科図書館棟 G 15 会議室. 主催: 金沢大学 21 世紀 COE プログラム「環日本海域の環境計測と長期・短期変動予測」. 金沢大学自然計測応用研究センター. 招待発表. 2005 年 6 月 6 日.

國井秀伸 (2005) 「河川環境の健全性評価－River Habitat Survey の紹介－」. ワークショップ: 河川環境目標への科学的アプローチは可能か－考え方と実際－. 鈴乃屋ホール. 主催: 河川環境目標検討委員会, 共催: 応用生態工学会. 招待講演. 2005 年 6 月 7 日.

## 瀬戸浩二

(論文等)

田中里志・瀬戸浩二・中村建作・沢田順弘 (2005) ケニア・リフトに分布するナイヴァシャ湖とボゴリア湖の環境変遷. 月刊地球, 27 (8) : 612–621.

Hiroyuki Takata, Koji Seto, Saburo Sakai, Satoshi Tanaka and Katsumi Takayasu (2005) Correlation of *Virgulina fragilis* Grindell & Collen (benthic foraminiferid) with near-anoxia in Aso-kai Lagoon, central Japan. *J. Micropalaeontol.*, 24 (2) : 159–167.

中村建作・瀬戸浩二 (2005) 西表島船浦湾奥部におけるマングローブ環境の特徴. *Laguna* (汽水域研究), 12 : 1–14.

Hiroyuki Takata, Satoshi Tanaka, Shun-suke Murakami, Koji Seto and Katsumi Takayasu (2005) Fossil benthic foraminifera from Aso-kai Lagoon, central Japan. *Laguna*, 12 : 45–52.

(国際シンポジウム・招待講演発表)

Irizuki, T., Seto, K. and Nomura, R. (2005) Faunal changes in Ostracoda (Crustacea) in Uranouchi Bay, Kochi Prefecture, southwest Japan over the 50 years. International Seminar on the Sustainability of the Precious Water Environment, 29–30 January 2005, Matsue, Japan.

Nakamura, K., Seto, K., Tanaka, S., Mathai, S. and Sawada, Y. (2005) Characteristics of water quality and sediments in the lakes distributed in the Kenya. International Seminar on the Sustainability of the Precious Water Environment, 29–30 January 2005, Matsue, Japan.

Sakai, S., Nakaya, M., Kano, A., Dettman, D., Horinouchi, M. and Seto, K. (2005) Seasonal change of oxygen isotopes of water column and otolith in Shinji-Nakaumi lagoon. International Seminar on the Sustainability of the Precious Water Environment, 29–30 January 2005, Matsue, Japan.

David L. Dettman, Koji Seto, Yoshikazu Sampei (2005) Stable Isotope Patterns in a Lagoonal Lake System: Implications for Paleo-Salinity Studies. Geological Society of America.

瀬戸浩二 (2005) 「南極湖沼の研究－南極の湖の素顔とそこに記録された古環境変遷史」. 水産科学センターセミナー. 網走市水産科学センター. 平成 17 (2005) 年 10 月 4 日.

## 堀之内正博

(論文等)

Masahiro Horinouchi, Yohei Nakamura, and Mitsuhiro Sano (2005). Comparative analysis of visual censuses using different width strip-transects for a fish assemblage in a seagrass bed. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65 : 53–60.

Masahiro Horinouchi (2005) A comparison of fish assemblages from seagrass beds and the adjacent bare substrata in Lake Hamana, central Japan. *Laguna*, 12 : 69–72.

堀之内正博・中村洋平・佐野光彦・澁野拓郎 (2005) 沖縄県石西礁湖における海草藻場保全地域の選定に関する研究: どの海草藻場を保全すれば魚類の種多様性が維持できるか. *Laguna*, 12 : 63–67.

(報告書・その他)

堀之内正博 (2005) アマモ場の構造は稚魚の個体密度や分布パターンにどのような影響をおよぼすか. *海洋と生物*, 27 (4) : 350–355.

堀之内正博 (2005) 「サンゴ礁生物多様性保全地域の選定に関する研究 ①保全すべきサンゴ礁生物多様性の探索」環境省地球環境研究総合推進費平成 15 年度研究成果－中間成果報告集－ (2005 年

2月)

(国際シンポジウム・招待講演発表)

Takuro Shibuno, Yohei Nakamura, Masahiro Horinouchi and Mitsuhiro Sano. Comparison of reef fish community structures from mangrove estuary to coral reef slope, at Ishigaki Island, southern Japan. The 7th Indo-Pacific Fish Conference. 16–21 May, 2005. Taipei, Taiwan.

### 倉田健悟

(報告書・その他)

倉田健悟・Karyne M. Rogers (2005) 干潟の食物網と汚染を調べる－安定同位体比と重金属濃度の利用. 海洋と生物, 27 (4) : 331–336.

(国際シンポジウム・招待講演発表)

Kurata, K. (2005) How do we restore the shoreline environment in a brackish water area? : a goal plus an assessment. International Seminar of the Sustainability of the Precious Water Environment. 29–30 January 2005, Matsue, Japan.

Rogers, K. M. & Kurata, K. (2005) Detecting changing landuse at Porirua Harbour – Pauahatanui Estuary using stable carbon and nitrogen isotopes and heavy metals. 2005 Annual Conference of New Zealand Marine Sciences Society, 23–26 August, Wellington, New Zealand.

### Hugo Coops

(論文等)

Coops, H. & Van Geest, G.J. (2005) Extreme water-level fluctuations determine aquatic vegetation in modified large – river floodplains. Archiv fur Hydrobiologie Suppl. ,155/1–4 : 261–274.

Coops, H. & Havens, K.E. (2005) Introduction to the Special Issue : Role of water-level fluctuations in lakes and wetlands. Hydrobiologia, 539 : 169.

Van Geest, G.J., Wolters, H., Roozen, F.C.J.M., Coops, H., Roijackers, R.M.M., Buijse, A.D. & Scheffer, M. (2005) Water-level fluctuations affect macrophyte richness in floodplain lakes. Hydrobiologia, 539 : 239–248.

Van Geest, G.J., Coops, H., Roijackers, R.M.M., Buijse, A.D. & Scheffer, M. (2005) Succession of aquatic vegetation driven by reduced water-level fluctuations

in floodplain lakes. Journal of Applied Ecology, 42 : 251–260.

Coops, H., Tockner, K., Amoros, C., Hein, T. and Quinn, G. (in press) Restoring lateral connections between rivers and floodplains : lessons from rehabilitation projects. Chapter 2 in : J.T.A. Verhoeven, B. Beltman, R. Bobbink & D.F. Whigham (eds.), Wetlands as a Natural Resource, Volume 1. Wetlands and Natural Resource Management.

Coops, H., and Havens, K.E., Eds. (2005) The Role of Water-level Fluctuations in Lakes and Wetlands. Hydrobiologia 539 (Special Issue).

(国際シンポジウム・招待講演)

Coops, H., Kerkum, F.W.M., Van den Berg, M.S. & Van Splunder, I. (2005) Assessment of macrophytes : status, trends and prospects in shallow, alkaline lakes in the Netherlands. 5–9 June Dalfsen, The Netherlands.

Coops, H., Stan Kerkhofs and Kees Storm (2005) Haringvliet Sluices Ajar : mitigating ecological impacts of the Delta-works in the Netherlands. Nagara River Symposium. 17 Jan. 2005 Nagashima-cho (Mie Pref.)

Coops, H. (2005) How important is the water level for macrophyte-dominated ecosystems ? International Seminar on Ecological Restoration of Lakeshore Vegetation. 23 May 2005, The University of Tokyo (Tokyo).

Coops, H. (2005) Monitoring van waterplanten (Monitoring of macrophytes). Workshop of the National Biological Monitoring Programme. 2 June 2005, Nieuwkoop (The Netherlands).

Coops, H. (2005) Climate change, flood protection and river rehabilitation along the River Rhine. Lecture at PWRI (Public Works Research Institute). 28 June 2005, PWRI, Tsukuba.

Coops, H. (2005) The key role of wave action and water-level fluctuations in shoreline restoration success. Lakeshore Symposium Matsue. 19 Aug 2005, Matsue City Hall, Matsue.

Coops, H. (2005) Management and Rehabilitation of Large Lowland Rivers : The Lower Rhine. Symposium MLIT, Ohtagawa River Branch. 16 Dec 2005, Hiroshima.

**山田和芳**

(論文等)

山田和芳・福澤仁之(2005)レス・湖沼堆積物記録からみたアジアモンスーンと氷期-間氷期サイクルの関係. 地質学雑誌, 111: 679-692.

(報告書・その他)

山田和芳(2006)浜寄・地方遺跡発掘調査に伴うボーリングコア解析から復元される益田平野の古環境. 浜寄・地方遺跡発掘調査報告書, 118-130, 島根県教育委員会.

渡辺正巳・山田和芳(2006)白枝本郷遺跡発掘調査に伴うジオスライサー採取試料の自然科学分析. 白枝本郷遺跡発掘調査Ⅱ, 島根県教育委員会(印刷中).

山田和芳(2006)「神門水海」の湖岸線復元 - 地形・地質コアによる検討 -. 風土記「神門水海」研究調査報告書, 島根県古代文化センター(印刷中).

(国際シンポジウム・招待講演発表)

Yamada, K. and the Team for Reconstruction of Ancient Environment 2005. Paleoenvironmental changes in Lake Jinzai since the Edo Period. International Seminar on the Sustainability of the Precious Water Environment. 29-30 January 2005, Matsue, Japan.

Takata, H., Yamada, K. and Takayasu, K. (2005) Early Holocene paleoenvironment of the western part of the Izumo Plain, western Japan, based on foraminiferal assemblage. International Seminar on the Sustainability of the Precious Water Environment. 29-30 January 2005, Matsue, Japan.

**都筑良明**

(論文等)

都筑良明(2005)三番瀬(東京湾)へ流入する排水種類別1人あたり水質汚濁負荷量と生活排水の環境家計簿. 水環境学会誌, 28: 49-54.

Tsuzuki, Y. (2005) Ecological Model Analysis of Predator-Prey Relationships in Anaerobic-Aerobic (Oxic) EBPR Activated Sludge Process. Journal of Ecotechnology Research, 11: 181-188.

都筑良明(2005)宍道湖・中海流域の生活排水: 処理効率と一般市民への情報提供. LAGUNA (汽水域研究), 12: 53-61.

(報告書・その他)

Tsuzuki, Y. (2005) A preliminary assessment of pollutant

load per capita flowing into public water body : a comparative study of several river basins in Japan and coastal areas in other countries. Proceedings of the 3rd International Symposium on Southeast Asian Water Environment, pp.9-16, Bangkok, Thailand.

都筑良明(2005)活性汚泥法微生物群の捕食関係における沈殿池と細菌捕食微生物の増殖速度飽和定数の影響. 第42回環境工学研究フォーラム講演集, pp.81-83.

都筑良明(2005)途上国の生活排水処理計画策定のための中小都市河川流域における生活排水の汚濁負荷量解析と環境家計簿. 第13回地球環境シンポジウム講演論文集, pp.77-82.

都筑良明(2005)生活排水の環境家計簿. 用水と廃水, 47: 539-545.

(国際シンポジウム・招待講演等発表)

Tsuzuki, Y. (2005) Domestic wastewater treatment in sub-urban cities on the coast of Tokyo Bay : Case studies in Chiba Prefecture, Japan, International Seminar on the Sustainability of the Precious Water Environment. 29-30 January 2005, Matsue, Japan.

Tsuzuki, Y. (2005) Environmental Accounting Housekeeping (EAH) Books of Domestic Wastewater : A Case Study of Chiba City, Chiba Prefecture, Japan, AMS Forum : Living with a Limited Water Supply in 85th American Meteorological Society Annual Meeting-Building the Earth Information System, CD-ROM and homepage, San Diego, U.S.A.

Tsuzuki, Y. (2005) A preliminary assessment of pollutant load per capita flowing into public water body : a comparative study of several river basins in Japan and coastal areas in other countries. 6-8 Dec 2005, Bangkok, Thailand.

**宮本 康**

(報告書・その他)

宮本 康(2005)河口域の「栄養塩負荷-透明度-藻場」関係を探る. 第12回 河川整備基金助成事業成果発表会概要集(年次報告)主な成果の概要, 35.

(国際シンポジウム・招待講演発表)

Miyamoto Y. (2005) Is lake Nakaumi an exceptional brackish lake? : the connection between water clarity and submerged vegetation characteristics. International

Seminar on the Sustainability of the Precious Water Environment. 29–30 January 2005, Matsue, Japan.

Miyamoto, Y. (2006) Meta-analysis on the plant-mediated indirect effect among herbivores. Biodiversity and Dynamics of Communities and Ecosystems: Structures, Processes and Mechanisms, March 2006, Osaka.

### 高田裕行

(論文等)

Takata, H. and Nomura, R. (2005) Data report: Oligocene benthic foraminifers from the East Equatorial Pacific, Sites 1218 and 1219, ODP Leg 199. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 199: 26 p.

Takata, H., Seto, K., Sakai, S., Tanaka, S. and Takayasu, K. (2005) Correlation of *Virgulinitella fragilis* Grindell and Collen (benthic foraminiferid) with near-anoxia in Aso-kai Lagoon, central Japan. Journal of Micropalaeontology, 24: 159–167.

Nomura, R. and Takata, H. (2005) Data Report: Paleocene/Eocene Benthic Foraminifers, ODP Leg 199 Sites 1215, 1220, and 1221, Equatorial Central Pacific Ocean. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 199: 34 p.

Takata, H., Tanaka, S., Murakami, S., Seto, K. and Takayasu, T. (2005) Fossil benthic foraminifera from the Aso-kai Lagoon, central Japan. LAGUNA, 12: 45–52.

Takata, H., Takayasu, K. and Hasegawa, S. (2006) Specific foraminiferal fauna in an organic-rich environment in Lake Saroma, Hokkaido Japan. Journal of Foraminiferal Research, in press.

(報告書・その他)

高田裕行・入月俊明・石田桂 (2005) 鹿児島県上甕島の内浦湾における現生有孔虫群 (予報). 九州から琉球弧の古地理の変遷に関連した貝形虫 (甲殻類) の進化古生物学的研究, 平成 17 年度研究成果報告書, 科学研究費補助金 [基盤研究 C(2)]: 22–26.

(国際シンポジウム・招待講演発表)

Takata, H., Yamada, K. and Takayasu, K. (2005) Early Holocene paleoenvironment of the western part of the Izumo Plain, western Japan, based on foraminiferal

assemblage. International Seminar, Sustainability of the Precious Water Environment. 29–30 January 2005, Matsue, Japan.

Ikehara, K., Takata, H. and Itaki, T. (2005) Mode of the Tsushima Current during the early stage of its inflow to the Japan Sea. Joint Seminar under the Japan-Korea Basic Scientific Cooperation Program, “Late Quaternary Paleooceanography and East Asian Monsoon Reconstruction in the Japan / East Sea”. 26–27 November 2005, Toyama, Japan.

高田裕行 (2005) 「IODP 乗船研究へのお誘い」. IODP キャンペーン, 2005 年 11 月, 島根大学.

### 荒木 悟

(国際シンポジウム・招待講演発表)

Araki, S. and Kunii, H. (2005) Seedling safe-site and probable process of community development in two marsh – plants along Lake Nakaumi, Japan. International Seminar on the Sustainability of the Precious Water Environment. 29–30 January 2005, Matsue, Japan.

### 中山大介

(論文等)

野々原伸吾・古津年章・下舞豊志・栗田賢一・作野裕司・松永恒雄・中山大介 (2005) 可視赤外およびマイクロ波同時観測による宍道湖・中海環境観測. LAGUNA (汽水域研究) 12: 23–35

(報告書・その他)

中山大介 (2005) 「鳥取県たたら、鉄穴流しによる地形変革&GIS (地理情報システム) 映像展示」鳥取県立公文書館巡回展. 作成・発表. 2005 年 11 月 13 日.

(国際シンポジウム・招待講演発表)

中山大介 (2005) 「流域管理における森林植生等の集水域 GIS データ集約の手法と今後の展望」森林 GIS フォーラム地域セミナー in 島根. パネリスト. 2005 年 9 月 21 日.

### 香月興太

(論文等)

Katsuki, K. and Takahashi, K. (2005) Diatoms as paleoenvironmental proxies for seasonal productivity, sea-ice and surface circulation in the Bering Sea

during the late Quaternary. *Deep-Sea Research II*, 56 (16/18) : 2110–2131.

Okazaki, Y., Takahashi, K., Katsuki, K., Ono, A., Hori, J., Sakamoto, T., Uchida, M., Ikehara, M., and Aoki, K. (2005) Late Quaternary paleoceanographic changes in the southwestern Okhotsk Sea : evidence from geochemical, radiolarian, and diatom records. *Deep-Sea Research II*, 56 (16/18) : 2240–2259.

Okazaki, Y., Takahashi, K., Asahi, H., Katsuki, K., Hori, J., and Tokuyama, E. (2005) Biological production changes in the Bering Sea during the late Quaternary. *Deep-Sea Research II*, 56 (16/18) : 2150–2163.

(報告書・その他)

Harada, N., Ahagon, N., Lange, C.B., Asahara, Y., Pantoja, S., Marchant, M.E., Mishima, T., Kanke, H., Tapia, R.I., Sepulveda, J., Santis, A.J.A., Katsuki, K., Matsuura, Y., Sato, Y., Maeda, R., Ueno, T., Tokunaga, W., Kimura, R. and Nagahama, N. (2005) Basic physical properties of sediment cores collected in the Chilean marginal area and Magellan Strait during leg.3 of cruise MR 03-K 04. JAMSTEC Report of Research Development, volume 2, December 2005, 13–27.

(国際シンポジウム・招待講演発表)

Takahashi, K., Ono, A., Katsuki, K., Okazaki, Y., and Sakamoto, T. (2005) The up stream discovery of the Dansgaard–Oeschger cycles in the Okhotsk Sea linked with the North Pacific Intermediate Water formation. *Proceedings of VII International Interdisciplinary Scientific Symposium and International Geoscience Programme (IGCP-476) : Regularities of the structure and evolution of geospheres*, Russian Academy of Sciences Far Eastern Branch, V.I. II · chev Pacific Oceanological Institute, Vladivostock, Russia. 434–435.

Sakamoto, T., Harada, N., Ikehara, M., Kanamatsu, T., Uchida, M., Aoki, K., Iijima, K., Sakai, H., Shibata, Y., Takahashi, K., Toyofuku, T., Katsuki, K., Okazaki, Y., Asahi, H., and Kawahata, H. (2005) Millennial-scale variations of sea-ice expansion and its relation to Okhotsk Sea Intermediate Water formation in southwestern part of the Okhotsk Sea during 120 kyr. *Proceedings of VII International Interdisciplinary Scientific Symposium and International Geoscience*

*Programme (IGCP-476) : Regularities of the structure and evolution of geospheres*, Russian Academy of Sciences Far Eastern Branch, V.I. II · chev Pacific Oceanological Institute, Vladivostock, Russia. 431–432.

Katsuki, K., Seto, K., Nomura, R., Maekawa, K., and Kawano, S., (2006) Drastic environmental change reconstruction based on diatom assemblage analysis during the last century in the Saroma lagoon in Japan. 20–25 February 2006. Honolulu, Hawaii.

#### ○LAGUNA (汽水域研究) の発行

第 12 号を、平成 17 (2005) 年 6 月に発行した。例年に比べてページ数が少なく (98 ページ)、原著論文 9 編とノート 1 編を掲載した。

#### ○汽水域懇談会

調査や集中講義のために来松された研究者や学内外の地元の研究者に話題提供者になっていただき、汽水域に関する最新の話題について参加者が自由に意見を述べ合うことを目的とした不定期の会であり、第 59 回から第 67 回までの 9 回開催した。

第 59 回汽水域懇談会「Ecosystem analysis and restoration potential of brackish lakes : Shinji and Nakaumi (Japan)」話題提供：汽水域研究センター 客員教授 Hugo Coops 博士 (2 月 2 日)

第 60 回汽水域懇談会「湖沼における突然の富栄養化」話題提供：京都大学生態学研究センター 加藤元海博士 (3 月 3 日)

第 61 回汽水域懇談会「Lakes in the Netherlands and the European dimension」話題提供：汽水域研究センター 客員教授 Hugo Coops 博士 (3 月 24 日)

第 62 回汽水域懇談会「Water management in the Netherlands」話題提供：汽水域研究センター 客員教授 Hugo Coops 博士 (4 月 20 日)

第 63 回汽水域懇談会「流路の動態を利用した多様な水辺空間創り」話題提供：徳島大学工学部 竹林洋史博士 (4 月 26 日)

第 64 回汽水域懇談会「Geochemical approaches to paleo-environmental analysis and restoration ecology in the Gulf of California」話題提供：アリゾナ大学 (前汽水域研究センター 客員教授) David Dettman 博士 (7 月 14 日)

第 65 回汽水域懇談会「珪藻遺骸群集に基づく北太

平洋高緯度生産域における第四紀後期の表層環境復元」話題提供：汽水域研究センター研究員 香月興太（9月14日）

第66回汽水域懇談会「2004 Tsunami : Indian experience」話題提供：Department of Geoenvironment, Andhra University K. Nageswara Rao 博士（10月20日）

第67回汽水域懇談会「琉球列島の干潟生態系が中継地点として渡り鳥の採餌活動に果たす役割について」話題提供：松原圭氏 琉球大学理工学研究科博士課程（10月26日）

### ○研究発表会

汽水域研究センターでは、平成6（1994）年から毎年、年明けにセンターの教員・研究員の発表を中心とした「汽水域（・山陰地域）研究発表会」を開催している。平成17（2005）年は、国際セミナー「美しく豊かな水環境を後世に - 島根とテキサスのパートナーシップ」を国際セミナー TWP 実行委員会、島根大学汽水域重点プロジェクト、（財）しまね産業振興財団とともに主催した。くにびきメッセ国際会議場。一般157名、企業20社参加（1月29-30日）

### 2-1-3. 主な学内委員会等記録

- 1月11日 教員会議
- 1月31日 共同利用施設等連絡協議会
- 2月16日 監事監査
- 2月24日 管理委員会
- 3月1日 研究推進協議会
- 3月7日 共同利用施設等連絡協議会
- 3月14日 教員会議
- 4月11日 教員会議
- 4月14日 重点プロジェクト講評
- 4月18日 教員会議
- 4月20日 重点プロジェクトリーダー会議
- 4月21日 運営委員会
- 4月25日 共同利用施設等連絡協議会・重点プロジェクト全体会
- 4月26日 管理委員会
- 5月9日 教員会議
- 5月10日 概算要求ヒアリング
- 5月12日 重点プロジェクトリーダー会議
- 5月17日 重点プロジェクトヒアリング

- 5月23日 共同利用施設等連絡協議会
- 6月3日 重点プロジェクトリーダー会議
- 6月13日 教員会議
- 6月16日 重点プロジェクト説明会
- 6月27日 共同利用施設等連絡協議会
- 6月28日 重点プロジェクトリーダー会議
- 7月4日 教員会議
- 7月22日 分室環境整備
- 7月25日 共同利用施設等連絡協議会
- 7月28日 重点プロジェクトリーダー会議
- 8月1日 重点プロジェクトリーダー会議
- 9月12日 教員会議
- 10月7日 博物館協議会（岩手大学）
- 10月24日 共同利用施設等連絡協議会
- 10月28日 重点プロジェクト中間報告
- 11月7日 教員会議
- 11月11日 教員会議
- 12月1日 拡大管理委員会
- 12月5日 教員会議・管理委員会
- 12月15日 教員会議
- 12月22日 共同利用施設等連絡協議会
- 12月26日 教員会議

## 2-2. 教育活動

### 2-2-1. 学部教育

#### ○総合科目

「汽水域の科学」前期2単位（受講生：松江キャンパス44名、出雲キャンパス90名）、後期2単位（受講生17名）。

「公開授業」として一般市民にも開放しており、また前期は「遠隔講義」により出雲キャンパスの学生も講義に参加できる形態としている。

#### ○学内講師としての教育活動

- 國井秀伸 生物資源科学部専門教育科目「水圏生態工学特論A」（隔年開講）
- 國井秀伸 生物資源科学部専門教育科目「水生植物学」
- 國井秀伸 留学生用一般教育科目「日本の自然(B)」Nature in Japan (B) : Discover San'in（一部担当）
- 瀬戸浩二 展開科目「山陰の自然史」（一部担当）
- 瀬戸浩二 総合理工学部専門教育科目「環境地質学実験」（一部担当）
- 瀬戸浩二 総合理工学部専門教育科目「地層学実習」

(一部担当)

瀬戸浩二 総合理工学部専門教育科目「古生物学実習」(一部担当)

瀬戸浩二 総合理工学部専門教育科目「地球科学基礎演習」(一部担当)

倉田健悟 生物資源科学部専門教育科目「水圏生態工学特論A」(隔年開講)

#### ○他大学での講師の併任など

國井秀伸 放送大学非常勤講師 平成16(2004)年8月～平成17(2005)年3月

山口県立大学非常勤講師 平成17(2005)年8月

鳥取大学大学院連合農学研究科 平成16(2004)年4月～

山田和芳 鳥取環境大学非常勤講師 平成17(2005)年8月

荒木 悟 松江工業高等専門学校非常勤講師 平成13(2001)年～

#### 2-2-2. 大学院・留学生など

##### ○大学院生の研究テーマと指導

中村雅子「水鳥の多く飛来する池沼の水質保全に関する研究」(鳥取大学大学院連合農学研究科博士課程後期2年)(副指導教員:國井)

#### 2-3. 国際交流

##### ○海外調査・共同研究など

南極:第46次南極地域観測隊.平成16(2004)年11月31日～平成17(2005)年3月31日(瀬戸)

タイ王国:ソクラー湖の水質・底質調査.平成17(2005)年7月30日～8月8日(福武学術文化振興財団研究助成(地理)「タイ南部ソクラー湖における汽水域の形成環境と近年の地球温暖化との関係の解明」調査研究として出張)(瀬戸,山田)

タイ王国:マングローブ域の魚類生態調査.平成17(2005)年7月14～28日,平成18(2006)年2月10～24日(科研費基盤研究(A)(2)「タイ国におけるエビ養殖業と沿岸環境の実態に関する調査研究の研究分担者として出張)(堀之内)

中国:上海市農業科学院環境科学研究所の招待により「中日水環境高級検討会」に参加.平成17(2005)年10月15～19日(國井)

#### 2-4. 社会との連携

##### 2-4-1. 公開講座・招待講演など

###### ○公開講座・フォーラムなど

「宍道湖・中海・境水道フィールド研究紹介」平成17(2005)年2月15日～3月1日(主催:島根大学 共催:境港市・境港市教育委員会)(担当:國井,堀之内,倉田,高田,清家(総合理工))(募集人員50名).

「宍道湖・中海の賢明な利用を語る」平成17(2005)年7月1日～29日(主催:島根大学)(担当:國井,瀬戸,堀之内,倉田,総合理工:清家)受講者数18名(募集人員50名).

ミニ・フォーラム「今,中海・宍道湖の自然再生について考える」を主催.松江テルサ大会議室.109名参加.8月19日.

###### ○市民講座・招待講演その他

4月6日:データベース勉強会(都筑,中山,國井)

4月18日:第1回宍道湖・中海環境データベース研究会(都筑,中山,國井)

5月23日:第2回宍道湖・中海環境データベース研究会(都筑,中山,國井)

6月3日:第1回大橋川勉強会をセンターとして共催(倉田)

6月11日:島根県主催.「中海・宍道湖の自然再生と保全生態フォーラムサール条約登録湿地に向けて」.宍道湖・中海のラムサール条約登録と賢明な利用を語る会.松江市サンラポーむらくも(招待講演:國井)

6月17日:白潟サロン公開講座1(Hugo)

6月20日:第3回宍道湖・中海環境データベース研究会(都筑,中山,國井)

6月21,22日:八束中学校総合的な学習による湖上実習(國井,瀬戸,堀之内,倉田)

6月30日:第2回大橋川勉強会共催(倉田)

7月2日:白潟サロン公開講座2(Hugo)

7月25日:第4回宍道湖・中海環境データベース研究会(都筑,中山)

8月20日:(財)中海国際交流基金財団主催,水草研究会・島根大学汽水域研究センター共催.「中海の水生植物の過去・現在・未来」.(財)中海水鳥国際交流基金財団十周年記念シンポジウム.米子市文化ホール(招待講演:國井)

8月24日:島根大学主催,「宍道湖・中海の自然を再生するには?」.中国・四国地区国立大学法人

等技術職員研修。島根大学生物資源科学部。(依頼講演：國井)

8月28日：日本第四紀学会主催，「宍道湖・中海の自然再生は進むのかーラムサール条約登録をまえにー」. 日本第四紀学会2005年島根大会普及講演会. 島根大学教養講義室1号館100番教室(招待講演：國井)

8月26日：八束小中学校教職員研修(高田)

9月2日：日本学術会議中国四国地区会議主催・島根大学共催，日本学術会議中国四国地区会議公開学術講演会「汽水域の自然・環境再生研究拠点形成プロジェクト」. くにびきメッセ国際会議場(依頼講演：國井)

9月20日：第3回大橋川勉強会共催(倉田)

9月24日：中海自然再生勉強会主催，伯太川の環境と自然を守る会・やすぎ環境と未来を考える会共催. 中海自然再生勉強会環境問題パネルディスカッション「中海・十神湾の自然再生を考えるー将来ビジョンについてー」. 安来市和鋼会館(依頼発表：國井)

9月26日：第5回宍道湖・中海環境データベース研究会(都筑，中山，國井)

10月7-8日：大学祭研究室公開により山陰資料展示室開放(荒木ら研究員)

10月6日：第4回大橋川勉強会共催(倉田)

10月13-15日：公開シンポジウム「水と生命研究会「学術研究会イン島根」ー水と環境シンポジウムー」を，汽水域重点プロジェクトとして共催.

10月14日：白潟サロン公開講座3(Hugo)

10月22日：NPO法人豊潤な海・中海みらい21主催. 第7回米子湾の自然再生に向けた勉強会. パトル討論会「中海・宍道湖の目指す生態系は？」. 鳥取県西部総合事務所2階講堂(依頼発表：國井)

10月23日：第5回大橋川勉強会共催(倉田)

11月6日：中海圏域産業技術展実行委員会主催. 中海ものづくりフェア. 重点プロジェクトパネル展示. くにびきメッセ大展示場(依頼展示：國井)

11月11日：白潟サロン公開講座4(Hugo)

11月13日：総社高校PTA 研修における施設見学(國井)

11月13日：白潟サロン公開講座5(Hugo, 宮本)

11月15, 16日：八束中学校総合的な学習による湖上実習(國井，瀬戸，堀之内，香月)

11月20日：公開セミナー「宍道湖・中海の水環境

と住民参加による環境保全」を，汽水域重点プロジェクトとして共催.

11月23日：白潟サロン公開講座中海分室見学(國井，宮本)

11月26日：第6回大橋川勉強会共催(倉田)

11月28日：第1回宍道湖・中海環境データベース検討会(國井，都筑，中山)

12月3日：鳥根県・鳥取県その他主催. 中海・宍道湖ラムサール条約登録記念シンポジウム. パネリスト. くにびきメッセ国際会議場(招待発表：國井)

12月9日：白潟サロン公開講座6(Hugo)

12月16日：第7回大橋川勉強会共催(倉田)

12月20日：第2回宍道湖・中海環境データベース検討会(國井，都筑，中山)

## 2-4-2. 学会の活動など

### 國井秀伸

水草研究会副会長：平成15(2003)年～現在

日本生態学会中国四国地区会幹事：平成4(1992)年4月～現在

日本生態学会全国委員：平成15(2003)年1月～平成17(2005)年12月

日本生態学会生態系管理専門委員会委員：平成15(2003)年10月～現在

応用生態工学会パートナーシップ委員会委員長：平成14(2002)年～現在

陸水学雑誌編集委員：平成15(2003)4月～平成17(2005)3月

Limnology 編集委員：平成17(2005)年4月～現在

種生物学会中四国地区幹事：平成17(2005)年4月～現在

### 瀬戸浩二

地学団体研究会全国運営委員：平成16(2004)年～現在

日本第四紀学会2005年大会実行委員：平成17(2005)年

日本第四紀学会第四紀研究特別号編集委員：平成17(2005)年～現在

### 倉田健悟

日本水環境学会中四国支部幹事：平成16(2004)年～現在

日本水環境学会平成17年度水環境文化賞選考委

員会委員：平成 16 (2004) 年～現在

#### 山田和芳

日本第四紀学会第四紀研究特別号編集委員：平成 17 (2005) 年 8 月～現在

#### 都筑良明

(社) 土木学会地球環境委員会幹事

#### 高田裕行

統合国際深海掘削計画，船上データベース・ワーキンググループ，古生物サブワーキンググループ委員：平成 13 年 6 月～現在

日本第四紀学会第四紀研究特別号編集委員：平成 17 (2005) 年 8 月～現在

### 2-4-3. 学外の委員会など

#### 國井秀伸

東南アジア諸国学術交流事業における拠点大学方式学術交流に係る研究協力者：平成 10 (1998) 年～

京都大学生態学研究センター協力研究員：平成 14 (2002) 年 4 月～

(財) リバーフロント整備センター河川環境目標検討委員会委員：平成 14 (2002) 年 11 月～

宍道湖・中海都市エリア産学官連携促進事業推進

委員会委員：平成 16 (2004) 年 4 月～

(財) ホシザキグリーン財団評議員：平成 16 (2004) 年 4 月～

島根県立宍道湖自然館管理運営協議会委員：平成 17 (2005) 年 7 月～

米子市環境審議会委員：平成 16 (2004) 年 9 月～平成 16 年度環境教育リーダー研修基礎講座実施のための中国ブロック検討会委員：平成 16 (2004) 年 9 月～平成 17 (2005) 年 3 月

太田川生態調査検討会委員：平成 16 (2004) 年 11 月～

日本学術振興会科学研究費委員会専門委員：平成 17 (2005) 年 1 月～

大橋川改修に関わる環境検討委員会委員：平成 17 (2005) 年 1 月～

宍道湖・中海水産振興対策検討委員会委員：平成 17 (2005) 年 2 月～

#### 倉田健悟

大橋川を勉強する会事務局：平成 17 (2005) 年～

#### 山田和芳

島根県古代文化センター客員研究員：平成 16 (2003) 年～

## 編集後記

ようやく LAGUNA (汽水域研究) の第 13 号をお届けすることができました。原稿を投稿された方々，査読を引き受けてくださった方々，編集担当の不手際により，本号の発行が大幅に遅れましたことを，まずはお詫び申し上げます。

次号からの編集要項，執筆要項を一部更新いたしました。毎号の発行に合わせて投稿原稿の締め切りは例年どおり (3 月末予定) 設けるものの，投稿申込書を廃止し，年中いつでも原稿を受け付けることにしました (原稿整理カードを添付して)。これにより，データを取ってからまだ熱い熱いうちに原稿にして，すぐに投稿することができます。思い立ったら是非 LAGUNA へ，皆様，どうぞ奮ってご投稿ください。

### 編集要項

1. LAGUNA (汽水域研究) は、島根大学汽水域研究センターにおいて、年 1 回発行する。
2. 本誌には、本センターの教員、研究員、客員研究員、協力研究員および編集委員会が特に認められた者が投稿することができる。
3. 編集委員には本センターの専任教官があたる。
4. 本誌の内容は、論説 (article)、研究短報文 (short note)、資料・解説 (review) など、広く汽水域に関わるもの、および本センターの活動に関わるものとする。
5. 執筆者は次項の執筆要項に従うものとする。
6. 投稿原稿の掲載の可否については、関連する研究者の査読を経た後に、編集委員会が決定する。
7. 別刷りにかかる経費は著者の負担とする。

### 執筆要項

1. 投稿原稿の本文の用語は日本語または英語とする。原稿の長さについては特に規定しないが、大部の場合は編集委員が縮小を要求する場合がある。
  2. 原稿はワープロを使用することとする。その場合、1 行 23 文字 (半角 46 字)、1 ページ 23 行、上下左右のマージンを 2.5 cm 以上空け、査読のコメントを記入できるようにダブルスペースの原稿を提出すること。なお、刷り上がり 1 ページは、横書き 1 行 23 字、46 行の 2 段組 (約 2,100 字) を基本とする。
  3. 数字はアラビア数字、生物和名はカタカナを用い、学名はイタリック指定のこと。時間、濃度、速度などを表す場合には、SI 単位を用いること。ワープロ原稿には特殊文字 (丸付き数字、ローマ数字、単位などの複合記号など) を用いないこと。句読点は「,」「.」を用いること。また、文字の書式指定はプリントアウトした原稿に赤色で示す。本文の見出し項目 (たとえば「はじめに」、「材料と方法」、「結果」、
- 「考察」、または「結果と考察」) などは波下線でゴシック指定、学名など、イタリックの指定は下線を引いて行う。
4. 報文の構成は以下の通りとする。  
日本語原稿の場合：表題、著者名所属、英文表題、英文著者名・所属、英文摘要 (Abstract 200 語以内程度)、英文キーワード (5 語以内)、本文、謝辞、引用文献、図表の説明文一覧。  
英語原稿の場合：表題、著者名所属、キーワード、本文、謝辞、引用文献、図表の説明文一覧。  
原稿の第 1 枚目は表紙とし、その上半部には表題から英文所属までを書く。原稿第 2 枚目には摘要とキーワードを書き、本文は第 3 枚目から始める。表紙を含め、通しページ番号を打つこと。
  5. 本文中での文献の引用は次の例に従う。また、3 名以上のものについては、「・・・ほか」または「・・・et al.」とする。  
・・・山田・松井 (1993) は宍道湖・中海の魚類について・・・

・・・ and Avise et al. (1987) speculate that this may have arisen from ・・・

・・・植物生態学分野について記述している (吉田, 1992; 佐藤, 1993).

6. 引用文献は謝辞の次にアルファベット順にまとめ、各文献は次の例に従う。

(論文)

Andrew, N. L. and Jones, G.P. (1990) Patch formation by herbivorous fish in a temperate Australian kelp forest. *Oecologia*, 85 : 57-68.

樋口利雄 (1971) 東北地方の風穴地における鮮類植生. 鮮苔地衣雑報, 5 : 174-178.

Iwakuma, T., Shibata, K. and Hanazato, T. (1989) Production ecology of phyto- and zooplankton in a eutrophic pond dominated by *Chaoborus flavicans* (Diptera : Chaoboridae). *Ecol. Res.*, 4 : 31-53.

八木正一 (1984) 水道におけるかび臭障害の現状. 用水と廃水, 26 : 813-822.

山本進一 (1984) 森林の更新—そのパターンとプロセス—, 遺伝, 38 : 43-50.

(単行本)

北村四郎・村田源 (1971) 原色日本植物図鑑・木本編 I. 保育社, 大阪, 453 pp.

Parsons, T. R., Maita, Y. and Lalli, C. M. (1984) A manual of chemical and biological methods of sewage analysis. Pergamon Press, New York, 173 pp.

(章)

Dayton, P. K. and Tegner, M. J. (1984) The importance of scale in community ecology : a kelp forest example with terrestrial analogs. In : A new ecology : novel approaches to interactive systems. (eds.) Price, P. W., Slobodchikoff, C. N. and Gaud, W. S. pp. 457-481. Wiley, New York.

7. 図 (写真を含む) と表は 1 つずつ別紙に書き、右上端に図・表の番号と著者名を鉛筆書きすること。また、日本語原稿の場合でも、図・表中の言語は、なるべく英文を用いることとし、説明文は英語と日本語の 2

通りで書くこと。なお、説明文は別紙にまとめて書き、本文に続くページ番号を打っておくこと。

図と表は原則としてそのまま製版できる状態とし、縮小率または縮小した場合の横の長さを指定すること。なお、刷り上がりの図・表の大きさは、原則として横 17 cm, または 8 cm, 縦は 24 cm 以内となるので、これを考慮して製図、および縮小率の指定を行うこと。カラーで印刷する図のみカラーで作成した原稿を提出すること。印刷時の大きさを考慮し、文字の大きさや記号の見やすさを吟味した上で十分な解像度の図の原稿を作成して提出すること。

表は、縦の罫線は使わず、横罫線も最小限にとどめること。写真は本文中に掲載する場合は図と同様な番号を用いてよい。独立した写真図版とする場合には、横 17 cm, 縦 27 cm の版面にバランス良く配置し、なるべく原寸大の印刷指定とする。図版中の図を本文中で引用するときには、(図版 I, 図 1), または (Plate I, Fig. 1) のようにする。

プリントアウトした原稿には、図表の挿入位置を赤色で印すこと。

過大な図表およびカラー図版については、その印刷実費を著者が負担する。

8. 投稿の際にはプリントアウトした本文原稿および図表原稿と、そのコピー 1 部を提出すること。その後、編集委員会から指示があった際にフロッピーディスク、MO ディスク、CD などの電子媒体に保存した原稿を提出すること。ワープロ原稿は、原則として Microsoft Word のファイル (テキストファイルでも可) とする。

9. 本文を補足するための図表および数値データは、島根大学汽水域研究センターのホームページによって公開することができる。ホームページによってダウンロードできる

表および数値データは，原則として Microsoft Excel のファイル（テキストファイルでも可）とし，図は，原則として jpeg 形式（PICT 形式でも可）とする．これらのファイルは，MO ディスク，CD などの電子媒体に保存して提出のこと．

10. その他の書式については過去の掲載論文

を参照し，編集委員会の指示に従うこと．

11. 投稿の際には必要事項を記入した原稿整理カードと原稿を編集委員会まで提出すること．

提出された原稿は原則として返却しないので，返却希望者はその旨申し出ること．

原稿提出時に添付してください

LAGUNA (汽水域研究)		原稿整理カード		受付番号	
著者氏名	和文				
	英文				
連絡責任者氏名	☎				
連絡先	Tel.	Fax.	E-mail		
表題	和文				
	英文				
用語種別 (○で囲む)	日本語文 英語文	原著論文, 総説, 短報, ノート, 討論, 紹介, 用語解説, 資料, 書評, 講演記録, その他			
原稿	電子媒体名; _____ ファイル名; _____ 使用ソフト名; _____ プリントアウト原稿; A4 _____枚 (表紙, 要旨, 本文, 図表説明を含む) 図; _____枚 表; _____枚 図版; _____枚 手書き原稿; 400字詰め原稿用紙 _____枚 (表紙, 用紙, 本文, 図表説明を含む)				
別刷	_____部 (自己負担)				
備考			原稿発送日 年 月 日		
編集委員会メモ					
原稿受付	査読	受理日	校正		校了
			著者		