

LAGUNA

汽水域研究

No.14 December 2007



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・デットマン デイビット

Editorial Board

*Hidenobu Kunii, Koji Seto, Masahiro Horinouchi,
Kengo Kurata & Dettman David L.*

LAGUNA (汽水域研究) No.14
2007年(平成19年)12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

- Fossil benthic foraminifera from sediment core S1 of Lake Shinji, western Japan
1-7 *Hiroyuki Takata, Kazuyoshi Yamada
Kota Katsuki, Keiko Yamaguchi
Yasushi Miyamoto, Daisuke Nakayama
and Hugo Coops*
- Horizontal and vertical distribution of macroalgal assemblages
in modern Lake Nakaumi, a coastal lagoon 9-16 *Yasushi Miyamoto, Akiko Hatsuda*
- Lake floor images in the central part of Lake Nakaumi (part 1)
: wind speed impacts on bottom water motion 17-24 *Ritsuo Nomura, Koji Seto, Yuzuru Horie
and Hiroyuki Takata*
- Comparison of phytoplankton biomass above a rivermouth barrage and
in a freshwater reservoir, upper Isahaya Bay 25-31 *Yoshikuni Hodoki, Tetuo Murakami*
- Rising water level events in the Ohashi River, Shimane Prefecture
33-46 *Kengo Kurata*
- Land cover classification of the Matsue and Izumo areas with Landsat-5 TM data
47-56 *Shingo Nonohara, Toshiaki Kozu
Toyoshi Shimomai, and Yuji Sakuno*
- Estimation of Turbidity in Lakes Shinji and Nakaumi from MODIS
57-68 *Shuichiro Yamamoto, Toshiaki Kozu
Toyoshi Shimomai, Shingo Nonohara
and Yuji Sakuno*
- The oldest Shell Mound in the Seto Inland Sea
: Revaluation of Reitasaki shell mound in Teshima 69-76 *Shin Onbe, Yoshiki Miyata, Hisao Kato
Minoru Yoneda*
- Correlation of massive die-off events of *Konosirus punctatus*
with low oxygen levels in Lake Shinji 77-82 *Terumitus Miimi*

■ Miscellanea

- Progress on the prototype Lakes Shinji and Nakaumi environmental database in JFY 2006
83-90 *Yoshiaki Tsuzuki, Daisuke Nakayama
Kengo Kurata, Kenji Wakabayashi
and Hidenobu Kunii
(Secretariat of the Discussion Group on the
Lakes Shinji and Nakaumi Environmental
Database)*

■ Annual Report of Research Center for Coastal Lagoon Environments

91-101

■ Editorials

102

■原 著 論 文

- 宍道湖で採取された柱状試料 S1 より産出する底生有孔虫化石群
1-7 高田裕行・山田和芳・香月興太
山口啓子・宮本 康・中山大介
Hugo Coops
- 今日の中海における沿岸藻場の水平的・垂直的な分布構造
9-16 宮本 康・初田亜希子
- 中海湖心部における湖底の水中映像(その1)
: 風速変化に対する底層水の動態
17-24 野村律夫・瀬戸浩二・堀江 譲
高田裕行
- 諫早湾調整池と河口堰湛水域における
植物プランクトン発生パターンの共通性と相違
25-31 程木義邦・村上哲生
- 島根県大橋川における水位上昇の事例について
33-46 倉田健悟
- Landsat-5 TM データを用いた松江・出雲地域の土地被覆分類
47-56 野々原伸吾・古津年章・下舞豊志
作野裕司
- MODIS による宍道湖・中海の濁度分布推定
57-68 山本周一郎・古津年章・下舞豊志
野々原伸吾・作野裕司
- 瀬戸内海最古の貝塚 - 豊島礼田崎貝塚の再評価 -
69-76 遠部 慎・宮田佳樹・加藤久雄
米田 穰
- 宍道湖におけるコノシロの大量斃死と
貧酸素水塊との関連性について
77-82 美見昭光

■資 料

□宍道湖・中海環境データベースに関する平成18(2006)年度の進捗報告

83-90 都筑良明・中山大介・倉田健悟
若林健二・國井秀伸
(宍道湖・中海環境データベース
検討会事務局)

■島根大学汽水域研究センター活動報告

91-101

研究活動

教育活動

国際交流

社会との連携

■編 集 後 記

102

宍道湖で採取された柱状試料 S1 より産出する 底生有孔虫化石群

高田裕行¹・山田和芳¹・香月興太²・山口啓子³
宮本 康⁴・中山大介¹・Hugo Coops⁵

Fossil benthic foraminifera from sediment core S1 of Lake Shinji, western Japan

Hiroyuki Takata¹, Kazuyoshi Yamada¹, Kota Katsuki², Keiko Yamaguchi³,
Yasushi Miyamoto⁴, Daisuke Nakayama¹ and Hugo Coops⁵

Abstract: Fossil benthic foraminifera from a sediment core taken from central Lake Shinji, western Japan, were investigated as an indicator of paleoenvironmental change in the Shinjiko-Nakaumi lake system during the 20th century. A transition from dominance of *Haplophragmoides canariensis* to that of *Ammonia beccarii* forma 1 occurred in the middle 20th century. This faunal association and its transition are similar to those observed in previous studies of Lake Shinji and the Ohashi River. This faunal transition might be affected by not only environmental change in Lake Shinji but also that in the Ohashi River.

Keywords: Lake Shinji, fossil benthic foraminifera, faunal transition in the 20th century

はじめに

宍道湖は、宍道湖-中海水系の海跡湖である。本水域では、堆積物柱状試料を用いた近過去の環境変遷の検討が行われており、宍道湖-中海水系の改修事業に伴う人為的環境改変の影響などが論じられている野村・吉川(1995)は、宍道湖で東西方向の6地点において堆積物柱状試料を採取し、底生有孔虫化石の産状を検討した。彼らは、20世紀にかけて *Haplophragmoides canariensis* が卓越する群集から *Ammonia beccarii* type 1 が卓越する群集への変遷を見出し、それが宍道湖で側方(東西方向)へ追跡できることを示した。さらに、野村・遠藤(1998)は、宍

道湖および大橋川で、1980年代の *A. beccarii* の特異的な多産に着目し、それを *Ammonia event* と命名した。そして、それが宍道湖湖水の化学的酸素要求量(COD)の上昇とほぼ同時期に起きていることから、同種の特異的な多産が湖生態系のレジームシフトに関連した現象であると解釈した。一方、Nomura(2003)は中海と本庄水域の8地点で採取された柱状試料での底生有孔虫化石の解析にもとづき、中海の底生有孔虫群が近年の人為的環境改変だけでなく、日本海の数cmオーダーの海水準変動にも影響されてきたことを示した。このような数10年スケールの自然環境の変遷は、宍道湖-中海水系の環境変遷を理解する上で、重要な視点となりつつある。

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

² Division Earth Environmental Systems, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea.

³ Life and Environmental Science, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan.

⁴ Tottori Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science, Tottori 682-0704, Japan.

⁵ Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA), P.O.Box 17, 8200 AA Lelystad, Netherlands.

以上のように、底生有孔虫化石の検討は、20世紀の宍道湖-中海水系における環境変遷のメカニズムを理解するにあたって、有用な視点を提供すると考えられる。しかし一方で、宍道湖での底生有孔虫化石の解析で、野村・吉川(1995)は、群集変遷が起きた時期を他の研究(中海・宍道湖自然史研究会ほか, 1986; 徳岡ほか, 1990)によって推定された隣接水域の鉛・セシウム法による年代測定の結果にもとづいて間接的に推定しているのみである。宍道湖における群集変遷の時期を特定することは、宍道湖-中海水系の環境変遷を考察する上で、重要と思われる。そこで、本研究では、2004年に宍道湖で採取された堆積物柱状試料について鉛-210年代測定と底生有孔虫化石群の解析を行い、宍道湖の底生有孔虫化石の変遷をより詳細に論じることを目的とした。

試料と方法

宍道湖は面積が約79 km²、最大水深約6.4 mの海跡湖である。表水層の塩分は数psu程度であるが、湖心部の深水層では中海・大橋川を経て日本海より遡上した塩水が到達することにより、相対的に塩分が高い(たとえば、瀬戸ほか, 2000)。湖水の密度成層により、深水層では夏季に溶存酸素がしばしば欠乏する。表層堆積物は浅部でおもに砂質堆積物からなるが、湖の中央部は泥質堆積物からなる(たとえば、瀬戸ほか, 2006)。

本論で報告する2本の柱状試料S1aおよびS1bは、2004年9月に宍道湖湖心部で押し込み式の柱状試料採泥器を用いて、採取された(図1)。柱状試料の長さは、S1aとS1bでそれぞれ21 cm, 17 cmである。これらの柱状試料は黒~暗灰色の泥質堆積物からなる(図1)。

柱状試料S1aは珪藻・有孔虫・貝形虫・軟体動物・大型沈水植物化石の解析に、S1bは鉛-210年代・有機物・鉍物組成・主要元素組成の解析に用いた。柱状試料S1aは厚さ1 cm毎に分取し、それをさらに3つの試料(有孔虫・貝形虫・軟体動物・大型沈水植物化石分析用(以下、化石群集解析用と呼ぶ)、珪藻化石分析用、堆積物分析用)に分割した。化石群集解析用試料、堆積物分析用試料は、試料分割後、直ちに湿潤重量を秤量した。さらに、堆積物分析用試料は、恒温乾燥器にて70℃で乾燥させ、乾燥重量も秤量した。同試料の湿潤・乾燥重量から含水率を算出し、それをもとに化石群集解析用試料の乾燥重量を求めた。一方、柱状試料S1bは鉛直方向に試料を

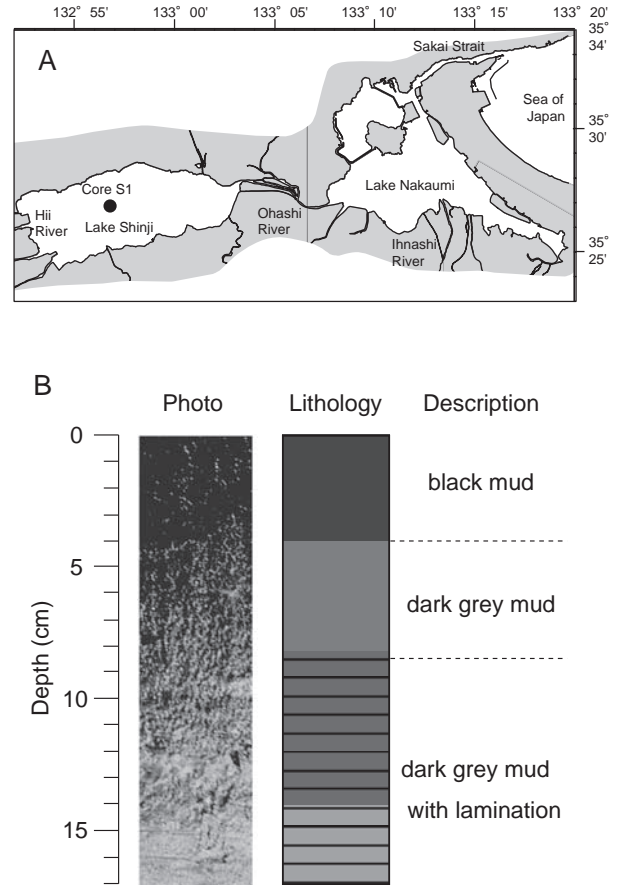


図1. (A) 柱状試料 S1a, S1b の採取地点と (B) 柱状試料 S1b の柱状図。

Fig. 1. (A) Location of sediment cores S1a and S1b, (B) Columnar section of core S1b.

半裁して、岩相・岩質を記載・観察した。そして、軟 X 線写真撮影用試料を分取した後、厚さ 1 cm 毎に試料を分割し、堆積物・年代などの分析に用いた。この際、柱状試料 S1a と同様な手順で、一部の試料について湿潤・乾燥重量を秤量し、含水率を算出した。

化石群集解析用試料は、開口径 63 μm のふるいを用いて水洗し、泥分を除去した。その湿潤状態の残査を、双眼実体顕微鏡下で観察し、大型沈水植物化石を抽出した。その後、湿潤状態の残査を、開口径 500 μm のふるいを用いて、粗粒画分 (>500 μm) と細粒画分 (63-500 μm) に分割した。湿潤状態の粗粒画分を実体顕微鏡下で観察し、有孔虫・貝形虫化石を抽出して細粒画分に加えた。その後、粗粒画分は軟体動物化石の群集解析用とした。細粒画分は恒温乾燥器にて、50℃で乾燥させた。同画分を簡易試料分割器を用いて適宜分割し、実体顕微鏡下で有孔虫化石を抽出した。それらの有孔虫化石を同定・計数し、堆積物単位重量あたりの各種の個体数を算出した。

表 1. 柱状試料 S1b で鉛-210 年代測定に用いた 6 試料の深度と放射能強度

Table 1. Pb-210 activity used for age estimation in core S1b

depth (cm)	Pb-210 (total) (dpm / g)	Pb-214 (dpm / g)	Pb-210 (excess) (dpm / g)
0.0 - 3.0	30.73 +/- 0.51	1.65 +/- 0.17	29.07
3.0 - 6.0	28.89 +/- 0.53	2.12 +/- 0.32	26.75
6.0 - 9.0	21.83 +/- 0.46	1.89 +/- 0.13	19.92
9.0 - 11.0	21.16 +/- 0.48	1.60 +/- 0.19	19.54
12.0 - 15.0	17.35 +/- 0.40	2.23 +/- 0.33	15.10
15.0 - 17.0	13.97 +/- 0.38	1.83 +/- 0.13	12.12

堆積物中の有機物・硫黄分析は, Sampei et al. (1997) にしたがって, 以下のような手順で行った. 柱状試料 S1a と S1b の乾燥した堆積物分析用試料を, 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, 銀製固体用容器に分取した. 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 °C 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, 錫製固体用容器に封入し, 分析用試料とした. これらの試料を, 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. 各試料の有機炭素量・全窒素量・全硫黄量を, 標準試料として BBOT (2, 5-bis- (5-tert-butyl-benzoxanzol-2yl) -thiophen) を用いることで, 定量した.

柱状試料 S1b について鉛-210 法 (^{210}Pb 法; 金井ほか, 1995) による年代測定をおこない, 堆積速度を見積もった. 測定は表 1 に示す 6 試料について(株)地球科学研究所に依頼した. ^{210}Pb (ex) 放射能強度は, ^{214}Pb 放射能強度をバックグラウンド値として, ^{210}Pb 放射能強度から ^{214}Pb 放射能強度を差し引いた値とした. この放射能強度の対数をコアの深度に対してプロットして, 最小二乗法による直線の傾きを求め, 壊変定数をこの傾きで割ることで平均堆積速度を求めた.

結果と考察

柱状試料 S1b について, 鉛-210 年代測定を行った結果を表 1 に, ^{210}Pb (ex) の放射能強度の層位変化を図 2 に, 示す. これらの結果から判断して, 柱状試料 S1b の堆積速度は 5.18 mm/yr と見積もられる. この値は, 鉛-210 法を用いて, Yamamuro and Kanai (2005) によって宍道湖中央部の柱状試料 46 で報告された堆積速度(約 4 mm/yr) (同論文の図 3 にもとづく) と, ほぼ同程度である. 次に, 含水率・全硫黄

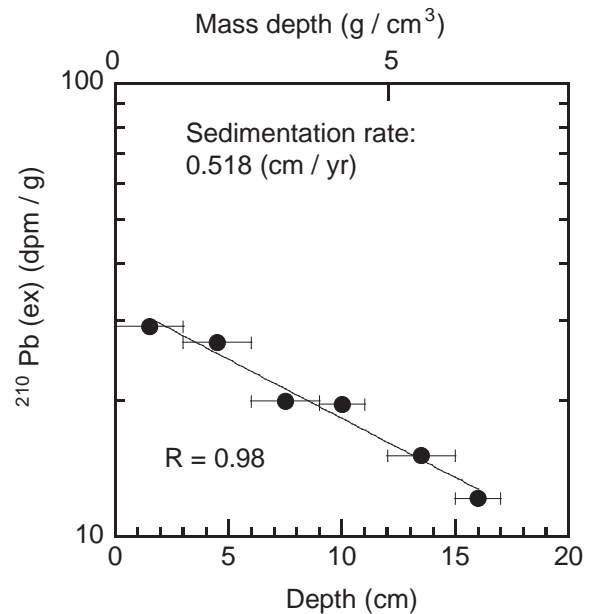


図 2. 柱状試料 S1b における ^{210}Pb (ex) の放射能強度の層位分布.

Fig. 2. ^{210}Pb (ex) activity in core S1b.

量の層位変化にもとづき, 柱状試料 S1a と S1b の対比を行った. 今回, 柱状試料 S1a の岩相を観察できなかったため, 堆積物の物性をあらかず含水率, および全硫黄量の層位変化にもとづき, 柱状試料 S1a と S1b の対比を試みた(図 3). 両柱状試料 S1a, S1b の含水率は深度が深くなるにつれ減少する傾向がみられ, それぞれ深度 8.5, 12.5 cm を境にして含水率の減少率に変化が認められた. また, 両柱状試料 S1a, S1b の全硫黄量はそれぞれ深度 8.5, 11.5 cm に増大のピークをもち, 深度 2.5, 3.5cm より上位で急激に減少する傾向をもつことが明らかになった. 両柱状試料の含水率および全硫黄量の層位変化は概ね同調しており, 柱状試料 S1a の深度 2.5, 8.5 cm が, S1b の深度 3.5, 11.5-12.5 cm に対比できうることを示している. これらの層位変化の対比と柱状試料 S1b で見積もられた堆積速度から判断して, 柱状試料 S1a は過去約 50 年間の記録であるといえる.

柱状試料 S1a の有孔虫化石の産出状況を表 2 に示す. 底生有孔虫化石はいずれの試料でも産出した. 深度 14.5-8.5 cm の層準では, その産出が乏しいのに対して, 深度 7.5-5.5 cm で多産する. 底生有孔虫化石は, *Haplophragmoides canariensis* (d'Orbigny) と *Ammonia beccarii* (Linné) forma 1 が多産し, これらに *Miliammina fusca* (Brady) と *Haynesina* sp. などが随伴する. なお, 深度 0.5 cm でのみ *Elphidium somaense*, *Miliolinella* spp., *Uvigerinella glabra* が産出した. これらの種は, これまでの宍道湖の現生底生

表 2. 柱状試料 S1a より産出した底生有孔虫化石
Table 2. Occurrence of fossil benthic foraminifera in core S1a

Depth (cm)	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5
<i>Ammonia beccarii</i> (Linne) forma 1	7	5	7	23	38	154	37	8	8	14
<i>Haplophragmoides canariensis</i> (d'Orbigny)	2				2					
<i>Elphidium excavatum</i> (Terquem) forma selseyensis				1						
<i>Haynesina</i> sp.										
<i>Miliammina fusca</i> (Brady)		3	1				1		1	1
<i>Trochammina hadai</i> Uchio					6					
Total	9	8	8	24	46	154	38	8	9	15
Split	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sample weight (g)	13.45	17.65	16.64	19.23	17.34	23.46	19.16	21.62	24.40	24.84

Depth (cm)	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5
<i>Ammonia beccarii</i> (Linne) forma 1	7	16	8	2	7	6	5	5	9	3
<i>Haplophragmoides canariensis</i> (d'Orbigny)		2	2		12	15	21	30	27	34
<i>Elphidium excavatum</i> (Terquem) forma selseyensis									2	2
<i>Haynesina</i> sp.									2	2
<i>Miliammina fusca</i> (Brady)		1	1	1			3		1	1
<i>Trochammina hadai</i> Uchio										
Total	7	19	11	3	19	21	29	37	39	40
Split	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sample weight (g)	26.70	27.41	27.65	30.15	31.36	29.36	27.94	30.85	38.90	25.46

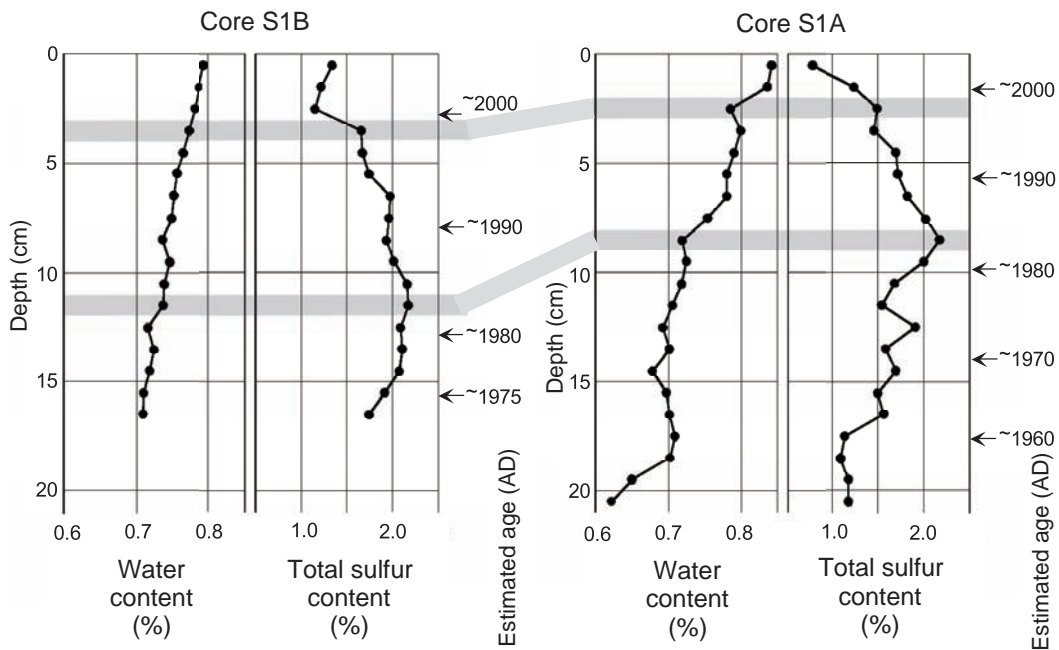


図 3. 柱状試料 S1a と S1b における含水率・全硫黄濃度の層位分布。これらの指標の特徴にもとづき、両柱状試料は図で示す 2 層準で対比される。図中の年代値は、これらの対比と柱状試料 S1b の平均堆積速度をもとに、算出した。

Fig. 3. Change in water content and total sulfur content of cores S1a and S1b. The sediment cores can be correlated at two horizons based on these indices. The chronology shown here was based on these correlations and the average sedimentation rate of core S1b.

有孔虫では報告のない種で、地中海の堆積物柱状試料において化石として産出するものである(たとえば、Nomura, 2003)。柱状試料 S1 の採取に先立って、地中海でも同じ柱状試料採泥器・水洗処理機材を用いた試料採取・処理が行われている。そのため、柱状試

料採泥器や水洗処理機材に付着した微量の地中海の堆積物試料が、今回の検討試料に混入した可能性が考えられる。こうした問題があるため、本論の以降の考察では、深度 0.5 cm の結果を除外して、論じるものとする。概して、柱状試料下部(深度 20.5–15.5

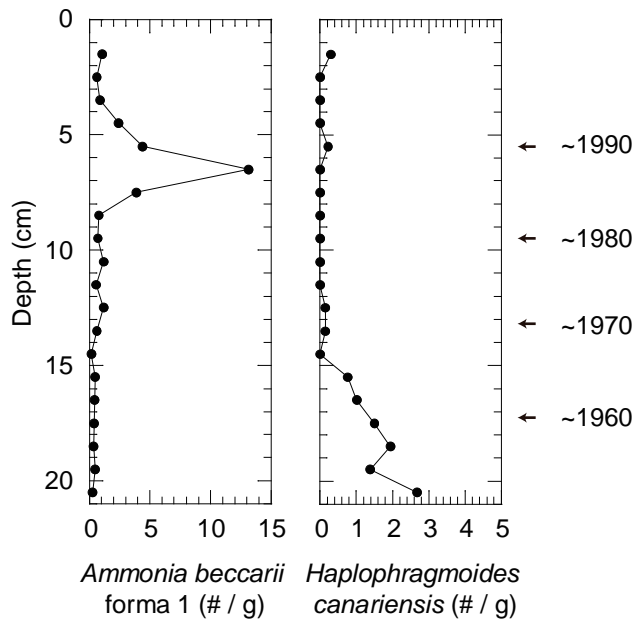


図4. 柱状試料 S1a における底生有孔虫特徴種の層位分布.

Fig. 4. Stratigraphic change in characteristic benthic foraminifera in core S1a.

cm) で *H. canariensis* が、上部 (深度 7.5–4.5 cm) で *A. beccarii* forma 1 が多産する (図 4)。両種の交替は、深度 14.5–8.5 cm の貧産出層準を挟んで、漸移的に移行する。また、*A. beccarii* forma 1 の産出個体数も、柱状試料最上部へ向けて緩やかに減少する。このような底生有孔虫化石の種構成・層位分布は、柱状試料 S1a 採取地点近くで野村・吉川 (1995) が報告した柱状試料 SI-4, 5 のものと類似する。柱状試料 S1b で得られた平均堆積速度と S1a と S1 b の 2 層準での対比にもとづくと、柱状試料 S1a における *H. canariensis* の多産する層準は 1950 年代–60 年代前半 (1952–1965 年頃) に、*A. beccarii* forma 1 の多産する層準は 1980 年代後半–90 年代前半 (1986–1993 年頃) に相当する。野村・吉川 (1995) は、隣接水域で行われた先行研究の堆積速度の結果 (中海・宍道湖自然史研究会ほか, 1986; 徳岡ほか, 1990) にもとづき、*H. canariensis* のもっとも多産する層準を 1933 年頃に、*Ammonia beccarii* type 1 (本論の *A. beccarii* forma 1 に相当する) が多産する年代を 1980 年代と推定している。本研究によって推定された *H. canariensis* のもっとも多産する年代は、野村・吉川 (1995) が推定した 1933 年という年代と比較すると新しいが、これは本研究で採取した柱状試料の長さが短く、本種がもっとも多産した層準を捉えきれていないことによると思われる。一方、*A. beccarii* forma 1 の多産する年代は、野村・吉川 (1995) の推定した年代より

6–13 年程度新しいものの、おおむね調和的であるといえる。

20 世紀における宍道湖での *H. canariensis* と *A. beccarii* forma 1 の多産およびそれらの交替が起きた要因について、野村・吉川 (1995)・野村・遠藤 (1998) は境港外防波堤の建設 (1930 年頃) と宍道湖湖水の化学的酸素要求量 (COD) の上昇 (1980 年頃) が関与した可能性を、推測している。他方で、従来の宍道湖・中海における現生底生有孔虫群の研究結果 (Nomura and Seto, 1992; 瀬戸ほか, 2000) では、宍道湖–中海水系で、*H. canariensis* が多産する水域は必ずしも明瞭ではなかった。そのため、底生有孔虫の生態から、その化石群集変遷の要因を考察するのが困難であった。近年、高田ほか (2007) は、大橋川でこれら 2 種が多産することを見出し、*H. canariensis* が現在は大橋川中流域でのみ多産することを報告した。一方、野村・遠藤 (1998) の化石群の検討によると、1970 年代以前には大橋川の上流域 (松江市白湯付近) と下流域 (松江市矢田付近) においても、本種が優占していたとされる。これらの大橋川での知見を考慮すると、宍道湖における 20 世紀の *H. canariensis* から *A. beccarii* forma 1 への群集変遷は、大橋川における卓越種の変化とそれを引き起こした環境変動が関与した可能性が高いといえる。Yamamuro and Kanai (2005) は、宍道湖の 3 地点で採取された柱状試料のいずれにおいても、1950 年代以降有機物の窒素安定同位体比に上昇が認められることから、湖内の富栄養化が進行していたことを指摘している。今後、大橋川も含めた宍道湖–中海水系で、底生有孔虫化石群の交替が起きた時期を特定し、有機物の安定同位体比などとの比較検討を通して群集変遷の要因を考察することによって、野村・遠藤 (1998) が提唱した *Ammonia* イベントの拡がりや・COD イベントとの関係について、さらなる知見が得られると期待される。

謝 辞

島根大学教育学部の野村律夫教授には、底生有孔虫化石の産出状況および鉛年代測定に関して、貴重な意見をいただいた。島根大学総合理工学部の入月俊明助教授には電子顕微鏡写真の撮影に、同学部の三瓶良和教授には有機物分析に、ご助力いただいた。島根大学汽水域研究センターの松本貞夫氏には、野外での試料採取にご助力いただいた。本研究の実施にあたり、日本学術振興会科学研究費補助金 (研



図版 1. 柱状試料 S1a 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 core S1a. Scale bar=100 μm .

1a-c. *Ammonia beccarii* (Linné) forma 1

2a, b. *Haplophragmoides canariensis* (d'Orbigny)

3a, b. *Haynesina* sp.

究課題番号 no.16201008, 代表者 國井秀伸) 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

金井 豊・井内美郎・片山 肇・斎藤文紀 (1995) 210Pb, 137Cs法による長野県諏訪湖底質の堆積速度の見積もり. 地調月報, 46: 225-238.
 中海・宍道湖自然史研究会, 松本英二・井内美郎・水野篤行 (1986) 中海・宍道湖自然史研究-その

5. 宍道湖における 1985 年度柱状試料採泥-. 島根大学地質研究報告, 5: 11-18.

Nomura, R. (2003) Assessing the roles of artificial vs. natural impacts on brackish lake environments: southwestern Japan. The Journal of the Geological Society of Japan, 109: 197-214.

野村律夫・遠藤公史 (1998) 汽水域における人的改造と有孔虫群集の変化-その 5 Ammonia event の提唱と 2005 年の宍道湖-. LAGUNA (汽水域研究), 5: 15-26.

Nomura, R. and Seto, K. (1992) Benthic foraminifera

- from brackish Lake Nakaumi, San-in District, southwestern Honshu, Japan. In: Ishizaki, K. and Saito, T. (eds.), Centenary of Japanese Micropaleontology. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, pp. 227–240.
- 野村律夫・吉川敬吾 (1995) 湖水環境の人為的改造と底生有孔虫の群集変化: その2 宍道湖の中央1測線の結果. 島根大学教育学部紀要, 29: 31–43.
- Sampei, Y., Matsumoto, E., Kamei, T. and Tokuoka, T. (1997) Sulfur and organic carbon relationship in sediment from coastal brackish lakes in the Shimane peninsula district, southwest Japan. *Geochemical Journal*, 31: 245–262.
- 瀬戸浩二・真先修・田中邦昌・高安克己 (2000) 宍道湖における底生有孔虫群集. 島根大学地球資源環境学研究報告, 19: 65–76.
- 瀬戸浩二・中武誠・佐藤高晴・香月興太 (2006) 斐伊川の東流イベントとそれが及ぼす堆積環境への影響. *第四紀研究*, 45: 375–390.
- 高田裕行・瀬戸浩二・倉田健悟 (2007) 大橋川における底質産底生有孔虫群の産状と環境モニタリングへの適用について. 国際シンポジウム 2007「汽水域の再生とその持続可能性 – 宍道湖・中海の賢明な利用に向けて –」講演要旨集, 220.
- 徳岡隆夫・大西郁夫・高安克己・見梨昂 (1990) 中海・宍道湖の地史と環境変化. *地質学論集*, 36: 15–34.
- Yamamuro, M. and Kanai, Y. (2005) A 200-year record of natural and anthropogenic changes in water quality from coastal lagoon sediments of Lake Shinji, Japan. *Chemical Geology*, 218: 51–61.

今日の中海における沿岸藻場の水平的・垂直的な分布構造

宮本 康¹・初田亜希子¹

Horizontal and vertical distribution of macroalgal assemblages in modern Lake Nakaumi, a coastal lagoon

Yasushi Miyamoto¹, Akiko Hatsuda¹

Abstract: Horizontal and vertical distribution of macroalgae were surveyed during the summer in Lake Nakaumi, a brackish lagoon. In the summers of 2004–2006 water conditions (transparency and salinity) and macroalgal assemblage characteristics (percent cover, species richness, and depth limit) were surveyed at 15 coastal sites. Both species richness and depth limit decreased with increasing the distance from the seawater inlet. However, the patterns of algal cover differed among green, red, and brown algae: green algae grew in all areas in the lake. In contrast, brown algae was dominant only in the area closest to the sea. Red algae grew in all areas except that most distant from the sea. Since species richness and depth limit were correlated with transparency, and transparency was correlated with the distance from sea but not salinity, transparency seemed to be the primary cause of the observed spatial pattern. In contrast, because the patterns of algal cover do not correlate with either transparency or salinity, we suggest that other factors, including grazing by animals and competition among algae, were important in establishing the observed patterns. Finally, a schematic diagram of macroalgal distribution patterns is presented.

Key words: Percent cover, species richness, depth limit, salinity, transparency

はじめに

藻場の構造，例えば種構成や種多様性，分布下限は環境要因に応じて空間的に変化する。中海では，特に種構成の空間変異が 20 世紀中盤より調べられており，中海の藻場を理解する上での大きな助けとなってきた。過去の研究において，中海の藻場の種構成と種多様性は海からの距離に応じた空間変異を示し，この変異を生み出す主な要因が塩分であることが指摘されている (Akiyama and Nishigami, 1959; 秋山, 1978, 1996)。そして，こうした種構成の空間変異は 20 世紀中盤から後半にかけて大きな変化がないことも報告されている (Kunii and Minamoto,

2000)。

上記のような水平的な藻場の分布構造が繰り返して調査されてきた一方，垂直的な分布構造に関する知見は非常に限られている (根来, 1962; 枚村・小池, 1991)。その数少ない知見の一つに根来 (1962) の中海のアマモ場に関する事例を挙げることができる。1960–61 年の中海では，海草のアマモ *Zostera marina* とコアマモ *Zostera japonica* の共存が見られる多くの地点で，アマモが深所に，コアマモが浅所に分布するものの，大橋川河口に近い大井湖岸ではこのパターンが逆転していた。そして，この傾向を生み出す要因として，地点間の垂直的な塩分勾配の違いが挙げられている。しかし一般的に，藻場の垂直的な

¹ 鳥取県衛生環境研究所 Tottori Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science

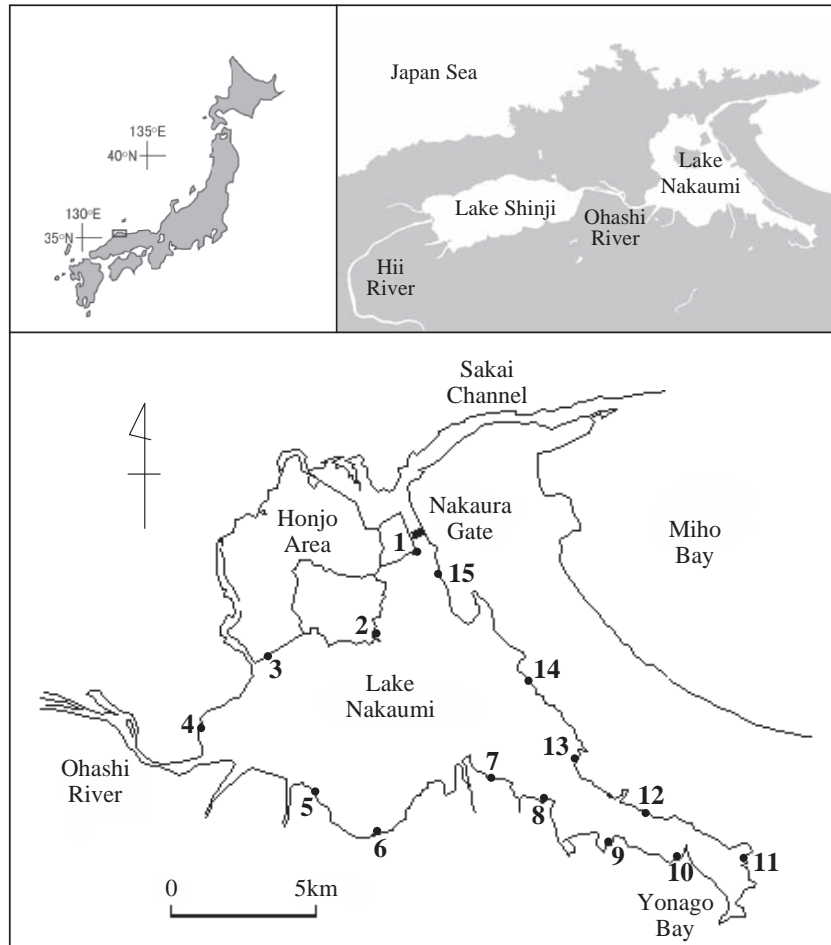


図 1. 15 の調査地点を記した中海の地図.

Fig. 1. Map of Lake Nakaumi and location of the fifteen census sites.

分布構造を決定する要因として重要視されているのは光環境である。海草藻場と海藻藻場の両方において、光環境の指標となる透明度の勾配に応じた分布下限の空間変異が報告されており (Middleboe and Markager, 1997; Koch, 2001; Nielsen et al., 2002), さらに、種構成に関しては、深場でも光合成を行うことのできる紅藻類が最も深所に分布することが報告されている (Markager and Sand-Jensen, 1991)。しかし、こうした光環境に応じた藻場の垂直分布構造に関しては、中海では明らかにされていない。

そこで本研究は、近年の中海の藻場を対象に、その水平的・垂直的な分布構造と塩分・光環境の関係を明らかにすることを目的とした。はじめに、藻場を構成する海藻の分類群毎の被覆度を地点毎・水深毎に明らかにし、さらに藻場の分布下限と種多様性を地点毎に明らかにした。そして、これら海藻の被覆度・種多様性・分布下限といった藻場の構造値が、今日においても海からの距離に応じた変異を示すのかを調べた。次に、藻場の構造値が塩分・光環境と

どのような関連を持つのかを明らかにし、どのような環境要因が今日の藻場の分布構造を生み出し、維持しているのかを考察した。最後に、こうした分布構造を模式的に表した。

材料と方法

調査地

中海は弱混合型の汽水湖である。陸水の約 70% が大橋川より流入し (Yamamuro, 2000), 海水の大部分が中浦水門より流入する (Fig. 1)。今日において、中海の沿岸は大部分 (90% 以上) が人工護岸であり (Kunii and Minamoto, 2000), 海藻の多くはこの護岸表面に付着して生育している。海藻の分布下限は 4 m 前後であることから (向井ほか, 1996; 宮本・國井, 2006), 今日の中海では塩分跳層の上部に藻場が形成されていると言える。

今日の中海において藻場を構成しているのはほとんどが海藻である。かつての中海で大群落を形成し

表 1. 2004–2006 年の調査で観察された海藻種のリスト.
Table 1. List of macroalgal species observed in the transects in summer during 2004–2006.

Species name	
CHLOROPHYTA	<i>Chaetomorpha spiralis</i>
	<i>Cladophora</i> sp.
	<i>Codium fragile</i>
	<i>Enteromorpha</i> spp.
	<i>Polysiphonia</i> spp.
	<i>Ulothrix flacca</i>
	<i>Ulva pertusa</i>
RHODOPHYTA	<i>Chondracanthus intermedius</i>
	<i>Chrysymenia wrightii</i>
	<i>Gracilaria vermiculophylla</i>
	<i>Grateloupia divaricata</i>
	<i>Grateloupia filicina</i>
CHROMOPHYTA	<i>Priontis ramosissima</i>
	<i>Sargassum thunbergii</i>

ていた海草類（アマモ・コアマモ）は今日では分布が非常に限られており（宮本・國井, 2006）、中海沿岸で無作為に選び出した本研究の 15 の調査地点では生育が認められなかった。藻場を形成する海藻類は大きく緑藻類・紅藻類・褐藻類に大別される。緑藻類はアオサ類（*Ulva* 属）、アオノリ類（*Enteromorpha* 属）、ジュズモ類（*Chaetomorpha* 属）に代表される短命の種が大部分を占める一方、オゴノリ類（*Gracilaria* 属）やムカデノリ類（*Grateloupia* 属）に代表される紅藻類とホンダワラ目（*Sargassum* 属）のみの出現が認められる褐藻類は、ほとんどが多年生の種であった（Table 1）。

藻場調査

藻場の 2 つの構造特性（藻場の分布下限・出現種数）を明らかにするために、2004–2006 年の夏季（7–8 月）に、中海沿岸域に設けた 15 の調査点（Fig. 1）にて SCUBA 潜水による目視調査を行った。15 の調査点にて、湖岸の約 100 m の範囲に湖岸線に垂直なトランセクトを無作為に 4 本設け、その上の 10 水深（60, 90, 120, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 cm）にて、50×50cm の範囲における海藻の種毎の被覆度を、コドラートを用いて目視により測定した。この調査により得られたデータを用いて、藻場の最大水深は 4 本のトランセクト上で海藻の生育が認められた最も深い水深として、出現種数は 4 本のトラ

ンセクト上で観察された海藻種数の合計値として算出した。

塩分・透明度調査

2004–2006 年の夏季（7–8 月）に、中海沿岸に設けた 15 の調査点（Fig. 1）においてそれぞれ 4 回のポート調査を行った。この調査は、15 の各調査点において、沿岸から 30–50 m 沖合の水深が 3–5 m のところで行った。透明度はセッキ板を用いて測定した。塩分は水面下 0.5 m にて多項目水質計（QUANTA, Hydrolab 社）を用いて測定した。そして、それぞれの年の調査における平均値を各年の塩分と透明度の代表値とした。

統計解析

海からの距離に応じた藻場の構造値（分類群毎の被覆度・出現種数・分布下限）と水質（塩分・透明度）の変化を明らかにするために回帰分析を行った。藻場の構造値と水質は（1）海からの距離に応じて単調増加/減少する、（2）中程度の距離で最大/最小になるケースを想定し、線形と二次の回帰分析を行った。両方の回帰式が有意であった場合、二次回帰の方が決定係数（ R^2 ）が大きく、二次項の傾きが有意であり、かつ最大値/最小値が与えられた海からの距離内にある場合にのみ、二次回帰式を採用した（Mackey and Currie, 2001）。なお、海からの距離は、海水が中浦水門を経て流入することを考慮し、中浦水門からの距離で代用した。

藻場の構造値（分類群毎の被覆度・出現種数・分布下限）と塩分・光環境との関係を明らかにするために、ステップワイズ回帰分析を行った（Sokal and Rolf, 1995）。中海では水中の光合成有効放射（PAR）と透明度の間に有意な正の相関があることから（宮本, 未公表データ）、透明度を光環境の指標として、透明度と塩分を独立変数、藻場の構造値を従属変数として分析に供した。なお、海藻の分類群毎の被覆度は緑藻類・紅藻類・褐藻類に区分し（Table 1）、水深毎（0–1 m, 1–2 m, 2–3 m, >3 m）に解析に供した。水深 3 m 以上では紅藻類のみが生育していたので、この分類群のみに対して被覆度の分析を行った。

結 果

藻場の分布下限と種数の空間変異

藻場を構成する海藻の種数と藻場の分布下限は、両者とも海からの距離（中浦水門からの距離）に応じ

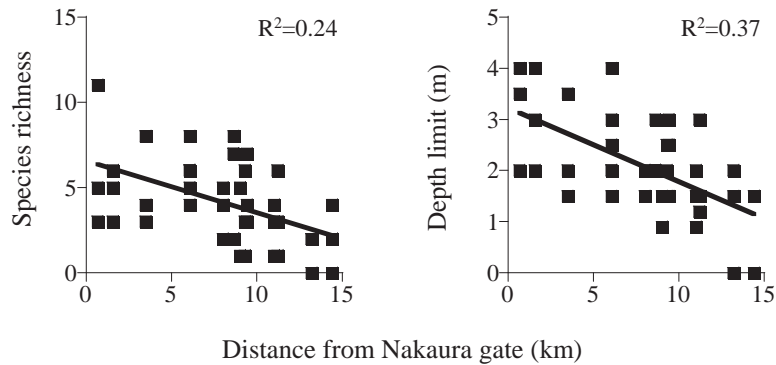


図2. 中浦水門からの距離と藻場の属性値（出現種数・分布下限）の関係。実線は有意な相関関係を示す ($P<0.05$)。

Fig. 2. Relationships between the distance from Nakaura gate and algal assemblage characteristics (species richness and depth limit). Solid lines represent significant correlations ($P<0.05$).

て変化した。海から遠い水域ほど藻場を構成する海藻の種数は少なくなり、同時に藻場の分布下限が浅くなる傾向が認められた (Fig. 2)。

海藻の被覆度の空間変異

海藻の被覆度の空間変異は分類群毎に異なっていた。緑藻類は水深 0–1 m のみで海から遠ざかるほど被覆度が増加する傾向が認められたが、水深 1 m 以深では海からの距離に応じた被覆度の変化は認められなかった (Fig. 3)。また、紅藻類は水深 0–1 m のみで、海から中程度の距離で被覆度が最大になる傾向が認められたが、1 m 以深の水深では海から遠ざかるほど被覆度が減少する傾向が認められた (Fig. 3)。一方、褐藻類は分布が認められた全ての水深で、海から遠ざかるほど被覆度が減少する傾向が認められた (Fig. 3)。

なお、水深 3 m 以深で生育が認められたのは紅藻類のみであり (Fig. 3)、そのほとんどがオゴノリ *Gracilaria vermiculophylla* であった。水深 3 m 以深に生育する個体は、浅場のものに比べて葉長が長い反面、分枝数が少ない傾向が見られた。本種の生育が認められた最大水深は、中浦水門近傍の地点 1 と 15 の 4.5 m であった (Fig. 1)。

塩分と透明度の空間変異

塩分は海からの距離に応じた変化を示さなかったが、透明度は海から遠ざかるにつれて低下する傾向を示した (Fig. 4)。

塩分・透明度と藻場の構造値の関係

藻場の属性値（出現種数・分布下限）はともに、塩

分と透明度に応じて変化する傾向が認められ、かつ変化の大部分（約 70%）が塩分と透明度により説明された (Table 2)。出現種数は塩分と透明度が高い地点で多くなり、分布下限は塩分と透明度が高い地点で深くなる傾向が認められた (Table 2)。これに対し、海藻の被覆度の変化は透明度と塩分により説明される量が少なかった (0–40%)。緑藻類は主に塩分変化に応じて被覆度が増加し、塩分の高い地点で被覆度が増加する傾向が認められた (Table 2)。しかし、紅藻類の変化は塩分・透明度のいずれによっても説明されず、褐藻類も水深 1–2 m のみ、透明度によって被覆度の変化が説明されたに過ぎなかった (Table 2)。

考 察

藻場を構成する海藻の種数と藻場の分布下限は、両者とも海からの距離（中浦水門からの距離）に応じて変化した。海から遠い水域ほど藻場を構成する海藻の種数は少なくなり、同時に藻場の分布下限が浅くなる傾向が認められた (Fig 2)。一般に、藻場の分布下限は光制限であり、透明度が低く水中の光量が少ない水域ほど分布下限が浅くなることが知られている (Middleboe and Markager, 1997; Koch, 2001; Nielsen et al., 2002)。中海においても同様の傾向、すなわち透明度が低い水域ほど分布下限が浅くなる傾向が認められたことから (Table 2)、分布下限が光制限であることが示唆された。しかし、分布下限は塩分とも有意な関係を有していたことから (Table 2)、分布下限は塩分によっても何らかの影響を受けていることが示唆される。宮本・國井 (2006) も中海にお

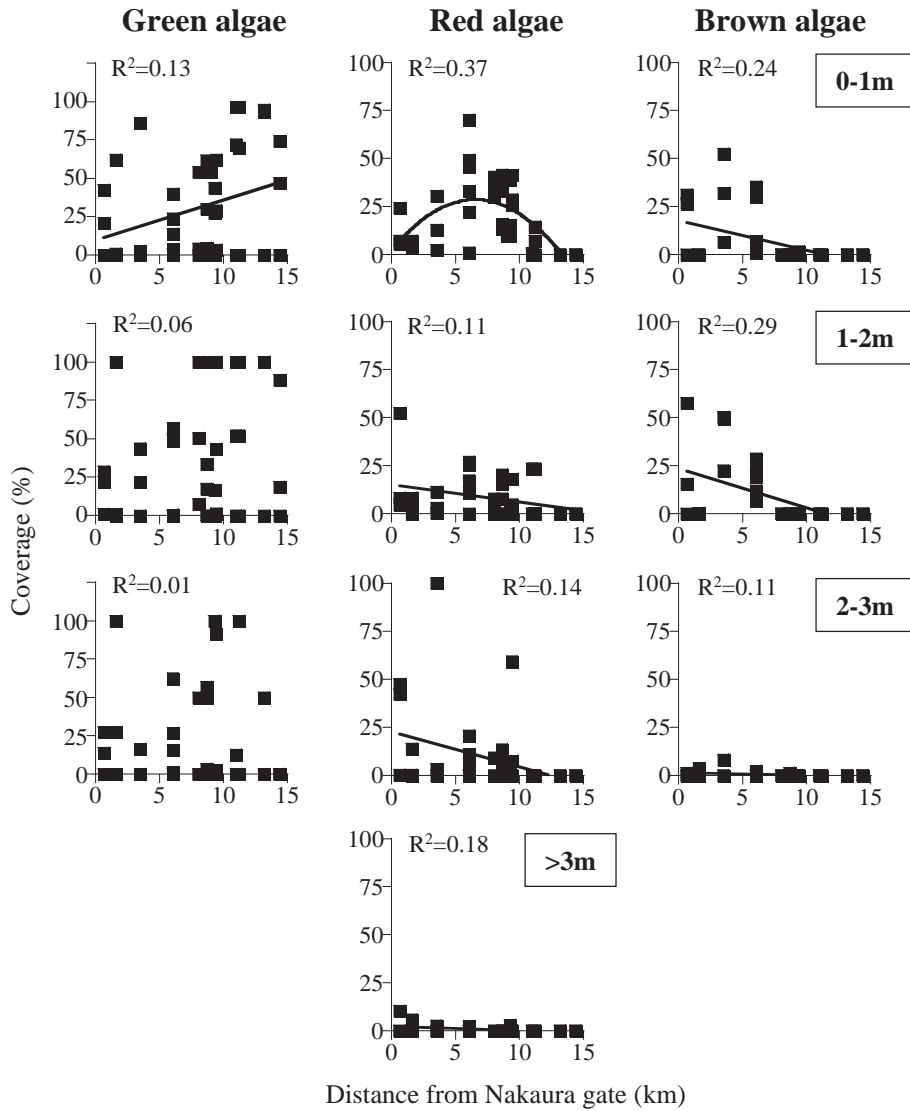


図3. 中浦水門からの距離と緑藻類・紅藻類・褐藻類の被覆度の関係。各関係を水深毎(0-1 m・1-2 m・2-3 m・>3 m)に示す。実線は有意な相関関係を示す ($P < 0.05$)。
Fig. 3. Relationships between the distance from Nakaura gate and percent cover of green, red, and brown algae at 0-1 m, 1-2 m, 2-3 m, and >3 m depths. Solid lines represent significant correlations ($P < 0.05$).

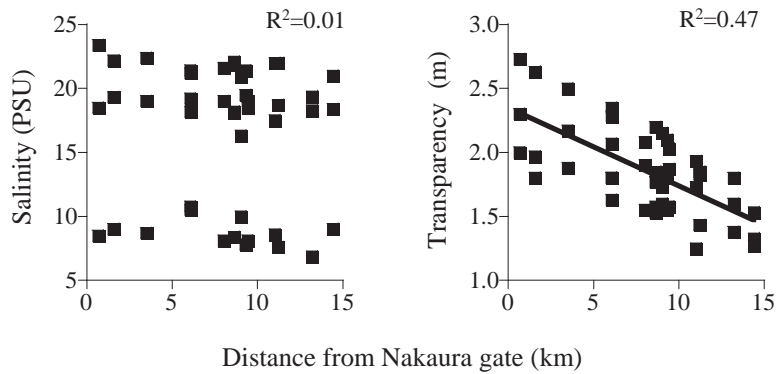


図4. 中浦水門からの距離と水質(上層塩分・透明度)の関係。実線は有意な相関関係を示す ($P < 0.05$)。
Fig. 4. Relationships between distance from Nakaura gate and water quality variables (epilimnetic salinity and Secchi-depth). Solid lines represent significant correlations ($P < 0.05$).

表2. ステップワイズ回帰分析の結果. 表中の偏回帰係数は標準化された値として示す. 有意水準: ***: $P < 0.001$.

Table 2. Stepwise regression for algal vegetation characteristics against transparency and salinity. Each regression coefficient is given as a standardized value. Asterisks: ***: $P < 0.001$.

Dependent variable	N	Model	R ²	F
Green algae (0-1m)	42	= 0.636Sal - 31.8	0.390	27.8***
Green algae (1-2m)	42	= 0.602Sal - 32.3	0.347	23.3***
Green algae (2-3m)	42	= 0.386Tr + 0.332Sal - 76.1	0.282	9.25***
Red algae (0-1m)	42	NS	-	-
Red algae (1-2m)	42	NS	-	-
Red algae (2-3m)	42	NS	-	-
Red algae (>3m)	28	NS	-	-
Brown algae (0-1m)	42	NS	-	-
Brown algae (1-2m)	42	= 0.402Tr - 25.0	0.141	7.89***
Brown algae (2-3m)	42	NS	-	-
Species richness	42	= 0.493Tr + 0.583Sal - 6.512	0.696	49.1***
Depth limit	42	= 0.569Tr + 0.497Sal - 2.097	0.681	45.7***

いて分布下限が透明度と塩分の両者に応じて変化する傾向を見出している。そして、透明度が塩分の増加に応じて向上すること、透明度の方が塩分よりも分布下限との相関が強いことから、塩分の変化が透明度の変化を生み出し、透明度が分布下限を決定すると考察している。この点を考慮すると、塩分と分布下限の関係は、透明度(光)を介した間接的な関係であると考えられる。

なお、多くの地点において、藻場の分布下限は紅藻類(主にオゴノリ *Gracilaria vermiculophylla*)によって維持されていた(Fig. 3)。紅藻類は光合成色素としてフィコエリトリンを有し、緑色光のみが届く深場でも光合成を行うことが可能なことから、海域の深場で優占する傾向が広く認められている(Dring, 1981; Mathieson et al., 1981)。中海においても同様の理由で紅藻類が藻場の分布下限を維持していると考えられるが、本研究では光合成色素に関する分析は行っていないため、結論を下すことはできない。

分布下限とは対照的に、種数の変異を生み出す要因は複雑である。海藻類の種多様性は(1)水質や底質、波浪の影響に代表される物理・化学的要因、(2)生息空間を巡る競争や植食者による食害、(3)種プールの大きさに代表される生物的要因により維持されている(Benedetti-Cecchi, 2000; 野田ほか, 2001;

Miyamoto and Noda, 2004)。本研究は塩分と透明度の影響のみを評価したが、この2つの要因により種数の空間変異の約70%が説明された($R^2=0696$, Table 2)。また、秋山(1978)も1970年代の中海においてほぼ同様の傾向、すなわち海藻の出現種数は塩分・汚濁度(BOD)と有意な相関をもつことを見出している。さらに、秋山(1978)の報告をもとに塩分と汚濁度が種数の空間変異のどの程度を説明できるかを推定した結果、約60%と算出された($R^2=0565$)。これらの点は、塩分と透明度がともに、中海において藻場の種多様性の空間変異を生み出す上で重要な要因であることを示唆するものである。

以上のように、藻場の分布下限と出現種数はともに、塩分と透明度の強い影響下にあることが示唆された。これら藻場の属性値は海からの距離に応じて変化することは前述の通りである。しかし、これら属性値の空間変異を生み出す重要な要因と考えられる塩分と透明度において、海からの距離に応じた変化が認められたのは透明度のみであった。したがって、今日の中海においては、透明度が観察された藻場の分布下限と出現種数の空間変異(海からの距離に応じた変異)を生み出す上で重要な役割を果たしているものと考えられる。

藻場を構成する各分類群(緑藻類・紅藻類・褐藻類)の組成も、海から遠ざかるほど貧困になる傾向

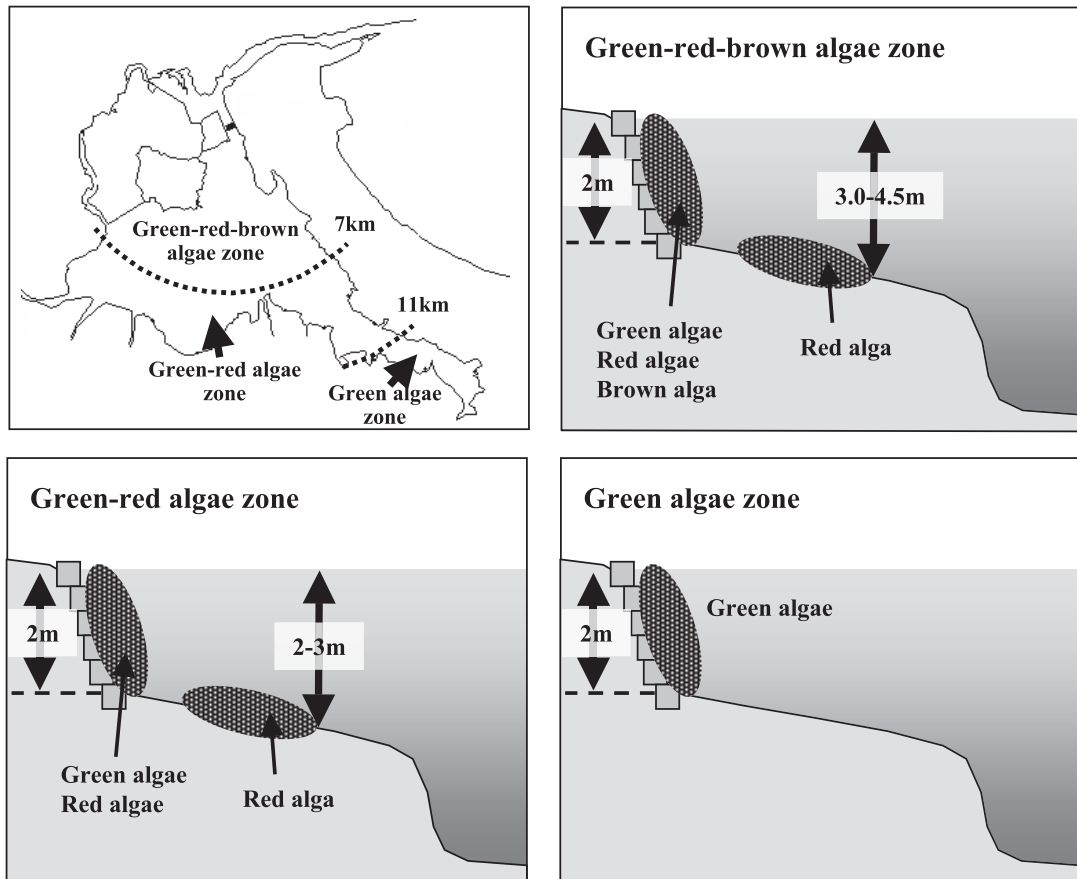


図5. 沿岸藻場の水平的・垂直的な分布構造の模式図。

Fig. 5. Schematic representation of horizontal and vertical distribution of macroalgal assemblages.

が認められた (Fig. 1). 中浦水門から約 7 km までの地点では緑藻類・紅藻類・褐藻類の全てが繁茂するが、約 7 km 以上の水域では褐藻類が姿を消し、さらに約 11 km 以上の水域では紅藻類も見られなくなった。中海における海藻相の空間変異、すなわち藻場を構成する海藻の種組成が海からの距離に応じて変化し、同時に出現種数が海から遠ざかるほど少くなる傾向は、1970 年代の中海を対象とした先行研究においても認められており、その空間変異を生み出す要因として塩分と汚濁度が挙げられている (秋山, 1978). なお、秋山 (1978) が見出した海藻相の空間変異は、本研究の結果と概ね一致している。

しかし、各分類群の被覆度の空間変異は、塩分と透明度によって説明される量が少なかった (Table 2). このことは、各海藻の被覆度が塩分と透明度以外の環境要因の影響を強く受けていることを示唆している。そのような環境要因として波浪、底質の性状、動物による食害、そして海藻種間の空間を巡る競争が挙げられる (Lubchenco, 1986; Noda et al., 2003; Miyamoto and Noda, 2004). ただし、今日の中海では底質の影響は考え難い。というのも、今日の中海

では湖岸の大半が岩、もしくは人工護岸となっており、海藻の付着が可能だからである。さらに、波浪の影響も小さいことが示唆されている (宮本, 未公表データ). したがって、残された 2 つの生物的要因 (動物による食害・海藻種間の空間を巡る競争) が各海藻の現存量の空間変異を生み出しているものと予想される。しかし、本研究ではこれらの要因の影響を評価していないために結論を下すことはできない。この点の解明は今後の課題である。

本研究により、今日の中海における沿岸藻場の空間変異が明らかになった。主だった空間変異の特徴は 1970 年代と同様、海から遠ざかるほど種組成が貧困になり分布下限が浅くなるというものであった。したがって、藻場の空間変異は海水流入の強い影響下にあると考えられ、さらに、このことは中海における普遍的な傾向であると考えられる。最後に、本研究で明らかになった沿岸藻場の水平的・垂直的な分布構造を模式的に示した (Fig. 5). 今日の中海における海藻類の分布構造を理解する上での一助となれば幸いである。

謝 辞

島根大学汽水域研究センターの江原亮・東井啓の両氏には野外調査の手伝いをしていただいた。この場を借りてお礼を申し上げる。なお、本研究は(財)河川環境管理財団の平成16・17年度河川整備基金助成事業によって実施した。

引用文献

- Akiyama, M. and Nishigami, K. (1959) Oecological studies on algal flora in Lakes Shinji and Nakano-umi: Part I. Distribution of macroscopic algae. Bull. Shimane Univ., 9: 69–75.
- 秋山 優(1978)中海および宍道湖における底生藻類の生態学的研究. 1. 藻類の分布と水質環境. 「環境科学」研究報告書, 中海の干拓・淡水化が水圏環境に及ぼす影響に関する基礎的研究1号, 55–63.
- 秋山 優(1996)宍道湖・中海水系の藻類. 宍道湖・中海水系の藻類研究会, 27–34.
- Benedetti-Cecchi, L. (2000) Predicting direct and indirect interactions during succession in a midlittoral rocky shore assemblage. Ecol. Monogr., 70: 45–72.
- Dring, M. J. (1981) Chromatic adaptation of photosynthesis in benthic marine algae: an examination of its ecological significance using a theoretical model. Limnol. Oceanogr., 26: 271–284.
- Koch, E. W. (2001) Beyond light: Physical, geological, and geochemical parameters as possible submerged aquatic vegetation habitat requirements. Estuaries, 24: 1–17.
- Kunii, H. and Minamoto, K. (2000) Temporal and spatial variation in the macrophyte distribution in coastal lagoon Lake Nakaumi and its neighboring waters. J. Marine Syst., 26: 223–231.
- Lubchenco, L. (1986) Relative importance of competition and predation: early colonization by seaweeds in New England. In: Community ecology. (eds.) Diamond, J. M. and Case, T. J. pp. 537–555. Harper and Row, New York.
- Mackey, R. L. and Currie, D. J. (2001) The diversity-disturbance relationship: is it generally strong and peaked? Ecology, 82: 3479–3492.
- Markager, S. and Sand-Jensen, K. (1992) Light requirements and depth zonation of marine macroalgae. Mar. Ecol. Prog. Ser., 88: 83–92.
- Mathieson, A. C., Hehre, E. J., and Reynolds, N. B. (1981) Investigations of New England marine algae I: a floristic and descriptive ecological study of the marine algae at Jeffery Point, New Hampshire. U.S.A. Bot. Mar., 24: 521–532.
- Middleboe, A. L. and Markager, S. (1997) Depth limits and minimum light requirements of freshwater macrophytes. Freshwater boil., 37: 553–568.
- Miyamoto, Y. and Noda, T. (2004) Effects of mussels on competitive inferior species: competitive exclusion to facilitation. Mar. Ecol. Prog. Ser., 276: 293–298.
- 宮本 康・國井秀伸(2006)汽水湖中海における塩分変動に応じた水質と沿岸藻場の変化. 応用生態工学, 9: 179–189.
- 向井哲也・中村幹雄・山根泰道・清川智之・川瀬恭子・岩井克己(1996)中海・宍道湖底質改良実証実験事業(中海藻場生息状況・分布調査). 平成8年度島根県水産試験場事業報告, 195–204.
- 根来健一郎(1962)水草, 大型藻類. 中海干拓・淡水化事業に伴う魚属生態調査(宮地伝三郎編) pp. 82–84.
- Nielsen, S. L., Sand-Jensen, K., Borum, J. and Geertz-Hansen, O. (2002) Depth colonization of eelgrass (*Zostera marina*) and macroalgae as determined by water transparency in Danish coastal waters. Estuaries, 25: 1025–1032.
- 野田隆史・宮本 康・宮下典丈(2001)競争とその抑制による種多様性決定機構—岩礁潮間帯の海藻群集. 群集生態学の現在(佐藤宏明・山本智子・安田弘法編) pp. 187–207. 京都大学学術出版会
- Noda, T., Minamiura, T., and Miyamoto, Y. (2003) Seasonal changes in an intertidal annual algal assemblage in the Northern Japan: the role of preemption and grazing on algal replacement. Ecol. Res., 18: 695–709.
- Sokal, R. R. and Rohlf, F. J., (1995) Biometry 3rd ed. Freeman, New York, 887 pp.
- 杵村喜則・小池文人(1991)宍道湖・中海汽水域における大型藻類および海生沈水草本植物群落とその分布. 汽水湖研究, 1: 81–86.
- Yamamuro, M. (2000) Abundance and size distribution of sublittoral meiobenthos along estuarine salinity gradients. J. Marine Syst., 26: 135–143.

中海湖心部における湖底の水中映像 (その 1) : 風速変化に対する底層水の動態

野村律夫¹・瀬戸浩二²・堀江 譲³・高田裕行²

Lake floor images in the central part of Lake Nakaumi (part 1) : wind speed impacts on bottom water motion

Ritsuo Nomura¹, Koji Seto², Yuzuru Horie³ and Hiroyuki Takata²

Abstract: A long-term monitoring waterproof camera was installed on the bottom of Lake Nakaumi at a depth of 6.5 m, in order to observe bottom water movements and the ecology of brackish organisms. Over a six day period, Nov. 4–Nov. 9 2006, brackish water dynamics changed from stable to unstable conditions. Under the prior stable conditions, the sediment surface was covered with a bacterial mat. Strong winds, over 15 m/s, mixed upper and bottom water masses and the halocline disappeared for a short time in the middle of this period.

We show that winnowing of bottom sediments occurs at wind speeds greater than 10 m/s at this location; a small piece of bacterial mat was stripped off from the bottom sediment. When wind speed increased to greater than 12–13 m/s, bottom water turbulence was increased, with larger pieces of bacterial mat and sediment particles several centimeters in diameter being resuspended. Water clarity decreased at this time. The bacterial mat was completely stripped off the sediment surface when wind speed exceeded 16 m/s. Suspended sediment caused water clarity to go to zero at this time.

Fish appeared in bottom waters soon after the wind-driven disruption of stratified water conditions, suggesting that oxygen-rich upper water were well mixed into oxygen-poor bottom water.

Key words: waterproof camera, long-term monitoring, bottom water, winnowing, wind speed

はじめに

汽水域の複雑な自然環境を保全するためには、より多くの自然現象を理解する必要がある。そのためには長期にわたって観測・観察が必要になる。宍道湖・中海では様々な調査機関で水質測定がなされており、詳しい水質の変動が理解できるようになっている。このような観測データは数値化されているが、特定の物理化学的指標の一部にすぎない。もし、長

期にわたって水中の変化を映像によって記録することができれば、複雑多岐にわたる自然の変化を視覚という感性の中で理解することができる。複雑な自然現象を限られた環境指標で代表することには限界のあることを我々は十分に理解しておく必要がある。

この計画は、現在進めている 2000 年より継続しているフラックス調査（湖水中の懸濁物の沈積量調査）と併せて、多様な生態系の存在や水質測定では

¹ 島根大学教育学部 Faculty of Education, Shimane University, Matsue, 690-8504

² 島根大学汽水域研究センター Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, Matsue, 690-8504

³ しまね産業振興財団 Shimane Industrial Promotion Foundation, Matsue, 690-0816

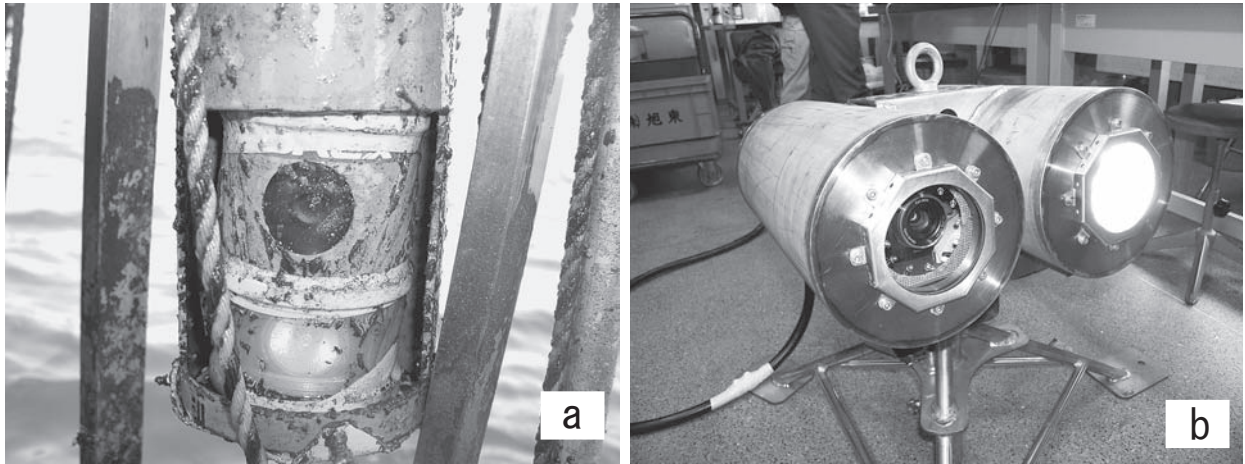


図1. a.ハウジング窓面に光触媒作用を施していない通常的水中カメラ(5月設置, 1ヶ月後の様子). 窓面への付着生物等のため, 適切な映像が得られない. b. 長期モニタリングのために光触媒作用を施した水中カメラのハウジング窓面.

Fig. 1. a. Waterproof camera without a photocatalysis. Housing window was covered with attached organisms and clay minerals after about one month in bottom water. b. Replacement waterproof camera with a photocatalysis for a long-term monitoring of water environment.

得ることのできない複雑な湖水の動態を明らかにすることに基づいている. 現在までに, 膨大な湖底の映像資料が記録されているが, 高解像度(80万画素, 3CCD)の映像は今回報告する2004年11月の設置から得られるようになった. しかし, 技術的問題で中断したため, 実質的に長期観測が可能になったのは2006年11月からである. これより映像から読み取ることのできる特徴的な水環境の動態についてシリーズとして紹介することにする.

本論文では, 中海の湖底堆積物が風速の変化に応じて, どのような挙動を示すのかに注目して観察を行った. 中海や宍道湖では, 風が湖の水質や生態系に与える影響を評価するために多くの研究者によって風速の変化に対する湖水の動態が議論されてきた(たとえば, 橋谷ほか, 1992; Kondo et al., 1990; Godo et al., 2001; 野村・瀬戸, 2004). 本報告は, このような議論に対して視覚的情報による解釈を提供するものである. ここで扱う映像は, カメラを設置して間もない2006年11月に低気圧の通過に伴って発生した軽風から強風状態の風速に対する湖底の動態である. 季節によっても, 風に対する反応は異なることも予想されるが, 従来の指摘を検証する機会になったといえる.

研究方法

1. 長期設置型水中ビデオカメラ

長期間にわたって水中カメラを湖底に設置した場

合, 季節による違いもあるが生物活動が活性化する夏季から秋季では約1週間で観察できなくなる(図1a). 付着生物によるカメラハウジング窓面への妨害が必ず起こる. 付着する生物には藻類とフジツボやヒドロ虫類のような大型生物があげられる. 藻類の付着は, 粘土鉱物とともに映像を曇らせ, 大型生物は映像撮影を不可能にする. このような問題を克服するために, 水中ビデオカメラレンズのハウジング窓面に酸化チタン光触媒技術を適用し, 生物忌避機能を備えた水中カメラを開発した(図1b). 酸化チタンを使った光触媒技術の応用は多方面で利用されている(橋本・藤島(監修), 2003).

この水中カメラではハウジング窓面に石英ガラスを使い, 非結晶型のペリオキソチタン酸を窓材に直接塗布し, 450℃の無酸化炉にてアナターゼ型の結晶化を行った. 380 nmの紫外線を照射するLEDを付置し, 石英ガラス表面でスーパーオキサイドアニオン($\cdot\text{O}_2^-$), ヒドロキシラジカル($\cdot\text{OH}$)を生成させている. スーパーオキサイドアニオンとヒドロキシラジカルの発生は, 藻類等の付着を阻害し, ガラス面での自浄作用(水和作用)を高めている.

2. 水中カメラの設置場所と記録

水中ビデオカメラの設置は, 国土交通省が中海湖心部に設けている自動水質観測所(水深6.5 m)を利用した. カメラ窓面の設置方向は東方向で, 湖底60 cm先の映像を記録している. 記録場所の湖底は, 観測所設置時の工事に伴う湖底の凹凸や観測塔の支

柱に付着していた貝類の殻が落下散乱し、“ヘドロ”堆積物と混在している状態である。

水中の映像記録は5分間を1コマとして、2時間間隔で実施した。1日当たり、12コマ計1時間の記録となっている。これらの映像記録は、現地に設置したDVDレコーダーに保存したもので、約1ヶ月後に回収し、再生と観察を行った。時間帯は、〈1〉0:00~0:05、〈2〉2:00~2:05、〈3〉4:00~4:05、〈4〉6:00~6:05、〈5〉8:00~8:05、〈6〉10:00~10:05、〈7〉12:00~12:05、〈8〉14:00~14:05、〈9〉16:00~16:05、〈10〉18:00~18:05、〈11〉20:00~20:05、〈12〉22:00~22:05である。なお、上記時間帯でのリアルタイム映像の観察も可能であるが、現時点では受信にかかる画素数に制限があるため、DVD映像ほど鮮明ではない。

観 察 結 果

1. 水中映像の様子

水中の映像は、昼間は全体として黄緑色を呈し、夜間は左1方向からの照明のために左半分のみ湖底の様子が識別できる状態である。一般的に、濁りのために霞のかかった状態で観察されることが多く、透明感のある映像はこの時期には得られなかった。しかし、強く濁らない限り湖底表面の堆積物の様子は観察できる状態である。後述する極めて強い濁りが発生した場合や日照量が低い場合、湖底では昼間でも光量が低下し、暗くなってしまう。図2a, bには各映像のスナップ写真とその時間帯を示している。

11月4日12時から11月9日午前2時までの水中映像には極めて変化に富む湖底の様子が記録されている。主なものとして、湖底を広く網目状に覆う白色のバクテリアのマットがカメラの設置時に観察された(図2a-1)。このマットは停滞的な底層水が維持されている中で発達し続けていたものである(図2a-30)。しかし、11月7日の午前から午後にかけて完全に剥離してしまった。その後、湖底のくぼ地に新たなバクテリアマットがかすかに見られたのみであった。バクテリアのマットの剥離は、低気圧の移動に伴う10mを超す風速が夕方まで続いたことであったが、10m/sを超す風速が湖底表層堆積物に与える影響を評価する上で興味深い。

バクテリアのマットが発達し、底層水が停滞している環境では大型生物の出現はみられなかったが、底層水中の粒子の動きが活発化するようになって、生物の活動が頻繁に観察できるようになった。映像にはスズキ属(*Lateolabrax japonicus*)の遊泳が記録さ

れている(図2b)。

2. 設置期間中の気象・水位・水質

以下に示す気象・水質記録は、国土交通省の湖心観測所で1時間ごとに得られたもので、各層の水深は以下のものである。

上層水 水深 2.0 m

中層水 水深 3.5 m

下層水 水深 5.5 m

底層水 湖底上 0.5 m

【風速】11月4日12:00~11月5日14:00まで軽風状態にあったが11月5日15:00を過ぎると風速が5m/sを超える西風が吹くようになる。11月7日1:00~16:00の15時間は風速が10m/sを超え、とくに8:00~12:00の4時間は風速が15m/sを超え、強風になった。11月7日22:00から11月8日10:00の12時間は風速が弱く(<5m/s)、11月8日11:00からは5m/sを超す風速が発生した(図3)。

【水位】中海湖心の水位と境港験潮所の水位(TP)を比較すると、この時期にはおもに順流が支配的であった。干潮時でも水位差は最大でも数cmほどであった(図4)。図中の上向き矢印(↑)は、流れの強弱には関係なく、映像内で南側からの流れが認められる場合と下向き矢印(↓)は北側からの流れの認められることを示している。

【溶存酸素】溶存酸素濃度の変化は、上層水、中層水、下層水と底層水の間で、連動した変化をしている。11月5日15:00に5m/sを超える風が発生するようになって底層の溶存酸素も増加し始める。しかし、風速と溶存酸素濃度との間には明瞭な相関はみられない。11月7日12:00を過ぎたころから湖底の酸素濃度が上昇し、7日の18:00~20:00の2時間と11月8日の17:00~19:00の1時間、濃度の高まりが起こっている。11月7日の高濃度の時には上層水から底層水にかけて濃度が一樣になっており、湖水が全体的に混合された状態となっている。約6時間後には徐々に各層ごとに分離していく(図5)。

【塩分】各層とも安定した状態であったものが、11月7日の4:00頃に上層水と中層水が類似の濃度になり、風速が15m/sを超えて2時間たった11:00になると下層水と底層水と同じ約28psuになる。すなわち、下層水と底層水は約31psuから3psu低下し、上層水は21psu程度から7psu増加したことになる。風速が10m/sを下回った17:00以降になると、下層水と底層水は3時間ほどさらに塩分が低下(26psu)しながらも、徐々に各層の塩分は分離していく(図6)。

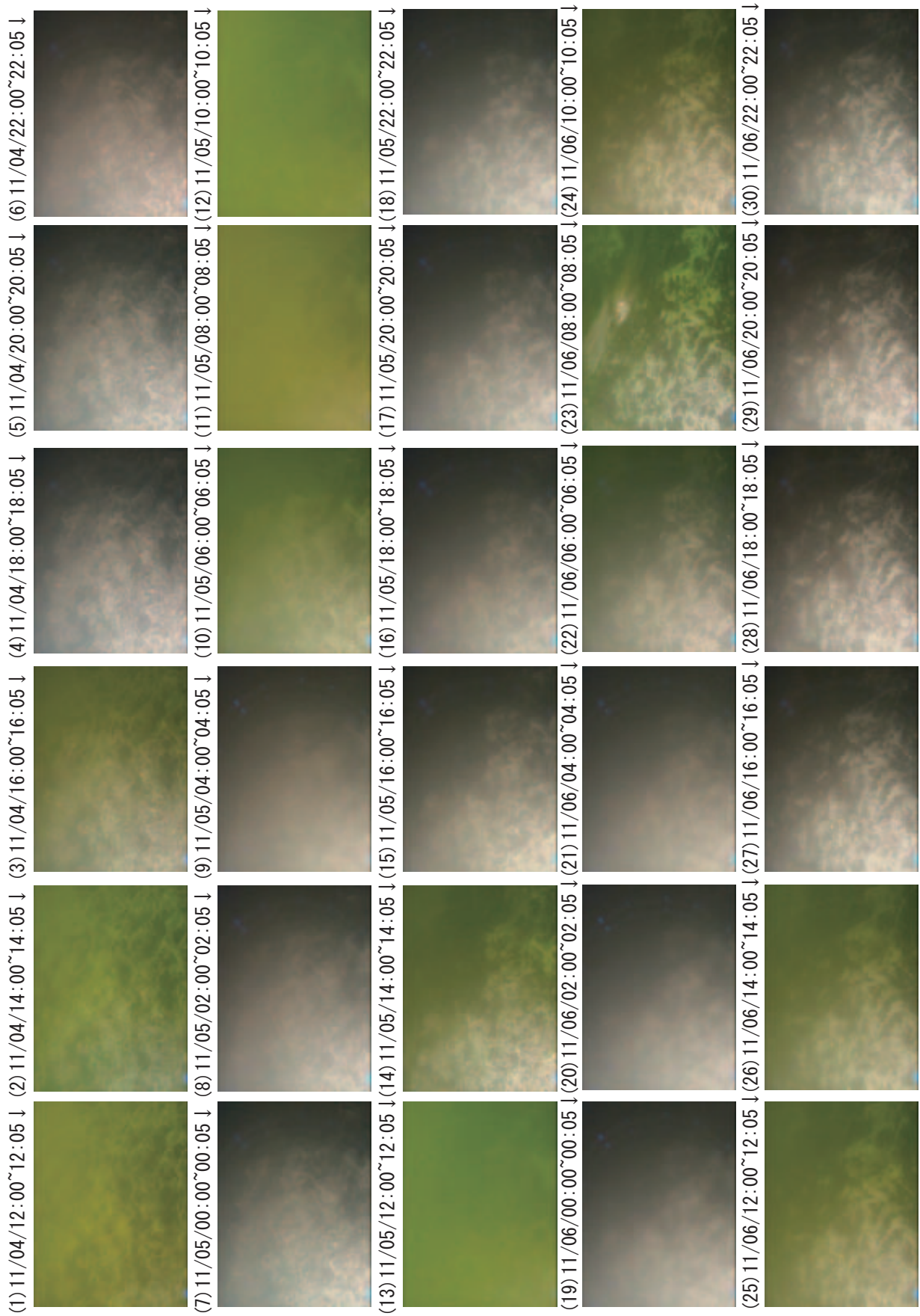


図2. 5分間の水中映像のなかのスナップ写真。観察対象はカメラから約60cm前方の湖底。横方向で約40~50cmの視野を撮影している。

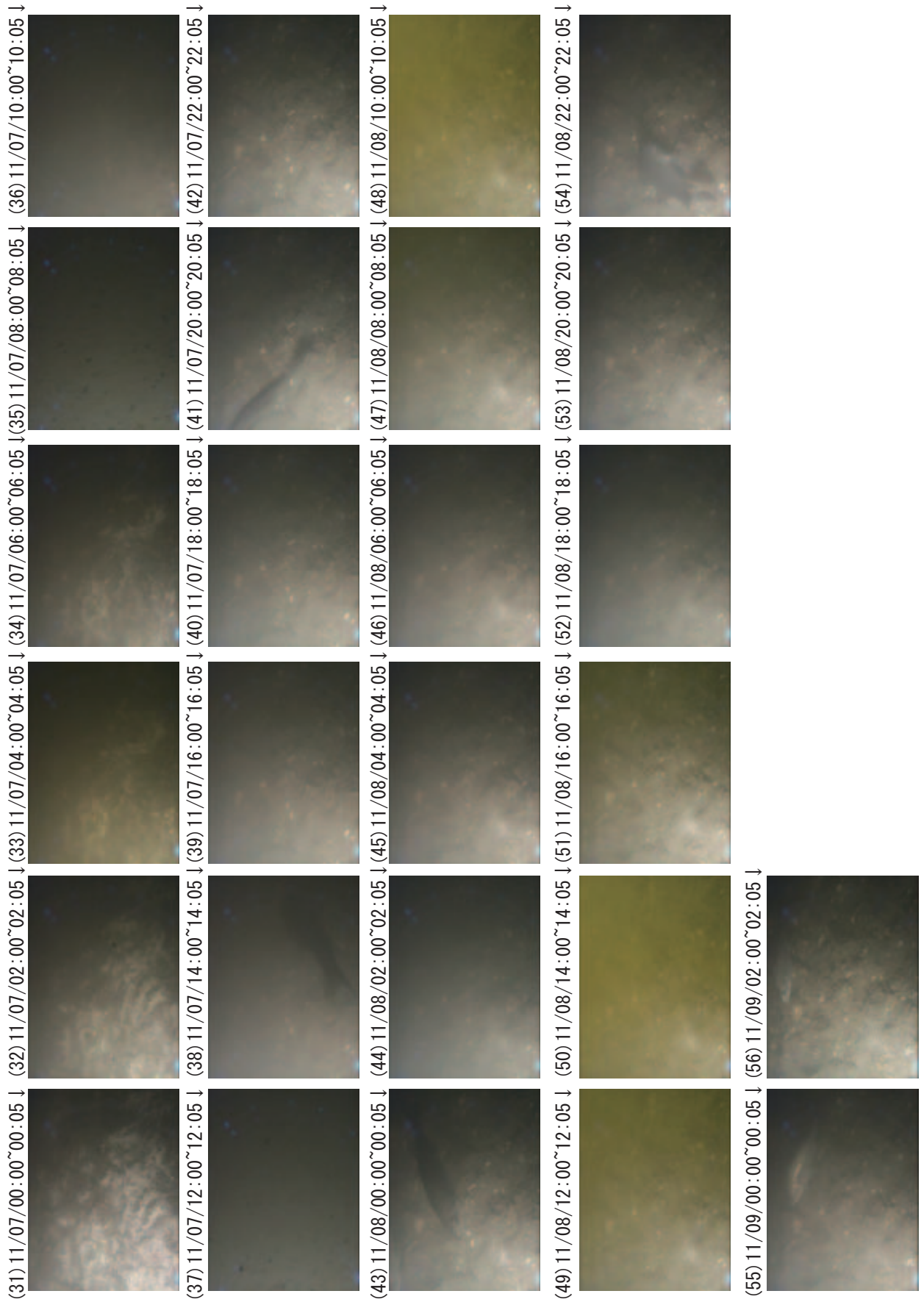


図2. 続き

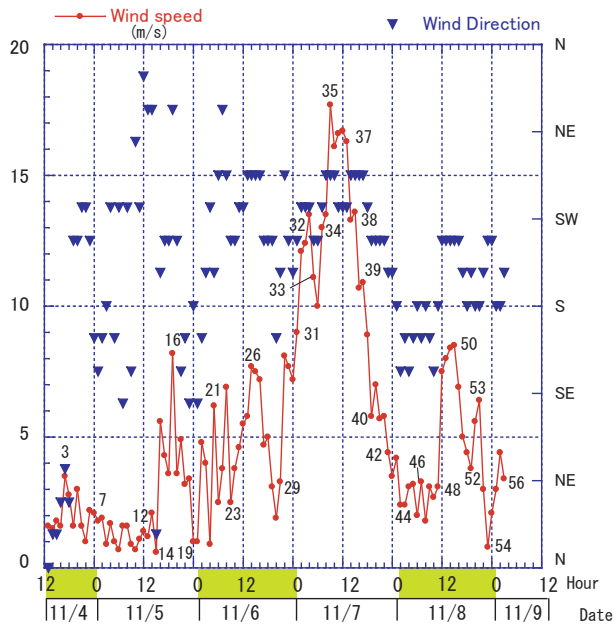


図 3. 風速の変化(出雲河川事務所による). 図中の番号は図 2a, b に示す映像番号.

Fig. 3. Time-series changes of wind speed. Data from Izumo River Office.

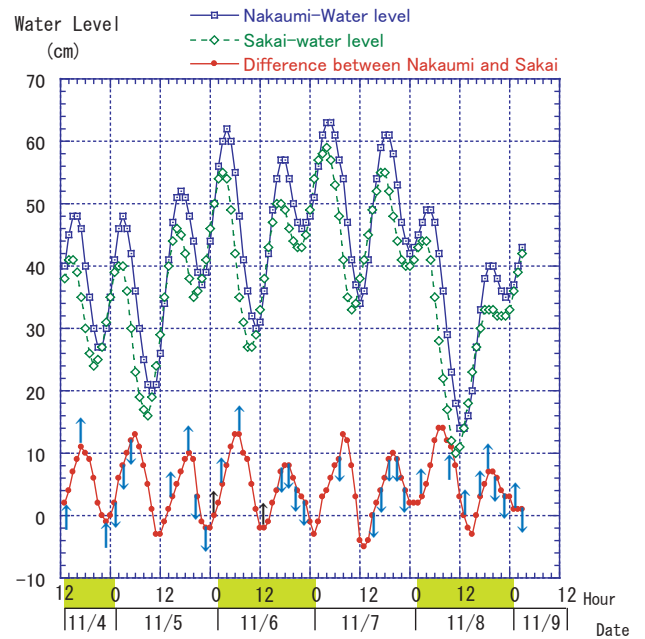


図 4. 中海湖心と境港の水位の変化(出雲河川事務所による). 図中の下の波動は中海湖心と境港の水位差を示し, 上下矢印は湖水の流れ方向を示す. ↑は南成分の流れ, ↓は北成分の流れ.

Fig. 4. Water level at Sakai tidal observatory and Nakaumi observatory in the central part of the lake. Water level difference between Sakai and Nakaumi is indicated in the lower half, with flow direction. ↑ indicating southern flow, ↓ indicating northern flow. Data from Izumo River Office.

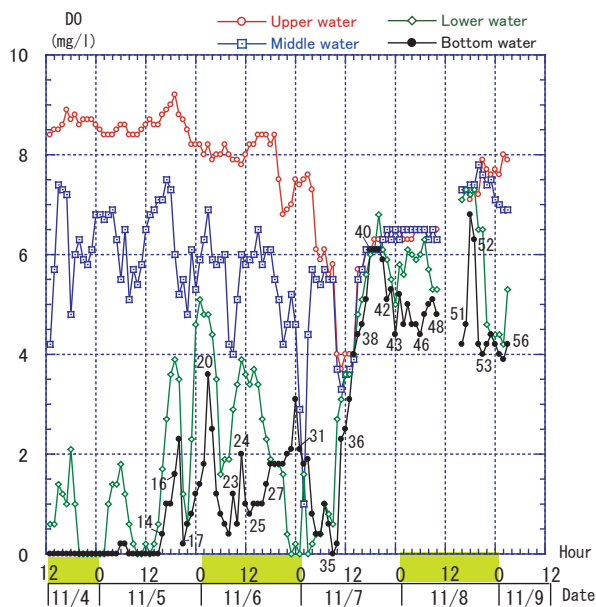


図 5. 溶存酸素濃度の変化(出雲河川事務所による). 図中の番号は図 2a, b に示す映像番号.

Fig. 5. Lake Nakaumi dissolved oxygen content. Data from Izumo River Office.

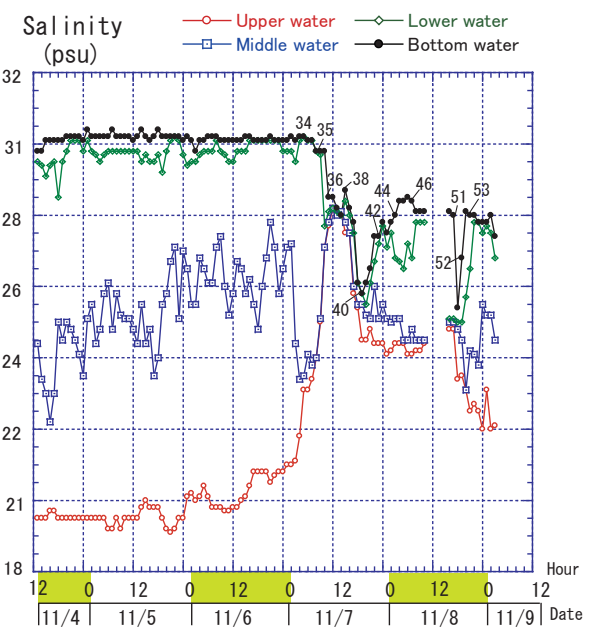


図 6. 塩分の変化(出雲河川事務所による). 図中の番号は図 2a, b に示す映像番号.

Fig. 6. Lake Nakaumi salinity. Data from Izumo River Office.

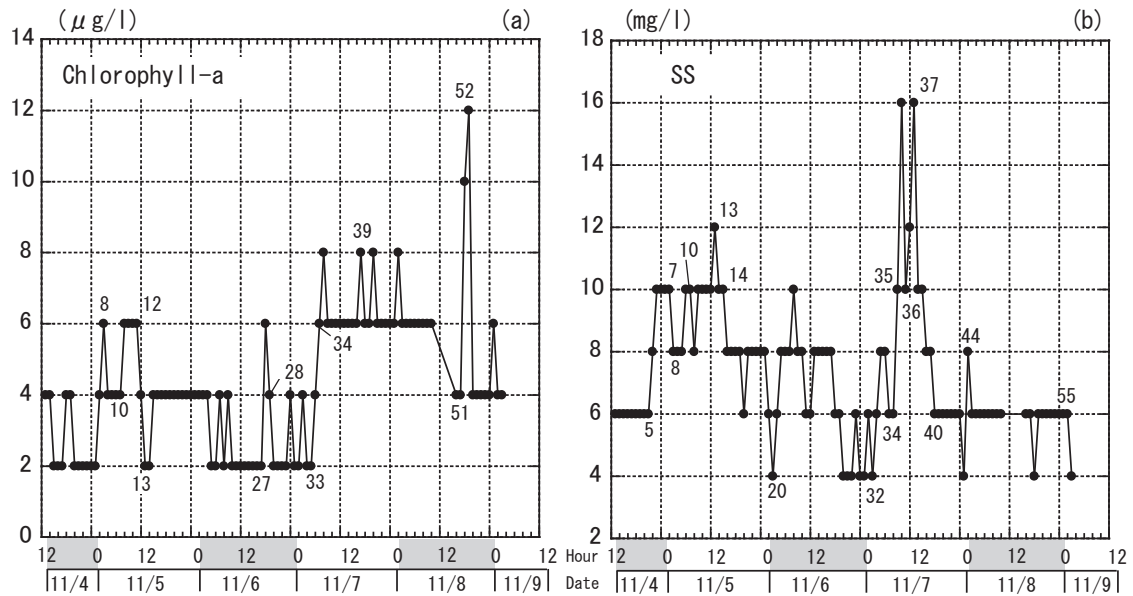


図7. a. 底層水のクロロフィル a の濃度変化(出雲河川事務所による). b. 底層水の濁度の変化(出雲河川事務所による). 図中の番号は図 2a, b に示す映像番号.

Fig. 7. a. Lake Nakaumi chlorophyll-a content in bottom water. Data from Izumo River Office. b. Suspended matter content in Lake Nakaumi bottom water. Data from Izumo River Office.

【底層水のクロロフィル】比較的高い量が 11 月 5 日の午前中と 11 月 7 日から 8 日にかけて継続的にみられる (図 7a).

【底層水の濁度】比較的高い濁度が 11 月 5 日の午前から午後にかけて, また 11 月 7 日の 9:00~15:00 にかけてみられる. 11 月 7 日の高い濁度は, 明らかに風速に関連しているが, 11 月 5 日の濁度は, 風速が比較的低い時にみられることから, 風による影響とは異なっている (図 7b).

考察：水中映像からみた気象・水質

ここでは, 前述した水中の映像を 1 時間ごとに記録されている気象・水質測定と直接比較を行ってみたい.

中海の水質が風によって影響を受けることは以前から指摘されている. Kondo et al. (1990) は強風にもなって浮遊物の増加が起こることを指摘し, 栄養塩類の上層への回帰と赤潮の発生要因を関連させている. 奥田 (1997) は塩分躍層附近での上層・中層の混合作用と下層水の這い上がり現象が起こることを報告している. 野村・瀬戸 (2004) は, 湖底の堆積物中に生息するメイオバントスの有孔虫が浮遊物中に多数見つかったことを報告し, 浮遊物の採取以前に 10 m/s を越す風速で湖底が擾乱を受けていたことを示した. 風速が強まることによって湖底堆積物

の攪乱が湖水中へ浮遊物を拡散せる証拠となっている. Godo et al. (2001) は, 風速・風向による躍層附近の水の流れの変化過程を明らかにしている. 以上のような調査から明らかに湖水と風速は密接に関連し, 湖水の化学的性質ばかりでなく, 生態系にとっても重要な環境変動要因になっているといえる.

11 月 7 日の 10 m/s を越す風速の時には, 水質から判断して上層水と中層水の混合が 3 時間後におきた (0~1 時→3~4 時). その間, 下層と底層水との混合は起こっていなかったが, 底層水は攪乱し, 湖底泥を巻き上げている (図 2b-32). そのため, 湖底を被覆していたバクテリアマットの剥離が少しずつ進んでいく (図 2b-33). 風速が 12~13 m/s を超えると濁りは著しくなり, バクテリアマットの剥離もさらに進行していく (図 2b-34). この時まだ, 下層・底層水と中・上層水との混合は起こっていない. そして, 風速が 15 m/s を超えて 2 時間後に下層・底層水と中・上層水との混合が起こった (7~8 時→9~10 時). 風速が 13~17 m/s になると, 湖底での攪拌は激しく, 湖底泥の巻き上げや粒径が 2~3 cm 程度の集塊状堆積物の舞い上がりも起こっている (図 8). したがって, このような風速が発生した場合, 湖底の表面は完全に巻き上がることを意味している. このことはバクテリアマットが完全に剥離していることから理解できよう (図 2b-39).

一方, 湖底泥の沈降は早めに進んでいくようであ

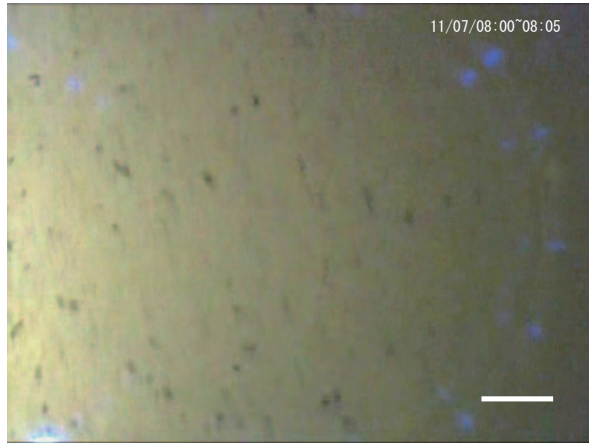


図8. 再浮遊した湖底堆積物の小片(図2b-35の画像調整). スケールは約6 cm.

Fig. 8. Sediment particles resuspended in bottom water. Modified from Figure 2b-35.

る。風速の17.7 m/sを最大とするアクメを経過すると13 m/sの風速があっても湖底の様子が判別できる状態になり、また魚類の遊泳も観察できる(図2b-38)。しかし、塩分や溶存酸素の混合作用は数時間ほど継続している。風によって表層の酸素が底層水へ供給されると、魚類の遊泳が頻繁に確認されるようになることも映像から確認される。

このように、風によって湖底の物理的・水質環境が大きく影響を受けることが実証されたといえる。しかし、風による影響とは別な要因による濁りの存在も確認された。11月5日朝4時から濁りはじめた底層水は8時から12時にかけて著しく濁り(濁度は10 mg/l程度)、湖底の状態を全く観察することができないほどであった(図2b-35)。12時から14時の2時間の間にこの濁りは解消されている。このような濁りは、この期間中以外にも午前から午後にかけて発生することが多く、頻繁に観察されている。視覚的に捉えることのできる湖水のこの濁りは、潮汐作用に直接反映されることはなく(図4)、風向を直接反映しているものではない。かなり複雑な要因が関係しているものと考えられる。

ま と め

中海の湖心部に設置した長期観測水中カメラによって2006年11月上旬に発生した強風の時の湖底の動態を明らかにすることができた。また、気象・水質の観測データと比較検討することで、上層水から底層水の変化の様子とその動態が湖底の生態系へ与える影響についても実証することができた。ここで明らかにした水中映像は、DVDで配付することができる。また、映像のスナップショットは、<http://www.ipc.shimane-u.ac.jp/earth/>でもみることができる。

謝 辞

水中カメラの設置あたり国土交通省出雲工事事務所には施設面でご協力をいただいている。水質保全課の湯浅丈司課長に厚くお礼申し上げる。

引 用 文 献

- Godo, T., Kato, K., Kamiya, H. and Ishitobi, Y., 2001, Observation of wind-induced two-layer dynamics in Lake Nakaumi, a coastal lagoon in Japan. *Limnology*, 2: 137-143.
- 橋谷 博, 奥村 稔, 藤永 薫, 近藤邦男, 清家 泰, 山田佳裕, 1992, 宍道湖・中海の水質変動に与える気象・海象の影響 - (その2) 1982~1991年の水質変動と気象5因子. *山陰地域研究(自然環境)*, 8: 69-86.
- 橋本和仁・藤島 昭(監修), 2003, 図解光触媒のすべて. 工業調査会, 東京, 308 pp.
- Kondo, K., Seike, Y. and Date, Y., 1990, Red tides in the brackish lake Nakaumi (II), Relationships between the occurrence of *Prorocentrum minimum* red tide and environmental conditions. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 37: 19-34.
- 野村律夫・瀬戸浩二, 2004, 有孔虫の産状からみた2003年春季の赤潮発生期の中海の海況. *LAGUNA(汽水域研究)*, 11: 125-130.
- 奥田節夫, 1997, 汽水湖における水塊の移動と混合過程. *沿岸海洋研究*, 35(1): 5-13.

諫早湾調整池と河口堰湛水域における 植物プランクトン発生パターンの共通性と相違

程木義邦¹・村上哲生²

Comparison of phytoplankton biomass above a rivermouth barrage and in a freshwater reservoir, upper Isahaya Bay.

Yoshikuni Hodoki¹, Tetuo Murakami²

Abstract: We compared seasonal and spatial variations in phytoplankton biomass between a location upstream of a rivermouth barrage in the Tone River and a freshwater reservoir in Isahaya Bay in order to examine phytoplankton growth in areas affected by dam emplacement. Simple linear regression analyses were conducted between water renewal rates and phytoplankton biomass (chlorophyll *a* concentration). Significant negative correlations were found just upstream of a rivermouth barrage in the Tone River and in the riverine zone of a freshwater reservoir in Isahaya Bay from spring to summer. However, no significant correlation existed between water renewal rate and phytoplankton biomass in the reservoir itself, which suggests that other environmental factors affect phytoplankton biomass at this location. Growth of the phytoplankton community increases the organic matter load to coastal areas, and an estimated 24% of the organic carbon load into Isahaya Bay was derived from autochthonous production in the Isahaya Bay reservoir.

Key words: dam, phytoplankton, reclamation work, rivermouth barrage, water renewal rate

はじめに

河口域に造られた横断的な構築物は、河川の流れや潮汐を阻害することにより、浮遊藻類の種類組成や現存量の変化をもたらす。連鎖的に河口域の物質循環全体に影響を及ぼすことが、長良川をはじめとした幾つかの河川で指摘されている(日本自然保護協会保護委員会河口堰問題小委員会, 2000; 村上, 2002; 玉井, 2002)。また、人為的な内湾の淡水化に伴う浮遊藻類の発生による水質障害も、我国では1960年代より多くの観測事例がある。前者が対象とする構築物は、河口堰、水門、閘門など河川区域内のものであり、後者はより海側に造られる構築物、

例えば防潮水門、潮受堤防などが扱われている。これらの構築物も、河口域の浮遊藻類に対しては滞留時間の長期化や塩分の変化などにより、直接的または間接的に、現存量や種類組成を変化させる可能性がある。

宇野木(2002)は、干拓地の潮受堤防について、その地理的条件や運用方法が河口堰と共通することに着目し、堤内に新たに造られる調整池と河口堰湛水域の環境の類似性を物理化学的観点から示唆している。本研究では、宇野木(2002)の指摘する共通性が浮遊藻類の発生状況においても見られることを明らかにするとともに、両者で異なる河川流入量/貯水容量比などが種類組成や現存量の時間的、空間的変

¹ 鳥根大学汽水域研究センター(日本学術振興会特別研究員) 〒690-8504 松江市西川津町 1060 Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, JSPS Research Fellow

² 名古屋女子大学家政学部 〒467-0003 名古屋市瑞穂区汐路町 3-40 Nagoya Women's University

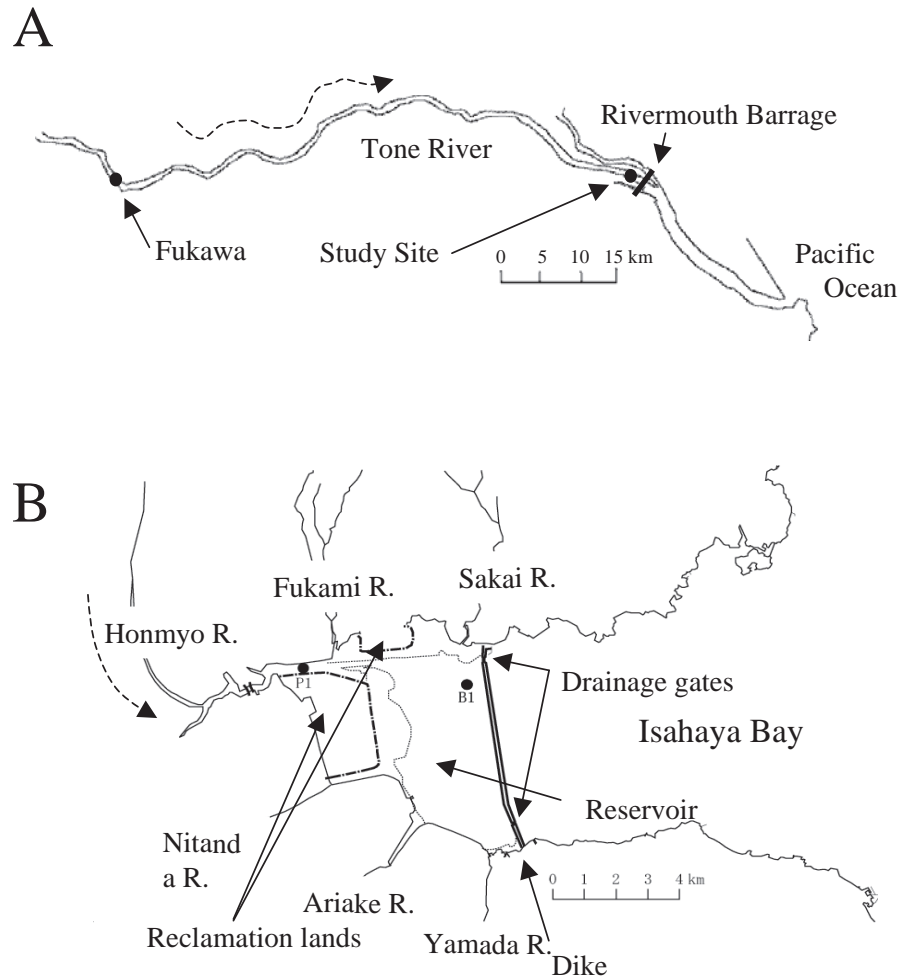


図1. 解析の対象とした利根川河口堰上流域 (A) と諫早湾干拓事業調整池の調査地点 (B).
Fig. 1. Location of the rivermouth barrage in the Tone River (A) and the freshwater reservoir in the Isahaya reclamation project area (B).

化に及ぼす効果についても言及する。

研究対象としては、国営諫早湾干拓事業によって造成された調整池および利根川河口堰湛水域における水質変動を扱う。これらの水域では、浮遊藻類発生による水質悪化が懸念されている(東, 2000; 村上, 2002)。また、諫早湾の調整池では、堤内で生産された有機物の流出負荷が諫早内湾の環境に及ぼす影響が指摘されている(佐々木ほか, 2003)。そのため、堤内での一次生産者の変動機構およびそれに伴う有機物負荷量の変動の解明は、調整池の水質変動の監視や、海域への影響を軽減するための潮受堤防運用に有益な情報を与えるものとなる。

方 法

1. 調査の対象事業

利根川河口堰

利根川河口堰は、利根川河口から 18.5 km 地点に

建設された可動堰である(図 1A)。解析には、月一回の頻度で堰直上(河口から 19 km)において行われている公用水域調査結果のうち、1989 年 1 月から 1995 年 12 月までのクロロフィル *a* (chlorophyll *a*; Chl.*a*) 濃度および同日の布川地点における流量データを情報公開により入手し用いた(水資源開発公団, 1989–1995)。

諫早湾調整池

国営諫早湾干拓事業では、長さ 7 km の潮受堤防で諫早湾奥部の 3,550 ha を締め切り、干拓地と調整池と呼ばれる貯水池が造成された(図 1B)。堤防外からの海水の流入は無く、河川から流入した淡水は、南北 2 箇所の排水門から干潮時に排水され、調整池内部の水位はほぼ一定に保たれている。

解析には農林水産省が行っている調整池水質モニタリング調査の結果のうち、1997 年 4 月から 2004 年 4 月までのデータを用いた(農林水産省九州農政局, 2005)。本モニタリングは、潮受け堤防締め切

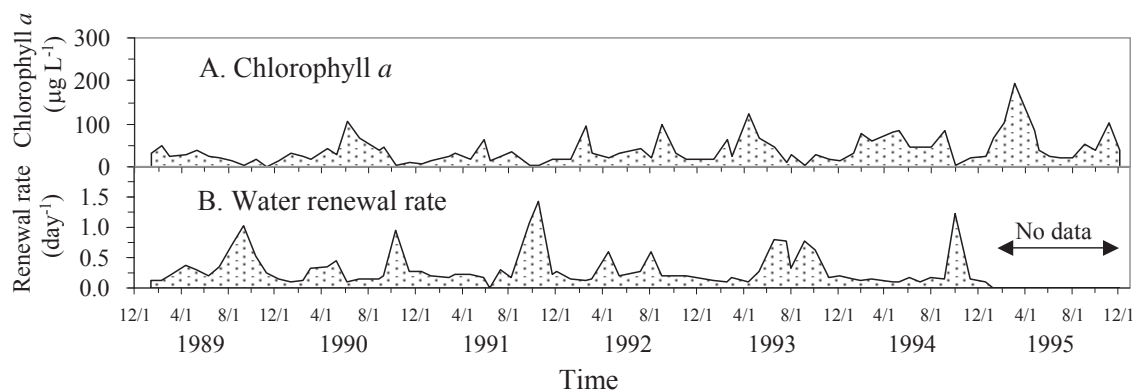


図 2. 利根川河口堰上流におけるクロロフィル *a* 濃度 (A) と水の回転率 (B) の季節変化。

Fig. 2. Seasonal variation in chlorophyll *a* concentration (A) and water renewal rate (B) just upstream of the Tone River barrage.

りの1ヶ月前の1997年3月より、週一回の頻度で行われており、13項目の水質測定が行われている。本研究では、B1地点およびP1地点(図1B)におけるChl.*a*濃度、COD、塩化物イオン濃度、懸濁物質(suspended solids; SS)のデータを用いた。

2. 解析方法

植物プランクトンの現存量と湛水域の回転率の関係性を調べるため、利根川河口堰および諫早湾調整池の日毎の回転率を以下の式で求めた。

$$\text{回転率 (day}^{-1}\text{)} = \text{流量} / \text{貯水容量} \cdots \cdots (1)$$

利根川河口堰については、堰(18.5 km)から50 km地点までを湛水域とみなし、この間の河床断面積(水資源開発公団利根川河口堰事務所, 1971)を積算して求めた6000万 m^3 を貯水容量として用いた。また、諫早湾調整池については、実績排水量と貯水容量(2,900万 m^3)より回転率を求め、各調査期間(約1週間)における平均値として解析に用いた。なお、2001年7月31日以降、堤防中央に設置されたポンプより、一日あたり100,000 m^3 の強制排水が連続的に行われているため、これ以降の排水量にはポンプによる排水量100,000 $\text{m}^3 \text{ day}^{-1}$ を加え回転率の計算を行った。

植物プランクトン現存量と調整池の回転率の関係性を評価するために、回転率を独立変数、Chl.*a*濃度を従属変数とした回帰分析を行い、回帰直線の決定係数と傾きの有意性(H_0 : 傾き = 0)を求めた。なお、植物プランクトンの増殖速度は水温の影響を強く受けるため、植物プランクトンの現存量と回転率の関係性は季節によって異なることが予想される。そこで観測結果を1-2月、3-4月、5-6月、7-8月、9-10月、11-12月に分け、それぞれの期間で解析を行った。

また、諫早湾調整池については、調整池から海域

へ排出される有機物負荷量のうち、内部生産によって生じている割合を評価するため、Chl.*a*濃度およびSSを独立変数とし重回帰分析を行った。

結果と考察

1. 植物プランクトン現存量の経時変化

利根川河口堰湛水域ではChl.*a*濃度が50 $\mu\text{g L}^{-1}$ を上回る値が頻繁に観測されるが、全体を通してその出現時期に一定した傾向は認められない(図2A)。回転率の経時変化と合わせてみると、1992年以外の全ての年で夏季(6-10月)に流量増加に伴い1 day^{-1} を上回る回転率の上昇がみられるが、このような時期にはChl.*a*濃度は低い値を示す(図2A, B)。また、夏季においても、回転率が0.25 day^{-1} 以下となった1990、1992および1994年には、Chl.*a*濃度が100 $\mu\text{g L}^{-1}$ 程度にまで達している。一方、冬季(11-4月)は、回転率が0.25 day^{-1} 以下で推移しているが、Chl.*a*濃度の変動との関係は不明瞭である。

次に、諫早湾調整のP1地点では、50 $\mu\text{g L}^{-1}$ を超えるChl.*a*濃度が4月から11月の間に多く見られる(図3A)。また、この期間においてもChl.*a*濃度のピークの出現期間は長くとも1-2ヶ月程度であり、短い間隔で増減を繰り返す傾向が見られる。

B1地点では、P1と比べるとChl.*a*濃度の変動の傾向が不明瞭であるが、2002年以外の全ての年において、12月から翌年4月までに50 $\mu\text{g L}^{-1}$ を超えるような高いChl.*a*濃度が観測される(図3B)。また、年度によっては夏季にも50 $\mu\text{g L}^{-1}$ 以上の値が観測されること、P1地点と比べ、ブルーム形成時のChl.*a*濃度の変動は小さく、比較的安定した現存量で長期間維持される傾向が見られる。また、P1およびB1地点におけるChl.*a*濃度の変動の連動性は確認できない。

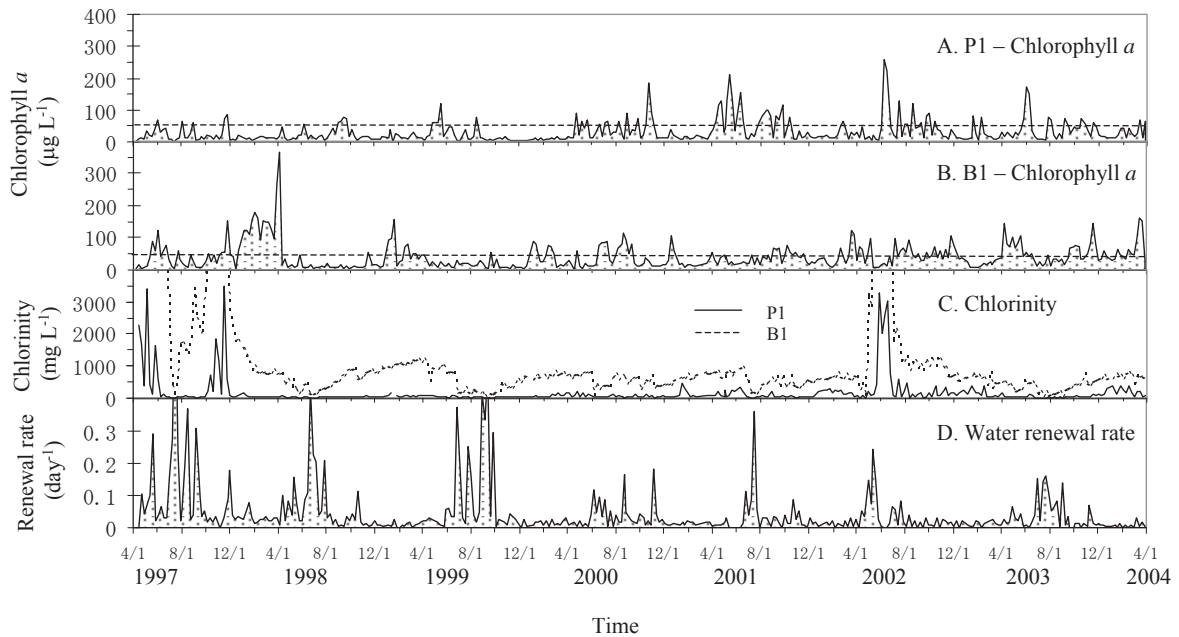


図3. 諫早湾調整池のP1およびB1地点におけるクロロフィルa濃度(A, B), 塩分(B)および水の回転率(C)の季節変化。

Fig. 3. Seasonal variation in chlorophyll a concentration (A, B), chlorinity (C) and water renewal rate (D) at stations P1 and B1, Isahaya Bay reservoir.

塩化物イオン濃度については、両地点共に、1997年4月の締め切り直後と2002年4月から5月に行われた海水導入調査の期間は高い濃度にある(図3C)。それ以外の時期では、P1地点では 100 mg L^{-1} 以下の低い濃度で推移している。一方、B1地点では、夏季(6–10月)には塩化物イオン濃度が 300 mg L^{-1} まで低下し、11月から翌年4月にかけて $1,000 \text{ mg L}^{-1}$ まで上昇する季節変化が見られる。しかし、P1およびB1地点共に、塩化物イオン濃度とChl.a濃度の間に明瞭な関係は見られない。

回転率は、調整池への流入量の季節変動を反映しているため、6–10月の間に高い値が頻繁に見られるが、12–4月の冬季には 0.05 day^{-1} 以下の低い値で推移している(図3D)。B1地点については、回転率とChl.a濃度の間に明瞭な関係は見られないが、P1については、高いChl.a濃度が頻繁に観測される夏季において、回転率が低い時期にChl.a濃度のピークが見られる。

2. 植物プランクトン現存量と回転率の関係

利根川河口堰については、サンプル数が各時期で $n=10-12$ と少ない。したがって全ての時期で統計検定上十分な検出力が確保出来ているとは考えにくい。3–4月、7–8月および9–10月の期間でChl.a濃度と回転率に有意な負の相関が見られた(図4)。

諫早湾調整池のP1地点については、冬期(11–2

月)を除いた全ての時期において、回転率とChl.a濃度の間に有意な負の相関が見られた(図5)。また、決定係数(r^2)は、夏期に高くなる傾向が見られた。一方、B1地点については9–10月に有意ながらも弱い相関がみられたが($r^2=0.103$)、全体として滞留時間とChl.a濃度の間に明瞭な関係が見られなかった(図6)。

3. 諫早湾調整池の内部生産に由来するCODの寄与率

調整池におけるCODの由来としては、植物プランクトンとともに、底泥の巻き上げや河川からの流入が考えられる。そこで、Chl.a濃度およびSSを従属変数、切片を河川からの流入濃度とし、重回帰分析を行ったところ、以下の式が得られた。

$$\text{P1 地点: COD (mg L}^{-1}\text{)} = 0.039\text{SS} + 0.028\text{Chl.a} + 3.53$$

$$(\text{r}^2 = 0.870) \dots\dots (2)$$

$$\text{B1 地点: COD (mg L}^{-1}\text{)} = 0.022\text{SS} + 0.032\text{Chl.a} + 4.16$$

$$(\text{r}^2 = 0.782) \dots\dots (3)$$

どちらの調査地点についても高い決定係数が得られ、Chl.a濃度とSSによってCODの変動をある程度説明できた。そこで、実際に調整池からの排水における植物プランクトン発生に伴うCODの寄与率を、排水の水質に最も近いと考えられるB1地点の重回帰分析の結果から求めた(図7A)。植物プランクトン由来のCODの寄与率は、図2に示したChl.a濃度と変動と概ね一致しており、平均で17%、最大

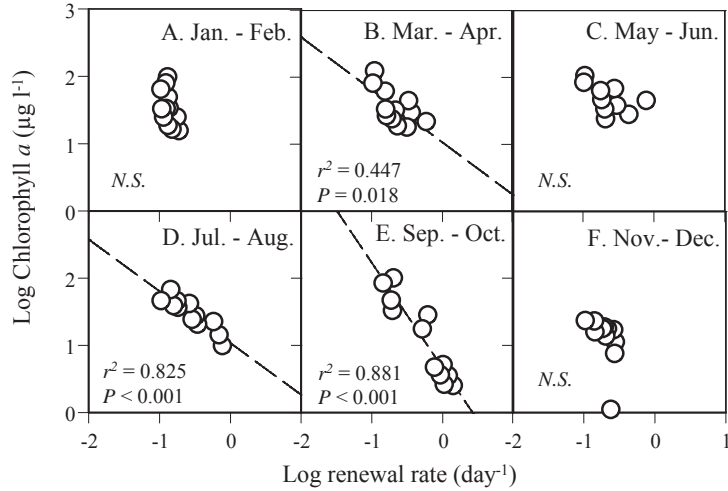


図4. 利根川河口堰上流域における水の回転率とクロロフィル *a* 濃度の関係。
Fig. 4. Seasonal relationship between water renewal rate and chlorophyll *a* concentration above the Tone River barrage.

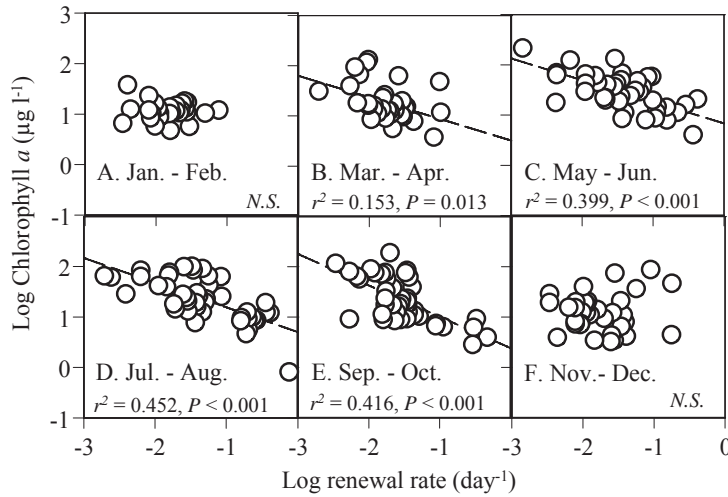


図5. 諫早湾調整池 P1 地点における水の回転率とクロロフィル *a* 濃度の関係。
Fig. 5. Seasonal relationship between water renewal rate and chlorophyll *a* concentration at station P1, Isahaya Bay.

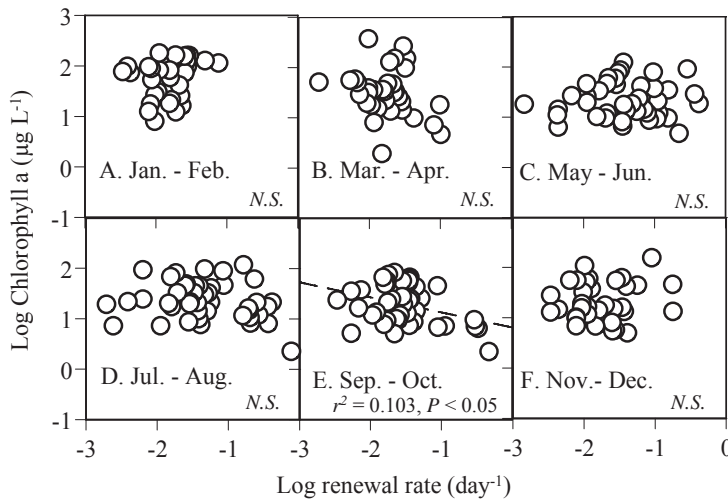


図6. 諫早湾調整池 B1 地点における水の回転率とクロロフィル *a* 濃度の関係。
Fig. 6. Seasonal relationship between water renewal rate and chlorophyll *a* concentration at station B1, Isahaya Bay.

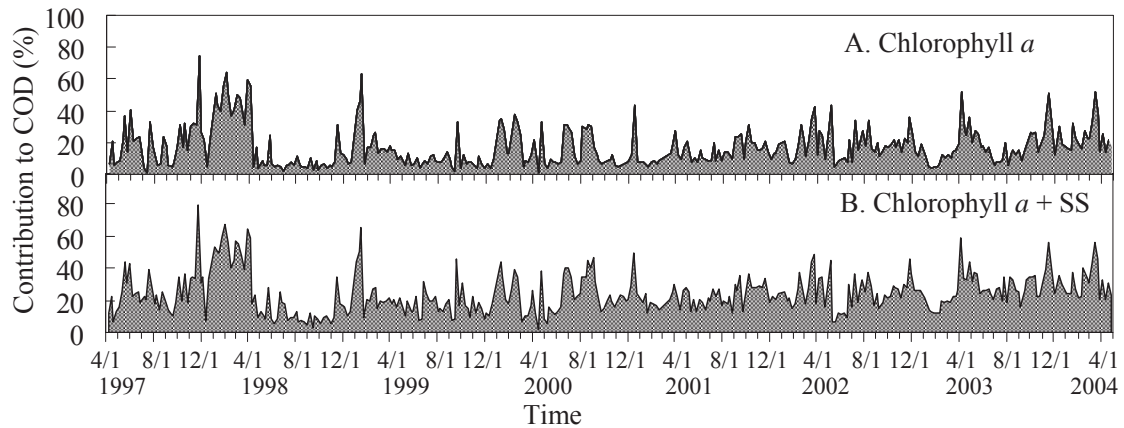


図7. 諫早湾への有機物負荷量のうち、調整池における藻類の発生 (A) と藻類の発生と底泥の巻き上げの寄与率 (B).

Fig. 7. Relative contributions of phytoplankton growth (A) and phytoplankton growth + suspended sediment (B) to the organic matter load of the Isahaya Bay reservoir.

で75%が植物プランクトン由来のCODと見積もられた。一方、潮受堤防締め切り後に底泥のCODが 13 mg g^{-1} から 19 mg g^{-1} まで増加したことが明らかになっている(佐々木ほか, 2003)。すなわち、潮受け堤防締め切り前後を比較した場合、同量の底泥が巻き上げられたとしても、CODに対する寄与率は締め切り後に32%ほど増加していることになるので、これは新たな有機汚濁として見積もる必要がある。そこで、B1地点におけるChl.a濃度とSSの寄与率の経時変化を求めたところ(図7B)、平均で24%、最大で79%と見積もられた。

河口堰を建設した場合、堰上流の淡水域では河川棲植物プランクトンの増殖規模や頻度が増加し、これが起点となり様々な問題が生じる。例えば長良川河口堰では、河口堰運用以前は、もともと干潮域であった建設現場付近(河口から約6 km上流地点)において夏季の渇水期のみには河川棲植物プランクトンの発生が認められていた。しかし1995年の試験湛水運用後、淡水化された河口堰直上流における植物プランクトンの発生規模および頻度が増加し、夏季の低流量時には上流18 km地点でもChl.a濃度が $20 \mu\text{g L}^{-1}$ を超える値が観測されている(村上, 2002)。このような河川棲植物プランクトンの増加は、堰上下流の底質の細粒化や有機物含量の増加をもたらし、堰上流域では湛水化に伴う水温成層強化、堰下流域では小潮時の塩分成層の発達と併せ、底層の貧酸素化を引き起こした(村上ほか, 2001; 村上・服部, 2001)。

本稿の解析結果では、利根川河口堰の湛水域および諫早湾調整池のP1地点における植物プランクトンの発生量もまた、湛水域の回転率と強く関係して

いること、そしてこの関係は季節により異なると考えられた。すなわち、植物プランクトンの増殖速度がある一定以上に保たれる水温下で、調整池の滞留時間が増加する時期に、植物プランクトンの増殖が生じていると解釈され、村上(2002)が長良川や他の河口堰で報告している傾向と一致する。

一方、諫早湾調整池のB1地点については、植物プランクトン現存量と回転率や他の環境要因との明瞭な関連性は見られなかった。B1地点における植物プランクトン現存量の変動の特徴として、12月から4月の冬季に現存量が高く、夏季における植物プランクトンの発生は回転率が $0.02 \sim 0.1 \text{ day}^{-1}$ (滞留時間: 10~50日)の時期に限られていることが挙げられる(図2)。河口堰湛水域や大陸の河川では、夏季の渇水期中流域から下流域にかけ、河川棲植物プランクトンの現存量が減少することが知られているが、その要因として、滞留時間の増加に伴う沈降量と捕食圧の増加が指摘されている(Admiraal et al., 1994; 村上, 2002)。つまり、滞留時間が十分に長いB1地点における植物プランクトン現存量の変動は、沈降・捕食などの除去過程に支配されている可能性がある。なお、利根川河口堰における植物プランクトン現存量と回転率の関係を見る限り、回転率が 0.1 day^{-1} までは両者の間に負の相関関係がみられている(図4)。一方、今回解析に用いた諫早湾調整池のデータでは、回転率の88%以上は 0.1 day^{-1} 以下であるため、滞留時間の増加に伴い植物プランクトンの減少要因が卓越し、回転率と藻類現存量の間に明瞭な関係が見られなかったと考えられる。

引用文献

- Admirall, W., Breebaart, G. M. J, Tubbing, B., Van Zanten, E. D., De Ruijter Van Steveninck and R. Bijkery (1994) Seasonal variation in composition and production of planktonic communities in the lowe River Rhine. *Freshwater Biology*, 32: 519–531.
- 東 幹夫 (2000) 諫早湾干拓事業の影響. 「有明海の生きものたち—干潟・河口域の生物多様性—」(佐藤正典編) pp.320–337. 海遊舎, 東京.
- 宇野木早苗 (2002) 河川事業が沿岸環境へ与える影響を物理面から考える. *海の研究*, 11: 637–650.
- 水資源開発公団 (1989–1996) 水資源開発施設管理年報. 水資源開発公団.
- 水資源開発公団利根川河口堰事務所 (1971) 利根川河口堰工事誌. 水資源開発公団.
- 村上哲生・服部典子 (2001) 長良川河口堰湛水域における一時的な水温成層の形成. *応用生態工学*, 4: 179–184.
- 村上哲生・服部典子・藤森俊雄・西條八東 (2001) 夏季の長良川河口堰下流部の貧酸素水塊の発達と解消. *応用生態工学*, 4: 73–80.
- 村上哲生 (2002) 長良川河口堰建設後の浮遊藻類発生とその環境影響. *応用生態工学*, 5: 41–51.
- 日本自然保護協会保護委員会河口堰問題小委員会 (2000) 河口堰の生態系への影響と河口域の保全. pp.137–164. 日本自然保護協会, 東京.
- 農林水産省九州農政局 (2005) 諫早湾干拓事業環境モニタリングデータ等の公表について. (http://www.maff-kyushu-nn.go.jp/syoukai/kankyoku_monitoring/monitarung_harituke.htm). 農林水産省, 東京.
- 佐々木克之・程木義邦・村上哲生 (2003) 諫早湾調整池からの COD・全窒素・全リンの排出量および失われた浄化量の推定. *海の研究*, 12: 573–591.
- 玉井信行 (2002) 長良川河口堰モニタリング調査を評価する. *応用生態工*, 5: 1–3.

島根県大橋川における水位上昇の事例について

倉田健悟¹

Rising water level events in the Ohashi River, Shimane Prefecture.

Kengo Kurata¹

Abstract: Several periods of water level rise in the Ohashi River, Shimane Prefecture were studied. Either flood in the Hii River or high water levels in Lake Nakaumi have caused water level rise in Lake Shinji and the Ohashi River. Current velocity in the Ohashi River can be estimated from differences in water level between the Matsue and Yahata observatory stations under normal flow conditions, but this technique is difficult to apply during flood events. During flood events, the slope from Yada to Yahata was much larger than that from Matsue to Yada, indicating that the downstream section of the Ohashi River was restricting river flow under flood conditions. Comparison of different flood events in the past showed that the relationship between rainfall amount and flow rate in the Hii River is highly variable. Future investigation is needed to elucidate the hydrographic relationship between flow in the Ohashi River, and upstream phenomena, water level rise in Lake Shinji, flood in the Hii River, and various patterns of precipitation.

Key words: flood, Hii River, Lake Shinji, rainfall amount, flow rate

はじめに

島根県松江市を流れる大橋川は、宍道湖と中海の両汽水湖をつなぐ長さ約 7.6 km の河川である。大橋川の中流部には低湿地の中洲が、下流沿岸部には寄り洲があり、汽水性の動植物や鳥類の生息環境となっているほか、川岸に近い浅い箇所にはコアマモやヨシの群落が見られ、独特の河川景観を呈している(大橋川を勉強する会, 2006)。砂泥質の河床には二枚貝のヤマトシジミとホトトギスガイが優占している(大橋川の汽水環境を調べる会, 2007)。上流と下流に川幅の狭い箇所があり、宍道湖の水位の上昇に対する流下能力が制限されている(国土交通省河川局, 2002)。

平水時において宍道湖と中海の平均水位の差は約 10 cm であり、中海から大橋川を介して宍道湖に塩

水が進入する現象が観測される(中国地方整備局出雲河川事務所, 2006a)。斐伊川の流量と美保湾の潮汐による両湖の水位の変動(Ishitobi et al., 1993)、両湖の水位差から導かれる大橋川の流速(藤井・長縄, 1995; Ishitobi et al., 1999)、西風による中海の塩分躍層の傾きに関する塩水遡上(Fujii, 1998; 森脇ほか, 2003; 福岡ほか, 2004)、台風などの気象変化による宍道湖の水位や流動の変化(福岡ほか, 2002; 福岡ほか, 2003)、音波探査による塩水くさびの観測(徳岡ほか, 2001; 徳岡ほか, 2002)、など大橋川が2つの汽水湖をつなぐ河川である特徴に着目した研究例は多い。

現在、斐伊川水系の治水事業3点セットとして大橋川改修事業計画(案)が議論されており、公表された案では上流から下流までほぼ全ての区間において改修される計画となっている(中国地方整備局・島

¹ Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, 1060 Nishikawatsucho, Matsue 690-8504, Japan.

根県・松江市, 2004). 2006年7月に斐伊川流域で豪雨となって宍道湖の水位が上昇し, 松江市中心部を含む沿岸域が30数年振りに浸水した. この豪雨水害によって出水時における大橋川の水理学的な事象について関心が高まることとなった. 2006年7月の豪雨水害については, 概要が速報として報告されている(中国地方整備局出雲河川事務所, 2006b).

しかし平水時や塩水遡上時における大橋川の水理学的な事象についての研究例は多い一方, 出水時における大橋川の水理学的な事象に関する研究例は少ない. 1998年に宍道湖の水位が上昇した際の大橋川の水位変化(中国地方整備局出雲河川事務所, 2006c), 大橋川改修事業計画(案)において計算された水位と流量の変化(中国地方整備局出雲河川事務所, 2005; 河村, 2005), などの少数の報告例が挙げられる. 近年の河川工学の発展によって河川管理者が行う数値解析や模型実験が高い精度の再現性を持つようになり, 出水時における大橋川の水理学的な事象は, それ以上の研究対象として取り上げにくくなっていると考えられる.

全国の一級河川については, 流域の雨量, 水位, 流量などのデータの一部がインターネットで公開されて利用できるようになっている(国土交通省水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp/>). しかしながら, それらのデータを用いて出水時の事象を詳細に解析するには, 河川断面の測量結果が必要であることに加え, 二次元不定流モデル等の数値計算が必須である(福岡, 2005). 河道横断測量データを用いて, 河道内の洪水流下特性についての検討を行うことができるツールが無償で配布されている(国土技術研究センター, <http://www.jice.or.jp/>). 改修後の大橋川の水位と流量の予測結果については, 大橋川改修に関する環境検討委員会等において公表される予定である(中国地方整備局出雲河川事務所, 2006d).

このような状況を踏まえ, 本稿では当面入手できる雨量や水位などのデータと過去の資料を整理して記載した. それらの結果から, 宍道湖の水位が上昇した際の大橋川の水理学的な事象について可能な考察を行った.

方 法

水位

国土交通省水文水質データベースに時刻水位データが登録されている2002年から2006年までの期間

において, 宍道湖観測所(図1)の水位の読み値が0.8 mを超えた8回のケースを抽出した(図2). なお2002年と2003年は確定値であるが, 2004年から2006年までは暫定値である(2007年3月時点). 宍道湖の水位が高い日を含む10~15日間の期間において, 大橋川の松江および八幡の各観測所(図1)の1時間ごとの水位データを使用した. なお, 各観測所において零点高の変更が数回行われているため, 水位の読み値をT.P.m(東京湾中等潮位)に換算し, 経時変化のグラフを作成した.

2006年7月の出水の事例では, 矢田(図1, 下流から2.5 km)の水位データ(国土交通省水文水質データベース)をT.P.mに換算して使用した. 著者が別の実施している大橋川の調査において, 剣先川のS-1地点(図1, 下流から3.7 km)に水位塩分計を設置していた. 計測された2006年7月の出水時の10分ごとの水深データから, 正時または半時を挟む20分間の各3データの移動平均を計算した. 水文水質データベースの松江と八幡の水位(T.P.m)が等しくなる時, 剣先川のS-1地点も同等の水位になると仮定し, S-1地点の水深が水位(T.P.m)と比較できるようにグラフの表示を調節した(図3). 7月19日から7月22日7時までの水深は前後の値と不連続であったため水没によるエラーであると判断して削除した.

流速

大橋川の松江大橋地点(図1, 下流から7.25 km)に設置されている連続観測水質計・流速計のデータ(鳥根県水産技術センター内水面浅海部宍道湖流入・流出水質情報, <http://www.pref.shimane.lg.jp/suigi/naisuimen/sokuhou/sokuhou.html>)を使用した. 上層, 中層, 下層の20分ごとの流速データについて異常値を取り除いた後, 2006年7月の出水の期間については正時を挟む40分間の3データの移動平均を, 2002年から2005年までの期間については120分間の7データの移動平均をそれぞれ計算した. 松江大橋地点は平均河床高より3 m程度深い窪みがあることなどから, 下層の流速データは用いずに上層と中層の平均値をこの断面における平均流速(ms^{-1})とした(図4).

水位差から計算された流速

松江地点と八幡地点の水位差と流速が高い相関を持つことに着目し, 大橋川上流部における流速を水位差から計算した. 大橋川改修事業計画(案)に示されている縦断方向の8ヶ所の改修後の断面図から,

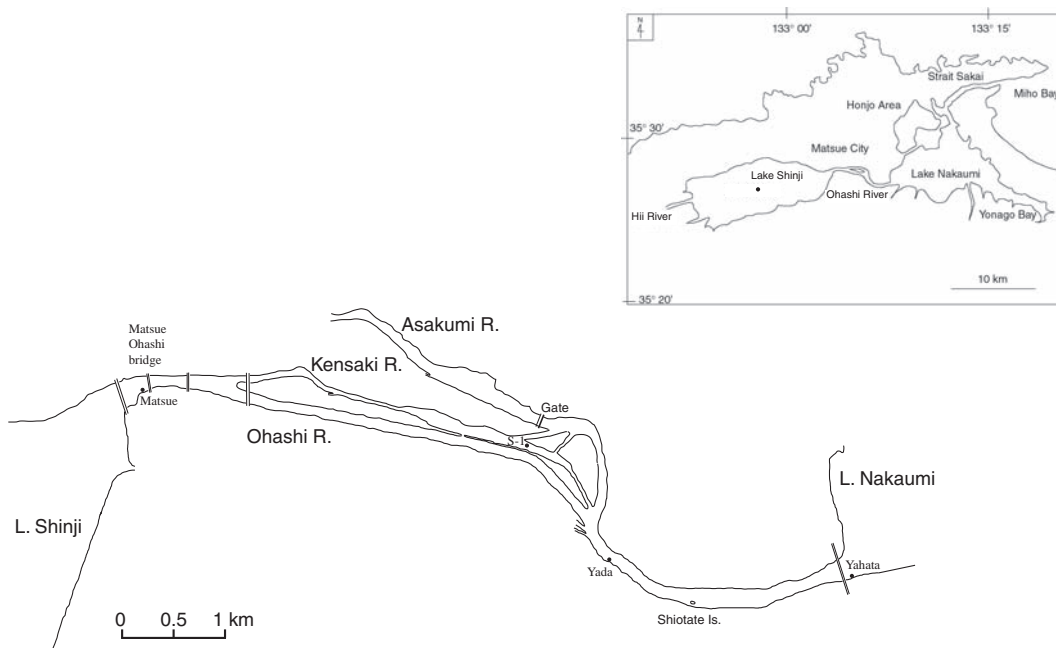


図 1. 大橋川の地図. 調査地点の位置を示す.
Fig. 1. Map of Ohashi River. Location of the stations are shown.

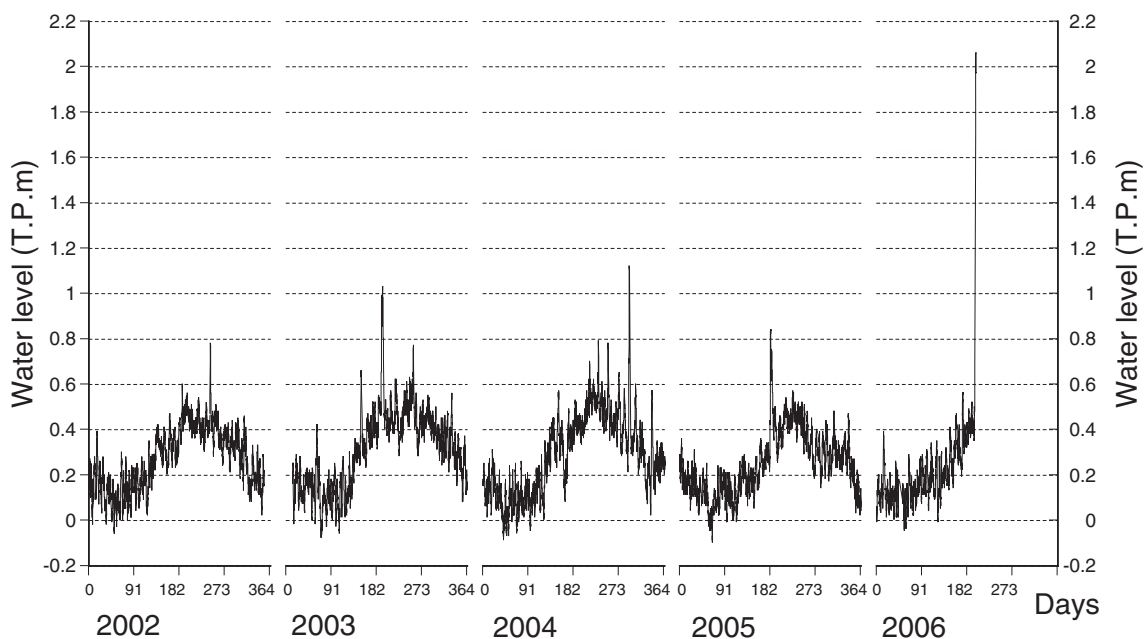


図 2. 2002 年～2006 年における宍道湖の水位の変化.
Fig. 2. Changes of water level in Lake Shinji from 2002 to 2006.

H.W.L. における面積 A (m^2) と潤辺 P (m) を読みとり、流量 Q は計画高水流量 ($1,600 m^3 sec^{-1}$)、水位勾配 S は対象とする断面の地点と一つ下流側の断面の地点の H.W.L. から算出し、次元開水路流れの基本方程式 ($V = (R^{2/3}) * (S^{1/2}) * (1/n)$, $R = A/P$, $Q = V * A$) に基づいた粗度逆算法 (福岡ほか, 1986; 福岡, 2005) によって各断面の粗度係数 n (開発土木研究所河川研究室, 1997) を算出した。

次に下流から 7.0km 地点の粗度係数 n を用いて、現河道における流速 V (ms^{-1}) を同じく次元開水路流れの基本方程式により求めた (図 4)。この時、面積 A は $500 m^2$ 、潤辺 P は 136 m と固定し、松江と八幡の間の距離 7.3 km および水位差から水位勾配 S を算出した。松江から八幡へ向かって流れている時を対象とした。2006 年 7 月の出水時においては、一部の期間で剣先川 S-1 もしくは矢田を下流側の水位と

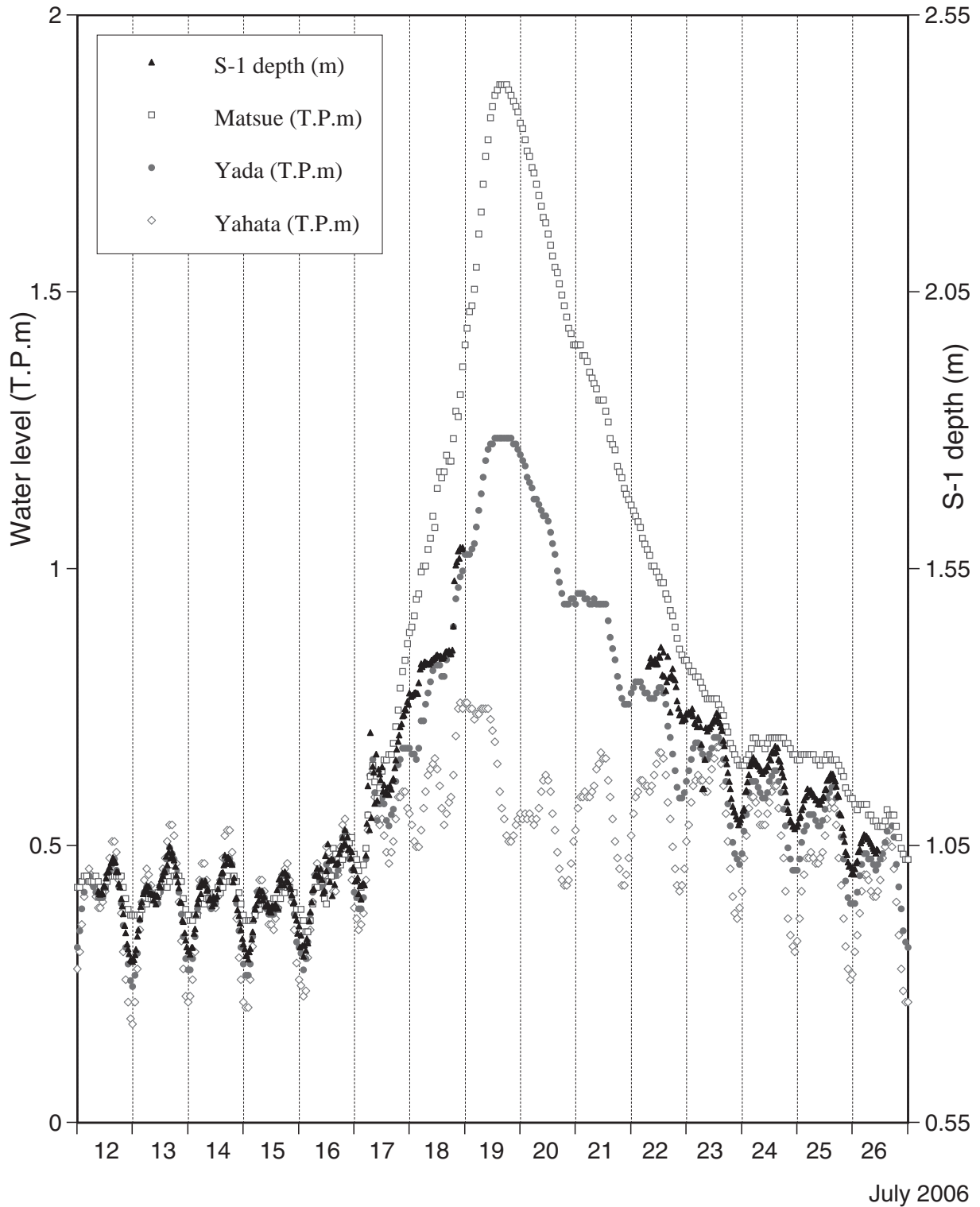


図3. 2006年7月12日～26日における水位の変化。
Fig. 3. Changes of water level during 12 and 26 July 2006.

し、それぞれ水位勾配を算出して次元開水路流れの基本方程式に代入した。

雨量，流量および水位の状況

2002年から2006年までの8回のケースについて

て、時間雨量のデータを国土交通省水文水質データベースから収集した。2006年7月の出水については斐伊川流域の各観測所の時間雨量の変化(図5)を、2002年から2005年までの事例については木次観測所の時間雨量の変化(図6～図12)をそれぞれ示

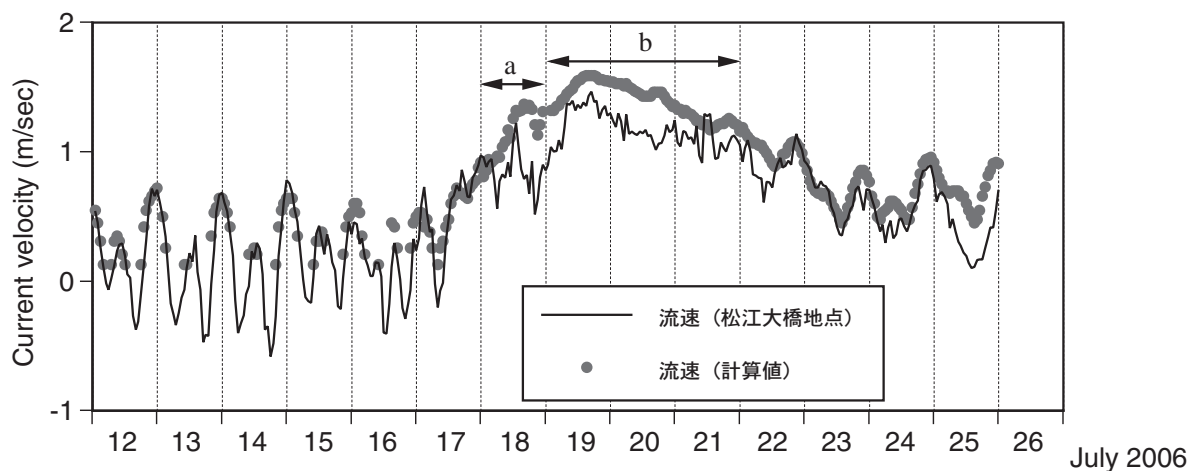


図 4. 観測された流速と計算値の比較. 流速の計算値は松江地点と八幡地点の水位差から、ただし期間 a は松江地点と剣先川 S-1 地点、期間 b は松江地点と矢田地点の水位差から算出した.

Fig. 4. Comparison of current velocities between observed and calculated. Calculated current velocities were estimated from differences between Matsue and Yahata, except for period (a) from Matsue and St. S-1 of the Kensaki River, and for period (b) from Matsue and Yada.

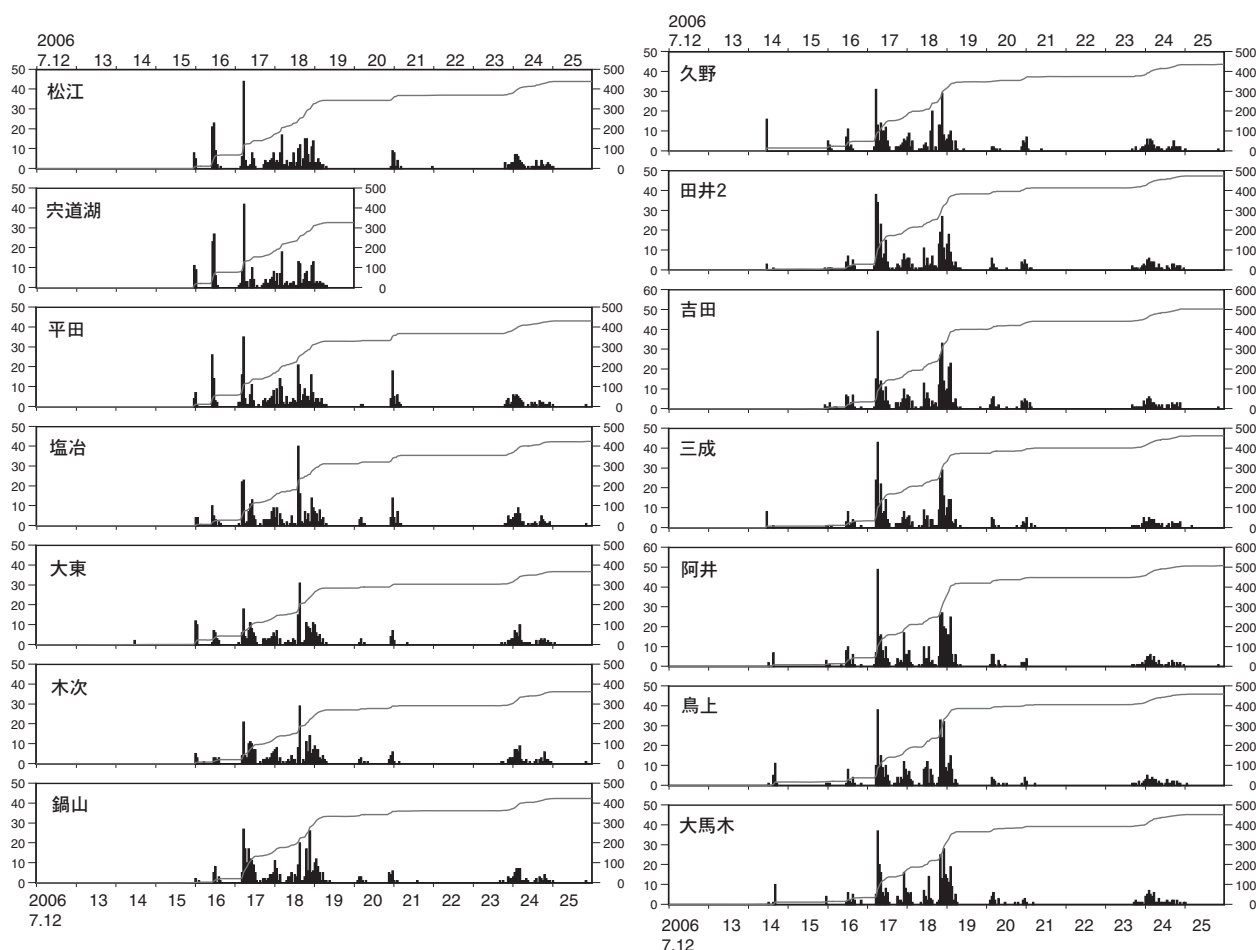


図 5. 2006 年 7 月 12 日～25 日の斐伊川流域における雨量の経時変化. 時間雨量(左軸 mm/h), 累加雨量(右軸 mm).

Fig. 5. Rainfall amount in the Hii River basin during 12 and 25 July 2006. Hourly rainfall amount in mm/h on left y-axis, and cumulative rainfall amount in mm on right y-axis.

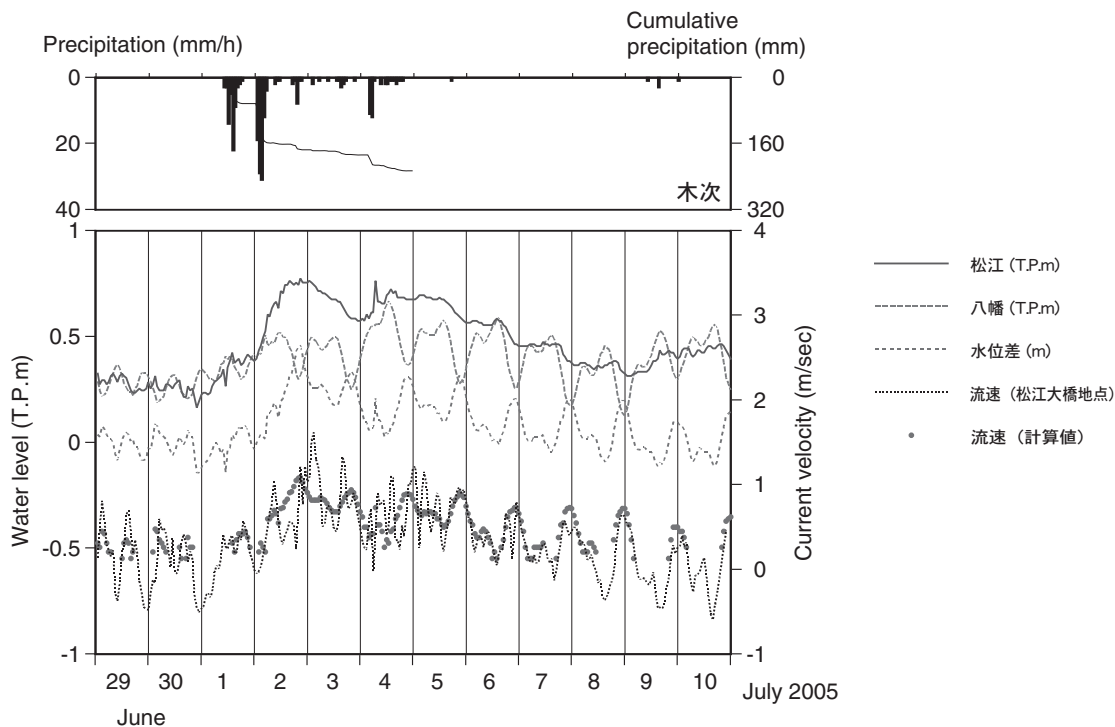


図 6. 2005 年 6 月 29 日～7 月 10 日の雨量，水位および流速の変化。

Fig. 6. Rainfall amount, water level and current velocity in June 29 to July 10, 2005.

した。気象や洪水の状況等を資料（鳥根県・松江地方気象台，2002a; 2002b; 2003a; 2003b; 2004a; 2004b; 2004c; 2005a; 2005b; 中国地方整備局出雲河川事務所，2006b）から調べた。

その他の斐伊川の出水の事例として，1893 年（明治 26 年）（松江測候所，1893; 松江地方気象台・浜田測候所，1993），1965 年（昭和 40 年）（松江地方気象台，1965a; 1965b），1972 年（昭和 47 年）（松江地方気象台，1972; 鳥根県，1972; 松江地方気象台・日本気象協会松江支部，1972），1998 年（平成 10 年）（鳥根県・松江地方気象台，1998; 気象庁，<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>）を選び，雨量，流量および水位の状況を整理した（図 13，表 1）。

結果および考察

水位上昇の気象要因

2002 年から 2006 年において宍道湖の水位が上昇したケースとして抽出した 8 回は，大きく分けると斐伊川の出水によるもの（2003 年 7 月，2004 年 10 月，2005 年 7 月，2006 年 7 月）と中海の水位上昇によるもの（2002 年 9 月，2003 年 9 月，2004 年 8 月，2004 年 9 月）に分けられる。このうち，2003 年 7 月，2005 年 7 月，2006 年 7 月はいずれも梅雨前線が斐伊

川の出水の主要要因であり，2004 年 10 月は台風による大雨が出水の主要因である。中海の水位上昇の事例は，8 月または 9 月に台風による高潮が主な原因となったものである。1893 年から 1998 年の 4 つの事例はいずれも大雨による斐伊川の出水で，前線と台風が主要要因であった。

水位勾配と流速の関係

2002 年から 2006 年の 8 回の事例について，松江地点の水位が高くない場合においては，測定された流速と計算された流速は比較的良好な傾向を示した（図 4，図 6～図 12）。しかし宍道湖の水位が大きく上昇し，松江地点の水位が高くなると，計算値と異なる傾向が強くなった。2006 年 7 月の出水時には，松江地点と八幡地点の水位差から計算された流速は松江大橋地点で測定された流速から大きく離れた。上流の 2 断面における H.W.L. の勾配を用いて算出した粗度係数が $n=0.0173$ と小さめであることが，水位上昇時の面積 A の増加を考慮していないことが計算値の乖離の理由の一つであると考えられる。

そのため 2006 年 7 月の出水では，より上流側の 2 地点（松江と剣先川 S-1，または松江と矢田）の水位差から勾配を算出して流速を求めたところ，測定された流速の値に近くなった。大橋川の上流と下流の

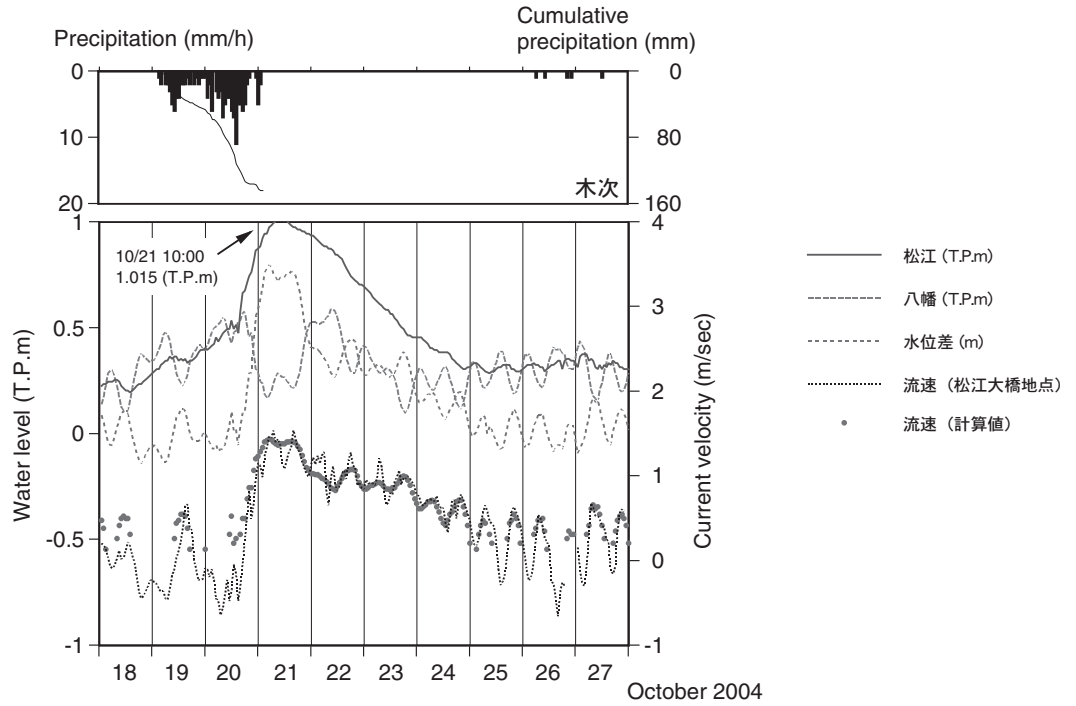


図 7. 2004 年 10 月 18 日～27 日の雨量，水位および流速の変化。
Fig. 7. Rainfall amount, water level and current velocity in October 18 to 27, 2004.

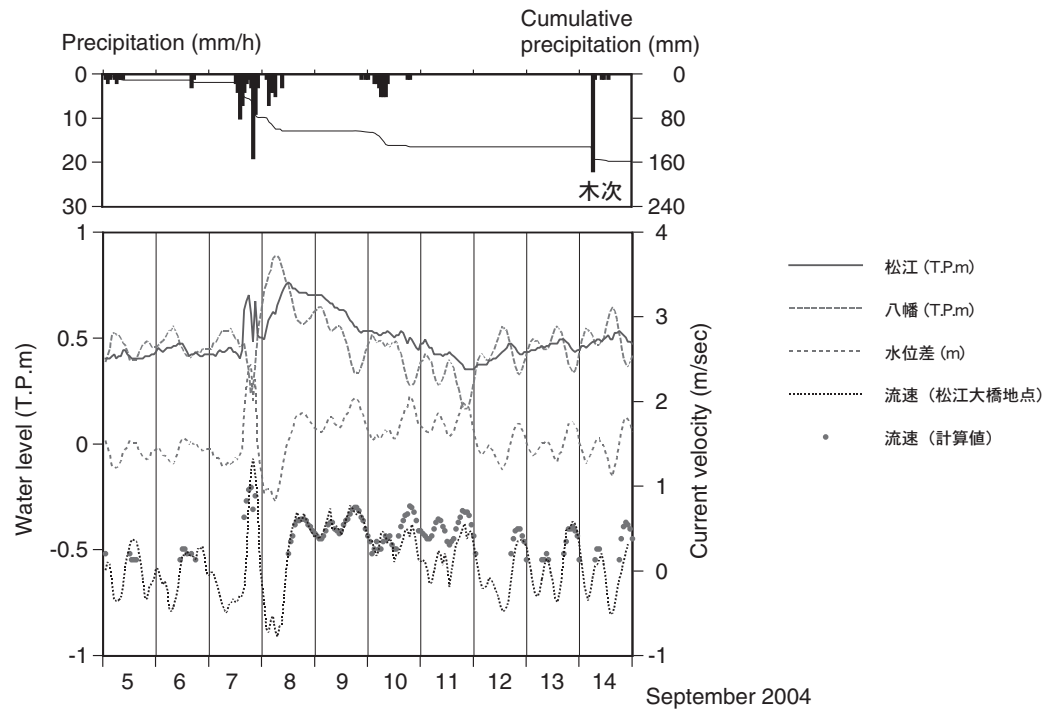


図 8. 2004 年 9 月 5 日～14 日の雨量，水位および流速の変化。
Fig. 8. Rainfall amount, water level and current velocity in September 5 to 14, 2004.

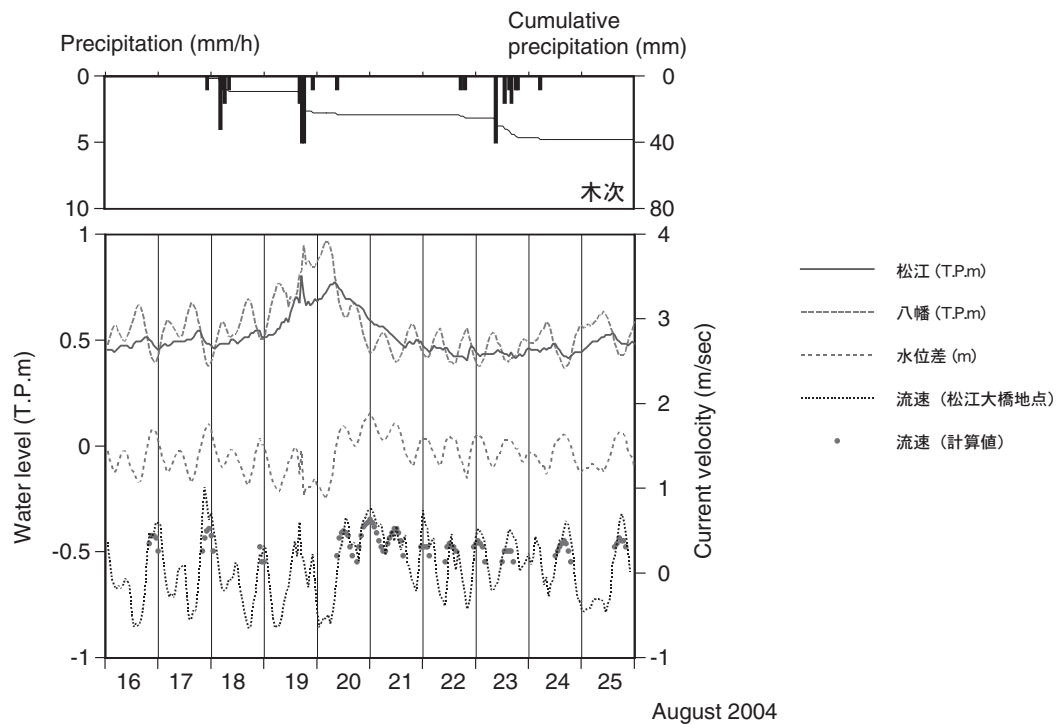


図9. 2004年8月16日～25日の雨量，水位および流速の変化。
Fig. 9. Rainfall amount, water level and current velocity in August 16 to 25, 2004.

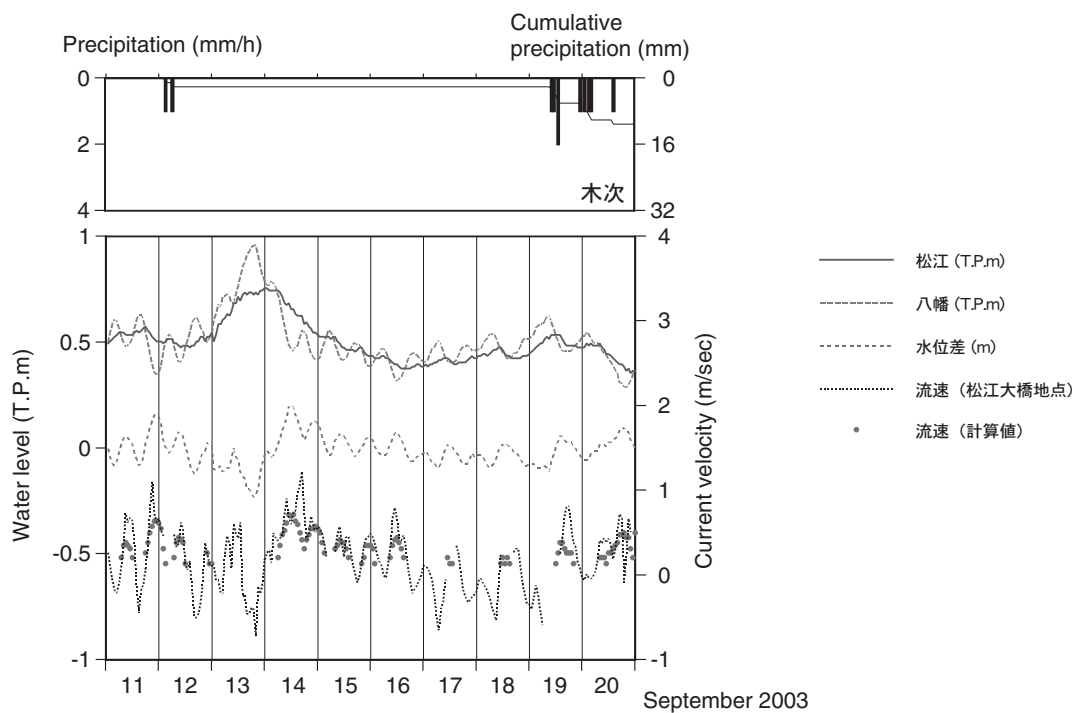


図10. 2003年9月11日～20日の雨量，水位および流速の変化。
Fig. 10. Rainfall amount, water level and current velocity in September 11 to 20, 2003.

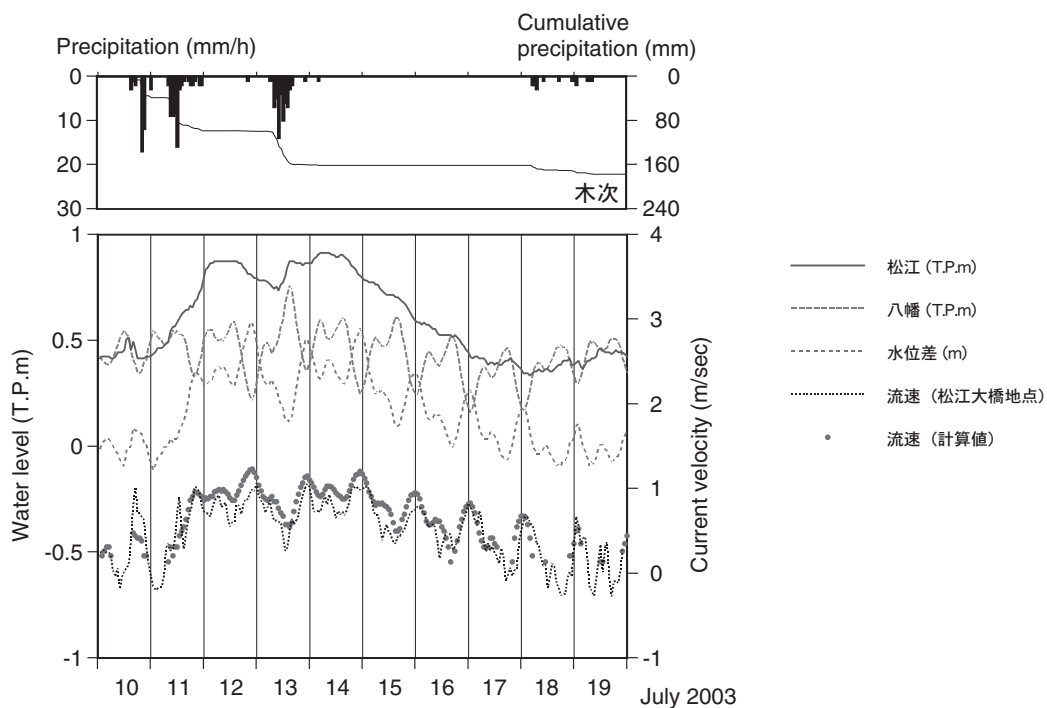


図 11. 2003 年 7 月 10 日～19 日の雨量，水位および流速の変化。
Fig. 11. Rainfall amount, water level and current velocity in July 10 to 19, 2003.

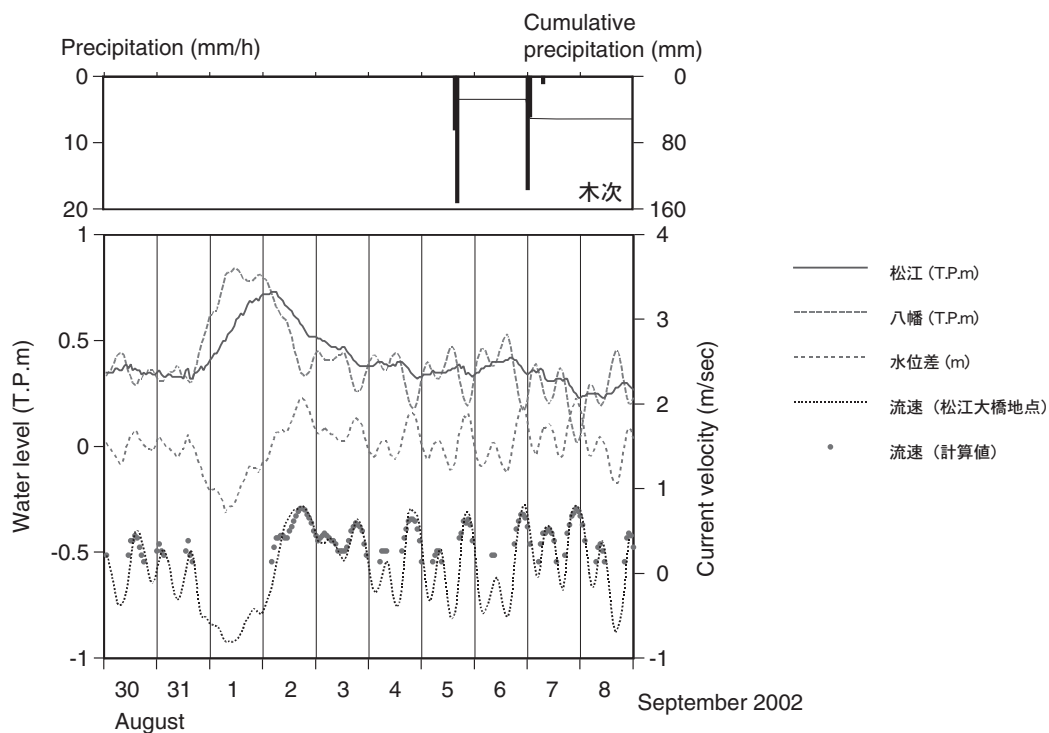


図 12. 2002 年 8 月 30 日～9 月 8 日の雨量，水位および流速の変化。
Fig. 12. Rainfall amount, water level and current velocity in August 30 to September 8, 2002.

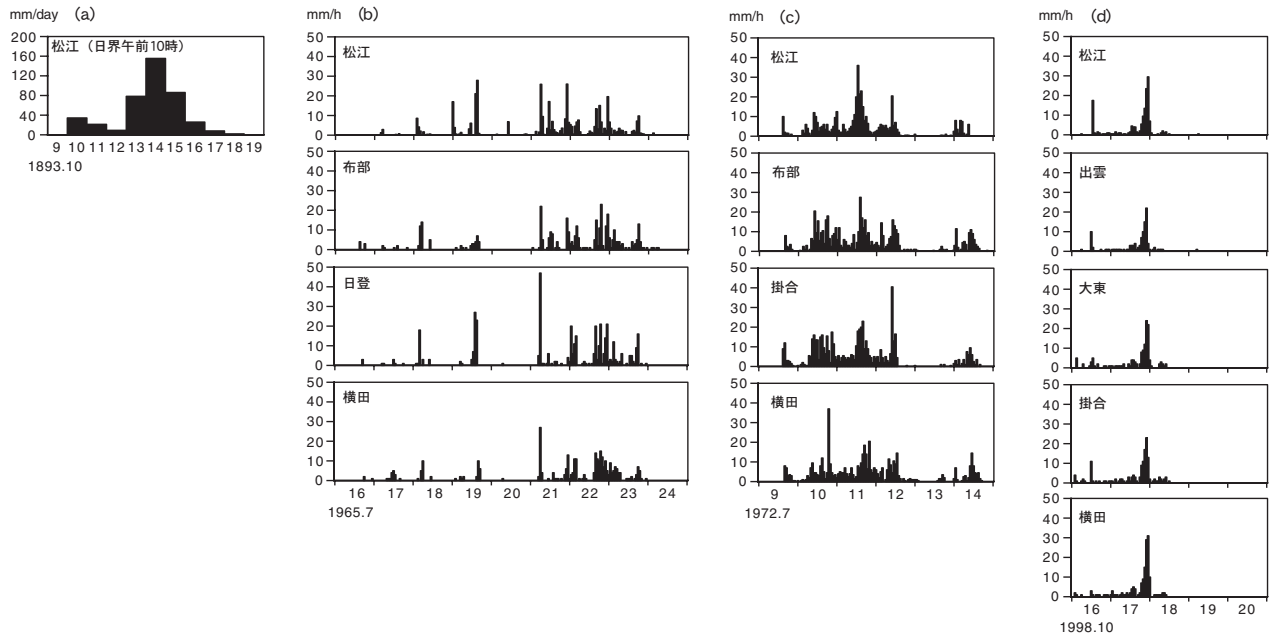


図 13. 時間雨量または日雨量. (a) 1893 年 10 月, (b) 1965 年 7 月, (c) 1972 年 7 月, (d) 1998 年 10 月.
Fig. 13. Hourly or daily rainfall amount in October 1893 (a), July 1965 (b), July 1972 (c), and October 1998 (d).

水位差が小さい時は一次元開水路流れの基本方程式により流速は推定できるものの、宍道湖の水位が大きく上昇した場合には松江と八幡の水位差からの勾配によって松江大橋地点の流速を推定することは困難であると言える。

平水時 (2006.7.12~14) においては松江と矢田、矢田と八幡の間の水位勾配はほとんど変わらないが、2006 年 7 月の出水のピーク前後は両区間の勾配が大きく異なっていた (図 14)。宍道湖の水位の上昇に伴い、剣先川 S-1 や矢田の水位は高くなり、それらの地点より上流側の区間における水位勾配は下流側より大きくならない。その結果、松江大橋地点の流速は頭打ちになる。

矢田地点の水位が八幡より最大で約 70 cm 高い時間帯があった。八幡地点では、出水のピーク前後の時間帯においても潮汐による水位の変動が見られるが、矢田の水位には潮汐による変動の影響がほとんど認められなかった。平水時 (2006.7.12~14) には、矢田地点より上流の剣先川 S-1 において潮汐による水位変動の影響が読み取れる (図 3)。これらの事実は、出水時に矢田と八幡の間が流れにくくなっていたことを示す。矢田地点の直前に朝酌川、天神川、馬橋川が合流しているため、局所的な水位上昇が起こった可能性も示唆される。

1893 年 (明治 26 年) の洪水について内務省の関屋技師らが調査を行って報告している (島根県, 1896)。これによれば、10 月 16 日の最高水位におい

て松江と矢田の水位差が 1.8635 尺に対して、矢田と馬湯の水位差は 4.3325 尺であったとされる。馬湯は八幡と同じく大橋川の下流の地点であり、メートル法に換算すればそれぞれ約 0.56 m, 約 1.31 m である。大正から昭和にかけて行われた大橋川改修 (豊原, 1938; 長瀬, 1950; 建設省中国地方建設局出雲工事事務所, 1995; 平塚ほか, 2006) の以前であることを考えても、当時から洪水時には下流側に大きな水位勾配が見られたことを示している。

以上のことから、宍道湖の水位が上昇した場合、矢田から下流の狭窄部において流下能力が制限されて大橋川の上流側の水位が上昇し、狭窄部の下流側の水位勾配が大きくなると考えられる。現況河道および改修事業計画案の河道で水位を計算した結果 (河村, 2005) によると、宍道湖から大橋川上流の新大橋までの水位差は 50 cm 程度あり、宍道湖から中海までの水位差の約 4 割を占める。すなわち、改修後において出水時の水位勾配は上流から下流まで一定ではない。大橋川の計画高水位は宍道湖から中海まで一定の勾配で設定されており、実際の出水時の水位とは異なっていると考えられる。

雨量, 斐伊川の流量, および宍道湖の水位

1893 年から 1998 年の 4 つのケースに 2006 年を加えて雨量, 流量および水位を一覧にした (表 1)。ここで H.P.m は 1968 年 (昭和 43 年) 以前に測量された水準点の高さ T.P. 0 m を基準にした標高で, 2000

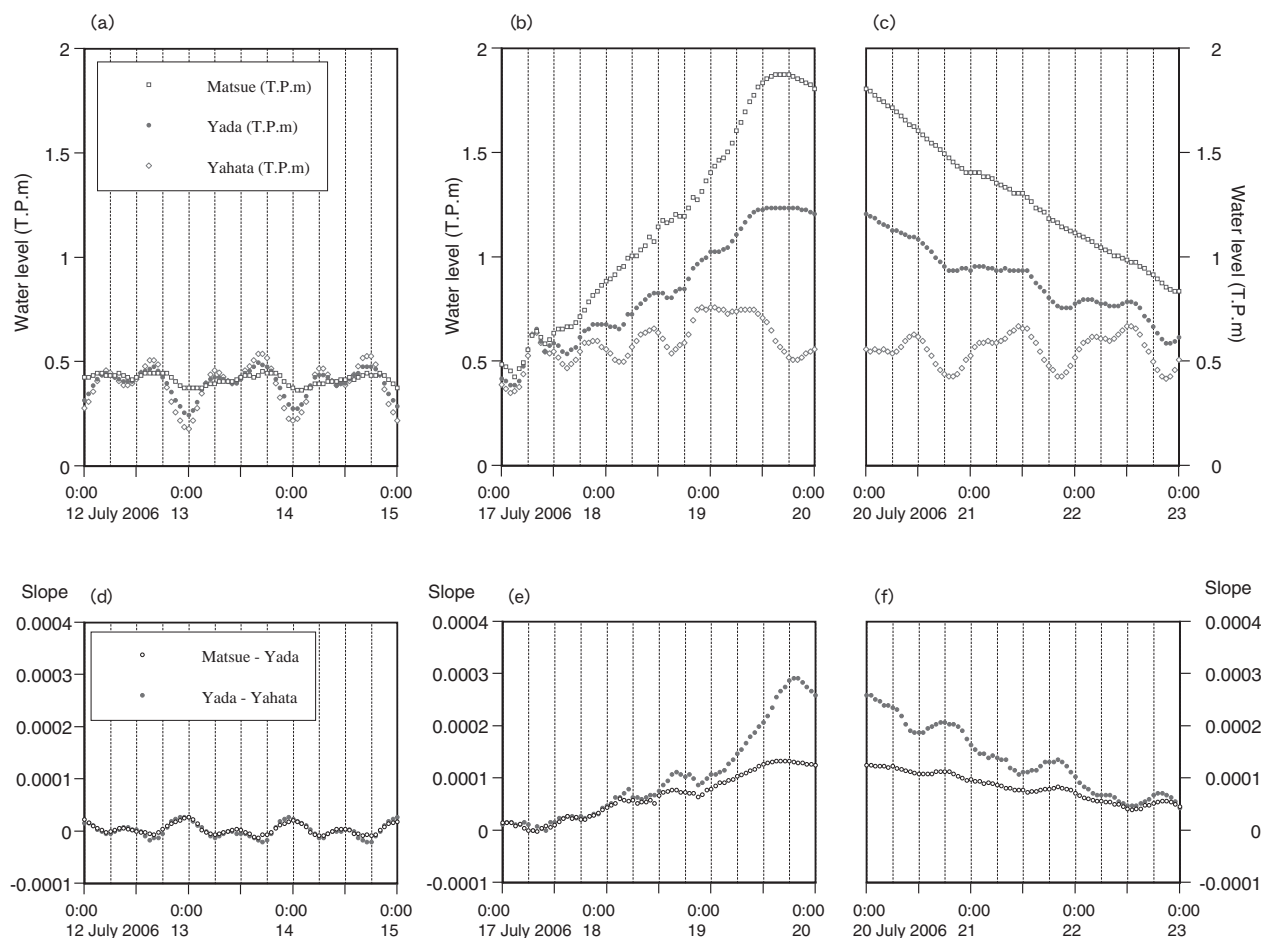


図 14. 平水時と出水時，または上流側と下流側の水位および水位勾配の比較。(a) 2006 年 7 月 12 日～14 日の水位，(b) 2006 年 7 月 17 日～19 日の水位，(c) 2006 年 7 月 20 日～22 日の水位，(d) 2006 年 7 月 12 日～14 日の水位勾配，(e) 2006 年 7 月 17 日～19 日の水位勾配，(f) 2006 年 7 月 20 日～22 日の水位勾配。

Fig. 14. Comparison of water level and slope under normal flow and flood conditions, or between upstream and downstream sections of the river; (a) water level from 12 to 14 July 2006, (b) water level from 17 to 19 July 2006, (c) water level from 20 to 22 July 2006, (d) slope from 12 to 14 July 2006, (e) slope from 17 to 19 July 2006, (f) slope from 20 to 22 July 2006.

年の測量結果によると H.P. 0 m は平均で T.P. -0.071 m に相当する(出雲河川事務所)。なお斐伊川は，上流の尾原ダムと中流の斐伊川放水路(いずれも建設中)によって宍道湖への流入を最大で $2,500 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ とし，大橋川から最大で $1,600 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ の流量を流すことで宍道湖の計画高水位を H.P.+2.5 m とする計画となっている(国土交通省河川局，2002)。

1998 年の出水時のハイドログラフ(中国地方整備局出雲河川事務所，2006c)と 2006 年の出水時の斐伊川大津地点の水位変化(中国地方整備局出雲河川事務所，2006b)の比較より，降雨パターンと大津の水位もしくは流量は比較的，相似の波形を示す。一方，大橋川から流出する量より宍道湖に貯留される量が上回っているため，宍道湖の水位は上昇し続ける曲線である。

斐伊川の流量のピークから宍道湖(または大橋川)

の水位のピークには時間遅れがあり，1972 年 7 月では約 24 時間，1998 年 10 月では約 12 時間，2006 年 7 月では約 9 時間である。1893 年 10 月の記録によれば，大橋川の最大流量の日付けは斐伊川の最大流量の 2 日後である。大橋川の最大流量は宍道湖の水位が最も高くなる時間帯と推測され，斐伊川の最大流量から宍道湖の水位が最も高くなるまでの時間が短くなっている傾向は興味深い。

1965 年と 1998 年を比較すると，斐伊川の最大流量は近い数字であるが雨量と降雨パターンは全く異なる。1972 年と 2006 年の斐伊川の最大流量はほぼ同程度であるが，雨量と宍道湖の最高水位は異なっている。なお 1893 年については，降水量が記録されるようになった最初の年度であり，松江地方気象台の原簿を参照したところ記録の精度に疑問が残った。他の資料においても宍道湖や大橋川の水位の記載は

表 1. 雨量, 流量および水位の比較.

Table 1. Comparisons of rainfall amount, flow rate and water level.

	1893年10月 日時		1965年7月 日時		1972年7月 日時		1998年10月 日時		2006年7月 日時	
総雨量 (mm)			388		538		148		378	
3日雨量 (mm)			253		439		148		338	
2日雨量 (mm)	301		205		356		135		273	
流量 (m ³ /s)										
上島	14	3480	1500		2400		18 3:00	1493		
大津			23 1437		11 22:00 2330		18 4:00	1688	19 6:00	2500
大橋川	16	1002						600		
水位										
宍道湖		2.72 m	2.01 m		2.50 m		18 15:00	1.16 H.P.m	19 14:30	2.14 H.P.m
松江		2.73 m			12 22:00 2.36 m		18 15:00	1.09 H.P.m	19 14:50	1.95 H.P.m
伊勢宮町			1.75 m		12 5:00 2.06 m					
矢田					1.68 T.P.m				19 13:00	1.24 T.P.m
参考資料	1, 2, 8, 11, 13		3, 4, 5, 6, 9, 10, 13		7, 9, 12, 13, 15		14, 18, 19		15, 16, 17, 19	

参考資料

- 1 長瀬定市(1950)斐伊川史. 斐伊川史刊行会, p. 108
- 2 長瀬定市(1950)斐伊川史. 斐伊川史刊行会, p. 309
- 3 松江地方気象台(1965a)気候日原簿 昭和四十年(一九六五)七月～十二月.
- 4 松江地方気象台(1965b)島根県気象月報 昭和40年7月. 関西気象協会松江出張所, pp. 1-17.
- 5 島根県防災会議(1965)昭和40年7月豪雨災害状況書. pp. 1-15.
- 6 広島地方気象台(1965)水文気象. 第14巻第7号, pp. 1-61.
- 7 島根県(1972)昭和47年7月豪雨災害誌. pp. 1-209.
- 8 大阪管区気象台(1972)昭和47年7月3日から13日の四国, 中国, 近畿地方の大雨に関する異常気象調査報告. pp. 40-127.
- 9 中国地方建設局出雲工事事務所(1974)昭和47年7月10日～12日豪雨 斐伊川水系洪水水文資料および写真集. 48 pp.
- 10 建設省土木研究所河川研究室(1983)斐伊川放水路模型実験報告書-解説編-. 土木研究所資料第1926号, 109 pp.
- 11 建設省中国地方建設局出雲工事事務所(1995)斐伊川誌. p. 180
- 12 建設省中国地方建設局出雲工事事務所(1995)斐伊川誌. p. 597
- 13 国土交通省河川局(2002)斐伊川水系河川整備基本方針 基本高水等に関する資料. 13 pp.
- 14 中国地方整備局出雲河川事務所(2006c)大橋川改修事業環境調査計画書(案). 118 pp.
- 15 中国地方整備局出雲河川事務所(2006b)平成18年7月豪雨による斐伊川・神戸川流域の被害概要等速報.
- 16 山陰中央新報(2006)2006年7月21日朝刊.
- 17 山陰中央新報(2007)2007年8月25日朝刊.
- 18 気象庁, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 19 国土交通省水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp/>

あるがその基準点等が不確かであること, また斐伊川の最大流量については関屋技師の調査報告(島根県, 1896)以降, 二転三転している(建設省中国地方建設局出雲工事事務所, 1995; 国土交通省河川局, 2002)ことなどから, 1893年10月の出水の事例を他と比較することは難しかった。

降雨パターンの違いにより流出の過程は異なり, 宍道湖の水位の上昇は様々なケースが考えられる。計画されている降雨パターン(基本高水, 1965年7月型; 計画高水, 1945年9月型)の他にも, 複数のケースによる宍道湖の水位の上昇を計算し, 大橋川の水理学的な事象について検討することが必要であろう。

謝 辞

国土交通省水文水質データベースからは水位と雨量のデータを, 島根県水産技術センター内水面浅海部からは流速のデータをそれぞれ提供していただいた。また, 剣先川の水位塩分計の設置には宍道湖漁業協同組合に協力していただいた。Hugo Coops 博士

にはマニング式や水位勾配についての考え方を教示いただき, 平塚純一 博士からは昭和47年洪水の時間雨量に関する資料を教示いただいた。皆様に感謝申し上げます。

参 考 資 料

- 中国地方整備局出雲河川事務所(2005)大橋川改修の説明会での主な質問とお答え.
- 中国地方整備局出雲河川事務所(2006a)第3回大橋川改修に関する環境検討委員会資料-9 流動予測モデル説明資料. 15 pp.
- 中国地方整備局出雲河川事務所(2006b)平成18年7月豪雨による斐伊川・神戸川流域の被害概要等速報.
- 中国地方整備局出雲河川事務所(2006c)大橋川改修事業環境調査計画書(案). 118 pp.
- 中国地方整備局出雲河川事務所(2006d)大橋川改修事業環境調査計画書(案)住民意見概要書に対する見解. 101 pp.
- 中国地方建設局出雲工事事務所(1974)昭和47年7

- 月 10 日～12 日豪雨 斐伊川水系洪水水文資料および写真集. 48 pp.
- 中国地方整備局・島根県・松江市 (2004) 大橋川改修の具体的内容. 12 pp.
- 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.
- 藤井智康・長縄眞吾 (1995) 汽水湖における水位変動に関する近似解法. *Jpn. J. Limnol.*, 56: 303-307.
- 福岡捷二 (2005) 洪水の水理と河道の設計法 治水と環境の調和した川づくり. 森北出版. 東京, 436 pp.
- 福岡捷二・藤田光一・野口均 (1986) 洪水追跡法 (その 3) - 種々の粗度係数逆算法の比較と適用条件 -. 土木技術資料, 28 (10) : 51-58.
- 福岡捷二・黒川岳司・上原浩・三浦心・船橋昇治 (2002) 低気圧および台風の移動形態の違いが汽水湖の流動・水質場に与える影響. 土木学会論文集, 712/II-60: 137-150.
- 福岡捷二・松下智美・岡村誠司・今井修平・船橋昇治 (2004) 汽水湖に流入する塩水の流動特性. 水工学論文集, 48: 1405-1410.
- 福岡捷二・岡村誠司・松下智美・船橋昇治 (2003) 気象変化に伴う中海・大橋川・宍道湖の水位変動. 水工学論文集, 47: 1219-1224.
- 平塚純一・山室真澄・森脇晋平・石飛裕 (2006) 大正末期から昭和初期に行われた大橋川拡幅以前の宍道湖の塩分. 水環境学会誌, 29: 541-546.
- 広島地方気象台 (1965) 水文気象. 第 14 巻第 7 号, pp. 1-61.
- Ishitobi, Y., Kamiya, H. and Itogawa, H. (1993) Tidal, meteorological and hydrological effects on the water level variation in a lagoon, Lake Shinji. *Jpn. J. Limnol.*, 54: 69-79.
- Ishitobi, Y., Kamiya, H., Yokoyama, K., Kumagai, M. and Okuda, S. (1999) Physical condition of saline water intrusion into a coastal lagoon, Lake Shinji, Japan. *Jpn. J. Limnol.*, 60: 439-452.
- 開発土木研究所河川研究室 (1997) 河床粗度係数の算定方法について. 開発土木研究所月報, 533: 2-5.
- 河村昭 (2005) 大橋川改修における河道計画案の検討について. 平成 17 年度国土交通省国土技術研究会. 4 pp.
- 建設省中国地方建設局出雲工事事務所 (1995) 斐伊川誌. 679 pp.
- 建設省土木研究所河川研究室 (1983) 斐伊川放水路模型実験報告書 - 解説編 -. 土木研究所資料第 1926 号, 109 pp.
- 国土交通省河川局 (2002) 斐伊川水系河川整備基本方針 基本高水等に関する資料. 13 pp.
- 松江地方気象台 (1965a) 気候日原簿 昭和四十年 (一九六五) 七月～十二月.
- 松江地方気象台 (1965b) 島根県気象月報 昭和 40 年 7 月. 関西気象協会松江出張所, pp. 1-17.
- 松江地方気象台 (1972) 昭和 47 年防災業務実施状況報告第 1 号 昭和 47 年 7 月 9 日から 14 日までの島根県地方の大雨 (昭.47.7. 豪雨). 43 pp.
- 松江地方気象台・浜田測候所 (1993) 島根の気象百年. 日本気象協会松江支部, 217 pp.
- 松江地方気象台・日本気象協会松江支部 (1972) 島根県農業気象月報 昭和 47 年 7 月. 47 pp.
- 松江測候所 (1893) 明治廿六年管内気象月表.
- 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.
- 長瀬定市 (1950) 斐伊川史. 斐伊川史刊行会, 654 pp.
- 大橋川の汽水環境を調べる会 (2007) 島根県大橋川の汽水環境の保全に関する研究. 29 pp.
- 大橋川を勉強する会 (2006) 大橋川勉強会報告書. 119 pp.
- 大阪管区気象台 (1972) 昭和 47 年 7 月 3 日から 13 日の四国, 中国, 近畿地方の大雨に関する異常気象調査報告. pp. 40-127.
- 山陰中央新報 (2006) 2006 年 7 月 21 日朝刊.
- 山陰中央新報 (2007) 2007 年 8 月 25 日朝刊.
- 島根県 (1896) 斐伊川治水調査 顛末並ニ改修設計説明書. 294 pp.
- 島根県 (1972) 昭和 47 年 7 月豪雨災害誌. pp. 1-209.
- 島根県防災会議 (1965) 昭和 40 年 7 月豪雨災害状況書. pp. 1-15.
- 島根県・松江地方気象台 (1998) 島根県農業気象月報 平成 10 年 10 月. pp. 1-20.
- 島根県・松江地方気象台 (2002a) 島根県の農業気象 平成 14 年 8 月. 26 pp.
- 島根県・松江地方気象台 (2002b) 島根県の農業気象 平成 14 年 9 月. 27 pp.
- 島根県・松江地方気象台 (2003a) 島根県の農業気象 平成 15 年 7 月. 33 pp.
- 島根県・松江地方気象台 (2003b) 島根県の農業気象 平成 15 年 9 月. 33 pp.
- 島根県・松江地方気象台 (2004a) 島根県の農業気象 平成 16 年 8 月. 33 pp.

- 鳥根県・松江地方気象台(2004b) 鳥根県の農業気象
平成16年9月, 33 pp.
- 鳥根県・松江地方気象台(2004c) 鳥根県の農業気象
平成16年10月, 30 pp.
- 鳥根県・松江地方気象台(2005a) 鳥根県の農業気象
平成17年6月, 27 pp.
- 鳥根県・松江地方気象台(2005b) 鳥根県の農業気象
平成17年7月, 33 pp.
- 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(2001) 大
橋川における高塩分水塊の動態観測(1999年秋).
LAGUNA(汽水域研究), 8: 79-90.
- 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.
- 豊原義一(1938) 宍道湖塩害問題に就て. 地学雑誌,
50: 154-166.

Landsat-5 TM データを用いた 松江・出雲地域の土地被覆分類

野々原伸吾¹・古津年章²・下舞豊志²・作野裕司³

Land cover classification of the Matsue and Izumo areas with Landsat-5 TM data

Shingo Nonohara¹, Toshiaki Koza², Toyoshi Shimomai², and Yuji Sakuno³

Abstract: Land cover type is mapped in the Matsue and Izumo areas using Landsat-5 Thematic Mapper (TM) data from 1985 to 2000 to study the long-term change in land cover in this region. For the classification, land cover is divided into 6 classes, i.e. urban area, forest, rice field, vegetable field, water, and "others". The digital number (DN) output of the Landsat-5 TM is used to make a maximum likelihood estimation of the class for each location. A land utilization map produced from an in-situ survey in this area is used for ground truth to obtain the probability density function of the 6 classes and to evaluate the classification accuracy. After an examination of band combination significant for the classification, either 6 bands or 5 bands (the same as the 6 bands but excluding the green band), ranging from 0.45 to 2.35 μm , are used for the classification. The accuracy of the classification is evaluated against the ground truth data in the Matsue City area. The accuracy is higher than 60% for urban, forest, rice field and water ; the accuracy for vegetable field and "others" falls below 60% . The best accuracy (higher than 90%) is obtained for the water area classification. Complicated spectral reflectance characteristics and complex spatial distribution of the vegetable field and "others" classes may be the cause of the degraded accuracy. From the long-term land cover change analysis a significant increase of urban area is clearly detected.

Key words: Land cover, classification, Landsat-5 TM

1. はじめに

衛星リモートセンシングによる陸域観測の一般的な応用として土地被覆状況の調査がある。土地被覆や土地利用の現状を把握することは地域計画や防災計画などの基本的な情報となる。これまで、現地調査や航空写真の判読によって長い時間と労力を費やして作成してきた土地利用現況図も人工衛星による地球観測データを用いることで短時間に作成し、現状を把握することができる。さらに、過去のデータを用いることによって土地被覆の時系列変化の把握

なども行える。このように、過去のデータあるいは毎年、季節ごとに作成可能な土地被覆分類図は、地域計画や地域の管理に重要な情報となる(例えば大林, 2002)。しかしながら、リモートセンシングは基本的に地表からの電磁波の反射特性に依存した間接的手法であり、土地被覆分類は、リモートセンシング応用の極めて基本的な課題でありながら、同時に限界も明らかになってきた(長谷川, 2001)。分類手法はかなり確立されたものになっているが、それぞれの応用事例について細かいチューニングや精度評価が必要と考えられる。

¹ NEC フィールディング株式会社技術本部 Engineering Division, NEC Fielding, Ltd., Fuchu, 183-8502, Japan

² 島根大学総合理工学部 Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, Matsue, 690-8504, Japan

³ 広島大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Hiroshima University, Higashihiroshima, 739-8527, Japan

表 1. Landsat-5 TM の主要諸元
Table 1. Major engineering parameters of Landsat-5 TM.

Sensor specification	Wavelength [μm]	Band
Landsat-5/TM (Sun-synchronous, Altitude: 705km Inclination: 98° Recurrence: 16 days Spatial resolution: 30 m, 120 m (band 6) Swath width: 185km)	0.45 - 0.52 Blue	1
	0.52 - 0.60 Green	2
	0.63 - 0.69 Red	3
	0.76 - 0.90 Near IR	4
	1.55 - 1.75 SW IR	5
	10.4 - 12.5 Thermal IR	6
	2.08 - 2.35 SW IR	7

これまで我々は、衛星リモートセンシング技術を用いた宍道湖・中海の環境モニタリングの研究を行ってきた。その結果、クロロフィル a 濃度、水温、濁度などの表面分布推定の可能性が示された(古津・作野, 2007)。一方、これらの汽水域の周辺は、松江市や出雲市などが位置し、また斐伊川など大小の河川が流入する。そのため、汽水域の環境監視には、周辺地域の環境モニタリングも重要である。そこで本研究では、衛星データを用いて宍道湖・中海周辺の環境情報を得る初期解析として、松江・出雲地域の土地被覆分類を行い、経年変化解析を試みる。また、土地被覆分類図を作成するに当たって有効バンド選定や分類精度評価について検討する。

2. 使用データ

2.1 衛星データ

Landsat-5 は 1984 年に打ち上げられた米国の衛星

であり、TM (Thematic Mapper) と MSS (Multispectral scanner) が搭載されている。TM は MSS をより高度化したもので、可視・赤外合わせて 7 バンドを有し、空間分解能は 30 m (バンド 6 は 120 m) である。表 1 に Landsat-5/TM の仕様を示す (JAXA, 2007)。本研究では、分解能を考慮しバンド 6 (熱赤外) 以外の 1~5, 7 を用いて分類を行うこととする。

現在、我々が所有している Landsat-5/TM によって松江・出雲地域が観測されたデータは 46 シーンである。今回はその中から、同季節で雲が少なく良好な画像が得られている、1985 年 5 月 2 日、1992 年 4 月 28 日、1995 年 5 月 23 日、1998 年 5 月 6 日、2000 年 5 月 4 日の 5 シーンを解析に用いた。

2.2 グラントゥールースデータと分類項目

今回使用したグラントゥールースデータを図 1、図 2 に示す。これらは、1996 年の基礎調査に基づき、(株)ゼンリンによって 2000 年に改定されたデータである。図 1 はトレーニングエリアの抽出を行う際に基準データとして用いた。また、図 2 (a) は 1 万分の 1 の松江市中心地域の地図を基にしたグラントゥールースデータで、ピクセル対ピクセルでの分類精度評価を行う際に使用した。

衛星画像による分類項目は以下の手順で決定した。

本研究では、松江地域の経年変化を調べるため、“市街地”、“山林”、“田”、“畑”、“水域”、“その他”の 6 種類の分類項目に分類を行うこととした。

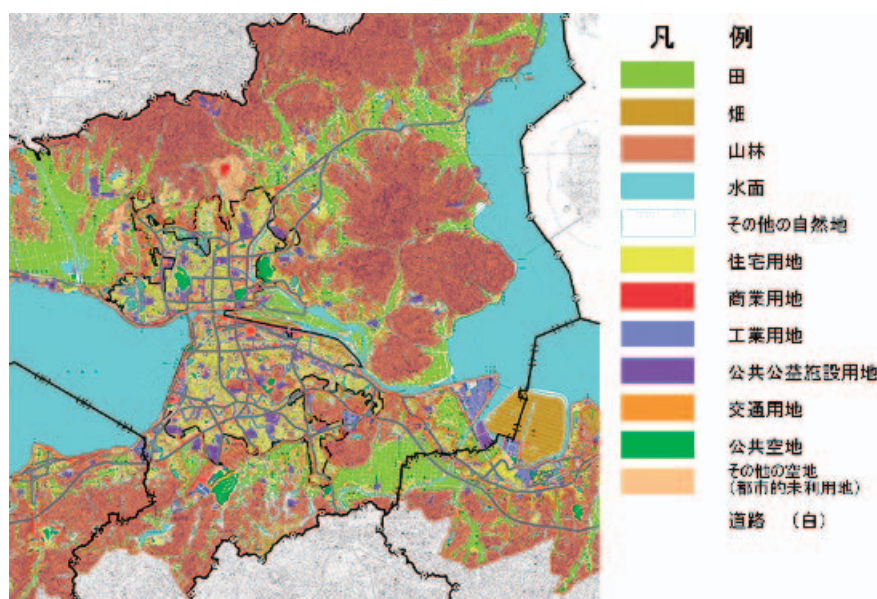


図 1. 土地被覆分類トレーニングエリア抽出に用いたグラントゥールースデータ

Fig. 1. Ground-truth data used for extracting training area for land cover classification from Landsat-5 TM data.

表2. グラントゥールースデータと衛星による分類項目の対応.

Table 2. Correspondence between categories in ground truth data and for satellite classification.

分類項目 Category	グラントゥールースデータの項目 Category of ground truth data
市街地 Urban	住宅用地
	商業用地
	工業用地
	道路
	交通用地
山林 Forest	山林
田 Rice field	田
畑 Vegetable field	畑
水域 Water	水面
その他 Others	その他の自然地
	公共公益施設
	公共空地
	その他の空地

分類項目を決めるにあたって、国土地理院の土地地用分類の詳細と分類コードとの対応表(国土地理院, 2007), 長谷川(2001), および鳥根県都市計画課より提供された土地利用現況図を参考にした。さらに, Landsat-5 TM の分解能(30 m)を考慮し, 分類可能であると思われる6種類の項目を決定した。また, TMによって得られるデータは, 傾斜の向きにより反射強度に差が出る。例えば, 山岳部では, 日陰斜面において日向斜面よりも反射強度が低下する。この影響を取り除かなければ分類精度が低下してしまう。よって, 本研究では1つの分類項目をさらに目視で“暗い場所”, “明るい場所”に分け, トレーニングエリアの抽出を行った。これにより, 分類精度低下の問題を軽減することができる。したがって, 分類項目は全部で12種類(詳細カテゴリ)となるが, 最終的には, 2つに分けた“暗い場所”, “明るい場所”を1つに色付けし6種類の分類項目となるようにした。

グラントゥールースデータの分類項目は表2の様にまとめ, 衛星画像による分類項目と同じ項目数とした。図2(a)のグラントゥールースデータに地上基準点(Ground control point, 以下GCP)を用いた幾

何補正を施し, さらに表2に示す土地被覆分類図と同じカテゴリに変換した結果を図2(b)に示す。この図は, 衛星画像から作成した土地被覆分類図と対応させ, ピクセル対ピクセルでの評価を行うために用いられる。

3. 土地被覆分類法

3.1 土地被覆分類の概要

ここでは, Landsat-5 TM データの Digital Number (以下 DN という)を用いて地表の被覆物を市街地, 山林, 水域などの領域に分類する。ここで DN とは, センサが観測する放射輝度を 8bit, または 12bit, 16bit などのデジタル値に変換したものをいい, Landsat-5/TM によって得られたデータには, 8bit の DN が格納されている。

分類手法は教師付き分類と教師なし分類に大別することができる。ここでは教師付き分類法のうち, 予備的な試験で最も妥当な分類結果を示した最尤法分類を採用した。土地被覆分類は次のような手順で行った。

- (1) 衛星データの前処理(大気補正, 幾何補正, 分類対象地域画像の切り出し)
- (2) トレーニングエリアの抽出
- (3) 有効バンドの選定
- (4) 分類処理の実行
- (5) 分類精度評価(目視判読, グラントゥールースデータによる精度評価)

分類精度評価を終えた時点で, 分類結果が良くない場合は, 再度トレーニングエリアの抽出を行う。その理由は今回の分類作業において, 分類結果に最も影響を与えるのは解析者によるトレーニングエリアの抽出だからである。さらに, 再度トレーニングエリアの抽出を行っても良い結果が得られない場合は, 衛星データの前処理に戻り分類作業を繰り返す行う。

3.2 衛星データの前処理

大気中を電磁波が通過するとき, エアロゾルや空気分子によって散乱が起こる。この散乱光のことをパスラジアンズといい, 衛星リモートセンシングデータを用いて定量的な解析を行う際にはパスラジアンズの影響を軽減させる必要がある。その軽減させる方法を大気補正という。ここでは, 衛星データのみを用いて比較的簡単にパスラジアンズの影響を軽減できる暗画素法(作野, 2000)による大気補正を

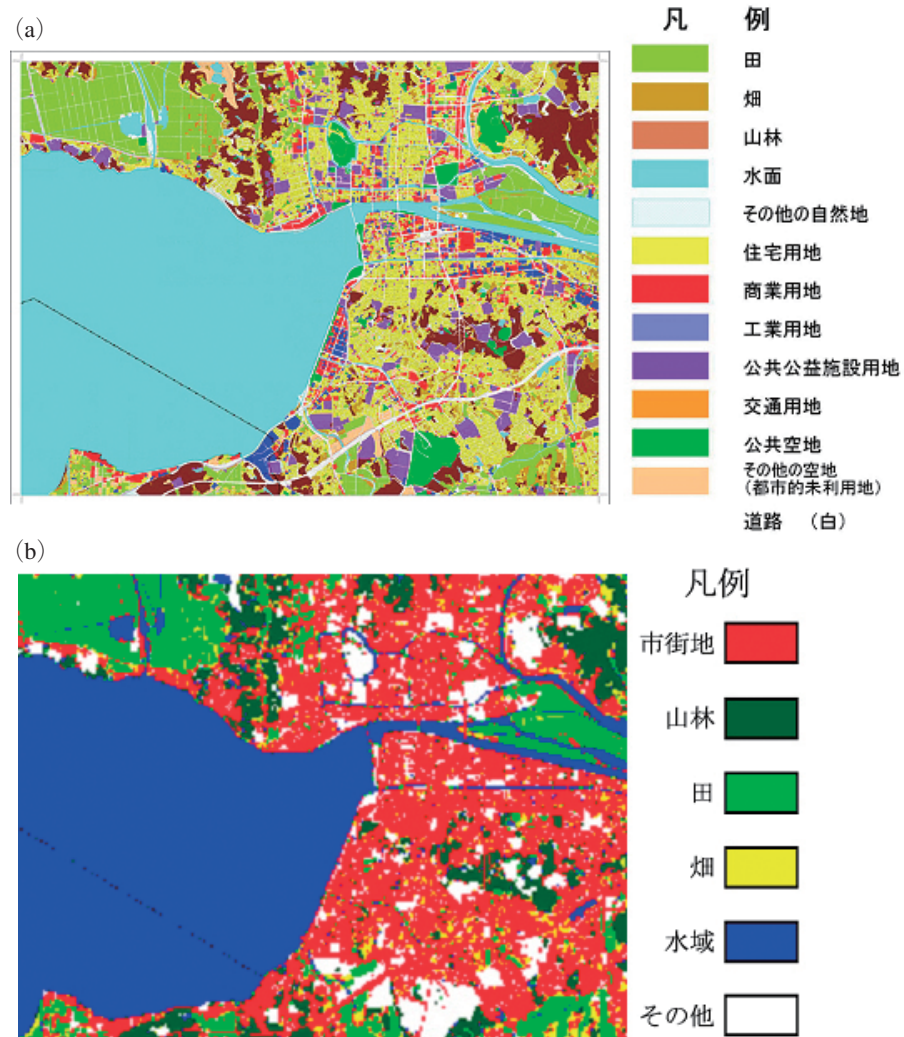


図2. 土地被覆分類精度評価に用いたグラントゥールスデータ。(a) 原図, (b) 幾何補正を施し, 衛星による分類項目にまとめたもの。

Fig. 2. Ground-truth data used for evaluation of classification accuracy. (a) Original data, (b) After geometrical correction. Categories are changed to those for satellite classification.

行った。

画像の幾何補正は, 宍道湖, 中海および島根半島の11点のGCPを用いて行い, 補正後のDNの決定には最近隣内挿法(高木・下田, 1991)を用いた。

3.3 トレーニングエリアの抽出

トレーニングエリアの抽出には, まずグラントゥールスデータから, 代表的と思われる領域を選び, それに対応する衛星フォールスカラー画像を参照して一様とみなせる領域を 3×3 もしくは 5×5 ピクセルの範囲で選んだ。この領域を, 上述の詳細カテゴリ毎に3領域程度抽出した。

3.4 有効バンドの選定

有効バンドの選定に当たって, 2種類の検討を行っ

た。まずバンド間のDNの相関を, 分類項目毎に作成した。その例を図3に示す。図3(a)は, 水域(明)とその他(明)の相関であり, 両者のDNが全てのバンドで大きく異なることから, 高い分類精度が期待される。一方図3(b)は, 山林(明)と畑(明)の相関であり, 両者のDNが類似していることから分類が困難と考えられる。次に, 各分類項目のDNが多次元正規分布すると仮定し, クラス間距離のひとつであるジェフリー松下(JM)距離を用いて各分類項目間のクラス間距離を求めた。JM距離は, 以下で定義される(資源観測解析センター, 1990)。

$$d^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \{f(x)^{1/2} - g(x)^{1/2}\}^2 dx \quad (1)$$

ここで, $f(x)$, $g(x)$ は2つのクラスの分布関数である。また, d^2 は0~2の値をとり, 2つのクラスが完

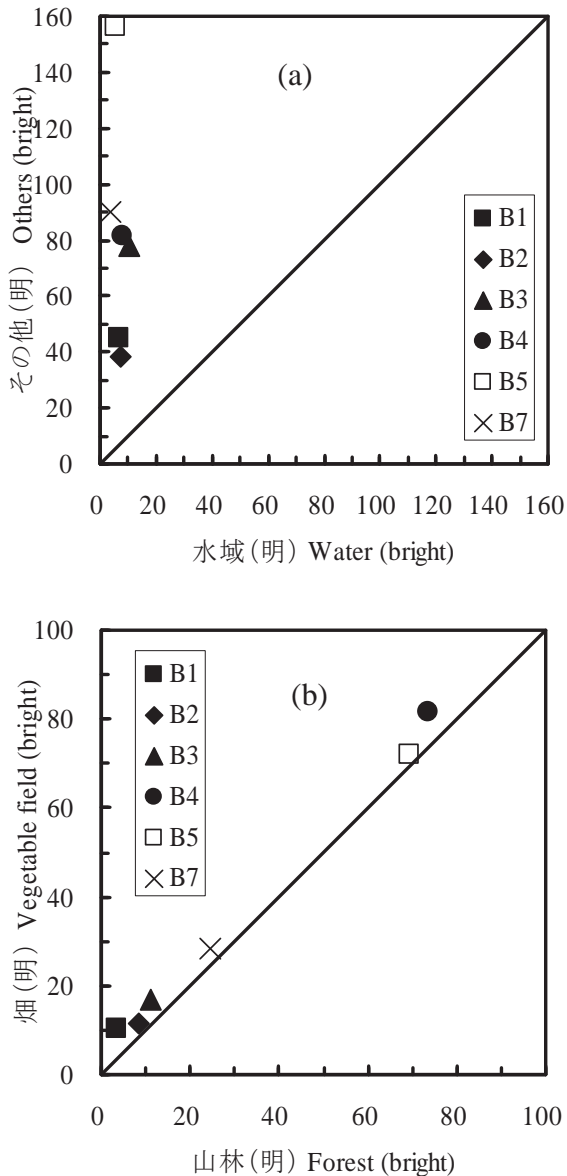


図3. バンド間 DN 相関の例。(a) 水域(明)とその他(明)。(b) 山林(明)と畑(明)。

Fig. 3. Examples of DN correlation for different bands. (a) Water (bright) and Others (bright). (b) Forest (bright) and vegetable field (bright).

全に独立している場合は $d^2=2$ となる。さらに、 $f(\mathbf{x})$, $g(\mathbf{x})$ が正規分布に従うとき JM 距離は次のようになる。

$$d^2 = 2\{1 - \exp(-a)\} \quad (2)$$

ここで、

$$a = \frac{1}{8}(m_1 - m_2)^t \left(\frac{\Sigma_1 + \Sigma_2}{2} \right)^{-1} (m_1 - m_2) + \frac{1}{2} \ln \left\{ \frac{|\Sigma_1 + \Sigma_2|/2}{(|\Sigma_1| |\Sigma_2|)^{1/2}} \right\} \quad (3)$$

であり、 m_1 , m_2 , Σ_1 , Σ_2 はクラス 1, 2 における平均値ベクトルと共分散行列である。

JM 距離を使用するバンドを変えて求めることにより、クラスの分離に寄与しているバンドを推定することにも利用できる。JM 距離では最大値が $d^2=2$ と決まっており、分離度評価が行いやすいことから、クラス間距離としてしばしば用いられる(加治佐ほか, 2006)。

バンド間相関図より推定した有効バンドを表3にまとめる。有効バンドを推定するにあたり、誤分類があってもよい関係(“市街地(暗)”と“市街地(明)”など)については有効バンド“なし”とした。表3より以下のことが言える。

- (1) “山林(暗)”と“田(暗)”, “田(明)”以外にはバンド4またはバンド5が含まれ、バンド4及びバンド5は今回の項目の分類において必要である。
- (2) “山林(暗)”と“田(暗)”, “田(明)”の分類にはバンド1及びバンド3が必要である。
- (3) バンド7は“市街地(暗)”と“田(暗)”, “田(明)”や“田(明)”と“その他(暗)”, “その他(明)”などの分類に有効であると考えられる。よってバンド7も必要である。
- (4) バンド2が含まれる場合、有効バンド数が最低でも5バンドある。さらに、バンド2以外は全て他のクラスの分類に必要とされるバンドであり、バンド2は必ずしも必要ではないと考えられる。

更に、JM 距離を用いたクラス間の分離度評価を行い、次の結果が得られた。

全6バンド及びバンド1, 3, 4, 5, 7を用いた場合の JM 距離は、誤分類があってもよい関係(市街地(明)と市街地(暗)のような組み合わせ)以外すべてにおいて1.92以上と高い値を示した。よって、バンド2を用いない場合でも各項目の分離度は高く、良い結果が得られると考えられる。また、バンド4, 5を除いたバンド1, 2, 3, 7を用いた場合の JM 距離では、“山林(明)”と“畑(暗)”で1.74, “山林(明)”と“畑(明)”で1.68と、バンド4, 5が含まれる場合に比べて低い値となった。

上述のように、バンド間相関および JM 距離、いずれの評価でも有効バンドの選定において同一の結論が得られた。以上のことから今回の分類には、基本的にバンド1, 3, 4, 5, 7を用いれば良い結果が得られると考えられる。

4. 分類結果とその精度評価

4.1 バンドの組み合わせを変えた場合の分類結果

JM 距離を用いた有効バンド選定を行った結果、

表 3. バンド間相関から求めた分類に有効バンド.

Table 3. Band combination significant for satellite classification obtained from correlation analysis between DNs of different bands.

2000/05/04	Urban (Dark)	Urban (Bright)	Forest (Dark)	Forest (Bright)	Rice F. (Dark)	Rice F. (Bright)	Veg. F. (Dark)	Veg. F. (Bright)	Water (Dark)	Water (Bright)	Others (Dark)	Others (Bright)
Urban (Dark)	-	-	1,3,5 7	1,4,7	5,7	5,7	4	4	1,2,3 4,5,7	1,3,4 5,7	5	5
Urban (Bright)	-	-	1,3,5 7	1,3,4 7	1,5,7	5,7	4	4	1,2,3 4,5,7	1,2,3 4,5,7	5	5
Forest (Dark)	-	-	-	-	1,3	1,3	4	4,5	4,5	4,5	1,2,3 5,7	1,2,3 5,7
Forest (Bright)	-	-	-	-	4,5	3,4,5	4	1,4	4,5	4,5	1,2,3 5,7	1,2,3 5,7
Rice F. (Dark)	-	-	-	-	-	-	4,5	4,5	3,4,5	4,5	3,4,5 7	3,4,5 7
Rice F. (Bright)	-	-	-	-	-	-	4,5	4,5	3,4,5	3,4,5	5,7	5,7
Veg. F. (Dark)	-	-	-	-	-	-	-	-	4,5	4,5	1,2,3 5,7	1,2,3 5,7
Veg. F. (Bright)	-	-	-	-	-	-	-	-	5,7	4,5	3,5,7	3,5,7
Water (Dark)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2,3 4,5,7	1,2,3 4,5,7
Water (Bright)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2,3 4,5,7	1,2,3 4,5,7
Others (Dark)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Others (Bright)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

全6バンドまたはバンド2を除く5バンドを用いて分類を行えば良い結果が得られることがわかった。また、バンド1, 2, 3, 7を用いた場合、“山林(明)”と“畑(暗)”, “畑(明)”の分離度が下がり誤分類が増えるという結果が得られた。全6バンド及びバンド2を除く5バンドでは、JM距離にほとんど差がなかったが、分類結果に違いが出るか確認を行うため、両者の分類結果を示し比較を行った。さらに、バンド4,5を除いた場合、どの程度の誤分類が増えるか確認を行うため、バンド1, 2, 3, 7を用いた分類結果を行い比較した。すなわち比較するバンド組み合わせは、(1) 1, 2, 3, 4, 5, 7, (2) 1, 3, 4, 5, 7, (3) 1, 2, 3, 7の3通りである。それぞれの場合の分類精度評価(判別効率表)を表4に示す。

表4(a)(b)では“畑”と“その他”以外では良好な結果が得られた。“畑”や“その他”の分類精度が低い原因としては次のことが考えられる。“その他”では、グランドトゥールースデータにおいて、校庭や野球場のように、覆土の色(反射率)が異なる様々なグラウンド、さらに植生が含まれる総合運動公園などが公共空地として1つの項目にまとめられている。このような様々な土地被覆をひとつのカテゴリにまとめることが問題と思われる。“畑”では、時期

によって作物が植えられていたり、植えられていなかったりするため、分光反射特性が場所により異なり、誤分類に繋がったことが考えられる。

ここで、“畑”については精度評価のために選んだ均質なテストエリアを用いて分類精度評価を行ってみる。表5にその結果を示す。表5の結果から、精度評価用に選んだ均質なテストエリアを用いると畑の分類精度は良いことがわかる。したがって、TMでの観測時に、畑に作物が植わっていなかったこと、市街地中心のグランドトゥールースデータを用いたため、ミクセルの影響により多くが“市街地”に分類されたことなどが“畑”の分類精度を下げたのではないかと考えられる。

また、表4(c)より、バンド4, 5を加えなかった場合、バンド4, 5を用いた場合に比べて“山林”の分類精度が約24%低下したことがわかった。これによりバンド4, 5の必要性が確認できた。

以上より、全6バンドまたは、バンド2を除いた5バンドを用いて分類を行えば良いことがわかった。どちらの組み合わせを用いるか決めるため、平均精度及び総合精度を求め検討した。平均精度は判別効率表の対角項の平均値であり、総合精度は画素数の重みを付けた平均値である。平均精度と総合精度は

表 4. 松江付近のグランドトゥルースデータとのピクセル毎の比較から求めた判別効率表. (a) バンド 1, 2, 3, 4, 5, 7, (b) バンド 1, 3, 4, 5, 7, (c) バンド 1, 2, 3, 7.

Table 4. Misclassification matrices from pixel-by-pixel comparison with ground truth data around Matsue City. (a) Bands 1, 2, 3, 4, 5, 7. (b) Bands 1, 3, 4, 5, 7. (c) Bands 1, 2, 3, 7.

(a)

2000/05/04		Classification result						
Bands 1,2,3,4,5,7	Urban	Forest	Rice F.	Veg. F.	Water	Others	Total	
Ground Truth Data	Urban	81.6	1.9	4.6	1.6	0.1	10.2	100
	Forest	12.4	63.2	5.8	3.2	0.5	15	100
	Rice F.	18	1.6	66.6	4	0.4	9.4	100
	Veg. F.	41	9.3	11.2	9.8	0.1	28.6	100
	Water	3.6	0.5	3.2	0.1	91.9	0.6	100
	Others	52.9	9.2	4.5	5	0	28.4	100

Unit: %

(b)

2000/05/04		Classification result						
Bands 1,3,4,5,7	Urban	Forest	Rice F.	Veg. F.	Water	Others	Total	
Ground Truth Data	Urban	82.2	2	4.5	1.6	0.1	9.6	100
	Forest	13.6	64	5.4	3.2	0.5	13.4	100
	Rice F.	17.8	1.7	67	3.9	0.4	9.2	100
	Veg. F.	42.2	9.5	10.4	10.2	0.1	27.6	100
	Water	3.9	0.6	2.9	0.2	91.9	0.6	100
	Others	53	9.2	4.5	5.1	0	28.1	100

Unit: %

(c)

2000/05/04		Classification result						
Bands 1,2,3,7	Urban	Forest	Rice F.	Veg. F.	Water	Others	Total	
Ground Truth Data	Urban	80.6	2.1	4.8	8.4	0.2	3.9	100
	Forest	13.1	39.2	3.8	39.9	0.7	3.3	100
	Rice F.	19.2	1.2	65.7	9	1.6	3.4	100
	Veg. F.	50.5	6.8	15	19.1	0.1	8.4	100
	Water	2.5	0.5	2.3	2	92.5	0.2	100
	Others	56.8	4.4	4.4	15.2	0.1	19.2	100

Unit: %

以下の式によって求められる。

$$\text{平均精度} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m c_{ii} \quad (4)$$

$$\text{総合精度} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m n(i) c_{ii},$$

$$\text{ただし, } N = \sum_{i=1}^m n(i) \quad (5)$$

ここで, m は分類項目数, c_{ii} は判別効率表の対角項(確率), $n(i)$ は i 番目の分類項目の画素数である。

表 6 に平均精度及び総合精度を示す。表 6 より平均精度及び総合精度が最も良かったのはバンド 2 を除いた 5 バンドの組み合わせであった。よって, バンド 1, 3, 4, 5, 7 を用いて分類図を作成し経年変化を調べた。

5. 経年変化解析

1985 年 5 月 2 日, 1992 年 4 月 28 日, 1995 年 5 月 23 日, 1998 年 5 月 6 日, 2000 年 5 月 4 日の TM デー

表 5. 精度評価用に選んだテストエリアにおける畑の分類精度
Table 5. Classification accuracy at test areas selected for evaluating classification accuracy of vegetable field.

2000/05/04		Classification accuracy						
		Urban	Forest	Rice F.	Veg. F.	Water	Others	Total
Test area of veg. Field	Bands 1,2,3,4,5,7	0.0	5.2	0.0	93.5	0.0	1.3	100.0
	Bands 1,3,4,5,7	0.0	3.9	0.0	94.8	0.0	1.3	100.0
	Bands 1,2,3,7	3.9	1.3	1.3	93.5	0.0	0.0	100.0

Unit: %

表 6. 3つのバンド組み合わせにおける平均精度及び総合精度

Table 6. Average and overall accuracies for three types of band combinations.

Band combination	Average accuracy	Overall accuracy
Bands 1,2,3,4,5,7	56.9%	74.6%
Bands 1,3,4,5,7	57.2%	74.9%
Bands 1,2,3,7	52.7%	72.0%

タについてバンド2を除く5バンドを用いた最尤法分類を行い、松江地域の経年変化を調べた。分類結果の代表例として、図4(a), (b)に1985年5月2日および2000年5月4日の分類結果をそれぞれ示す。この図から、15年の間に市街地が顕著に郊外に広がっている様子がみてとれる。

1985年から2000年までの間の3シーンについても同様の分類処理を行ったが、1995年5月23日だけは、畑と市街地が多い特異な結果となった。ここで、観測日直前の降水量を調べたところ、1995年は、5月21日に37.0 mm、5月22日には5.5 mmの降水量が観測されているのに対し、他の年は2日前から降雨はなかった。したがって、1995年5月23日は土壌水分の影響によって他の年とは異なった結果が得られたのではないかと考えられる。実際には、降雨後の分光反射特性を調べ、評価を行う必要がある。

上記の結果から1995年の分類結果を除いて経年変化を調べた。各年のカテゴリの割合を図5に示す。1985年から2000年にかけて“市街地”が6.5%増加している。逆に、“その他”が10.7%減少しており、“空き地”が“市街地”に変化してきたことが考えられる。“山林”と“水域”には大きな変化は見られなかった。“田”や“畑”には年毎に増減があり、一定の経年変化はみられない。

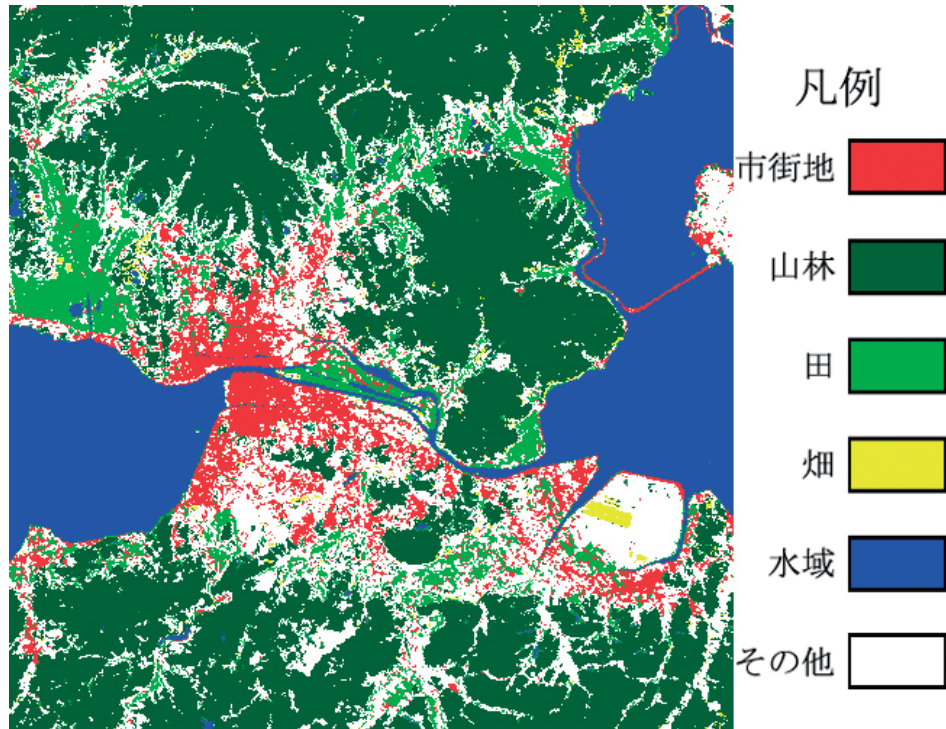
この結果を、表4に示した分類精度から考察する。まず水域は基本的に経年変化はほとんどないはずであり、分類結果の年次変化の標準偏差約0.35%は、水域検出の精度を表していると考えられる。森林については、他の分類項目からの誤分類は比較的少なく、また山林を他の分類項目に誤る確率が35%程度あることから、恐らく森林面積割合を過小評価していると思われる。ただしその誤り率に経年変化がないとすると、森林面積に顕著な経年変化はないものと考えられる。市街地については、他の分類項目から市街地への誤分類が比較的大きく、市街地を他の分類項目と誤る確率は比較的小さい。そのため、ある程度市街地面積は過大評価になっているものと考えられる。特に面積割合の大きな水域からの混入と、誤分類率の大きな“その他”からの混入は無視できないと考えられる。しかし、年を追って市街地の割合が増加し、“その他”の割合が減少していることは、単なる分類誤差ではなく、継続的な市街地拡大を表しているものと考えられる。

6. ま と め

Landsat-5 TM データを用いて松江地域の土地被覆分類を行い、経年変化を調べた。分類項目は“市街地”、“山林”、“田”、“畑”、“水域”、“その他”の6種類とし、さらに傾斜部の影響を軽減させるため1つの分類項目を“暗い場所”と“明るい場所”の2種類にわけ分類を行った。また、土地被覆分類を行う際、バンド間相関及びJM距離により有効バンド選定を行った。可視から中間赤外にかけての6バンドについて有効性を調べた結果、全6バンドあるいはバンド2(緑)を除く5バンドが分類に有効であると判断された。

さらに、上記のバンドの組み合わせを用いて最尤法分類を行った。グランドトゥールースデータとのピクセル対ピクセルでの精度評価を行ったところ、全

(a) May 2, 1985



(b) May 4, 2000

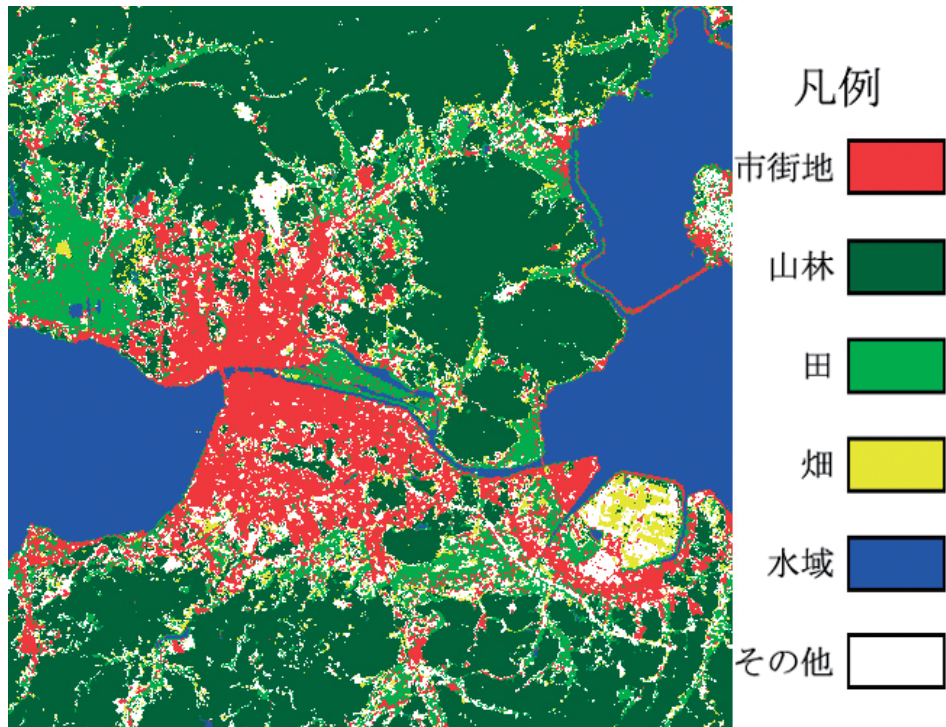


図4. 土地被覆分類結果の例. (a) 1985年5月2日. (b) 2000年5月4日.

Fig. 4. Example of land cover classification. (a) May 2, 1985. (b) May 4, 2000.

6バンド及びバンド2を除く5バンドによる分類では“畑”と“その他”以外で良好な結果が得られた。

分類精度評価検討の結果をもとに、バンド2を除く5バンドを用いて経年変化解析を行った。その結

果、1985年から2000年にかけて松江市を中心とする市街地が顕著に増加していることがわかった。

以上の結果から、衛星画像を用いることで広域の変化を同一の条件で調べることができ、汽水域の流

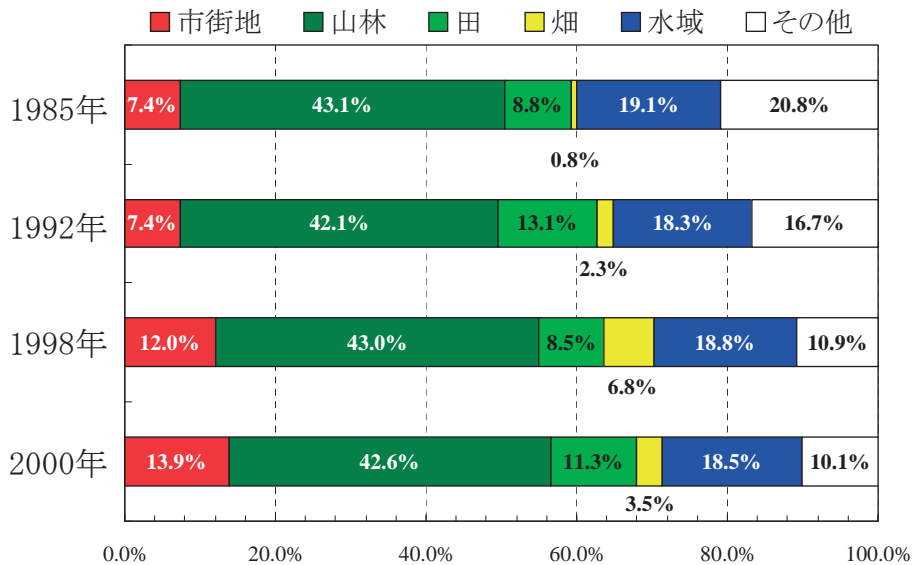


図5. 1985年から2000年にかけての各分類項目割合の変化。

Fig. 5. Trend of land cover percentage of 6 categories from 1985 to 2000.

域環境情報を定期的に得られる可能性が示された。このような手法は、基本的に衛星画像の取得頻度毎に土地被覆状況をモニターできるため、急激な流域開発や災害状況把握などにも役立つと考えられる。

ただし、分類精度解析で示したように、定量性にはまだ問題がある。その原因としては、分光反射特性のみに依存するリモートセンシング手法固有の問題の他に、グラントゥールースデータと衛星による分類項目の対応づけの妥当性、衛星データの空間分解能の不足、更に1995年のデータ解析で示唆された土壤水分による分光反射特性の変化などが考えられる。これらの問題を改善するには、リモートセンシングによる分類に適した分類項目の決定、高空間分解能衛星データの使用、更にマイクロ波合成開口レーダの併用などが考えられる。

謝 辞

島根県都市計画課計画グループ主幹西村成人氏、計画グループ主任飯塚拓英氏には、土地利用現況図の提供並びに適切な助言を頂いた。Landsat-5は米国政府所有で、TMデータはSpace Imaging/JAXAより提供された。

参 考 文 献

- 長谷川 均 (2001) リモートセンシングデータ解析の基礎, 古今書院, 東京, 140 pp.
- JAXA (2007) セマティック・マップの概要と主要諸元, http://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/sendata/tm_j.html
- 加治佐剛・村上拓彦・溝上展也・吉田茂二郎 (2006) 樹種を考慮した衛星データと林分材積の関係, 日本写真測量学会秋季学術講演会, 11月23-24日.
- 国土地理院 (2007) 土地利用分類の詳細と分類コードとの対応表, http://www.gsi.go.jp/MAP/CD-ROM/lu5000/data_files/code.htm
- 古津年章・作野裕司 (2007) 衛星リモートセンシングによる宍道湖・中海の環境観測, 汽水域国際シンポジウム2007, 予稿集, 87-95.
- 大林成行 (編著) (2002) 人工衛星から得られる地球観測データの使い方, 大成出版社, 東京, 234 pp.
- 作野裕司 (2000) 衛星リモートセンシングによる宍道湖のクロロフィル a 濃度及び一次生産量のモニタリングに関する研究, 博士 (工) 論文, 東京大学, 190 pp.
- 財資源観測解析センター (1990) 画像データの処理と解析 (2), (財資源観測解析センター, 294 pp.
- 高木幹雄・下田陽久 (監修) (1991) 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, 東京, 775 pp.

MODIS による宍道湖・中海の濁度分布推定

山本周一郎¹・古津年章²・下舞豊志¹
野々原伸吾²・作野裕司³

Estimation of Turbidity in Lakes Shinji and Nakaumi from MODIS

Shuichiro Yamamoto¹, Toshiaki Kozu², Toyoshi Shimomai¹
Shingo Nonohara² and Yuji Sakuno³

Abstract: MODIS is a medium-resolution satellite imaging sensor that has a observation interval of once or twice a day, although the spatial resolution is marginal (250 m). Because of the high observation frequency, it should be suitable for operational monitoring of water quality of Lakes Shinji and Nakaumi. A preliminary study was undertaken to test the utility of MODIS channels 1 and 2 (red and near-IR bands) for turbidity mapping. Two test data sets, May 2 2002 and August 23 2003, are used for this study. Data from a high spatial resolution satellite sensor ASTER are also used for comparison. For May 2 2002, turbidity is thought to be dominated by inorganic materials and MODIS Band 1 (red) appears to produce a reasonable turbidity map. On the other hand, on August 23 2003, both organic and inorganic materials contributed to total turbidity. This caused significant differences in turbidity maps created from MODIS Band 1, MODIS Band 2, and ASTER Band 1 (green). Therefore we suggest that combined use of MODIS Bands 1 and 2 may produce more reliable turbidity estimates. Further information may be available from MODIS Band 4 (green) although this channel has a coarser resolution of 500 m.

Key words: MODIS, ASTER, coastal lagoon, turbidity

1. はじめに

日本最大級の汽水域である宍道湖・中海では近年の環境変化により水質が横ばいから悪化傾向にあり(高安編, 2001), 漁獲量の減少など環境問題が発生している。そこで環境モニタリングの一環として広範囲を短時間に観測可能なリモートセンシング技術を用いた観測が有効と考えられる。

これまで行われてきた衛星搭載可視・近赤外放射計による観測研究より, 濁度やクロロフィル a 濃度を比較的精度よく推定できることが示されている

(例えば作野ほか, 2004)。しかし, これまでに用いられてきた可視・近赤外放射計では, 環境モニタリングの観点から見ると観測頻度が低いという問題点があった。

そこで1日に1~2回観測可能な衛星搭載光学センサ MODIS を用いて宍道湖・中海の濁度モニタリングを行うことが本研究の目的である。MODIS を含めた光学センサでは夜間及び悪天候時に観測できないことが問題点として残る。しかし, MODIS は高頻度観測が可能のため, 天候による影響を受けるとはいえ, 環境モニタリングに有効と考えられる。

¹ 島根大学総合理工学部 Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University

² 島根大学総合理工学研究科 Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University

³ 広島大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Hiroshima University

表1. MODIS および ASTER 諸元
Table 1. Major parameters of MODIS and ASTER.

Sensor	Band	Wave length (μm)	Spatial Resolution	Swath width
MODIS	1 Red	0.62~0.67	250 m	2330 km
	2 Near IR	0.841~0.876		
ASTER	1 Green	0.52~0.60	15 m	60 km
	2 Red	0.63~0.69		
	3N Near IR	0.78~0.86		
	3B Near IR	0.78~0.86		

本論文では、特に2002年5月2日と2003年8月23日の二日間についての初期解析結果をまとめる。この二日間は、ASTERと呼ばれるMODISよりも高分解能の光学センサによっても観測されているため、ASTER及びMODISから得られた推定濁度分布図を示し、その精度や問題点を議論する。

2. 観測データ及び濁度推定

2.1 衛星データ

MODISは衛星Terraと衛星Aquaの二つに搭載された250m~1kmの分解能を持つ光学センサで32バンドの波長帯を観測することができる。また、MODISの特徴の一つは、観測周期が1日1~2回と短いことである。表1に今回の解析に使用したMODISのBand 1とBand 2の諸元について示す。MODISのこれらの波長帯では空間分解能が250mであり、他の波長帯では500m~1kmとなっている。ASTERは衛星Terraに搭載された15m~90mの分解能を持つ光学センサである。観測周期が16日のため、MODISと比較した場合に分解能は高いが観測頻度は低い。また解析に使用したASTERの15m分解能の諸元を表1に示す。

本研究では、MODISとASTERという二つのセンサの可視・近赤外域の観測データを用いる。

2.2 現場観測データ

本研究では、宍道湖湖心、中海湖心と米子湾の3箇所に設置されている国土交通省管理の定点観測所によって測定された水質及び気象データを用いた。これら観測点の位置を図1に示す。また、定点観測所の測定データ及び推定した濁度値を検証するため

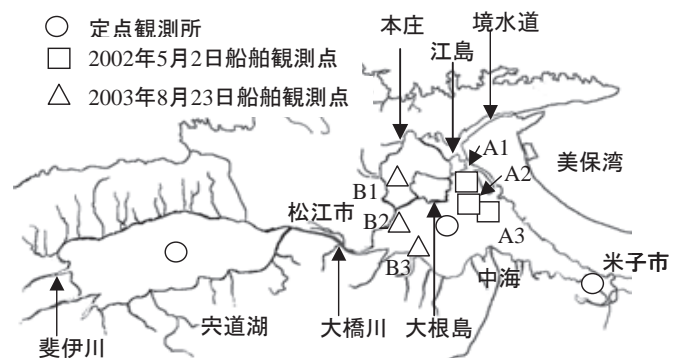


図1. 現場観測点の位置

Fig. 1. Location of in-situ observation points.

に、小型船舶を用いて、現場の濁度データなどを取得した。小型船舶を用いて観測した位置を図1にあわせて示す。

また、濁度は濁りの基準物質や測定方法が変われば、同じ濁りであっても測定値が変わる曖昧な物理量であるが、今回は定点観測所測定濁度と船舶測定濁度を比較するために、二つの測定値を同列に扱えるよう補正した上で比較を行っている。2002年5月2日および2003年8月23日に定点観測所によって観測された濁度と風のデータを表2にまとめる。

2.3 濁度推定

一般に可視・近赤外域において濁度が増加すれば、反射率も増加することが知られている。これより現場で測定された濁度データとセンサから得られるデータの相関を調べることで濁度を推定することが可能である。

MODIS及びASTERでの濁度推定は、センサから得られるデジタル値 (Digital Number: DN) と現場

表 2. 濁度および風観測データ (a) 2002 年 5 月 2 日 11:06 (JST) (b) 2003 年 8 月 23 日 11:02 (JST)

Table 2. In-situ turbidity and wind data obtained at operational stations. (a) 11:06 a.m. 2 May, 2002 (b) 11:02 a.m. 23 August, 2003.

(a)

	Center of Lake Shinji				Center of Lake Nakaumi				Bay of Yonago	
	Wind direction	Wind velocity [m/s]	Turbidity [mg/l]		Wind direction	Wind velocity [m/s]	Turbidity [mg/l]		Turbidity [mg/l]	
			Surface layer	Bottom layer			Surface layer	Bottom layer	Surface layer	Bottom layer
2002/5/2 10:00	90	11.3	12	24					12	6
2002/5/2 11:00	90	11.4	12	28	90	11.2	8	6	18	6
2002/5/2 12:00	90	9.5	12	32	68	11.4	8	6	23	4

(b)

	Center of Lake Shinji				Center of Lake Nakaumi				Bay of Yonago	
	Wind direction	Wind velocity [m/s]	Turbidity [mg/l]		Wind direction	Wind velocity [m/s]	Turbidity [mg/l]		Turbidity [mg/l]	
			Surface layer	Bottom layer			Surface layer	Bottom layer	Surface layer	Bottom layer
2003/8/23 09:00	248	9.3	8	13	225	3.0	4	91	6	8
2003/8/23 10:00	270	10.8	8	13	248	8.1	4	129	6	10
2003/8/23 11:00	270	11.2	7	16	270	9.5	4	129	6	8
2003/8/23 12:00	248	12.8	10	18	270	10.1	4	129	12	12
2003/8/23 13:00	270	13.1	15	24	270	11.8	6	129	6	12
2003/8/23 14:00	270	12.7	20	24	270	11.2	6	190	6	8

濁度の単回帰分析により行う。以下にモデル式を示す。

$$Turbidity = a \times DN + \beta \quad (1)$$

ここで、 a 、 β は回帰分析によって得られる定数である。DN は、センサから得られるデジタル値である。

推定式作成に使用した現場データは、国土交通省が宍道湖湖心タワー (N35° 26' 50", E132° 57' 45"), 中海湖心タワー (N35° 27' 48", E133° 11' 38"), 米子湾タワー (N35° 25' 51", E133° 18' 12") で観測された表層の濁度データを用いた。また MODIS データは幾何補正処理が施されたものを用いて、現場の観測点と対応付けた画素の DN を用いた。ASTER データは Ground Control Point (GCP) による幾何補正処理を加え、現場観測点と対応付けた画素の DN を用いた。ここで、DN は位置決定誤差やセンサノイズなどの誤差を軽減するために 3×3 ピクセルの平均 DN を用いた (作野, 2000)。

1) MODIS による濁度推定

MODIS は可視・近赤外域における赤色波長帯 (Band 1) と近赤外波長帯 (Band 2) の 2 バンドが観測可能なため、それぞれのバンドについて推定式を作成する。

2002 年 5 月 2 日に MODIS によって観測された各バンドの DN と現場観測濁度の関係を図 2 に示す。

次に、各バンドの濁度推定式を示す。

$$\begin{aligned} Tur_{M1} &= 1.98 \times DN_{M1} - 4.53 \quad (R = 0.80) \\ Tur_{M2} &= 2.00 \times DN_{M2} - 3.12 \quad (R = 0.92) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで Tur_{M1} 、 Tur_{M2} は推定濁度、DN は各バンドの DN である。赤色バンドと近赤外バンドを比較した場合に近赤外バンドの方が相関は高かった。また推定式の検証には小型船舶によって得られた濁度データを用いる。表 3 に船舶観測濁度を示し、図 3 に船舶観測濁度と推定濁度の関係を示す。2002 年 5 月 2 日は濁度推定値と船舶観測濁度に良い相関がみられた。

同様にして 2003 年 8 月 23 日に MODIS によって観測された各バンドの DN と現場観測濁度との関係を図 4 に示す。また、各バンドの濁度推定式は以下の通りである。

$$\begin{aligned} Tur_{M1} &= 1.00 \times DN_{M1} + 0.00 \quad (R = 0.64) \\ Tur_{M2} &= 0.425 \times DN_{M2} + 2.86 \quad (R = 0.48) \end{aligned} \quad (3)$$

推定式の検証には小型船舶によって得られた濁度データを用いる。表 4 に船舶観測濁度を示し、図 5 に船舶観測濁度と推定濁度の関係を示す。

これらより、2003 年 8 月 23 日は小型船舶による観測濁度との相関が 5 月 2 日 (図 3) と比較して悪いが、値としては妥当な範囲である。そのため推定式

表 3. 船舶観測濁度データ (2002 年 5 月 2 日)

Table 3. In-situ turbidity data obtained from ship measurements. (2 May 2002).

Observation Point	Latitude/Longitude	Observation time (JST)	Turbidity [mg/l]
A1	N35° 30' 29" E133° 12' 33"	8:50	26
A2	N35° 29' 30" E133° 12' 17"	9:10	8
A3	N35° 29' 11" E133° 13' 01"	10:15	8
*A4	N35° 27' 46" E133° 11' 32"	9:35	9

*A4 は中海湖心とほぼ同じ位置のため図 1 では省略

*Location of A4 is omitted in Fig. 1, because it is close to that of Nakaumi tower observatory.

表 4. 船舶観測濁度データ (2003 年 8 月 23 日)

Table 4. In-situ turbidity data obtained from ship measurements. (23 August 2003).

Observation Point	Latitude/Longitude	Observation time (JST)	Turbidity [FTU]
B1	N35° 30' 21" E133° 09' 02"	10:31	6
B2	N35° 28' 20" E133° 09' 12"	11:05	8
B3	N35° 27' 31" E133° 09' 08"	11:16	7
*B4	N35° 27' 47" E133° 11' 31"	11:50	9

*B4 は中海湖心の観測所とほぼ同じ位置のため図 1 では省略

*Location of B4 is omitted in Fig. 1, because it is close to that of Nakaumi tower observatory.

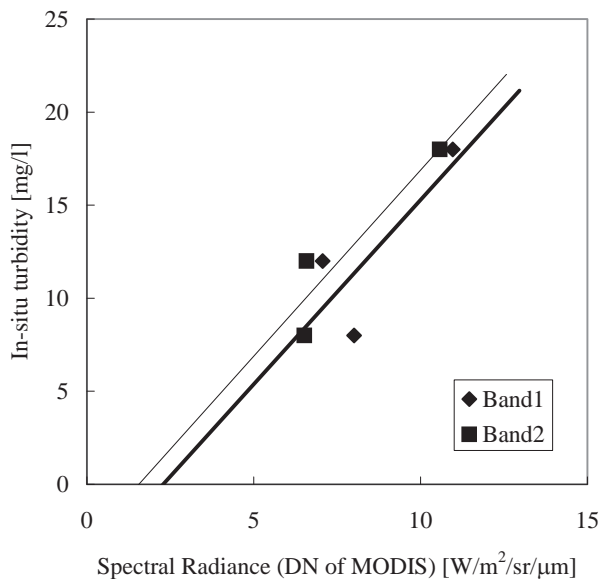


図 2. MODIS の DN と現場観測濁度の関係(2002 年 5 月 2 日). 太線は濁度のバンド 1 からの回帰, 細線は濁度のバンド 2 からの回帰.

Fig. 2. Relationship between MODIS DN and In-situ (tower) turbidity. (2 May, 2002). Heavy solid line: Linear regression of turbidity to Band 1 DN. Light solid line: Linear regression of turbidity to Band 2 DN.

は妥当であると判断し濁度分布図を作成した.

2) ASTER による濁度推定

ASTER は可視・近赤外域における緑色波長帯 (Band 1)・赤色波長帯 (Band 2)・近赤外波長帯 (Band

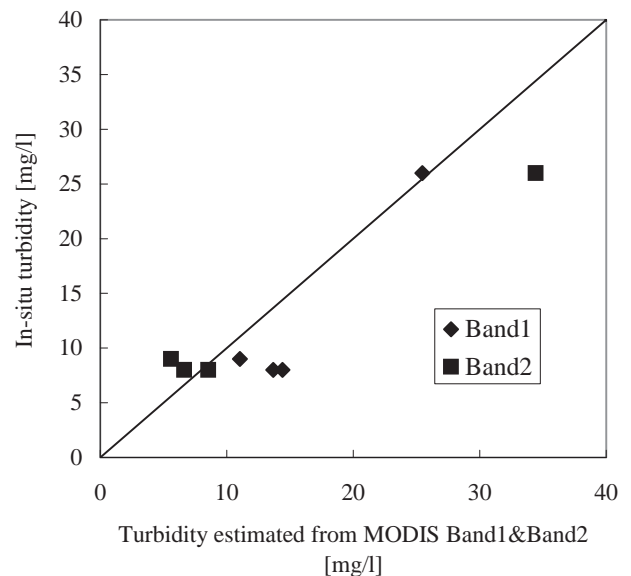


図 3. (2) 式により推定された濁度と船舶観測濁度の関係. 実線は 1:1 対応線を示す.

Fig. 3. Relationship between turbidity estimated from equation (2), and In-situ (ship) turbidity. Solid line shows 1:1 correspondence line.

3) の 3 バンドを観測可能なため, それぞれのバンドについて推定式を作成する.

2002 年 5 月 2 日に ASTER によって観測された各バンドの DN と現場観測濁度との関係を図 6 に示す. 次に, 各バンドの濁度推定式を示す.

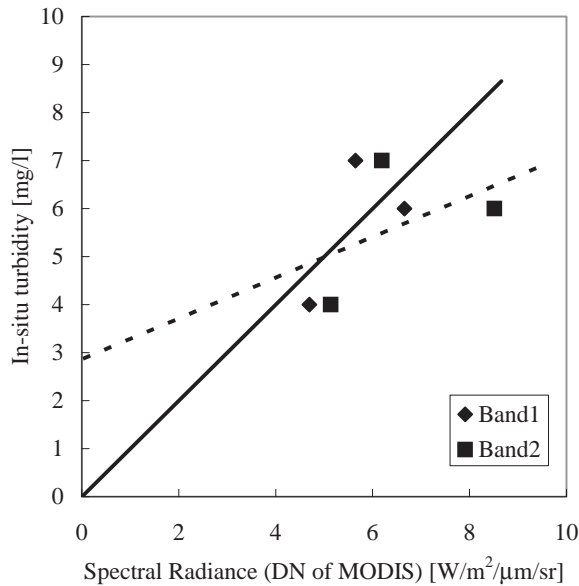


図4. MODIS の DN と現場観測濁度の関係 (2003 年 8 月 23 日). 実線は濁度のバンド 1 からの回帰, 点線は濁度のバンド 2 からの回帰.

Fig. 4. Relationship between MODIS DN and In-situ (tower) turbidity. (23 August, 2003).

$$\begin{aligned} Tur_{A1} &= 0.340 \times DN_{A1} + 5.56 \quad (R = 0.92) \\ Tur_{A2} &= 0.274 \times DN_{A2} - 7.50 \quad (R = 0.92) \\ Tur_{A3} &= 0.484 \times DN_{A3} + 3.08 \quad (R = 0.75) \end{aligned} \quad (4)$$

ここで Tur_{A1} , Tur_{A2} , Tur_{A3} は推定濁度, DN は各バンドの DN である. 緑色波長帯と赤色波長帯の推定式の相関はほぼ同じで 0.92 と良い相関が得られた.

2003 年 8 月 23 日に ASTER によって観測された各バンドの DN と現場観測濁度との関係を図 7 に示す. また, 各バンドの濁度推定式は以下の通りである.

$$\begin{aligned} Tur_{A1} &= 0.646 \times DN_{A1} - 0.0257 \quad (R = 0.98) \\ Tur_{A2} &= 0.498 \times DN_{A2} - 1.64 \quad (R = 0.98) \\ Tur_{A3} &= 0.0908 \times DN_{A3} + 4.34 \quad (R = 0.23) \end{aligned} \quad (5)$$

バンド 1 とバンド 2 の推定式の相関はほぼ同じで 0.98 と良い相関が得られた. しかし, バンド 3 の近赤外波長帯の推定式を見ると, 相関係数の値が 0.23 とかなり悪く, バンド 1 及びバンド 2 の推定式に比べ, 信頼性に欠けると考えられる.

3. 濁度分布推定結果

3.1 2002 年 5 月 2 日における推定結果

図 8 (a), (b) に宍道湖・中海の MODIS バンド 1 (赤色波長帯) からの推定結果を示し, 図 9 (a), (b)

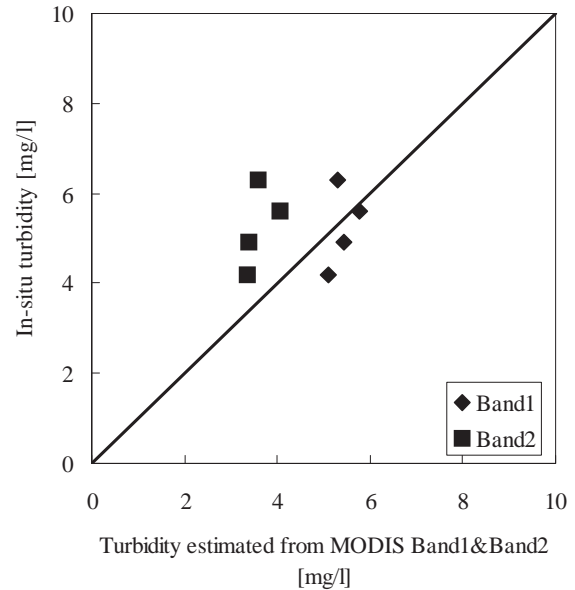


図 5. (3) 式により推定された濁度と船舶観測濁度の関係. 実線は 1:1 対応線を示す.

Fig. 5. Relationship between turbidity estimated from equation (3), and In-situ (ship) turbidity. Solid line shows 1:1 correspondence line.

に宍道湖・中海の MODIS バンド 2 (近赤外波長帯) からの推定結果を示す. また, 図 10 (a), (b) に ASTER のバンド 2 (赤色波長帯) からの推定結果を示す. ここで ASTER から推定した濁度分布図は MODIS から推定したものと比較を行うために, 擬似的に解像度を MODIS の解像度まで落とした. また, ASTER のバンド 1 (緑色波長帯) とバンド 2 (赤色波長帯) それぞれから得られた推定結果を比較したとき, 推定結果が類似しているため, ここでは ASTER のバンド 2 から得られる推定結果を示す. また図中においてベクトルは風向を示し, 数値は風速を示す. これには宍道湖湖心・中海湖心タワーで午前 11 時に観測されたデータを用いた.

図 8 より, 宍道湖西側, 中海西側で濁度が高いことがわかる. これは 2002 年 4 月 30 日に 26 mm, 5 月 1 日に 7 mm の降雨が観測されており斐伊川上流および大橋川から土砂が流れ込んでいるための影響と考えられる. また東風による影響もあり濁度の分布が東から西へ高くなるように変化していることも考えられる (野々原ほか, 2005).

次に, MODIS から得られた推定結果と ASTER から得られた推定結果を比較する. 図 8 と図 10 を比較したとき, 推定結果は定量的に類似していることがわかる. これより MODIS と ASTER という異なるセンサによる推定結果が相互に矛盾していないこと

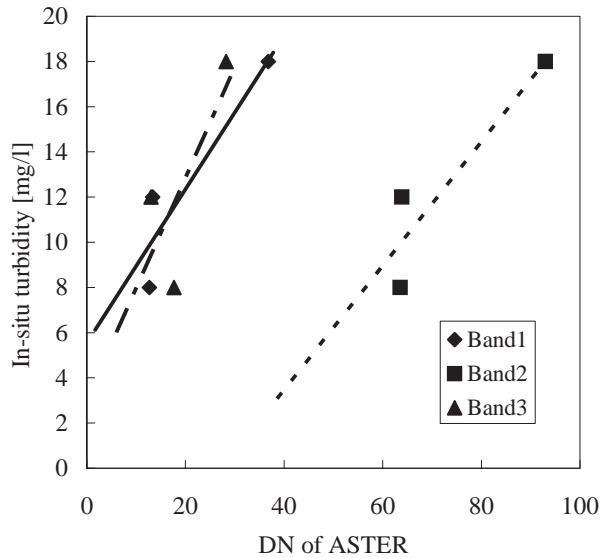


図 6. ASTER の DN と現場観測濁度の関係(2002 年 5 月 2 日). 実線は濁度のバンド 1 からの回帰, 点線は濁度のバンド 2 からの回帰, 鎖線は濁度のバンド 3 からの回帰.

Fig. 6. Relationship between ASTER DN and In-situ (tower) turbidity. (2 May, 2002). Solid line: Linear regression of turbidity to Band 1 DN. Dot-line: Linear regression of turbidity to Band 2 DN. Dot-dash-line: Linear regression of turbidity to Band 3 DN.

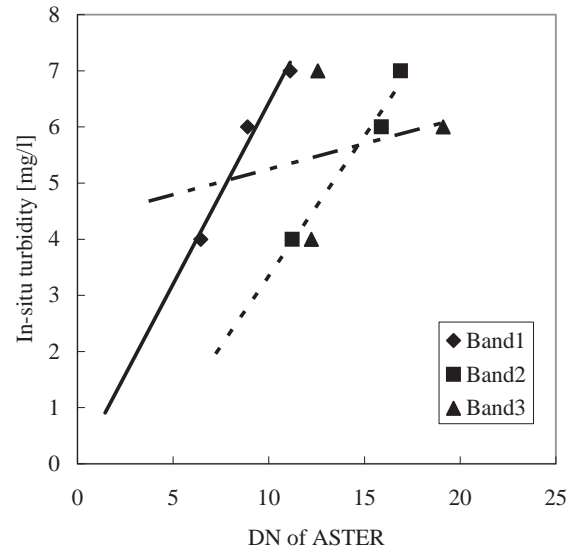


図 7. ASTER の DN と現場観測濁度の関係(2003 年 8 月 23 日). 実線は濁度のバンド 1 からの回帰, 点線は濁度のバンド 2 からの回帰, 鎖線は濁度のバンド 3 からの回帰.

Fig. 7. Relationship between ASTER DN and In-situ (tower) turbidity (23 August, 2003). Solid line: Linear regression of turbidity to Band 1 DN. Dot-line: Linear regression of turbidity to Band 2 DN. Dot-dash-line: Linear regression of turbidity to Band 3 DN.

がわかる。また、ASTER のバンド 1 から得られた推定結果は ASTER のバンド 2 による推定結果と定量的に類似していることから、クロロフィル a が比較的均一な状態で存在していたと考えられる。なぜならば、赤色波長帯の光はクロロフィル a を含んだ水の場合、清浄な水の場合と比較して反射率が低くなる。また、緑色波長帯の光も同様に、クロロフィル a を含んだ水の場合と清浄な水の場合を比較すると、反射率は低くなることからわかる(Han, 1997)。次に、赤色波長帯と緑色波長帯の反射率の変化をクロロフィル a の有無で比較した場合、赤色波長帯の反射率の低下が緑色波長帯の反射率の低下よりも大きいことがわかる。これより、緑色波長帯から得られる結果と赤色波長帯から得られる結果を比較することで、クロロフィル a 濃度の違いを評価することが可能になると考えられる。今回の場合は、それぞれの図を比較したとき、同様な濁度値が推定されているため、クロロフィル a は比較的均一だと考えられる。また、降雨による影響で 5 月 2 日の推定濁度値は平常時の濁度値に比べ、高い値が推定されていることなどの状況を考えると、土砂などの非生物的な濁りが支配的ではないかと考えられる。

次に MODIS バンド 2 から得られる結果について

考える。図 9 を見ると、図 8 や図 10 と比較して宍道湖東部や中海南部では比較的似ているが、宍道湖西部や本庄工区では異なる結果となった。近赤外波長帯の光は、赤や緑といった可視光に比べると反射率は低い。濁りの変化に対しての応答は十分あると理論的には考えられるが(Han, 1997)、可視光の反射と比較すると反射率の値はかなり小さいため、濁りの変化を捉え切れなかったのではないかと考えられる。

3.2 2003 年 8 月 23 日における推定結果

図 11 (a), (b) に MODIS バンド 1 (赤色波長帯) からの推定結果を示し、図 12 (a), (b) に MODIS バンド 2 (近赤外波長帯) からの推定結果を示す。図 13 (a), (b) に ASTER のバンド 1 (緑色波長帯) から推定した濁度分布図を示す。ASTER のバンド 2 (赤色波長帯) からの推定結果は、MODIS のバンド 1 の推定結果と定量的に類似しているため、ここでは緑色波長帯からの推定結果を示す。3.1 節と同様に ASTER の推定濁度分布図は比較のため解像度を下げている。図中に示してあるベクトルは風向を示し、数値は風速を示している。

8 月 21 日、8 月 22 日と降雨は観測されていない

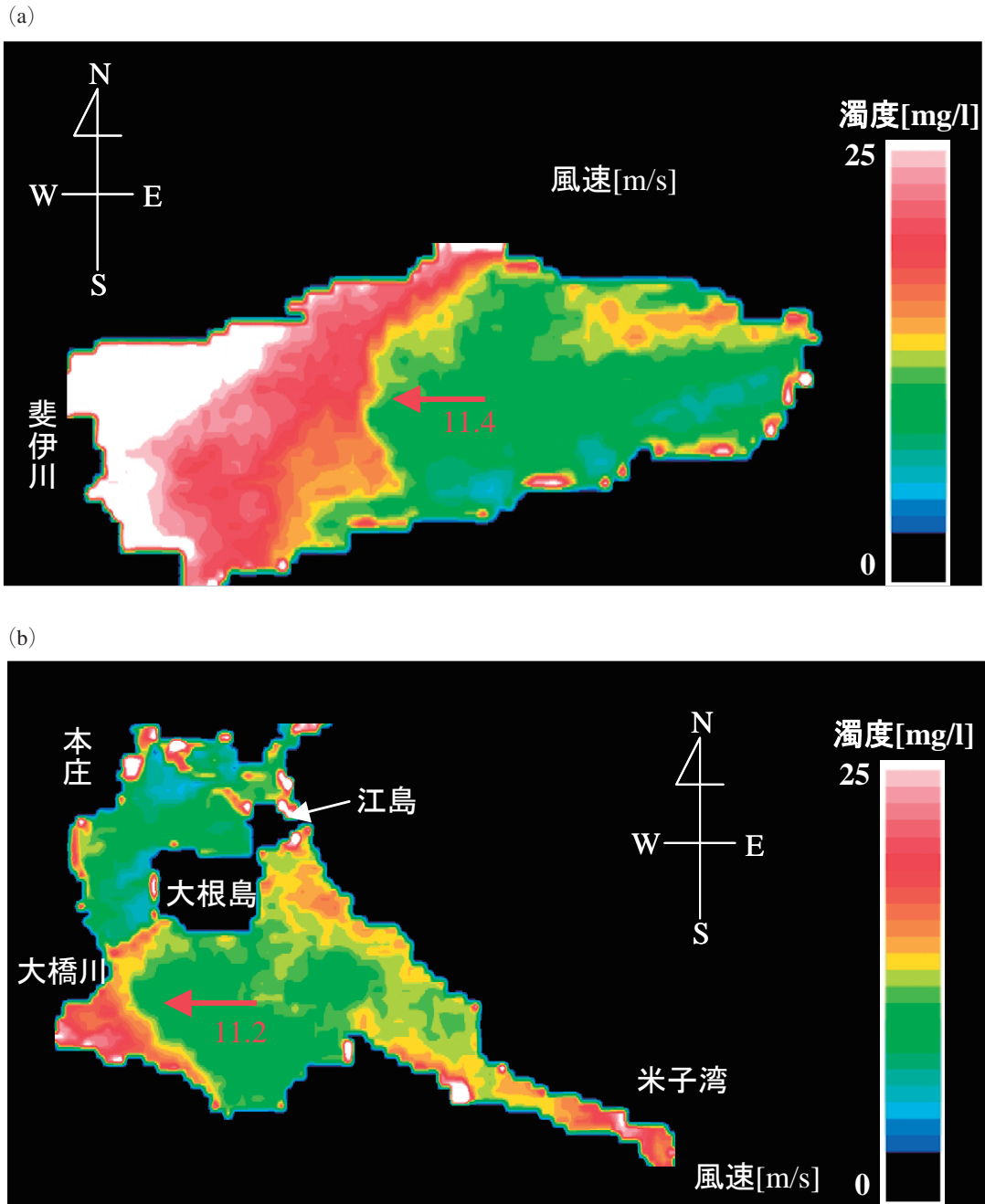


図 8. MODIS バンド 1 (赤バンド) の推定濁度分布図 (2002 年 5 月 2 日). (a) 宍道湖 (b) 中海
 Fig. 8. Turbidity map obtained from MODIS Band 1 (Red) (2 May, 2002). (a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi.

め、土砂が流れ込んでいる様子は見られない。また全体的に濁度は 2002 年 5 月 2 日の 1/3 程度になっている。図 11 の MODIS バンド 1 からの推定結果と図 13 の ASTER バンド 1 からの推定結果を比較する。ASTER からの推定結果において、湖岸で濁度値が高いのは画像処理と陸地による影響である。図 11 と図 13 を比較した場合に中海湖心から江島の南辺りにかけて、ASTER で推定した濁度値は 4mg/l から 6mg/l とやや高くなっているのに対し、MODIS から推定した濁度値は 4mg/l から 3~4mg/l と少し低く

なっていることがわかる。これは、3.1 節で述べたように、赤と緑の分光特性の違いが影響していると考えられる。つまり、この日は前々日、前日と降雨も観測されておらず、濁りの成因として、生物的な濁りが支配的なことが影響しているために、MODIS の赤色波長帯の光では生物的な濁りの変化を捉えることができなかった可能性が考えられる。また宍道湖についても、生物的な濁りが全体的に影響しているために図 11 と図 13 で定量的な違いが出たと考えられる。また、本庄区域において図 13 で濁度値が

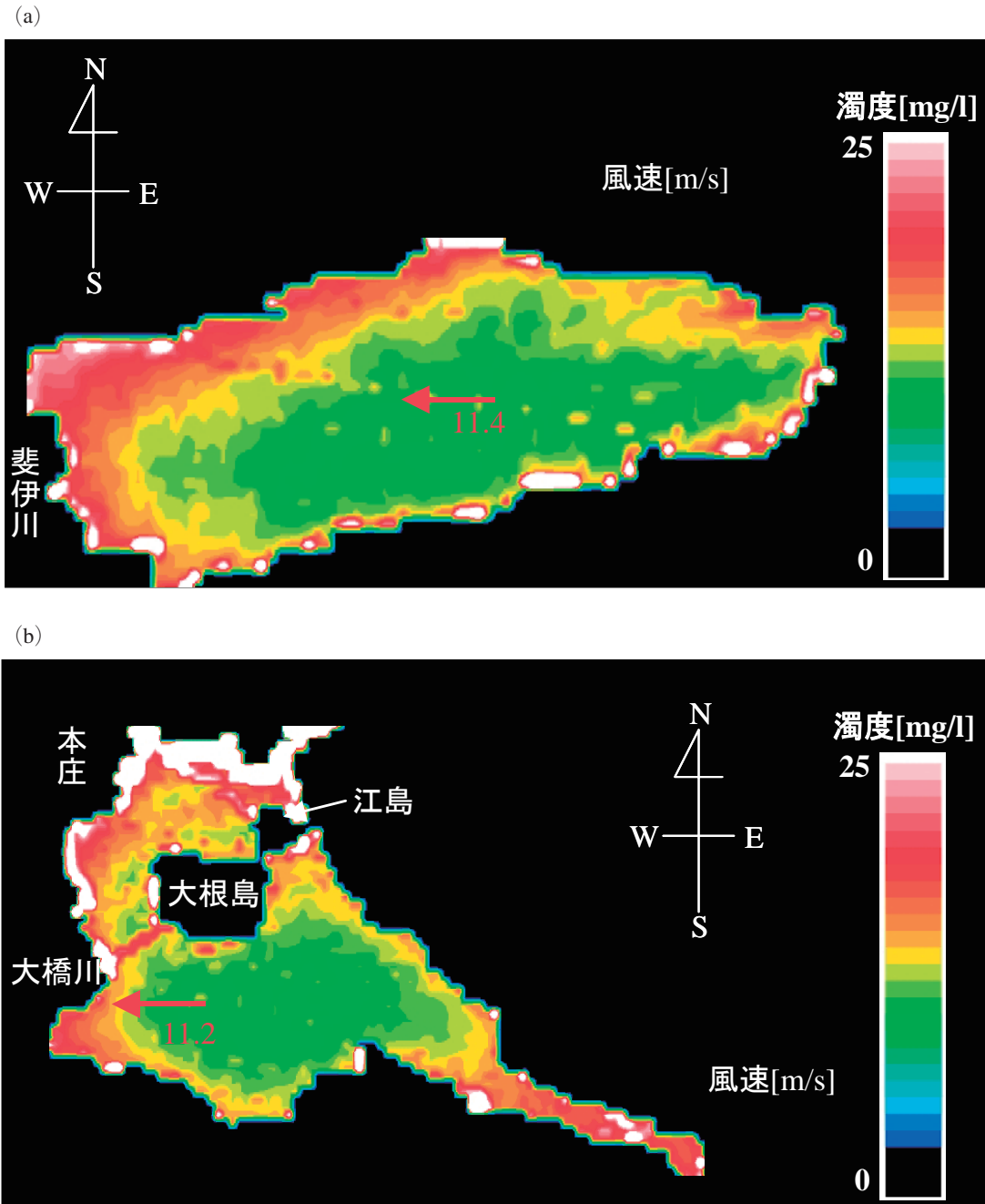


図9. MODIS バンド2 (近赤外バンド) の推定濁度分布図 (2002年5月2日). (a) 宍道湖 (b) 中海
 Fig. 9. Turbidity map obtained from MODIS Band 2 (Near IR) (2 May, 2002). (a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi.

高く推定されているが、赤色波長帯の推定図と比較して本庄区域全体で推定値に大きく差が出るほど生物学的な濁りの濃度に差があったかどうかは不明であり、この差の原因については更に検討を要する。

次に、MODIS のバンド2の推定結果について考える。8月23日は5月2日に比べ、定性的にMODIS バンド1やASTERからの推定結果と類似していると考えられるが、定量的に値は異なる。これは、3.1節より近赤外波長はクロロフィルaの影響を受けにくいいため生物学的および非生物学的濁りの寄与の違いが

バンド1とバンド2の推定結果の差に寄与しているものと思われる。この推定結果の違いについては、500mと分解能は低いMODIS バンド4 (緑色波長帯) のデータを使用することで新たな情報が得られるものと思われる、今後多バンドによる濁度推定を検討する必要がある。

3.3 推定結果まとめ

2002年5月2日および2003年8月23日の推定結果から次のことが結論づけられる。

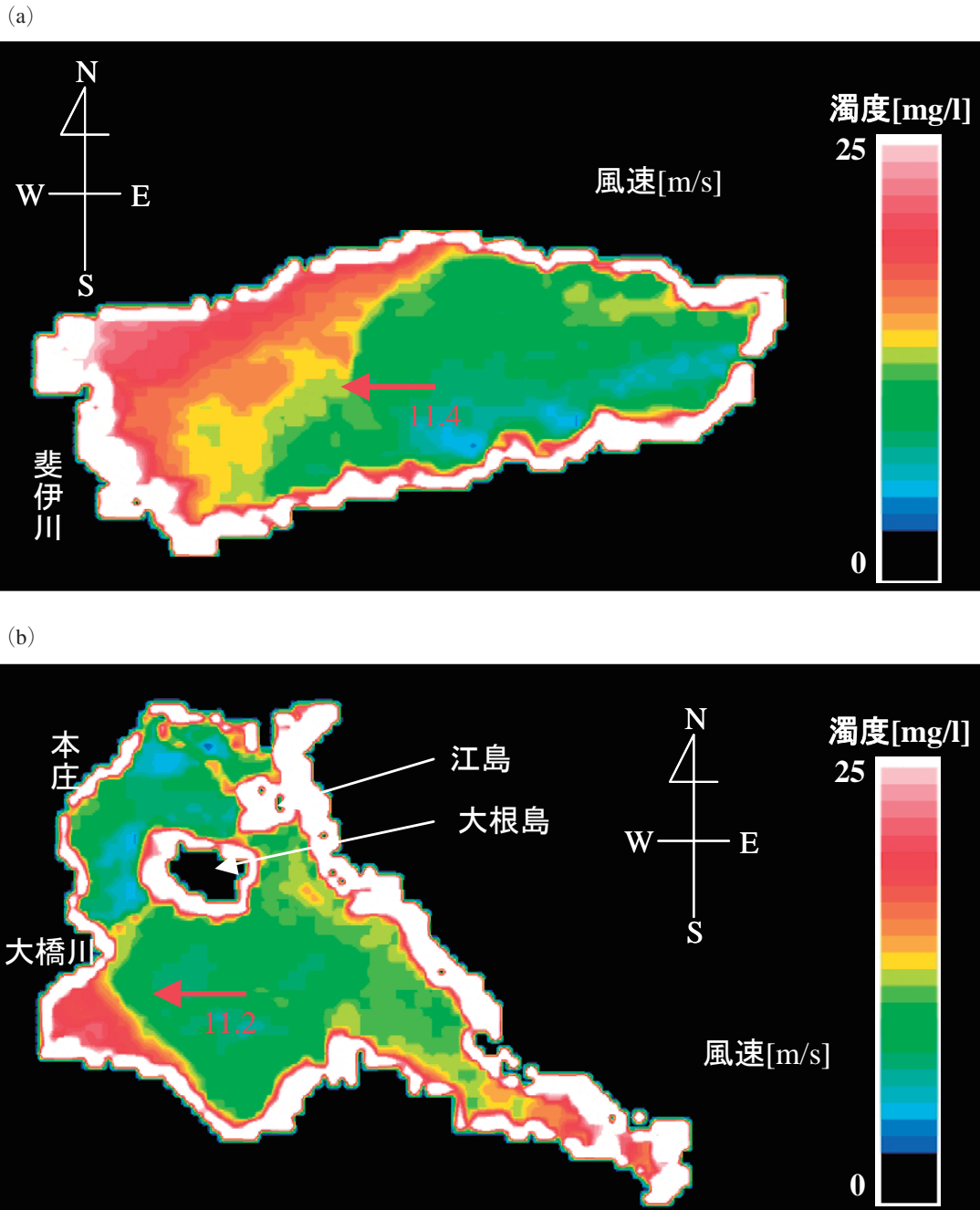


図 10. ASTER バンド 2 (赤バンド) の推定濁度分布図 (2002 年 5 月 2 日). (a) 宍道湖 (b) 中海
Fig. 10. Turbidity map obtained from ASTER Band 2 (Red) (2 May, 2002). (a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi.

- (1) MODIS バンド 1 (赤色波長帯) から得られる濁度分布推定結果は、非生物的な濁りが支配的であるときは妥当と考えられる。
- (2) MODIS バンド 1 からの推定結果は、生物的な濁りが影響するとき、つまり赤色波長帯におけるクロロフィル a の吸収により濁度推定結果に誤差が出ると考えられる。
- (3) 近赤外は原理的には赤バンドと組みあわせて、生物的または非生物的な濁りの評価に使えると考えられるが、具体的な検討は今後の課題であ

る。

- (4) MODIS バンド 2 (近赤外波長帯) や ASTER のバンド 1 (緑色波長帯) において本庄区域で濁度値が高く推定される場合があるが原因は解明できていない。

4. ま と め

2002 年 5 月 2 日と 2003 年 8 月 23 日の濁度分布を MODIS によって推定した。また両日共に ASTER で

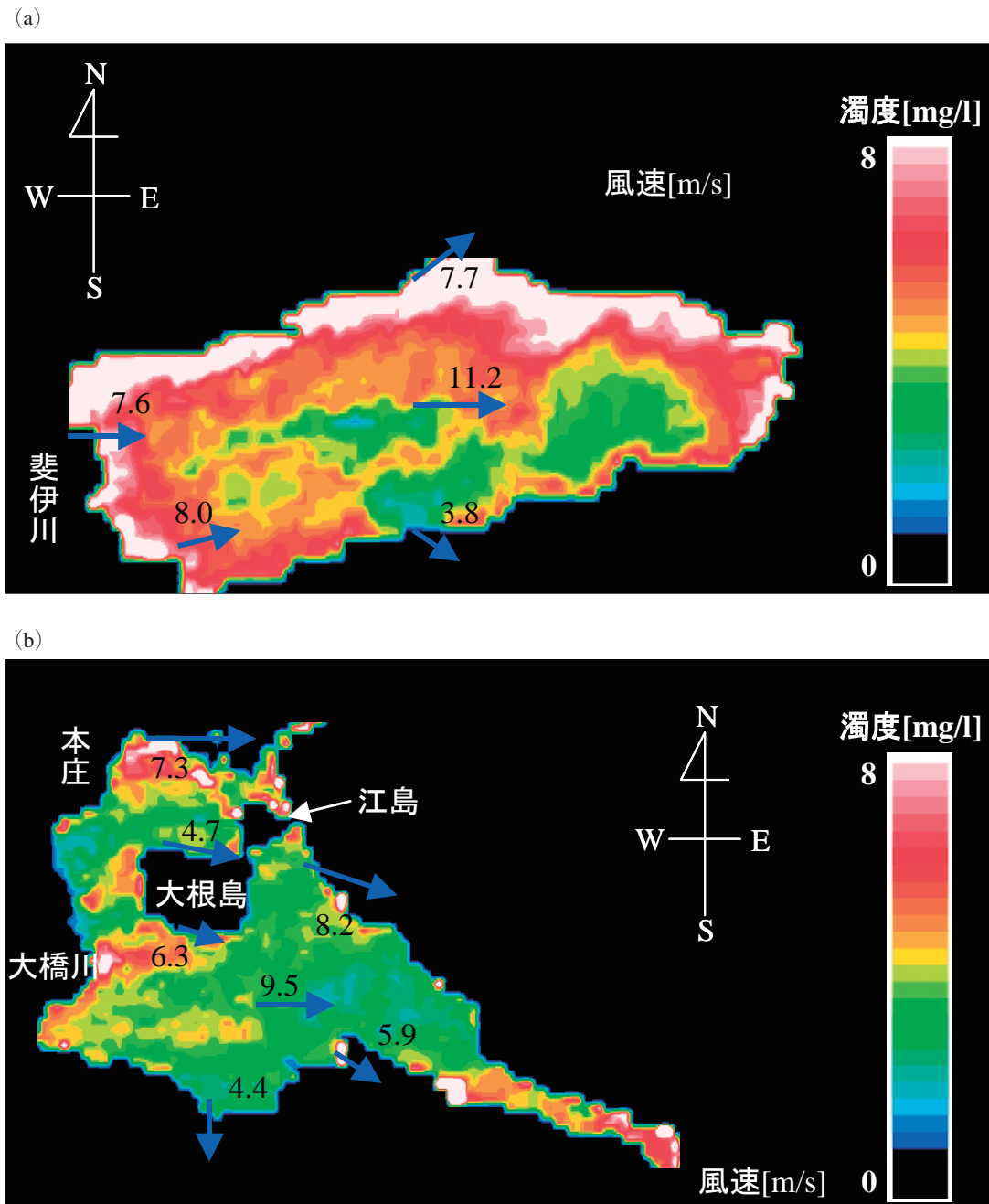


図 11. MODIS バンド 1 (赤バンド) の推定濁度分布図 (2003 年 8 月 23 日). (a) 宍道湖 (b) 中海
Fig. 11. Turbidity map obtained from MODIS Band 1 (Red) (23 August, 2003). (a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi.

の同時観測も行われたため、ASTER も用いて推定濁度分布図について考察を加えた。

2002 年は非生物的な濁りに良い感度を持つ MODIS バンド 1 を用いて作成する推定濁度分布図が妥当であると考えられた。2003 年は生物的な濁りによる影響が大きく、バンド 1 からの推定濁度分布図は問題があると考えられる。ASTER 緑バンドの解析結果などから、MODIS バンド 1 は生物的な濁りであるクロロフィル a による吸収の影響を受けていると考えられ、赤色バンド単独では推定精度に限界が

あると思われた。これは ASTER の緑バンドを用いた解析から推定された。実際には、ASTER の観測頻度は低いため、分解能は劣るが、MODIS のバンド 4 (緑) を用いる方法が考えられる。また原理的には MODIS バンド 2 (近赤外) もクロロフィル a による吸収はないので、生物的、非生物的濁りの分離に使用できると考えられる。

今後の課題として、更に次のことが挙げられる。まず、現在の推定法では、作成する推定式の信頼性が低いため多時期のデータを用いる推定法など、推

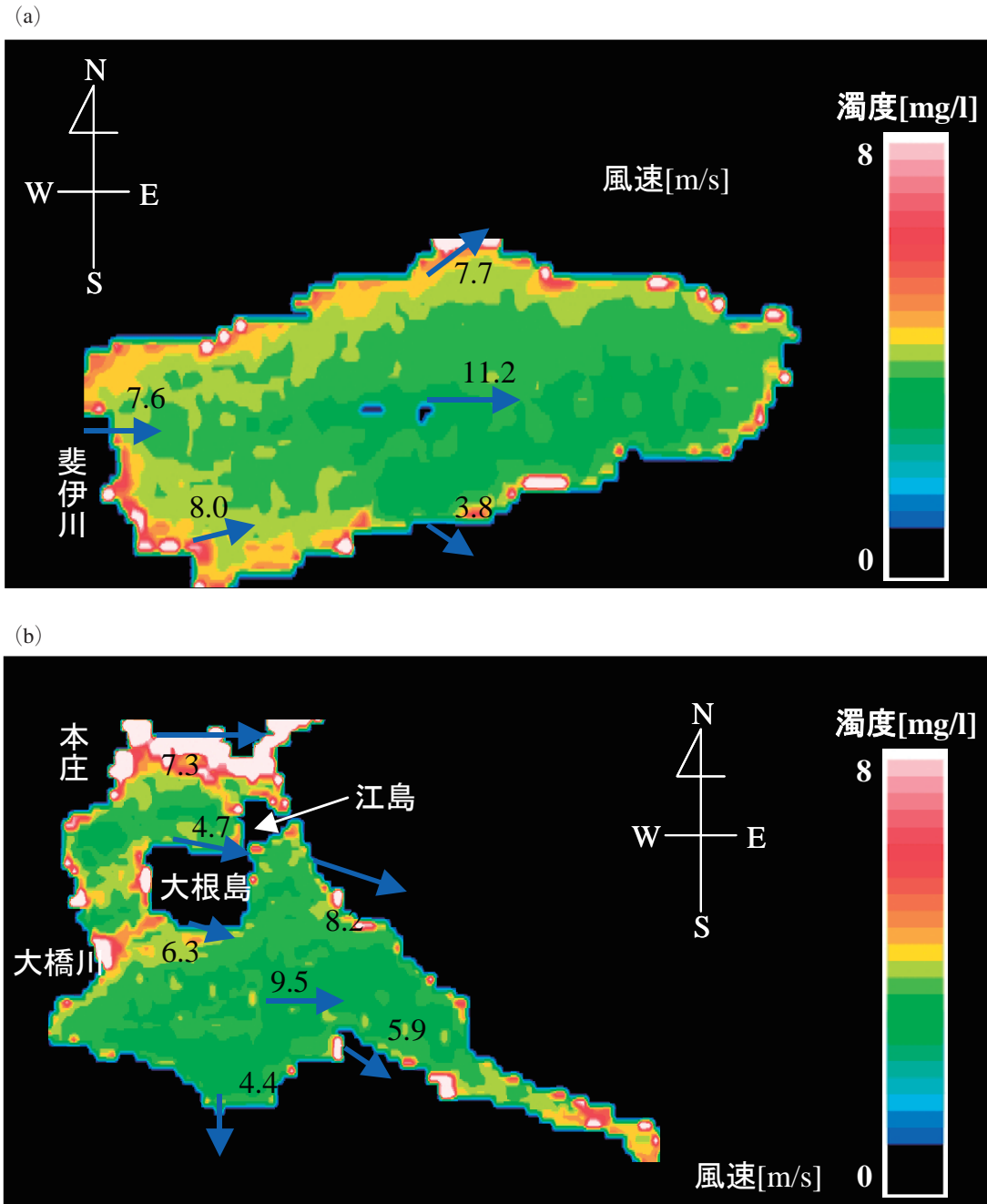


図 12. MODIS バンド 2 (近赤外バンド) の推定濁度分布図 (2003 年 8 月 23 日). (a) 宍道湖 (b) 中海
Fig. 12. Turbidity map obtained from MODIS Band 2 (Near IR) (23 August, 2003). (a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi.

定法の改善が必要である。また、表層の濁りを下層や底層の濁りと関係づける手法の検討や推定した濁度分布図の船舶観測などとの比較による更なる検証が必要である。

謝 辞

本研究でを使用した MODIS データは東京大学生産技術研究所より提供して頂いた。ASTER データは「ASTER データ利用に関する共同研究」により提供

して頂いた。また、気象及び水質データは国土交通省中国地方整備局出雲河川事務所から提供して頂いた。これら関係機関の方々に深謝致します。

参 考 文 献

Han.L (1997) Spectral Reflectance with Varying Suspended Sediment Concentrations in Clear and Algae-Laden Waters, Photo.eng.&Rem.Sens, 63: 701-705.

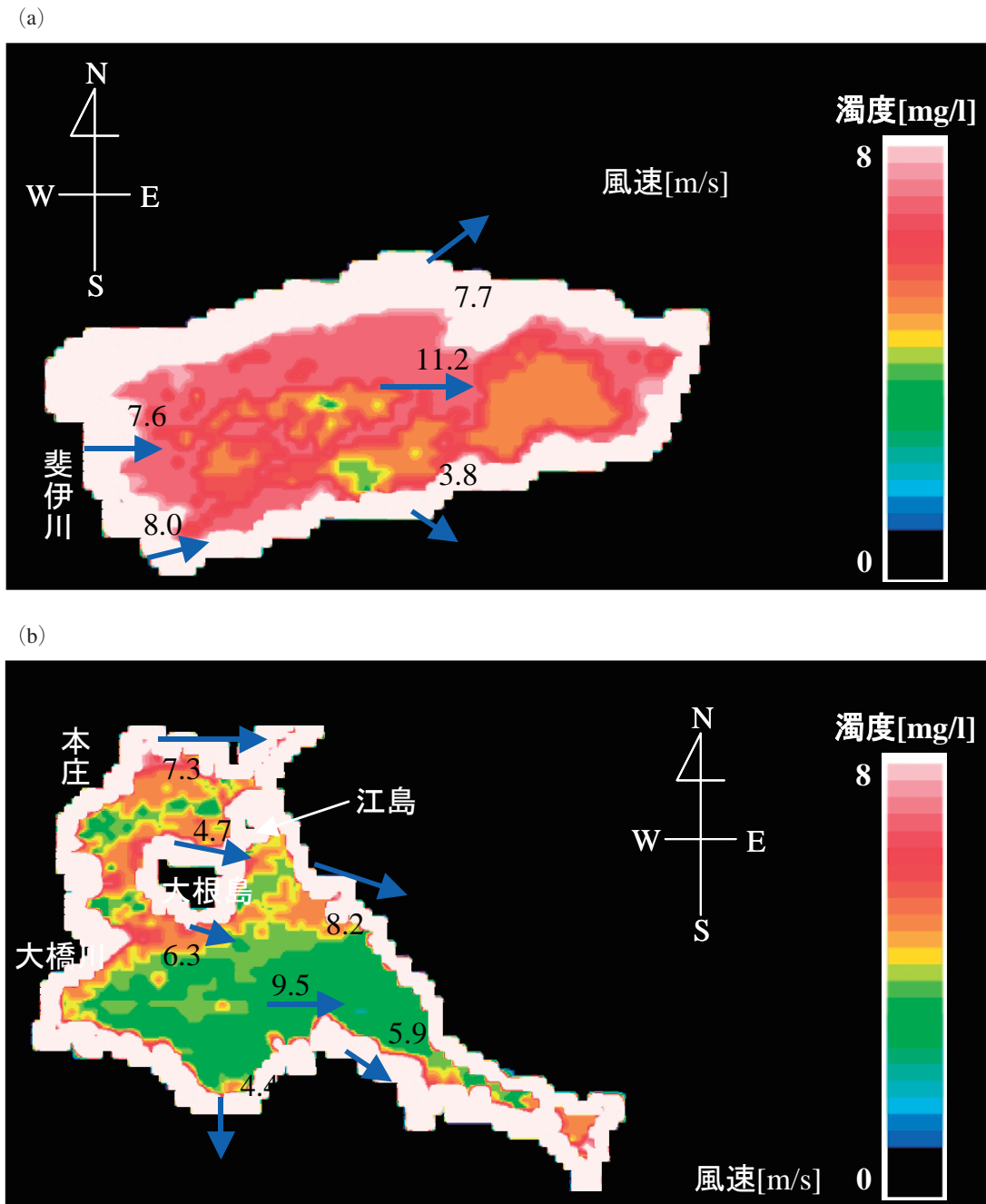


図 13. ASTER バンド 1 (緑バンド) の推定濁度分布図 (2003 年 8 月 23 日). (a) 宍道湖 (b) 中海
 Fig. 13. Turbidity map obtained from ASTER Band 1 (Green) (23 August, 2003). (a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi.

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, 12: 23-35.

作野裕司 (2000) 衛星リモートセンシングによる宍道湖のクロロフィル a 濃度及び一次生産量のモニタリングに関する研究, 博士 (工) 論文, 東京大学,

190 pp.

作野裕司・山本正智・吉田武史・松永恒雄・古津年章・下舞豊志・高安克巳 (2004) 多時期 ASTER データを用いた宍道湖・中海の濁度・クロロフィル a 濃度推定, LAGUNA, 11: 147-153.

高安克巳 (編) (2001) 汽水域の科学, たたら書房, 鳥取, 183 pp.

瀬戸内海最古の貝塚 — 豊島礼田崎貝塚の再評価 —

遠部 慎¹・宮田佳樹¹・加藤久雄²・米田 穰³

The oldest Shell Mound in the Seto Inland Sea :Revaluation of Reitasaki shell mound in Teshima

Shin Onbe¹, Yoshiki Miyata¹, Hisao Kato², Minoru Yoneda³

Abstract: Marine transgression occurred in the Early Jomon period. However, in the very early Kitchen Midden group in the Seto-Inland sea, the transition from fresh to marine conditions can be seen and used as a temporal marker. Previously the only reported dates for the Kitchen Midden group shell mounds was 8400 ± 350 ¹⁴C yrBP (Kishima shell mounds).

A reexamination of ¹⁴C dates on shells in the Seto-Inland sea region, taking into account the habitat of dated shells and the marine reservoir effect leads to the conclusion that the Reitasaki shell mound (Tonosho Town, Kagawa Prefecture) is older than the Kishima shell mound or the Kuroshima shell mound (Setouchi City, Okayama prefecture).

Key word: Marine transgression, Jomon, AMS Radiocarbon dating, pottery chronology, mollusc species and ¹⁴C dating

1. はじめに

瀬戸内海が現在に近い形になるのは、完新世以降、縄文時代早期以降とされている(井関, 1957; 1978)。それに対して、瀬戸内海海浜部へ遺跡が展開し、先史人の活動痕跡が顕著に見られるようになるのは、縄文時代前期以降である。この年代的な違いを生む背景には周辺環境の変化が大いに影響していると考えられている。つまり、縄文時代早期の貝塚群の出現は、低地部に進出するいわゆる縄文前期の海進とは異なり、極めて短期間の局地的な現象とみなされている。

そこで、本研究では縄文時代早期の海進期に焦点をあて、これまで多くの研究が行われてきた牛窓

地域や三豊地域ではなく(直良, 1999; 河瀬, 1998)、児島から小豆郡にかけての地域を中心に研究を行った。これは、瀬戸内海形成期において、海水流入が最も遅い可能性が高く、かつ瀬戸内海でも、これまでほとんど研究の対象となっていない地域であるからである。

また、最後まで陸地であった可能性の高い地域を詳細に検討することによって、当時の自然環境の変化に対する先史人の対応を考えていくことも可能となる。

2. 問題の所在と研究方法

これまでに、蓄積された黄島貝塚など牛窓湾の中

¹ 国立歴史民俗博物館 National Museum of Japanese History

² 愛知学泉大学家政学部 Aichi Gakusen University, Department of Home Economics Aichi

³ 国立環境研究所化学環境研究領域 (Division of Environmental Chemistry, National Institute for Environmental Studies)
(現東京大学大学院新領域創成科学研究科 The University of Tokyo, Graduate School of Frontier Sciences)

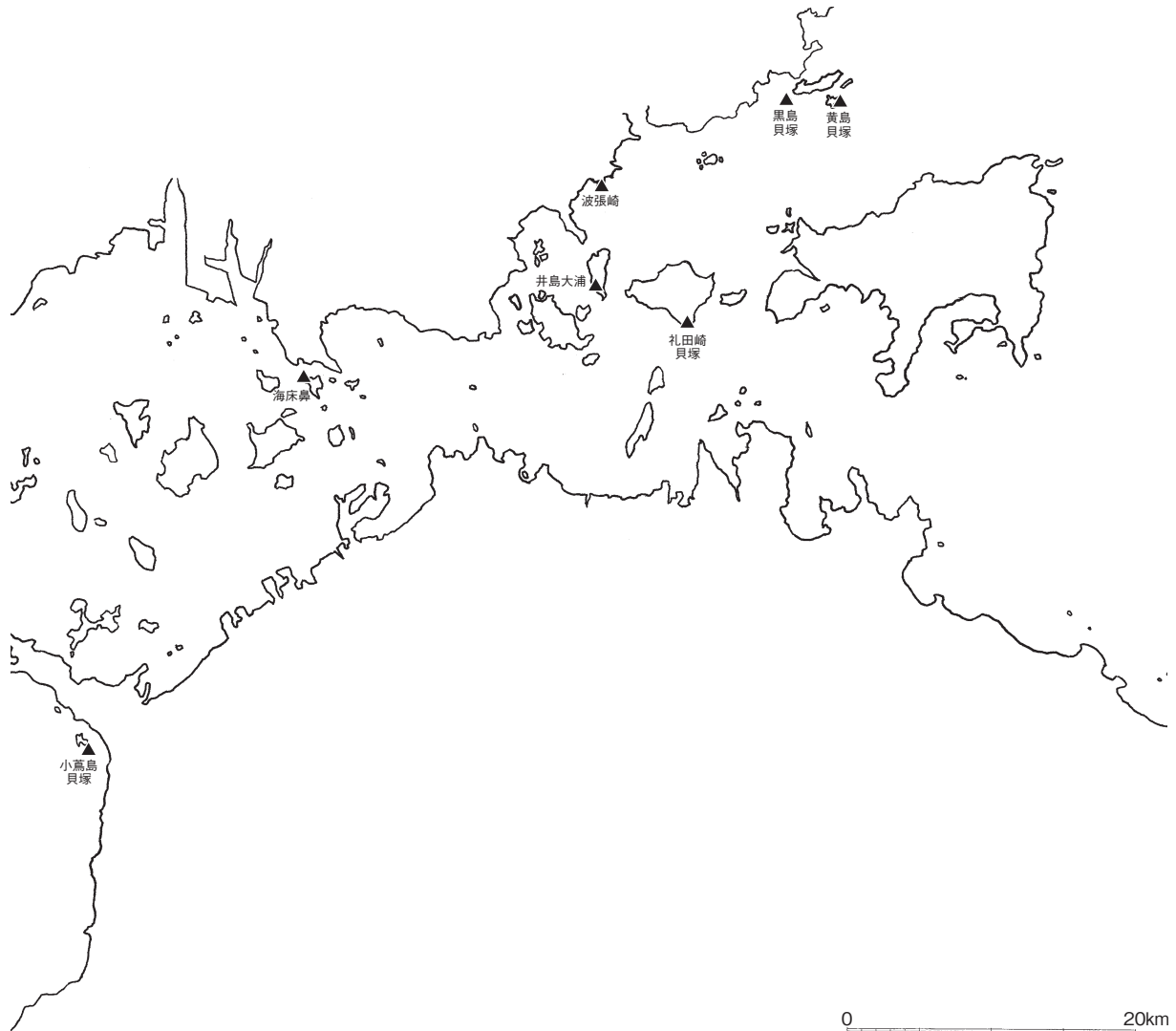


図1. 瀬戸内海の縄文時代早期貝塚.

Fig. 1. Early stage Jomon period in the Seto-Inland Sea.

心とした研究成果を以下にまとめる。

- ① 黄島貝塚や黒島貝塚などの貝類組成はヤマトシジミ(下層)からハイガイ(上層)にかわる。これは、急激な環境変化を示している可能性が高い(江坂, 1954)。
- ② この急変した時期は、黄島貝塚出土のハイガイの炭素14年代測定から $8400\pm 350\text{BP}$ とされている(Crane and Griffin, 1958; 高橋, 1990)。
- ③ 瀬戸内海は極めて短期間に成立したと考えられるようになった(江坂, 1954; 井関, 1957, 1958)。

これまで、縄文時代早期の海進は、いわゆる黄島式単純期の比較的短い時間の出来事と考えられてきた。しかしながら、近年、土器編年研究が進み、黄島貝塚から出土した主たる土器である、押型文土器と無文土器が同時期のものではなく、相対的に無文土

器が古く、押型文土器が新しくなるという見解が示された(遠部, 2003; 熊谷, 2006)。つまり、貝層のみならず、土器群も大きく分離される可能性が生じ、ひいては、黄島貝塚におけるヤマトシジミからハイガイへという貝種の変化は無文土器主体(山形文盛行期)から押型文土器(黄島式)にかけての複数型式に相当する時間差が存在する可能性が生じたわけである。すなわち、それぞれヤマトシジミとハイガイの帰属する貝層の時期が異なる、という理解も可能となった。したがって、これまで縄文海進及び貝塚の出現する時期は、岡山県瀬戸内市黄島貝塚など瀬戸内海東部の事例から(図1)、縄文時代早期のほぼ同じ頃の出来事と考えられてきた。現在、総合的な検討を進めつつあるが、黄島貝塚などに先立つ段階に、ほぼヤマトシジミのみで構成される貝塚群が存在する可能性が高いことが明らかになってきた。

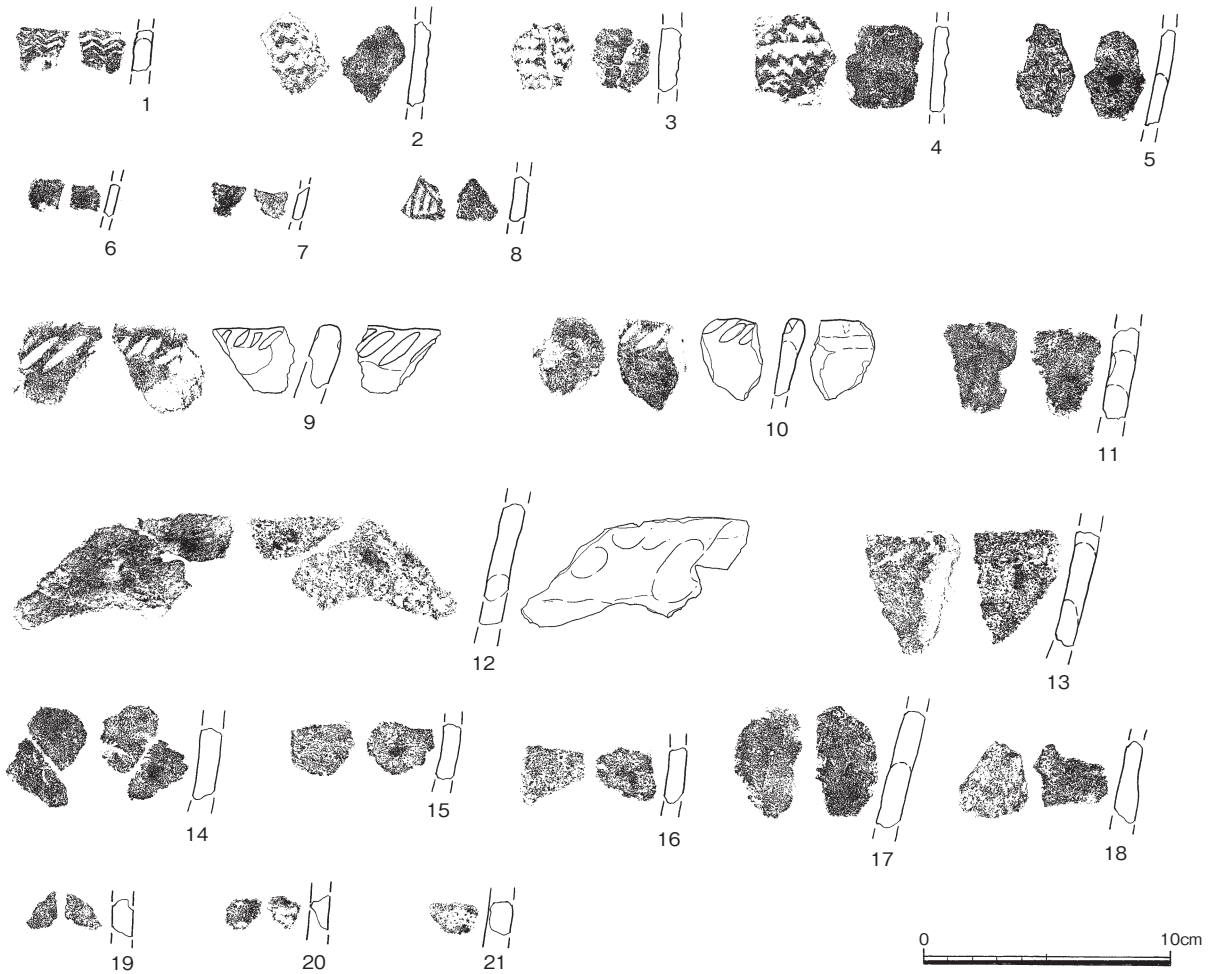


図 2. 豊島礼田崎貝塚の土器。
Fig. 2. Excavated pottery at Ratazaki shell mound.

しかしながら、年代測定を実施したデータの多くは貝試料であり、貝類の炭素 14 年代測定は、実年代から数百年古くなることが知られている。これは、北太平洋から海洋循環によってもたらされた古い炭素が海水中に含まれるため、淡水域とそれ以外の水域では、実質的に同時代の試料でも、異なる年代測定の結果が得られる可能性があるからである。さらに、日本列島における出現期（早期）の貝塚は、汽水域に生息するヤマトシジミで構成される例が多いため、海洋リザーバー効果の影響を見積もらなければならないため (Stuiver et al., 1986)、炭素 14 年代測定結果のみを用いて、貝塚形成期の年代を詳細に議論することは困難であった。

そこで、本稿ではまず土器編年や層位的事例を整理し、貝類組成の検討をした。そのうえで、香川県土庄町礼田崎貝塚 (遠部, 2006) や岡山県瀬戸内市黒島貝塚 (遠部ほか, 2005)、黄島貝塚 (Crane and Griffin, 1958) などの AMS 炭素 14 年代測定データを貝種別

に整理する。それは、この時代の瀬戸内海の形成史に関する重要な知見を与えることにも繋がる。

3. 分析結果

土器編年：黄島貝塚 (遠部, 2003)、黒島貝塚 (遠部ほか, 2007) など出土した土器は、若干先行する土器型式を示す土器も確認されるものの、ほとんど楕円押型文を主体とする黄島式土器と呼ばれている土器である。一方、礼田崎貝塚では黄島式が見られない。また、礼田崎貝塚は山形押型文土器が主体的で、通常押型文土器に多くみられる内面に長めの沈線がみられない (図 2)。

黄島式から後続する高山寺式ではこの内面の沈線が顕著になるので、礼田崎貝塚から出土する山形押型文土器は黄島式に先行する土器群である可能性が高い。つまり、このような山型文に無文土器の大半は伴ない、後続する押型文土器と時期差を有してい

表 1. 生息域による貝種組成の区分.
Table 1. Shellfish species and habitat preference.

水域	内湾水	
地理的位置	湾奥部	河口
底質	砂泥質	砂泥質
潮間帯	干潟群集	感潮域群集
主な貝種	マガキ ウネナシ トマヤガイ ハイガイ オキシジミ イボウミニナ	ヤマトシジミ カワザンショウ ヌマコダキガイ

ると考えられる。すなわち、無文土器の大半と黄島式は分離できると考えた方が妥当である。したがって細分の余地はあるものの、土器編年の上で礼田崎→黄島・黒島という前後関係は導き出される。

瀬戸内地方における縄文時代早期の貝塚群：これまで縄文時代早期の海進に関しては、ヤマトシジミやハイガイなどによって語られてきた(江坂, 1953)。海進期には、河口域→干潟に変遷するというモデルが成り立つ。貝類はその種の違いによって、生息域が異なるため(松島, 1984)、そうした特性を活かした研究も行われている。

表 1 に、代表的な貝類の生息域をまとめるが、本稿で主たる分析の対象とするハイガイは湾奥部に生

息する干潟群集、ヤマトシジミは河口に生息する感潮域群集で(松島・前田, 1985)、おおまかにいえば、河口から干潟へと大きく生息環境が変わることになる。そのように両者を大きく区分し、河口域→干潟に変遷すると想定すれば、ヤマトシジミ主体で構成されている貝塚は古い傾向を示すことになる(表 1)。

ここで、縄文時代早期の瀬戸内の貝塚群について、貝種の構成をまとめてみる(図 3)。

各貝塚の貝種組成をみると、岡山県井島大浦・波張崎遺跡・礼田崎貝塚・黒島貝塚(広島県博・倉敷考古館)はヤマトシジミ主体で、黒島貝塚(吉備考古館)・黄島貝塚はハイガイ主体、香川県小島島貝塚では多様な貝種が確認できる。ただし黒島貝塚については、地点によって様相が異なり、上層では貝塚を伴わない(古代吉備編集部, 1971)。

香川県仁尾町小島島貝塚については、他の遺跡群と様相があまりにも異なるため、再検討の余地があると指摘しておきたい。

先の土器と貝種組成の検討から、礼田崎貝塚から黄島、黒島貝塚という前後関係が考えられ、ヤマトシジミ(古)→ハイガイ(新)という時間的推移が認められる。このことは、汽水域から干潟へ変遷したことを示している可能性が高い。

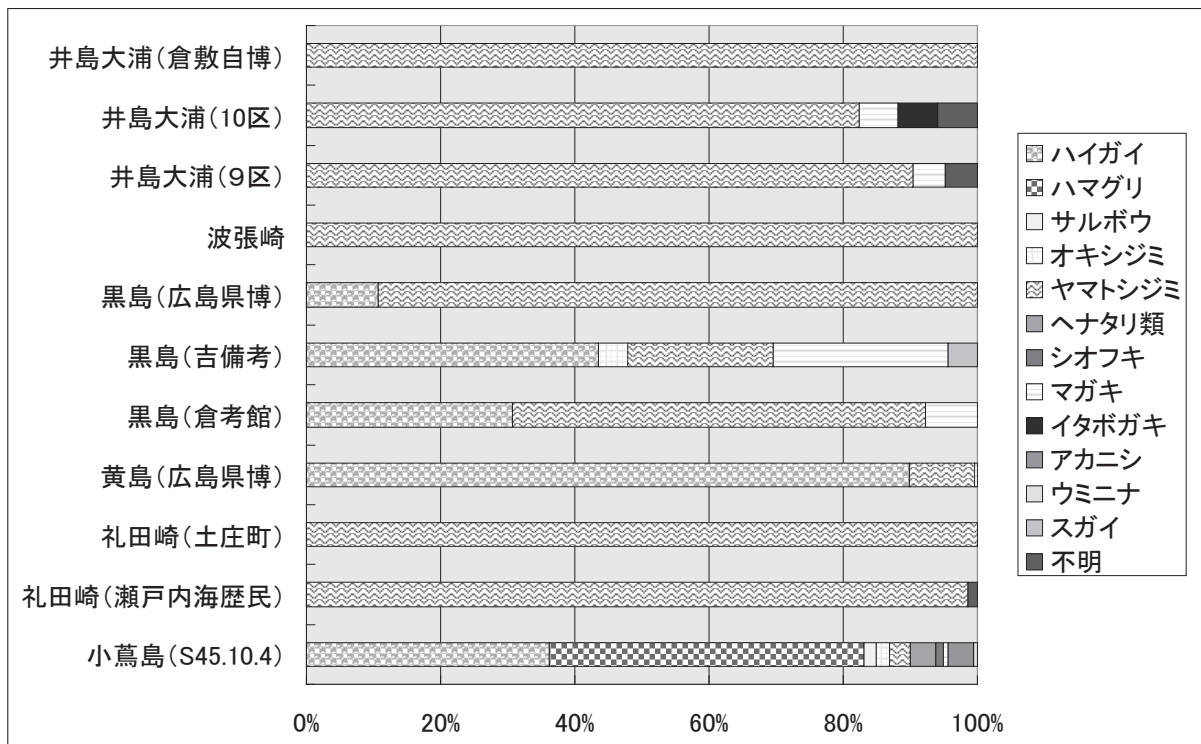


図 3. 瀬戸内海における縄文時代早期貝塚の貝類組成.

Fig. 3. Species in shell mounds of the Early Jomon period in the Seto-Inland Sea.

年代測定：ここでは筆者らが測定報告を行なっている黒島貝塚（遠部ほか，2005）と、年代測定を新たに実施した黄島貝塚（遠部ほか，2003，邑久町）の年代測定値，及び礼田崎貝塚（遠部，2006）の各遺跡の炭素 14 年代データを比較する。

年代測定結果を表 2 に示す。いわゆる慣用 ^{14}C 年代（炭素年代）では 8470~8855BP という年代を示しており、後述する海洋に由来する炭素の影響を考慮しても、これは通常考えられている縄文時代早期の年代幅と矛盾しない。当地域における縄文時代早期の絶対年代に関する詳細な議論は報告されていないが、早期の年代測定の結果を集めた研究（坂田，1982；谷口，2002；小林，2006；2007）によれば、縄文時代早期は概ね紀元前 9500 年から紀元前 5000 年ごろと推定されており、今回の測定結果はこれと矛盾しない。

これらの慣用 ^{14}C 年代は黄島貝塚出土ハイガイで得られた $8400\pm 350\text{BP}$ (Crane and Griffin, 1958) という結果とも近似する。しかし、表 2 に示した結果は「慣用 ^{14}C 年代」であり、Crane and Griffin (1958) が報告した ^{14}C 年代測定初期の年代算出法とは異なる点には注意が必要である。慣用 ^{14}C 年代は 1950 年を起点としており、年代の計算に用いる半減期はより正確な 5730 年ではなく、リビーによって報告された 5568 年という半減期を用いて計算することになっている。また、同位体分別による ^{14}C 濃度のばらつきを炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$ 値) を用いて補正する必要がある (Stuiver and Polach, 1977)。一方、Crane and Griffin (1958) の黄島出土ハイガイの年代は、半減期については同じ値を用いているが、 $\delta^{13}\text{C}$ 値による同位体分別の補正が行われていないため、表 1 の慣用 ^{14}C 年代とは単純に比較することはできない。これまでに黄島貝塚では $8400\pm 350\text{BP}$ ($8085\text{--}6345\text{calBC}$) という測定値があるが (Crane and Griffin, 1958)、誤差も大きいため、詳細な議論は困難である。

黄島貝塚出土ハイガイの年代と今回の分析結果について、相対的な前後関係を推定するために、ほぼ同じ環境で生息していたと考えられるハイガイについて、比較した。黄島貝塚では利根川試料が $8740\pm 70\text{BP}$ 、 $8810\pm 60\text{BP}$ 、 $8850\pm 65\text{BP}$ 、邑久町（現瀬戸内市）提供試料が $8750\pm 65\text{BP}$ 、 $8690\pm 60\text{BP}$ である。これに対し、黒島貝塚では $8490\pm 65\text{BP}$ 、 $8760\pm 65\text{BP}$ であり、両貝塚では概ね 8700BP と 8500BP 付近に測定値がまとまる。したがって、両貝塚はほぼ同時期に形成されたと考えられる。ただし、上述のように海洋リザーバー効果の影響をうけているため、これら

の値は実際の年代からずれており、相対的な関係を示している点には注意が必要である。

さらに「海洋リザーバー効果」には大きな地域差があり、本来ならばそれも補正值に加えねばならない。しかし、日本列島沿岸での海洋リザーバー効果の正確な見積りは未だ予備的な段階にあり、特に瀬戸内海での地域差についてはデータ報告されていない (Yoneda et al., 2000)。そこで本研究では、瀬戸内海における ^{14}C 濃度が海洋の平均とほぼ等しいと仮定して ^{14}C 年代の暦年較正を試みる。

海水性であるハイガイの ^{14}C 年代について、海洋試料用のデータ (Marine98; Stuiver et al., 1998a) を用いて較正 ^{14}C 年代を推定した。上述のように地域や年代による変動は考慮していない。また、汽水性のヤマトシジミについては、海洋リザーバー効果の影響が現時点では推定困難であるので、それを 100% と仮定した場合 (仮に R-corrected date と呼ぶ) と 0% とした場合 (R-uncorrected date) を比較した。海洋リザーバーを考慮しない資料については、Intcal98 のデータを用いて暦年較正している (Stuiver et al., 1998b)。

図 4 に黄島貝塚、黒島貝塚、礼田崎貝塚の貝殻試料について推定された暦年代を示す。

黒島貝塚では、ハイガイを 2 点測定しており、 $7815\text{--}7405\text{calBC}$ 、 $7475\text{--}7070\text{calBC}$ の間に較正年代は位置する (95.4%)。黄島貝塚では、利根川掲載試料は、 $7780\text{--}7355\text{calBC}$ 、 $7870\text{--}7475\text{calBC}$ 、 $7935\text{--}7510\text{calBC}$ と概ね $7900\text{--}7800\text{calBC}$ 以降に暦年較正值データはまとまる。ハイガイの出現時期は、海水の本格的な流入を示しており、その出現が黒島・黄島貝塚とも $7800\text{--}7700\text{calBC}$ にまとまる。

そして、黒島貝塚の Terra-052404c08 を評価すれば、 7500calBC を境として、大きく 2 つの年代値にまとまる。ないしは、徐々に推移していることが読み取れる。このことは、ハイガイ層はヤマトシジミ層よりも時間幅が長いことを示しているのかもしれない。いずれにせよ、黄島貝塚・黒島貝塚のハイガイ主体層も複数の時期を含んでいる可能性が示唆され、興味深い。

一方、ヤマトシジミでは、海洋リザーバー効果をほとんど受けてないと仮定した場合、黄島・黒島貝塚試料ともほぼ $7500\text{--}7000\text{calBC}$ の年代を示し、ハイガイ試料よりも若干古い年代となる。しかし、100% 海洋リザーバーの影響を受けていると仮定すると、較正 ^{14}C 年代は $7700\text{--}7400\text{calBC}$ となり、ハイガイ資料と近似する。

表 2. 瀬戸内海における遺跡出土貝類の年代測定データ。

Table 2. Shell age and calibrated age for excavations in the Inland Sea.

sample name	Lab-code		14C (BP)	1 sigma	INTCAL	MARINECAL
黄島 (利根川 24・25)	TERRA-051404a30	ヤマトシジミ	8580	65	7745-7515calBC	7555-7175calBC
黄島 (利根川 24・25)	TERRA-051404a33	ハイガイ	8740	70		7780-7355calBC
黄島 (利根川 24・25)	TERRA-051404a34	ハイガイ	8810	60		7870-7475calBC
黄島 (利根川 24・25)	TERRA-051404a35	ハイガイ	8850	65		7935-7510calBC
黄島 (邑久町)	TERRA-051404a36	ハイガイ	8750	65		7785-7375calBC
黄島 (邑久町)	TERRA-051404a37	ハイガイ	8690	60		7675-7320calBC
黄島 (邑久町)	TERRA-051404a38	ヤマトシジミ	8550	55	7705-7510calBC	7525-7160calBC
黄島 (邑久町)	TERRA-051404a39	ヤマトシジミ	8470	55	7595-7380calBC	7450-7065calBC
黒島 (広島県立博物館)	TERRA-052404c08	ハイガイ	8490	65		7475-7070calBC
黒島 (広島県立博物館)	TERRA-052404c09	ハイガイ	8760	65		7815-7405calBC
黒島 (広島県立博物館)	TERRA-052404c10	ヤマトシジミ	8460	65	7595-7355calBC	7455-7050calBC
黒島 (広島県立博物館)	TERRA-052404c13	ヤマトシジミ	8500	65	7630-7370calBC	7480-7075calBC
礼田崎 (土庄町)	MTC-7415	ヤマトシジミ	8875	40	8225-7835calBC	7915-7555calBC
礼田崎 (土庄町)	MTC-7416	ヤマトシジミ	8820	40	8200-7745calBC	7830-7500calBC
礼田崎 (土庄町)	MTC-7417	ヤマトシジミ	8855	40	8215-7795calBC	7890-7535calBC

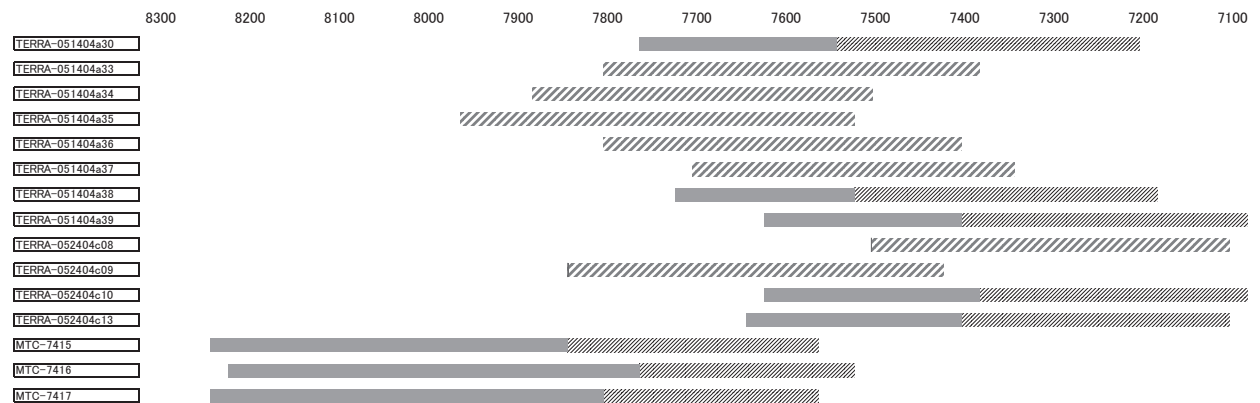


図 4. 瀬戸内海における縄文時代早期貝塚の貝類の較正年代。

Fig. 4. Shell ^{14}C dates and calibrated ages for shell mounds of the Early Jomon period in the Seto-Inland Sea.

つまり、礼田崎貝塚のヤマトシジミは海洋リザーバー効果を受けておらず、その実年代は Intcal04 で暦年較正を行ったものに近似すると想定される。その結果、礼田崎貝塚は 8400–7800calBC 頃に位置づけられ、当時その周辺では海水流入が起こっていたことを示している可能性が高い。つまり、瀬戸内海におけるヤマトシジミ貝塚の出現は 8400–7800calBC であると推定される (図 4)。また、この図はかりにハイガイの出現を 7935BP まで遡ったとしても、礼田崎貝塚のヤマトシジミの方が相対的に古相であることを示している。

現時点では海進期の瀬戸内海における海洋リザーバー効果の詳細が明らかになっていないため、場合によっては数百年の変動が生じる可能性は否定できない。今後、遺跡から出土した陸上哺乳類の骨資料や木炭などを分析し、さらに核実験の影響を受けていない年代既知の貝殻資料に基づいて瀬戸内海におけるリザーバー効果を検討することが必要である。

また、汽水性のヤマトシジミについては、海洋リザーバーの影響とあわせて河川水の無機炭素における硬水効果 (炭酸塩鉱物に由来する ^{14}C が少ない炭素の影響) を考慮する必要がある。汽水域におけるリザーバー効果の推定には、安定同位体や微量金属などから、塩分濃度を検討する必要もある。以上の攪乱要因のため、ここで報告した年代値はあくまで予備的な推定結果として報告しておきたい。

今回分析した試料については、礼田崎貝塚以外は、詳細な出土位置や層序関係が明らかでないが、これらの炭素年代測定結果は、下層でヤマトシジミが主体をなし上層はそれにハイガイ・カキなどが混じる (近藤, 1985) という海進期の堆積状態と矛盾しない。もしもこれらの年代が黄島貝塚、黒島貝塚の上層と下層の形成年代を示すのであれば、その差は数百年以内と見積もることが可能である。

4. ま と め

以上の結果を踏まえ、まとめを行なう。本稿で検討した縄文時代早期の貝塚群は、押型文土器段階に帰属する。この押型文土器は、列島の広域に展開する土器群で、概ね 9500-8000BP 頃に存続したと考えられる。

これまで瀬戸内地域では、押型文土器の土器付着炭化物の年代測定は行なわれていないが、近畿地方福井県鳥浜貝塚の山形文期の土器付着物の年代測定値は、8900±40BP である(小林編, 2007)。また、山形文期に属し、礼田崎貝塚とほぼ同じ頃の土器群と考えられる高知県香美市刈谷我野遺跡の山形文土器期(第IV層)では、8895±40BP (8240-7880calBC : 95.4%)、8860±25BP (8205-7840calBC : 95.4%) の年代値が得られており(国立歴史民俗博物館・年代測定研究グループ, 2007)、礼田崎貝塚はそのような段階と想定される。

現在、刈谷我野遺跡に代表されるような山形文段階を黄島式土器より先行する段階として、中・四国地方においても設定し、今後の研究を進めていくという方向性が示されている(遠部, 2006; 熊谷, 2006)。そうした状況下において、礼田崎貝塚の意義は高く、以下3点に、その概要をまとめられる。

- ① 土器編年の上で、これまで貝塚出現期と考えられていた黄島貝塚より先行すると考えられること
- ② 貝類の組成が瀬戸内海でも、ヤマトシジミ→ハイガイと推移する可能性が高く、礼田崎貝塚はヤマトシジミのみで構成されており、古く位置づけられること。
- ③ AMS 年代測定の結果、黄島貝塚や黒島貝塚より、礼田崎貝塚の年代値が古いことを示す。

繰り返しになるが、これまで黄島貝塚や黒島貝塚が、瀬戸内海における出現期貝塚と考えられてきた。しかしながら、以上の3つの事実から、礼田崎貝塚は、それらに先立つ瀬戸内海における最古段階の貝塚として、位置づけることが可能である。そして、礼田崎貝塚を基点とすることで、ヤマトシジミ貝塚→黄島・黒島下層(ヤマトシジミ主体)→黄島・黒島上層(ハイガイ主体)と変化する可能性が高いことは図4からも明らかである。

この礼田崎貝塚の位置付けが確定したことで、瀬戸内海における貝塚文化の成立期についての、重要な一段階が設定されたと考えたい。その結果、ヤマ

トシジミ貝塚の出現期と急激な縄文海進期は、少なく見積もっても、土器型式にして1型式、実年代では100年以上の時間差をもつことが明らかになった。それは、礼田崎貝塚のヤマトシジミの暦年較正値が8200-7800calBCにまとまり、黒島・黄島貝塚のハイガイの測定値が7800-7700calBCにまとまることから指摘できる。現段階では、牛窓地域の海水流入期は、7800-7700calBCである可能性が高いと指摘しておきたい。

なお、実際の貝の採取場所を、特定することは困難であるが、松島らの研究によれば(松島, 1984)、せいぜい数km以内と想定されており、本島を基点として数km以内に海水が迫ってきていたとの想定は可能である。今後も、瀬戸内海の家進期の年代学的研究を行い、考古学的な視点から海進に伴う環境変遷を読み解いていきたい。

謝 辞

本研究は、平成16-20年度科学研究費補助金(学術創成研究)「弥生農耕の起源と東アジア炭素年代測定による高精度編年体系の構築-」(研究代表 西本豊弘 課題番号16GS0118)、「瀬戸内地域における縄文時代早期貝塚の年代学的研究」(平成18年度科学研究費奨励研究課題番号18904003)、「西日本における縄文海進期の基礎的研究」(パレオラボ第1期 若手研究者を支援する研究助成)、平成18年度福武財団瀬戸内海研究助成「AMS年代測定を利用した豊島の考古学的研究」の成果の一部である。作成にあたり、試料の提供をうけた各機関、さらに学術創成研究グループ、岡山理科大学考古学研究室、倉敷考古館、瀬戸内市教育委員会、瀬戸内海歴史民俗資料館、豊島学会の諸先生、広島県立歴史博物館諸氏にはお世話になった。

(注1) 各機関の保管資料を集計。黒島貝塚については報告しており(遠部ほか, 2005; 2007)、個別報告は別途用意している。

引 用 文 献

- Crane, H. R. and Griffin, J. B. (1958). University of Michigan Radiocarbon Dates III. Science, 128: 1117-1123.
- 江坂輝弥(1954)海岸線の進退から見た日本の新石器時代. 科学朝日, 14: 75-80.

- 井関弘太郎(1957)縄文早期ごろの海面とその相対的变化. 名古屋大学文学部研究論集, XVII 史学, 6: 145-163.
- 井関弘太郎(1978)日本における海水準変動研究の展望, 地理学評論, 51-2: 188-196.
- 河瀬正利(1998)瀬戸内海北岸部の縄文低地性遺跡と海水準変化, 列島の考古学-渡辺誠先生還暦記念論集-(渡辺誠先生還暦記念論集刊行会編): 595-602.
- 熊谷博志(2006)智頭枕田遺跡の編年的位置付け-黄島式の成立過程について-. 第17回中四国縄文研究会発表要旨集 早期研究の現状と課題-前葉を中心に: 18-50.
- 小林謙一(2006)AMS¹⁴C年代測定による縄紋時代草創期・早期の年代研究, 九州縄文時代早期研究ノート, 4: 10-14.
- 小林謙一(2007)AMS炭素14年代測定を利用した東日本縄紋時代前半期の実年代の研究 平成17年~18年度科学研究費補助金基盤研究(C)(1)研究成果報告書(課題番号:17520529), 国立歴史民俗博物館.
- 国立歴史民俗博物館・年代測定研究グループ(2007)第四章 高知県香美市刈谷我野遺跡の炭素14年代測定, 香美市文化財調査報告書第1輯 刈谷我野遺跡II-個人住宅建設に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書-: 101-105.
- 近藤義郎(1986)黒島貝塚. 岡山県史 第18巻 考古資料: 28-29.
- 直良信夫(付記春成秀爾)(1999)日本新石器時代貝塚産貝類の研究-カワニナ類・タニシ類・キイロカノコ-, 動物考古学, 12: 87-113.
- 松島義章(1984)日本列島における後氷期の浅海性貝類群集-特に環境変化に伴うその時間-, 神奈川県立博物館研究報告(自然科学), 15: 37-109.
- 遠部 慎(2003)黄島貝塚再考, 立命館大学考古学論集, III: 15-30.
- 遠部 慎(2006)瀬戸内地域における縄文時代早期の諸問題-高知県香美市刈谷我野遺跡を中心に-, 第17回中四国縄文研究会発表要旨集早期研究の現状と課題-前葉を中心に: 93-104.
- 遠部 慎・角縁 進・加藤久雄・山内基樹・米田 穰(2005)広島県立歴史文化博物館所蔵資料紹介: 岡山県瀬戸内市黒島貝塚, 広島県立歴史文化博物館紀要, 8: 1-15.
- 遠部 慎・加藤久雄・角縁 進(2007)瀬戸内海における縄文海進期の基礎的検討-吉備考古館収蔵岡山県瀬戸内市黒島貝塚の資料-, 縄文時代, 18: 205-228.
- 遠部 慎・吉野真如・阿部常樹(2003)黄島貝塚採集資料の紹介-2001年12月採集資料及び室田禮治氏採集資料の紹介-, 利根川, 24・25: 314-325.
- 坂田邦洋(1982).九州地方縄文土器の¹⁴C年代. 別府大学紀要23(「研究室報告2」1989: 99-114).
- Stuiver, M. and Polach, H. A (1977). Discussion: Reporting of ¹⁴C Data. Radiocarbon, 19: 355-363.
- Stuiver, M., Pearson G. W. and Braziunas T. (1986). Radiocarbon age calibration of marine samples back to 9000 cal yr BP. Radiocarbon, 28: 980-1021.
- Stuiver, M., Reimer P. J., and Braziunas T. F. (1998a). High-precision radiocarbon age calibration for terrestrial and marine samples. Radiocarbon, 40: 1127-1151.
- Stuiver, M., P.J. Reimer, E. Bard, J.W. Beck, G.S. Burr, K.A. Hughen, B. Kromer, G. McCormac, J. Van der Plicht, and M. Spurk (1998b). INTCAL98 radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. Radiocarbon, 40: 1041-1083.
- 高橋 護(1990)序, 鎌木義昌先生古希記念論集考古学と科学: p.1
- 谷口康弘(2002)縄文早期のはじまる頃, 異貌, 20: 2-36
- Yoneda, M., Kitagawa, H., Plicht J.V.D, Uchida, M., Tanaka, A., Uehiro, T., Shibata, Y., Morita, M., and Ohno, T. (2000). Pre-bomb marine reservoir ages in the western north Pacific: Preliminary result on Kyoto University collection. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 172: 377-381.

【図の出典】

第1図は江坂1973を参考に筆者作成. 他の図表は筆者作成.

宍道湖におけるコノシロの大量斃死と 貧酸素水塊との関連性について

美見昭光¹

Correlation of massive die-off events of *Konosirus punctatus* with low oxygen levels in Lake Shinji

Terumitus Miimi¹

Abstract: Since 1996 massive die-off events of *Konosirus punctatus*, Gizzard shad, have occurred in June, during the final stage of their spawning period in Lake Shinji, the uppermost part of a brackish lake system. This phenomenon occurred every year from 1996 through 2004, with the exception of 2003. The maximum number of dead fish was 250,000 in 2000.

In order to understand whether the poor oxygen water in the lower layers of the water of Lake Shinji was associated with these fish-kills, the writer analyzed dissolved oxygen (DO) content of deep lake water around the time when the dead fish were gathered. The results were as follows; first, in seven cases out of eight, each year's collection of dead fish began from two to six days after oxygen-poor water was documented in Lake Shinji of the lower layers. Second, the correlation coefficient between the total hours of oxygen-poor conditions leading up to and during the fish-kill event and the total number of the dead fish gathered was 0.74.

These results suggest that oxygen-poor conditions in Lake Shinji of the lower layers was causally associated with the dying off of Gizzard fish. However, this conclusion remains tentative until proof has been obtained that gizzard fish were affected by exposure to oxygen-poor water during their spawning period.

はじめに

島根県に位置する斐伊川水系の水は、宍道湖 (79.1km²) と中海 (86.2km²) という 2 つの汽水湖を経て日本海に流入している。

1996 年以來ほぼ 10 年間、宍道湖では殆ど毎年 5 月下旬から 7 月はじめにかけて、コノシロの大量斃死が発生している。この間に回収されたコノシロの斃死個体数は、多い年には 25 万尾強に達している。

魚類の大量斃死には、風によって表層水が風下に吹き寄せられる時、逆方向の浅場に貧酸素水塊が湧昇する「アオ潮」とか「スミ潮」と呼ばれている現象が関与することがある (石飛, 2001)。これは宍道湖でも発生している。しかし、コノシロが大量斃死する

時期には、そのような現象が発生していたという報告は見られない。

また、宍道湖の下層・底層における貧酸素水塊の形成は、5 月から 7 月に限らず、冬場でさえ起こることがあるが、上記の「アオ潮」や 5 月から 7 月以外の時期にコノシロの大量斃死は報告されていない。コノシロは敏捷で貧酸素水塊を避けて遊泳できる魚でもあり、貧酸素水塊が 5 月から 7 月の大量斃死に関わっているとは、普通には考えにくい。

しかしながら、筆者は宍道湖の溶存酸素 (dissolved oxygen 以後 DO と略す) の観測値を調べていた過程で、宍道湖下層の貧酸素水塊が産卵期のコノシロの大量斃死に関与しているのではないかと疑問を抱いた。

¹ 島根県安来市広瀬町下山佐 108-23 Hirose-cho 108-23, Yasugi-si 692-0412, Japan

さらに、1996年以後美保湾で、コノシロの生息量の増加が見られ、境水道・中海・大橋川を経て宍道湖にもコノシロが大量に遡上するようになった事がコノシロの大量斃死の背景にあるとされている(石田・大北, 2003)。しかし大量斃死の直接の原因はまだ明かにされていない。そこで、本研究では宍道湖でのコノシロの大量斃死に、貧酸素水塊が関与していた可能性の有無について考察する事とした。

観測データの収集と解析方法

(1) 観測データの収集

1) 宍道湖湖心には国土交通省所管の水質観測所(北緯 35° 26' 50", 東経 132° 57' 46")があり、時間毎に水温・塩分・pH・DO量を下記5段階の水深で自動観測している。

観測水深： 標準水面 TP+0.2 m
 表層……水深 0.5 m=TP-0.3 m
 上層……水深 1.0 m=TP-0.8 m
 中層……水深 3.0 m=TP-2.8 m
 下層……湖底上 0.6 m=TP-4.76 m
 底層……湖底上 0.3 m=TP-5.06 m

コノシロが大量に斃死する現象について宍道湖に発生する貧酸素水塊が関与しているかどうかを考えると、宍道湖で問題になるのは中海からの高塩分水塊の流入によって塩分躍層が形成され、貧酸素化するのは下層・底層である。その際 10万尾以上という大規模な斃死に対して底層の貧酸素水塊では量が少な過ぎて対応しきれないと思われる。一方、地図をもとに計算した結果、水深 5 m での断面積は湖面の面積の 46% に達しており、広がり大きさからすれば大量斃死への関与を可能にすることもありえる。そのため、本研究では湖心の水質観測所における下層の DO 量だけを使用させていただいた。また下層で観測された DO 量が貧酸素状態の値を示す時は下層の観測点付近に塩分躍層があり、それ以深の水域はほぼ貧酸素水塊で充たされている。

なおここでは貧酸素状態とは、ベントスの生命が危うくなる DO3 mg/l 未満(柳, 1989)と定義する。

2) コノシロの斃死データ

宍道湖でのコノシロの大量斃死時のデータは、国土交通省出雲河川事務所及び宍道湖漁業協同組合から提供して頂き、1996年から2004年の9年間について毎年、①コノシロの斃死個体の発見月日、②コノシロの斃死個体回収期間、③斃死個体の回収尾数

という3要素を資料として使用した。

3) 解析方法

宍道湖下層の貧酸素水塊とコノシロの大量斃死との関連について、3つの側面から解析を行った。

その1つは、水中で死んだ魚は何日か経って腐蝕して浮上し、また何日か経って沈降する。この特徴的な動きに貧酸素水塊の関与が認められるかどうかを資料やデータから考察した。次にコノシロの年間の斃死個体数と斃死期間の貧酸素状態の総時間数の相関係数を算出し、これを基に貧酸素水塊の大量斃死への関与を考察した。相関係数を求めるために用いたのは2変数間の相関関係を表す指標としてよく用いられる次式で、ピアソンの積率相関係数である。

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2\}^{1/2}} \quad \dots\dots (1)$$

さらに、DOの量の違いと斃死個体数に関連性は見られないかを検討した。

結果と考察

(1) 大量斃死の実態と斃死個体回収前後の宍道湖下層の貧酸素水塊発生状況の対応

大量斃死の実態と斃死個体回収前後の宍道湖下層の貧酸素水塊発生状況の対応について表1にまとめた。

1) 宍道湖におけるコノシロの大量斃死が起こる時期
 コノシロの斃死個体回収の期間は年によって異なる(表1)。1996年から2004年までを通じて、一番早い始まりは5月22日、一番遅い終了は7月12日である。これと宍道湖のコノシロが4月から6月にかけて産卵すること(石田・大北, 2003; 石飛ほか, 2005)を合わせ考えると、コノシロの大量斃死は、宍道湖のコノシロの産卵末期と重なっていることになる。このタイミングからコノシロの大量斃死は産卵後の疲弊によるものではないかとも考えられる。しかし、コノシロの大量斃死が見られない年もあることから、これだけが原因であるとは考えにくい。

2) 水中での死魚の浮上と沈降

水中で死亡した魚類は、一旦湖底に沈降してから浮上する。死んでから浮上までの日数は水温によって異なるが、宍道湖のコノシロの場合、死亡から浮

表 1. コノシロ大量斃死の資料と貧酸素水塊の資料の対応。
(観測値は 1 時間持続すると仮定して時間数を算出した)

Table 1. Dead gizzard fish collection numbers and duration of oxygen-poor water conditions.
(Each observation of low oxygen content was counted having lasted for one hour.)

西暦年		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
コノシロの	発見日	5/31	6/9			6/15				
大量斃死個体	回収	6/2~	6/11~	5/22~	6/4~	6/16~	6/28~	6/12~		6/1~
発見日と回収期間	期間	7/1	7/3	6/11	6/24	7/12	7/4	7/1		6/24
国交省回収尾数		160000	210794	9870	170015	225304	2950	16219		75038
宍道湖漁協回収尾数			24000			27000				
総回収尾数		160000	234794	9870	170015	252304	2950	16219	0	75038
斃死個体発見日前から	期間	5/29~	6/5~	5/20~	6/2~	6/9~	6/23~	6/7~		6/7~
回収中の下層の貧酸素化期間と総時間数	総時間	6/15	6/29	5/29	6/17	7/11	6/26	6/24		6/21
下層 DO の低下から斃死発見までの日数		302	310	50	150	359	38	276		132
		2 日	4 日	2 日	2 日	6 日	5 日	5 日		-6

上まで、4月・5月であれば2日~3日、6月であれば1日~2日、また浮上したコノシロが再び沈降するまでの期間は、4月・5月では23日~24日、6月では8日~10日とされている(石田・大北, 2003)。

宍道湖における今回の検討結果では、8例中7例で斃死個体の発見又は回収初日より2日~6日前に宍道湖下層で継続的に貧酸素水塊が発生している(表1)。この日数の差は、下層以深の水域の産卵魚が貧酸素水塊に巻き込まれて大量に死に、浮上して発見されたという状況を示唆している。

また、斃死個体の回収は貧酸素状態解消後3日~16日後まで続いている。これは浮上したコノシロが沈降するまでの日数を考えると、仮に貧酸素水塊でコノシロが斃死して浮上した場合を想定しても起こり得る範囲内のことである。

(2) 相関係数

コノシロの大量斃死と宍道湖下層の貧酸素状態との関連を評価するため、その双方を変数とした相関係数を求めた。宍道湖下層の貧酸素状態を評価するための変数は、斃死個体発見の数日前から斃死個体回収中の貧酸素状態の総時間数とした(表1)。もしコノシロ遊泳水域の貧酸素状態がコノシロに影響を与えるとすれば、この時間数が多いほど影響は大きいと考えられる。一方、斃死個体数については、実数を求めることは不可能であるため、実数を反映している近似値として斃死個体回収数を用いた。計算の結果、相関係数は $r_{xy}=0.74$ であり、2つの変数間に相関性があることを示す値となった。

(3) 溶存酸素量の時系列グラフと斃死個体回収尾数の対応

これまでの議論では宍道湖下層に発生した貧酸素状態の総時間数でその影響力の強弱を考えてきたが、同じ貧酸素状態でも DO 量が 3mg/l から 0mg/l に近いものまで変化している(図1, 2)。斃死個体回収数が10万尾以上に達した1996年、97年、99年、2000年、2002年では0mg/lに近いDO量を示す状態が斃死個体回収期間中に集中して起こっている。これに対して斃死個体回収数が1万尾以下の1998年、2001年ではDO量が2mg/l以下であった時間帯は極めて少ない。また、回収のなかった2003年ではDO2mg/l以下を示した時間数は、この年の6月25日から7月15日の期間で32時間に過ぎなかった。

このような状況は、コノシロの産卵魚の大量斃死に宍道湖下層以深の貧酸素水塊が関与した可能性を示唆している。

ま と め

- 1) 宍道湖下層では5月下旬から7月上旬にかけて貧酸素水塊の形成がしばしば見られる。ほとんどの実例で斃死個体の発見は、貧酸素状態の形成から2日~6日後であり、斃死個体回収中に下層で継続的な貧酸素状態が観測された。
- 2) 斃死個体回収尾数と、回収直前数日及び回収中の貧酸素状態の時間の累計との間の相関係数は、0.74という値であり、かなり高い相関性を示すことが明らかとなった。
- 3) 斃死個体の回収尾数が10万尾以上に達する年は、宍道湖下層のDO量が継続的に0mg/lに近い観測値

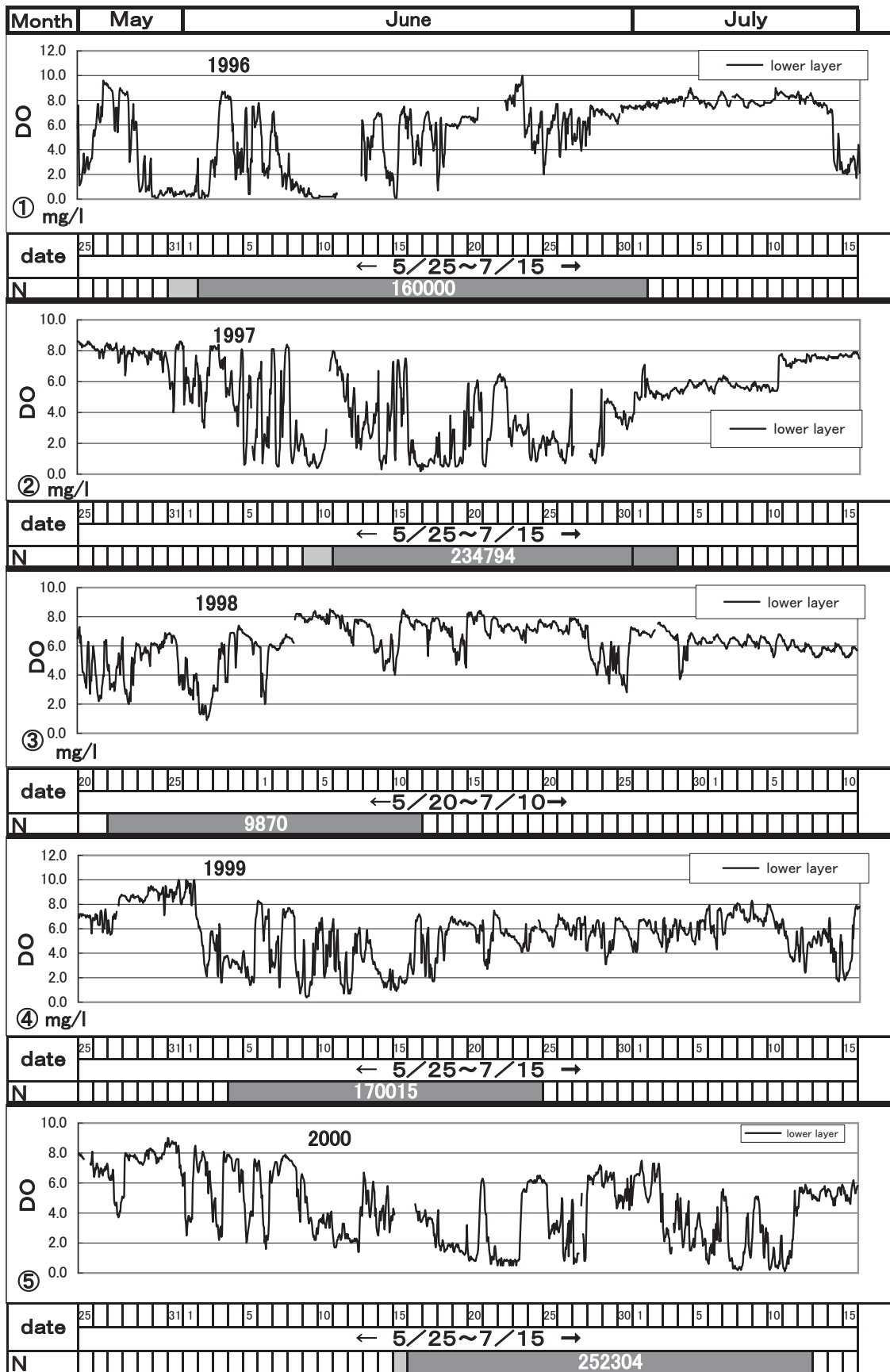


図1. 下層 DO のデータ解析とコノシロ斃死個体回収尾数および発見・回収期間 (1996~2000)
 Fig. 1. Lower layers DO and the number of dead Gizzard fish collected or counted between 1996 and 2000.

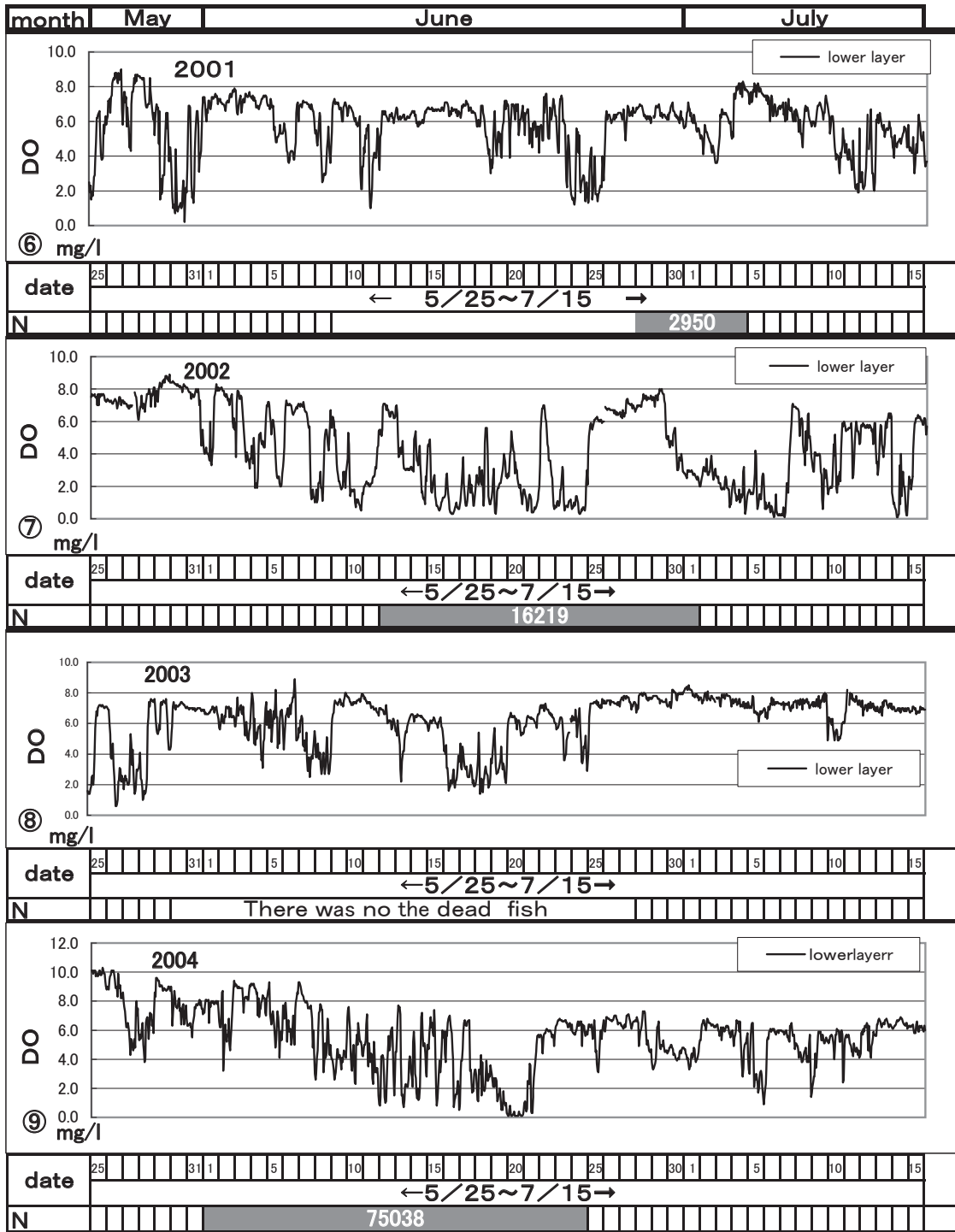


図2. 下層 DO のデータ解析とコノシロ斃死個体回収尾数および発見・回収期間 (2001~2004)
Fig. 2. Lower layers DO and the number of dead Gizzard fish collected or counted between 2001 and 2004
 Explanatory (図1, 図2)

■ The term of finding dead fish ■ The term of gathering dead fish
 N : The numbers of gathering the dead fish.

を示し、逆に1万尾未満の斃死個体回収尾数の年には2mg/l以下のDOは僅かしか観測されなかった。
 4) 以上の3点から、宍道湖下層以下の水域が貧酸素状態になった時には、それがコノシロの産卵魚の大量斃死に関与する可能性があるのではないかと考察

した。しかしながら、大量斃死時のコノシロの生態はまだ明らかにできていないので、現時点ではこの問題に結論を下すことはできない。

謝 辞

国土交通省・出雲河川事務所及び宍道湖漁業協同組合の方には、宍道湖におけるコノシロの大量斃死に関する資料を提供頂き感謝に堪えない。また色々の分野の諸先輩の方々にご助言を頂いて稿を完成し得たことについて深くお礼を申し上げたい。

引 用 文 献

石田健次・大北晋也(2003) 宍道湖・中海におけるコ

ノシロ大量斃死の原因究明. 内水面水産試験場事業報告, 6: 72-75

石飛 裕・平塚純一・桑原弘道・山室真澄・中村由行・森脇晋平(2005) 宍道湖におけるコノシロの成長・成熟と大量斃死. 水産海洋研究, 69(1): 37-44.

石飛 裕(2001) 汽水域の物理特性－水塊の動き－. 高安克己編「汽水域の科学」: 10-18.

柳 哲夫(1989) シンポジウム「貧酸素水塊」沿岸海洋研究ノート 26: 141-145.

資料

宍道湖・中海環境データベースに関する 平成 18 (2006) 年度の進捗報告

都筑良明¹・中山大介²・倉田健悟²・若林健二³・國井秀伸²
(宍道湖・中海環境データベース検討会事務局)

Progress on the prototype Lakes Shinji and Nakaumi environmental database in JFY 2006

Yoshiaki Tsuzuki¹, Daisuke Nakayama², Kengo Kurata²,
Kenji Wakabayashi³ and Hidenobu Kunii²

(Secretariat of the Discussion Group on the Lakes Shinji and Nakaumi Environmental Database)

Abstract: The Lakes Shinji and Nakaumi Environmental Database prototype (Tsuzuki et al., 2006) has been improved based on input from the Discussion Group on Lakes Shinji and Nakaumi Environmental Database, which met in Japanese Fiscal Year (JFY) 2005-06. This meeting included professionals from Shimane University and National and Local Governments. The goal of this discussion group meeting was to recommend future developments and additions to the environmental database. This article summarizes the results of the JFY 2006 Discussion Group meeting and presents recent modifications of the database prototype, some in response to these recommendations. The JFY 2006 additions/modifications include (1) a search function added to the site, (2) rearrangement of national and local government information, especially to include Tottori Prefecture information, (3) a brackish lakes database and a literature database on coastal lagoon environments, (4) atlases published in 1988 and 1992 from Sanin Regional Study Center, Shimane University, the predecessor to the Research Center for Coastal Lagoon Environments, and (5) sediment data of Lakes Shinji and Nakaumi.

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

1 はじめに

昨年度の LAGUNA に報告したように (都筑ほか, 2006), 宍道湖・中海環境データベース研究会, 同検討会での情報提供, 議論に基づき, 平成 17 (2005)

年度の成果として宍道湖・中海環境データベースのプロトタイプを作成, 公開した (一般公開開始は, 平成 18 (2006) 年 9 月). 本稿は, 宍道湖・中海環境データベース検討会での議論に基づく本年度 (平成 18 (2006) 年度) の進捗状況を報告するものである.

¹ 日本学術会議事務局 上席学術調査員, 島根大学汽水域研究センター 協力研究員 Senior Researcher, Science Council of Japan, Roppongi 7-22-34, Minato-ku, Tokyo 106-8555, Japan, Cooperative Researcher, Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, Japan

² 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

³ 鳥取県生活環境部 衛生環境研究所 Aquatic Environment Office, Tottori Pref. Inst. of Public Health and Environmental Science, Minamidani 526-1, Yurihama, Tottori 682-0704, Japan

表 1. 宍道湖・中海環境データベース検討会の平成 17(2005) および 18(2006) 年度の活動

Table 1. Activities of the Discussion Group on the Lakes Shinji and Nakami Environmental Database in JFY 2005 and 2006.

回	年月日 (曜日)	内容
1	2005年10月24日(月)	1 検討会のあり方(目的、参加者の立場、データベース構築の主体、会の権限、予算、作業内容など)について
		2 アンケート調査の内容確認
2	2005年11月28日(月)	1 アンケート調査結果報告
		2 検討会の構成について
		3 検討会および環境データベースの枠組みについて(流域情報、湖内情報、文献情報、関連情報)
		4 検討会(データベース構築)の方向性について
3	2006年2月13日(月)	1 水環境学会年会での発表について
		2 環境データベース構築の方向性について
4	2006年4月17日(月)	1 水環境学会年会での発表についての報告
		2 平成17(2005)年度プロトタイプについて
		3 データベースおよび検討会の今後の方向性について
		4 LAGUNA(汽水域研究)への投稿原稿について
5	2006年6月12日(月)	1 土木学会地球環境シンポジウム、環境科学学会年会での発表について
		2 プロトタイプについて
		3 LAGUNAへの投稿原稿について
6	2006年9月11日(月)	1 土木学会地球環境シンポジウム(パネル展示)、水環境フェア in 松江(パネル展示)、環境科学学会年会(ポスター発表)についての報告
		2 LAGUNAへの投稿原稿について
		3 平成17(2005)年度プロトタイプについて
		4 平成18(2006)年度のデータベース整備について
		5 科学研究費等の申請について
		6 「水質シミュレーションへの生態学的考え方の導入」について
		7 応用生態工学会での発表について
7	2006年11月13日(月)	1 生態工学会(ポスター発表)についての報告
		2 LAGUNAへの投稿原稿についての報告
		3 科学研究費等の申請について
		4 国際シンポジウム(2007年1月、くにびきメッセ)について
		5 平成18(2006)年度のデータベース整備について
8	2007年1月15日(月)	1 国際シンポジウム(2007年1月、くにびきメッセ)の発表要旨について
		2 科学研究費等の申請について
		3 国際シンポジウム(2007年1月、くにびきメッセ)について
		4 「日本長期生態学研究ネットワーク」について
		5 「環日本海環境研究戦略会議」について
		6 平成18(2006)年度のデータベース整備について
		7 今後の目標(共同研究の可能性)について
9	2007年3月6日(火)	1 国際シンポジウム(2007年1月、くにびきメッセ)の発表について
		2 科学研究費等の申請について
		3 平成18(2006)年度のデータベース整備について

本年度の主な進捗点は、(1) サイト内検索機能の追加、(2) 行政および地域の活動に、主に鳥取県についての情報追加、(3) 汽水湖データベース、汽水域文献データベースの追加、(4) 汽水域研究センターの前身と考えられる島根大学山陰地域研究総合センターが発行した2点のアトラスの一部の公開、(5) 宍道湖・中海の底質情報の追加、である。

2 平成 18 (2006) 年度の宍道湖・中海環境データベース検討会

本年度の検討会の活動状況を昨年度の活動状況と併せて表 1 に示す。第 4 回検討会以降の本年度の主な議題は、(1) 昨年度の成果として一般公開したプロトタイプのコンテンツを含む方向性、(2) 学協会やシンポジウム等での研究成果発表および LAGUNA へ

の投稿、(3) 本年度のデータベース整備の内容、(4) データベース整備を進めるための科学研究費等の申請、(5) 日本長期生態学研究ネットワーク(JaLTER)、環日本海環境研究戦略会議などの研究活動、などであった。

昨年度の成果としてのプロトタイプの一般公開を、平成 18 (2006) 年 9 月に開始した (URL: <http://envdb.soc.shimane-u.ac.jp>)。平成 19 (2007) 年 3 月時点での閲覧数は 1,000 件を若干超える程度である。昨年度からの研究会、検討会での情報提供および議論の内容とプロトタイプについて、昨年度末に LAGUNA に投稿し、本年度はその査読に対応しながら検討会への報告を行った。また、プロトタイプの内容などを中心に、土木学会地球環境シンポジウム、水環境フェア in 松江、環境科学学会、応用生態工学会、国際シンポジウムでの成果発表を行った(中

山ほか, 2006 ; 宍道湖・中海環境データベース検討会, 2006a, b, c, 2007).

本年度のデータベースの整備進捗状況の詳細は後述するが、行政および地域の活動の更新に関して、鳥取県についての情報が新たに追加されたのは、本年度の検討会に鳥取県の関係者が多く参加するとともに、鳥取県から受託研究員として1名が配置された成果と考えられる。科学研究費の公開促進費の申請を不採択であった昨年に引き続き行ったが、本年度も不採択であった。より広域の研究活動との関連に関しては、JaLTER、環日本海環境研究戦略会議などのデータベース関連の外部の研究活動の動きもあり、平成 19 年度以降の連携が必要であると考えられる。特に鳥根大学汽水域研究センターが平成 18 (2006) 年 11 月に宍道湖・中海の長期生態学研究のコアサイトとして登録されたことから、今後は JaLTER の提案する Ecological Metadata Language (EML) (詳しくは <http://knb.ecoinformatics.org/software/eml/> を参照のこと) について検討する必要がある。

3 宍道湖・中海環境データベースプロトタイプ of 平成 18 (2006) 年度の進捗

3.1 平成 17 (2005) 年度の成果としての宍道湖・中海環境データベースプロトタイプの概要

昨年度の成果の詳細については、前報 (都筑ほか, 2006) を参照していただきたい。ここでは、その概要を述べる。

湖内情報を先行して整備し、その内容は、(1) 鳥根大学総合理工学部の清家准教授が保有する水質情報、(2) 鳥根大学教育学部の大谷教授が保有するプランクトン情報、(3) 鳥根大学汽水域研究センターの倉田准教授が保有する湖岸情報、とした。文献情報は、生物資源学部の相崎教授が作成・公開している文献リストへのリンクを作成した。宍道湖・中海環境データベース研究会および検討会で整理した流域の他機関の情報として、主に国土交通省出雲河川事務所および鳥根県各機関のサイトへのリンクを作成した。

3.2 平成 18 (2006) 年度の進捗

本年度の主な進捗点は、(1) サイト内検索機能の追加、(2) 行政および地域の活動について主に鳥取県についての情報追加、(3) 汽水湖データベース、汽水域文献データベースの公開、(4) 鳥根大学汽水域

研究センターの前身と考えられる鳥根大学山陰地域研究総合センターが発行した2点のアトラスの一部の公開、(5) 宍道湖・中海の底質情報、である。

サイト内検索機能の追加は、トップページに google の機能を活用して、サイト内検索機能を追加した (図 1)。特に、コンテンツが更に増えた場合に、この機能が有効になると考えられる。

行政および地域の活動については、昨年度のプロトタイプでは国 (国土交通省出雲河川事務所) と鳥根県の関連機関の情報の整理を行い、それぞれの情報にリンクを作成していたが、本年度は鳥取県の関連機関の情報を追加するとともに、MS エクセル[®] のピボットテーブルの機能を活用した各機関の情報の内容についての整理を行った (図 2)。整理の結果、鳥根県、鳥取県の関連情報は同様の情報がインターネットを活用して提供されていること、整理の仕方が両県では若干異なること、が明らかになった。図 2 のような整理を行うことにより、両県と同じ項目の情報へのアクセスが容易になったと考えられる。

汽水湖データベース、汽水域文献データベースは高安前センター長の時代に汽水域研究センターで科学研究費を活用して整理したもので、汽水域研究センターの内部サーバーに保管されていたものである。元のデータベースは File Maker[®] で整理されていたが、広く活用可能とすることを目的に、本データベースでは CSV ファイルによる公開を行った。鳥根大学では、図書館、情報処理総合センターを中心に平成 19 (2007) 年 3 月より鳥根大学学術情報リポジトリの学内公開を行っている。また、図書館のホームページでは蔵書の検索機能が利用可能である。汽水湖データベース、汽水域文献データベースについては、図書館の蔵書検索機能と同様のサイト内検索機能を持たせることや、学術情報リポジトリとの連携についての検討が来年度以降の課題として挙げられる。

汽水域研究センターの前身と考えられる鳥根大学山陰地域研究総合センターが当時の地質学系の教官を中心に発行した2点のアトラスがある (三梨・徳岡編, 1988 ; 徳岡・高安編, 1992)。当時の地質学を中心とする宍道湖・中海およびその流域の情報をまとめたもので、一般公開することが有用であると考えられた。著作権について検討した結果、執筆者、編集者、発行者にそれぞれ著作権があること、著作権の種類については図書として発行することについての著作権、インターネットで公開することについての著作権 (公衆送信権) があること、が明らかにな

宍道湖・中海環境データベース検討会

宍道湖・中海環境データベース

事務局: 島根大学汽水域研究センター内 宍道湖・中海環境データベース担当
〒690-8504 島根県松江市西川津町1060
Email: envdb@soc.shimane-u.ac.jp

検索

サイト内を
Google.comで検索します

宍道湖・中海環境データベースへようこそ

What's NEW:
2007.03.23 島根大学山陰地域研究総合センターが発行した2点のアトラスの一部を公開します。(メニューの「湖内情報」をご覧ください)
2007.03.20 汽水湖データベース、汽水域文献データベースを追加しました。(メニューの「文献情報」からデータベースファイルをダウンロードすることができます)
2007.03.09 行政および地域の活動を追加しました。
2007.03.08 サイト内検索機能を追加しました。トップページ(このページ)の右上にあります。
2007.02.27 メンテナンスのため、一時公開を中止しました。
2006.10.05 公開を再開しました。
2006.10.03 サーバーの不調により一時公開を中止しました。
2006.10.03 ボランティアスタッフ募集のお知らせを追加しました。
2006.09.13 プロトタイプ公開しました。

メニュー

ホーム

コンテンツ

- ・流域情報
- ・湖内情報
- ・文献情報
- ・行政および地域の活動

宍道湖・中海環境データベースについて

宍道湖・中海環境データベース検討会について

お問い合わせ

関連するリンク

あなたは
1人
目のこのページへの訪問者です。
Since Sept. 13, 2006.

このHPは宍道湖・中海環境データベースのプロトタイプ(試作品)を公開し、宍道湖・中海環境データベースについての考え方を一般市民の皆様を含む多くの皆様にご紹介するとともに、今後の方向性についてのご意見をいただくことを目的としています。ご意見などの連絡は、次のメールアドレスまでご連絡ください。
envdb@soc.shimane-u.ac.jp (@は、半角にして送ってください。)

宍道湖・中海環境データベースに含まれるデータを利用する場合には、それぞれのデータの説明がメタデータに記載されていますので、その説明の内容を良く読み、メタデータに書かれている内容(データの提供者に連絡するなど)を守った上で利用するようにしてください。

関連HPから、宍道湖・中海環境データベースへにリンクする場合には、トップページ(<http://envdb.soc.shimane-u.ac.jp/>)にリンクしてください。

平成17(2005)年度前半に島根大学、国、県などの関係者に参加していただき宍道湖・中海環境データベース研究会、引き続き後半に同検討会を開催し、宍道湖・中海流域の環境データベースの望ましい姿についての検討を行ってきました。そこでの議論、情報を元に作成したのが、この宍道湖・中海環境データベースのプロトタイプです。この流域では既に多くの関連機関がそれぞれ環境関連データの提供を行っています。これらの窓口を一元化するクイアリングハブメカニズム(QHM)、カタログサービス(CS)等の仕組みづくりが将来的な課題になると考えられます。また、研究に加えて、行政(専業)、県民向けの種類の目的を考えながら、技術的な進展状況を踏まえたデータベースの望ましい方向性、内容等について検討していくことが望ましいと考えられます。

「ホーム」|「コンテンツ」(流域情報 湖内情報 文献情報 行政および地域の活動)|
「宍道湖・中海環境データベース」について | 宍道湖・中海環境データベース検討会について |
「お問い合わせ」|「関連するリンク」|

<http://envdb.soc.shimane-u.ac.jp/index.html>

2007/03/25

図1. サイト内検索機能

Fig. 1. Searching function in the web site.

り、本年度は一部のページの公開を行い、全編の公開については来年度以降の検討課題とすることとした。

宍道湖・中海の底質情報は、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のこれまでの研究成果から図表を抜粋したもので、Microsoft Power Point で作成したファイルと PDF ファイルによる情報提供を行うこととした。

4 今後の検討課題

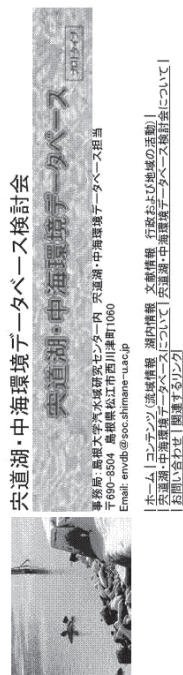
既述の内容を中心に、今後の検討課題を整理して

おく。

まず初めに、前述のように島根大学学術情報リポジトリの学内公開が始まったことから、宍道湖・中海環境データベースの位置付けについて、本データベースは学外も含めた一般公開という性格の違いはあるものの協力関係などについての検討が必要となると考えられる。

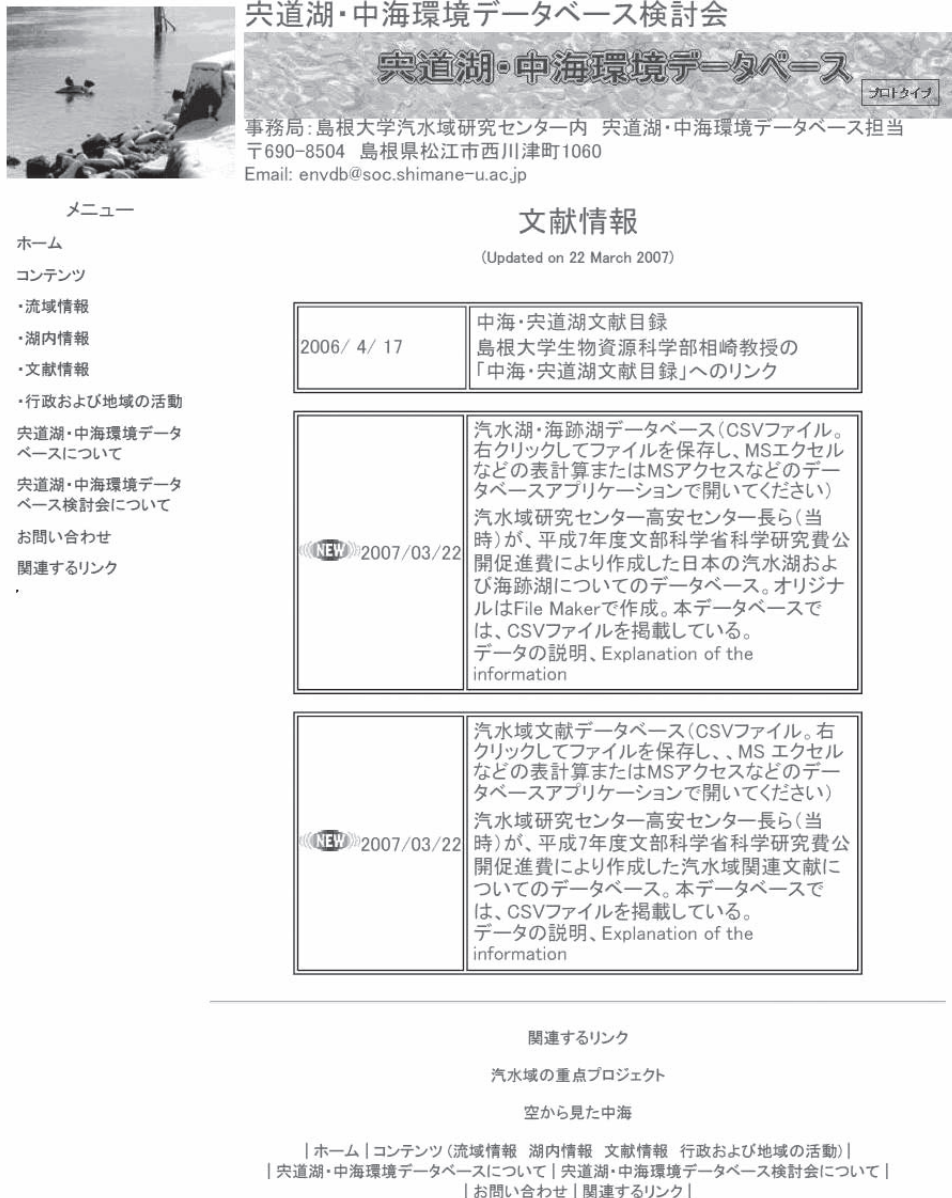
次に、汽水湖データベース、汽水域文献データベースを中心に、図書館の蔵書検索機能と同様のサイト内検索機能を持たせることについても今後の課題として挙げられるであろう。

さらに、アトラスのような既発行の図書につい



大分類 (すべて)	地域	データ名	鳥取県	島根県	海城	大瀬川	総計
小分類	宍道湖・中海	宍道湖・中海全体	鳥取県	島根県			
	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境
中分類	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境
	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境	鳥取県環境
気象	気象	気象	1	1			2
	気象	気象	1	1			2
漁業	漁業	漁業	1	1			2
	漁業	漁業	1	1			2
行政活動	行政活動	行政活動	1	1			2
	行政活動	行政活動	1	1			2
観光	観光	観光	1	1			2
	観光	観光	1	1			2
人口	人口	人口	1	1			2
	人口	人口	1	1			2
水質	水質	水質	1	1			2
	水質	水質	1	1			2
生物	生物	生物	1	1			2
	生物	生物	1	1			2
大気	大気	大気	1	1			2
	大気	大気	1	1			2
地質	地質	地質	1	1			2
	地質	地質	1	1			2
農業	農業	農業	1	1			2
	農業	農業	1	1			2
林業	林業	林業	1	1			2
	林業	林業	1	1			2
産業	産業	産業	1	1			2
	産業	産業	1	1			2
統計	統計	統計	1	1			2
	統計	統計	1	1			2

図 2. 行政および地域の活動の新バージョン (鳥取県の情報を新規に追加した)
 Fig. 2. New version of regional information dissemination, including added information on Tottori Prefecture.



宍道湖・中海環境データベース検討会

宍道湖・中海環境データベース

事務局: 島根大学汽水域研究センター内 宍道湖・中海環境データベース担当
〒690-8504 島根県松江市西川津町1060
Email: envdb@soc.shimane-u.ac.jp

メニュー

- ホーム
- コンテンツ
 - ・流域情報
 - ・湖内情報
 - ・文献情報
 - ・行政および地域の活動
- 宍道湖・中海環境データベースについて
- 宍道湖・中海環境データベース検討会について
- お問い合わせ
- 関連するリンク

文献情報
(Updated on 22 March 2007)

2006/ 4/ 17	中海・宍道湖文献目録 島根大学生物資源科学部相崎教授の「中海・宍道湖文献目録」へのリンク
NEW 2007/03/22	汽水湖・海潟湖データベース(CSVファイル。右クリックしてファイルを保存し、MSエクセルなどの表計算またはMSアクセスなどのデータベースアプリケーションで開いてください) 汽水域研究センター高安センター長ら(当時)が、平成7年度文部科学省科学研究費公開促進費により作成した日本の汽水湖および海潟湖についてのデータベース。オリジナルはFile Makerで作成。本データベースでは、CSVファイルを掲載している。 データの説明、Explanation of the information
NEW 2007/03/22	汽水域文献データベース(CSVファイル。右クリックしてファイルを保存し、MSエクセルなどの表計算またはMSアクセスなどのデータベースアプリケーションで開いてください) 汽水域研究センター高安センター長ら(当時)が、平成7年度文部科学省科学研究費公開促進費により作成した汽水域関連文献についてのデータベース。本データベースでは、CSVファイルを掲載している。 データの説明、Explanation of the information

関連するリンク

汽水域の重点プロジェクト

空から見た中海

ホーム	コンテンツ (流域情報 湖内情報 文献情報 行政および地域の活動)
宍道湖・中海環境データベースについて	宍道湖・中海環境データベース検討会について
お問い合わせ	関連するリンク

図3. 汽水湖・海潟湖データベースおよび汽水域文献データベース
Fig. 3. Database of brackish lakes and database of publications on coastal lagoon environments.

て、その内容をインターネットで公開する場合の著作権関連事項について、検討会での整理、検討が必要と思われる。

最後に、昨年度から課題として挙げられているコンテンツの一層の充実が望まれるであろう。コンテンツを充実させるためには、Web-GIS機能を含むデータベースサイトとしての機能の追加が必要になると考えられる。機能の追加については、島根県中山間地域研究センター、島根大学附属図書館の担当者との連携が望まれる。

謝 辞

平成18(2006)年度の宍道湖・中海環境データベース検討会のメンバーは次の方々であった(50音順、敬称略、所属は平成19年3月末現在)。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)、小倉章生(鳥取県西部総合事務所生活環境局)、狩野好宏(島根県保健環境科学研究所)、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)、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



図 4. 汽水域研究センターの前身と考えられる山陰地域研究総合センター発行の 2 点のアトラス

Fig. 4. Atlases published by the Sanin Regional Study Center, Shimane University, which was the predecessor to the Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University.

部), 高安克己 (鳥根大学), 武田育郎 (鳥根大学生物資源科学部), 田中卓実 (鳥取県生活環境部), 田中伸和 (鳥根県水産技術センター内水面浅海部), 南條吉之 (鳥取県衛生環境研究所), 野村律夫 (鳥根大学教育学部), 藤原真一 (国土交通省出雲河川事務所), 藤山浩 (鳥根県中山間地域研究センター), 程木義邦 (鳥根大学汽水域研究センター), 三木文貴 (鳥取県西部総合事務所生活環境局), 三島幸司 (鳥根県環境生活部), 安木茂 (鳥根県水産技術センター内水面浅海部), 湯浅丈司 (国土交通省出雲河川事務所). 本研究の一部は, 鳥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の一環として行われた. ホームページ整備は, 鳥根大学総合理工学研究科博士前期課程 2 年生 (当時) 野々原伸吾さん, 総合理工学部 4 年生 (当時) 山本周一郎さんにお手伝いいただいた. ここに記して謝意を表す.

参考文献・資料

三梨昂・徳岡隆夫編 (1988) 中海・宍道湖 地形・底質・自然史アトラス. 鳥根大学山陰地域研究総合センター, 115 pp.

中山大介・藤山浩・作野広和・山口啓子・都筑良明・倉田健悟・相崎守弘・國井秀伸 (2006) Web-GIS 利用による宍道湖・中海集水域の生態系保全活動. 応用生態工学会第 10 回研究発表会講演集, 237-238.

宍道湖・中海環境データベース検討会 (事務局: 都筑良明, 中山大介, 倉田健悟, 國井秀伸) (2006a) 宍道湖・中海環境データベース研究会/検討会とプロトタイプ. 第 14 回土木学会地球環境シンポジウム講演論文集, 306-306.

宍道湖・中海環境データベース検討会 (事務局: 都筑良明, 中山大介, 倉田健悟, 國井秀伸) (2006b) 宍道湖・中海環境データベースのプロトタイプ構築. 環境科学会年会, 196-197.

宍道湖・中海環境データベース検討会 (事務局: 都筑良明, 中山大介, 倉田健悟, 國井秀伸) (2006c) 宍道湖・中海環境データベースのプロトタイプ. 水環境フェア in 松江, 松江市

宍道湖・中海環境データベース検討会 (2007) 宍道湖・中海環境データベースの構築に向けて. 汽水域国際シンポジウムアブストラクト集, 257-257.

徳岡隆夫・高安克己編 (1992) 中海北部 (本庄工区)

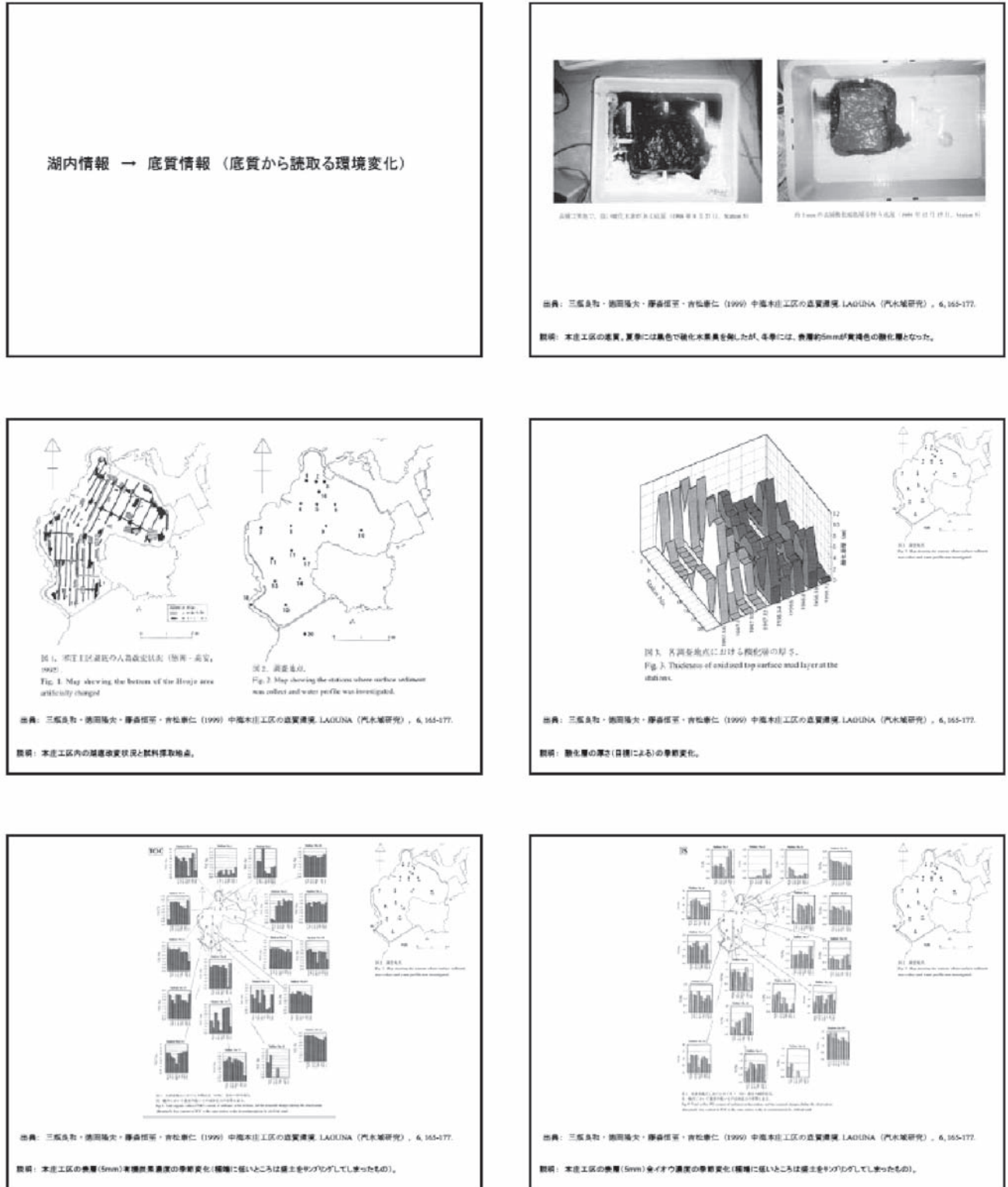


図5. 宍道湖・中海の底質情報の一例
 Fig. 5. Some examples of available sediment data.

アトラス. 島根大学山陰地域研究総合センター,
 92 pp.
 都筑良明・中山大介・國井秀伸 (2006) 宍道湖・中海

環境データベースプロトタイプ. LAGUNA (汽水
 域研究), 13: 119-133.



汽水域研究センター活動報告

(2006年1月～12月)

平成19(2007)年3月
(宮本研究員の後任)

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 Narasimmalu Rajendran
(微生物生態学)
平成18(2006)年4月～
平成19(2007)年3月

日本学術振興会特別研究員

山田和芳(第四紀学)
平成17(2005)年4月～
平成20年3月(予定)
程木義邦(生理生態学)
平成18(2006)年4月～
平成21年3月(予定)

研究員

都筑良明(都市工学)
平成16(2004)年12月～
平成19(2007)年3月
宮本 康(群集生態学)
平成16(2004)年12月～
平成18(2006)年6月
(7月に任期付きで鳥取県
衛生環境研究所赴任)
高田裕行(環境地学)
平成16(2004)年12月～
平成18(2006)年3月
(4月より学内プロジェク
ト推進機構研究員)
荒木 悟(植物生態学)
平成18(2006)年4月～
平成19(2007)年3月
(高田研究員の後任)
香月興太(環境動態)
平成17(2005)年8月～
平成19(2007)年2月
(3月に釜山国立大学赴任)
大林夏湖(進化生態学)
平成18(2006)年7月～

受託研究員

若林建二(環境動態解析)
平成18(2006)年4月～
平成19(2007)年3月

客員研究員

中山大介(地理情報学)
平成18(2006)年4月～
平成19(2007)年3月
Faruque Ahmed(土壌汚染学)
平成18(2006)年4月～
平成19(2007)年3月

協力研究員

平成18(2006)年度
協力研究員数41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18年度活動報告

2-1. 研究活動

2-1-2. 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」19,100千円(センターの専任教員4名を含む今年度22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)7,400千円(間接経費:2,220千円)(平成16(2004)年度～平成18(2006)年度,総額25,600千円)

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)329千円(平成16(2004)年度～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)

特別研究員奨励費「河川連続体と不連続結合の概念に基づいた貯水池の環境影響評価」(研究代表者:程木義邦) 1,100千円(平成18(2006)年度~平成20(2008)年度, 総額3,300千円)

(研究分担者分)

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)

基盤研究(C)「海洋有殻動物プランクトンの鉛直分布と適応放散」(研究代表者:木元克典, 研究分担者:香月興太)

○受託研究

「宍道湖・中海に生息する水草類の分子系統解析」(委託者:財団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284千円, 教育経費19千円

○寄付金

「太田川放水路に関する研究」(寄付者:財団リバーフロント整備センター, 受入者:國井秀伸) (平成18(2006)年) 1,000千円

「宍道湖・中海における親水性とエコツーリズムの可能性」(寄付者:財団中国電力技術研究財団, 受入者:國井秀伸) (平成18(2006)年) 300千円

「湖再生のための環境修復についての調査」(寄付者:財団宍道湖・中海汽水湖研究所, 受入者:國井秀伸) (平成18(2006)年) 100千円

「網走湖に記録された過去100年間の環境変化」(寄付者:財団藤原ナチュラヒストリー, 受入者:瀬戸浩二) (平成18(2006)年) 640千円

「公共用水域に流入する1人あたり汚濁負荷量と生活排水の環境家計簿に関する研究」(寄付者:財団日本環境整備教育センター 浄化槽に関する調査研究助成, 受入者:都筑良明) (平成18(2006)年) 600千円

「海水流入の変動が下流域の河川生態系に与える影響:外海海面変動に注目して」(寄付者:河川環

境管理財団河川整備基金助成, 受入者:宮本康) (平成17(2005)年6月~平成18(2006)年5月) 900千円

「過去100年間における中海の富栄養化の過程を明らかにする:底質コア試料と水質データ・工事の歴史資料を用いたクロスチェック」(寄付者:河川環境管理財団河川整備基金助成, 受入者:宮本康) (平成18(2006)年6月~平成19(2007)年5月) 800千円

○その他外部資金

「島根県大橋川の汽水環境の保全に関する研究」(研究代表者:大橋川の汽水環境を調べる会 倉田健悟, 2005年度(第16期)プロ・ナトゥーラ・ファン) 平成17(2005)年10月~平成18(2006)年9月) 1,000千円

「島根県大橋川の汽水環境の保全に関する研究」(研究代表者:大橋川の汽水環境を調べる会 倉田健悟, 2006年度(第17期)プロ・ナトゥーラ・ファン) 平成18(2006)年10月~平成19(2007)年9月) 1,000千円

「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

「湖沼堆積物からみた島根県隠岐島における過去500年間の自然環境と人間活動変遷史」(研究代表者:山田和芳, 藤原ナチュラヒストリー振興財団研究助成) 平成18(2006)年4月~平成19(2006)年3月) 630千円

「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

「水位差海水交換に基づく汽水域植物プランクトンの日周変動の解明」(研究代表者:香月興太, 藤原ナチュラヒストリー振興財団) 平成18(2006)年4月~平成19(2006)年3月) 400千円

2-1-2. 研究成果の公表

國井秀伸

(論文等)

- 國井秀伸 (2006)「陸水の事典」. 日本陸水学会編. 分担執筆. 578p. 講談社.
- 國井秀伸 (2006)「水環境ハンドブック」. (社)日本水環境学会編. 分担執筆. 760p. 朝倉書店.
- Kunii, H., Sunanisari, S., Fukuhara, H., Nakajima, T. and Widjaja, F. (2006) Leaf expansion rate and life span of floating leaves in *Victoria amazonica* (Poepp.) Sowerby growing in Kebun Raya, Bogor, Indonesia. *Tropics*, 15: 429–433.
- Araki, S. and Kunii, H. (2006) Allozymic implications on the propagation of eelgrass *Zostera japonica* within a river system. *Limnology*, 7: 15–21.
- 宮本 康・國井秀伸 (2006) 汽水湖中海における塩分変動に応じた水質と沿岸藻場の変化. *応用生態工学*, 9: 179–189.
- Hirota M., Y. Senga, Y. Seike, S. Nohara and H. Kunii (2007) Fluxes of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide in two contrasting fringing zones of a coastal lagoon, Lake Nakaumi, Japan. *Chemosphere*, in press. (報告書・その他)
- 國井秀伸 (2006) ラムサール条約の登録湿地となった宍道湖・中海における自然再生事業の課題と展望. pp.293–294. 国際湿地再生シンポジウム 2006 報告書. 国際湿地再生シンポジウム 2006 実行委員会.
- Kunii, H. (2006) Challenges and future prospects of the nature restoration in Lakes Shinji and Nakaumi, newly registered Ramsar sites in Japan. pp.294–295. *Proceedings of the International Symposium on Wetland Restoration 2006. The Organizing Committee of the Symposium on Wetland Restoration 2006.*
- 國井秀伸 (2006) 西部承水路堤に生育する植物の現況について. *汽水湖研究*, 10: 15–21.
- 國井秀伸 (2006) 宍道湖・中海の自然再生に寄与する島根大学汽水域重点プロジェクト. *電気学会研究会資料*, EMT-06: 55–58.
- 荒木 悟・國井秀伸 (2006) 中海に残存するアマモはどのように繁殖しているか—集団遺伝学的手法による検討—. *汽水湖研究*, 10: 8–14.
- 荒木 悟・國井秀伸 (2006) 湿生植物における種子と栄養繁殖の機能の違い—オオクグの例—. *水草研究会誌*, 84: 1–6.
- 荒木 悟・國井秀伸 (2006) 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. *LAGUNA* (汽水域研究), 13: 9–12.
- 都筑良明・中山大介・國井秀伸 (2006) 宍道湖・中海環境データベースプロトタイプ. *LAGUNA* (汽水域研究), 13: 119–133. (国際シンポジウム・招待講演発表)
- 國井秀伸 (2006) 「ラムサール条約の登録湿地となった宍道湖・中海における自然再生事業の課題と展望」. 国際湿地再生シンポジウム 2006. 大津プリンスホテル. 主催: 国際湿地再生シンポジウム 2006 実行委員会. 2006年1月29日.
- Kunii, H. (2006) Challenges and future prospects of the nature restoration in Lakes Shinji and Nakaumi, newly registered Ramsar sites in Japan. *Second Scientific Congress of East Asian Federation of Ecological Sciences*. 24–28 March, Niigata.
- 國井秀伸 (2006) 「中海・宍道湖のラムサール条約登録と地域づくり」. 日本環境学会シンポジウム「豊かな自然環境と文化遺産を活かした地域づくり—世界遺産とラムサール条約登録後を見通して—」招待講演. 主催: 日本環境学会. 島根大学教養棟.
- 國井秀伸 (2006) 「宍道湖・中海の自然再生に寄与する島根大学汽水域重点プロジェクト」. 電磁学会特別講演. 主催: (社)電気学会. 玉湯町玉造温泉.
- 國井秀伸 (2006) 「宍道湖・中海の自然再生—その現状とモニタリングについて—」. 第71回日本陸水学会大会自由集会コンビナー. 愛媛大学城北キャンパス.
- 瀬戸浩二
(論文等)
- Yasuhara, M. and Seto, K. (2006) Holocene relative sea-level change in Hiroshima Bay, Japan: a semi-quantitative reconstruction based on ostracodes. *Paleontological Research*, 10: 99–116.
- 瀬戸浩二・中武誠・佐藤高晴・香月興太 (2006) 斐伊川の東流イベントとそれが及ぼす堆積環境への影響. *第四紀研究*, 45: 375–390.
- Yamaguchi, K., Seto, K., Takayasu, K. and Aizaki, M. (2006) Shell Layers and Structures in the Brackish Water Bivalve, *Corbicula japonica*. *The Quaternary Research* (第四紀研究), 45: 317–331.
- Takata, H., Seto, K., Sakai, S., Tanaka, S. and Takayasu, K. (2006) Hypolimnetic transitions and sand-bar development in Aso-kai Lagoon (central Japan)

during the past 1200 years, inferred from benthic foraminifera. *The Quaternary Research* (第四紀研究), 45: 361–373.

堀之内正博

(論文等)

Nakamura, Y., Horinouchi, M., Shibuno, T., Kawasaki, H. and Sano, M. (2006) A comparison of seagrass-fish assemblage structures in open oceanic and coastal bay areas in the Ryukyu Islands, Japan. *Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium*, 446–452.

Horinouchi, M. (2007) Distribution patterns of benthic juvenile gobies in and around seagrass habitats: effectiveness of seagrass shelter against predators. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, in press.

(報告書・その他)

澁野拓郎・高田宜武・佐野光彦・大葉英雄・堀之内正博・木村匡・下池和幸．環境省地球環境研究総合推進費終了研究成果報告書「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．平成15年度～平成17年度], 9–48.

(国際シンポジウム・招待講演発表)

堀之内正博 (2006) 「ヨシ帯再生と魚類の種多様性」．2006年度日本魚類学会公開シンポジウム 生息場所の劣化が沿岸魚類群集に与える影響－現場からの報告－．主催：日本魚類学会．東京大学農学部弥生講堂一条ホール．

倉田健悟

(報告書・その他)

大橋川を勉強する会(相崎守弘, 飯野公央, 上園昌武, 國井秀伸, 倉田健悟, 瀬戸浩二・竹下幹夫・妻波俊一郎・徳岡隆夫・堀之内正博) (2006) 大橋川勉強会報告書. 119 pp.

Narasimmalu Rajendran

(論文等)

Isshi, T., Rajendran, N., Amemiya, T. and Itoh, K. (2006) Development of a two dimensional electrophoresis method to study soil bacterial diversity. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52: 601–609.

Rajendran, N. (2007) Molecular approaches in environmental management. *Proc. of Ecotechnology for*

Sustainable Development. In press.

(国際シンポジウム・招待講演)

Rajendran, N. (2006) Linking of microbial diversity and gene expression. Plenary lecture. International Seminar on “Environmental Biotechnology, July 5–7, Chennai, India.

山田和芳

(論文等)

瀬戸浩二・山田和芳・高田裕行・坂井三郎 (2006) 汽水域における完新世の古環境変動－自然環境の変遷と人為改変による環境変化. *第四紀研究*, 45: 315–316.

山田和芳・高安克己 (2006) 出雲平野－宍道湖地域における完新世の古環境変動－ボーリングコア解析による検討. *第四紀研究*, 45: 391–406.

Yonenobu, H., Inagaki, T., Yamada, K., Tsuchikawa, S. and Takayasu, K. (2006) NIR spectroscopic measurement of brackish lake sediments and its potential to reconstruct environmental changes in the Holocene. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, in press.

(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.

渡邊正巳・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. 一般国道9号出雲バイパス建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書7 中野清水遺跡(3) 白枝本郷遺跡(本編), 国土交通省中国地方整備局・島根県教育委員会, 318–329.

山田和芳・高安克己 (2006) 「神門水海」の湖岸線復元－地形・地質コアによる検討－. 島根県古代文化センター調査研究報告書34 出雲国風土記の研究Ⅲ 神門水海北辺の研究(資料編), 島根県古代文化センター, 41–52.

山田和芳 (2007) 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. アサヒビール学術振興財団2005年度研究紀要, 10, 印刷中.

山田和芳・瀬戸浩二・坂井三郎・石田 桂・Charlchai Tanavud (2006) 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. 福武学術文化振興財団研究助成報告書, 21, 印刷中.
- 山田和芳・高安克己(2007)地質コア解析に基づいた出雲平野の形成史. 鳥根県古代文化センター調査研究報告書 35 出雲国風土記の研究Ⅳ 神門水海北辺の研究(論考編), 鳥根県古代文化センター, 印刷中.
- 秋山博子・有本昌弘・植村立・大石龍太・財城真寿美・佐藤友徳・大楽浩司・田口正和・東塚知己・豊田隆寛・長島佳菜・長野宇規・西澤誠也・西田哲・堀正岳・三好建正・安中さやか・山口耕生・山田和芳・吉川知里・渡邊英嗣(2006)日欧先端科学セミナー「気候変動」参加報告. 天気, 53, 902-908. (国際シンポジウム・招待講演発表)
- Yamada, K. (2006) Holocene climate variability recorded in brackish lacustrine sediments of Lake Shinji, western Japan. ESF-JSPS Frontier Science Conference Series for Young Researchers "Climate Changes", 24-29 June 2006, Nynäshamn, Sweden.
- Yamada, K. and Takayasu, K. (2006) Changes in the occurrence of oxygen-poor bottom-water in the past 6,000 years in brackish lacustrine sediments of Lake Shinji, southwestern Japan and a possible linkage to East Asian monsoon activities. 17th International Sedimentological Congress, 27 Aug-1 Sep 2006, Fukuoka, Japan.
- 程木義邦**
(論文等)
- Hodoki, Y. and Murakami, T. (2006) Effects of Tidal Flat Reclamation on Sediment Quality and Hypoxia in Isahaya Bay. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 16: 555-567.
- 長津恵・大林夏湖・程木義邦・小野有五・村野紀雄(印刷中)絶滅危惧種エゾホトケドジョウ *Lefua nikkonis* (Jordan and Fowler)の分布と生息環境. 保全生態学研究.
- 岩館智寛・程木義邦・大林夏湖・村上哲生・小野有五(印刷中)天塩川水系岩尾内ダム直下流域におけるヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata Navas*)の優占. 日本陸水学雑誌.
- 都筑良明**
(論文等)
- Tsuzuki, Y. (2006) Preliminary research on salinity and flow rate profiles of a river with an estuarine zone through the analysis of water quality monitoring data. LAGUNA (汽水域研究), 13: 79-88.
- Tsuzuki, Y. (2006) An attempt of modification of Carson's trophic state index (TSI) for brackish lakes in Japan. LAGUNA, 13: 89-98.
- Tsuzuki, Y. (2006) Higher selectivity of agar media against activated sludge bacteria. Journal of Ecotechnology Research, 12 (3) : 181-187.
- Tsuzuki, Y. (2006) An index directly indicates land-based pollutant load contributions of domestic wastewater to the water pollution and its application. Science of the Total Environment, 370: 425-440.
(報告書・その他)
- 都筑良明・中山大介・國井秀伸(2006)宍道湖・中海環境データベースプロトタイプ. LAGUNA (汽水域研究), 13: 119-133.
(国際シンポジウム・招待講演等発表)
- Tsuzuki, Y., Koottatep, T., Rahman, MD. M., and Ahmed, F. (2007) Preliminary study on pollutant discharge from domestic wastewater and pollutant load in the river: a comparative study between Japan, Thailand and Bangladesh. International forum on Water Environmental Governance in Asia. 14-15 March 2007, Bangkok.
- Tsuzuki, Y. (2006) Complicated aspects of water pollutant discharges per capita (PDC). Poster Presentation Proceedings of the 4th International Symposium on Southeast Asian Water Environment. 6-8 Dec 2006, Bangkok, Thailand.
- Tsuzuki, Y. (2006) Comparative Study of Pollutant Load per Capita Flowing into the Water Body (PLC). Toward a Sustainable Management of Surface Waters: the 2nd CWR/Japan Symposium. 6-8 July 2006, Yonago.
- 宮本 康**
(論文等)
- 宮本 康(2006)植物の変化を介した間接効果の普遍的特徴: メタ解析を用いた定量的レビュー. 日本生態学会誌, 56: 125-133.
- 宮本 康・國井秀伸(2006)汽水湖中海における塩分

- 変動に応じた水質と沿岸藻場の変化. 応用生態工学, 9: 179-189.
(国際シンポジウム・招待講演発表)
- 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.
(報告書・その他)
- 宮本 康 (2006) 「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」河川環境管理財団河川整備基金助成報告書 (2006年6月).
- 高田裕行**
(論文等)
- 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, 36: 44-60.
- 高田裕行・板木拓也・池原研・山田和芳・高安克己 (2006) 有孔虫化石が示す完新世初～中期の山陰地方沿岸域における対馬海流. 第四紀研究, 45: 249-256.
- Takata, H., Seto, K., Sakai, S., Tanaka, S. and Takayasu, K. (2006) Hypolimnetic transitions and sand-bar development in Aso-kai Lagoon (central Japan) during the past 1200 years, inferred from benthic foraminifera. The Quaternary Research (Daiyonki-kenkyu), 45: 249-256.
- Irizuki, T., Takata, H. and Ishida, K. (2006) Recent Ostracoda from Urauchi Bay, Kamikoshiki-jima Island, Kagoshima Prefecture, southwestern Japan. LAGUNA (汽水域研究), 13: 12-28.
- 高田裕行・入月俊明・石田 桂 (2006) 鹿児島県上甕島浦内湾の現生底生有孔虫群. LAGUNA (汽水域研究), 13: 99-107.
- Takata, H., Data report: Eocene benthic foraminifera from the Western North Atlantic, Site 1276, ODP Leg 210. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, in press.
- 高田裕行・野村律夫・瀬戸浩二 (2007) 東赤道太平洋深海帯における漸新世の環境変遷. 化石, 印刷中.
- (国際シンポジウム・招待講演発表)
- Takata, H., Nomura, R. and Seto, K., Faunal changes in Oligocene benthic foraminifera in the eastern equatorial Pacific (ODP Leg 199). International Symposium of Foraminifera 2006, Sep 2006, Natal, Brazil.
- 荒木 悟**
(論文等)
- Araki, S. and Kunii, H. (2006) Allozymic implications of the propagation of eelgrass *Zostera japonica* within a river system. Limnology, 7: 15-21.
- 荒木 悟・國井秀伸 (2006) 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. LAGUNA (汽水域研究), 13: 9-12.
- 荒木 悟・國井秀伸 (2006) 湿生植物における種子と栄養繁殖の機能の違いーオオクグの例ー. 水草研究会誌, 84: 1-6.
- 中山大介**
(論文等)
- 藤山浩・中山大介 (2006) 島根県中山間地域における人口減少のGIS分析ー集落GISデータベースと農村計画への活用可能性ー. 農村計画学会誌, 25: 431-436.
- 香月興太**
(論文等)
- Sakamoto, T., Ikehara, M., Uchida, M., Aoki, K., Shibata, Y., Kanamatsu, T., Harada, N., Iijima, K., Katsuki, K., Asahi, H., Takahashi, K., Sakai, H., and Kawahata, H. (2006) Millennial-scale variations of sea-ice expansion in the southwestern part of the Okhotsk Sea during the past 120 kyr: Age model and ice-rafted debris in IMAGES Core MD01-2412. Global and Planetary Change, 53: 58-77.
- 瀬戸浩二・中武 誠・佐藤高晴・香月興太 (2006) 斐伊川の東流イベントとそれがおよぼす堆積環境への影響. 第四紀研究, 45: 375-390.
- 香月興太・瀬戸浩二・野村律夫 (2006) サロマ湖の珪藻遺骸群集が示す過去1世紀の人間活動と環境変遷の関連. 日本古生物学会優秀ポスター賞.
(国際シンポジウム・招待講演発表)
- 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, 2006 Ocean Sciences Meeting Program, 20–24 February 2006, Honolulu, Hawaii.
- Tanaka, S., Takahashi, K., Katsuki, K., and Onodera, J. (2006) Radiolarian distribution using vertical multiple plankton sampler and paleoceanography in the Bering Sea. 11th Meeting of the International Association of Radiolarian Paleontologists & Triassic Stratigraphy Symposium, 19–24 March 2006, Wellington, New Zealand. Best student poster award 受賞.
- Faruque Ahmed**
(論文等)
- Ahmed, F., Bibi, M.H. and Ishiga, H. (2007) Environmental assessment of Dhaka City (Bangladesh) based on trace metal contents in road dusts. *Environmental Geology*, 51 (6) : 975–985.
- Bibi, M.H., Ahmed, F. and Ishiga, H. (2007) Assessment of metal concentrations in lake sediments of southwest Japan based on sediment quality guidelines. *Environmental Geology* (in press), available online, DOI: 10.1007/s00254-006-0492-x.
- Ahmed, F. and Ishiga, H. (2006) Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka City, Bangladesh. *Atmospheric Environment*, 40 (21) : 3835–3844.
- Bibi, M.H., Ahmed, F. and Ishiga, H. (2006) Distribution of arsenic and other trace elements in the Holocene sediments of the Meghna River Delta, Bangladesh. *Environmental Geology*, 50 (8) : 1243–1253.
(国際シンポジウム・招待講演発表)
- Gurung, J.K., Ishiga, H., Ahmed, F. and Bibi, M.H. (2007) Geochemical study of Quaternary sediments for arsenic mobilization into ground water in the Ganges Basin and Japan seashore. International Symposium on The 2007 NGWA Naturally Occurring Contaminants Conference: Arsenic, Radium, Radon, Uranium. 22–23 March 2007, South Carolina, USA.
- Tsuzuki, Y., Kootatep, T., Rahman, M.M. and Ahmed, F. (2007) Preliminary study on pollutant discharge from domestic wastewater and pollutant load in the river: a comparative study between Japan, Thailand and Bangladesh. International Forum on Water

Environmental Governance in Asia. 14–15 March 2007, Bangkok, Thailand.

Ahmed, F., Bibi, M.H. and Ishiga, H. (2006) Historic changes of environment from the record of lake sediments, Dhaka City, Bangladesh. International Symposium on Toward a Sustainable Management of Surface Waters-Partnership Between the University of Western Australia and Tokyo Institute of Technology. 7–8 July 2006, Tottori, Japan.

大林夏湖

(論文等)

長津 恵・大林夏湖・程木義邦・小野有五・村野紀雄 (印刷中) 絶滅危惧種エゾホトケドジョウ *Lefua nikkonis* (Jordan and Fowler) の分布と生息環境. 保全生態学研究.

岩館智寛・程木義邦・大林夏湖・村上哲生・小野有五 (印刷中) 天塩川水系岩尾内ダム直下流域におけるヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata Navas*) の優占. 日本陸水学雑誌.

○LAGUNA (汽水域研究) の発行

第13号を、平成18(2006)年6月に発行した(149ページ)。なお、センターの中期計画に、研究者ごとの研究成果や外部資金の導入状況等を年次報告としてまとめることとしているので、LAGUNA11号からは、巻末にセンターの活動として所属するスタッフの業績等を、本協議会資料を元として、個人別に掲載することとしている。

○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、平成18(2006)年1月から12月の間に第68回から第75回まで計8回が開催された。

○研究発表会

汽水域研究センターでは、1994(平成6)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15(2003)年度と平成16(2004)年度は、国際セミナーと同時開催とし、新春恒例の研究発表会はポスター展示のみであった。平成17(2005)年度は汽水域重点プロジェクトの発表に合わせ松江

テルサ大会議室において一般公開で行い、70名を超える参加者を得た。今年度は再び国際シンポジウムでのポスター発表という形をとった。

汽水域国際シンポジウム2007では、3名の外国人研究者(インド、タイ、ニュージーランド)を招き、初日(1月27日:参加者数233名)に招待講演と汽水域重点プロジェクトの発表を行い、2日目(1月28日:参加者数173名)には企業、NPOの事例発表を行った。2日目の企業、NPOの発表は初の試みであったが、予想以上の参加者を得ることができた。

2-1-3. 主な学内委員会等記録

- | | | | |
|-------|-----------------------------|--------|-------------------------------------|
| 1月10日 | 教員会議 | 9月11日 | 管理委員会 |
| 1月18日 | 教員会議 | 9月21日 | 学長ミーティング |
| 1月26日 | 共同利用施設等連絡協議会 | 9月25日 | 国際シンポジウム第1回実行委員会 |
| 2月6日 | 教員会議・重点プロジェクト会議 | 9月27日 | 重点プロジェクトリーダー会議 |
| 2月10日 | 重点プロジェクトリーダー会議 | 9月28日 | 共同利用施設等連絡協議会 |
| 2月16日 | 管理委員会 | 10月6日 | 教員会議 |
| 2月20日 | 重点プロジェクト打ち合わせ | 10月18日 | 教員会議・重点プロジェクト中間報告会・国際シンポジウム第1回準備委員会 |
| 2月27日 | 研究推進協議会 | 10月24日 | 国際シンポジウム第2回実行委員会 |
| 3月3日 | 重点プロジェクト報告会 | 10月26日 | 重点プロジェクトリーダー会議 |
| 4月10日 | 教員会議 | 10月31日 | 国際シンポジウム第2回準備委員会 |
| 4月11日 | 重点プロジェクトリーダー会議 | 11月27日 | 教員会議・国際シンポジウム第3回実行委員会 |
| 4月14日 | 教員会議 | 11月28日 | 重点プロジェクトリーダー会議 |
| 4月24日 | 運営委員会 | 12月11日 | 国際シンポジウム第3回準備委員会 |
| 4月25日 | 重点プロジェクト全体会 | 12月18日 | 教員会議 |
| 4月27日 | 重点プロジェクト会議 | 12月21日 | 重点プロジェクト全体会 |
| 5月1日 | 管理委員会 | 12月25日 | 共同利用施設等連絡協議会 |
| 5月16日 | 重点プロジェクトリーダー会議 | | |
| 5月18日 | 共同利用施設等連絡協議会 | | |
| 5月29日 | 教員会議・重点プロジェクトリーダー会議 | | |
| 6月8日 | 共同利用施設等連絡協議会 | | |
| 6月23日 | 重点プロジェクト発表会(白濁サロン) | | |
| 6月26日 | 共同利用施設等連絡協議会・重点プロジェクトリーダー会議 | | |
| 6月27日 | 管理委員会 | | |
| 7月4日 | 重点プロジェクト発表会(テクノアーク) | | |
| 7月24日 | 教員会議 | | |
| 7月27日 | 共同利用施設等連絡協議会 | | |
| 7月31日 | 重点プロジェクトリーダー会議 | | |
| 8月28日 | 重点プロジェクトリーダー会議 | | |
| 8月31日 | 共同利用施設等連絡協議会 | | |
| 9月4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:124名)、後期2単位(受講生9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 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)

倉田健悟 生物資源科学研究科専門教育科目「生態環境科学論」(一部担当)

○他大学での講師の併任など

國井秀伸 山口県立大学非常勤講師 平成 18 (2006) 年 8 月

鳥取大学大学院連合農学研究科 平成 16 (2004) 年 4 月～現在

山田和芳 鳥取環境大学非常勤講師 平成 18 (2006) 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～現在

Rajendran, N. Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University (2006).

程木義邦 名寄市立名寄大学非常勤講師 平成 18 (2006) 年 8 月

2-2-2. 大学院・留学生など

○大学院生の研究テーマと指導

神谷 要「水生植物の移動分散における水鳥の役割に関する研究」(鳥取大学大学院連合農学研究科博士課程後期 1 年) (指導教員：國井)

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 3 年) (副指導教員：國井)

2-3. 国際交流

○海外調査・共同研究など

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 18 (2006) 年 2 月 10～24 日, 7 月 4～19 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)

インドネシア共和国：日本学術振興会 2 国間拠点交流事業「南東アジアにおける熱帯湿原生態系の環境と管理」による共同研究. 平成 18 (2006) 年 3 月 13～18 日 (國井)

ペルー共和国・ボリビア共和国：マヤ文明の解明のためのボーリング調査. 平成 18 (2006) 年 8 月 29

日～9 月 17 日 (山田)

グアテマラ共和国：マヤ文明の解明のためのボーリング調査. 平成 18 (2006) 年 11 月 25 日～12 月 8 日 (山田)

タイ王国, バングラデシュ：生活排水の汚濁負荷と河川等の水質との関係に関する調査研究 (財団法人日本環境整備教育センター 浄化槽に関する調査研究助成「公共用水域に流入する 1 人あたり汚濁負荷量と生活排水の環境家計簿に関する研究」)として出張. 平成 18 (2006) 年 10 月 14 日～11 月 3 日 (都筑)

タイ王国：エコツーリズムに関する調査研究および生活排水の汚濁負荷と河川等の水質との関係に関する調査研究 (財団法人中国電力技術研究財団 産業振興に関する調査・研究助成「宍道湖・中海流域における親水性とエコツーリズムの可能性」および財団法人日本環境整備教育センター 浄化槽に関する調査研究助成「公共用水域に流入する 1 人あたり汚濁負荷量と生活排水の環境家計簿に関する研究」)の調査研究として出張. 平成 18 (2006) 年 12 月 2 日～12 月 11 日 (都筑)

イタリア：IODP Post Cruise Meeting. シシリー島. 平成 18 (2006) 年 5 月 20～26 日 (香月)

北極海：Research Scientist aboard R/V Mirai in Chukchi and Bering Sea. 平成 18 (2006) 年 8 月～9 月 (香月)

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 (大学開放授業)

「中海・宍道湖の環境と生物はどうなっているのか? - 両湖の賢明な利用に向けて -」平成 18 (2006) 年 10 月 6 日～27 日 (主催：鳥根大学汽水域研究センター) (担当：國井, 瀬戸, 堀之内, 倉田) 受講者数各回およそ 30 名

○公開セミナー

1 月 15 日：鳥根大学重点プロジェクト主催「2006 公開セミナー・討論会」を共催. 松江テルサ中会議室. 約 70 名参加

○招待講演・市民講座その他

1 月 2 日：中海テレビ放送「中海物語 - 美しき中海との共生をめざして」出演 (米子市) (國井)

1 月 14 日：汽水域研究発表会

1 月 15 日：汽水域重点プロジェクト (A チーム)「2006 公開セミナー・討論会」

- 1月28日：第8回大橋川勉強会共催（倉田）
- 2月13日：第3回宍道湖・中海環境データベース検討会（都筑，中山，國井）
- 3月7日：日本国際湿地保全連合ワークショップ「ラムサール・スピリットと湿地のワイズユースー日本における湿地の賢い活用事例と評価基準試案ー」話題提供者。主催：日本国際湿地保全連合・島根大学汽水域研究センター（國井）
- 4月14日：第68回汽水域懇談会（堀之内）
- 4月17日：第4回宍道湖・中海環境データベース検討会（都筑，中山，國井）
- 4月22日：自然再生センター設立総会「みんなで語ろう！ 宍道湖・中海の賢明な利用ー市民と大学の協働に向けてー」パネリスト。主催：自然再生センター設立準備会。安来市和鋼会館（國井）
- 4月24日：第69回汽水域懇談会（堀之内）
- 5月19日：汽水域研究センター網走フィールドステーション設立記念講演会講師。主催：汽水域研究センター・東京農業大学。東京農業大学オホーツクキャンパス（國井，瀬戸）
- 6月12日：第5回宍道湖・中海環境データベース検討会（都筑，中山，國井）
- 6月16日：第71回汽水域懇談会（堀之内）
- 6月18日：松江城山エコツーリズム体験会「堀川自然解説」（堀之内，高田）
- 6月19日：第72回汽水域懇談会（堀之内）
- 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23日：島根大学第1回サイエンスデリバリー「汽水域の自然・環境再生研究拠点形成プログラム」話題提供者。「中海の自然再生の鍵を握る水生植物ー汽水域の賢明な利用を目指してー」。主催：島根大学。白濁サロン（國井）
- 6月24日：アマモ種子採取イベント講師。主催：未来守りネットワーク。境港市外江（國井）
- 6月27日：第9回大橋川勉強会（倉田）
- 7月4日：汽水湖研究所発表会（國井，荒木）
- 7月5日：汽水域重点プロジェクト（B,Cチーム）発表会（國井）
- 7月24日：第73回汽水域懇談会（堀之内）
- 8月8日：水環境フェア2006 in 松江分科会A「ラムサール条約登録と私たちの役割」コーディネーター。主催：水環境フェア2006 in 松江実行委員会（松江市，島根県，国土交通省）。松江市くにびきメッセ（國井）
- 8月26日：こども科学学園「宍道湖・中海の塩分躍層をはかってみよう」講師。出雲市出雲科学館（國井）
- 8月29・30日：鳥取県・島根県行政企業交流セミナー「中海の保全・再生に向けた取組と賢明な利用方策」講師。主催：鳥取県総務部自治研修所・島根県自治研修所。米子市皆生温泉（國井）
- 9月7日：第10回大橋川勉強会共催（倉田）
- 9月10日：放送大学島根学習センター開設10周年記念公開講演会「斐川の自然と生い立ちー斐川の水草，古代ハス」講師。主催：放送大学島根学習センター。斐川町荒神谷博物館（國井）
- 9月11日：第6回宍道湖・中海環境データベース検討会（都筑，中山，國井）
- 10月4日：第74回汽水域懇談会（堀之内）
- 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（高田ら非常勤研究員）
- 10月22日：大橋川ヨシ原のクリークを巡る中の島エコツーリング（環境省助成事業）インタプリター。主催：NPO法人まちづくりネットワーク島根。松江市大橋川（國井）
- 10月28日：第2回アマモ・コアマモ再生イベント講師。主催：NPO法人未来守りネットワーク。境港市鳥取県漁協境港支所（國井）
- 11月2日：高等学校理科教育生物講座「汽水域の環境とそこに生きる生物について考える」講師。「宍道湖・中海のラムサール条約登録の意義と私達に課せられた課題」。主催：島根県教育委員会。島根県水産技術センター内水面浅海部（國井）
- 11月5日：汽水域重点プロジェクト（Eチーム）公開セミナー（國井，中山，都筑）
- 11月13日：第7回宍道湖・中海環境データベース検討会（都筑，中山，國井）
- 11月14日：第75回汽水域懇談会（堀之内）
- 11月19日：グラウンドワーク・フォーラム in 中海「地域の宝物としての中海に，みんなの夢と力を!!」パネリスト。主催：（財）日本グラウンドエアー協会。米子市文化ホール（國井）

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

日本陸水学会評議員：平成18(2006)年4月～現在

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

日本古生物学会2006年大会実行委員：平成18
(2006)年

堀之内正博

Marine Ecology Progress Series Review Staff：平成14
(2002)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18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～平成18(2006)年10月

都筑良明

(社)土木学会地球環境委員会幹事：平成15(2003)
年～平成18(2006)年

土木学会 Journal of Global Environment Engineering
編集委員：平成18(2006)年～現在

高田裕行

日本第四紀学会2005年大会シンポジウム特集号
編集委員：平成17(2005)年12月～平成18
(2006)年10月

香月興太

日本古生物学会2006年大会実行委員：平成18
(2006)年

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～現在

京大学生態学研究センター協力研究員：平成14
(2002)年4月～現在

(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～現在

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～現在

(財)ホシザキグリーン財団評議員：平成16(2004)
年4月～現在

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～平成18(2006)年3月

米子市環境審議会委員：平成6(1994)年8月～現
在

太田川生態調査検討会委員：平成16(2004)年11
月～平成18(2006)年3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～現在

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～現在

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～平成18(2006)年3月

倉田健悟

大橋川を勉強する会事務局：平成17(2005)年～
現在

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～現在

島根県立古代出雲歴史博物館展示検討委員：平成
18(2006)年～現在

編集後記

今年もようやく LAGUNA (汽水域研究) の第 14 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。

本号が発刊された後に、次の号の募集が始まります。今年度はもうこれ以上遅れることができないところまで遅れてしまったので、次号はもっと早く発刊されることでしょう。汽水域研究は、多くの研究領域が集まる複合的な分野です。それを一目で見ることができるのは、LAGUNA (汽水域研究) だけかと思います。その重圧に負けないようがんばりますので、皆様も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。

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		