

LAGUNA

汽水域研究

No.16 June 2009



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

野村律夫・國井秀伸・荒西太士
瀬戸浩二・堀之内正博・倉田健悟

Editorial Board

*Ritsuo Nomura, Hidenobu Kunii, Futoshi Aranishi
Koji Seto, Masahiro Horinouchi & Kengo Kurata*

LAGUNA (汽水域研究) No.15
2008 年 (平成 20 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

- Spatial distribution and growth of Jellyfish *Aurelia aurita* (Linnaeus) in brackish lagoon Lake Nakaumi. 1-6 *Morio Hiyama, Yasushi Miyamoto*

- Comparison between lakes Shinji and Nakaumi area and some typical eco-tourism areas 7-12 *Yoshiaki Tsuzuki, Hidenobu Kunii Hirofumi Itakura, Kimio Iino and Tomiko Notsu*

- A biallelic microsatellite DNA analysis for natural hybrid *Crassostrea* oysters 13-18 *Takeshi Iwasaki, Tomomi Tanaka Yusuke Iidzuka, Yasuhiro Hishida Sheng-Tai Hsiao, and Futoshi Aranishi*

- Pictures of bottom surface in the central part of Lake Nakaumi (part 5): dynamics of bottom water in the time of seasonal change from winter to spring 19-45 *Ritsuo Nomura, Koji Seto, Hiroyuki Takata*

- Larvae and juvenile fishes collected by light trap sampling in Lake Shinji and Nakaumi Lagoon 47-52 *Toshihiro Yokoo, Masahiro Horinouchi and Futoshi Aranishi*

- Geochemical characteristics of heavy metals of river sediment from the Hii and Inashi River basins, Shimane prefecture, southwest Japan 53-62 *Ichiro Matsumoto*

■ Annual Report of Research Center for Coastal Lagoon Environments

63-74

■ Editorials

74

■原著論文

□ 中海におけるミズクラゲの分布と成長 (予報)

1-6 檜山盛生・宮本 康

□ 宍道湖・中海地域とエコツーリズム先進地との比較検討

7-12 都筑良明・國井秀伸・板倉宏文
飯野公央・野津登美子

□ マガキ属自然交雑個体の二対立遺伝子解析

13-18 岩崎健史・田中智美・飯塚祐輔
菱田泰宏・蕭 聖 代・荒西太士

□ 中海湖心部における湖底の水中映像 (その 5) :

冬季から春季の季節変化時における湖底の動態 19-45 野村律夫・瀬戸浩二・高田裕行

□ 宍道湖および中海において春季に

灯火トラップで採集された仔稚魚 47-52 横尾俊博・堀之内正博・荒西太士

□ 斐伊川及び飯梨川堆積物の重金属含有量からみた

流域の地球化学的特徴 53-62 松本一郎

■島根大学汽水域研究センター活動報告

63-73

研究活動

教育活動

国際交流

社会との連携

■編集後記

74

中海におけるミズクラゲの分布と成長 (予報)

檜山盛生¹・宮本 康²

Spatial distribution and growth of Jellyfish *Aurelia aurita* (Linnaeus) in brackish lagoon Lake Nakaumi.

Morio Hiyama¹, Yasushi Miyamoto²

Abstract: In the recent brackish lagoon Lake Nakaumi, the basic ecological insights of jellyfish are needed to be clarified since their nuisance to fisheries is becoming serious. Here, we conducted field observations in order to clarify spatial distribution and growth patterns of *Aurelia aurita* (Linnaeus) in brackish lagoon Lake Nakaumi. We counted medusa visually in ca. 5×5m surface water and measured their diameter at six sites in May, August, September, and October. The observations detected that the medusa diameter significantly larger in August than May, however, not differed among August, September, and October, in addition, two peaks in the size distribution in May became one peak after August with disappearing larger size class. These suggest that major growth of medusa occurs during spring to early summer and that recruitment of pelagic medusa from benthic polyp occurs before spring. The observations also found that the medusa distributed in an aggregative manner, and the aggregation became more intense as wind velocity became larger. The results provide us basic ecological insights of jellyfish, however, our findings could not cover all of the fishermen's findings, such as the wind direction dependent aggregation pattern and the depth distribution. In order to provide useful suggestions for fisheries, continuous research is needed.

Key words: Jellyfish, *Aurelia aurita* (Linnaeus), spatial distribution, size distribution

はじめに

近年、クラゲ類の大量発生が日本各地の沿岸域で問題となっている。過去に報告のあるクラゲ由来の問題は発電所被害と漁業被害が主なものであるが、近年では、特に漁業被害に関する報告が増えている(安田, 1988; 上, 2004; 山田ほか, 2008; 上田, 2009)。日本海沿岸域で漁業に甚大な被害を与えるクラゲ類としてはエチゼンクラゲ (*Nemopilema nomurai* Kishinoue) が有名だが(安田, 2003; 飯泉,

2004; 本多ほか, 2005)、中海の中では本種の出現が確認されず、むしろ、ミズクラゲ (*Aurelia aurita* (Linnaeus)) の大量発生が注目を浴び始めている。

ミズクラゲは世界中の閉鎖海域で分布が認められ、しばしば大量発生することが報告されている(Weisse and Gomoiu, 2000; Lucas, 2001)。同様に、国内でも本種の大量発生とそれに伴う漁業被害に、近年、注目が集まり始めた(上, 2004; 上田, 2009)。2000年以降に瀬戸内海と伊勢湾、三河湾で行われたアンケート調査では、過去四半世紀の間にミズク

¹ 鳥取県立境港総合技術高等学校 Tottori Prefectural Institute of Comprehensive Technical High School

² 鳥取県衛生環境研究所 Tottori Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science

ラゲが増加したことに加え、本種の出現時期が長期化している傾向があることを多くの漁業者が感じていると報告している(上・上田, 2004; 山田ほか, 2008)。そして、こうしたミズクラゲ発生的大量化・長期化が、特に網漁業における問題、例えば、クラゲの大量入網による網の被害(変形・破裂など)、有用種の入網量低下、クラゲと混獲された有用種の鮮度低下、そして有用種の選別にかかる労力の増加等を引き起こしていることが指摘されている(上, 2004)。

しかし、こうした一連のミズクラゲ発生的大量化・長期化による漁業被害の報告例は氷山の一角に過ぎないことが予想される。事実、報告例がほとんどない中海においても、クラゲ類による漁業被害に関する情報が漁業者から寄せられている。そこで、2008年に中海漁業協同組合と米子市漁業協同組合に対して中海に発生するクラゲ類に関する所見を求めたところ、クラゲの混獲により有用種の商品価値が低下する上、混獲により網揚げが困難になるなど、瀬戸内海や伊勢湾、三河湾における漁業被害と同様の情報が得られた(上・上田, 2004; 山田ほか, 2008)。さらに、高齢化が進む中海の漁業者にとって、上記のようなクラゲ類の引き起こす被害が深刻であり、問題解決に向けた基礎情報の収集が望まれていることも同時に伝えられた。

こうした背景の下、鳥取県内で唯一水産学科をもつ境港総合技術高等学校は、教育プログラムの一端である課題研究の1テーマとして、2008年度より中海に出現するミズクラゲの分布と成長のパターンを明らかにする課題に取り組み始めた。2008年度は本種の水平分布と成長様式に関する特徴を把握するための野外調査を行い、ミズクラゲの水平分布の特徴とサイズ組成の季節変化の一端を明らかにすることができたので、ここに結果を報告する。

方 法

野外調査

本種の水平分布と成長パターンを把握するために、中海に設けた6定点(Fig. 1)において2008年の5月26日、8月9日、9月6日、10月4日に野外調査を行った。なお、6月と7月は当校(境港総合技術高等学校)のカリキュラムの都合上、調査を行うことができなかった。各定点において、船上から目視できる範囲(約5m×5m)でクラゲ類の個体数を計数し、その後、ランダムに20~100個体を採

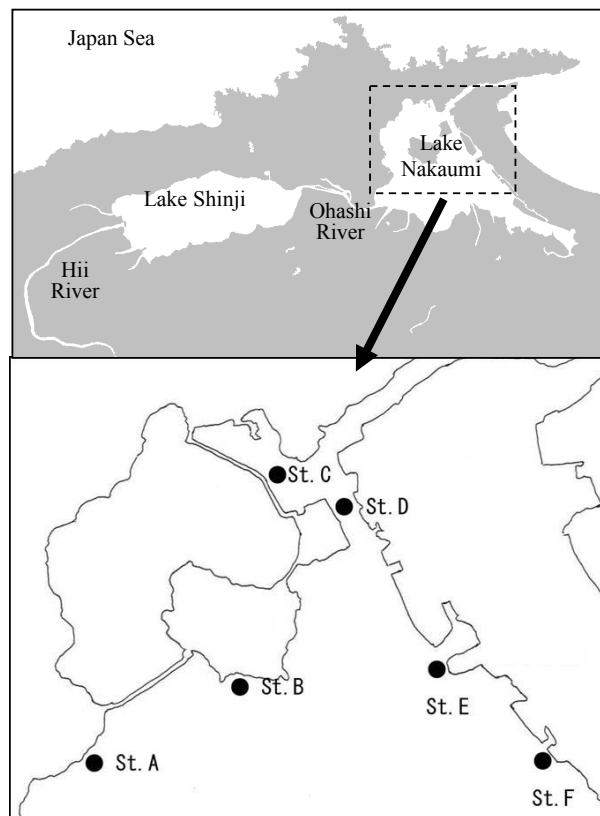


図1. 中海における野外調査の定点。

Fig. 1. Map of Lake Nakaumi. Census sites were also represented.

集し、各個体のサイズを傘径として計測した。また、各調査日の風に関する情報(松江気象台で測定された1時間毎の風速・風向)を気象統計情報(気象庁HP)よりダウンロードした。

データ解析

サイズ組成の季節変化を明らかにするために、調査日を独立変数、サイズ(傘径)を従属変数とする一元配置分散分析を行った。分析に先立ち、傘径値に対数変換を施してデータの正規化を図った(Sokal and Rohlf, 1995)。この分析の後、Student-Newman-Keulsの検定を行い、有意なサイズ変化の生じた月間を明らかにした(Underwood, 1997)。

また、クラゲが特定の場所で高密度に分布する傾向があるのかどうかを明らかにするために、地点毎(全6地点)に得られた4ヶ月分の密度データ(個体数/5×5m)を用いてKendallの一致係数を算出した(Sokal and Rohlf, 1995)。この統計値が有意であれば($P < 0.05$)、特定の場所で密度が高くなる傾向があると判定される。

さらに、調査を行った地点間でクラゲが一様に分布しているのか、ランダムに分布しているのか、そ

れとも特定の地点に集中的に分布しているのかを明らかにするために、森下の分布集中度指数 (I_b) を算出した。 I_b の算出式は以下の通りである (Krebs, 1989)。

$$I_b = n ((\sum x^2 - \sum x) / ((\sum x)^2 - \sum x))$$

(n : 調査地点数, x : 各地点における個体数)

ここで、 $I_b > 1$ ならば集中分布、 $I_b = 1$ ならばランダム分布、 $I_b < 1$ ならば一様分布と判定される。なお、 I_b が有意に 1 と異なるかどうかは、以下の統計量の有意性により判定した (Krebs, 1989)。

$$\chi^2 = I_b (\sum x - 1) + n - \sum x \quad (\text{自由度} = n - 1)$$

結果と考察

サイズ組成の季節変化

ミズクラゲのサイズ組成は季節的に変化した (Fig. 2; 一元配置分散分析: $F = 51.39, P < 0.0001$)。5月には傘径 20-30 mm と 120-130 mm にモードをもつ 2 群が確認されたが、8月には傘径のモードが 110-120 mm のみとなった (Fig. 2)。しかし、その後は 9・10月とも傘径のモード・レンジともに8月とほとんど違いが見られなかった (Fig. 2)。こうした結果は分散分析の結果に反映されており、5月における傘径が 8・9・10月に較べて有意に小さいことが示された (S-N-K test: $P < 0.05$)。これらの結果より、ミズクラゲの生活史に関する以下の2点が示唆された。

1点目は本種のフェノロジーに関するものである。ミズクラゲは卵から発生した後、まず固着生活を行うポリプとなり、その後、ポリプから分離して浮游型、いわゆるクラゲと認識される形態となる (安田, 1988; Lucas, 2001)。本調査において、ポリプからの加入群と考えられる傘径 10-40 mm の浮游型個体が確認されたのは5月のみであり、8月以降は確認されていない (Fig. 2)。さらに今年度 (2009年) の調査では、5月に全採集個体の 35% を占めた傘径 10-40 mm の浮游型個体が、6月に行った2回の調査ではいずれも 12% 以下に減少していた (檜山, 未発表)。これらの結果に加え、多くの個体群でポリプから浮游型への分離が晩冬から初春にかけて主に始まること (Lucas, 2001)、同様に、瀬戸内海においても浮游型の初期段階であるエフィラ幼生が 1-3月に出現し (上・上田, 2004)、東京湾ではエフィラ幼生の出現期が 12-5月で主な出現期が3月と考えられていることから (渡邊, 2000)、今日の中海においても、ポリプから浮游型への分離は主に5月以前であると考えられる。ただし、現時点においてはポリプの生育域が不明であるため、エフィラ幼生の分離が湖内で生じるのか、それとも境水道や美保湾・日本海で分離したエフィラ幼生が湖内に流入しているのかは定かではない。

浮游型となった後の成長に関しては、冬～初春にかけて緩やかに成長した後、春季の中頃に指数関数的な体サイズの増加が生じ、夏～秋季にかけて体サイズが減少することが多くの個体群で認められている (Lucas, 2001)。本調査の結果は、5～8月の間に体サイズ (傘径) の有意な増加があり (S-N-K test: $P < 0.05$)、この間にモードが著しく (約 10 cm) 増加したことを示している (Fig. 2)。6月と7月に調査を行っていないため、この期間に体サイズが徐々に増えたのか、それとも特定の時期に集中的に増加したのかは明らかでない。しかし、エフィラ幼生が冬季にほとんど成長しない反面、5～6月において水温上昇と動物プランクトン量の増加に応じて急速に親クラゲへと成長することがキール湾で報告されていることから (Möller, 1980)、本調査期間においても、5～8月の期間の前半に集中的に成長したものと予想される。一方、本調査では8～10月に有意なサイズ組成の変化が検出されず (S-N-K test: $P > 0.05$)、この期間における傘径のモードにはむしろ経月的な減少傾向が見られた (Fig. 2)。この結果は、産卵期にあたる夏～秋季に、体サイズが減少する傾向があるとする一連の先行研究の結果と類似す

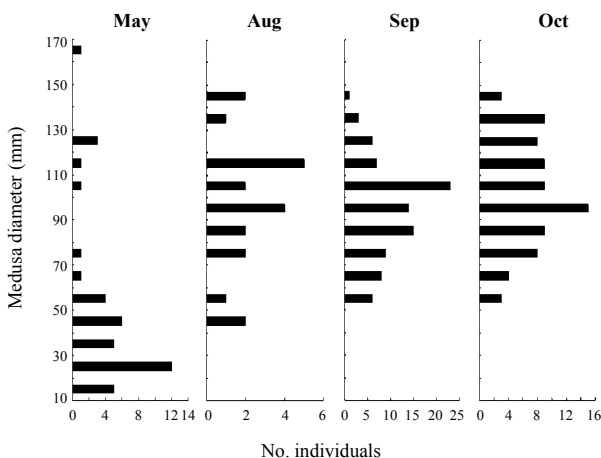


図 2. ミズクラゲのサイズ組成の季節変化。
Fig. 2. Seasonal change in size distribution of *Aurelia aurita*.

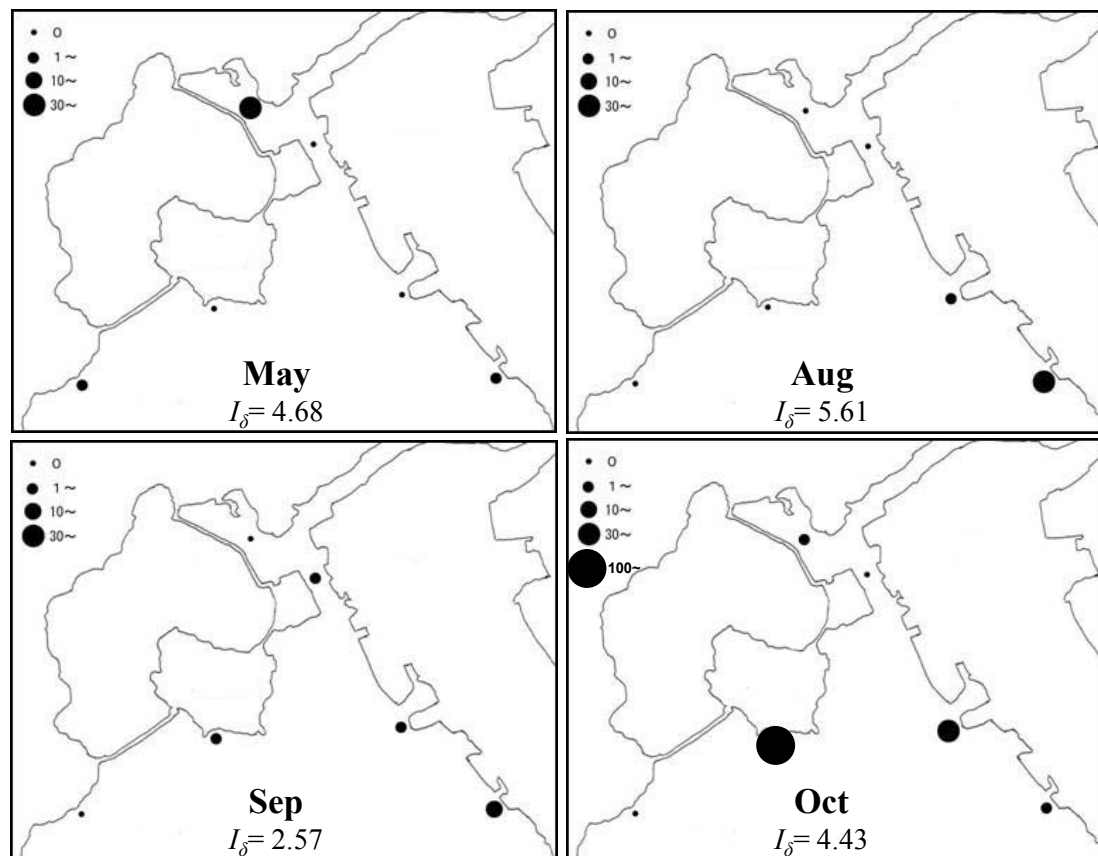


図3. 各調査日におけるミズクラゲの水平分布, および分布集中度指数 (I_δ).
 Fig. 3. Spatial distribution and dispersion index (I_δ) of *Aurelia aurita* at each census day.

る (Möller, 1980; Schneider, 1989; Lucas and Williams, 1994). したがって, 中海の個体群においても 8~10 月は成長期ではないと考えられる.

2 点目の示唆は, 浮游型の出現時期に関する示唆である. 瀬戸内海で行われた漁業者に対するアンケート調査では, 近年では浮游型の出現開始時期が早まった一方で消失時期が遅くなり, 浮游型のまま越冬する現象も普通に観察されるようになったことが報告されている (上, 2004; 上・上田, 2004). 我々の調査は 5-10 月の限られた期間に行われたものであるが, 上述のように, 5 月のサイズ組成には二山が確認された (Fig. 2). これらのうち, 小型の群は当年群であることは間違いないが, 大型の群は越冬群である可能性がある. この考察に関する直接的な証拠はないものの, 著者 (宮本) は 2005 年の 1 月に, 本庄水域の定置網から傘径が 10 cm 以上のミズクラゲ (浮游型) が大量に引き上げられる現場に立ち会ったことがある. これは, 5 月のサイズ組成とあわせて, 今日の中海に越冬する浮游型が存在することを示唆するものである.

空間分布の特徴

野外調査の結果より, 中海の表層付近におけるミズクラゲの分布様式は集中分布であることが示唆された. その証拠として, 各調査日の分布集中度指数 (I_δ) はいずれも 1 より大きな値であった (Fig. 3). このように, 表層付近におけるミズクラゲの分布が集中的であること, すなわちパッチ状であることは瀬戸内海でも報告がある (上, 2004).

さらに, こうしたミズクラゲのパッチが特定の水域に滞留するものではなく, 移動することも併せて示された. 全 4 回にわたる今回の調査の中で, 特定の水域にミズクラゲが常に高密度に出現する傾向は確認されなかった (Fig. 3). この点は, 各調査日間で評価した Kendall の一致係数が有意でなかったことから支持される ($W = 0.058, P > 0.05$). このように, ミズクラゲのパッチが移動性のものであることは漁業者も認識しており, 特に風との関連が指摘されている. そこで, 各調査日の分布集中度と風速の関係を評価した結果 (Fig. 4), 分布集中度の変動の 71% が風速の変化により説明され, 風が強いほ

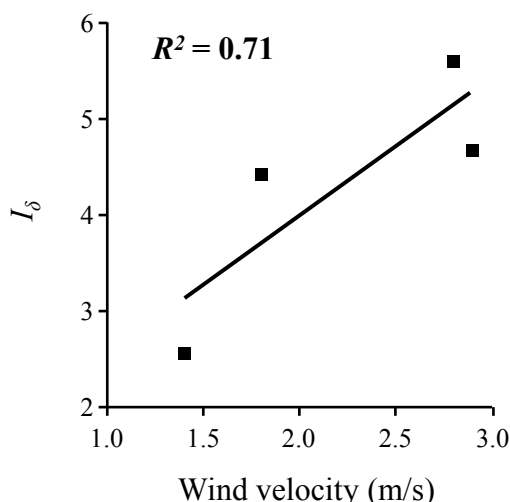


図4. 風速とミズクラゲの分布集中度指数の関係. 風速は各調査日に1時間毎に計測された値の平均値.

Fig. 4. The relationship between wind velocity and dispersion index (I_δ) of *Aurelia aurita*. The wind velocities are hourly means of each census day.

ど限られた水域にクラゲ類が集まる傾向があることが示唆された.

ただし、現時点において、これらの解釈は限定的である。今回の調査は定点数が少ないこと(6点)、森下の指数(I_δ)が地点数の影響を受けやすいことから、定点数を増やした後、分布集中度を再評価することが必要である。さらに、調査回数が4回であることから、分布集中度と風速の関係の有意性を確認することが困難であり、この点に関しても、調査回数を増やして再検証する必要がある。

結 論

本研究で行った野外調査の結果より、中海におけるミズクラゲの分布と生活史の特徴の一端が明らかになった。ただし、限られた日数と地点で行われた本調査は、漁業者が経験的に認識しているクラゲ類(特にミズクラゲ)の分布の特徴を全て検証することはできなかった。特に、風向とクラゲの集まる場所の関連性、そしてクラゲが多く生息する水深については、本調査では明らかにできなかった。こうしたクラゲが集まる場所の特徴は、漁業被害の大きい網漁業にとって有益な情報になることが期待される。今後はこの点の解明に力を注ぎたい。

謝 辞

中海のクラゲ類に関する情報を提供していただいた中海漁業協同組合の石倉正夫氏、聞き取り調査に快く応じていただいた中海漁業協同組合と米子漁業協同組合の漁業者の方々、本調査に熱意をもって取り組まれた境港総合技術高等学校海洋科の学生諸氏に厚く御礼申し上げる。

引 用 文 献

- 飯泉 仁 (2004) 大型クラゲ *Nemopilema nomurai* の大量出現に関する国際ワークショップおよび今後の研究方向について. 日本水産学会誌 70 : 821-823.
- 本多直人・松下吉樹・渡部俊広・飯泉 仁 (2005) エチゼンクラゲによる漁業被害に対する取り組み. 日本水産学会誌 71 : 975-976.
- 気象統計情報 (気象庁 HP) <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- Krebs, C. J. (1989) *Ecological Methodology*. Harper Collins Publishers Inc, New York, 654pp.
- Lucas, C. H. (2001) Reproduction and life history strategies of the common jellyfish, *Aurelia aurita*, in relation to its ambient environment. *Hydrobiologia* 451: 229-246.
- Lucas, C. H. and Williams, J. A. (1994) Population dynamics of the scyphomedusa *Aurelia aurita* in Southampton Water. *Journal of Plankton Research* 16: 879-895.
- Möller, H. (1980) Population dynamics of *Aurelia aurita* medusae in Kiel Bight, Germany (FRG). *Marine Biology* 60: 123-128.
- Schneider, G. (1989) The common jellyfish *Aurelia aurita*: standing stock, excretion, and nutrient regeneration in the Kiel Bight, Western Baltic. *Marine Biology* 100: 507-514.
- Sokal, R. R. and Rohlf, F. J., (1995) *Biometry* 3rd ed. Freeman, New York, 887pp.
- 上 真一 (2002) 沿岸表層の連鎖系. 月刊海洋 号外 29 : 137-142.
- 上 真一 (2004) 瀬戸内海におけるミズクラゲの増加と漁業被害. 日本水産学会誌 70 : 387-391.
- 上 真一・上田有香 (2004) 瀬戸内海におけるクラゲ類の出現動向と漁業被害の実態. 水産海洋研究 68 : 9-19.

- Underwood, A. J. (1997) Experiments in ecology: their logical design and interpretation using analysis of variance. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- 上田幸男 (2009) 招かざる客アカクラゲとミズクラゲの徳島県沿岸への大量来遊. 徳島県水研だより 62. http://www.green.pref.tokushima.jp/suisan/s_dayori/62/62sdayori.html
- 山田 智・海幸丸乗組員 (2008) クラゲによる漁業被害軽減対策技術開発試験, 平成 19 年度愛知県水産試験場業務報告.
- 安田 徹 (1998) ミズクラゲの研究. 日本水産資源保護協会, 東京, 136pp.
- 安田 徹 (2004) 2003 年晩夏から冬にかけて日本近海に大量出現した巨大エチゼンクラゲ *Nemopilema nomurai* Kishinoue と漁業被害. 漂着物学会誌 2 : 35-38.
- 渡邊朋子 (2000) 大量発生につながるミズクラゲ *Aurelia aurita* のポリプの成長と増殖およびエフィラ幼生の生産に関する研究. 東京水産大学博士学位論文.
- Weisse, T. and Gomoiu, M. T. (2000) Biomass and size structure of the scyphomedusa *Aurelia aurita* in the northwest Black Sea during spring and summer. Journal of Plankton Research 22: 223-239.

宍道湖・中海地域とエコツーリズム先進地との比較検討

都筑良明¹・國井秀伸²・板倉宏文³・飯野公央⁴・野津登美子⁵

Comparison between lakes Shinji and Nakaumi area and some typical eco-tourism areas

Yoshiaki Tsuzuki¹, Hidenobu Kunii², Hirofumi Itakura³, Kimio Iino⁴ and Tomiko Notsu⁵

Abstract: The authors introduced recent various activities by local governments, industries and NGOs related to ecotourism in the area of Lakes Shinji and Nakaumi and elements to be included in the ecotourism program, and identified desirable directions for the ecotourism in the area in the previous paper. In this paper, we have compared typical ecotourism areas especially those with water environment in Japan and abroad with consideration of successful and failure experiences of ecotourism in those areas. Ecotourism type 2 or 3 of Ministry of the Environment, Japan, are considered to be applied in this area, and type 1 or 2 are considered to be applied if combined with Oki Islands where traditional type ecotourism already exists. Drastic environmental alternations should affect natural environment which is one of the critical elements for eco-tourism as observed for Atitlán Grebe (*Podilymbus gigas*) extinction at Lago de Atitlán, Guatemala, affected by the earthquake. Such kinds of large scale environmental alternations including artificial geological alternation of the Honjo Area derived from the land reclamation suspension and the climate change should be considered in planning of eco-tourism in this area. Guidelines preparation for ecotourism has been conducted in some typical ecotourism areas in Japan. Participants' observance and adaptative management of the guidelines by the management and policy development sector are challenging topics in the rules of the ecotourism areas in Japan including this area.

Key words: Lakes Shinji and Nakaumi, ecotourism, tourism, community participation, large scale inner and outer effects, guidelines

¹ 島根大学汽水域研究センター協力研究員 (〒 690-8504 島根県松江市西川津町 1060) E-mail: tsuzuki.yoshiaki@gmail.com
Cooperative Researcher, Research Center for Coastal Lagoon Environments (ReCCLE), Shimane University
東洋大学期間雇用者 (〒 112-0001 東京都文京区白山 2-36-5) Fixed term contractor in charge of the research project, Toyo University

² 島根大学汽水域研究センター (〒 690-8504 島根県松江市西川津町 1060) E-mail: kunii@soc.shimane-u.ac.jp
Professor, ReCCLE, Shimane University

³ 島根県環境生活部 (〒 690-8501 島根県松江市殿町 1 番地) E-mail: itakura-hirofumi@pref.shimane.lg.jp
Department of Environment and Life, Shimane Prefecture

⁴ 島根大学法文学部 (〒 690-8504 島根県松江市西川津町 1060) E-mail: iino@soc.shimane-u.ac.jp
Associate Professor, Faculty of Law and Literature, Shimane University

⁵ 財団法人ホシザキグリーン財団 (〒 691-0076 島根県出雲市沖の島 1659-5) E-mail: hgfnotsu@green-f.or.jp
Hoshizaki Green Foundation

1. はじめに

エコツーリズムは、20世紀中頃から世界的に提案されてきた概念の1つで、旅行者に対して、自然・歴史的遺産に親しむことができるプログラムおよび自然体験を通じての満足感を提供するとともに、地域経済振興の達成を目指すものである¹⁾。

最近になって、環境省が日本のエコツーリズムを3類型に区分した²⁾(表1)。類型1は典型的エコツーリズム、類型2および3は日本型エコツーリズムとも言えるもので、類型2はマストツーリズムのエコ化、類型3はエコツーリズムで地域づくりを目指すものである。日本のエコツーリズムのケーススタディについては、コミュニティーベースツーリズムの視点からの日本の小笠原、屋久島、尾瀬のエコツー

リズムについての考察が行われた³⁾。しかしながら、類型2,3のエコツーリズムのケーススタディはあまり行われていない。

都筑ら¹⁾は、宍道湖・中海地域(図1¹⁾)におけるエコツーリズムに関する動向を把握、素材を整理するとともに、流域のエコツーリズムの方向性について検討した。その結果、この地域にとって、観光業の発展は産業発展のために望ましい方向であること、エコツーリズムの素材は相当あること、その導入に際しては、まちづくり、市民参加等との連携が必要であることが示された。

島根半島の沖合い約45kmに隠岐諸島があり、従来からエコツーリズムが行われている(図1¹⁾)。本研究においては、宍道湖・中海地域のエコツーリズムの可能性について検討する目的で、宍道湖・中海

表1. 環境省によるエコツーリズムの類型とモデル地区(環境省²⁾を基に筆者らが作成)

Table 1. Types and model districts of eco-tourism defined by the Ministry of the Environment, Japan (Prepared by the authors after the Ministry of the Environment, Japan²⁾)

類型	説明	モデル地区
1: 豊かな自然の中での取り組み(典型的エコツーリズムの適正化)	原生的な自然を有する地域において、自然に直接ふれあうガイドツアーが自然に影響を与えないよう、適切なルールのもとで推進されるようなモデルを形成します。	知床, 白神, 小笠原, 屋久島
2: 多くの来訪者が訪れる観光地での取り組み(マストツーリズムのエコ化)	すでに多くの観光客が訪れている観光地域や、地域固有の素材を活用した誘客による地域振興を目指す地域などにおいて、一般的な観光旅行や林間学校などの体験内容を、自然や生態の成り立ちや地域文化への理解を促し、深い感動を与えるものへと改善されるようなモデルを形成します。	裏磐梯, 富士山北麓, 六甲, 佐世保
3: 里地里山の身近な自然, 地域の産業や生活文化を活用した取り組み(エコツーリズムで地域づくり)	里地里山における自然体験, 里山や植林の管理, 清掃活動など, 環境保全活動自体を魅力あるプログラムに結びつけた新しい観光のジャンルを確立し, ツアーへの幅広い参加を促すとともに, 地域経済の活性化と資源の保全の両立が図られたモデルを形成します。	田尻, 飯能名栗, 飯田, 湖西, 南紀熊野

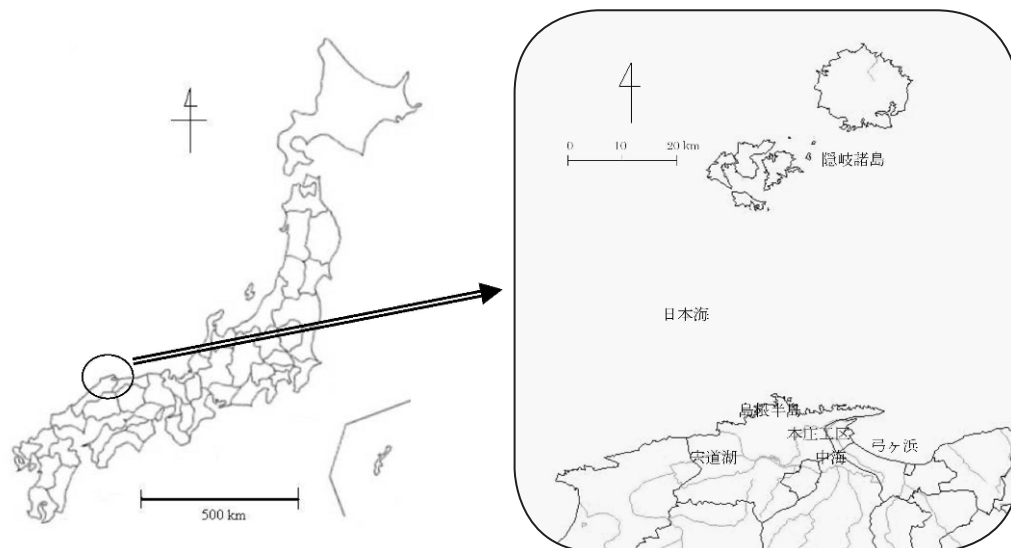


図1. 宍道湖・中海位置図¹⁾

Fig 1. Location of Lakes Shinji and Nakaumi¹⁾

地域と、隠岐諸島および特に水域を有する代表的な内外のエコツーリズムが実施されている地域との比較検討を行った。

2. 方 法

はじめに、宍道湖・中海地域のエコツーリズムの可能性を検討する目的で、宍道湖・中海地域と代表的なエコツーリズムの対象地域である隠岐諸島、沖縄⁴⁾、プーケット⁵⁾との比較検討を行った。

つぎに、宍道湖・中海地域では水鳥が重要なエコツーリズムの要素であることから、水鳥絶滅についての比較的详细な記録が残されているアティトラン湖 Lago de Atitlán (グアテマラ)⁶⁾との比較検討を行った。アティトラン湖は、かつては固有種であるグアテマラカイツブリ *Atitlán Grebe (Podilymbus gigas)* の生息地であった。その絶滅に至る記録が詳細に残されている⁶⁾。さらに、グアテマラカイツブリの生息地であったことが大きな要因となって、グアテマラで最初の自然保護区が設けられた。

さらに、これらの検討結果を踏まえ、日本のエコツーリズムの対象地域におけるルールとマナーについて考察した。

3. 結果と考察

(1) 宍道湖・中海地域の特徴

国内外の代表的なエコツーリズム対象地域から、沖縄⁴⁾、プーケット⁵⁾、さらには水鳥の絶滅の記録が残されているアティトラン湖⁶⁾との比較検討を行った(表2)。なお、宍道湖・中海地域には、都筑ら¹⁾の表3に示したような素材があると考えられている。

表2から、国内外の代表的なエコツーリズムの地である沖縄、プーケットには多くの自然体験が可能な要素があり、隠岐諸島には、独特の自然要素が残されていて、それらの自然観察および体験が可能であることが分かる。これらに対して、宍道湖・中海地域では、宍道湖・中海という2つの汽水湖とその動植物を含む自然に希少価値があり、これらの自然を観察し、シジミ漁など汽水域に独特の産業を体験することが可能である。

プーケットがエコツーリズムに成功している原因として、従来型の観光地とエコツーリズムの観光地が近接している効果をうまく活かしていること、欧米観光客の自然志向とマッチしていることが挙げら

れる^{5),7),8)}。これに対して、沖縄では、前者の要素は同様であると考えられるが⁴⁾、自然志向の観光客をうまく迎え入れているとは言えない面が指摘されている⁹⁾。これは、西表島における自然体験ツアーの調査結果に基づき、一部の発展途上国で成功している自然体験型エコツーリズムは、特に社会・経済的状況が大きく異なる日本などの先進国においては、これまで利用されていなかった良質な自然を対象とする場合が多く、自然利用と自然破壊のトレードオフを考慮して自然環境保全促進の方向にバランスすることは難しいという見方である。

宍道湖・中海地域においては、従来型の温泉、博物館、美術館等を中心とする観光業が成立しており、エコツーリズムの対象地は、その周辺の豊かな自然が残されている地域であり、Kontogeorgopoulos⁸⁾がプーケットを成功例として報告しているような従来型観光地とエコツーリズムの対象地域とが、うまく融合したエコツーリズムが成立する可能性があると考えられる。

日本型のエコツーリズムには、環境省の3類型(表1)があるとされている。宍道湖・中海地域では既に観光業が1つの中心的な産業となっていること、島根、鳥取の両県では人口減少に代表される過疎化が問題となっていることから、類型2と3を組み合わせたとようなエコツーリズムが目指す方向として考えられる(表2)。隠岐諸島では類型1のエコツーリズムが成立しているため、隠岐諸島まで対象とすると、この地域には、類型1から3までのエコツーリズムが考えられることになる。

(2) 宍道湖・中海地域におけるエコツーリズムに影響を大きな及ぼす環境面の内部要因と外部要因

図2に示すように、アン・ラバスティールを中心とするアティトラン湖におけるグアテマラカイツブリの保護は、当初は成功し、生息数も増加した⁶⁾。しかしながら、別荘、観光客数の増加による水質汚濁を含む自然破壊とグアテマラカイツブリの生息数の減少が見られた。さらに、地震という天災により、湖周辺の地形が変化し、湖水位の低下が生じ、絶滅に至ることになった。この事例から我々が学ぶべきことは、自然保護により動植物の保護が可能であること、観光地化が進む際に自然保護に十分な配慮が行われなければマイナス要因となる可能性があること、地震のような天災に代表されるような大きな環境変動が自然保護に大きな影響を及ぼす可能性があることである。これら3点とも、一般的ではあるが、

表2. 国内外のエコツーリズムを含むいくつかの観光地における従来型観光, エコツーリズムの要素, プラス要因, マイナス要因, および環境省の類型に基づく分類

Table 2. Elements of traditional tourism and eco-tourism, positive and negative element classification, and eco-tourism type classification based on the definitions by the Ministry of the Environment, Japan

	宍道湖・中海	隠岐	沖縄 ⁵⁸⁾	ブーケット ⁵⁹⁾	アティトラン湖 ⁶⁰⁾
従来型観光の要素	温泉(松江しんじ湖温泉, 玉造温泉, 海潮温泉など) 美術館, 博物館, 記念館(県立宍道湖自然館ゴビウス, 荒神谷博物館, 出雲市立木綿街道交流館, 足立美術館, イングリッシュガーデン, 松江フォーゲルパーク) 遺跡, 旧跡, 寺社(荒神谷遺跡・加茂岩倉遺跡, 出雲大社, 松江城・塩見縄手, 鬼の舌震, 大根島, 日御碕灯台・日御碕神社, 月山富田城跡, 美保関灯台) 公園・自然・特産物(宍道湖, 中海, しまね花の郷, 龍頭ヶ滝・八重滝, 来待ストーン, 中国自然歩道, 島根半島, 自然観察モデルコース)	温泉(海士温泉, 隠岐温泉) 美術館, 博物館, 記念館(歴史民族資料館, 隠岐家宝物館, 隠岐郷土館, 創生館, 隠岐自然館) 遺跡, 旧跡, 寺社(後鳥羽院, 隠岐神社, 玉若酢命神社, 水若酢神社, 隠岐国分寺, 赤尾展望台, 由良比女神社, 隠岐神社, 金光寺, 隠岐国分寺, 駅鈴・玉若酢命神社) 公園・自然・特産物(赤ハゲ山展望台, 赤壁, 魔天崖, 国賀浜, 国賀海岸, ローソク島, 明屋海岸, 白鳥海岸, よろい岩, 浄土が浦, しゃくなげ園, 佐山牛突場, 壇鏡の滝)	マリン・ビーチ(西原きらきらビーチ, みやこサンセットビーチ) 自然や様々なパーク(宮古島うえのドイツ文化村, 沖縄こどもの国, フナウサギバナタ, ティンダバナ, 与那覇岳, 万座毛, 比屋定バンタ, 久部良バリー帯, 八重山鍾乳洞洞植物園, 久米島ウミガメ館) 歴史・文化を訪れる(園比屋武御嶽石門, 首里城跡, 慶良間海洋文化館, 石垣島四ヶ村のプーリイ) 美術・工芸を楽しむ(与那国町伝統工芸館) 芸能・音楽にふれる(沖縄全島エイサーまつり) リラクゼーション(露天風呂, ヒーリングプール)	ブーケット島(シュノーケリング, ダイビング, 島巡り, スイミング, スピードボート, 真珠の養殖場) ビビ島(シュノーケリング, 観光, スピードボート, ダイビング) バンガー湾(ジェームズボンド島, 海の洞窟, ホング, シーゾプシーの村, 急流川くだりラフティング) クラビ(島巡り, ロッククライミング, カヤック) カオラック(ビーチ, 手付かずの自然, トレッキング, 国立公園) カオソック国立公園(ジャングル, 野生の生物) シミラン島(スキューバダイビング巨岩, チャネル)	温泉(なし) 美術館, 博物館, 記念館(なし) 遺跡, 旧跡, 寺社(なし) 公園・自然・特産物(アティトラン湖, グアテマラカイツブリ)
エコツーリズムの要素	公園・自然・特産物(宍道湖, 中海, しまね花の郷, 龍頭ヶ滝・八重滝, 来待ストーン, 中国自然歩道, 島根半島, 自然観察モデルコース) 動植物(水鳥:ガン, カモ, スズガモ, キンクロハジロ, マガン, ホシハジロ, コハクチョウ, 植物:(宍道湖)ヨシ, ガガブタ, シンジコハゼ, ナゴヤサナエ, ヤマトシジミ, (中海)コアマモ, オオクグ, アサリ, ヒイラギ) ラムサール条約(シジミ漁, 湿地の産物のブランド化, 湿地の生き物とのふれあい, 湿地の美しさの観賞)	公園・自然・特産物(赤ハゲ山展望台, 赤壁, 魔天崖, 国賀浜, 国賀海岸, ローソク島, 明屋海岸, 白鳥海岸, よろい岩, 浄土が浦, しゃくなげ園, 佐山牛突場, 壇鏡の滝)	西表島のジャングル(浦内川, 軍艦岩, ボート, マングローブ林, カワウ, カムリワシ, トレッキング, マリウドウの滝, カンビレーの滝, セイシカ, イリオモテヤマネコ, ヤンバルクイナ, ビナイサウラの滝, ヒナイ川) イノノ自然観察(サンゴ礁, ヒシ(干瀬), イノノ(礁池), 熱帯魚, ナマコ, ヒトデ, 天然の水族館, カニ) 農産物収穫(サトウキビ, 黒糖, パイナップル, 紅芋, クレソン, 黒ゴマ, ビーナッツ, コーヒー豆) 自然体験(ホエールウォッチング, シーカヤック, は龍船(ハーリー)競漕)	カオラック, アンダマン海, カオソック国立公園, カオラック国立公園, シミラン・スリン諸島, 象トレッキング, ゴムのプランテーション, コーヒー, マンゴスチン, ランブータン, パンブーラフティング, ラフレシア, バンガー湾, シーカヌー, ナイヤン国立海洋公園(ウミガメの産卵場所)	公園・自然・特産物(アティトラン湖, グアテマラカイツブリ)
プラス要因	・ 従来型の温泉, 博物館, 美術館等を中心とする観光業が成立しており, エコツーリズムの対象地は, その周辺の豊かな自然が残されている地位が対象となる可能性がある。 ・ 宍道湖・中海と隠岐とを組み合わせることにより, ブーケット型の従来型の観光地とエコツーリズムの観光地とを組み合わせることができる可能性がある。	・ エコツーリズムのインタープリターが既に活動を行っている, エコツーリズムが成立している。	・ 従来型の観光地があり, 自然が残されたエコツーリズムの対象となる地域がある。	・ 通貨危機による欧米からの観光客の増加は, 自然志向のツアー客数の増加を意味し, エコツーリズムの追い風となった。 ・ エコツーリズムの顧客数の多さとパッケージ化 ・ 旅行社のマーケティング戦略 ・ エコツーリズムサイトと従来型観光地とが隣接していること ・ 旅行社では, 従来型のツーリズムの中にも, 自然の中での活動, 自然保護, 持続可能性, 倫理的な運営, 地域に適した管理・利益・規模の運営, 環境教育などのエコツーリズムの原則を取り入れている。	・ グアテマラで初めて鳥の保護区が設置された。
マイナス要因	・ 従来型の観光要素は多いが, エコツーリズムの要素が観光にうまく取り入れられていない。	・ 都市圏からの時間距離がある。	・ 西表島における自然体験ツアーにおいて, 良質な自然を対象とする場合が多く, 自然利用と自然破壊のトレードオフを考慮して自然環境保全を促進する方向にバランスすることが困難である。	・ 1990年代, アジア通貨危機により, タイ政府は長期的な持続可能性を犠牲にして, 短期的な外貨獲得を目指さざるを得なかった。 ・ タイ南部への旅行客数の増加により, 環境の悪化を生じた。	・ 湖の周りで別荘の開発が行われた。別荘の所有者や観光客がグアテマラカイツブリに代表される自然志向であったかは疑問であり, 別荘開発が湖の水質悪化の原因となった。
環境省による類型	類型2または3 類型1または2	類型1	類型1または2	類型1または2	類型1または2

1つのケーススタディから読み取れるという点で、アン・ラバスティールの記録は貴重である。

宍道湖・中海地域でも、観光客数の増加を目的とする施策を計画・実施する際には、関係者による十分な協議を行いながら進める必要がある。宍道湖・中海地域は、動植物を含む水域がエコツーリズムの大きな要素である。したがって、本地域のエコツーリズムを考える際には、アティトラン湖における地震のように大きな影響を及ぼす可能性がある環境要因として、本庄工区の干拓中止に伴う地形の改変や気候変動の影響が挙げられる^{10),11),12)}。前者の本庄工区の改変は内部要因である。後者の気候変動は人災であるという考え方が現在では一般的であるが、地域レベルの人知では変えることが難しい外部要因と考えることができる。アティトラン湖における地震のような天災と異なるのは、ある程度の予測が可能となっているという点であり、それらの影響を考慮した計画の策定が望まれる。

(3) エコツーリズム対象地域におけるルールとマナー

本研究では、ラムサール条約の登録地である宍道湖・中海地域を対象として、エコツーリズムの可能性について検討した。エコツーリズムの成否は、この地域の自然をどのように持続可能に提供していくかが課題であり、西表島で悲観的に述べられているような状況⁹⁾にならないようにするためには、行政、観光業者、専門家、環境NGO等の関係者による計画策定、ルールの策定と遵守が必要である。

成功していると言われている海外の事例では、自然に触れる際のマナーを整理し、ツアー参加者に十分に認識させることが1つの特徴となっている^{7),8)}。欧米社会においては、例えば、アメリカの国立公園での自然体験型プログラムが社会に溶け込んでいる¹³⁾ことから考えると、エコツーリズムの成否の要因としては、社会・経済的発展の要素⁹⁾のうち、参加者およびエコツーリズム実施者の両者にルールの確立とその遵守が求められるとともに、参加者の側には欧米観光客と同程度の自然志向の醸成が必要であると考えられた。前者のルールの確立と遵守につ

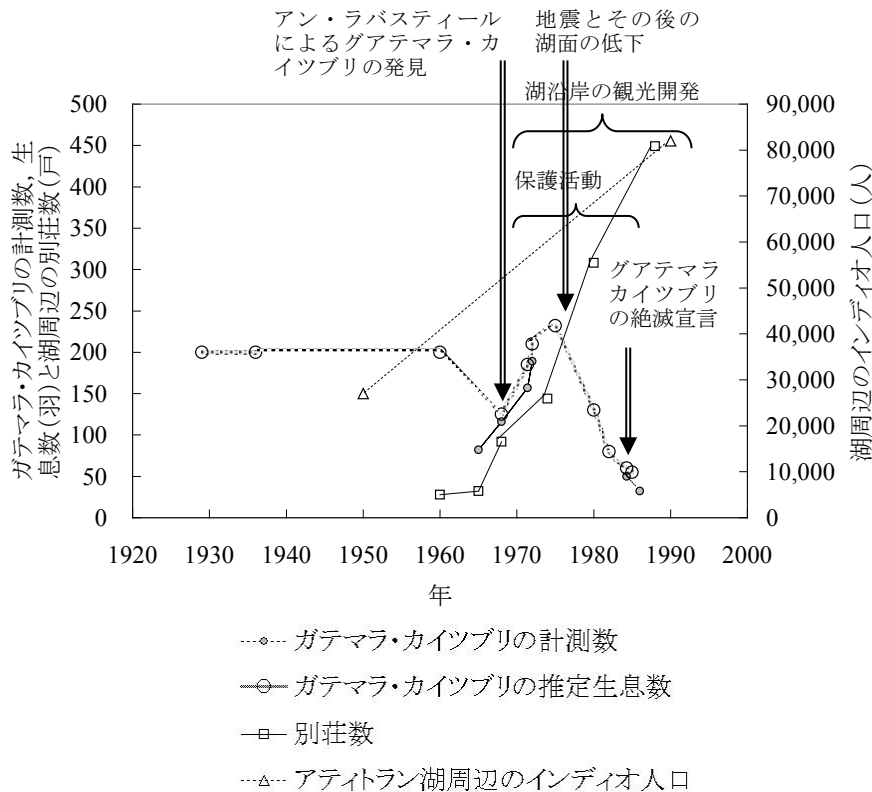


図2. アティトラン湖における環境の変化（アン・ラバスティールを中心とする保護活動，湖周辺の観光開発，地震の影響）とグアテマラカイツブリの生息数の推移（出典：アン・ラバスティール⁶⁾を元に筆者らが作成）

Fig 2 Environmental alternations, environment conservation activities by Anne LaBastille and her friends, tourism development around Lago de Atitlán (Atitlán Lake) and the influence of the earthquake, and the estimation number of Atitlán Grebe (*Podilymbus gigas*) around the lake (Prepared by the authors based on Anne LaBastille⁶⁾, who was called Mama Poc)

いては、日本のエコツーリズム先進地でもルールの整備が進められている¹⁾²⁾。日本社会では、今後は、後者の参加者による遵守、さらには作成者、管理者側によるルールについての順応的対応が課題であると考えられた。

5. 結 論

宍道湖・中海地域のエコツーリズムの可能性について、エコツーリズム先進地等との比較検討を行った結果、次のような結論が得られた。

- 1) 宍道湖・中海流域では環境省の類型2または3のエコツーリズムが、隠岐諸島と合わせると類型1または2のエコツーリズムが実現する可能性がある。
- 2) 天変地異の影響は大きい。本地域における可能性がある天変地異として、例えば、地球規模の影響である地球温暖化がある。地球温暖化についてはある程度の予測が行われていることから、その影響を本地域のエコツーリズムの計画に組み入れることが必要である。
- 3) エコツーリズムのルールについては、行政、観光業者、専門家、環境NGO等の関係者による計画、ルールの策定、参加者によるルールの遵守、さらには関係者による順応的なルールの管理を行うことが必要である。

謝 辞

本研究は、平成18年度財団法人中国電力技術研究財団産業振興に関する調査・研究助成により研究助成を受けた。記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 都筑良明・國井秀伸・板倉宏文・飯野公央・野津登美子 (2008) 宍道湖・中海地域におけるエコツーリズムについての現状分析, LAGUNA (汽水域研究), No.15, pp.33-48.
- 2) 環境省 (2006) 地球のためにできること: エコツーリズム推進ガイド, 制作: 財団法人日本交通公社
- 3) Hiwasaki, L. (2006) Community-based tourism: a pathway to sustainable for Japan's protected areas, *Society and Natural Resources*, Vol.19, pp.675-692.
- 4) 財団法人 沖縄観光コンベンションビューロー (2007) 沖縄観光情報 Web サイト真南風プラス mahae plus (http://www.ocvb.or.jp/index.php?current=Page_Header&action=Top_Page&mode=isel&lang=ja&name=top_page)
- 5) Asia Web Direct Co., Ltd. (2007) Tropical Phuket (<http://www.tropicalphuket.com/>)
- 6) アン・ラバステイール(1994)絶滅した水鳥の湖, 幾島幸子訳 (原題: An ecologist's account of the extinction of a species), 晶文社, 304p.
- 7) Kontogeorgopoulos, Nick (1999) Sustainable tourism or sustainable development? Financial crisis, ecotourism, and the 'Amazing Thailand' campaign, *Tourism*, Vol.2, No.4, pp.316-332.
- 8) Kontogeorgopoulos, Nick (2004) Conventional tourism and ecotourism in Phuket, Thailand: conflicting paradigms or symbolic partners?, *Journal of Ecotourism*, Vol. 3, No.2, pp.87-108.
- 9) 奥田夏樹 (2005) 西表島を例とした自然体験型エコツーリズムをとりまく現状と課題, 保全生態学研究, Vol.10, pp.99-100.
- 10) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001) Climatechange 2001: The scientific basis (http://www.grida.no/climage/ipcc_tar/)
- 11) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007) Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability, Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth assessment report, Summary for policymakers.
- 12) 気象庁 (2007) IPCC 第4次評価報告書第1作業部会報告書政策決定者向け要約, 24p.
- 13) 小川潔 (1992) 環境教育の20年, 環境情報科学, Vol.21, No.2, pp.2-6.

マガキ属自然交雑個体の二対立遺伝子解析

岩崎健史¹・田中智美¹・飯塚祐輔¹・菱田泰宏²・蕭聖代³・荒西太士¹

A biallelic microsatellite DNA analysis for natural hybrid *Crassostrea* oysters

Takeshi Iwasaki¹, Tomomi Tanaka¹, Yusuke Iidzuka¹, Yasuhiro Hishida², Sheng-Tai Hsiao³,
and Futoshi Aranishi¹

Abstract: Pacific oyster *Crassostrea gigas* and Portuguese oyster *C. angulata* are morphologically related species that are sympatrically distributed at nearshore blackish areas in the subtropical zone of East Asia. Although these two species have thus far been known as inter-fertilizable under controlled conditions, molecular-based studies on mitochondrial DNA analysis verified obvious genetic differences between them. Huvet *et al.* (2004) reported a novel microsatellite DNA marker enabling to discriminate allelic sequence variants for *C. gigas* and *C. angulata*. In this study, we developed a rapid, reliable, and secure PCR-RFLP analysis of the biallelic microsatellite marker to diagnose hybrid oysters between *C. gigas* and *C. angulata* in wild stocks. An array of wild oyster specimens of *C. gigas* haplotypes and *C. angulata* haplotypes collected from Japan, Taiwan, and Korea were subjected to PCR amplification of the microsatellite marker and subsequent RFLP assay using FastDigest® *Bsp1407I* restriction enzyme, followed by microchip electrophoretic diagnosis of both PCR and RFLP products. It took about 2 hours for the whole process of our analysis, and the frequencies of biallelic variants observed in *C. gigas* and *C. angulata* haplotype stocks were at the equivalent level of those of the previous report. In addition, a high frequency of the allelic variants for *C. angulata* in *C. gigas* haplotype stock in Tokyo Bay suggests the occurrence of natural hybrid oysters between *C. gigas* and *C. angulata*.

Key words: *Crassostrea gigas*, *Crassostrea angulata*, natural hybrid, microsatellite locus, microchip electrophoresis

はじめに

マガキ属 *Crassostrea* のカキ類は世界最大の年間生産量を誇る水産経済動物種であり、特に東アジアの島嶼域ではマガキ *C. gigas* とポルトガルガキ *C. angulata* の 2 種が重要種とされている (FAO, 2003)。日本や韓国を原産とする温帯種の *C. gigas* は、100 年

以上に亘って主に日本から南北アメリカやヨーロッパ、オーストラリア、アフリカまで移植されており、現在では世界各地で生産されている (Chew, 1990; Matthiessen, 2000)。一方、亜熱帯種の *C. angulata* は、台湾の南西部の台西から布袋、七股周辺で採苗し、台西海域から布袋海域と澎湖湾で主に生産されており (森, 2009)、また南ヨーロッパでも 19 世紀末から

¹ 島根大学汽水域研究センター Coastal Lagoon Research Center, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan.

² 大仁科技大學人文暨社會學院 College of Humanities and Social Sciences, Tajen University, Pingtung 908, Taiwan.

³ 台湾行政院農業委員會水產試驗所 Marine Fisheries Division, Fisheries Research Institute, Keelung 20246, Taiwan.

1970年代初頭まで生産されていた(Comps, 1988). このように*C. angulata*には台湾と南ヨーロッパで異所的に分布するユニークな特徴があったが, 現在では台湾が本種の起源であると証明されている(Boudry *et al.*, 1998; O'Foighil *et al.*, 1998). なお, ヨーロッパでは, 16世紀頃の貿易船によるアジアからポルトガルへの移植説が伝えられているそうである.

*C. gigas*は1793年にThunbergにより日本の在来種として, また*C. angulata*は1819年にLamarckによりポルトガルの在来種として, 主に分布域の違いにより別種に分類された. しかし, その後の形態分類(Ranson, 1948)や交配実験(Gaffney and Allen, 1993), アイソザイム分析(Mathers *et al.*, 1974; Mattiucci and Villani, 1983)では両種のシノニム説を提起していた. 一方, 天然環境での成長率が両種間で有意に差があるなど(Parache, 1989; Soletchnik *et al.*, 2002), 多くの異なる生理生態学的特徴も報告されている(Gouillet *et al.*, 1999; Haure *et al.*, 2003). また, 近年飛躍的に発展している分子遺伝学的解析では, ミトコンドリアDNA(Boudry *et al.*, 1998; O'Foighil *et al.*, 1998; 飯塚, 2008; 岩崎, 2008)および核DNA(Huvet *et al.*, 2000)ともに両種間で有意な遺伝的差異が確認されており, 現在ではシノニム説は否定されている. 但し, 実験環境下では両種間のF1交雑個体の形成および正常な生存が観察されており, 種分化が不十分であることも事実である(Huvet *et al.*, 2001, 2002). さらに, 1970年代以降の積極的な*C. gigas*の人為的移植により(Ruano, 1997), 両種が同所的に分布するポルトガル南部の*Crassostrea*個体群では, 二対立遺伝子マイクロサテライトマーカーCG44座の分析で自然交雑個体の出現が報告されている(Huvet *et al.*, 2004). 本研究では, 両種が同所的に分布する東アジア島嶼域においてフィールド調査により自然交雑個体を探索するため, CG44座の迅速かつ簡便で高精度な分析方法を開発するとともに, その適用性を検討した.

試 料

日本の中海(島根県)と九州南部(鹿児島県, 宮崎県および沖縄県), 韓国の慶尚南道および台湾の屏東縣から採集した*Crassostrea*個体の内, ミトコンドリアDNAの調節領域(沖本, 2006), チトクロームc酸化還元酵素サブユニットI遺伝子(飯塚, 2008)または16SリボソームRNA遺伝子(岩崎, 2008)を指標とした分子分類により, *C. gigas*と同定された

20個体および*C. angulata*と同定された21個体を使用した. 各個体から閉殻筋を分離し, DNA調製に供するまで-20°Cで冷凍保存した.

実験方法

DNA調製

全ゲノムDNAは, 凍結閉殻筋から尿素-SDS-Proteinase K法に従い調製した(Aranishi and Okimoto, 2004, 2005; Aranishi, 2006; Aranishi and Iidzuka, 2007). 閉殻筋約20 mgを200 μ lの抽出溶液(10 mM Tris-HCl pH 7.5, 20 mM EDTA pH 8.0, 1% SDS, 4 M urea, 25 μ g Proteinase K)に懸濁し, 55°Cにて60分間攪拌加熱した. 25 μ lの5 M NaClを添加して十分に混合した後, フェノール溶液(phenol:chloroform isoamyl:alcohol = 25:24:1)およびクロロホルム溶液(chloroform:isoamyl alcohol = 24:1)により精製し, 引き続きエタノールにより沈殿した. DNA沈殿をエタノールで洗浄して十分に乾燥した後, 10T0.1E溶液(10 mM Tris-HCl pH 7.5, 0.1 mM EDTA pH 8.0)に再溶解した. なお, DNA溶液の濃度および純度はEppendorf社製BioPhotometerにより測定した.

PCR-RFLP解析

CG44座のPCR増幅は, MgCl₂終濃度を3.0 mMに調整したPromega社製GoTaq Green Master Mix, 各0.5 μ Mのプライマーおよび10 ngのDNA溶液で反応した. プライマーの塩基配列は5' GAAGAATGT CATAGATTGATGG 3'および5' CATGCCTGTTTACC AGTATTC 3'である(Magoulas *et al.*, 1998). Techne社製TC-312サーマルサイクラーによるPCR条件は, 94°Cで2分間の初期変性後, 94°Cで10秒間の変性/53°Cで20秒間の会合/72°Cで30秒間の伸長を35回繰り返す. RFLP解析は, 1 μ lのPCR産物, 0.17 μ lのFermentas社製FastDigest[®] Bsp1407I制限酵素および終濃度 \times 1のFermentas社製FastDigest[®] bufferを含む10 μ lの反応溶液により, 37°Cで5分間反応した. PCR産物およびRFLP産物は, Invitrogen社製SYBR Gold Nucleic Acid Gel Stainを含む島津製作所社製DNA-1000 Reagent Kitと混合し, マニュアルに従い島津製作所社製MCE-202マイクロチップ電気泳動装置MultiNAにより分析した.

結 果 考 察

二対立遺伝子 CG44 座は、5' 側から 93 bp の 5' 上流領域、CA 反復配列および 54 bp の 3' 下流領域の基本構造であり、*C. angulata* 型対立遺伝子のみ 5' 上流領域と CA 反復配列の間に *Bsp*1407I 制限酵素の認識部位を含む 21 bp の挿入領域が存在する (図 1)。東アジアの *C. gigas* および *C. angulata* から PCR 増幅された同座の平均鎖長は、それぞれ 288.3 ± 12.5 bp と 310.8 ± 19.8 bp であった (表 1)。塩基配列解読による CG44 座の平均鎖長は 256.5 ± 16.3 bp と 277.5 ± 15.8 bp と報告されており (Huvet *et al.*, 2004)、マイクロチップ電気泳動 MultiNA では再現的に約 12% の誤差が発生していた。なお、MultiNA では、同座のホモ接合体はシングルピーク、ヘテロ接合体はダブルピークとして正しく検出された (図 2)。次いで、PCR 産物の RFLP 解析では、*Bsp*1407I 制限酵素による未切断個体 (= *C. gigas* 型対立遺伝子) および切断個体 (= *C. angulata* 型対立遺伝子) が得られた (図 3)。主に南ヨーロッパの各 7 集団の *C. gigas* および *C. angulata* における *C. gigas* 型対立遺伝子の出現頻度は、それぞれ 0.867~0.984 および 0.068~0.145 と報告されており (Huvet *et al.*, 2004)、本研究での両種における出現頻度の 0.850 および 0.120 は既報の結果とほぼ一致していた (表 1)。

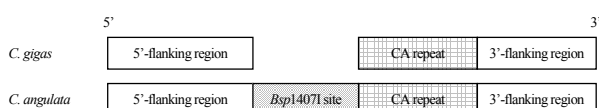


図 1. *Crassostrea gigas* および *C. angulata* の二対立遺伝子 CG44 座の構造模式図。

Fig. 1. Schematic taxon-specific structures of the biallelic CG44 locus of *Crassostrea gigas* and *C. angulata*.

表 1. *Crassostrea gigas* および *C. angulata* と松島湾集団および東京湾集団の個体数および二対立遺伝子 CG44 座の対立遺伝子数と鎖長

Table 1. Number of specimens and number and size of the biallelic CG44 locus of *Crassostrea gigas* and *C. angulata* together with the oyster stocks of Matsushima Bay and Tokyo Bay

	<i>C. gigas</i> ¹	<i>C. angulata</i> ²	Matsushima Bay	Tokyo Bay
Number of specimens	20	21	10	10
Number of total alleles	20	25	11	10
Number of <i>gigas</i> alleles	17	3	11	6
Number of <i>angulata</i> alleles	3	22	0	4
<i>gigas</i> alleles/total alleles	0.850	0.120	1.000	0.600
Size of <i>gigas</i> alleles (bp)	288.3 ± 12.5		283.7 ± 7.8	276.1 ± 6.2
Size of <i>angulata</i> alleles (bp)		310.8 ± 19.8		313.8 ± 17.6

¹ Specimens were collected from Nakaumi Lagoon, Japan, and Kyongsang Nando, Korea.

² Specimens were collected from Southern Kyushu, Japan, and Pingtung County, Taiwan.

C. gigas と *C. angulata* の間の F1 交雑個体の形成は、実験環境下のみならず (Huvet *et al.*, 2001, 2002)、天然環境でも報告されている (Huvet *et al.*, 2004)。*C. gigas* の近縁種であるシカメマガキ *C. sikamea* は、かつては *C. gigas* の地方品種であると考えられていたが (Imai and Sakai, 1961)、近年の分子遺伝学的解析により別種であると実証されている (Banks *et al.*, 1993; Aranishi and Iidzuka, 2007; 飯塚・荒西, 2008)。しかし、その両種間の F1 交雑個体は著しく低頻度ながらも実験環境下では形成される (Banks *et al.*, 1994; 薄, 2002)。また、天然環境では両種間の F1 交雑個体は発見されていないが、*C. sikamea* の種苗生産過程では交雑が発生するという説もある (Hedgecock *et al.*, 1993, 1999)。一方、実験環境下での *C. sikamea* とスミノエマガキ *C. ariakensis* の間の F1 交雑個体の形成が、つい最近報告されている (Xu *et al.*, 2009)。このように *Crassostrea* 現生近縁種間における生殖隔離機構は未だ不明な点が多い。

Huvet *et al.* (2004) は、*C. gigas* と *C. angulata* の間の F1 交雑個体を検出するために既存の 8 種類のマイクロサテライトマーカーを検討し、両種間の変異が最大の CG44 座が実用的であると報告した。しかし、CG44 座の分析方法は、³²P 標識した PCR 産物の鎖長をポリアクリルアミドゲル電気泳動により決定した後、*Bsr*GI 制限酵素 (*Bsp*1407I 制限酵素の isoschizomer) で処理した RFLP 産物の断片をアガロース電気泳動により確認するという煩雑かつ危険であり、また結果を得るまでに数日を要して実用性に乏しい。そこで本研究では、同等以上の分析精度を誇り、より迅速かつ安全で大量のフィールド試料にも簡便に対応できる CG44 座の分析方法を開発した。当該方法では、ポリアクリルアミドゲル電気泳動と同等の分析精度でありながら分析時間が著しく短いマイクロチップ電気泳動を採用し (Sinville and Soper, 2007)、放射標識の省略および PCR 産物と RFLP 産物の同時分析を可能として、大幅な工程の簡略化と時間短縮を実現した。また、再現性が高いマイクロチップ電気泳動では、一定比率の修正により PCR 産物の正確な鎖長が算出されるため CG44 座の CA 反復数が推定でき、一般的なマイクロサテライト解析へのデータの転用も可能である。さらに、Fermentas 社製 FastDigest[®] *Bsp*1407I 制限酵素を導入し、RFLP 解析が 2 時間から 5 分間に短縮できた。これらの改良により 24 検体程度の全分析工程が約 2 時

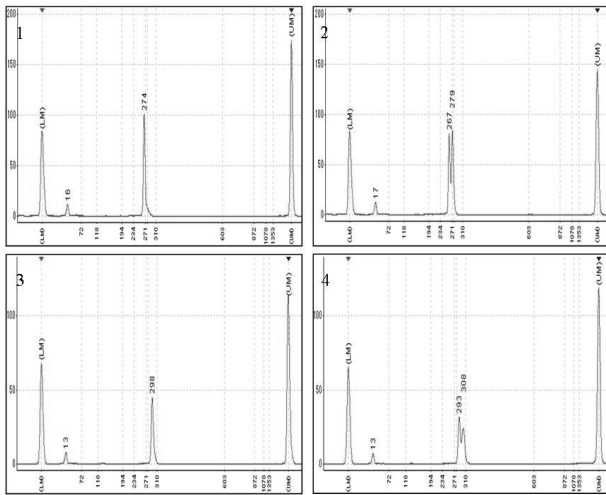


図2. *Crassostrea gigas* のホモ接合体 (1) とヘテロ接合体 (2) および *C. angulata* のホモ接合体 (3) とヘテロ接合体 (4) の二対立遺伝子 CG44 座のマイクロチップ電気泳動分析。

Fig. 2. Microchip electrophoretic diagnosis for PCR products of the biallelic CG44 locus of *Crassostrea gigas* homozygote (1), *C. gigas* heterozygote (2), *C. angulata* homozygote (3), and *C. angulata* heterozygote (4).

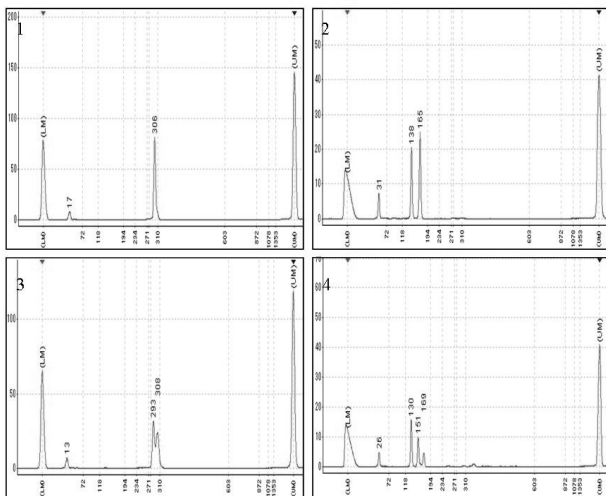


図3. *Crassostrea gigas* の *Bsp1407I* 切断前 (1) と切断後 (2) および *C. angulata* の *Bsp1407I* 切断前 (3) と切断後 (4) の二対立遺伝子 CG44 座のマイクロチップ電気泳動分析。

Fig. 3. Microchip electrophoretic diagnosis for PCR-RFLP products of the biallelic CG44 locus of *Crassostrea gigas* before (1) and after (2) digestion of *Bsp1407I* and those of *C. angulata* before (3) and after (4) digestion of *Bsp1407I*.

間で終了し、大量の検体を分析しなければならないフィールド研究に最適な分析方法となった。

最後に実際のフィールド試料により分析方法の適用性を実証した。宮城県松島湾の養殖 *C. gigas* を分析した結果、*C. gigas* 型対立遺伝子の出現頻度は 1.000 であった (表 1)。これは、仮に亜熱帯種の *C. angulata* が松島湾に移入されたとしても、夏季の海水温が低く成熟不能になることと関係しているかも知れない。次に、東京湾の天然 *C. gigas* を同様に分析した結果、*C. gigas* 型対立遺伝子の出現頻度は 0.600 と著しく低く、さらに *C. angulata* 型対立遺伝子の平均鎖長の 313.8 ± 17.6 bp は東アジアの *C. angulata* の平均鎖長と近似していた (表 1)。Huvet *et al.* (2004) は、ポルトガル南岸の Tavira に分布する *C. gigas* と *C. angulata* の混合集団において *C. gigas* 型対立遺伝子の出現頻度が 0.217 と有意に高い結果から (*C. angulata* の純集団における出現頻度は 0.068~0.145)、両種の自然交雑個体の出現を証明した。この基準に従えば、東京湾でも両種の自然交雑個体の存在が示唆される。なお、船舶の往来が頻繁な東京湾では、船体付着やバラストなどを介したヨーロッパやアジアからの二枚貝の移入事例が多数報告されている (岩崎, 2007)。

謝 辞

本研究の展開にあたり台湾行政院農業委員会水産試験所との共同研究をご提案頂いた財団法人かき研究所理事長の森 勝義博士並びに本論文の作成にあたりご助言を賜った島根大学汽水域研究センター研究員の横尾俊博博士に謹んで感謝する。また、本研究の一部は、建設技術研究開発費補助金「再生藻場における生物多様性モニタリング技術の開発」および島根大学重点プロジェクト「地域資源循環型社会の構築」により実施された。ここに記して深謝する。

引用文献

- Aranishi, F. (2006) A novel mitochondrial intergenic spacer reflecting population structure of Pacific oyster. *J. Appl. Genet.*, 47: 119–123.
- Aranishi, F. and Iidzuka, Y. (2007) Multiplex PCR diagnosis for *Crassostrea* oyster discrimination of *C. sikamea* and *C. gigas*. *J. Fish. Aquat. Sci.*, 2: 173–177.
- Aranishi, F. and Okimoto, T. (2004) Genetic relationship between cultured populations of Pacific oyster revealed

- by RAPD analysis. *J. Appl. Genet.*, 45: 435–443.
- Aranishi, F. and Okimoto, T. (2005) Sequence polymorphism in a novel noncoding region of Pacific oyster mitochondrial DNA. *J. Appl. Genet.*, 46: 201–206.
- Banks, M. A., Hedgecock, D. and Water, C. (1993) Discrimination between closely related Pacific oyster species (*Crassostrea*) via mitochondrial DNA sequences coding for large subunit rRNA. *Mol. Mar. Biol. Biotechnol.*, 2: 279–291.
- Banks, M. A., McGoldrick, D. J., Borgeson, W., and Hedgecock, D. (1994) Gametic incompatibility and genetic divergence of Pacific and Kumamoto oysters, *Crassostrea gigas* and *C. sikamea*. *Mar. Biol.*, 121: 127–135.
- Boudry, P., Heurtebise, S., Collet, B., Cornette, F. and Gérard, A. (1998) Differentiation between populations of the Portuguese oyster, *Crassostrea angulata* (Lamarck) and the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg), revealed by mtDNA RFLP analysis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 226: 279–291.
- Chew, K.K. (1990) Global bivalve shellfish introductions. *World Aquaculture*, 21: 9–22.
- Comps, M. (1988) Epizootic diseases of oysters associated with viral infections. In: Fisher W.S. (ed.), *Disease processes in marine bivalve molluscs*. American Fisheries Society Special Publication 18. Bethesda, Maryland. pp. 23–37.
- FAO (2003) Review of the State of World Aquaculture. FAO Fisheries Circular, No. 886, Rev. 2, FAO, Rome, Italy. 95 pp.
- Gaffney, P.M. and Allen, S.K. (1993) Hybridization among *Crassostrea* species: a review. *Aquaculture*, 116: 1–13.
- Gouletquer, P., Wolowicz, M., Latala, A., Geairon, P., Huvet, A. and Boudry, P. (1999) Comparative analysis of oxygen consumption rates between cupped oyster spat of *Crassostrea gigas* of French, Spanish and Taiwanese origins. *Aquat. Living Res.*, 12: 271–277.
- Haure, J., Huvet, A., Palvadeau, H., Nourry, M., Pénisson, C., Martin, J.L.Y. and Boudry, P. (2003) Feeding and respiratory time activities in the cupped oysters *Crassostrea gigas*, *Crassostrea angulata* and their hybrids. *Aquaculture*, 218: 539–551.
- Hedgecock, D., Banks, M.A. and McGoldrick, D.J. (1993) The status of the Kumamoto oyster *Crassostrea sikamea* (Amemiya 1928) in U.S. commercial brood stocks. *J. Shellfish Res.*, 12: 215–221.
- Hedgecock, D., Li, G., Banks, M. A. and Kain, Z. (1999) Occurrence of Kumamoto oyster *Crassostrea sikamea* in the Ariake Sea, Japan. *Mar. Biol.*, 133: 65–68.
- Huvet, A., Balabaud, K., Bierne, N. and Boudry, P. (2001) Microsatellite analysis of 6-hour-old embryos reveals no preferential intra-specific fertilization between cupped oysters *Crassostrea gigas* and *Crassostrea angulata*. *Mar. Biotechnol.*, 3: 448–453.
- Huvet, A., Gérard, A., Ledu, C., Phélipot, P., Heurtebise, S. and Boudry, P. (2002) Is fertility of hybrids enough to conclude that the 2 oysters *Crassostrea gigas* and *Crassostrea angulata* are the same species? *Aquat. Living Resour.*, 15: 45–52.
- Huvet, A., Fabioux, C., McCombie, H., Lapégué, S. and Boudry, P. (2004) Natural hybridization between genetically differentiated populations of *Crassostrea gigas* and *C. angulata* highlighted by sequence variation in flanking regions of a microsatellite locus. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 272: 141–152.
- 飯塚祐輔 (2008) 南九州における天然ガキの保全遺伝学的研究. 宮崎大学修士学位論文, 98 pp.
- 飯塚祐輔・荒西太士 (2008) 九州に分布するイタボガキ科カキ類のDNA鑑定. *Laguna*, 15: 69–76.
- Imai, T. and Sakai, S. (1961) Study of breeding of Japanese oyster, *Crassostrea gigas*. *Tohoku J. Agr. Res.*, 12: 125–171.
- 岩崎敬二 (2007) 日本に移入された外来海洋生物と在来生態系や産業に対する被害について. *日本水産学会誌*, 73: 1121–1124.
- 岩崎健史 (2008) 日本におけるカキ礁生態系の比較遺伝学的研究. 宮崎大学卒業論文, 54 pp.
- Magoulas, A., Gjetvaj, B., Terzoglou, V. and Zouros, E. (1998) Three polymorphic microsatellites in the Japanese oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Anim. Genet.*, 29: 63–72.
- Mathers, N.F., Wilkins, N.P. and Walne, P.R. (1974) Phosphoglucose isomerase and esterase phenotypes in *Crassostrea angulata* and *C. gigas*. *Biochem. Syst. Ecol.*, 2: 93–96.
- Matthiessen, G.C. (2000) *Oyster Culture*. Fishing News Books Series, Blackwell Publishing, Ames.
- Mattiucci, S. and Villani, F. (1983) Allozyme study in oysters classified as *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) and *Crassostrea angulata* (Lamarck, 1819) (Mollusca: *Ostreidae*). *Parasitologia*, 25: 21–27.

- 森勝義 (2009) 台湾澎湖のカキ養殖とその意義. *かき研究所ニュース*, 23: 2-16.
- O'Foighil, D., Gaffney, P. M., Wilbur, A. E. and Hilbish, T. J. (1998) Mitochondrial cytochrome oxidase I gene sequences support an Asian origin for the Portuguese oyster *Crassostrea angulata*. *Mar. Biol.*, 131: 497-503.
- 沖本宜音 (2006) マガキのミトコンドリアゲノム推定調節領域における比較遺伝学的解析. 長崎大学博士学位論文, 79 pp.
- Parache, A. (1989) Growth performance of oyster *Crassostrea angulata* and *Crassostrea gigas* reared in Arcachon Bay between 1950 and 1986: first results. *Haliotis*, 19: 227-236.
- Ruano, F. (1997) Fisheries and farming of important marine bivalves in Portugal. In: Mackenzie, C.L. Jr. *et al.* (eds.), *The history, present condition and future of the molluscan fisheries of North and Central America and Europe*, Vol. 3, Europe. US Department of Commerce, Seattle, Washington, pp. 191-200.
- Sinville, R. and Soper S.A. (2007) High resolution DNA separations using microchip electrophoresis. *J. Sep. Sci.*, 30: 1714-1728.
- Soletchnik, P., Huvet, A., Le, Moine, O., Razet, D., Geairon, P., Faury, N., Gouilletquer, P. and Boudry, P. (2002) A comparative field study of growth, survival and reproduction of *Crassostrea gigas*, *C. angulata* and their hybrids. *Aquat. Living Resour.*, 15: 243-250.
- 薄浩則 (2002) 遺伝資源としてのマガキ *Crassostrea gigas* の特性評価と保存に関する研究. 水産総合研究センター研究報告, 4: 40-104.
- Xu, F., Zhang, G., Liu, X., Zhang, S., Shi, B. and Guo, X. (2009) Laboratory hybridization between *Crassostrea ariakensis* and *C. sikamea*. *J. Shellfish Res.*, 28: 453-458.

中海湖心部における湖底の水中映像 (その 5) : 冬季から春季の季節変化時における湖底の動態

野村律夫¹・瀬戸浩二²・高田裕行²

Pictures of bottom surface in the central part of Lake Nakaumi (part 5): dynamics of bottom water in the time of seasonal change from winter to spring

Ritsuo Nomura¹, Koji Seto², Hiroyuki Takata²

Abstract: A characteristic change of bottom sediment and benthic organisms occurs in early spring, when the thermal structure of lake water changes from warm bottom to cold one and from cold surface to warm one (so-called spring turnover). Oxygen contents much decrease in the bottom water from this time on and winter-thriving cionids disappear in this season. We succeeded to take a picture of these changes in every two hours during April 5 to May 2, 2007. The followings are our major results:

(1) Unclear water, consisting of suspended fine-grained particles, is normal in Lake Nakaumi, but it became more unclear when plankton productivity (as chlorophyll production) has much increased. Our pictures showed that the suspended particles were not only produced by the winnowing of bottom sediments, but also transported from other places. Clear bottom water was developed while the water level is high in Sakai-minato, Sea of Japan coast, which suggests the upward inflow of marine bottom water. Clear bottom water was not formed while the water level in Lake Nakaumi is higher in comparison with that of Sakai-minato.

(2) We confirmed again the bottom turbulence occurred over the wind speed of 10 m/s, when winter-thriving organisms, as cionids, become weak in activity, and then easily blew away with less than this wind speed. The bottom surface has much changed to a desolate surface with a new grown bacterial mat.

Key words: spring turnover, unclear water, bottom turbulence, water dynamics

はじめに

筆者らは、これまで中海の湖底に長期連続観察が可能な水中カメラを設置し、風速の変化や生物が湖底の底質に及ぼす影響について観察してきた(野村ほか, 2007; 野村・瀬戸, 2008a, b; 野村, 2008a, b). 連続的に記録された湖底の様子は、風の影響によっ

て短期的に不安定な環境が形成され、湖底堆積物の攪乱が起こっていることを示している。とくに以前から指摘されていた風速の大小(Kondo et al., 1990; 橋谷ほか, 1992; 奥田, 1997; Goto et al., 2007)は、中海のような閉鎖性の海跡湖にとって水質に及ぼす影響が大きいことが検証された。また生態系にも影響を及ぼすことも指摘した(野村・瀬戸, 2004)。風

¹ 島根大学教育学部・汽水域研究センター Faculty of Education/ Research Center for Coastal Lagoon Environments, 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.

は汽水域に形成される極めて安定した塩分躍層を短期的に変動させ、より深い水域へ酸素を供給する手段ともなっている。このような風による湖底への影響は、風速の大きさによる違いとともに季節的な違いも確認される。同じ風速でも、湖底にヒドロ虫やホヤ類が密集する冬季には、バクテリアマットによる被覆がないため湖底泥の巻き上がりが起こりやすい環境が形成される(野村・瀬戸, 2008a)。しかし、冬季の季節風や移動性低気圧にともなった風の風速は極めて変化が激しいため、湖底泥の巻き上げについて確かな結論を導くことはかなり難しい。また風の継続時間も湖水の水質を変化させる重要な要因となっている。このように、水中ビデオカメラで連続観測することによって多様な湖底の様子を示すことができるようになった(野村, 2008b)。

本論文は、現在までに得られている膨大な映像記録のなかより春季の湖底の変化にみられる意義について言及する。中海では、春季に水温の転換(塩分躍層より上部の上層水が躍層より下部の下層水より水温が低い状態から高い状態への移行: 春季循環期(spring turnover period; spring overturning period))がみ

られ、1年の内で最も変化に富んでいる。また、プランクトンの大増殖と晩秋から冬季にかけて湖底で成長したヒドロ虫の群れやユウレイボヤの死滅がこの時期一斉にみられる。極めて短期間の変化でもあるため、この時期に湖底の様子が急変する。さらに水中ビデオカメラによる観察で明らかとなった、かなり頻繁に発生する“濁り”についても言及する。突然に発生する視界のない湖底、反対に鮮明な湖底の形成など、その形成要因については全く検証されていなかった。本論文は、このような湖底の状況を水質データと比較することによって明らかにする。

研究方法

本研究で使用している長期設置型水中カメラは、水中カメラの窓面に酸化チタンの薄膜を焼成させたもので、光触媒作用の酸化分解力と親水性が発現し、結果として生物忌避機能や自浄作用を伴っている(野村ほか, 2007; 野村, 2008b)。

水中ビデオカメラの現地での設置と記録方法についてはすでに報告している(野村ほか, 2007)。水中

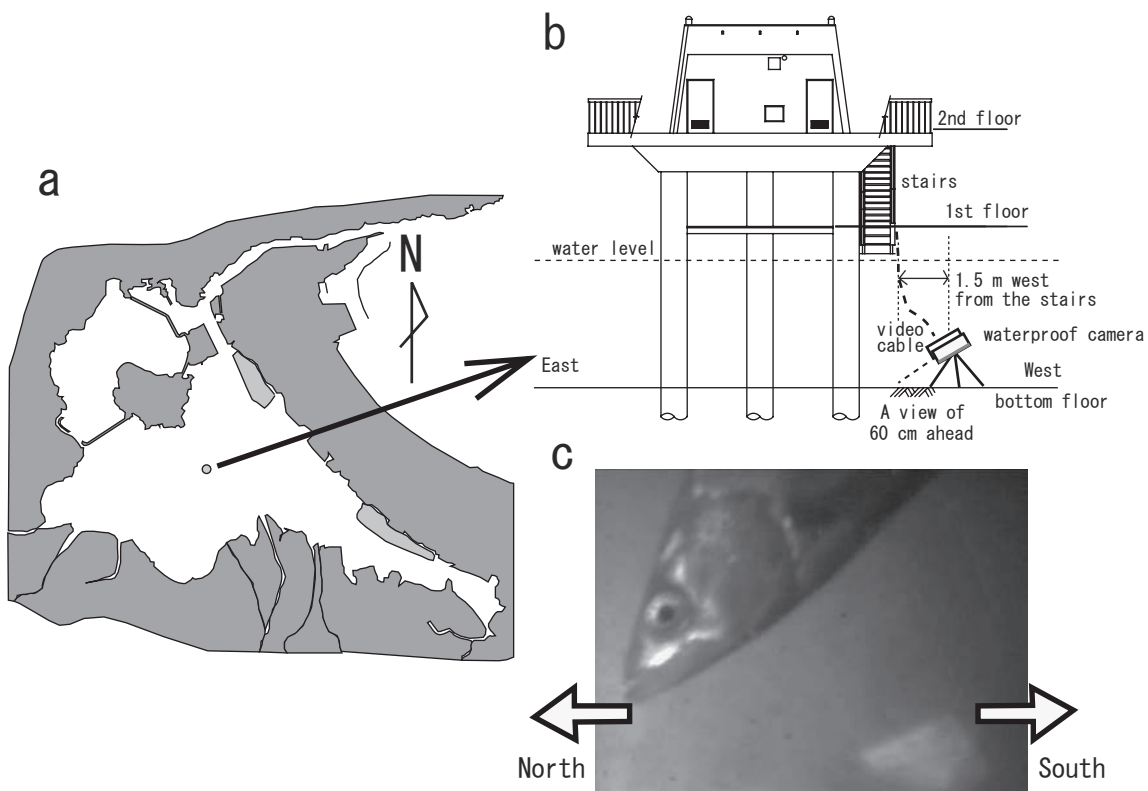


図 1. 水中カメラの設置位置と水質映像。 a: 観測所の場所 b: 水中カメラの設置位置 c: 水質映像の方向。湖心観測所のイメージ図は出雲河川事務所による。

Fig 1. Position of waterproof camera and the observatory in Lake Nakaumi. a: location of observatory. b: position of camera. c: snapshot view. Image of the observatory from Izumo River Office.

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。カメラの窓面の高さは、湖底から約40 cmである。1日当たり、12コマ計1時間の記録となっている。本論で記録したこれらの映像（2007年4月5日～5月2日）は、現地に設置したDVDレコーダに保存したもので、約1ヶ月後に回収し、再生と観察を行った。

記録した時間帯は、〈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。

カメラの設置場所と観察方向はこれまでの報告と一致している（図1）。とくに、今回の報告では底質の変化状況を明確にするために、カメラの視野内に縦9 cm 横5 cmの生物忌避作用のある白色ペンキを塗布したステンレス板を湖底面に置いた。この白色板の見え方の程度によって5段階評価を行い、各映像（スナップショット）の括弧内に評価値を示した。また、下記の評価値に示す括弧内の記述は、濁りの状態を説明した野村・瀬戸（2008a）の記述に相当している。

- 評価値 1：白色板が判別できない（著しく強い濁り～強い濁り）。
- 2：白色板がかすかに見える（強から中程度の濁り）。
- 3：白色板の輪郭が明瞭でない（中程度の濁り）。
- 4：湖底の様子が把握できるが鮮明さに欠ける（弱い濁り）。
- 5：湖底の様子が把握でき鮮明である（濁りのない状態）。

水中カメラの設置場所では国土交通省によって1時間ごとの水質測定が深度別（上層水：深度2.0 m；中層水：深度3.5 m；下層水：深度5.5 m；底層水：湖底上0.5 m）に行われており、水中映像を解釈するうえで重要な情報となっている。本研究でも、水質データは国土交通省から1時間ごとの測定値の提供を受け、映像と比較することができた。

水の動きについては、湖底面でのユウレイボヤの動きに応じて区分した野村・瀬戸（2008a）にしたがって、4段階（強い流れ；揺れ動きのある流れ；弱い流れ；流れのない状態）で表現した。

観 察 結 果

1. 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データをもとに撮影時に合わせて2時間ごとに分析した。

【風速】

期間中の風速と風向を図2に示す。期間中は概ね軽風から和風状態であったが、風向は一定していなかった。継続して平均3.5 m/sの風速が4月5日から13日まで約8日間と4月17日から20日までの4日間あった。10 m/sの風が吹いた時間帯は限られており、最大で14.7 m/s（西～西南西方向より）が4月28日2時ごろに発生し、そのほか4月13日22時ごろに南西方向から12 m/sを越す風が吹いた。4月13日（南西方向）と16日（北北東～北東方向）の風は、10 m/sの風速が数時間継続（2時間～4時間）していた。そのほか、西～西南西方向からの風が4月25日（6時間）、4月28日（5時間）そして4月29日（5時間）に、南～西南西方向からの風が5月1日（2時間が2回）にそれぞれにあった。

【水位】

境港の水位は、この期間中平均して約0.16 m

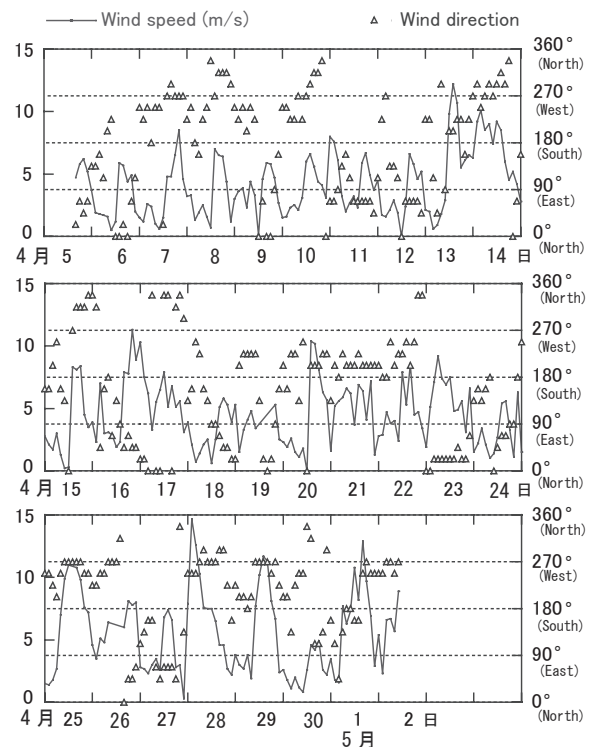


図 2. 風速と風向の変化。測定資料は出雲河川事務所による。

Fig 2. Changes of wind speed (m/s) and wind direction. Data from Izumo River Office.

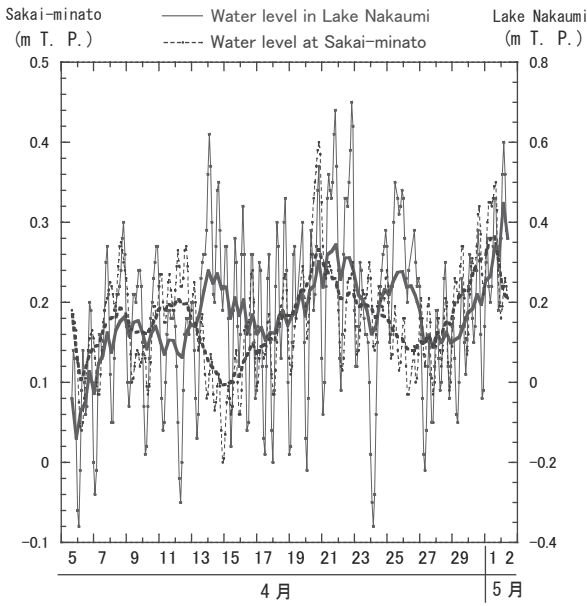


図 3. 中海湖心と境港の水位の変化. 分布の平滑化は Stineman 関数を利用. 中海と境港の水位資料はそれぞれ出雲河川事務所と気象庁 (境潮位観測所) による.

Fig 3. Changes of water levels in Lake Nakaumi and Sakai-minato. Smoothed curve is applied a Stineman Function of geometric fitting. Data of water level are from Izumo River Office and the Meteorological Agency of Japan, respectively.

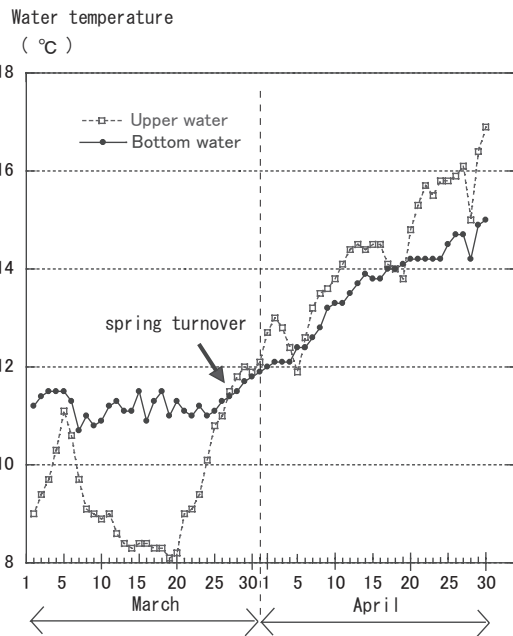


図 4. 底層水と上層水の水温の転換 (春季循環: spring turnover) とその時期 (矢印). 測定資料は出雲河川事務所による.

Fig 4. Changes of water temperature in the upper and bottom waters. Arrow indicating a spring turnover. Data from Izumo River Office.

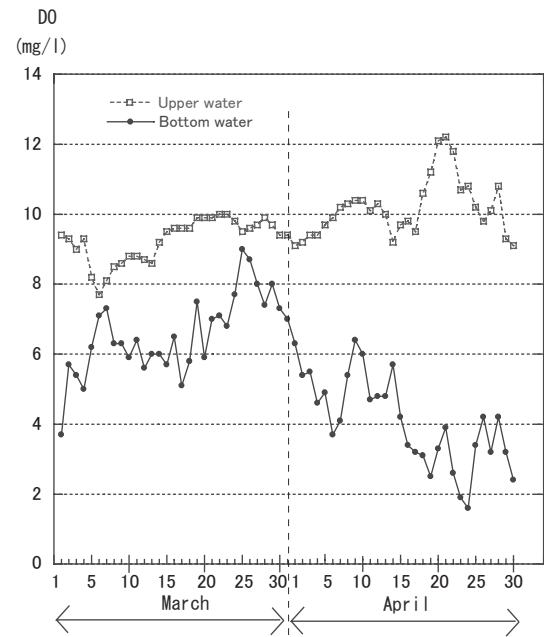


図 5. 3月と4月における溶存酸素濃度の変化. 底層水の溶存酸素濃度は4月以降に低下した. 測定資料は出雲河川事務所による.

Fig 5. Changes of dissolved oxygen content (DO) in the upper and bottom water in March and April. DO of the bottom water decreased in April. Data from Izumo River Office.

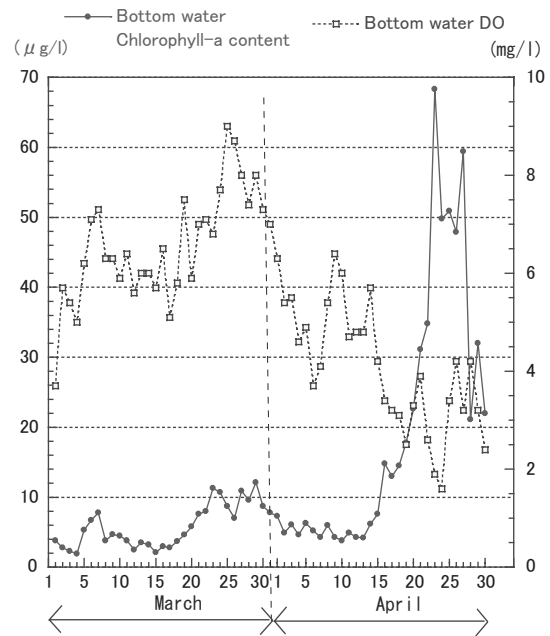


図 6. 3月と4月におけるクロロフィル a 濃度と溶存酸素濃度の変化. 4月中下旬に底層水中にクロロフィル a 濃度が上昇した. 測定資料は出雲河川事務所による.

Fig 6. Changes of chlorophyll-a content and DO in the bottom water in March and April. Chlorophyll-a in the bottom water increased in middle to late April. Data from Izumo River Office.

(T.P.)であったが、大きく見て比較的高い期間が4月7～13日、4月19日～22日、4月29日～5月2日の3回、逆に低下した期間が4月14日～18日と4月25日～28日の2回みられた(図3)。中海の水位は期間中大きく変動しているが、期間中は平均して約0.2 m(T.P.)であり、4月13日までは0.2 m以下で変動した。その後、4月14日、22日、25日を中心として水位が0.3～0.4 mまで上昇した(図3)。中海におけるこの期間の平均した変動パターンは、必ずしも境港のそれとは一致していないことが確認され、中海には潮汐作用とは別の変動周期がおこっていたものと考えられる。

【水温】

底層水と上層水の水温の逆転現象(春季循環:spring turnover)が3月27日に起こった。この時の水温は11.5℃であった。その後、短期間の冬型の水温分布が4月5日に約12℃、4月19日に約13.8℃でみられた。4月以降は、両者の温度較差は拡大していった(図4)。

【溶存酸素濃度】

底層水の溶存酸素濃度の変化は、4月上旬の高い濃度(平均して6 mg/l)から段階的に低下し、4月24日に最も低下した(約2 mg/l)。4月中旬(17日ごろ)からの低下は、この時期の特徴を表しており、後述する底層水中のクロロフィル a 濃度と密接に関連している。強い風の影響による湖水の攪拌は、短期的には躍層より深い下層水中への溶存酸素の供給の重要な手段となっていることが多い。しかし、今回のように長期的に見た場合、明らかに風の攪拌作用によって補給するよりも大きい酸素の消費が4月中下旬に起こっていたことになる(図5)。とくに、溶存酸素濃度が低下した4月下旬以降には、底層水中のクロロフィル a 濃度が高くなっていった(図6)。後述するように、水中映像によっても生物集塊(biological aggregates)の沈降が極めて多くなっていたことが確認されている。

【底層水のクロロフィル a 濃度】

中海の底層水中のクロロフィル a 濃度は、4月23日から28日にかけて50 μg/lを越す濃度であったが、それ以前は低く特徴的な変化は確認されなかった(図6)。この高い濃度の時期は底層水中の溶存酸素量の低下した時期と重なっていた。

【底層水の濁度】

底層水の濁度は時間ごとの変化が激しかった(図7)。強い風の発生に応じて直接的に形成される高い濁度の水とは別に、今回のように長期的にみると、

風の影響を反映していない高い濁度の発生がこの期間でも確認された。4月下旬のクロロフィル a 濃度の高い時期には濁度も高くなる傾向が見られたが、その他の時期でも濁度が高いときがあった。

2. 水中映像の様子

図版1は2007年4月5日14時00分から5月2日10時05分までの映像のスナップショットを時系列に配置したものである。この間の湖底は極めて興味のある変化を示している。冬季に湖底を被覆する状態で生存していたユウレイボヤの群れが活力を失い、湖底から消失していった。ユウレイボヤの活力の低下と同調するように湖底にバクテリアマットが形成されていった。この時期、水中の濁りが著しく、また数 cm 台の生物集塊が頻繁に形成されているなどの特徴がある。以下に、湖底の状態を簡単に記述する。

図版1に記録されているスナップショットの合計324シーンのうち鮮明な映像(評価5)であったのは21シーンで、全体の6.5%であった。反対に著しく強い濁りから中程度の濁り(評価1および2)であったのは176シーンで全体の54.3%であった。期間中かなりの間、湖底の様子が不明な状態が続いたことになる。評価5が得られたシーンは、多くの場合評価3および4が出現している間に現れることが多く、周期的に出現する傾向であった。このようなシーンとして、4月7日12時、14時、4月9日10時、4月10日6時、12時、4月12日18時、20時、4月18日12時～20時、4月19日14時、18時、4月20日12～14時、4月24日18時、4月27日18時、5月1日12時などがあげられる。

水の動きと映像の評価とは明瞭な関係がある場合とない場合があり、複雑である。評価5の映像の場合、流れのない状態であることが多いが、評価4の場合は水の揺れ動きのある流れのなかでもおこっている。反対に、流れのない状態は評価1の場合でも観察されることが多く、流れの強弱によって濁りが発生していることではないことが確認された。しかし、風速14.7 m/s(4月28日2時)であったときの湖底は、堆積物の巻き上げをともない評価2となり、その後評価1がしばらく継続していた。風の影響が湖底での濁りの発生原因となっていると考えられる。同様に風によると思われる濁りの発生が、4月13日から14日に見られた。

図版1にみられるユウレイボヤ群集は、前年の12月上旬に観察場所の湖底に見られるようになり、冬

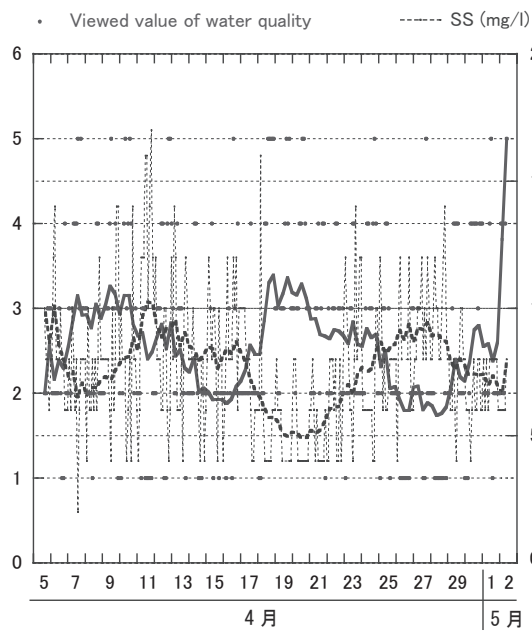


図7. 水質映像の評価値と底層水の濁度との関係. 分布の平滑化は Stineman 関数を利用. 濁度は出雲河川事務所による.

Fig 7. Relationship between the suspended solid (ss) of bottom water and the viewed value of water quality. Smoothed curve is applied a Stineman function of geometric fitting. Data from Izumo River Office.

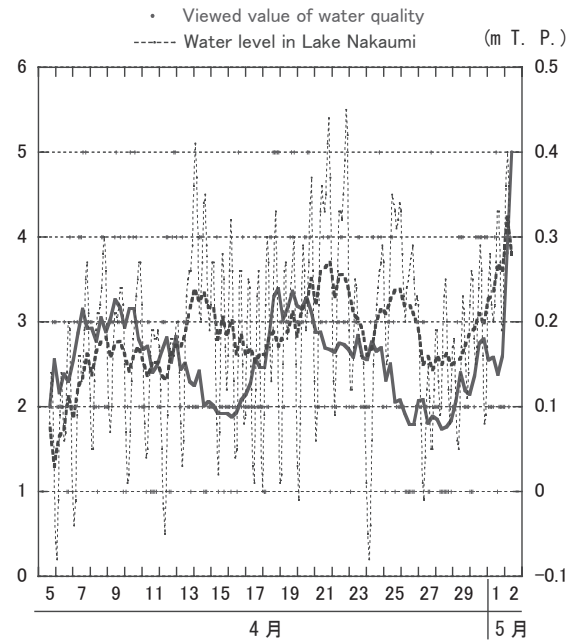


図9. 水質映像の評価値と中海における水位変化との関係. 分布の平滑化は Stineman 関数を利用. 水位データは出雲河川事務所による.

Fig 9. Relationship between the water level in Lake Nakaumi and the viewed value of water quality. Smoothed curve is applied a Stineman function of geometric fitting. Data from Izumo River Office.

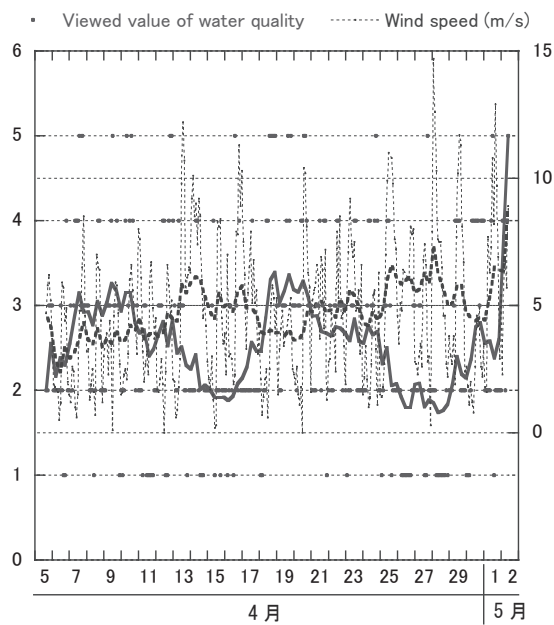


図8. 水質映像の評価値と風速との関係. 分布の平滑化は Stineman 関数を利用. 風速は出雲河川事務所による.

Fig 8. Relationship between the wind speed and the viewed value of water quality. Smoothed curve is applied a Stineman function of geometric fitting. Data from Izumo River Office.

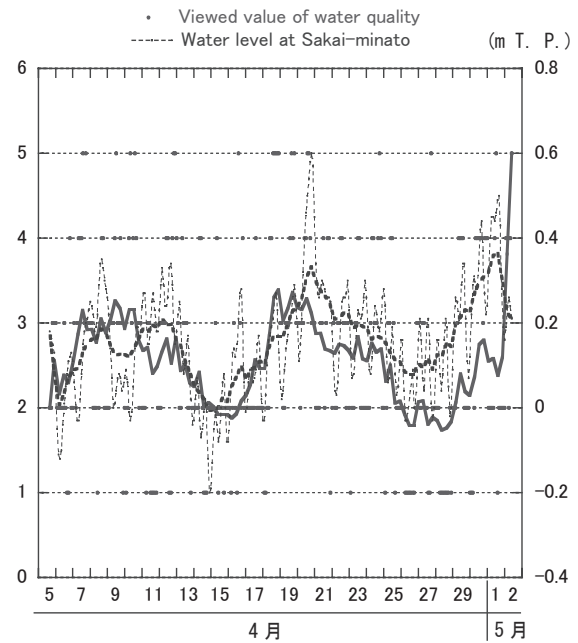


図10. 水質映像の評価値と境潮位観測所における水位変化との関係. 分布の平滑化は Stineman 関数を利用. 潮位データは気象庁による.

Fig 10. Relationship between the water level at Sakai Tidal Observatory and the viewed value of water quality. Smoothed curve is applied a Stineman function of geometric fitting. Data of water level from the Meteorological Agency of Japan.

の間成長をとげ観察時には最大で約 6 cm の個体になっていた。半透明で先端の入水孔を頻繁に開閉させながら浮遊物を取り込んでいる光景が観察された。しかし、4 月下旬以降になると体の透明感がなくなっていく様子が観察された。また、揺れ動きのある流れに対して容易に湖底から離れる様子が見られた。風速 10 m/s に達しない風が吹いていた期間においても、湖底から離れたホヤの体が浮遊物として流れる場面が頻繁に観察された。4 月 27 日以降になるとユウレイボヤの個体数は僅かになり、5 月 1 日の評価 5 の映像では、小さな個体が湖底に倒れている状態であった。そして、活動の低下したユウレイボヤの間を埋めるように白いシート状の膜が広がった。その兆候は 4 月 24 日 18 時（評価 5）の映像で確認でき、後述する底層水の溶存酸素の低下と明瞭な関係がみられる。5 月以降に見られた湖底の様子は、夏季から秋季にかけて典型的にみられるバクテリアマット形成の最初の段階を示している。

その他に、小型生物（節足動物類）の群れがしばしば確認することができた（たとえば、4 月 13 日 2 時）。この小型生物の群れはこの季節ばかりでなく、冬季にも頻繁に観察される。評価 3 から 2 で、弱い～中程度の濁りが発生しているときに見かけることが多かった。この点については、後で考察を行う。

考 察

湖水の濁り

今回の水中映像をみると、中海湖心部の底層水は多くの期間に亘って濁っている状態で、鮮明な湖底を記録することが極めて少なかった。筆者らのこれまでの報告では、湖水の濁りの主要な原因は風によるものであることを報告してきた。しかし、強風によって湖底の攪拌を伴うような濁りは、風の影響が低下するとそれに応じて短期間に濁りの程度も低下することが分っている。したがって、極めて緩慢に出現し、しかも長時間継続するような濁りは強風でもたらされる濁りとは別であるといえる。野村ほか(2007)は、2006 年の 11 月の観察において、濁りが潮汐作用に伴った湖内の水位変化を反映したものでなく、しかも風向も反映していないことを述べている。このような 1 週間の記録では、どのような原因によるものか、その実体を明らかにすることは困難であったものと考えられる。今回の約 1ヶ月間の記録は、従来十分に検討ができなかった点について再考察する機会となった。

濁りの原因として、生物に関連したものかどうかを検討するために、水中映像の評価値と濁度の比較、水中映像の評価値とクロロフィル a 濃度の比較を行った。2 時間ごとの変動を直接比較することは全体の傾向を捉えるのに困難であったため、幾何学的平滑化 (Synergy Software, 2005) を行って検討を行った。その結果、評価値と濁度とは相反する変動を示し (図 7)、4 月下旬にのみ増加するクロロフィル a 濃度 (図 6) とは相関のない分布を示していることが明らかとなった。映像で確認される濁りは、濁度によって反映される有機質・無機質の混在したものであり、濁度が高いときは、映像評価値が低くなる傾向を示している。また、風速による影響について平滑化してみると、分布パターンが相反していることが明らかとなった (図 8)。これまでの観察で風速が 10 m/s に達し、しかも数時間継続すると湖底泥の攪乱が起これり、透明度が全くなくなることが明らかとなっている (野村ほか, 2007)。図 8 は、このような風による濁りの発生を示している。しかし、透明感のない濁り水 (評価値が 1 ないし 2) は、強風の継続時間にもよるが、長時間にわたって存在することはなく強風の停止とともに透明感を回復するのがこれまでの観察で得られている。したがって、4 月 14 日から 16 日また 4 月 25 日から 28 日にかけて、風速がこれらの期間大きく変動しているにもかかわらず数日間存在した濁りは、上述のこととは異なった現象のようにもみえる。この点については、カメラの設置場所の攪乱で発生した濁りを直接反映したものではなくて他の場所で形成された濁り水が浮遊しながら移動し、カメラの設置場所において濁りとしてとらえられたものと考えられる。野村ほか(2007)が指摘した湖底を攪拌する強風の停止と濁りの低下は、湖底の観察場所で短い間に起こった現象として捉えるべきもので、今回のように長時間に亘って存在する濁りの原因は、濁った水塊の拡散・移動の繰り返しの結果であることを指摘したい。

また、野村ほか(2007)が指摘した濁りの変動と水位との関係は、中海の水位変化を利用しただけでは議論できないことが今回の検討でも確認された。図 9 は、中海湖心での水位変化と映像の評価値を幾何学的に平滑したものであるが、明瞭な相関はみられない。しかし、境水道にある気象庁の水位観測所での変動と映像評価値を幾何学的に平滑して比較すると、濁りの変動と潮汐作用に伴って起こる逆流や順流が密接な関係にあることが示唆される (図 10)。すなわち、境水道の水位が高いときには中海の底層水

は濁りのない状態になり易いことを示している。これは境水道からの海水が中海の底層を逆流している状況になっているものとみられる。中海の水位と境水道の水位差をとって映像の評価値との関係を見ると、中海と境水道の水位差が大きいときには、強い濁りが発生している(図 11)。以上のことから、湖水の濁りについては、風によって巻上げられた浮遊物が時間をかけて移動と沈降を続けるなかで濁った状態が形成される過程と、強風による湖底の攪拌によって直接的に濁りが生じる過程のあることが考えられる。そのようななかで、境水道を通して流入する海水が底層水の濁りを低下させている過程があることが示唆される。

溶存酸素濃度の低下とユウレイボヤの消滅

今回記録されたユウレイボヤの消滅と溶存酸素濃度の低下には、中海湖底の貧酸素環境の発生と密接な関係があることが考えられる。溶存酸素濃度が高い冬季の湖底にはユウレイボヤやヒドロ虫が群集を形成していたが、3月下旬の上層と下層の水温の逆転がおり、両者の水温が上昇するに伴って、4月中旬以降の底層水の溶存酸素濃度が著しく減少して

いった。また、溶存酸素濃度の低下とクロロフィル a 濃度が高くなる時期には、浮遊する集塊物が非常に多くなったことが観察された。これらの集塊物の沈降とその化学的分解は、水温の上昇と併せて水中の溶存酸素濃度の低下に関係している。底層水のこのような変化は、結果として冬季に成長したユウレイボヤの活動を低下させる原因となっていると考えられる。底層水の貧酸素状態の形成は、生物集塊のような湖水中で生産されたプランクトンの遺骸が湖底へ沈降・堆積していくなかで溶存酸素濃度が低下することと関連して、ユウレイボヤが消滅する時期にはじまっている。

移動性低気圧(春の嵐)と湖底の底生生物

4月下旬になると底層水の溶存酸素濃度が低下し、水温も上昇していった。ほぼ同じ時期にユウレイボヤの群れは活動を弱めたが、どのような風速によって誘発される底層水の動きがユウレイボヤの群れを消失させたのか、今回の観察で明らかにすることができた。4月25日10時ごろには10 m/sの風が吹き、湖底のユウレイボヤが不規則に攪乱されている様子がみられた。その後、10 m/sを超す風が継続するが、この時の湖底は、激しく攪乱され、やがて非常に強い濁りのために視界がなくなってしまう(4月25日16時~4月26日18時)。視界が回復した4月27日8時には風速が5 m/s未達の軽風~軟風状態であってもユウレイボヤが湖底から水中へ離れる様子が観察された。このような時期のユウレイボヤは、10 m/sに満たない風速の条件でも湖底から離れる状況にある。結果として、ユウレイボヤのなくなった湖底は、荒涼とした光景を呈するようになる。このようにみると、春季循環期以降の新たな湖底の環境の形成は、4月下旬の水温の上昇、溶存酸素濃度の低下、そして風の3つの作用が重要な要因であるといえる。

ま と め

冬季から春季にかけて湖底の環境には特徴的な変化が認められた。塩分躍層を境して下位の水と上位の水の水温の変化(春季循環; spring turnover)が起こり、底層水の溶存酸素濃度も急激に低下していく。冬型の生態系の消失する時期にもなり、この時の風は湖底を一掃する役割を演じる。このような時期の湖底の様子を約1ヶ月間(4月5日から5月2日まで)に亘って2時間ごとに記録することができた。以下の点は、今回の記録から明らかになった。

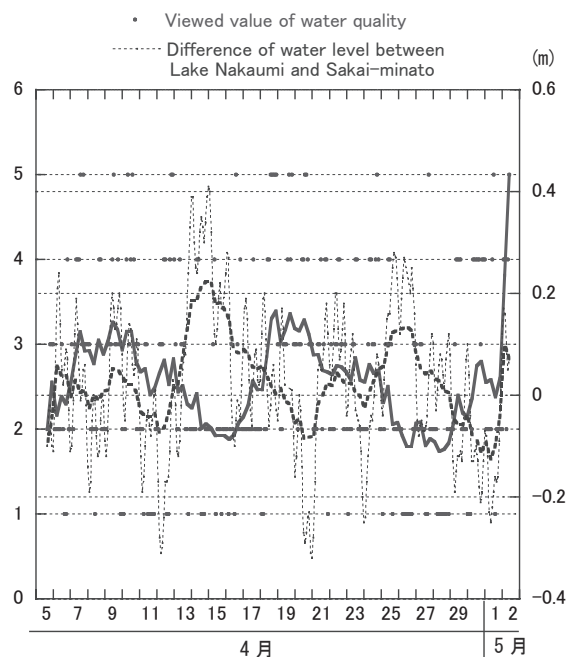


図 11. 水質映像の評価値と中海と境水道の水位差との関係。中海の水位資料は出雲河川事務所、境水道の水位資料は気象庁による。

Fig 11. Difference of water level between Lake Nakaumi and Sakai-minato, and its relation to the viewed value of water quality. Smoothed curve is applied a Stineman function of geometric fitting. Data of Nakaumi water level from Izumo River Office and data of Sakai water level from the Meteorological Agency of Japan.

(1) 底層水に発生する水中映像の濁りは、測定された濁度と関連しており、強風によって引き起こされた浮遊物が移動・沈降していく過程のものであると考えられる。底層水中のクロロフィル a 濃度が増加したときにも濁りが発生する。濁りのない状態は、境水道の水位が高くなった時とほぼ一致し、このときは中海へ海水の流入が起きていると考えられる。中海の水位が高いときには、底層水は濁っていることが多い

(2) 風が湖底の底質や生物群集へ及ぼす影響を確認することができた。湖底の攪乱による巻上げはおよそ風速 10 m/s で起きている。冬季に成長してきたユウレイボヤは、春季には活動が低下し、軟風状態の水の動きによっても湖底から離脱しやすい。したがって、強風が発生すると、一層強く湖底から引き離されるため、湖底の様子は2日ほどで変化する。冬季に出現していた湖底の多様な生物群は消失し、バクテリアマットが頻繁に出現する夏型の湖底の状態へと変化していく。

謝 辞

水中カメラの設置にあたり国土交通省出雲河川事務所には施設面でご協力をいただいた。また、査読者には有益なコメントをいただいた。ここに厚くお礼申し上げます。

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.

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 (2008a) 中海湖心部における湖底の水中映像(その4)：2004年と2006年の比較, *鳥根大学教育学部紀要(自然科学)*, 42: 81-85.

野村律夫 (2008b) 水中ビジュアルモニタリングによる技術による汽水域の環境解析. *環境技術*, 11: 6-11.

野村律夫・瀬戸浩二 (2008a) 中海湖心部における湖底の水中映像(その2)：冬季の季節風に対する底層水の動態. *Laguna(汽水域研究)*, 15: 57—67.

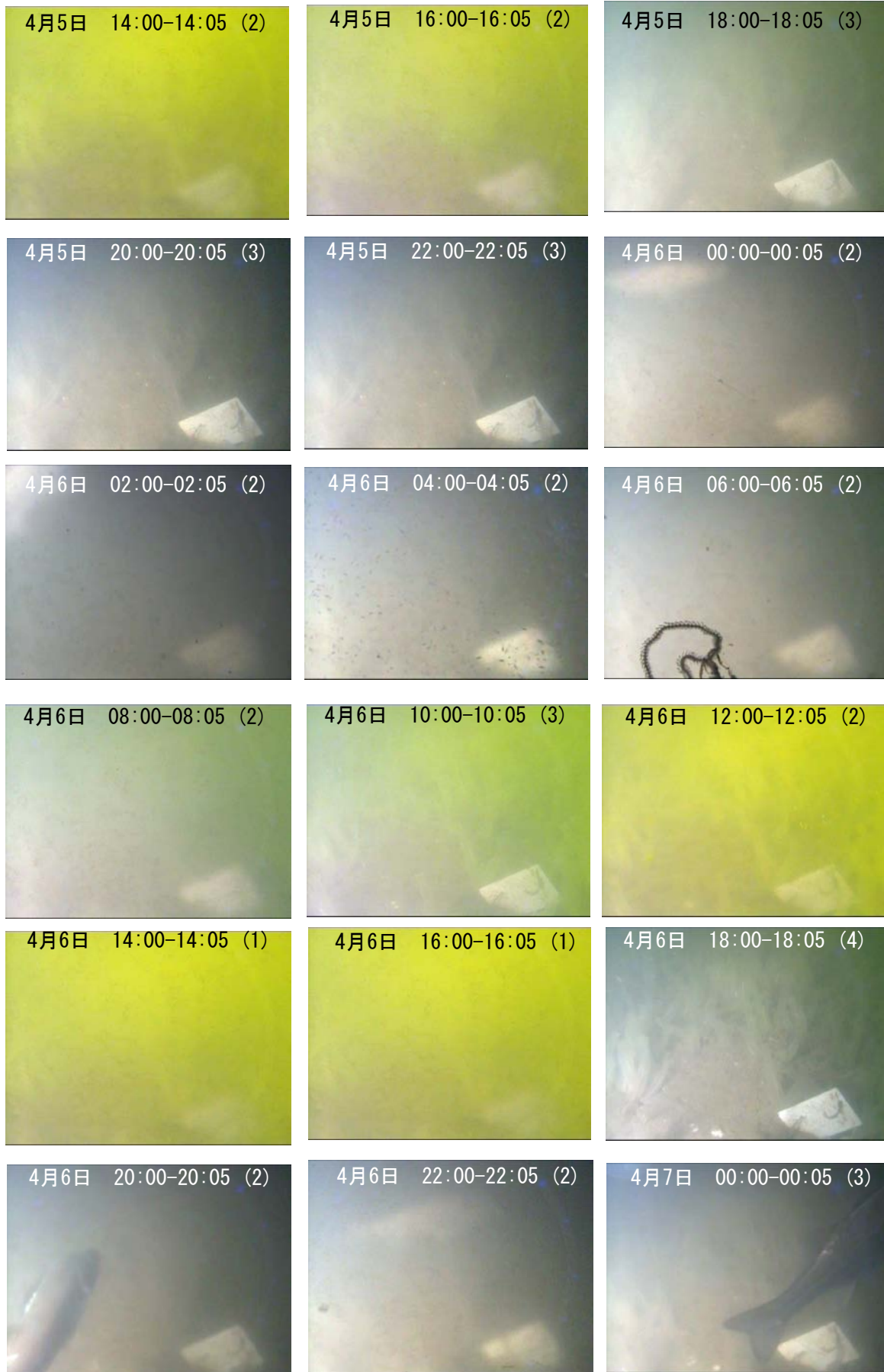
野村律夫・瀬戸浩二 (2008b) 中海湖心部における湖底の水中映像(その3)：無酸素環境におけるバクテリアマットの回復状況. *Laguna(汽水域研究)*, 15: 91-94.

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.

野村律夫・瀬戸浩二・堀江 譲・高田裕行 (2007) 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. *Laguna(汽水域研究)*, 14: 17-24.

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.

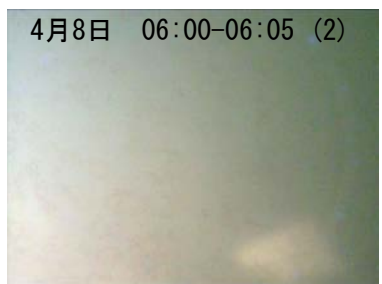
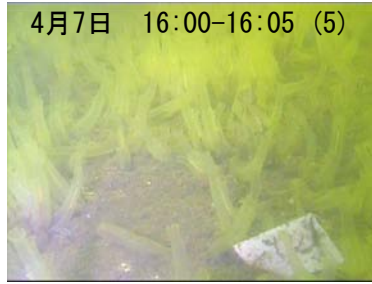
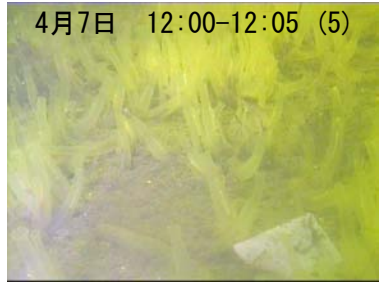
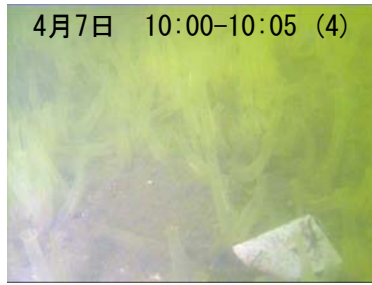
Synergy Software, 2005, KaleidaGraph, ver. 4.0.

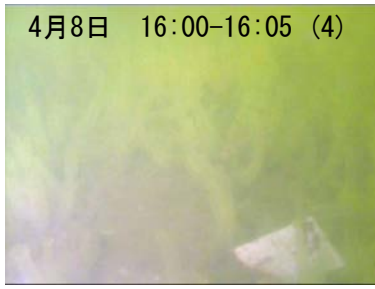
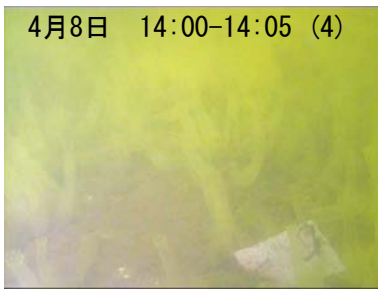


図版 1. 2007年4月5日から5月2日までの2時間ごとのスナップショット。半透明のチューブ状の生物はユウレイボウヤ。ステンレス板の横方向の長さは5cm。括弧内の数値は水質映像の評価。

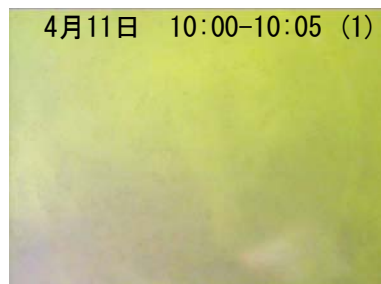
Plate 1. Snapshots of the bottom floor in every two hours from April 5 to May 2, 2007. Number in parentheses indicating the viewed value of water quality. Tube-shaped organism is cionid. White plate is 5cm in width.

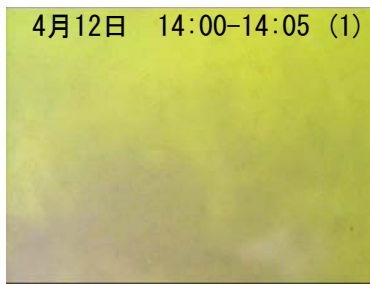
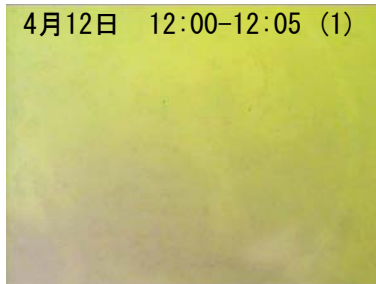
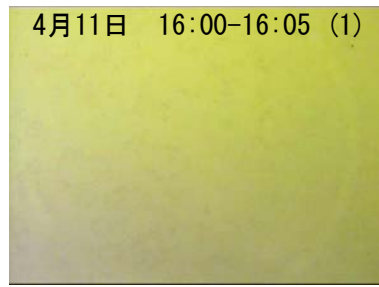
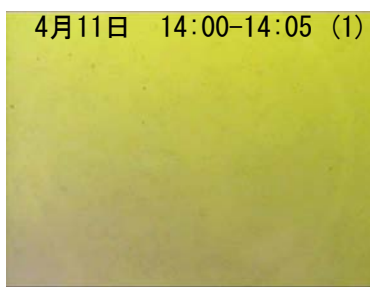
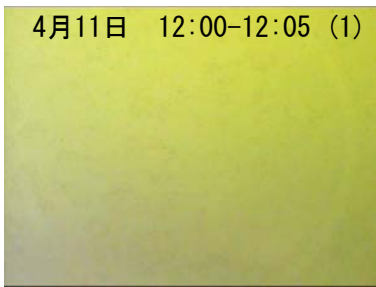
No.2



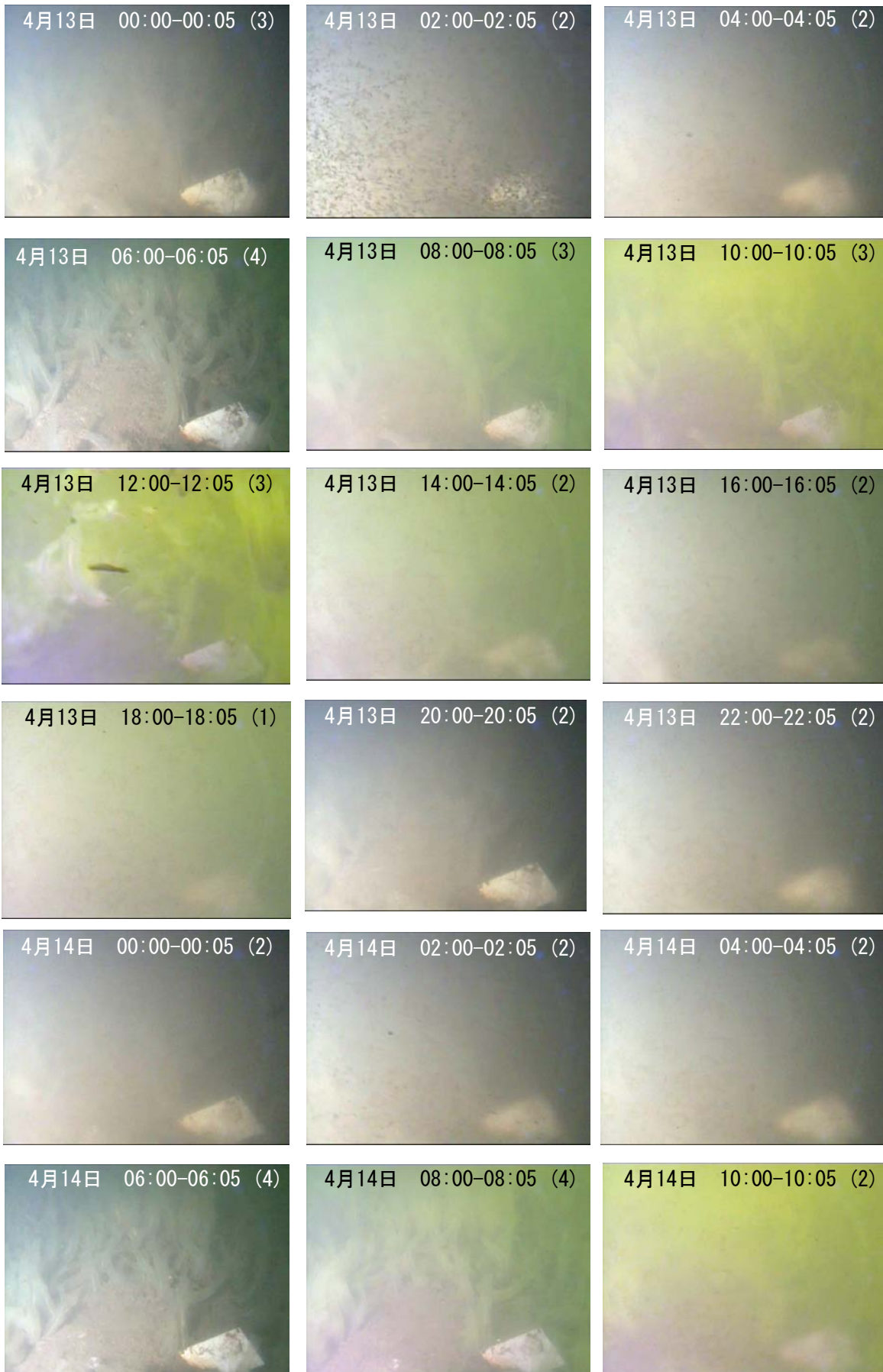


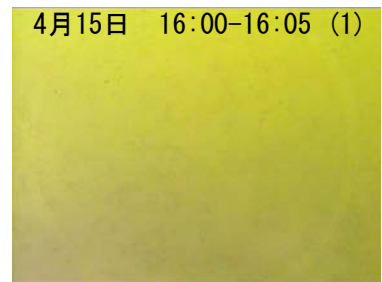
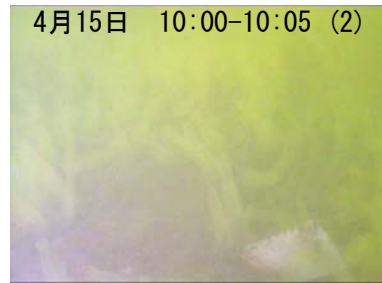
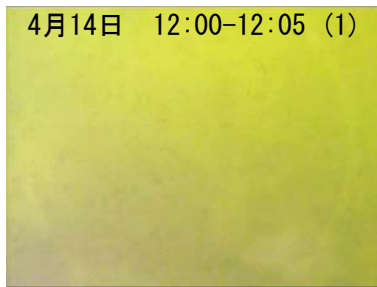
No.4





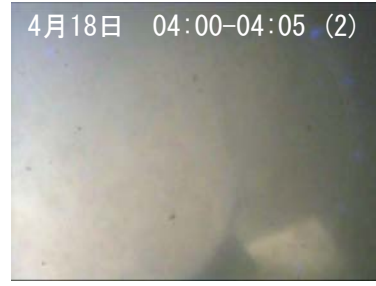
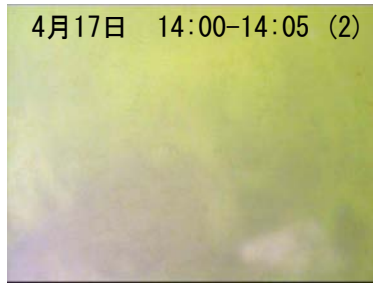
No.6



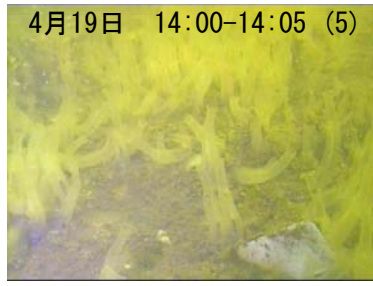


No.8

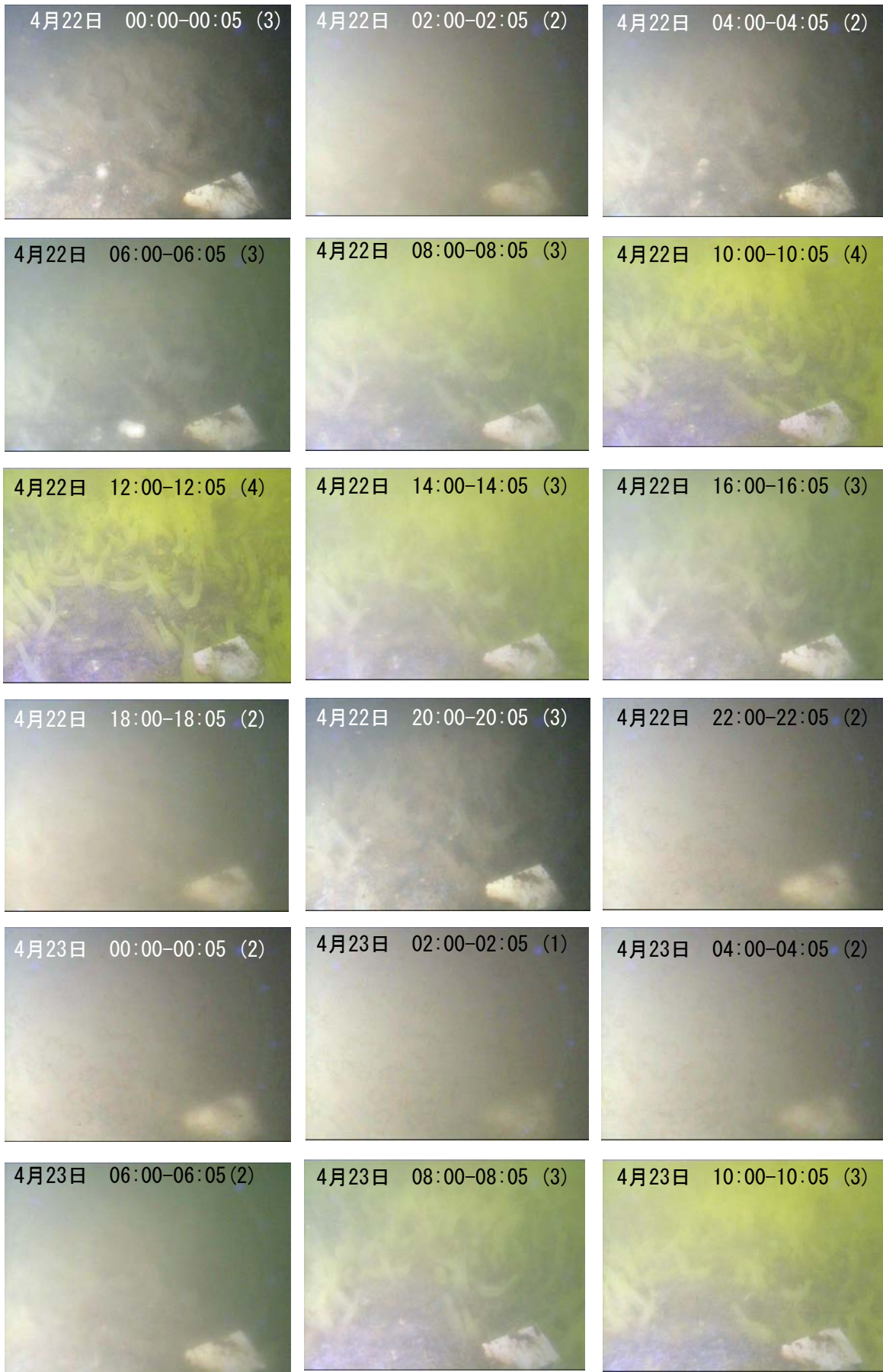


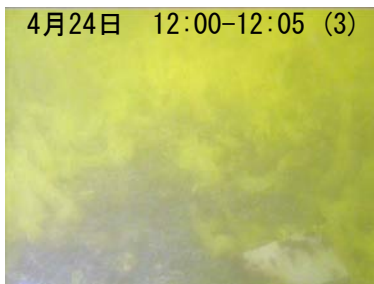
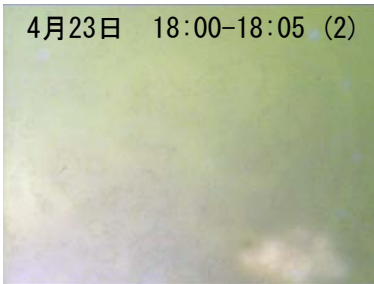
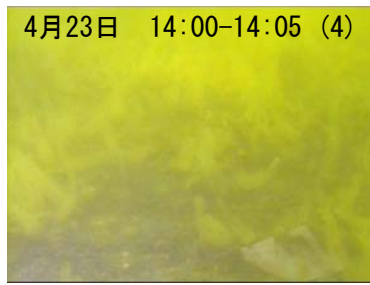
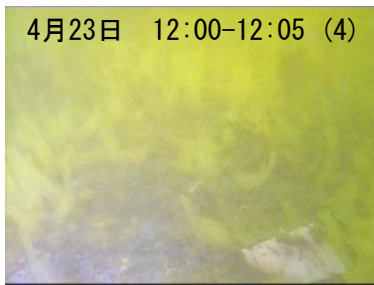


No.10

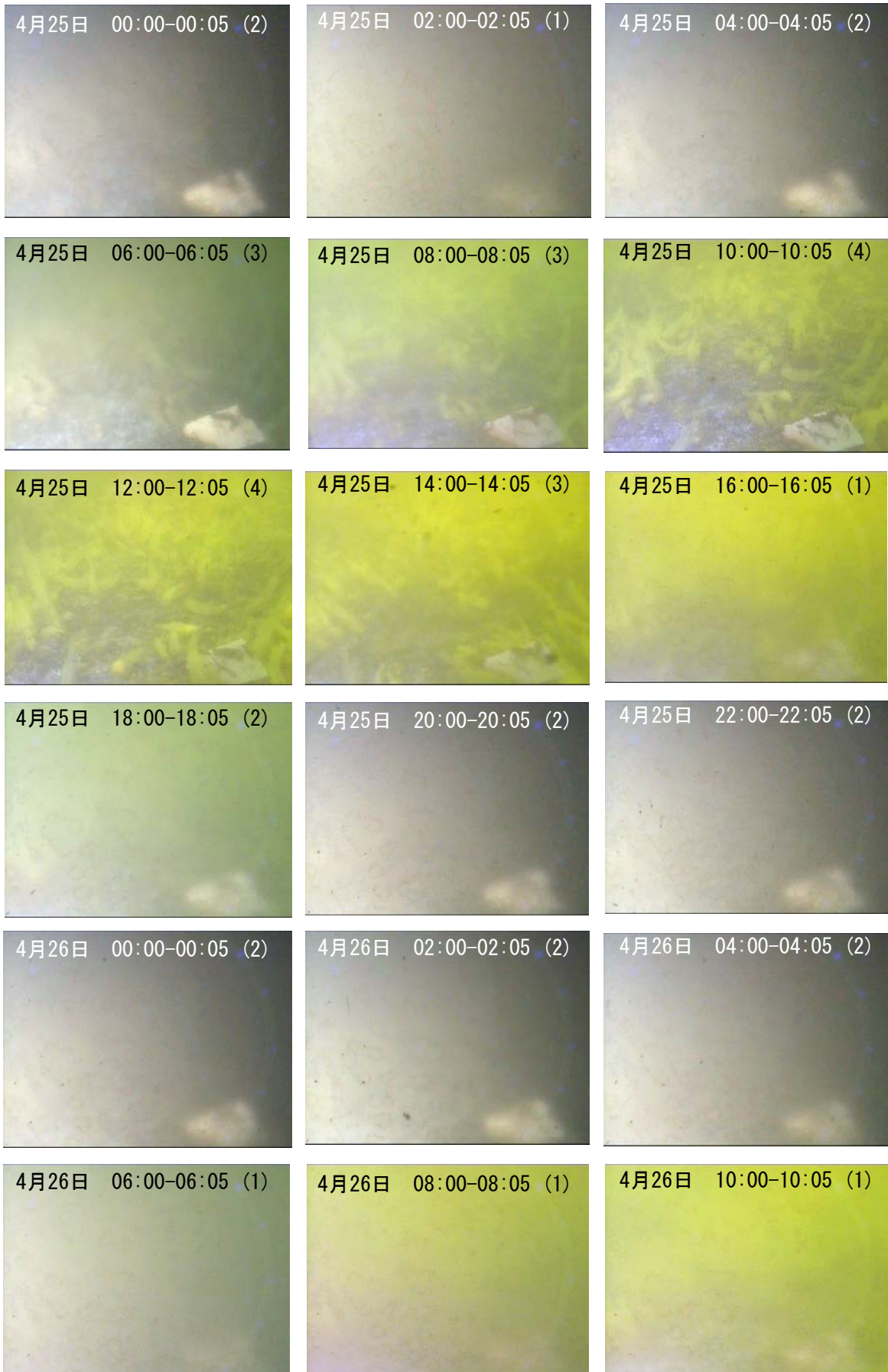


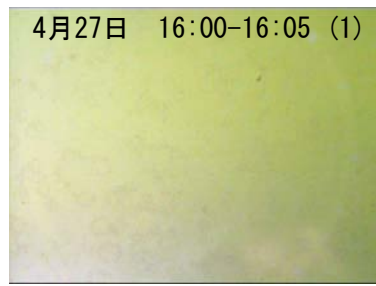
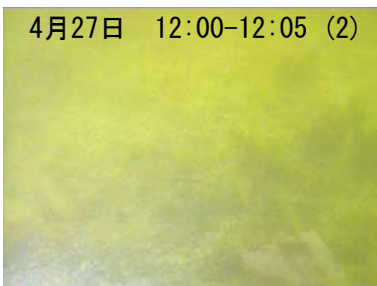
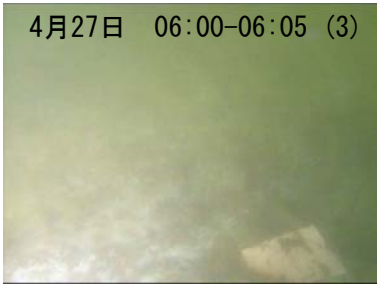
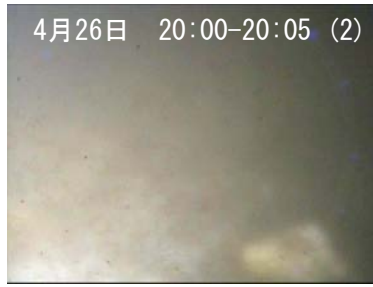
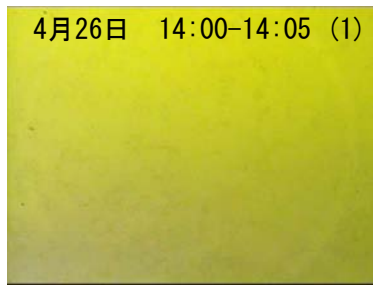
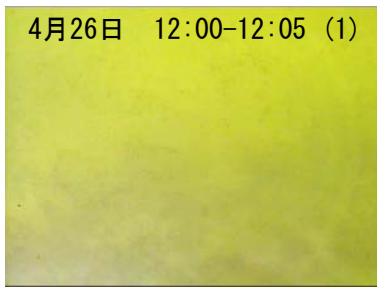
No.12



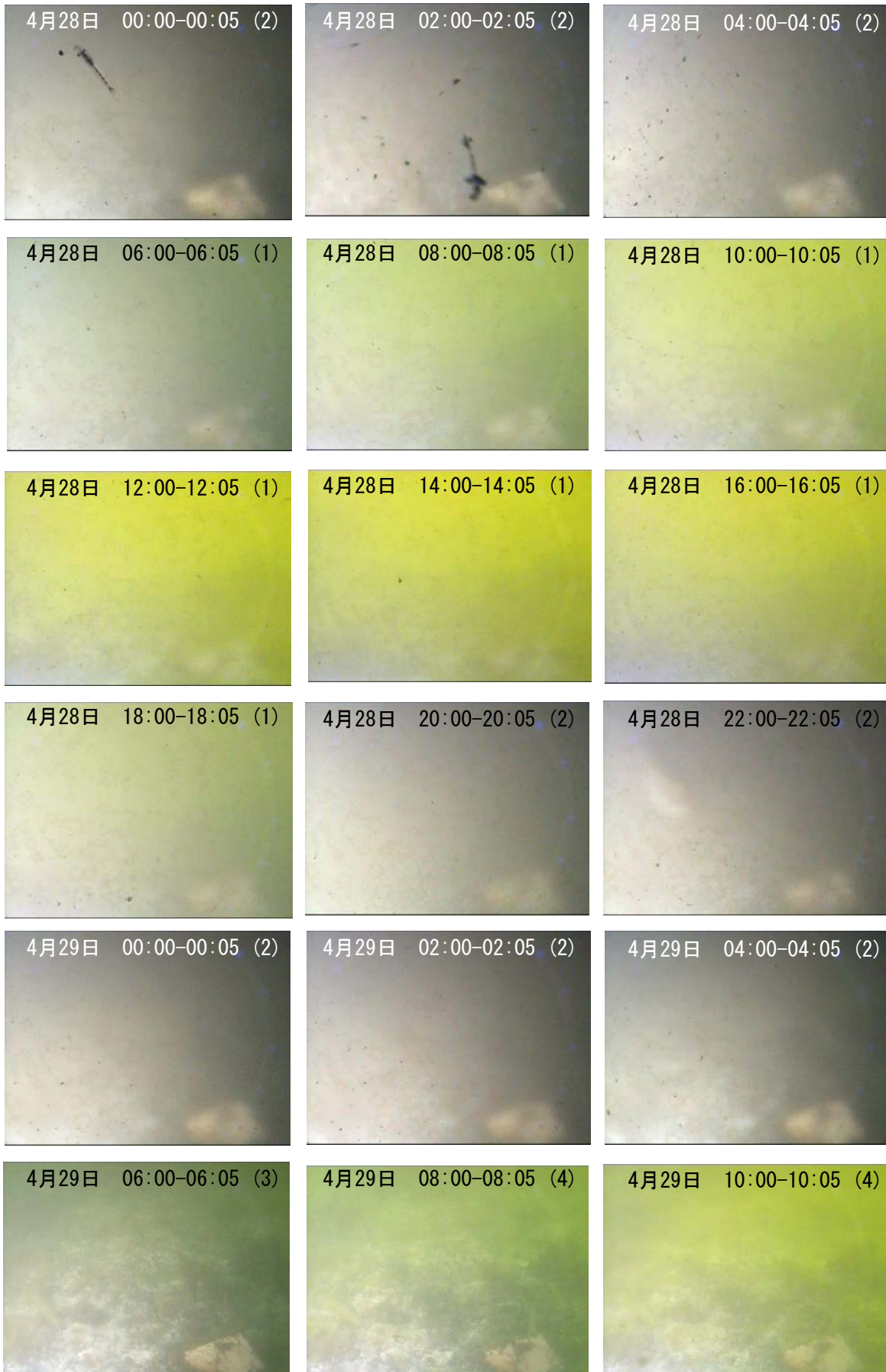


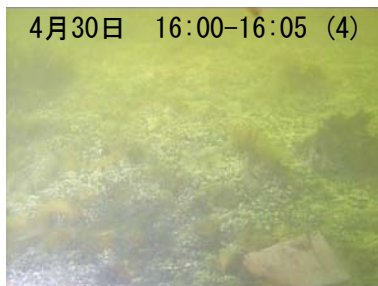
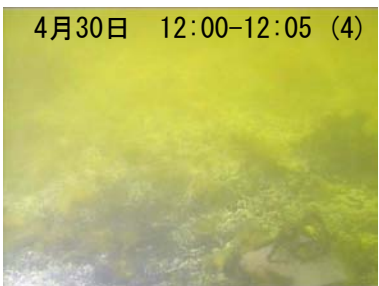
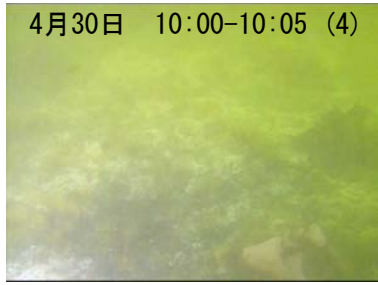
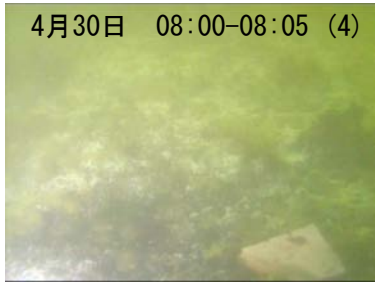
No.14



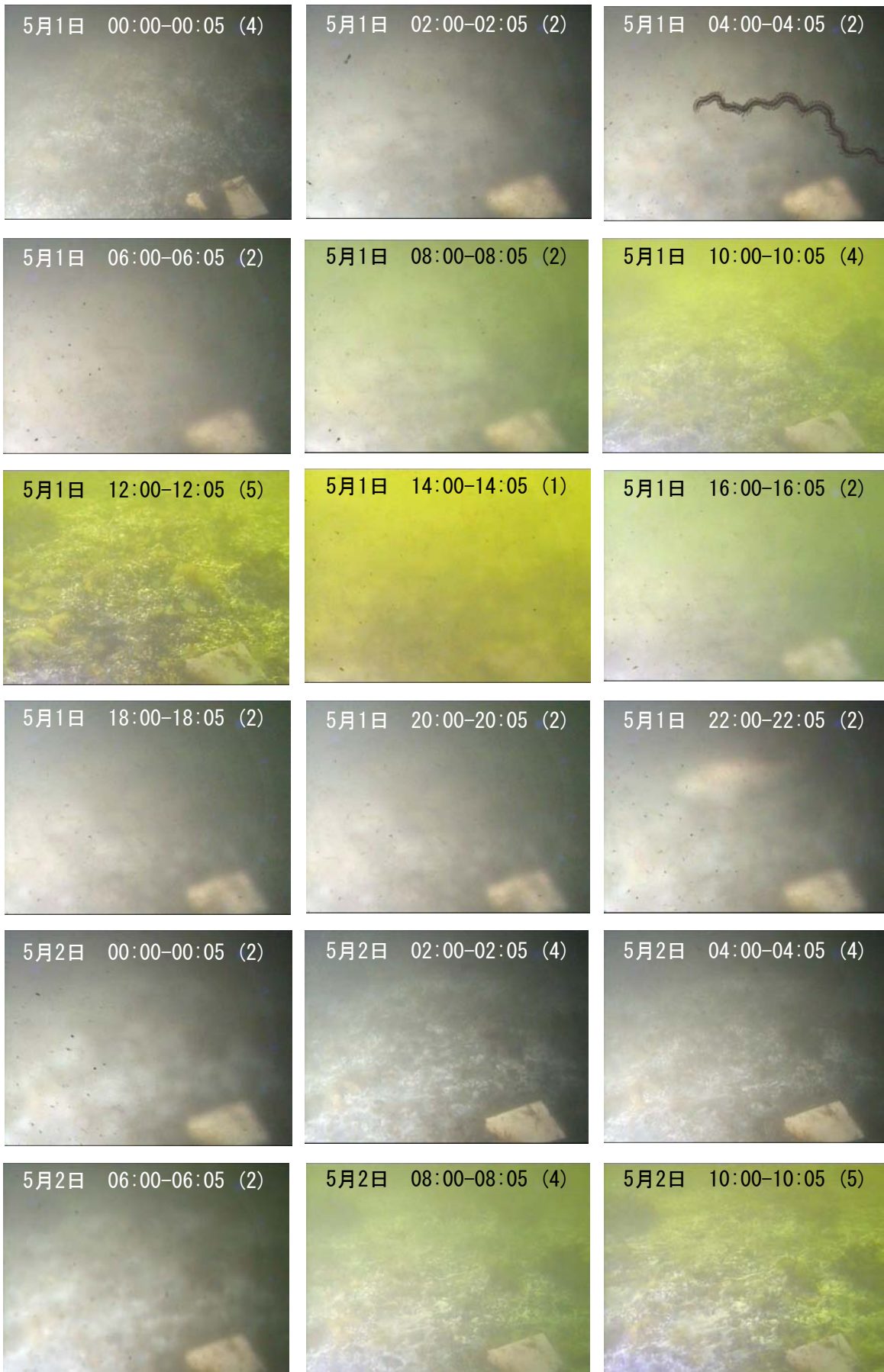


No.16





No.18



宍道湖および中海において春季に 灯火トラップで採集された仔稚魚

横尾俊博¹・堀之内正博¹・荒西太士¹

Larvae and juvenile fishes collected by light trap sampling in Lake Shinji and Nakaumi Lagoon

Toshihiro Yokoo, Masahiro Horinouchi and Futoshi Aranishi

Abstract: Fishes were sampled using an overnight light trap at Ronden and Teratsu in Lake Shinji and Eshima in Nakaumi Lagoon from March through June 2009, with an aim to reveal the spatial and temporal variation of larval and juvenile fish fauna in these lakes. A total of 7416 individuals of 6 species, 52 individuals of 6 species and 1466 individuals of 10 species were collected in the respective sampling sites. In Lake Shinji, *Gymnogobius taranetzi* (49.6% of total individuals) and *Salangichthys microdon* (48.6%) were almost entirely dominated at Ronden, and *Gymnogobius taranetzi* (40.4%), *Hypomeus nipponensis* (26.9%) and *Salangichthys microdon* (21.2%) were also dominated at Teratsu. At Eshima in Nakaumi Lagoon, *Chaenogobius* spp. (67.7%), *Tridentiger* spp. (16.6%), *Acanthogobius flavimanus* (7.3%) and *Gymnogobius breunigii* (5.7%) were determined to be the dominant species. Both larvae and juveniles of “amphidromous species” and “estuarine species” mainly occurred in Lake Shinji, while those of “estuarine species” and “marine species” occurred in Nakaumi Lagoon. Results of this study indicate that the difference of larval and juvenile fish fauna reflect the diverse reproductive mechanisms of amphidromous, estuarine and marine fishes in Lake Shinji and adjacent Nakaumi Lagoon along the estuarine salinity gradient between these lakes.

はじめに

一般に汽水域では、植物プランクトンや河川から供給される豊富な有機物により大量の動物プランクトンが発生するため、魚類に好適な餌料環境が形成されている(國井ら, 1993; 猿渡ら, 2006)。一方、全生活史を汽水域で完結させる魚類は少なく、汽水域の利用様式は、産卵場や仔稚魚の成育場、摂

餌場、通し回遊の経路など種毎に異なっている(猿渡ら, 2006)。宍道湖と中海は、斐伊川の河口部に形成される面積 86.2 km² と 79.1km² の国内最大規模の汽水湖であり、両者は大橋川によって連絡し、さらに中海の北東部に位置する境水道により日本海に連絡している(Fig. 1)。両湖における魚類の初期生活史については、宍道湖では島根県水産技術センターがシラウオ *Salangichthys microdon* やワカサギ

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

Hypomesus nipponensis の卵や稚魚の分布状況を調査しているが (中村ら, 1981; 川島ら, 1987; 藤川, 2005a, 2005b など), 水産有用種である両種以外の知見は著しく乏しい。また, 中海では鳥取県栽培漁業センターが近年精力的に仔稚魚を調査しているが (氏ら, 2007; 太田・福本, 2009), 採集された標本の発育段階や個体数に関する情報が開示されておらず, 各魚種の生活史における中海の利用様式は未だ不明である。本研究では, 宍道湖と中海における魚類の初期生活史の解明の一環として, 夜間に灯火トラップを用いて網羅的に仔稚魚を採集し, その種組成や発育段階を検討した。なお, 木下 (1993) や小路 (1998), 大美ら (2007) は, 春季から夏季にかけ

て仔稚魚の種数や個体数が最大になることを報告しており, 本調査も同時期に実施した。

材料と方法

2009年3月から6月までの4カ月間に亘って, 宍道湖の論田と寺津および中海の江島において毎月1回灯火トラップを用いて網羅的に仔稚魚を夜間採集した (Fig. 1)。なお, 各定点の調査日は異なっていたが, 各月とも1週間以内に全定点を調査した。灯火トラップは Nakamura et al. (2009) に従い National 社製乾電池式水中集魚灯 BF-8951 を光源として作製したが (Fig. 2), 灯火トラップによる採集では調査場所間の水流の速度の相違が種毎の個体数密度等の比較に際してバイアスとなる可能性が指摘されている (Doherty, 1987)。そこで, 灯火トラップは水流の影響を受けにくい湖港部に日没から日の出まで設置し, 内部に罅集した生物を採集した。得られた試料は氷蔵して研究室に持ち帰り, 魚類のみを選別して5%ホルマリンで固定した。沖山 (編) (1988) や Nakabo [ed.] (2002) などに基づいて種を同定した後, 種毎に個体数を計数してマイクロメーターとノギスを用いて最大体長および最小体長を計測し, Kendall et al. (1984) に基づいて発育段階を決定した。また, 得られた種の生活史型は, 加納ら (2000) に従い海水魚, 汽水魚, 淡水魚および両側回遊魚の4型に区分した。なお, シラウオとワカサギはそれぞれ猿渡 (1994) と Katayama et al. (2007) に従い汽水魚とした。灯火トラップ設置時には, HORIBA 社製マルチ水質チェッカ U-52G を用いて水深1m層における水温, 塩分および溶存酸素量を測定した。

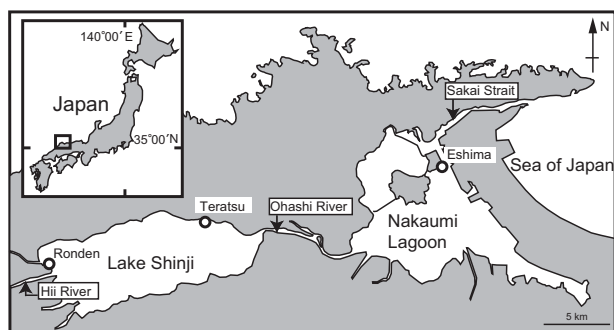


Fig. 1. Map showing the sampling sites (○) in Lake Shinji and Nakaumi Lagoon, western Japan.

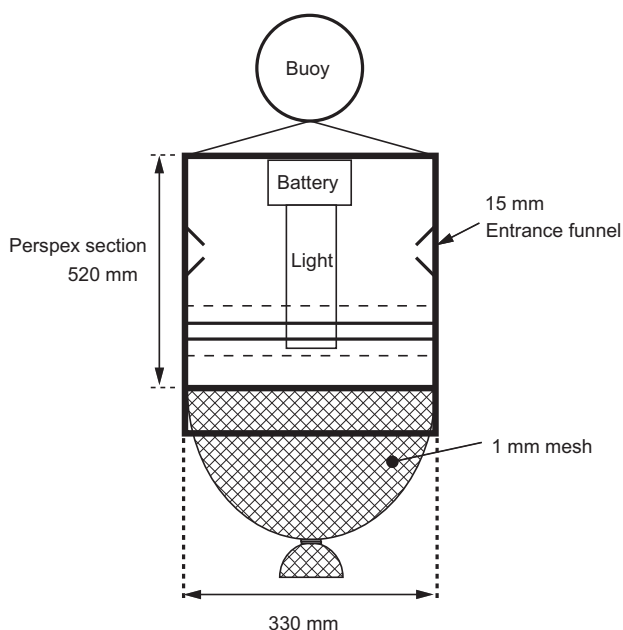


Fig. 2. Diagram of light trap. Fish larvae entered the perspex section via 4 entrance funnels, being attracted by a 6 W twin fluorescent lamp worked on 4 alkaline D batteries as a light source.

結果

環境

水温は定点間で明瞭な相違はなく, 各月の平均水温は3月10.6°C, 4月17.5°C, 5月20.1°C, 6月24.3°Cと上昇した (Fig. 3a)。一方, 塩分は宍道湖と中海で明瞭に異なった (Fig. 3b)。宍道湖では調査期間を通じて0.6–6.1の範囲にあり, 各月の平均は3月1.3, 4月2.9, 5月3.7, 6月5.5であったが, 中海では17.7–22.6の範囲にあり, 3月17.7, 4月18.1, 5月22.0, 6月22.6であった。溶存酸素量は定点間で明瞭な相違はなかった (Fig. 3c)。3月には宍道湖・論田33.1mg/L, 宍道湖・寺津23.6mg/L

L, 中海・江島 18.1mg/L であり, 3 定点間で大きくばらついたが, 以降の各月の平均溶存酸素量は 4 月 15.7mg/L, 5 月 14.1mg/L, 6 月 7.1mg/L と徐々に低下する傾向が認められた。

魚 類

宍道湖・論田では 6 種 7416 個体が得られた。シンジコハゼ *Gymnogobius taranetzi* が 3680 個体 (全採集個体数の 49.6%) で最も多く, 次いでシラウオが 3604 個体 (同 48.6%) であった。出現種数は 4 月と 5 月に 4 種で最も多く, 出現個体数は 5 月に 4869 個体で最も多かった。発育段階では, カジカ *Cottus pollux* は屈曲前仔魚から稚魚, シンジコハゼは屈曲仔魚から稚魚, シラウオとウキゴリ *G. urotaenia* は屈曲後仔魚から稚魚であり, コイ科複数種 *Cyprinidae spp.* とスズキ *Lateolabrax japonicus* は屈曲後仔魚の単一の発育段階のみであった。なお, スズキ以外の種は複数月に亘って出現していた。各

生活史型の出現種数および出現個体数は, 淡水魚 1 種 33 個体, 両側回遊魚 2 種 58 個体, 汽水魚 2 種 7284 個体, 海水魚 1 種 1 個体であった。

宍道湖・寺津では 6 種 52 個体が得られた。シンジコハゼが 21 個体 (同 40.4%) で最も多く, 次いでワカサギが 14 個体 (同 26.9%), シラウオが 11 個体 (同 21.2%) の順で多かった。出現種数および出現個体数はともに 4 月に 5 種 48 個体で最も多かったが, 3 月と 6 月には魚類は採集されなかった。また, 出現した全ての種が単一の発育段階のみであり, ビリンゴ *Gymnogobius breunigii* は屈曲前仔魚, シラウオは屈曲後仔魚, ワカサギ, ウキゴリ, シンジコハゼおよびハゼ科不明種 1 *Gobiidae sp. 1* は稚魚であった。なお, ワカサギ, ウキゴリおよびシンジコハゼは複数月に亘って出現していた。各生活史型の出現種数および出現個体数は, 両側回遊魚 1 種 3 個体, 汽水魚 4 種 48 個体, 不明 1 個体であった。

中海・江島では 10 種 1466 個体が得られた。アゴハゼ属複数種 *Chaenogobius spp.* が 993 個体 (同 67.7%) で最も多く, 次いでチチブ属複数種 *Tridentiger spp.* が 243 個体 (同 16.6%), マハゼ *Acanthogobius flavimanus* が 108 個体 (同 7.3%), ビリンゴが 84 個体 (同 5.7%) の順で多かった。出現種数は 5 月に 7 種で最も多く, 出現個体数は 4 月に 1051 個体で最も多かった。発育段階では, ムスジガジ *Ernogrammus hexagrammus*, マハゼ, ビリンゴ, アゴハゼ属複数種およびニクハゼ *Gymnogobius heptacanthus* は屈曲前仔魚から稚魚, チチブ属複数種は屈曲前仔魚から屈曲後仔魚であり, 屈曲前仔魚のギンポ亜目不明種 1 *Blennioidei sp. 1* とギンポ亜目不明種 2 *Blennioidei sp. 2* および稚魚のフグ科不明種 *Tetraodontidae sp.* は単一の発育段階のみであった。なお, マハゼ, アゴハゼ属複数種, ビリンゴおよびハゼ科複数種 *Gobiidae spp.* は複数月に亘って出現していた。各生活史型の出現種数および出現個体数は, 汽水魚 4 種 439 個体, 海水魚 2 種 1011 個体, 不明 4 種 16 個体であった。

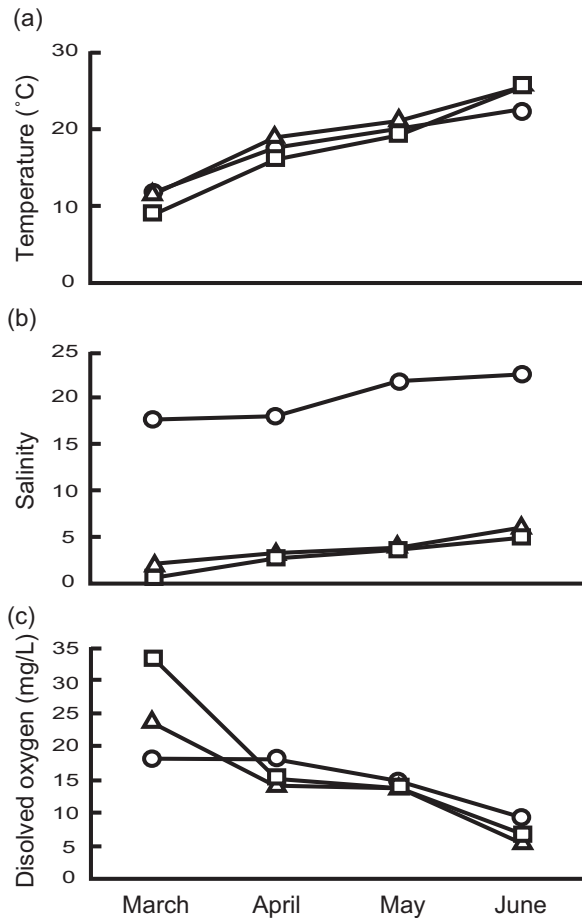


Fig. 3. Monthly changes of water temperature (a), salinity (b) and dissolved oxygen (c) from March through June 2009 at Ronden (△) and Teratsu (□) in Lake Shinji and Eshima (○) in Nakaumi Lagoon.

考 察

本調査水域における物理環境は, 水温や溶存酸素量には宍道湖と中海の間で明瞭な相違はなく同様の季節変化を示したが, 塩分は宍道湖が中海より明瞭に低かった。この両湖における塩分差は, 海水が境水道を通じて直接流入するが流入河川の規模が小さい中海と, 海水は中海から大橋川を経由して流入するが流入河川の規模が大きい宍道湖という地勢的な

Table 1. Fishes collected at the Lake Shinji and Nakaumi Lagoon, western Japan from March through June 2009.

Species	Life cycle category	Ronden (Lake Shinji)				Teratsu (Lake Shinji)				Eshima (Nakaumi Lagoon)			
		Individuals/ size /developmental stage				Individuals/ size /developmental stage				Individuals/ size /developmental stage			
		March	April	May	June	March	April	May	June	March	April	May	June
Cyprinidae spp.	F			1 14.0 Po	72 8.2-9.5 Po								
<i>Hypomesus nipponensis</i>	E					13 16.0-20.3 J	1 16.9 J						
<i>Salangichthys microdon</i>	E		1624 15.4-21.0 Po	1740 12.7-22.7 Po	240 21.8-37.3 Po-J		11 13.6-14.7 Po						
<i>Ernogrammus hexagrammus</i>	M									18 7.2-14.1 Pr-J			
<i>Lateolabrax japonicus</i>	M	1 16.9 Po											
<i>Cottus pollux</i>	Am	26 7.1-10.1 Pr-Po	14 10.6-12.8 J										
Blennioidei sp. 1	-									1 5.6 Pr			
Blennioidei sp. 2	-											1 13.8 Po	
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	E									56 5.1-6.9 Pr	44 6.6-14.7 Pr-J	8 9.1-11.9 Po	
<i>Chaenogobius</i> spp.	M										937 6.3-10.0 Pr-Po	56 5.9-13.8 Pr-J	
<i>Gymnogobius breunigii</i>	E					2 Pr 6.8-7.6				21 6.0-13.3 Pr-Po	62 5.6-17.7 Pr-J	1 11.4 Po	
<i>G. heptacanthus</i>	E											4 10.1-12.0 Po-J	
<i>G. taranetzi</i>	E		396 11.5-14.9 Po-J	3116 7.5-18.0 F-J	168 10.8-19.9 Po-J	20 13.3-18.7 J	1 13.1 J						
<i>G. urotaenia</i>	Am		6 13.4-16.3 Po-J	12 18.7-31.5 J		2 18.4-22.0 J	1 21.5 J						
<i>Tridentiger</i> spp.	E												243 2.7-6.6 Pr-Po
Gobiidae sp. 1	-						1 12.8 J						
Gobiidae spp.	-										7 4.4-5.3 Pr	6 4.5-12.0 Pr-Po	
Tetraodontidae sp.	-											1 7.3 J	

Life cycle category (Am, amphidromous; E, estuarine; F, freshwater; M, marine), developmental stage (Pr: Preflexion larva, F: Flexion larva, Po: Postflexion larva, J: Juvenile).

違いに拠る。また、本研究で得られた仔稚魚の種組成も宍道湖と中海では明瞭に異なり、両湖から出現した種はビリンゴ1種のみであった。生活史型による区分では、両側回遊魚および淡水魚は宍道湖のみであり、さらに海水魚は宍道湖・論田の1個体以外は中海のみの出現であった。これらの特徴的な種組成は、上述した両湖の地勢的な違いが原因であると推察される。一方、汽水魚は両湖で出現したが、宍道湖で出現した汽水魚のうち、シラウオとワカサギの産卵場は宍道湖およびその流入河川河口部に形成され(藤川, 2005b)、シンジコハゼの産卵場は宍道湖沿岸域の水深3-5m付近と考えられている(林・佐藤, 1996)。また、中海で出現した汽水魚のうち、マハゼ、ビリンゴ、ニクハゼおよびチチブ属魚類は何れも抱卵個体が中海で確認されている(越川, 2005)。本研究で得られた汽水魚のほとんどが屈曲前仔魚から屈曲後仔魚(チチブ属)、屈曲前仔魚から稚魚(マハゼ、ビリンゴ)、屈曲仔魚から稚魚(シンジコハゼ)、屈曲後仔魚から稚魚(シラウオ、ニクハゼ)などごく初期の発育段階であることから、宍道湖と中海における汽水魚の種組成は、各種の産卵場としての両湖の利用様式の違いを反映していると推察された。また、両湖に共通して出現した汽水魚がビリンゴのみであった結果は、生活史の初期において両湖ともに利用し成長している種がほとんどいないことを示唆している。なお、宍道湖において、論田ではシラウオ、ウキゴリおよびシンジコハゼの複数の発育段階の個体が多数出現したが、寺津ではいずれの種も単一発育段階の個体が少数出現したにすぎず、これらの種にとって仔稚魚の生息場としての価値が寺津では低くなっている可能性が推察された。一方、近年資源量が著しく減衰しているワカサギの稚魚は寺津のみで出現しているなど、両湖における水産資源の保全や増殖には、各調査水域における種毎のユニークな利用様式をより詳細に検討する必要がある。

本研究では、灯火トラップによる夜間採集という新たな調査手法の導入により、宍道湖と中海における仔稚魚の出現様式の一端を解明することができた。しかし、灯火採集の採集効率、種毎あるいは同種内でも発育段階毎に変化し、また透明度や月齢などの影響も受ける可能性があるため(Gregory and Powles, 1985)、従来の仔稚魚調査で用いられる稚魚ネットやサーフネットによる調査手法の併用もして、両湖における魚類の初期生活史の解明を進めていく計画である。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、灯火トラップの仕様や作製方法をご教示頂いた高知大学大学院総合人間自然科学研究科黒潮圏総合科学専攻助教の中村洋平博士、本調査をご快諾下さった宍道湖漁業協同組合と中海漁業協同組合の皆様には厚く御礼申し上げます。本研究の一部は、建設技術研究開発費補助金「再生藻場における生物多様性モニタリング技術の開発」および島根大学重点プロジェクト「地域資源循環型社会の構築」により実施された。ここに記して深謝する。

引用文献

- Doherty, P. J. (1987) Light-traps: selective but useful devices for quantifying the distributions and abundances of larval fishes. *Bull. Mar. Sci.* 41(2):423-431.
- 藤川裕司 (2005a) ワカサギ、シラウオ稚魚の出現状況および体長、成熟のモニタリング調査。平成17年度内水面水産試験場 事業報告書: 45-50.
- 藤川裕司 (2005b) 宍道湖におけるワカサギ、シラウオ卵の出現状況および斐伊川におけるワカサギ産卵数の平成15~18年の比較。平成17年度内水面水産試験場 事業報告書: 51-53.
- Gregory, R. S. and Powles, P. M. (1985) Chronology, distribution, and sizes of larval fish sampled by light traps in macrophytic Chemung Lake. *Can. J. Zool.* 63:2569-2577.
- 林 公義・佐藤仁志 (1996) シンジコハゼ. In (社)日本水産資源保護協会. 日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料 (III): 222-227.
- 加納光樹・小池 哲・河野 博 (2000) 東京湾内湾の干潟域の魚類相とその多様性. *魚類学雑誌*, 47:115-129.
- Katayama, S., Saruwatari, T., Kimura K., Yamaguchi M., Sasaki T., Torao M., Fujioka T. and Okada, N. (2007) Variation in migration patterns of pond smelt, *Hypomesus nipponensis*, in Japan determined by otolith microchemical analysis. *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.* 71:175-182.
- 川島隆寿・山根恭道・鈴木博也 (1987) 宍道湖・中海におけるワカサギ・シラウオ資源生態調査. 島根県水産試験場 昭和62年度事業報告: 191-199.
- Kendall Jr., A. W., Ahlstrom, E. H. and Moser, H. G.

- (1984) Early life history stages of fishes and their characters. In Moser, H. G., Richards, W. J., Cohen, D. M., Fahay, M. P., Kendall, Jr., A. W. and Richardson, S. L. (eds.) *Ontogeny and Systematics of Fishes*, 11–22. Spec. Publ. No. 1, Am. Soc. Ichthyol. Herpetol.
- 木下 泉 (1993) 舞鶴湾において水中灯に蝟集した魚類. 京大水産実験所報告 2 : 38–40.
- 越川敏樹 (2005) 中海・宍道湖水域に生息するハゼ類の棲息状況. ホシザキグリーン財団研究報告 8 : 219–240.
- 國井秀伸・高安克己・橋谷 博・中村幹雄・中尾 繁 (1993) 汽水湖生態系の特性と日本における研究の現状. 日本生態学会誌 43 : 195–209.
- Nakabo T. (ed.) (2002) *Fishes of Japan with pictorial keys to the species*, English edition. Tokai University Press, Tokyo, 1749 pp.
- 中村幹雄・山本孝二・小川絹代 (1981) 中海・宍道湖漁場環境基礎調査 ワカサギの成熟と産卵について. 島根県水産試験場昭和 56 年度事業報告 : 177–187.
- Nakamura, Y., Shibuno, T., Lecchini, D. and Watanabe, Y. (2009) Habitat selection by emperor fish larvae. *Aquatic Biology* 6:61–65.
- 大美博昭・有山啓之・日下部敬之・辻村浩隆 (2007) 大阪湾南部の石積傾斜護岸において灯火に蝟集した魚類幼稚仔. 大阪府立水産試験場研究報告 17 : 9–17.
- 沖山宗雄 (編) (1988) *日本産稚魚図鑑*. 東海大学出版会, 東京, 1154 pp.
- 太田武行・福本一彦 (2009) 中海の漁場環境の把握. 平成 20 年度鳥取県栽培漁業センター成果報告集 : 69–78.
- 猿渡敏郎 (1994) シラウオ：汽水域のしたたかな放浪者. In 後藤晃・塚本勝巳・前川光司 (編) *川と海を回遊する淡水魚—生活史と進化—*, 74–85. 東海大学出版会, 東京.
- 猿渡敏郎・小藤一弥・田中宏典・金高卓二・斎藤伸輔 (2006) 魚類の棲息環境としての汽水湖—茨城県澗沼を例に—. In 猿渡敏郎 (編) *魚類環境生態学入門 - 溪流から深海まで, 魚と棲みかのインターアクション*, 74–102. 東海大学出版会, 東京.
- 小路 淳 (1998) 瀬戸内海中央部の一漁港において灯火採集により得られた仔稚魚. 京大水産実験所報告 6 : 29–32.
- 氏 良介・渡辺秀洋・太田太郎 (2007) 中海の漁場環境調査. 平成 18 年度栽培漁業センター年報 : 81–94.

斐伊川及び飯梨川堆積物の重金属含有量からみた 流域の地球化学的特徴

松本一郎¹

Geochemical characteristics of heavy metals of river sediment from the Hii and Iinashi River basins, Shimane prefecture, southwest Japan

Ichiro Matsumoto¹

Abstract: Heavy metal concentrations within Hii and Iinashi River sediments were measured uniformly from its headwaters to the coast. Sediment samples were collected at 35 locations along the rivers and lakes course and analyzed for: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, and Zn. Results show a very little influence of human impact upon heavy metal concentrations in river and lake sediments. There is a natural decrease in river sediment-bound heavy metal concentration, due to interaction effect between sediment fragment and river water. And there is a natural increase in lake sediment-bound heavy metal concentration by basin effect that is differentiation by gravity.

Key words: heavy metal, bottom sediment, environmental standard value, Hii River system,

はじめに

大都市周辺を中心として、主に流域の河口域では土壌や堆積物の汚染が 1970 年代後半頃から特に顕在化してきた。人や生態系に影響を与える物質による土壌汚染事例の著しい増加に対して、人類への健康被害の観点から、土壌汚染対策法（環境省、2002）が成立・施行された経緯がある。土壌や堆積物の汚染は、人類の産業活動の発展による、多種多様な化学物質の使用が主要因である。典型 7 公害と呼ばれる大気、水質、土壌、騒音、振動、地盤沈下及び悪臭のうち、本論でも議論する「土壌（や堆積物）」にかかわる汚染のみが統一的な法的規制がなく、わずかに農作物の生産保護の目的に限定されて運用されていた経緯がある。特に 1980 年代以降は、

日本経済の発展に伴う、工場の移転や売買などの再開発事業の増加により重金属類や揮発性有機化合物等の土壌汚染や地下水汚染が日本各地から報告、明らかにされてきたのである。勿論、土地の売買による観点からの土壌汚染対策法では、所有者のある「土地」が対象であり、地表面下の「土壌」の化学組成（含有量及び溶出値）が問題とされる。それに対して公共用地である河川域に堆積する堆積物には、現在、対象となる法的な基準値（含有量及び溶出量）が設定されていない。しかし、主に大都市河口域では、平野の地形的・地質的な形成が基本的に河川堆積物によるものである事から、バックグラウンド値の推定・設定のためには同堆積物の化学的な特徴の記載が重要となる。そのため、ここでは含有量について、「土壌環境基準値」（環境省、2002）を河川堆

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

積物の一つの目安として議論を行う。また、溶出値については、「水底土砂に係わる判定基準」(総理府, 1973)を参考にする。

なお、同様な観点も手伝って、近年では地球化学図の作製も盛んに行われている(例えば、今井, 2001; 今井ほか, 2001; 太田ほか, 2002; 2003)。また、丸茂ほか(2003)及び丸茂(2007)は、自然由来の重金属類の濃集にかかわる対象元素間の関係や、濃集プロセスについて地質的・地球化学的な見地から異なる地質ごとの特徴や傾向を記載している。また、石賀・道前(2002)、石賀ほか(2003)及び道前・石賀(2002)は河川堆積物の元素組成と流域の環境評価について、先駆的な議論を特にZnと Fe_2O_3 を用いて行っており、流域ごとの組成に違いが表れることを示した。

また、最近では、特に東京、大阪、名古屋という大都市部を流下する河川を中心に、河川堆積物の重金属類に焦点をあて、人的作用と自然負荷量との定量的な判別・評価を目的とした研究も行われている(例えば、Watanabe et al., 2005; Watanabe and Matsumoto, 2008; 伊藤・松本, 2007; Ito and Matsumoto, 2008; Matsumoto, 2007; Matsumoto et al., 2008a; 2008b; 2009)。

今回、斐伊川及び飯梨川の河川堆積物の特に重金属の化学的特徴を記載するが、流域の環境管理という観点から重金属類の含有量変化と、宍道湖・中海

という2つの汽水域堆積盆における濃集効果の度合いを明らかにすることを目指した。本結果が、斐伊川水系の重金属類の含有量を用いた管理指標の一つとなることと合わせて、大都市部流域での土壌や堆積物の重金属含有量の人的及び自然的な付加割合の議論をする際(例えば、松本, 2003)の参考資料となることを期待する。また、宍道湖・中海に代表される河川や汽水域の利用や保全については、多角的な見地から様々な研究が行われている(例えば、高安ほか, 2001; 井内ほか, 1990; 徳岡, 1993; 徳岡ほか, 1993)。

なお、本研究は河川堆積物の特に重金属類の化学的特徴を土壌汚染対策法に基づく分析方法に準じ、その変化を上流から河口(境水道)にいたるまで連続的に記載した斐伊川・飯梨川では初めての報告である。

研究対象の流域と地質

斐伊川は、島根県奥出雲町と鳥取県日南町の県境に位置する標高1,142mの船通山を水源とする一級河川である(図1)。流路延長約153km、流域面積約2,070 km^2 であり、日本の代表的な天井川の一つである。また、斐伊川はその河口域に宍道湖と中海という連続汽水湖を有することが特徴の一つである。宍道湖と中海は、大橋川により連結しており、湖水は境水道を経由して日本海に至る。斐伊川流域に分布する地質は、上流から宍道湖に至る中流にかけては、大部分が古第三紀の花崗岩類と流紋岩質の火砕岩が占める(島根県地質図編集委員会, 1982)。また、宍道湖から中海の両岸にかけては、新第三紀の大森層、布志名層、松江層、及び第四紀の大根島玄武岩が分布している(例えば、鹿野ほか, 1994)。また、花崗岩類は、日本の中で最も帯磁率の高い磁鉄鉱系花崗岩類に属している(例えば、Ishihara, 1977)ことから、その初生的な地質・岩石特性を反映して斐伊川流域では、砂鉄による製鉄(たたら製鉄)が歴史的に行われてきた。その影響から、流域全域において、その堆積構成物中には約数cm~数mm程度の鉄滓がしばしば観察される。また、河川堆積物に存在する礫及び砂粒子の一部には第四紀アルカリ玄武岩が観察されるが、宍道湖以南から広島県境にかけて、しばしばストック状で小規模なアルカリ玄武岩が分布することから、それらを給源しているものと考えられる。

なお、宍道湖と中海を地形的に独立した盆地と

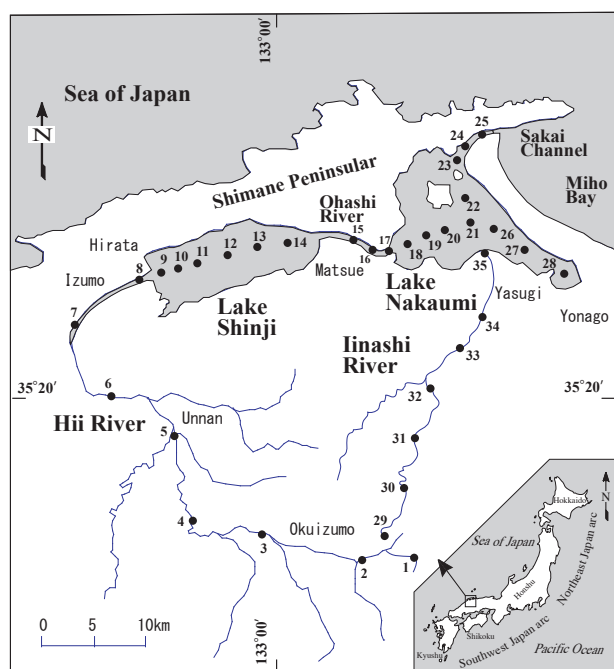


図1. 斐伊川及び飯梨川の試料採取位置図

Fig.1. Sample location map of Hii and Inashi River basins.

して成立させた地質的な要因として、およそ 1000 万年前の松江層中の玄武岩、玄武岩質安山岩、安山岩の活動（例えば、鹿野ほか、1994; 坪田・松本、2007; Tsubota and Matsumoto, 2008）と、およそ 500 万年前の和久羅山デイサイトの活動（例えば、佐藤・松本、2008; Sato and Matsumoto, 2008）があり、主に大橋川から下流域にかけては、堆積物への同地質からの化学的な影響が考えられる。

飯梨川は、島根県安来市南部の標高 820 m の玉峰山を水源とする一級河川であり、流路延長約 40 km、流域面積約 208 km² であり中海に注ぐ（図 1）。流域の地質は斐伊川と同様に大部分が古第三紀の花崗岩類から構成され、少量ながら新第三系が分布する。また、流域の一部には小規模な分布ではあるが第四紀のアルカリ玄武岩が認められる。

堆積物の試料採取

堆積物試料の採取は、5 万分の 1 の地勢図を用い、斐伊川・飯梨川ともに上流から下流にかけて採取間隔が 2~5 km の間隔で、試料採取地点ができるだけ等間隔になるように行った。各々の試料採取地点のうち河川部分では、できるだけ泥質~砂質の堆積物を 3カ所で移植ごてを用いて採取し、四分法（円錐四分法）を用いて十分に縮分したものを、分析や試験に供するその地点での代表試料とした。これは、河川堆積物は湖沼や海域の堆積物とは異なり、河川水の流量や流速と地形的な関係から、堆積物が粒径分別されやすく、同一地点においても不均質な堆積環境を示すことが多いためである。つまり、採取地点においては河川堆積物の粒度を肉眼で観察、確認しながらほぼ、平均的な粒径となるように近接する 3カ所で試料を採取した。試料は、河川部分では、河床堆積部分の水面上露出部分にて採取し、また、宍道湖・中海では船上より、Ekman-Birge 型の採泥器を用いておよそ湖底から深度 10~15 cm 程度までの湖底表層部分を採取して試料とした。河川部分での試料採取にあたっては、堆積物表面の 1~2 cm を取り除き、それ以深の深度約 15 cm までを掘削し、深度方向に平均的に堆積物が入るように採取を行った。また、前述のとおり近接する 3カ所で同様の方法で採取した試料を混合して、その地点の代表試料とした。

斐伊川では 8 地点（試料名：HII01~HII08）、宍道湖では 6 地点（試料名：SH01~SH06）、大橋川では 3 地点（試料名：SH07~NS09）、中海では 11 地点（試

料名：SH10~SH20）、飯梨川では 7 地点（試料名：II00~II06）で試料採取を行った（図 1）。

堆積物の分析

堆積物の調査では、粒度分析が重要視されることが多い。これは、粒径による元素の選択的な分別効果が働く場合があるため（例えば、多田ほか、1974; 溝淵ほか 1980; 安藤ほか、1984; Ortiz and Roser, 2005）であるが、「堆積物の汚染状況の把握」や「流域の環境トレーサーとしての活用」を主眼においた本研究では、試料を粒度ごとに分別して分析することは採取地点の平均的な堆積物の化学組成を反映しないので行っていない。なお、河川堆積物についての詳細な粒度分析と含有量分析との対比・関係は Ito and Matsumoto (2008) が明らかにしているので、詳細な議論はそちらに譲るが、流域を通した重金属含有量の変化量の議論には、粒度の変化が与える影響が比較的小さいことが示されている。

採取した試料は、DOWA テクノリサーチにて土壤汚染対策法（公定法）に従い、堆積物中の重金属含有量分析及び溶出量試験を行った。また、微量成分の分析の一部を島根大学総合理工学部の理学電機社（現(株)リガク）製の蛍光 X 線分析装置（RIX2000XRF）を用いて行い分析値のクロスチェックを行った。

測定した元素を以下に記す。

同和テクノリサーチ

重金属の含有量分析：Cd, Pb, Cr, As, Hg, Ni,
Zn, Cu

重金属の溶出量試験：Cd, Pb, Cr⁶⁺, AsHg
島根大学

微量元素分析：Cr, As, Ni, Zn, Cu

結 果

今回分析した堆積物試料の含有量分析結果を表 1 に、溶出試験値を表 2 に示した。

河川や湖沼の堆積物については、前述したように定まった基準値が設けられていないのが現状ではあるが、含有量基準値については「土壤含有量基準値」（環境省、2002）を、溶出値については「水底土砂に係わる判定基準」（総理府、1973）を参考に、表 1 及び表 2 に合わせて示した。

分析結果からわかるとおり、今回採取分析した全ての試料において参考にした基準値を上回るものは

表 1. 斐伊川及び飯梨川の堆積物含有量分析結果

Table 1. The concentration value of some heavy metals from the Hii and Inashi River sediment, Shimane prefecture, Japan.

	location No.	Sample name	Pb (ppm)	Cr (ppm)	As (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)
Hii river	1	HII01	19.7	38.3	4.4	5.9	61.9	6.3
	2	HII02	14.8	28.4	4.0	3.0	48.6	3.4
	3	HII03	15.1	24.2	2.9	2.4	32.0	3.3
	4	HII04	14.1	31.1	2.6	3.9	28.7	4.3
	5	HII05	12.7	28.2	2.4	3.5	15.1	2.7
	6	HII06	13.6	48.8	1.4	2.9	10.8	3.8
	7	HII07	13.9	37.6	2.6	5.9	23.5	2.8
	8	HII08	14.8	29.0	2.7	4.4	24.4	3.3
L. Shinji	9	NS1	7.1	14.1	1.4	4.1	55.0	6.0
	10	NS2	22.2	21.0	2.7	9.0	122.3	18.0
	11	NS3	39.0	40.0	4.0	15.2	134.0	30.1
	12	NS4	42.0	83.2	5.0	18.9	135.0	31.2
	13	NS5	34.1	33.8	6.0	15.0	98.5	28.3
	14	NS6	27.0	15.0	6.1	17.0	104.5	23.0
Ohashi river	15	NS7	13.8	41.0	6.0	18.0	125.0	19.2
	16	NS8	13.0	22.2	2.6	8.2	70.5	12.9
	17	NS9	2.0	5.0	1.4	<1	15.0	2.0
L. Nakaumi	18	NS10	35.0	52.3	7.0	19.9	165.0	40.2
	19	NS11	41.1	56.2	8.0	20.0	164.3	44.3
	20	NS12	41.0	59.1	10.1	19.8	160.0	44.2
	21	NS13	34.0	57.8	10.3	19.0	134.0	39.0
	22	NS17	11.3	34.0	4.0	10.2	74.4	20.1
	(Sakai channel)	23	NS18	11.2	20.0	4.0	5.0	35.0
(Yonago port)	24	NS19	7.8	16.0	5.1	5.1	34.5	9.3
	25	NS20	14.1	17.2	3.9	6.0	55.3	30.9
Inashi river	26	NS14	39.0	67.0	9.2	24.0	134.0	41.1
	27	NS15	34.2	60.1	7.0	21.1	140.0	32.0
	28	NS16	34.1	49.9	8.0	19.0	150.0	41.2
	29	II00	19.3	18.8	3.1	4.7	16.8	2.2
	30	II01	16.1	21.2	2.6	5.6	34.9	4.4
	31	II02	17.5	45.5	2.4	6.8	7.4	3.1
	32	II03	18.3	26.1	4.5	5.3	29.3	3.9
	33	II04	15.5	37.5	2.4	4.7	6.3	1.0
	34	II05	15.3	29.4	1.9	4.6	2.2	<1
	35	II06	16.3	33.6	1.9	4.6	4.7	1.8
Quality standard value for soil of Japan			150	250	150	n.a.	n.a.	n.a.

認められなかった。つまり、斐伊川、飯梨川ともに、調査した堆積物中の重金属濃度や溶出値からは、人体や生態系に「土壌汚染対策法」が示すところの悪影響がない状態（自然状態に近い）であるといえる。ただし、溶出値については若干値の高い地点も認められ、将来に向けては、定期的な観測も必要であるかもしれない。

考 察

本研究では河川堆積物に対して重金属の含有量及び溶出値の「環境基準」という観点でのチェックとともに、流域全体を通じた環境管理という視点から、人的及び自然的な負荷割合のトレーサーとしての重金属の役割に重点をおいた。つまり、本研究では斐伊川及び飯梨川の上流から河口域までの重金属の含有量分布及び変化の状況を記載した。特に、斐伊川水系は河口域に比較的大きな連続する2つの汽水湖（宍道湖及び中海）をもつことが特徴であり、これら汽水湖における堆積物中の重金属元素の濃度や溶出値の詳細が明らかになったことは、地質学的

表 2. 斐伊川及び飯梨川の堆積物溶出試験結果

Table 2. The elution value of some heavy metals from the the Hii and Inashi River sediment, Shimane prefecture, Japan.

	location No.	Sample name	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr ⁶⁺ (mg/l)	As (mg/l)	Hg (mg/l)
L. Shinji	9	NS1	< 0.001	< 0.005	< 0.02	< 0.001	< 0.0005
	10	NS2	< 0.001	< 0.005	< 0.02	0.001	< 0.0005
	11	NS3	0.010	< 0.005	< 0.02	0.001	< 0.0005
	12	NS4	< 0.001	< 0.005	< 0.02	0.003	< 0.0005
	13	NS5	0.034	0.044	< 0.02	0.008	< 0.0005
	14	NS6	< 0.001	< 0.005	< 0.02	0.001	< 0.0005
Ohashi river	15	NS7	< 0.001	< 0.005	< 0.02	0.001	< 0.0005
	16	NS8	< 0.001	< 0.005	< 0.02	0.002	< 0.0005
	17	NS9	< 0.001	< 0.005	< 0.02	0.001	< 0.0005
L. Nakaumi	18	NS10	< 0.001	< 0.005	< 0.02	0.003	< 0.0005
	19	NS11	0.045	0.029	< 0.02	0.011	< 0.0005
	20	NS12	0.004	< 0.005	< 0.02	0.007	< 0.0005
	21	NS13	< 0.001	< 0.005	< 0.02	0.009	< 0.0005
	22	NS17	< 0.001	< 0.005	< 0.02	0.008	< 0.0005
	(Sakai channel)	23	NS18	0.014	0.005	< 0.02	0.010
(Yonago port)	24	NS19	0.036	0.043	< 0.02	0.018	< 0.0005
	25	NS20	< 0.001	< 0.005	< 0.02	0.008	< 0.0005
Proposal limite value for bottom sediment of Japanese government	26	NS14	< 0.001	< 0.005	< 0.02	0.004	< 0.0005
	27	NS15	< 0.001	< 0.005	< 0.02	0.004	< 0.0005
	28	NS16	< 0.001	< 0.005	< 0.02	0.004	< 0.0005
Proposal limite value for bottom sediment of Japanese government			0.1	0.1	0.5	0.1	0.005

な堆積物における重金属類の挙動を考える上でも重要である。ここでは、斐伊川水系を、斐伊川-宍道湖-大橋川-中海系と飯梨川-中海系の便宜上2つの系に分けて重金属含有量や溶出値の特徴を調べた。それぞれの特徴は以下のとおりである。ただし、これら2つの系は、今回予察的・試行的に設定したものであり、それに基づき議論を行っている。つまり、今後解明される新たなデータや異なる見解と合わせて、さらに議論されるべきものである。

なお、本研究のように河川を流域として捉え、上流から下流までの含有量の変化を議論した研究は先駆的な研究（De Groot et al., 1971; 多田ほか, 1974; 1984; 柴原ほか, 1975）を除けば国内ではほとんど行われていないのが現状である。

1) 斐伊川-宍道湖-大橋川-中海系の堆積物重金属の含有量変化

斐伊川-宍道湖-大橋川-中海系の堆積物重金属の含有量の変化を図2に示した。

Pb含有量は斐伊川では13~20ppmの範囲で変化し源流に近い地点1で最高の20ppmを示すが、その後流下に伴う含有量の変化は認められず安定していることがわかった。宍道湖に入るとPb含有量は7~42ppmの範囲で変化し、図2からもわかるとおり宍道湖の中心部ほど高い傾向が認められた。その後、大橋川では2~14ppmと斐伊川堆積物と類似した含有量を示す。中海に入ると11~35ppmの範囲で変化し宍道湖の場合と同様に、やはり湖心に近い地点で比較的高い含有量を示した。その後、境水

道に入ると Pb 含有量は 8~14 ppm と再び低くなる。このことから、宍道湖及び中海では、珪酸塩鉱物や碎屑塊状岩石片を主とする一般的な碎屑粒子に比べて、比重の重い方鉛鉱などの Pb 含有鉱物の単粒子、もしくは珪酸塩鉱物に包有物として存在する Pb 含有鉱物が、ストークスの法則による堆積分別作用を受け、湖中心部付近で若干の濃集作用を受けたものと考えられる。この結果は、井内ほか(1990)や徳岡ほか(1993)が示した元素ごとの宍道湖、中海の堆積物の平面的な濃度分布とも整合的である。また、東京湾やいくつかの河川河口付近でも同様に、河口からある程度離れた底質部分で重金属元素の濃度が高くなっている観察事実(例えば、柴原ほか, 1975)が報告されている。つまり、Pb 含有鉱物や碎屑粒子は細粒でも比重が大きいため、通常時には石英や長石などの珪酸塩鉱物粒子が運搬され河口域での流速の減速に伴い堆積するのに対して、運搬・堆積されにくい。一方、流速の速い降雨時には重金属を含む碎屑粒子は運搬され、比較的粒径の大きな碎屑粒子や珪酸塩鉱物とともに河口より離れた場所まで運搬され、やはり流速の低下とともに堆積すると思われる。つまり、流速、粒径、及び比重によるストークスの法則に従う分別効果により、中粒の

砂を中心にした珪酸塩碎屑粒子は通常時には河口付近に、一方比重の大きい重金属含有粒子や粒径の大きい碎屑粒子は降雨時(流速の速い時)に運搬され、河口より離れた場所に堆積することが想定される。そのような分別堆積作用により、結果的に Pb を含む碎屑粒子は、宍道湖及び中海の中心部付近に堆積し、斐伊川、大橋川及び境水道の堆積物の約 2~3 倍程度の Pb 含有量を示すに至ったと考えられる。

Cr 含有量は河川全体を通して、含有量のばらつきが他の重金属元素に比べて大きい傾向がある。すなわち、斐伊川では 24~49 ppm の範囲で変化を示すが、宍道湖に入ってから湖心の 1 地点でやや高い 83 ppm を示した。その後、大橋川では 5~41 ppm とここでも比較的含有量にばらつきが認められた。一方、中海に入ると 34~59 ppm と比較的高い含有量を示し、境水道から日本海側にかけて含有量が低くなる傾向が認められた。以上、Cr の含有量の変化をみると、Pb 含有量程、顕著ではないが、宍道湖及び中海で若干の高含有量を示していることがわかる。この事は、Pb 含有量と同様な作用が Cr にも働いていることを示している。一方、含有量の流域を通したばらつきの原因であるが、Cr を主成分とする鉱物が自然界では唯一クロムスピネルのみ

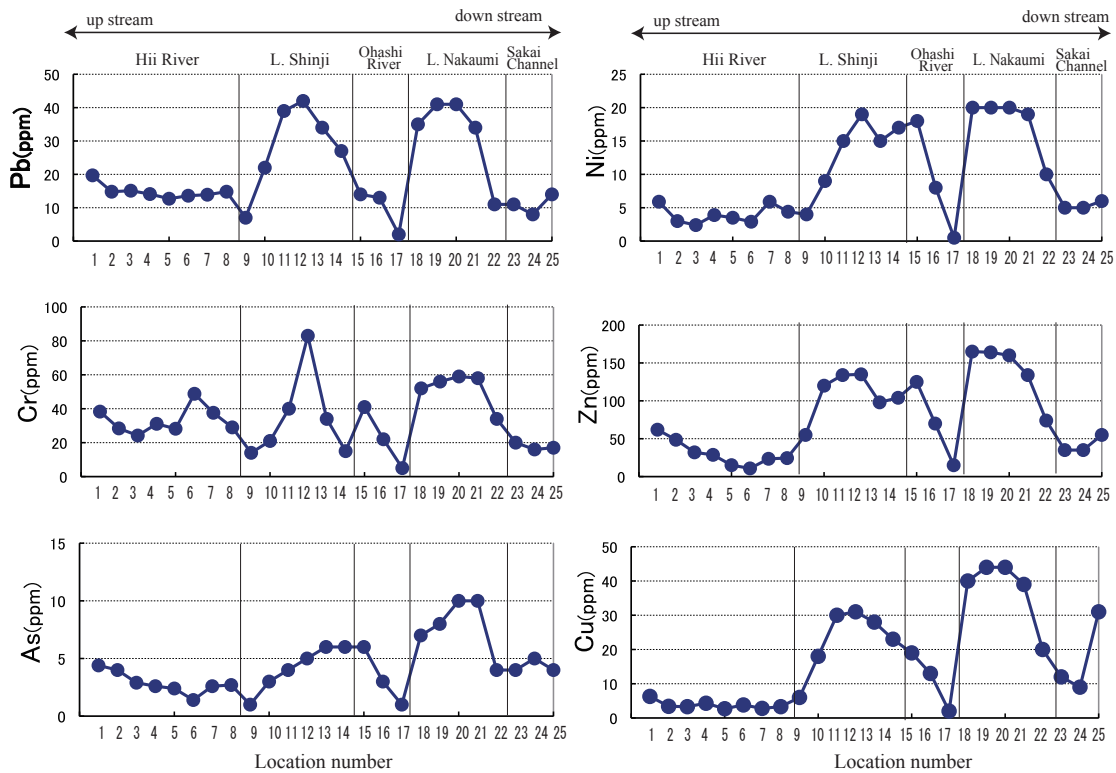


図 2. 斐伊川堆積物の主な重金属含有量の変化

Fig.2. Variation diagram for heavy metal content of sediment vs sample location point from Hii River.

であり、斐伊川流域にはクロムスピネルを含有する超苦鉄質の地質体が存在しない事に加えて、苦鉄質岩石の分布も少なく、流域を通したCrの濃度が比較的低い(今井ほか2001の地球化学図を参照)からだと考えられる。つまり、流域を通して希で不均質に分布する玄武岩などの苦鉄質地質体から河川へのCrの不均質な供給が河川堆積物中のCr含有量の不均質性に表れているものと考えられる。

As, Ni, Zn 及び Cu のそれぞれの含有量の流域を通した変化は、Pb 含有量と同様な傾向が認められた。すなわち、As, Ni, Zn 及び Cu のそれぞれの含有量は、斐伊川で、1~4 ppm (As), 2~6 ppm (Ni), 11~62 ppm (Zn), 3~6 ppm (Cu) と比較的低い含有量を示すのに対して、宍道湖に入るとそれぞれ、1~6 ppm (As), 4~19 ppm (Ni), 55~135 ppm (Zn), 6~30 ppm (Cu) と斐伊川堆積物の含有量の約2~4倍程度に濃集する。その後、大橋川では、1~6 ppm (As), <1~18 ppm (Ni), 15~125 ppm (Zn), 2~19 ppm (Cu) といずれも中海方面に向かって含有量は低下する。中海に入ると、それぞれ4~10 ppm (As), 10~20 ppm (Ni), 74~165 ppm (Zn), 20~44 ppm (Cu) と再び含有量の増加が認められた。その後、境水道から日本海に向かって含有量の低下が認められた。

ただし、Zn 及び Cu については日本海に最も近い地点にて若干ではあるが高い値を示すことがわかった。これら、As, Ni, Zn 及び Cu については、Pb 含有量と同様に、宍道湖及び中海では、重金属を含む鉱物や碎屑粒子がストークスの法則に従い選択的に堆積し、斐伊川、大橋川及び境水道の堆積物の約2~4倍程度の高い含有量を有するに至ったと考えられる。

また、自然状態での重要な記載として、Pb, As, 及び Zn 含有量に注目すると、比較的顕著に斐伊川の上流から宍道湖に流入するまでの間に含有量が徐々に低下していることがわかる(表1及び図2)。これは、源流に近いほど、碎屑粒子及び碎屑鉱物が、より源岩である地質の化学的特徴を維持・反映している事が原因として考えられる。これは下流側に向かう程、流水の働き、つまり河川水と碎屑粒子及び鉱物とが接触し続ける(碎屑粒子の浸食・運搬作用)ことによる物理化学的な相互反応に伴う溶出効果が働くために、河川堆積物の特に重金属含有量の連続的な低下が河川の上流側では認められたと考えられる。

なお、中流域から下流域にかけても本流に流入する支流部分では Pb, As, 及び Zn 含有量は比較的高いことが予想されるが、本流部分に合流すると希釈効果により低くなったものと推定される。

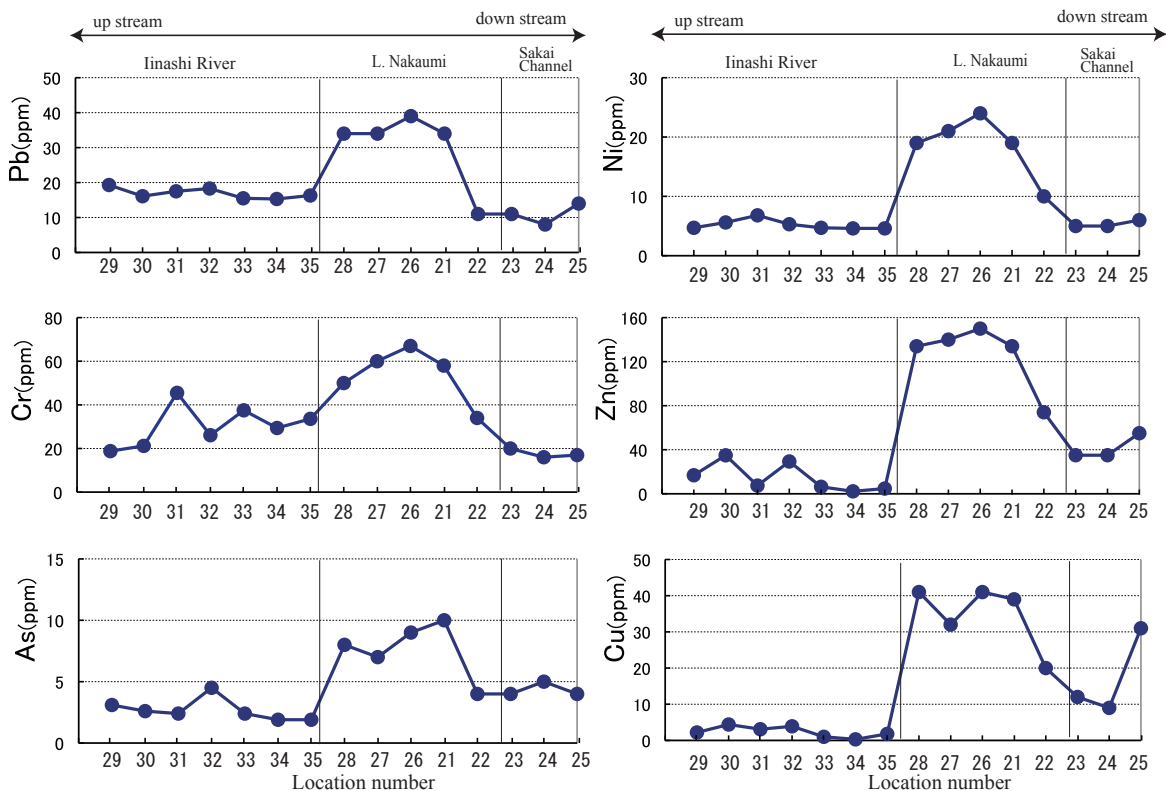


図3. 飯梨川堆積物の主な重金属含有量の変化

Fig.3. Variation diagram for heavy metal content of sediment vs sample location point from Iinashi River.

2) 飯梨川-中海系の堆積物重金属の含有量変化

飯梨川-中海系の堆積物重金属の含有量の変化を図3に示した。なお、中海については斐伊川-宍道湖-大橋川の影響が勿論大きな影響があると考えられるが、飯梨川からの重金属類含有量の連続性を検討するために「飯梨川-中海系」としての議論を試みた。ただし、飯梨川河口と米子港とは連続していない点に留意頂きたい。

Pb含有量は飯梨川では15~19 ppmの範囲で変化し、比較的一定の値を示していることがわかった。中海に入ると地点28、地点27、地点26の米子港から中海湖心付近にかけて34~39 ppmに上昇し、その後は境水道に向けて含有量の低下が認められる。境水道ではPb含有量は8~14 ppm程度を示す。なお、中海湖心付近の地点21以降の地点22、地点23、地点24、地点25は斐伊川-宍道湖-大橋川-中海系で用いた同試料(同分析結果)を用いて議論している。以上のように、飯梨川においてもその堆積物のPb含有量は斐伊川の場合と同程度の含有量を有していることがわかった。また、同様に中海湖心付近でPb含有量は高い値を示すが、宍道湖の場合と同様な理由、つまり流速、粒径及び比重の関係で、Pb含有鉱物及び碎屑粒子が湖心付近に堆積したためと考えられる。

Cr, As, Ni, Zn及びCuのそれぞれの含有量の飯梨川流域を通じた変化は、Pb含有量と同様な傾向が認められた。すなわち、Cr, As, Ni, Zn及びCuのそれぞれの含有量は、飯梨川で、19~46 ppm (Cr), 2~5 ppm (As), 5~7 ppm (Ni), 2~35 ppm (Zn), <1~4 ppm (Cu)と比較的低い含有量を示すのに対して、中海に入るとそれぞれ、16~67 ppm (Cr), 4~10 ppm (As), 5~24 ppm (Ni), 35~165 ppm (Zn), 9~44 ppm (Cu)と飯梨川堆積物の含有量の約2~8倍程度に濃集する。これらの含有量の変化は、概ね斐伊川~宍道湖にかけての状況と同様であり、重金属を含む鉱物や碎屑粒子がストークスの法則に従い選択的に湖心付近に堆積することで、飯梨川及び境水道の堆積物の約2~4倍程度の高い含有量を有するに至ったと考えられる。

なお、Pb, As及びZn含有量についてみると、斐伊川のものと比較して、飯梨川では同元素の堆積物中の含有量が、下流域へ向かって連続する低下が認められないか、顕著ではなかった。また、飯梨川におけるこれらの重金属元素の平均値は斐伊川の河川部分とほぼ同程度である。これらの両河川の含有量や含有量変化の特徴の違いや共通性は両河川の上流

域の地形や地質の違いに起因するものかもしれない。つまり、飯梨川の上流域は、斐伊川の場合と異なり比較的大きな溪谷や浸食地形が少なく、また、流域の長さも短い。それらの事から、碎屑粒子が河川水との間で物理化学的な相互反応を行う時間や効果が、比較的小さかった事が考えられる。加えて、斐伊川上流域には磁鉄鉱を多く含み不均質な岩相を呈する大東-横田花崗閃緑岩が分布するが、飯梨川上流の花崗岩類は、比較的均質で優白色であるという地質的な違いがあり、それらも、斐伊川と飯梨川の堆積物の含有量の化学的な特徴を反映している可能性がある。

3) 宍道湖~中海の堆積物の溶出量

宍道湖-大橋川-中海(米子港、境水道を含む)にいたる堆積物試料について行った溶出試験の値を表2に示した。前述のとおり、溶出値については「水底土砂に係わる判定基準」(総理府, 1973)を参考にしたが、同値を超過するような、人体や環境に対する重大な負荷を与える可能性のある状況は確認されなかった。表2からも明らかなように、ほとんどの地点において分析の検出限界値以下か、もしくはその値に近いことが示された。なお、宍道湖では地点11及び地点13、中海では地点19、地点23、地点24において若干高い溶出値を認めた。

4) 斐伊川及び飯梨川の堆積物環境評価

斐伊川、飯梨川、宍道湖、大橋川、中海の堆積物の重金属の含有量・溶出量結果から、次の3点につき、環境影響評価を行った。

4-1) 河川堆積物においては連続する試料採取地点間において比較的連続した含有量の変化(増減)が認められるとともに、土壤汚染対策法(環境省, 2002)の基準値を上回る試料の存在は確認されなかった。さらに、連続する試料採取地点間において、突出し、かつ急激な高含有量を示す地点は認められず、東京、大阪及び名古屋などの大都市部を流下する河川で認められたような顕著で明らかな人為的影響(例えば、伊藤・松本, 2007; 松本ほか, 2008; Watanabe and Matsumoto, 2008; 渡部・松本, 2009)は認められなかった。顕著な人為的影響とは、連続する堆積物試料地点間において、重金属含有量が急激な濃度の上昇や減少(例えば多摩川など(Watanabe and Matsumoto, 2008))が認められたり、連続して環境基準値を超える地点が認められたりする場合(例えば庄内川(伊藤・松本, 2007))を示す。つまり、

斐伊川及び飯梨川では、連続する堆積物試料間において急激な含有量や溶出値の上昇が認められない点、及び環境基準値を超えていない点に加えて、流域に今回調べた重金属類を顕著に排出する鉱山や工場などが存在しない事などから、流域の堆積物中の重金属類の含有量と溶出値は、自然状態に近いものを記載したといえる。

4-2) 宍道湖、及び中海部分では、湖心付近に向かって緩やかな重金属元素の含有量の上昇が認められた。これも、環境基準値を超えるものではなく、また連続する採取地点間においての急激な増減や、ある元素のみの突出値(異常値)も検出されない事から、人為的なこれらの重金属元素の負荷影響はあっても極めて小さいものと判断できる。

ま と め

斐伊川及び飯梨川水系の堆積物の重金属含有量及び溶出量を調べた結果、以下の事が明らかとなった。また、重金属元素の主に濃度分布の要因についての一可能性について議論を行った。詳細は下記に示すとおりである。

1) 全ての河川及び湖の堆積物試料の重金属含有量において、土壤汚染対策法(環境省, 2002)で定められた基準値を超過するものは認められず、重金属類の自然状態を反映した健全な河川堆積物であることがわかった。

2) 宍道湖及び中海では、流速の減退や盆地状の地形特性に起因して重金属類を含む鉱物や碎屑粒子が、選択的に堆積し、流入河川の堆積物重金属含有量の2~4倍程度の濃縮効果を認めた。これは、今後の他の汽水域における堆積物重金属含有量の研究、及び環境評価を行う上で重要な記載である。

3) 斐伊川の上流域では、特に堆積物のPb, As, 及びZn含有量が源流から離れるに従い減少する傾向が認められた。これは、日本の関東、関西、及び中部地方のいくつかの河川でも同様な傾向が報告されており、碎屑粒子が河川水により浸食作用及び運搬作用を被る過程で、溶出作用を受けて含有量が下流側に向かって連続して低下する傾向を捉えたものである。

4) 以上、斐伊川、飯梨川、宍道湖、大橋川、中海における堆積物の重金属含有量の変化を明らかにしたが、今後はこの結果を用いた同流域における環境管理(特に、工業や諸産業に対する監視や測定)、また都市部の河川領域においては斐伊川・飯梨川の

含有量、含有量変化及び湖部分での濃集効果などを非都市型河川のスタンダードとして広く活用されることが期待される。

謝 辞

本研究は、島根大学の重点領域研究プロジェクトとして行っている研究の一環として、平成20年度から実施しているプロジェクト名「地域資源循環型社会の構築」のうち、武田育郎、森也寸志、松本一郎、宗村広昭で行っている「流域管理統合グループ」の成果の一部を報告するものである。プロジェクトのリーダーである島根大学の野中資博教授をはじめ、総合理工学部の石賀裕明教授、テキサスA&M大学機構ブラックランドリサーチセンターのDennis Hoffman博士、June Wolfe博士、Jason MacAlister氏には有益な議論とともに、様々な援助を頂いた。また、元島根大学教育学部の伊藤麻由佳氏、妹尾和美氏には河川堆積物の試料採取に協力いただいた。宍道湖、大橋川、中海の試料採取にあたっては、元島根大学教育学部の江原亮氏、渡部久美子氏の協力を頂いた。島根大学総合理工学部の澤田順弘先生、及び亀井淳志先生には全岩化学分析を行うにあたりご支援を頂いた。また、著名の査読者には有益なコメントとアドバイスを頂いた。以上の皆様に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 安藤 良・成瀬洋児・土山ふみ・松井義雄(1984) 都市河川底質の粒度組成と重金属分布について. 名古屋市公害研究所報, 14, 51-57.
- De Groot, A. J., De Goeiji, J. J. M. and Zegers, C. (1971) Contents and behaviour of mercury as compared with other heavy metals in sediments from the Rhine and Ems. *Geol. Mijnbouw*, 50: 393-398.
- 道前香織里・石賀裕明(2002) 堆積物の元素組成から見た球磨川, 川辺川流域の環境評価. 島根大学地球資源環境学研究報告, 21, 17-29.
- 今井 登(2001) 世界各国および中国地方の地球化学図. *地質ニュース*, 558, 1-1.
- 今井 登・寺島 滋・岡井貴司・金井 豊・御子柴真澄・太田充恒・上岡 晃・富樫茂子・松久幸敬・谷口政碩・横田節哉(2001): 中国地方の地球化学図. *地質ニュース*, 560, 46-47.
- 石賀裕明・道前香織里(2002) 九州球磨川, 川辺川

- の堆積物の組成から見た環境評価. 地球惑星科学関連学会 2002 年合同大会, 地質ハザード・地質環境 Y028-008.
- 石賀裕明・道前香織里・アーメッドファルキ ハワビビ・海田学 (2003) Zn-Fe₂O₃ 判別図から堆積環境を評価する. 島根大学地球資源環境学研究報告, 22, 15-20.
- Ishihara, S. (1977) The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology*, 27, 293-305.
- 伊藤麻由佳・松本一郎 (2007) 河川底質物の地質学的・地球化学的研究 - 中部地方木曾川と庄内川の比較 - 島根大学教育学部紀要 (自然科学), 41, 179-189.
- Ito, M. and Matsumoto, I. (2008) Heavy metal concentration of river sediment in the light of the environmental quality standard value at the Kiso and Syounai Rivers in Nagoya, Japan. *Goldschmidt 2008 (Vancouver, CANADA)*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 72, Issue 12, p. A415.
- 井内美郎・徳岡隆夫・高安克己・安間 恵・牧野泰彦・楡井久 編 (1990) 湖沼の成因と環境・地質. 地質学論集, 36, pp 262.
- 鹿野和彦・山内靖喜・高安克己・松浦浩久・豊 遙秋 (1994) 松江地域の地質. 地域地質研究報告, 1-69.
- 環境省 (2002) 土壤汚染対策法. 法番号 53, 2002.
- 松本一郎 (2003) 土壤汚染の効果的調査法. 2003 年度資源・素材関連学協会年会 (字部), Vol. C/D, 153-156.
- Matsumoto, I. (2007) Heavy metal concentrations of Hii River basin system Shimane Prefecture, Japan. *Abstract of International Symposium Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons*: 104-107.
- 松本一郎・小松真理子・亀井淳志 (2008) 河川底質物からみた流域の地球化学的環境影響評価 - 近畿地方淀川と大和川の例 -. 島根大学教育学部紀要 (自然科学), 42, 97-105.
- Matsumoto, I., Hoffman, D., MacAlister, J. and Ishiga, H. (2008a) Impact of human population on heavy metal concentration of stream sediments in the Trinity River, Texas, USA. *Goldschmidt 2008 (Vancouver, CANADA)*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 72, Issue 12, p. A604.
- Matsumoto, I., Hoffman, D., MacAlister, J. and Ishiga, H. (2008b) Geochemical characteristics of Heavy metals of river sediment from the main rivers at Texas, USA. *AGU Fall Meeting 2008 (San Francisco, USA)*, Abstract #GC43B-0727.
- Matsumoto, I., Hoffman, D., MacAlister, J., Wolfe, J. and Ishiga, H. (2009) Comparative study of heavy metals concentration of stream sediments on major rivers of Texas, USA and several rivers of Japan. *Goldschmidt 2009 (Davos, Switzerland)*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 73, Issue 13, p. A847.
- 丸茂克美 (2007) 自然由来の重金属に起因する土壤汚染問題への地球科学的アプローチ. 地学雑誌, 116, 877-891.
- 丸茂克美・江橋俊臣・氏家 亨 (2003) 日本各地の土壤中の重金属含有量と鉛同位体組成. *資源地質*, 53, 125-146.
- 溝渕鷹彦・市村國俊・池田憲広・笠野光夫・兎本文昭・田中 健・板野龍光 (1980) 粒径別による河川底質中の重金属の挙動. *全国公害研会誌*, 5, 81-86.
- 太田充恒・今井 登・岡井貴司・遠藤秀典・川辺禎久・石井武政・田口雄作・上岡 晃 (2002) 山形市周辺地域における元素分布の特徴について - 山形盆地南部地域の地球化学図 -. *地球化学*, 36, 109-125.
- 太田充恒・今井 登・岡井貴司・遠藤秀典・石井武政・田口雄作・上岡晃・御子柴 (氏家) 真澄・寺島滋 (2003) 地球化学図を用いた仙台市周辺地域の元素挙動の解明と環境評価. *地球科学*, 57, 61-72.
- Ortiz, E. and Roser, B.P. (2004) Major and trace element abundances in <180 and 180-2000 μm fractions of stream sediments from the Hii River, Shimane Prefecture, Japan. *Geoscience Rept. Shimane Univ.*, 24, 53-58.
- 佐藤大介・松本一郎 (2008) 和久羅山デイサイトの記載岩石学的研究. 島根大学教育学部紀要 (自然科学), 42, 87-95.
- Sato, D. and Matsumoto, I. (2008) Wakurayama dacite as a possible adakites from the Matsue city, inner zone of Southwest Japan Arc. *Goldschmidt 2008 (Vancouver, CANADA)*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 72, Issue 12, p. A824.
- 柴原真理子・山崎理恵子・西田和夫・鈴木潤三・鈴木静夫・西田英郎・多田 史 (1975) 河川底質土の重金属分布 (第 3 報) - 全国主要河川の河口付近の底質土の重金属分布 -. *衛生化学*, 21, 173-182.
- 島根県地質図編集委員会 (1982) 「20 万分の 1 島根県

- 地質図」および「島根県の地質－昭和 60 年 8 月」.
島根県, 640 pp.
- 総理府 (1973) 海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律施行令第五条第一項に規定する埋立場所等に排出しようとする金属等を含む廃棄物に係る判定基準を定める省令. 昭和四十八年二月十七日総理府令第六号.
- 多田 史・富重久美子・谷原崇生・横山功一・鈴木静夫 (1974) 河川底質土の重金属分布 (第 II 報) - 宮城県細倉鉦山排水が鉛川, 迫川の底質土に及ぼす影響 -. 陸水学雑誌, 35, 99-109.
- 多田 史・鈴木潤三・鈴木静夫 (1984) 都市河川底質中の重金属分布の特性. 陸水学雑誌, 45, 296-303.
- 高安克巳 編「汽水域の科学」講師グループ (2001) 汽水域の科学 - 宍道湖・中海を例として -. たたら書房, 184 pp.
- 徳岡隆夫 (1993) 汽水域の環境地質学 - 中海・宍道湖を礼として -, 環境問題からみた地球環境の諸問題. 日本地質学会環境地質学研究委員会編, 東海大学出版会, 61-88.
- 徳岡隆夫・安間 恵・井内美郎 編 (1993) 続湖沼の成因と環境・地質. 地質学論集, 39, 189 pp.
- 坪田智行・松本一郎 (2007) 松江層玄武岩類の記載岩石学的研究. 島根大学教育学部紀要(自然科学), 41, 171-177.
- Tsubota, T. and Matsumoto, I. (2008) Geochemical study of chromian spinel bearing alkaline Matsue Basalt in the Shimane Prefecture, southwest Japan arc. Goldschmidt 2008 (Vancouver, CANADA), Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 72, Issue 12, p. A960.
- Watanabe, K., Ochi, A. and Matsumoto, I. (2005) Characteristics of river sediment in the light of the environmental quality standard value of Japan -A case study at the Tama, the Tsurumi, the Hino and the Kamo rivers in Japan-. 15th Annual meeting, Goldschmidt 2005 (Idaho, USA), Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 69, Issue 10, p. A607.
- Watanabe K. and Matsumoto I. (2008) Heavy metal concentration of river sediment in the light of the environmental quality standard value of Japan from the river in and around the Tokyo Japan -A case study at the Tama, Tsurumi, Edo and Ara rivers- AGU Fall Meeting 2008 (San Francisco, USA), Abstract #GC43B-0736.
- 渡部久美子・松本一郎 (2009) 河川底質物中の重金属含有量に対する人為的影響の新しい評価法. 第 15 回地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, 2009, 432-437.



汽水域研究センター活動報告

(2008年1月～12月)

1. 研究組織

専任教員および兼務教員

センター長 教授(兼任;教育学部)
野村律夫(環境地質古生物学)

副センター長 教授(専任)
國井秀伸(保全生態学)
教授(専任)
荒西太士(遺伝資源学)
准教授(専任)
瀬戸浩二(同位体地球科学)
准教授(専任)
堀之内正博(魚類生態学)
准教授(専任)
倉田健悟(応用生態工学)

外国人研究員

平成20(2008)年度空席

日本学術振興会特別研究員

程木義邦(生理生態学)
平成18(2006)年4月～
平成21(2009)年3月

研究員

荒木 悟(植物生態学)
平成19(2007)年4月～
平成21(2009)年3月
(2007年4月より環境省の受託研究費により雇用)

大林夏湖(進化生態学)
平成19(2007)年7月～
平成21(2009)年3月
(センター研究員経費により雇用)

沖本宜音(系統遺伝学)
平成19(2007)年12月～
平成20(2008)年5月
(荒西教授の寄附金により雇用)

重点プロジェクト研究推進研究員

横尾俊博(魚類初期生態学)
平成20(2008)年9月～
平成21(2009)年3月
平成23年3月までの予定
(島根大学重点研究プロジェクト経費により雇用)

客員研究員

中山大介(地理情報学)
平成20(2008)年4月～
平成21(2009)年3月

協力研究員

平成20(2008)年度協力研究員数55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
技術補佐員 劔持麻里
平成20(2008)年9月～
平成21(2009)年3月
(荒西教授の受託研究費により雇用)
技能補佐員 松本貞夫

2. 平成20年度活動報告

2-1. 研究活動

2-1-1. 研究資金(競争的資金・外部資金)

○政策的配分経費(重点プロジェクト経費)
(研究分担)

地域資源循環型社会の構築-持続可能で活力ある地域を目指して-(研究代表者:野中資博)平成20年度 分担額 3,260千円

○科学研究費補助金

(研究代表者分)

基盤研究(A)「ラムサール条約登録後の中海における汽水域生態系の再生と長期生態学研究」(研究代表者:國井秀伸)12,400千円 平成19(2007)年度～平成22(2010)年度, 総額 35,600千円

基盤研究(B)「海跡湖に記録された小氷期以降の世界的な環境変動と人為的環境変化」(研究代表者:瀬戸浩二)平成20(2008)年度～平成22(2010)年度, 総額 14,200千円

若手研究(A)「島根県大橋川における大型底生動物の群集動態-気候変動が汽水域生態系に及ぼす影響」(研究代表者:倉田健悟)平成20年度, 2,500千円
(研究分担者分)

基盤研究B 海外学術調査「2004年スマトラ沖津波によるタイ沿岸水産資源への影響と回復に関する研究」(研究代表者:北里大学教授小河久朗, 研究分

担者：堀之内正博)平成20(2008)年度, 1,300千円
 萌芽研究「沿岸域環境モニタリングのための生物情報
 解読手法の開発」(研究代表者：島根大学准教授
 山口啓子, 研究分担者：瀬戸浩二)
 (独)日本学術振興会「ひらめき☆ときめきサイエ
 ス」[「中海・宍道湖の自然を再生するために－科学
 の目で見ると汽水域の自然－」(実施代表者：國井秀
 伸)平成20(2008)年度, 507千円(含間接経費)

○受託研究

「森林・草地・湖沼生態系に共通した環境監視システ
 ムと高度データベースの構築」(委託者：環境省,
 再委託者：北海道大学, 受託者：國井秀伸) 6,900
 千円 平成19(2007)年度～平成20(2008)年度
 総額17,362千円

「コアマモ等の移植に関する調査研究」(委託者：国
 土交通省出雲河川事務所, 受託者：國井秀伸)平
 成20(2008)年度, 5,249千円(含間接経費)

「宍道湖・中海に生育する水草類の分子系統解析(継
 続)」(委託者：(財)：ホンザキグリーン財団, 受
 託者：國井秀伸)平成20(2008)年度300千円

「アサリ初期稚貝の好適環境評価手法の確立(3)①
 環境評価手法開発のためのアサリ機能遺伝子解
 析」農林水産省先端技術を活用した農林水産研究
 高度化事業(委託者：農林水産技術会議, 再委託
 者：(独)水産総合研究センター瀬戸内海区水産研
 究所, 受託者：荒西太士)平成18(2006)年度～平
 成20(2008)年度 総額7,500千円

「再生藻場における生物多様性モニタリング技術の
 開発」(委託者：国土交通省建設技術研究開発助成
 制度, 受託者：荒西太士)平成20(2008)年度～
 平成22(2010)年度 総額28,300千円

○寄付金

「太田川放水路に関する研究」(寄付者：(財)リバー
 フロント整備センター, 受入者：國井秀伸)平成
 20(2008)年度, 総額1,000千円.

「中海における自然再生事業を軸とした地域再生の
 可能性」(寄付者：(財)中国電力技術研究財団, 受
 入者：國井秀伸)平成20(2008)年度, 300千円.

「水産加工品のDNA鑑定研究」(寄付者：(株)かねふ
 く, 受入者：荒西太士)平成20(2008)年度, 500
 千円.

「日本におけるカキ礁生態系の研究」(寄付者：貝類

多様性研究所, 受入者：荒西太士)平成20(2008)
 年度, 200千円.

2-1-2. 研究成果の公表

野村律夫

(論文等)

Irizuki, T., Seto, K. and Nomura, R. (2008) The impact
 of fish farming and bank construction on Ostracoda
 in Uranouchi Bay on the Pacific coast of southwest
 Japan- Faunal changes between 1954 and 2002/2005 -.
 Paleontological Research, 12 (3): 283-302.

Katsuki, K., Miyamoto, Y., Yamada, K., Takata, H.,
 Yamaguchi, K., Nakayama, D., Hugo Coops, H.,
Kunii, H., Nomura, R. and Khim, B.-K. (2008)
 Eutrophication-induced changes in Lake Nakaumi,
 southwest Japan. Journal of Paleolimnology, 40: 1115-
 1125.

Tsujimoto, A., Yasuhara, M., Nomura, R., Yamazaki,
 H., Sampei, Y., Hirose, K., Yoshikawa, S. (2008)
 Development of modern benthic ecosystems in
 eutrophic coastal oceans: The foraminiferal record
 over the last 200 years, Osaka Bay, Japan. Marine
 Micropaleontology, 69: 225-239.

Katsuki K., Seto K., Nomura R., Maekawa K., Khim
 Boo-Keun (2008) Effect of human activity on Lake
 Saroma (Japan) during the past 150 years: Evidence by
 variation of diatom assemblages. Estuarine, Coastal
 and Shelf Science, 81: 215-224.

野村律夫 (2008) 水中ビジュアルモニタリング技
 術による汽水域の環境解析. 環境技術, 37 (11):
 6-11.

野村律夫・蜷川清隆・西戸裕嗣 (2008) 京都府久見
 浜湾における最近60年間の有孔虫群集の変化が
 示す海面水位変動の意義. 地学雑誌, 117 (6): 967-
 984.

野村律夫 (2008) 中海湖心部における湖底の水中映
 像(その4): 2004年と2006年の比較. 島根大学教
 育学部紀要(自然科学), 42: 81-85.

Nomura, R., Kawano, S. and Yajima H., Freshwater
 thecamoebians as an indicator of sea-level changes in
 Lake Koyama-ike, Tottori Prefecture, southwest Japan,
 over the last 60 years. The Quaternary Journal, 48 (5).
 (in press)

Nomura, R. and Roser, B., Foraminiferal responses to

sea-level changes, flood events and human activities in brackish Lake Jinzai, Shimane Prefecture, southwest Japan, in the last 60 years. *The Quaternary Journal*, 48 (5). (in press)

野村律夫・瀬戸浩二 (2008) 中海湖心部における湖底の水中映像 (その2) : 冬季の季節風に対する底層水の動態, *Laguna*, 15: 57-67.

野村律夫・瀬戸浩二 (2008) 中海湖心部における湖底の水中映像 (その3) : 貧酸素環境におけるバクテリアマットの回復状況, *Laguna*, 15: 91-94. (報告書・その他)

野村律夫・井上睦夫・瀬戸浩二・入月俊明・高田裕行 (2008) 中海の閉鎖性水域の開削に伴う湖水循環の変化と周辺域への影響. 平成19年度ニッセイ財団 研究報告書, 1~18.

國井秀伸

(論文等)

國井秀伸 (2008) 汽水域の自然・環境再生の研究拠点形成に向けた取組みについて, *環境技術*, 37: 762-765.

Ohbayashi, K., Hodoki, Y., Nakayama, S., Shimada, M. and Kunii, H. (2008) Development of new microsatellite markers from a salt-marsh sedge *Carex rugulosa* by compound simple sequence repeat-polymerase chain reaction, *Molecular Ecology Resources*, 8:1497-1499.

Hodoki, Y., Ohbayashi, K. and Kunii, H. (2008) Genetic analysis of salt-marsh sedge *Carex scabrifolia* Steud. populations using newly developed microsatellite markers, *Conservation Genetics*, DOI 10.1007/s10592-008-9678-y.

國井秀伸・今田直人 (2008) 島根県大橋川に生育する湿生植物オオクグ (*Carex rugulosa* Kükenth) の保全生態学的研究, *自然環境復元研究*, 4:7-14.

作野祐司・松永恒雄・古津年章・國井秀伸 (2008) 衛星リモートセンシングによる地域の水環境解析 (ー ASTER データを用いた宍道湖の解析事例ー), *混相流*, 22 (3) : 265-272.

Araki, S. and Kunii, H. (2008) Relationship between seed and clonal growth in the reproduction of *Carex rugulosa* Kuk. in riverside meadows, *Plant Species Biology*, 23: 81-89.

Katsuki, K., Miyamoto, Y., Yamada, K. et al. (2008) Eutrophication-induced changes in Lake Nakaumi,

southwest Japan, *Journal of Paleolimnology*, 40: 1115-1125.

安藤義範・奥本康之・國井秀伸 (2008) 兵庫県田君川のバイカモにおける花卉枚数の変異と訪花昆虫, *水草研会誌*, 90: 8-14.

河川環境目標検討委員会編 (2008) 川の環境目標を考えるー川の健康診断ー, 122p. 技報堂出版.

國井秀伸 (2008) 環境事典 (分担執筆), 旬報社. (報告書・その他)

大林夏湖・程木義邦・國井秀伸 (2008) 中国四国地方における準絶滅危惧種ハマサジ *Limnium tetragonum* (Thunb.) A. A. Bullock とフクド *Artemisia fukudo* Makino の分布状況, ホシザキグリーン財団研究報告, 11: 205-210.

(国際シンポジウム・招待講演発表)

Kunii, H. (2008) Future prospects of the nature restoration in Lakes Shinji and Nakaumi, newly registered Ramsar sites in Japan. Poster presentation at the 8th INTECOL International Wetlands Conference. 20-25 July, Cuiaba, Brasil.

Kunii, H. (2008) Priority research project aiming at establishing COE for environmental studies of estuaries and coastal lagoon systems, Talk and discussion with FST, NAHRIM & LESTARI, 12 December 2008, Faculty of Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia.

Kunii, H. (2008) Seagrass ecosystem monitoring and data management, The Third GEOSS Asia-Pacific Symposium – Data Sharing for a Transverse GEOSS –. 4-6 February 2009, Kyoto Research Park, Kyoto, Japan. (Invited Speech).

荒西太士

(論文等)

Okimoto, T., Hara, K., Ishihara, T. and Aranishi, F. (2008) PCR-RFLP genotyping for Japanese and Korean populations of Pacific oyster using mitochondrial DNA noncoding region. *Aquatic Ecology*, 42: 1-4.

Iidzuka, Y. and Aranishi, F. (in press) Comprehensive molecular identification of Ostreidae oyster taxa in Japan. *Fisheries Science*.

Noda, K. and Aranishi, F. (in press) Molecular diagnosis for species identification of commercial spicy pollack roe products. *Fisheries Science*.

- 飯塚祐輔・荒西太士 (2008) 九州に分布するイタボガキ科カキ種の DNA 鑑定. LAGUNA, 15: 69-76. (報告書・その他)
- 沖本宜音・荒西太士 (2008) 中海のサルボウガイ復活案の提唱－環境保全と漁業の両立を目指す－. 日本水産学会誌, 74, 714.
- Okimoto, T. and Aranishi, F. (2008) A 130-year long transplantation history of sarubou ark shell *Scapharca kagoshimensis* in Japan. *Journal of Shellfish Research*, 27: 1037.
- 荒西太士 (2008) 種特異的遺伝情報を利用したハイスループット魚種判別技術の開発. 農林水産研究成果情報, 農林水産技術会議編, 461: 90-94.
- 荒西太士 (2008) マアジ発生群の遺伝的多様性の解析. 農林水産研究成果情報, 農林水産技術会議編, 461: 133-137.
- 荒西太士 (2008) DNA テクノロジーを活用した食品トレーサビリティシステム. 島根大学研究シーズ集, R-04.
- 荒西太士 (2008) 環境評価手法開発のためのアサリ機能遺伝子解析. 平成 20 年度先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「アサリ初期稚貝の好適環境評価手法の確立」終了課題報告書, 21-23.
- 荒西太士・堀之内正博・横尾俊博 (2009) 中海生物遺伝資源バンク. 島根大学お宝研究 vol. 3, 3. (国際シンポジウム・招待講演発表)
- Okimoto, T. and Aranishi, F. (2008) A 130-year long transplantation history of sarubou ark shell *Scapharca kagoshimensis* in Japan. 100th National Shellfisheries Association Meeting, Providence, USA.
- Iidzuka, Y. and Aranishi, F. (2008) Molecular biodiversity of wild oysters in southeast Kyushu, Japan. 37th Benthic Ecology Meeting, Providence, USA.
- Ohkubo, M., Aranishi, F., and Shimizu, A. (2008) Perspectives on mummichog killifish (*Fundulus heteroclitus*) as a model animal of marine fish reproductive physiology. 6th International Symposium on Fish Endocrinology, Calgary, Canada.
- Iidzuka, Y. and Aranishi, F. (2008) Comprehensive molecular identification of Ostreidae oyster taxa in Japan. 5th World Fisheries Congress, Yokohama, Japan.
- Noda, K. and Aranishi, F. (2008) Molecular diagnosis for species identification of commercial spiny pollack roe products. 5th World Fisheries Congress, Yokohama, Japan.
- Iwasaki, T., Mito, T., Iidzuka, Y., and Aranishi, F. (2008) Oyster identification of wild oyster reefs in Japan. 8th Asia Pacific Marine Biotechnology Conference, Busan, Korea.
- Iidzuka, Y., Noda, K., Mito, T., and Aranishi, F. (2008) A hidden population of threatened Kumamoto oyster in the Shiranui Bay, Japan. 8th Asia Pacific Marine Biotechnology Conference, Busan, Korea. First Prize of Poster Award (最優秀ポスター賞)
- Okimoto, T. and Aranishi, F. (2008) Summarizing historical stocking events on local populations of sarubou ark shell in Japan. 8th Asia Pacific Marine Biotechnology Conference, Busan, Korea.
- 荒西太士 (2008) 「中海のサルボウガイ復活案の提唱－環境保全と漁業の両立を目指す－」中海水産振興シンポジウム. 招待講演. 松江テルサ (2008 年 1 月 12 日).
- 沖本宜音・荒西太士 (2008) 「中海におけるサルボウガイの履歴書」中海水産振興シンポジウム. 招待講演. 松江テルサ (2008 年 1 月 12 日).
- 荒西太士 (2008) 中海の生物資源をバーコード管理する. 平成 20 年度自然生態系の再生による水質浄化研究会. 招待講演. 米子市コンベンションセンター (2008 年 12 月 16 日).
- 瀬戸浩二
(論文等)
- Yasuhara, M., Kato, M., Ikeya, N. and Seto, K. (2008) Modern benthic ostracodes from Lützw-Holm Bay, East Antarctica: paleoceanographic, paleobiogeographic, and evolutionary significance. *Micropaleontology*, 53 (6): 469-496.
- Irizuki, T., Seto, K., and Nomura, R. (2008) The impact of fish farming and bank construction on Ostracoda in Uranouchi Bay on the Pacific coast of southwest Japan – Faunal changes between 1954 and 2002/2005. *Paleontological Research*, 12 (3): 283-302.
- Katsuki, K., Seto, K., Nomura, R., Maekawa, K. and Boon-Keun Khim (2009) Effect of human activity on Lake Saroma (Japan) during the past 150 years: Evidence by variation of diatom assemblages. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81 (2): 215-224.

(報告書・その他)

瀬戸浩二・倉田健悟・高田裕行・堀之内正博・山口啓子・入月俊明・小草宏樹 (2008) 中海本庄水域における人為的環境変化に対する生態系モニタリング。長期生態系モニタリングの現状と課題—温暖化影響と生態系応答—, 87-88.

倉田健悟・堀之内正博・戸田顕史・平塚純一・品川明・瀬戸浩二・高田裕行・香月興太・石飛裕 (2008) 島根県大橋川の汽水環境の保全に関する研究 (継続)。プロ・ナトゥーラ・ファンズ第 17 期 助成成果報告書, 3-35.

(国際シンポジウム・招待講演発表)

Seto, K., (2008), The method of ecosystem monitoring of artificial change – Referring to Honjo area in Lake Nakaumi, southwest Japan-. International Symposium, Restoration and Management of Wetlands –Case Studies and Significant Scientific knowledge-, 1-2 March, Matsue, Japan.

Seto, K., Dettman, D. L., Kurata, K., Yamaguchi, K., Irizuki, T., Saito, M., Takata, H. (2008) Anthropogenic changes and ecosystem monitoring in the Honjo Area of Nakaumi Lagoon, Southwest Japan the AGU 2008 Fall Meeting, San Francisco, USA. 2008 年 12 月 15 日.

堀之内正博

(論文等)

Horinouchi, M., Mizuno, N., Jo, Y., Fujita, M., Sano, M., Suzuki, Y., Seagrass habitat complexity does not always decrease foraging efficiencies of piscivorous fishes. Marine Ecology Progress Series. (In press)

Horinouchi, M. (In press) Horizontal gradient in fish assemblage structures in and around a seagrass habitat: some implications for seagrass habitat conservation. Ichthyological Research.

Horinouchi, M. (2008) Patterns of food and microhabitat resource use by two benthic gobiid fishes. Environmental Biology of Fishes 82: 187–194.

Horinouchi, M., Kume, G., Yamaguchi, A., Toda, K., Kurata, K. (2008) Food habits of small fishes in a common reed *Phragmites australis* belt in Lake Shinji, Shimane, Japan. Ichthyological Research 55: 207–217.

Nakamura, Y., Horinouchi, M., Shibuno, T., Tanaka, Y., Miyajima, T., Koike, I., Kurokura, H., Sano, M. (2008) Evidence of ontogenetic migration from mangroves

to coral reefs by black tail snapper *Lutjanus fulvus*: a stable isotope approach. Marine Ecology Progress Series, 355: 257–266.

Shibuno, T., Nakamura, Y., Horinouchi, M., Sano, M. (2008) Habitat use patterns of fishes across the mangrove-seagrass-coral reef seascape at Ishigaki Island, southern Japan. Ichthyological Research, 55: 218–237.

佐野光彦・中村洋平・渋谷拓郎・堀之内正博 (2008) 熱帯地方の海草藻場やマングローブ水域は多くの魚類の成育場か。日本水産学会誌, 74: 93–96.

(報告書・その他)

大橋川の汽水環境を調べる会 (倉田健悟・堀之内正博・戸田顕史・平塚純一・品川明・瀬戸浩二・高田裕行・香月興太・石飛裕) (2008 年 1 月) 島根県大橋川の汽水環境の保全に関する研究。2006 年度 (第 17 期) プロ・ナトゥーラ・ファンズ助成研究報告書, 印刷中.

荒西太士・堀之内正博・横尾俊博 (2009) 中海生物遺伝資源バンク。島根大学お宝研究 vol. 3, 3.

(国際シンポジウム・招待講演発表)

Horinouchi, M. (2008) Monitoring of fish assemblage structures in Lakes Nakaumi and Shinji. International Symposium on Restoration and Management of Wetlands-Case Studies and Significant Knowledges-. 1–2 March 2008, Matsue, Japan.

Nakamura, Y., Horinouchi, M., Sano, M., Shibuno, T. (2008) Effects of coral and seagrass habitat loss on spatial distribution patterns of coral reef fishes at the Ryukyu Islands, Japan. International Symposium on Systematics and Diversity of Fishes. National Museum of Nature and Science and Ichthyological Society of Japan. 3–4 March 2008, Tokyo, Japan.

Horinouchi, M. (2008) Horizontal gradient in fish assemblage structures in and around a seagrass habitat: some implications for seagrass habitat conservation. 5th World Fisheries Congress. 3–4 Oct 2008, Yokohama, Japan.

瀬戸浩二・倉田健悟・高田裕行・堀之内正博・山口啓子・入月俊明・小草宏樹 (2008) 中海本庄水域における人為的環境変化に対する生態系モニタリング。長期生態系モニタリングの現状と課題—温暖化影響と生態系応答—, 87-88.

倉田健悟

(論文等)

- Horinouchi, M., Kume, G., Yamaguchi, A., Toda, K., Kurata, K. (2008) Food habits of small fishes in a common reed *Phragmites australis* belt in Lake Shinji, Shimane, Japan. *Ichthyological Research*, 55: 207-217.
- Takata, H., Seto, K., Kurata, K., Khim, B.-K. (2009) Distribution of living (stained) benthic foraminifera (Protista) in the Ohashi River, southwest Japan: a clue to recent faunal change in the Lake Shinji - Nakaumi system *Fundamental and Applied Limnology*, 174: 185-192.
- Takata, H., Dettman, D. L., Seto, K., Kurata, K., Hiratsuka, J., Khim, B.-K. (2009) Novel habitat preference of *Ammonia beccarii* forma 1 in macrobenthos community on hard substrates in the Ohashi River, southwest Japan *Journal of Foraminiferal Research* 39: 87-96.

(報告書・その他)

- 大橋川の汽水環境を調べる会 (倉田健悟, 堀之内正博, 戸田顕史, 平塚純一, 品川明, 瀬戸浩二, 高田裕行, 香月興太, 石飛裕) (2008) 島根県大橋川の汽水環境の保全に関する研究(継続) プロ・ナトゥーラ・ファンダ第17期助成成果報告書 pp. 3-35.

程木義邦

(論文等)

- Ohbayashi K., Hodoki Y., Nakayama S., Shimada M. & Kunii H. (2008) Development of new microsatellite loci in salt-marsh sedge *Carex rugulosa*, by compound SSR-PCR. *Molecular Ecology Resources*, 8: 1497-1499.
- Hodoki Y., Ohbayashi K. and Kunii H. (in press) Genetic analysis of salt-marsh sedge *Carex scabrifolia* Steud. populations using newly developed microsatellite markers. *Conservation Genetics*. DOI 10.1007/s10592-008-9678-y
- Kataoka T., Hodoki Y., Suzuki K., Saito H. & Higashi S. (accepted) Tempo-spatial patterns of bacterial community composition in the western North Pacific Ocean. *Journal of Marine Systems*.

(報告書・その他)

- 大林夏湖・程木義邦・國井秀伸 (2008) 中国四国地方における準絶滅危惧種ハマサジ *Limonium*

tetragonum (Thunb.) A. A. Bullock とフクド *Artemisia fukudo* Makino の分布状況. ホシザキグリーン財団研究報告 11:205-210.

- 大林夏湖・程木義邦・國井秀伸 (印刷中) 準絶滅危惧種オオクグ *Carex rugulosa* Kük. の日本国内における分布と生育状況. ホシザキグリーン財団研究報告.
- 宮田修・小野有五・村上哲生・大林夏湖・程木義邦・桑原友一・早田史郎 (2008) サンプルダム建設が天塩川水系における水環境と水生生物に与える影響の評価. プロ・ナトゥーラ・ファンダ第17期助成成果報告書, 171-175.
- 林裕美子・小寺浩二・中山祐介・五十嵐誠・高木正博・串間研之・大林夏湖・程木義邦・村上哲生 (2008) 宮崎県綾町における市民参加による照葉樹林と針葉人工林の沢環境の比較と地域環境管理への提言. プロ・ナトゥーラ・ファンダ第17期助成成果報告書, 109-117.

荒木 悟

(論文等)

- Araki, S. and Kunii, H. (2008) Relationship between seed and clonal growth in the reproduction of *Carex rugulosa* Kük. in riverside meadows. *Plant Species Biology* 23: 81-89.

(報告書・その他)

- 國井秀伸・荒木悟・大林夏湖・程木義邦 (2008) 太田川河口域における塩生湿地植物と海草類の保全生態学的研究. 平成19年度太田川生態工学研究会中間報告.

中山大介

(論文等)

- 藤山浩・岡篤雄・森山昌幸・中山大介. 島根県中山間地域におけるGISの利活用の取組み. 農業農村工学会誌 75(10): 13-19.

大林夏湖

(論文等)

- Ohbayashi K., Hodoki Y., Nakayama S., Shimada M. & Kunii H. (2008) Development of new microsatellite loci in salt-marsh sedge *Carex rugulosa*, by compound SSR-PCR. *Molecular Ecology Resources*, 8: 1497-1499.
- Hodoki Y., Ohbayashi K. and Kunii H. (in press) Genetic

analysis of salt-marsh sedge *Carex scabrifolia* Steud. populations using newly developed microsatellite markers. *Conservation Genetics*. DOI 10.1007/s10592-008-9678-y

(報告書・紀要など)

大林夏湖・程木義邦・國井秀伸 (2008) 中国四国地方における準絶滅危惧種ハマサジ *Limonium tetragonum* (Thunb.) A. A. Bullock とフクド *Artemisia fukudo* Makino の分布状況. ホシザキグリーン財団研究報告 11:205-210.

大林夏湖・程木義邦・國井秀伸 (印刷中) 準絶滅危惧種オオクグ *Carex rugulosa* Kük. の日本国内における分布と生育状況. ホシザキグリーン財団研究報告.

宮田修・小野有五・村上哲生・大林夏湖・程木義邦・桑原友一・早田史郎 (2008) サンルダム建設が天塩川水系における水環境と水生生物に与える影響の評価. プロ・ナトゥーラ・ファンド第 17 期助成成果報告書, 171-175.

林裕美子・小寺浩二・中山祐介・五十嵐誠・高木正博・串間研之・大林夏湖・程木義邦・村上哲生 (2008) 宮崎県綾町における市民参加による照葉樹林と針葉人工林の沢環境の比較と地域環境管理への提言. プロ・ナトゥーラ・ファンド第 17 期助成成果報告書, 109-117.

横尾俊博

(論文等)

茂木正人・安田健吾・山本桂子・横尾俊博・河野 博・諸星一信・鈴木信昭・松坂省一・有路隆一 (2009) 東京湾京浜島の魚類相の季節変化と長期生物モニタリングの必要性. *La mer*, 46 (4): 121-134.

河野 博・横尾俊博・茂木正人・加納光樹 (2008) 東京湾岸に位置する人工潟湖 (新浜湖) の魚類相. *日本生物地理学会誌*, 63: 133-142.

Yokoo T., K. Kanou, M. Moteki, H. Kohno, P. Tongnunui, and H. Kurokura (2008) Juveniles morphology of three *Pseudogobius* species (Gobiidae) occurring in a mangrove estuary, southern Thailand. *Laguna*, 15: 77-82.

(報告書・その他)

荒西太士・堀之内正博・横尾俊博 (2009) 中海生物遺伝資源バンク. 島根大学お宝研究 vol. 3, 3.

○LAGUNA (汽水域研究) の発行

今年度の第 15 号は, 平成 20 (2008) 年 12 月に発行した (全 106 ページ).

○研究発表会

平成 19 年度は汽水域研究センターが中心となって進めていた 3 カ年の重点プロジェクト (國井秀伸プロジェクトリーダー: 汽水域の自然・環境再生研究拠点形成プロジェクト) が終了し, 平成 20 年 3 月に汽水域国際シンポジウムを開催した. また, 今年度は, 1 月 10 日 (土) ~ 11 日 (日) に新春発表会を 2 日間にわたって開催した. 11 日には 82 名の参加の下に汽水域研究全般に亘る講演で, 12 日は瀬戸准教授が中心となって企画したミニシンポジウムであった.

○汽水域懇談会

調査や集中講義のために来松された研究者や学内外の地元の研究者に話題提供者になっていただくことを目的とした会であり, 今年度は 6 月と 10 月に 2 回 (第 83 回と第 84 回) 開催した.

2-1-3. 主な学内委員会等の記録

1 月 7 日 教員会議
 1 月 24 日 運営委員会・国際シンポジウム実行委員会
 1 月 29 日 共同利用施設等連絡協議会
 2 月 4 日 教員会議・管理委員会
 2 月 18 日 重点プロジェクト GL 会議
 2 月 19 日 国際シンポジウム実行委員会
 2 月 26 日 共同利用施設等連絡協議会
 3 月 3 日 汽水域研究センター研究推進協議会
 3 月 6 日 管理委員会
 3 月 8 日 中海自然再生協議会
 3 月 19 日 教員会議
 3 月 27 日 共同利用施設等連絡協議会
 4 月 1 日 教員会議
 4 月 14 日 教員会議
 4 月 21 日 管理運営委員会
 4 月 23 日 共同利用施設等連絡協議会
 5 月 12 日 教員会議・重点プロジェクト・GL 会議
 5 月 17 日 中海自然再生協議会
 6 月 10 日 重点プロジェクト・GL 会議
 6 月 16 日 教員会議・重点 GL 会議
 6 月 23 日 共同利用施設等連絡協議会

7月 7日 教員会議
 7月 8日 重点プロジェクト GL 会議
 7月22日 教員会議
 7月24日 教員会議
 7月25日 共同利用施設等連絡協議会
 7月26日 中海自然再生協議会
 7月30日 教員会議
 8月 5日 管理運営委員会
 8月21日 教員会議
 9月 4日 管理運営委員会 WG 会議
 9月 8日 重点プロジェクト GL 会議
 9月18日 管理運営委員会
 9月27日 中海自然再生協議会
 10月 8日 教員会議
 10月16日 教員会議
 10月24日 共同利用施設等連絡協議会
 11月 4日 中海自然再生協議会
 11月19日 教員会議
 12月 1日 共同利用施設等連絡協議会
 12月10日 教員会議

瀬戸浩二 総合理工学部「地球科学基礎演習」(一部担当)
 瀬戸浩二 総合理工学部「環境地質学セミナー」(共同担当)
 瀬戸浩二 総合理工学研究科「地球環境変動論」
 瀬戸浩二 総合理工学研究科「環境地質学セミナー」(共同担当)
 瀬戸浩二 「汽水域の科学」(一部担当)
 瀬戸浩二 「宍道湖・中海体験学習」(共同担当)
 瀬戸浩二 「汽水域船上調査法実習」
 倉田健悟 生物資源科学研究科「水圏生態学特論」(一部担当)
 倉田健悟 生物資源科学研究科「水環境計測学」(一部担当)
 倉田健悟 「汽水域の科学」(一部担当)
 堀之内正博 「汽水域の科学」(一部担当)
 堀之内正博 生物資源科学部専門基礎教育科目「水圏生態学Ⅱ」(一部担当)
 堀之内正博 生物資源科学研究科「水圏生態学特論」(一部担当)

○他大学での講師の併任など

荒西太士 宮崎大学大学院農学研究科「水産科学特別研究」平成 21(2009)年 1 月
 倉田健悟 山口県立大学「生活環境特別講義」平成 20(2008)年 8 月
 程木義邦 名寄市立大学非常勤講師(「地球環境科学」担当)平成 20(2008)年 9 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 2 年)(主指導教員：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 2 年)(副指導教員：國井)
 水戸 鼓「中国地方における在来種マシジミおよび外来種タイワンシジミに関する遺伝生態学的研究」(鳥取大学大学院連合農学研究科博士課程 1 年)(主指導教員：荒西)
 飯塚祐輔「南九州における天然ガキの保全遺伝学的研究」(宮崎大学大学院農学研究科修士課程 2 年、鳥根大学大学院生物資源科学研究科特別研究学生)(指導教員：荒西)

2-2. 教育活動

2-2-1. 学部教育

○総合科目(資料 11)

「汽水域の科学」前期 2 単位(受講生：137 名)、後期 2 単位(受講生 16 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。

「宍道湖・中海体験学習」(受講生：6 名)

「汽水域船上調査法実習」(受講生：11 名)

昨年度より、全学的な教育プログラムである「フィールド学習教育プログラム」と連動させ、2 つの上記野外実習を開講している。

○学内講師としての教育活動

國井秀伸 生物資源科学研究科「水生植物学」

荒西太士 「汽水域の科学」(一部担当)

荒西太士 生物資源科学研究科「水圏生態学特論」(一部担当)

瀬戸浩二 共通教養科目「山陰の自然史」

瀬戸浩二 総合理工学部「環境地質学実験」(一部担当)

瀬戸浩二 総合理工学部「地層学実習」(一部担当)

瀬戸浩二 総合理工学部「古生物学実習」(一部担当)

平野琢也「九州北西海域から分離した生物付着性海洋放線菌のベースコレクション」(宮崎大学大学院農学研究科修士課程2年, 島根大学大学院生物資源科学研究科特別研究学生)(指導教員: 荒西)

野田圭太「危急種シカメガキの保全遺伝学的研究」(島根大学大学院生物資源科学研究科修士課程1年)(指導教員: 荒西)

野原佳織「ヤマトシジミの成長条件と殻体に記録された環境記録に関する研究」(島根大学大学院総合理工学研究科博士課程前期2年)(指導教員: 瀬戸)

小池祐介「島根県朝酌川における河川環境の流程変化」(島根大学大学院生物資源科学研究科修士課程1年)(主指導教員: 倉田)

2-3. 国際交流

○海外調査・共同研究など

- ・タイ国: 海草藻場・マングローブ域魚類生態調査. 2008年7月10日~7月27日 (Rajamangala University of Technology Srivijaya の Prasert Tongnunui 学科長らとの共同研究)(堀之内)
- ・タイ国: 海草藻場・マングローブ域魚類生態調査. 2009年1月24日~2月13日 (Rajamangala University of Technology Srivijaya の Prasert Tongnunui 学科長らとの共同研究)(堀之内)
- ・アメリカ合衆国: 宍道湖および大橋川のヤマトシジミの窒素動態体比を測定し, 人為汚染の影響を調べる研究. 2008年6月17日~8月21日 Robert Dietz 氏 (アリゾナ大学; JSPS サマープログラム)(倉田)
- ・マレーシア, マレーシア総合大学高等研究所教授ムシュリファ・イドリス, 2008年12月7日~14日, チニ湖, ペラ湖等の統合的湖沼管理(ILBM)に関する共同研究.

2-4. 社会との連携

2-4-1. 公開講座・招待講演・市民講座など

○公開講座(大学開放授業)

今年度は実施しなかった。

○招待講演・市民講座その他

- 1月12日: 汽水域新春発表会. 主催: 汽水域研究センター. 松江テルサ中会議室(汽水域研究センタースタッフ)
- 1月12日: 中海水産振興シンポジウム. 主催: 中海

水産振興シンポジウム実行委員会・島根大学汽水域研究センター. 松江テルサ(荒西, 沖本)

- 1月26日: 「みんなが考えよう「湖山池の未来」-湖山池再生シンポジウム-」. 主催: 鳥取大学・鳥取市. 鳥取県民文化会館小ホール(基調講演: 國井)
- 3月1-2日: 国際シンポジウム2008「湿地の再生と管理-各国の事例と重要な科学的知見-」. 主催: 汽水域研究センター・島根大学汽水域重点プロジェクト・島根大学テキサス水環境プロジェクト. くにびきメッセ501大会議室, タウンプラザしまね大会議室(汽水域研究センタースタッフ)
- 3月18日: 「中海・宍道湖の自然再生と課題を見てまわる」. 主催: 自然再生センター・中海自然再生協議会. 松江市民活動センター(司会・コメント: 國井)
- 4月8日: 大橋川を考える会-第10回「大橋川改修の課題と代替案について」島根大学白濁サロン(倉田)
- 4月26日: 「松江大橋とまちなみを川から観る会」大橋川(倉田)
- 5月30日: 「本庄排水機場潮通しについて」. 山陰放送(國井)
- 5月21日: 安来青年会議所 5月例会「中海知ってますか~ 近くて知らない日本一の汽水湖(水質・底質編)」. 安来中央交流センター(瀬戸)
- 6月6日: 「何故中海でアマモを再生するのか?」平成20年度アマモ・コアマモ勉強会(主催: 未来守りネットワーク), 境港夢みなとタワー2階会議室(國井)
- 6月9日: 中海と海藻と環境」日南米特産化実行委員会基調講演, 鳥取県日野総合事務所(國井).
- 6月14日: アマモ種子採集イベント(主催: 未来守りネットワーク), 境港市外江(國井)
- 6月25日: 「大橋川と剣先川と佐陀川におけるヤマトシジミとホトトギスガイの動態について」宍道湖漁協青年部勉強会, くにびきメッセ(倉田)
- 7月5日: 「大橋川改修にかかる意見-特に情報の公開と共有について」大橋川改修にかかる市民のみなさまに意見を述べていただく会, 島根県職員会館(倉田)
- 7月13日: 「生息場所の劣化と魚類群集-海草藻場とヨシ帯における事例-」安来市(堀之内)
- 7月25日: キャリア教育 講演会. 「人間による環境の改変を考える. -汽水域における人為改変を例として-」尾道南高校(瀬戸)

- 8月6日：第19回網走市水産科学センターゼミナール。「ヤマトシジミの成長条件と殻体に記録された環境記録に関する研究」網走市水産科学センター（瀬戸）
- 8月18日：「島根県大橋川をめぐる最近の話題について」滋賀県高等学校社会科教員県外研修，島根大学汽水域研究センター（倉田，國井）
- 8月24日：「汽水域の河川－大橋川改修に関連して－」第3回しまね地域・自治 夏の学校 第2分科会，国民宿舎さんべ荘（倉田）
- 8月25日：東京大学水産実験所セミナー「島根県中海本庄水域における人為的環境変化に対する生態系モニタリング」東京大学水産実験所（瀬戸）
- 8月25日：東京大学水産実験所セミナー「海草藻場の構造と魚類群集」東京大学水産実験所（堀之内）
- 8月27日：「大橋川勉強会と大橋川を考える会，そして今」松江大橋を守る市民の会，松江市民活動センター（倉田）
- 9月27日：「中海・宍道湖の自然を再生するために－科学の目で見る汽水域の自然－」，ひらめき☆ときめきサイエンス，島根大学（國井，瀬戸，倉田）
- 11月22日：「中海におけるアマモ場再生の現状と課題」，第2回環境管理修復・地域資源活用セミナー「中海・宍道湖の水質改善に向けた地域結集の提案」，島根大学生物資源科学部1号館101講義室，（國井）
- 11月25-28日：米子高専 GP「中海とともに育てる地域連携型環境教育－ラムサール条約から学ぶ中海再生と Wise & Wide Use－」中海（野村，國井，瀬戸）
- 12月4日：「大橋川勉強会と大橋川を考える会について－これまでの経緯と大橋川改修の課題」しまね地域自治研究所講習会，島根県民会館（倉田）
- 12月16日：「中海の生物資源をバーコード管理する」，平成20年度自然生態系の再生による水質浄化研究会，米子市コンベンションセンター（荒西）
- 1月31日：「中海自然再生全体構想について」第1回中海自然再生フォーラム，米子ふれあいの里大ホール（國井）
- 2月19日：「汽水域に生育する湿生植物オオクグと海草コアマモの保全策について」，第2回水草管理のあり方研究会，滋賀県琵琶湖環境科学研究センター（國井）

2-4-2. 学会の活動など

國井秀伸

- 日本生態学会中国四国地区会幹事：平成4(1992)年4月～現在
- 水草研究会副会長：平成15(2003)年～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
- 種生物学会中四国地区幹事：平成17(2005)年4月～現在
- 日本陸水学会評議員：平成18(2006)年4月～現在
- JaLTER 運営委員：平成18(2006)年11月～現在
- Limnology 編集委員長：平成19(2007)年4月～現在
- 日本湿地学会暫定理事：平成20(2008)年9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
- JaLTER 情報管理委員：平成18(2006)年11月～現在
- 地球科学編集委員長：平成20(2008)年9月～現在

堀之内正博

- Marine Ecology Progress Series 誌 Review Editor (編集委員)：2007年6月～現在
- 日本魚類学会編集委員：2007年12月～現在

倉田健悟

- 日本陸水学会 平成20年度幹事
- 日本陸水学会 英文誌 Limnology 編集幹事：平成19(2007)年4月～現在
- 日本ベントス学会 和文誌編集委員：平成19(2007)年4月～現在

2-4-3. 学外の委員会など

國井秀伸

- 米子市環境審議会委員：平成6(1994)年8月～現在
- 京都大学生態学研究センター協力研究員：平成14(2002)年4月～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
- 国土交通省出雲河川事務所宍道湖・中海沿岸環境検討会委員：平成16(2004)年～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9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

農林水産省中国四国農政局中海干拓建設事業所中浦
水門撤去工事等環境モニタリング調査

アドバイザーグループ検討会委員：平成 17(2005)
年 4 月～現在

環境省モニタリングサイト 1000 陸水作業部会委員：
平成 19(2007) 年 4 月～現在

荒西太士

中海水産振興シンポジウム実行委員会委員長：平成
19(2007) 年 11 月～平成 20(2008) 年 1 月

瀬戸浩二

網走市水産研究会議委員

倉田健悟

大橋川を勉強する会事務局：平成 17(2005) 年～現在

編集後記

みなさまのご協力により、LAGUNA(汽水域研究)の第16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ならびに査読をお引き受けいただいた方々には、この場を借りてお礼申し上げます。

前々号までの発刊遅れを今号で漸く取り戻すことができ、編集責任者は交代します。次号は新たな編集責任者の下で発刊されますが、どうぞ奮ってご投稿ください。

編集要項

1. LAGUNA (汽水域研究) は、島根大学汽水域研究センターにおいて、年1回発行する。
2. 本誌には、本センターの教員、研究員、客員研究員、協力研究員および編集委員会が特に認められた者が投稿することができる。
3. 編集委員には本センターの専任教員があたる。
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)

北村二郎・村田源 (1971) 原色日本植物図鑑・木本編 I. 保育社, 大阪, 453 pp.

Parsons, T. R., Maita, Y. and Lalli, C. M. (1984) A manual of chemical and biological methods of sewage analysis. Pergamon Press, New York, 173 pp.

(章)

Dayton, P. K. and Tegner, M. J. (1984) The importance of scale in community ecology : a kelp forest example with terrestrial analogs. In: A new ecology : novel approaches to interactive systems. (eds.) Price, P. W., Slobodchikoff, C. N. and Gaud, W. S. pp. 457-481. Wiley, New York.

7. 図(写真を含む)と表は1つずつ別紙に書き、右上端に図・表の番号と著者名を鉛筆書きすること。また、日本語原稿の場合でも、図・表中の言語は、なるべく英文を用いることとし、説明文は英語と日本語の2

通りで書くこと。なお、説明文は別紙にまとめて書き、本文に続くページ番号を打っておくこと。

図と表は原則としてそのまま製版できる状態とし、縮小率または縮小した場合の横の長さを指定すること。なお、刷り上がりの図・表の大きさは、原則として横 17 cm, または 8 cm, 縦は 24 cm 以内となるので、これを考慮して製図、および縮小率の指定を行うこと。カラーで印刷する図のみカラーで作成した原稿を提出すること。印刷時の大きさを考慮し、文字の大きさや記号の見やすさを吟味した上で十分な解像度の図の原稿を作成して提出すること。

表は、縦の罫線は使わず、横罫線も最小限にとどめること。写真は本文中に掲載する場合は図と同様な番号を用いてよい。独立した写真図版とする場合には、横 17 cm, 縦 27 cm の版面にバランス良く配置し、なるべく原寸大の印刷指定とする。図版中の図を本文中で引用するときには、(図版 I, 図 1), または (Plate I, Fig. 1) のようにする。

プリントアウトした原稿には、図表の挿入位置を赤色で印すこと。

過大な図表およびカラー図版については、その印刷実費を著者が負担する。

8. 投稿の際にはプリントアウトした本文原稿および図表原稿と、そのコピー1部を提出すること。その後、編集委員会から指示があった際にフロッピーディスク、MOディスク、CDなどの電子媒体に保存した原稿を提出すること。ワープロ原稿は、原則として Microsoft Word のファイル(テキストファイルでも可)とする。

9. 本文を補足するための図表および数値データは、島根大学汽水域研究センターのホームページによって公開することができる。ホームページによってダウンロードできる

表および数値データは、原則として Microsoft Excel のファイル（テキストファイルでも可）とし、図は、原則として jpeg 形式（PICT 形式でも可）とする。これらのファイルは、MO ディスク、CD などの電子媒体に保存して提出のこと。

10. その他の書式については過去の掲載論文

を参照し、編集委員会の指示に従うこと。

11. 投稿の際には必要事項を記入した原稿整理カードと原稿を編集委員会まで提出すること。

提出された原稿は原則として返却しないので、返却希望者はその旨申し出ること。

原稿提出時に添付してください

LAGUNA (汽水域研究)		原稿整理カード		受付番号	
著者氏名	和文				
	英文				
連絡責任者氏名	☎				
連絡先	Tel.	Fax.	E-mail		
表題	和文				
	英文				
用語種別 (○で囲む)	日本語文 英語文	原著論文, 総説, 短報, ノート, 討論, 紹介, 用語解説, 資料, 書評, 講演記録, その他			
原稿	電子媒体名; _____ ファイル名; _____ 使用ソフト名; _____ プリントアウト原稿; A4 _____枚 (表紙, 要旨, 本文, 図表説明を含む) 図; _____枚 表; _____枚 図版; _____枚 手書き原稿; 400字詰め原稿用紙 _____枚 (表紙, 用紙, 本文, 図表説明を含む)				
別刷	_____部 (自己負担)				
備考				原稿発送日 年 月 日	
編集委員会メモ					
原稿受付	査読	受理日	校正		校了
			著者		