

LAGUNA

汽水域研究

No.15 December 2008



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

- Pollen assemblage changes in the Holocene in the area of Izumo Plain–Lake Shinji
—examples from Lake Shinji and Lake Jinzai— 1-12 Sayuri Kawai
- Changes in filtering and survival ratios of the ark shell *Scapharca kagoshimensis*
depending on salinity and temperature 13-18 Yasushi Miyamoto, Akiko Hatsuda
- Some leeches (Annelida: Hirudinida: Piscicolidae, Glossiphoniidae)
in the Hii River system, Shimane Prefecture, Japan 19-23 Takeo Yamauchi, Tetsuya Itoh
Katsuhide Yamaguchi and Kazuya Nagasawa
- New discovery of shell mound on Early Jomon period in the SETO Inland Sea:
Report of Inujima shell midden (S.Ono collection) 25-32 S.Onbe, H.Kumagai, N.Nakajima
M.Yamauchi, S.Kakubuchi, Y.Miyata
M.Yoneda, T.Kusuhara, S.Ono, S.Ono
- Preliminary study on possibility of eco-tourism around Lakes Shinji and Nakaumi
33-48 Yoshiaki Tsuzuki, Hidenobu Kunii
Hirofumi Itakura, Kimio Iino
and Tomiko Notsu
- Experimental Studies on relationship between feeding materials
and increase of soft parts of *Corbicula japonica* 49-55 Keiko Yamaguchi, Ayako Ko-uchi
and Katsuki Fujioka
- Pictures of bottom surface in the central part of Lake Nakaumi (part 2) :
dynamics of bottom water with regard to a seasonal wind in winter
57-67 Ritsuo Nomura1, Kouji Seto
- DNA fingerprinting for Ostreidae oysters in Kyushu 69-76 Yusuke Iidzuka, Futoshi Aranishi
- Juvenile morphology of three *Pseudogobius* species (Gobiidae)
occurring in a mangrove estuary, southern Thailand 77-82 Toshihiro Yokoo, Kouki Kanou
Masato Moteki1, Hiroshi Kohno
Prasert Tongnunui and Hisashi Kurokura

■ Short note

- Transplanting methodology of eelgrass *Zostera japonica* in brackish lagoon
Lake Nakaumi (Preliminary report). 83-89 Yasushi Miyamoto, Takahiro Kuki
Akiko Hatsuda and Hidenobu Kunii
- Pictures of bottom surface in the central part of Lake Nakaumi (part 3) :
Recovery of damaged bacterial mat in a low oxygen condition 91-94 Ritsuo Nomura1, Kouji Seto

■ Annual Report of Research Center for Coastal Lagoon Environments

95-105

■ Editorials

106

■原 著 論 文

□出雲平野－宍道湖地域における完新世の花粉化石群集変遷

— 宍道湖と神西湖の例 — 1-12 河合小百合

□塩分と水温に応じたサルボウ (*Scapharca kagoshimensis*)

の濾過速度と生残率の変化 13-18 宮本 康・初田亜希子

□ Some leeches (Annelida: Hirudinida: Piscicolidae, Glossiphoniidae)

in the Hii River system, Shimane Prefecture, Japan 19-23
Takeo Yamauchi, Tetsuya Itoh,
Katsuhide Yamaguchi
and Kazuya Nagasawa

□瀬戸内海新発見の縄文時代早期貝塚

— 犬島貝塚 (小野伸コレクション) の報告 — 25-32
遠部 慎・熊谷博志・中島直樹
山内基樹・角縁 進・宮田佳樹
米田 穰・楠原 透・小野 勢
小野 伸

□宍道湖・中海地域におけるエコツアーリズムについての現状分析

33-48 都筑良明・國井秀伸・板倉宏文
飯野公央・野津登美子

□ヤマトシジミへの給餌と軟体部増加に関する実験

49-55 山口啓子・幸内綾子・藤岡克己

□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 57-67 野村律夫・瀬戸浩二

□九州に分布するイタボガキ科カキ類の DNA 鑑定

69-76 飯塚祐輔・荒西太士

□ Juvenile morphology of three *Pseudogobius* species (Gobiidae)

occurring in a mangrove estuary, southern Thailand 77-82

Toshihiro Yokoo, Kouki Kanou
Masato Moteki, Hiroshi Kohno
Prasert Tongnunui
and Hisashi Kurokura

■短 報

□ 中海におけるコアマモ (*Zostera japonica*) の移植技術の検討 (予報)

83-89

宮本 康・九鬼貴弘・初田亜希子
國井秀伸

□ 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 91-94

野村律夫・瀬戸浩二

■ 島根大学汽水域研究センター活動報告

95-105

研究活動

教育活動

国際交流

社会との連携

■ 編 集 後 記

106

出雲平野—宍道湖地域における完新世の花粉化石群集変遷 — 宍道湖と神西湖の例 —

河合小百合¹

Pollen assemblage changes in the Holocene in the area of Izumo Plain–Lake Shinji—examples from Lake Shinji and Lake Jinzai—

Sayuri Kawai¹

Abstract: The vegetation and climate history since the early Holocene in the eastern Shimane Prefecture were clarified by pollen analysis performed on the two sediment cores drilled from Lake Shinji and Lake Jinzai. About 9500 cal.yrBP, the cool-temperate deciduous broad-leaved forest of *Fagus* and *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* were dominated around Lake Shinji, the warm-temperate evergreen broad-leaved forests of *Quercus* subgen. *Cyclobalanopsis* and *Castanopsis-Pasania* were mixed with the cool-temperate forest around Lake Jinzai. Until about 7000 cal.yrBP, the warm-temperate forest predominated around this region because of warming. Until about 4300 cal.yrBP at Lake Shinji and about 3200 cal.yrBP at Lake Jinzai, the coastal forest of *Pinus thunbergii* grew on the sands appeared by regression, but the succession of warm-temperate forest progressed in spite of cooling. Then, *Cryptomeria* and *Fagus* were increased by the cooling. Until AD1635, secondary forests of *Pinus densifolia* were expanded by artificial effects.

Key words: Holocene, pollen analysis, Lake Shinji, Lake Jinzai

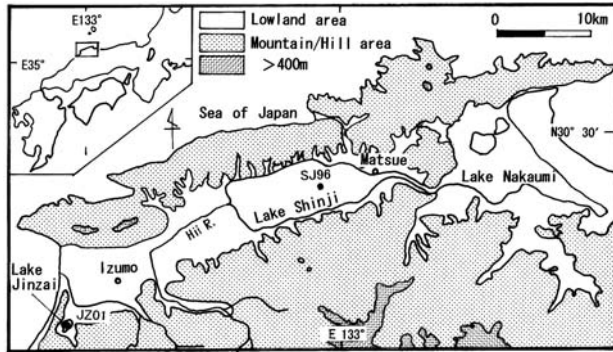
1. はじめに

山陰中央部の出雲平野—宍道湖地域は、遺跡発掘調査が盛んなうえに、かつての中海干拓事業のために多数のボーリング調査も実施され、完新世の古環境データが充実した地域である。とりわけ K-Ah テフラ (町田・新井, 1978) の降灰した 7300 cal.yrBP (福沢, 1995) より新しい時代のデータは非常に豊富で、自然植生への人間の様々な介入が論じられているほどである (大西, 1993; 渡辺・会下, 1996 など)。同時に、鳥取県西部より島根県東部にかけての差し渡し約 80 km の沿岸部に共通する花粉分帯が、高い精度で確立されている (大西ほか, 1990; 渡辺,

2002, 2005 など)。これに対し K-Ah テフラ堆積以前の完新世の初期～中期においては、急速な温暖化と海水準上昇、またいわゆる 8.2 ka イベント (Alley et al., 1997) のような顕著な冷涼イベントの知られる興味深い時代であるにもかかわらず、花粉分析例が多くはない。

宍道湖と中海のボーリングコアに対し盛んに花粉分析 (例えば大西, 1977; 大西ほか, 1990; 大西, 1994) が実施されていた当時と比較して、今日では宍道湖底完新統の多数の ¹⁴C 年代 (山田・高安, 2006) や完新世古地理変遷のデータ (高安・出雲古代景観復元チーム, 1998; 山田ほか, 2004) が報告されるようになった。そのことは海水準昇降や海岸線の前

¹ 信州大学山岳科学総合研究所 Institute of Mountain Science, Shinshu University, Asahi 3-1-1, Matsumoto 390-8621, Japan.



第1図. SJ96 (宍道湖) と JZ01 (神西湖) ボーリング掘削地点。

Fig. 1. Location of the SJ96 (Lake Shinji) and JZ01 (Lake Jinzai).

進後退と、例えば暖流下の温暖湿潤な気候に涵養されるカシ林や潮風に比較的耐性のあるシイ林、水はけのよい海岸砂礫地のクロマツ林やその後背湿地のムクノキ・エノキ林などの挙動を関連付けられる可能性を示唆する。

本論文は、宍道湖と神西湖から採取された2本のボーリングコア SJ96 と JZ01 による、約 9500 cal.yrBP 以降の花粉分析結果の報告である。これらのボーリングコアにおいては、高頻度の ^{14}C 年代測定や各種元素分析に基づいて、年代の信頼できる水域環境の変遷が詳細に明らかにされている(高安・出雲古代景観復元チーム, 1998; 山田ほか, 2004)。それらに基づき完新世初期～中期の花粉帯の境界年代を再検討し、また花粉群集と水域環境との関連を考察した。

2. 試料の採取地点・構成物・年代について

本研究地域は島根半島の付け根に位置する東西に伸張する地溝帯で、東部に中海、松江平野を挟んで中部に宍道湖、西部に出雲平野があり、出雲平野の西端に神西湖がある(第1図)。宍道湖は総面積 79.1 km²、周囲 47 km、平均水深 4.5 m の汽水湖である。また神西湖は面積 1.35 km²、周囲 5.3 km、平均水深 1.1 m の汽水湖である。

2.1 SJ96 ボーリングコア

SJ96 ボーリングコアは、高安・古代出雲景観復元チーム(1998)によると、島根県古代文化センターの古代出雲地方の自然景観復元に関する研究の一環として、1996年10月に宍道湖湖心のやや東寄りの地点(N35°27'00", E132°58'50", 水深 5.7 m)よりシ

ンウォールコアサンプラーにて採取された。同文献によると全長は 23 m で、以下のように構成されている。すなわち深度 23～21.9 m は松江層相当層の中部中新統、不整合を挟んで深度 21.9～14.83 m は上部更新統安来層(三位ほか, 1969)のシルトと砂と火山灰の互層、不整合を挟んで深度 14.83 m～表層は完新統の中海層(鹿野ほか, 1989)である。中海層のうち深度 14.83～14.29 m は下部に砂の多い黒褐色の腐植質シルト層、14.29～11.68 m は植物片や貝殻片を多数含み所々に不明瞭な平行葉理の認められる暗灰色シルト層である。また 11.68～8.95 m はウニ棘の破片や内湾性の有孔虫化石を含みわずかに砂質な暗灰色シルト層、8.95～5.37 m は貝殻片と明瞭な平行ラミナの認められる灰色の砂質シルト層、5.37～2.27 m は貝化石片の含まれる灰色シルト層、2.27～0.78 m は不明瞭なラミナの認められる灰色シルト層、そして 0.78 m～表層は生物擾乱の著しい暗灰色シルト層であるとされた。

SJ96 の年代指標として IntCal04 (Reimer et al., 2004) で較正した 16 試料の ^{14}C 暦年代値(高安, 2001; 山田・高安, 2006)、深度 7.84 m の K-Ah テフラ(町田・新井, 1978; 7300 cal yrBP; 福沢, 1995)、深度 0.79 m の斐伊川東流イベント層準(西暦 1935 もしくは 39 年; 田村ほか, 1996)が報告された。また全有機炭素(TOC)濃度・全窒素(TN)濃度・全硫黄(TS)濃度・(高安・出雲古代景観復元チーム, 1998)、アルミニウム濃度・黄鉄鉱含有量(山田・高安, 2006)の各変遷が報告されている。

2.2 JZ01 ボーリングコア

JZ01 ボーリングコアは、島根県古代文化センターによる風土記関係自然景観復元事業の一環として、2001年の3月に神西湖のほぼ中央部(N35°19.500', E132°41.067', 水深 1.55 m)よりシンウォールコアサンプラーにて採取された試料で、全長 24.3 m の全層が完新統の中海層とされ(山田ほか, 2004)、山田・高安(2006)により以下の観察結果が報告された。すなわち深度 24.3～23.6 m は一部に植物片を含む暗灰色砂礫、23.6～16.4 m は貝殻片を含む概ね灰色シルト～細粒砂の互層、16.4～13.6 m は平行葉理の発達した黒灰色シルト、13.6～1.1 m は生物擾乱が認められ所々に貝殻片や植物片の含まれる灰～灰褐色シルト、1.1 m～湖底面は灰～暗灰色シルトである、とされた。

JZ01 の年代指標として、IntCal04 (Reimer et al., 2004) で較正した 12 試料の ^{14}C 暦年代値(山田ほか,

2004; 山田・高安, 2006), 深度 17.1 m の K-Ah テフラが報告された(高安, 2002). また帯磁率, 石英・長石・菱鉄鉱・黄鉄鉱・白鉄鉱・石膏含有量, アルミニウム・イオウ・カルシウム濃度(山田ほか, 2004), TOC 濃度・TN 濃度・TS 濃度・C/N 比(山田・高安, 2006)の各変遷が報告されている.

3. 試料分取法と花粉分析法, データの集計法

SJ96 と JZ01 ボーリングコアは 1 cm 厚に切断されチャックつきポリ袋入りの数千点の試料として島根大学汽水域研究センターに保管されており, 分取時にはすでにほぼ乾燥状態であった. SJ96 は概ね 10 cm 間隔, JZ01 は概ね 15 cm 間隔で分析試料を選択した. 花粉化石の抽出は KOH-ZnCl₂-HF-アセトリシス法(中村, 1967)で行い, プレパラートへの封入にはグリセリンゼリーを用いた. 花粉の同定は光学顕微鏡で 400 倍, 必要に応じて 1000 倍にて行い, 半分以上壊れ残ったものを一粒, 集粒をなすものを一塊で一粒として計数した. 結果の集計は, 樹木花粉各属の産出率においては樹木花粉総数を, 草本花粉のそれにおいては樹木・非樹木花粉総数を基数の百分率を算出して行った. 樹木花粉が 200 粒以上計数された SJ96 の 178 試料, JZ01 の 104 試料のうち主な分類群の産出率の深度変遷を花粉ダイヤグラム(第 2・3 図)に示す. ただし花粉と胞子の検出数が 100 粒を超えている場合は, 樹木花粉: 非樹木花粉: シダ胞子の比率をダイヤグラムに表記する. なおダイヤグラムに記載しなかった少産花粉は次のとおりである. Cupressaceae, *Platycarya* ※, *Melia*, *Sapium* ※, *Buxus*, *Rhus*, *Aesculus* ※, *Parthenocissus*, *Camelia* +, *Elaeagnus*, *Aucuba*, *Cornus*, Ericaceae, *Symplocos*, *Styrax*, *Ligustrum* ※, *Fraxinus* ※, *Viburnum*, *Lonicera*, *Rumex*, Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, Urticaria, *Ranunculus*, *Thalictrum* ※, *Sanguisorba* ※, Leguminosae, *Trapa*, *Epilobium* ※, *Haloragis*, Umbelliferae, *Nymphoides* ※, Labiatae, *Patrinia* ※, Campanulaceae ※, Cichorioideae, Carduoideae, *Typha*, *Lilium* ※. 末尾の※は SJ96 のみから, + は JZ01 のみからの産出を示す. なお抽出花粉数が少なくダイヤグラムに収載しなかった SJ96 の 86 試料と JZ01 の 95 試料からは, それら以外の分類群は見出されていない.

4. 分析結果

気候的極相をより強く反映する分類群の消長に着目して地域花粉帯を設定して論じる. 帯境界深度は各帯の上限試料と次帯の下限試料の中間とする. ただし SJ96-I 帯・II 帯の境界は不整合面深度に合わせる.

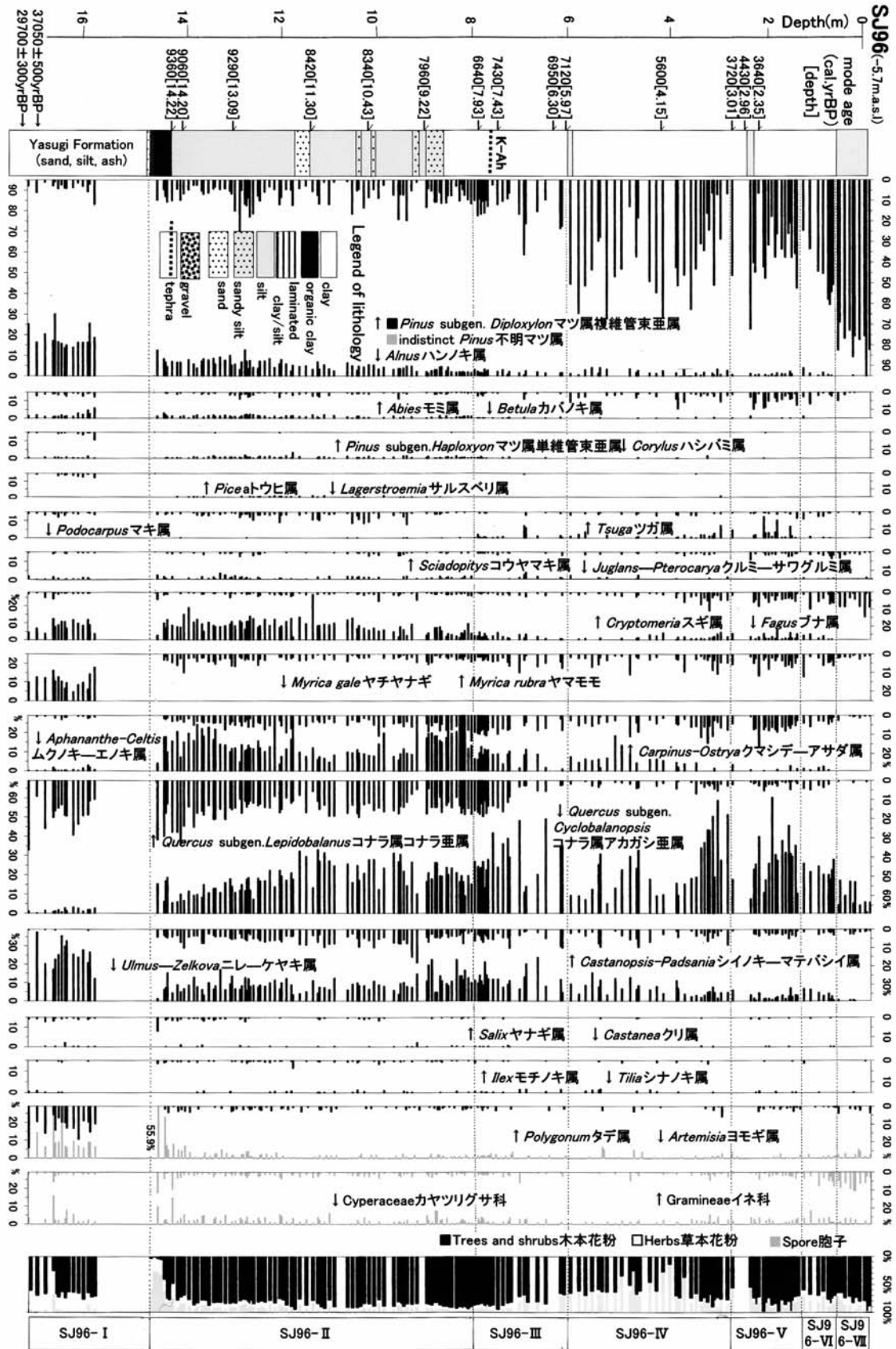
4.1 SJ96 ボーリングの花粉分帯

花粉化石は深度 15.6~14.5 m と 7.2~2.2 m を除くほとんど全ての層準から大量に抽出された. 花粉ダイヤグラムを第 2 図に示す. SJ96 ではコナラ属コナラ亜属(以下単にコナラ亜属と表記)・ブナ属・カバノキ属などの優勢な冷温帯林の特徴を示す花粉組成から, コナラ属アカガシ亜属(以下単にアカガシ亜属と表記)・シイノキマテバシイ属(ダッシュは鑑別不能で and/or を意味する)・ヤマモモ・マキ属などの優勢な暖温帯林の特徴を示す花粉組成へと変化するものが認められる. これらの花粉産出率の特徴から, SJ96-I~VII 帯の局地花粉帯に区分した.

SJ96-I 帯: 深度 17.00~14.83 m. コナラ亜属が約 20%, ブナ属が約 10%, カバノキ属が約 5% 産出する. アカガシ亜属・シイノキマテバシイ属は各々 3% 未満産出する. ニレーケヤキ属が概ね 20~30%, ハンノキ属が約 20%, ヤチヤナギが約 10%, マツ属複維管束亜属が約 5%, マツ属単維管束亜属・モミ属・トウヒ属・ツガ属・クルミ・サワグルミ属・ムクノキ・エノキ属などが各々 5% 未満産出する. 草本花粉が花粉全数の約 30% と全花粉帯中最も多く, タデ属とヨモギ属が各々約 10% 産出する.

SJ96-II 帯: ~8.19 m. コナラ亜属は一旦 30% 強まで増加した後 20% 弱へと漸減し, ブナ属は一旦 10% 強まで増加した後約 5% へと漸減する. 各々前半は SJ96-I 帯より多産する. カバノキ属は約 5% 産出する. アカガシ亜属は約 10% より 20% へと漸増し, シイノキマテバシイ属は概ね 5~10% に増加し, ヤマモモとマキ属が産出し始める. ムクノキ・エノキ属は概ね 10~20%, マツ属複維管束亜属は約 10%, クマシデアサダ属は概ね 5~10%, ツガ属は約 5% に増加し, ハンノキ属とニレーケヤキ属は約 10~20% に減少する.

SJ96-III 帯: ~6.13m. コナラ亜属とブナ属は各々約 5%, カバノキ属は 5% 未満と SJ96-II 帯より減少する. 一方アカガシ亜属は 20~50% と変動幅が大きいものの概ね 30%, マキ属は 5% に増加し, シイノキマテバシイ属は概ね 5~10%, ヤマモモは約



第2図. SJ96の岩相・¹⁴C年代, 花粉ダイアグラムと局地花粉帯. 岩相と年代は高安・出雲古代景観復元チーム(1998), 高安(2001)および山田・高安(2006)に基づく.

Fig. 2. Lithology, ¹⁴C dates, pollen diagram and local pollen zone at JZ01. Columns and ¹⁴C dates are based on Takayasu and the team for reconstruction of ancient environment in Izumo Province (1998), Takayasu (2001) and Yamada & Takayasu (2006).

5%産出する。またマツ属複維管束亜属は概ね10~30%に増加し、ニレーケヤキ属は概ね10~20%、クマシデーアサダ属は約10%産出し、ムクノキーエノキ属は10%強、ハンノキ属は約5%、ツガ属は5%未満に減少する。

SJ96-IV帯:~2.84 m. コナラ亜属・ブナ属は各々5%未満、カバノキ属は2%未満とSJ96-III帯よりさらに減少する。アカガシ亜属は一旦約10%まで減少した後60%まで増加し、シイノキ-マテバシイ属は概ね5~10%、ヤマモモとマキ属は約5%引き続き産出する。マツ属複維管束亜属は10~60%の間で変動を繰り返す。モミ属は概ね5~10%、スギ属は5%強に増加し、ムクノキーエノキ属は10%強、クマシデーアサダ属は約10%、ハンノキ属は約5%産出し、ニレーケヤキ属は概ね5~10%に減少する。孢子の産出率が概ね30~60%と全花粉帯中最高である。

SJ96-V帯:~1.48 m. ブナ属は約5%とSJ96-IV帯よりわずかに増加し、コナラ亜属は引き続き5%未満産出し、カバノキ属はほとんど産出しなくなる。アカガシ亜属は一旦約10%まで減少した後40%に増加し、マキ属は概ね5~10%に増加し、ヤマモモは概ね5~10%産出し、シイノキ-マテバシイ属は約5%弱に減少する。マツ属複維管束亜属は10~70%の間で変動を繰り返す。モミ属とスギ属は各々概ね5~10%に増加し、クマシデーアサダ属は約10%産出し、ハンノキ属・ムクノキーエノキ属・ニレーケヤキ属は各々5%未満に減少する。

SJ96-VI帯:~0.79 m. コナラ亜属・ブナ属は各々5%未満とSJ96-V帯と同程度産出する。アカガシ亜属は約30%弱、シイノキ-マテバシイ属とヤマモモは各々5%未満に減少する。マツ属複維管束亜属は約20%より60%へと増加し、スギ属は概ね5~10%、ニレーケヤキ属は約5%、ムクノキーエノキ属は5%未満産出し、モミ属とクマシデーアサダ属は各々約5%に減少する。草本においてはイネ科が約5%強へと増加する。

SJ96-VII帯:~湖底面。コナラ亜属・ブナ属はほとんど産出しなくなる。アカガシ亜属は約10%弱とSJ96-VI帯より減少する。マツ属複維管束亜属が概ね70~90%、スギ属が約10%に増加する。これら以外の木本花粉はいずれも減少する。

4.2 JZ01 ボーリング

花粉化石は深度22.1~19.0 m, 10.5~6.0 m, 4.5~3.0 m, 2.2~湖底面を除く層準から大量に検出された。花粉ダイアグラムを第3図に示す。JZ01では

コナラ亜属・ブナ属など冷温帯林の特徴を示す花粉を含む組成から、アカガシ亜属・シイノキ-マテバシイ属・ヤマモモ・マキ属などの暖温帯林の特徴を示す花粉の卓越する組成へと変化するの認められる。これらの花粉産出率の特徴から、JZ01-I~VIII帯の局地花粉帯に区分した。

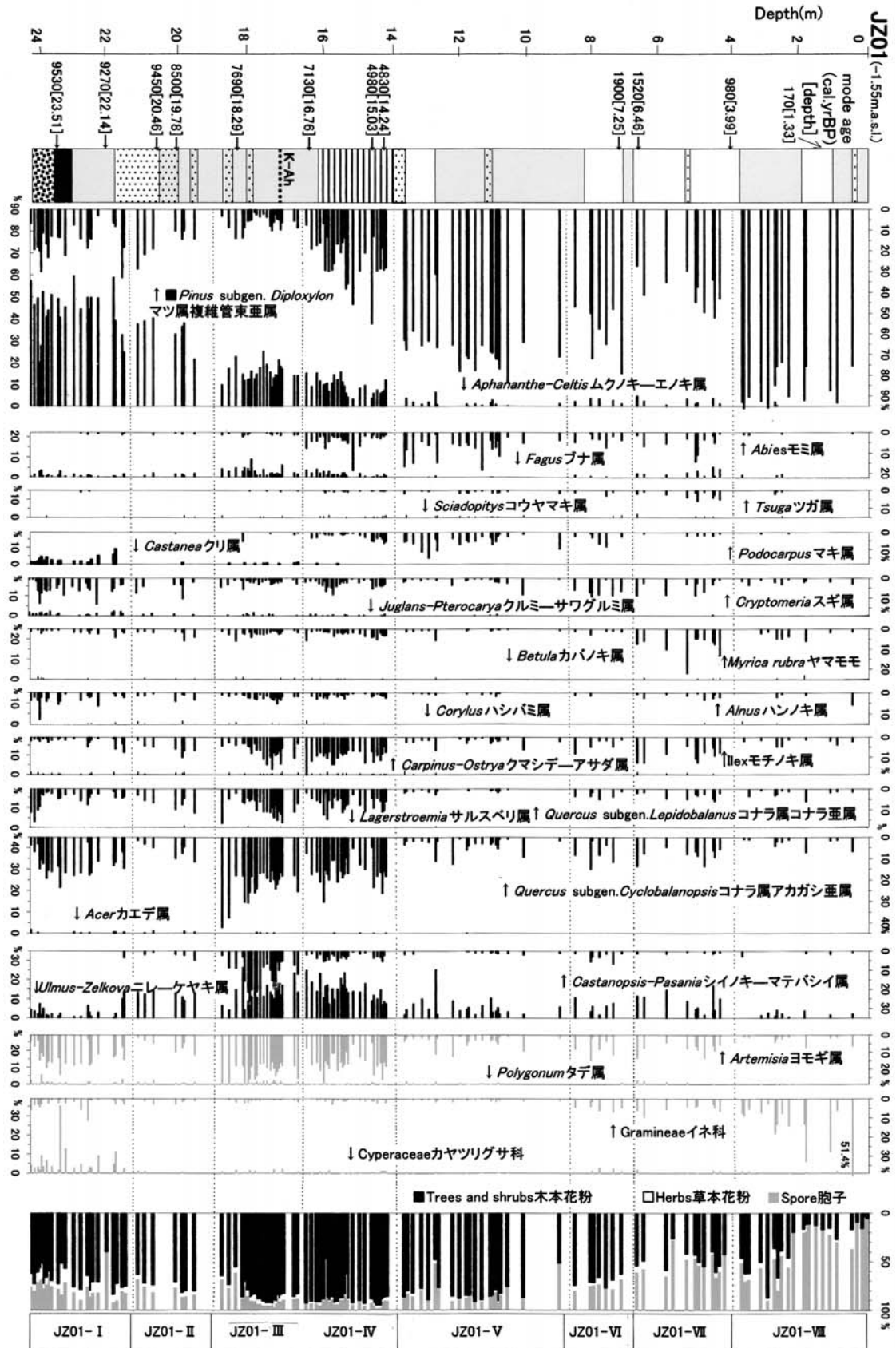
JZ01-I帯:深度24.28 m~21.48 m. コナラ亜属は約5~10%、ブナ属は5%未満各々産出する。アカガシ亜属は約20%、シイノキ-マテバシイ属は5%未満、ヤマモモは5%弱産出する。ムクノキーエノキ属は概ね40~50%、マツ属複維管束亜属は概ね10~20%、スギ属は約10%、クリ属・ハンノキ属・クマシデーアサダ属・ニレーケヤキ属は各々5%未満産出する。

JZ01-II帯:~19.18 m. コナラ亜属は概ね5~10%、ブナ属は5%未満とJZ01-I帯と同程度産出する。アカガシ亜属は概ね5~10%に減少し、シイノキ-マテバシイ属とヤマモモは5%弱に増加し、マキ属が産出し始める。ニレーケヤキ属は約10%強、クマシデーアサダ属は約5%強に増加し、マツ属複維管束亜属は概ね10~20%、スギ属・ハンノキ属は各々5%未満産出し、ムクノキーエノキ属は概ね30~40%、クリ属は1%未満に減少する。

JZ01-III帯:~16.51 m. コナラ亜属は約10%強、ブナ属は5%弱へと各々JZ01-II帯より増加する。アカガシ亜属は概ね20~30%、マキ属は5%弱に増加し、シイノキ-マテバシイ属は約30%まで急増した後K-Ah層準を境に10%に急減し、ヤマモモは約5%産出する。ニレーケヤキ属は概ね10~20%、クマシデーアサダ属は約10%に増加し、スギ属・ハンノキ属は5%未満産出し、ムクノキーエノキ属は約20%に減少する。

JZ01-IV帯:~13.72 m. コナラ亜属は約10%より5%未満へ、ブナ属は5%未満へと各々JZ01-III帯より減少する。アカガシ亜属は約20%より5%へと減少し、シイノキ-マテバシイ属は5%未満に激減する。マキ属は約5%より10%へと増加し、ヤマモモは約5%産出する。マツ属複維管束亜属は概ね10%弱より60%強へ、モミ属は概ね5%未満より10%強へと各々増加し、ニレーケヤキ属は概ね10~20%、スギ属・ハンノキ属は各々5%未満産出し、ムクノキーエノキ属は概ね10%強より5%未満へと減少する。

JZ01-V帯:~10.25 m. コナラ亜属は3%未満へとJZ01-IV帯よりさらに減少し、ブナ属はほとんど産出しなくなる。アカガシ亜属は約5%、シイノキ-



第3図. JZ01の岩相・ ^{14}C 年代, 花粉ダイアグラムと局地花粉帯. 岩相と年代は山田ほか(2004)および山田・高安(2006)に基づく. 岩相の凡例は第2図と同じ.

Fig. 3. Lithology, ^{14}C dates, pollen diagram and local pollen zone at SJ96. Columns and ^{14}C dates are based on Yamada et al. (2004) and Yamada & Takayasu (2006). Legend of lithology is referred to Fig. 2.

マテバシイ属は5%未満へとさらに減少し、ヤマモモはほとんど産出しなくなり、マキ属は約5~10%産出する。マツ属複維管束亜属は概ね60~70%へとさらに増加し、モミ属は約10%、スギ属は約5%産出し、ニレーケヤキ属は5%強、クマシデーアサダ属は5%未満に減少する。

JZ01-VI帯：~6.88 m. コナラ亜属は5%強へとJZ01-V帯より微増する。アカガシ亜属は概ね5~10%、シイノキ-マテバシイ属は約5%、ヤマモモは5%弱に増加し、マキ属は概ね5~10%産出する。スギ属・クマシデーアサダ属・ニレーケヤキ属は各々5%強に増加し、マツ属複維管束亜属は概ね40~60%、モミ属は約5%に減少する。草本においてはイネ科が5%強へと増加する。

JZ01-VII帯：~3.95 m. コナラ亜属は5%強、ブナ属は5%弱とJZ01-VI帯より増加する。アカガシ亜属は引き続き5~10%産出し、シイノキ-マテバシイ属は5%未満、マキ属は5%未満に減少し、ヤマモモは10%弱より20%弱に増加する。ニレーケヤキ属とクマシデーアサダ属は各々10%強、ツガ属は約5%に増加し、スギ属は約10%、モミ属は約5%産出し、マツ属複維管束亜属は概ね30~40%に減少する。

JZ01-VIII帯：~湖底面。コナラ亜属は5%弱、ブナ属は1%未満とJZ01-VII帯より減少する。アカガシ亜属は約5%、シイノキ-マテバシイ属は3%未満に減少する。これら以外の木本も軒並み減少する中でマツ属複維管束亜属のみが概ね70~90%に激増する。草本においてはイネ科が10%弱から50%以上に増加する。

5. 考 察

5.1 古植生・古気候の年代変遷

分析値に近接する松江の1971~2000年の30年間を平均した年平均気温は14.6℃、年間降水量は1799.4 mm (夏季多雨)である(気象庁ホームページ)。暖かさの指数(5℃以上の月平均気温と5℃との差の年間積算値：吉良, 1949)は115℃で暖温带(85~180℃)に含まれ、潜在自然植生はカシ類・シイ類主体の常緑広葉樹林とされる(吉岡, 1973)。標高800 m以上の中国山地にはブナやミズナラ主体の落葉広葉樹林が広く分布し、常緑広葉樹林と落葉広葉樹林の境界部にはモミ-ツガ林が局地的に分布する(文化庁, 1977)。

各花粉帯の年代を、高安(2002)、山田ほか(2004)、

山田・高安(2006)による年代値を帯境界深度に比例配分させて算出した。年代値が逆転するJZ01-I帯・II帯境界年代は近接する他の年代値を考慮して算出し、各々10の位で四捨五入して表記する。

5.1.1 SJ96 ポーリング

SJ96-I帯：開始・終了年代は明らかではないが、 37050 ± 500 yrBP, 29700 ± 300 yrBP (未校正年代：山田・高安, 2006)の年代値が含まれ、少なくとも後期更新世であると考えられる。本帯はコナラ亜属、ニレーケヤキ属ほかの落葉広葉樹が多く、その中にブナ属やカバノキ属などの冷温带性のもものが多く含まれることが特徴である。少量のトウヒ属やマツ属単維管束亜属などを含むことも特徴である。したがって分析地は冷温带落葉広葉樹林に近接し、その周辺山地には亜寒帯針葉樹林も分布する、現世よりかなり冷涼な気候であったと推定される。

SJ96-II帯：9400 頃~7430 cal.yrBP. 本帯は前半における冷温带落葉広葉樹の減少とアカガシ亜属・シイノキ-マテバシイ属などの暖温带常緑広葉樹の増加で特徴づけられる。この群集の入れ替わりの進行は温暖化を示唆し、それは前半においてより急速であったと考えられる。ただし冷温带広葉樹を暖温带広葉樹が明確に凌駕するには至っていないので、現世よりは冷涼であったと考えられる。

SJ96-III帯：7430~7200 cal.yrBP. 本帯の特徴はブナ属・カバノキ属などの冷温带落葉広葉樹の急速な減少とアカガシ亜属とヤマモモなどの暖温带常緑広葉樹の急速な増加である。温暖化がさらに進行したと考えられ、塚田ほか(1989)によると年平均気温が14.5℃を上回るとアカガシ亜属が50%以上およびヤマモモが3%以上出現するとの指摘から、すでに現世と同程度かそれよりやや温暖になっていたと考えられる。

SJ96-IV帯：7200~4270 cal.yrBP. 本帯の特徴は、冷温带広葉樹に対する暖温带広葉樹の比率が全花粉帯で最高であることであり、縄文最温暖期を反映して暖温带林が最も拡大していたと考えられる。またマツ属複維管束亜属が大幅な増減を繰り返しつつ卓越することも特徴である。本地域は7400 cal.yrBP 頃に発達する砂州で湾口が閉鎖されたとされる(中村ほか, 1996; 中村, 2006)ので、この砂州上などにクロマツ林が生育し、不安定な沿岸環境のため消失と再生を繰り返していたことも考えられる。

SJ96-V帯：4270~1780 cal.yrBP. 本帯の特徴は、モミ属・ツガ属と冷温带性のブナ属が増加すること、

暖温帯林の極相林によくみられるマキ属(松岡・三好, 1998)が増加することである。気候が冷涼化に転じたことを反映して周辺山地のモミツガ林やブナを含む落葉広葉樹林が降下し始めたものの、低地は未だ十分に暖温帯林の成熟しうる温暖な気候であったと考えられる。

SJ96-VI帯: 1780 cal.yrBP~西暦 1635 もしくは 39 年。本帯の特徴はスギ属が増加することである。スギの自生地は降水量の多い地域である(林, 1960)ので、湿潤化が示唆される。

SJ96-VII帯: 西暦 1635 もしくは 39 年~現世。本帯の特徴はマツ属複維管束亜属が卓越することで、人為によるアカマツ二次林化の進行が示唆される。

5.1.2 JZ01 ボーリング

JZ01-I帯: 9600 頃~8970 cal.yrBP。本帯の特徴はコナラ亜属とブナ属が減少してアカガシ亜属が増加することである。したがって冷温帯要素を含む落葉広葉樹林から暖温帯常緑広葉樹林への移行が進行しつつある温暖化期であったと考えられる。またムクノキ-エノキ属が非常に多いことも特徴で、分析地周辺の低湿地は暖温帯湿生林(大野, 1990)のムクノキ-エノキ林に覆われていたと考えられる。

JZ01-II帯: 8970~8180 cal.yrBP。本帯の特徴はシイノキ-マテバシイ属、ヤマモモが増加することであり、暖温帯常緑広葉樹林化がさらに進行しつつあったと考えられる。ムクノキ-エノキ属とニレーケヤキ属の多いことも特徴の一つで、引き続き分析地周辺の低湿地は暖温帯湿生林に覆われていたと考えられる。

JZ01-III帯: 8180~6670 cal.yrBP。本帯の特徴はアカガシ亜属とシイノキ-マテバシイ属が増加することである。一層温暖化して暖温帯常緑広葉樹林が広範に拡大したと考えられる。

JZ01-IV帯: 6670~4610 cal.yrBP。本帯の特徴はシイノキ-マテバシイ属が減少することで、このことは例えば本水域が7300 cal.yrBP頃に発達する沿岸砂州による湾口の閉塞のため汽水湖となった(山田ほか, 2004)結果、より潮風に耐性のあるとされる(松下, 1992; 内山, 1998)シイノキ-マテバシイ属が、コナラ亜属やアカガシ亜属に取って代わられたことを示唆する可能性がある。

JZ01-V帯: 4610~3160 cal.yrBP。本帯の特徴はマキ属が増加することで、暖温帯常緑広葉樹林がほぼ極相に達していたと考えられる。マキ属が10%以上出現する気候環境は年平均気温 14.5°C 以上、年有

効降水量 2400 mm 以上(塚田ほか, 1989)との指摘もあり、現世より湿潤であった可能性がある。またマツ属複維管束亜属が増加することも特徴で、4100 cal.yrBP 頃の三瓶火山の活動と海水準低下の相乗効果で沿岸砂州が発達した(山田・高安, 2006)ことを反映して、クロマツ海岸林が拡大したことを示唆する可能性がある。

JZ01-VI帯: 3160~1720 cal.yrBP。本帯の特徴はスギ属が増加することで、湿潤化が推定される。

JZ01-VII帯: 1720~965 cal.yrBP。本帯の特徴はツガ属とブナ属が増加することで、気候が冷涼化に転じたことを反映して周辺山地のモミツガ林やブナを含む落葉広葉樹林が降下し始めたことが推定される。

JZ01-VIII帯: 965 cal.yrBP~現世。本帯の特徴はマツ属複維管束亜属が卓越することで、人為によるアカマツ二次林化が進行したと考えられる。

5.2 既存花粉帯との対比

山陰地方中央部の中海・宍道湖地域においては大西ほか(1990)、渡辺(2005)などによる完新世花粉帯が報告されているので、これらとの対比を試みる(第4図)。

ムクノキ属-エノキ属花粉帯のコナラ亜属帯(10000~9800 cal.yrBP)はコナラ亜属とムクノキ-エノキ属の優先で特徴づけられた(大西ほか, 1990)。対比されると考えられる類似した花粉群集は、SJ96-II帯基底部の深度 14.22~13.90 m (9400 頃~9250 cal.yrBP)と JZ01-I帯下部の 24.28~24.04 m (9600 頃~9530 cal.yrBP)に認められる。既存研究との間に最大約 500 年のずれが認められる。その理由として、完新世初期~鬼界アカホヤ層準にかけての年代指標が少ない既存研究と本研究との間に年代軸の精度の差があることや、不安定に消長する暖温帯湿生林のムクノキ-エノキ林(大野, 1990)の分布が偏っていたことなどが考えられる。ムクノキ属-エノキ属帯のブナ属帯(9800~9600 cal.yrBP)は、ムクノキ属-エノキ属とコナラ亜属が多く、クマシデ属、ニレーケヤキ属、ブナ属などを伴う(大西ほか, 1990)とされる。SJ96-II帯下部の 13.90~13.12 m (9250~9010 cal.yrBP)と JZ01-I帯中・上部の 24.04~21.48 m (9530~8970 cal.yrBP)が対比されると考えられる。既存研究との間に最大約 600 年のずれが認められ、年代軸の精度の差や、多産するハンノキ属・ニレーケヤキ属・ムクノキ-エノキ属などの湿地植物が大幅な増減を繰り返すため、ブナ属

Central Sanin district			This study			
Onishi et al. (1990), modified by Watanabe (2005)			SJ96		JZ01	
Pollen zone	sub zone	age ※(cal.BP)	Pollen zone	age (cal.BP)	Pollen zone	age (cal.BP)
Gramineaeイネ科	<i>Pinus—Cryptomeria</i> マツ属—スギ属		SJ96-VII		JZ01-VIII	
	<i>Pinus</i> マツ属					
<i>Cyclobalanopsis— Castanopsis</i>	<i>Cyclobalanopsis—Quercus</i> アカガシ亜属—コナラ亜属	AD5~12C	SJ96-VI	1780~	JZ01-VII	1720~
	<i>Cryptomeria</i> スギ属	※3000~				
アカガシ亜属— シイノキ属	<i>Podocarpus</i> イヌマキ属	※4500~	SJ96-V	3700~ 4270~	JZ01-VI	3160~ 4610~
	<i>Castanopsis</i> シイノキ属	※6750~				
<i>Pinus—Abies</i> マツ属—モミ属	<i>Cyclobalanopsis</i> アカガシ亜属	※7500~	SJ96-IV	6780~ 7200~	JZ01-IV	6670~
	<i>Ulmus—Zelkova</i> ニレ属—ケヤキ属	※7850~				
<i>Fagus—Tsuga</i> ブナ属—ツガ属	<i>Abies</i> モミ属	※8200~	SJ96-III	7430~	JZ01-III	8180~
	<i>Aphananthe—Celtis</i> ムクノキ属—エノキ属	※8550~				
Aphananthe—Celtis ムクノキ属—エノキ属	<i>Tsuga</i> ツガ属	※9300~	SJ96-II	7850~ 8440~	JZ01-II	
	<i>Carpinus</i> クマシデ属	※9600~				
	<i>Fagus</i> ブナ属	※9800~		9010~		8970~
	<i>Quercus</i> コナラ亜属	※10000		9250~ 9360~	JZ01-I	9530~

SJ96-I late Pleistocene

Alnus—Quercus ハンノキ属—コナラ亜属
Quercus—Alnus コナラ亜属—ハンノキ属

第4図. 山陰中央部の花粉帯 (大西ほか, 1990; 再検討: 渡辺, 2005) と本研究の花粉区分との関係. 年代値は山田・高安 (2006) に基づく.

Fig. 4. Relationship between pollen zone (estimated by Onishi et al., 1990 and revised by Watanabe, 2005) in central Sanin district and pollen division in this study. ^{14}C dates are based on Yamada and Takayasu (2006).

の増加層準を認識しにくいことなどが考えられる.

ブナ属—ツガ属花粉帯のクマシデ属亜帯 (9600~9300 cal.yrBP) はブナ属とツガ属が多く, ツガ属が増加する (大西ほか, 1990) とされる. SJ96-II帯中部の 13.12~11.35 m (9010~8440 cal.yrBP) が対比されると考えられる. 既存研究との間に最大 800 年以上のズレが認められ, 年代軸の精度の差や, ツガ属の分布の偏りなどが考えられる. すなわちツガ *Tsuga sieboldii* (温帯性) が好育する年有効降水量は, 年平均気温が 7~16°C の場合 1600 mm 以上である (塚田ほか, 1989) ので, 地形効果で降水と集水の多い山あいに偏在していたことが考えられ, 事実既存研究 3 地点のツガ属の最高産出率は 10% 強から 30% 強と変異がある. なお, JZ01 にはツガ属の増加が明瞭な層準は見出されず, ツガが海洋性気候の影響のより強い JZ01 地点周辺にほとんど分布していなかったことを示唆する. ブナ属—ツガ属帯のツガ属亜帯 (9300~8550 cal.yrBP) はブナ属とツガ属が多く, ツガ属が極大となるとされる (大西ほか, 1990). SJ96-II帯上部の 11.35~9.2 m (8440~7850 cal.yrBP) が対比されると考えられる. 既存研究と年代が重ならず, 年代軸の精度の差や, ツガ属の分布の偏りなどが考えられる.

ブナ属—ツガ属帯のムクノキ—エノキ属亜帯 (8550~8200 cal.yrBP) は, ブナ属とツガ属が多く, ツガ属はやや減少し, クマシデ属・ムクノキ属—エノキ属などが増加するとされる. マツ属—モミ属帯のモミ属亜帯 (8200~7850 cal.yrBP) は, マツ類・ツガ

属・モミ属などが増加するとされる. マツ属—モミ属帯のニレ属—ケヤキ属亜帯 (7850~7500 cal.yrBP) はマツ属とモミ属が多く, スギ属・ニレ属—ケヤキ属が増加するとされる (以上, 大西ほか, 1990). SJ96-II帯最上部の 9.2~8.19 m (7850~7430 cal.yrBP) と JZ01-II帯の 21.48~19.18 m (8970~8180 cal.yrBP) にはムクノキ—エノキ属・ニレ—ケヤキ属・マツ属複維管束亜属が多い. ただしニレ—ケヤキ属を伴うムクノキ—エノキ湿生林, クロマツ海岸林などが, 温暖湿潤化と海水準上昇やいわゆる冷涼化を示す 8.2 ka イベント (Alley et al., 1997) などに伴う沿岸地形の不安定性を反映して局地的な消長を繰り返していたためか, これらの花粉の産出傾向が一定しないので, 個々の花粉帯に対比することはできなかった.

アカガシ亜属—シイノキ属帯のアカガシ亜属帯は, カシ類・ナラ類・シイ類・クマシデ属・マキ属などが多く (大西ほか, 1990), K-Ah を挟在し (廉・渡辺, 1996), 年代は 7500~6750 cal.yrBP (渡辺, 2005) とされる. SJ96-III帯・IV帯下部の 8.19~5.68 m (7430~6780 cal.yrBP) と JZ01-III帯・IV帯下部の 19.18~16.51 m (8180~6670 cal.yrBP) が対比されると考えられる. SJ96 の年代が既存研究とよく一致するのに対して, JZ01 の開始年代が早くしかもシイノキ—マテバシ属の産出率が高いのは, より温暖湿潤な海洋性気候の効果と考えられる. アカガシ亜属—シイノキ属帯のシイノキ属帯は, マキ属が少なくなり, マツ類・カシ類・ナラ類・シイ類などが

多いとされ(大西ほか, 1990), 年代は 6670~4500 cal.yrBP (渡辺, 2005) とされる. SJ96-IV 帯上部の 16.51~2.84 m (6780~4270 cal.yrBP) と JZ01-IV 帯上部の 16.51~13.72 m (6670~4610 cal.yrBP) が対比されると考えられる. 年代が既存研究とよく一致するのに対して, シイノキ-マテバシイ属の産出率が JZ01 で低く, その理由は JZ01-IV 帯の項で考察した. アカガシ亜属-シイノキ属帯のイヌマキ属亜帯は, カシ類・シイ類が多く, マキ属が増加し(大西ほか, 1990), 年代は 4500~3000 cal.yrBP (渡辺, 2005) とされた. SJ96-V 帯下部の 2.84~2.40 m (4270~3700 cal.yrBP) と JZ01-V 帯の 13.72~10.25 m (4610~3160 cal.yrBP) の花粉群集が対比されると考えられる. 年代は既存研究とよく一致する. アカガシ亜属-シイノキ属帯のスギ属亜帯は, スギ属の増加により特徴づけられ(大西ほか, 1990), 年代は 3000 cal.yrBP~紀元 5 世紀(渡辺, 2005) とされる. SJ96-V 帯上部の 2.40~1.46 m (3700~1780 cal.yrBP) と JZ01-VI 帯の 10.25~6.88 m (3160~1720 cal.yrBP) が対比されると考えられる. SJ96 の開始年代が早いのは, 堆積速度の鈍化による年代軸の精度の低下, あるいはマツ属の多産のためスギ属の増加開始深度を認定しにくいことによると考えられる.

イネ科帯のアカガシ亜属-コナラ亜属帯はイネ科が増加し, カシ類・ナラ類が多く(大西, 1993), 年代は紀元 5~12 世紀とされる(渡辺, 2005). SJ96-VI 帯の 1.46~0.79 m と JZ01-VII 帯・VIII 帯下部の 6.88~1.46 m が対比されると考えられる. イネ科帯のマツ属帯はマツ類が急増するとされる(大西, 1993). SJ96-VII 帯下部の 0.79~0.24 m と JZ01 の VIII 帯中部の 1.46~0.68 m の群集が対比されると考えられる. イネ科帯のマツ属-スギ属帯はマツ属が卓越しスギ属が増加し始める(大西, 1993) とされ, SJ96-VII 帯上部の 0.24 m より上位と JZ01-VIII 帯上部の 0.68 m より上位の群集が対比されると考えられる.

6. ま と め

島根県東部の完新統ボーリングコアの花分析を実施した. 9500 cal.yrBP 頃, 宍道湖 SJ96 においてはブナ属やコナラ亜属を主体とする冷温帯落葉広葉樹林が卓越し, より温暖で海洋性気候の影響の強い神西湖 JZ01 においてはアカガシ亜属やシイノキ-マテバシイ属を主体とする暖温帯常緑広葉樹林化が進んでいた. 温暖化の結果, 7000 yrBP 頃には両サイトとも暖温帯林が卓越するに至った. その後冷涼化

に伴う海退などのため拡大した砂州にクロマツ海岸林が成立するなどしたが, なお十分に温暖であったため, SJ96 では 4300 cal.yrBP 頃, JZ01 では 3200 cal.yrBP 頃にかけて暖温帯林の極相林化が進んだ. 以降は冷涼化の影響がスギ属やブナ属の増加として顕れた.

既存完新世地域花粉帯を参照すると, 対比しうる群集が各々見出されたものの, 花粉帯の年代が一致しない層準が認められた, その理由として分布が局地的で消長が激しくなりがちな湿地性樹木の産出率が高いことや, 既存の研究の年代軸の精度が低いことの影響が考えられた.

謝 辞

2001 年度に島根大学汽水域研究センターにて分析を実施した折多大なご協力を下さった研究所関係の方がた, ならびに査読をしてくださった方がたに感謝します.

文 献

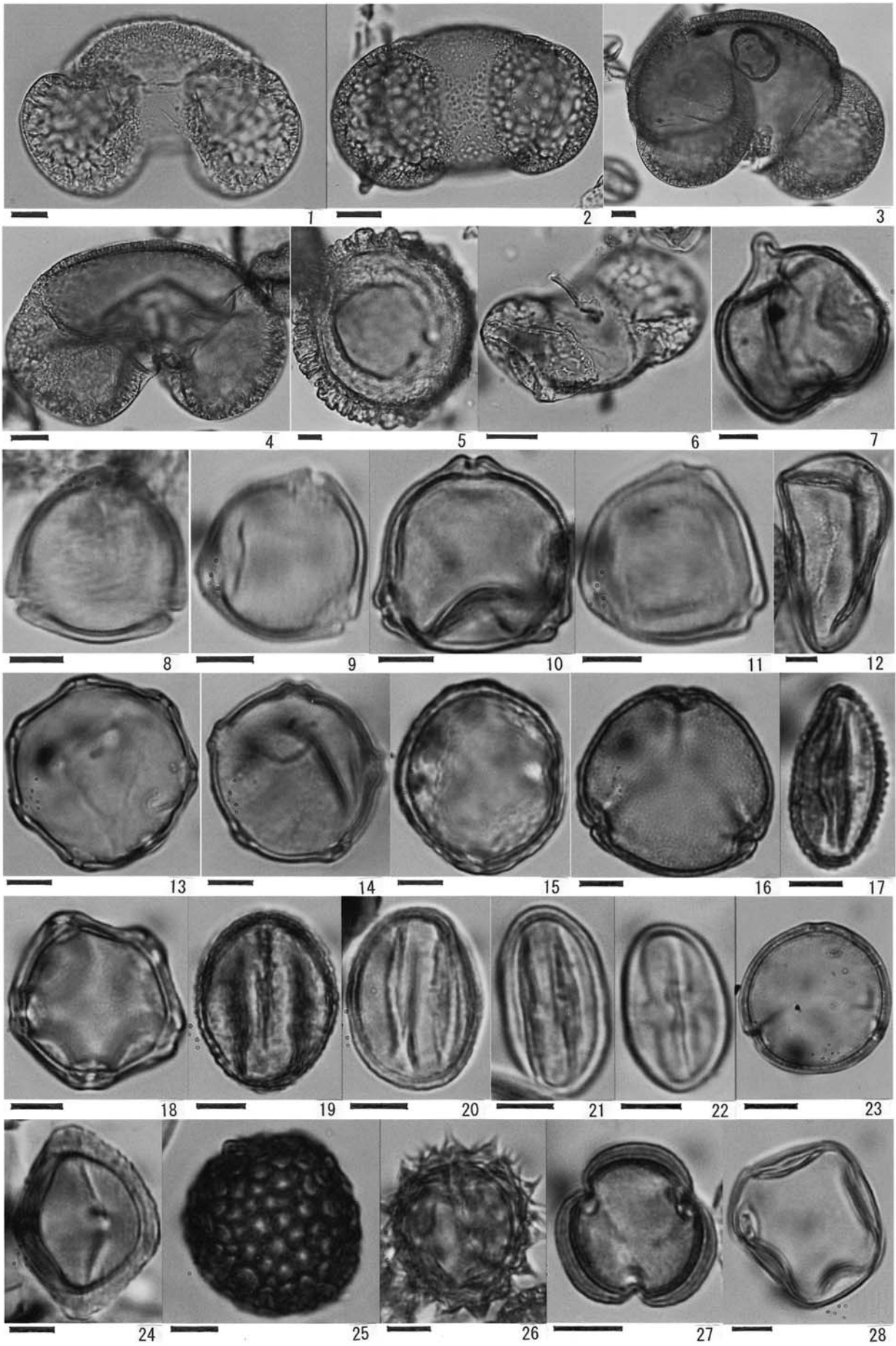
- Alley, R.B., Mayewski, P.A., Sowers, T., Stuiver, M., Taylor, K.C. and Clark, P.U. (1997) Holocene climatic instability: A prominent widespread event 8200 yr ago. *Geology*, 25: 483-486.
- 文化庁(1977) 天然記念物緊急調査. 植生図・主要動植物地図-32 島根県. 財団法人国土地理協会, 東京, 31pp (地図 2 葉).
- 福沢仁之(1995) 天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年縞堆積物. 第四紀研究, 34: 135-149.
- 林 弥栄(1960) 日本産針葉樹の分布と分類. 農林出版, 東京, 246pp.
- Hopkins, J.S. (1950) Differential flotation and deposition of coniferous and deciduous tree pollen. *Ecology*, 31: 633-641.
- 鹿野和彦・竹内圭史・大嶋和雄・豊 遥秋(1989) 大社地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 茨城, 26pp.
- 吉良竜夫(1949) 林業解説シリーズ 17 日本の森林帯. 日本林業技術協会, 東京, 36pp.
- 町田 洋・新井房夫(1978) 南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ-アカホヤ火山灰. 第四紀研究, 17: 143-163.
- 松岡数充・三好教夫(1998) 最終氷期最盛期以降の照

- 葉樹林の変遷—東シナ海東部から日本海沿岸を中心として. 図説 日本列島植生史 (安田喜憲・三好教夫編), 朝倉書店, 東京, 302pp.
- 松下まり子(1992)日本列島太平洋岸における完新世の照葉樹林発達史. 第四紀研究, 31: 375-387.
- 三位秀夫・水野篤行・大嶋和雄(1969)出雲海岸平野の問題点. 日本地質学会シンポジウム「海岸平野」資料集: 167-171.
- 中村 純(1967)花粉分析. 古今書院, 東京, 232pp.
- 中村唯史(2006)山陰中部地域における完新世の海面変化と古地理変遷. 第四紀研究, 45: 407-420.
- 中村唯史・徳岡隆夫・大西郁夫・三瓶良和・高安克己・竹広文明・会下和宏・西尾克己・渡辺正巳(1996)島根県東部の完新世環境変遷と低湿地遺跡. LAGUNA (汽水域研究), 3: 3-9 (口絵 I~VIII).
- 大西郁夫(1977)出雲海岸平野下第四紀堆積物の花粉分析. 地質学雑誌, 83: 603-616.
- 大西郁夫(1993)中海・宍道湖における過去 2000 年間の花粉分帯と植生変化. 地質学論集, 39: 33-39.
- 大西郁夫(1994)斐伊川河口ボーリング HB1 の花粉分析結果の再検討. 島根大学地質学研究報告, 13: 31-36.
- 大西郁夫・干場英樹・中谷紀子(1990)宍道湖底下完新統の花粉群. 島根大学地質学研究報告, 9: 117-127.
- 大野啓一(1990)暖温帯湿生林. 日本植物群落図説 (宮脇 昭・奥田重俊編著), 至文堂, 東京, 800pp.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edward, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Ramsey, C.B., Reimer, R.W., Rammele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C.E. (2004) IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. Radiocarbon, 46: 1029-1058.
- 高安克己(2001)汽水域を作る地形とその生い立ち. 汽水域の科学 (高安克己編), たたら書房, 鳥取, 183pp.
- 高安克己・古代出雲景観復元チーム(1998)コア SJ96 の概要と宍道湖の古環境変遷. LAGUNA (汽水域研究), 5: 1-13.
- 田村嘉之・丹後雅憲・井内美郎・徳岡隆夫(1996)宍道湖における 17 世紀初頭の汽水から淡水への環境変化—コアの CT 画像解析と堆積, C・N・S 元素分析による検討—. LAGUNA (汽水域研究), 3: 49-56.
- 塚田松雄・畑中健一・杉田真哉(1989)アジアの亜熱帯・暖温帯域における第四紀末の植生史. 日本植生誌 沖縄・小笠原 (宮脇 昭編), 至文堂, 東京, 676pp.
- 内山 隆(1998)関東地方の植生史. 図説 日本列島植生史 (安田喜憲・三好教夫編), 朝倉書店, 東京, 302pp.
- 渡辺正巳(2002)山陰地域中央部における縄文時代の花粉組成変遷—*Cyclobalanopsis*-*Castanopsis* 帯の再設定と気候変化, 野尻湖花粉層序との比較—. 野尻湖ナウマンゾウ博物館研究報告, 10: 17-28.
- 渡辺正巳(2005)出雲地域における花粉組成変遷と「歴史」による解釈. 日本第四紀学会講演要旨集, 35: 159-160.
- 渡辺正巳・会下和宏(1996)島根大学構内遺跡第 1 次発掘調査における花粉分析. 山陰地域研究 (自然環境), 13: 41-48.
- 山田和秀・高田裕行・高安克己(2004)島根県神西湖堆積物の層序と完新世環境変遷史. LAGUNA (汽水域研究), 11: 135-145.
- 山田和秀・高安克己(2006)出雲平野-宍道湖地域における完新世の古環境変動—ボーリングコア解析による検討—. 第四紀研究, 45: 391-405.
- 吉岡邦二(1973)生態学講座 12 植物地理学. 共立出版, 東京, 84pp.
- 廉 鐘權・渡辺正巳(1996)波根湖における OH94 ボーリング試料の花粉分析. 島根大学地球資源環境学研究報告, 15: 41-46.

次ページ 図版 1. SJ96 コア中の花粉化石.

Plate 1. Pollen fossils from the SJ96 core. Scale bars are 10 μ m in length.

1. *Pinus* subgen. *Diploxylon* (7.85 m),
2. *Pinus* subgen. *Haploxylon* (16.02 m),
3. *Abies* (16.02 m),
4. *Picea* (16.02 m),
5. *Tsuga* (16.02 m),
6. *Podocarpus* (7.32 m),
7. *Cryptomeria* (16.02 m),
8. *Myrica rubra* (0.81 m)
9. *Myrica gale* (16.67 m),
10. *Betula* (16.02 m),
11. *Corylus* (7.31 m),
12. Cyperaceae (16.02 m),
13. *Juglans-Pterocarya* (16.02 m),
14. *Carpinus-Ostrya* (16.02 m),
15. *Ulmus-Zelkova* (16.02 m),
16. *Fagus* (16.02 m),
17. *Salix* (16.02 m),
18. *Alnus* (16.02 m),
19. *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* (16.02 m),
20. *Quercus* subgen. *Cyclobalanopsis* (7.32 m),
21. *Castanea* (7.32 m, 20 μ m),
22. *Castanopsis-Pasania* (7.85 m),
23. *Aphananthe-Celtis* (16.02 m),
24. *Lagerstroemia* (9.51 m),
25. *Polygonum* (16.02 m),
26. Carduoideae (16.02 m),
27. *Artemisia* (16.02 m),
28. Gramineae (16.02 m)



塩分と水温に応じたサルボウ (*Scapharca kagoshimensis*) の濾過速度と生残率の変化

宮本 康¹・初田亜希子¹

Changes in filtering and survival ratios of the ark shell *Scapharca kagoshimensis* depending on salinity and temperature.

Yasushi Miyamoto¹, Akiko Hatsuda¹

Abstract: To clarify the optimal environmental conditions for the ark shell *Scapharca kagoshimensis* in the brackish lagoon Nakaumi, its filtration and survival rates under various salinity (9.4-31.4 psu) and temperature (8-31d) were examined by laboratory experiments. The filtration rate varied with varying salinity and temperature conditions. The rate was highest at intermediate salinity (18.8-22.0 psu) and lowest at low salinity (9.4 psu). Under the low salinity condition, filtration was not observed. In addition, the filtration rate was highest at summer temperature (27d) and lowest at winter one (8d). The survival rate also varied with varying salinity and temperature conditions. Dead individuals were only observed under the combination of hot summer temperature (31d) and low salinity (9.4-15.7 psu) conditions. In particular, the combination of 31d and < 12.2 psu was critical for the shell, the survival rates were 0% and 25% at 9.4 psu and 12.2 psu, respectively. In the lagoon, where halocline is maintained whole through the year, the critical temperature and salinity for the shell's filtration activity and survival were only recorded in shallow zones above halocline. Therefore, it is suggested that shallow zones above halocline is not suitable habitat for the ark shell.

Key words: *Scapharca kagoshimensis*, filtration rate, survivorship, salinity, temperature

はじめに

中海はかつて日本屈指のサルボウ (*Scapharca kagoshimensis*) の産地であった。その当時、本種による湖水の濾過、および日本一の水揚げによる窒素やリンの持ち出しは、かつての清澄な中海を形作る上で重要な役割を担っていたに違いない。しかし 1950 年代以降、本湖における富栄養化の進行と同調して、本種の水揚げは著しく減少した(島根県農林水産部, 2006)。こうした資源量と水揚げの減少は湖底への有機物負荷を増大させ、栄養塩の内部負

荷を高めることで、今日の深刻な富栄養化の一因となっていることが十分に予想される。したがって、中海における本種の再生は、漁業振興のみならず、水質改善にも一石を投じるものと期待される。

中海におけるサルボウの分布は、古今を問わず、海水の流入と密接な関わりを持っているようである。大正時代中期におけるサルボウの主な漁場は大根島より南側の東部水域であったが、昭和初期にはこの漁場は荒廃し、南西水域と大根島北部の本庄水域へと移った(島根県水産試験場, 1920; 1934)。その主な理由は、境港の突堤延長による中海と日本

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

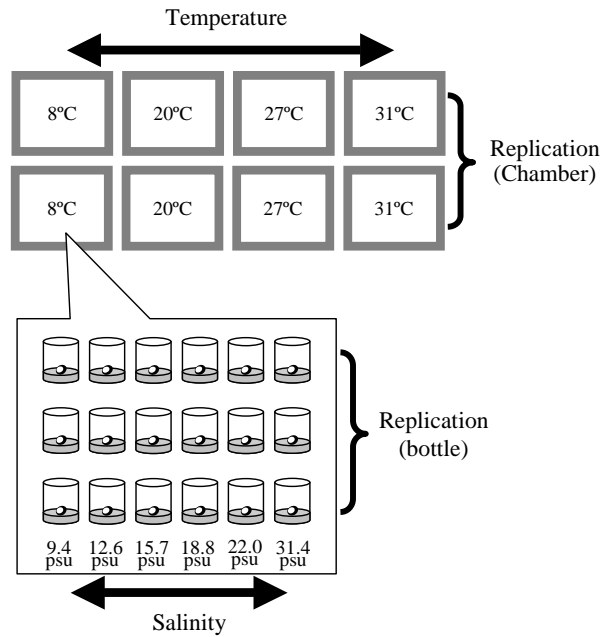


図 1. 本実験の概念図.

Fig. 1. Schematic diagrams of the experimental design.

海の中の海水交換の減少であったと考えられている(早栗, 1955; 鳥取県水産試験場, 1959). その後, 漁場は本庄水域となり, 本種が中海の漁業統計から姿を消す直前の昭和 40 年代後半になると, 主な漁場は海水の流入口に最も近い江島近辺となった(門脇, 2005). そして現在, 本種の主な分布域は, 海水の流入口に近い大根島の東沖となっている(Sakurai et al., 2007). これら一連の報告は, サルボウの分布が海水流入の強い影響下にあることを強く示唆している.

では, サルボウの生息は, 海水流入に応じて変化するどのような環境要因に制限されるのか. 先行研究は, 特に塩分と溶存酸素, 底質の性状の影響を指摘している(福原ほか, 1986; 真崎・小野原, 2003; Nakamura, 2005). 中でも塩分は, 中海のような汽水湖では時間的・空間的に大きく変動するため, 生物の生息を決定する重要な要因として注目されている(Jeppesen et al., 1994; Yamamuro, 2000; 宮本, 2004). 同様に, サルボウの生息も塩分の強い影響下にある. 例えば, 本種の濾過速度や生残率は低塩分下で低下することが報告されている(福原ほか, 1986; Nakamura, 2005). しかし, 生物の塩分耐性は季節的に変化するが十分に予想されるにも拘わらず, 水温に応じた塩分耐性を調べた事例はない. こうした情報は, 今後, 中海においてサルボウの再生を試みる上で, 例えば再生の適地選択の折に不可欠なものになると思われる.

そこで本研究は, サルボウの塩分依存的な濾過速度と生残率が, 水温に応じてどのように変化するのかを室内実験により検証した. 中海で生じる塩分と水温の様々な組み合わせを室内で再現し, 各条件下における本種の濾過速度と生残率を定量化した. そして, 本実験の結果を踏まえて, 本種の活性を最大にする条件と致命的な条件を明らかにし, 最後に, 今日の中海においてどのような環境要因がサルボウの生息を制限しているのかを考察した.

方 法

材料と調査地

中海は高塩分の汽水湖であり, 水深 3–4 m に明瞭な塩分躍層が季節に関係なく形成されている(清家, 2001). 上層の塩分は変動が大きい反面(約 10–20 psu), 下層の塩分は比較的安定している(約 30 psu)(Ishitobi et al., 2000). 今日におけるサルボウの生息は局所的であり, 大根島の東部水域に集中しているようである(Sakurai et al., 2007). 2006 年の夏季に採集されたサルボウは 2 齢と思われる個体の出現頻度が最も高かった.

サルボウの飼育と実験方法

本実験で用いたサルボウは, 中海の米子空港沖(水深 6–7 m, 塩分約 28 psu)で SCUBA 潜水により採集した. 採集した個体は室内の水槽内でエアレーションを施し, 室温下で畜養した. 畜養時は珪藻(*Chaetoceros gracilis*, ヤンマー製品)を一日に 1 回給餌した.

塩分と水温に応じたサルボウの濾過速度の変化を明らかにするために, 個体群の主要な構成要素である 2 齢以上の個体(殻長 > 20 mm, 軟体部乾燥重量 > 120 mg)を用いて室内実験を行った. 塩分は 6 段階, 水温は 4 段階に設定し, 全 24 通りの組み合わせの下でサルボウ個体の濾過速度と生残率を定量化した(Fig. 1). 中海の湖心では水温が約 5–30°C の範囲で変動することを考慮し(Ishitobi et al., 2000), 冬季の代表水温として 8°C, 春季と秋季の代表水温として 20°C, 夏季の代表水温として 27°C, そして, 猛暑年の夏季水温として 31°C を設定した. 一方, 塩分の設定に関しては, 中海湖心の塩分が約 10–30 psu の範囲で変動すること(Ishitobi et al., 2000), 15 psu の前後でサルボウの濾過速度が大きく変化すること(Nakamura, 2005)を考慮した. そして, 10–30 psu の範囲で 15 psu 近傍における濾過速度の変化を

検出しやすくするために、9.4・12.6・15.7・18.8・22.0・31.4 psu の6段階を設定した。塩分の調整は日本海で採水した海水 (31.4 psu) を濾過した後、脱イオン水で希釈することで行った。また、水温は恒温チャンバーを用いて設定した。このチャンバーは1つの温度のみが設定可能なため、1回の実験で1水温-6塩分の設定を3反復ずつ設けた (Fig. 1)。そして、各水温の実験を2回ずつ行い、合計8回の実験 (4水温×2反復) を行った (Fig. 1)。全体で、1つの塩分と水温に対して6反復 (3恒温層内反復×2恒温層間反復) を設け、合計144個体のサルボウを実験に供した。

飼育方法

約3 cmの厚さに砂を敷いた円筒型のプラスチック製容器 (直径95 mm, 高さ160 mm, 容積1000 mL) に、GF/Cで濾過後、脱イオン水を用いて設定塩分に調整した海水800 mlを入れた。そこに畜養した2齢以上の個体を殻高と殻長を測定した後に1個体ずつ入れ、これを恒温チャンバーに設置して給気を施した。その後、チャンバー内の温度を設定温度に調整した。

特定の塩分条件におけるサルボウの濾過速度は5日間の飼育で安定することが Nakamura (2005) の実験で示されている。そこで、実験開始の翌日 (1日目) より5日間、Nakamura (2005) に準じた飼育を行った。まず、各個体を前日の飼育に用いた水100 mlとともにビーカーに移した。その後、残りの飼育水を捨て、砂を濾過海水で洗浄した後、設定水温に加温・減温した飼育水700 mlを飼育容器に加え、最後にサルボウ個体を前日の飼育水100 mlとともに飼育容器へ戻した。飼育水は設定塩分に調整した海水に、ヤンマー製品の珪藻 (*Chaetoceros gracilis*) を海水700 mlあたり15 ml加えたものである。本製品の細胞密度は1億 cells/mLである。

飼育水の交換の際に個体の生死を確認した。個体の死亡は (1) 殻が開いており刺激を与えても反応がない、もしくは (2) 殻の閉じ方が不完全で、かつ腐臭がすることを基準に判定した。

濾過速度の測定

サルボウ個体の濾過速度を定量化するため、サルボウ個体による接餌前・後の飼育水の Chl.a 濃度を実験最終日 (5日目) に測定した。上記の要領で飼育水を交換し30分間静置した後、接餌前の採水 (50 ml) をガラス製シリンジを用いて行った。その後2

時間が経過した後、同様に接餌後の採水を行った。そして、これらの Chl.a 濃度を測定した後、以下の式 (1) を用いてサルボウの濾過速度を算出した。

$$CR = ([V/t_s] \cdot \ln[C_0/C_1] - CR^*)/w_i \quad (1)$$

ここで V は飼育容器内の飼育水の容積、 C_0 と C_1 は接餌前と後 (t_s 時間後) の Chl.a 濃度、そして w_i は実験に供した個体 i の軟体部乾燥重量である。 w_i は実験に供した個体から無作為に抽出した29個体を対象に算出した以下のアロメトリー式 (2) を用いて求めた。

$$\text{Log}(w_i) = 2.359 \text{Log}(L_i) - 0.954 \quad (2)$$

ここで w_i は個体 i の軟体部乾燥重量、 L_i は個体 i の殻長である。軟体部乾燥重量は各個体の軟体部を80°Cのオーブン中で3日間乾燥した後に測定した値である。なお、このアロメトリー式の回帰係数は0.849であった。

式 (1) の CR^* はサルボウがいない状態での見かけ上の濾過速度であり、以下の式 (3) で表される。

$$CR^* = (V/t_s) \cdot \ln(C_0^*/C_1^*) \quad (3)$$

ここで C_0^* と C_1^* は実験開始時と後 (t_s 時間後) の Chl.a 濃度である。 CR^* の測定は本実験で設定した全ての塩分と水温の組合せの下で行った。

統計解析

塩分と水温が濾過速度に与える影響を評価するために Split-plot design による分散分析を行った (Underwood, 1997)。チャンバーの効果が水温の効果にネストしていることを考慮し (Fig. 1)、以下のモデル式 (4) を用いた分析を行った。

$$CR = \mu + S + T + B(T) + S \cdot T + S \cdot B(T) + \varepsilon \quad (4)$$

ここで μ は全平均、 S は塩分による変動、 T は水温による変動、 $B(T)$ はチャンバーによる変動、そして ε は誤差である。分散分析では検出力を向上させるために従属変数を対数等に変換することが一般的であるが (Sokal and Rolf, 1995)、本分析の従属変数にあたる濾過速度 (CR) が対数値として算出されていること考慮し (式 (2) 参照)、変数変換は行わなかった。なお、水温31°Cでは死亡個体が現れ、濾

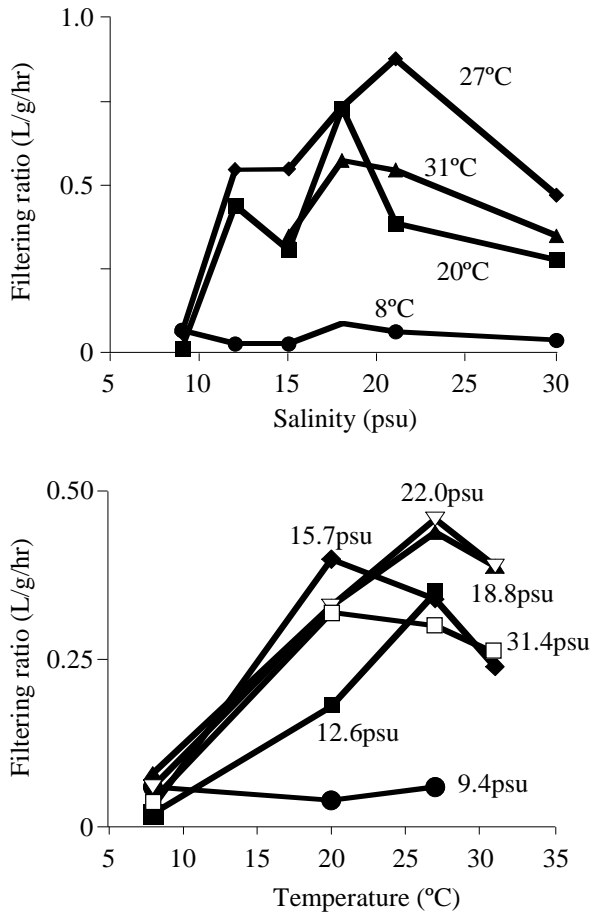


図2. 塩分と水温がサルボウの濾過速度に与える影響.

Fig. 2. Effects of salinity (upper) and temperature (lower) on the filtration rate of *Scapharca kagoshimensis*.

過速度の測定が行えないことが多かったため、この分散分析では水温 8°C・20°C・27°Cの結果のみを用いた。以上の分散分析は、SPSS 11.0J (SPSS Inc.)を用いて行った。

結 果

濾過速度

サルボウの濾過速度は塩分に応じて変化した ($F_{Sal} = 6.48, P < 0.001$)。中程度の塩分 (18.8~22.0 psu) で濾過速度は最大になる反面、低塩分 (9.4 psu) で最小となる傾向が、水温 20・27・31°Cの下で認められた (Fig. 2)。しかし、水温 8°Cの下では、そのような塩分変化に応じた濾過速度の変化は認められなかった (Fig. 2)。この水温に応じて塩分と濾過速度の関係が変化する傾向は、統計的に有意であった ($F_{Sal \times Temp} = 2.15, P < 0.05$)。

また、本種の濾過速度は水温に応じて変化した

た ($F_{Temp} = 29.41, P < 0.001$)。水温に応じた濾過速度の変化は、中程度の塩分の下 (18.8~22.0 psu) で顕著であり、濾過速度は水温 27°Cで最大、そして 8°Cで最小となった (Fig. 2)。しかし、9.4 psuの塩分下では、そのような水温変化に応じた濾過速度の変化は認められなかった (Fig. 2)。上記のように、塩分と水温の効果の交互作用が有意であったことから ($F_{Sal \times Temp} = 2.15, P < 0.05$)、塩分に応じて水温と濾過速度の関係が変化する傾向は、統計的にも裏付けられた。

生残率

サルボウの生残率も塩分と水温に応じて変化した (Fig. 3)。5日の飼育期間における生残率は、水温 31°Cにおける海水の 1/3 (12.6 psu) 以下の条件で著しく低下し、9.4 psuの塩分下で 0%、12.6 psuで 25%であった (Fig. 3)。なお、18.8 psu以上の塩分下では死亡が認められなかった。

考 察

サルボウの濾過速度は塩分と水温に応じて変化した。濾過速度は中程度の塩分 (18.8~22.0 psu) で最大になることが明らかになった (Fig. 2)。塩分低下による濾過速度の低下は有明海のサルボウでも報告がある (Nakamura, 2005)。有明海の個体は 15 psu (海水の約半分) 未満の塩分で濾過活動が認められなくなり、かつ、塩分が 10 psuを下回ると潜砂行動も見られなくなることが報告されている。中海のサルボウを用いた本研究においても同様の傾向が認められた。12.6 psu以下の塩分で濾過速度が著しく低下し (Fig. 2)、かつ、9.4 psuでは潜砂行動が認められなくなった。Nakamura (2005) は水温 18°Cで塩分低下に応じた濾過速度の低下を見出したが、こうした塩分低下に応じた濾過速度の低下傾向は、水温に拘わらず一貫していることが本研究の結果より明らかになった。したがって、低塩分は水温に拘わらずサルボウの濾過活動に不適であると結論できる。

また、濾過速度は高塩分の下 (31.4 psu) でも低下することが明らかになった (Fig. 2)。しかし、高塩分下における濾過速度の低下は低塩分下ほど顕著ではなく、かつ常に潜砂行動が認められた。そして、この傾向は全ての水温条件で共通していた。したがって、海水に近い高塩分は、本種の濾過速度に若干の低下を引き起こすものの、濾過活動を停止させるほど不適なものではないと言える。

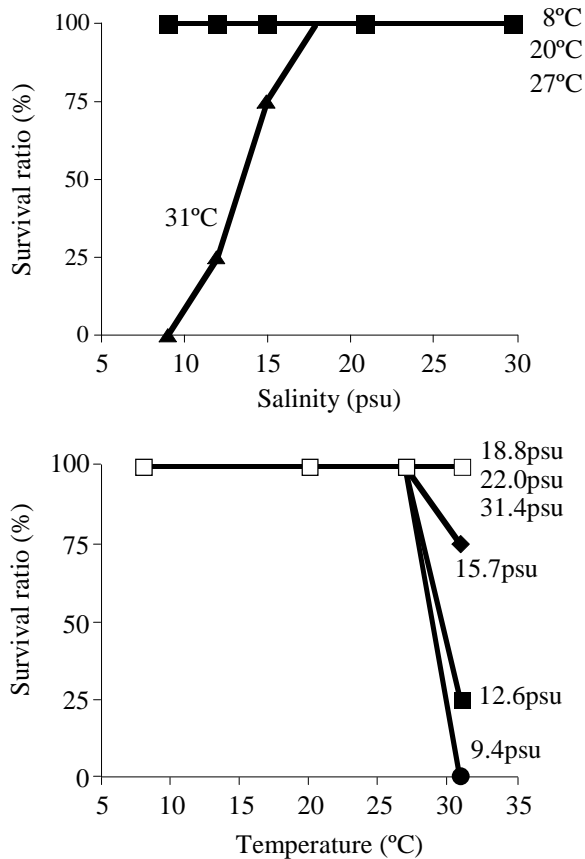


図3. 塩分と水温がサルボウの生残に与える影響。
Fig. 3. Effects of salinity (upper) and temperature (lower) on the survival of *Scapharca kagoshimensis*.

水温に応じた濾過速度の変化は、中程度の塩分下で顕著であった (Fig. 2). 濾過速度は 18.8 psu と 22.0 psu の塩分下では水温 27°C で最大、反対に 8°C で最小となった. なお、水温 8°C では塩分に拘わらず濾過活動がほとんど認められなかった (Fig. 2). 20°C 以下の水温における本種の水温低下に応じた濾過速度の低下は有明海の個体でも認められている (Nakamura, 2005). 一方、水温 20°C 以上での水温と濾過速度の関係は報告例がない. 本研究では、27°C の水温で濾過速度が最大になり、さらに 31°C になると濾過速度がやや低下することが示された. 27°C が夏季の代表水温であり 8°C が冬季の代表水温であることを考慮すると、中海産サルボウの濾過活動は冬季に著しく低下し、夏季に最大になると結論できる.

生残率も塩分と水温に応じて変化する傾向が認められた. 中海産サルボウの生残率は、猛暑年の夏季水温 (31°C) における低塩分条件 (<12.6 psu) で著しく低下した (Fig. 3). こうした高水温、低塩分の条件は、中海では 7-8 月の浅場環境に該当する. 過

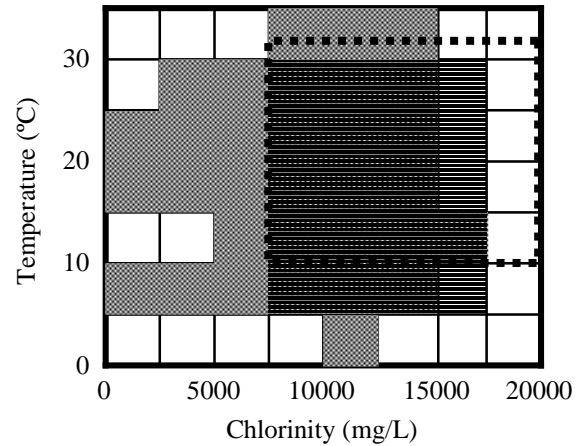


図4. 中海の上層 (薄い領域)・下層 (濃い領域) における水温と塩分の変動域とサルボウの活動できる領域 (破線の内側). 水温と塩分の領域は湖心における過去 15 年間 (1990-2004) の情報に基づく (国土交通省水門水質データベース).

Fig. 4. Schematic representation of the results: Temporal variations in salinity and temperature in epilimnion (light shade) and hypolimnion (dark shade) during past 15 years (1990-2004) at the center of lake Nakaumi in comparison with active conditions (inside the broken line) for *Scapharca kagoshimensis*.

去約 80 年間における松江气象台の観測結果は、中海周辺は 7 月が一年を通して降水量が最も多いことを示している (気象統計情報). さらに、夏季における降水量の増加は、躍層上部の浅場の塩分低下を伴う一方、躍層下部の深場の塩分低下は伴わないことが示されている (福井ほか, 1997). これらの点から、沿岸域の浅場は、夏季にはサルボウにとって致命的な条件になりやすいことが示唆される.

明瞭な塩分躍層が形成される中海では、塩分と水温の変動幅が浅場と深場で大きく異なる. 前述の通り、塩分・水温ともに浅場 (躍層上部) における変動幅は、深場 (躍層下部) に較べて著しく大きい (Fig. 4). 浅場の塩分と水温の変動領域は、サルボウが摂餌を行えない領域にも大きな広がりをもつことに加え、致命的な領域とも重複がある (Fig. 4). これに対し、深場の塩分と水温の変動領域はサルボウが摂餌を行う領域と重複が大きいことに加え、致命的な領域との重複がない (Fig. 4). したがって、塩分と水温の環境に関しては、中海産サルボウの生息に適しているのは躍層上部の浅場ではなく、躍層下部の深場であることが示唆される. この点は、中海におけるかつての主なサルボウ漁場が塩分躍層の下部にあたる水深 6 m 前後の深場であった事実とも符合する (島根県水産試験場, 1920).

しかし、今日の中海では、深場の広い水域においてサルボウの生息が認められていない。この事実は、塩分と水温以外の環境要因が今日におけるサルボウの生息域を制限していることを示唆している。そして、そのような要因として溶存酸素と底質が候補に挙げられている。中海においてサルボウの生息適所を把握して漁場を再生し、湖内に健全な物質循環を取り戻すために、今後、溶存酸素と底質を含む他の環境要因が本種の濾過速度と生残率に与える影響を評価する必要がある。

謝 辞

中海漁業協同組合の石倉正夫氏と島根大学生物資源科学部の山口啓子博士には、中海におけるサルボウの空間分布に関する情報を提供していただいた。また、中海でのサルボウ採集の折は、島根大学中海分室の松本貞夫氏にご協力いただいた。さらに、中海の塩分と水温の情報を得るために、国土交通省の水門水質データベースを利用させていただいた。以上の機関と方々に、この場を借りて厚くお礼申し上げます。なお、本研究は鳥取県衛生環境研究所の調査研究「アマモ・サルボウを用いた中海の水質浄化に関する研究」(2007年4月～2009年3月)の一環として実施した。

引用文献

福井克也・山根恭道・清川智之・内田 浩・中村幹雄 (1997) 宍道湖・中海水産振興対策検討調査事業貧酸素水調査。鳥根県水産試験場事業報告(平成9年度): 247-261。
 ルボウ養殖種苗の塩分耐性。南西水研報 20: 1-12。
 Ishitobi, Y., Hiratsuka, J., Kuwabara, H. and Yamamuro, M. (2000) Comparison of fish fauna in three areas of adjacent eutrophic estuarine lagoons with different salinities. *J. Mar. Syst.*, 26: 171-181。
 Jeppesen, E., Søndergaard, M., Kanstrup, E., Petersen, B., Eriksen, R. B., Hammershøj, M., Mortensen, E., Jensen, J. P. and Have, A. (1994) Does the impact of nutrients on the biological structure and function of brackish and freshwater lakes differ? *Hydrobiologia*, 275/276: 15-30。

門脇義雄 (2005) 中海の赤貝漁。「宍道湖・中海の貝類」(古林敏彦・山口勝秀・黒崎光恵・越川敏樹編), pp. 46-48. 鳥根県立宍道湖自然館, 出雲市。
 気象統計情報(気象庁 HP) <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
 真崎邦彦・小野原孝幸 (2003) 有明海湾奥部におけるサルボウの漁業実体と分布状況。佐有水研報 21: 29-36。
 宮本 康 (2004) 汽水湖の生物相: 塩分による直接・間接的な生物相の維持。LAGUNA(汽水域研究) 11: 97-107。
 Nakamura Y. (2005) Suspension feeding of the ark shell *Scapharca subcrenata* as a function of environmental and biological variables. *Fish Sci* 71: 875-883。
 Sakurai, M., Yamaguchi, K., Ishikura, M. and Ueda, K. (2007) Environmental examinations for habitat and tolerance of *Scapharca subcrenata* in Lake Nakaumi. *Proceedings of International Symposium Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons*. p 222。
 清家 泰 (2001): 汽水域の水質特性。「汽水域の科学」(高安克巳編), pp. 10-18. たたら書房, 米子市。
 鳥根県水産試験場 (1920) 大正九年度鳥根県水産試験場事業報告. 108pp。
 鳥根県水産試験場 (1934) 中海赤潮調査報告. 94 pp。
 鳥根県農林水産部 (2006) 宍道湖・中海水産資源維持再生構想。
 Sokal, R. R. and Rohlf, F. J. (1995) *Biometry: the principals and practice of statistics in biological research*. WH Freeman & Company, New York。
 早栗 操 (1955) 中海の漁業概観。鳥取県水産試験場研究報告, 35: 1-15。
 水門水質データベース(国土交通省 HP) <http://www1.river.go.jp/>
 鳥取県水産試験場 (1959) 中海干拓基本調査報告書. 374 pp。
 Underwood, A. J. (1997) *Experiments in ecology: their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K。
 Yamamuro, M. (2000) Abundance and size distribution of sublittoral meiobenthos along estuarine salinity gradients. *J. Mar. Syst.*, 26: 135-143。

Some leeches (Annelida: Hirudinida: Piscicolidae, Glossiphoniidae) in the Hii River system, Shimane Prefecture, Japan

Takeo Yamauchi¹, Tetsuya Itoh², Katsuhide Yamaguchi³ and Kazuya Nagasawa⁴

Abstract: During a parasitological survey in the Hii River system including two brackish-water lakes, Shinjiko and Nakaumi, three species of leeches (an unidentified piscicolid, *Limnotrachelobdella okae*, and *Batracobdella kasmiana*) were recorded. The unidentified species was collected from the body surface of Japanese icefish *Salangichthys microdon* captured in Shinjiko and the Ôhashi River. *Limnotrachelobdella okae* was found unattached in both Shinjiko and Nakaumi. *Batracobdella kasmiana* was collected from the mussel *Unio douglasiae nipponensis* from the Hii River. Color photographs of live specimens of these leeches are given.

Key words: *Batracobdella kasmiana*, *Limnotrachelobdella okae*, *Unio douglasiae nipponensis*, *Salangichthys microdon*, brackish-water lake, coloration.

Introduction

Leeches (Annelida: Hirudinida) are distributed worldwide and can be found living in marine, estuarine, moist terrestrial and freshwater ecosystems (Sawyer, 1986). Although about 60 species of leeches are recorded in Japan (Itoh, 2003), only fragmentary information is available. For most species of Japan, little is known about their host preference and geographical distribution.

To date, the leech fauna of Chugoku District has been poorly understood. However, 12 leech species (five in the Glossiphoniidae; one in the Piscicolidae; two in the Hirudinidae; four in the Erpobdellidae) are known in the Hii River system (Uéno, 1943; Anonymous, 2000): *Alboglossiphonia lata* (Oka, 1910) (as *Glossiphonia weberi lata*), *Glossiphonia complanata* (Linnaeus, 1758), *Helobdella stagnalis* (Linnaeus, 1758), *Hemiclepis japonica* (Oka, 1932) (as *Placobdella japonica*), *Placobdelloides okadai* (Oka, 1925) (as *Hemiclepis okadai*), "*Ichthyobdella uobir* Oka, 1910", *Whitmania*

acranulata (Whitman, 1886), *Whitmania pigra* (Whitman, 1884), *Dina lineate* (O. F. Müller, 1774) (as *Erpobdella lineata*), *Erpobdella octoculata japonica* Pawlowski, 1962 (as *Erpobdella octoculata*), *Erpobdella testacea* (Savigny, 1822), and *Mimobdella japonica* Branchard, 1897 because many ecological and faunal studies of benthic animals have been conducted in the river system including two brackish-water lakes, Shinjiko and Nakaumi.

During a parasitological survey in the Hii River system, three species of leeches were collected. The present paper provides distributional and ecological data of these leeches in the river system.

Materials and Methods

The Hii River system (Fig. 1) consists of the river itself, Shinjiko, the Ôhashi River, Nakaumi, and the Sakai Channel. Both Shinjiko and Nakaumi form an estuarine system which opens to the Sea of Japan. These lakes and the Ôhashi River, a short connecting river between the

¹ Toyama Institute of Health, Imizu 939-0363, JAPAN

² Marine Biological Research Institute of Japan Co., Ltd. (Sapporo Branch), Sapporo 007-0862, JAPAN

³ Shinjiko Nature Museum, Izumo 691-0076, JAPAN

⁴ Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739-8528, JAPAN

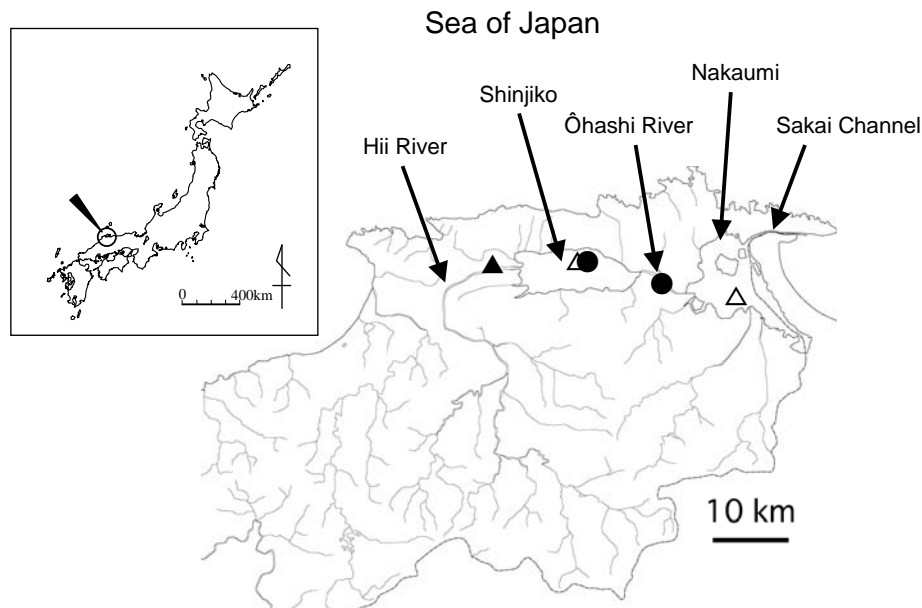


Fig. 1. Map of the Hii River system, Shimane and Tottori Prefectures, Japan. Two closed circles, two open triangles, and a closed triangle represent collection localities of Piscicolidae gen. sp., *Limnotrachelobdella okae*, and *Batracobdella kasmiana*, respectively.

lakes, are the largest brackish-water ecosystem remaining in Japan at present.

In March to July 2002 and February 2004, fishes were captured by a pound stationary net (Japanese name: Masu-ami) in Shinjiko, the Ôhashi River, and Nakaumi and were macroscopically examined. On September 16, 2002, we collected a leech from a mussel *Unio douglasiae nipponensis* Martens, 1877, that had been sampled from the Hii River (between two bridges, Nada-bashi and Mizuhô-ô-hashi) and reared in an aquarium of the Shinjiko Nature Museum (SNM). The mussel examined had no experience to cohabit with populations from other localities.

The leeches collected were photographed alive for their coloration. Then, they were fixed in 10% formalin, preserved in 70% ethanol, then examined and measured under a stereoscopic microscope. Specimens examined in this paper are deposited in the National Science Museum, Tokyo (NSMT-An 388, 389, 390, 391). The common and scientific names of fishes follow those recommended by Froese and Pauly (2007) and the scientific names of mussels follow Masuda and Uchiyama (2004).

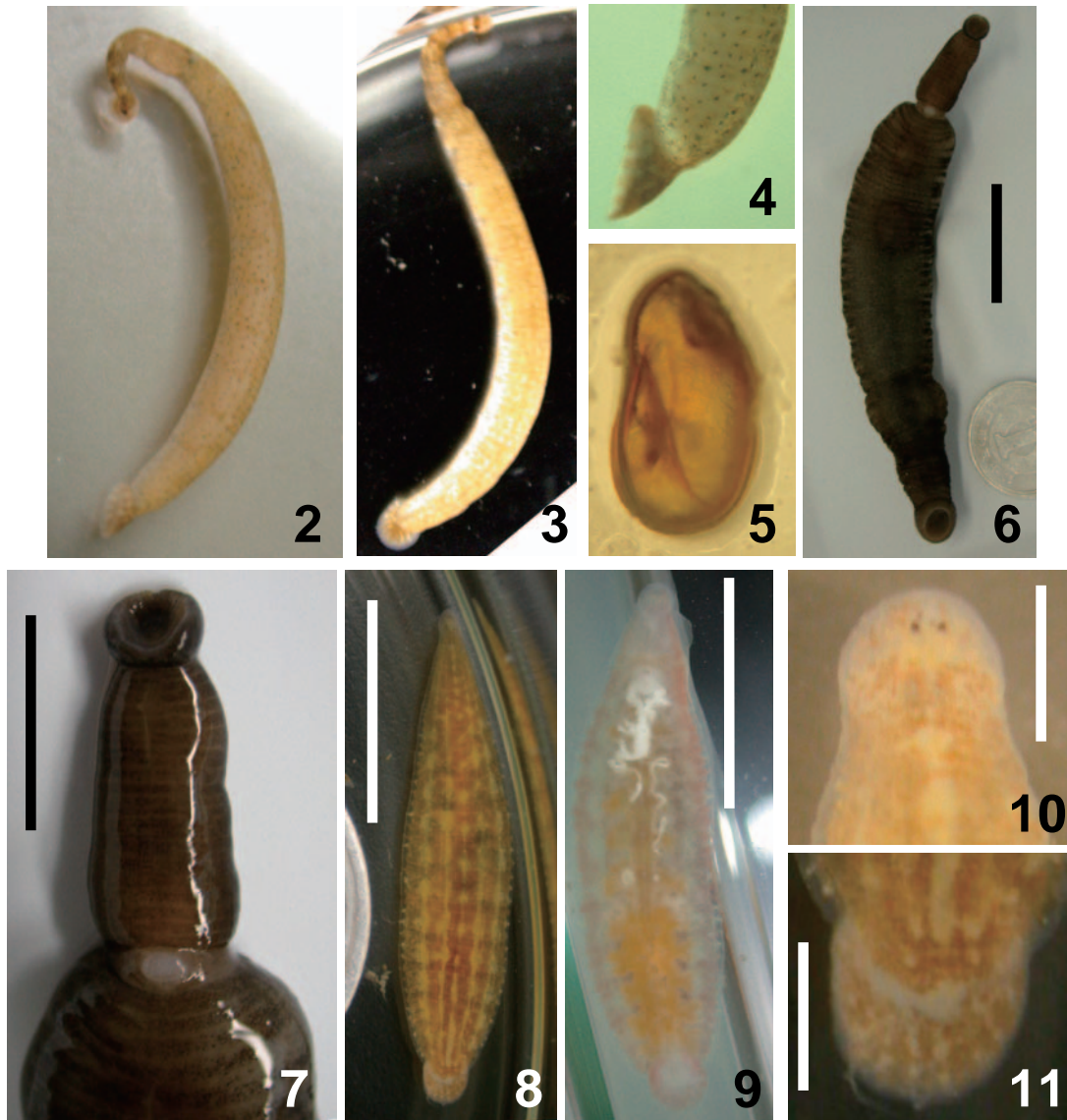
Results

Two leeches were found attached to the body surface of Japanese icefish *Salangichthys microdon* (Bleeker, 1860): one (Figs. 2-4) was found in Shinjiko (off Aika, Matsue) on March 24, 2002, and another was in the Ôhashi River on February 15, 2004. The icefish (79.5 mm SL [standard length]) attached by latter was dead when the leech was collected. Two leeches were identified as Piscicolidae

gen. sp. on the basis of the following characters: body color light yellow with pale-green pigmentation (in fresh); radial color pattern on the surface of caudal sucker; 18.8 mm in total length [TL]; 2.4 mm in maximum body width [MBW]; cylindrical body; neck region indistinct from abdomen; pulsatile vesicles on both lateral sides of body unclear; male and female gonopores on the segment XII; annulation of body unclear; and one pair of eyes on the dorsal surface of anterior sucker. A few days after the leech was collected in Shinjiko, it was retained in a petri dish containing water of Shinjiko and deposited light-brown cocoons (Fig. 5). Unfortunately, the leech collected in Shinjiko was not preserved.

Two unattached leeches were found among fishes consisting of various species: one (Figs. 6-7) was found in Shinjiko (off Aika, Matsue) on April 26, 2002, and another was in Nakaumi (off Ronden, Yasugi) on April 29, 2002. They were identified as *Limnotrachelobdella okae* (Moore, 1924) based on the following characters: color black (in fresh) or pale black (in 70% ethanol); 75-87 mm TL; 17.0-17.5 mm MBW; body flattened, markedly subdivided into neck and abdomen region; caudal sucker considerably less than maximum body width. Although these specimens almost agree to the descriptions of Sawyer (1986), Epshtein (1987) and Nagasawa et al. (2008), lateral margins of their body have indistinct vesicles. We don't think that this difference is important enough for specific segregation.

A leech (Figs. 8-11) was collected from *U. douglasiae nipponensis* (infection site unrecorded, see Materials and Methods) on September 16, 2002. The leech was



Figs. 2-11. Live leeches collected in the Hii River system. 2: *Piscicolidae* gen. sp., lateral view. 3: *Ditto*, dorsal view. 4: *Ditto*, caudal sucker, lateral view. 5: *Ditto*, cocoon. 6: *Limnotrachelobdella okae*, ventral view. 7: *Ditto*, oral sucker and trachelosome, ventral view. 8: *Batracobdella kasmiana*, dorsal view. 9: *Ditto*, ventral view. 10: *Ditto*, oral sucker, dorsal view. 11: *Ditto*, caudal sucker, dorsal view. Scale bars: 20 mm in Fig. 6; 10 mm in Figs. 7-9; 1 mm in Fig. 10; 2 mm in Fig. 11. Scale bars are not given in Figs. 2-5 for *Piscicolidae* gen. sp. because its live specimen was not measured.

identified as *Batracobdella kasmiana* (Oka, 1910), which show the following characters: color translucent yellowish brown dorsally with five yellow longitudinal stripes (Fig. 8); 11.1 mm TL; 3.8 mm MBW; body elongated, head slightly broadened; eyes one pair (Fig. 10).

Discussion

The unidentified piscicolids found this study resemble members of the genus *Piscicola* in the body shape and radial coloration of the caudal sucker. However, we could not accurately observe their annulation and sexual reproductive organs. Uéno (1943) recorded marine

piscicolid leeches (as “Uobiru” in Japanese = *Ichthyobdella uobir*) heavily parasitizing common carp *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758 in Shinjiko. Our specimen is obviously different from *I. uobir*, which is presently as a junior synonym of *Beringobdella rectangulata* (Levinsen, 1881), in the body shape and marking. Japanese icefish is an economically important fish in the two brackish-water lakes surveyed. Further study on the leech infection of fish should be made in the river system.

Limnotrachelobdella okae is distributed in Japan, China, and Russia (Epshtein, 1962, 1987; Yang, 1987; Furiness et al., 2007; Nagasawa et al., 2008a, 2008b, 2009). On the Japanese coast of the Sea of Japan, *L. okae* has so far

been reported only from Ishikawa (as Kaga) (Oka, 1910) and Yamagata (Nagasawa et al., 2009). Accordingly, the present finding represents the third distributional record of *L. okae* from the Japanese coastal Sea of Japan. The species has hitherto been reported from a variety of host fishes from Japan (Mizuno, 1989, 2006; Furiness et al., 2007; Nagasawa and Fukuda, 2008; Nagasawa et al., 2008a, 2008b, 2009). However, it is uncertain whether, when we collected our specimens, they were attached to fish hosts or were free in the water because the specimens were found unattached among the fishes captured by the net. Further, although the species is known to inhabit on marine, brackish and fresh waters (Oka, 1927b, 1947b; Oka and Nagao, 1965b), there is no reliable record in brackish and fresh waters in Japan. This is the first record of *L. okae* from brackish-water lakes. Especially, the finding in Shinjiko, a low saline, brackish-water lake, is significant in relation to its distribution. Nagasawa et al. (2008a) have recently suggested that *L. okae* is a coastal marine or brackish-water species.

Batrachobdella kasmiana is known as a parasite of mussels, including *Cristaria plicata* (Leach, 1815) and *Anodonta* spp. (Oka, 1927a, 1947a; Oka and Nagao, 1965a; Sawyer, 1986; Yang, 1996). In China, this leech also parasitizes *Unio douglasiae* (Gray in Griffith and Pidgeon, 1834) (Yang, 1996). Our finding of *B. kasmiana* from *U. douglasiae nipponensis* is the new host record in Japan.

Acknowledgements

We thank Mr. Norihisa Aoyama (SNM) for collecting the *B. kasmiana* specimens and Mr. Kô Sasaki (SNM) for collecting an unidentified piscicolid. Part of the present study was supported by a Grant-in-Aid for Scientific Research (B) (No. 18380116) from the Japan Society for the Promotion of Science.

References

- Anonymous (2000) Benthic animals in the Hii River system. 170 pp. Izumo Work Office, Chugoku Regional Construction Bureau, Ministry of Construction, Izumo (in Japanese).
- Epshtein, V. M. (1962) A survey of fish leeches (Hirudinea, Piscicolidae) from the Bering and Okhotsk Seas and from the Sea of Japan. *Dokl. Acad. Nauk SSSR*, 144: 1181-1184 (in Russian). [English translation].
- Epshtein, V. M. (1987) Annelida. In: Identification key to parasites of the freshwater fishes of the USSR. Vol. 3, Metazoan parasites, Part 2. (ed.) Bauer, O. N. pp. 340-372. Nauka, Leningrad (in Russian).
- Froese, R. and Pauly, D. (eds.) (2007) FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (11/2007).
- Furiness, S., Williams, J. I., Nagasawa, K. and Burreson, E. M. (2007) A collection of fish leeches (Hirudinida: Piscicolidae) from Japan and surrounding waters including redescription of three species. *J. Parasitol.*, 93: 875-883.
- Itoh, T. (2003) Annelida, Hirudinea. In: The flora and fauna of inland waters in the Ryukyu Islands. (eds.) Nishida M., Shikatani, N. and Shokita, S. pp. 197-202. Tokai University Press, Tokyo (in Japanese).
- Masuda, O. and Uchiyama, R. (2004) PISCES Ecological field guide series 2 freshwater mollusks of Japan. 2 freshwater mollusks of Japan. Including brackish water species. PISCES Publishers Co., Ltd., Tokyo (in Japanese).
- Mizuno, Y. (1989) *Limnotrachelobdella* infection. In: Atlas of fish diseases. (eds.) Hatai, K., Ogawa, K. and Hirose, H. p. 20. Midori Shobo Publishing, Tokyo (in Japanese).
- Mizuno, Y. (2006) *Limnotrachelobdella* infection (Limnotrachelobdellosis). In: New atlas of fish diseases. (eds.) Hatai, K. and Ogawa, K. p. 163. Midori Shobo Publishing, Tokyo (in Japanese).
- Nagasawa, K. and Fukuda, Y. (2008) A case of infestation by *Limnotrachelobdella okae* (Hirudinida: Piscicolidae) on Japanese amberjack *Seriola quinqueradiata* cultured in Kyushu, Japan. *J. Grad. Sch. Biosp. Sci., Hiroshima Univ.*, 47 (29-34).
- Nagasawa, K., Ueno, Y., Ishito, Y. and Yamauchi, T. (2008a) *Limnotrachelobdella okae* (Hirudinida, Piscicolidae) from cherry salmon *Oncorhynchus masou masou* in neritic deep waters of the western North Pacific Ocean. *Biogeography*, 10: 33-39.
- Nagasawa, K., Yamauchi, T. and Umino, T. (2008b) Synopsis of leeches of the families Piscicolidae and Ozobranchidae (Annelida, Rhynchobdellida) in Japan (1895-2008). *Bull. Jpn. Soc. Biogeogr.*, 63 (151-171) (in Japanese with English abstract).
- Nagasawa, K., Izumikawa, K., Yamanoi, H. and Umino, T. (2009) New hosts, including marine fishes cultured in Japan, of *Limnotrachelobdella okae* (Hirudinida: Piscicolidae). *Comp. Parasitol.*, 76 (127-129).
- Oka, A. (1910) Synopsis der Japanischen Hirudineen, mit Diagnosen der Neuen Species. *Annotnes. Zool. Jpn.*, 7: 165-183.
- Oka, A. (1927a) *Hemiclepsis kasmiana* Oka. In: Illustrated encyclopedia of the fauna of Japan. (eds.) Oka, A. et al. p. 1596. Hokuryukan, Tokyo (in Japanese).
- Oka, A. (1927b) *Trachelobdella okae* Moore. In: Illustrated encyclopedia of the fauna of Japan. (eds.) Oka, A. et al. p. 1601. Hokuryukan, Tokyo (in Japanese).
- Oka, A. (1947a) *Hemiclepsis kasmiana* Oka. In: Revised and enlarged illustrated encyclopedia of the fauna of Japan. (ed.) Uchida, S. p. 1385. Hokuryukan. Tokyo (in

- Japanese).
- Oka, A. (1947b) *Trachelobdella okae* Moore. In: Revised and enlarged illustrated encyclopedia of the fauna of Japan. (ed.) Uchida, S. p. 1389. Hokuryukan. Tokyo (in Japanese).
- Oka, A. and Nagao, Z. (1965a) *Hemiclepsis kasmiana* Oka. In: New illustrated encyclopedia of the fauna of Japan, Part I. (eds.) Okada, Y., Uchida, S. and Uchida, T. p. 568. Hokuryukan. Tokyo (in Japanese).
- Oka, A. and Nagao, Z. (1965b) *Trachelobdella okae* Moore. In: New illustrated encyclopedia of the fauna of Japan, Part I. (eds.) Okada, Y., Uchida, S. and Uchida, T. p. 569. Hokuryukan. Tokyo (in Japanese).
- Sawyer, R. T. (1986) Leech biology and behaviour. Vol. II, Feeding biology, ecology, and systematics. 375 pp. Clarendon Press, Oxford.
- Uéno, M. (1943) Ecological studies on Japanese brackish waters, with special reference to brackish lakes. I. Benthic fauna of brackish lakes along the Japan Sea coast. *Sci. Rep. Hattori Hôkôkai*, (10): 409-425 (in Japanese).
- Yang, T. (1987) On the genus *Limnotrachelobdella* Epshtein, 1968 and a new species from South China Sea. *Acta Hydrobiol. Sin.*, 11: 268-273 (in Chinese with English abstract).
- Yang, T. (ed.) (1996) Annelida, Hirudinea. Fauna Sinica. 259 pp. Science Press, Beijing (in Chinese with English abstract).

瀬戸内海新発見の縄文時代早期貝塚 — 犬島貝塚 (小野伸コレクション) の報告 —

遠部 慎¹・熊谷博志²・中島直樹³・山内基樹⁴・角縁 進⁵
宮田佳樹¹・米田 穰⁶・楠原 透⁷・小野 勢⁷・小野 伸⁷

New discovery of shell mound on Early Jomon period in the SETO Inland Sea: Report of Inujima shell midden (S.Ono collection)

S.Onbe¹, H.Kumagai², N.Nakajima³, M.Yamauchi⁴, S.Kakubuchi⁵
Y.Miyata¹, M.Yoneda⁶, T.Kusuhara⁷, S.Ono⁷, S.Ono⁷

Abstract: It has been known a few of shell mounds on the Early Jomon period so far in the SETO Inland Sea. The majority of those shell mounds are kishima type pottery stages. Tehima Ratazaki shell mounds was followed to shell mounds of the Kishima type stage. This research introduce the Inujima kitchen midden (S.Ono collection) on the early Jomon period was thought to be a stage immediately before the kishima type. It has been understood that the Inujima shell midden were mainly composed of the *Corbicula japonica* at the age of about 8600BP and Yamagatamon type potteries.

Key word: Early Jomon period, AMS Radiocarbon Dating, pottery chronogy, *Corbicula japonica*

はじめに — 犬島貝塚発見の経緯 —

瀬戸内海が成立するのは、完新世以降のいわゆる縄文時代以降とされている(井関 1957, 1978)。そのため瀬戸内海の縄文時代早期の貝塚群を整理することは、最終氷期以降の瀬戸内海の形成過程を考える上で、重要な定点となることが予測される。また、最後まで陸環境に近かった可能性の高い地域を詳細に検討することは、自然環境と先史人の対応関係を

探るうえで、モデルケースになる可能性が高い(図 1)。

本研究では、新たに発見された岡山県岡山市犬島に位置する縄文時代早期の犬島貝塚について、紹介を行う。以下発見の経緯を述べる。

小野伸は、1976 年以降から岡山県域を中心に旧石器時代を中心とする分布調査を行ってきた。1976 年 12 月下旬に犬島本島に所在する松ヶ鼻遺跡の踏査を行った際に、対岸の地竹ノ子島の存在に注目した。4 年後の 1980 年 8 月 23 日に、小野勢とともに

¹ 国立歴史民俗博物館 National Museum of Japanese History
(現 北海道大学埋蔵文化財調査室 Archaeological Reserch Center on the campus Hokkaido University)

² 奈良大学大学院 Nara University

³ 西部技術コンサルタント株式会社 Seibu Consultant CO

⁴ 榎文化財サービス Assistant Survice For Cultural Assets

⁵ 佐賀大学文化教育学部 Saga University, Faculty of Culture an Education

⁶ 東京大学大学院新領域創成科学研究科 The University of Tokyo, Graduate School of Frontier Sciences

⁷ 犬島再発見の会 Association of Inujima Rediscovery



図1. 瀬戸内海の縄文時代早期貝塚.

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

分布調査に向かい、貝塚を発見した。その後、1983年10月16日、2004年5月1日に楠原(当時:大森)透と本貝塚を踏査し、崩落した貝塚部分の資料を収集、今日に至っている。

島全体は花崗岩を基盤とするため、風化・崩落しやすく、台風などで貝塚部分の崩落が進んでいる。本遺跡をめぐる状況は決して楽観できる状況でな

く、早急な対処が必要と考えられる。そこで、本貝塚発見の経緯となった資料を報告し、本貝塚の重要性を提起することにした。

1. 犬島貝塚の位置

犬島貝塚は岡山県岡山市犬島に位置する。犬島は、6つの島からなり、このうち地竹ノ子島の属島の無人島に犬島貝塚は所在し、犬島本島からは300mほど離れている。

地竹ノ子島では、地竹ノ子島第1地点、第2地点の2箇所、沖竹ノ子島でも、2箇所旧石器～縄文時代早期の遺物が発見されている(白石ほか1997)。

第1貝塚は規模9m、厚さ40cm以上の貝層を有し、その保存状況は極めて良好である。第2貝塚は、その規模は11m以上と第1貝塚より大きいと予想されるが、貝層は第1貝塚に比べて薄い(図2)。

小野伸コレクションは、第1貝塚を中心としたもので、考古資料は土器7点、石器1点、貝類7点である。点数は少ないが、本遺跡発見の経緯につながった資料であり、以下に個別に報告を行う。なお、2007年以降は、巡検などで資料が増加しつつあることを付記しておく。

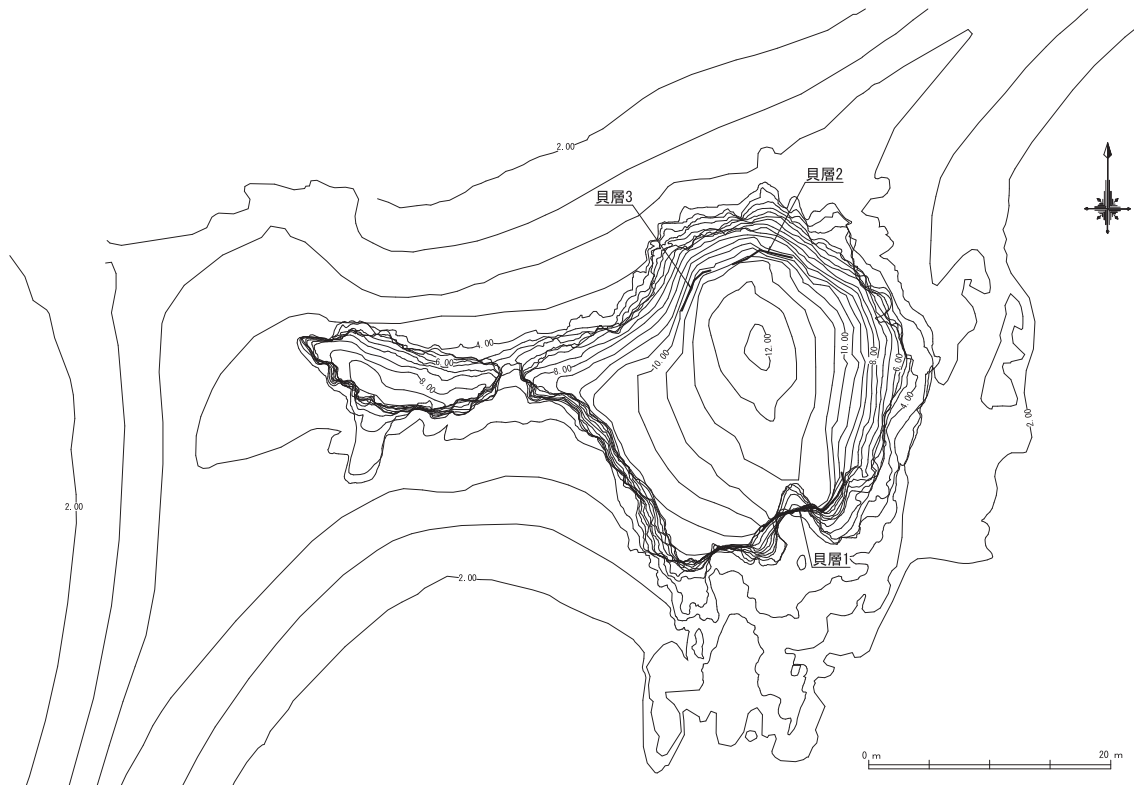


図2. 犬島貝塚の位置.

Fig. 2. Place at Inujima shell mound.

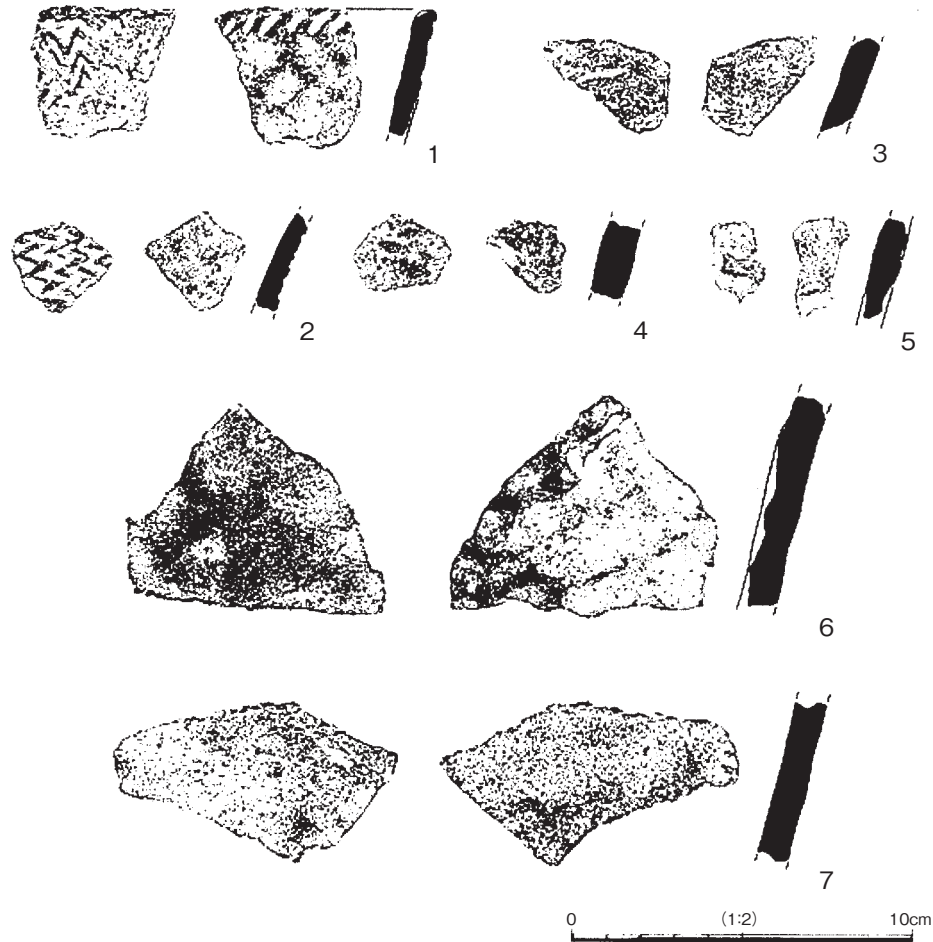


図3. 犬島貝塚の土器.

Fig. 3. Potteries excavated from at Inujima shell mound.

2. 犬島貝塚の資料

出土土器：図3の1・2は山形押型文を施す土器である。1は深鉢の口縁部片で、外面に山形文を横位に施し、口縁部内面に左下がりに刻みを施す。内面はナデによる擦痕やユビオサエによる指頭圧痕が認められる。胎土は石英・長石などの砂粒が多く、繊維を少量含む。2は深鉢の頸部片で、外面に山形文を縦位に施し、内面はナデで調整している。山形文は3単位の原体の可能性があり、その場合周長は約1.35 cm、径は約0.43 cmとなる。1・2は縦長の山形文を施し胎土に繊維を含む点に共通性が見られることから同時期に位置づけられる可能性が高く、1は口縁部内面の刻み位置から「山芦屋4期」に位置づけられる(熊谷2006)。

3~7は無文土器の胴部片である。3は内外をナデで調整しており、破断面上部には粘土紐接合の際の擬口縁が認められる。6は外面をナデとユビオサエ、内面をユビオサエで調整しており、内面には指頭圧

痕が顕著に認められる。7は内外をナデで調整しており器面は平滑に整えられている。破断面下部には擬口縁が外れたことによる凹部が認められる。3~7は胎土に繊維を少量含み、焼成は良好でよく焼締まっている。これらは同一個体ではないものの、同時期に帰属するものと考えられ、「山芦屋期」に位置づけられる蓋然性が高い。

石器：図4は二次加工のある剥片。右側縁を折損する剥片に、腹面から二次加工を施す。長さ31.5 mm、幅29 mm、厚さ12 mm、重量7.7 gで安山岩製。

石器の蛍光X線分析：試料は蒸留水中で超音波洗浄によりあらかじめ表面の土などの汚れを取り除き、110℃の乾燥機中で乾燥させたものを使用した。波長分散型蛍光X線分析装置は日本電子製JSX-60S7を使用し、Rh管球、管電圧50 kV、管電流40 mAの条件で測定を行なった。

測定元素はb, Zr, Y, Sr, Rb, Zn, Ni, Fe, Mn, Tiの10元素で、角縁・宇都宮(2003)の方法に準じておこ

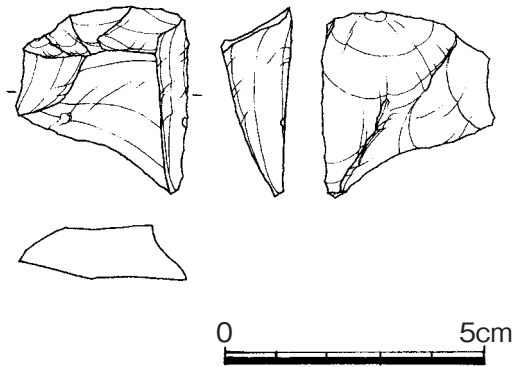


図4. 犬島貝塚の石器.

Fig. 4. Stone implements excavated from Inujima shell mound.

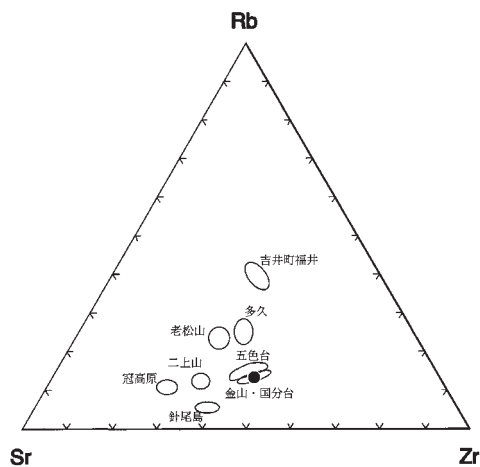


図5. 蛍光 X 線分析.

Fig. 5. X-ray Fluorescence.

なった。ただし、基準試料としては日本岩石標準試料 JB-1a と Merc 製 Spectromelt A12 を 1:1 の重量比で混合し、高周波溶融装置で溶融しガラス円板にしたものを使用した。本測定では基準試料との X 線強度比で求められるため、基準試料の X 線強度を求められた X 線強度比に乘じ、さらに Zr との X 線強度比をとったものを分析結果として表 2 に示した。

今回化学分析をおこなった 1 試料について、Rb-Sr-Zr 比 (すなわち $100 \times \text{Rb} / (\text{Rb} + \text{Sr} + \text{Zr})$, $100 \times \text{Sr} / (\text{Rb} + \text{Sr} + \text{Zr})$, $100 \times \text{Zr} / (\text{Rb} + \text{Sr} + \text{Zr})$) を計算し、図 5 にプロットした。同図には比較のために藁科 (1998) や Sato (1981) の化学分析データに加え、独自に採取したサヌカイト原産地測定データをもとにした、西日本各地のサヌカイトの化学組成の領域をプロットしている。この図から、今回化学分析をおこなった犬島貝塚から出土したサヌカイト試料は、金山・国分台産と推定される。

貝類: 貝類は 7 点存在する (図 6)。ヤマトシジミ 5 点,

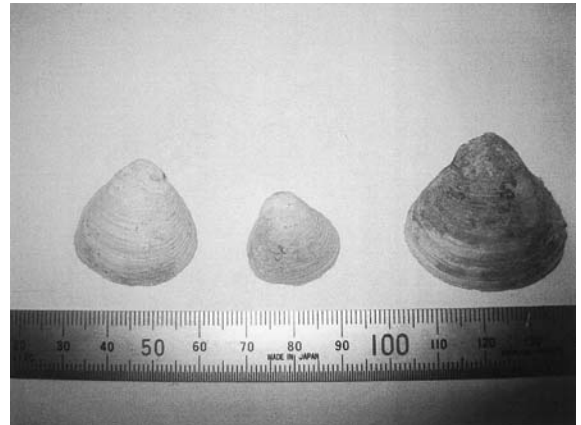


図6. 犬島貝塚の貝.

Fig. 6. Shell excavated from Inujima shell mound.

イシガイ 1 点, 巻貝 1 点である。犬島貝塚より採集され、今回報告する貝類遺存体は 3 種, 最小個体数が 5 である。最も多く出土している貝種は、ヤマトシジミである。

また、ヤマトシジミ・については可能なものについては、サイズの計測を行った (第 1 表)。具体的には、ヤマトシジミ・イシガイは殻高・殻長・殻幅・歯間長, 巻貝は殻高・殻径を計測した。計測したデータは表 3 に示した。なお、計測における定義は、阿部・加藤, 遠部・吉野・阿部, および加藤の論文に基づいている (阿部・加藤 2003, 遠部・吉野・阿部 2003, 加藤 2006)。

以下、出土した貝類の種名リストを示す。

軟体動物門 Phylum MOLLUSCA

ニマイガイ綱 (二枚貝類) Class Bivalvia

ヤマトシジミ *Corbicula japonica*

イシガイミ *Unio douglasiae douglasiae*

貝類の年代測定: 貝が死亡する直前に形成される外縁部から採取して分析試料とした。最初に表面に付着した土壌などを除去した後、1M の塩酸で重量の 10~30% を溶解することで、土壌埋没後に沈着の可能性がある炭酸塩を除去した。

エッチングを行なった試料を錫製カップに秤量し、二股管で燐酸反応させ、燃焼して酸化された気体を真空ラインに導き、液体窒素および冷却エタノールなどの冷媒を用いて精製した二酸化炭素を鉄粉とともに水素ガスと封入し、10 時間 600°C にて加熱しグラファイト化し、Al 製のターゲットホルダーに充填し、加速器質量分析 (AMS) 用試料とした。これは Yoneda et al (2000) の方法を参考にした。

AMS による ^{14}C 測定は、貝殻試料は同時に調製

表 1. 犬島貝塚の土器観察表.

Table 1. Excavated pottery at Inujima shell mound.

番号	時期型式	器種部位	特徴	調整	器厚(cm)		胎土				色調			備考
					最大	最小	砂粒	雲母	角閃石	繊維	外面	内面	断面	
1	「山芦屋4期」	深鉢口縁部	口縁部内面刻み	外)山形文内)刻み・ナデ・ユビオサエ	0.7	0.5	◎			△	10YR4/1 褐灰	2.5Y6/3 にぶい黄	10YR6/2 灰黄褐	
2	「山芦屋期」	深鉢頸部	山形文縦位施文	外)山形文内)ナデ	0.6	0.45	○		△	△	10YR7/3 にぶい黄橙	2.5Y5/2 暗灰黄	2.5Y5/2 暗灰黄	原体:3単位
3	「山芦屋期」	深鉢胴部	無文	外)ナデ内)ナデ	0.85	0.6	○		△	△	10YR4/1 褐灰	10YR6/2 灰黄褐	N3/ 暗灰	擬口縁
4	「山芦屋期」	深鉢胴部	無文	外)ナデ内)ナデ	1.05	0.85	○		○	○	10YR5/3 にぶい黄褐	2.5Y6/1 黄灰	2.5Y6/1 黄灰	
5	「山芦屋期」	深鉢胴部	無文	外)摩滅内)ナデ	0.9	0.7	○			○	2.5Y7/2 灰黄	2.5Y6/4 にぶい黄橙	2.5Y7/3 浅黄	
6	「山芦屋期」	深鉢胴部	無文	外)ナデ・ユビオサエ内)ナデ・ユビオサエ	1.2	0.9	○			△	2.5Y6/2 灰黄	2.5Y7/1 灰白	N3/ 暗灰	
7	「山芦屋期」	深鉢胴部	無文	外)ナデ内)ナデ	0.9	0.8	◎			△	2.5Y7/2 灰黄	2.5Y7/2 灰黄	10YR5/2 灰黄褐	擬口縁

表 2. 蛍光 X 線分析の結果.

Table 2. Date of X-ray Fluorescence.

Nb/Zr	0.0371
Y/Zr	0.1352
Sr/Zr	0.9251
Rb/Zr	0.3008
Zn/Zr	0.1177
Ni/Zr	0.0468
Fe/Zr	11.4235
Mn/Zr	0.3007
Ti/Zr	0.1845
Rb/Sr	0.3252
Rb%	13.5
Sr%	41.6
Zr%	44.9

した標準試料とともに、東京大学原子力研究総合センターのタンデム加速器施設(機関番号 MTC)で行った。

測定結果は、同位体効果を補正し¹⁴C年代、較正年代を算出した。表4に測定結果を示すが、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は、すべて加速器による同位体効果補正のための測定であり、表には参考値として()で記しておく。

表 4. 犬島貝塚の貝類の炭素 14 年代測定.

Table 4. ¹⁴C age of mollusks shells at Inujima shell mound.

Sample-name	Lab-Code	貝種	測定値(BP)	$\delta^{13}\text{C}$ 値
OKIN-K1	MTC-10680	ヤマトシジミ	8670±40BP	(-10.7±1.0‰)
OKIN-K2	MTC-10681	ヤマトシジミ	8570±40BP	(-9.3±1.0‰)

3. 考察—犬島貝塚の年代的位置—

以上犬島貝塚採集資料について、報告を行った。以下にまとめてみたい。

①土器：土器は山形押型文土器と無文土器が認められ、「山芦屋期」である可能性が高い。礼田崎貝塚の杉野コレクションには、楕円押型文がみられた。この楕円押型文は山形押型文の中でもやや新相である可能性も想定される。これまで踏査した中では楕円押型文も認められており、犬島貝塚は、礼田崎貝塚に一定の年代幅があると考えた場合、その新しい段階に併行する可能性が高い。

②石器類：点数は少ないものの、サヌカイト製で金山産であった。こうした特徴は、縄文時代早期の資料であることと調和的である。

③貝類：貝類はその種の違いによって、生息域が異なることがわかっており(松島 1984)、本貝塚では、湾奥部に生息する干潟群集の代表種であるハイガイ

表 3. 犬島貝塚の貝類計測値.

Table 3. Measurement value of mollusks shells at Inujima shell mound.

標本番号	種名	属性	殻長	殻高	殻幅	歯長a	歯長b	観察	重量
1: OKIN-1	ヤマトシジミ	R	18.33	19.21	6.81	5.24	16.05		1.1
2: OKIN-2	ヤマトシジミ	L	25.19	25.78	9.1	5.95	22.15		2.9
3	ヤマトシジミ	R	21.14	21.81	7.95	4.65	18.28		1.7
4	イシガイ		52.39	31.9	14.42				12.6
5	マルタニシ			16.96	11.3				0.8

表 5. 瀬戸内海におけるヤマトシジミの年代測定例。
Corbicula japonica age and calibrated age for excavations in the Seto Inland Sea.

sample name	Lab-code	貝種	14C (BP)	1 sigma	INTCAL	MARINECAL
礼田崎(土庄町)	MTC-7415	ヤマトシジミ	8875	40	8225-7835calBC	7915-7555calBC
礼田崎(土庄町)	MTC-7416	ヤマトシジミ	8820	40	8200-7745calBC	7830-7500calBC
礼田崎(土庄町)	MTC-7417	ヤマトシジミ	8855	40	8215-7795calBC	7890-7535calBC
礼田崎(瀬戸内海歴史民俗資料館)	PLD-10229	ヤマトシジミ	8620	30	7710-7580calBC	7555-7305calBC
礼田崎(瀬戸内海歴史民俗資料館)	PLD-10230	ヤマトシジミ	8925	30	8240-7965calBC	7960-7580calBC
礼田崎(瀬戸内海歴史民俗資料館)	PLD-10231	ヤマトシジミ	8780	30	7965-7685calBC	7740-7480calBC
犬島貝塚(小野伸コレクション)	MTC-10680	ヤマトシジミ	8670	40	7780-7590calBC	7590-7335calBC
犬島貝塚(小野伸コレクション)	MTC-10681	ヤマトシジミ	8570	40	7650-7535calBC	7525-7210calBC
黄島(利根川24・25)	TERRA-051404a30	ヤマトシジミ	8580	65	7745-7515calBC	7555-7175calBC
黄島(邑久町)	TERRA-051404a38	ヤマトシジミ	8550	55	7705-7510calBC	7525-7160calBC
黄島(邑久町)	TERRA-051404a39	ヤマトシジミ	8470	55	7595-7380calBC	7450-7065calBC
黒島(広島県立博物館)	TERRA-052404c10	ヤマトシジミ	8460	65	7595-7355calBC	7455-7050calBC
黒島(広島県立博物館)	TERRA-052404c13	ヤマトシジミ	8500	65	7630-7370calBC	7480-7075calBC

でなく、河口に生息する干潮域群集ヤマトシジミが主体である。この両者は、河口域→干潟に変遷すると想定すれば、ヤマトシジミ主体で構成されている貝塚は古い傾向を示すことになる。犬島貝塚は、その古い傾向を示すヤマトシジミを主体とする貝塚である。

④年代測定：縄文時代早期の押型文土器はいくつかの土器型式に細分されるが、土器付着炭化物や炭化材を中心とした AMS 炭素 14 測定年代では、古いほうから、大川式は $9556 \pm 22\text{BP}$ ($n=5$)、神宮寺式は $9305 \pm 25\text{BP}$ ($n=1$)、神並上層式は $9065 \pm 25\text{BP}$ ($n=1$)、山形文盛行期は $8885 \pm 40\text{BP}$ ($n=3$)、黄島式は $8480 \pm 60\text{BP}$ ($n=1$)、高山寺式は $8217 \pm 47\text{BP}$ ($n=3$)、終末期は $8040 \pm 50\text{BP}$ ($n=1$) の測定値が得られている（遠部 2006, 遠部ほか 2007）（図 7）。

以上の年代値を踏まえ、暦年較正を試みる。暫定的ではあるが、現段階でのおおまかな実年代の想定案を以下に提示しておく。ここでは概ね四半世紀(25年)を一区切りとし、その半数以上、以下で数値を繰り上げた。そうすると、大川式 9150–8750 calBC、神宮寺式 8630–8470 calBC、神並上層式 8300–8250 calBC、山形文盛行期 8240–7950 calBC、黄島式 7600–7380 calBC、高山寺式 7400–7200 calBC、終末期 7135–6770 calBC の範囲内(2σ)と考えられる。

貝類は、海洋リザーバー効果を考慮しないとならないが、汽水域で生息するヤマトシジミのよう

貝類は、海洋リザーバー効果を考慮しないとならないが、汽水域で生息するヤマトシジミのよう

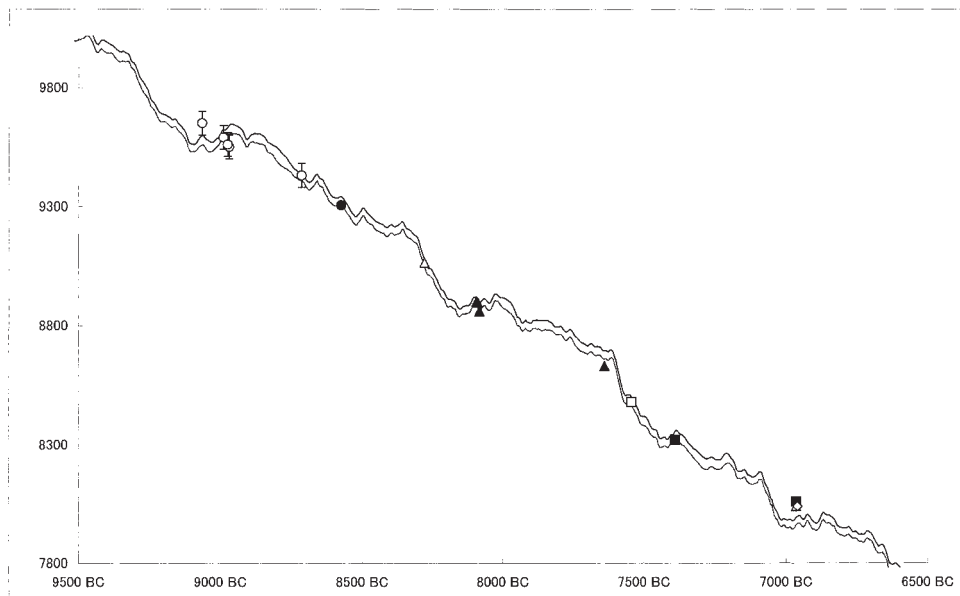


図 7. 押型文土器期の炭素 14 年代測定。

(○大川式 ●神宮寺式 △神並上層式 ▲山形文期 □黄島式 ■高山寺式◇終末期)

Fig. 7. ^{14}C age of pottery decorated with dowel impressed patterns.

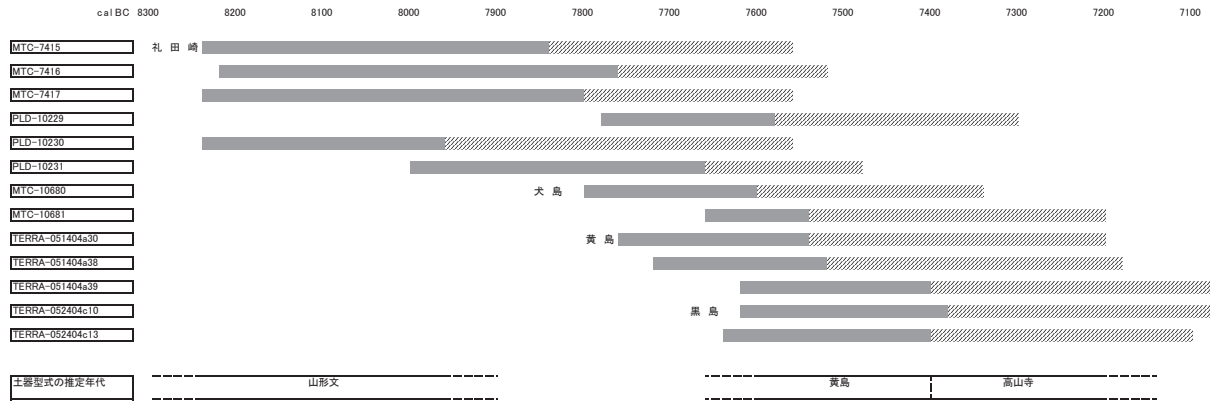


図 8. 瀬戸内海における縄文時代早期貝塚の貝類の較正年代.

Fig. 8. Calibrated ages for shell mounds of the Early Jomon period in the Seto-Inland Sea.

なものについては、黄島貝塚、黒島貝塚では 8500–8400BP (遠部ほか 2005)、礼田崎貝塚では 8800BP (遠部ほか 2007, 遠部 2008) を中心とした測定値が得られている。これらのうち、汽水域に生息するヤマトシジミについては、大まかにみて Intcal との較正值のほうが、Marinecal との較正值よりも整合的である (遠部ほか 2007)。

より単純な遺跡資料で考えた場合、大きく礼田崎貝塚：土庄町教育委員会資料 $8850 \pm 27\text{BP}$ ($n=3$) → 犬島第 1 貝塚 $8620 \pm 71\text{BP}$ ($n=2$) → 黒島貝塚、黄島貝塚 $8512 \pm 52\text{BP}$ ($n=5$) という変遷を想定される (図 7)。

ま と め

本貝塚の発見により、瀬戸内海の成立段階について、具体的なデータを得ることができた。本島を中心とするエリアは押型文土器以降の遺跡はほとんどなく、劇的に周辺環境が変化した可能性がある。しかしながら、逆に山形押型文土器の段階 (汽水域) ではまだ考古学的な変化は少ないものと判断しておきたい。

また、これまでほとんど注目されていない島嶼部の押型文土器の出土する遺跡などについても、再考する必要性が生じたと考える。これらについては、丹羽の指摘などもあるが (丹羽 1985)、同じような島にタイプの異なる 2 つの押型文土器の遺跡があることは時期的な差違に基づく可能性が高いことを示している。

いずれにせよ、約 10000 年前の瀬戸内海の様相が推定するうえで、重要なデータを犬島貝塚の資料は示しており、島嶼部の貝塚を研究する上で重要な知見を示せたと考える。

瀬戸内海における貝塚出現期は、ほぼヤマトシジミのみで構成される淡水性の貝塚であり (8800BP)、その後ハイガイ主体の海水性貝塚になり (8500BP)、だんだんと多様な貝類の採取がはじまるという理解であった (江坂 1954, 河瀬 1998)。出現期のヤマトシジミ貝塚群は概ね土器でいう「山芦屋期」に該当する。紹介を行った犬島貝塚の土器の主体は、まさにこの時期に該当する。犬島貝塚の土器の主体は、まさにこの時期の新相、楕円文出現段階に該当する可能性が高い。当該期は時期幅が長いわりに、その様相が不明な部分が多く、本遺跡の調査・研究はそれらを明らかにする手がかりを与えられたい。さらに、この時期を詳細に検討することで、海水流入のプロセスがより詳細に明らかになる可能性が高い。そのため、同じ島内にある第 2 貝塚についても今後調査研究をしていく必要がある。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、犬島貝塚について詳細な情報を提供していただいた扇崎由、岡嶋隆司氏には感謝したい。土器の位置づけについては、高知県埋蔵文化財センター調査員松本安紀彦氏、貝類の同定では、国立歴史民俗博物館西本豊弘教授にご教示を賜った。また、学術創成研究グループ、岡山市教育委員会、犬島再発見の会、犬島貝塚調査保護プロジェクトチームの諸先生、諸氏には様々な援助をいただいた。記して感謝したい。

本稿は、福武学術文化財団「特定文化研究助成「犬島貝塚調査保護プロジェクトチーム」の活動の一環である。また、平成 16–20 年度科学研究費補助金 (学術創成研究)「弥生農耕の起源と東アジア炭素年代測定による高精度編年体系の構築—」 (研究代表

西本豊弘 課題番号 16GS0118), 平成 19-20 年度科学研究費補助金「先史時代における貝塚出現期の年代学的研究」の成果の一部を用いている。

引用文献

- 阿部常樹・加藤久雄 (2003) 「近世江戸府内遺跡出土ハマグリサイズの推定法—近世遺跡出土資料におけるその最大長推定式の導出及び縄文時代と近世遺跡出土資料の間における形状の違いについての試論—」『史紋』第 1 号: 37-44.
- Crane, H. R. and Griffin J. B. (1958). University of Michigan Radiocarbon Dates III. *Science* 128, 1117-1123.
- 江坂輝弥 (1954) 海岸線の進退から見た日本の新石器時代. *科学朝日*, 14: 75-80.
- 井関弘太郎 (1957) 縄文早期ごろの海面とその相対的变化. *名古屋大学文学部研究論集*, XVII 史学 6, 145-163.
- 井関弘太郎 (1978) 日本における海水準変動研究の展望, *地理学評論*, 51-2: 188-196.
- 角縁 進・宇都宮 恵 (2003) 蛍光 X 線分析による黒曜石の産地同定 (2). *佐賀大学文化教育学部研究論文集*, vol. 7, No. 2, 47-58.
- 加藤久雄 (2004) ハイガイ (*Tegillarca granosa besenensis*) のサイズ推定法, *西海考古* 6, 29-36.
- 河瀬正利 (1998) 瀬戸内海北岸部の縄文低地性遺跡と海水準変化, *列島の考古学—渡辺誠先生還暦記念論集—* (渡辺誠先生還暦記念論集刊行会編): 595-602.
- 熊谷博志 (2006) 智頭枕田遺跡の編年の位置付け—黄島式の成立過程について—, 第 17 回中四国縄文研究会発表要旨集 早期研究の現状と課題—前葉を中心に: 18-50.
- 国立歴史民俗博物館・年代測定研究グループ (2007) 第 IV 章 高知県香美市刈谷我野遺跡の炭素 14 年代測定, *香美市文化財調査報告書第 1 輯 刈谷我野遺跡 II—個人住宅建設に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書—*: 101-105.
- 直良信夫 (付記春成秀爾) (1999) 日本新石器時代貝塚産貝類の研究—カワニナ類・タニシ類・キイロカノコー, *動物考古学*, 12: 87-113.
- 松島義章 (1984) 日本列島における後氷期の浅海性貝類群集—特に環境変化に伴うその時間—, *神奈川県立博物館研究報告 (自然科学)*, 15: 37-109.
- 丹羽祐一 (1985) 小豆郡土庄町豊島の縄文時代遺跡群, *香川の歴史*, 5: 5-11.
- 遠部 慎 (2006) 瀬戸内地域における縄文時代早期の諸問題—高知県香美市刈谷我野遺跡を中心に—, 第 17 回中四国縄文研究会発表要旨集早期研究の現状と課題—前葉を中心に: 93-104.
- 遠部 慎 (2008) AMS 炭素 14 年代測定法を用いた豊島の考古学的研究, 第 2 回瀬戸内海文化研究・活動支援助成報告書: 27-31.
- 遠部 慎・角縁 進・加藤久雄・山内基樹・米田 讓 (2005) 広島県立歴史文化博物館所蔵資料紹介: 岡山県瀬戸内市黒島貝塚, *広島県立歴史博物館紀要*, 8: 1-15.
- 遠部 慎・宮田佳樹・加藤久雄・米田 讓 (2007) 瀬戸内海最古の貝塚—豊島礼田崎貝塚の再評価—, *Laguna*, 14: 69-76.
- 遠部 慎・吉野真如・阿部常樹 (2003) 黄島貝塚採集資料の紹介—2001 年 12 月採集資料及び室田禮治氏採集資料の紹介—, *利根川*, 24: 25: 314-325.
- 坂田邦洋 (1982) 九州地方縄文土器の ¹⁴C 年代. *別府大学紀要* 23 (「研究室報告 2」1989: 99-114).
- Sato, H. (1981) Bulk rock chemistry of the volcanic rocks of Goshikidai and adjacent areas, northeast Shikoku, Japan. *Sci. Rep. Kanazawa Univ.*, Vol. 26, No. 2, 51-72.
- Yoneda, M., Kitagawa H., Plicht J.V.D, Uchida M., Tanaka A., Uehiro T., Shibata Y., Morita M., and Ohno T. (2000). Pre-bomb marine reservoir ages in the western north Pacific: Preliminary result on Kyoto University collection. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 172, 377-381.
- 藁科哲男 (1998) 日田バイパス (大部, 手崎) 遺跡出土のサヌカイト, 黒曜石製遺物の現在産地分析. 一般国道 210 号日田バイパス建設に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書 II, *日田市高瀬遺跡群の調査* 2, 244-251.

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

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

Preliminary study on possibility of eco-tourism around Lakes Shinji and Nakaumi

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

Abstract: The area around Lakes Shinji and Nakaumi is in an appropriate timing for considering about ecotourism after stoppage of land-filling of the Honjo Area in Lake Nakaumi and registration of the Lakes to the Ramsar Convention. In this paper, we introduced recent various activities by local governments, industries and NGOs related to ecotourism in this area and elements to be included in the ecotourism program, and identified desirable directions for the ecotourism in this area based on the collected information and the current situations in regards to tourism in this area. Development of tourism industries was considered to be desirable for sustainable economic development in this area and many elements to be included in the ecotourism in this area were found. Close relationship of the urban planning sector with the ecotourism sectors, and citizen participation framework for ecotourism were considered to be desirable. For development of ecotourism in this area, planning of ecotourism with preparation of model tour courses is found to be desirable. In short term, origin-directed tour courses are found to be acceptable for both tourists and this area. In medium and long term, various types of tourism especially including destination-directed tour courses are found to be acceptable. Moreover, early stage participation of professionals and environmental NGOs has been pointed out as a desirable element for ecotourism, the framework of which has already been formed. Effective application of the framework should be desirable.

Key words : Lakes Shinji and Nakaumi, ecotourism, tourism, community participation, Ramsar Convention, rural economics, planning

1. はじめに

宍道湖・中海地域(図1)では、農林水産業が重

要な産業であるが、第一次産業の活性化は大きな成果を上げられず、人口減少が生じている。地方公共団体を中心に観光にも力を入れているが、日本の人

¹ 元 島根大学非常勤研究員, 現 東洋大学/内閣府日本学術会議(SCJ)/島根大学協力研究員 Toyo University: Gunma 374-0193; SCJ: Tokyo 106-8555; Shimane University: Matsue 690-8504, Japan

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

³ 島根県環境生活部 Office of environment and lives, Shimane Prefecture, Matsue 690-8501, Japan

⁴ 島根大学法文学部 Faculty of law and literature, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan

⁵ 財団法人ホシザキグリーン財団 Hoshizaki Green Foundation, Shimane 691-0076, Japan

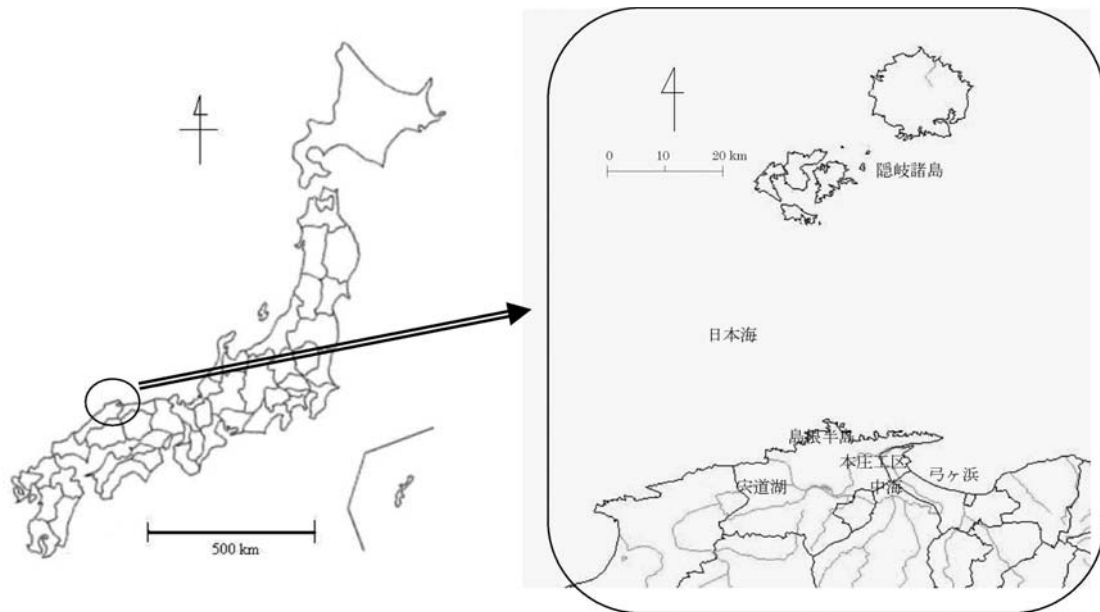


図1. 宍道湖・中海位置図.

口が集中している首都圏、関西圏などからの時間距離があることなどにより観光業の活性化は必ずしも十分に達成されていない。観光地としての魅力を人口の大部分を占める都市人口にアピールすることが観光業の発展につながり、この地域の活性化につながる可能性もある。幸いにも、動植物を含む自然や文化的な遺産・名勝がこの地域には数多く残されている¹⁾。

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ツーリズムの概念の1つである^{2), 3), 4), 5)}。エコツーリズムは、旅行者が自然・歴史的遺産に親しむことができるプログラムを提供することにより、満足感を得るとともに、地域経済振興を達成しようとするものである^{6), 7), 8)}。アメリカの国立公園で提供されている滞在型を含むエコツーリズムの多くのプログラムは、従来型の観光ではあまり重視されていなかった自然と親しむことによる体験型の楽しみ方を提供するものである。途上国を中心に、その貴重な自然資源を活用したエコツーリズムにおいて、地域振興の内容を併せ持つものが数多く提供されてきている^{9), 10), 11), 12), 13)}。日本でも環境省のレンジャーによる活動やエコツアーの提供、NPOによる自然に親しむプログラムの提供などが行なわれ、盛んになりつつある^{14), 15)}。国連のミレニアム・エコシステム・アセスメント(MA)の報告書において、文化サービス分野でエコツーリズムの重要性が指摘され¹⁶⁾、土木学会の全国学生ツアーでもエコツアー体験が行われた¹⁷⁾。

歴史的には、1957年、フリーマン・チルデンがインタープリテーションを「解説というのは事実の伝達ではなく、手に触れ、体験させ、イラストなどを使って現物の持つ意味や他との相互関係などを明らかにすることを目的とした教育的なアクティビティである」と定義し、エコツアーガイドの位置付けを明確化し、1964年にはガラパゴス島にチャールズ・ダーウィン自然科学研究所が設立され、野生生物の保護、調査研究、ガイド人材の育成を開始した⁴⁾。

種の保存は倫理的にだけでなく、経済的にも価値がある。例えば、土壌の生成、水の供給、ペストの自然抑制、汚染物質の浄化、湿地の様々な機能、天気や天候の安定に代表される地球上の様々な生物種の働きについて、基本的かつ明確な機能のみを貨幣換算したところ、イギリス経済の約4倍規模の年間2.9兆ドルと試算され、生物多様性に重点を置いた場合には世界経済を超える年間33兆ドル規模と試算された¹⁸⁾。東アフリカ国立公園のライオン1頭の収入が観光では51万5,000ドル、狩猟では8,500ドル、皮革では1,325ドルと試算され⁴⁾、16頭の鯨の群れによる15年間の収入は4,100万ドル、鯨肉は430万ドルと試算された¹⁸⁾。

世界では、1985年にWorld Trade Organization(WTO)とUnited Nations Environment Programme(UNEP)が署名した観光と環境に関する共同宣言において「環境の保護と改善は観光の調和のある開発にとって基本条件である」と記されたように、世界

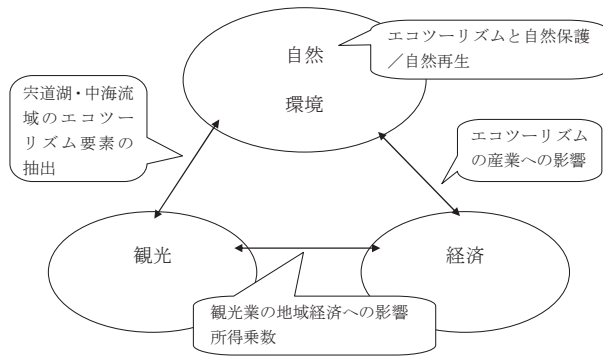


図2. 本研究の概念図.

のエコツーリズムにおいては途上国の経済発展と環境保全を両立することに主眼が置かれてきた。

日本では、2003～04年にエコツーリズム推進会議（議長：小池環境大臣）が設置され、(1) エコツーリズム憲章、(2) エコツアー総覧、(3) エコツーリズム大賞、(4) エコツーリズム推進マニュアル、(5) モデル事業、の5つの方策が策定された¹⁵⁾。2004年6月に制定されたエコツーリズム憲章では、エコツーリズムの目指すものとして、(1) 地域の自然と文化を知り、慈しむ、(2) 元気な地域が自然を守る、(3) 自然と文化を受け継いでいく、の3項目が定められた。

エコツーリズムの定義はいくつかの組織等により行われており、例えば、International Ecotourism Society (IES)¹³⁾は、「自然が残されている地域への旅行で、環境を保全し、地域の人々の福祉 well-being を向上させるもの」とし、「(1) 影響を最小化する、(2) 環境と文化を認識し、尊敬する、(3) 旅行者、受け入れ者の両者にプラスの経験となる、(4) 自然保護のために直接的な資金面での利益を提供する、(5) 受け入れ者の国の政治、環境、社会的側面に良い影響を及ぼす、(6) 国際的な人権問題、労働契約を支援する」ことを重要な原則として挙げた。日本エコツーリズム協会(JES)¹⁹⁾は、「(1) 自然・歴史・文化など地域固有の資源を生かした観光を成立させること、(2) 観光によってそれらの資源が損なわれないよう、適切な管理に基づく保護・保全をはかること、(3) 地域資源の健全な存続による地域経済への波及効果が実現することをねらいとする、資源の保護+観光業の成立+地域振興の融合をめざす観光の考え方」であり、「旅行者に魅力的な地域資源とのふれあいの機会が永続的に提供され、地域の暮らしが安定し、資源が守られていくことを目的とする」としている。

さらに、エコツーリズム関連の概念整理について

は、グリーン・ツーリズムとエコツーリズムの定義、分類と概念の展開^{3), 20)}、エコツーリズムと地域振興についての概念整理⁵⁾が行われた。自然保護における自己規制の効果については、疑問視する意見^{6), 8)}と、必要な規制の枠組みを作成する効果的なボトムアップアプローチで、ツーリズムを持続可能にする働きがあるとする意見がある⁷⁾。

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¹²⁾が行われた。類型2、3のエコツーリズムのケーススタディはあまり多くない。

海外では、例えば、タイ南部は従来からエコロジカルな持続可能性を維持していて、有名なエコツーリズムの観光地である⁹⁾。プーケットでは、従来型観光とエコツーリズムとが両立している¹¹⁾。映画「ビーチ」の撮影が、撮影地の自然に悪影響を及ぼしたと批判されることがある。一方、そのような批判は大げさなものであったが、タイの他の国立公園における自然破壊を抑制する効果があったという調査結果もある²¹⁾。

カンボジア、ラオス、タイの3か国によるメコン川流域(GMS)ではアジア開発銀行(ADB)が中心になってGMSイニシアティブが結成され、メコン川流域のツーリズム開発が行われてきた²²⁾。

日本におけるエコツーリズムについて、マネジメントの側面からの重要な要素として、Miyakawa¹⁰⁾は、(1) 資源を評価し、データを整理する、(2) 資源の状態の完全な理解の下に個々にエコツーリズム商品进行评估する、(3) 資源情報の更新可能なシステムを作成し、記録を行う、(4) 地域の人々用のガイドブックを作成する、を挙げた。本論文は、このうちの(1)、(2)の一部を行った結果に基づき、流域のエコツーリズムの可能性について検討することを目的とする。

宍道湖・中海地域では、これまで本庄工区(中海)干拓の是非が流域の大きな課題で、エコツーリズムに正面から取り組める雰囲気ではなかった。しかしながら、本庄工区干拓中止の方向性が示され、ラムサール条約に登録されたため、エコツーリズムについて検討する良い機会であると考えた²³⁾。本研究の概念図を図2に示す。研究全体としては、(1) 流域のエコツーリズム要素の抽出、(2) 流域のエコツーリズムを含む観光業の地域経済への影響の評価、(3) エコツーリズムの地域経済への影響の評価、を行うことにより、流域におけるエコツーリズムを多面的

に評価することが可能であると考えた。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・中海地域、隠岐諸島および内外のエコツーリズム先進地域についての比較検討を行った。松江市は宍道湖・中海地域の中心に位置し、従来から観光業が主要な産業の1つとされてきた。松江市の観光業、まちづくりについて整理することも重要であると考え、情報収集・整理とエコツーリズムとの関連についての検討を行った。

2. 方法

宍道湖・中海地域のエコツーリズムの可能性を検討するために、既存の文献、資料、関連イベント等の情報収集、整理を行い、(1) 宍道湖・中海地域の観光業の現状、(2) 宍道湖・中海地域の観光地としての特性、(3) 都市計画的視点から見た松江市の観光、(4) ラムサール条約とエコツーリズム、について整理し、(5) 宍道湖・中海地域におけるエコツーリズムの可能性について検討した。

3. 結果と考察

(1) 宍道湖・中海地域の観光業の現状

a) 観光業とエコツーリズムの地域経済への影響

島根県の県内総生産(実数)は、平成6年度の21.9兆円から平成18年度には25.7兆円に増加した。エコツーリズム、観光業に関連すると考えられる農業、林業、漁業、サービス業の生産額は、第一次産

業は減少傾向にあり、サービス業は増加傾向にある。平成14年度の生産額は、農業336億円、林業85億円、漁業180億円、サービス業4,896億円であった²⁴⁾。

平成16年版松江市観光白書、松江市観光課のデータ、日本政策銀行松江事務所の「中海・宍道湖経済圏における観光振興策：地域づくり健康診断」によると、平成15年度の松江市の観光関係の収入は約7億円、平成12年度の松江市の観光消費額は342億円、その誘発額は403億円であった²⁴⁾。固有の産業である農林水産業など第一次産業の総生産額は県内総生産の2.3%であり、製造業、建設業などの第二次産業の発展は多くは望めず、第三次産業については商業単体の発展は期待しがたく、観光産業は振興すべき産業の候補とされた。

エコツーリズムの産業への影響について、宍道湖・中海地域についての統計は見つからなかったため、全国レベルでの集計結果を代替データとして整理した。エコツーリズム関連産業を、平成12年産業連関表の耕種農業、畜産、農業サービス、林業、漁業、商業、鉄道輸送、道路輸送、水運、航空輸送、娯楽サービス、飲食店、旅館・その他の宿泊所、その他の対個人サービスの各業種とし、内生部門、家計外消費部門、民間消費支出への影響について整理した(表2)。エコツーリズム関連産業は、内生部門、家計外消費部門よりも、民間消費支出に大きな影響を及ぼしていることが分かった。内生部門を業種別に見ると、耕種農業、畜産、漁業が食料品に比較的大きな影響を及ぼし、鉄道輸送が商業、金融・保険

表2. 全国のエコツーリズム関連産業の内生部門、家計外消費支出、民間消費支出に対する取引基本量。
(平成12年産業連関表により筆者らが作成)

業種	105 内生部門計	107 家計外消費支出	108 民間消費支出	小計
001 耕種農業	5,822,155	66,019	3,001,038	8,889,212
002 畜産	2,497,581	0	209,839	2,707,420
003 農業サービス	508,809	0	84,720	593,529
004 林業	881,865	4,179	187,005	1,073,049
005 漁業	1,773,664	21,023	392,104	2,186,791
073 商業	34,838,120	1,920,454	45,874,608	82,633,182
078 鉄道輸送	2,429,715	19,816	4,087,644	6,537,175
079 道路輸送	8,390,761	486,004	6,284,914	15,161,679
081 水運	2,836,867	3,850	241,522	3,082,239
082 航空輸送	1,298,144	15,810	1,901,826	3,215,780
099 娯楽サービス	2,169,407	1,187,771	9,803,132	13,160,310
100 飲食店	0	8,388,890	15,323,503	23,712,393
101 旅館・その他の宿泊所	0	2,876,632	6,754,677	9,631,309
102 その他の対個人サービス	1,971,404	82,853	12,172,065	14,226,322
小計	65,418,492	15,073,301	106,318,597	186,810,390

に、道路輸送が食料品、建築、公共事業、商業に、水運が水運に、航空輸送が商業に、商業が食料品、建築、商業、医療・保健・社会保障・介護、飲食店に、娯楽サービスが放送、広告・調査・情報サービス、娯楽サービスに、その他の対個人サービスが医療・保健・社会保障・介護、その他の対個人サービスに、それぞれ、比較的大きな影響を及ぼしていることが分かった。基にした統計が全国規模の統計であり、飲食店および旅館・その他の宿泊所の内生部門に対する取引基本量が統計では0であるが、実際にはこれらの業種も様々な仕入れをすることにより成り立っているため、統計には含まれない影響があると考えられる。本研究でエコツーリズム関連産業として選定した産業の統計値が、必ずしもエコツーリズムの要素のみを代表する値ではないと考えられる。といった理由から、より詳細にエコツーリズムの地域経済への影響を検討するためには、地域レベルでのエコツーリズム関連の要素を代表する経済データの集計と解析が必要であると考えられた。松江市の経済における観光業の特徴を検討するため、観光所得乗数について検討した。観光所得乗数の算定事例(表-参考1)²⁵⁾では、いわゆる観光地では観光所得乗数が1以上または1に近い値であるが、観光地としての傾向が比較的小さな地域では1よりも小さな値であった。松江市の観光誘発額と観光消費額との比は約1.18であり、観光地型の経済であると考えられた。宍道湖・中海地域のエコツーリズムを含む観光業が地域経済全体に及ぼす影響は、適切なデータを用い、より詳細に評価する必要がある。

2006年のラムサール条約登録を機に、島根県、松江市などにおいて、観光業や、観光と環境の関係についての検討が大きく取り扱われ始めた。

島根県では、「宍道湖ラムサール条約と『賢明な利用』を語る会」を開催してきた。ゴビウス、ホシザキグリーン財団との共催で行われた第5回の語る会「ラムサール条約登録と宍道湖・中海でのエコツアーの可能性について考える(2007年2月3日)」では、平成18年度から試験的に東京などを出発地とするモニターツアーを展開していること、ゴビウス、まちづくりネットワーク、まつえ市民環境大学村などの環境側の主体が、早い段階から加わっていること、旅館組合とまつえ市民環境大学村が協力して宍道湖エコクルーズを運営していること、などが話題となった。

松江市観光シンポジウム(くにびきメッセ国際会議場、2007年2月18日)では、松江は観光面の良

い素材を持っているので、おもてなしのこころ(ホスピタリティ)をより前面に出すこと、全国、全世界への情報発信が必要であるというのがシンポジウム全体の議論の中心だった。パネリストの1人から、旅館の料理長の言葉として、観光業はそれほど困っていないという認識のようであるという発言もあったが、3月に玉湯温泉の2軒の老舗旅館に外資系企業の資本が入ることが報道された。

2006年6月に民間経済界が中心となり、関連自治体、観光業界、市民団体などが参加して、中海・宍道湖・大山圏域観光連携事業推進協議会(広域連携協)が設立された。中海・宍道湖・大山圏域は、鳥取、島根両県のほぼ中央部に位置し、人口約66万人を有している。山陰中央新報新聞社と広域連携協の主催により、「中海・宍道湖・大山圏域シンポジウム『未来への指針』同圏域の将来を考える(2007年2月28日)」が開催された²⁶⁾。広域連携協の活動として、(1)観光ポータルサイトの開設など広域で一体的な情報発信戦略、(2)水上遊覧船の実験運航など水面活用戦略、(3)温泉地、医療施設、美術館巡りなど滞在型の余暇活用戦略、(4)体験型観光など産業観光ネットワーク戦略、が挙げられた。シンポジウムの基調講演では、観光振興の面からの圏域内の求心力は高まりつつあるが、国際競争力と、地域間競争力を持つ魅力的な地域として圏域外(山陽圏、関西圏、首都圏、海外)に対する地域の魅力を高めていくことが課題であるとされた。

b) 観光業とエコツーリズムを取り巻く状況

宍道湖・中海地域のエコツーリズムについて検討するため、この地域の観光業について現状分析する。前述の第5回語る会における話題提供、議論では、宍道湖・中海地域では、観光に様々な形態が発生してきていることを活用しながら、観光客数を増加させることが課題であるとされた。エコツーリズムでは持続可能性が問題になることが多いが、この地域の観光業の側からは観光を業として成立させるために観光客数を増加させることが第1の課題として認識されていた。

第5回語る会では、エコツーリズムの素材開発が進み、様々な観光客、特に大都市域の観光客にそれらの素材の良さを認識してもらうことが、平成18年度のモニターツアーから平成19年度の島根県を中心とする事業によって進展すれば、様々な形態の観光客の目をこの地域に向けることにつながる可能性があるというのが松江市を中心とする関係者の思惑であった。

松江市では、県庁所在地としては街中を歩いている人が少ない、ということを観光客から聞くこともある。観光地としては歩いている人の密度が小さいことは長所とも考えられるが、県庁所在地としては賑わいの少なさは短所でもある。現代の地方都市では多くの都市で見られる傾向であるが、郊外型のショッピングセンターが商業の中心となり、交通に関しては車社会になっていることが主な原因であると考えられる。国内外で環境都市の成功例は少なくない。例えば、松江市と同規模の人口20万人規模の都市としては、歴史的街並みが美しく、環境政策の先進都市としても有名な観光都市フライブルグ（ドイツ）が挙げられる²⁷⁾。宍道湖・中海地域では、過疎化の流れの中にあるが、各都市が協力し、エコツーリズムと関連して、都市計画、交通等についての将来像を検討することも、今後のこの地域の課題となると考えられる。

いわゆる団塊の世代の人々が退職後に観光を行うことも考えられ、レジャー白書でも特集が組まれている²⁸⁾。この部門の民間消費支出を宍道湖・中海地域に誘導するための1つの方法として観光業を活性化させるという方向性は、この地域が元々持っている観光地としての特色と豊富に残された自然を活用することになると考えられる。

自然再生事業により再生された自然に親しむことも、宍道湖・中海地域の広い意味でのエコツーリズムの一環になると考えられる。宍道湖・中海地域の多様な動植物に触れる機会の提供方法についての検討が課題であると考えられた。

(2) 宍道湖・中海地域の観光地としての特性

a) 流域の観光スポット、まちづくりと親水護岸

宍道湖・中海地域の観光パンフレットである島根県パーフェクトガイドマップ¹⁾では、出雲、石見、隠岐の3地域に分けて観光スポットが紹介されていた(表-参考2)。出雲地区には多くの観光スポットがある。東京発の旅行パンフレットにも宍道湖・中海地域や隠岐諸島における多くの観光スポットが掲載されていた(表-参考3)。

国土交通省出雲河川事務所では、宍道湖周辺においては、「宍道湖の保全・整備に関するマスタープラン」に基づいた多自然型湖岸堤や親水護岸等の整備を行い、中海周辺では環境の改善、親水護岸等の整備を推進してきた²⁹⁾(図3)。

b) 宍道湖・中海地域のエコツーリズムの素材

宍道湖・中海地域には神社・仏閣、博物館など

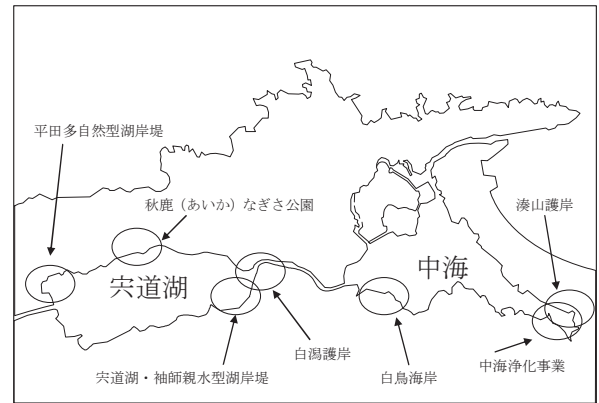


図3. 国土交通省出雲河川事務所による宍道湖・中海関連の多自然型湖岸堤、親水護岸、環境改善事業(国土交通省出雲河川事務所, 2007, を基に筆者らが作成。元図: 島根県)。

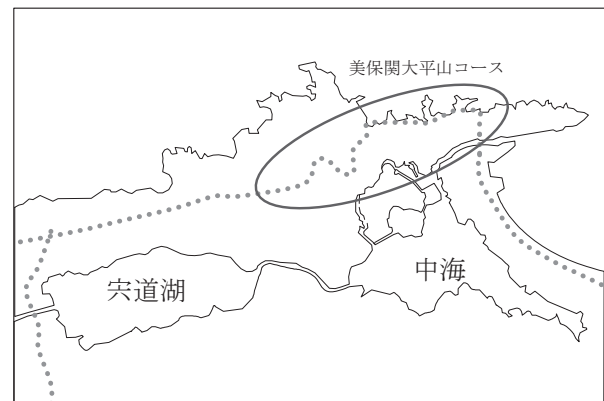


図4. 中国自然道の宍道湖・中海地域部分。

の観光スポットが多いのに対して、隠岐諸島には、ローソク島、国賀海岸、魔天崖、国賀浜、赤尾展望台、明屋海岸、赤ハゲ山、白鳥海岸、よろい岩、浄土が浦、壇鏡の滝、などのエコツーリズムの対象となる自然が数多く残されており、これらが従来型の観光パンフレットにおいては観光スポットとして紹介されていることが特徴的である¹⁾(表-参考1, 2)。

ふるさとの美しい自然や文化的遺産を結ぶ歩道を中国5県が協力して、中国自然歩道として整備している³⁰⁾。自然歩道の総延長は、約1,900 km、島根県内では約537 kmである。宍道湖・中海地域では、美保関大平山コースが設定されている(図4)。また、島根県の美しい自然にいつでも誰でもふれあえることを目的として、自然観察モデルコースが設置されている³¹⁾。田和山の森では、100種を超える動植物を観察することができ(表-参考4)、山頂からは田和山の環濠遺跡を一望することができる。100種類以上の動植物とそれらを育む自然環境と遺跡群もエコツーリズムの素材として考えることができる。

表3. 宍道湖・中海地域におけるエコツーリズム素材集(案) (宍道湖・中海エコツーリズムに関する意見交換会における資料および議論を基に筆者らが作成).

項目	季節	素材, 関連主体など		備考
漁業体験	春～初秋	宍道湖漁協 しじみ採り ゴズ釣り	じょれん体験 ごうかいな海釣り	しじみの貝殻:廃棄物としてではなく, 利用価値はないか?
水上スポーツ体験	春～初秋	なぎさ公園 カヌー ヨット	ローボート ペダルボート カッター	サンレイク カッター, サバニ, カナディアン, カヤック, ヨット
水辺に親しむ エコツーリング	春～冬	白鳥観光有限公司 白鳥号	堀川遊覧	(株)パラダイスコーポレーション クルージング
野鳥観察	冬をメイン 年中	グリーンパーク バードウォッチング	モーニングフライト	野鳥の会
生き物観察	春～初秋 夏 をメイン	コビウス 中国自然歩道	鳥根県自然観察モデル ルコース (田和山の 森など)	指導員
ものづくり(土産)	1年中	出雲本宮焼	陶芸	まがたまの里伝承館 勾玉づくり しじみを使った工芸品
食体験	1年中	松江旅館ホテル組合 七珍料理(時期にあわせて)	漁業体験後の食事作り 魚市場	
景観	1年中(朝・夕 日メイン)	写真撮影 秋鹿なぎさ公園 鳥根県立美術館	米子水鳥公園 ゴビウス 日御岬	
斐伊川くらぶ体験	時期に応じて	ヨシポットづくり・植栽	菜の花プロジェクト	
史跡	1年中	神社仏閣 一畑薬師	出雲大社	

鳥根県, ホシザキグリーン財団, 旅館業, 鳥根大学の参加者により, 宍道湖・中海エコツーリズム推進事業に関する意見交換会(2006年7月18日)が開催され, エコツーリズムを推進する目的, エコツーリズムの形態(スタイル), エコツーリズムの素材, エコツーリズムの実施主体, 対象エリア, その他, についての議論が行われた。エコツーリズムについて, 県観光振興課では, 「一過性ではなく, 恒常的にエコツーリズムを推進できる仕組みをつくり, 地域経済の振興, ゆくゆくは, ビジネス創出, 雇用創出につなげたい」という意向であった。この方向性に宍道湖・中海の活用, 環境教育の推進などを連携させることが将来的な課題であると考えられた。

観光施設の有料利用者数の推移から, 松江レイクライン, 松江堀川めぐりなどの, いわゆる参加型の観光への志向が見られたことから²⁴⁾, より自然志向の強い素材を整理, 提供することによりエコツーリズムが成立する可能性があると考えられた。

観光の形態については, マスとしての観光客数の増加が課題となっていること, 発地ツアー型のモデ

ルツアーが組まれていることは前述のとおりである。将来的には, 着地ツアー型, 個人向けプログラム・メニューが主流の海外と同様な傾向になる可能性も想定されている。海外のエコツーリズム, 日本のエコツーリズムの先行事例に匹敵するようなエコツーリズムの素材がこの地域にあるのかどうかについても, 見極めが必要であると考えられ, 対象エリアについて, 2007年6月に世界遺産に登録された石見銀山やアクアスなどまで広げるのかどうか, さらに鳥根県側との連携などが課題であるとされた。意見交換会での情報, 議論を基に著者らが作成した素材集が表3である。親水護岸の整備が進められる中で, 宍道湖・中海地域の水辺と動植物, 鳥根半島, 鳥根県自然観察モデルコースなどが, エコツーリズムの可能性のある素材として挙げられる。

c) 宍道湖・中海地域のエコツーリズムと市民参加・住民参加

宍道湖・中海環境データベース研究会³²⁾において, 宍道湖・中海地域では, 市民参加の段階にはまだなく, 住民参加の段階であるのではないかという議論

があった。ラムサール条約へ登録され、保全や再生に検討する際に、市民参加が要素として含まれると考えられるため、市民参加の側面についても整理しておくことが必要であると考えられた。

住民参加と市民参加について、多くの研究者によって定義、分類が行われてきた^{33), 34), 35), 36), 37)}。利害関係を持つ当事者として参加する住民参加から、自治の主体者である一般市民が決定段階に参加し、管理・運営を行うという市民参加まで、多様な形態・段階がある。上述の研究会の議論については、宍道湖・中海地域では、流域や湖沼の形態の変更などは、従来、行政主導で行われてきており、この地域ではまだ住民参加の段階であるという見方を背景にするものと考えられた。

島根大学の汽水域重点プロジェクト³⁸⁾は5つのチームで構成されている。そのうちの1つに平成18年度は住民協働・環境データベース活用チームがあった。市民参加に関する概念の1つに「協働」がある。地域連携に関連する協働原則は、政府(自治体を含む)の政策に関して、企画、立案、実行の各段階において、政策に関する民間の各主体の参加を得て行わなければならないという原則³⁹⁾で、ドイツ連邦政府において1976年環境報告書で定式化された⁴⁰⁾。世界レベルでは、1992年に国連環境開発会議で採択されたリオ宣言の第10原則に、市民参加の重要性と必要性が記載された⁴¹⁾。日本では、1994年の第1次環境基本計画の長期目標4項目に、循環、共生、国際的取り組みとともに「参加」が記載された。地方レベルでは、例えば、横浜市は1993年3月、自主的参加、協働原則などを含む6項目の原則を含む「横浜市における市民活動との協働に関する基本方針(横浜コード)」を策定し、この原則は2000年3月の「横浜市市民活動推進条例」にも含まれている。倉坂⁴²⁾は、従来、政策分析者、政策科学者と言われる専門家は、政策の外側に身を置き、その分類、批評を主な役割としてきたが、協働原則が普及した段階では、市民参加を促進するために有効な手法について検討、提案する役割を担うファシリテーター役の専門家が必要とされるようになってきたことを指摘した。このような流れの中で、参加型政策分析(PPA, Participatory Policy Analysis)という考え方も広まりつつある^{43), 44)}。さらに、科学的合理性と社会的合理性の乖離についても指摘されている⁴⁵⁾。

松江市のまちづくり行政が中心になり松江の都市デザインが検討された⁴⁶⁾。環境分野の市民参加も

70年代から行われてきた(表4)。1990年代から市民と行政の協働の可能性が模索されたともされており、前述の住民参加段階であるという見方については検討の余地があると考えられた。

前述のモニターツアーの動きに、ゴビウス、まちづくりネットワーク、まつえ市民環境大学村などの環境側の主体が、早い段階から関わっていることで、観光客が増加した際に問題になる可能性がある自然破壊や持続可能性について、対応しながら進めていくための関係者の枠組みは既に形成されていると考えられる。

表4. 松江市の環境保全と市民参加⁴⁶⁾(一部改変)。

年代	水域保全と市民参加	環境保全と市民参加
1970 以前		塩見縄手地区の伝統的美観地区条例の制定
1970	よみがえる堀川の会 京橋川埋め立て計画反対運動	
1980	宍道湖淡水化反対運動	市民による環境保全運動
1980 ~90	松江ウォーターフロント・プランニング	京店商店街、駅本通り商店街、カラコロ広場、城北、内中原、朝日地区のまちづくり
1990 前半	堀川水質浄化事業	市民と行政の協働の可能性の模索
1990 後半	堀川遊覧(1997年~)	まちづくり人材の広がり と市民参加の発展
2000	宍道湖エコクルーズ (2002年~)	中心市街地活性化基本計画をベースにする歩いて暮らせる街づくり事業 歴史的建物の活用 市立病院移転計画 田和山遺跡保全活動病院・田和山共存ワークショップ、田和山遺跡整備ワークショップ

(3) 都市計画的視点から見た松江市の観光

a) 都市計画における観光地区と城下町

松江市は京都、金沢と並んで3古都と呼ばれることもある。中世の趣を残す、特徴的な城下町がその由来である。松江市を訪れる観光客には城下町の風情を気に入り訪れる観光客も少なくない。さまざまなツーリズムの動きが出てくる中で、城下町というだけでは日本には数多くの都市があるので、老舗的な位置に甘んじるばかりではなく、宍道湖・中海地

域の観光地あるいはエコツーリズムの地としての特徴を趣のある街並みを活かしながら明確化していくこと、ショッピングセンターに代表される商業形態の変化の中で城下町としての特性をどのように活用していくかが今後の課題である。

都市計画法第7条では市街化区域、市街化調整区域が、同第8条では地域地区が定められている⁴⁷⁾。48)。宍道湖・中海地域において、エコツーリズムに関連すると思われる地域地区は、2007年3月時点で松江市の玉造温泉の一部が観光地区に指定されていて、2007年4月に松江城北側の塩見縄手地区が景観地区に指定された(表-参考5)。

松江市は、松江城の城下町として発展したまちである⁴⁹⁾。元城下町の都市計画における都市の骨格は、一軸状、十字状、環状に区分されるが、当時の松江市の都市計画は、一軸状の骨格であった。都市計画決定理由書に見る城下町基盤の位置付けとしては、街路構成の類型はグリッド型、街路形態については復員狭小、屈曲が多い点について、否定的評価が行われた。グリッド型は全国の城下町の半数程度が相当し、街路形態に屈曲が多いという評価が行われた城下町は他にも数か所あり、復員狭小は多くの城下町で同様の評価が行われた。城内街道距離1.4kmのうち、主要街道が踏襲されたのは0.8kmで踏襲比率は56%となっている。これは全国平均の37%よりも多い。これらから、松江市は比較的古い街並みが残されている城下町であったと考えられるとともに、上述の観点から同程度の城下町も数が多いことが分かった。近代(明治期)における城郭内の土地利用形態としては、天守等、公園、軍施設、県庁、市役所等、寺社、学校、公共施設、工場、耕地、駅・鉄道などがあり、松江城と同様に城郭内が県庁として利用されている事例は佐賀、大分にも見られた。

b) 都市計画とエコツーリズム

エンデ、チョムスキーらは、グローバル経済における競争社会では、勝ち組、負け組みという格差の拡大と、時間が人間精神に大きな影響を与えていることを指摘した⁵⁰⁾。時間と空間に関する考え方を基にしながら、最近では、まちづくり、まち育て、という考え方が発生してきている。Gratz and Mints⁵¹⁾はプロジェクト・プランニング(project planning)とアーバン・ハズバンドリー(urban husbandry)を対比させ、延藤⁵²⁾は、アーバン・ハズバンドリーを「まち育て」と紹介した。Gratz and Mints⁵¹⁾によると、プロジェクト・プランニングは専門家によって統計データや客観的属性に基づき提案されるもので、

アーバン・ハズバンドリーは市民による積極的なかわりから地域資源を発見し、その資源の継続や既存の力の増殖を行う方法であるとしている。プロジェクトは関係を断絶させるが、プランニングは関係性を構築するものであり、現在の都市計画の制度上に関係構築のプランニングの機能がないことを前提にしながら、アーバン・ハズバンドリー、まち育て、という言葉を用いることにより、関係性を構築するという考え方が提起されてきた。エコツーリズムを考える際にも、既存の空間を活かしながら、空間と時間について考えることにより、プロジェクト(図3)をプランニングでつなぐような考え方が必要かもしれない。アーバン・エコツーリズムという考え方も提唱されつつある⁵³⁾。

東京、大阪などの大都市周辺で沿岸域の再開発などの都市再生事業が行われている。エコツーリズムも都市再生とほぼ同時期に始まった考え方であり、高度成長を経て、低成長時代を迎え、都市や自然を中心とする観光地における開発、保全の方向性が見直されていることに他ならない。沿岸域の環境管理計画では、地域環境管理計画の枠組みが使われることが多い。都市環境研究会が大坂の沿岸域のオープンスペースの環境管理計画において重要な要素として挙げている(1)沿岸環境管理計画の充実、(2)環境行政システムの強化、(3)市民自らの環境管理計画、などの考え方⁵⁴⁾は、宍道湖・中海地域のエコツーリズムにおいても参考となるであろう。エコツーリズムに関しては、必ずしも市民のみが主体となるものではなく、外部から宍道湖・中海地域を訪れるツーリストが主体となる点が異なるが、環境容量、環境保全型計画手法、環境学習などの都市再生に共通する要素が含まれる。

(4) ラムサール条約とエコツーリズム

2005年11月、第9回ラムサール条約締約国会議(ウガンダ)において、宍道湖と中海が国際的に重要な湿地に係る登録簿に掲載された⁵⁵⁾。湿地を守るために、Wise Use(賢明な利用、適正な利用)の考え方が提唱されている。宍道湖・中海におけるWise Useとしては、シジミ漁、シンポジウムなどにより関心を高める、湿地の産物をブランド化して商品価値を高める、自然観察会で湿地の生き物とふれあう、湿地の美しさをより多くの人に見てもら(観光)、湿地の水質を調べる、自然に近い湿地に戻す、などが考えられている。ラムサール条約登録地としての宍道湖・中海の価値は、両湖とも毎年4万

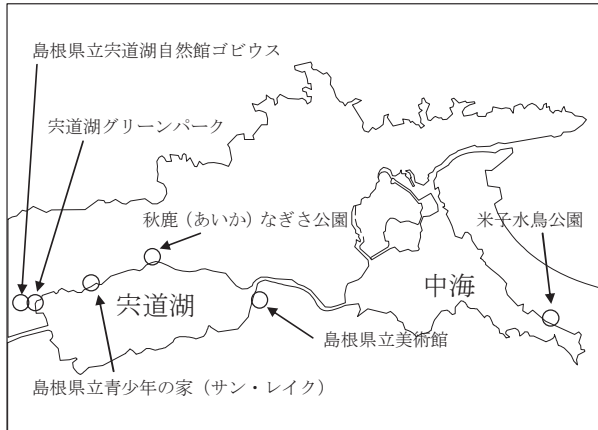


図5. 宍道湖・中海沿岸の動植物などにふれあうことができる施設(島根県環境生活部自然環境課³⁰⁾を基に筆者らが作成。元図：島根県)。

羽を超えるガンやカモを始めとして、スズガモ、キンクロハジロ、マガン、ホシハジロ、コハクチョウが飛来する。塩分の異なる汽水湖という特徴もあり、宍道湖では、ヨシ群落、ガガブタ、シンジコハゼ、ナゴヤサナエ、ヤマトシジミが、中海では、コアマモ、オオクグ群落、アサリ、ヒイラギが特徴的な植物である。

宍道湖・中海沿岸には、これらの自然とふれあうことができる施設として、宍道湖グリーンパーク、島根県立宍道湖自然館ゴビウス、島根県立青少年の家(サン・レイク)、秋鹿なぎさ公園、島根県立美術館、米子水鳥公園などがある(図5)。

ラムサール条約の登録地であることを活かしながら、流域のエコツーリズムを形成していく方向性を検討することが課題であると考えられた。

(5) 宍道湖・中海地域のエコツーリズムの可能性

日本において持続可能なエコツーリズムが成立するためには、素材があること、インタープリターが育成されていること、それを支える様々な関係者がいること、関係者間の組織的連携がうまく行っていること、旅行者の支払う費用がエコツーリズムの関係者を含む地域経済にうまく還元されること、自然保護が推進されること、などが重要な要素であることが整理されてきた。これらを、環境省¹⁴⁾はガイドランスとルールとしてまとめている。ガイドランスは、地域の自然や文化についての情報、経験を観光客に案内することであり、ルールは、地域の自然や文化を保全・維持するための決まりごとの取り決めである。ガイドランスの側面としては、宍道湖・中海、中国自然歩道、自然観察モデルコースの動植物とそれ

を育む自然環境の保全、整備とガイド役の育成が相当する。平成19年5月に第1回の松江物知り博士のコンテストが行われた。これは、類型2,3のエコツーリズム(表1)を対象とするガイド役の育成を目的とするものと考えられる。様々な関係者が参加して、自然、遺跡、旧跡等の素材のインタープリター役の養成の1つの枠組みはできたと考えられる。ガイドランスの面からは、これらの点とも考えられる役割を線、さらには面としてつなげるようなツアーの提供が、今後の課題であると考えられる。ルールについても、整備と遵守のための仕組みづくりが必要である。

宍道湖・中海地域においては、どのような素材があるのかを整理し、どのような形態のエコツーリズムを目指すのか、を検討することが今後の地域全体の課題であろう。水辺とそこに生息する動植物を中心とする素材は、十分にあることが本研究により整理された。これらの素材の重要な点は、地域の人々には日常の風景になっていて気づかないようなものもあると考えられる。さらに、どのような形態のエコツーリズムを目指すのかについては、地域経済の発展につながるようなエコツーリズムを目指すべきであり、この流域にある程度の人口規模がある観光地が既に存在することから、これらとどのように融合させるかが今後の課題である。

観光業としては、日本人の余暇活動^{31), 62), 63), 64)}、海外からの観光客^{65), 66)}の動向を踏まえる必要がある。

内外の事例により、関係者の連携がうまくいっているところ、旅行者の急増により自然破壊が進んでいるところ、従来型の観光とエコツーリズムがうまく融合しているところ、などがあり、これらの成功例、失敗例を関係者が共有しながら、トップダウン、ボトムアップの両方の動きにより、宍道湖・中海のエコツーリズムを形成していくのが望ましい方向性であると考えられた。都市エコツーリズムの考え方が提案されていることもあり、水辺、動植物等の素材と併せて街並みを活かしたエコツーリズムが可能となるであろう。

一方、観光客が増加することにより、廃棄物、生活排水対策が必要となり、交通渋滞等の問題が発生することも考えられる。宍道湖・中海地域では、従来から観光地であり、人口が減少傾向にあるため、観光客による廃棄物、生活排水対策が容量的に大きな問題となることは想定しにくい。これらの観光問題への対応を検討することも必要である。

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、既存文献・資料を収集するとともに、現状の動きについて調査を行った結果、次のような結論が得られた。

- 1) この地域にとって、観光業の発展は産業全体の発展のために望ましい方向であると考えられた。今後の研究上の課題として、地域レベルのエコツーリズムの影響を把握することできるような経済統計データに基づく解析が挙げられる。
- 2) エコツーリズムの素材となる要素は相当あると考えられた。実際にどのような動植物を含む自然や環境がエコツーリズムのツアー客に魅力的であるかについては、更なる検討が必要である。
- 3) 地域のエコツーリズムの発展のためにはツアーとしてエコツーリズムを形成することが必要で

あり、旅行形態としては、短期的には発地型、中長期的には着地形を中心とする多様な形態に対応することが必要である。

- 4) 現在のところ、観光業界を中心に、経済的な側面からツアー客の増加が望まれているが、エコツーリズムが発展し、ツアー客が増加した段階においては、廃棄物、生活排水処理、交通渋滞等の問題への対策を検討する必要がある。自然環境をテーマとする研究所や環境 NGO が関係者として参加している現在の枠組みの有効活用が必要かつ効果的であると考えられる。

本稿の内容、考え方は、日本学術会議の見解を示すものではないことを申し添えます。

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

表－参考 1. 観光所得乗数の算定事例 (出典：小沢²⁵⁾。元データは Archer, 1991, による)。

地域の種類	地 域 名	観光所得乗数の値
国・島	Dominica	1.20
	Bermuda	1.03
	Hongkong	1.02
	Hawaii	0.90 – 1.30
	Bahamas	0.78
	Fiji	0.69
	British Virgin Islands	0.58
アメリカの州・郡	Hawaii	0.90 – 1.30
	Missouri	0.88
	Walworth County (Wisconsin)	0.77
	Grand County (Colorado)	0.60
イギリスの郡・地域	Gwynedd (North Wales)	0.37
	South West England	0.33 – 0.47
	East Anglian Coast	0.32
	Lothian Region	0.29 ¹⁸⁾

表-参考2. 出雲地区の観光スポット^a.

区 分	観光スポット	区 分	観光スポット
温泉	松江しんじ湖温泉 玉造温泉 海潮温泉 湯の川温泉 鷺の湯温泉 立久恵峡温泉 出雲湯村温泉 斐乃上温泉 出雲須佐温泉 多伎いちじく温泉 割烹温泉ゆらり 鹿島多久の湯 クアハウス湖陵 ホットランドやくも 出雲ゆうプラザ 加田の湯	おすすめスポット	足立美術館 ルイス・C・ディファニー庭園美術館 & イングリッシュガーデン (筆者注: 前者は2007年3月に閉館) 松江フォーゲルパーク 荒神谷遺跡・加茂岩倉遺跡 宍道湖 出雲大社 松江城・塩見縄手 島根県立美術館 鬼の舌震 大根島 日御碕灯台・日御碕神社
美術館, 博物館, 記念館, その他	県立宍道湖自然館ゴビウス 和鋼博物館 出雲ドーム 出雲文化伝承館 絲原記念館 平田本陣記念館 可能美術館 安部榮四郎記念館 荒神谷博物館 出雲市立木綿街道交流館 安来節演芸館	見どころ, 公園	しまね花の郷 月山富田城跡 美保関灯台 出雲いりすの丘 見晴らしの丘公園 龍頭ヶ滝・八重滝 カラコロ工房 島根ワイナリー 来待ストーン
キャンプ場	ふるさと森林公園 ふれあいの里奥出雲公園 県民の森オートキャンプ場 かみくの桃源郷	神社・仏閣	美保神社 鱒淵寺 一畑薬師 清水寺 八重垣神社 神魂(かもす)神社
海水浴場	北浦海水浴場 古浦海水浴場 キララビーチ	スキー場	三井野原スキー場 琴引フォレストパークスキー場 三瓶スキー場
グルメ	島根和牛肉 出雲そば 島根ワイン 宍道湖七珍料理 シジミ 日本酒 お茶 あご野焼き 乳製品(雲南市) 松江銘菓	お土産	めのう細工 張り子虎 薬用人参 出雲石灯籠 八雲塗り

a: 島根県観光振興課(2006)¹⁾を元に筆者らが作成.

表-参考3. 東京発の旅行パンフレットに見る宍道湖・中海地域の周遊地。

発地	パンフレット名	期間	目的地	宍道湖・中海周辺地区の周遊地など
東京	JAL 紀行倶楽部	06.10～07.03	東北・北陸・関西・四国・山陰・山陽	出雲大社, 須佐神社, 松江しんじ湖温泉, 松江市内観光, 玉造温泉, 一畑薬師, 日御碕 ----- 中ノ島(歴史民族資料館, 後鳥羽院, 隠岐神社), 知夫里島(赤ハゲ山展望台, 赤壁), 西ノ島(魔天崖, 国賀浜), 島後(隠岐家宝物館, 玉若酢命神社, 水若酢神社, 隠岐郷土館, 創生館, 隠岐国分寺, 隠岐自然館)
東京	JALで行く冬の山陰・山陽スペシャル	07.01～07.03	山陰・山陽	カラコロ工房, 大手前, 宇賀橋, 塩見縄手, 松江しんじ湖温泉, 玉造温泉, 出雲大社
東京	エース JTB	07.04～07.09	山陽・山陰・萩・四国	出雲大社, 足立美術館, 由志園, 宍道湖, 松江城, 出雲そば, 松江しんじ湖温泉, 玉造温泉, 皆生温泉, 須佐神社, 八重垣神社, 石見銀山, 古代出雲歴史博物館, 松江水燈路, 出雲玉作資料館, いずもめのう細工伝承館, 松江レイクライン, 千茶荘, 清厳寺, 玉作湯神社, 武家屋敷, 松江城, 島根県物産観光館, 島根ふるさと館, お湯かけ地蔵, 足湯, 島根県立美術館, 松江市こども科学館, アクアミュージアム, 月照寺 ----- 境港の鮮魚, 水木しげるロード, とっとり花回廊, 米子城跡, 鬼太郎列車 ----- ローソク島, 国賀海岸, 魔天崖, 国賀浜, 赤尾展望台, 由良比女神社, 隠岐神社, 明屋海岸, 歴史民族資料館, 金光字, 赤ハゲ山, 白鳥海岸, よろい岩, 浄土が浦, しゃくなげ園, 佐山牛突場, 隠岐国分寺, 壇鏡の滝, 駅鈴・玉若酢命神社, 隠岐自然館, 隠岐モーモードーム
東京	エース JTB	06.10～07.03	山陽・山陰・萩・四国	出雲大社, 八重垣神社, お抹茶, 出雲わりこそば, 玉造温泉, 宍道湖, 松江城, ルイス・C・ティファニー庭園美術館, 皆生温泉, 松江しんじ湖温泉, 石見銀山, 松葉ガニ, 足立美術館, 大山, 隠岐諸島, 出雲玉作資料館, いずもめのう細工伝承館, 松江レイクライン, 千茶荘, 清厳寺, 玉作湯神社, 松江水燈路, 武家屋敷, 松江城, 島根県物産観光館, 島根ふるさと館, お湯かけ地蔵, 足湯, 島根県立美術館, 松江市こども科学館, アクアミュージアム, 月照寺, 境港の鮮魚, 水木しげるロード, とっとり花回廊, 米子城跡, 鬼太郎列車, 美保えび, 白ハタ, 島根ワイナリー, 松江フォーゲルパーク

表-参考4. 田和山の森で見られる主な動植物⁴⁾。

種名	種類	時期	種名	種類	時期
植物					
ガマズミ	花	5-6月	エゴノキ	花	5-6月
ハゼノキの実	花	5-6月	センダン	花	5-6月
ケヤキの紅葉	花	4-5月	クサギ	花	8-9月
モミの球果	花	5月	スギの植林	花	3-4月
モチノキ	花	4-5月	イヌビワ	花	4-5月
スタジイの樹冠	花	5-6月	アラカシ	花	4-5月
クロキの実	花	3-4月	ヤブツバキ	花	2-4月
クヌギ	花	4-5月	アカメガワシ	花	7月
ヤマツツジ	花	5-6月	シロダモの実	花	10-11月
コナラ	花	4-5月	ゴンズイの実	花	5-6月

ノグルミ	花	6-7月	ネズミモチ	花	6月
サカキ	花	6-7月	ミツバアケビ	花	4-5月
タブノキ	花	5月	ムラサキシキブ	花	6-7月
常用樹と落葉樹の混交林					
ヒサカキ	花	3-4月	クリ	花	6月
ヤマザクラ	花	4月	コックバネウツギ	花	5-6月
サネカズラの実	花	8月	コマユミ	花	5-6月
カクレミノ	花	7-8月	コバノガマズミの実	花	4-5月
タラノキ	花	8月	ネムノキ	花	6-7月
イヌシデ	花	4-5月	ヤツデ	花	10-12月
ウツギ	花	5-6月	イヌザンショウの実	花	7-8月
動物(昆虫)					
ベニシジミ	セマダラコガネ				
キチョウ	エゴツルクビオトシブミ(ハギツルクビオトシブミ)				
アゲハチョウ	オオカマキリ				
コアオハナムグリ	ルリタテハ				
オオチャバネセセリ	アオスジアゲハ				

a: 出典:「里山を育てる会」編集委員会編(2006)³¹⁾を元に筆者らが作成。

表-参考5. エコツーリズムに関連すると考えられる都市計画法上の地域, 地区およびその都市数と指定面積^{a)}.

地域, 地区	概要	都市数	指定面積 (ha)
特別用途地区	用途地域内において, 特別の目的からする土地利用の増進, 環境の保護等を図るため定める.	-	-
厚生地区	医療施設を中心として静かな厚生的環境を保持する必要がある地区.	2	26
娯楽・レクリエーション地区	(1) 大都市の歓楽街等風俗営業, 遊戯施設の集中立地している地区. (2) 住宅街でボーリング場等の遊戯施設, 飲食店が集中立地している地区. (3) 海浜, 大規模公園等レクリエーション施設の環境の保全及び利便の増進を図るべき地区又は避暑地, 温泉地等でホテル, 旅館, 遊戯施設等の施設の集中的立地を図ることが適当な地区.	18	1,621
観光地区	温泉地等の観光地で, 旅館, ホテル等観光資源の利用上必要な施設が集中立地している地区, 旅館, キャバレー, 土産物店等, 観光の利便上必要である建築物以外の建築物の建築を禁止する.	11	1,603
美観(景観)地区	都市における建築美を維持する. 2004年の景観法の制定により, 美観地区から景観地区に名称が変更された.	3	1,978
風致地区	都市における自然的景観, 風致を維持する.	216	169,511
歴史的風土特別保存地区	古都(京都市, 奈良市, 鎌倉市, 天理市, 橿原市, 桜井市, 逗子市, 奈良県生駒郡斑鳩町, 奈良県高市郡明日香村)における歴史的風土を保存する.	8	20,083
特別緑地保全地区	緑地を保全する地区. 相続税の評価額をおおむね4割減額する. この他に, 市民緑地, 緑地協定地区などの枠組みもある.	60	5,459
生産緑地地区	農地, 採草放牧地(農業), 森林(林業), 池沼(漁業)が対象となる. 指定規模500m ² 以上で, 建築物の建築等の行為制限が課され, 30年経過後に市町村に対して買取を請求することができる. 相続税納税猶予制度あり.	205	14,661
伝統的建造物保存地区	伝統的建造物群およびこれと一体をなしてその価値を形成している環境を保存する.	40	748

a: 2006年3月末現在(出典:国土交通省都市・地域整備局都市計画課編(2006)⁴⁷⁾を元に筆者らが作成)

参 考 文 献

- 1) 鳥根県観光振興課 (2006) 鳥根県観光ガイドマップ, 鳥根県パーフェクトガイドマップ
- 2) 今井真木, 菊池眞夫 (2000) コモンズと環境保全 - サモアにおけるエコツーリズムの試み -, 千葉大学園芸学部報, 第 54 号, pp.105-114.
- 3) 貝柄徹, 磯嶋喜規 (2005) エコツーリズムの定義と分類に関する検証, 大手前大学人文学部論集 第 6 号, pp.61-76.
- 4) 張玉鈞 (2003) エコツーリズムによる森林ガバナンスの形成, 鳥根大学生物資源科学部博士論文, 122p.
- 5) 森信之 (2001) エコツーリズムと地域振興, 大阪明浄大学紀要第 1 号, pp.77-91.
- 6) Cater, E. (1994) Ecotourism in the third world - problems and prospects for sustainability. *in* Ecotourism: A sustainable option?, eds. E. Cater and G. Lowman, pp.69-86. Chichester, England: John Wiley & Sons. Cited in Hiwasaki (2006)
- 7) Middleton, V.T.C. (1997) Sustainable tourism: a marketing perspective. *in* Tourism and sustainability: Principles to practices, ed. M.J. Stabler, pp.129-142. Oxford, England: CAB International.
- 8) Honey, M. (1999) Ecotourism and sustainable development: Who owns paradise? Washington DC: Island Press.
- 9) Kontogeorgopoulos, Nick (1999) Sustainable tourism or sustainable development? Financial crisis, ecotourism, and the 'Amazing Thailand' campaign, *Tourism*, Vol.2, No.4, pp.316-332.
- 10) Miyakawa, Hiroshi (2002) Chapter Thirteen: Ecotourism in Japan, Linking Green Productivity to Ecotourism: Experiences in the Asia-Pacific Region, Asian Productivity Organization (APO), pp.108-118. (http://www.apo-tokyo.org/gp/e_public/gplinkeco/15chapter13.pdf)
- 11) 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.
- 12) Hiwasaki, L. (2006) Community-based tourism: a pathway to sustainable for Japan's protected areas, *Society and Natural Resources*, Vol.19, pp.675-692.
- 13) International Ecotourism Society (2006) What is ecotourism? (<http://www.ecotourism.org/index2.php?what-is-ecotourism>, accessed in April, 2006)
- 14) 環境省 (2006a) 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
- 15) 環境省 (2006b) エコツーリズム推進方策, 第 3 回エコツーリズム推進会議資料 2 (http://www.env.go.jp/council/22eco/y220-03/mat_02.pdf)
- 16) 松井三郎 (2006) 地球生態系の現状と人類安寧の評価, *土木学会論文集 G*, Vol.62, No.1, pp.153-161.
- 17) 千頭麻子, 村上雅博, 中本良徳, 立石太郎, 武田智子 (2005) ベトナム・サイゴン川河口デルタ地帯のマングローブ林エコ・ツアーについて, 第 42 回環境工学研究フォーラム講演集, pp.174-176.
- 18) Myers, Norman (1998) Overview: Securing the fabric of life, *People & the planet*, IPFF, UNFPA, IUCN, Vol.7, No.4, pp.6-9.
- 19) 日本エコツーリズム協会 (2006) JES が考えるエコツアー (<http://www.ecotourism.gr.jp/ecotour.html>)
- 20) 第 5 回全国グリーンツーリズムネットワークしまね石見大会実行委員会 (2007) 第 5 回全国グリーンツーリズムネットワークしまね石見大会報告書
- 21) Forsyth, Tim (2002) What happened on "The Beach"? Social movements and governance of tourism in Thailand, *International Journal of Sustainable Development*, Vol.5, No.3, pp.326-337.
- 22) Pleumarom, Anita (2002) Destruction in disguise, *Alternative Journal Waterloo*, Vol.28, Iss.4, pp.32.
- 23) Kunii, Hidenobu (2003) Characteristics of a Coastal Lake and its Wise Use and Reclamation, *Proceedings of the International Workshop on Wise Use of Lagoon Wetlands*, pp.10-14, 23-25 July 2003, Kushiro, Japan. (in English with Japanese abstract)
- 24) 風呂本晋輔 (2006) 松江市における観光政策の現状と課題～滞在型観光地に向けて～, 地域政策の現代的諸問題, 2005 年度卒業論文集, pp.24-44, 鳥根大学法文学部飯野ゼミ
- 25) 小沢健市 (1994) 観光を経済学する, 第 13 章「観光の経済的インパクト: 観光乗数」, 文化書房博文社, 249p.
- 26) 山陰中央新報新聞社 (2007) 中海・宍道湖・大山圏域シンポジウム「未来への指針」同圏域の将来を考える (<http://www.sanin-chuo.co.jp/kikaku/nakaumi/index.html>)

- 27) 池貝浩 (2005) フライブルグ (ドイツ), 丸田頼一編環境都市計画事典, pp.490-491, 朝倉書店, 511p.
- 28) 財団法人社会経済生産性本部 (2006) レジャー白書 2006 -特別レポート- 団塊世代・2007年問題と余暇の将来, 154p.
- 29) 国土交通省出雲河川事務所 (2007) 河川環境整備事業 (<http://www.izumokasen-mlit.go.jp/02jigyo/kankyouseibi/kankyouseibi.html>)
- 30) 島根県環境生活部景観自然課 (1999) 中国自然歩道, 美保関大平山コース, モデルシリーズ No.3
- 31) 「里山を育てる会」編集委員会編 (2006) 松江市田和山の森ガイドブック, 島根県環境生活部自然環境課
- 32) 都筑良明, 中山大介, 國井秀伸 (2006) 宍道湖・中海環境データベースプロトタイプ, LAGUNA (汽水域研究) No.13, pp.119-133.
- 33) 奥田道大 (1970) 住民参加の現状と課題, ジュリスト増刊総合特集1 現代と自治, 現代のエスプリ 住民参加, 158 p., 至文堂, pp.74-90, 倉坂 (2004) の参考文献
- 34) 西尾勝 (1975) 市制と市民の参加, 季刊環境文化 16号所収, 現代のエスプリ 住民参加, 158 p., 至文堂, pp.37-46, ジュリスト増刊総合特集1 現代都市と自治, 倉坂 (2004) の参考文献
- 35) 高寄昇三 (1980) 住民投票と市民参加, 動草書房
- 36) 世古一穂 (1999) 市民参加のデザインー市民・企業・NPOの協働の時代, ぎょうせい, 倉坂 (2004) の参考文献
- 37) Arnstein, S. R. (1969) A ladder of citizen participation, *American Institute of Planners Journal*, 35 (4), 216-224. 倉坂 (2004) の参考文献
- 38) 島根大学 (2006) 重点プロジェクト HP (<http://www.proken.shimane-u.ac.jp/>)
- 39) 大久保規子 (2002) NPOと行政の法関係, 山本啓・雨宮孝子・新川達郎編著: NPOと法・行政, ミネルヴァ書房
- 40) 清野幾久子 (2001) ドイツ環境保護における協働原則ードイツ連邦政府裁判所と協働原則, 法律論叢, Vol.73 (4-5), pp.27-45. 倉坂 (2004) の参考文献
- 41) 香川県 (2007) リオ宣言 (<http://www.pref.kagawa.jp/kankyo/iso/sozai2/rio.pdf>)
- 42) 倉坂秀史 (2004) 海辺とかかわるための仕組ー三番瀬円卓会談の経験と教訓, pp.186-211, 小野佐和子, 宇野求, 古谷勝則編, 海辺の環境学ー大都市臨海部の自然再生, 東京大学出版会, 265p.
- 43) Geurts, J. L. and C. Joldersma (2001) Methodology for participation policy analysis, *European Journal of Operational Research*, Vol. 128, pp. 300-310, cited in 倉坂 (2004)
- 44) 秋吉貴雄 (1999) 参加型政策分析の概念, NIRA政策研究, Vol.12, No.12, pp.10-13.
- 45) 藤垣裕子 (2003) 専門知と公共性, 東京大学出版会
- 46) 松江市 (2002) 松江の都市デザイン, 平成14年3月
- 47) 国土交通省都市・地域整備局都市計画課編 (2006) 都市計画年報 2006年版
- 48) 建設省都市局都市計画課監修 (1989) 都市計画法の運用<第2次改訂版>
- 49) 佐藤滋 (1995) 城下町の近代都市づくり, 鹿島出版会, P.224.
- 50) 木下勇 (2004) 海・まち育てのすすめ, pp.212-251, 小野佐和子, 宇野求, 古谷勝則編, 海辺の環境学ー大都市臨海部の自然再生, 東京大学出版会, 265p.
- 51) Gratz, Roberta Brandes and N. Mintz (1998) *Cities Back from the Edge: New Life for Downtown*, New York, John Wiley.
- 52) 延藤安弘 (2001) 「まち育て」を育むー対話と協働のデザイン, 東京大学出版会, 282p.
- 53) Higham, James and Michael Lück (2002) Urban ecotourism: a contradiction in terms?, *Journal of Ecotourism*, Vol.1, No.1, pp.36-51.
- 54) 都市環境研究会 (1991) 沿岸都市とオープンスペース, 都市文化社, p.397.
- 55) 島根県環境生活部自然環境課 (2006) ほくたち・わたしたちの宍道湖・中海とラムサール条約, 制作協力: 財団法人ホシザキグリーン財団, 島根県立宍道湖自然館ゴビウス

ヤマトシジミへの給餌と軟体部増加に関する実験

山口啓子¹・幸内綾子¹・藤岡克己²

Experimental Studies on relationship between feeding materials and increase of soft parts of *Corbicula japonica*

Keiko Yamaguchi¹, Ayako Ko-uchi¹ and Katsuki Fujioka²

Abstract: Rearing experiments were carried out to study relationships between feeding materials, feeding methods and increase of soft parts of *Corbicula japonica*. Artificial soy food was very effective for the increase of soft parts. Diatom *Thalassiosira pseudonana*, one main food of the clams in Lake Shinji, increased the soft part, but the efficiency was not so high. Two feeding methods, “feeding once a day” and “feeding little by little for 12 hours a day” showed almost the same growth of soft parts under the condition of circular running water.

Key words: *Corbicula japonica*, Condition Index, feeding experiment, diatom, *Thalassiosira pseudonana*

はじめに

ヤマトシジミ (*Corbicula japonica*) は、低塩分の汽水域において優占する二枚貝である。島根県にある宍道湖は代表的な低塩分の汽水湖であり、ヤマトシジミの漁獲量が全国第一位である (中村 2000a)。しかし、昭和 45-60 年代には 10,000 t を超える漁獲があったのに対し、近年は漁獲量が減少傾向にある。また、しばしば大量斃死が起こり (e.g. 相崎ほか, 2001)、さらにジェオスミンと思われるカビ臭の問題も発生している。このような中、ヤマトシジミを安定的かつ美味な状態で市場に供給するために、長期畜養の必要性が高まりつつある。しかし、本種の長期畜養に関する研究はほとんど行われていない。

ヤマトシジミはろ過摂食を行う懸濁物食者とされ、高いろ過能力を持っており、湖内の植物プランクトンを水中から除去する働きがあるとして注目さ

れている。更に本種は漁獲により系外へ除去されることで栄養塩除去の役割を果たしている。このように富栄養化しやすい汽水域において、本種は水質浄化に重要な働きをしている。これまで、ヤマトシジミが水域の窒素循環で果たす役割については盛んに研究されてきた (中村, 2000b; 中村, 2004; 山室 1992, 1997 など)。これらの研究では、ヤマトシジミの食性については、濾過による植物プランクトンの摂取を基本概念としている。消化管内を観察した林・大谷 (1967) は植物プランクトンの中でも珪藻類が多く確認されたため、主に珪藻類を食物としていると報告している。しかし、大谷ほか (2004) は珪藻が未消化のまま擬糞や糞で排泄されていることを示しており、ろ過をし、口内に取り込んでいても、実際に栄養として吸収しているかどうかは確認されていない。一方、林・大谷 (1967) は、シジミ類の消化管内を観察し、デトリタス (腐植質) が多く確

¹ 島根大学生物資源科学部 Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University

² 中浦食品株式会社 Nakaura Foods Corporation

認められたことを報告している。更にヤマトシジミ軟体部の炭素・窒素安定同位体比を調べた Kasai & Nakata (2005) の研究では、海洋起源の植物プランクトンよりもむしろ陸源のデトリタスを主に摂食していると報告している。また Sakamoto *et al.* (2007) では、ヤマトシジミがセルロース分解酵素を持ち、陸源の高等植物のセルロースを分解して、その栄養を利用している可能性を示した。このようなことから、ヤマトシジミは珪藻以外の餌も利用する可能性が考えられる。

そこで本研究では、ヤマトシジミの畜養による安定供給および給餌飼育実験の方法を検討するための基礎資料を提供すること、珪藻を餌資源として利用しているかを確認すること、畜養に有効な餌資源と給餌方法について検討することを目的として、餌料の種類と給餌方法を変化させた室内飼育実験を行い、肥満度によってその結果を評価した。

材料と方法

実験に用いたヤマトシジミは、島根県東部に位置する宍道湖西岸のヨシ原付近で2005年11月5日に採集した。採集時の水温は約15℃、塩分は5.6 psuであった。末光ほか(2001)において、秋期に軟体部が大きく増加した10-11月の水温が20℃であったことから、実験水温を20℃とし、20℃に設定した部屋に循環式水槽を設置し、約1ヶ月馴致したのち飼育実験に用いた。採取された中から標準的なサイズの個体を集め、殻長 19.42 ± 1.04 mm、湿重量 2.74 ± 0.43 gの個体を実験に使用した。

シジミの殻表面に番号を記して個体識別をし、実験開始前の個体湿重量(g)を電子天秤で0.001 gの精度で測定し、殻長、殻高、殻幅をノギス(Mitsutoyo製、デジマティックキャリパー)で0.01 mmの精度で測定した。また、実験開始前・実験期間の中日・実験終了時に肥満度(Condition Index)を測定した。実験開始前は初期値として40個体、中日と終了時は各実験区について30個体ずつを肥満度の測定に供した。ここでいう肥満度とは二枚貝の軟体部充足の程度を表す指標であり、末光ほか(2001)に従い、シジミの軟体部乾燥重量(g)、軟体部灰重量(g)、殻長、殻高、殻幅(mm)から求めた。軟体部乾燥重量は50℃で2日以上乾燥、軟体部灰重量は600℃で2時間燃焼させた後の重量を、それぞれ電子天秤で0.00001 gの精度で測定した。肥満度を求めた式を下記に示す。

$$\text{肥満度 (C. I.)} = \frac{\text{AFDWg} \times 1000}{(\text{殻長 mm} \times \text{殻高 mm} \times \text{殻幅 mm})}$$

ただし、

$$\begin{aligned} \text{軟体部有機物量 (AFDW)} \\ = \text{軟体部乾燥重量} - \text{軟体部灰重量} \end{aligned}$$

実験条件

本飼育実験では、①飼料条件(餌の内容)、および②給餌方法による軟体部変化、を明らかにするために、以下の実験区を設定し、それぞれのヤマトシジミの肥満度を測定した。

1) 飼料条件の比較

飼料条件として、a) 市販の人工飼料、b) 分解させたヨシの枯葉、c) 培養した珪藻の3種類とd) 無給餌を設定した。

a) 人工飼料は二枚貝用に開発された粉末飼料で、大豆を原材料とするのもの(日本農産社製、二枚貝育成用飼料M-1)を使用した。

b) ヨシ(*Phragmites australis*)の葉は宍道湖でシジミを採取した同地点から、枯葉を現地の環境水とともに採集した。ヨシを50℃で乾燥させた後、粉碎器(AS ONE社製、WB-1)で細かく粉碎した。環境水には、ヨシを分解する微生物が存在していると考え、この環境水に粉碎したヨシの葉を移し入れ、エアレーションをして約2ヶ月間おき、分解を促した。途中、ヨシの大きさを確認したところ、細かいもの(約3~5 μm)もあったが、粒が大きいサイズ(約30~50 μm)が確認できた。このため、さらにミキサー(AS ONE社製、Hamilton Beach)で水を含んだ状態で粉碎した。

c) 培養珪藻の種は宍道湖水から単離培養された株 *Thalassiosira pseudonana* (島根大学教育学部大谷研究室で所有するSc1)をもちいた。珪藻の直径は約3 μmであった。本種は宍道湖に於いてしばしば優占し、直径が10 μm以下であるため、ヤマトシジミの餌として有効と予想して用いた(大谷ほか, 2004)。培養方法は、海水を地下水で15%に調整し、孔径0.5 μmのフィルターを通したものを100 Lに、培地用粉末(ダイゴIMK培地)を溶解させた。さらにメタ珪酸ナトリウム5 gを添加し、硫酸でpHを調整したものを培地として用いた。そこに、10000 cell/ml程度になるよう植種し、約5000

表1. 実験に使用した飼料（人工飼料，ヨシ，珪藻）の栄養価（乾燥試料1gあたりのカロリー，炭素含有率，窒素含有率）

Table 1. Nutrition Values of tested food materials (Soy Food, Reed, Diatom) : par dry weight (g).

	Calorific Value cal/g	C %	N %
Soy Food	5430	42.2	6.08
Reed	3594	36.6	1.75
Diatom	2531	47.8	9.10

ルクス，20℃，攪拌条件で培養を行った。約4～7日で400～500万 cell/ml程度となったものを回収し実験に供した。珪藻は培養液中1L当たりのcell数，乾燥重量を求め，給餌量の計算に使用した。培養液中の珪藻のcell数を，容量が0.1μLであるトーマ血球計算器で計数し，1L当たりに換算した。培養液を450℃で前処理をしておいたガラスフィルターろ紙（Whatman社製，GF/F）でろ過して，珪藻の1L当たりの重量を求めた。

それぞれの餌のカロリーをカロリーメーター（PARR社製，1425型）で測定し，同じカロリーになるように給餌量を計算した（表1）。餌の炭素量・窒素量についてもCHN元素分析計（Yanaco社製，MT-5）で測定した。

給餌量は，カロリーが同じになるように，乾燥重量で換算して人工飼料1に対して，ヨシを1.51倍，珪藻を2.15倍，与えることとした。給餌量の決定に際しては，人工湿地での長期飼育実験における軟体部増加のデータ（山口ほか，2004）を参考に，人工飼料を用いて予備実験（流水条件なし，エアープンプによるエアレーションのみ）を行った。湿重量2.7g程度の個体の成長期（4月～6月）における軟体部成長速度が乾燥重量で約0.0025gdw/dayであったことから，同化率を約10%と仮定して，0.025gdw/dayの餌を給餌（殻込み湿重量の0.92%/day）したところ，軟体部の増加が確認された。しかし，半分程度の餌が砂の上に堆積していたため，過剰と判断し，人工飼料を基準としてシジミ湿重量（殻込み）当たり乾燥重量で0.5%/dayの重量にあたる餌料を与えることとした。すなわち，シジミ湿重量1g当たり5.0mgの人工飼料=27.15cal/dayの餌量を与えた。ヨシと珪藻についても，人工飼料と同カロリーの給餌量を求め，シジミ1g当たりそれぞれ乾燥重量で7.6mg，10.8mgの飼量を与えた（表1）。



図1. 飼育コンテナの写真

Fig. 1. Photography of containers for the rearing experiments

なお，この実験は，1日に与える量を全て1度与える，1日1回給餌の方法で行った。

2) 給餌方法の比較

上述の予備実験の結果から，一度に大量に餌を与えた場合，濾過されずに堆積することがある。また，濾過した餌の多くを擬糞として排泄してしまう，あるいは懸濁物の急激な増加に対し殻を閉じてしまうなどの影響で，十分に栄養吸収が行えないことが考えられた。そこで，2通りの給餌方法を設定し，給餌方法による摂餌効果を検討した。1つは，1日に与える餌量を1回で全て与える1回給餌区とした。これに対して，同じ1日あたりの餌料を定量送液ポンプ（EYELA社製，MP-3N）をもちいて，1日の半分の約12時間をかけて少量ずつ一定速度で与える条件を設定し，12時間給餌区とした。この2つの給仕方法を比較する試験で用いる飼料は，予備実験で軟体部の増加が確認されていた人工飼料とした。

3) 飼育方法

飼育装置は52×37.5×20.5cmのプラスチック製コンテナとひと回り小さい37×25×13.5cmのコンテナを用いた（図1）。大きなコンテナは飼育水のリザーバ（写真下），小さなコンテナはシジミの飼育槽とし（写真上），家庭用バスポンプで飼育水を循環させ，これを飼育の1系とした。飼育槽のコンテナには砂を厚さ約2cm敷き，その中でシジミを飼育した。飼育水は市販の人工海水塩およびイオン交換水を用いて約5psuに調整し，一つの系に約20Lの飼育水を入れ，常時ポンプで循環させた。これによって水槽中に水の流れを起こし，かつ上向きの

吐水によってエアレーションの効果をもたせた。アンモニア濃度が高くなるとシジミの生育に悪影響が出る恐れがあるため、水交換を1日に1度行った。

飼育は室温 20℃に設定した部屋に上記のコンテナを5系設置し、飼育期間は2005年12月2日～2005年12月24日の22日間とした。なお、実験期間中の供試員の生残率は全て100%であった。

4) 評価方法

上記1) 各餌料区間の肥満度の比較には、一元配置分散分析を用いて有意差が認められたので、Scheffeの多重比較 ($p < 0.05$) を行った。上記2) 2種類の給餌方法の比較は、t検定を行った。

さらに、給餌の軟体部成長への効果を肥満度の増加速度で評価した。飼育期間中における増加分の肥

満度を飼育日数で割って1日あたりの増加速度、および30日を積算した1ヶ月あたりの増加速度とした。すなわち

$$\text{増加速度 (/day)} = (\text{飼育終了時の肥満度} - \text{飼育開始時の肥満度}) \div \text{飼育日数}$$

$$\text{増加速度 (/month)} = (\text{飼育終了時の肥満度} - \text{飼育開始時の肥満度}) \div \text{飼育日数} \times 30$$

結果と考察

図2に肥満度の変化を示す。異なる3種類の餌をシジミに給餌したところ、それぞれの餌料区で異なった肥満度の変化が見られた。ヤマトシジミの肥満度は、実験開始時には 0.0085 ± 0.0013 であった(初期値)。22日間の飼育後、人工飼料区の肥満度が最

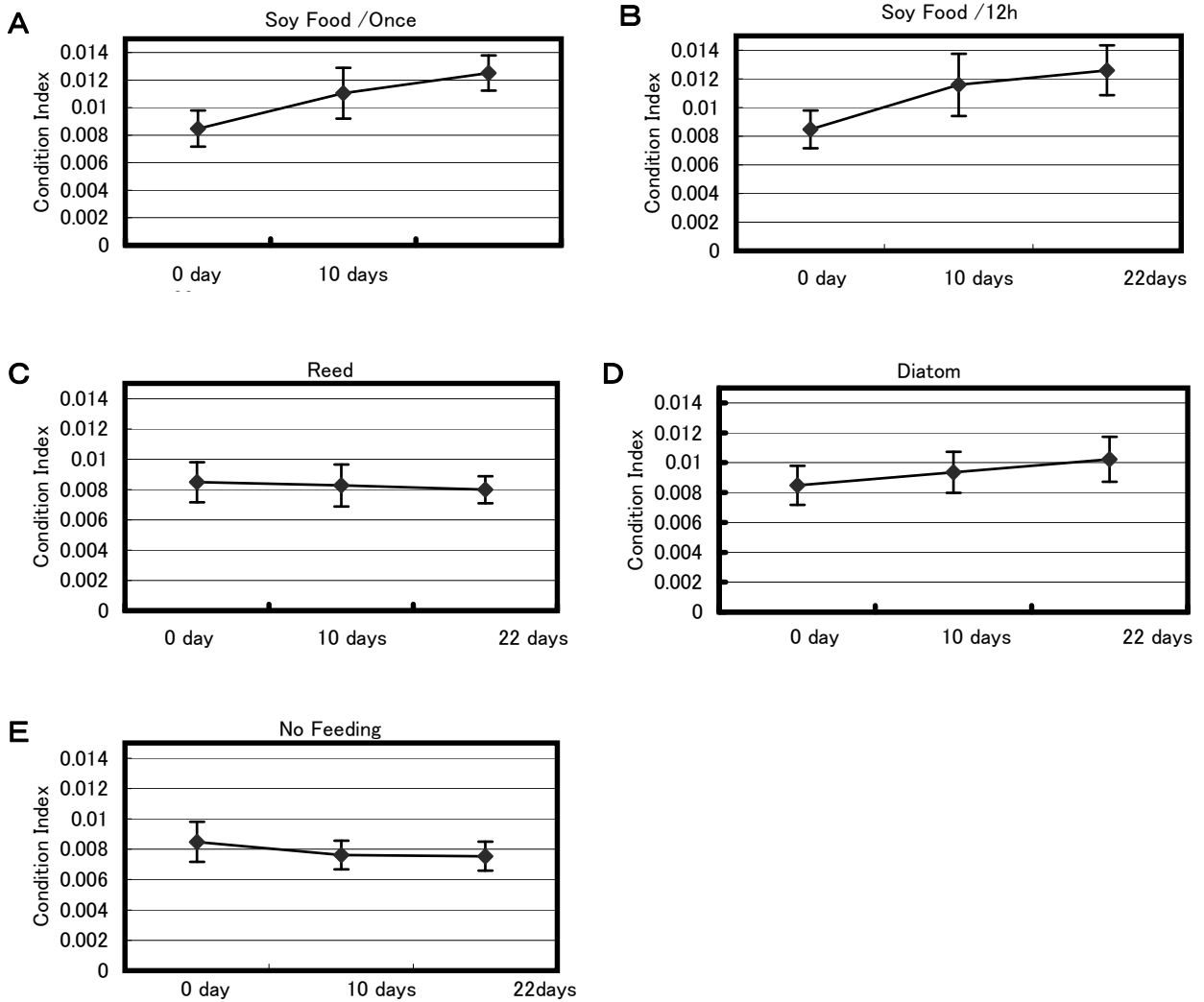


図2. 肥満度の変化 A:人工飼料1日1回, B:人工飼料1日12h, C:ヨシ, D:珪藻, E:無給餌, (バーは標準偏差)

Fig. 2. Change of Condition Index of each treatment. A: Soy food/Once a day, B:Soy food/12 hours, C: Reed, D: Diatom, E:No feeding, (bar = Standard Deviation)

表 2. 各給餌区の平均肥満度の値
Table 2. Condition Index values of each food treatment.

Food	Soy Food	Reed	Diatom	No Feeding
C.I.	0.0125 ^a ±0.0013	0.0080 ^c ±0.0009	0.0102 ^b ±0.0015	0.0075 ^e ±0.0009

表 3. 肥満度の増加速度 (1 日および 1 ヶ月)
Table 3. Increasing Rate of Condition Index (par day and par month)

	Increasing Rate of C.I.	
	/day	/month
Soy Food 1th	0.000183	0.0055
Soy Food 12h	0.000187	0.0056
Reed	-0.000023	-0.0007
Diatom	0.000079	0.0024
No Feeding	-0.000043	-0.0013

も高くなり、実験終了時には 0.0125 ± 0.0013 となった。次に肥満度が高くなったのは珪藻区で 0.0102 ± 0.0015 であった。ヨシ区と無給餌区の肥満度はそれぞれ 0.0080 ± 0.0009 , 0.0075 ± 0.0009 で、肥満度がやや減少した。実験終了時の肥満度について、各餌料区間の比較を行ったところ、分散分析を用いて有意差が認められたため、多重比較 (Scheffe: $p < 0.05$) を行った。その結果、ヨシ区と無給餌区の肥満度の間には差は認められなかったが、その他の 2 者間には差がみとめられた (表 2, 図 3A)。

珪藻区と無給餌区とに有意な差がみられたことから、少なくともヤマトシジミは珪藻を確実に栄養として吸収していることが分かった。しかし、人工飼料区と珪藻区では、珪藻区の肥満度が有意に小さかった。1 g あたりの炭素量含有率は珪藻がやや高いのに対し (表 1), カロリーを同じとしたので、炭素量で換算すると人工飼料の 1/4~1/5 程度の同化効率であり、非常に低いといえる。大谷ほか (2004) の結果からもわかるように、ヤマトシジミは経口摂取した珪藻の全てを消化しているわけではなく、珪藻の一部は腸内を通過しても、内部の原形質をそのまま残して糞として排泄されている。このように、珪藻のヤマトシジミの餌としての効率は高くはない。これに対して人工飼料は、珪藻のように外面を覆う殻がないこと、二枚貝用飼育に開発されたものであるため、高効率で吸収するように加工されていることなどから容易に消化できるものと考えられる。肥満度を短期間で上昇させる目的では、人工飼料が餌として有効であることがわかった。

一方、給餌を行った中で、ヨシ区では無給餌区の肥満度と有意な差が認められなかった。このことは、今回の実験においてはヤマトシジミはヨシの粉碎物をほとんど経口摂取することができていなかったことを意味する。実験中、水槽の状態を観察した際、ヨシ区においてのみ飼料として与えたヨシの破片が底質に明らかに堆積していたが、他の実験区では底質の上に目に見えて餌が残ることは無かった。ヨシは、細かく粉碎させ、2ヶ月間エアレーションをして分解を促していたが、十分に分解されていなかったと考えられる。顕微鏡で見ると、細かいものも存在するが、大きなままであるものも存在した (約 $30 \sim 50 \mu\text{m}$)。ヨシは分解しにくく、デトリタス化するのに時間がかかると考えられる。大谷ほか (2004) にも、ヤマトシジミに有効な餌となるには、直径 $10 \mu\text{m}$ 以下であることが示されている。そのため、今回の実験の結果から、ヤマトシジミが実際の環境下でヨシのデトリタスを餌として利用しているか否かを推定することはできなかった。

給餌方法の違いによる摂餌効率の相違を検討するために行った 12 時間給餌区では、実験終了時の肥満度が 0.0126 ± 0.0017 であり、一日 1 回給餌区の肥満度 0.0125 ± 0.0013 とほぼ同じ値となった (図 3B)。2 つの給餌方法の間で t 検定を行った結果、両方で肥満度に有意差は認められなかった。予備実験では止水状態でエアレーションのみを行っていたため、餌が堆積したが、本実験で行った循環式の流水状態では両給餌条件ともに堆積はみられなかった。すなわち、流水循環式としたことで、1 回給餌においても 12 h 給餌と同様に、与えた餌が十分に利用されたと考えられる。このことから、畜養の際、循環式流水環境を作ることができれば、1 日 1 回給餌する方法で十分であることがわかった。

表 3 に、本実験での肥満度増加速度を示す。本実験では、最も高かった人工飼料でも $0.0056/\text{month}$ であり、珪藻ではさらに低く 0.0024 であった。末光ほか (2001) は、人工湿地を使ってヤマトシジミの長期野外飼育実験を行ったが、そのときの肥満度の変化 (末光ほか: 図 2) から読みとると、人工湿地では春から初夏および秋から冬にかけて急激に肥

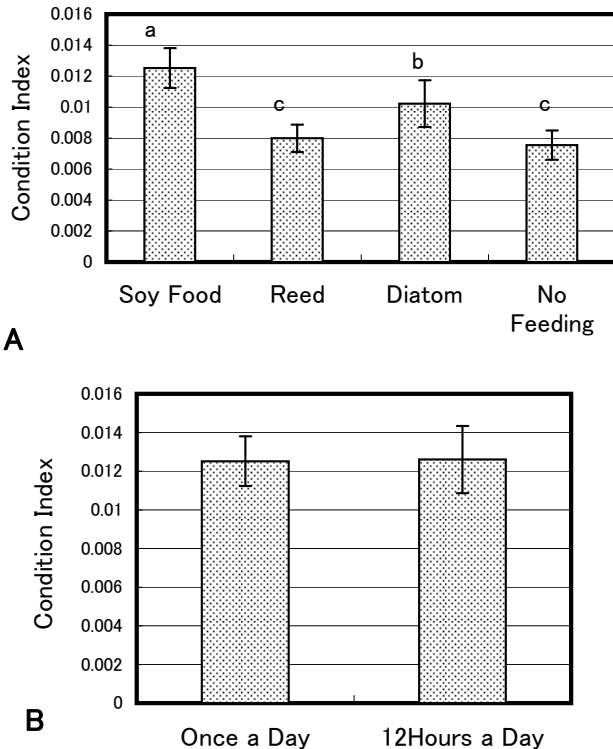


図3. 実験終了時における各実験区の肥満度平均値。
A: 給餌条件間の比較, B: 給餌方法間の比較。

Fig. 3. Mean values of Condition Index of each treatment.
A: Comparison between food materials, B: Comparison between two feeding methods.

満度が増加し、水温 20℃ 程度である 5 月および 10 月頃の肥満度増加速度は 0.008–0.01/month であった。このことから、実際の環境下では、本実験の人工飼料で 1.5 倍、珪藻だと 4 倍程度の量の餌を摂取していると推定される。カロリーでは湿重量 1 g あたり人工飼料で一日に 40 cal, 珪藻で 100 cal 以上に相当する。さらに自然状態では環境に様々な攪乱があり運動も多くなることから、実験室内の条件から得られた推定よりも、より多くの餌量を摂取していると考えられる。

ま と め

ヤマトシジミは珪藻を栄養として利用していた。ただし、その同化効率は人工飼料と比較すると非常に低かった。長期畜養する際に、肥満度を増加させる目的には人工飼料を用いるのが効果的である。給餌方法については、水流のある状態であれば、1 日 1 回の給餌と、定量ポンプによる少量ずつの給餌との間で、摂餌効率に違いはなかった。自然状態と同様の肥満度増加を得るためには、概算では湿重量 1g あたり人工飼料で 40cal/日、珪藻で 100cal/日以

上の給餌が必要と推定された。

謝 辞

鳥根大学教育学部の大谷修二教授には、実験に用いる培養株を提供して頂き、珪藻の測定をご指導頂いた。中浦食品(株)には、実験の機会をご提供頂き、餌料の藻類培養でご協力いただいた。汽水域研究センターの倉田健悟准教授には、カロリー測定のための測定機器を快く使用させて頂いた。本研究を遂行するにあたり、お世話になりました方々に深い感謝の意を表します。

引 用 文 献

- 相崎守弘・高橋 愛・山口啓子 (2001): ヤマトシジミの大量斃死機構に関する基礎的研究 I. LAGUNA (汽水域研究). 8, 31–37.
- 相崎守弘・山口啓子・藤岡克己 (2004): 人工湿地を用いたヤマトシジミの成長解析と炭素収支に関する研究. プロジェクト研究報告書, 高浜印刷, 松江.
- 林一正・大谷章英 (1967): 琵琶湖産セタシジミの消化管内容物について. VENUS. 26 (1): 17–18.
- Kasai A. and Nakata A. (2005): Utilization of terrestrial organic matter by the bivalve *Corbicula japonica* estimated from stable isotopic analysis. FISHERIES SCIENCE, 71: 151–158.
- 中村幹雄 (2000a): 日本のシジミ漁業. たたら書房, 米子.
- 中村幹雄 (2000b): ヤマトシジミが宍道湖の窒素循環に果たす役割. 月刊「水」. 10: 16–25.
- 中村由行 (2004): 閉鎖性沿岸域の生態系と物質循環【10】富栄養化した汽水湖における栄養塩循環と水質分布に関わる懸濁物食性二枚貝の効果. 海洋と生物. 151, vol. 26 no.2. 168–176.
- 大谷修司・辻井要介・江原亮・草田和美・板倉俊一・山口啓子・品川明・秦明德・中村幹雄 (2004): 神西湖人工池におけるヤマトシジミの摂餌, 排出と消化過程. LAGUNA (汽水域研究). 11, 109–124.
- Sakamoto K., Touhara K., Yamashita M., Kasai A. and Toyohara H. (2007): Cellulose digestion by common Japanese freshwater clam *Corbicula japonica*. FISHERIES SCIENCE. 73: 675–683.
- 末光健治・山口啓子・相崎守弘 (2001): ヤマト

- シジミの大量斃死機構に関する基礎的研究Ⅱ.
LAGUNA (汽水域研究). 8, 39-46
- 山口啓子・天野聖子・辻井要介・末光健治・藤岡克己・相崎守弘 (2004) : 人工湿地におけるヤマトシジミ個体の季節変化～軟体部および殻の成長～. In 「人工湿地を用いたヤマトシジミの成長解析と炭素収支に関する研究」 (相崎守弘・山口啓子・藤岡克己), 59-68, 高浜印刷, 松江.
- 山室真澄 (1992) : 懸濁物食性二枚貝と植物プランクトンを通じた窒素循環に関する従来の研究の問題点 (総説). 日本ベントス学会誌. 42: 29-38.
- 山室真澄 (1997) : 汽水域での高次生産者を通じた窒素・リンの収支. 沿岸海洋研究. 35 (1) : 69-73.

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

野村律夫¹・瀬戸浩二²

Pictures of bottom surface in the central part of Lake Nakaumi (part 2): dynamics of bottom water with regard to a seasonal wind in winter

Ritsuo Nomura¹, Kouji Seto²

Abstract: We observed the bottom water movements and the ecology of brackish organisms over a five days of Feb. 13- Feb.17, 2007, by means of a long-term monitoring waterproof camera that installed on the bottom of Lake Nakaumi at a depth of 6.5 m. The winter organisms are occupied with a hydrozoan and cionid community. These organisms indicate the bottom water is enriched with dissolved oxygen and the condition is quite different from our first report that showed a bacterial mat covering the bottom floor.

Unstable condition was occurred by a strong south and westerly wind over the speed of 10 m/s in Feb. 14 and 15. Winnowing of bottom sediments occurred at wind speeds greater than 10 m/s, which supports the previous observation. Water clarity decreased in these days. However, we confirmed that the winter bottom sediment is easy to blown up even in the speed of ~7 m/s, which is supposedly due to the absence of bacterial mat. In contrast to the quick response of bottom turbulence to wind stress, waters of bottom and the upper waters were not easily mixed, despite of the wind speed of over 15 m/s. A mixing of the bottom and the upper waters was temporally occurred after the 20 hours continuous blow over 11~16 m/s, but soon after that the waters from different depths were separated while the strong wind continuing.

A number of fishes along with a school of unknown fry were frequently observed when the bottom water turbulence stopped. We are able to recognize the rich fish communities in this season.

Key words: wind speed, bottom turbulence, winnowing, sediment, water dynamics

はじめに

筆者らは、平成 17 年 (2005 年) 度から 19 年 (2007 年) 度にかけて行われた島根大学重点プロジェクト研究によって中海の湖心部の湖底を映像に記録し、複雑多岐にわたる自然の変化を視覚という感性の中で捉えることを試みた。そのために、長期間にわ

たって水中に設置し、映像を記録できる水中カメラを作成した。本報告は、その 2 回目にあたる。

前回の報告では 2006 年 11 月下旬の風が中海の湖底や水質に与える影響について言及した。そのなかで風速が 13~17 m/s になると、底層水は激しく攪拌され、湖底泥の巻き上げが起こる。低酸素環境で湖底泥を被覆するバクテリアマットも剥離を受けて

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.

湖底の表面が完全に巻き上がることを映像に記録することができた。しかし、風浪や潮汐作用には直接影響を受けない濁りの発生や強風環境でも濁りが低下する現象など、複雑な湖底の動態が観察できることも指摘した。このようなことから、現在までに得られている膨大な映像記録を克明に記述し、季節に応じた水質環境との比較を行い、湖底の実態を理解する必要がある。

本論文では、前回に続き冬季の湖底堆積物が季節風の変化に対して、どのような変化を示すのかに注目して観察を行った。冬季には湖水の水温は逆転現象を示しており、上層水が下層水より水温が低くなる特徴がみられる(図1)。また、水位は8月の平均水位より約40 cm低下した状態にある。冬季の気圧配置は西風が長時間継続することが多く、一定の風向が継続した場合の湖底への影響は、移動性低気圧に伴った風向変化とは異なった状況を呈するものと考えられる。

研究方法

本報告で使用している長期設置型水中カメラについては、すでに触れた(野村ほか, 2007)。水中カメラの窓面には酸化チタンの薄膜を焼成させており、酸化チタン光触媒作用によってヒドロキシルラジカルとスーパーオキサイドアニオンが薄膜表面で発生する。そのためカメラの窓面には強い酸化分解力と親水性が発現し、生物忌避機能や自浄作用が備わっている。

水中ビデオカメラの設置は、国土交通省が中海湖心部に設けている自動水質観測所(水深6.5 m)を利用した。カメラの窓面の高さは、湖底から約40 cmである。水中の映像記録は5分間を1コマとして、2時間間隔で実施した。1日当たり、12コマ計1時間の記録となっている。これらの映像記録(2007年2月13日~2月18日)は、現地に設置したDVDレコーダーに保存したもので、約1ヶ月後に回収し、再生と観察を行った。時間帯は、〈1〉0:00~0:05、〈2〉2:00~2:05、〈3〉4:00~4:05、〈4〉6:00~6:05、〈5〉8:00~8:05、〈6〉10:00~10:05、〈7〉12:00~12:05、〈8〉14:00~14:05、〈9〉16:00~16:05、〈10〉18:00~18:05、〈11〉20:00~20:05、〈12〉22:00~22:05である。

今回の映像は、前報(その1)と同じ地点・方位で継続して撮影したものであるが、湖底面にヒドロ虫の群体やユウレイボヤが繁殖した状態となってい

る。ヒドロ虫の群体はカメラの全面に位置し、視野の60%を占めている。このヒドロ虫は12月初旬には小さな群体を形成していたが、約2ヶ月の間に大きく成長したものである。このヒドロ虫の群体によってカメラの右側の約50%が覆われるため遮光となり映像の右半分は夜間には光が届きにくい状態で記録されている。しかし、このヒドロ虫の群体やユウレイボヤの揺れ動きが湖底での水の動きを捉えやすくしている。

カメラ窓面の設置方向は東~東南方向で、約60 cm先の湖底の様子を記録している。したがって、湖底での流れが左から右の場合は北方向からの流れとなっている。反対に右から左に流れがある場合は、南方向からの流れとなっている。このようなヒドロ虫やユウレイボヤの動きは、水の動きを反映しており、以下のように記述することにする。

強い流れ：ヒドロ虫やユウレイボヤの先端が湖底に接するように傾いた流れがある場合。

揺れ動きのある流れ：ヒドロ虫やユウレイボヤの先端が南北方向に揺れ動いている状態。

弱い流れ：浮遊粒子が一定した方向に流れている状態。

流れのない状態：浮遊粒子がほぼ一定して、あまり動かず浮遊している状態。

湖水の透明度は著しく変化に富み、全くヒドロ虫やユウレイボヤを見ることができないくらいになる状態もある。本報告では、このような濁りの程度について以下のように記述する。

著しく強い濁り：強く濁り、湖底堆積物の舞い上がりがみられる状態。

強い濁り：対象物が全く見えない状態。

強から中程度の濁り：対象物は見えるが、その詳細が区別できない状態。

弱い濁り：濁っているがユウレイボヤの輸卵管や輸精管が区別できる状態。

濁りのない状態：対象物が詳細に認識できる状態。このような表現は、国土交通省の濁度計による測定値と必ずしも一致するものではない。

水質については国土交通省出雲工事事務所から映像記録期間中の1時間ごとの資料の提供を受けて、映像との比較を行った。水質データ(水温、溶存酸素、塩分、濁度)は以下の通りである。

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

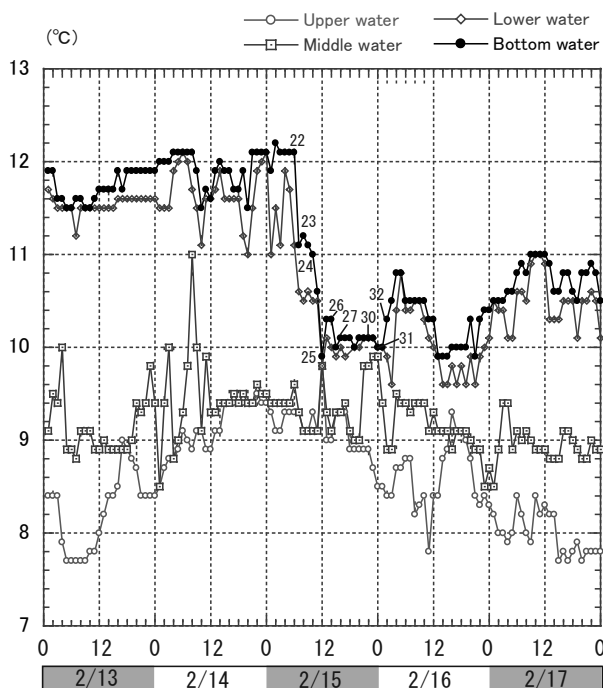


図1. 1時間ごとの水温変化。冬季は上層（上層水と中層水）と下層（下層水と底層水）で水温が逆転している。

Fig. 1. Water temperature in every one hour. Notes that thermal structure of upper and lower waters is inverted in winter. Data from Izumo River Office.

観 察 結 果

1. 水中映像の様子

図2は2007年2月13日12時00分から2月18日午前0時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。以下に、湖底の状態を簡単に記述する。

2月13日12時から16時まで、湖水の透明度は弱程度の濁りで推移し、13日18時から20時にかけては強く濁る。22時には強から中程度の濁りとなり、14日の0時から2時にかけて粒子の巻き上げを伴って著しく強く濁る。しかし、14日4時には濁りのない状態へ急変する。このときはユウレイボヤの入・出水口が閉鎖され湖底面と接触するように傾いていることから強い北方向からの流れが起こっている。14日6時になると強い濁りへと変化し、8時になると強から中程度の濁り、10時から12時まで弱い濁りへと一連の変化を見せる。

14日14時から15日14時までの24時間は湖底粒子の巻き上げを伴って強く濁った状態になる。この間、14日20時、15日6時、15日10時には弱い濁りへと変化する一時的ともいえる現象が起こって

いる。15日16時以降は、徐々に濁りがとれた状態へ変化していく。

16日は、終日弱く濁った状態から濁りのない状態となり、17日の2時には強から中程度の濁りが発生している。17日8時には弱い濁りとなり、10時以降は濁りのない状態へと変化していく。

水の動きについては次のようであった。2月13日は18時に弱い北方向からの流れが認められたほかは、顕著な流れは認められなかった。しかし、2月14日の2時には粒子の動きを伴った揺れのある動きが認められ、4時には強い北方向からの流れが発達する。6時から8時までは弱い揺れ動きがみられ、10時から12時は南方向からの弱い流れとなり、14時には北方向からの流れへと変化し、14日16時には揺れ動きが強く、顕著になる。強い揺れ動きは15日4時まで続いた。その後、12時まで緩やかな揺れ動きに変化した後、14時になると再度強い揺れ動きが発生した。この揺れ動きは徐々に弱まり、15日20時には流れが停止した状態になる。2月16日の0時には粒子の巻き上げが発生するが、顕著な流れへとは発展していない。16日の2時から14時まで弱い南方向からの流れが続き、16時以降になると、流れが停止した状態になる。このような停止した状態は18日まで続いた。

2. 設置期間中の気象・水位・水質

以下に示す気象・水質記録は、国土交通省の湖心観測所で1時間ごとに得られたもので、各観測項目は以下のものであった。

【風速】2007年2月13日午前中は軽風状態であったが、17時から19時まで6~7 m/sの北東風吹いた(図3)。その後軽風状態になったが、23時から2月14日10時まで10 mを超える南風へと変化した。2月14日5時には風速が18 m/sに達した。14日14時から18時まで10 m/s以下になったが、19時以降になると11 m/sを超す風速へと変化していく。この強風は西高東低の典型的な気圧配置に伴うもので2月15日19時まで24時間続いた。これ以降、2月16日16時から22時まで6 m/sの北東方向の風が吹いたが、2月18日まで東方向の軽風状態が続いた。

【水位】中海の水位は2月15日の0時に最も高く(+47 cm)なり、17日の12時に最も低下(-20 cm)している。中海湖心の水位と境港験潮所の水位(TP)を比較すると、約2時間遅れて水位が変化す

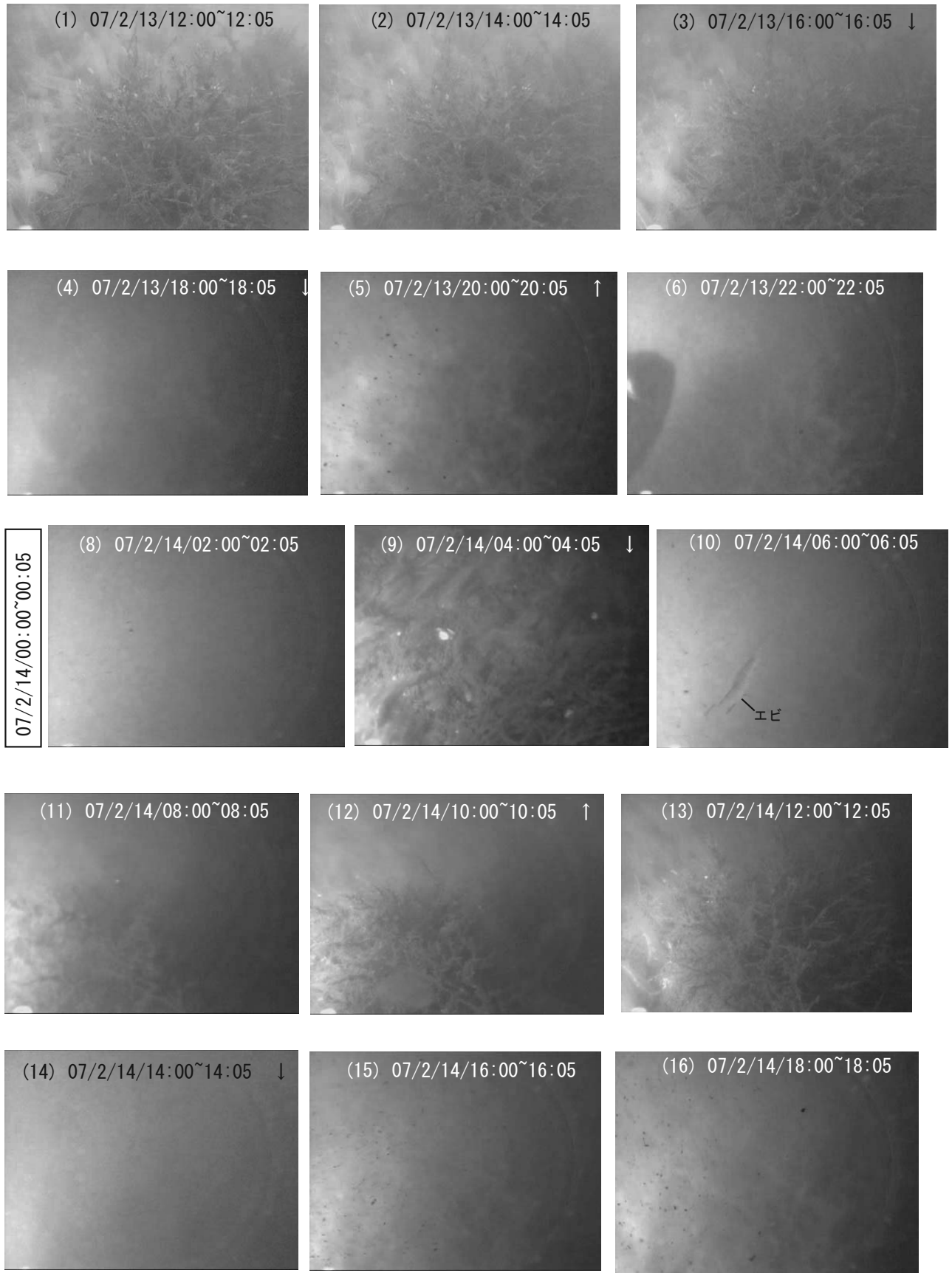


図 2. 5 分間の水中映像のなかのスナップ写真. 観察対象はカメラから約 60 cm 前方の湖底. 横方向で約 40~50 cm の視野を撮影している. 半透明の筒状のものはユウレイボヤ, 海草状のものはヒドロ虫の群体. ↑は南方向からの流れ, ↓は北方向からの流れを示す.

Fig. 2. A scene of picture showing about 40~50 cm wide bottom surface about 60 cm ahead of the camera. Hydrozoan and cionid community occupying the scene.

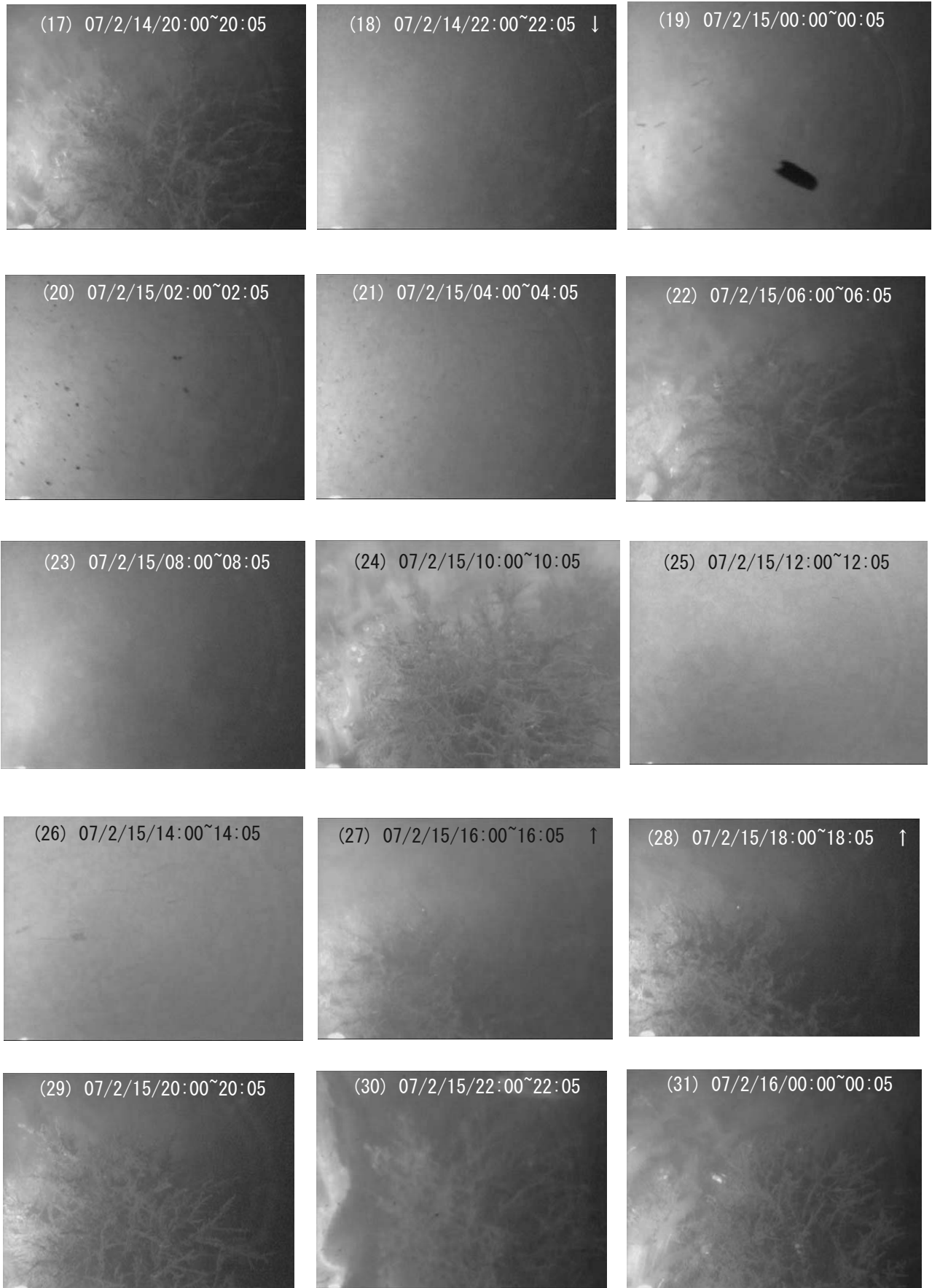


図 2. (続き)
Fig. 2. (continued)

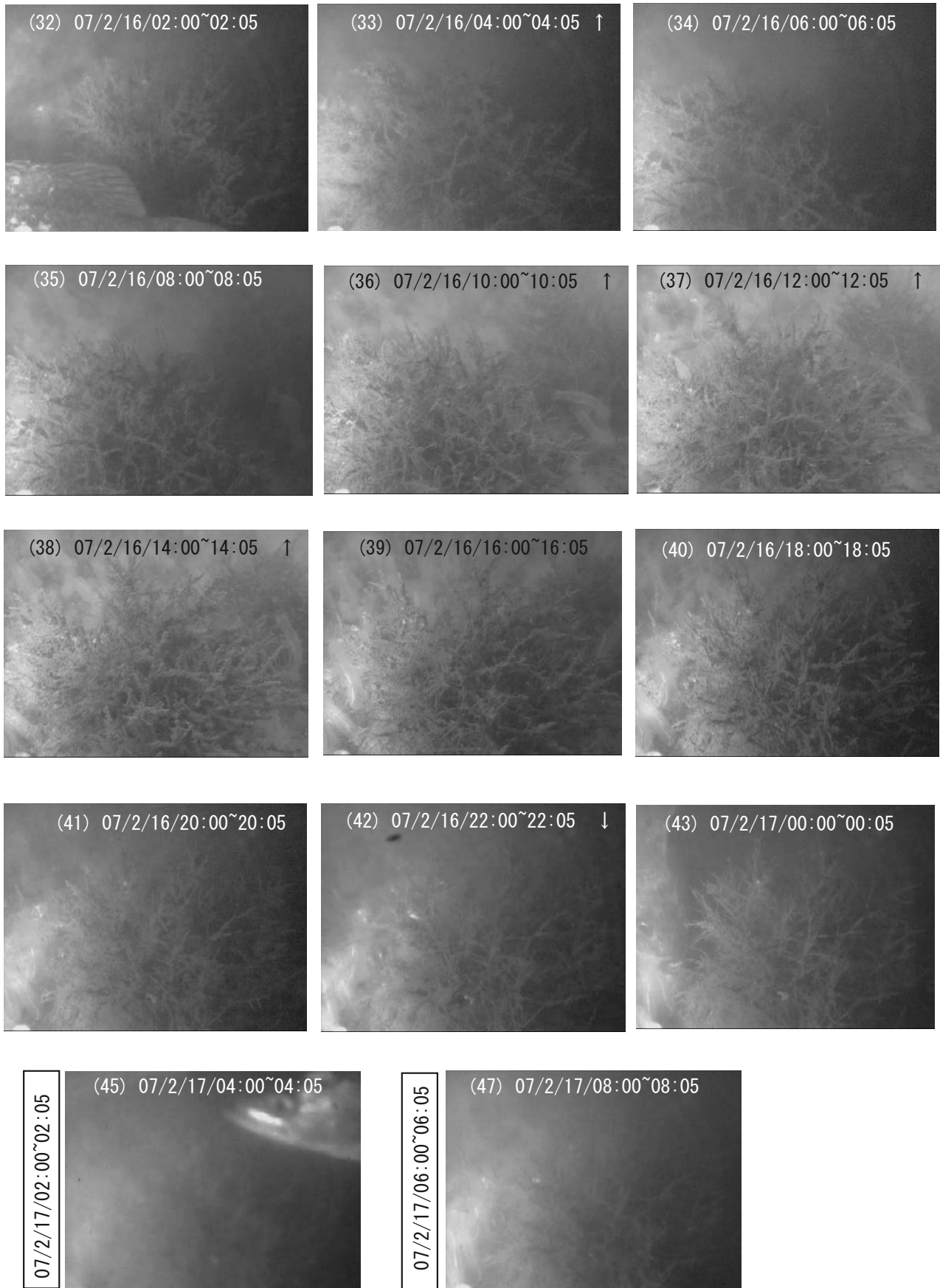


図 2. (続き)

Fig. 2. (continued)

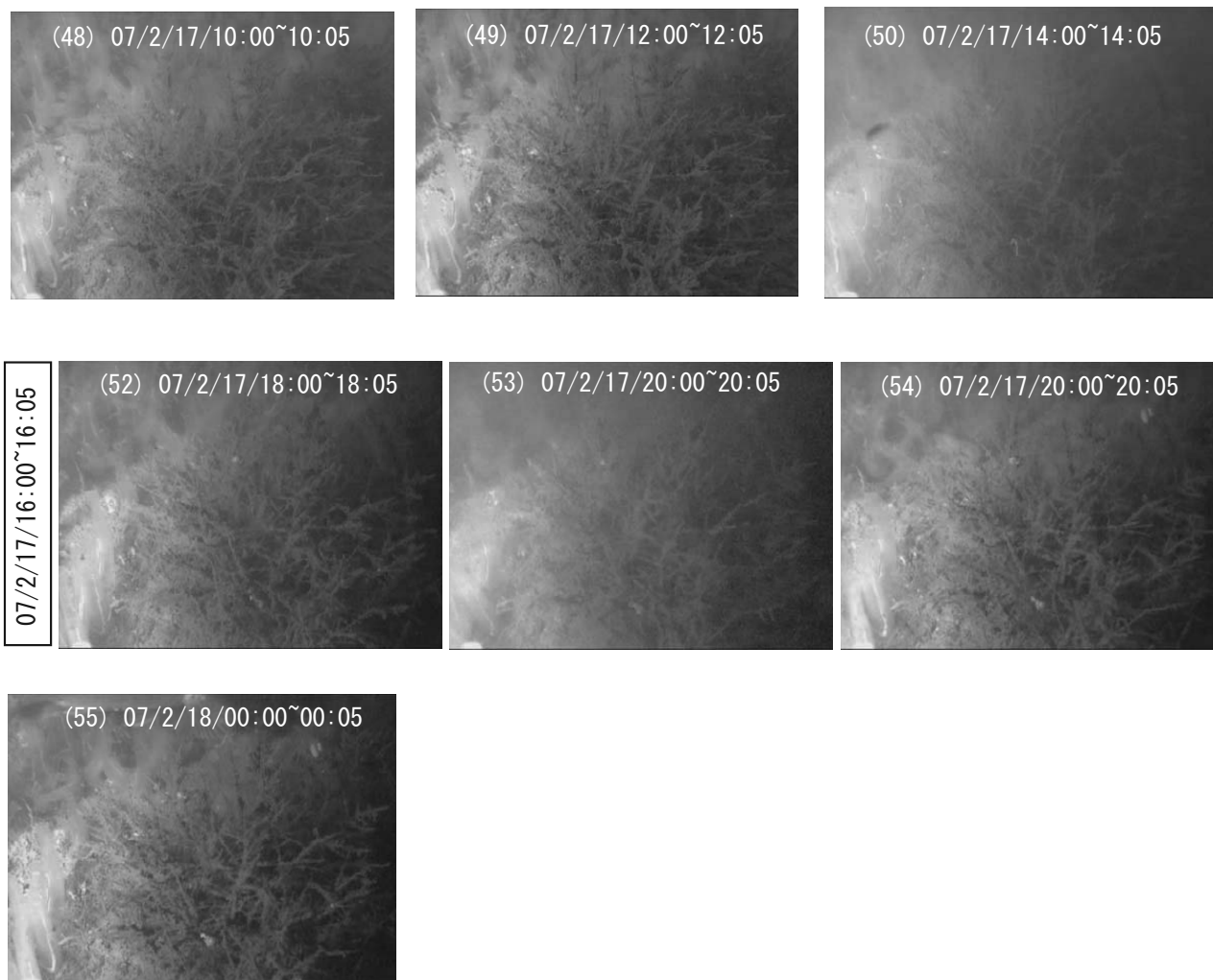


図 2. (続き)
Fig. 2. (continued)

る。水位差は2月17日の6時頃で最大15 cm程度であった(図4)。図中の上向き矢印(↑)は、流れの強弱には関係なく、映像内で南側からの流れが認められる場合と下向き矢印(↓)は北側からの流れの認められることを示している。

【溶存酸素】溶存酸素濃度の変化は、上層水、中層水、下層水と底層水の間で密接に関連した変化を示している様子がみられる。とくに中層水の変化が著しい(図5)。2月13日にはやや低めであったが、2月14日に10 m/sを超す風が吹くようになると、明瞭に酸素濃度も上昇していく。13日午後から14日15時頃までの湖底の酸素濃度は、明瞭に風速の変化に対応した変化を示している。しかし、14日18時頃から15日にかけて強風が吹いたときには、必ずしも風速に対応した酸素濃度の増加は認められず、2月15日12時になって急激に高濃度へと変化する。10 m/sを超す風が吹き始めて18時間後であ

る。このとき、上層水から底層水まで似た酸素濃度になる。若干の濃度の差はあるものの似た酸素濃度で2月16日15時頃まで維持されているが、これ以降底層水以深と中層水以浅の酸素濃度が分離していく。10 m/sを超す風が弱まって、約20時間続いたことになる。なお、風速の低かった2月13日に起こった下層水の溶存酸素量が底層水のそれより高い特徴的な現象は、海水の逆流がクサビ状に流入してきたことによるものと考えられる(図5)。

【塩分】塩分の変化は、溶存酸素濃度の変化と似た変動を示していることが確認される。2月14日に10 m/sを超す南方向の強風が吹いたときには、中層水の塩分は大きく変動する(図6)。しかし、風向が西風へと変化し、少し風力が低下すると安定し、しかもその後の風力の増加に併せて中層水から上層水の塩分が増加していく。この間、底層水の塩分変動は顕著でない。しかし、溶存酸素濃度が急激

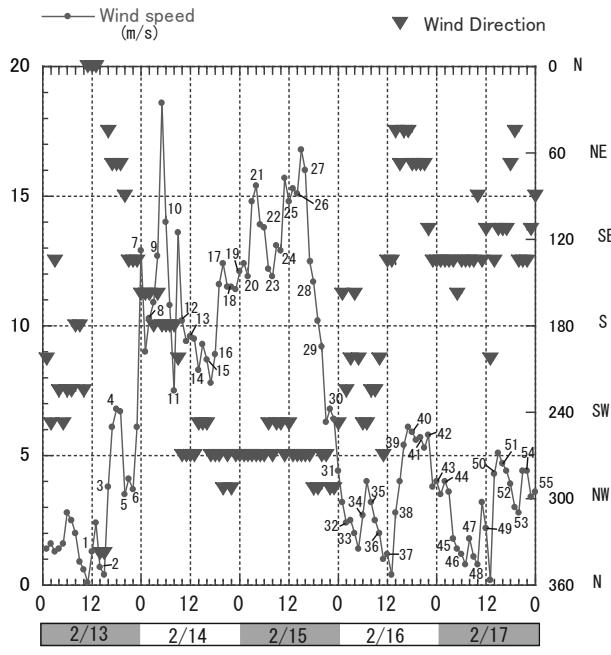


図3. 風速の変化(出雲河川事務所による). 図中の番号は図2に示す映像番号.

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

に増加したのと同じ時に塩分も急変する. すなわち, 下層・底層水の塩分は低下し, 上層水・中層水の塩分は増加する. 湖水の塩分がほぼ一樣になる現象が2月15日12時にみられた. その後, 底層水・下層水の塩分は約4 psu程度低下したままで, 表層水も4 psu程度高くなったままでしばらく維持された.

【底層水のクロロフィル】底層水中のクロロフィル濃度は, 2月15日の塩分や溶存酸素濃度の変化と同じ時間に変化が起こっている(図7a). 各層の攪拌に伴う混合作用の結果によるもので上層~中層水起源のクロロフィルが混入したものとみられる.

【底層水の濁度】湖底の濁度は, 時間ごとの変化が激しく, 風力の変化に伴った変動を必ずしも示していない. しかし, 塩分や溶存酸素の変動にみられた2月15日12時以降になって, やや一定した変化を示すようになる(図7b). 軽風状態の2月17日4時から10時ごろまで高くなっている点で, 濁度の変動は風の営力とは別の要因が作用している.

考察: 水中映像からみた気象・水質

これまでの研究から明らかのように, 湖水の動きと風力は密接に関連し, 湖水の化学的性質ばかりでなく, 生態系にとっても重要な環境変動要因になっている(Kondo et al., 1990; 奥田, 1997, Godo et al.; 2001; 野村・瀬戸, 2004; 野村ほか, 2007).

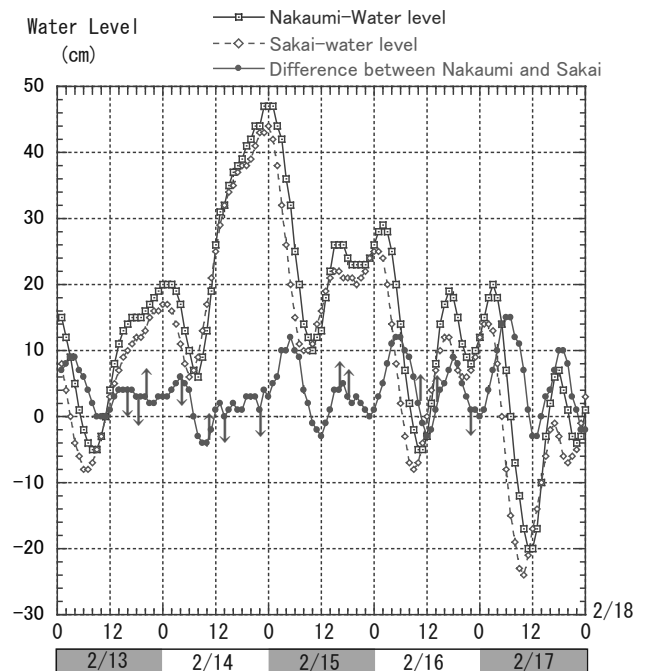


図4. 中海湖心と境港の水位の変化(出雲河川事務所による). 図中の下の波動は中海湖心と境港の水位差を示し, 上下矢印は湖水の流れ来る方向を示す. ↑は南方向からの流れ, ↓は北方向からの流れ.

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

野村ほか(2007)は, 11月上旬の風速変化に伴う湖底の様子を観察したなかで, 風速10 m/sの風の発生から17 m/sに達するまでの湖底の状態と水質の変化を記録している. 風速10 m/sの風によって底層水の攪拌がはじまり, 風速が12~13 m/sを超えると濁りが著しくなり, バクテリアマットが剥ぎ取られるとしている. しかし, 下層・底層水と中・上層水との混合は風速が15 m/sを超えて2時間後におこると指摘している. そして, 風速が13~17 m/sになると, 湖底での攪拌は激しく, 湖底泥の巻き上げがより顕著になるとしている. 冬季の湖底は, 無~低酸素状態になることは少ないため, 硫酸還元バクテリアが湖底泥を被覆するようなマットを形成することはない. そのため湖底泥は露出している状態にあり, 底層水の動きに反応し易く湖底堆積物の拡散も容易な状態にあるとみられる. したがって, 2月13日の18時頃に吹いた風速7 m/sの風にも反応して, 顕著な濁りが発生している. 風速に対する湖底泥の動きは季節によって異なることが確認される.

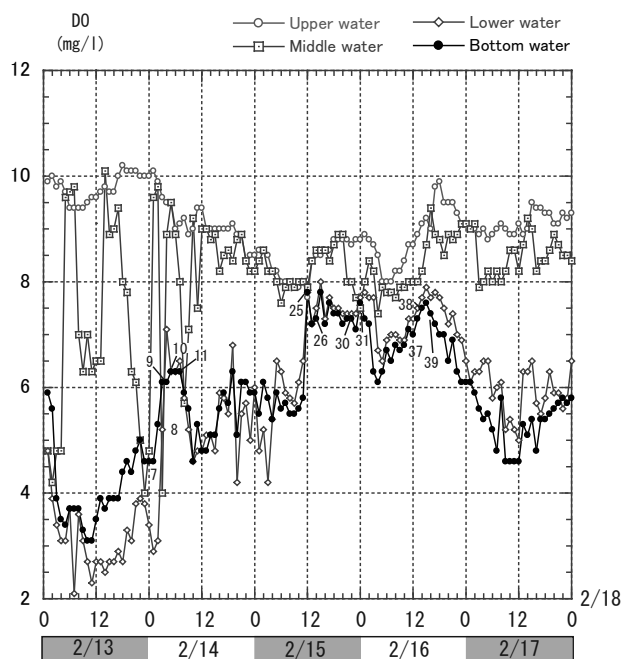


図 5. 溶存酸素濃度の変化 (出雲河川事務所による). 図中の番号は図 2 に示す映像番号.

Fig. 5. Time series changes of dissolved oxygen content. Data from Izumo River Office.

このように冬季には比較的小さい風速においても湖底泥の攪乱による濁りが発生しやすいのに対して、風速 10 m/s の風であっても濁りが発生しない場合が認められる。このときには、満潮時期と重なっているように見え、海水の逆流が濁りの発生を抑えているようにも見える。たとえば、2月14日0時があげられる。しかし、2月14日から15日のように10時間にわたって強風が長時間続いていた場合は、満潮時でもこの限りではないようである。

次に、各水層の混合の程度をみると、極めて安定しているとみえる底層水は 10 m/s を超す風が強弱を伴いながら吹き始めて18時間後に急激に混合することが塩分や溶存酸素濃度の変化から理解できる (図 5, 6)。これは 2006 年 11 月に 15 m/s の風が 2 時間継続して混合作用が確認された状況とは風速とその継続時間で異なっている。比較的弱い風速でも長時間攪拌されることによって混合作用が起こりやすいものと考えられる。したがって、冬季の西高東低の気圧配置は弱い風力でも湖底へ酸素を供給しやすい環境を形成しているとみることができよう。一方で、2月15日12時から16時の間約 15 m/s の風速が4時間続いても、強く混合作用が継続されていないことも確認される。これには 2006 年 11 月が東風であったのに2月は西風であることから風向が関係しているかもしれない。多様なケースを検討して、

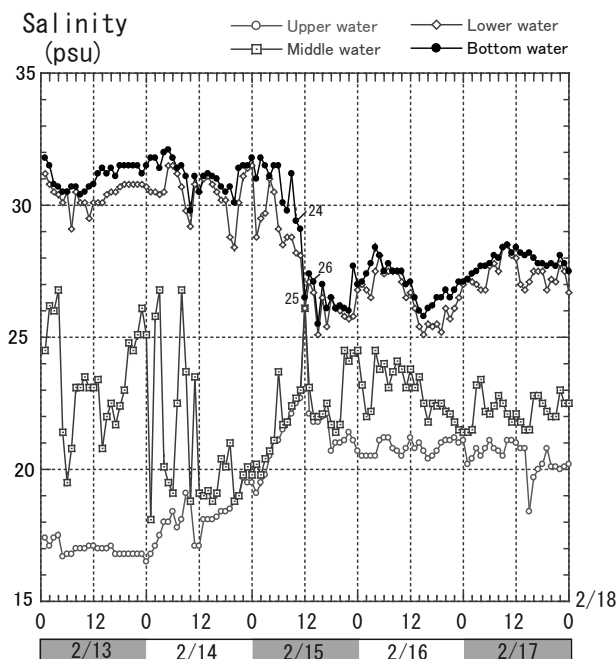


図 6. 塩分の変化 (出雲河川事務所による). 図中の番号は図に示す映像番号.

Fig. 6. Time series changes of salinity. Data from Izumo River Office.

混合作用の継続時間と風速、風向との関係を求める必要がある。

前報で指摘した風速の変化によらない濁りが、この期間にも発生していることを確認した。2月17日4時~8時頃には風速が 2 m/s と微風状態となり、また底層水の動きはほぼ停止した状態であった。しかし、この期間は境水道と中海の水位差が 14 cm と高くなり、しかも底層水の濁度が高くなっている時 (18 mg/l) とほぼ一致した状況である。中層水のクロロフィル量はこの時期高くなるが、底層水での量は高くはない。したがって、プランクトンの移動による濁りとは考えにくく、水位差によって無機物質を含む底層水の緩慢な移動が起こっていたものとみられる (図 7 a, b)。

今回の記録された映像には、魚類の遊泳が頻繁に観察されたほか、膨大な数よりなる稚魚の群集が観察された (図 8)。低酸素~無酸素環境へ変化して、無生物の環境へと変貌する夏季から秋季の湖底環境とは全く異なった環境が冬季にはみられる。

ま と め

中海の湖心部に設置した長期観測水中カメラによって 2007 年 2 月 13 日から 17 日までの 5 日間の湖底の様子を観察した。14日から15日にかけては、

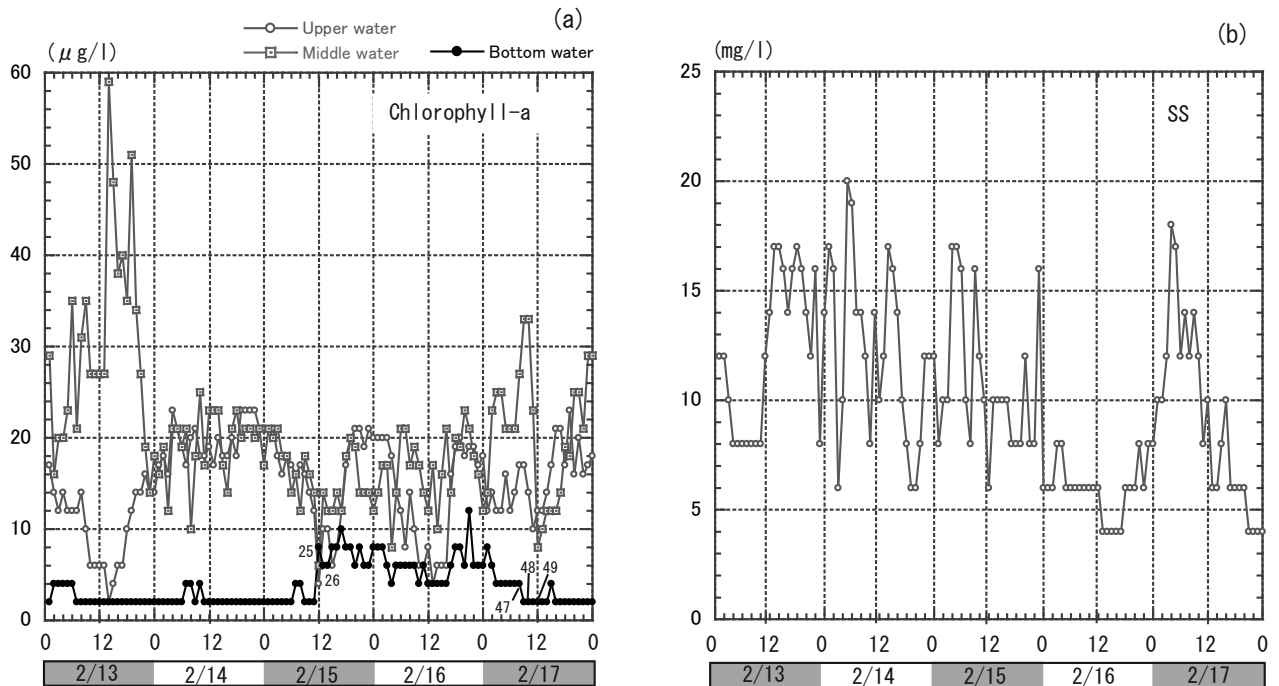


図 7. a. 底層水のクロロフィル a の濃度変化(出雲河川事務所による). b. 底層水の濁度の変化(出雲河川事務所による). 図中の番号は図に示す映像番号.

Fig. 7. a. Time series changes of chlorophyll-a content in the bottom water. Data from Izumo River Office. b. Time series changes of suspended matter content in the bottom water. Data from Izumo River Office.

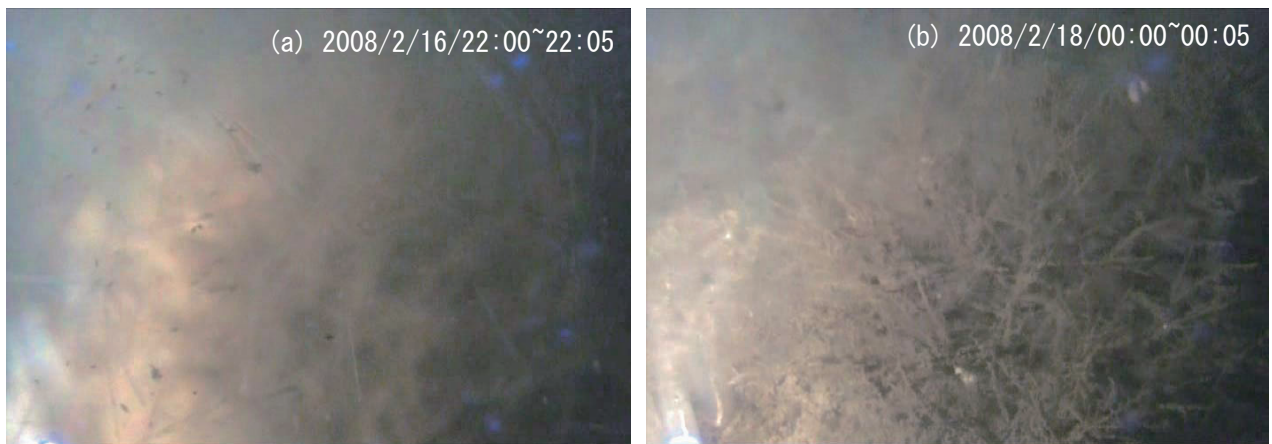


図 8. 半透明な魚の群れが後方の湖底とヒドロ虫を覆い隠している様子 (a, b).

Fig. 8. Small translucent fishes covering bottom sediment.

風速が 10 m/s を超す状態であったが、冬季の湖底堆積物はより動きやすい状態にあるとみられ、風速 7 m/s でも風による濁りが発生していた。底層水と中・上層水の混合作用は、11 m/s を超す風速が 18 時間継続して急激に発生していた。冬季の各層の水は構造的に安定しているものと考えられる。このように、強風の時の湖底の動態を明らかにすることができた。また、冬季の湖底は生物の多様性が高く、豊富な生物資源の存在を確認することができた。ここで明らかにした水中映像は、DVD で配付するこ

とができる。また、映像のスナップショットは、<http://www.ipc.shimane-u.ac.jp/earth/> でもみることができる。

謝 辞

水中カメラの設置あたり国土交通省出雲工事事務所には施設面でご協力をいただいた。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る。

引用文献

- Godo, T., Kato, K., Kamiya, H. and Ishitobi, Y. (2001) Observation of wind-induced two-layer dynamics in Lake Nakaumi, a coastal lagoon in Japan. *Limnology*, 2: 137-143.
- 橋谷 博, 奥村 稔, 藤永 薫, 近藤邦男, 清家 泰, 山田佳裕 (1992) 宍道湖・中海の水質変動に与える気象・海象の影響 - (その2) 1982~1991年の水質変動と気象5因子. 山陰地域研究(自然環境), 8: 69-86.
- Kondo, K., Seike, Y. and Date, Y. (1990) Red tides in the brackish lake Nakaumi (II), Relationships between the occurrence of *Prorocentrum minimum* red tide and environmental conditions. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 37: 19-34.
- 野村律夫・瀬戸浩二 (2004) 有孔虫の産状からみた2003年春季の赤潮発生期の中海の海況. *Laguna* (汽水域研究), 11: 125-130.
- 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.

九州に分布するイタボガキ科カキ類の DNA 鑑定

飯塚祐輔^{1,2}・荒西太士¹

DNA fingerprinting for Ostreidae oysters in Kyushu

Yusuke Iidzuka^{1,2}, Futoshi Aranishi¹

Abstract: Among several genera of the family Ostreidae, *Ostrea*, *Crassostrea* and *Saccostrea* play a central role in the near shore brackish ecosystem worldwide. Although 9 species of oysters belonging to these 3 genera had been found in Kyushu, Japan, oysters are highly variable in form with ecomorphological variations, and molecular methods can usefully complement morphological in determining the status of oyster taxa. In this study, a simple DNA fingerprinting analysis of the mitochondrial DNA segment encoding the 16S ribosomal RNA gene was developed for differentiation of 3 genera oysters. Of 2 *Ostrea*, 4 *Crassostrea*, and 2 *Saccostrea* species distributed in Kyushu, Japan, nucleotide sequences of the mitochondrial DNA 16S ribosomal RNA gene were aligned to detect unique sites of restriction enzymes for genus and species identifications by means of PCR-RFLP analysis. PCR amplification of an apparent 530 bp fragment of the partial 16S ribosomal RNA gene was successfully performed on all specimens collected. Direct double digestion of the PCR products using *Eco*130I and *Hind*III enzymes enabled to discriminate *Ostrea*, *Crassostrea*, and *Saccostrea* genera. In addition, double and single digestions of the PCR products using *Dde*I and *Alu*I enzymes and *Alu*I enzyme alone enabled to identify 4 *Crassostrea* species and 3 *Saccostrea* species, respectively.

Key word: Ostreidae oyster, PCR-RFLP, mitochondrial 16S ribosomal RNA gene

はじめに

イタボガキ科カキ類は、極圏を除く世界中に分布する代表的な二枚貝類であり (Matthiessen, 2000), 河口を含む沿岸域などに生息している (Hedgecock, 1995). イタボガキ科カキ類が、沿岸汽水域に形成するカキ礁は、他の生物が生息場所や産卵場所として利用しており、沿岸汽水環境を物理的かつ生態的に保持している (田北, 2000). 世界各地に 60 種以上現生すると推測されているイタボガキ科カキ類のうち、分布域が比較的広く、水産重要種を含む 43 種以上がイタボガキ属 *Ostrea*、マガキ属 *Crassostrea*

およびオハグロガキ属 *Saccostrea* の 3 属に分類され (稲葉・鳥越, 2004), かつて日本には 12 種が分布していた (Torigoe, 1981; Hedgecock *et al.*, 1999). 特にマガキ属のカキ類は日本人に馴染みが深く、養殖生産技術が既に確立しているマガキ *C. gigas* は、「カキえもん (北海道)」、「的矢かき (三重県)」、「かき小町 (広島県)」など、1994 年に島根県隠岐地域において養殖生産技術が確立したイワガキ *C. nippona* は「隠岐のいわがき」としてブランド化が進んでいる (勢村ら, 2001). 一方、イタボガキ属のイタボガキ *O. denselamellosa* は、かつて食用として採集されたが、近年は分布全域で生息数が激減し、愛知県

¹ 島根大学汽水域研究センター Coastal Lagoon Research Center, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan.

² 宮崎大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, University of Miyazaki, 1-1Gakuenkibanadai-nishi, Miyazaki 889-2192, Japan.

や千葉県などでは絶滅危惧種に指定されている(愛知県, 2002; 千葉県, 2006)。また, 日本ではほとんど食用とされていないオハグログガキ属のクロヘリガキ *S. echinata* は, タイ王国やオーストラリアなどの東南アジアやオセアニアで食用を目的として養殖生産されている(Southgate and Lee, 1998)。

このように生態学的かつ食資源学的にも重要な3属のカキ類は, 生息環境により貝殻などの形態的特徴が変化しやすいため, 分類が混乱していることが多い。例えば, 形態的特徴の類似によりマガキの地方集団であると考えられていたシカメガキ *C. sikamea* (Imai and Sakai, 1961), ボンベイガキ *S. cucullata* の亜種であると考えられていたオーストラリアガキ *S. commercialis* とオハグログガキ *S. mordax* の2種(Stenzel, 1971)などがある。前者のマガキとシカメガキは, ミトコンドリアDNAの16SリボソームRNA遺伝子解析(Banks *et al.*, 1993)および相互交配実験(Banks *et al.*, 1994)により別種であるとされている。後者のオハグログガキ属3種は, まずオハグログガキは侵蝕されていない個体の貝殻形態観察(稲葉・鳥越, 2004), オーストラリアガキは集団遺伝学的解析(Buroker *et al.*, 1979)によって, それぞれボンベイガキとは別種であるとされている。また, 天然海域では, 同属のみならず, 異属の異種間の形態分類も困難な場合がある。例えば, マガキ属のイワガキは老成したコケゴロモガキ *O. circumpicta* であると考えられていた(Wakiya, 1929; Hirase, 1930)。これらの形態的特徴の多様性による分類学上の混乱は, カキ類の天然海域における精確な生態調査を著しく困難としている。

このような状況の下, 近年では, DNAを指標とした分子生物学的手法によるイタボガキ属, マガキ属およびオハグログガキ属の天然カキの分類が最も信頼性が高いとされている。特に, 細胞内のコピー数が多く解析が容易なミトコンドリアDNAの遺伝子がDNAマーカーとして精力的に開発されている。例えば, チトクロームc酸化還元酵素サブユニットI遺伝子を基にポルトガルガキ *C. angulata* を中心としたマガキ属6種を比較した報告(O'Foighil *et al.*, 1998), 同遺伝子を基に中国の香港周辺に分布するマガキ属を中心とした9種を比較した報告(Lam and Morton, 2004), 同遺伝子を基に中国で分類が混乱しているマガキ属2種を比較した報告(Wang *et al.*, 2004)などの報告例がある。また別の遺伝子では, 16SリボソームRNA遺伝子を基に北米とアジアに分布するマガキ属3種を比較した報告(O'Foighil *et*

al., 1995), 同遺伝子を基に世界各地に分布するイタボガキ属7種を比較した報告(Jozefowicz and O'Foighil, 1998), 同遺伝子を基に九州の有明海に分布するマガキ属3種を比較した報告(Hedgecock *et al.*, 1999), 同遺伝子を基に南大西洋両岸に分布するマガキ属2種を比較した報告(Lapegue *et al.*, 2002), 同遺伝子を基にインド太平洋に広く分布するオハグログガキ属4種を比較した報告(Lam and Morton, 2006)等の多数の報告例がある。しかし, これらの報告例の多くは特殊な設備や多大な費用が必要な塩基配列を解読する手法であり, 多検体を同定する生態調査への適用は困難である。一方, 迅速性および簡易性からPCR-RFLP(制限酵素断片長多型)解析法は多検体解析に優れた手法であり(谷口・高木, 1997), その生態調査への適用が期待されている。

そこで, 本研究では, 日本に分布するイタボガキ属, マガキ属およびオハグログガキ属の3属12種にカキ類のうち, 九州沿岸の汽水性潮間帯から潮下帯に分布するイタボガキ *O. denselamellosa*, コケゴロモガキ *O. circumpicta*, マガキ *C. gigas*, スミノエガキ *C. ariakensis*, イワガキ *C. nippona*, シカメガキ *C. sikamea*, オハグログガキ *S. mordax*, ケガキ *S. kegaki* およびクロヘリガキ *S. echinata* の3属9種を対象として, PCR-RFLP解析による属および種分類技術を開発した。なお, GenBank国際データベースに登録されているイタボガキ科カキ類の種数が多くミトコンドリアDNAの16SリボソームRNA遺伝子の部分領域を指標とした。

試料と方法

試料

イタボガキ属, マガキ属およびオハグログガキ属の3属7種のミトコンドリアDNAの16SリボソームRNA遺伝子の部分塩基配列は, GenBank国際データベースから取得した(表1)。また, 当該データベースに未登録のコケゴロモガキおよびケガキの2属2種のミトコンドリアDNA16SリボソームRNA遺伝子の部分塩基配列は, 本研究で解読した。

なお, 部分塩基配列の解読したコケゴロモガキは山形県, ケガキは宮崎県でそれぞれ採集された試料を使用し, 形態的に種を同定した後, 閉殻筋を分離して分析に供するまで -20°C に冷凍保存した。

DNA調製

尿素-SDS-Proteinase K法に従い, 凍結した閉

表 1. イタボガキ科カキ類 9 種の日本における分布記録および GenBank 国際データベース登録番号
Table 1. Recorded distribution of 9 Ostreidae oyster species in Japan and GenBank accession number

Species	Distribution in Japan	GenBank accession number
Itabogaki <i>Ostrea denselamellosa</i>	southward of Boso and Noto Peninsula	AF052067
Kokegoromogaki <i>Ostrea circumpicta</i>	Mutu Bay ~ Kyushu	no data
Magaki <i>Crassostrea gigas</i>	Hokkaido ~ Amami	AF177226
Suminoegaki <i>Crassostrea ariakensis</i>	Ariake Bay	AY632547
Iwagaki <i>Crassostrea nippona</i>	Mutu Bay ~ Kyushu	AY007426
Shikamegaki <i>Crassostrea sikamea</i>	Ariake and Yatsushiro Bay	AY632551
Ohagurogaki <i>Saccostrea mordax</i>	Kii Peninsula ~ Ryukyu	AF458912
Kegaki <i>Saccostrea kegaki</i>	Mutu Bay ~ Amami	no data
Kuroherigaki <i>Saccostrea echinata</i>	Kyushu ~ Ishigaki Island	AF463493

殻筋からゲノム DNA を調製した (Aranishi and Okimoto, 2004; 2005; Aranishi, 2006; Aranishi and Iidzuka, 2007). 閉殻筋約 20 mg を 200 μ l の TESU4 抽出溶液 (10 mM Tris-HCl pH 7.5, 20 mM EDTA pH 8.0, 1% SDS and 4 M urea, 25 μ g Proteinase K) に懸濁し, 55 $^{\circ}$ C にて 60 分間攪拌加熱した. 25 μ l の 5 M NaCl を添加し十分に混合した後, 定法に従いフェノール溶液 (phenol : chloroform : isoamyl alcohol = 25 : 24 : 1) およびクロロホルム溶液 (chloroform : isoamyl alcohol = 24 : 1) を用いて精製し, 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, バイオフォトメーター (epENDORF 社製) により測定した.

PCR 増幅

約 530 bp のミトコンドリア DNA の 16S リボゾーム RNA 遺伝子部分領域を増幅するため 16Sar (5'-CGC CTG TTT ATC AAA AAC AT-3') および 16Sbr (5'-CCG GTC TGA ACT CAG ATC ACG T-3') のプライマーセットを用いた (Kessing *et al.*, 1989). PCR 反応は, 5 μ l の GoTaq Green Master Mix (Promega 社製), 2 μ l の 2.5 mM MgCl₂, 各 1 μ l のプライマー (5 pmol/ μ l) および 1 μ l の 50 倍希釈した DNA テンプレートの合計 10 μ l で反応した. サーマルサイクラー

(TECHNE 社製 TC-312) を用いた PCR 反応条件は, 94 $^{\circ}$ C で 2 分間の初期変性後, 94 $^{\circ}$ C で 10 秒間の変性 / 54 $^{\circ}$ C で 20 秒間の会合 / 72 $^{\circ}$ C で 40 秒間の伸長を 35 回繰り返す, 72 $^{\circ}$ C で 5 分間の最終伸長により終了した.

塩基配列解析

GenBank 国際データベースから取得 (表 1), または当研究室で解読した塩基配列長が種により異なっていたため, マガキの 16S リボゾーム RNA 遺伝子の第 203~733 塩基に相当する塩基配列長に予め調整した後, 解析に供した. 塩基配列の多重整列解析および制限酵素の認識部位探索には, ClustalW プログラム (Thompson *et al.*, 1994) と NEBcutter プログラム (Vincze *et al.*, 2003) をそれぞれ使用した.

RFLP 解析

イタボガキ属, マガキ属およびオハグログキ属の 3 属の分類 RFLP 解析は, 5 μ l の PCR 産物, 5 unit の Eco130I 制限酵素 (Fermentas 社製), 5 unit の HindIII 制限酵素 (Roche 社製) および終濃度 \times 1 の制限酵素用 Tango buffer (Fermentas 社製) を含む 10 μ l の反応溶液により, 37 $^{\circ}$ C で 4 時間反応した.

マガキ属マガキ, スミノエガキ, イワガキおよびシカメガキの 4 種の種分類 RFLP 解析は, 5 μ l の PCR 産物, 2.5 unit の AluI 制限酵素 (Fermentas 社製), 2.5 unit の DdeI 制限酵素 (Roche 社製) および終濃

度×1の制限酵素用 B buffer (Roche 社製) を含む 10 μ l の反応溶液により, 37°C で 2 時間反応した。

オハグログガキ属オハグログガキおよびケガキの 2 種の種判別 RFLP 解析は, 5 μ l の PCR 産物, 5 unit の *AluI* 制限酵素 (Fermentas 社製) および終濃度×1の制限酵素用 Tango buffer (Fermentas 社製) を含む 10 μ l の反応溶液により, 37°C で 2 時間反応した。

なお, PCR 産物および RFLP 産物は, 臭化エチジウムで染色した後, EDAS 290 Gel Documentation System (Invitrogen 社製) により紫外線下で観察した。

結果および考察

GenBank 国際データベースから取得した 3 属 7 種のミトコンドリア DNA の 16S リボゾーム RNA 遺伝子領域の部分塩基配列のうち, イワガキは, 277 bp の部分塩基配列しか登録されておらず, 制限酵素認識部位の探索には不足していた。そのため, 宮崎県産イワガキから当該領域の塩基配列を解読した。

ミトコンドリア DNA の 16S リボゾーム RNA 遺伝子部分領域約 530 bp を多重整列解析し, NEBcutter プログラムを用いて制限酵素認識部位を探索した。その結果, 3 属の属特異的な制限酵素認識部位および 2 属 6 種の種特異的な制限酵素認識部位を特定した。制限酵素 *Eco130I* および *HindIII* によって 3 属の属分類, 制限酵素 *AluI* および *DdeI* によってマガキ属 4 種の種分類, 制限酵素 *AluI* によってオハグログガキ属 2 種の種分類が可能と推測された (図 1)。また, オハグログガキ属は属分類 RFLP 反応によって, オハグログガキとケガキの 2 種が含まれるハプロタイプと, クロヘリガキの 1 種のハプロタイプに別けられた。

属分類の場合, 制限酵素 *Eco130I* および *HindIII* によって, イタボガキ属は RFLP 反応後の鎖長が 468 bp および 59 bp に切断され, マガキ属は 530 bp で切断されず, オハグログガキ属のオハグログガキ, およびケガキの 2 種は 196 bp, 173 bp, 100 bp および 59 bp に切断され, クロヘリガキは 232 bp, 196 bp および 100 bp に切断された RFLP 産物が生成された (図 2)。マガキ属 4 種の種分類の場合, 制限酵素 *AluI* および *DdeI* によって, マガキは 357 bp, 100 bp および 73 bp に切断され, スミノエガキは 305 bp, 100 bp, 73 bp および 52 bp に切断され, イワガキは 199 bp, 171 bp, 125 bp および 35 bp に切断され, シカメガキは 216 bp, 141 bp, 100 bp およ

び 73 bp に切断された RFLP 産物が生成された (図 3)。オハグログガキ属の場合, 種判別を行う制限酵素 *AluI* によって, オハグログガキは 243 bp, 170 bp, 67 bp および 50 bp に切断され, ケガキは 170 bp, 160 bp, 83 bp, 53 bp, 50 bp および 14 bp に切断された RFLP 産物が生成された (図 4)。図 2, 図 3 および図 4 では, 40 bp 程度の切断片差を判別するのは難しく, また 100 bp 以下の切断片も同様に判別し難い。しかし, それぞれの属および種で特異的な電気泳動結果が得られたため, イタボガキ属, マガキ属およびオハグログガキ属の 3 属の属分類と, マガキ属 4 種の種分類, オハグログガキ属 3 種の種判別が可能となった。

イタボガキ科 3 属のカキ類は世界に広く分布しており, カキ殻構造物による魚礁効果や摂餌行動による水質浄化作用など, 沿岸汽水生態系の重要な役割を担っている。さらに, 沿岸の潮間帯から潮下帯に生息し, 採集が容易なため, 食用としての需要も高い。その一方で DNA 解析などの研究は増加傾向にあるものの, その知見は未だ十分とは言えない。カキ類は生息環境などによって形態の変異が起こりやすく, 従来の形態学的手法では貝殻や軟体部などの形態で判別するが, カキ類は生息環境によって貝殻や軟体部の色などの形態的特徴が変化しやすいため, カキ類を正確に分類することは困難である。近年, イタボガキ科カキ類については, バージニアガキ *C. virginica*・マガキ・スミノエガキの 3 種 (O'Foighil *et al.*, 1995), シカメガキ・マガキ・スミノエガキの 3 種 (Hedgecock *et al.*, 1999) などの限定されたカキ類を対象にミトコンドリア DNA の 16S リボゾーム RNA 遺伝子領域の PCR-RFLP 解析による分類法が開発されている。本研究では, ミトコンドリア DNA の 16S リボゾーム RNA 遺伝子領域の PCR-RFLP 解析により, 九州で採集されるイタボガキ科カキ類 3 属 9 種を網羅的に分類でき, かつ生態調査に応用できる技術の開発を目指した。制限酵素 *Eco130I* および *HindIII* によって 3 属の属分類, 制限酵素 *AluI* および *DdeI* によって *Crassostrea* 属 4 種の種分類, 制限酵素 *AluI* によって *Saccostrea* 属 3 種の種分類ができることが判明した。

今後, 九州沿岸汽水域の調査で採集されるイタボガキ科カキ類 3 属 9 種の迅速かつ安価な同定が可能になり, 天然海域におけるカキ類の分布生態に関する情報が得られる事が期待される。一方, 九州以外の日本国内の海域では 3 属のカキ類は本研究で取り扱った 9 種以外にヒヅメガキ *S. malabonensis*,

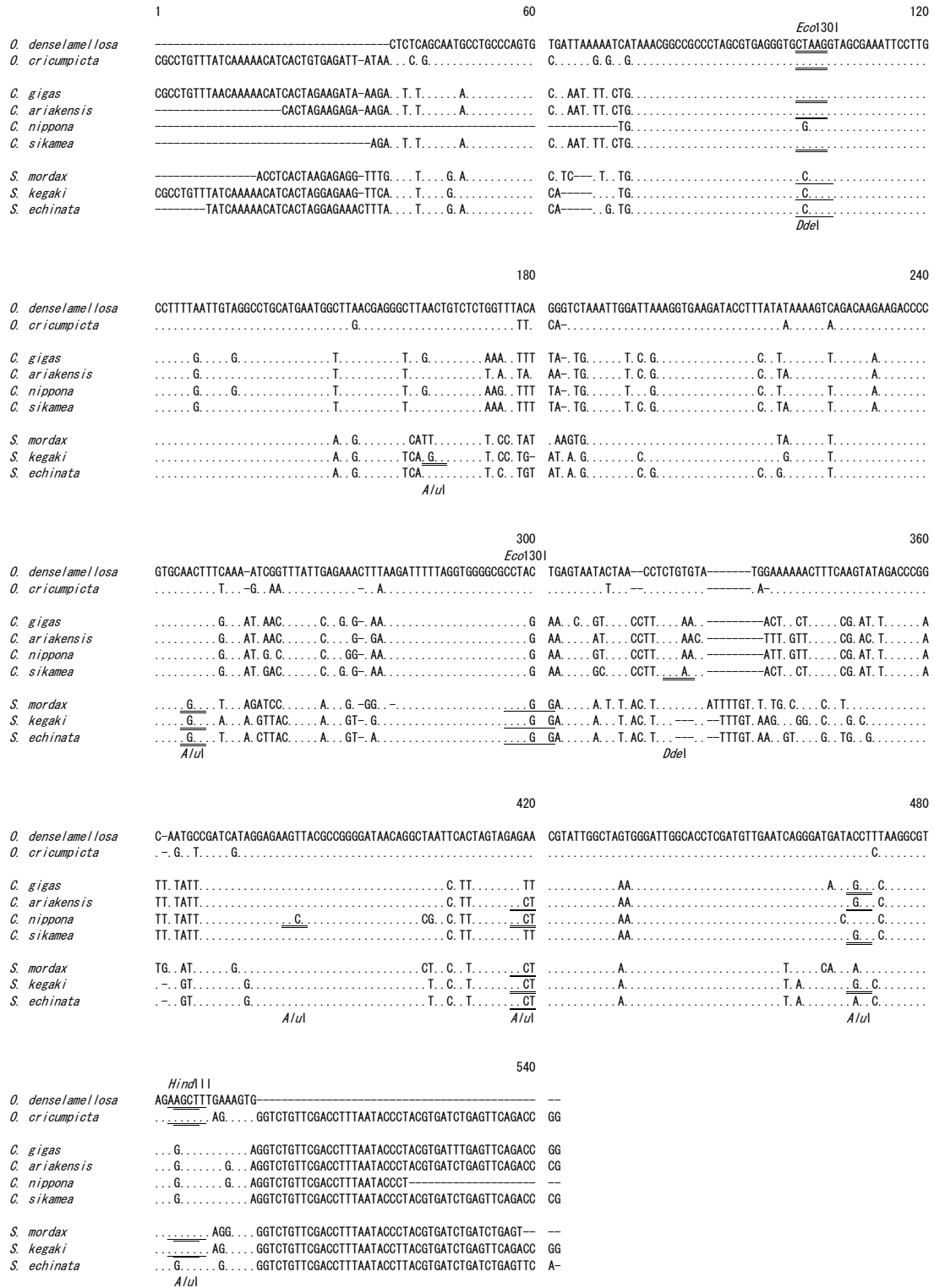


図 1. イタボガキ科 3 属 9 種のミトコンドリア DNA の 16S リボソーム RNA 遺伝子部分領域の相同性解析。下線の塩基配列は 3 属の属分類における制限酵素 *Eco130I* (5'-CCWWGG-3') および *HindIII* (5'-AAGCTT-3') の認識部位、二重下線の塩基配列はマガキ属 4 種およびオハダガキ属 2 種の種分類における制限酵素 *AluI* (5'-AGCT-3') および *DdeI* (5'-CTNAG-3') の認識部位をそれぞれ示す。

Fig. 1. Alignment of sequences of mitochondrial 16S ribosomal RNA gene in 9 Ostreidae oyster species. Dots indicate sequence identity with *O. denselamellosa*. Numerous endonuclease restriction site differences are apparent among the 3 oyster genera and restriction sites for *Eco130I* (5'-CCWWGG-3') and for *HindIII* (5'-AAGCTT-3') which differentiate the 3 oyster genera, are underlined. Numerous endonuclease restriction site differences are apparent among the 4 *Crassostrea* species and the 2 *Saccostrea* species restriction sites for *AluI* (5'-AGCT-3') and for *DdeI* (5'-CTNAG-3') which differentiate the 4 *Crassostrea* species and the 2 *Saccostrea* species, are double-underlined.

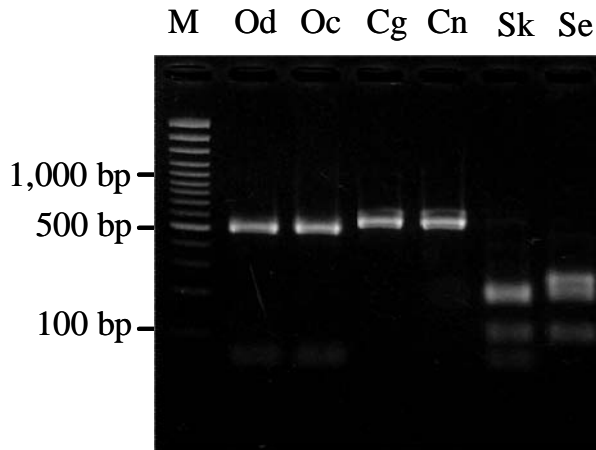


図2. イタボガキ(Od), コケゴロモガキ(Oc), マガキ(Cg), イワガキ(Cn), ケガキ(Sk) およびクロヘリガキ(Se)のミトコンドリアDNAの16SリボソームRNA遺伝子部分領域の制限酵素 *Eco130I* および *HindIII* を用いたPCR-RFLP解析. Mは100 bp DNA マーカーを示す.

Fig. 2. PCR-RFLP analysis of the partial 16S ribosomal RNA gene using *Eco130I* and *HindIII* restriction enzymes for standard oyster specimens of *O. denselamellosa* (Od), *O. circumpecta* (Oc), *C. gigas* (Cg), *C. nippona* (Cn), *S. kegaki* (Sk) and *S. echinata* (Se). Lane M, 100 bp DNA ladders.

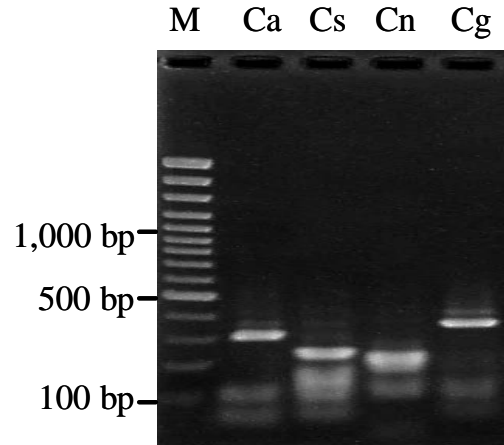


図3. マガキ(Cg), スミノエガキ(Ca), イワガキ(Cn) およびシカメガキ(Cs)のミトコンドリアDNAの16SリボソームRNA遺伝子部分領域の制限酵素 *AluI* および *DdeI* を用いたPCR-RFLP解析. Mは100 bp DNA マーカーを示す.

Fig. 3. PCR-RFLP analysis of the partial 16S ribosomal RNA gene using *AluI* and *DdeI* restriction enzymes for standard oyster specimens of *C. gigas* (Cg), *C. ariakensis* (Ca), *C. nippona* (Cn) and *C. sikamea* (Cs). Lane M, 100 bp DNA ladders.

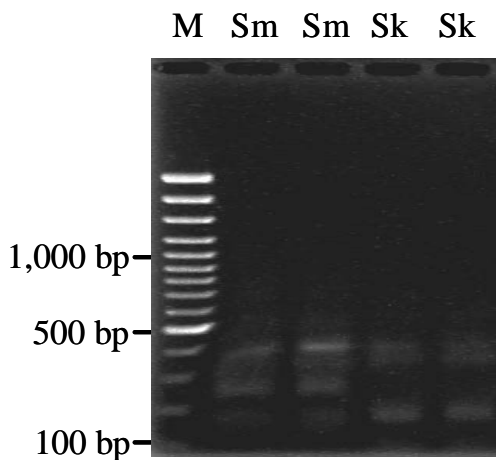


図4. オハグロガキ(Sm) およびケガキ(Sk)のミトコンドリアDNAの16SリボソームRNA遺伝子部分領域の制限酵素 *AluI* を用いたPCR-RFLP解析. Mは100 bp DNA マーカーを示す.

Fig. 4. PCR-RFLP analysis of the partial 16S ribosomal RNA gene using *AluI* restriction enzymes for standard oyster specimens of *S. mordax* (Sm) and *S. kegaki* (Sk). Lane M, 100 bp DNA ladders.

ニュージーランドガキ *S. glomerata* およびクロヒメガキ *O. futamiensis* の3種が生息するため(稲葉・鳥越, 2004), 他の海域に今回開発した分類技術を適用するにはこの3種についても検討する必要がある. 具体的には, まず, クロヒメガキの16Sリボソ-

ームRNA遺伝子領域の塩基配列は未だ解読されていないため, この塩基配列を解読する必要がある. 次に, 本研究と同じ手順で特異的な制限酵素を特定することによって日本沿岸を対象とした3属12種の属および種判別技術の開発が可能であると考えられる. クロヘリガキ, ヒヅメガキおよびニュージーランドガキは主に熱帯地域に分布する南方系カキ種であり, 特にクロヘリガキについては近年の環境変動による分布域の北進が報告されている(荒西・飯塚, 2007). この南方系カキ種の北進を調査する上でも本研究の技術および更なる分子分類技術の深化が必要であると考えられる. また, イタボガキなど各県の絶滅危惧種に指定されているカキ種についての分布調査にも本研究は応用でき, イタボガキの種の保全についても貢献できると考えられる.

本研究の属および種判別法は, ほぼ実用化の段階に達したと考えられる. ただし, 本研究で用いた試料は国内の限られた地域から採集した試料であるため, 今後より多くの検体を解析し, 解析結果に影響を及ぼすような変異の有無を調べる必要がある.

謝 辞

カキ試料を提供して下さった瀬戸内海区水産研究

所の浜口昌巳博士にお礼申し上げる。また、カキ類のDNAを提供して下さった Rutgers University の沖本宜音博士にお礼申し上げる。

引用文献

- 愛知県 (2002) 愛知県の絶滅のおそれのある野生動物レッドデータブックあいち-動物編-。愛知県, 名古屋, 438 pp.
- Aranishi, F. (2006) A novel mitochondrial intergenic spacer reflecting population structure of Pacific oyster. *J. Appl. Genet.*, 47: 119–123.
- 荒西太士・飯塚祐輔 (2007) 九州南東岸における南方種ニセマガキの出現記録。自然環境復元研究, 3: 21–25.
- 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.
- Buroker, N. E., Hershberger, W. K. and Chew, K. K. (1979) Population genetic of the family Ostreidae. II. Interspecific studies of the genera *Crassostrea* and *Saccostrea*. *Mar. Biol.*, 54: 171–184.
- 千葉県 (2006) 千葉県の保護上重要な野生生物-千葉県レッドデータブック-動物編 (2006年改訂版)。千葉県, 千葉, 23 pp.
- 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.
- Hirase, S. (1930) On the classification of Japanese oysters. *Jap. J. Zool.*, 3: 1–65.
- Imai, T. and Sakai, S. (1961) Study of breeding of Japanese oyster, *Crassostrea gigas*. *Tohoku J. Agr. Res.*, 12: 125–171.
- 稲葉明彦・鳥越兼治 (2004) 西宮市貝類館研究報告第3号。西宮市貝類館, 兵庫, pp. 10–44
- Jozefowicz, C. J. and O'Foighil, D. (1998) Phylogenetic analysis of southern hemisphere flat oysters based on partial mitochondrial 16S rDNA gene sequences. *Mol. Phylogenet. Evol.*, 10: 426–435.
- Kessing, B., Croom, H., Martin, A., McIntosh, C., McMillan, W. O. and Palumbi, S. P. (1989) The simple fool's guide to PCR. University of Hawaii, Honolulu, USA.
- 松井正文・小池裕子 (2003) 第2章生物進化と保全遺伝学。保全遺伝学 (小池裕子・松井正文編) pp. 19–39, 東京大学出版会, 東京。
- Lam, K. and Morton, B. (2004) The oysters of Hong Kong (*Bivalvia: Ostreidae* and *Gryphaeidae*). *Raffles. Bull. Zool.*, 52: 11–28.
- Lam, K. and Morton, B. (2006) Morphological and mitochondrial-DNA analysis of the Indo-West Pacific rock oysters (*Ostreidae: Saccostrea* species). *J. Mollus. Stud.*, 72: 235–245.
- Lapegue, S., Boutet, I., Leitao, A., Heurtebise, S., Garcia, P., Thiriot-Quievreux, C. and Boudry, P. (2002) Trans-Atlantic distribution of a mangrove oyster species revealed by 16S mtDNA and karyological analyses. *Biol. Bull.*, 202: 232–242.
- Matthiessen, G. C. (2000) Oyster Culture. Fishing News Books Series, Blackwell Publishing Professional, Ames. 176 pp.
- O'Foighil, D., Gaffney, P. M. and Hilbish T. J. (1995) Difference in mitochondrial 16S ribosomal gene sequences allow discrimination among American [*Crassostrea virginica* (Gmelin)] and Asian [*C. gigas* (Thunberg), *C. ariakensis* Wakiya] oyster species. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 192: 211–220.
- 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.
- 勢村均・石田健次・中上光・林育夫 (2001) 島根県隠岐島島前湾における垂下養殖イワガキの成長。 *Venus*, 60: 93–102.
- Southgate, P. C. and Lee, P. S. (1998) Hatchery rearing of the tropical blacklip oyster *Saccostrea echinata* (Quoy and Gaimard). *Aquaculture*, 169: 275–281.

- Stenzel, H. B. (1971) Oysters. In: Treatise on invertebrate paleontology, Mollusca 6, Bivalvia, vol. 3, (eds.) Moore, R. C. and Teichert, C. pp. N953–N1224. Colorado and the University of Kansas, Lawrence.
- Thompson, J. D., Higgins, D. G. and Gibson, T. J. (1994) CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acid. Res.*, 22: 4673–4680.
- 田北徹 (2000) 魚類. 「有明海の生きものたち - 干潟・河口域の生物多様性 -」 (佐藤正典編) pp. 224–225. 海游舎, 東京.
- 谷口順彦・高木基裕 (1997) DNA 多型と魚類集団の多様性解析. 「魚類の DNA 分子生物学的アプローチ」 (青木宙・隆島忠夫・平野哲也編) pp. 117–137. 恒星社厚生閣, 東京.
- Torigoe, K. (1981) Oysters in Japan. *J. Sci. Hiroshima Univ.*, (B1 Zool.), 29: 291–419.
- Vincze, T., Posfai, J. and Roberts, R. J. (2003) NEBcutter: a program to cleave DNA with restriction enzymes. *Nucleic Acid. Res.*, 31: 3688–3691.
- Wakiya, Y. (1929) Japanese food oysters. *Jap. J. Zool.*, 2: 359–367.
- Wang, H., Guo, X., Zhang, G. and Zhang, F. (2004) Classification of jinjiang oysters *Crassostrea rivularis* (Gould, 1861) from China, based on morphology and phylogenetic analysis. *Aquaculture*, 242: 137–155.

Juvenile morphology of three *Pseudogobius* species (Gobiidae) occurring in a mangrove estuary, southern Thailand

Toshihiro Yokoo^{1*}, Kouki Kanou², Masato Moteki¹, Hiroshi Kohno¹, Prasert Tongnunui³ and Hisashi Kurokura⁴

Abstract: Morphological characteristics of three gobiid *Pseudogobius* species (*P. javanicus*, *P. sp. 1* and *P. sp. 2*) in their juvenile phases which collected in Sikao Creek, a mangrove estuary located in southern Thailand were described. Juveniles of them were distinguished from each other by the following characters: *P. sp. 1* ($n = 59$, 7.4–13.3 mm SL) with two distinctive large blotches located on dorsal and ventral sides symmetrically of caudal fin base; *P. sp. 2* ($n = 13$, 6.7–12.0 mm SL), with three blotches on caudal fin base; and *P. javanicus* ($n = 18$, 6.5–11.8 mm SL) with two distinctive large blotches on caudal fin base in asymmetrical, upper one close to the lateral midline of body. All of these *Pseudogobius* individuals were collected within creek, mainly at middle reach, whereas no individuals from the marine area off the creek mouth, suggesting that these species spend most of their life within the estuarine habitat.

Key words: Gobiidae, *Pseudogobius*, juvenile morphology, mangrove estuary

Gobioids are the most dominant fish group in Indo-Pacific mangrove estuaries, and because of the high species diversity and abundance, they have been considered to be one of important components of such estuarine ecosystem (Collette, 1983; Robertson and Duke, 1987; Blaber and Milton, 1990; Vidthayanon and Premcharoen, 2002; Tachihara et al., 2003). However, ecological information on mangrove estuarine gobioids in their juvenile phase is still limited to some species (e.g. *Eleotris* and *Butis* species) (e.g. Maeda and Tachihara, 2005; Yokoo et al., 2006), because juvenile morphology of mangrove estuarine gobioids for the other genus has not been studied to date, and thus their early developmental series are hardly identified to the species level. More detailed morphological studies of gobioid juveniles, therefore, are needed to clarify the species-specific utilization pattern of

each species in mangrove habitats (Yokoo et al., 2006), which contribute to better understanding of their roles within such estuarine ecosystem.

The gobioid genus *Pseudogobius* is widely distributed in the tropical- temperate Indo-West Pacific region (Larson, 2001). They reside in freshwater and estuarine habitats including muddy substrata, seagrass beds and mangroves. Morphological characteristics of *Pseudogobius* juveniles were not known except for two temperate estuarine species, *Pseudogobius olorum* (Neira and Miskiewicz, 1998) and *P. masago* (Dotu, 1958). The purpose of this study was to describe the characters of the *Pseudogobius* juveniles including two new types which collected in Sikao Creek, a mangrove estuary located in Trang Province, southern Thailand. Short comments on their distribution patterns are also given.

¹ Laboratory of Ichthyology, Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7 Konan, Minato, Tokyo 108-8477, Japan

² Center of Water Environment Studies, Ibaraki University, 1375 Ohu, Itako, Ibaraki 311-2402, Japan

³ Department of Marine Science, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Sikao, Trang 92150, Thailand

⁴ Department of Global Agricultural Sciences, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo, Tokyo 113-8657, Japan

* Corresponding author: T Yokoo tel 81-852-32-9743, fax 81-852-32-9743

Present address: Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, Japan (e-mail: tyokoo@soc.shimane-u.ac.jp)

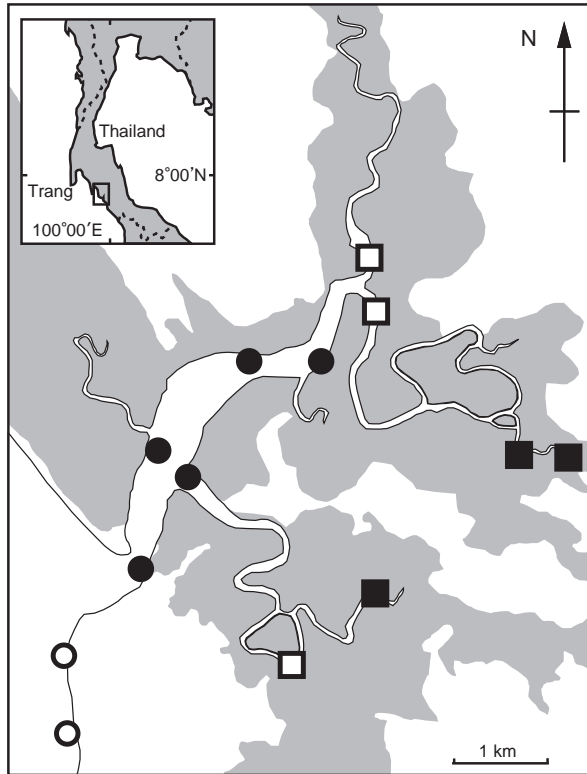


Fig. 1. Map of the sampling stations in Sikao Creek, Trang Province, southern Thailand. *Open circles*, marine area; *solid circles*, lower reach of creek; *open squares*, middle reach of creek; *solid squares*, upper reach of creek; *shaded area*, mangrove forest

Materials and Methods

This study was conducted in Sikao Creek, a mangrove estuary located in Trang Province, southern Thailand. Samplings were conducted at four areas: marine area (outside the creek) and lower reach (0.4–3.3 km from the mouth of the creek), middle reach (4.3–4.4 km) and upper reach (6.5–7.8 km) of the creek (Fig. 1), in August 1999, March, May, September and November 2000, and June 2002. A small seine net of 1 mm mesh [see Kanou et al. (2002)] was towed at about 1 m depth along the shoreline over a distance of 20 m. At each towing, net-mouth opening was constantly kept at 4 m, such covering the area of 80 m². In each area at each census time, two to five collections were made during low tide in daytime. Fish densities are expressed as the number of individuals per haul (per 80 m²) in this study. All samples were fixed in 10% formalin seawater in the field and later preserved in 70% ethanol in the laboratory.

Gobiid specimens collected were sorted out following Larson and Murdy (2001) and Nelson (2006), and then identified to the genus level following Larson (2001) and Larson and Murdy (2001). Although species comprising the genus *Pseudogobius* were given as a preliminary list by Larson (2001), a total number of species belonging to

this genus are uncertain yet and undescribed species may exist. Therefore, species identification of *Pseudogobius* specimens were based also on Day (1876), Herre (1940), Akihito and Meguro (1975), Kottelat et al. (1993) and Larson and Lim (2005) tentatively, and individuals with incomplete key-identification characters were identified by the series method of Leis and Trnski (1989). Measurements of body length and parts were made with a micrometer attached to a microscope and digital calipers, and illustrations of juveniles were done with the aid of camera lucida attached to a microscope. Terminology and methods for counts and measurements of morphological characters mainly followed Leis and Carson-Ewart (ed.) (2000).

The specimens examined in the study were deposited at the Museum of Tokyo University of Marine Science and Technology, MTUF-P(L)7206, 7254, 7345, 7355, 7378, 7458, 7490, 7491, 7497, 10654, 10720, 10736, 10742, 10757, 10779, 10786, 10788, 10792, 10806, 10833, 10855, 10878, 10880, 10908, 11187, 11291, 11298, 11303, 11307, 11341, 11344, 11403, 11599, 12248, 12354–12390, 12392, and 12393.

Results and Discussion

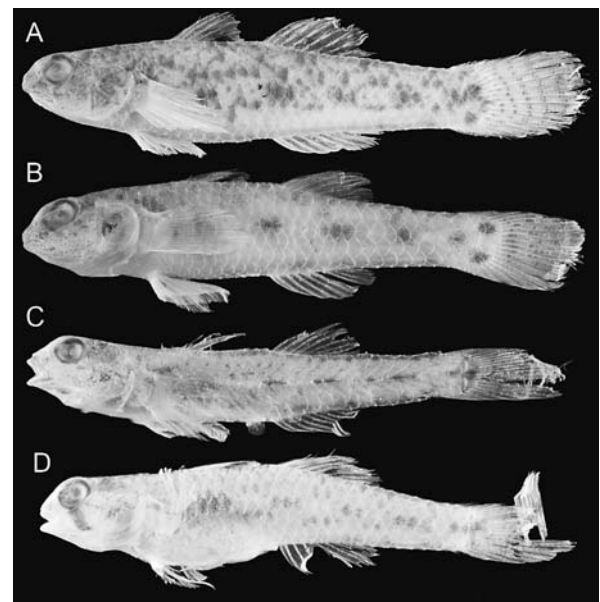
Identification. A total of 78 individuals of 9.2–29.2 mm SL were identified as *Pseudogobius* by having the combination of the following characters (Larson, 2001; Larson and Murdy, 2001): dorsal and anal fins separated from caudal fin; both dorsal fins separated from each other; segmented caudal fin rays 16; mouth small, subterminal, with rounded snout overhanging mouth; entire gut spirally coiled; body scaly; one pair of sensory pores present on snout. According to Larson (2001), *P. avicennia*, *P. javanicus*, *P. melanostictus* and *P. poicilosomus* are possibly distributed in this study area. Out of 78 *Pseudogobius* specimens collected in this study, 32 (13.0–29.2 mm SL) were identified as *P. javanicus* (Fig. 2A), based on pigmentation patterns on head, lateral side of body, and membrane of vertical fin rays. Although the remainders were not classified into *Pseudogobius* species listed preliminary by Larson (2001), they were divided into three types (*Pseudogobius* sp. 1–3) on the basis of the presence and/or absence of preorbital transverse band and pigmentation patterns of lateral side of body and caudal fin base. Pigmentation patterns of each type were as follows: *Pseudogobius* sp. 1 ($n = 22$, 11.9–25.2 mm SL, Fig. 2B): transverse band absent below eye, five large blotches present on lateral midline of body, and two blotches present on caudal fin base; *Pseudogobius* sp. 2 ($n = 8$, 13.0–14.0 mm SL, Fig. 2C): transverse band absent below eye, several melanophore blotches present on lateral midline of body, and three distinctive blotches present on caudal fin base; *Pseudogobius* sp. 3 ($n = 16$,

Table 1. Pectoral fin ray number of four described species and three types of *Pseudogobius* and three types of juveniles collected in Sikao Creek, Trang Province, southern Thailand from August 1999 to June 2002

	Number of pectoralfin ray	References
Adult		
<i>P. avicennia</i>	15–16	Larson and Lim (2005)
<i>P. javanicus</i>	14–16	This study, Akihito and Meguro(1975)
<i>P. melanostictus</i>	14–15	Larson and Lim (2005)
<i>P. poecilosomus</i>	14	Kottelat et al. (1993)
<i>P. sp. 1</i>	17	This study
<i>P. sp. 2</i>	15–16	This study
<i>P. sp. 3</i>	14–16	This study
Juvenile		
Type A	17–18	This study
Type B	15–16	This study
Type C	15	This study

9.2–14.0 mm SL, Fig. 2D): transverse band present below eye, several melanophore blotches present on lateral midline of body, and no distinctive blotch was observed on caudal fin base.

A hundred and twenty one juveniles (4.6–13.7 mm SL) possessed the combination of the characters being particular to the genus *Pseudogobius*. Of them, 91 individuals with melanophores on trunk and tail were subjected to the further analyses. They were divided into three types with distinctive pigmentation patterns on caudal fin base: type A ($n = 18$, 6.5–11.8 mm SL, Fig. 3A) with two distinctive large blotches located on dorsal and ventral sides symmetrically of caudal fin base; type B ($n = 59$, 7.4–13.3 mm SL, Fig. 3B) with three blotches on caudal fin base; type C ($n = 13$, 6.7–12.0 mm SL, Fig. 3C) with two distinct large blotches on caudal fin base in asymmetrical, upper one close to the lateral midline of body. Larger individuals of both types A and B (>11.3 mm SL) had preopercle sensory canal although incomplete. *Pseudogobius* sp. 1 and sp. 2 identified above in this study possessed the sensory canal on preopercle, although no *Pseudogobius* species of Larson (2001) possess the canal. Type A juvenile possessed two distinct blotches on dorsal and ventral sides of caudal fin base, and the number of pectoral fin rays was 17 or 18 (Table 1), these characters tallied with characters of *P. sp. 1*. Type B juveniles accorded with *Pseudogobius* sp. 2 by having three melanophore blotches on caudal fin base and 15 or 16 pectoral fin-rays in number (Table 1). Therefore, types A and B juveniles were identified as *Pseudogobius* sp. 1 and *Pseudogobius* sp. 2, respectively. Type C juveniles were distinguished from *P. avicennia* having numerous melanophores on the membrane of vertical fins (Herre, 1940), from *P. melanostictus* by absent of blotches on caudal fin base (Larson and Lim, 2005), and from *P. poecilosomus* and *Pseudogobius* sp. 3 by absent of transverse band below

**Fig. 2.** Specimens of four *Pseudogobius* species.

A *Pseudogobius javanicus*, MTUF-P(L) 11303, 27.1 mm SL;

B *Pseudogobius* sp. 1, MTUF-P(L) 12355, 23.9 mm SL;

C *Pseudogobius* sp. 2, MTUF-P(L)11403, 13.3 mm SL;

D *Pseudogobius* sp. 3, MTUF-P(L) 12385, 14.6 mm SL

eye (this study; Kottelat et al., 1993). On the other hand, because the pigmentation patterns and the numbers of fin rays of type C juveniles were consistent with those of *P. javanicus* collected in this study, type C was identified as *P. javanicus*.

Descriptions of *Pseudogobius* sp. 1 (Fig. 3A).
Morphology — Body moderate to elongate, body depth 14–16% SL; gut moderate to long, preanal length 47–55% SL; head moderate, head length 25–31% SL; eye moderate, eye diameter 28–30%HL; predorsal length 35–42%SL; caudal peduncle length 28–31% SL, depth 8–10% SL; snout length 16–19% HL. Jaws subequal,

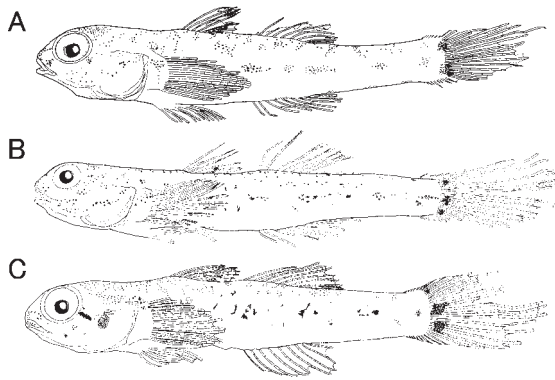


Fig. 3. Juveniles of three *Pseudogobius* species.
A *Pseudogobius* sp. 1 MTUF-P(L) 12360, 13.1 mm SL;
B *Pseudogobius* sp. 2 MTUF-P(L) 11931, 12.3 mm SL;
C *Pseudogobius javanicus* MTUF-P(L) 12370, 11.3 mm SL

upper jaw slightly projecting. Scales on lateral side present. Predorsal scales appearing first at 10.5 mm SL. Preopercle pores becoming complete at 11.3 mm SL. Scales on opercle appearing first at 11.3 mm SL.

Pigmentation — Melanophores scattered on such head regions as upper and lower jaws, lower jaw angle, snout, cheek, preopercle, upper part of opercle and isthmus; saddle-shaped pigmentation appearing on dorsal part of lateral side of body from anterior part of first dorsal fin to posterior part of caudal peduncle; five to six melanophore blotches appearing on lateral midline from under pectoral fin (not shown in the Figure) to posterior part of caudal peduncle; four blotches present on ventral part from anal fin base to caudal peduncle; two distinctive melanophore blotches present on caudal fin base, dorsal edge of dorsal blotch being on the upper second segmented caudal fin ray; transverse band present on membrane of first dorsal fin; melanophores scattered on second dorsal fin membrane. Melanophores present on pelvic fin base but disappearing at 11.0 mm SL.

Remarks — *Pseudogobius* sp. 1 differ from *Pseudogobius olorum* and *P. masago* in pigmentation patterns. The latter possess indistinctive blotches on caudal fin base and lack transverse band on first dorsal fin membrane.

Description of *Pseudogobius* sp. 2 (Fig. 3B).
Morphology — Body elongate to very elongate, body depth 9–14% SL; gut long, preanal length 50–56% SL; head moderate, head length 22–27% SL; eye moderate, eye diameter 26–30%HL; predorsal length 31–36%SL; caudal peduncle length 27–30% SL, depth 8–9% SL; snout length 17–22% HL. Jaws subequal, upper jaw slightly projecting. Scales on lateral side and predorsal area present. Preopercle pores present.

Pigmentation — Melanophores scattered on such head regions as upper and lower jaws, snout, cheek, preopercle, opercle and isthmus; scattered melanophores appearing on dorsal part of lateral side of body from anterior part of first

dorsal fin to posterior part of caudal peduncle; four to six melanophore blotches appearing on lateral midline from below second dorsal fin origin to posterior part of caudal peduncle; four blotches present on ventral part from anal fin base to caudal peduncle; three distinctive melanophore blotches present on caudal fin base; melanophores appearing on upper part of pectoral fin base; melanophores scattered on membrane of first dorsal fin. Melanophores on pelvic fin base appearing at 12.7 mm SL and disappearing at 13.3 mm SL.

Remarks — *Pseudogobius* sp. 2 can be distinguished from *P. olorum* and *P. masago* by having indistinctive blotches on the lateral side of body and three blotches on the caudal fin base.

Description of *Pseudogobius javanicus* (Fig. 3C).
Morphology — Body elongate, body depth 13–16% SL; gut moderate to long, preanal length 48–55% SL; head moderate, head length 26–30% SL; eye moderate, eye diameter 28–32%HL; predorsal length 34–40%SL; caudal peduncle length 27–31% SL, depth 9–11% SL; snout length 12–20% HL. Jaws subequal, upper jaw slightly projecting. Scales on lateral side of tail present and expanding to trunk at 7.5 mm SL. Predorsal scales appearing first at 8.9 mm SL.

Pigmentation — Melanophores scattered on such head regions as upper and lower jaws, snout, cheek, preopercle, opercle and isthmus; distinctive blotches present on preopercle and opercle; scattered melanophores appearing on dorsal part of lateral side of body from anterior part of first dorsal fin to posterior part of caudal peduncle; five to six melanophore blotches appearing on lateral midline from under pectoral fin (not shown in the Figure) to posterior part of caudal peduncle; four blotches present on ventral part of anal fin base to caudal peduncle; two distinctive melanophore blotches present on caudal fin base, dorsal edge of dorsal blotch being on the upper fourth segmented caudal fin ray; melanophores appearing on upper part of pectoral fin base; transverse band present on membrane of first dorsal fin; melanophores scattered on second dorsal fin membrane. Melanophores on isthmus disappearing at 10.6 mm SL.

Remarks — Juveniles of *P. javanicus* are distinguishable from *P. olorum* and *P. masago* on the basis of melanophore pattern. The latter possess indistinctive blotches on caudal fin base and lack transverse band on first dorsal fin membrane.

Occurrence patterns. In the present study, all of the *Pseudogobius* individuals were collected within Sikao Creek, while no individuals from the marine area (Table 2), suggesting that they spend their entire life cycles within the estuary system. Neira and Potter (1992) have also pointed out that estuarine gobiids such as *P. olorum* typically spend their juvenile and adult life in a restricted area within estuaries, and the demersal and adhesive eggs

Table 2. Number of individuals per haul of four species of *Pseudogobius* collected at four areas in Sikao Creek, Trang Province, southern Thailand from August 1999 to June 2002

	Upper reach	Middle reach	Lower reach	Marine area
<i>P. javanicus</i>	0.5	5	0.1	-
<i>P. sp. 1</i>	0.1	3.1	-	-
<i>P. sp. 2</i>	0.2	1.3	0.3	-
<i>P. sp. 3</i>	-	1.2	<0.1	-

enabled them to reduce the potential loss from the estuary with the seaward flow.

Within mangrove estuaries, distribution patterns in early life stages of species of the genus *Acentrogobius* (Yokoo et al., unpublished data), *Butis* (Yokoo et al., 2006) and *Eleotris* (Maeda and Tachihara, 2005) were different even among closely related species. In contrast, *Pseudogobius* juveniles occurred mainly at the middle reach area within Sikao Creek. Further studies are needed to clarify the mechanisms which allowing their coexisting within such a restricted area.

Acknowledgements

We thank M. Sano, K. Ikejima, T. Yamane, A. Yoshizawa, S. Sugiura (University of Tokyo), and colleagues of MRIT for assistance in fieldwork. Our special thanks are due to H. Larson (Museum and Art Gallery of the Northern Territory) for valuable advice on identification of *Pseudogobius* and to M. Horinouchi (Shimane University) for his critical comments on the manuscript. We are grateful to the National Research Council of Thailand for the granting of permits to conduct this research in Thailand. This study was supported in part by Grants-in-Aid for Scientific Research, Creative Basic Research and International Scientific Research, from the Ministry of Education, Science, Sports, and Culture of Japan (No. 10041160).

References

- Akihito Prince and Meguro, K. (1975) On a goby *Pseudogobius javanicus* from Okinawa Prefecture, Japan. *Jpn J Ichthyol* 22: 46–48
- Blaber, S. J. M. and Milton, D. A. (1990) Species composition, community structure and zoogeography of fishes of mangrove estuaries in the Solomon Islands. *Mar Biol* 105: 259–267
- Collette, B. B. (1983) Mangrove fishes of New Guinea. In: Teas, H. T. (ed.) *Biology and ecology of mangroves*. Dr W Junk Publishers, Hague, pp 91–102
- Day, F. (1876) Family, XXVII-Gobiidae The fishes of India; being a natural history of the fishes known to inhabit the seas and freshwaters of India, Burma, and Ceylon, pp 281–320
- Dotu, Y. (1958) The life history of the gobiid fish, *Acentrogobius masago* (Tomiyama). *Sci Bull Fac Agr Kyushu Univ* 16: 359–370
- Herre, A. W. C. T. (1940) New species of fishes from the Malay Peninsula and Borneo. *Bull Raffles Mus* 16:5–26, pls. 1–20
- Kanou, K., Kohno, H., Tongnunui, P. and Kurokura, H. (2002) Larvae and juveniles of two engraulid species, *Thryssa setirostris* and *Thryssa hamiltonii*, occurring in the surf zone at Trang, southern Thailand. *Ichthyol Res* 49: 401–405
- Kottelat, M. A., Whitten, J., Kartikasari, S. N. and Wirjoatmodjo, S. (1993) *Freshwater fishes of western Indonesia and Sulawesi*. Periplus, Jakarta
- Larson, H. K. (2001) A revision of the gobiid fish genus *Mugilogobius* (Teleostei: Gobioidae), and its systematic placement. *Records of the western Australian Museum Supplement* 62
- Larson, H. K. and Lim, K. K. P. (2005) *A guide to gobies of Singapore*. Singapore Science Centre, Singapore
- Larson, H. K. and Murdy, E. O. (2001) Gobiidae. In: Carpenter, K. E. and Niem, V. H. (eds.) *The living marine resources of the western central Pacific*, vol 6. *FAO species identification guide for fisheries purposes*, FAO, Rome, pp 3578–3603
- Leis, J. M. and Trnski, T. (1989) *The larvae of Indo-Pacific shorefishes*. New South Wales University Press, Kensington
- Leis, J. M. and Carson-Ewart, B. M. (ed.) (2000) *The larvae of Indo-Pacific coastal fishes: a guide to identification*. Brill, Leiden
- Nelson, J. S. (2006) *Fishes of the world*, 4th edn. Wiley, New York
- Maeda, K. and Tachihara, K. (2005) Recruitment of amphidromous sleepers *Eleotris acanthopoma*, *Eleotris melanosoma*, and *Eleotris fusca* into the Teima River, Okinawa Island. *Ichthyol Res* 52: 325–335
- Neira, F. J. and Miskewicz, A. G. (1998) Gobiidae: Gobies. In: Neira, F. J., Miskewicz, A. G. and Trnski, T. (eds.) *Larvae of temperate Australian fishes*, University of Western Australia Press, Nedlands, pp 386–403
- Neira, F. J. and Potter, I. C. (1992) Movement of larval fishes through the entrance channel of a seasonally open estuary in western Australia. *Estuar Coast Shelf Sci* 35: 213–224

- Robertson, A. I. and Duke, N. C. (1987) Mangrove as nursery sites: comparisons of the abundance and species composition of fish and crustaceans in mangroves and other nearshore habitats in tropical Australia. *Mar Biol* 96: 193–205
- Tachihara, K., Nakao, K., Tokunaga, K., Tshako, Y., Takada, M. and Shimose, T. (2003) Ichthyofauna in mangrove estuaries of the Okinawa, Miyako, Ishigaki and Iriomote Islands during August from 2000 to 2002. *Bull Soc Sea Water Sci Jpn* 57: 481–490
- Vidthayanon, C. and Premcharoen, S. (2002) The status of estuarine fish diversity in Thailand. *Mar Freshwater Res* 53: 471–478
- Yokoo, T., Kanou, K., Moteki, M., Kohno, H., Tongnunui, P. and Kurokura, H. (2006) Juvenile morphology and occurrence patterns of three *Butis* species (Gobioidei: Eleotridae) in a mangrove estuary, southern Thailand. *Ichthyol Res* 53: 330–336

短 報

中海におけるコアマモ (*Zostera japonica*) の 移植技術の検討 (予報)

宮本 康¹・九鬼貴弘¹・初田亜希子¹・國井秀伸²

Transplanting methodology of eelgrass *Zostera japonica* in brackish lagoon Lake Nakaumi (Preliminary report).

Yasushi Miyamoto¹, Takahiro Kuki¹, Akiko Hatsuda¹, Hidenobu Kunii²

Abstract: The chronic loss of eelgrass *Zostera japonica* Aschers et Graebn. has been a problem in the last decade in brackish lagoon Nakaumi, and re-establishment programs are strongly desired at present. In order to encourage the programs by offering the useful information for the eelgrass re-establishment, we conducted field surveys and experiments to (1) detect inhibiting factor of seed production in the lagoon, and (2) develop preferred transplant methodology. The inhibition of seed production was detected to be caused partly by sediment perturbation, since reproductive shoot production was inhibited in the sediment perturbed treatment. Since seed production was hardly observed at the recent lagoon, we developed the preferred transplant technique using sprigs, that are sections of rhizome with shoots and leaves attached. In the attempt, it was suggested that adequate temperature is a key for successful transplantation. Finally, we discussed the genetic problems accompanied with transplantation, in particular, "founder effect".

Key words: *Zostera japonica*, disturbance, seed production, transplant experiment, sprig

はじめに

アマモ (*Zostera marina* L.) とコアマモ (*Zostera japonica* Aschers et Graebn.) は、かつての豊饒な中海の象徴だった。昭和 30 年代まで、こうしたアマモ類は湖内の沿岸域に幅広く分布しており、魚介類の産卵・育成場として漁業者に恩恵を与え、さらに貴重な肥料源として農業者にも恩恵を与えていた (島根県水産試験場, 1935; 早栗, 1955; 平塚ほか, 2006)。しかし、昭和 30 年代中盤より本種の激減が始まり、今日ではいくつかの沿岸域でパッチ状の分布が認められるのみになった (宮本・國井, 2006; 宮本・初

田, 2007)。こうした分布域の縮小・断片化は、生物の地域個体群が消滅する過程で必ず通る道りである (鷲谷・矢原, 1996)。こうした現状を考慮すると、アマモ類の更なる減少を食い止め、その上で再生手法を確立することは、今日の中海における急務だと言える。

こうした背景の下、中海においてアマモの植栽が地元の NPO を中心に進められている (宮本, 2007)。そして、植栽の行われたいくつかの水域では、植栽後 3 年以上の育成に成功している。アマモ場造成の試みは全国で広く行われてきたが、造成されたアマモ群落は一年以内に消滅・衰退したものが多 (環

¹ Tottori Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science.

² Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University.

境省, 2004)。したがって、中海におけるアマモ植栽の試みは数少ない成功事例の一つと言えよう。しかし、こうしたアマモ植栽における華々しい成果とは裏腹に、コアマモの植栽はわずかに行われているにすぎない。それに加え、コアマモに関しては、アマモに較べると植栽の折に直接応用できる報告が著しく限られており(アマモに関しては、水産庁・マリノフォーラム 21 (2007) 等がある)、このことが本種の保全と再生を進める上での大きな障害となっている。

そこで本研究は、中海におけるコアマモの保全と再生を進める上で、応用が可能な情報を得ることを目的とした。はじめに、近年の中海で問題視されている「コアマモの種が取れない」問題について、攪乱の影響に着目した野外実験の結果を報告する。次に、種子生産の低さを考慮して開始したコアマモの株移植実験の経過を紹介する。最後に、移植事業に常につきまとう問題点、遺伝的な影響について考察を行う。

材 料 と 方 法

1. コアマモ

コアマモは北半球の温帯から亜寒帯地域にかけて分布する海産被子植物である(大森, 2000)。国内では太平洋岸を中心とした内湾の汽水域に生育するものの、近年では生育地が減少傾向にある(越川ほか, 2007)。しかし、本種は本来、幅広い環境に生育が可能であり、特に塩分と乾燥に対する耐性にその特徴を伺うことができる。中海では大橋川から小篠津地先に至る幅広い塩分範囲で生育が確認され(國井, 2001)、さらに、潮汐の震幅が大きい太平洋岸では、大潮干潮時に干出する潮間帯上部にまで生育が認められている(上出, 2007; 越川ほか, 2007)。なお、本種は2006年まで、環境省レッドデータブックに情報不足の種(DD)として位置付けられていた。

2. 攪乱が種子生産に与える影響

アマモに較べると、コアマモは種をつける生殖株の出現比率が著しく少ない傾向がある(コアマモに関する情報: 輪島ほか, 2004; 上出, 2007; アマモに関する情報: 林田, 2000; 道家ほか, 2000; 阿部ほか, 2004)。こうした種子生産の少なさは、底質攪拌に起因する攪乱が原因の1つと考えられる。なぜなら、攪乱を受けたアマモ類は地下茎と地上部の成長を繰り返して分布域の拡大・再生を行うが(Cabaco et al.,

2005)、種子生産を行うためにはある程度の齡、もしくはサイズまで成長する必要があるからである(Olesen, 1999)。コアマモはアマモ類の中でも底質の攪拌が大きい浅い水域に生育することが多いため(根来, 1962; 植田ほか, 2006; 越川ほか, 2007)、このことがコアマモの種子生産の少なさを生じさせている可能性が十分に考えられる。

そこで、攪乱がコアマモの種子生産に影響を与えるかどうかを明らかにするため、実験水路にて野外実験を行った。実験水路は鳥取県東伯郡湯梨浜町の東郷湖羽合臨海公園内に位置し、サイズは幅1 m、長さ10 m、深さ15 cmである。コンクリート製の底部には川砂が約5 cmの厚さで敷き詰められ、隣接する東郷池の湖水(汽水)が電動ポンプにより常時流されている。本水路の環境(塩分・全窒素・全リン・底質のSilt-Cray率・強熱減量・水深・水流)は中海の自生地と異なる部分が多い(Table 1)。特に水深が浅いこと、流速が遅いこと、そして塩分が低いことが本水路の特徴である(Table 1)。しかし、今日の中海におけるコアマモ場の制限要因、光と波浪の問題を回避できていることから(島根県, 2006)、育成が可能であると判断し、2006年の8月に自生地より採取した本種を移植した。その後、移植株は定着し、地下茎による分布拡大が確認された(詳細は結果と考察を参照)。

2008年4月、コアマモを移植した2本の水路のうち、1本に攪乱を与えた。アマモ類は二枚貝の採集による攪乱を受けることが多いため(Cabaco et al., 2005; Neckles et al., 2005)、二枚貝の採集を模した攪乱を与えた。具体的には、水路内でランダムに20ヶ所、20×20 cmの範囲で深さ5 cmの穴を掘り起こし、この折に生じた底質は穴の周辺に放置した。その結果、約70%のコアマモが地下茎ごと浮上、もしくは砂に埋没した。その一月後の5月、攪乱を受けた水路と受けていない水路にて、コアマモの被度と種をつける生殖株の密度を両水路で10点ずつ、50×50 cmのコドラートを用いて計測した。

生殖株の密度は被度が大きいほど高い傾向があったため(攪乱水路: $R=0.64$, $P<0.05$; 対照水路: $R=0.97$, $P<0.001$)、攪乱が種子生産(生殖株の密度で代用)に与える影響を共分散分析(ANCOVA)を用いて評価した。データの正規性を確保し解析の検出力を向上させるため、生殖株の密度は対数変換を施した(Sokal and Rohlf, 1995)。なお、上記の相関係数(R)は対数変換後の計算値である。共分散分析と相関係数の算出は、SPSS 11.0J (SPSS Inc.)を用いて

表 1. 中海におけるコアマモの自生地 (Fig. 1 参照) と実験水路における環境の比較. 自生地のデータは 2006~2007 年度の四季毎 (6・8・10・1 月) に収集されたもの, 実験水路のデータは移植後 2 年間 (2008~2009 年度) に四季毎に収集したものである. 比較には T 検定を用いた. 太字は有意差が認められたことを示す.

Table 1. Comparisons of environment factors between native habitats in Lake Nakaumi (see Fig. 1) and experimental channel using T-test. The data in native habitats and experimental channel have collected at four seasons (Jun, Aug, Oct, Jan) during 2006–2007 and 2008–2009, respectively. Bold represents significant difference ($P < 0.05$).

Environment factors	Native habitats		Experimental channel		T	P
	Mean	95%CI	Mean	95%CI		
Depth (m)	1.07	0.19	0.10	0.02	-10.2	<0.001
Current velocity (cm/s)	4.00	0.70	0.79	0.24	-8.71	<0.001
Salinity (psu)	14.5	2.76	5.4	1.08	-6.05	0.002
TN (mg/L)	0.89	0.49	0.59	0.11	-1.15	0.26
TP (mg/L)	0.087	0.031	0.049	0.026	-1.87	0.08
Ignition loss (%)	1.43	0.28	1.33	0.07	-0.73	0.49
Silt-Clay fraction (%)	4.18	0.91	5.55	0.33	2.50	0.04

行った.

3. 移植実験

今日におけるアマモ類の移植法は (1) 種子を用いた移植と (2) 株を用いた移植の 2 つに大別される (環境省, 2004; Seddon, 2004; 越川ほか, 2007). しかし, コアマモの場合, 上記のように十分な種子を確保することが困難な状況にある. したがって, 現時点では株を用いた移植が現実的な方法と言える. また近年では, 経済活動の低迷を背景にアマモ類の大規模な再生事業が減少傾向にある一方, 漁業協同組合や NPO によるアマモ場再生事業が行われるようになった (水産庁・マリノフォーラム 21, 2007). こうした現状を踏まえると, 一般市民でも準備が可能な安価で容易な植栽技術の開発が必要と思われる. そこで, これらの条件を満たした株を利用したコアマモの移植マットを作成した.

移植マットは, ヘチマ構造 (立体網状構造) を有する人工樹脂製マット (面積: 20×20 cm・厚さ: 2.5 cm) に実験水路で成長した地下茎を 4~5 本固定した後, この水路にて約 2 週間の間育成を行ったものである (Fig. 2). 移植マットの作成には地下茎の先端部, 約 10 cm 程度を利用した. このような地下茎は生残率が高く, 株移植に有効であることが, コアマモと同じ有茎型の海草 *Posidonia sinuosa* で実証されている (van Keulen et al., 2003). 本種は最大葉長が

120 cm であり (Seddon, 2004; Westphalen et al., 2005), コアマモより大型である. この点に注目し, より小型のコアマモでも同程度の長さの地下茎先端部が移植に向くと判断した.

この移植マットを錘となるメタルフレーム (25×25 cm) に固定した後, 2008 年の 5 月に 10 マット, 移植適地として選定された中海の彦名地先 (Fig. 1) の水深 0.5–1.0 m に設置した. 移植適地の選定については他誌に紹介する予定である.

結果と考察

1. 攪乱が種子生産に与える影響

コアマモを移植した 2 本の水路のうち, 1 本にて攪乱を与えた結果, 攪乱が種を作る生殖株の形成を阻害する傾向が認められた. そして, この傾向は被度が高くなるほど顕著であった (Fig. 3: 対照区の傾き = 2.57×10^{-2} > 攪乱区の傾き = 1.02×10^{-2} : $F_{被度 \times 攪乱の有無} = 10.4$; $P = 0.005$). こうした傾向は, 攪乱を受けた水路では地下茎成長による分布拡大が高い被度に至るまで続く反面, 攪乱を受けなかった水路では, 被度が高い部分では地下茎成長による分布拡大が終了し, 生殖株の形成が始まることを反映したものであった. この結果は, アマモ類が種子生産を行うためにある程度の齢, もしくはサイズまで成長する必

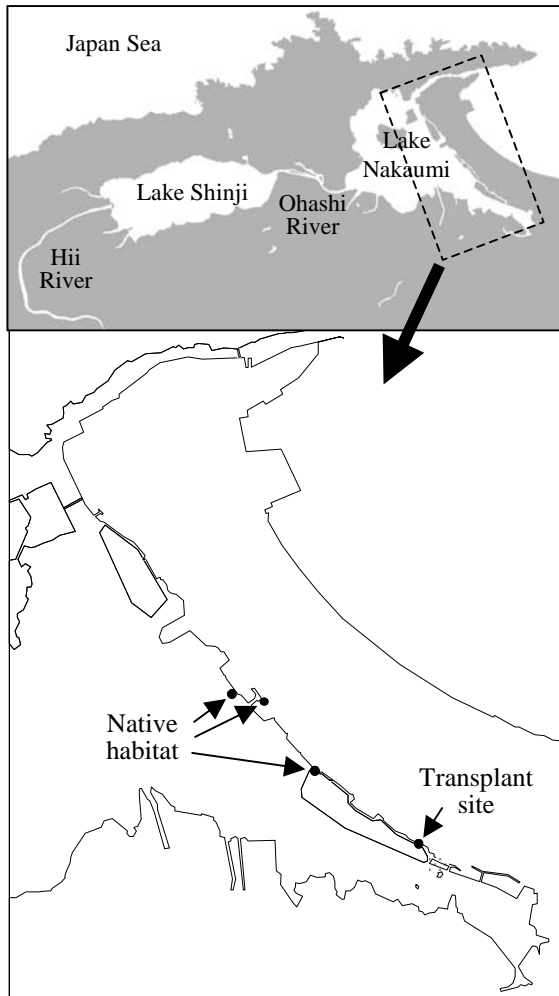


図1. コアマモの自生地(鳥取県水域内)と移植地を記した中海の地図。

Fig. 1. Map of Lake Nakaumi. Native habitats in Tottori prefecture and transplant site are represented.

要があることと符合する (Olesen, 1999). したがって、攪乱環境下のコアマモは、成長による分布拡大に投資を専念するために種子生産が低下すると考えられる。

なお、攪乱を与えなかった水路での生殖株密度は、先行研究の値に較べても高い傾向があった。国内の他地域で報告されているコアマモの生殖株密度は0~11.1%であるのに対し(輪島ほか, 2004; 上出, 2007), 攪乱を与えなかった水路における値は11.8~56.4%, 平均で38.6%であった。これらの結果は、実験水路の底質環境の安定性が、コアマモの種子生産を増加させる上で重要であることを示唆している。

2. 移植実験

平成18年4月に人工水路にて移植マットを作成し

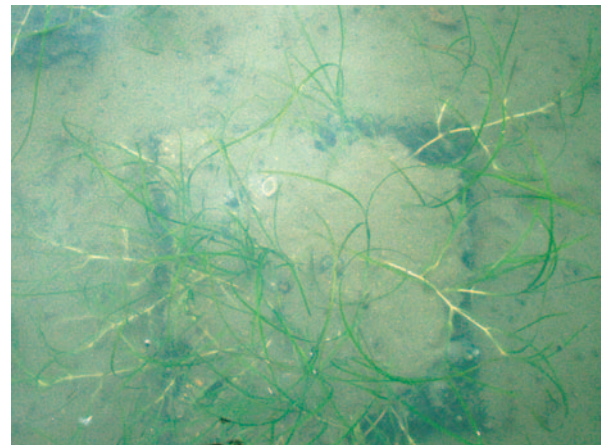


図2. 移植マットの写真。実験水路における2週間の間育成により地下茎が伸長した。

Fig. 2. Photo of transplant mat. Rhizomes elongated during two-weeks culture in experimental channel.

た結果、約2週間後に植え付けた全ての地下茎で定着が認められた。さらに作成した10マット全てにおいて、マットの外側に0.5~10 cmの地下茎伸長が確認された (Fig. 2)。こうした地下茎伸長による分布拡大が本手法の狙いであることから、移植マットの作成は成功したと言える。

なお、伸長した地下茎は全て、樹脂製マットの内部ではなく、その表面部を横走した (Fig. 2)。マットは全て、底質表面下1 cm以内に埋没させていることから、コアマモの地下茎は(1)底質の表面付近を横走する傾向がある、もしくは(2)障害物があると浅い水深を横走する傾向があるものと考えられる。ただし、水路内に直接植え込んだ株を観察すると、地下茎の多くが底質表面、もしくは表面直下を横走していることから、前者の説が正しいと考えられる。

この移植マットを実験水路にて中間育成を行った折(平成18年4月)の水温は12.8~20.2℃、塩分は約1psuであった。この折の水温は、室内実験(越川ほか, 2007)で生長に好適とされた範囲(10~15℃)と重複が大きい。しかし、水温が20℃を上回るようになった6月以降は地下茎生長が鈍化した。これらの結果より、移植の折には水温(または季節)に注意を払わねばならないことが示唆された。一方、塩分に関しては、生育に良好とされている塩分(7.5~15psu)(越川ほか, 2007)よりもはるかに低い条件下で良好な地下茎の伸長が確認された。したがって、少なくとも中海では、低塩分は移植の障害にならないと考えられる。

これらの移植マットを、水温に関して好適と考えられる5月に移植適地 (Fig. 1) に設置した。移植株

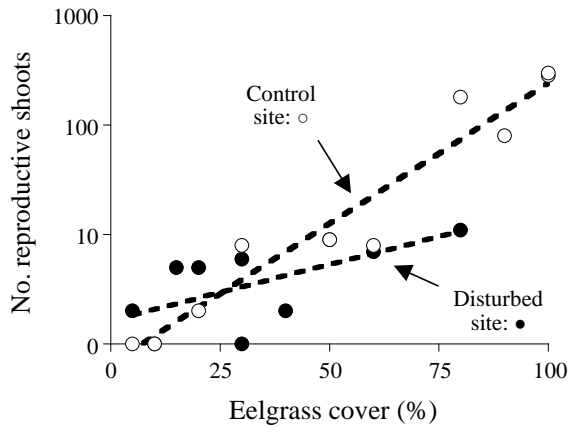


図3. 底質攪拌がコアマモの種子生産に与える影響. 破線は攪拌を与えた水路, 対照区となる水路における被度と生殖株密度の回帰直線を示す.

Fig. 3. Effects of sediment perturbation on seed production of *Z. japonica*. Broken lines represent linear regression lines between eelgrass cover and reproductive shoot density for disturbed and control channels.

の今後の成長と分布拡大が期待される。なお、冬季(1月)に行った試験移植では、全6マット中、2マットのみで5月の時点で生残が確認された。メタルフレームと人工樹脂製のマットが全て残存していることから、4マットで生残が確認されなかった原因は植物体の消失によるものである。コアマモの生長に好適な水温が10~15℃であることを考慮すると(越川ほか, 2007)、移植後の1~3月は水温10℃未満の条件が続いたことが根付きに失敗した原因の1つと考えられる。ワデン海におけるアマモ類の株移植は、5~6月の成績が良好であることが報告されている(Wadden Sea Newsletter 2002-2, 2002)。

なお、株の移植は常に自生地の破壊を伴うため、自生地に対しては著しい影響を及ぼさないよう、十分な配慮が必要である(環境省, 2004)。この点は、自生地の縮小が著しい地中海では特に配慮されねばならぬ点であろう。この点に対処するため、自生地(鳥取県水域)からの株採取を極力、最小限度に抑えた(約0.25 m²の範囲からバケツに1/3ほどの採取)。しかし、採取した株のみでは移植に不十分であったため、採取株を東郷湖に隣接する実験水路に移植し、増殖を試みた。2006年8月に採取、実験水路に移植した後、約1年半で面積にして約15 m²、移植時の約60倍の増殖に成功した(Fig. 4)。使用した実験水路の大きな特徴は、水深が浅く(約10 cm)波浪の影響が小さいことである。この条件は、今日の中海におけるコアマモ場の制限要因、光と波浪の問題を回避できていることから(島根県, 2006)、このことが

実験水路におけるコアマモ増殖の成功を導いたと考えられる。なお、この水路では、上記のように既往の報告と較べて著しく多い種子の生産に成功している。これらの点は、閉鎖性の高い水深の浅い人工的な水路が種子と移植株の生産に有効であることを示唆している。

3. 問題点

移植によるアマモ場の再生には常に大きな問題が付きまとう。それは遺伝的な問題である。移植の現場で危惧される遺伝的な悪影響として(1)創始者効果(founder effect)・(2)遺伝子浸透(genetic swamping)・(3)雑種強勢と外交配弱勢(heterosis and outbreeding depression)を挙げることができる(Hufford and Mazer, 2003)。ここで本研究のように、移植先に先住個体がない場合には(1)創始者効果のみが問題となる。事実、アマモを対象とした先行研究では、移植された個体群の遺伝的多様性が低いことに加え、種子の発芽率や地下茎成長が悪い事例が報告されており(Williams and Orth, 1998; Hufford and Mazer, 2003)、創始者効果が現実の問題であることが分かる。なお、遺伝的多様性の低下は、突発的な環境変動(嵐や病気の流行など)が生じた折、個体群が消滅する確率を高めてしまう致命的な問題でもある(鷲谷・矢原, 1996)。

本研究で実施しているコアマモの移植もこの問題を多分に含んでいることが十分に予想される。なぜなら、本研究では自生地の限られた株を栄養繁殖により増殖させて移植株を作成しているため、遺伝的多様性が著しく小さいと予想されるためである。これに加え、中海水系のコアマモでは、有性生殖による加入の頻度が大きくないことが示唆されており(Araki and Kunii, 2006)、自生地の遺伝的多様性もそれほど高くないことが予想される。しかし残念なことに、本研究で増殖と種子生産を行っているコアマモに関して、どれだけの遺伝的多様性があるのかは不明である。今後は対象としているコアマモの遺伝的多様性を把握した上で、創始者効果を抑え、適度な遺伝的多様性を維持しながら保全・再生技術の向上を図りたい。

謝 辞

彦名地先におけるコアマモの移植実験を行う上で、米子水鳥公園のみなさま、島根大学中海分室の松本貞夫氏、そしてエスペックミック株式会社の木

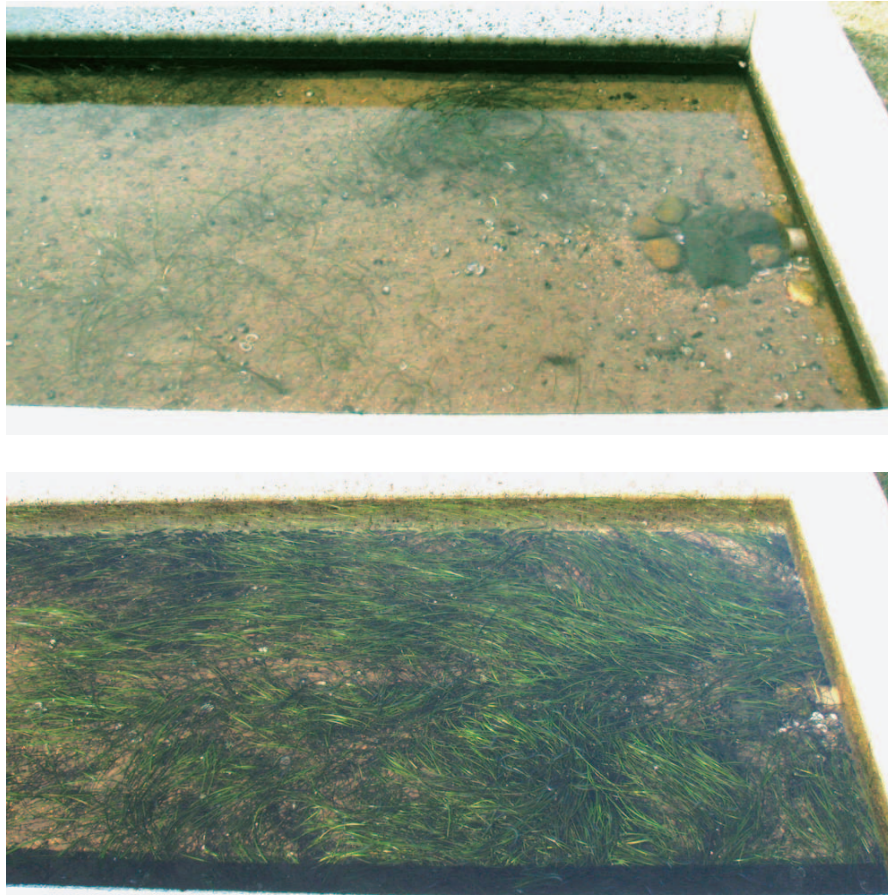


図4. 実験水路に移植したコアマモの分布拡大. 2006年8月に自生地より移植後, 4ヶ月目(上)と14ヶ月目(下)の写真.

Fig. 4. Expanded distribution of *Z. japonica* in experimental channel. Four (upper) and 14 (below) months after transplantation from native habitat.

村保夫氏にご協力いただいた. この場を借りてお礼を申し上げます. なお, 本研究は鳥取県衛生環境研究所の調査研究「アマモ・サルボウを用いた中海の水質浄化に関する研究」(2007年4月~2009年3月)の一環として実施した.

引用文献

- 阿部真比古・橋本奈央子・倉島 彰・前川行幸 (2004) 三重県松名瀬沿岸におけるアマモ群落の構造と季節変化. 日本水産学会誌, 70: 523-529.
- Araki, S. and Kunii, H. (2006) Allozymic implications of the propagation of eelgrass *Zostera japonica* within a river system. *Limnology*, 7: 15-21.
- Cabaco, S., Alexandre, A., and Santos, R. (2005) Population-level effects of clam harvesting on the seagrass *Zostera noltii*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 298: 123-129.
- 林田文郎 (2000) 伊豆半島・岩地湾におけるアマモ群落の垂直分布と季節変動について. 日本水産学会誌, 66: 212-220.
- 平塚純一・山室真澄・石飛 裕 (2006) 里湖モク採り物語—50年前の水面下の世界—. 生物研究社, 東京, 141pp.
- Hufford, K. M. and Mazer, S. J. (2003) Plant ecotypes: genetic differentiation in the age of ecological restoration. *Trends in Ecology & Evolution*, 18: 147-155.
- 上出貴士 (2007) 和歌山県田辺湾内及び内ノ浦の潮間帯に生育するコアマモの季節的消長. 日本水産学会誌, 72: 478-486.
- 環境省 (2004) 藻場の復元に関する配慮事項. 100pp.
- 越川義功・中村華子・田中昌宏・小河久郎 (2007) コアマモ場再生を目指した草体増殖および種子発芽特性の検討. 海岸工学論文集, 54: 1076-1080.
- 國井秀伸 (2001) 宍道湖・中海における水生絶滅危惧植物の分布. *LAGUNA (汽水域研究)*, 8: 95-100.
- 道家章生・井谷匡志・葭矢 護 (2000) 舞鶴湾におけ

- るアマモ群落の特徴－I－密度，現存量，草丈組成の季節変化－. 京都府立海洋センター研究報告, 22: 22–28.
- 宮本 康・國井秀伸 (2006) 汽水湖中海における塩分変動に応じた水質と沿岸藻場の変化. 応用生態工学, 9: 179–189.
- 宮本 康 (2007) 湖畔で湧き上がる住民活動～自然と地域の再生を目指して～. 地域づくり情報誌因伯人, 62: 2–3.
- 宮本 康・初田亜希子 (2007) 今日の中海における沿岸藻場の水平的・垂直的な分布構造. LAGUNA (汽水域研究), 14: 9–16.
- Neckles, H. A., Short, F. T., Barker, S., and Kopp, B. S. (2005) Disturbance of eelgrass *Zostera marina* by commercial mussel *Mytilus edulis* harvesting in Maine: dragging impacts and habitat recovery. Mar. Ecol. Prog. Ser., 285: 57–73.
- 根来健一郎 (1962) 水草，大型藻類. 中海干拓・淡水化事業に伴う魚族生態調査 (宮地伝三郎編), pp.82–84.
- 大森雄治 (2000) 日本の海草 一分布と生態一. 海洋と生物, 131: 524–532.
- Olesen, B. (1999) Reproduction in Danish eelgrass (*Zostera marina* L.) stands: size-dependence and biomass partitioning. Aquat. Bot., 65: 209–219.
- Seddon, S. (2004) Going with the flow: Facilitating seagrass rehabilitation. Biol. Manag. Rest., 5: 167–176.
- 島根県水産試験場 (1935) 7. 除藻機使用ニヨル「あまも」刈取並ニ同水面利用試験, 島根県水産試験場昭和8年度事業報告, 31–35.
- 島根県 (2006) 宍道湖・中海水産資源維持再生構想. 61pp.
- Sokal, R. R. and Rohlf, F. J., (1995) Biometry 3rd ed. Freeman, New York, 887pp.
- 早栗 操 (1955) 中海の漁業概観. 鳥取県水産試験場研究報告, 35: 1–15.
- 水産庁・マリノフォーラム 21 (2007) アマモ類の自然再生ガイドライン. 豊かな海辺と暮らしの再生のために, <http://www.mf21.or.jp/amamo/guideline.pdf>
- 植田真司・築地由貴・近藤邦男 (2006) 青森県汽水湖尾駮沼におけるアマモ場の水平分布と資源量. 陸水学雑誌, 67: 113–121.
- 輪島 毅・有松 健・伊東永徳・豊原哲彦・吉澤忍・福島朋彦 (2004) 東京湾藻場分布調査 一アマモ場調査のまとめ一. 日本海洋生物研究所年報 2004: 31–37.
- 鷺谷いづみ・矢原徹一 (1996) 保全生態学入門. 文一総合出版, 270pp.
- van Keulen, M., Palinffg E. I., and Walker, C. J. (2003) Effect of planting unit size and sediment stabilization on seagrass transplants in Western Australia. Rest. Ecol., 11: 50–55.
- Wadden Sea Newsletter 2002-2 (2002) Transplantation of eelgrass (*Zostera marina*) to the Western Dutch Wadden sea, <http://www.zeegras.nl>
- Westphalen, G., Collings, G., Wear, R., Fernandes, M., Bryars, S. and Cheshire, A. (2005) A review of seagrass loss on the Adelaide metropolitan coastline. ACWS Technical Report No. 2 prepared for the Adelaide Coastal Waters Study Steering Committee. South Australian Research and Development Institute (Aquatic Sciences) Publication No. RD04/0073, Adelaide.
- Williams, S. L. and Orth, R. J., (1998) Genetic Diversity and Structure of Natural and Transplanted Eelgrass Populations in the Chesapeake and Chincoteague Bays. Estuaries, 21: 118–128.

短 報

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

野村律夫¹・瀬戸浩二²

Pictures of bottom surface in the central part of Lake Nakaumi (part 3): Recovery of damaged bacterial mat in a low oxygen condition

Ritsuo Nomura¹, Kouji Seto²

Abstract: Bacterial mat is commonly found on the floor of Lake Nakaumi from late spring to late autumn. Particularly bacterial mat develops in a low oxygen condition (dysoxic to anoxic environment) of bottom water and without the bottom water turbulence. In such a bottom water condition, a fish stripped off the bacterial mat and consequently a muddy lake floor appeared in the size of about 16 cm diameter. However, the bacteria are very productive in the low oxygen water. We observed the recovery of bacterial mat is completed by about 18 hours after that the muddy substrate cropped out.

Key words: suboxic, anoxic, bacterial mat, recovery time

はじめに

本報告は、低酸素環境のもとで形成された硫酸還元バクテリアのマットの一部が魚によって削剥された後、回復するまでを記録したものである。筆者らが長期観察用の水中カメラを設置している中海の湖心部では、貧酸素～無酸素環境で急激にバクテリアがマット状となり湖底面を被覆することがこれまでの観察で得られていた。このようなマットは、強い風が底層水を攪拌したときにマットが物理的に剥ぎ取られることによって消失する。風浪の影響は、湖底への酸素の供給を伴うことがあり、酸素が十分拡散した場合は、このようなバクテリアのマットの形成は阻害される。主に風速が 10~15 m/s を超える風が数時間続くことによって、このような現象が起こることをこれまでの報告で指摘した。

夏季には底層水が無酸素になることが多く、湖底はバクテリアのマットで覆われる。この時期、表層から底層までの水の構造は成層化し安定しているため、バクテリアマットで覆われた湖底の光景は、地域によっては一般的な姿でもある。このようななかで、偶然にマットの一部が剥ぎ取られ、その後回復するまでを水中カメラが捉えた。一般に、マットの剥ぎ取りは、水の攪乱によって起こるため、このとき酸素が供給されることもありマットは回復しないことが多く、湖底の酸素が消費されるまでは回復に数日かかることが多い。したがって、今回の無酸素環境が継続した場合の回復は初めての観察となる。

観察結果と考察

本報告では海水中の溶存酸素濃度に関する用語

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.

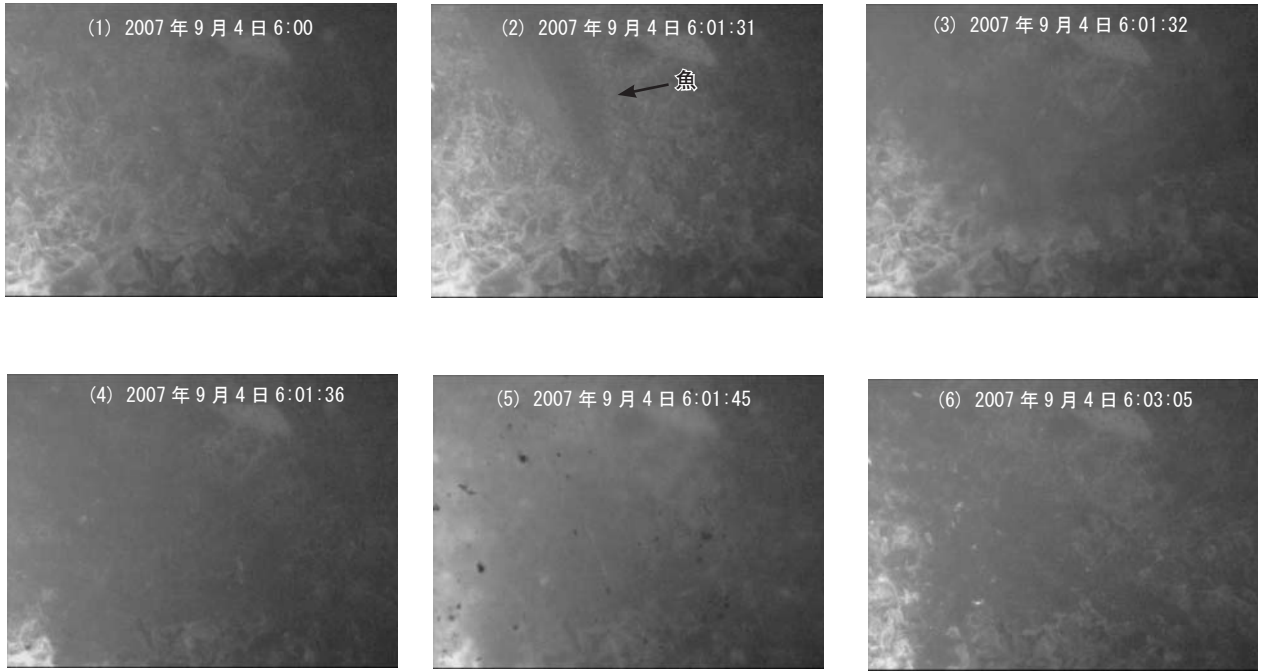


図1. バクテリアマットが魚によって剥離し、湖底泥が部分的にむき出し状態になった様子。

Fig. 1. Cropping out of muddy bottom sediment by the contact of fish.

は、Tyson and Pearson (1991) に従って表記することにした。すなわち、

- 酸化環境 (oxic) 8.0-2.0 ml/l
- 低酸素環境 (dysoxic) 2.0-0.2 ml/l
- 貧酸素環境 (suboxic) 0.2-0.0 ml/l
- 無酸素環境 (anoxic) 0.0 ml/l

今回報告するバクテリアのマットは8月から継続して湖底が低酸素状態から無酸素状態となって形成されたものである。9月4日6時に約20cm台の魚が北方向から表れ、一旦停止したのち東方向へ方向転換して移動した。このとき尾鰭がバクテリアのマットを強く殴打したためにマットと湖底泥が舞い上がり、マットの一部が剥げ黒色の湖底泥が露出した。図1はこの様子を示したものである。魚の尾鰭が湖底を打ち付けて(図1-(3))、3~4秒後には全面に湖底泥が舞い上がっている(図1-(4))。10秒後には湖底泥の小片までもが舞い上がり(図1-(5))、その後舞い上がった湖底泥は底層水の緩やかな移動によって流される。1分30秒後にはマットがほぼ円形に剥ぎ取られた様子が観察された(図1-(6))。

9月上旬の湖底は、国土交通省の中海湖心の自動水質観測資料によると、溶存酸素濃度は0 mg/lである時間が続いている。9月4日は図2に示すように0.4 mg/l程度までなることがあったが、貧酸素

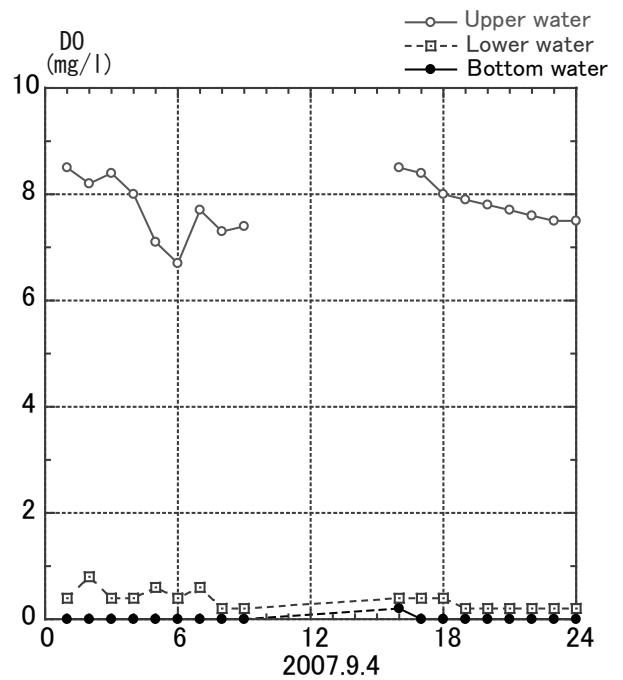


図2. 無酸素～貧酸素状態になっている湖底(2007年9月4日)(出雲河川事務所による)。

Fig. 2. Bottom water showing sub-oxic condition. Data from Izumo River Office.

～無酸素状態にあった。しかも湖底を攪拌する風も吹かなかったため、バクテリアのマットが形成されやすい環境が整っていたといえる。

図3は、長期設置型水中カメラが通常の2時間間隔で記録する映像のスナップ写真を時系列で示した

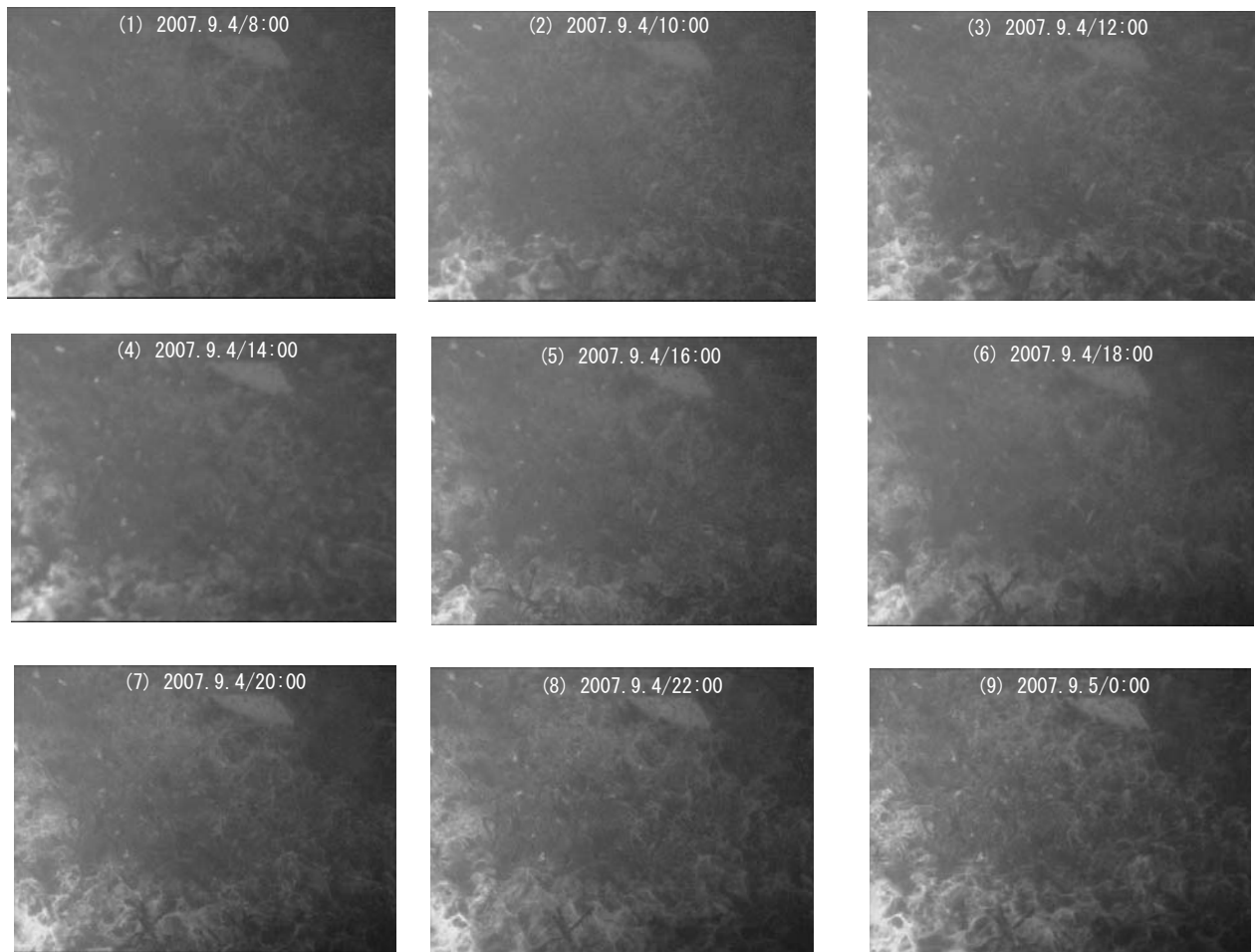


図3. バクテリアマットの剥離部分（中央）が回復していくまでの様子。2時間ごとに撮影されている。

Fig. 3. Recovery of partially destroyed bacterial mat in every two hours.

ものである。9月4日6時から6時間後の12時には剥離された部分にバクテリアのシートが一面に覆われることが観察され、バクテリアの成長が進んでいることが確認される（図3-（3））。10～12時間後にはマットの厚さが厚くなり、14時間すると周囲のマットと似た網目状の部分的に突き出た構造が観察されるようになる。18時間後の9月5日0時には、初めのマットのようになる（図3-（9））。したがって、マットは剥離されても貧酸素環境が維持されている限り、18時間後には当初の状態にまで回復することが観察された。

中海の湖底では5月下旬から11月下旬まで、低酸素～無酸素環境であるため底生生物はあまりみかけられない。森脇・大北（2003）によると、中海では塩分躍層より深い水塊の酸素消費速度が他の海域のそれと比較して高いという。すなわち、宿命的に貧酸素になりやすい湖底環境にある。一般に貧酸素水塊と称している環境では、マットで覆われていることが多く変化の少ない環境となっている。前報に

おいてマットで覆われる時期では、湖底泥の舞い上がりや風に対して冬季の酸素に富んだ環境より抵抗性の強いことを示した（野村ほか、2007）。今回のこのような記録は、貧酸素環境で、しかも湖底の攪拌が起らない限りバクテリアの成長速度が著しく高いことを検証している。

ここで明らかにした水中映像は、DVDで配付することができる。また、映像のスナップショットは、<http://www.ipc.shimane-u.ac.jp/earth/>でもみることができる。

謝 辞

水中カメラの設置および水質資料の使用にあたり、国土交通省出雲工事事務所には多大なご協力をいただいた。厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 森脇晋平・大北晋也 (2003) 地中海に出現する貧酸素水塊の海況学的特性と海洋構造. *Laguna* (汽水域研究), 10: 27-34.
- 野村律夫・瀬戸浩二 (2004) 有孔虫の産状からみた2003年春季の赤潮発生期の地中海の海況. *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.
- Tyson, R. V. and Pearson, T. H. (1991) Modern and ancient continental shelf anoxia: an overview. In: Tyson, R. V. and Pearson, T. H. (eds.), *Modern and ancient continental shelf anoxia*, Geological Society Special Publication, 58, pp.1-26.



汽水域研究センター活動報告

(2007年1月～12月)

1. 研究組織

専任教員

センター長 教授 國井秀伸(保全生態学)
 教授 荒西太士(遺伝生態学)
 (2007年10月赴任)
 副センター長 准教授 瀬戸浩二(同位体地球科学)
 准教授 堀之内正博(魚類生態学)
 准教授 倉田健悟(応用生態工学)

外国人研究員

平成19(2007)年度空席

日本学術振興会特別研究員

山田和芳(第四紀学)
 平成17(2005)年4月～
 平成20(2008)年3月
 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

高田裕行(環境地学)
 平成16(2004)年12月～
 平成20(2008)年3月
 荒木 悟(植物生態学)
 平成19(2007)年4月～
 平成21(2009)年3月
 大林夏湖(進化生態学)
 平成19(2007)年7月～
 平成21(2009)年3月
 沖本宜音(系統遺伝学)
 平成19(2007)年12月～
 平成20(2008)年5月

受託研究員

奥田益算(環境学)
 平成19(2007)年4月～
 平成20(2008)年3月

客員研究員

中山大介(地理情報学)
 平成19(2007)年4月～
 平成20(2008)年3月
 Faruque Ahmed(土壌汚染学)
 平成19(2007)年4月～
 平成19(2007)年9月

協力研究員

平成19(2007)年度
 協力研究員数40名

研究支援組織

事務補佐員 福原千晴
 技術補佐員 船来桂子
 技能補佐員 松本貞夫

2. 平成19年度活動報告

2-1. 研究活動

2-1-1. 研究資金(競争的資金・外部資金)

○政策的配分経費(重点プロジェクト経費)

「汽水域の自然・環境再生研究拠点形成プロジェクト」11,000千円(センターの専任教員4名と研究員1名を含む今年度22名のプロジェクト推進担当で分配)

○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) 8,900千円 平成19(2007)年度～平成22(2010)年度, 総額35,600千円

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

(研究分担者分)

基盤研究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)

○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) 10,462千円 平成19(2007)年度～平成20(2008)年度, 総額17,362千円

「宍道湖・中海に生息する水草類の分子系統解析」(委託者: 財団法人ホシザキグリーン財団, 受託者: 國井秀伸) 300千円

「鳥取大学連合大学院受託事業費(連合農学研究科経

費)」(委託者:鳥取大学,受託者:國井秀伸)研究経費 284 千円,教育経費 19 千円。

「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」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) 2,000 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 19(2007)年) 1,000 千円

「二枚貝の遺伝解析研究」(寄付者:山口瀧子,受入者:荒西太士)(平成 19(2007)年 11 月) 800 千円

○その他外部資金

「網走湖に記録された過去 100 年間の環境変化」(研究代表者:瀬戸浩二)藤原ナチュラルヒストリー振興財団研究助成。平成 18(2006)年 4 月~平成 19(2007)年 3 月) 640 千円

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

「湖沼堆積物からみた島根県隠岐島における過去 500 年間の自然環境と人間活動変遷史」(研究代表者:山田和芳)藤原ナチュラルヒストリー振興財団研究助成。平成 18(2006)年 4 月~平成 19(2007)年 3 月) 630 千円

2-1-2. 研究成果の公表

國井秀伸

(論文等)

荒木 悟・國井秀伸(2007) 湿生植物オオクグの結実率とその群落規模との関係。陸水学雑誌, 68: 261-268.

Hirota M., Y. Senga, Y. Seike, S. Nohara and H. Kuni (2007) Fluxes of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide in two contrasting fringing zones of a coastal lagoon, Lake Nakaumi, Japan. Chemosphere, 68: 597-603.

(報告書・その他)

國井秀伸(2007) ため池の水草。佐々木興・辻井要介・森茂晃・越川敏樹編「里山のススメ」, p.6-11. 宍道湖自然館ゴビウス・(財)ホシザキグリーン財団。大橋川を勉強する会(相崎守弘・飯野公央・上園昌武・國井秀伸・倉田健悟・瀬戸浩二・竹下幹夫・妻波俊一郎・徳岡隆夫・堀之内正博)(2007 年 12 月)大橋川勉強会報告書, 69 pp.

都筑良明・中山大介・倉田健悟・若林健二・國井秀伸(宍道湖・中海環境データベース検討会事務局)(2008) 宍道湖・中海環境データベースに関する平成 18(2006)年度の進捗報告。LAGUNA(汽水域研究) 14: 83-90.

(国際シンポジウム・招待講演発表)

荒木 悟・國井秀伸(2007)「コアマモの繁殖様式の推定」。汽水域国際シンポジウム 2007。ポスター発表。松江市くにびきメッセ国際会議場(2007 年 1 月 27・28 日)

千賀有希子・廣田 充・清家 泰・野原精一・國井秀伸(2007)「中海沿岸域における N₂O の放出過程」。汽水域国際シンポジウム 2007。ポスター発表。松江市くにびきメッセ国際会議場(2007 年 1 月 27・28 日)

廣田 充・千賀有希子・平尾匡章・藤井建士・清家泰・國井秀伸(2007)「宍道湖沿岸域の自然再生現場における炭素動態のモニタリング」。汽水域国際シンポジウム 2007。ポスター発表。松江市くにびきメッセ国際会議場(2007 年 1 月 27・28 日)

山口啓子他 7 名(6 番目)(2007)「柱状試料分析と文献から復元した 20 世紀中海における貝類相の変遷」。汽水域国際シンポジウム 2007。ポスター発表。松江市くにびきメッセ国際会議場(2007 年 1 月 27・28 日)

香月興太他 9 名(5 番目)(2007)「汽水湖中海における 20 世紀の生態系変化」。汽水域国際シンポジウム 2007。ポスター発表。松江市くにびきメッセ国際会議場(2007 年 1 月 27・28 日)

殷熙洙・金倫碩・國井秀伸・都筑良明・益永茂樹(2007)「中海底質コアにおける残留性有機汚染物質の経年変化」。汽水域国際シンポジウム 2007。ポスター発表。松江市くにびきメッセ国際会議場(2007 年 1 月 27・28 日)

宍道湖・中海環境データベース検討会(2007)「宍道湖・中海環境データベースの構築に向けて」。汽水域国際シンポジウム 2007。ポスター発表。松江市

- くにびきメッセ国際会議場(2007年1月27・28日)
國井秀伸 (2007) 「宍道湖・中海をフィールドとした学習プログラム – 汽水域研究センターの取り組み – 」平成18年度特別教育研究経費(教育改革)島根のひとと自然に学ぶフィールド学習教育プログラムの構築 発表会. 島根大学学生会館. 2007年3月7日.
- 國井秀伸 (2007) 水辺の景観・活用・治水シンポジウム. パネリスト. 主催: 日本都市計画学会中国四国支部. くにびきメッセ1階小ホール. 2007年3月10日.
- 國井秀伸 (2007) 大橋川を考えるパネルディスカッション「治水, 自然環境とまちづくり」パネリスト. 主催: 大橋川を考える会. 島根県民会館大会議室. 2007年3月17日.
- 國井秀伸 (2007) 島根大学汽水域重点プロジェクトと中海再生への課題. 「いま, 中海(本庄水域)でなにがおこっているのか?」. 主催: 汽水域研究センター, 汽水域重点プロジェクト. まつえスティックビル502研修室. 2007年3月25日.
- 國井秀伸 (2007) 「汽水域の自然・環境再生研究拠点形成プロジェクトについて」. 循環・環境技術セミナー「循環型社会における水資源の再利用と汽水域の自然・環境再生研究」主催: (財)しまね産業振興財団, 島根大学汽水域研究センター, 島根大学汽水域重点プロジェクト. テクノアークしまね大会議室. 2007年8月7日.
- Kunii, H., Seto, K., Horinouchi, M. and Kurata, K. (2007) Activity report of ReCCLE and the future prospects of the nature restoration in Lakes Shinji and Nakaumi, newly registered Ramsar sites in Japan. ILTER Conference 2007, 20–27 August 2007, Beijing, China.
- 國井秀伸 (2007) 「中海・宍道湖の環境再生と長期モニタリング」農業土木学会応用水理研究部会講演会. 招待講演. 島根大学教養棟. 2007年8月29日.
- Kunii, H. (2007) How ReCCLE can contribute to the nature restoration in Lakes Shinji and Nakaumi, newly registered Ramsar sites in Japan? 13th International Symposium of River and Lake Environment (ISRL-LE2007), 17–19 October 2007, Jeju, Korea.
- 國井秀伸 (2007) 中海における自然再生に果たす汽水域重点プロジェクトの役割. 「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 – 」シンポジウム. 主催: 国立環境研究所地球環境研究センター. 国立環境研究所地球温暖化研究棟交流会議室. 2007年11月1–2日.
- 荒西太士**
 (報告書・その他)
荒西太士 (2007) 環境評価手法開発のためのアサリ機能遺伝子解析. 平成19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」中間評価用報告書, p. 9–11. 2007年11月.
- 瀬戸浩二**
 (論文等)
香月興太・瀬戸浩二・園田武・川尻敏文 (2007) 能取湖氷崩壊イベントに伴う氷生藻類の排出. 地球科学, 61: 427–428.
- 高田裕行・野村律夫・瀬戸浩二, 2007, 東赤道太平洋深海帯における漸新世の環境変遷. 化石, 81: 5–14.
- 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.
 (国際シンポジウム・招待講演発表)
- Seto, K., Miyagi, H., Takata, H. and Dettman, D. L. (2007), The distribution pattern of the red tide and the process of oxygen depletion in the coastal brackish Lake Nakaumi, Southwest Japan. AGU 2007 Fall Meeting, San Francisco, USA.
- Seto, K. (2007), The distribution pattern of the red tide and the process of oxygen depletion in the Lake Nakaumi, Southwest Japan. International Symposium, Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons, 26–28 January, Matsue, Japan.
- Katsuki, K., Seto, K., Sonoda, T., Kawajiri, T., (2007), Composite change of lagoon diatom assemblages along the water exchange based on tide level shift. International Symposium, Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons, 26–28 January, Matsue, Japan.
- Takata, H., Seto, K. and Kurata, K. (2007), Occurrence of living benthic foraminifera and the application to environmental monitoring in Ohashi River. International

- Symposium, Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons, 26–28 January, Matsue, Japan.
- Nohara, K., Seto, K., Tamura, R., Sonoda, T., Kawaziri, T., Takata, H. and Yamaguchi, K., (2007), Field experimental studies on the tolerance of *Corbicula japonica* to anoxic and high hydrogen sulfide conditions in Lake Abashiri, north Japan —The survival rate and the record in shell structure—. International Symposium, Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons, 26–28 January, Matsue, Japan.
- Yanagitani, H. and Seto, K., (2007), The monitoring of water quality in the river mouth area of Hii River in 2006. International Symposium, Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons, 26–28 January, Matsue, Japan.
- Tsuboi, S., Rajendran, N., Seto, K. and Itoh, K., (2007), Quantification of bacterial biomass in the surface sediment of the Lakes Shinji and Nakaumi. International Symposium, Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons, 26–28 January, Matsue, Japan.
- Nomura, R., Nariai, T., Horie, Y., Seto, K., (2007), Bottom water dynamics of Lake Nakaumi viewed with a long-term underwater video camera: Pictures after November, 2006. International Symposium, Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons, 26–28 January, Matsue, Japan.
- Tanabe, M., Nomura, R., Seto, K., (2007), A long-term variation of monthly sediment fluxes in the central part of Lake Nakaumi. International Symposium, Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons, 26–28 January, Matsue, Japan.
- Yohena, C., Seto, K., Takata, H. and Tanaka, S., (2007), The feature of Water Quality and Surface Sediments in Aso-kai Lagoon, Kyoto Prefecture, Japan. International Symposium, Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons, 26–28 January, Matsue, Japan.
- Noda, K., Seto, K., Kurata, K., Takata, H. and Yamaguchi, K., (2007), The feature of Surface Sediments in Lake Nakaumi and Lake Shinji, southwest Japan. International Symposium, Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons, 26–28 January, Matsue, Japan.
- Miyagi, H., Seto, K. and Katsuki, K., (2007), The change of bottom environment with the red tide bloom in Lake Nakaumi, southwest Japan. International Symposium, Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons, 26–28 January, Matsue, Japan.
- Faruque Ahmed, Seto, K., M. Hawa Bibi, Ishiga, H., (2007), Heavy metal contents in the sediments of Lakes Shinji and Nakaumi in southwest Japan. International Symposium, Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons, 26–28 January, Matsue, Japan.
- 堀之内正博**
(論文等)
- Horinouchi, M. (2007) Review of the effects of within-patch scale structural complexity on seagrass fishes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 350: 111–129.
- Shinnaka, T., Sano, M., Ikejima, K., Tongnunui, P., Horinouchi, M., Kurokura, H. (2007) Effects of mangrove deforestation on a fish assemblage at Pak Phanang Bay, southern Thailand. *Fisheries Science* 73: 862–870. (平成 19 年度日本水産学会論文賞受賞論文)
- Horinouchi, M. (2007) Distribution patterns of benthic juvenile gobies in and around seagrass habitats: effectiveness of seagrass shelter against predators. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 72: 657–664.
(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・布村昇・品川明) (2007 年 3 月) 島根県大橋川の汽水環境の保全に関する研究. 2005 年度 (第 16 期) プロ・ナトゥーラ・ファン ド助成研究報告書, 29 pp.
- 大橋川を勉強する会 (相崎守弘・飯野公央・上園昌武・國井秀伸・倉田健悟・瀬戸浩二・竹下幹夫・妻波俊一郎・徳岡隆夫・堀之内正博) (2007 年 12 月) 大橋川勉強会報告書, 69 pp.
(国際シンポジウム・招待講演発表)
- Horinouchi, M. (2007) Effects of human-induced alteration in structural complexity created by seagrass on a fish assemblage structure in a seagrass bed. *International Symposium on Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons -Towards the Wise Use of Lakes Shinji and Nakaumi-*, 26–28 January, 2007, Matsue, Japan.
- Kurata, K., Horinouchi, M. and Dettman, D. L. (2007)

- Estimation of food sources for molluscs in Lakes Shinji and Nakaumi. International Symposium on Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons -Towards the Wise Use of Lakes Shinji and Nakaumi-, 26–28 January, Matsue, Japan.
- 倉田健悟**
(論文等)
- 大谷壮介・上月康則・倉田健悟・仲井薫史・村上仁士(2007)河口干潟潮間帯の物理的な底質環境と底生生物群集との関係. 土木学会論文集 G, 63 (4) : 195–205.
- 倉田健悟(2007)鳥根県大橋川における水位上昇の事例について. LAGUNA (汽水域研究), 14: 33–46. (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・布村昇・品川明)(2007年3月)鳥根県大橋川の汽水環境の保全に関する研究. 2005年度(第16期)プロ・ナトゥーラ・ファンダ助成研究報告書, 29 pp.
- 大橋川を勉強する会(相崎守弘・飯野公央・上園昌武・國井秀伸・倉田健悟・瀬戸浩二・竹下幹夫・妻波俊一郎・徳岡隆夫・堀之内正博)(2007年12月)大橋川勉強会報告書, 69 pp. (国際シンポジウム・招待講演)
- Kurata, K., Horinouchi, M. and Dettman, D. L. (2007) Estimation of food sources for molluscs in Lakes Shinji and Nakaumi. International Symposium on Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons -Towards the Wise Use of Lakes Shinji and Nakaumi-, 26–28 January, Matsue, Japan
- 高田裕行・瀬戸浩二・倉田健悟:「大橋川における底質産底生有孔虫群の産状と環境モニタリングへの適用について」汽水域国際シンポジウム 2007 汽水域の再生とその持続可能性. 松江市くにびきメッセ(2007年1月27日)
- 野田浩生・瀬戸浩二・倉田健悟・高田裕行・山口啓子:「中海・宍道湖における表層堆積物の特徴」汽水域国際シンポジウム 2007 汽水域の再生とその持続可能性. 松江市くにびきメッセ(2007年1月27日)
- 山田和芳**
(論文等)
- 高田裕行・山田和芳・香月興太・山口啓子・宮本康・中山大介・Hugo Coops(2007):宍道湖で採取された柱状試料 S 1 より産出する底生有孔虫化石群. LAGUNA (汽水域研究), 14: 1-7.
- Yonenobu, H., Inagaki, T., Yamada, K., Tsuchikawa, S. and Takayasu, K. (2007) NIR spectroscopic measurement of brackish lake sediments and its potential to reconstruct environmental changes in the Holocene. Journal of Near Infrared Spectroscopy, in press. (報告書・その他)
- 山田和芳・高安克己(2007)地質コア解析に基づいた出雲平野の形成史. 鳥根県古代文化センター調査研究報告書(鳥根県古代文化センター), 35: 110–127.
- Yamada, K., Shinozuka, Y. and Yasuda Y. (2007) : Stratigraphy of lacustrine core sediment in Ichinomegata maar, Akita, North Japan. Monsoon, 8, 10–14.
- 山田和芳・高安克己(2007)鳥取県青谷上寺地遺跡内で発見された第7層中の砂層の起源と古環境. 鳥取県教育委員会編青谷上寺地遺跡発掘調査報告書, 9, 印刷中.
- Yamada, K. and Shinozuka, Y. (2007) Water utilization and Environmental pollution at Angkor Thom inferred from Beng Thom reservoir deposits. Research report for Angkor ruins, 36–41.
- 山田和芳(2007)中国エルハイ湖堆積物による過去10万年間のモンスーン変動の高精度復元とグローバルな気候変動のトリガーの解明. アサヒビール学術振興財団2005年度研究紀要, 20, CD-ROM.
- 山田和芳・瀬戸浩二・坂井三郎・石田 桂・Charlchai Tanavud(2007)タイ南部ソクラー湖における汽水域の形成環境と近年の地球温暖化との関係の解明. 福武学術文化振興財団研究助成報告書, 21, CD-ROM. (国際シンポジウム・招待講演発表)
- Yamada, K., Seto, K., Sakai, S., Ishida, K. and Takayasu, K. (2007) Limnological study on the formation of coastal lagoon environments of Lake Songkla, southern Thailand -A survey report of Lake Songkla in summer 2005-. International Symposium on Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons-Towards the Wise Use of Lakes Shinji and Nakaumi -, Matsue, Japan.

- Yamada, K. and Takayasu, K. (2007) Changes in the occurrence of oxygen-poor bottom-water in the past 6,000 years in brackish lacustrine sediments of Lake Shinji, southwestern Japan and a possible linkage to East Asian monsoon activities. International Symposium on Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons- Towards the Wise Use of Lakes Shinji and Nakaumi -, Matsue, Japan.
- Yamada, K. and Shinozuka, Y. (2007) Stratigraphy of lacustrine core sediment in Ichinomegata maar, Akita, North Japan. IHOPE ASIA WORKSHOP "The Future of Earth and Humankind - A View from Asia" -Reviving Regional Communities through the Wise Use of Environmental Resources and Working Towards the Establishment of a Sustainable Future, Akita, Japan.
- Yamada, K., Gotanda, K., Shinozuka, Y., Okuno, M., Yonenobu, H., Kitagawa, J., Makohonienko, M., Schwab, M., Saarinen, T., Haraguchi, T., Hayashida, A. and Yasuda, Y. (2007) : Lake Megata (2006) Project: an introduction. Annual Conference of the Association for Environmental Archaeology (AEA), Poznan, Poland.
- Yamada, K., Gotanda, Yonenobu, H., Okuno, M., Torii, M., Goslar, T. and Yasuda, Y. (2007) Stratigraphic analysis of the core samples from Lake Ichi-no-Megata, north-eastern Japan. Annual Conference of the Association for Environmental Archaeology (AEA), Poznan, Poland.
- Yamada, K., Gotanda, K., Shinozuka, Y., Okuno, M., Yonenobu, H., Kitagawa, J., Makohonienko, M., Schwab, M., Saarinen, T. and Yasuda, Y. (2007) High-resolution past environmental reconstruction in East Asia using annually laminated lake sediments of Lake Megata in northeastern Japan, AGU fall meeting (2007), San Francisco, USA
- 程木義邦**
(論文等)
- 長津 恵・大林夏湖・程木義邦・小野有五・村野紀雄 (2007) 絶滅危惧種エゾホトケドジョウ *Lefua nikkinis* (Jordan and Fowler) の分布と生息環境. 保全生態学研究, 12: 60-65.
- 岩館智寛・程木義邦・大林夏湖・村上哲生・小野有五 (2007) 天塩川水系岩尾内ダム直下流域におけるヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata* NAVAS) の優占. 日本陸水学雑誌, 68: 41-49. (報告書・その他)
- 程木義邦・大林夏湖・湊 知広・石賀裕明 (2007) アユおよび水質, 堆積物組成からみた高津川の河川環境. 鳥根大学地球資源環境学研究報告 26: 1-9.
- 村上哲生・加藤由紀子・程木義邦 (2007) 球磨川のチスジノリ (紅藻類; *Thorea okadae* Yamada). 不知火海・球磨川流域圏学会, 1: 49-53. (国際シンポジウム・招待講演発表)
- 大林夏湖・程木義邦, ダム建設がサクラマスに及ぼす影響. 天塩川の自然を考える会報告会, 北海道 (札幌市・名寄市), 2007年4月.
- 村上哲生・程木義邦, ダム建設が河川環境および水生生物に与える影響. 天塩川の自然を考える会報告会, 北海道 (札幌市・名寄市), 2007年4月.
- 高田裕行**
(論文等)
- Takata, H. (2007), Data report: Eocene benthic foraminifers from the Western North Atlantic, Site 1276, ODP Leg 210. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 210: 1-8.
- 高田裕行・野村律夫・瀬戸浩二 (2007), 東赤道太平洋深海帯における漸新世の環境変遷. 化石, 81, 5-14.
- 高田裕行・山田和芳・香月興太・山口啓子・宮本 康・中山大介・Hugo Coops, 宍道湖で採取された柱状試料S1より産出する底生有孔虫化石群. LAGUNA (汽水域研究), 14: 1-7. (国際シンポジウム・招待講演発表)
- Takata, H., Nomura, R., Benthic foraminiferal response to the glacial events during the mid-Oligocene interval in the eastern equatorial Pacific (ODP Leg 199). 11th Regional Committee on Pacific Neogene Stratigraphy, Tsukuba Univ., Japan, 2007年10月.
- Takata, H., Nomura, R., Faunal change of benthic foraminifera to the glacial events during the mid-Oligocene interval in the eastern equatorial Pacific Sites (ODP Leg 199). Fall Meeting, American Geophysical Union, San Francisco, USA, 2007年12月.
- 荒木 悟**
(論文等)
- 荒木 悟・國井秀伸 (2007) 湿生植物オオクゲの結

実率とその群落規模との関係. 陸水学雑誌, 68: 261-268.

(国際シンポジウム・招待講演発表)

Araki, S. and Kunii, H. (2007) Reproductive traits of *Zostera japonica* in the Ohashi River: suggestion by the allele distribution. International Symposium, Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons. -Towards the Wise Use of Lakes Shinji and Nakaumi- 26-28 January (2007), Matsue, Japan.

中山大介

(論文等)

藤山 浩・岡 篤雄・森山昌幸・中山大介 (2007) 鳥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)

長津 恵・大林夏湖・程木義邦・小野有五・村野紀雄 (2007) 絶滅危惧種エゾホトケドジョウ *Lefua nikkinis* (Jordan and Fowler) の分布と生息環境. 保全生態学研究, 12: 60-65.

岩館智寛・程木義邦・大林夏湖・村上哲生・小野有五 (2007) 天塩川水系岩尾内ダム直下流域におけるヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata* NAVAS) の優占. 日本陸水学雑誌, 68: 41-49.

(報告書・その他)

程木義邦・大林夏湖・湊 知広・石賀裕明 (2007) アユおよび水質, 堆積物組成からみた高津川の河川環境. 鳥根大学地球資源環境学研究報告, 26: 1-9.

(国際シンポジウム・招待講演発表)

大林夏湖・程木義邦, ダム建設がサクラマスに及ぼす影響. 天塩川の自然を考える会報告会. 北海道 (札幌市・名寄市). 2007年4月.

○Laguna (汽水域研究) の発行

第14号を, 平成19(2007)年12月に発行した(102ページ).

○研究発表会

平成19(2007)年1月26-28日に, くにびきメッセで「汽水域の再生とその持続可能性-宍道湖・中海の賢明な利用にむけて-」と題して主催した国際シンポジウムにおいて, 口頭ならびにポスターでの

発表を行った.

○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き, 汽水域に関する最新の話題について参加者が自由に意見を述べ合うことを目的とした不定期の会であり, 平成19(2007)年1月から12月の間に第76回から第82回まで計7回を開催した.

2-1-3. 主な学内委員会等記録

1月12日 国際シンポジウム第4回準備委員会

1月15日 教員会議

1月23日 国際シンポジウム第5回準備委員会

1月29日 共同利用施設等連絡協議会

2月6日 管理委員会

2月13日 教員会議

2月21日 重点プロジェクト打合せ

2月22日 共同利用施設等連絡協議会

2月27日 重点プロジェクト発表会

2月28日 重点プロジェクトリーダー会議

3月2日 教員会議・重点プロジェクト全体会

3月5日 研究推進協議会

3月27日 共同利用施設等連絡協議会

4月10日 教員会議

4月27日 運営委員会

5月1日 管理委員会

5月7日 教員会議

5月8日 大学評価・学位授与機構意見交換会

5月21日 共同利用施設等連絡協議会

5月22日 重点プロジェクトリーダー会議

6月4日 教員会議

6月25日 共同利用施設等連絡協議会・重点プロジェクトリーダー会議

6月26日 重点プロジェクトリーダー会議

7月2日 教員会議

7月23日 拡大管理委員会

7月24日 重点プロジェクトリーダー会議

7月30日 重点プロジェクト会議・共同利用施設等連絡協議会

8月9日 拡大管理委員会

8月27日 重点プロジェクト4P会議

9月3日 重点プロジェクトリーダー会議

9月18日 重点プロジェクト4P会議

9月26日 共同利用施設等連絡協議会
 10月5日 重点プロジェクトリーダー会議
 10月11日 教員会議
 10月15日 教育研究評議会
 10月29日 共同利用施設等連絡協議会・重点プロジェクト発表会
 11月5日 教員会議・重点プロジェクトリーダー会議
 11月12日 教育研究評議会
 11月26日 重点プロジェクト4P会議
 11月27日 共同利用施設等連絡協議会・教員会議
 12月3日 教員会議・重点プロジェクトリーダー会議
 12月10日 重点プロジェクト研究意見交換会
 12月25日 共同利用施設等連絡協議会

2-2. 教育活動

2-2-1. 学部教育

○総合科目

「汽水域の科学」前期2単位(受講生:112名),後期2単位(受講生21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:5名)

「汽水域船上調査法実習」(受講生:10名)

本年度より,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つの野外実習を新規開講した。

○学内講師としての教育活動

瀬戸浩二 共通教養科目「山陰の自然史」

瀬戸浩二 総合理工学部専門教育科目「環境地質学実験」(一部担当)

瀬戸浩二 総合理工学部専門教育科目「地層学実習」(一部担当)

瀬戸浩二 総合理工学部専門教育科目「古生物学実習」(一部担当)

瀬戸浩二 総合理工学部専門教育科目「地球科学基礎演習」(一部担当)

瀬戸浩二 総合理工学部専門教育科目「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資源環境学専攻科目「地球環境変動論」

瀬戸浩二 総合理工学研究科地球資源環境学専攻科目「環境地質学セミナー」(共同担当)

倉田健悟 総合理工学研究科 専門基礎教育科目「環境工学」2007年度前期

倉田健悟 生物資源科学研究科 専門基礎教育科目「海洋生態学特論」2007年度後期

倉田健悟 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)2007年度後期

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)2007年度後期

○他大学での講師の併任など

荒西太士 宮崎大学農学部非常勤講師「水産遺伝学」平成19(2007)年12月

倉田健悟 山口県立大学非常勤講師「生活環境特別講義」平成19(2007)年8月

山田和芳 鳥取環境大学非常勤講師 平成16(2004)年度～現在

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19(2007)年9月

荒木 悟 松江工業高等専門学校非常勤講師「環境生態学」平成19(2007)年

2-2-2. 大学院・留学生など

○大学院生の研究テーマと指導

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3年)(副指導教員:國井)

飯塚祐輔「イタボガキ科マガキ属二枚貝類の系統地理学的研究」(宮崎大学大学院農学研究科修士課程1年)(主指導教員:林 雅弘)

平野琢也「好塩性放線菌の遺伝系統学的研究」(宮崎大学大学院農学研究科修士課程1年)(主指導教員:林 雅弘)

工藤康介「ウナギ回遊集団の遺伝生態学的研究」(宮崎大学大学院農学研究科修士課程1年)(主指導教員:岩槻幸雄)

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」(鳥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)

2-3. 国際交流

○海外調査・共同研究など

グアテマラ・ベリーズ：マヤ文明崩壊と気候変動の
関係の解明のためのボーリング調査. 5月19日～
6月8日(山田)

ドイツ：ICDP(国際陸上掘削計画)トレーニング
コース2007参加. 11月4日～11月9日(山田)

タイ国：海草藻場の魚類生態調査. 11月19日～30
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：(アリゾナ大学, 12月15日～17
日)(瀬戸)

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)

「宍道湖・中海の生態系モニタリング」と題し, 7月
6日から27日の毎週金曜日に, 國井, 堀之内, 倉
田, 瀬戸が各1回計4回の講座を開講した. 申込
者は31名であった.

○招待講演・市民講座その他

1月2日:「中海物語2007」. 中海テレビ(國井)

2月7日: 中海生態系モデル検討会. 鳥取県衛生環
境研究所. 米子市ビッグシップ(國井)

3月7日:平成18年度特別教育研究経費(教育改革)
鳥根の人と自然に学ぶフィールド学習教
育プログラムの構築発表会. 「宍道湖・中海をフィー
ルドとした学習プログラム - 汽水域研究セン
ターの取り組み - 」鳥根大学学生会館(國井)

3月10日: 水辺の景観・活用・治水シンポジウム.
主催: 日本都市計画学会中国四国支部. くにびき
メッセ(國井)

3月17日: 大橋川を考えるパネルディスカッション
～治水, 自然環境とまちづくり～. 主催: 大橋川
を考える会. 鳥根県民会館(倉田, 國井)

3月25日: 汽水域重点プロジェクト発表会「いま,
中海(本庄水域)になにがおこっているのか?」松
江スティックビル(國井, 瀬戸, 倉田)

3月29日: 中海未来マップ委員会. 中海テレビ(國
井)

5月10日: アマモ再生イベント. 境港市外江. 主
催: 未来守りネットワーク(國井)

5月25日: 自然再生センター会議. 米子市ふれあい

の里(國井)

5月27日: 水郷・水都全国会議分科会『汽水域の河
川の自然環境』(大橋川を勉強する会として現地実
行委員会に参加)(倉田)

平成18年10月17日～平成19年6月18日: 大橋川
を考える会第1回～第9回(大橋川を考える会主
催)(倉田)

6月29日: 市民講座「湖沼の生い立ちから見た過去
一万年間の地球環境の変化」, 三原市リージョン
プラザ(瀬戸)

6月30日: 中海自然再生協議会発足. 鳥取県西部事
務所(國井)

7月2日: 講演会 - 中海の環境修復を考える - 「森山
堤防60m開削で効果は?」, 米子市ふれあいの里
(瀬戸)

7月5日: アマモ場に関する検討会. 鳥取県衛生環
境研究所. 境港市鳥取県水産試験場(國井)

7月6-27日: 鳥根大学公開講座「宍道湖・中海の生
態系モニタリング」主催: 鳥根大学, 共催: 自然
再生センター. 鳥根大学多目的ホール. (國井, 堀
之内, 倉田, 瀬戸)

7月23日: 天神川の水草観察会. 主催: 白濁サロン
(國井)

7月24日: 天神祭白濁サロン「斐伊川治水と自然再
生を語り合いましょう」. 主催: NPO 法人自然再
生センター・大橋川を考える会(倉田)

8月7日: 循環・環境技術セミナー「循環型社会にお
ける水資源の再利用と汽水域の自然・環境再生研
究」主催: 財しまね産業振興財団・鳥根大学汽水
域研究センター・鳥根大学汽水域重点プロジェク
ト. テクノアークしまね大会議室(國井, 瀬戸)

8月17日: 日本地学教育学会巡検「地学的視点から
捉えた中海・宍道湖の環境」(瀬戸)

8月25日: 第2回中海自然再生協議会. 鳥取県西部
総合事務所(國井)

8月29日: 農業土木学会応用水理研究部会講演会
「中海・宍道湖の環境再生と長期モニタリング」.
鳥根大学(國井)

9月16日: 鳥取・鳥根両県住民による大橋川意見交
換会. 主催: 美しい中海を守る住民会議・大橋川
を考える会(倉田)

9月25・26日: JICA 研修生(インドチリカ開発公社
Panda氏)受入(國井, 瀬戸)

9月29日: 出雲子供科学学園講師(國井・程木)

- 10月7日：松江市環境フェスティバル（センター教員）
- 10月7日：MRT 宮崎放送「カキのルーツを探る」. サンデーラジオ大学（荒西）
- 10月23日：大橋川勉強会第13回「長野県浅川の基本高水をめぐる問題について」主催：大橋川を勉強する会（倉田）
- 10月26日：八東中学校総合的な学習講師（國井，瀬戸，倉田，高田）
- 10月29日：汽水域重点プロジェクト中間報告会（國井）
- 11月1-2日：JaLTER-Japan Flux シンポジウム「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」. 主催：国立環境研究所地球環境研究センター，共催：JaLTER・Japan Flux.（独）国立環境研究所（國井，瀬戸）
- 11月17日：本庄水域見学討論会（パート2）「現在の本庄水域の水環境と森山堤・西部承水路堤開削予測」. 北町会館（本庄港内）（瀬戸）
- 11月22日：松江第四中学校総合的な学習講師（國井，倉田）
- 11月22日：大橋川勉強会第14回「川と街をつなぐ景観まちづくり」. 主催：大橋川を勉強する会（倉田）
- 12月4日：自然生態系の再生による水質浄化研究会「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 - 2006年と2007年の観測結果から -」. 米子市ビッグシップ（瀬戸（発表），國井，堀之内，倉田，高田，奥田）
- 12月15日：第3回中海自然再生協議会. 鳥取県西部総合事務所（國井）
- 12月21日：本庄水域見学会. 主催：自然再生センター，共催：汽水域研究センター（國井，瀬戸）
- 12月21日：キャリア教育講演会 in 尾道南校「南極観測から学んだこと」. 広島県立尾道南高校（瀬戸）

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
- 応用生態工学会パートナーシップ委員会委員長：平成14（2002）年～平成19（2007）年3月
- 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：平成17（2005）年4月～平成19（2007）年3月
- Limnology 編集委員長：平成19（2007）年4月～現在

荒西太士

- 日本水産学会水産学教育推進委員会委員：平成18（2006）年4月～現在

瀬戸浩二

- 地学団体研究会全国運営委員：平成16（2004）年～現在
- JaLTER 情報管理委員：平成18（2006）年11月～現在

堀之内正博

- Marine Ecology Progress Series 誌 Review Staff（レフェリースタッフ）：2002年1月～2007年5月まで
- 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19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

- 東南アジア諸国学術交流事業における拠点大学方式学術交流に係る研究協力者：平成10（1998）年～平成19（2007）年3月
- （財）リバーフロント整備センター河川環境目標検討委員会委員：平成14（2002）年11月～平成19（2007）年3月
- 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

島根県農林水産部水産課試験研究課題専門分科会

委員：平成 19 (2007) 年 5 月～平成 20 (2008) 年 3 月

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

大橋川を考える会代表：平成 18 (2006) 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 15 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。

前号の発刊遅れを取り戻すべく編集作業に当たりましたが、取り戻せたのは4ヶ月余りでした。残り8ヶ月の遅れを取り戻すべく、次号の原稿募集を開始しました。どうぞ奮ってご投稿下さい。

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)

北村四郎・村田源 (1971) 原色日本植物図鑑・木本編 I. 保育社, 大阪, 453 pp.

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

(章)

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

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

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

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

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

プリントアウトした原稿には、図表の挿入位置を赤色で印すこと。

過大な図表およびカラー図版については、その印刷実費を著者が負担する。

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

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

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

10. その他の書式については過去の掲載論文

を参照し、編集委員会の指示に従うこと。

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

提出された原稿は原則として返却しないので、返却希望者はその旨申し出ること。

原稿提出時に添付してください

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