原 著 [Original article]

森山堤防開削が中海本庄水域の水質及び水生動物相へ与えた影響

桑原正樹¹⁾・桑原弘道¹⁾・桑原 崇¹⁾・江角敏明²⁾・
田林 雄^{3,4)}・神谷 宏^{*,2)}・菅原庄吾⁵⁾・石飛 裕¹⁾

Impact of the opening of Moriyama Dike on water quality
and aquatic fauna in Honjo Area of Lake Nakaumi, Japan

Masaki KUWABARA¹⁾, Hiromichi KUWABARA¹⁾, Takashi KUWABARA¹⁾, Toshiaki ESUMI²⁾,
Yu TABAYASHI^{3,4)}, Hiroshi KAMIYA^{*,2)}, Shogo SUGAHARA⁵⁾ and Yu ISHITOBI¹⁾

Abstract

In May 2009, Moriyama Dike was opened in Honjo area, which lies near Lake Nakaumi along the coast of San-in District, Japan, and is isolated by two dikes for land reclamation. This study was conducted to examine the impact of the opening of the dike on water quality as well as fish and crustacean life. We carried out a statistical analysis using monthly water-quality observations and a small catch net survey through 2004 to 2014. The analysis results showed that seawater likely flowed into Honjo, and salinity stratification developed. Furthermore, the oxygen deficient layer became thicker and progressed with prolonged duration. From the catch net survey, we found that the number of species of marine fish greatly increased; however, no significant increase in the catch per net was observed. In terms of fish and crustacean types, the number of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) and Taiwan blue crab (*Portunus pelagicus*) significantly increased. This was considered to be due to the easy access provided by the opening to the Sea of Japan. However, the catch of rockfish (*Sebastes schlegeli*) and spiny goby (*Acanthogobius flavimanus*), decreased after the opening. Because these species prefer benthic life, it was considered to have been affected by oxygen depletion in the lower layer of the Honjo area.

Key words: changes of fish and crustacean fauna, impact of opening of Moriyama Dike, Honjo Area,
Lake Nakaumi

¹⁾ 特定非営利活動法人自然と人間環境研究機構 〒690-0815 島根県松江市西持田町200 Environmental Research Organization for Nature and Human Being, 200Nishimochida, Matsue, Shimane 690-0815, Japan

²⁾ 島根県保健環境科学研究所 〒690-0122 島根県松江市西浜佐陀町582-1 Shimane Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science, Nishihamasadocho, Matsue, Shimane 690-0122, Japan

³⁾ 関東学院大学経営学部 〒236-8501 神奈川県横浜市金沢区六浦東1-50-1 College of Business Administration, Kanto Gakuin University, 1-50-1 Mutsurahigashi, Kanazawaku, Yokohamashi, Kanagawa 236-8501, Japan

⁴⁾ 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質情報研究部門 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1中央第7 Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan (GSJ), AIST, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan

⁵⁾ 島根大学大学院総合理工学研究科 〒690-8504 島根県松江市西川津町1060 Graduate School of Science and Engineering, Shimane University, Matsue, Shimane 690-8504, Japan

* 連絡先：神谷 宏 Corresponding author: Hiroshi KAMIYA, Email: kamikami5511@gmail.com

摘 要

山陰地方の沿岸部に位置する汽水湖の中海において、干拓予定地だった本庄水域を取り囲む2つの堤防のうち、森山堤防の一部開削が2009年5月に行われた。この開削が本庄水域の水質と魚介類相に与えた影響を、2004年から2014年にかけての毎月1回の定期水質調査と小型定置網捕獲物調査結果を用いて統計解析を行った。水質に関しては、開削により海水が流入しやすくなり、塩分成層が発達した。同時に底層の貧酸素化が強まり、かつその持続期間の長期化が進んだ。定置網捕獲物に関しては、開削後に海産魚の種数が大きく増加したが、1網あたりの全捕獲量の有意な増加はなかった。魚介類別に見ると、マアジ及びタイワンガザミの有意な増加が確認された。これは森山堤防の開削によって日本海から本庄水域に進入しやすくなったためと考えられた。クロソイ及びマハゼの捕獲量は減少した。これらは底生生活を好むため、本庄水域の底層の貧酸素化の影響を受けたものと考えられた。

キーワード：魚介類相の変化、森山堤防開削の影響、本庄水域、中海

(2017年7月20日受付：2017年10月20日受理)

はじめに

日本列島の本州の山陰地方沿岸部に位置する中海は、上流側の宍道湖と共に面積166 km²の国内最大の汽水域を形成している。この中海の北西部に本庄水域と呼ばれる閉鎖性水域がある (Fig. 1)。本庄水域は、農林水産省中海干拓・淡水化事業の最大の干拓予定地で、1978年に完成した大海崎堤防と1981年に完成した森山堤防により中海本体から隔てられた。農業政策の変更等により干拓・淡水化事業の見直しが行われ、2000年には干拓事業の、2002年には淡水化事業の中止が決定された。中止に伴う地元の要望により、2007年7月から大海崎堤防の西端につながる西部承水路堤防の撤去工事が始まり、また、2009年5月には森山堤防の一部が60 mに渡り開削され境水道から直接海水が流入するようになった (例えば、渋谷, 2012)。

中海には、上流側の宍道湖から海水の1/10程度の低塩分水が、集水域から淡水が流入し、また、境水道を經由して日本海から海水が流入する。これにより中海では、通常、水深4 m付近に塩分躍層が形成され、上層に海水の約1/3の塩分の水が、下層には海水に近い塩分の水が存在する。この成層した2つの水塊は風による鉛直混合を受けにくいため (Godo et al., 2001)、下層水は春から秋にかけて貧酸素化する (伊達ら, 1989)。

西部承水路堤防撤去工事以前の本庄水域は、幅約100 mの西部承水路を2 km と4 km 入った地点にある2カ所の承水路堤防開口部 (幅200 m) を通してのみ、中海本体と通じていた。西部承水路は水深が約2~3.5 m と浅く、本庄水域にはもっぱら中海上層の低塩分水が流入

し、中海下層の高塩分水はほとんど入らなかった。このため、本庄水域は塩分の比較的均一な水塊で構成されており、鉛直混合が起きやすく、中海本体と比較して下層が貧酸素化しにくかった。 (Ishitobi et al., 2000; 山室ら, 2013)。1993年度の本庄水域における塩分観測結果によると、年間平均は上層 (表面下0.5 m) が20‰、下層 (湖底直上0.5 m) が21‰であった (神谷ら, 1996)。中海は干拓工事が開始された1968年頃から急速に富栄養化が進んだが (山室ら, 2013)、本庄水域が堤防で隔てられていた1995-1997年3年間毎月の上層クロロフィル a の平均値は、中海湖心の21.6 µg/L に対し、本庄水域のほうが12.3 µg/L と低かった (Uye et al., 2000)。このように、中海の上層水が流入していた本庄水域は、水理構造や水質が中海本体と大きく異なっていた (Kamiya et al., 2011)。

一般的に汽水域は、栄養塩の供給が豊富なため生物生産量が大きく (Nixon, 1988)、また、海と川につながるため海産性、汽水性、淡水性の多種類の魚介類が出現する (例えば、千葉, 1980; 増子・浜田, 2001; 横尾ら, 2011; 道根ら, 2013)。上に示したように、隣接する水域でも、中海本体と干拓堤防に囲まれていた本庄水域の水理構造は異なっており、貝類では、中海本体では貧酸素化した下層水塊の影響で水深2~3 m 以浅にしか生息しないホトトギスガイ (*Musculista senhousia*) が、下層が貧酸素化しにくい本庄水域では水深5 m まで生息していた (Yamamuro et al., 2000)。ホトトギスガイの生息状況からも示されるように、干拓堤防に囲まれていた本庄水域は底層の状況が良好であったため (三瓶ら, 1999)、中海本体の西部水域と比較すると底生魚のヒラメ (*Paralichthys olivaceus*) やイシガレイ (*Kareius*

bicoloratus) の生産性が高かった (Ishitobi et al., 2000)。動物プランクトンの生息密度も年間を通して本庄水域が中海湖心部よりも高かった (Uye et al., 2000)。

農林水産省中海干拓・淡水化事業によって干拓堤防が建設される以前の中海と宍道湖における生物相が、宮地 (1962) により調査されている。当時、日本海から進入する魚類は境水道を経て直接本庄水域へ入っていたが、干拓堤防建設により中浦水道を通して中海本体に入り、更に狭い西部承水路を通して本庄水域に入るようになった。日本海からの距離が長くなり回遊が阻害されたため、干拓堤防建設以前の中海の魚類相と比較すると、建設以後の本庄水域の種数は減少していた (平塚・桑原, 2000)。

2009年5月の森山堤防開削によって本庄水域には再度境水道から直接海水が流入することとなった。この更なる人為的な変化が本庄水域の水理構造と魚介類相にもたらした影響を明らかにするため、2004年から2014年までの開削前後計11年のデータから、本庄水域における水質と小型定置網の捕獲物の変化について検討した。

材料と方法

水質データ

2009年5月に行われた森山堤防の開削前後の水質や魚介類の変化を把握するため、2004年から2014年までの月毎のデータを使用した。水質については、島根県保健環境科学研究所が行っている環境基準点 NH-2 (Fig. 1) の月1回の定期調査の項目のうち、水温 (WT) は上層 (水面下0.5 m) 下層 (湖底上0.5 m) の測定値を使用した。電気伝導度 (EC) 及び溶存酸素濃度 (DO) は水面から0.5 m 間隔での測定値と湖底上0.5 m 及び湖底直上の測定値を使用した。

魚介類の採取

魚介類については、2004年から2014年の11年間、毎月1回、本庄水域の小型定置網漁業に同行し、網に入った全捕獲物 (漁獲物) の種類と捕獲量 (0.1 kg 以上)、個体数、最大最小の全長等を計測した。個体数は30個体までは直接数え、それ以上の場合は無作為に30個体を抽出し、その平均個体重量から個体数を推定した。水産上の重要種は10個体までは全て、10個体以上の時は無作為に10個体を抽出し全長等を測定した。捕獲量が0.1 kg 未満の少量種については個体数と最大最小の全長等を計測した。得られた捕獲物は漁港内で速やかに計測し、船で

は持ち帰れないほどの捕獲がある場合は、網上げと同時に船上で計測した。種同定及び和名、学名については、魚類は主に中坊 (2013) に従ったが、クサフグおよびコモシフグの学名は Matsuura (2017)、クロサバフグの学名は Matsuura and Satoh (2017)、メイトガレイの学名は Yokogawa et al. (2014) に従った。また、甲殻類は三宅 (1991)、頭足類は奥谷 (1995) に従った。本論文では捕獲量について検討した。本調査に用いた小型定置網は当地方ではます網と呼ばれる。ます網の道網部は10~30 m で目合は約20 mm、囲い網の大きさは直径10~15 m で目合は約20 mm、袋網部の長さは10~15 m で目合は5~8 mm であった。ます網の設置場所は本庄水域北西部の沖合50 m 以内の水域で、設置網数は1~5統であった。開削前の設置網数は月平均約2.8統、開削後は約3.8統であった。ます網の設置網数は一定ではなかったが、設置場所が本庄水域の北西部の沿岸に限られていたので回遊

Fig. 1. Map of Lake Nakaumi and Honjo Area.
図1. 中海と本庄水域の図。

する魚介類や尾数に大きな変化がないと仮定し、それぞれの魚介類について1網あたり平均捕獲量を求め毎月の捕獲量とした。

統計解析

NH-2の上下層の水温とECの経年変化があるかどうかをMann-Kendall検定によって明らかにし (Fig. 2において p 値で示した), 年間でどの程度増加・減少を示すかを解析するためこれと合わせてTheil-Senのスロープを求めた (Fig. 2において slope で示した)。以上のトレンド解析はProUCL version 5.0 (United States Environmental Protection Agency) を用いて計算した。また, NH-2の底層のECに関して長期トレンドを抽出するため, 移動平均比率法を用いて下層ECの12ヶ月周期の季節成分を求め, 季節変動を除去した。次に季節変動除去後の値を目的変数, 変化のあった時期を0, 1で表すダミー変数を説明変数に用いた重回帰分析を行った。変数選択はステッ

プワイズ法を用いた。季節調整及び重回帰分析には統計解析ソフトウェア IBM SPSS Statistics を使用した。

森山堤防開削の年を除き, 2004年1月~2008年12月の5年間を開削前, 2010年1月~2014年12月の5年間を開削後とし, 捕獲量の変動要因を検討するため, 開削前後の主要魚介類の捕獲量と水温・ECについて主成分分析を行った。上下層の水温とECは島根県保健環境科学研究所によるNH-2地点の毎月のデータを使用した。後述するように, 開削前後で水温に關係する主要魚介類の捕獲量の寄与はほとんど変化しなかったが, ECに關係する捕獲量の寄与は大きく変化した。これより, ECが変化した開削前後の主要魚介類の捕獲量の変動についてMann-WhitneyのU検定を行い, それぞれの変動要因を推察した。主成分分析及びMann-WhitneyのU検定には, 統計解析ソフトウェア IBM SPSS Statistics を使用した。

なお, すべての統計解析について, $p < 0.05$ を有意水準とした。

Fig. 2. Temporal change of WT and EC. a: WT of the upper layer, b: WT of the lower layer, c: EC of the upper layer, d: EC of the lower layer. The regression line denotes Theil-Sen's slope and its value is also given on the figure. 95% LCL and 95% UCL are the 95% lower and upper confidence limits around the Theil-Sen's slope.

図2. 水温とECの経時変化. a: 上層の水温, b: 下層の水温, c: 上層のEC, d: 下層のEC. 直線はTheil-Senのスロープを示し, 95% LCLは下側95%信頼限界, 95% UCLは上側95%信頼限界を示す。

結果と考察

堤防開削前後の水質変化

Fig. 2に森山堤防開削前後11年間の NH-2地点の上層（水面下0.5 m）及び下層（湖底直上0.5 m）の WT 及び EC の変化を示す。上層と下層の WT (Fig. 2a, b) 及び上層の EC (Fig. 2c) はこの11年間では若干上昇は見られるものの有意な変化は見られなかった（それぞれ $p=0.26, 0.22, 0.07$ ）ため、開削の影響は受けていないと考えられた。下層の EC (Fig. 2d) は西部承水路堤防の撤去作業の始まった2007年7月から上昇が見られ、森山堤防が開削された2009年5月以降更に高くなっており、11年間の観測では有意（ $p<0.01$ ）な増加が見られ、開削の影響がうかがわれた。そこで下層 EC の季節変動を除去した値を目的変数、変化のあった時期を0, 1で表すダミー変数を説明変数に用いた重回帰分析の結果、以下のモデルを採用した。

$$(\text{下層 EC}) = T_1 \times 5.87 + T_2 \times 3.88 + 30.4 \quad (R^2 = 0.66)$$

ここで、

T_1 : 観測開始から西部承水路撤去工事開始（2007年7月）から4ヶ月後までは0, 工事開始5ヶ月から観測終了までは1という変数

T_2 : 観測開始から森山堤防開削（2009年5月）までは0, 開削1ヶ月後から観測終了までは1という変数とする。

この式から、西部承水路堤防撤去工事開始から5ヶ月後の2007年11月及び森山堤防開削月である2009年5月以降に下層 EC が大きく変化したことがわかった (Fig. 3)。

Fig. 4に NH-2地点における2004年1月から2014年12月までの EC 及び DO のコンター図を示す。2004年1月から2009年5月までは塩分成層はあまり発達していなかったが、森山堤防の開削がおこなわれた2009年6月以降から水深4m 前後まで塩分成層の発達が見られるようになった (Fig. 4a)。DO (Fig. 4b) も EC と同様の変化をした。開削以前、下層において貧酸素化はあまり見られ

なかったが、開削以降は塩分成層の厚さが増加し、夏季を中心に塩分成層下部の貧酸素化が進行した。塩分成層が発達すると、成層上部と下部の2層間の鉛直混合が極端に制限される (Godo et al., 2001)。成層上部は酸素が大気や水中の植物プランクトンの光合成によって十分に供給されるが、中海のように成層下部が分解層の場合は光合成が起こらず、水中及び堆積物の有機物の分解によって酸素が消費されることから、成層下部は貧酸素化したと考えられる。山室ら (2012) は、森山堤防が開削された2009年5月以降は塩分成層が恒常的に形成されることで、溶存酸素濃度 1 mg L^{-1} 未満の貧酸素状態が長期的に続くようになり、特に NH-2は中海本湖よりも貧酸素化しやすくなった可能性を指摘している。

堤防開削前後の魚介類の種数変化

本庄水域において、2004年から2014年までの11年間に捕獲された魚類、甲殻類および頭足類と、それらの年毎の1網当たり捕獲量と11年間の捕獲総量を示した。捕獲量が 0.1 kg 未満の少量種は、捕獲の事実のみを記した。

Fig. 3. Measured and predicted values obtained by a multiple linear regression analysis of EC at the bottom layer of NH-2 from 2004 to 2014.

図3. NH-2地点における2004年から2014年までの EC の測定値と重回帰分析から得られた予測値。

Table 1. Comparison of numbers for freshwater, diadromous, brackish water, and marine species recognized before and after the opening of Moriヤマ Dike, with the result before the construction of dikes at Lake Nakaumi from Miyadi (1962).

表1. 森山堤防開削前後に確認された淡水魚、通し回遊魚、汽水魚、海産魚の種数の比較。干拓堤防建設以前の中海における結果 (Miyadi, 1962) を合わせ示す。

Type of fish species	Miyadi (1962)	Before opening of Moriヤマ Dike	After opening of Moriヤマ Dike
Freshwater species	3	1	2
Diadromous species	6	9	7
Brackishwater species	11	12	11
Marine species	83	43	65
Total	103	65	85

2009年については、開削前の4月までと開削後の5月以降の調査結果に分けて示した（Appendix）。

開削前の2004年1月から2009年4月に確認した魚類は65種、甲殻類14種、頭足類1種であり、開削後の2009年5月から2014年12月に確認した魚類は85種、甲殻類15種、頭足類5種であった。11年間を通して確認した魚類は96種、甲殻類16種、頭足類5種であった。

開削前後の確認魚類について、淡水種、通し回遊種、汽水種及び海産種に分けて Table 1にその種数を示した。生活史型は、主に石飛ら（2000）の区分に従い、川那部・水野（1989）や岡村・尼岡（1997）を参考に区分した。開削後には、確認された海産種が43種から65種と大幅に増加した。干拓堤防建設以前に中海の全域で行われた宮地（1962）の3年間の調査で確認された魚類103種についても同様に分けて種数を示した。魚類103種のうち海産種は83種であった。今回の調査で確認された生物の中で宮地（1962）の調査により確認されていたものは Appendix に示した。開削前には、海産種の多くが森山堤防に阻まれ本庄水域内に進入できなかったが、堤防開削によって進入が容易になった種や、海水の流入に伴っ

て本庄水域内に迷入する種が増加したため、開削後に海産種が増えたと考えられた。

堤防開削前後の魚介類捕獲量の月変化

11年間の1網当たり捕獲総量の上位5種であるアカエイ (*Dasyatis akajei*)、サッパ (*Sardinella zunasi*)、コノシロ (*Konosirus punctatus*)、スズキ (*Lateolabrax japonicus*)、マハゼ (*Acanthogobius flavimanus*) と、水産上重要な魚介類5種のニホンウナギ (*Anguilla japonica*)、クロソイ (*Sebastes schlegeli*)、マアジ (*Trachurus japonicus*)、ヨシエビ (*Metapenaeus ensis*)、タイワンガザミ (*Portunus pelagicus*) の捕獲状況について、開削のあった2009年を除き、森山堤防開削前（2004年～2008年）と、開削後（2010年～2014年）の1月～12月の各月において、各5年間の月毎の1網当たり捕獲量の平均値と標準偏差を示す。同じく各5年間の月毎の1網当たり全捕獲量の平均値と標準偏差も併せて示した（Fig. 5）。

5年間の各月における月毎の1網当たり全捕獲量の平均値は開削の前後ともほぼ同様で、冬季に小さく夏季に大きい傾向であった。アカエイは開削の前後とも5月から

Fig. 4. Contour figures of EC (a) and DO (b) at NH-2 from 2004 to 2014.

図4. 2004年から2014年までの NH-2地点における EC と DO のコンター図。

森山堤防開削が中海本庄水域の水質及び水生動物相へ与えた影響

Fig. 5. Mean monthly catch per net for each month during 5 years before and after the opening of Moriyama Dike (2004-2008, 2010-2014), for the total amount, main fish and crustacean species. Vertical line indicates standard deviation.

図5. 森山堤防開削前後の各5年間のそれぞれの月における1網あたりの全捕獲量および主要魚類と甲殻類捕獲量の月平均値。縦線は標準偏差を示す。

11月にかけて捕獲されていた。月毎の捕獲量は開削前後で大きく変わらないように見える。サッパは1～3月を除いて捕獲されていたが、開削後には夏の捕獲量が減少した。コノシロは12～2月を除いて捕獲されており、開削前後とも4月の捕獲量が大きかった。スズキは通年捕獲され、海から回遊して来る4月と海へ下る11～12月の捕獲量が大きかった。この捕獲量の変動傾向は開削前後で変わらなかった。マハゼの捕獲時期は開削前後で変わらないが、開削後は12～1月の捕獲量が減少しているように見える。ニホンウナギは開削前後ともほぼ通年捕獲があった。しかし、捕獲のピークが開削前の11月から開削後の6月へと変化した。クロソイは開削前後とも3月の捕獲が大きかったが、開削後に捕獲量が減少した。マアジとタイワンガザミの捕獲時期は開削後早くなり、また、捕獲量が増加した。ヨシエビは開削前後とも夏から秋にかけて捕獲されていたが、開削後に夏季の捕獲量が減少しているように見える。それぞれの魚介類の捕獲時期は、ニホンウナギを除けば開削の前後で大きく変わらないが、捕獲量の変動傾向は魚種によって異なっていた。

堤防開削前後の魚介類捕獲量の変動要因

上に示した主要魚介類の月毎の捕獲量と環境因子である上層及び下層の水温・塩分（EC）との関係を探るために、開削の前後について、各5年間60ヶ月のデータを用いて行った主成分分析の結果を示す（Fig. 6）。

開削の前後とも、横軸で表した第1主成分（寄与率：

開削前26%、開削後25%）は水温との関係が示され、また、魚種ごとの捕獲量の寄与は大きく見れば開削の前後でほぼ同様だった。中海や本庄水域における魚介類は季節的な成長と移動のパターンを示すことが知られている。例えば、年魚のマハゼは秋季に成魚となり、また、サッパやコノシロなど多くの魚介類は水温の上昇とともに海域から進入し、水温の低下とともに降下する（Ishitobi et al., 2000）。成長して大きくなり、また、季節的に移動してくる魚種を対象としているます網の捕獲量は、季節の水温に関係するので、第1主成分として水温と関係づけられたと考えられる。更に、魚種ごとの捕獲量の寄与は開削の前後でほぼ同様だったので、水温と捕獲量との関係、つまり、水温変動に同調する魚種ごとの季節的な成長と移動のパターンは、開削の前後で大きくは変わっていないと考えられる。これは、Fig. 5で示したように魚介類の捕獲時期が、ニホンウナギを除けば開削の前後で大きく変わらなかったことから妥当と思われる。

縦軸で表した第2主成分（寄与率：開削前15%、開削後13%）には開削の前後とも下層 EC との関係が示された。しかし、各魚種の捕獲量の寄与は開削の前後で異なり、規則的な関係は認められなかった。堤防開削後には下層 EC が大きく上昇しており、下層の塩分変動に関係する何らかの要因が開削前後における各魚種の捕獲量の変動に影響したと推察される。

Table 2. Mean value and standard deviation of monthly catch per net (N=60) for total amount, main fish and crustacean species for each five-year period before and after the opening of Moriyama Dike. Significance test of changes for monthly catch between each five-year period are shown.

表2. 森山堤防開削前後の各5年間における月毎の1網当たり全捕獲量と主要魚類と甲殻類の捕獲量の平均値と標準偏差 (N=60)、および、開削前後5年間のそれぞれの捕獲量の変化に関する有意差検定。

Species	Japanese name	From 2004 to 2008		From 2010 to 2014		Significance level
		Average(kg/month)	S.D.	Average(kg/month)	S.D.	
Total catch per net	一網当たりの捕獲量	6.25	4.53	5.24	4.28	0.125
<i>Dasyatis akajei</i>	アカエイ	1.16	1.93	1.56	2.88	0.835
<i>Anguilla japonica</i>	ニホンウナギ	0.09	0.16	0.09	0.18	0.660
<i>Sardinella zunasi</i>	サッパ	1.39	2.15	0.66	1.24	0.092
<i>Konosirus punctatus</i>	コノシロ	0.92	2.45	0.47	1.60	0.985
<i>Sebastes schlegelii</i>	クロソイ	0.29	0.88	0.07	0.25	0.005
<i>Lateolabrax japonicus</i>	スズキ	0.58	0.78	0.62	0.90	0.566
<i>Trachurus japonicus</i>	マアジ	0.05	0.13	0.20	0.44	0.001
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	マハゼ	0.62	1.16	0.23	0.39	0.007
<i>Metapenaeus ensis</i>	ヨシエビ	0.05	0.11	0.03	0.05	0.870
<i>Portunus pelagicus</i>	タイワンガザミ	0.03	0.13	0.11	0.32	0.002

Fig. 6. Principal component analysis using monthly catch per net of main fish and crustacean species, temperature and EC of the upper and lower layers for each five-year period before and after the opening of Moriyama Dike. The horizontal axis shows the first components, and the perpendicular axis shows the second components, respectively. Coefficient of determination of the first and the second components before the opening of Moriyama Dike are 26% and 16%, respectively, after the opening of Moriyama Dike are 25% and 13%, respectively.

図6. 森山堤防開削前後の各5年間に於ける、月毎の1網当たりの主要魚類と甲殻類の捕獲量、上下層の水質、ECを用いた主成分分析。横軸は第1主成分、縦軸は第2主成分を示す。寄与率は、開削前の第1,2主成分はそれぞれ26%、16%、開削後の第1,2主成分はそれぞれ25%、13%であった。

堤防開削前後の主要魚介類捕獲量の変動

主成分分析により、開削の前後で、主要魚介類の捕獲量は季節的な水温変化には大きく影響されず、塩分に関係する要因で変動したことが示唆されたので、下層塩分が大きく変動した開削の前後について、それぞれの捕獲量を比較検討した。月毎の1網当たり全捕獲量と主要魚介類それぞれの捕獲量から求めた、森山堤防開削前後5年間の捕獲量の月平均値 ($N = 60$) と標準偏差、開削前後の捕獲量の差異に関する検定結果を示す (Table 2)。

月毎の1網あたりの全捕獲量は、開削前の5年間は6.25 kg ($SD = 4.53$)、開削後の5年間は5.24 kg ($SD = 4.28$) と若干減少した。しかし、開削の前後で統計的な有意差は得られなかった ($p=0.13$)。

それぞれの魚介類のなかで、アカエイは沿岸の砂泥域に生息する底生魚である (松原・落合 1965)。本種の捕獲量は、開削の前後で統計的な有意差は得られなかった ($p=0.84$)。アカエイは底層を這って泳ぐだけでなく、表層や中層を泳ぎながら移動することができる。こうした移動様式のため、開削後の貧酸素層拡大の影響を受けなかった可能性が考えられる。

サッパ・コノシロ・スズキは遊泳性魚種である (岡田, 1965; 宮地, 1962)。3種の捕獲量についても、開削の前後で統計的な有意差は得られなかった (それぞれ $p=0.09, 0.99, 0.57$)。3種はいずれも遊泳性の魚類であることから、貧酸素層の拡大による影響はさほど大きいものではなかったと思われる。

マハゼは砂泥底に生活する底生魚である (落合・田中, 1985)。本種の捕獲量は開削後有意 ($p<0.01$) に減少した。下層の貧酸素化が拡大したため本種の生息域が縮小し、捕獲量が減少したと思われる。加えて本種は本水域で産卵し、その時期は12月~2月である。産卵はオスが砂泥中に孔道を作って巣穴を掘り、メスがその内壁に産卵する (川那部・水野, 1989)。本庄水域は干陸に備えて盛り土による圃道や排水溝が作られている。これらを避けた地点で1997・1998年度に採取された底質 (表層5mm) から砂を除いた乾燥試料の全有機炭素 (TOC) 平均値は2.8~3.3%で、対照地点の中海本体北西部の平均値3.7%より本庄水域の方が0.5%低かった。また、泥質堆積域でも砂の混入がいたる所に見られたという (三瓶ら, 1999)。これより開削以前の本水域は、中海本体に比べてヘドロの堆積が少なく、マハゼの産卵に好適な砂泥が多かったと推察される。しかし、夏場の貧酸素層の拡大により恒常的に酸素にさらされる水域が縮小し、これによる産卵水域の縮小が捕獲量の減少につながった

可能性が考えられる。

ニホンウナギは石垣や土手の穴、底の泥の中などで生活する底生魚である (川那部・水野, 1989)。開削の前後で年間を通じた捕獲量の統計的な有意差は得られなかったが ($p=0.66$)、捕獲のピークが11月から6月へと変化した。開削後にニホンウナギとともにウナギ目のホタテウミヘビ (*Pisodonophis zophistiis*) が初夏に捕獲されるようになった (Appendix)。筆者の一人は宍道湖と中海及び周辺水域のニホンウナギについて、2015-2016年に経験の深い漁師・釣り人など33名から聞き取り調査を行った。これによれば、宍道湖には初夏に海から昇り秋に海に降るウナギの群れがあり、また、中海では森山堤防開削後に本庄水域側のウナギ突きと延縄漁の漁獲は悪くなったという意見が多かった (石飛, 未発表)。開削により境水道と直接つながり初夏に海からの昇りウナギが本庄水域に入りやすくなったこと、反面、夏季の底層の貧酸素化などにより生息環境が悪化してウナギ資源量が減少しウナギの移動する秋季の捕獲量が減少したことが考えられ、これが捕獲ピークの変化をもたらしたかもしれない。今後の検討課題である。

クロソイは浅海や内湾に生息する底生魚である (松原・落合, 1965)。本種は開削後有意 ($p<0.01$) に捕獲量が減少した。筆者らの聞き取りによると、開削前の本庄水域は、中海本体に比べて本種の捕獲状況が良い水域であった。しかし、森山堤防の開削以前から捕獲量が減少傾向にあり、その傾向は開削後より顕著になった。また、開削前の本水域における漁業者からの聞き取りとして、成熟卵を持つ本種の大型個体が春季に中海本体と比べて多く獲れ、また本種の幼魚が夏から秋にかけて比較的長期間大量に漁獲されるとの記載がある (平塚・桑原, 2000)。本水域は本種の稚仔魚や幼魚の成育場だったと考えられるが、貧酸素層の拡大が仔魚期の生活にも影響し、捕獲量の減少につながった可能性がある。

マアジは、幼魚期においては内湾でも生活する遊泳性の魚類である (落合・田中, 1985)。本種は森山堤防の開削後は捕獲期間が7~12月から5~12月へと長期化し、また、捕獲量が有意 ($p<0.01$) に増加した。開削によって直接境水道から進入しやすくなったことが増加の原因と思われる。干拓堤防建設以前の中海において調査した宮地 (1962) によれば、体長35-170 mm の小型個体が4-12月にわたって捕獲されたとある。開削後も全長320 mm の1匹を除けば同様に全長39-213 mm の小型個体が5月から12月にわたって捕獲されたので、遊泳性魚類のマアジについては開削により干拓堤防建設以前の出現状況

に戻ったものと考えられる。

ヨシエビは二枚貝や多毛類などの底生生物を捕食する底生のクルマエビ科の甲殻類である（建設省中国地方建設局出雲工事事務所，2000）。堤防開削以前の調査では，ヨシエビは6月～8月にかけ徐々に成長しながら中海北部から中海南西部そして本庄水域で捕獲されていた（Ishitobi et al., 2000）。堤防開削によって海側から本庄水域への進入が容易になり，ヨシエビの捕獲量が増加することも期待された。しかし，捕獲時期は早まったが，捕獲量は開削の前後で統計的な有意差は得られなかった（ $p=0.87$ ）。堤防建設以前の中海で，ヨシエビは主に中海南東部で越冬して春から夏にかけて成長し，一部は美保湾へ移動するとされる（宮地，1962）。開削によって，本庄水域内への進入は容易になったものの，夏場の貧酸素層の拡大により生息環境が悪化したため，捕獲量の増加につながらなかった可能性が考えられる。

タイワンガザミは二枚貝や多毛類などを捕食する底生の甲殻類である（建設省中国地方建設局出雲工事事務所，2000）。タイワンガザミは，開削後に捕獲時期が早まり，捕獲量が有意（ $p<0.01$ ）に増加した。堤防建設以前の調査では，タイワンガザミは美保湾の沿岸部と中海の全域で多量に取れ，特に，中海の北部から境水道を経て美保湾に至るあたりの沿岸部や浅い砂泥地に多かった（宮地，1962）。遊泳能力の高い本種は，堤防の開削によって海域からの進入が容易になり，また，浅場に生息するため下層の貧酸素化の影響を受けにくく，捕獲量が増加したと考えられる。

おわりに

本論文では，西部承水路堤防の撤去と森山堤防の一部開削前後の中海本庄水域において，水理構造と小型定置網で捕獲された生物の変化について検討した。これにより，森山堤防の一部開削が塩分成層の強化と下層の貧酸素化をもたらし，魚介類の生息量や生物の種構成が変化することが明らかになった。堤防開削によって魚介類の本庄水域への進入が容易になり，海産種の確認種数が増加し，マアジやタイワンガザミなどの捕獲量は増加した。他方，本水域で生活史の多くを全うするクロソイやマハゼなどの捕獲量は減少した。塩分成層の強化による下層の貧酸素化が生息域や産卵域，仔稚魚の生息場などに影響したと思われる。しかし，開削前にクロソイやマハゼなどの生息域等にこのような影響が起きるとは予想されておらず，開削の前後を通した調査も行われていない。

環境変化に伴う魚介類の変動調査研究は，生態系の基礎となる水理・水質の変化も考慮して実施することが重要と考えられる。

森山堤防の開削による水理変化については，開削の方法によっては，中海本湖と同様に強固な塩分成層ができ下層が貧酸素化するという懸念が示されていた（石飛ら，2003）。他方，地元では，森山堤防を開削すれば本庄工区の水質は現状よりは良くなるだろうという意見があった（山室ら，2012）。結果は本論文のとおりである。これまで，堤防開削による本庄水域における魚種別漁獲量の変動は検討されていない。開削5年後の日本海新聞（2014年6月25日）は，本庄水域の漁業者は「エビやカニなど単価の高い底物がほとんど捕れなくなり」と訴え，「堤防を開ければ漁獲が上がると期待していたが，反対に悪くなった」と肩を落とすと報道している。森山堤防の開削は本庄水域で漁獲される海産魚種の増加をもたらしたものの，事前の期待と異なり，本庄水域の漁業復活に貢献したとはいえないようである。堤防開削など汽水域の環境に重大な影響を及ぼす地形改変については，多分野にわたる慎重な事前検討が必要と考えられる。

謝 辞

中海本庄水域の捕獲物調査について，中海漁業協同組合の中島栄氏には長年にわたりご協力頂き，豊富な漁業知識と経験から本庄水域の魚類相等に関する多岐にわたる貴重な情報をご提供頂いた。（株）地域システム研究所の平塚純一博士には，長年にわたり中海本庄水域の捕獲物現場調査に同行し調査結果の取りまとめをして頂いた。島根県保健環境科学研究所長の大城等博士には，統計解析のご指導を頂いた。島根県水産技術センターの勢村均博士には，魚介類の生態についてご教示を頂いた。しまね自然と環境財団からは，3年間，捕獲物調査への助成金を頂いた。ここに記して厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 千葉健治（1980）：袋網漁獲物より見た浜名湖の魚族の生態．水産増殖，28: 88-101.
- 伊達善夫・橋谷博・清家泰・近藤邦男・奥村稔・藤永薫（1989）：12年間の定期調査からみた中海・宍道湖の水質．山陰地域研究，5: 89-102.
- Godo T., K. Kato, H. Kamiya, Y. Ishitobi (2001): Observation

- of wind-induced two-layer dynamics in Lale Nakaumi, a coastal lagoon in Japan. *Limnology*, 2: 137-143.
- 平塚純一・桑原弘道 (2000): 中海本庄水域の魚類相とその特性. *陸水学雑誌*, 61: 109-118.
- Ishitobi, Y. J. Hiratsuka, H. Kuwabara, M. Yamamuro (2000): Comparison of fish fauna in three areas of adjacent eutrophic estuarine lagoons with different salinities. *Journal of Marine Systems*, 26: 171-181.
- 石飛裕・平塚純一・桑原弘道・山室真澄 (2000): 中海・宍道湖における魚類および甲殻類相の変動. *陸水学雑誌*, 61: 129-146.
- 石飛裕・平塚純一・桑原弘道・山室真澄 (2003): 閉鎖性沿岸域の生態系と物質循環【7】異なる塩分濃度を有する富栄養化した隣接汽水湖における魚類相の比較. *海洋と生物* 148, 25: 398-404.
- 石飛裕・神谷宏・山室真澄 (2014): 中海宍道湖の科学—水理・水質・生態系—. ハーベスト出版, 松江.
- 蒲原稔治・岡村収 (1985): 原色日本海水魚類図鑑 (I): 保育社, 大阪.
- Kamiya, H. H. Ohshiro, Y. Tabayashi, Y. Kano, K. Mishima, T. Godo, M. Yamamuro, O. Mitamura, Y. Ishitobi (2011): Phosphorus release and sedimentation in three contiguous shallow brackish lakes, as estimated from changes in phosphorus stock and loading from catchment. *Landscape and Ecological Engineering*, 7: 53-64.
- 神谷宏・神門利之・和久利浩幸・嘉藤健二・芦矢亮・石飛裕 (1996): 宍道湖・中海水質調査結果 (平成6年度). 島根県衛生公害研究所報, 36: 101-103.
- 川那部浩哉・水野信彦 (1989): 山溪カラー名鑑日本の淡水魚, 山と溪谷社, 東京.
- 建設省中国地方建設局出雲工事事務所 (2000): 斐伊川水系の底生動物, 加田印刷, 島根.
- 増子勝男・浜田篤信 (2001): 涸沼および涸沼川の魚類, p. 291-302, 茨城県自然博物館第2次総合調査報告書.
- 松原喜代松・落合明 (1965): 魚類学 (下): 恒星社厚生閣, 東京.
- Matsuura K. (2017): Taxonomic and nomenclatural comments on two puffers of the genus *Takifugu* with description of a new species, *Takifugu flavipetrus*, from Japan (Actinopterygii, Tetraodontiformes, Tetraodontidae). *Bulletin of the National Museum of Nature and Science*, A 2010 43: 71-80.
- Matsuura, K. and T. P. Satoh (2017): Redescription of *Lagocephalus cheesemani* (Clark 1897), a senior synonym of *Lagocephalus gloveri* Abe and Tabeta, 1983 based on morphological and genetic comparisons (Actinopterygii: Tetraodontiformes: Tetraodontidae). *Ichthyological Research*, 64(1): 104-110.
- 道根淳・三浦常廣・佐々木正 (2013): 中海における小型定置網で捕獲された魚介類の出現特性. 島根水産技術センター研究報告, 5, 53-65.
- 宮地伝三郎 (1962): 中海干拓・淡水化事業に伴う魚族生態調査報告.
- 三宅貞祥: 原色日本大型甲殻類図鑑 (1991) (I), (II) 保育社, 大阪.
- Nixon S. W. (1988): Physical energy inputs and the comparative ecology of lake and marine ecosystems. *Limnology and Oceanography*, 33: 1005-1025.
- 落合明・田中克 (1985): 魚類学 (下) 改訂版: 恒星社厚生閣, 東京.
- 岡田要 (1965): 新日本動物図鑑 (下巻): 図鑑の北隆館, 東京.
- 岡村収・尼岡邦夫 (編) (1997): 山溪カラー名鑑日本の海水魚, 山と溪谷社, 東京.
- 奥谷喬司 (1995): 原色世界イカ類図鑑, 全国いか加工業協同組合, 東京.
- 三瓶良和・徳岡隆夫・藤森恒至・吉松康仁 (1999): 中海本庄工区の底質環境. *LAGUNA*, 6: 165-177.
- 渋谷久典 (2012): 幻の中海干拓. 松江市本庄公民館, pp. 234, 松江.
- Uye, S. T. Shimazu, M. Yamamuro, Y. Ishitobi, H. Kamiya (2000): Geographical and seasonal variations in mesozooplankton abundance and biomass in relation to environmental parameters in Lake Shinji-Ohashi River-Lake Nakaumi brackish-water system, Japan. *Journal of Marine Systems*, 26: 193-207.
- Yamamuro, M. J. Hiratsuka, Y. Ishitobi, (2000): Seasonal change in a filter-feeding bivalve *Musculista senhousia* population of a eutrophic estuarine lagoon, *Journal of Marine Systems*, 26: 117-126.
- 山室真澄・神谷宏・石飛裕 (2012): 沿岸域における人為的改変と自然再生—中海本庄水域の堤防開削を例として. *応用生態工学* 15: 221-231.
- 山室真澄・石飛裕・中田喜三郎・中村由行 (2013): 中海, p62-69, 貧酸素水塊. 生物研究社, 東京.
- Yokogawa, K. G. Ogiwara, K. Watanabe (2014): Identity of the lectotype of the East Asian flatfish *Pleuronichthys cornutus* (Temminck and Schlegel 1846) and reinstatement

of *Pleuronichthys lighti* Wu 1929. Ichthyological Research,
61(4): 385-392.

横尾俊博・水戸鼓・岩崎健史・佐々木正・道根淳・荒西
太士（2010）：中海水域において定置網で採集された
魚類とその季節変化．陸水学雑誌，71：11-18.

Appendix: Annual total amount of monthly catch per net for fish, crustaceans, and cephalopods in Honjo area during 11 years from 2004 to 2014. The annual total amount in 2009 was divided into two values before and after the opening of Moriyama Dike. The mark (+) shows small caught species. Recognized species in Lake Nakauimi before the construction of the dikes from Miyadi (1962) is indicated with (○).

付表1. 本庄水域において、2004年から2014年までの11年間に捕獲された魚類、甲殻類および頭足類の1網当たり年間捕獲量。2009年は堤防開削前後に分けて示した。捕獲量が僅かな種は (+) で示した。宮地 (1962) による干拓堤防建設以前の中海での確認種を (○) で示した。

Fish

Species	Japanese name	Type of species	Miyadi(1962)	2004	2005	2006	2007	2008	2009/1~4	2009/5~12	2010	2011	2012	2013	2014	Total
<i>Dasyatis akajei</i>	アカエイ	Marine	○	14.1	18.5	10.9	10.6	15.5	0.3	8.6	7.5	18.2	20.3	26.1	21.4	172.0
<i>Gymnaia japonica</i>	ツバクロエイ	Marine		0.1			0.4	0.2		0.6	0.1	0.1	0.0	0.8	0.4	2.7
<i>Anguilla japonica</i>	ニホンウナギ	Diadromous	○	1.0	1.8	0.6	1.1	1.1	0.1	0.9	0.5	2.0	0.9	1.4	0.7	11.9
<i>Ophichthus alipennis</i>	ホタテウミヘビ	Marine								0.1		0.9	0.1	0.5	1.9	3.5
<i>Erimaus teres</i>	ウルメイワシ	Marine		0.1			+	+		0.1	+	+	0.2		+	0.3
<i>Sprattolodes gracilis</i>	キヒナゴ	Marine											+			+
<i>Sardinops melanostictus</i>	マイワシ	Marine	○				+	0.1		1.2		+	0.1	+	+	1.3
<i>Sardinella zunasi</i>	サツバ	Marine	○	23.8	17.3	26.1	11.3	5.1	0.1	4.2	3.4	5.2	14.0	12.1	5.1	127.7
<i>Clupea pallasii</i>	ニシン	Marine											0.0			0.0
<i>Konostictus punctatus</i>	コノシロ	Marine	○	6.7	17.5	6.5	10.6	14.2	0.6	1.2	5.1	13.4	1.4	3.4	5.0	85.4
<i>Engraulis japonicus</i>	カタクチャイワシ	Marine	○	8.1	0.8	0.8	0.7	2.9	+	1.7	2.3	3.0	0.8	2.7	3.0	26.6
<i>Carassius spp</i>	フナ類	Fresh water	○									0.2			+	0.2
<i>Tribolodon hakonensis</i>	ウグイ	Fresh water	○	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.8	0.2	0.2	0.3	3.0
<i>Plotosus japonicus</i>	ゴンズイ	Marine	○		0.9			7.6		2.5	4.6	0.1	3.8	0.9	1.2	21.5
<i>Hyporhamphus nipponensis</i>	ワカサギ	Diadromous	○	0.1	+	+		+					+			0.1
<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	アユ	Diadromous	○	0.1	0.7	0.1	0.5	0.0	0.1	+	0.4	0.1	0.1	0.1	0.2	2.4
<i>Salangichthys microdon</i>	シラウオ	Brackish water	○	0.9	+		+					+	+	+		0.9
<i>Oncorhynchus masou masou</i>	ヤマメ	Diadromous			0.1								0.5			0.6
<i>Oncorhynchus keta</i>	サケ	Diadromous					+			0.9					0.9	1.8
<i>Sardinia macrolepis</i>	マエシ	Marine	○											+		+
<i>Lopholaimus setigerus</i>	アンコウ	Marine								+						+
<i>Hippocampus nobiliei</i>	サンゴダツ	Brackish water	○	+		+	+	+	+	+			+	+		+
<i>Mugil cephalus</i>	ボラ	Marine	○	0.8	0.2	0.1	0.8	0.6		+	0.3	0.4	0.6	0.1	0.0	3.9
<i>Chelon affinis</i>	セスジボラ	Marine		+	1.0	0.2	+			0.0	0.4	+	+	0.0		1.6
<i>Chelon haematocheila</i>	メナダ	Marine		0.3	0.4								+			0.7
<i>Hypoatherina valenciennei</i>	トウゴロウイワシ	Marine	○	0.1	0.2	+	0.1	+		+		+	0.1	+	+	0.5
<i>Hyporhamphus intermedius</i>	クルマサヨリ	Brackish water	○									+	+	0.1		0.1
<i>Hyporhamphus sajori</i>	サヨリ	Marine	○	0.3	0.1	+	+	0.3		+	0.2	+	0.1	0.0	0.1	1.0
<i>Sebastes spp</i>	メバル類	Marine	○	+										+		+
<i>Sebastes oblongus</i>	タケノコメバル	Marine	○	0.1												0.1
<i>Sebastes schlegelii</i>	クロノイ	Marine		5.8	4.6	5.9	1.2	0.1	0.4	+	1.7	0.6	0.3	1.1	0.2	22.0
<i>himicus japonicus</i>	オニオコゼ	Marine	○										0.0			0.0

森山堤防開削が中海本庄水域の水質及び水生動物相へ与えた影響

Fish (continued)

Species	Japanese name	Type of species	Miyadi(1962)	2004	2005	2006	2007	2008	2009/1~4	2009/5~12	2010	2011	2012	2013	2014	Total
<i>Chlidionichthys spinosus</i>	ホウボウ	Marine	○									+	+		0.0	0.0
<i>Platycephalus sp.</i>	マゴチ	Marine	○	0.3	0.2	0.5	0.1	0.3		0.2	0.2	0.3	0.2	0.6	0.1	2.8
<i>Lateolabrax japonicus</i>	スズキ	Marine	○	2.2	7.6	9.7	9.7	5.7	4.0	1.7	8.4	9.1	6.4	9.5	3.9	78.0
<i>Lateolabrax latius</i>	ヒラスズキ	Marine			0.1					0.6	0.9	0.0	0.1		0.0	1.7
<i>Apogon semilineatus</i>	ネンブツダイ	Marine												+	+	+
<i>Apogon lineatus</i>	テンジクダイ	Marine								+	+	+				+
<i>Seriola quinqueradiata</i>	ブリ	Marine	○							0.1						0.1
<i>Seriola dumerilii</i>	カンハチ	Marine								0.8					0.1	0.9
<i>Trachurus japonicus</i>	マアジ	Marine	○	+	0.5	0.9	0.5	0.9		2.3	1.8	3.1	2.9	1.3	2.9	17.1
<i>Decapterus maruadsi</i>	マルアジ	Marine				0.1									+	0.1
<i>Nuchequada nuchalis</i>	ヒイラギ	Marine	○	+	+	0.4	2.7	4.3		1.5	1.9	4.7	3.0	4.9	1.5	24.9
<i>Gerrus equulus</i>	クロサギ	Marine	○	+			+	+			0.1	+		+		0.1
<i>Plecotrichus cinctus</i>	コシヨウダイ	Marine										+		0.0		0.0
<i>Pagrus major</i>	マダイ	Marine	○								+				+	+
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	クロダイ	Marine	○					0.0			0.1		0.2		0.1	0.4
<i>Rhabdosargus sarba</i>	ヘダイ	Marine									0.0		+			0.0
<i>Sillago japonica</i>	シロギス	Marine	○	+	+		+	+		+			+	+	+	+
<i>Upeneus japonicus</i>	ヒメジ	Marine	○											+		+
<i>Direna temminckii temminckii</i>	ウミタナゴ	Marine	○		0.1	0.2					0.2	0.1	0.0	0.1		0.6
<i>Direna viride</i>	アオタナゴ	Marine										0.0		+		0.0
<i>Rhynopelates oxyrinchus</i>	シマイサキ	Marine	○		+	0.1	+	+		0.1	0.2	+	0.2	0.0	0.3	0.8
<i>Girella punctata</i>	メジナ	Marine	○								0.1					0.1
<i>Psenopsis anomala</i>	イボダイ	Marine	○	+												+
<i>Hyperoglyphe japonica</i>	メダイ	Marine								0.1						0.1
<i>Cottus reinii</i>	ウツセミカジカ	Diadromous					+									+
<i>Liparis tanakae</i>	クサウオ	Marine				0.5										0.5
<i>Enogorrammus hexagrammus</i>	ムスジガジ	Marine		0.1	+	+			+	+	+		+			0.1
<i>Dicysosoma burgeri</i>	ダイナンペンボ	Marine											+			+
<i>Pholis nebulosa</i>	ギンボ	Marine	○	+		+	+					+		+	0.1	0.1
<i>Parablennius yotsubei</i>	イソギンボ	Marine				+										+
<i>Repomucenus curvicaornis</i>	ネズミゴチ	Marine	○				+									+
<i>Leucoposaron petersii</i>	シロウオ	Diadromous		+	+											+
<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	アカハセ	Marine	○							+						+
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	マハセ	Brackish water	○	6.5	12.8	6.4	10.0	1.3	0.8	2.1	2.4	3.4	2.4	2.4	3.1	53.4
<i>Acanthogobius lactipes</i>	アシシロハセ	Brackish water	○	+		+	+									+

Fish (continued)

Species	Japanese name	Type of species	Miyadi(1962)	2004	2005	2006	2007	2008	2009/1~4	2009/5~12	2010	2011	2012	2013	2014	Total
<i>Magilargobius abei</i>	アベハゼ	Brackish water			+										+	+
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	アカオビシマハゼ	Marine	○				+			+	+			+	+	+
<i>Tridentiger bifasciatus</i>	シモフリシマハゼ	Brackish water		+	0.2	0.0	+	+	+	+		+		+		0.2
<i>Tridentiger obscurus</i>	チサブ	Brackish water	○	+	+	+		+		+	+	+	+	+	+	+
<i>Glossogobius olivaceus</i>	ウロハゼ	Brackish water	○	0.3	0.2	0.5	0.2	0.1		0.1	0.3	0.1	0.2	0.3	0.2	2.3
<i>Acentrogobius sp</i>	ツマグロスジハゼ	Brackish water	○	+	+	+						+				+
<i>Gymnogobius perichthensis</i>	スミウキゴリ	Diclonous		+	+							+	+	+		+
<i>Gymnogobius urotaenia</i>	ウキゴリ	Diclonous	○	+			+			+					+	+
<i>Gymnogobius hepaticanthus</i>	ニクハゼ	Brackish water	○	0.9	0.2	0.1	+	+	+	+		+	+	+		1.1
<i>Gymnogobius breunigii</i>	ビリンゴ	Brackish water	○	2.5	0.4	0.4		+	+	+	+	+	+	+	+	3.2
<i>Gymnogobius macrognathos</i>	エドハゼ	Brackish water				+										+
<i>Chaenogobius gilous</i>	ドロメ	Marine										+	+	+		+
<i>Siganus fuscus</i>	アイゴ	Marine	○							+	0.2	0.1	1.3	0.6		2.2
<i>Sphyaena pinguis</i>	アカカマス	Marine	○	0.1			0.1	0.3		+	0.3	0.4	0.8	0.5	0.8	3.2
<i>Trichurus japonicus</i>	タチウオ	Marine	○												+	+
<i>Scomber japonicus</i>	マサバ	Marine	○									0.2				0.2
<i>Paralichthys olivaceus</i>	ヒラメ	Marine	○		0.8	1.6	0.3	0.1				0.4	0.4	0.5	0.3	4.4
<i>Pleuronichthys light</i>	メイトガレイ	Marine	○												+	+
<i>Eopsetta grigorjewi</i>	ムシガレイ	Marine					+									+
<i>Kareius bicoloratus</i>	イシガレイ	Marine	○	5.2	2.4	0.1	0.1	+		+	0.2	+	+	+	0.1	8.1
<i>Pleuronectes yokohamae</i>	マコガレイ	Marine	○	+												+
<i>Staphanolepis cirrhifer</i>	カワハギ	Marine	○								0.1		+			0.1
<i>Rudarius ercodes</i>	アミメハギ	Marine	○											+	+	+
<i>Takifugu pardalis</i>	ヒガンフグ	Marine		1.2	0.2	+	0.5			0.1	0.1	+	0.1	0.2	0.0	2.4
<i>Takifugu flavipierus</i>	コモンフグ	Marine	○	0.0	0.2	+	0.0	+		+	0.0	+	+	+	+	0.2
<i>Takifugu alboplumbus</i>	クサフグ	Marine	○	+	0.1	0.4	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	1.5
<i>Takifugu rubripes</i>	トラフグ	Marine		+	0.5		0.1	0.1			+				+	0.7
<i>Lagocephalus cheesemanii</i>	クロサハフク	Marine	○								0.0					0.0
<i>Lagocephalus spadiceus</i>	シロサハフク	Marine										+		+		+

森山堤防開削が中海本庄水域の水質及び水生動物相へ与えた影響

Crustacean

Species	Japanese name	Type of species	Miyadi(1962)	2004	2005	2006	2007	2008	2009/1~4	2009/5~12	2010	2011	2012	2013	2014	Total
<i>Marsipaneus japonicus</i>	クルマエビ	Marine	○	+						+		+		+	+	+
<i>Penaeus semisulcatus</i>	クルマエビ	Marine	○			+	+			+	+		+		+	+
<i>Metapenaeus ensis</i>	ヨシエビ	Marine	○	1.0	0.2	0.4	1.0	0.4		0.2	0.2	0.7	0.2	0.4	0.1	4.8
<i>Eupalaemon holthuis</i>	シラタエビ	Brackish water	○	0.1	+	+	+	+				+				0.1
<i>Palaeomon macrondactylus</i>	ユビナガスジエビ	Brackish water	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Crangon affinis</i>	エビジャコ	Brackish water	○	+	+	+	+					+	+			+
<i>Pagurus minimus</i>	ユビナガホンヤドカリ	Brackish water		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Acetes japonicus</i>	アキアミ	Marine	○		+		+	+		+			0.1		0.1	0.2
<i>Neomysis japonica</i>	ニホンイサザアミ	Brackish water	○	+									+			+
<i>Procambarus clarkii</i>	アメリカザリガニ	Fresh water	○												+	+
<i>Phillyn pisum</i>	マメコブシガニ	Brackish water	○	+	+	+	+	+						+	+	+
<i>Plumnus makianus</i>	マキトラノオガニ	Brackish water		+												+
<i>Portunus pelagicus</i>	タイワンガザミ	Marine	○	0.1	1.3		0.0	0.2			2.2	2.0	0.2	1.6	0.5	8.1
<i>Charybdis japonica</i>	イシガニ	Marine	○					+				+	+	0.4	0.0	0.4
<i>Eriochelone japonica</i>	モクズガニ	Diadromous		0.5	1.4	0.1	0.1	0.3	0.5	0.3	0.2	2.1	1.0	1.4	2.4	10.2
<i>Hemigrapsus penicillatus</i>	タカノケフサイソガニ	Marine	○								+	+	+	+	+	+

Cephalopoda

Species	Japanese name	Type of species	Miyadi(1962)	2004	2005	2006	2007	2008	2009/1~4	2009/5~12	2010	2011	2012	2013	2014	Total
<i>Lolitalis japonica</i>	ジンドウイカ	Marine		0.3	0.2					0.1				+	+	0.5
<i>Uroteuthis edulis</i>	ケンサキイカ	Marine	○										0.2			0.2
<i>Sepia esculenta</i>	コウイカ	Marine	○							+			+			+
<i>Sepia lycidas</i>	カミナリイカ	Marine												0.4	0.1	0.5
<i>Octopus ocellatus</i>	イイダコ	Marine	○											0.1	+	0.1