Wildlife and Human Society 11 : 31−42, 2023

データペーパー

2006–2021 年夏季の京都府舞鶴湾・丹後海の底生動物群集と流入河川の水質

本藤聡仁 [1]・鈴木啓太 [2]・中西麻美 [2]・山下　洋 [2]

[1] 京都府立西舞鶴高等学校
[2] 京都大学フィールド科学教育研究センター

Macrobenthos communities in Maizuru and Tango Bays, and water quality in the adjacent rivers in Kyoto Prefecture in summer from 2006 to 2021

Akihiro Hondo[1], Keita W. Suzuki[2], Asami Nakanishi[2], Yoh Yamashita[2]

[1]*Kyoto Prefectural Nishimaizuru Senior High School*
[2]*Field Science Education and Research Center, Kyoto University*

Abstract Under the guidance of Field Science Education and Research Center of Kyoto University, Kyoto Prefectural Nishimaizuru Senior High School has conducted annual surveys in riverine and coastal environments in late July since 2006 (in early August only in 2020). The survey areas consisted mainly of Isazu River, Maizuru Bay, and Tango Bay, Sea of Japan. Although the survey data were analyzed and summarized by high school students every year, the publication of the whole data sets will contribute to meta-analyses among regions and/or periods, and to environmental education at other high schools. Here we provide the following data sets: 1) surface water quality including temperature, pH, electric conductivity, turbidity, and concentrations of dissolved oxygen, dissolved organic carbon, suspended solid, and nutrients in 2006–2021; 2) species composition and density of coastal macrobenthos including fish and invertebrates in 2012–2021; 3) latitudes and longitudes of coastal surveys in 2012–2021; 4) vertical profiles of coastal waters in 2012–2021. As an example of the application of the data sets, interannual changes in nutrient concentrations and macrobenthos communities were analyzed.

Key words: annual survey, coastal macrobenthos, nutrients, river, Sea of Japan

はじめに

京都府立西舞鶴高等学校理数探究科（以下，本校理数探究科）は 2006 年度に設置され，以来，京都府北部地域の理科・数学教育の拠点として地域に根差した取り組みを継続してきた．特に，生徒が地域の環境と生物を調査する野外実習は，京都大学フィールド科学教育研究センター（以下，京大フィールド研）の協力を得て，設置初年度より毎年実施されている．

京都府北部地域は，舞鶴市と綾部市を流れる伊佐津川などの小河川が流入する舞鶴湾（閉鎖的内湾）や，府下最大の河川として流域の環境や産業を潤している由良川が流入する丹後海（開放的内湾）を有している（図 1）．また，舞鶴市と綾部市の両市全体の地目別土地面積比率の 70％あまりは森林であり，森林面積が流域の約 8 割を占める由良川は森林卓越型の一級河川に分類されて

受付日：2022 年 8 月 10 日　受理日：2022 年 11 月 15 日
責任著者：鈴木啓太　suzuki.keita.3r@kyoto-u.ac.jp

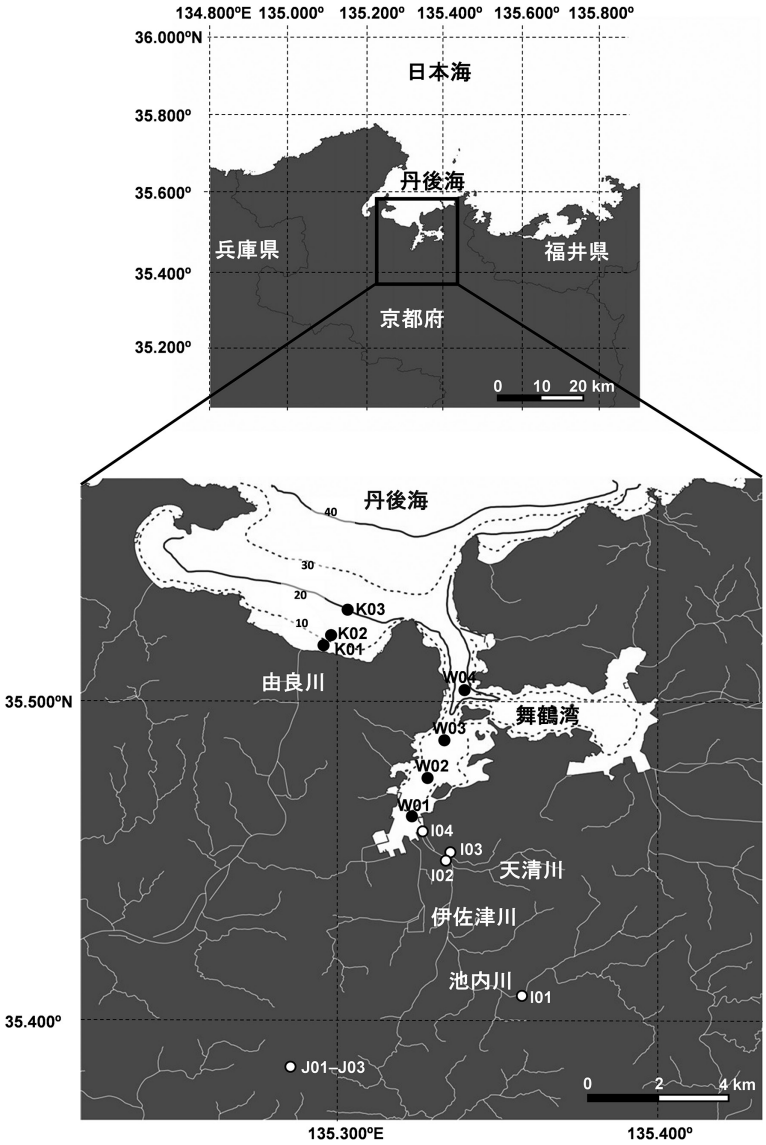

図 1．調査地．京都府北部に位置する舞鶴湾と丹後海，それらに流入する伊佐津川水系と由良川水系に合計 14 地点（J01–03，I01–04，W01–04，K01–03）を設置した．図中，陸域には河川流路を，海域には等深線を示す．調査地点の緯度経度や調査項目は表 1 に示す．

いる（山下 2019）．豊富な森林と小規模な地方都市および日本海の沿岸域から成る京都府北部地域の地理的特徴は，森・里・海のつながりについて調査・分析するうえできわめて好条件である．

これらの理由により，本校理数探究科では，京大フィールド研との高大連携により，高校生が地域の自然との関わり方を考え，社会に開かれた教育課程を実践する探究プログラムとして，「地球環境と海の生態系」を開発した．このプログラムは，京大フィールド研の講師の指導のもと，年に 1 回（夏），森と川と海の調査および分析実習を行い，得られたデータについて高校生の視点で考察し，グループごとに発表を行うものである．得られた成果は校内での発表会に加え，地域の方々や中学生に対しての報告会，京都大学森里海シンポジウム，全国海洋教育サミットなど，様々な機会を利用して報告している．

本調査結果は本校理数探究科の生徒と京大フィールド研の講師が台風やコロナ禍などに見舞われながらも，地元の方々にもご協力いただき，毎年同様の方法により取得したものである．調査は 7 月下旬（2020 年のみ 8 月上旬）の 1 日に限られるが，川から海までの水質と海の底

生動物を網羅的に調べている．本報告では，河川上流域から舞鶴湾と丹後海までに設けた合計 11 地点における水質（水温，pH，塩分，電気伝導率，濁度，溶存酸素，溶存有機炭素，クロロフィル蛍光度，懸濁物質，栄養塩類）に関するデータを提供する．また，舞鶴湾と丹後海の水深 20 m 以浅に設けた合計 6 地点において採集した底生動物について，生物種ごとの採集個体数に関するデータを提供する．

これまで，森・里・海の生態系は個別に調査されることが多かった．しかし，これらの生態系は密接に連環しており，様々な物質と生物が川を通して森・里・海を行き来することにより流域全体の健全性が維持されていると考えられる．本稿データは，このような森里海連環の視座から取得されたものであり，京都府北部地域の川と海の現状把握に役立つばかりでなく，地域間比較や年代間比較を目的とするメタ解析への利用も期待される．将来的には，森里海連環の仕組みを解明したり，流域全体の健全性を評価したりする研究に貢献することが見込まれる．また，中学・高等学校の探究学習をはじめとする環境教育の題材としても活用することができる．本稿では，利活用の一例として，川の栄養塩濃度と海の底生動物群集の経年変化を示し，確認された特徴を記載する．

データセット所有者

データセット取得者

京都府立西舞鶴高等学校，京都大学フィールド科学教育研究センター

データセット作成者

本藤聡仁・鈴木啓太・中西麻美

責任著者

鈴木啓太
京都大学フィールド科学教育研究センター舞鶴水産実験所
〒625-0086　京都府舞鶴市長浜無番地
E-mail: suzuki.keita.3r@kyoto-u.ac.jp

プロジェクト

名称

京都府立西舞鶴高等学校理数探究科夏期実習「地球環境と海の生態系」

研究代表者

本藤聡仁

利用条件

データの著作権と使用許諾

本データはクリエイティブ・コモンズ・ライセンス CC 4.0BY-NC（出典明記，非営利目的での利用に限る）の条件の下で利用できる．

利用に関する問い合わせ先

責任著者に問い合わせること．

データ格納場所

「科学技術情報発信・流通総合システム」（J-STAGE）内の「野生生物と社会」誌のサイト（https://www.jstage.jst.go.jp/browse/awhswhs/-char/ja）に格納する．

地理的範囲

京都府北部に位置する舞鶴湾と丹後海，それらに流入する伊佐津川水系と由良川水系に合計 14 地点を設置した（図 1）．各地点の緯度経度は表 1 に示す．

時間的範囲

2006 年 7 月 25 日
2007 年 7 月 26 日
2008 年 7 月 24 日
2009 年 7 月 23 日
2010 年 7 月 22 日
2011 年 7 月 21 日
2012 年 7 月 31 日
2013 年 7 月 23 日
2014 年 7 月 24 日
2015 年 7 月 23 日
2016 年 7 月 21 日
2017 年 7 月 24 日
2018 年 7 月 23 日
2019 年 7 月 22 日
2020 年 8 月 4 日
2021 年 7 月 26 日

表 1．調査地点の緯度経度と水深および調査項目［水温（Temp，°C），pH（無単位），電気伝導率（EC，mS/m），溶存酸素濃度（DO，mg/L），クロロフィル蛍光度（Chl，無単位），濁度（Turb，FTU），塩分（Sal，PSU），溶存有機炭素濃度（DOC，mg/L），懸濁物質濃度（SS，mg/L），亜硝酸濃度（NO_2，μM），硝酸濃度（NO_3，μM），リン酸濃度（PO_4，μM），ケイ酸濃度（SiO_2，μM）］．

調査地点	緯度（北緯度）	経度（東経度）	水深（m）	水質（現場測定）	水質（採水・分析）	底生動物
神社の森（J01）	35.389	135.251	/	Temp，pH，EC，DO	DOC，SS，NO_2，NO_3，PO_4，SiO_2	/
神社入口（J02）	35.389	135.250	/	Temp，pH，EC，DO	DOC，SS，NO_2，NO_3，PO_4，SiO_2	/
水路（J03）	35.387	135.248	/	Temp，pH，EC，DO	DOC，SS，NO_2，NO_3，PO_4，SiO_2	/
池内川（I01）	35.408	135.357	/	Temp，pH，EC，DO，Chl，Turb	DOC，SS，NO_2，NO_3，PO_4，SiO_2	/
伊佐津川（I02）	35.448	135.336	/	Temp，pH，EC，DO，Chl，Turb	DOC，SS，NO_2，NO_3，PO_4，SiO_2	/
天清川（I03）	35.448	135.336	/	Temp，pH，EC，DO，Chl，Turb	DOC，SS，NO_2，NO_3，PO_4，SiO_2	/
伊佐津川河口（I04）	35.458	135.325	/	Temp，pH，EC，DO，Chl，Turb，Sal	DOC，SS，NO_2，NO_3，PO_4，SiO_2	/
西湾奥（W01）	35.459–35.470	135.322–135.324	7–13	Temp，pH，DO，Chl，Turb，Sal	DOC，SS，NO_2，NO_3，PO_4，SiO_2	○
西湾中（W02）	35.467–35.484	135.324–135.336	11–14	Temp，pH，DO，Chl，Turb，Sal	DOC，SS，NO_2，NO_3，PO_4，SiO_2	○
西湾口（W03）	35.476–35.492	135.327–135.335	13–17	Temp，pH，DO，Chl，Turb，Sal	/	○
舞鶴湾口（W04）	35.484	135.332	30–32	Temp，pH，DO，Chl，Turb，Sal	DOC，SS，NO_2，NO_3，PO_4，SiO_2	/
丹後海 5 m（K01）	35.515–35.519	135.293–135.307	4–6	Temp，pH，DO，Chl，Turb，Sal	DOC，SS，NO_2，NO_3，PO_4，SiO_2	○
丹後海 10 m（K02）	35.518–35.523	135.294–135.308	9–11	Temp，pH，DO，Chl，Turb，Sal	/	○
丹後海 20 m（K03）	35.527–35.534	135.296–135.307	20–24	Temp，pH，DO，Chl，Turb，Sal	/	○

分類学的範囲

魚類の標準和名と学名は本村（2022）に従った．無脊椎動物の学名は WoRMS（World Register of Marine Species）[1] に従った．詳細は底生動物群集のデータを参照のこと．

調査方法

調査地の概要

調査地は京都府北部の河川と海域である（図 1）．本地域は日本海側気候に属するため，冬季はユーラシア大陸から日本海を越えて吹き込む北西季節風にともなう雨や雪が多い．一方，冬季以外の気候に際立った地域性はなく，本州各地と同様に梅雨や台風にともなう大雨が毎年数回発生する．

水質調査は主に伊佐津川水系と舞鶴西湾を対象とし，上流域から河口沖までに配置した 7 地点において実施した（図 1）．また，比較のため，由良川水系に属する犀川の集水域（3 地点）と丹後海奥部（1 地点）においても水質調査を実施した．一方，底生動物調査は閉鎖性の高い舞鶴西湾（3 地点）と開放性の高い丹後海奥部（3 地点）において実施した．なお，水質調査と底生動物調査の地点は部分的に重複していた．また，年により調査を実施しなかった地点もあった（表 1）．

調査地点の詳細

1．神社の森（地点 J01，図 2）

阿須々伎神社（綾部市金河内町）の境内を流れる小川（水深数 cm）．由良川の支流のひとつ犀川の集水域に含まれる．これより上流に田畑や民家はない．社叢林は天然更新した針広混交林で，針葉樹はヒノキ（*Chamaecyparis obtusa*）とスギ（*Cryptomeria japonica*）が多く，中には胸高直径が 90 cm を上回るスギやモミ（*Abies firma*）がみられる．

2．神社入口（地点 J02，図 2）

阿須々伎神社の入口にある四方を石積みした池（1.7 m×2.2 m，水深約 0.3 m）．地点 J01 から約 50 m 下流に位置する．神社の境内を流れる小川はこの池に流入し，敷地外の水路へ流出する．2016 年と 2020 年の調査時には体長約 10 cm のコイ（*Cyprinus carpio*）数個体が認められた．

図 2．阿須々伎神社付近の調査地点．A：神社の鳥居（2006 年撮影），B：神社の森（地点 J01，2022 年撮影），C：神社入口（J02，2022 年撮影），D：水路（J03，2019 年撮影）．

3．水路（地点 J03，図 2）

神社横を流れる水路．大正時代に造られた農業用水池からの流れと，別の谷から流れる河川および地点 J01 と J02 からの流れが合流したもの．水路周辺の家庭（現在，約 15 戸）からの生活廃水も流入する．地点 J02 から約 300 m 下流の地点を調査した．ただし，2008 年，2018 年，2019 年には，さらに約 120 m 下流の地点を調査した．いずれの地点もコンクリート護岸になっている．

4．池内川（地点 I01，図 3）

池内川は伊佐津川の支流のひとつであり，河川延長は 9.9 km，集水域の大半を森林が占める．2014 年以前は池内小学校の付近において，2015 年以降は同校から上流約 1.5 km に位置する親水施設において調査した（いずれも舞鶴市布敷）．

5．伊佐津川（地点 I02，図 3）

伊佐津川は綾部市に端を発し，舞鶴市の市街地を流れ，舞鶴湾に注ぐ（幹川流路延長約 17 km，平水流量約 1 m^3/s）．池内川など 7 河川で構成される水系の河川延長は 35.4 km，流域面積は 75.0 km^2 である．感潮域上端にあたる JR 舞鶴線第六橋梁付近を調査した（舞鶴市上安久・大内）．周辺には宅地，農地，森林などが広がり，河岸はコンクリート護岸になっている．

6．天清川（地点 I03，図 3）

天清川は伊佐津川の支流のひとつであり，河川延長は 2.1 km，集水域の大半を市街地が占める．伊佐津川との合流地点（地点 I02）の少し上流側を調査した．コンクリート三面張りになっている．

7．伊佐津川河口（地点 I04，図 3）

河口左岸に位置する漁港埠頭の先端から約 200 m 上流側を調査した（舞鶴市下安久）．

8．舞鶴湾（地点 W01–04，図 3）

舞鶴湾は若狭湾西部に位置する丹後海の枝湾である．湾口は幅約 1 km と狭いが，南西と南東の方向にそれぞれ約 6 km の奥行きをもつ閉鎖性の強い内湾である．湾内の大部分は水深 20 m 以浅の泥底であり，潮差は 0.5 m 未満である．伊佐津川が流入する西湾を調査海域とし，西湾奥（W01），西湾中（W02），西湾口（W03），舞鶴湾口（W04）の 4 地点を設けた．

図 3．河川と海域の調査地点．A：池内川（地点 I01，2022 年撮影），B：伊佐津川（地点 I02，2018 年撮影），C：天清川（地点 I03，2018 年撮影），D：伊佐津川河口（地点 I04，2017 年撮影），E：西湾奥（地点 W01，2015 年撮影），F：丹後海 5 m（地点 K01，2018 年撮影）．

9．丹後海（地点 K01–03，図 3）

丹後海は若狭湾西部に位置し，北西に丹後半島，南西に由良川河口，南東に大浦半島，北東に冠島を擁する開放的な内湾である．丹後海奥部に流入する由良川は，京都・滋賀・福井の三府県境に端を発し，京都府中部・北部を流れる府下最大の河川である（流域面積 1880 km^2，幹線流路延長 146 km，平水流量約 33 m^3/s）．由良川河口右岸側に伸びる神崎海水浴場の沖を調査海域とし，水深約 5 m（K01），約 10 m（K02），約 20 m（K03）の 3 地点を設けた．なお，潮差は舞鶴湾と同様に 0.5 m 未満であり，地点 K01 と K02 は砂底，地点 K03 は砂泥底である．

水質の測定

陸域（地点 J01–03 と I01–04）では，原則として，直読式総合水質計により水深 0.1 m の水温（°C），濁度（FTU），クロロフィル蛍光度（無単位），溶存酸素濃度（mg/L）を測定した．また，同水深において，pH メータにより pH を，電気伝導率計により電気伝導率（mS/m）を測定した．各年に使用した水質測定機器の型番と製造元を表 2 に示す．なお，神社の森付近（地点 J01–03）においては，水深が極めて浅かった場合，直読式総合水質計を使用できなかったため，濁度とクロロフィル蛍光度および溶存酸素濃度は欠測し，水温は電気伝導率計により測定した．一方，伊佐津川河口（地点 I04）におい

表 2．水質測定機器の型番，調査項目，調査地点，調査期間．調査項目の表記については表 1 を参照のこと．

型番（製造元）	調査項目	調査地点	調査期間
AAQ1183（JFE アドバンテック）	Temp，DO，Chl，Turb，Sal	J01–03，I01–04	2006–2013 年
AAQ170（JFE アドバンテック）	Temp，DO，Chl，Turb，Sal	J01–03，I01–04	2014–2021 年（2018 年を除く）
YSI model 185（YSI）	Temp，DO，Chl，Turb，Sal	J01–03，I01–04	2018 年
AAQ177（JFE アドバンテック）	Temp，DO，Chl，Turb，Sal	W01–04，K01–03	2012–2021 年
HM-12P（TOA DKK）	pH	J01–03，I01–04，W01–04，K01–03	2006–2012 年
HM-30P（TOA DKK）	pH	J01–03，I01–04，W01–04，K01–03	2013–2021 年
CM-14P（TOA DKK）	EC，（Temp）	J01–03，I01–04	2006–2021 年

ては，水面と水底の水質を測定するため，直読式総合水質計を水底まで下ろすとともに，北原式採水器により底層水を採取し，pH と電気伝導率を測定した．また，塩水遡上の程度を把握するため，直読式総合水質計により塩分（PSU）も測定した．

海域（地点 W01，W02，W04，K01）では，原則として，直読式総合水質計により海面から海底まで 1 m 間隔にて，水温，塩分，濁度，クロロフィル蛍光度，溶存酸素濃度を測定した（表 2）．陸域と海域の全ての水質測定地点において，バケツにより表面水を採取し（地点 I04 では北原式採水器により底層水も採取），密閉容器に入れて実験室に持ち帰り，翌日まで冷蔵保存した．なお，海域の試水は冷蔵前に pH メータにより pH を測定した．

試水の分析

懸濁物質を定量するため，乾燥・秤量済のガラス繊維濾紙（GF/F，孔径 0.7 µm，Whatman 社製）を用い，試水 100–2000 mL を濾過した．濾過後のガラス繊維濾紙を 105°C にて 2 時間乾燥させ，精密天秤により重量を測定した．ガラス繊維濾紙の濾過前後の重量差（残差重量）にもとづき試水中の懸濁物質濃度（mg/L）を算出した．栄養塩と溶存有機炭素の濃度を測定するため，セルロースアセテートフィルター（25CS045AN，孔径 0.45 µm，ADVANTEC 社製）により試水を濾過し，濾液を冷凍保存した．後日，オートアナライザー（QuAAtro2-HR，ビーエルテック社製）を用い，亜硝酸，硝酸，リン酸，ケイ酸の濃度（µM）を測定した．また，全有機体炭素計（TOC-V，島津製作所社製）を用い，NPOC 法（水中の無機炭素を事前に除去）により溶存有機炭素濃度（mg/L）を測定した．なお，本稿では硝酸と亜硝酸を合わせ，便宜的に硝酸・亜硝酸と表記する．

底生動物の採集

舞鶴湾の 3 地点（W01–03）と丹後海の 3 地点（K01–03）において，舞鶴水産実験所の教育研究船「緑洋丸」により調査用小型底曳網（網口幅 1.5 m，網口高 0.3 m，網目 3 mm）を用い，船速約 2 knot（約 3.7 km/h）にて 2–5 分曳網した．ただし，上記底曳網の破損にともない，2014 年の地点 K01 と K02 においては水工研 II 型桁網（網口幅 2.0 m，網口高 0.2 m，網目 0.2 mm）を使用した．曳網時間は底生動物の生息数と海底堆積物の状態に応じ調整した．また，曳網回数は原則として各年・各地点 1 回であったが，年・地点により 2 回曳網した場合もあった．採集物は氷冷して持ち帰り，翌日，生物種ごとに計数した．種同定は，京大フィールド研の講師の指導のもと，分類群ごとに図鑑や関連文献を参考に行った．種まで同定することを原則としたが，標本の破損や情報の不足により種まで同定することができなかった生物は上位分類群にまとめた．船載 GPS の座標データと国土地理院による「距離と方位角の計算[(2)]」から地点ごとに曳網距離を算出し，生物種ごとに曳網面積 100 m^2 あたりの採集個体数を算出した．

データの活用例

栄養塩濃度の経年変化

2012 年から 2021 年まで神社の森付近と河川において栄養塩濃度をほぼ毎年測定することができた．そこで，調査地点ごとの栄養塩濃度と調査前日までの累積降水量（3，5，10，15 日間）について，経年変化の傾向を確認し，調査地点間の類似点と相違点を検討した（図 4）．なお，累積降水量は気象庁アメダス（舞鶴）の日降水量データを利用した．

硝酸・亜硝酸は，神社の森（地点 J01）と神社入口（J02）では 20 µM 未満の低濃度で推移した．これに対し，他の調査地点では年変動が大きく，水路（地点

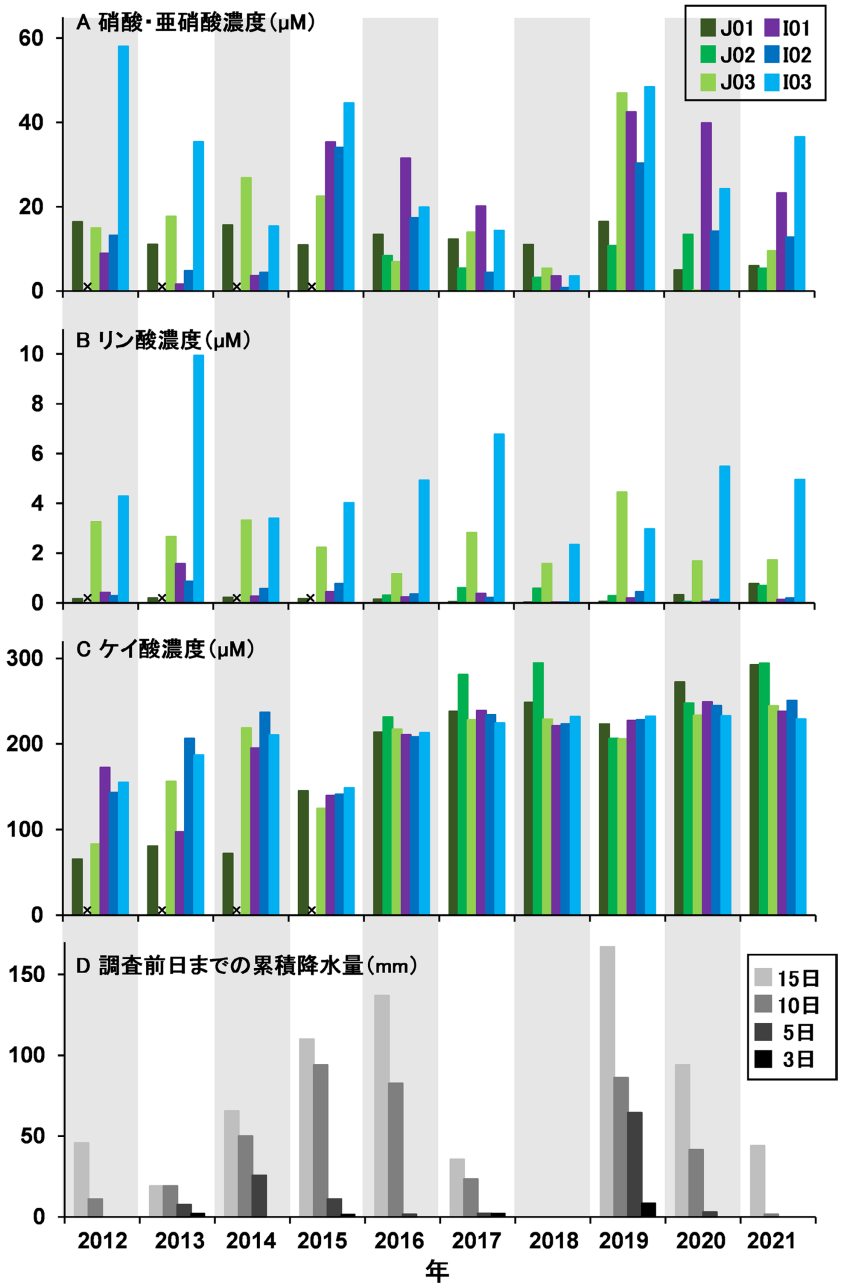

図 4．調査地点ごとの栄養塩濃度（μM）と調査前日までの累積降水量（mm）の経年変化．累積降水量は，気象庁アメダス（舞鶴）の日降水量データにもとづき，調査前 15，10，5，3 日間を合計することにより求めた．バツ印は欠測を示す．

J03）では調査前 5 日間の累積降水量と有意な正の相関があり，また，池内川と伊佐津川（地点 I01 と I02）では調査前 10 日間と 15 日間の累積降水量と有意な正の相関が認められた（いずれも Spearman の順位相関係数，$p < 0.05$）．一方，市街地を流れる天清川（地点 I03）では調査前の累積降水量にかかわらず 20 μM 以上の高濃度の年が多かった．なお，地点 I01 については，採水位置を 1.5 km 上流側に移動させた 2015 年以降，地点 I03 と同程度の高濃度が観測されるようになった．

リン酸は地点 I03 が最も高く，地点 J03 が次に高く，他の地点は常に 2 μM 未満の低濃度で推移した．なお，いずれの地点においても調査前の累積降水量との関係は不明瞭であった．一方，ケイ酸は，4 年間欠測した地点 J02 を除く全ての調査地点において，調査期間を通

し濃度が有意に上昇し（Spearman の順位相関係数，$p < 0.05$），2016 年以降は 200 μM から 300 μM の範囲で推移していた．そのため，調査前の累積降水量との関係は認められなかった．

流域の土地利用形態の経年変化を考慮しなければ，議論を深めることはできないが，興味深い現象として以下 2 点を指摘したい．まず，複数の調査地点において，調査前 5，10，15 日間の累積降水量と硝酸・亜硝酸濃度に有意な正の相関が認められたことである．土壌で微生物により生成された硝酸・亜硝酸のうち，植物や微生物に吸収されなかったものは河川へ流出する．森林から流出する硝酸濃度は降雨に伴う河川の流量変動によく対応し，流量増加時には上昇し，流量減少とともに低下する（大類ほか 1992，勝山ほか 2004）．ただし，降水の直接的な影響が 1 週間以上にわたり残るとは考えにくいため，本調査結果は渇水が進むほど硝酸・亜硝酸濃度が低下することを示している可能性が高い．実際，夏季に河川流量が減少した場合，渓流水中の硝酸濃度が特に低い値を示したと報告されている（勝山ほか 2004）．さらに，渇水時には河川水の滞留時間が長くなり，付着藻類や浮遊藻類による栄養塩の吸収が増えるため，特に硝酸濃度が低下すると言われている（三浦ほか 2017）．夏季渇水時には，河川水が減少し，硝酸・亜硝酸濃度が低下するばかりでなく，河川内において硝酸・亜硝酸が消費されるため，海域にほとんど供給されないと考えられる．

次に，多くの調査地点においてケイ酸が調査期間を通し有意に上昇していたことを指摘したい．河川水中のケイ酸は主に岩石や土壌に含まれるケイ酸塩鉱物が溶出したものであり，水が岩石や土壌と接触する時間が長くなるほど濃度が上昇する（勝山ほか 2004，熊谷ほか 2010）．ただし，洗濯業や繊維製品製造業などの事業場からの排水は河川水に比べ高濃度のケイ酸を含む（熊谷ほか 2011）．一方，流域にダムが建設されると，ダム内の珪藻がケイ酸を吸収するため，ダム下流側の濃度は低下し，海域への供給量も減少する（原島 2011）．実際，河川水のケイ酸濃度は全国的に低下傾向とみられていたが（熊谷ほか 1998，石塚ほか 2004，宮崎ほか 2009），山形県では 1996 年と 2014 年を比較した結果，平均 11％上昇していた（松田・熊谷 2017）．現時点で理由を究明することはできないが，最近，少なくとも一部の河川においてケイ酸濃度が上昇している可能性がある．

底生動物群集の経年変化

2012 年から 2021 年まで全地点において複数種の出現がほぼ毎年確認された魚類（硬骨魚綱）と甲殻類（軟甲綱）および貝類（二枚貝綱と腹足綱）について，地点ごとに群集構造の経年変化を調べた．今回は特に採集個体数と多様度指数（Shannon-Weaver の関数 H’）および種組成に注目した．代表例として，図 5 と図 6 に魚類の群集構造の経年変化を示す．なお，地点ごとに各年の採集個体数上位 5 種を年優占種とし，この年優占種のうち調査期間内の出現頻度上位 5 種を地点優占種として図示してある．

魚類の採集個体数は，舞鶴湾（地点 W01–03）では 10 個体/100 m^2 以上の場合が多く，100 個体/100 m^2 以上の場合も認められたのに対し，丹後海（地点 K01–03）では 10 個体/100 m^2 以上の場合は少なく，最大約 40 個体/100 m^2 であった．魚類と同様に，甲殻類と貝類も舞鶴湾における採集個体数が圧倒的に多い傾向であった．

逆に，魚類の多様度指数は，舞鶴湾では 1 未満の場合が多かったが，丹後海では 2019 年の地点 K02 を除き，常に 1 以上であった．一方，甲殻類と貝類の多様度指数に海域間の明確な差は認められなかった．

魚類の種組成に注目すると，舞鶴湾ではモヨウハゼ（*Acentrogobius pflaumii*）とハタタテヌメリ（*Repomucenus valenciennei*）が常に優占し，特にモヨウハゼが増加したときに魚類の採集個体数が増加し，多様度指数は低下する傾向であった．舞鶴湾と同様に，丹後海の地点 K03 においても同 2 種が優占していたが，モヨウハゼの寄与は舞鶴湾に比べ小さかった．一方，丹後海の地点 K01 と K02 では魚類の種組成が年により大きく異なったが，ネズミゴチ（*Repomucenus curvicornis*），ヒメジ（*Upeneus japonicus*），ササウシノシタ（*Heteromycteris japonicus*）などが優占する場合が多かった．なお，甲殻類と貝類の種組成はいずれの地点も年変動が大きかったものの，ヒラコブシ（*Philyra syndactyla*），ヒシガタコブシ（*Seulocia rhomboidalis*），ホトトギスガイ（*Arcuatula senhousia*）などが舞鶴湾に優占したのに対し，ヒメカノコアサリ（*Timoclea micra*）などは海域によらず突発的に優占する傾向であった．

本調査結果は，丹後海と舞鶴湾における沿岸底生魚類群集の既往知見（例えば，南ほか 1977，川瀬・甲斐 2012，田城ほか 2017）に概ね沿うものであったが，以下 2 点は特筆に値する．まず，丹後海の地点 K01 において，アラメガレイ（*Tarphops oligolepis*）が 2017 年以降継続的に採集されていることを指摘したい．本種は丹後海奥部に周年優占する魚種であったが（南ほか 1977），2013 年頃から採集記録が途絶えていたため，地域個体群が消滅した可能性が指摘されていた（田城ほか 2017）．本種の生活史は浅海域で完結しているとされる

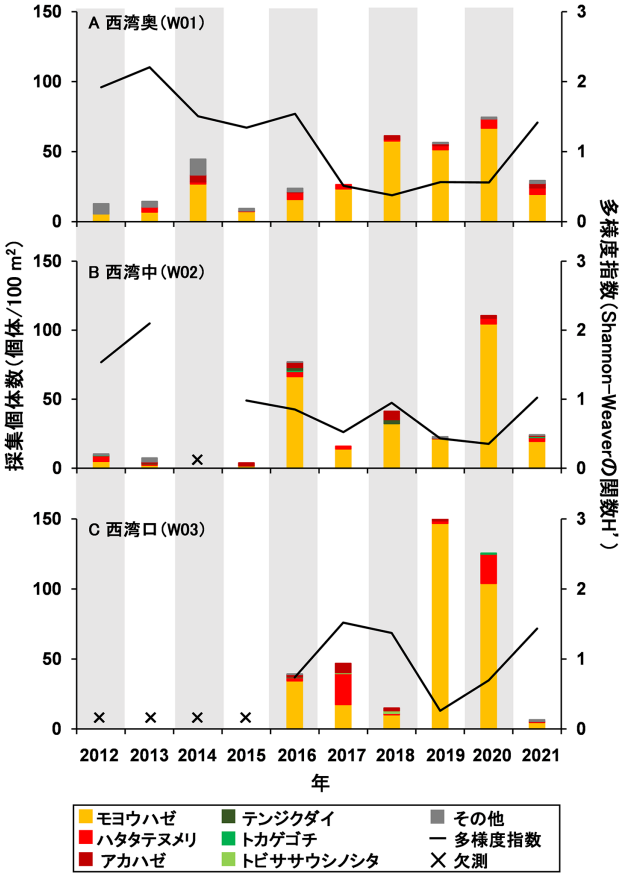

図 5．舞鶴湾における魚類の採集個体数（個体/100 m^2）と多様度指数（Shannon-Weaver の関数 H'）の経年変化．調査地点ごとに優占 5 種のみを表示．

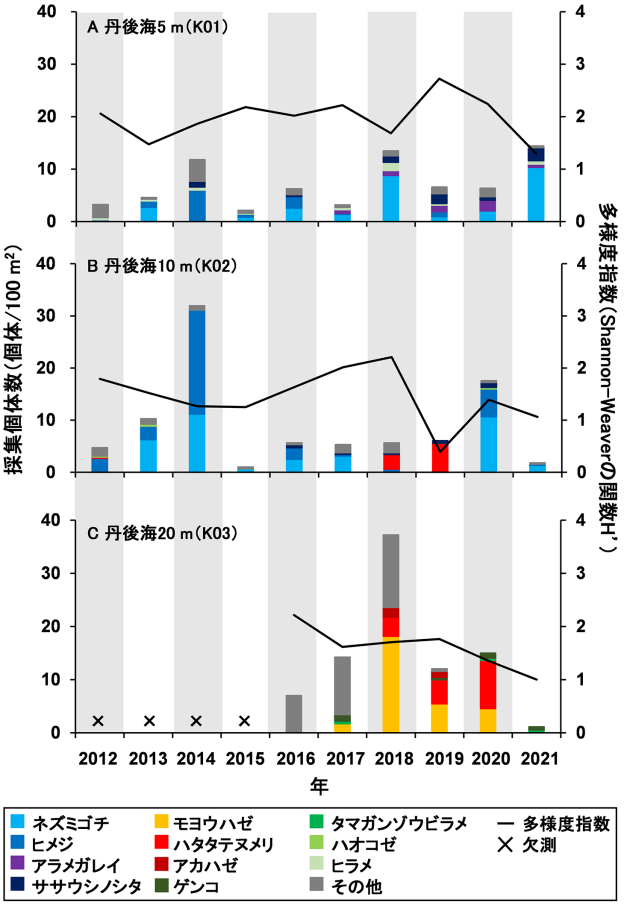

図 6．丹後海における魚類の採集個体数（個体/100 m^2）と多様度指数（Shannon-Weaver の関数 H'）の経年変化．調査地点ごとに優占 5 種のみを表示．

が（南 1983），2017 年頃に近隣海域から流れ着いた浮遊仔魚が生残し，丹後海奥部の地域個体群が復活したと考えられる．

次に，丹後海の地点 K02 と K03 において，ハタタテヌメリが 2018–2020 年に優占していたことを指摘したい．本種は丹後海奥部では水深 30 m 以深に生息するとされ（南ほか 1977），泥底を好むと言われている（成田ほか 2006）．由良川河口付近の地形と底質は，2017 年 10 月下旬の台風 21 号と 2018 年 7 月上旬の西日本豪雨にともなう由良川の記録的出水により大規模に変化した（Miwa et al. 2020）．その結果，丹後海奥部の底質が泥化し，水深 20 m 以浅の地点 K02 と K03 にもハタタテヌメリが多数生息するようになったと考えられる．なお，同期間に地点 K03 に優占していたモヨウハゼも泥底を好むとされる（鈴木ほか 2004，松井ほか 2014）．甲殻類と貝類についての議論は割愛するが，本調査結果は当該海域における各生物種の出現の記録にとどまらず，生息環境の時空間変化に応じた底生動物群集の応答の記録としても活用できると考えられる．

データファイルに関するメタデータ

データファイルの構成

本報告のデータは以下 4 つのデータファイル（すべて csv ファイル形式，文字コードは UTF-8）から構成される．すべてのデータファイルにおいて，欠損値は NA，異常値および測定不能は nd とした．

1）river_sea_water_quality_data_2006-2021.csv

列名	列名（英語）	詳細
調査日	Date	調査を実施した年月日
年	Year	調査を実施した年
場所	Location	調査を実施した場所
地点	Station	調査を実施した地点
水温（°C）	Temperature	測定された水温
pH	pH	測定された pH
塩分（PSU）	Salinity	測定された塩分
電気伝導率（EC）（mS/m）	Electric conductivity	測定された電気伝導率
濁度（FTU）	Turbidity	測定された濁度
溶存酸素（mg/L）	Dissolved Oxygen	測定された溶存酸素濃度
溶存有機炭素（DOC）（mg/L）	Dissolved Organic Carbon	測定された溶存有機炭素濃度
クロロフィル蛍光度	Chlorophyll fluorescence	測定されたクロロフィル蛍光度
懸濁物質（SS）（mg/L）	Suspended Solid	測定された懸濁物質濃度
亜硝酸（μM）	NO2	測定された亜硝酸濃度
硝酸（μM）	NO3	測定された硝酸濃度
硝酸・亜硝酸（μM）	NO2 + NO3	測定された硝酸濃度＋亜硝酸濃度
ケイ酸（μM）	SiO2	測定されたケイ酸濃度
リン酸（μM）	PO4	測定されたリン酸濃度
備考	Remarks	備考

2）sea_benthos_data_2012-2021.csv

列名	列名（英語）	詳細
年	Year	調査を実施した年
場所	Location	調査を実施した場所
地点	Station	調査を実施した地点
水深（m）	Depth	調査を実施した地点の水深
和名	Japanese name	採集された動物の和名
学名	Scientific name	採集された動物の学名
科名	Family name	採集された動物の科名
目名	Order name	採集された動物の目名
綱名	Class name	採集された動物の綱名
採集個体数	Number of individuals collected	採集された動物の個体数
採集個体数 /100 m^2	Number of individuals per 100 m^2	100 m^2 あたりの採集個体数（曳網距離，網幅，採集個体数から算出）

3）sea_position_data_2012-2021.csv

列名	列名（英語）	詳細
年	Year	調査を実施した年
場所	Location	調査を実施した場所
地点	Station	調査を実施した地点
水深（m）	Depth	調査を実施した地点の水深
水質測定緯度（°）	Latitude N（water quality measurement）	水質測定を行った地点の北緯度
水質測定経度（°）	Longitude E（water quality measurement）	水質測定を行った地点の東経度
曳網開始緯度（°）	Latitude N（start of trawling）	曳網を開始した地点の北緯度
曳網開始経度（°）	Longitude E（start of trawling）	曳網を開始した地点の東経度
曳網終了緯度（°）	Latitude N（end of trawling）	曳網を終了した地点の北緯度
曳網終了経度（°）	Longitude E（end of trawling）	曳網を終了した地点の東経度
曳網距離（m）	Distance of trawling	曳網を行った距離（曳網開始座標と曳網終了座標から算出）

4）sea_water_column_data_2012-2021.csv

列名	列名（英語）	詳細
年	Year	調査を実施した年
場所	Location	調査を実施した場所
地点	Station	調査を実施した地点
測定水深（m）	Depth of measurement	測定を行った水深
水温（°C）	Temperature	測定された水温
濁度（FTU）	Turbidity	測定された濁度
塩分（PSU）	Salinity	測定された塩分
溶存酸素（mg/mL）	Dissolved Oxygen	測定された溶存酸素濃度
クロロフィル蛍光度	Chlorophyll fluorescence	測定されたクロロフィル蛍光度

謝　　辞

本調査に快く協力してくださった地元の方々に心から感謝する．また，本調査を毎年実施してきた京都府立西舞鶴高等学校理数探究科と京都大学フィールド科学教育研究センターの関係者の皆さまにも深く感謝する．最後に，本調査を経済的に支援してくださった以下 3 件のプログラムに謝意を表する．文部科学省「サイエンス･パー

トナーシップ・プロジェクト（SPP）」（平成 18–26 年）．科学技術振興機構「中高生の科学研究実践活動推進プログラム」（平成 27–30 年）．笹川平和財団海洋政策研究所・日本財団「海洋教育パイオニアスクールプログラム単元開発部門」（平成 31 年–令和 3 年）．

注

（1）WoRMS（World Register of Marine Species）（https://www.marinespecies.org/），2022 年 6 月 28 日確認．

（2）距離と方位角の計算（https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/bl2stf.html），2022 年 6 月 15 日確認．

引用文献

原島　省（2011）シリカ欠損：ケイ素循環への人為影響と海洋生態系の変質．地球環境 16(1): 61–70.

石塚正秀・紺野雅代・井伊博行・平田健正（2004）溶存ケイ素に着目した紀ノ川流域における水質特性．水工学論文集 48: 1483–1488.

勝山正則・大手信人・小杉賢一朗（2004）風化花崗岩山地源流域の渓流水 NO_3^- 濃度形成に対する水文過程のコントロール．日本林学会誌 86(1): 27–36.

川瀬裕司･甲斐嘉晃（2012）若狭湾から採集された魚類．千葉県立中央博物館自然誌研究報告 12(1): 37–42.

熊谷勝巳・今野陽一・黒田　潤・上野正夫（1998）山形県における農業用水のケイ酸濃度．日本土壌肥料学雑誌 69(6): 636–637.

熊谷博史・田中義人・白川ゆかり・松尾　宏・金並和重（2010）有明海北東部流入河川の溶存態ケイ素濃度の予測．水環境学会誌 33(3): 17–23.

熊谷博史・田中義人・石橋融子・松尾　宏（2011）特定施設排出水中の溶存態ケイ素の実態調査．水環境学会誌 34(1): 11–17.

松田　晃・熊谷勝巳（2017）山形県における農業用水からのケイ酸とカリウムの供給量の推定．日本土壌肥料学雑誌 88(6): 541–548.

松井彰子・上野正博・山下　洋（2014）京都府舞鶴湾の同所的生息地におけるキララハゼ属 3 種の成長および繁殖特性．水産海洋研究 78(2): 75–85.

南　卓志（1983）アラメガレイの初期生活史．日本水産学会誌 49(4): 533–539.

南　卓志・中坊徹次・魚住雄二・清野精次（1977）若狭湾由良川沖の底生魚類相．昭和 50 年度京都府水産試験場報告 74–100.

三浦真吾・高津文人・今井章雄・小松一弘（2017）10 年間の月例水質調査における栄養塩等流出特性の降雨時出水を中心とした短期変動要因の解析．水環境学会誌 40(1): 1–9.

Miwa, H., M. Omura, T. Wada, Y. Kato and K. Kanada (2020) Dynamic state of river-mouth bar in Yuragawa River and application of drone photography image to obtain its topographical data. Proceedings of the 22nd IAHR-APD Congress 2020: 1–3–5.

宮﨑成生・関和孝博・吉田智彦（2009）栃木県における農業用水の水質実態およびその経年変化．日本作物学会紀事 78(2): 234–241.

本村浩之（2022）「日本産魚類全種目録　これまでに記録された日本産魚類全種の現在の標準和名と学名」（https://www.museum.kagoshima-u.ac.jp/staff/motomura/jaf.html）2022 年 6 月 28 日確認．

成田光好・Monthon Ganmanee・関口秀夫（2006）伊勢湾におけるハタタテヌメリ *Repomucenus valenciennei* の個体群動態．日本水産学会誌 72(5): 860–872.

大類清和・生原喜久雄・相場芳憲（1992）降雨イベントでの渓流水の溶存物質の流出特性と流出成分の分離．日本林学会誌 74(3): 203–212.

鈴木寿之・渋川浩一・矢野維幾（2004）スジハゼ C（キララハゼ属の 1 種 C）．「決定版 日本のハゼ」（瀬能宏，監修），p. 418．平凡社，東京．

田城文人・鈴木啓太・上野陽一郎・船越裕紀・池口新一郎・宮津エネルギー研究所水族館・甲斐嘉晃（2017）近年日本海南西部海域で得られた魚類に関する生物地理学的・分類学的新知見―再現性を担保した日本海産魚類相の解明に向けた取り組み―．タクサ　日本動物分類学会誌 42: 22–40.

山下亜紀郎（2019）メッシュデータを用いた流域環境解析―土地利用と水需要に着目して―．環境科学会誌 32(2): 36–45.