

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K15302

研究課題名(和文)内湾からの栄養塩流失の鍵を握る準易分解性溶存有機物の動態の解明

研究課題名(英文) Estimation of the impact of semi-labile dissolved organic nitrogen on the nutrient cycle in the coastal sea

研究代表者

小林 志保 (Kobayashi, Shiho)

京都大学・フィールド科学教育研究センター・助教

研究者番号：60432340

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：分解に100日以上を要する難分解性溶存有機窒素は、海域の水質指標にはかかわるが生物生産に関わらないためその増加は近年問題となっている。一方、内湾上層水の交換時間は平水時でも20日程度であるため分解にそれよりも日数が必要な溶存有機態窒素は、栄養塩に戻るより早く湾外に流出すると考えられるが、この画分の溶存有機態窒素の挙動については不明点が多い。本研究では難分解ではないものの分解に20日以上を要する準易分解性有機物の割合を有機物分解実験により実測し、流動モデルを用いてその湾外への流出フラックスが湾内への栄養塩流入フラックスの何割にあたるか算出することにより、栄養塩循環への影響を定量化することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに水域の生物生産環境への影響が注目されていた難分解性溶存有機窒素に加え、本研究では分解に要する期間が海水交換時間よりも長いために栄養塩に戻るより早く湾外に流出すると考えられる準易分解性溶存有機窒素のフラックスを算出し、それが陸域から流入した栄養塩の流入フラックスの何割にあたるかを示した。生物生産性を維持するための栄養塩濃度レベルの管理は沿岸海域で急務となっており、その成果は沿岸海域における持続的な生物生産と沿岸漁業の発展に、将来にわたって役立てることができる。また同時に、沿岸陸棚海域においてCOD(化学的酸素要求量)などの水質指標の改善が進まない原因の解明にもつながると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The increase of refractory dissolved organic nitrogen (DON) in aquatic area, which is not decomposed after 100 days, has recently treated as a problem because it has put a load on water quality management but may not contribute as nutrient. Moreover, it is not clear the influences of the semi-labile DON, which is decomposed within 100 days but not decomposed after 20 days, on the nutrient cycle. It is important to investigate such DON because the water exchange rate of the upper layer of major bay with freshwater influences is within 20 days, then the DON may possibly flow out of the bay before it contributes as nutrient. In this study, we first measured the rate of semi-labile DON by the repeated field observations and decomposition experiments. We then estimated the outflow flux of semi-labile DON to out of the bay using numerical flow simulation and the inflow flux of nutrient from main river, and finally quantified the impact of semi-labile DON on nutrient cycle in the bay.

研究分野：海洋環境学

キーワード：溶存有機物 難分解性溶存有機物 準易分解性溶存有機物 栄養塩循環 沿岸海域

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東京湾・大阪湾・伊勢湾などの内湾では、赤潮や貧酸素化は完全には解消せず、その一方で海域の栄養塩濃度は低下し続けており、栄養塩不足が海藻などの水産物の生産量および生物多様性を低下させる可能性が指摘されている。これを受けて、各海域において生物生産性と水質の両方を維持する栄養塩濃度レベルの管理が求められている。

沿岸海域には陸域から淡水とともに栄養塩が流入する。近年の人工衛星センサの発達により空間解像度 500m の表層塩分分布の毎日毎時の変化が推定可能になった(図 1)。これと流動シミュレーションと組み合わせることにより、低塩分の特徴を持つ湾内上層水の湾外への流出を連続的に定量化することができるようになる。

一方、陸域から流入する栄養塩は海域に入ると植物プランクトンに取り込まれて有機態に変化し、大阪湾内では溶存有機態窒素が全窒素のうち最も大きな割合を占めることが知られている。このうち 100 日間で分解されない難分解性の溶存有機物については多くの研究があるが、一方大阪湾上層水の交換時間は平時時でも 20 日程度であり分解にそれよりも日数が必要な溶存有機態窒素は、栄養塩に戻るより早く湾外に流出する。分解時間が 20 日以上 100 日以内の準易分解性有機物の生成が栄養塩環境に及ぼす影響については不明な点が多い。

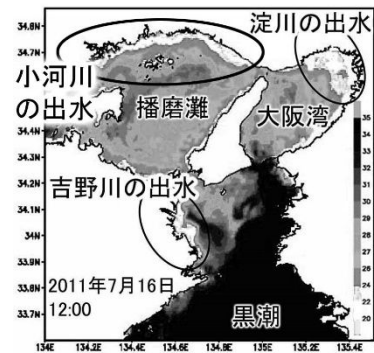


図 1 人工衛星による低塩分水の可視化

2. 研究の目的

瀬戸内海東部に位置し、湾奥に河川水が流入する大阪湾を対象海域として、はじめに安定同位体比分析と有機物分解実験によって、湾内上層水中に存在する難分解および準易分解性溶存有機物を定量化する。次に、海色衛星データおよび数値モデルによる推定流速を用いて低塩分水の動態を解析し、湾内上層水の湾外への流出量を定量化する。これにより、内湾に供給された栄養塩の何割が準易分解性溶存有機物として湾外に流失するかを明らかにし、準易分解性溶存有機物が沿岸海域の栄養塩環境に及ぼす影響を定量評価する。

3. 研究の方法

大阪湾に流入する一級河川(淀川、大和川)の淡水域、淀川河口部汽水域、大阪湾全域の 20 定点、紀伊水道及び外域において(図 2) 2015~2017 年の 2,5,7,8,9,11 月に水温・塩分測定および採水を行い、各態窒素・リン・炭素を分析した。また採水した水の一部を恒温振盪器に 100 日間入れて有機物分解実験を行い、100 日後に残存する難分解性有機物、大阪湾上層水の平均的交換時間である 20 日以内に分解される易分解性有機物、それ以外の準易分解性有機物を定量化した。

静止海色衛星と現場測定データを用いて東部瀬戸内海における表層塩分の変動を 2011 年~2017 年まで解析した。またそれに基づく数値シミュレーションの結果から大阪湾上層水の流出フラックスを求め、上記により算出した準易分解性溶存有機窒素の量に乗じて、湾外へ流出する準易分解性溶存有機窒素の量を見積もった。その流出量が、湾内への栄養塩(溶存無機態窒素)流入量の何割にあたるか計算し、準易分解性溶存有機物の存在が湾内の栄養塩環境に及ぼす影響を評価した。

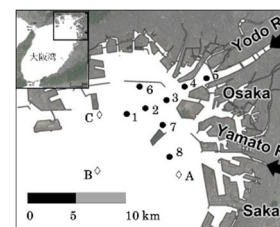
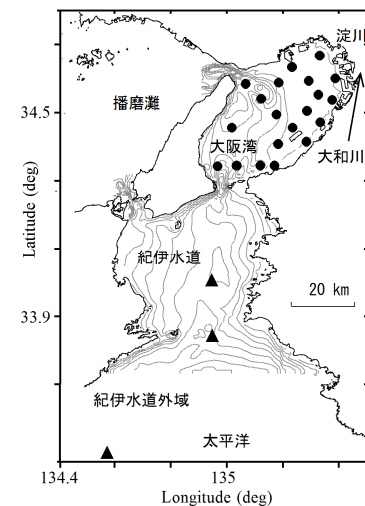


図 2 対象海域。左図の丸印、三角印はそれぞれ大阪府および徳島県による観測地点を示す。右図の丸印は淀川汽水域における観測地点を示す。

4. 研究成果

(1) 淡水域から汽水域における窒素の構成比の変化

河川淡水域における溶存無機態(DIN)濃度は 29 - 65 μM の範囲であった。栄養塩となる DIN の全窒素に対する割合を 7, 8, 9 月の結果に基づいて求めると、河川淡水域では $64 \pm 15\%$ 、河口域の塩分 0 - 10 の領域では $42 \pm 9\%$ 、塩分 11 - 20 の領域では $26 \pm 28\%$ 、塩分 21 以上の領域では $28 \pm 12\%$ であった。また DIN の割合を汽水域の最も外側に位置する St.1 についてのみ平均すると $7 \pm 7\%$ であり、ほとんどが有機態窒素になっていた。

採水後研究室に持ち帰り有機物分解実験に用いた St.1 の水には DIN はほとんど含まれず、有機態窒素のうち約 50% は粒状有機態窒素(PON)であり、沈降速度を持つ形態であった。一方低塩分水とともに沖側へ流出すると考えられる溶存有機態窒素(DON)については、St.1 における有機物分解実験の結果を平均することにより、 $27 \pm 8\%$ が易分解、 $29 \pm 4\%$ が難分解と推定された。こ

ことから DON の約 4 割は、分解に 20 日以上 100 日以内の日数を要する準易分解性であると考えられた。

(2) 湾全体における窒素の構成比

大阪湾内の DIN 濃度は夏季には、淀川・大和川河口付近と明石海峡に近く鉛直混合の強い定点では 1-2 μM 程度あるが、それ以外の地点では 0.5 μM 以下と枯渇していた。DON, PON の平均濃度は湾東部ではそれぞれ 11 μM , 12 μM , 湾西部では 8 μM , 3 μM であった。湾内ではほとんどの窒素が有機態として存在しており、各地点の有機態窒素濃度のうち PON の割合を計算すると平均 $31 \pm 5\%$ であり、残りの約 7 割が DON であった。また有機物分解実験の結果 DON のうち平均 3 割が易分解性であったことから、それ以外の約 7 割は分解に 20 日以上かかる準易分解性または難分解性であると考えられた。

(3) 海色衛星データを用いた東部瀬戸内海における低塩分水流経路の推定

2015 年から 2018 年の現地観測により得られたデータセット (N = 467) を用いて塩分と $ay(443)$ の関係を調べたところ、塩分が 16 以上の定点については有色溶存有機物光吸収係数 $ay(443)$ と塩分との間の決定係数 (R^2) は 0.76 と比較的高かった。静止衛星 COMS/GOCI から得られる衛星を用いることにより各年の 7 月から 9 月について 1 時間ごとの塩分分布が可視化され、潮時による塩分フロントの移動が確認された。また、淀川流量が 1500 m^3/s を超える期間中には、潮時によらず塩分フロントが南下していく様子が伺われた。さらに河川流量の平水時には紀伊水道西部に沿って低塩分水が流出し、出水時には紀伊水道中央部を縦断し太平洋側へと低塩分水が流出していく様子が伺われた。

(4) 数値モデルによる流出フラックスの算出

CTD 観測の結果では塩分躍層が水深 2m 付近にあり、表層から水深 2 m の層から塩分 28 以下低塩分水が流出していた。そこで 2011-2015 年の瀬戸内海全体の水温・塩分・流動の再現計算のうち日平均南向き流速を抽出し、大阪湾奥の緯度 35.65 度の観測線において水深 0-2 m の断面を通る流出フラックスの夏季平水時の平均値を算出した。これに求めた 20 日以内に分解されない DON の濃度を乗じると、難分解性 DON, 準易分解性 DON はそれぞれ 4 ton/day , 5 ton/day と算出された。

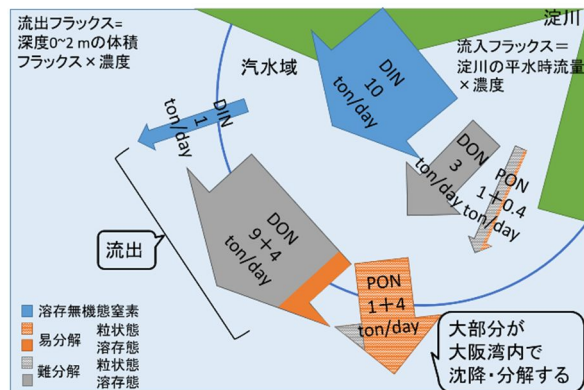


図3 淡水域および汽水域表層からの窒素の形態別・分解特性別の流出フラックス。

(5) 準易分解性 DON が海域の栄養塩濃度レベルに及ぼす影響

淀川淡水域から流入する DIN の一日当たりの流入量を、平水時の平均流量に平均濃度を乗じて求めると 10 ton/day であった。また淀川から流入する DON のほとんどは海水に入ると分解されないため難分解と考えられ、そのフラックスは 3 ton/day であった。の結果と合わせると、湾内で生じ、湾内で栄養塩に戻ることなく湾外に流出すると考えられる準易分解性 DON フラックスは、平水時には淀川から流入する DIN フラックスの約 5 割にあたり、湾内の栄養塩環境に大きな影響を及ぼしていることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kei Senbokuya, Shiho Kobayashi, Noriyuki Ookei, Yoh Yamashita	4. 巻 85(2)
2. 論文標題 Impact of nighttime hypoxia on ark shell <i>Scapharca broughtonii</i> mortality on a semi-enclosed	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fisheries Science	6. 最初と最後の頁 369-377
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12562-018-01284-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 小林志保, 生田健吾, 杉本 亮, 本田尚美, 山田 誠, 富永 修, 小路 淳, 谷口真人	4. 巻 85(1)
2. 論文標題 山形県釜石海岸における海底湧水の定量化と栄養塩環境への影響評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本水産学会誌	6. 最初と最後の頁 30-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kobayashi, S. T. Fujiwara	4. 巻 16(3)
2. 論文標題 Influences of Terrestrial Inputs of Organic Matter on Coastal Water and Bottom Sediments in the Seto Inland Sea, Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Water and Environment Technology	6. 最初と最後の頁 138-148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Honda, Hisami; Sugimoto, Ryo; Kobayashi, Shiho; Endo, Aiko; Oh, Tomohiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Submarine Groundwater Discharge and its Influence on Primary Production in Japanese Coasts: Case	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Water-Energy-Food Nexus: Human-Environmental Security in the Asia-Pacific Ring of Fire	6. 最初と最後の頁 101-115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小林 志保, 中田聡史	4. 巻 47(6)
2. 論文標題 高解像度人工衛星リモートセンシングによる大阪湾の赤潮動態解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 環境技術	6. 最初と最後の頁 302-306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小林 志保, 中田聡史, 山本圭吾, 秋山諭, 淵真輝, 林美鶴, 石坂丞二	4. 巻 76
2. 論文標題 衛星リモートセンシングを用いた大阪湾における赤潮動態解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 瀬戸内海	6. 最初と最後の頁 54-56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小林志保, 松村圭高, 河村耕史, 中嶋昌紀, 山本圭吾, 秋山諭, 上田幸男	4. 巻 40
2. 論文標題 大阪湾における溶存有機物の起源推定および栄養塩の形態変化	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 水環境学会誌	6. 最初と最後の頁 97-105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Shiho, Sugimoto Ryo, Honda Hisami, Miyata Yoji, Tahara Daisuke, Tominaga Osamu, Shoji Jun, Nakada Satoshi, Yamada Makoto, Taniguchi Makoto	4. 巻 4
2. 論文標題 High-resolution mapping and time-series measurements of 222Rn concentrations and biogeochemical properties related to submarine groundwater discharge along the coast of Obama Bay, a semi-enclosed sea in Japan.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 3-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-017-0124-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sugimoto Ryo, Kitagawa Katsuhiko, Nishi Saori, Honda Hisami, Yamada Makoto, Kobayashi Shiho, Shoji Jun, Ohsawa Shinji, Taniguchi Makoto, Tominaga Osamu	4. 巻 563
2. 論文標題 Phytoplankton primary productivity around submarine groundwater discharge in nearshore coasts	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Marine Ecology Progress Series	6. 最初と最後の頁 25-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakada Satoshi, Kobayashi Shiho, Hayashi Masataka, Ishizaka Joji, Akiyama Satoshi, Fuchi Masaki, Nakajima Masaki	4. 巻 0916-8370
2. 論文標題 High-resolution surface salinity maps in coastal oceans based on geostationary ocean color images: quantitative analysis of river plume dynamics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-017-0459-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 小林 志保, 藤原 建紀, 駒井 幸雄, 田中 周平, 鈴木 裕識	4. 巻 40
2. 論文標題 沿岸海域の貧酸素化を引き起こす有機物の起源推定: 炭素安定同位体比を用いたアプローチ	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 水環境学会誌	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi, Shiho; Nakada, Satoshi; Nakajima, Masaki; Yamamoto, Keigo; Akiyama, Satoshi; Fuchi, Masaki; Hayashi, Masataka; Ishizaka, Joji	4. 巻 15
2. 論文標題 Visualization of the distribution of dissolved organic matter in Osaka Bay using a satellite ocean color sensor (COMS/GOCI)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Water and Environment Technology	6. 最初と最後の頁 55-64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi, Shiho; Nakada, Satoshi; Takagi, Shuzo; Hirose, Naoki	4. 巻 3
2. 論文標題 Parameter optimization of a 3D coastal model using Green's functions for modelling river plume	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 dynamicsJournal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 153-164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi, S., S.Nakada, A. Futamura, K. Nagamoto, T.Fujiwara	4. 巻 17(3)
2. 論文標題 Observation and modeling of seawater exchange in a strait-basin system in the Seto Inland Sea, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Water and Environment Technology	6. 最初と最後の頁 141-152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 渡部 夏帆, 小林 志保, 淵 真輝, 浅岡 聡, 林 美鶴	4. 巻 43(3)
2. 論文標題 淀川河口部汽水域における有機物の起源と分解特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 水環境学会誌	6. 最初と最後の頁 87-96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 小林志保*, 中田聡史, 山本圭吾, 秋山諭, 上田幸男, 湯浅明彦, 原田慈雄, 御所豊穂, 淵真輝, 生田健吾, 田中佑一, 石坂丞二
2. 発表標題 Estimation of origin of dissolved organic matter in Osaka Bay and the visualization of its outflow toward the outer Kii Channel
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡部夏帆*, 小林志保, 中田聡史, 淵真輝, 浅岡聡, 林美鶴
2. 発表標題 淀川河口域における植物プランクトン由来有機物の生成と大阪湾奥の貧酸素化への影響
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林 志保, 渡部 夏帆, 中田 聡史, 淵 真輝, 浅岡 聡, 林 美鶴
2. 発表標題 河口部汽水域における栄養塩濃度の変動要因解析
3. 学会等名 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡部夏帆・小林志保・中田聡史・淵真輝・浅岡聡・林美鶴
2. 発表標題 淀川河口域における有機物の起源と分解特性
3. 学会等名 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shiho Kobayashi a, Satoshi Nakada b, Akira Futamura c, Kazuhisa Nagamoto d, Tateki Fujiwara
2. 発表標題 Observation and Modeling of Seawater Exchange in a Strait-Basin System in the Seto Inland Sea, Japan
3. 学会等名 WET2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shiho Kobayashi, Tateki Fujiwara
2. 発表標題 The Spread of Terrestrial Organic Matter into a Coastal Sea during Flood Events and its Impact on the Sediments; a case study in the Seto Inland Sea, Japan
3. 学会等名 WET2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡部夏帆, 淵真輝, 中田聡史, 林美鶴, 小林志保
2. 発表標題 淀川河口域における有機物の生成・分解と貧酸素化への影響
3. 学会等名 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中佑一, 生田健吾, 山本圭吾, 秋山諭, 原田慈雄, 御所豊穂, 湯浅明彦, 石坂丞二, 中田聡史, 小林志保
2. 発表標題 リモートセンシングを用いた大阪湾から紀伊水道への溶存有機物の流出経路の推定
3. 学会等名 瀬戸内フォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 生田健吾, 上田幸男, 湯浅明彦, 池脇義弘, 棚田教生, 小林志保
2. 発表標題 徳島県沿岸ワカメ漁場における栄養塩起源推定
3. 学会等名 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Kobayashi, K. Watanabe, K. Yamamoto, S. Akiyama, S. Tanaka, M.Ueda
2. 発表標題 Seasonal and Spatial Variations of Dissolved Organic Carbon in Osaka Bay, Japan
3. 学会等名 WET2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林志保, 久米学, Hyojin Ahn, 遠見由美, Edouard Lavergne, 寺島佑樹, Feng Ye, 亀山哲, 甲斐嘉晃, 山下洋, 笠井亮秀
2. 発表標題 環境DNAによる森里海連環の解明～河口域魚類群集に底層溶存酸素濃度が及ぼす影響～
3. 学会等名 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----