

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02265

研究課題名(和文) 底質改善と施肥の相乗効果によるアサリ成長促進と干潟の物質循環解析

研究課題名(英文) Enhancement of Asari clam growth by synergistic effects combining remediation and fertilization of sediments and analyses of material circulation in the tidal flat

研究代表者

山本 民次 (Yamamoto, Tamiji)

広島大学・統合生命科学研究科(生)・名誉教授

研究者番号：40240105

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：アサリの生産量は全国的に急減した。瀬戸内海では硫化水素の発生と、負荷削減が大きな原因と考えられている。そこで、底質中の硫化水素を抑制し、同時に窒素・リンを溶出することで、アサリのエサとなる微細藻類を増やし、アサリの成長を促進する肥料を用いて、実干潟で試験を行った。実測に加え、地下水流動と浸透、および底泥中の酸化還元反応などを含む高度な生態系モデルを新たに開発した。アサリの生残率は100%であり(対照区では78%)、20%の増重が得られた。数値モデルは干潟での物質循環を忠実に精度良く再現した。感度解析によりアサリの成長に最適な肥料個数は1平米あたり0.5個であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水産物自給率が60%を切るようになり、遠洋漁業が困難となる中、沿岸域での増養殖の比重を高めざるを得ない。アサリは国民的海産物であったが、近年、ほとんど獲れない生物となった。現在は、中国、韓国などからの輸入によって需要が満たされる状況であるが、食の安全などから、国内アサリの生産への期待が大きい。このようなことから、今回の研究成果は社会実装につながるものであり、安全・安心な国内産アサリの生産に向け、企業が注目するところである。

アサリ資源量の減少の原因を克服するための新たな施肥材の開発と、数値モデル計算によって成果の評価を行った点で学術的に大きな進歩である。

研究成果の概要(英文)：Production of Asari clam has been decreasing sharply. The major causes are generation of H₂S and reduction of N and P from the land. Then, we applied the fertilizer which have abilities to reduce H₂S and simultaneously solute N and P which enhance the growth of microalgae that are the feed of Asari clam. In addition to observation at tidal flat, we developed a sophisticated ecosystem model consisting of ground water penetration and permeation, and reduction-oxidation reactions in the sediments, and evaluated the material circulation in the tidal flat. The observed survival rate of Asari was obviously high (100%) compared to that of the site without fertilizer (78%). The growth was enhanced 20%. A sensitivity analysis revealed that the optimum fertilizer required for sufficient growth of Asari clam was 0.5/m

研究分野：水圏生態環境学

キーワード：アサリ 干潟 物質循環 肥料 貧栄養 数値モデル 地下水 硫化水素

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

水産物自給率が60%を切るようになり、遠洋漁業が困難となる中、沿岸域での増養殖の比重を高めざるを得ない。アサリは国民的海産物であったが、近年、ほとんど獲れない生物となった。現在は、中国、韓国などからの輸入によって需要が満たされる状況であるが、食の安全などから、国内アサリの生産への期待が大きい。とくに、瀬戸内海でのアサリ生産量の低下が顕著である。

2. 研究の目的

本研究では、生産量が大きく減少したアサリを増やすことを目的とし、上述した2つのアサリ減少要因を改善するための底質改善機能を持つ施肥材を完熟発酵鶏糞をベースとして別途開発し(企業との共同研究で開発)これを干潟に適用してその効果を観測・観察データから得る。さらに、アサリだけでなく干潟内のその他生物を含む食物連鎖、およびそれらを取り巻く物理・化学的環境などを導入した数値生態系モデルを構築し、施肥材の効果を科学的に評価し、施肥材の最適適用個数を割り出す。

3. 研究の方法

(1)干潟フィールド試験

別途開発した施肥材を用いて、実際の干潟においてアサリの成長試験を行った。試験を行った干潟は、広島県尾道市浦崎町海老地区の人工干潟である。試験は2018年10月~2019年6月の9ヵ月間である。縦10m×横10mの面積を横幅2.5mずつの区画となるように分割し、試験区2、試験区1、対照区(Control)とした。試験区1には施肥材を10個設置し、試験区2には試験区1の2倍量(20個)設置した。10月に殻長約26mm前後のアサリ(福岡県産;浜武漁協)を約306 inds m⁻² 散布して試験を実施したが、1ヵ月後に設備の流出が確認されたため、12月に試験区を再設置し、殻長26mm前後(平均:25.9mm)のアサリを約271 inds m⁻² 再散布した。海水、底泥などの調査を定期的に行った。浮遊系と底生系を結合させた数値生態系モデルを作成し、試験の評価を行うとともに、感度解析を行った。本モデルのコンパートメントは以下の通りである。用いた式とパラメータは省略する。

浮遊系:リン酸態リン(P₀₄-P)、溶存有機態リン(DOP)、デトライタス態リン(Det-P)、硝酸態窒素(NO₃-N)、亜硝酸態窒素(NO₂-N)、アンモニウム態窒素(NH₄-N)、溶存有機態窒素(DON)、デトライタス態窒素(Det-N)、植物プランクトン態リン(Phypla-P)、動物プランクトン態リン(Zoopla-P) 溶存酸素(DO)、硫酸イオン(SO₄²⁻)、硫化水素(H₂S)、元素状硫黄(S₀)、硫化鉄(FeS)、二硫化鉄(FeS₂)、リンと結合した水酸化鉄(FeOOH P)、水酸化鉄(FeOOH)、鉄イオン(Fe²⁺)、二酸化マンガン(MnO₂)、マンガンイオン(Mn²⁺)

底生系: P₀₄-P、DOP、Det-P、底生付着微細藻態リン(BMA-P)、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、DON、Det-N、DO、SO₄²⁻、H₂S、S₀、FeS、FeS₂、FeOOH P、FeOOH、Fe²⁺、MnO₂、Mn²⁺

微細藻類(植物プランクトンおよび底生付着微細藻類)のリン量は、蛍光光度計で測定したChl. a量から換算した。水温、塩分、溶存酸素、クロロフィルa、圧力、光子量などについて測器を設置して連続記録データを得、これを数値モデルの外部因子として用いた。計算に用いたパラメータは、次の通りである。浮遊系はKittiwanih et al. (2007)を、底泥中の微量金属を含む酸化還元反応はFossing et al. (2004)を、底生動物に関しては小沼ら(2002)や安岡ら(2005)を主に参考にした。直上水と沖合水との水交換を調整項とし、そこに含まれる栄養塩類、プランクトン類の流入・流出は水の交換とともに起こるものとした。大気および底泥-0.1m以深を境界条件として、2018年10月9日の調査データを初期値として与え、ソフトウェア(Stella Architect ver.1.7.1、isee systems)を用い、オイラー法によりタイムステップ(Δt)0.03125(1/32) dayで、2018年10月9日から2019年6月17日までの251日間の計算を行った。現場試験データの再現を行ったうえで、施肥材の施用量についての適正值を得るため、感度解析を行った。

4. 研究成果

干潟調査結果において、間隙水中のDIN、DIP濃度などの上昇がみられた(Fig. 1)。図には、調査結果とともに数値モデルによる計算出力も同時に示した。栄養塩の溶出は、施肥材からの物質の溶出であると考えられる。

アサリも施肥区では無施肥区よりも成長した(Fig. 2)。図には施肥材の投与数を変えて感度解析を行った結果も示してある。施肥を行ったRun 2~4では、無施肥であるRun 1と比較して、アサリ殻長が大きくなったことが確認できる。

研究対象とした干潟では、微細藻の増殖は冬季には光や水温によって制限され、冬季~春季には栄養塩濃度によって制限されることが確認された(Fig. 3)。モデルでは、現場の餌濃度(F) < 制限餌濃度(F*)の場合、成長阻害が起こるように設定されている。F*は成長にともなって変

化し ($0.38 \sim 0.96 \mu\text{g L}^{-1}$) 対照区では春季に $F < F^*$ となり、餌不足であったことが示唆された (Fig. 4)。以上、本研究で対象としたような貧栄養な干潟では、施肥材を使用することで、栄養塩を溶出させ、それによって微細藻が増殖し、最終的にアサリの増殖を促進できることが示唆された。

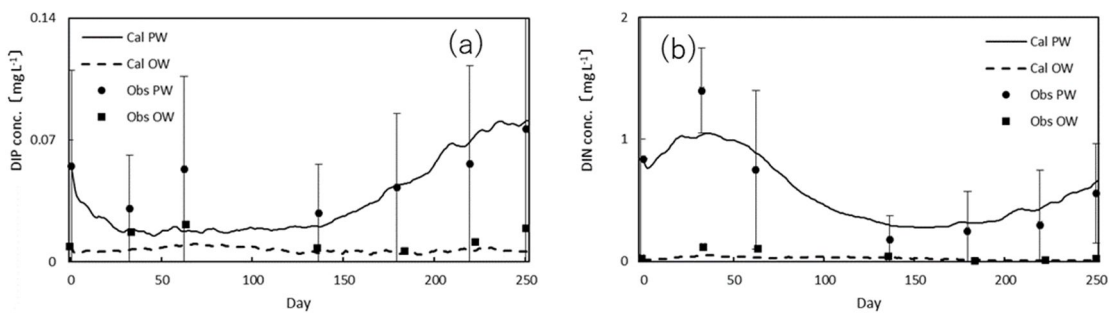


Fig. 1. Model outputs and observed data (symbols) of (a) DIP and (b) DIN. 9th October 2018 to 17th June 2019. PW: pore water, OW: Overlying water

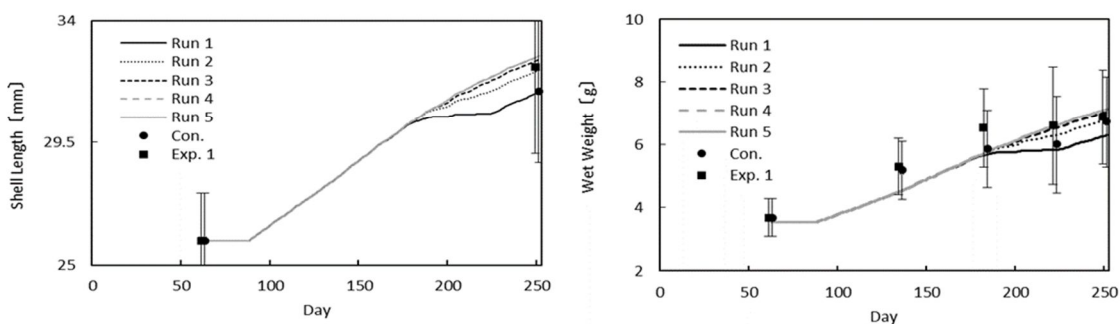


Fig. 2. Sensitivity analysis on shell length and weight of clams. 9th October 2018 to 17th June 2019.

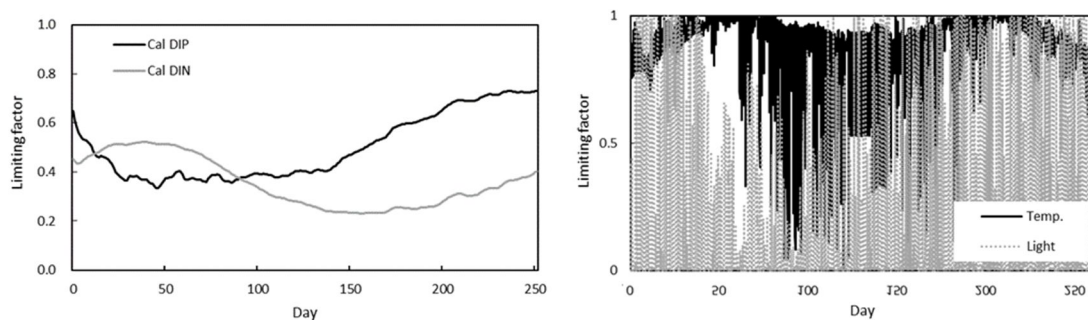


Fig. 3. (Upper) Limiting factor of DIP. (black line) and DIN (grey line) for BMA's growth. (Bottom) Limiting factor of Temp. (solid line) and light (broken line) for BMA's growth. 9th October 2018 to 17th June 2019.

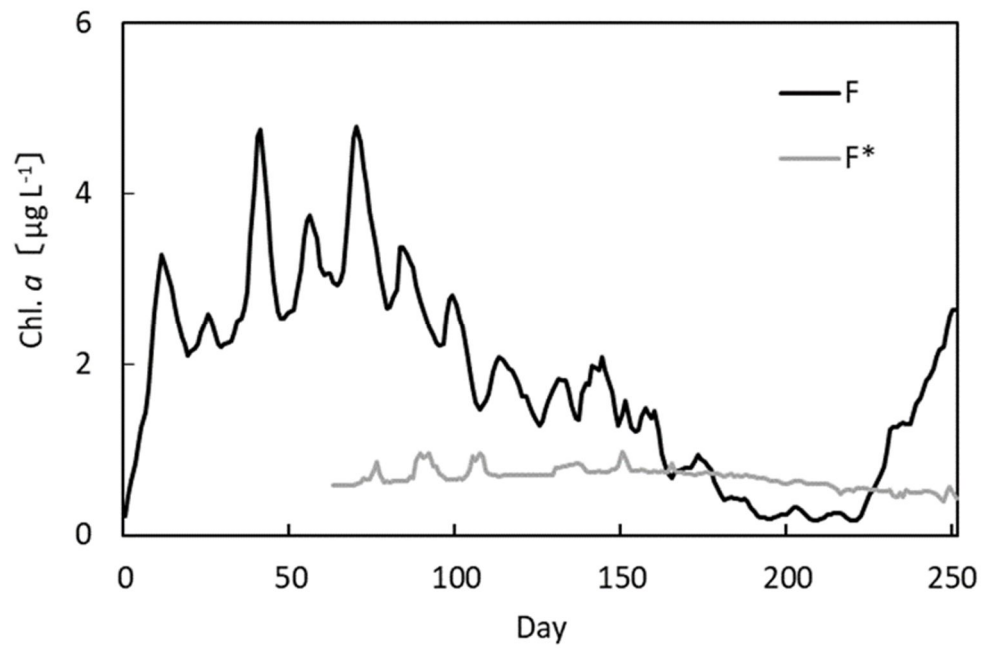


Fig. 4. F (black line): feed concentration. F* (grey line): limiting feed concentration.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 7件／うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名 Zhu Aiping, Saito Mitsuyo, Onodera Shin-ichi, Shimizu Yuta, Jin Guangzhe, Ohta Tomoko, Chen Jianyao | 4. 巻 209 |
| 2. 論文標題 Evaluation of the spatial distribution of submarine groundwater discharge in a small island scale using the ²²² Rn tracer method and comparative modeling | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Marine Chemistry | 6. 最初と最後の頁 25～35 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.marchem.2018.12.003 | 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 該当する |
| 1. 著者名 Saito Mitsuyo, Onodera Shin-ichi, Jin Guangzhe, Shimizu Yuta, Taniguchi Masanobu | 4. 巻 5 |
| 2. 論文標題 Nitrogen dynamics in a highly urbanized coastal area of western Japan: impact of sewage-derived loads | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science | 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） 10.1186/s40645-018-0177-6 | 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 該当する |
| 1. 著者名 Mutsuda Hidemi, Miyata Yasuhito, Doi Yasuaki, Rahmawati Shade | 4. 巻 131 |
| 2. 論文標題 Numerical investigation into the restoration of ocean environments using steelmaking slag | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Marine Pollution Bulletin | 6. 最初と最後の頁 428～440 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.marpolbul.2018.04.011 | 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 該当する |
| 1. 著者名 Chen Minmo, Syamsudin Fadli, Kaneko Arata, Gohda Noriaki, Howe Bruce M., Mutsuda Hidemi, Dinan Aruni Hanifa, Zheng Hong, Huang Chen-Fen, Taniguchi Naokazu, Zhu Xiaohua, Adityawarman Yudi, Zhang Chuanzheng, Lin Ju | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Real-Time Offshore Coastal Acoustic Tomography Enabled With Mirror-Transpond Functionality | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Journal of Oceanic Engineering | 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） 10.1109/JOE.2018.2878260 | 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 該当する |

| | |
|----------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名 山本民次 | 4. 巻 84 |
| 2. 論文標題 貝類の適正養殖 - 現状と将来への展望 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 日本水産学会誌 | 6. 最初と最後の頁 963-966 |
| 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 Aruni Dinan Hanifa, Hidemi Mutsuda, Fadli Syamsudin, Minmo Chen, Yasuaki Doi, Arata Kaneko | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Mapping Tidal Current Fields around Ferry Route Area in the Bali Strait by Coastal Acoustic Tomography | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Proceeding of Workshop on Environmental Technologies in Naval Architecture and Ocean Engineering | 6. 最初と最後の頁 75-78 |
| 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 該当する |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名 Jin,G, Onodera,S, et al. | 4. 巻 21 |
| 2. 論文標題 Sediment phosphorus cycling in a nutrient-rich embayment in relation to sediment phosphorus pool and release | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Limnology | 6. 最初と最後の頁 415-425 |
| 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 該当する |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名 Onodera,S. et al. | 4. 巻 21 |
| 2. 論文標題 Phosphorus cycling in watersheds: from limnology to environmental science | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Limnology | 6. 最初と最後の頁 327-328 |
| 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 Saito Mitsuyo, Okuda Noboru, Onodera Shin-ichi | 4. 巻 21 |
| 2. 論文標題 Material transport and cycle in watersheds: toward the interdisciplinary collaboration between limnology and the other research disciplines | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Limnology | 6. 最初と最後の頁 427 ~ 428 |
| 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 Shingo Nozaki, Shin-ichi Onodera, Yusuke Tomozawa and Mitsuyo Saito | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Spatial distributions in groundwater discharge on various tidal flats in a small and steep island, western Japan. | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE | 6. 最初と最後の頁 66-71 |
| 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 竹内 真司, 小野寺 真一, 中川 啓 | 4. 巻 62 |
| 2. 論文標題 地下水学の夢ロードマップ~地下水学の長期展望~ | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 地下水学会誌 | 6. 最初と最後の頁 563-571 |
| 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 Taniguchi Naokazu, Takahashi Toshiyuki, Yoshiki Kengo, Yamamoto Hironori, Hanifa Aruni Dinan, Sakuno Yuji, Mutsuda Hidemi, Huang Sheng-Wei, Huang Chen-Fen, Guo Jen-Hwa | 4. 巻 219 |
| 2. 論文標題 A reciprocal acoustic transmission experiment for precise observations of tidal currents in a shallow sea | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Ocean Engineering | 6. 最初と最後の頁 108292 ~ 108292 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceaneng.2020.108292 | 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 該当する |

| | |
|----------------------------------------|---------------------|
| 1. 著者名 山本民次 | 4. 巻 51 |
| 2. 論文標題 干潟施肥によるアサリの増産 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 豊かな海 | 6. 最初と最後の頁 16-21 |
| 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 - |

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Saito, M., Onodera, S., Zhu, A., Jin, G., Shimizu, Y., Tomozawa, Y., Okubo, K |
| 2. 発表標題 Evaluation for submarine groundwater discharge in a temperate coastal zone covered by seagrass meadows |
| 3. 学会等名 ECSA57 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Onodera, S., Saito, M., Shimizu, Y., Jin, G., Tomozawa, Y. |
| 2. 発表標題 Hydrochemical impacts of urbanization on nutrient discharge to the coastal zone in alluvial plane catchments in Japan |
| 3. 学会等名 ECSA57 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Jin, G., Onodera, S., Saito, M., Tomozawa, Y., Ohira, Y. |
| 2. 発表標題 The release of dissolved sediment nutrients from a nutrient rich embayment: Implication of tidal impact |
| 3. 学会等名 ECSA57 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Onodera, S., Saito, M., Onishi, K., Aritomi, D., Tomozawa, Y., Jin, G. |
| 2. 発表標題 The effect of intensive agriculture on nitrous oxide emission from a coastal aquifer |
| 3. 学会等名 45th IAH congress, Daejeon, Korea (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|----------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 齋藤光代・小野寺真一・岩田徹・大久保賢治 |
| 2. 発表標題 地表水 - 地下水相互作用と生態系影響：地下水が沿岸環境の多様性形成に及ぼす影響に着目して |
| 3. 学会等名 陸水物理研究会第40回研究発表会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Yamamoto, T. and H. Mutsuda |
| 2. 発表標題 Quantitative evaluation of fertilizer application to enhance the growth of cultured oyster |
| 3. 学会等名 The International Society for Ecological Modelling Global Conference 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Yamamoto, T |
| 2. 発表標題 Eutrophication and oligotrophication; Do you really understand these processes? |
| 3. 学会等名 2nd International Symposium on Marine Science and Fisheries 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Yamamoto, T |
| 2. 発表標題 Modelling the aquatic ecosystem dynamics |
| 3. 学会等名 2nd International Symposium on Sustainable Aquaculture and Fisheries 2019 (ISSAF-2) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 小野寺 真一、齋藤 光代、北岡 豪一 | 4. 発行年 2018年 |
| 2. 出版社 吉備人出版 | 5. 総ページ数 266 |
| 3. 書名 瀬戸内海流域の水環境 里水 | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>流域圏環境再生プロジェクト研究センター https://home.hiroshima-u.ac.jp/cerbee09/</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

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 |
|-------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 齋藤 光代 (Saito Mitsuyo) (20512718) | 岡山大学・環境生命科学研究所・准教授 (15301) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 小野寺 真一 (Onodera Shin-ichi) (50304366) | 広島大学・先進理工系科学研究科（総）・教授 (15401) | |
| 研究分担者 | 陸田 秀実 (Mutsuda Hidemi) (80273126) | 広島大学・先進理工系科学研究科（工）・教授 (15401) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |