

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03317

研究課題名（和文）気候変動による沿岸細粒土砂動態の温暖化レジームシフト - 予測と検出手法開発 -

研究課題名（英文）Global warming regime shift of coastal fine sediment dynamics due to climate change

研究代表者

八木 宏 (YAGI, HIROSHI)

防衛大学校（総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群）・システム工学群・教授

研究者番号：80201820

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、沿岸域における環境変化を捉える新たな視点として『底質・底層環境』に着目し、これを軸とした気候変動による沿岸環境変化の現れ方の把握と検出方法の開発に取り組んだ。具体的には、現気候下における日本沿岸の海中懸濁物質の実態把握、シームレスな沿岸流動モデルに基づく大規模気象擾乱による沿岸細粒土砂動態の応答把握、捉えることが難しい僅かな環境変化、物質循環や生態系に踏み込んだ質的な変化の兆候を検出する新たな手法（高度底質情報抽出、海底音響センシング）の開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで地球温暖化による海岸・沿岸環境への影響把握は、海面上昇や水温上昇など長期的な環境変化が検討の中心であったが、今後は環境への多様な変化の現れ方やその進行の度合いを把握することが大きな課題と考えられる。本研究では、環境変化を捉える新たな視点として『底質・底層環境』に着目し、海岸・沿岸環境に深く結びつく海中懸濁物質の実態（日本沿岸の全体像）や今後変化が予測されている大規模な気象擾乱（台風）に対する細粒土砂の応答を示したことで、僅かな環境変化、物質循環や生態系に踏み込んだ質的な変化の兆候を検出する新たな手法を開発したことに学術的及び社会的な意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focused on the bottom and sedimentary environment as a new perspective for understanding the environmental changes in the coastal area, and worked on the understanding of the impacts of climate change on the coastal sedimentary environment and the development of their detection methods. Specifically, we carried out the following: 1) Understanding the spatiotemporal variation of suspended solids in seawater along the coast of Japan under the current climate, 2) Understanding the response of fine-grained sediment dynamics to large-scale meteorological disturbances, and 3) Developing new methods for detecting signs of coastal environmental changes.

研究分野：海岸工学

キーワード：気候変動 沿岸域 底層環境 海中懸濁物質 細粒土砂動態 有機物循環 細菌群集 海底音響センシング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

2013年のIPCC第5次評価報告書（AR5）により、気候システムの温暖化については疑う余地のない事実とされ、日本政府も2015年から緩和策・適応策の検討に本格的に着手した。これまで地球温暖化による海岸・沿岸環境への影響については、砂浜の消失、水温上昇による海洋生物の変化、海洋酸性化が検討の柱であったが、沿岸環境への多様な変化の現れ方やその進行の度合いを把握することが次の大きな課題と考えられる。気候モデルによる予測では、地球温暖化により台風の強度や移動経路が変化することが指摘されており、これに対応するように2016年夏季には、これまでに経験したことがない形で常磐・東北～北海道エリアを連続して台風が通過し大きな気象災害を引き起こした。顕著な気象擾乱の経路や強度が変化すれば、これに対応して沿岸域の環境構造が変化することが考えられるが、陸域からの流入物質の変化も含め、沿岸環境への影響については未解明な部分が多い。

2. 研究の目的

本研究では、沿岸域における環境変化を捉える新たな視点として『底質・底層環境』に着目し、これを軸とした沿岸環境変化の把握と評価の枠組みの構築を目指す。具体的には、①現気候下の日本沿岸における海中懸濁物質の実態把握、②シームレスな沿岸流動モデルによる大規模気象擾乱による沿岸細粒土砂動態の応答把握、③捉えることが難しい僅かな環境変化、物質循環や生態系に踏み込んだ質的な変化の兆候を検出する新たな手法（高度底質情報抽出、海底音響センシング）を開発することを主な目的とする。

3. 研究の方法

(1) 現気候下における沿岸環境の状態を示す指標として海中懸濁物質に着目し、その時空間変動の実態把握をNASAのTerra/Aqua衛星に搭載されているMODIS（中分解能撮像分光放射計）の観測値による水中光学特性（吸収係数、後方散乱係数）を用いて行った。2011～2016年の約5年間分の全データ（吸収係数、後方散乱係数）について各画素の有効データのみを平均するコンポジット平均により対象期間の全期間平均及び月別平均を算出し解析に用いた。

(2) 沿岸域における細粒土砂動態解析のために、メソスケールの気象場・海流場から河口域・浅海域までをシームレスに繋ぐ沿岸流動モデルをFVCOM(Finite Volume Community Ocean Model)をベースとして仙台湾～房総海域を対象に構築した。構築したモデルを台風の移動経路が異なる2013年夏季（通常年）と2016年夏季（特異年：常磐・東北～北海道エリアを連続して台風が通過）に適用し、台風の移動経路と沿岸細粒土砂応答の特徴（卓越輸送方向）を整理した。

(3) 2017年～2019年の7月と9月（2019年は8月下旬）に、千葉県及び茨城県沖にあたる鹿島灘海域～九十九里海域の水深10m帯と水深30m帯の海底堆積物を採取し、堆積物中の有機物特性として、全有機物（強熱減量）・微細藻類量（クロロフィルa量）・易分解性有機物（易分解性タンパク質）を測定した。さらに採取した堆積物試料からDNAを抽出し、16SrRNA遺伝子により堆積物中の細菌群集組成、分類群の出現頻度及び群集の多様性を評価した。このようにして得られた堆積物の有機物特性・細菌群集特性から、これらの高度底質情報としての特徴の把握を行った。

(4) 堆積層上で再懸濁と沈降を繰り返す流動的な浮泥層の検出を目的として、水中と海底内部に対抗するように設置した送受波器（2 MHz）により海底近傍の基礎的な音響特性（音波の減衰、音速）の把握を行った。

4. 研究成果

(1) 日本沿岸の海中懸濁物質の実態解析

対象期間（5年間）の全期間平均の水中光学特性から、日本沿岸では海中懸濁物質に起因する後方散乱係数が北海道沿岸（後志檜山エリアを除く）で大きく、山陰沿岸、下北八戸～三陸沿岸などで小さい傾向があることが明らかとなった（図-1）。さらに月別平均の後方散乱係数に経験的固有関数展開法（EOF解析）を適用することで、日本沿岸の海水光学特性の時空間的特徴把握を試みた。本州南岸域（日向灘～相模灘伊豆）の後方散乱係数は、時空間変動の中心となる第1モードが卓越し、増水期に主要河川の河口前面海域を中心として値が増大、冬季に減少という主要河川からの影響を軸とする変動パターンが多く見られた（図-2）。これに対し、北海道・本州東岸域（千葉東～十勝釧路）では、第1モードの寄与率が相対的に低く、海食崖等からの粒子状物質の供給（千葉東沿岸、福島沿岸、十勝沿岸）、季節変化の異なる複数の河川影響の重合（仙台湾）などが示唆され、後方散乱係数の多様な時空間変動パターンが特徴であった（（図-3）。

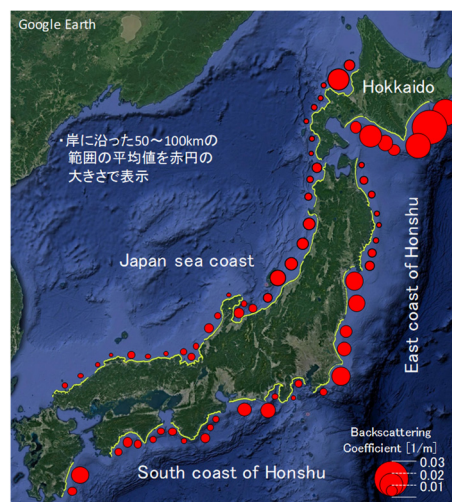


図-1 5年平均の水中後方散乱係数の日本沿岸分布

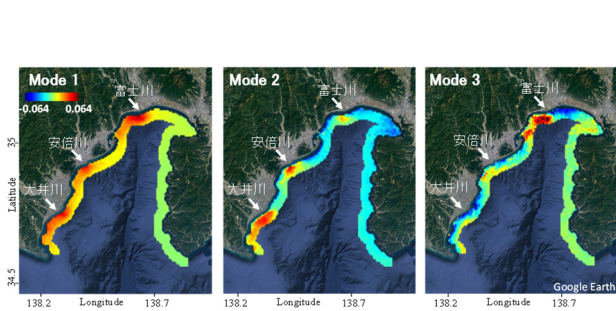


図-2 EOF解析による水中後方散乱係数の固有モードの空間分布 (駿河湾)

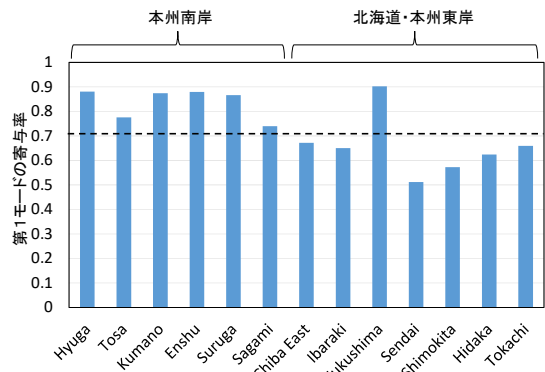


図-3 EOF解析による水中後方散乱係数の第1モード寄与率の海域間比較

(2) シームレスな沿岸流動モデルによる沿岸細粒土砂動態の応答把握

構築した沿岸流動モデルの計算結果から2013年(通常年)夏季の台風18号時と2016年(特異年:常磐・東北~北海道エリアを連続して台風が通過)夏季の台風10号時では、沿岸域に形成される底層流(水深30m帯)の流向が概ね逆になり、結果として細粒土砂の輸送方向(底面せん断力と合わせて推定)も逆になることがわかった。このような底層流の流向の違いは台風経路に強く依存した海上風系に起因するものであり、今後、気候変動により台風の移動経路が変化すると風速場の変化を通して沿岸域における細粒土砂の輸送方向が大きく変化することが示唆される。

(3) 底質環境変化検出手法の開発I(底質の高度情報抽出)

底質の有機物特性、細菌群集特性について、検討対象とした鹿島灘及び九十九里海域(図-4)における海域間及び水深帯間の違いからその特徴を明らかにした。

有機物特性: 易分解性有機物は九十九里の水深10m帯で特に多く、この海域の水深30m帯の1.7~2倍、鹿島灘の水深10m帯の3~6倍であった(図-5)。全有機物量は九十九里の方が多く、両海域とも水深10m帯の方が多く、易分解性有機物と似たような空間変化の傾向が見られたが海域間・水深帯間の差は易分解性有機物ほど大きくなかった。微細藻類量は両海域とも水深30m帯で水深10m帯より多く、易分解性有機物の分布とは傾向が異なっていた。易分解性有機物量(易分解性タンパク質量)は、タンパク質分解酵素処理・未処理の差から測定しており、生物利用性を直接に反映している。これに対して、全有機物は腐植物質を含むすべての有機物を反映し、また微細藻類量は生きた微細藻類量の指標で、枯死体・デトリタスは反映しない。易分解性タンパク質量は、堆積物の餌料価値や微生物活動の基質特性をより直接的に反映した指標になると考えられる。

底質細菌群集: 底質細菌群集については、以下の3つの知見が得られた。①対象とした鹿島灘・九十九里海域(水深10m&30m帯)における底質細菌群集の基本的な組成を明らかにした(図-6)。②MND解析及びRDA解析を用いて、海域間・水深帯間の底質細菌群集の違いと場の環境因子との関係を調べた結果、水深帯間の底質細菌群集組成の相違には堆積物中の微細藻類量、水温、泥分率が関係していることがわかった。③九十九里沿岸の水深10m帯の底質細菌群集は、相対的にSphingomonas, Verrucomicrobia, Fusobacteria等のBacteroidesが多く、betaproteobacteria(Nitrosomonas)やNitrospirinae等の硝化関係する分類群、及び嫌気的な性質が予想されるClostridiumやSpirochetesが少ない特徴があった。先述の有機物特性(九十九里水深10m帯では全有機物量が多く、微細藻類量が少ない)の結果と合わせて考えると、九十九里10m水深帯で

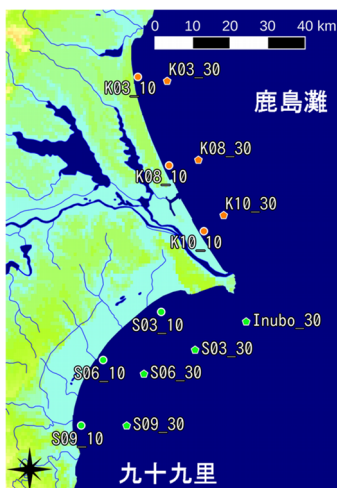


図-4 対象海域と海底堆積物の採取点位置

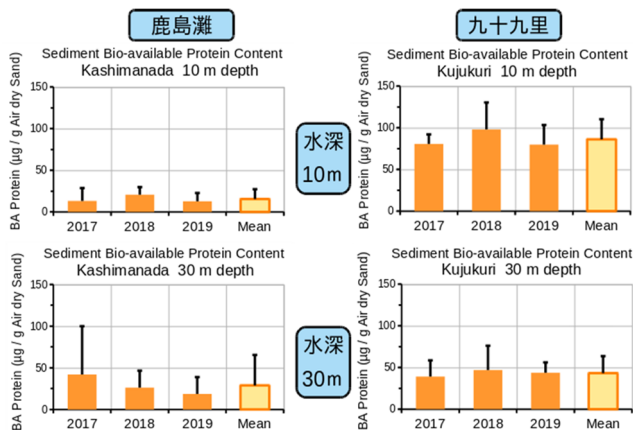


図-5 堆積物中の易分解性有機物量含有量の海域間及び水深帯間の比較

は、堆積物中の有機物の性質によって細菌叢が変化し、特徴的な有機物循環が形成されていることが示唆された (図-7)。

以上の結果から、今後、細菌群集の特徴と海底環境や有機物循環との関係をさらに解明することで、細菌群集組成が海底環境を示す新たな指標になることが期待される。

(4) 底質環境変化検出手法の開発Ⅱ (海底音響センシング)

音速は水温による変動が大きいので、純水(同水温)の音速で基準化して堆積物の懸濁による音速変化を調べた。水中に懸濁している堆積物濃度が増加すると音速比は小さくなり音速が遅くなることを確認された (図-8)。また、水中懸濁物質の重量濃度が15‰を超えると減衰が大きくなり、本研究で採用した計測システムでは計測不能となった。これについては使用する装置の周波数や出力を変更することで計測範囲を拡大することが可能と考える。音速および減衰が微小濃度変化に対してほぼ線形に減少変化していくことが確認できたので、海水中の微細粒子濃度を検出できる可能性が示唆された。

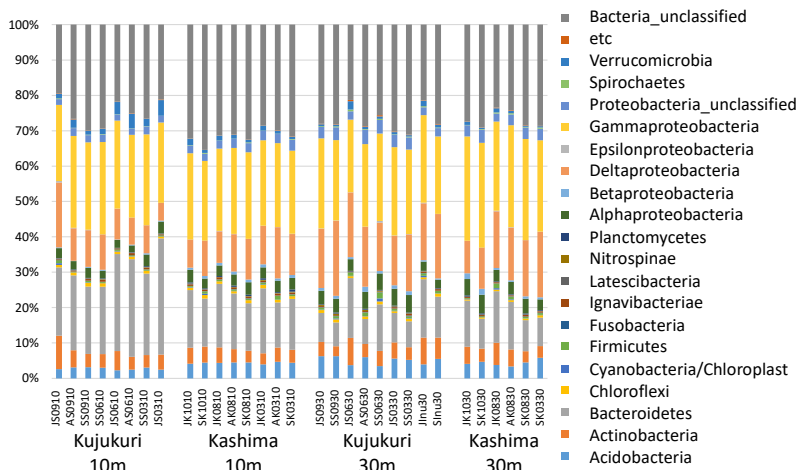


図-6 堆積物中の細菌群集組成の海域間及び水深帯間の比較 (2017年~2019年の7,9月)

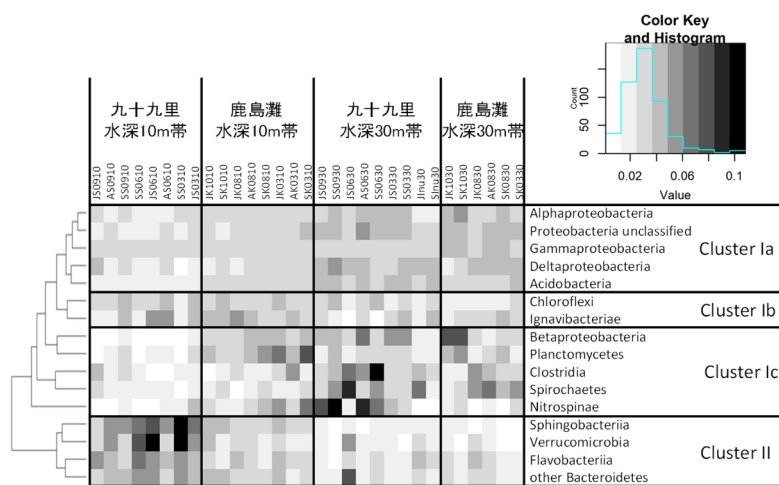


図-7 堆積物細菌群集のクラスター解析結果のヒートマップ (鹿島灘~九十九里海域)

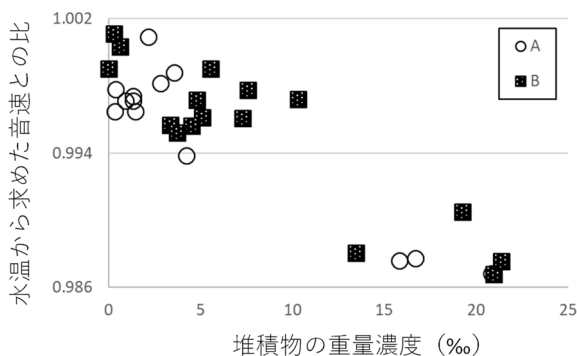


図-8 有明海の2種類の堆積物試料に対する音速測定結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 YAGI Hiroshi, MURAKAMI Hiroshi, ISOZAKI Yoshiyuki	4. 巻 76
2. 論文標題 SPATIO-TEMPORAL VARIATIONS OF BACKWARD SCATTERING COEFFICIENT OF SEAWATER IN JAPANESE OPEN COASTAL SEA BASED ON EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTIONS ANALYSIS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1069 ~ I_1074
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.76.2_I_1069	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 YAGI Hiroshi, MURAKAMI Hiroshi, ISOZAKI Yoshiyuki	4. 巻 75
2. 論文標題 EVALUATION OF INHERENT OPTICAL PROPERTIES OF SEAWATER IN JAPANESE OPEN COASTAL SEA BASED ON MODIS SATELLITE DATA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_745 ~ I_750
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.75.2_I_745	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 YAGI Hiroshi, MINAMI Yuriko, WATANABE Daisuke, ISOZAKI Yoshiyuki, MURAKAMI Hiroshi	4. 巻 74
2. 論文標題 FEASIBILITY STUDY of EVALUATION of WATER COLOR USING 500 m RESOLUTION MODIS-LCI DATA for JAPANESE COASTAL SEA	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_559 ~ I_564
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.74.5_I_559	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 SAKAMI Tomoko, UDAGAWA Toru	4. 巻 50
2. 論文標題 BACTERIAL COMMUNITY COMPOSITION OF THE SEDIMENT IN THE COASTAL REGIONS OF KASHIMA-NADA AND KIJUKURIHAMA, JAPAN	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of Japan Fisheries and Education Agency	6. 最初と最後の頁 9 ~ 17
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 古市 尚基、東 博紀、杉松 宏一、大村 智宏、越川 海、長谷川 徹、山田 東也、南部 亮元、帰山 秀樹	4. 巻 57
2. 論文標題 海底混合層内の懸濁粒子動態	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 沿岸海洋研究	6. 最初と最後の頁 21～30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32142/engankaiyo.2019.8.004	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 SATO Katsuhiko, YAGI Hiroshi, NAKAYAMA Akiyoshi, SUGIMATSU Koichi, AOKI Kazuhiro, OGUCHI Satoshi	4. 巻 74
2. 論文標題 DEVELOPMENT OF SEA-BOTTOM SUBMARINE BOUNDARY LAYER MODEL FOR WIDE COASTAL AREA AND SAND DYNAMICS EVALUATION	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_463～I_468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.74.I_463	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 ENDO Jiro, SUGIMATSU Koichi, YAGI Hiroshi, UDAGAWA Toru, OGUCHI Satoshi, OHMURA Yoshihiro, NAKAYAMA Akiyoshi	4. 巻 73
2. 論文標題 STUDY ON NUMERICAL OCEAN MODEL IN COASTAL REGIONS OF KASHIMA-NADA AND KUJUKURI	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1171～I_1176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.73.I_1171	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 -

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 古市尚基, 帰山秀樹, 杉松宏一
2. 発表標題 福島県から宮城県沖の海底近傍における懸濁粒子動態の現場観測
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古市尚基, 帰山秀樹, 杉松宏一
2. 発表標題 茨城県から宮城県沖の海底近傍における懸濁粒子の現場観測
3. 学会等名 日本海洋学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉松宏一, 帰山秀樹, 古市尚基
2. 発表標題 福島県沖陸棚斜面上における底層懸濁物質の連続モニタリング
3. 学会等名 日本海洋学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 帰山秀樹, 古市尚基, 杉松宏一, 重信裕弥, 三木志津帆, 森田貴己, 安倍大介, 市川忠史
2. 発表標題 福島県沖陸棚海域の海底近傍における高濁度層を構成する粒子の粒径分布ならびに放射性セシウム濃度
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宇田川徹
2. 発表標題 外海開放性砂浜域の浅海堆積物に含まれる有機物
3. 学会等名 第67回日本生態学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宇田川徹
2. 発表標題 外海開放性砂浜域鹿島灘～九十九里の沿岸域堆積物に含まれる易分解性有機物
3. 学会等名 第68回日本生態学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒井正樹, 高山波士, 小笠原英子, 森和義
2. 発表標題 有明海底質の音響特性に関する基礎的検討
3. 学会等名 海洋音響学会2019年度研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小笠原英子, 吉口将人, 森和義
2. 発表標題 有明海における浮泥層音響計測に向けた基礎的検討
3. 学会等名 超音波研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 OGASAWARA Hanako, MORI Kazuyoshi, YAGI Hiroshi
2. 発表標題 A STUDY OF ACOUSTIC PROPERTIES OF SURFACE SEABED SEDIMENT AT THE ARIAKE SEA
3. 学会等名 The 40th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 OGASAWARA Hanako, YAMAGUCHI Masato, MORI Kazuyoshi
2. 発表標題 A STUDY OF ACOUSTIC PROPERTIES OF SURFACE SEABED SEDIMENT AT THE ARIAKE SEA
3. 学会等名 The 40th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小笠原英子, 森和義
2. 発表標題 浅海域での海底変化に関する音響的計測手法の検討
3. 学会等名 2018年度海洋音響学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 OGASAWARA Hanako, MORI Kazuyoshi
2. 発表標題 ACOUSTIC PROPERTIES OF ORGANIC-RICH SEDIMENT AT THE SEABED SURFACE
3. 学会等名 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宇田川 徹
2. 発表標題 鹿島灘砂浜汀線域における底砂中の有機物量と微細藻類量
3. 学会等名 2018年度 日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大古場尚斗, 八木宏, 磯崎由行
2. 発表標題 人工衛星を用いた日本沿岸における海水の光学特性の時空間変動解析
3. 学会等名 第46回土木学会関東支部技術研究発表
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠藤次郎, 杉松宏一, 八木宏, 宇田川徹, 小口哲史
2. 発表標題 鹿島灘・九十九里浜沿岸域における数値流動モデルの検討
3. 学会等名 日本海洋学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小笠原英子, 森和義
2. 発表標題 走水港内の音波伝搬における底質の影響に関する考察
3. 学会等名 海洋音響学会2017年度研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小笠原英子, 森和義
2. 発表標題 海底地形の時間的な微小変化に関する基礎的検討
3. 学会等名 第38回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宇田川徹, 杉松宏一, 渡辺一俊, 小口哲史, 坂井司, 八木宏
2. 発表標題 鹿島灘・九十九里の沿岸砂浜域における海底堆積物中の微細藻類量と有機物量
3. 学会等名 2017年日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会講演要旨集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 南由里子, 八木宏, 磯崎由行
2. 発表標題 人工衛星データを用いた日本沿岸における水色の時空間変動特性
3. 学会等名 第45回土木学会関東支部技術研究発表
4. 発表年 2018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
研究分担者	杉松 宏一 (SUGIMATSU Koichi) (10710923)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所・主任研究員 (82708)	
研究分担者	田村 仁 (TAMURA Hitoshi) (80419895)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・研究官 (82627)	
研究分担者	坂見 知子 (SAKAMI Tomoko) (70372034)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所・副部門長 (82708)	

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	宇田川 徹 (UDAGAWA Toru) (00443391)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所・主任研究員 (82708)	
研究分担者	小笠原 英子 (OGASAWARA Hanako) (00531782)	防衛大学校（総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群）・応用科学群・准教授 (82723)	

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