

令和 3 年 5 月 22 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04478

研究課題名(和文) 金鉱山由来水銀ホットスポットにおけるメチル水銀動態モデル構築のための現地調査

研究課題名(英文) Field survey for modeling of methylmercury dynamics at mercury pollution hotspot from gold mining

研究代表者

矢野 真一郎 (Yano, Shinichiro)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：80274489

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,600,000円

研究成果の概要(和文)：小規模金鉱山において金抽出に使用された水銀が自然界に放出されているインドネシアのスラヴェシ島において、3回の現地調査により2つの内湾における水銀汚染状況を調査し、湾の地理的条件や、雨季・乾季における違いなどに起因する海水中の水銀濃度に関する基礎的データを取得した。また、水銀汚染の数値モデリングにおいて不可欠な底泥の巻き上げパラメータを現地で直接測定できる装置の開発に成功し、現地試験によりその有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国で過去に発生した水俣病のような深刻な水銀汚染問題だけではなく、世界中では人為的な水銀の自然環境中への放出に起因する汚染が問題視されている。また、自然環境中で猛毒なメチル水銀に変化する現象が発見されており、それらのメカニズムを考慮した将来的な水銀汚染リスク管理手法が求められている。本研究の成果は、その手法として最も有望視される数値モデリングにおける基礎データを提供し、今後の開発に寄与できる点で社会的な意義が大きい。

研究成果の概要(英文)：Field measurement of mercury pollution in two bays (Totok Bay and Buyat Bay) in Sulawesi Island, Indonesia, where anthropogenic mercury effluent from small gold mining has been occurred, was carried out. As a result, fundamental data of mercury concentration in seawater (total mercury and methylmercury) was obtained. It showed the difference due to geographical condition of the bays and rainy-dry seasons. In addition, in-situ measurement device for deciding the parameters of sediment erosion in a shallow coastal region was developed. It shows the effectiveness from in-situ tests in Minamata Bay.

研究分野：環境水理学

キーワード：水銀 水銀動態モデル スラヴェシ島 メチル水銀 金鉱山

1. 研究開始当初の背景

インドネシアは、人口が2億51千万人以上と中国・インド・米国に次ぐ世界第4位の大国である(日本は10位)。近年は途上国からの脱却を目標として、国全体での経済発展を強力に押し進めており、2013年の名目GDPは、約0.9兆USDと世界第16位に付けている(日本は3位、4.6兆USD)。経済成長率では5.025%と世界48位(アジア15位)に位置しており(日本は172位(アジアで23位)-0.059%)、巨大な人口と豊富な天然資源を背景にして、今後のグローバル経済の最重要な牽引国の一つとして期待されている[佐藤(2011)、村井ら(2013)]。

天然資源への依存については、年間輸出として、石油130億ドル(2014年、世界38位)、石炭3.6億トン(2015年、世界2位)、天然ガス172億ドル(2014年、世界6位)とエネルギー分野が主要な輸出を構成している。一方、主要金属生産量についても、錫が7万トン(世界2位)、ニッケル14万トン(世界6位)、金が70トン(世界14位)と大きなウェイトを持っている[(独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構(2015)]。

インドネシア国内の金鉱山については、世界最大級の Papua 州 Grasberg 鉱山などの大規模なものもあるが、多くは小規模鉱山であると言われている。このような小規模金鉱山では、金精錬過程において水銀に溶出してアマルガムを作り抽出する技術(アマルガム法)が多く利用されており、使用後の水銀は河川等を通じて自然環境中へ排出されていることが多い。金鉱山由来の水銀汚染は世界中に見られており、水銀ホットスポットとしても認識されている[Kocman *et al.*, 2010]。

インドネシアの小規模金鉱山由来の水銀汚染については、Kono *et al.* (2012)により西ジャバ州の Cikaniki 川流域内での調査などがある。同様に、Lasut *et al.* (2010) は北スラヴェシ州の Buyat 川・Totok 川上流に位置する小規模金鉱山由来の水銀流出による Buyat 湾・Totok 湾周辺沿岸域の底泥、生物、ならびに住民の頭髪のサンプリングを実施し、汚染の実態を調査している。その調査結果によると、沿岸域の底泥中の総水銀濃度として0.01~5.0ppmの範囲で、メチル水銀濃度として0.1~10ppbの範囲で測定されており、現在の水俣湾で観測されている底泥中の総水銀・メチル水銀濃度のレベルと同程度である[Matsuyama *et al.*, 2016]。海水中における水銀については測定データが無いため不明である。よって、海水中の溶存態・粒状態の総水銀・メチル水銀の測定が汚染状況の解明のために求められる。さらに、研究代表者らの研究グループが2006年以降継続的実施してきた水俣湾の海水中水銀濃度のモニタリング結果から、現場における海水中でのメチル化、すなわち *In-situ methylation* が存在していることが実証的に示されている[Matsuyama *et al.*, 2010]。よって、この海域においても同程度の *In-situ methylation* が発生している可能性が高い。また、河川水の流出条件がその活性を決定していることも明らかにされている。将来的な水銀リスク管理を行うために、この海域における水銀動態を中長期的に予測できるモデルの開発が求められることから、本研究においては河川水流出を予測できる流域水流出モデルとカップリングした *In-situ methylation* 機構を組み込んだ水銀動態モデル開発に資する現地調査を計画した。

2. 研究の目的

本研究では、水銀ホットスポットとして注目される小規模金鉱山由来の水銀汚染地域であるインドネシアのスラヴェシ島 Buyat 湾・Totok 湾において、流域水流出モデルと海域水銀動態モデルをカップリングすることで、*In-situ methylation* 機構を組み込んだ中長期的な水銀リスク管理を可能とすることが最終目的である。このために本計画で実行し明らかにする目的は、以下の通りに設定された。

1) 現地調査に基づく海水中総水銀・メチル水銀の汚染レベルと *In-situ methylation* 発生の確認：対象海域における採水サンプリングにより海水中の水銀レベルを測定する。また、*In-situ methylation* の発生状況の確認と、その環境要因の同定を行う。

2) 現地調査に基づく Buyat 川・Totok 川流域の水・水銀流出モデルの開発：地形・土地利用・人工系水収支・気象などの公式データの収集し、両河川の分布型水流出モデルを開発する。また、両河川流域で河川堆積物のサンプリングを行い、水銀汚染の程度を確認し、金鉱山から排出された水銀量を推定する。

3) 現地調査データと整合した *In-situ methylation* 機構を組み込んだ水銀動態モデルの開発：上記1)により行われる現地調査結果に基づき、*In-situ methylation* 機構を取り入れた3次元海域水銀動態モデルを開発する。2)で開発された流域水流出モデルとのカップリングにより、*In-situ methylation* を高精度に予測可能とする水銀動態モデルへ発展させる。

本研究開始時(2017年度)は以上のような目的を設定し、2年半は順調に計画を遂行したものの、3年目後半(最終年度:2019年度)にコロナ禍が発生し、インドネシアへの渡航が不可能な状況に陥った。そこで、当初目的2)、3)を変更し、4)沿岸域における底泥中水銀動態モデルにおいて必要とされる底泥の巻き上げに関する物理パラメータを現場で容易に測定できる装置の開発を新たに目的として加えた。当初の最終年度(2019年度)ならびに、期間を延長した翌年(2020年度)には、状況の改善が見られた場合はインドネシアでの調査を実施し、改善しない場合には新しい目的4)を国内で実施する方向で対応した。結果、目的2)、3)の実行はできず、目的4)を達

成するための計画へ変更した。

3. 研究の方法

(1) インドネシアにおける現地調査：

2017年11月16日から11月20日の行程で、調査実施エリアとなるインドネシアのマナド市にある Totok 湾と Buyat 湾ならびに両湾に注ぐ河川の流域の視察，ならびに研究協力者のサムラツランギ大学 Herawaty Liogilang 博士との研究打合せを行った。観測船の確認や船長との協議により現地調査における実施可能性の検討を行った。また、この現地視察の結果を受けて、2017年12月28日に国内メンバーによる第1回研究打合せを実施し、現地調査の計画の詳細を調整した。

2018年3月11日から3月18日の行程で第1回現地調査を以下の通り実施した。今回は対象海域である半閉鎖性内湾の Totok 湾と開放性内湾の Buyat 湾（図-1）において、それぞれ5箇所の観測地点を設定し、表層水（海面下6m）と底層水（海底上1~2m）から、テフロン加工したニスキン採水器により1Lの海水サンプリングを実施した。よって、計20サンプルの採水を行った。また、採水と同時に持参した多項目水質計により塩分・水温・溶存酸素濃度などの鉛直分布測定を実施した。観測地点には持参したハンディ GPS であらかじめ設定した座標位置へ誘導した。観測地点の水深は持参した超音波式測深機で測定した。採水サンプルは、観測終了後直ちに0.4μmのガラスファイバーフィルターを用いて濾過を行い、その後高濃度の硫酸（H₂SO₄）を3mL添加して常温で日本へ持ち帰った。濾紙についても参考資料として持ち帰った。使用した容器は酸処理したガラス製容器である。帰国後、海水中の総水銀濃度とメチル水銀濃度の測定を行った。

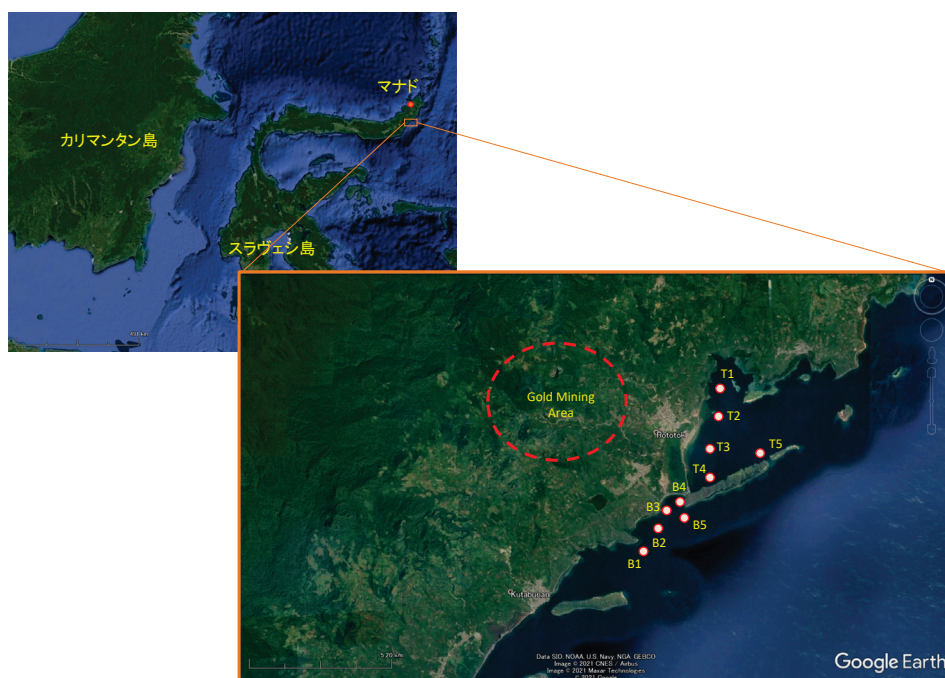


図-1 スラヴェシ島における対象海域（Buyat 湾・Totok 湾）の位置と両湾における観測地点
[地図は Google Earth より]

2018年10月12日から10月15日の行程で、研究代表者の矢野がインドネシアのマナド市を訪問し、サムラツランギ大学の Herawaty Riogilang 博士と前年度の調査結果の報告，ならびに2018年度の調査計画についての打合せを実施した。日程調整を行い、2017年度と同様に3月に現地調査を実施することと決まった。また、予備日を使って、Totok 川と Buyat 川上流に位置する小規模金鉱山周辺から河口までの区間で河道での堆積物を採取できる地点の選定を行うこととした。また、計2回日本側メンバーによる研究打合せを実施し、方針を確認した。

2019年3月21日から3月27日の行程で、日本側メンバー3名でマナドを訪問し、第2回の現地調査を実施した。前年度利用した観測船が修理中とのことで、今回はより小さい型の漁船をチャーターしたが、小型であることから海象の影響を受けるため、予定日を1日ずらしての調査となった。そのため、当初の予定日（3月23日）は、Totok 川と Buyat 川における金鉱山周辺の視察と鉱山から河口までの間の堆積物サンプリング地点の選定をおこなった。その結果、適地の選定ができ、それぞれの河川で4~5箇所の採泥を次年度に実施する計画を立てた。3月24日に早朝から午後3時頃まで対象海域である半閉鎖性内湾の Totok 湾と開放性内湾の Buyat 湾において、それぞれ5箇所の観測地点を設定し、表層水（海面下6m）と底層水（海底上1~2m）から1Lの海水サンプリング計20サンプルの採水を行った。また、多項目水質計により塩分・水温・溶存酸素濃度などの鉛直分布測定を実施した。採水サンプルは日本へ持ち帰り測定した。

2019年9月21日から9月27日の行程で、第3回現地調査を以下の通り実施した。今回は対

象海域である半閉鎖性内湾の Totok 湾において前 2 回の調査と同じ 5 地点、一方開放性内湾の Buyat 湾においては前 2 回から点数を減らし 2 地点 (B1, B3 地点) として、表層水 (海面下 6 m) と底層水 (海底上 1~2 m) からニスキン採水器により 1 L の海水サンプリングを実施した。よって、計 14 サンプルの採水を行った。また、採水と同時に持参した多項目水質計により塩分・水温・溶存酸素濃度などの鉛直分布測定を実施した。

加えて、2020 年 3 月に最終調査を行う計画であったが、コロナ禍の影響で渡航ができなかった。よって、翌 2020 年度に繰り越して再度計画したが、2020 年度もコロナ禍が改善されなかったため同様に渡航ができず全研究期間を終了した。

そのため、2019 年度後半から新たな目的として底泥の巻き上げパラメータの現地測定のための装置開発を加えて、以下の様な研究開発を国内で実行した。

(2) 底泥巻き上げパラメータ同定のための現地測定装置の開発：

海域において海底の砂や泥などの堆積物 (以下、底質とする) の輸送過程は、様々な問題に係る。例えば港湾においては、周辺から底質が輸送され堆積した結果として航路埋没が生じるため、良好な航路の維持のために定期的な浚渫が行われている。また環境面では、底質の状態、すなわち含泥比、有機物含有量、ならびに含水比などが底層での酸素消費速度に影響する。加えて底質材料の粒径は底質中に生息する生物相を決定する要素となる。さらに底質材料には重金属や化学物質などの有害汚染物質が付着し、それらを残留させる効果や輸送されることで影響域が広がるなど、海域環境へ影響を与える。

底泥の輸送過程については、海底からの再懸濁 (浸食)、流れによる移流・拡散、海底への沈降・堆積がある。このうち移流・拡散は、海水の流れが起こすものであり比較的容易に解析できる。沈降・堆積については、海水中に浮遊した粒子の沈降速度は、静止流体中では一般的には粒径と比重に依存するが、底泥については海水の塩分に依存して電氣的に結合するフロック化が生じることがあり、みかけの粒径が増大し沈降速度が大きくなる場合がある。また、乱流状態あるときには、堆積に関する限界せん断応力以下の底面せん断応力の状態では堆積が発生し、それ以上の状態では発生しないとみなされている。海底からの再懸濁については、再懸濁 flux が超過せん断応力 (せん断応力から浸食の限界せん断応力を差し引いた値) の関数として表現することが多い。よって、浸食の限界せん断応力と超過せん断応力の関数形を決定する必要がある。

沿岸域で底泥の輸送現象を解析するには、数値モデルを用いることが多いが、それに含まれる限界せん断応力などのモデルパラメータの設定を行う必要がある。しかし、それらのパラメータについては情報が不足していることが多く、また本来時空間的に変化するものであるにもかかわらず、一定値を用いるなど簡単な取り扱いがされることが多い。その原因は、それらのパラメータを決定するための手法がコストのかかるものであることがあげられる。その手法としては、現地で底泥を採取し実験室に持ち帰って物理特性を調べる方法、ならびに現地でそれらを直接調べる方法が想定される。前者の場合、未攪乱状態での採取を行い、それを実験室で現場状況を再現して測定するなどが必要であるが、実際にそれを行うのは技術的に困難である場合が多い。さらに、空間的に多点での採取とそれら多数のサンプルの実験には難がある。一方後者では、海底に流速、濁度、海底面の変動などを測定する装置をセットで設置し、連続測定する方法が行われる場合がある。こちらについても観測装置が多数必要であり、コスト面から多点で行うことは困難である。

そこで本研究では、海中の底泥に対して平行な流れによる巻き上げを測定可能な装置の開発を試みることにした。そして、開発した装置を用いて、実海域での測定実験を行い、効率的に巻き上げのパラメータが測定できるかどうかを検証することとした。

図-2 に示すような装置を最終的に開発した。まず、海底に設置して底泥の巻き上げを起こす部分について、100 cm×62 cm の底盤上に、幅 30 cm、高さ 15 cm、長さ 70 cm の長方形断面の亚克力製直線水路を付け、上流側に海水を導入するホースを取り付けた。ホースからは長さ 21 cm の導入部により水路に水流が広がる構造とした。底面に長さ 41.5 cm の開口部 (図-1 ハッチ部) を設け、水路内に発生した流れがその上を通ることで底泥が巻き上がる構造にした。また、下流側は開放されており、水流で巻き上がった底泥が水路から流出することで、巻き上がりにより増加する懸濁物質濃度のみを観察できるようにした。

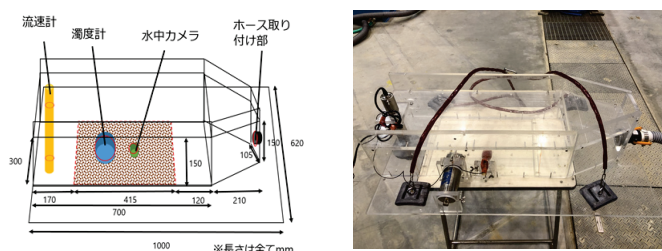


図-2 開発した底泥巻き上げパラメータ測定装置の概観図と写真

次に、水路出口側に有線式の電磁流速計を、側面にメモリ式の後方散乱式濁度計と有線式の水

大揚程 8m, 最大吐出量 350 L/分) を用いた. ポンプの流出口にバルブ付き分流パイプを取り付け, バルブで装置側へ送る水量を調整できるようにした. 以上のように, 比較的入手が容易な材料と機器類で構成することができた.

4. 研究成果

(1) インドネシアにおける現地調査:

計 3 回の現地調査から得られた, 海水中の総水銀濃度, メチル水銀濃度, ならびに総水銀中のメチル水銀の割合について, 図-3, 4 にそれぞれ示す. 総水銀濃度の結果より, 明らかに Buyat 湾と比べて Totok 湾の濃度が高い傾向が見られる. これは, 湾の地形的条件より Totok 湾が半閉鎖性である一方, Buyat 湾が開放性であることから, Buyat 湾に流入した水銀は比較的速やかに外海域へ拡散していると推測される. また, 2018 年 3 月, 2019 年 3 月の方が 2019 年 9 月より高い傾向が見られた. これは, 雨期である 3 月の方が寒気の 9 月と比べ流出が大きいと推測される. 一方, メチル水銀については, 3 月と比べ 9 月が非常に高い傾向があった.

以上のように, インドネシアの金鉱山から流出した水銀汚染状況に関する基礎データの取得に成功した. 今後, 河川堆積物等の現地調査を行い, 予定していた数値モデルの開発を行うことで, 本海域での水銀汚染の実態解明を進めたい.

(2) 底泥巻き上げパラメータ同定のための現地測定装置の開発:

開発された装置を水俣湾内 19 地点において試験的に適用した. その結果, その結果, 1 地点あたり 30 分程度と効率よく調査が実施でき, 巻き上げパラメータである限界せん断応力と浸食速度パラメータのマッピングを可能とする多点での測定が可能となった. 結果や評価方法の詳細は, 矢野ら(2020)を参照されたい.

[参考文献] 1)佐藤百合(2011): 経済大国インドネシア 21 世紀の成長条件, 中公新書., 2)村井ら(2013): 現代インドネシアを知るための 60 章, 明石書店., 3) (独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構(2015): 世界の鉱業の趨勢 2015 インドネシア., 4)Kocman *et al.*, (2013): Contribution of contaminated sites to the global mercury budget, *Environmental Research*, 125, 160-170., 5)Kono *et al.* (2012): Using native epiphytic ferns to estimate the atmospheric mercury levels in a small-scale gold mining area of West Java, Indonesia, *Chemosphere*, 89, 241-248., 6)Lasut *et al.* (2010): Distribution and Accumulation of Mercury Derived from Gold Mining in Marine Environment and Its Impact on Residents of Buyat Bay, north Sulawesi, Indonesia, *Water Air Soil Pollutant*, 208, 153-164., 7)Matsuyama *et al.*(2016): Distribution and characteristics of methylmercury in surface sediment in Minamata Bay, *Marine Pollution Bulletin*, 109, 378-385., 8)Matsuyama *et al.* (2011): Mercury speciation in the water of Minamata Bay, Japan, *Water Air and Soil Pollution*, 218, 399-412., 9)矢野ら(2020): 底泥巻き上げに関するモデルパラメータの現地測定装置の開発, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 76(2), I_798-I_803.

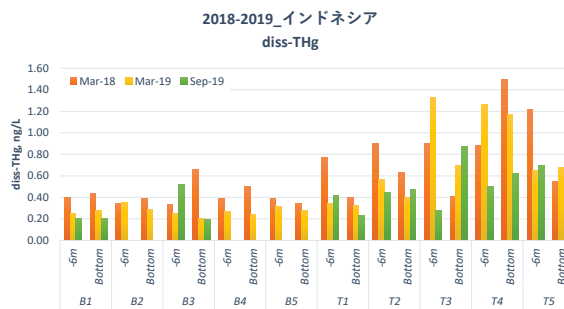


図-3 海水中総水銀濃度の測定結果

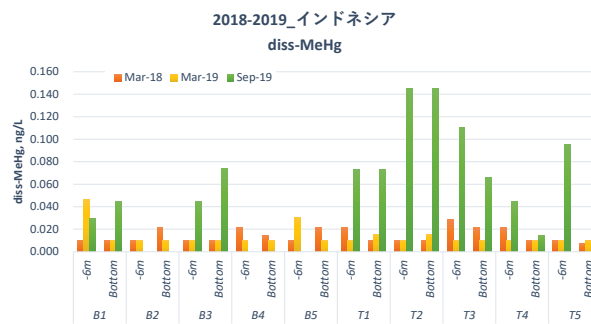


図-4 海水中メチル水銀濃度の測定結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 MATSUNISHITA Kohei, YANO Shinichiro, MATSUYAMA Akito, KITAOKA Taisei, TADA Akihide	4. 巻 74
2. 論文標題 ANALYSIS ON DISPERSION OF MERCURY IN BOTTOM SEDIMENTS IN MINAMATA BAY BY LONG-TREM NUMERICAL SIMULATION OF SEDIMENT TRANSPORT USING PARTICLE SIZE CLASSIFICATION MODEL	5. 発行年 2018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_1153 ~ I_1158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.74.I_1153	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 SHINICHIRO YANO, TAKAAKI TANINAKA, EDISTRI NUR FATHYA, SATOSHI MATSUMOTO, AKITO MATSUYAMA, AKIHIDE TADA, HERAWATY RIOGILANG	4. 巻 -
2. 論文標題 EVALUATION ON RELATIONSHIP BETWEEN PARTICULATE TOTAL MERCURY IN SEAWATER AND SUSPENDED SOLIDS PARTICLE SIZE DISTRIBUTION IN MINAMATA BAY, JAPAN	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 2017 IAHR World Congress	6. 最初と最後の頁 -
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 EDISTRI NUR FATHYA, SHINICHIRO YANO, AKITO MATSUYAMA, AKIHIDE TADA	4. 巻 -
2. 論文標題 NUMERICAL SIMULATION OF SEDIMENT TRANSPORT AND SUSPENDED SOLID DISTRIBUTION DUE TO THE DAMAGE OF RECLAMATION WALL IN MINAMATA BAY	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 2017 IAHR World Congress	6. 最初と最後の頁 -
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 YANO Shinichiro, ABE Teppei, MATSUYAMA Akito, IDE Takahito	4. 巻 76
2. 論文標題 DEVELOPMENT OF IN-SITU MEASUREMENT DEVICE FOR MODEL PARAMETERS OF MUD RESUSPENSION ON SEABED	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B3 (Ocean Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_798 ~ I_803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.76.2_I_798	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7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松野下晃平
2. 発表標題 分級モデルによる長期底泥輸送シミュレーション結果に基づく水俣湾の底泥中残留水銀の拡散状況の分析
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松野下晃平
2. 発表標題 水俣湾におけるコアサンプリング結果に基づく底泥輸送シミュレーション
3. 学会等名 土木学会第72回年次学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷中敬亮
2. 発表標題 自己組織化マップを用いた水俣湾における海水中の溶存態水銀のIn-situ Methylation機構に関する検討
3. 学会等名 土木学会第72回年次学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松野下晃平
2. 発表標題 水俣湾における底泥コアサンプリング結果に基づく底泥輸送のシミュレーション
3. 学会等名 平成28年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北岡 泰成
2. 発表標題 水俣湾における分級した底泥の輸送シミュレーションの試行
3. 学会等名 平成28年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安部 哲平
2. 発表標題 沿岸域の底泥輸送シミュレーションにおける巻き上げパラメータの現地測定装置の開発
3. 学会等名 土木学会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安部 哲平
2. 発表標題 沿岸域の底泥輸送シミュレーションにおける巻き上げに関するモデル パラメータ測定装置の開発
3. 学会等名 令和元年度土木学会西部支部研究発表会
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
研究 分担 者	松山 明人 (Matsuyama Akito) (00393463)	国立水俣病総合研究センター・その他部局等・部長 (87401)	

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	田井 明 (Tai Akira) (20585921)	九州大学・工学研究院・准教授 (17102)	
研究分担者	木村 延明 (Kimura Nobuaki) (40706842)	九州大学・工学研究院・学術研究員 (17102)	削除：平成29年7月24日

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