

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01436

研究課題名（和文）災害脆弱性を指標にした土砂災害起源の複合災害の条件付き災害発生確率に関する研究

研究課題名（英文）Research on the conditional probability of disaster occurrence of sediment related multi-hazard disasters using disaster vulnerability

研究代表者

大石 哲 (Oishi, Satoru)

神戸大学・都市安全研究センター・教授

研究者番号：30252521

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：本課題では、洪水・土砂複合災害の結果としての浸水災害を対象にして、地域のリアルタイム浸水予測可能性を論じた。具体的には、詳細な降雨分布や個別の斜面崩壊場所に依存して浸水が発生する集落の浸水発生の予測可能性を主な研究対象とし、異なる研究分野で開発されたHPCシミュレーションの手法に観測情報を組み合わせて高度化を実施した。スーパーコンピュータ「富岳」上に実装した土砂・洪水氾濫シミュレーションをアンサンブル実行し、被害発生確率の空間分布推定し、シミュレーションにおけるパラメータ最適化を行った。令和4年度に実施した実験では斜面崩壊を発生させることができず、その点では十分な比較ができなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的な意味では、異なる研究分野で開発されたHPCシミュレーションの手法に観測情報を組み合わせて高度化を実施した。スーパーコンピュータ「富岳」上に実装した土砂・洪水氾濫シミュレーションをアンサンブル実行し、被害発生確率の空間分布推定し、シミュレーションにおけるパラメータ最適化を行ったことである。社会的な意味では、洪水・土砂複合災害の結果としての浸水災害を対象にして、地域のリアルタイム浸水予測可能性を論じた。具体的には、降雨空間的な変動や地形地質の分布によって変化する上流域での斜面崩壊にかかわらず、下流の氾濫域が推定できることを示した。

研究成果の概要（英文）：The present study discussed the region's real-time inundation predictability for inundation hazards due to combined flood and sediment disasters. Specifically, we focused on the predictability of flooding in settlements where flooding depends on detailed rainfall distribution and individual slope failure locations, and the HPC simulation methods developed in different research fields were combined with observational information and upgraded. An ensemble of sediment and flood inundation simulations implemented on the supercomputer Fugaku estimated the spatial distribution of damage probability, and we optimized the parameters in the simulations. We compared with the experiments carried out in 2022, which failed to generate any slope failures and, in this respect, could not be adequately compared.

研究分野：水文学

キーワード：リアルタイム浸水予測 HPCシミュレーション 複合災害 シミュレーション結合

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究では、一級河川の支川流域に相当する小流域を分割して集落と呼ぶ。小流域の下流では一定量の降雨があれば必ず浸水するために広域的な降雨情報だけから浸水予測が可能な集落と、広域的な降雨情報だけでは浸水予測が困難な集落に分類できる。そのうち、広域的な降雨情報があれば浸水を予測できる集落を本研究では凹性域と呼ぶ。凹性域は浸水が発生しやすい場所である。

一方で凹性域の周辺などには、頻度は高くないものの、降雨の空間分布や時系列に依存して浸水するリスクがある集落があり、それを非凹性域と呼ぶ。非凹性域では降雨分布、斜面崩壊箇所、河川横断構造物による水理過程が土砂輸送に与えた結果として局地的な河川の流下面積減少などが影響して浸水が発生する可能性がある。現状ではこれらの要因情報が入手困難であったり、事象発生中に変化したりするために浸水の予測は困難である。そのような集落の中には災害経験が無い集落もあるがひとたび浸水が発生すれば逃げ遅れなどの人的要因を伴って大きな被害に繋がる。非凹性域では、上流における降雨の発生位置、降雨強度、降雨継続時間、斜面の形態、斜面中の地下水分布、洪水前の河川断面形状、河川横断構造物などが浸水の有無や浸水深に影響していると考えられる。

すなわち、一つ一つの災害で被害形態が異なって見える豪雨起源の災害であっても広域の降雨状況だけから浸水発生を予測できる集落と、諸条件に依存して浸水被害が発生するリスクがある集落を分類することを本研究の大きな目的とした。

2. 研究の目的

本研究の目的は、シミュレーションによって土砂・洪水災害起源の浸水予測が可能な集落を類型化して、入力情報と予測の確からしさの関係導くことといえる。シミュレーション手法のうち地中情報の感度実験が必要な斜面崩壊シミュレーションについては、現地実験にあわせたシミュレーションを行うことで感度分析を実施する。様々な情報源としては、気象レーダー、その降水量としての定量性を確保するための雨滴計、土壌水分や間隙水圧、洪水前の河川断面形状、河川横断構造物の情報がある。予測の確からしさの相関関係として、入力情報に対する条件付き災害発生確率の算出を行う。

3. 研究の方法

本研究の研究対象は千葉県勝浦市（以下、勝浦地区）および令和元年の台風19号により土砂災害が多数発生した宮城県角田市（角田地区）とした。

勝浦地区には本研究グループが主導して設置した小型 X バンド偏波ドップラーレーダーが稼働していた。勝浦地区では国土交通省の X バンドレーダー対象範囲外であるために、本研究グループの小型レーダーデータをベースにした短時間降雨予測を試験的に市役所の一部の部署と共有している。角田地区では、JAXA が斜面崩壊箇所の対策工事を実施すると共に、一部の未利用地に面する斜面では傾斜計を設置して次の豪雨時には危険時に発報する仕組みを導入した。対策工事をする場所においては工事前に本研究課題で勝浦地区と同様な土壌水分計、間隙水圧計を設置したうえで水を与えて人工斜面崩壊実験を行ってシミュレーションの精度を検証した。

研究は、以下の流れで行った。

1. 土砂洪水氾濫シミュレーションによる土砂災害起源の洪水災害の脆弱性(凹性域,非凹性域)の識別:土砂の輸送・堆積過程を含む洪水土砂氾濫解析プログラム(DRSRIS,山野井・藤田,2015,山野井・藤田,2016)は従来型の土砂輸送方程式と洪水氾濫の浅水流方程式を一体にしたものであり、並列型スーパーコンピュータで性能が出るように並列処理されて武庫川から湊川までの六甲山系全体を一度に解析できる能力がある。本研究では災害が発生する前に対象地区で多数のシナリオによる土砂災害起源の洪水災害をシミュレーションして、降雨分布などが異なっても共通して被害を受ける集落を特定して凹性域とするとともに、非凹性域を選別した。
2. 角田地区での斜面崩壊実:角田地区の斜面崩壊箇所を対策工事する前に残っている不安定土砂塊に変位計、間隙水圧計、土壌水分計を設置して、測量計測を実施し、周囲からの斜面監視カメラにより計測している中で人工的に地下水位を上昇させて変位を計測した。

4. 研究成果

4.1.1. はじめに

これまでの研究で、適切なパラメータ設定の下で降雨情報を入力とし土砂の輸送による影響を考慮した上での浸水範囲の推定や土石流の生起地点(土石流始点)を入力とした土石流被害領域の推定や、土石流の生起地点の不確実性を反映したモンテカルロ法による被災領域の確率的推定が可能となっている(Yamanoi, Oishi, Kawaike, 2022)(Yamanoi, Oishi, Kawaike, Nakagawa, 2022)。しかしながら実際には土石流シミュレーションには土層内の予測困難なパラメータが複

数含まれ、このパラメータ設定方法として、試行錯誤的方法がとられてきた。2022年度は、試行錯誤的方法を回避するため、2時期の航空LiDAR観測による地表面変位観測データを用いて予測される変位との差が最小となるようなパラメータ最適化手法をParticle Swarm Optimizationを用いて実装した。一方で各パラメータは流域内で必ずしも一意には定まらず、不確実性が大きいことが知られている。そこで2023年度は不確実性を考慮するため、最適パラメータではなく、パラメータの確率密度関数を求める方法論の開発を行った。

洪水災害に対しては、降雨の流出と地表面の水の流れを解くことで、氾濫深さ等を計算することができる。堤外地(河川)から堤内地(市街地)へ河川の水が流出して発生する外水氾濫に着目すると、水が流出する位置を規定する破堤の位置が、被災領域を決定する重要な要素となるが、破堤位置の正確な予測は現在の技術では困難である。そこで、2023年度は破堤の位置の不確実性が被災域に及ぼす影響を反映し、浸水確率の空間分布を推定可能なシミュレーション方法を開発した。

4.1.2. 豪雨による洪水・土砂災害の予測

評価対象のパラメータとして、2022年度と同様に土石流シミュレーションにおける5パラメータ(細粒粒子が流動化する割合 c_r 、代表粒径 d_m 、内部摩擦角 ϕ [deg.]、土層厚さ D_s [m]、単位面積あたりの後続流量 q_a [m/s])を選定した。観測データには航空LiDAR差分観測と痕跡ポリゴンに基づく2018年7月豪雨による土石流で発生した地形変化のデータを用いた。計算と観測の一致度は地形変化量 Δz_b のRMSEで評価した。本研究では、Approximate Bayesian computation(ABC)を用いて、各パラメータの確率密度関数を推定した。ここでは、対象の5パラメータを取りうる範囲の中でランダムに与えた計算を3775ケース実行し、得られたRMSEが閾値以下となったケースのみをAcceptし、得られたパラメータの組み合わせを候補としてKernel密度推定により確率密度関数を推定した。閾値をRMSE=0.6788とした場合のパラメータのヒストグラムと確率密度関数を図-1-1に示す。

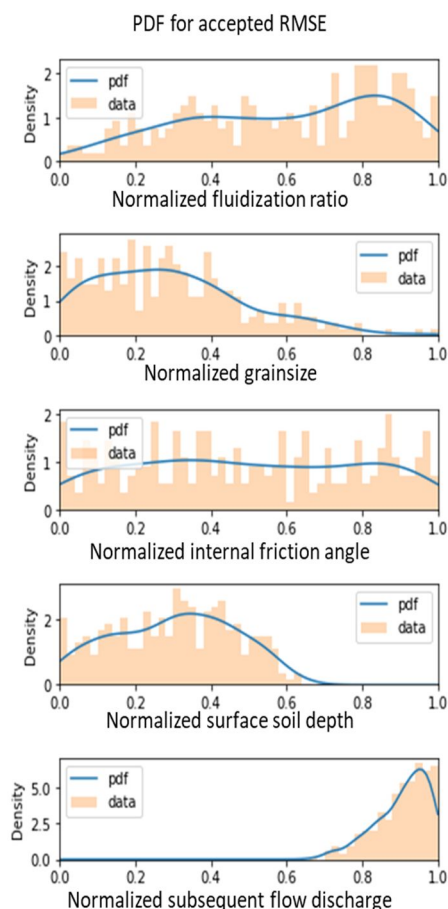


図-1-1 Acceptされたパラメータのヒストグラムと確率密度関数の形状

破堤位置の不確実性を反映したシミュレーションに基づいて、浸水確率の推定に取り組んだ。2023年度は武庫川流域全体のシミュレーションを用いて、下流右岸の西宮市周辺における浸水確率を推定するため、右岸30箇所を破堤させた計算を計画規模(再現期間:100年;降雨条件:247mm/24h)と想定最大規模(再現期間:1000年;降雨条件:511mm/24h)それぞれに対して実行した。得られた計算結果から、各位置の破堤が生起する確率を1/30と仮定し、浸水深 h が10cm, 50cm, および1m以上となる確率を求めた。得られた結果を図-1-2に示す。計画規模では海岸に

4.3.5. 考察と結論

本試験では斜面崩壊などの事象を確認するには至らなかったが、土壌水分量の変化が深さ50cm地点付近で激しく、深さ1m地点では変動がほとんどないことを鑑みて、当該斜面においては厚さ1m以下の表層すべりの発生が最も疑われる。さらに、より大規模な斜面崩壊については、深さ1m地点(または1m以深)の土壌水分量の監視によって崩壊の兆候を察知できる可能性があると考えられ、これらの知見をもとにソフト・ハード両面の土砂災害対策立案が可能となった。

さらに、今後も観測を続け、パラメータの正確性を向上させたシミュレーションを行うことで、より正確な斜面崩壊予測が可能となることが期待できる。

以上の検討結果を背景として、官民共創推進系開発センターは2025年の完成に向けて鋭意整備が進められている。

参考文献

- 1) Yamanoi, K., Oishi, S., Kawaike, K., Prediction of spatial distribution of debris-flow hit probability considering the source-location uncertainty, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.06837>, 2022.
- 2) Yamanoi, K., Oishi, S., Kawaike, K., Nakagawa, H., Predictive simulation of concurrent debris flows: How slope failure locations affect predicted damage. *Journal of Flood Risk Management*, 15(2), e12776. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12776>, 2022.
- 3) Takeyama, T., O-Tani, H., Oishi, S., Hori, M., Iizuka, A., Automatic Construction of Three-Dimensional Ground Model by Data Processing, *IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS*, vol.26, No.6, pp.2881-2887, 2021
- 4) 野中沙樹: SPHシミュレーションによる斜面崩壊の定量的評価に関する研究, 神戸大学大学院工学研究科修士論文, pp.1-47, 2020.
- 5) 平田紗椰: 大規模粒子法を用いた実斜面崩壊シミュレーションに関する研究, 神戸大学大学院工学研究科修士論文, pp.1-56, 2022.
- 6) 堤大三ら, 水工学論文集, 第51巻, pp. 931-936, 2007.
- 7) 山野井一輝, 藤田正治: 豪雨時の水・土砂災害に関わるハザード群の発生リスク評価, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.72, I1291-I1296, 2016.
- 8) 山野井一輝, 藤田正治: 大規模な土砂生産および洪水後の土砂管理に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, I961-I966, 2015.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 ITO Hikaru, TAKEYAMA Tomohide, O-TANI Hideyuki	4. 巻 78
2. 論文標題 DEVELOPMENTS OF AN AUTOMATIC SETTING SYSTEM OF INPUT DATA AND A LINKAGE SYSTEM FOR EARTHQUAKE SIMULATION AND TSUNAMI SIMULATION	5. 発行年 2022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_889 ~ I_894
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.78.2_I_889	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 O-tani Hideyuki, Iiyama Kahori, Takaya Shuhei, Yabe Masaaki	4. 巻 16
2. 論文標題 Automated Model Construction of Urban Structures with Limited Digital Data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Earthquake and Tsunami	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1793431122400048	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 Syarifuddin, Magfira; Jenkins, Susanna F.; Taisne, Benoit; Oishi, Satoru; Basuki Ahmad; Iguchi, Masato;	4. 巻 424
2. 論文標題 Estimating the velocity of pyroclastic density currents using an operational dual-PRF radar	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Volcanology and Geothermal Research	6. 最初と最後の頁 1-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jvolgeores.2021.107462	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 Yamanoi, Kazuki; Oishi, Satoru; Kawaike, Kenji; Nakagawa, Hajime;	4. 巻 -
2. 論文標題 Predictive simulation of concurrent debris flows: How slope failure locations affect predicted damage	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Flood Risk Management	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) 10.1111/jfr3.1277618	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 Chen, Jian; O-tani, Hideyuki; Takeyama, Tomohide; Oishi, Satoru; Hori, Muneo;	4. 巻 32-5
2. 論文標題 A Probabilistic Liquefaction Hazard Assessment for Urban Regions Based on Dynamics Analysis Considering Soil Uncertainties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Earth Science, Vol. 32, No. 5,	6. 最初と最後の頁 1129-1138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12583-021-1431-1	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 Huda, M. Wiji Nur; Mawandha, Hanggar Ganara; Ni'mah, Khafidzotun ; Setyawan, Chandra; Ngadisih, Ngadisih; Oishi, Satoru; Teegavarapu, Ramesh S.V.;	4. 巻 -
2. 論文標題 Evaluation of Radar Polarimetric Variables for Improved Quantitative Precipitation Estimates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 7th International Conference on Science and Technology (ICST)	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 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 該当する

1. 著者名 Takeyama, Tomohide ; O-tani, Hideyuki ; Oishi, Satoru; Hori, Muneo ; Iizuka, Atsushi ;	4. 巻 -
2. 論文標題 Automatic construction of three-dimensional ground model by data processing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE/ASME Transactions on Mechatronics (TMECH)	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) 10.1109/TMECH.2021.3105062	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 Ito, Hajime; Yuko, Ishida; Sansaard, Veerasak; Takeyama, Tomohide; Iizuka, Atsushi;	4. 巻 20
2. 論文標題 Leaning pagoda of Ayuttaya analysis with three-dimensional effects and ground uncertainty	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 161-169
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 該当する

1. 著者名 Takeyama, Tomohide; Honda, Kazuya; Tachibana, Shinya; Iizuka, Atsushi;	4. 巻 21
2. 論文標題 A procedure to determine material parameters based on borehole data in dynamic analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 1-9
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 Honda, Kazuya; Takeyama, Tomohide; Tachibana, Shinya; Iizuka, Atsushi;	4. 巻 21
2. 論文標題 Liquefaction risk assessment in the 23 wards of Tokyo using elastoplastic analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 48-54
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 有井, 拓也; 太田, 有祐; 橋, 伸也; 竹山, 智英; 飯塚, 敦;	4. 巻 9
2. 論文標題 温度勾配による不飽和ペントナイト中の水分移動シミュレーション	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Kansai Geo-Symposium 論文集	6. 最初と最後の頁 218-222
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12件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 大谷英之
2. 発表標題 自然言語類似の情報表現を媒介とする異種データ連携における統合データとしてのナレッジグラフ自動構築手法の検討
3. 学会等名 人工知能学会第二種研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大谷英之
2. 発表標題 土木構造物設計図面からの3次元モデル自動構築におけるナレッジグラフの利用
3. 学会等名 人工知能学会第二種研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鹿倉佳央梨, 山野井一輝, 川池健司
2. 発表標題 広島県における複数回の災害データの統計解析に基づく土石流被害の確率的予測
3. 学会等名 砂防学会研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuki Yamanoi, Satoru Oishi, Kenji Kawaike
2. 発表標題 Development of probabilistic debris-flow hazard map considering the uncertainty of initiation points
3. 学会等名 9th International Conference on Flood Management (ICFM9)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Bruno Adriano, Naoto Yokoya, Kazuki Yamanoi, Satoru Oishi
2. 発表標題 Predicting Flood Inundation Depth Based-on Machine Learning and Numerical Simulation
3. 学会等名 CEUR Workshop Proceedings 3207
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐野峻也, 竹山智英, 橘伸也, 飯塚敦
2. 発表標題 SPH法へのカムクレイモデルの導入と検証
3. 学会等名 地盤工学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊関, 亮太; 飯塚, 敦; 竹山, 智英;
2. 発表標題 地盤データの自動構築を目的にした大規模データ検索インベントリ
3. 学会等名 地盤工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤, 輝; 竹山, 智英; 大谷, 英之;
2. 発表標題 広域の三次元有限要素モデルの自動構築とFEM解析プログラムへの適用
3. 学会等名 地盤工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林, 啓太; 竹山, 智英; 橘, 伸也; 飯塚, 敦;
2. 発表標題 動的解析を用いたアーチ効果の液状化への影響評価
3. 学会等名 地盤工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田村, 彩奈; 本田, 和也; 竹山, 智英; 橘, 伸也; 飯塚, 敦;
2. 発表標題 地盤グリッドモデルを用いた数値解析モデルの自動生成
3. 学会等名 地盤工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林, 勇佑; 本田, 和也; 竹山, 智英; 橘, 伸也; 飯塚, 敦;
2. 発表標題 過圧密比の深度分布と地表面加速度の相関性
3. 学会等名 土木学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamanoi, Kazuki; Oishi, Satoru; Kawaike Kenji
2. 発表標題 Numerical Simulation for Evaluating the Effect of Source Locations in Concurrent Debris-flow Disaster
3. 学会等名 AOGS2021 18th Annual Meeting (招待講演)
4. 発表年 2021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	富田 浩文 (Tomita Hirofumi) (00399578)	国立研究開発法人理化学研究所・計算科学研究センター・ チームリーダー (82401)	

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	竹山 智英 (Takeyama Tomohide) (00452011)	神戸大学・工学研究科・教授 (14501)	
研究分担者	梶川 義幸 (Kajikawa Yoshiyuki) (20572431)	神戸大学・都市安全研究センター・特命教授 (14501)	
研究分担者	山野井 一輝 (Yamanoi Kazuki) (30806708)	京都大学・防災研究所・助教 (14301)	
研究分担者	大谷 英之 (O-tani Hideyuki) (80639584)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門 (国際海洋環境情報センター)・副主任研究員 (82706)	
研究分担者	阿波田 康裕 (Awata Yasuhiro) (80772615)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・施設部・主任研究 開発員 (82645)	

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