

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：13101

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15098

研究課題名（和文）超高解像度波浪・高潮数値計算を用いた浸水域統合リスク評価法の構築

研究課題名（英文）Establishment of integrated inundation risk assessment method using fine-resolution wave surge coupled model

研究代表者

中村 亮太（NAKAMURA, RYOTA）

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：90805938

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、漂流物等を考慮した超高解像度波浪・高潮数値計算を用いた浸水域統合リスク評価法を構築することを目的とした。実スケールの数値計算では、2014年根室で発生した高潮浸水を対象として、構造物を1軒1軒考慮した超高解像度数値計算を行った。また、コンテナ漂流が発生した大阪湾における2019年台風21号による高潮浸水を再現した。算定されたコンテナの漂着位置は現地調査と符合していた。実験スケールにおける固体流体相互練成場の再現も数値計算モデルにより行い、計測結果と符合する数値計算結果を得られた。以上のように漂流物を考慮した超高解像度波浪・高潮数値計算を用いた浸水域統合リスク評価法を構築できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、国内外で発生している高潮災害を超高解像度高潮・波浪数値計算モデルにより再現して、漂流物の影響を考慮した浸水域のリスク評価を行った。この研究では、コンテナ漂流等の影響を考慮することで、より実現象に近い高潮災害を数値計算モデルで評価することを試みた。コンテナ漂流に関する実スケールと実験スケールの数値計算結果は観測結果・計測結果と符合していた。このように、再現が難しい高潮漂流物を含めた超高解像度高潮・波浪数値計算を構築することができた。

研究成果の概要（英文）： This study constructed the comprehensive framework of risk assessment of storm surge hazards including the effect of the floating objects. As a real scale simulation, the storm surge simulation was performed to simulate the coastal flood associated with extra-tropical cyclone at Nemuro, Hokkaido on the middle of Dec. 2014. In addition, the storm surge hazards associated with typhoon Jebi (2019) in Osaka Bay were simulated with considering the floating containers in their simulation. The calculated final positions of the containers were in good agreement with the observation. As a experimental scale, the movement of floating objects was simulated by the numerical models, which was in good agreement with the result of previous experiment. As summary, the construction of framework of comprehensive risk assessment including the effect of floating objects in the storm surge hazards were accomplished.

研究分野：海岸工学

キーワード：コンテナ漂流 高潮 高波浪 根室 大阪湾 高解像度

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 今世紀末にかけて、熱帯低気圧の強度の変化や海面上昇にともなう高潮浸水被害の拡大の可能性が IPCC (気候変動に関する政府間パネル) により指摘されている。温暖化後には、港湾における高潮浸水の危険性が高まるという指摘もあり、その対策は急務である。将来予測のみならず、近年では、都市域における高潮浸水被害も世界各地で発生しており、巨額の経済的損失も実際に生じている。しかし、都市域における高潮浸水被害に関してはメソスケールでの議論が主であり、人口構造物が密集する領域や漂流物が発生する浸水場における流動・波浪場を対象とした研究は少ない。従って、これらの領域における基礎的な流体場の理解はあまり進んでいない。そこで、超高解像度の数値計算手法を開発して、それを実際の高潮浸水事例に適用することで、流体場の理解の深化を目的とした研究を実施する。また、温暖化後の高潮浸水を評価することで、将来を想定した超高解像度高潮・波浪浸水数値計算モデル手法を開発することも目的とした。

(2) 沿岸災害発生時における漂流物による被害の甚大化が指摘されている。実際にアメリカ土木学会では、津波発生時における漂流物の構造物に対する負荷に関する研究成果が取りまとめられている。高潮浸水災害発生時においても、2019 年台風 21 号による大阪湾の高潮災害事例のように、人的・物的被害を引き起こす恐れのある漂流物が発生するが、その漂流経路の予測に関する研究はほとんど行われていない。これは、漂流物の経路の予測不確実性が高く、漂流経路の数値計算が難しいことに起因すると考えられる。このような背景から、高解像度高潮・波浪の数値計算に漂流物の漂流経路を組み込んだ手法を開発することが必要である。

2. 研究の目的

以上の背景に基づいて、以下に記す 4 項目の目的を有する研究を実施した。

研究項目 (1)

実スケールにおいて、人口構造物等が存在する場所において、高潮・波浪の数値計算を実施する。次に、構造物を 1 軒ずつ再現した超高解像度高潮・波浪浸水数値計算モデル手法を開発・高度化して、現地調査結果や観測結果と比較して数値計算の算定精度を検証する。メソスケールとローカールスケールの数値計算結果は、それぞれ高潮災害の発生機構の解明と高潮浸水の高度な再現を目的としている。この数値計算結果に基づいて、人間の身長と体重や浸水域における浸水深と流速を基にした、人間の転倒率に関する人的被害の尺度の既往研究を用いて、人的被害を定量的に評価する。人的被害を定量的に評価する際には、浸水域における危険場所の特定や、物理現象の効果を評価する。

研究項目 (2)

近年の高潮災害の学術的現地調査では、漂流物による人的・物的リスクが指摘されている。そのため、沿岸域の高潮防災の高度化に資するために、高解像度数値計算結果を用いた漂流物による人的・物的リスクを統合した新しい沿岸域リスク評価手法を構築する。これらを実現するために、複数の数値計算モデルを組み合わせ、高潮発生時の地上風速場と海流場を再現し、その外力場における漂流物の経路を予測する手法を考案する。漂流物の経路の予測結果は、現地調査結果と比較・検証することで、その予測精度を向上させる。また、漂流物の予測に影響する外力の特定を行い、漂流物の経路に影響する外力を吟味する。このように漂流物による甚大な被害も考慮した防災対策を構築できるようにする。

研究項目 (3)

実験スケールにおけるコンテナ漂流の数値計算を実施する。実験スケールのコンテナ漂流の数値計算では、固液混相流体解析モデルを用いて、流体場における漂流物の再現と周辺の流体場の基礎的な理解の深化に関する研究を行う。漂流物の水理実験では、既往研究 (Nistor et al. 2017) を参考にして、強い流体場が作用した際の漂流物の挙動を数値計算モデルにより再現する。このようにして、漂流物のミクロな挙動解明を目的とした研究を実施した。既往研究に関する水理実験のデータを取得すること、数値計手法の方法論の共有を行うことで、カナダ・オタワ大学とケベック州立大学との国際共同研究を行う。

研究項目 (4)

温暖化後には、台風の強度の増加に伴う、高潮の危険度の上昇が指摘されている。温暖化後の高潮の危険度の評価を行うために、極端温暖化シナリオである SSP585 シナリオを用いた疑似温暖化場を構築して、東京湾における高潮を評価した。千曲川に河川氾濫浸水被害を引き起こした 2019 年台風 19 号による東京湾で発生した 1m を超える高潮を対象とした。このように、高潮浸水被害を引き起こすポテンシャルを有する高潮事例を用いることで、今世紀末における高潮の上昇を予測することで、IPCC により提示された極端シナリオ下で想定される東京湾の高潮を評価することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は、複数の数値計算モデルを組み合わせたフレームワークを用いることで、上記の研究目的を達成した(図-1)。具体的には、研究項目(1)、(2)、(4)では、気象モデル、海洋流動モデル、波浪推算モデル、天文潮汐モデルを組み合わせたフレームワークを用いた(図-1)。そして、項目(3)では粒子法解析ツールである DualSPHysics (Crespo et al. 2015)を用いて、実験スケールにおけるコンテナ漂流の数値計算を行い、水理模型実験の結果と比較した。

研究項目(1)では、上述した数値計算モデルに加えて、OpenStreetMapを用いて、浸水域の構造物群を1軒1軒再現する手法を開発した。この構造物の再現では、非構造格子群を用いることで、住居や海岸構造物の平面形状を実際の形状に近づけて、数値計算モデル内で再現した(図-2)。そのため、実際に存在する交差点や構造物密集地帯を数値計算格子に再現できた。

研究項目(2)のコンテナ漂流の数値計算では、コンテナの漂流開始、漂着に関しては吃水深と浸水深から判定した。コンテナの初期位置はGoogle Earthより特定した。コンテナに作用する外力に関する方程式に基づいてアルゴリズムを作成して、非構造格子上で運動するコンテナ漂流モデルを開発した。

研究項目(3)ではDualSPHysicsのChronoカップリングモデルを用いることで、実験スケールにおけるコンテナ漂流の数値計算結果を高度化した。ここで、数値計算モデルのパラメータを調節することで、水理模型実験の結果と定量的に合致する結果を得ることを目的とした。

研究項目(4)については、気象モデルの初期・境界条件に擬似温暖化手法を適用した。IPCCが提示した最新シナリオを用いることで、東京湾における台風・高潮の温暖化影響評価を実施した。ここでは、スペクトルナッジングを用いることで、擬似温暖化場における台風経路を強制して、現在気候条件に近づけることを試みるケースも作成した。

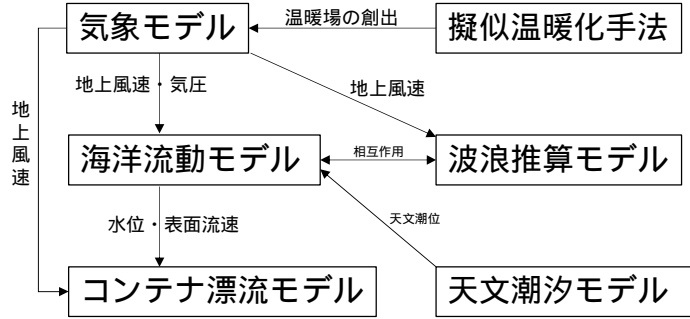


図-1 本研究で用いた数値計算モデルの構成のまとめ。
(研究項目によってモデルの構成は若干異なる)

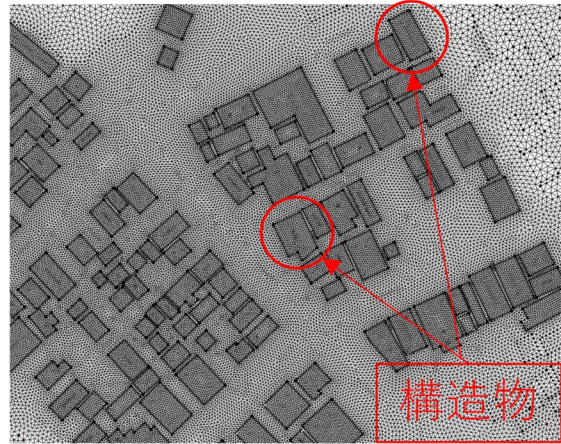


図-2 非構造格子上に再現された構造物群
(Nakmaura et al. 2019 を用いて作成)。

4. 研究成果

研究項目(1)

2014年根室で発生した高潮浸水事例を対象として、超高解像度高潮・波浪の数値計算を行った。超高解像度高潮波浪モデルを用いた浸水範囲の算定結果は現地調査と概ね良好に合致していた。子供の転倒率を用いて浸水域におけるリスク評価を行った結果として、比較的に大きなリスクを算定した人間の転倒率に関する方程式を用いた場合においても、5歳児を想定した子供の転倒率は比較的に小さく、最大でも50%の確率で転倒する程度であった。また、65歳の高齢者を想定した場合には、転倒率は5歳児のケースと比較すると小さくなった。実際に根室における浸水被害は少なかったが、流体力が大きく作用していなかったことが一因であることが確認できた。また、特定の領域(交差点や街路等)において人的被害率が高くなることが研究結果より算定された。以上の研究は、Nakamura et al. (2019) Natural Hazards 99, 391-422 として結実している。

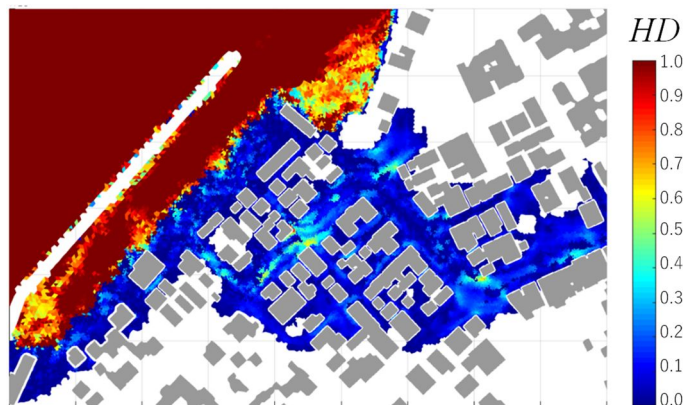


図-3 高潮数値計算結果に基づく、北海道根室市における5歳児を想定した転倒率の評価(Nakmaura et al. 2019)。

研究項目(2)

コンテナの漂流モデルを作成して、2018年台風21号による大阪湾のコンテナ漂流の再現を試みた。現地調査の結果より、高潮浸水によって、六甲アイランドから漂流したコンテナは涼風町の海岸付近に漂着したことが確認されている。この漂流したコンテナ群について数値解析を実施した。また、コンテナに作用する外力は図-1に示した気象モデルと海洋流動モデルを用いた。

数値解析の結果として、図-4に示すように、漂流したコンテナは六甲アイランドから出発して、涼風町の海岸付近に漂着した。このように、現地調査結果と符合する解析結果を得ることができた。また、数値解析した結果として、コンテナに作用する外力としては、地上風速場の影響

が海流による影響よりも大きいことが数値計算の結果として分かった。また、漂流したコンテナの数も、現実の漂着数と概ね符合していた。このように、高潮浸水被害の甚大化を引き起こすコンテナの漂流に関するモデルを構築して、高潮・波浪の数値計算結果に組み込むことができた。本研究結果については、近日中に英文誌への投稿を予定している。

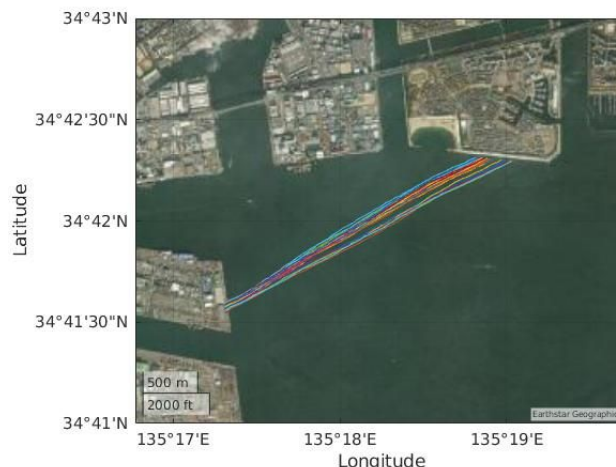


図-4 2018年台風21号により、六甲アイランドより漂流したコンテナの漂流経路の予測結果。

研究項目(3)

実験スケールのコンテナの漂流解析について既往水理実験結果を基にして、数値計算を実施した。数値計算ではNistor et al. (2017)を参考にして、平面2次元水路におけるコンテナの漂流経路の再現計算を試みた。DualSPHysics-Chrono練成モデルを用いたダムブレイクを作用させたコンテナの漂流経路は、流れ場の方向に若干過小評価していたが、広がり度合いについては、既往実験と概ね合致していた。流れ場方向への過小評価は、モデルの物理諸量を変更することで改善できると考えるが、これらは今後の課題としたい。このように、実験スケールにおける極端外力を作用させたコンテナの漂流について、実験結果と概ね符合する数値計算結果を得ることができており、用いた流体解析ツールの有用性を示すことができた。本研究成果は、土木学会論文集B3(海洋開発)77(2)、1_25-1_30に搭載されている。

研究項目(4)

2019年台風21号によって発生した東京湾の高潮にSSP585シナリオを用いて擬似温暖化実験を行った。過去に発生した高潮の高さは概ね数値的再現ができていた。擬似温暖化実験の結果として、東京湾の湾奥である東京駿潮所において2.0m近い高潮が算定された。これは、東京湾の想定高潮高さを下回る結果となったものの、将来の温暖化場においては高潮の危険度が増加する恐れがあることが研究成果より分かった。本研究成果は、土木学会論文集B3(海洋開発)78(2)に採択されている。

付記

以上の研究に加えて、本研究費の支援によって海岸工学分野に関する他にも多くの論文を執筆することができた。本研究費に採択されたことに記して謝辞を表す。

参考文献:

- Nistor, I., Goseberg, N., Stolle, J., Mikami, T., Shibayama, T., Nakamura, R., Matsuba, S. Experimental investigations of debris dynamics over a horizontal plane, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 143(3), 04016022. 2017.
- Crespo, A.J.C., Domínguez, J.M., Rogers, B.D., Gómez-Gesteira, M., Longshaw, S., Canelas, R., Vacondio, R., Barreiro, A., García-Feal, O. DualSPHysics: Open-source parallel CFD solver based on Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), *Computer Physics Communication* 187, 204–216, 2015.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 矢崎真, 中村亮太	4. 巻 77
2. 論文標題 DualSPHysicsを用いた実験スケールにおけるコンテナの漂流軌道解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_25 ~ I_30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.77.2.I_25	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 Nakamura Ryota, Maell Martin	4. 巻 126
2. 論文標題 Pseudo Global Warming Sensitivity Experiments of Subtropical Cyclone Anita (2010) Under RCP 8.5 Scenario	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 e2021JD035261
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JD035261	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 樺澤柁樹, 中村亮太, 大泉洸太	4. 巻 78
2. 論文標題 SSP585シナリオを用いた2019年台風19号に伴う東京湾の高潮の擬似温暖化実験	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 登載決定
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 大泉洸太, 石橋邦彦, 中村亮太, 高橋明	4. 巻 77
2. 論文標題 新潟県荒川河口砂州における地形変化の変形過程の再現計算の定量化と開口機構の解明	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_355-I_360
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.77.2.I_355	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 伊藤優子, 大泉洸太, 石橋邦彦, 中村亮太, 加藤茂	4. 巻 77
2. 論文標題 離岸堤付近における現地調査とXBeachを用いた海浜変形の数値計算	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_919-I_924
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.77.2_I_919	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 小原裕貴, 中村亮太	4. 巻 77
2. 論文標題 LSTMを用いた日本海側の高精度波浪予測	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_751-I_756
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.77.2_I_751	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 西田航平, 小原裕貴, 中村 亮太	4. 巻 78
2. 論文標題 LSTM-マルコフ連鎖モデルを用いた日本沿岸域における有義波高予測の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 登載決定
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 伊藤秀, 片山大地, 大泉洸太, 石橋邦彦, 中村亮太, 加藤茂	4. 巻 78
2. 論文標題 令和3年台風9号通過前後の新潟青山河岸の離岸堤付近の海浜変形の現地調査と数値計算	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 登載決定
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 熊倉 僚也, 中村 亮太, 大泉 洸太, 石橋 邦彦	4. 巻 76
2. 論文標題 新潟地震を用いた新潟都市部における不確実性を考慮した津波危険度の評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_935 ~ I_940
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_935	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 Ryota Nakamura, Martin Maell, Tomoya Shibayama	4. 巻 99
2. 論文標題 Street-scale storm surge load impact assessment using fine-resolution numerical modelling: a case study from Nemuro, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Natural Hazards	6. 最初と最後の頁 391 ~ 422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11069-019-03746-6	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6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 矢崎真, 中村亮太
2. 発表標題 DualSPHysicsを用いた実験スケールにおけるコンテナの漂流軌道解析
3. 学会等名 第46回海洋開発シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 樺澤 征樹, 中村亮太, 大泉洸太
2. 発表標題 SSP585シナリオを用いた2019年台風19号に伴う東京湾の高潮の擬似温暖化実験
3. 学会等名 第47回海洋開発シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大泉洸太, 石橋邦彦, 中村亮太, 高橋明
2. 発表標題 新潟県荒川河口砂州における地形変化の変形過程の再現計算の定量化と開口機構の解明
3. 学会等名 第46回海洋開発シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小原裕貴, 中村亮太
2. 発表標題 LSTMを用いた日本海側の高精度波浪予測
3. 学会等名 第46回海洋開発シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西田航平, 小原裕貴, 中村 亮太
2. 発表標題 LSTM-マルコフ連鎖モデルを用いた 日本沿岸域における有義波高予測の検討
3. 学会等名 第47回海洋開発シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤秀, 片山大地, 大泉洸太, 石橋邦彦, 中村亮太, 加藤茂
2. 発表標題 令和3年台風9号通過前後の新潟青山海岸の離岸堤付近の海浜変形の現地調査と数値計算
3. 学会等名 第47回海洋開発シンポジウム
4. 発表年 2022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
--	---------------------------	-----------------------	----

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		
カナダ	オタワ大学	ケベック大学州立科学研究所	