

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04702

研究課題名（和文）沿岸部都市河川流域における複合水災害モデルの構築と浸水リスクの多角的評価

研究課題名（英文）Development of a compound flood hazard model in coastal urban river basins for multidimensional flood risk assessment

研究代表者

渋尾 欣弘 (Shibuo, Yoshihiro)

高知大学・教育研究部自然科学系理工学部門・准教授

研究者番号：00573560

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：沿岸部の都市河川流域では、河川洪水・高潮・内水氾濫、およびこれらの複合的発生による浸水リスクを抱えている。本研究では神奈川県を流れる帷子川流域を対象に複合水災害モデルを構築するとともに、様々な気象条件を疑似温暖化アンサンブル台風手法によって作り出し、それを外力とした複合水災害解析を実施した。その結果、流域降水量は適用する全球気候モデルによってばらつくため、洪水流量は一様に増大とはならなかった。一方で高潮による潮位偏差を考慮することで河道下流水位は上昇し、降雨変化のみを考慮した場合よりも浸水リスクが高まることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

都市の雨水排水機構との相互干渉を考慮しながら河川洪水と地表面氾濫を解析し、さらには高潮の潮位偏差も考慮して、沿岸都市部の浸水リスクを総合的に評価することは学術的意義がある。さらには疑似温暖化アンサンブル台風手法と組み合わせることで、気候変動に伴う台風の巨大化とそれに伴う浸水リスクを解析する枠組みを開発した点も評価できる。沿岸都市部における浸水リスクは、降水量の増大だけでなく高潮による潮位偏差の考慮によってさらに高まる事を示した点も、気候変動適応の面で社会的に意義深いものである。

研究成果の概要（英文）：In coastal urban river basins, there is a risk of fluvial and pluvial flooding, storm surges, and the combined occurrence of these events. In this study, a compound flood hazard model was constructed for the Katabira River basin flowing through Kanagawa Prefecture, and various meteorological forcings were simulated using a pseudo-global warming method with ensemble typhoon simulation, and compound flood hazard analysis was conducted using this as model forcings. As a result, since the basin precipitation varies depending on the global climate model applied, the flood discharge did not uniformly increase. However, considering the tidal level deviation due to storm surges, the downstream water level in the river channel increased, indicating a higher risk of inundation compared to considering only rainfall changes.

研究分野：水工学

キーワード：河川洪水 内水氾濫 高潮 複合水災害 リスク評価

1. 研究開始当初の背景

沿岸部の都市河川流域における複合水災害リスクを評価するためには、河川、下水道、海岸の要素が統合された解析が必要である。例えば令和元年8月の前線による九州北部の記録的な大雨では、有明海の満潮時刻と重なってしまったために佐賀市で浸水被害が拡大している。このような沿岸感潮域の河川における高潮や河川洪水に伴う水位上昇、流下抵抗特性の変化、そして下水道等の排水システムの排水機能低下などの複合的な流況場を考慮した都市浸水リスクの評価はなされていない。とりわけ、海拔の低い横浜駅西口周辺に地下街が存在する帷子川下流沿岸部では、氾濫が発生した際には地下街が水没するリスクがあり、人命の確保や浸水被害の最小化の観点で極めて重要である。そのためには河川洪水に加え、下水道網や排水ポンプによる排水機能、沿岸部の水理特性を結合した、洪水・高潮・内水氾濫解析モデルによる複合水災害のリスク評価が求められる。

2. 研究の目的

本研究では、横浜市を流れる都市河川である帷子川(図-1左)を対象に、河川洪水・内水氾濫・高潮の複合的氾濫事象を一体的に解析可能な「河川・下水道・海岸のシームレス結合モデル(図-1右)」を構築し、さまざまな氾濫要因による浸水リスクを評価する。シームレス結合モデルは、河道モデル、下水道ネットワークモデル、地表面氾濫モデルから構成される。それにより排水先水位を考慮した下水道管渠の非定常な水理計算や、窪地や地表面勾配を考慮した内水氾濫計算、河川や海岸堤防を越流してくる外水氾濫計算が可能となる。すなわち、都市流域においては、河川水位が都市排水量を規定する一方で、都市排水量は河川水位にも影響する。同様に、地表面勾配を主とする氾濫流れと下水道管路網の流れについても、マンホール部を介した溢水・流入によって流量のやり取りを受ける。これらの干渉についてシナリオを仮定せずに一体的なモデル解析を行う。さまざまな氾濫要因は、アンサンブル台風シミュレーションによって与える。数値気象モデルによる既往台風の再現計算において、初期値をわずかにずらしたアンサンブル計算により、カオスの挙動から東京湾近傍を通過するさまざまな台風のパターンが生成される。これを気象外力として河川流出計算と高潮計算を行い、シームレス計算領域の上下流端境界値として与えることで、多様な洪水、高潮、内水パターンによる複合的氾濫計算が実施される。

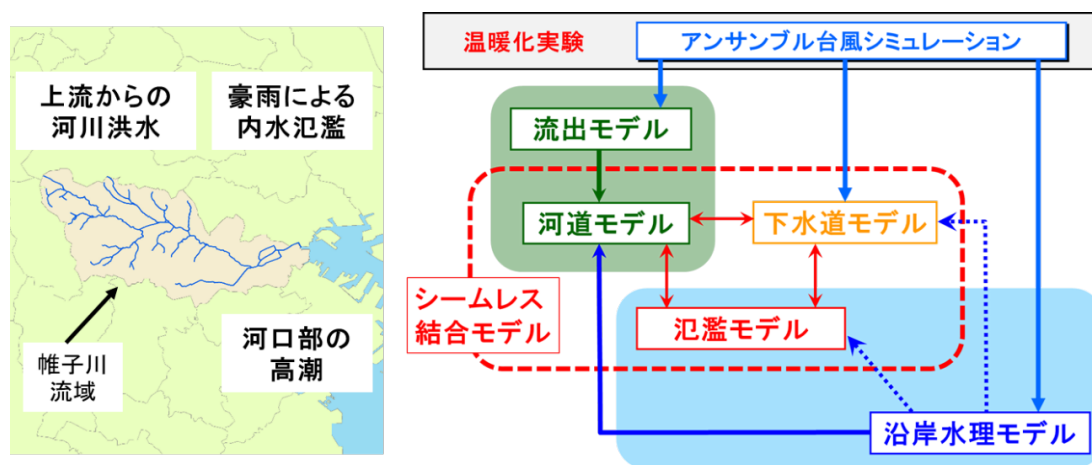


図-1 左) 帷子川流域における浸水リスク, 右) 本研究で示す方法論

3. 研究の方法

(1) 複合水災害モデルの構築

低平地都市部における氾濫解析には複合的な氾濫事象を一体的に解くことが可能な、河川・下水道・海岸のシームレス結合モデルを用いる。基礎データである河道断面等により河川のモデル化を図るとともに、下水道管きょ網データ(地盤高、管形状、管径、延長、管底高等)やポンプ施設の運転管理ルールをもとに下水道ネットワークモデルを構築する。そして、地表面氾濫モデルを介して各モデルを結合する。

高潮モデルは、基礎式である浅水方程式に外力項として風による水平せん断応力項や波によるラディエーション応力項、気圧による圧力勾配項を加えることで、高潮、高波や潮汐に伴う沿岸部から河口・下流域、陸上氾濫域における浸水・氾濫過程を統一的に解析する。計算領域の沖側境界では高潮モデルに基づく水位変動を与えることとし、高潮モデルの気象外力となる風と気圧は台風を対象としたアンサンブル数値気象シミュレーションから与える。

(2) 疑似温暖化手法による台風巨大化実験

アンサンブル台風シミュレーションとして、数値気象モデル Weather Research and Forecasting (WRF) モデルを用いて既往台風の再現計算を実施する。初期値と境界条件は、気象庁長期際解析データ (JRA55) と、NOAA 海面水温データを用いて、予測開始時刻をずらしたラグ平均予報法によりアンサンブルメンバーを作成する。さらに気候変動温暖化実験の出力を初期値と境界条件とすることで、既往台風の将来気候下における巨大化実験を行う。そして、アンサンブル台風メンバー出力を外力とするアンサンブル高潮計算を行う。計算においては台風の経路と風向きが水位偏差に及ぼす影響の違いに着目し、複数の台風パターンから東京湾における高潮リスクの高い台風の経路・風向きについて評価する。

### (3) 複合水災害モデルによる浸水リスク評価

アンサンブル台風メンバーにより得られた気象外力と高潮偏差を、シームレス結合モデルへの入力値と境界値として与え、洪水・高潮・内水氾濫の複合解析を実施する。解析においては、洪水あるいは高潮の単独要因による氾濫に加え、洪水と高潮の同時生起に着目し、それぞれの場合の浸水範囲や継続時間について評価する。また、河道水位と下水道排水量の関係にも着目し、同規模の降雨条件下において洪水や高潮の有無が氾濫に与える影響を評価する。そして洪水と高潮の組み合わせを考慮した複合解析の結果から、さまざまな浸水要因に対する帷子川下流部の浸水への脆弱性を明らかにする。

## 4. 研究成果

### (1) 気象シミュレーションによる総降水量の空間分布

気象シミュレーションで得られた各モデルの総降水量のアンサンブル平均の空間分布を図-2 に示す。いずれの結果も神奈川県、静岡県、山梨県の県境にかけて強雨域がみられ、将来気候 1 と 5 では強雨域がより広範囲となった。現在気候と将来気候の比較ではこれら 2 モデルで総降水量が全体的に増加しているものの、他の将来気候では 200mm から 300mm の総降水量の占める割合が多い点で現在気候と類似する結果となった。帷子川流域周辺に着目すると、モデル間で降雨変化にばらつきが見られた。

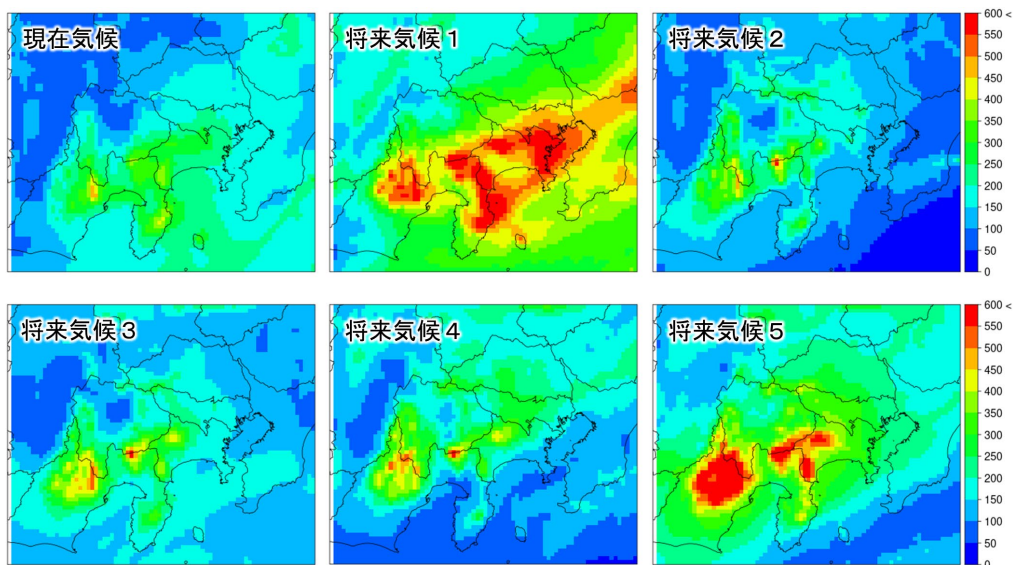


図-2 擬似温暖化気象シミュレーションによる総降水量 (アンサンブル平均値) の空間分布

### (2) 帷子川流域における降水量変化

現在気候と将来気候における気象モデル実験結果の、帷子川流域におけるハイトグラフを図-3 に示す。降雨波形は現在気候においてふた山であり後方にピークを迎えている。将来気候ではいずれのモデルも降雨ピークがより強調され、特に後方ピークの降雨が増加した。このことから流出解析では出水後期での流量ピークが示唆された。累積雨量のアンサンブル平均値は現在気候において 228mm であり、流域に近い横浜気象台の二日間雨量 357mm と比較すると過小な結果となった。それと比較すると将来気候ではモデル間において降雨変化にばらつきが見られ、3つの気候モデルにおいて現在気候を下回る累加雨量 (130~170mm) となった。将来気候 1 と 5 では現在気候を上回る 572mm と 290mm となった。

### (3) 内水氾濫リスクの評価

現在気候と最も降水量が増加した将来気候 1 について、降雨ピーク付近での内水・外水の一体解析による下水道管渠満管状態のアンサンブル平均値を図-4 に示す。図では管路網の色が緑から赤へ変化するほど管路の満管率が低い状態から高い状態へ変化する様子を示している。標高値が相対的に低い河道や谷間において下水道の満管状態が高くなっており、将来気候においてそ

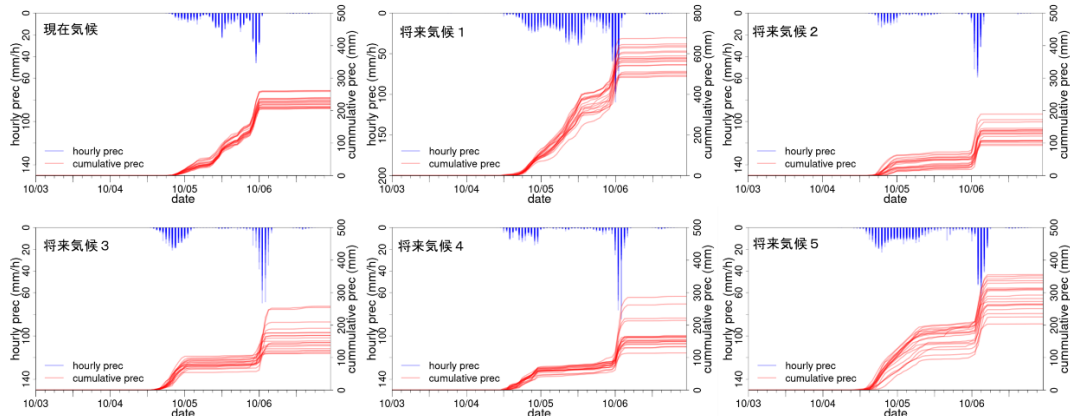


図-3 気象シミュレーションによる流域ハイトグラフ：時間雨量（青），累積雨量（赤）

の傾向はより強まっている。なお計算条件として帷子川分水路と今井川地下調節池での洪水調節を仮想的に除外しているため、それらの治水効果が本解析には反映されていない点、注意が必要である。紙幅の都合、累積降水量が最大となった将来気候 1のみ示すが、内水解析では気候モデルの降雨波形と降雨強度に影響を受ける結果となった。

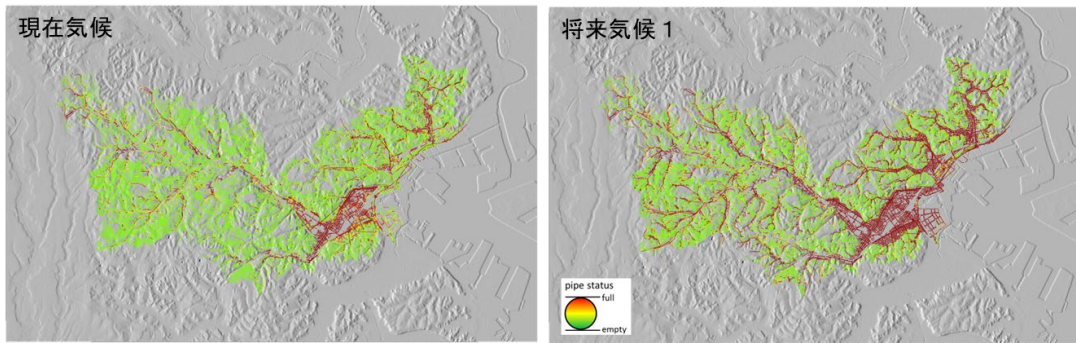


図-4 内水氾濫解析による管きよ満管状態のアンサンブル

#### (4) 高潮モデルによる潮位偏差

現在気候と将来気候の気象シミュレーション結果に基づく高潮シミュレーションによる帷子川河口部での潮位偏差の時系列を図-5に示す。各図の線の重なり度合いはアンサンブルメンバーの幅を示している。現在気候ではどのメンバーでも潮位偏差の幅が小さいが、将来気候では幅が広がっている。すなわち気候モデルごとに加えメンバー間の差が潮位偏差の幅に表れている。いずれの結果でも潮位が下がった直後に最大潮位を迎えており、その後また下がった後で小幅な潮位変動が発生している。最大潮位は現在気候から将来気候にかけて一部を除き増加しており、特に将来気候 5において最大値は 1.75 倍増加した。潮位の最低値も将来気候 3で低くなる場合が見られた。最大値と最低値の幅は将来気候 5において 2.45m も差があり、高潮による潮位のタイミングが河道水位に与える影響が推測された。

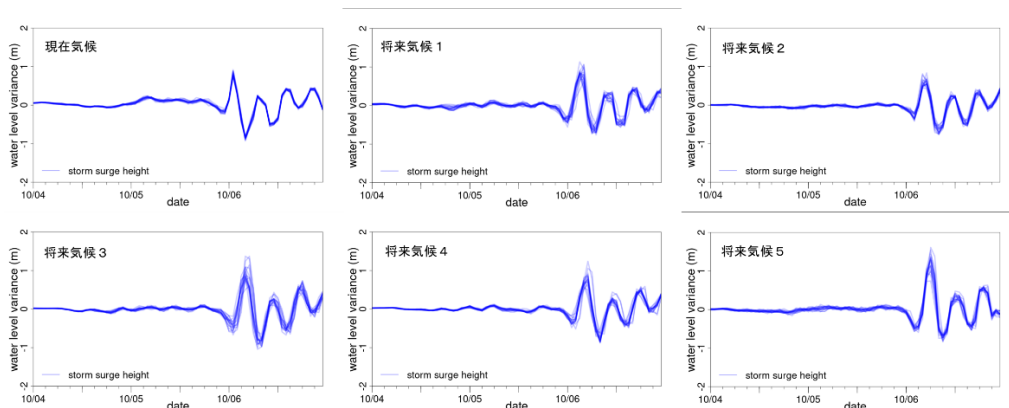


図-5 高潮モデルによる帷子川河口部の潮位偏差

### (5) 河川洪水と高潮による浸水リスク解析

擬似温暖化気象シミュレーションに基づく降水外力を用いて内水・外水一体解析モデルを行い、その結果得られた帷子川下流河口橋の水位を図-6 に示す。図-6a では河道モデル下流端に天文潮位に基づく水位を、図-10b では天文潮位に高潮モデルからの潮位偏差を加えた水位を境界条件として与えている。高潮による潮位偏差を考えない解析（図-6a）では現在気候において洪水により最大 1m 程度の水位上昇がみられた。一方、将来気候では降雨強度が高まった 1 と 5 においてピーク流量の増大に伴う大きな水位上昇がみられた。全体的に下流境界での干満差に伴う水位変動が支配的であり、潮位のタイミングにより洪水時のピーク水位が影響を受けることがわかる。

高潮による潮位偏差を考慮した解析（図-6b）では、現在気候において規則的な干満の水位波形は高潮による潮位偏差によって高潮ピーク付近で崩れており、将来気候ではより顕著な結果となった。擬似温暖化実験で比較的降水量が少なかった将来気候モデル 2、3 においては、最大ピーク付近でアンサンブルメンバー全体として水位が上昇している様子がみられる。これは満潮の時刻と高潮ピーク周辺が重なったことにより生じたものと考えられる。他方、図-5 で確認できるように、本解析の高潮モデルでは潮位偏差ピーク直前に水位が一度下がっており、高潮現象によって必ずしも水位が上がるわけではないことも示唆された。本研究の解析結果では得られなかったが、河川下流区間では天文潮位と高潮の潮位偏差により変化する河道水位と、上流域からの洪水が合わさることによってさらに水位が上がることも考えられた。

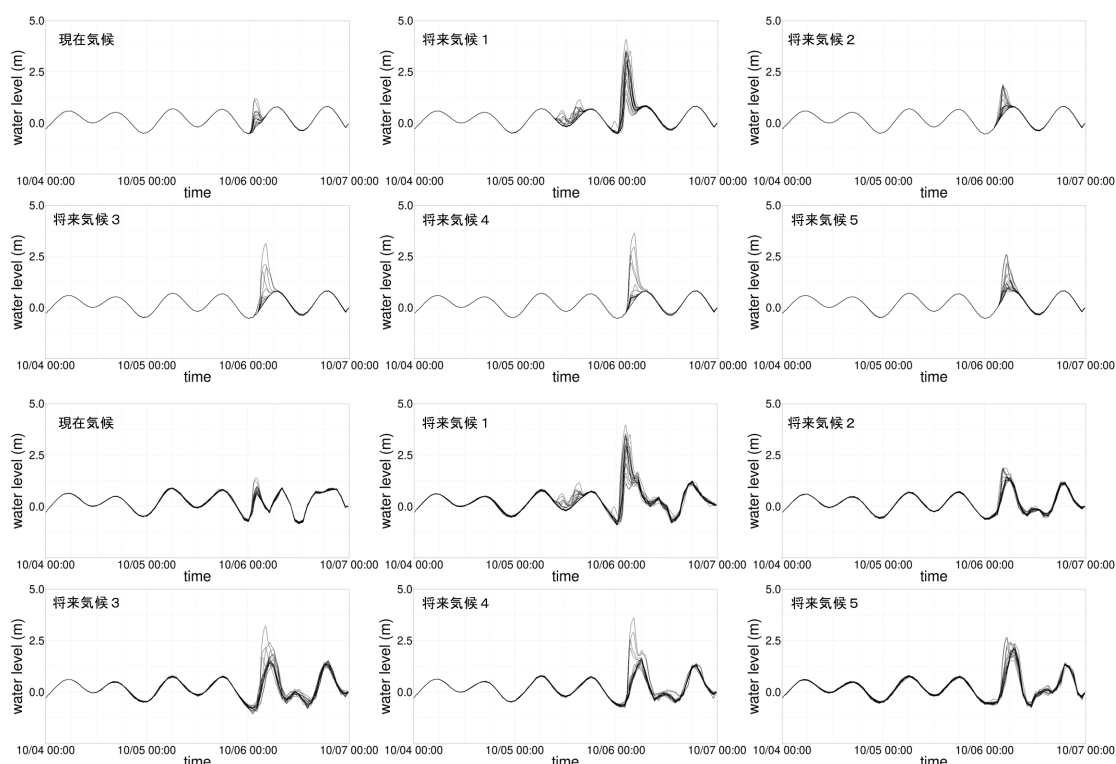


図-6 帷子川下流の河道水位変動： a) 河道下流端境界は天文潮位、

b) 河道下流端境界は天文潮位と高潮の潮位偏差の和

### (6) 洪水・高潮・内水氾濫解析モデルによる複合水災害のリスク評価

擬似温暖化気象シミュレーションの結果を外力として高潮モデル、内水・外水一体の氾濫解析手法に適用し、沿岸部低地における複合的水災害のリスクを評価した結果、南関東地方の降水量は大幅に増加する気候モデルもあるものの、複数の GCM で同程度であった。この気象場を外力とする内水・外水の解析では、現在気候から将来気候への降水量の増加に応じて下水道管渠の満管状態が広まり、洪水ピーク時の河道水位も増加した。雨量の増大だけでなく、台風に伴う高潮現象がもたらす潮位偏差も考慮すると、帷子川下流の水位は干満差とも合わさり大きく上昇しうることがわかった。これらのことから気候変動下における沿岸低地では、降雨変化のみ考慮した場合よりも高潮現象を加味することにより浸水リスクがさらに高まり得ることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yoshihiro Shibuo and Kenji Taniguchi
2. 発表標題 Estimating the Changes in Pluvial Flooding in Coastal Urbanized Basins by Typhoons under the Future Climate
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Shibuo
2. 発表標題 Development of the Integrated SurfaceInundation and Detailed Stormwater Network Model in the Urbanized Area
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023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	谷口 健司  (Taniguchi Kenji)  (20422321)	金沢大学・地球社会基盤学系・教授   (13301)	

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
---------	---------