

令和 2 年 7 月 7 日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18963

研究課題名（和文）船上搭載型GNSSによる海上可降水量観測システムの構築

研究課題名（英文）Development of shipborne GNSS water vapor observation system

研究代表者

藤田 実季子（Fujita, Mikiko）

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門（大気海洋相互作用研究プログラム）・研究員

研究者番号：50426293

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：降水現象の発生発達には水蒸気の輸送が深く関係し、特に日本では海上での水蒸気量の把握は豪雨予測において極めて重要である。本研究では船舶上で安定的に海上の可降水量（水蒸気量の鉛直積算値）を観測できるGNSS衛星を用いたシステムの開発と、海上可降水量のインパクトに関する統計的評価を実施した。

リアルタイム観測が可能なGNSS解析システムを船上に構築し精度評価を行ったところこれまでのGNSS可降水量と同等の精度が得られた。インパクト調査では水蒸気輸送量が大きい海域の水蒸気データを数値モデルに同化することで風下側の豪雨の予測精度の改善がみられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の実験により、船舶上でのリアルタイム可降水量観測は実現の可能性が非常に高いことがわかった。今後実用が本格化するCLAS/MADCOCAといった衛星経由のGNSS解析向け補助データ配信サービスを利用することで、インターネット回線を介せずにリアルタイムで海上可降水量を観測できる可能性が高い。またこのようなデータを気象予測に活用すれば豪雨などの予測精度を改善できる可能性が高い。

研究成果の概要（英文）：The measuring of water vapor amount is essential for the understanding of the convective system that causes heavy precipitation. Especially for the heavy precipitation that occurs in the boreal summer around Japan, it's desired to observe the water vapor feature over the ocean at the leeward area that contains abundant water vapor. We developed the ship-borne analytic system for GNSS precipitable water vapor (PWV), which can estimate the PWV in real-time. Moreover, we investigated the impact of the oceanic water vapor for the forecast of the heavy precipitation event by the observing system simulation experiment.

As a result, the accurate GNSS PWV was confirmed by the developed system; that accuracy was similar to the previous study. In the impact investigation, the forecast of heavy precipitation was corrected by the assimilation of oceanic water vapor, in particular, the data was necessary around the leeward area where the water vapor transport was significant.

研究分野：GNSS/GPS気象学

キーワード：GNSS可降水量 船舶観測 観測システムシミュレーション実験 LETKF

1. 研究開始当初の背景

日本における短時間の降水予報や豪雨の予測にはアメダス観測網やレーダー観測が大きな役割を担っている。レーダーによる降雨域の把握は極めて有効ではあるが、山岳周辺の水蒸気増加に伴う大気不安定化がその後の積乱雲の発生・発達に強く影響することが知られており、平野域でも豪雨に先行して水蒸気量の増加が報告されている。新たな降水域の出現や急発達を予測するには、水蒸気量など湿潤対流に及ぼす大気不安定度の情報が不可欠である。

水蒸気量の観測は、降水現象の再現性に大きく影響を及ぼすため、地域分布を含めた稠密なネットワークが必要となる。陸上においては、従来のゾンデ網に加えて、最近ではGPS観測網が整備され高精度の水蒸気量の情報がリアルタイムで把握できるようになってきたが、海に囲まれた日本で発生する豪雨は、海上からの水蒸気の輸送が深くかかわっており、海上での水蒸気量の把握は豪雨予測において極めて重要である。日本の気象予測に注目すれば、気塊が陸上のみならずGPS観測網を横断する時間は短く、水蒸気データが活用されたとしても降水予報精度の向上は限られることが推測される。

海上の可降水量(水蒸気量の鉛直積算値)観測では、人工衛星のマイクロ波放射計を用いた観測データが主流であるが、従来の人工衛星は軌道の関係からコンスタントな連続観測ができず、厚い雲域では観測データを得られない。海上の水蒸気量観測の充実化が求められている。

2. 研究の目的

上記を背景に、本研究では、船舶上で安定的に海上の可降水量(水蒸気量の鉛直積算値)を観測できるシステムの開発と海上可降水量のインパクトに関する統計的評価を目的とする。詳細は以下のとおり分担の上で設定した。

(1) リアルタイム解析手法の開発と精度検証

船舶上で、大気遅延量をリアルタイムで算出可能なシステムを開発する(大気遅延量とは可降水量算出の元となる推定値である)。大気遅延量を推定する際に衛星情報を用いるが、異なる情報を用いて大気遅延量(または可降水量)を推定し、得られた値の精度検証を実施する。

(2) 海上可降水量の同化インパクト評価実験

海上で可降水量の観測値が得られた場合に、その観測値を同化して予報初期値の改善に用いた時の予報改善効果を調査する。実際の豪雨災害事例に適用することにより、海上可降水量観測の数値予報を通じた災害被害軽減効果について検証する。

3. 研究の方法

(1) リアルタイム解析手法の開発と精度検証

GNSSの搬送波位相観測には、搬送波位相 ambiguity と呼ばれるバイアス項が含まれる。この搬送波位相 ambiguity は整数値 ambiguity、衛星初期位相、受信機初期位相から構成される。一般的に PPP 観測では衛星および受信機の初期位相項をキャンセルすることができないため、搬送波位相の ambiguity を実数として推定することになる。

近年、新たな ambiguity の解決手法として、衛星初期位相を多数の地上観測網の観測データから推定しておき、PPP 測位時に観測量を推定しておいた衛星初期位相で補正することにより、相対測位と類似したアプローチで ambiguity を適切な整数値に拘束する、PPP-AR (Ambiguity resolution) という手法が提案され、多くの実証実験がなされている。

本研究ではこの PPP-AR を船舶上で観測されたデータにリアルタイムに適用するためのシステムを構築した。構築したシステムを用い、海洋研究開発機構の海底広域研究船「かいめい」において GNSS による可降水量観測を実施した。得られたデータの精度評価を行う。PPP-AR のみならず、一般にリアルタイム配信されている衛星情報を用いた可降水量の精度評価も実施した。

(2) 海上可降水量の同化インパクト評価実験

手法としては、実際に海上可降水量を観測して用いるのではなく、仮想的な観測可降水量を用いて実験を行う。観測システムシミュレーション実験(OSSE)を用いた。実験対象として2015年9月の関東東北豪雨時の鬼怒川流域の豪雨事例を選択し、海上可降水量を同化することによって、豪雨予測結果が改善する様子を調査し、海上可降水量観測の重要性を検証した。同化する可降水量は、最初大きめの領域の観測値を用い、徐々に範囲を狭めることで、予測精度向上に係る海域を特定した。同化計算には、アンサンブルカルマンフィルターの1種である局所アンサンブル変換カルマンフィルター(LETKF)を用いる。また、数値予報にはWRFモデルを用いた。

4. 研究成果

(1) リアルタイム解析手法の開発と精度検証

単独測位での ambiguity を決定 (PPP-AR) 可能とするシステムを開発した。海洋研究開発機構の研究船「かいめい」に設置されている GNSS 受信機とアンテナを用い、システムは「かいめい」上の既存の PC を拡張する形で構築した。2018 年度には設定されたシステムを用いほぼ通年で自動観測を実施した。リアルタイム解析のために必要なデータはインターネット回線を介して入手していたため、船舶の通信環境が悪い場合に解析が実行されないことがあったが、それ以外の条件では概ね良好な連続的なデータを得ることができた。

図 1 に解析された GNSS の天頂大気遅延量の散布図を示す。観測後 1 週間ごとに発表される GNSS 衛星情報プロダクトの高精度最終版 (精密歴) を用いて解析した大気遅延量と、衛星情報の予測値であるリアルタイム歴に加え、先に述べた補正情報を用い PPP-AR で解析した大気遅延量を比較すると、双方の間に有意な差は見られず、大気遅延量の差を可降水量に換算してもこれまで報告されている精度と同程度であった。

さらに追加解析として、ASV (自律型海洋観測装置) で観測された GPS 搬送波データを対象にリアルタイム歴のみを用い、可降水量の精度評価を行った。図 2 にリアルタイム歴による可降水量と精密歴による可降水量の比較を示す。双方に有意な差は見られず、過去の研究で示されている GNSS 可降水量の誤差よりも小さかった。上記の PPP-AR は補正值を作成した陸上点から遠く離れないことが使用条件となるが、公海上など周りに観測点がない場合に可降水量のリアルタイム推定を実施する際は、インターネットなどを介して同様の衛星情報を入手することで可能となることが確認できた。

以上から、船舶上でのリアルタイム可降水量観測は実現の可能性が非常に高いことがわかった。PPP-AR の実施可能域である日本の陸上に近い沿岸部では、実用化がはじまりつつある CLAS/MADCOCA 等のサービスを利用することで、インターネット回線を介せずにリアルタイムで海上可降水量を観測できる可能性が高い。

一連の観測から得られた海上可降水量の利用を広く促すためにウェブページを作成した。ウェブページは海洋研究開発機構のサイト内に構築した (watervapor.jamstec.go.jp)。高時間分解能に海上の可降水量を直接観測したデータは貴重であり、また利用を希望する関係者とのデータ共有がウェブページを介して推進できた。

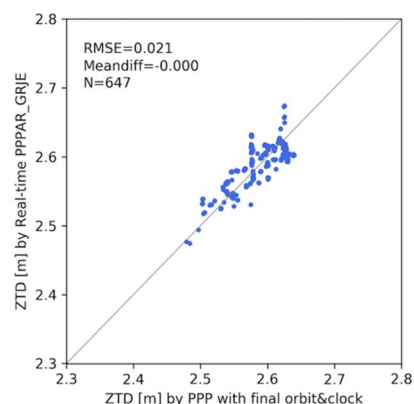


図 1: 精密歴を用い PPP で推定した天頂遅延量 (横軸) とリアルタイム歴を用い PPP-AR で推定した天頂遅延量 (縦軸) の散布図。

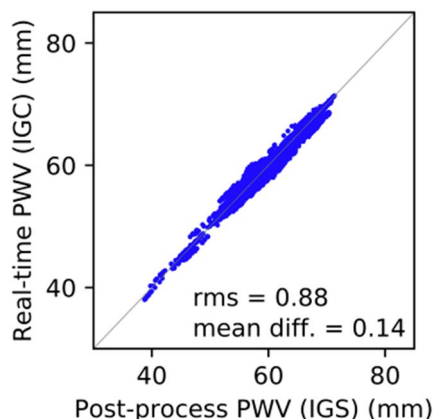


図 2: 精密歴で推定した可降水量 (横軸) とリアルタイム歴で推定した可降水量 (縦軸) の散布図。

(2) 海上可降水量の同化インパクト評価実験

図3に同化実験の結果から得られた豪雨ピーク時の9時間積算降水量を示す。(a)は海上を含むすべての地点のPWVを同化した計算であり、真値に近い降水分布の構造を再現した。(b)は、海上のPWVを同化しなかった実験である(地上GPS地点のPWVは同化している)。埼玉県~栃木県に至る降水帯の降水量は、(a)に比べて半減した。(c)は北緯33°線上の136~141.5°の範囲に100kmに1個の割合で設定したPWVを同化した実験である。(b)に比べて、降水帯の降水量に大きな改善があった。(d)は、(c)と(b)の差であるが、北緯33°線に沿ったPWVを同化した結果、降水量に100mm以上の改善があったことを示した。なお、同化するPWVの位置を32.5~34.5°まで変えてみた結果、33°が最も効果が大きかった。

北緯33°線上の同化データの点数を2点に減らすと(図3(e))、同化インパクトは大幅に減少し、同化データを1点にすると(図3(f))、同化インパクトはさらに減少した。(e)、(f)では、後方流跡線解析から、降水帯に流れ込む気流が通る場所に同化PWVを設定したが、1~2点のPWVでは同化効果は小さいことがわかった。

OSSE実験の結果から、今回のような海上から流れ込む水蒸気量が豪雨の発達に重要な豪雨事例では、海上の可降水量を同化することにより予測精度改善が期待できることがわかった。効果的な可降水量の観測場所は、今回は海岸線よりも200km程度沖合の、水蒸気流入の流れの中心付近であった。また同化観測点は、1~2点の観測よりも6点程度ある方が効果的であった。今回の調査で、海上可降水量観測の重要性が確認できた。

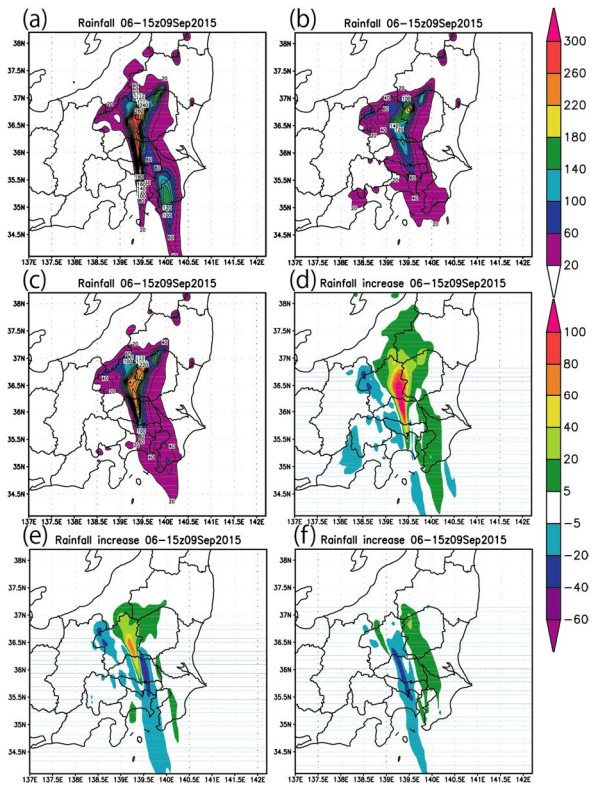


図3. OSSE 実験結果による9時間積算降水量(mm)。(a)海上を含む全域のPWVを同化、(b)海上PWVの同化無し、(c)北緯33°東経136~141.5°のPWVを同化、(d)(c)と(b)の差、(e)北緯33°東経139, 140°のPWVを同化した実験と(b)との差、(f)北緯33°東経139.5°のPWVを同化した実験と(b)との差。値はアンサンブル平均である。

の観測場所は、今回は海岸線よりも200km程度沖合の、水蒸気流入の流れの中心付近であった。また同化観測点は、1~2点の観測よりも6点程度ある方が効果的であった。今回の調査で、海上可降水量観測の重要性が確認できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 岡地寛季, 山田朋人, 渡部靖憲, 猿渡亜由未, 大塚淳一, 森信人, 馬場康之, 水谷英郎, 久保輝広, 二宮順一, 内山雄介	4. 巻 75
2. 論文標題 ディストロメータを用いた海上における2013年夏季の降雨観測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集G(環境)	6. 最初と最後の頁 I_41 ~ I_46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/jscej.g.75.I_41	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 大屋祐太, 山田朋人	4. 巻 76
2. 論文標題 札幌圏における複数のドップラーレーダを組み合わせた線状降水帯の風速場	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会北海道支部論文報告集	6. 最初と最後の頁 B-8
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 -
1. 著者名 宮本真希, 山田朋人	4. 巻 76
2. 論文標題 複数の気象要素と画像解析を用いた前線の抽出方法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会北海道支部論文報告集	6. 最初と最後の頁 B-10
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 -
1. 著者名 FUJITA Mikiko, SATO Tomonori, YAMADA Tomohito J., KAWAZOE Sho, NAKANO Masuo, ITO Kosuke	4. 巻 97
2. 論文標題 Analyses of Extreme Precipitation Associated with the Kinugawa River Flood in September 2015 Using a Large Ensemble Downscaling Experiment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II	6. 最初と最後の頁 387 ~ 401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2151/jmsj.2019-022	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21件(うち招待講演 0件/うち国際学会 12件)

1. 発表者名 有吉 慶介, 飯沼 卓史, 西田 周平, 町田 祐弥, 宮澤 泰正, 美山 透, 内田 裕, 永野 憲, 脇田 昌英, 藤田 実季子, 桑谷 立, 藤原 周, 木元 克典, 中野 善之, 川合 義美, 市川 香, 長谷川 拓也, 吉田 聡, 藤 亜希子
2. 発表標題 「ちきゅう」&DONETを活用した海底~大気の同時貫通観測
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 吉田 聡, 有吉 慶介, 小松 幸生, 立花 義裕, 藤田 実季子, 他25名
2. 発表標題 ちきゅう・新青丸・勢水丸と連携した潮岬での陸域気象観測
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 Kunio Yoneyama, Mikiko Fujita, Qoosaku Moteki, Satoru Yokoi, Ryuichi Shirooka
2. 発表標題 Preliminary results of study on a relationship between convective activity and meso-scale SST gradient based on in-situ measurements.
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 2019 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kunio Yoneyama, Mikiko Fujita, Satoru Yokoi, Junko Suzuki, Ryuichi Shirooka, Esperanza O. Cayanan
2. 発表標題 How we can obtain true humidity data for the YMC campaign?
3. 学会等名 Australian Meteorological and Oceanography Society Annual Meeting 2019 and the International Conference on Tropical Meteorology and Oceanography (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kunio Yoneyama, Mikiko Fujita, Qoosaku Moteki, Iwao Ueki
2. 発表標題 A plan for study on a relationship between convective activity and SST based on YMC-BSM 2018 in-situ measurements
3. 学会等名 American Geophysical Union 2019 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡地寛季, 山田朋人
2. 発表標題 Influence of sea spray, randrop and wave age on momentum, latent and sensible heat exchange at the lower atmospheric boundary layer
3. 学会等名 Typhoon semiar, 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡地寛季, 山田朋人, 渡部靖憲
2. 発表標題 Dependence of drag coefficient on sea spray, raindrop and wave state
3. 学会等名 Civil Engineering Conference in the Asian Region (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡地寛季, 山田朋人
2. 発表標題 Effects of windy and rainy conditions on the momentum and heat exchange at the lower atmospheric boundary layer
3. 学会等名 Waves in sea environment (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡地寛季, 山田朋人
2. 発表標題 Effects of sea spray, rainfall and wave age on the air-sea flux interaction under severe windy conditions
3. 学会等名 International workshop on tropical cyclone ocean interaction in the north pacific (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡地寛季, 山田朋人, 渡部靖憲, 猿渡亜由未, 大塚淳一, 森信人, 馬場康之, 水谷英郎, 久保輝広, 二宮順一, 内山雄介
2. 発表標題 ディストロメータを用いた海上における2013年夏季の降雨観測
3. 学会等名 第27回地球環境シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡地寛季, 藤吉康志, 山田朋人
2. 発表標題 Field observation of rainfall, ocean spray and wave with X-band radar in summer season of 2018
3. 学会等名 AsiaPEX Kickoff Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大屋祐太, 山田朋人
2. 発表標題 Three dimensional wind field in Rain-Shaped Rain Band around Sapporo 2014 using three radars
3. 学会等名 AsiaPEX Kickoff Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡地寛季, 馬場康之, 久保輝広, 藤吉康志, 山田朋人
2. 発表標題 Xバンドレーダを用いた暴風下での野外観測
3. 学会等名 水文・水資源学会2019年度研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡地寛季, 藤吉康志, 山田朋人
2. 発表標題 FIELD OBSERVATION OF RAINFALL AND OCEAN WAVES WITH X-BAND RADAR IN SUMMER SEASON OF 2018
3. 学会等名 International conference on radar meteorology 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大屋祐太, 山田朋人
2. 発表標題 Three dimensional wind field of Line-Shaped Rain Bands in Japan using doppler-radars
3. 学会等名 International conference on radar meteorology 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大屋祐太, 山田朋人
2. 発表標題 Meteorological Field Observation using Multiple Doppler Radar
3. 学会等名 Lecture series on the meteorological issues in Tropics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大屋祐太, 山田朋人
2. 発表標題 札幌圏における複数のドップラーレーダを組み合わせた線状降水帯の風速場
3. 学会等名 令和元年度 土木学会北海道支部 年次技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮本真希, 山田朋人
2. 発表標題 複数の気象要素と画像解析を用いた前線の抽出方法
3. 学会等名 令和元年度 土木学会北海道支部 年次技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keisuke Ariyoshi, Shuhei Nishida, Yuya Machida, Takeshi Inuma, Kan Aoike, Hiroshi Uchida, Akira Nagano, Takuya Hasegawa, Mikiko Fujita, Toru Miyama, Yasumasa Miyazawa, Akira Kuwano-Yoshida, Masahide Wakita, Akiko To, Tatsu Kuwatani, Kaoru Ichikawa
2. 発表標題 A total station plan combined with "D/V Chikyu" and DONET: Simultaneous observation from seafloor to atmosphere
3. 学会等名 2018 OCEANS - MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans, OCEANS - Kobe 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 有吉慶介, 美山透, 脇田昌英, 内田裕, 木元克典, 中野善之, 藤原周, 永野憲, 西田周平, 町田祐弥, 宮澤泰正, 桑谷立, 藤田実季子, 川合義美, 青池寛, 市川香, 酒見亮佑, 油布圭, 吉田聡, 藤亜希子, 長谷川拓也
2. 発表標題 「ちきゅう」とDONETのトータル観測ステーション計画(経過報告)
3. 学会等名 ブルーアースサイエンス・テク2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牛山朋来、瀬古 弘、藤田実季子、小司禎教
2. 発表標題 船舶搭載GPS PWV の同化インパクト実験
3. 学会等名 日本気象学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Water vapor database http://watervapor.jamstec.go.jp/ Water vapor database (Precipitable water vapor database observed by GNSS with high resolution and high accuracy)は、主に船舶観測で取得したGNSS可降水量のデータ集。</p>

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	山田 朋人 (Yamada tomohito) (10554959)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	菊森 佳幹 (Kikumori Yoshito) (20415003)	国立研究開発法人土木研究所・土木研究所(水災害・リスクマネジメント国際センター)・研究員 (82114)	
研究分担者	牛山 朋来 (Ushiyama Tomoki) (50466257)	国立研究開発法人土木研究所・土木研究所(水災害・リスクマネジメント国際センター)・研究員 (82114)	