

令和 3 年 6 月 20 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06582

研究課題名(和文)衛星観測による全球地表水マップの作成と多角的な水循環変動モニタリング

研究課題名(英文)Global satellite mapping of wet surface and diversified monitoring of hydrological changes

研究代表者

瀬戸 心太 (SETO, Shinta)

長崎大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50533618

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：人工衛星搭載のマイクロ波放射計の観測を利用して、地表が水で覆われている割合(冠水率)を表わす地表水マップを作成した。最初に、世界全域(ただし、南北緯度60度以内)を対象に、0.1度(約10km)解像度の地表水マップを、2013～2018年について作成した。次に、日本域(一部の島嶼等を除く)を対象に、1.5秒(約90m)解像度の地表水マップを、2015～2019年について作成した。地表水には、河川からの氾濫など災害を表わすものと、水田の湛水など人為的なものがあり、両者を区別した。河川氾濫を表わす冠水率のデータは、2019年東日本台風時の信濃川などでの氾濫を検出することに成功している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、日単位での地表水マップを作成した。地表水マップの作成は、他の研究グループでも行われているが、空間解像度に重点が置かれており、日単位より細かい時間スケールで推定した例は知られていない。本研究で作成した地表水マップは、河川氾濫などによる浸水域の推定に有用である。これまでに、全球を約10km解像度での推定と、日本域を約90m解像度での推定を行ってきた。今後は、本研究の手法を応用して、全球を1km以下の高解像度で推定するプロダクトの作成を進める。全球降水マップGSMaPと合わせて利用することで、水循環を多角的に把握し、アジア等の海外での水災害の防災・減災に役立てることが期待される。

研究成果の概要(英文)：Global surface water maps were produced based on spaceborne microwave radiometers' measurements. Initially, the ratio of surface covered by water is estimated for a 0.1 by 0.1 degrees grid in the period of 2013 to 2018 all over the world (except for regions higher than 60 degrees latitude north and south). Next, the ratio is estimated for a 1.5 by 1.5 seconds grid in the period of 2015 to 2019 all over Japan (except for some islands). The inundation by river flood and artificial water surface such as paddy field are separated. The second product reproduces the inundation caused by heavy rainfall by Typhoon Hagibis in 2019 successfully.

研究分野：電波水文学

キーワード：地表水 洪水氾濫 マイクロ波放射計

## 1 . 研究開始当初の背景

人工衛星搭載のマイクロ波放射計を中心に利用して、全球の降水量を1時間、0.1度格子で推定した全球降水マップ(GSMaP)がアジアを中心に気象・水文などの様々な分野で使われている。研究代表者は、GSMaPの開発に関わってきた経験をもとに、GSMaPの地表水版である全球地表水マップ(GSMaWS)を作成し、水循環をより多角的にとらえることを目標とした。マイクロ波放射計 AMSR-E の複数のチャンネルの輝度温度から、地表水指標(NDFI)を算出し、さらにNDFIと冠水率の関係を示した竹内ら(2009)の手法を基本とする。2014年から開始されたGPM計画では、GMIやAMSR2などのマイクロ波放射計の輝度温度の相互校正が行われて、データが公開されており、これを利用することで、高時間解像度で推定を行うことが期待できる。

## 2 . 研究の目的

### (1) GSMaWS プロダクトの作成

GSMaWS プロダクトを作成する。空間解像度は0.1度、時間解像度は6時間、可能ならば1時間へ内挿することを目標とする。範囲は、全球(ただし、南北60度以内)とするが、計算量が制約となる場合は日本域を優先する。期間は、GPMの相互校正済輝度温度が利用できる2014年3月以降を優先する。

### (2) 冠水率への変換

地表水指標 NDFI を冠水率へと変換する。より、空間解像度の高い可視・赤外放射計による推定データなどを基準として、NDFI と冠水率の関係式を構築する。

### (3) GSMaWS と GSMaP による水循環研究への応用

GSMaWS と GSMaP により、地表水と降水の両面から水循環を多角的にとらえる。大雨特別警報が発表されるような災害を両データから検出することなど防災に関する応用を目指す。また、氾濫などによる冠水と、灌漑地や貯水池など人為的に生じた水面の区別を検討する。

## 3 . 研究の方法

### (1) 全球版 GSMaWS の作成と基礎的な検証

マイクロ波放射計 GMI と AMSR2 から、地表水指標 NDFI を算出し、0.1度格子・日単位での全球地表水マップを作成する。NDFI の瞬時値(フットプリントでの値)に対して、日内変動やセンサ間のバイアスの補正を行う。作成した地表水マップに対して、既存のグローバルデータセットを用いて検証を行う。長期平均した NDFI を、Pekel et al. (2016)による Global Surface Water から算出した冠水率と比較し、NDFI と冠水率の相関を調べる。次に、NDFI の月単位時系列を、東京大学生産技術研究所と JAXA による陸面水循環シミュレーション Today's Earth の氾濫面積率と比較し、大河川流域での氾濫を検出できるか検証する。さらに、NDFI の日単位の変動について、GSMaP から算出した先行降雨指標(API)と比較する。

### (2) 日本域高空間解像度 GSMaWS の作成

マイクロ波放射計による観測輝度温度から算出される冠水率をダウンスケーリングし、1.5秒格子の高空間解像度 GSMaWS を日本全域(一部の島嶼を除く)で作成する。国土数値情報による土地利用データおよび浸水想定区域データ(計画規模)を用いて、1.5秒格子を冠水しやすい順にレベル0~8に分類する。0は海域、1は河川・湖沼、2は水田、3~7は浸水想定区域内であり、番号が小さいほど想定浸水深が深い。8はその他である。各フットプリントにおいて、NDFI から算出した冠水率と、1.5秒格子の冠水有無からアンテナパターンを考慮して計算した冠水率が一致するように、冠水範囲を決定する。作成した高空間解像度 GSMaWS を、Today's Earth 日本域版(15秒格子)の氾濫面積率と比較する。

### (3) 洪水氾濫の推定と検証

2019年10月東日本台風での信濃川(千曲川)・阿武隈川・那珂川・荒川(上流部の支流入間川・越辺川・都幾川)・久慈川・鳴瀬川(支流吉田川)流域における氾濫について、日本域高空間解像度 GSMaWS が氾濫範囲と期間を適切に推定できているか、国土地理院による浸水推定区域図などと比較して検証する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 全球版 GSMaWS の作成と基礎的な検証

NDFI を 2013 年～2017 年の 5 年間平均した値の空間分布を図-1 に示す。NDFI の平均値は、陸域では -0.02～0.06 の範囲の値を取り、高緯度帯を除く海域では 0.06 以上の値をとる。アマゾン川付近を拡大した図を、図-1 の右側に示している。陸域でも大河川の河道沿いに NDFI が高い場所が確認できる。

NDFI の空間分布について、定量的に評価するため、GSW を利用する。GSW は、 $0.00025^\circ$  (約 30m) 格子と高い空間解像度を持つが、もとなる LANDSAT の観測頻度が低いため、時系列データではなく、観測期間(1984～2015 年)を通した統計値として冠水頻度(全観測回数に対して、冠水していると判断された回数の割合)等が収められている。ここでは、NDFI と GSW の対象期間の違い、すなわち経年変化は考慮せずに比較する。冠水頻度を空間平均した値を冠水率と呼ぶ。日本付近での NDFI と冠水率、さらに両者の散布図を図-2 に示す。相関係数は 0.98870、回帰直線は  $NDFI=0.00056+(\text{冠水率})\times 0.05769$  となった。

NDFI の 2013～2017 年の月単位時系列について、Today's Earth の氾濫面積率と比較した。大河川における時間相関係数を図-3 に示す。ただし、氾濫面積率の最大値が 0.1 未満の格子は評価対象外としてグレーで示す。アマゾン川の下流域やミシシッピ川の上流域では正の相関が見られる。一方で、アマゾン川の上流域では植生の影響、ミシシッピ川の下流域では人為的な水利用の影響により、相関係数が低くなっている。

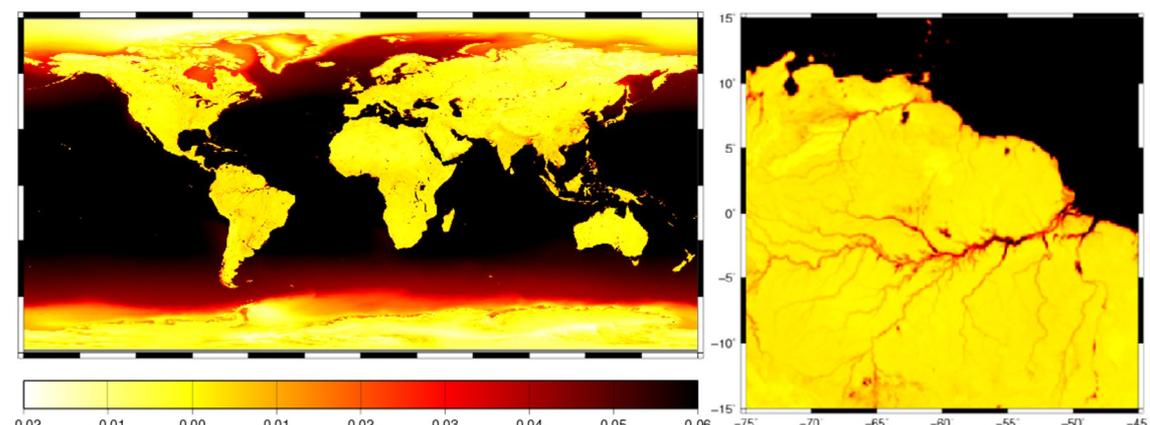


図-1 2013～2017 年の 5 年間平均の NDFI、右図はアマゾン川付近を拡大表示

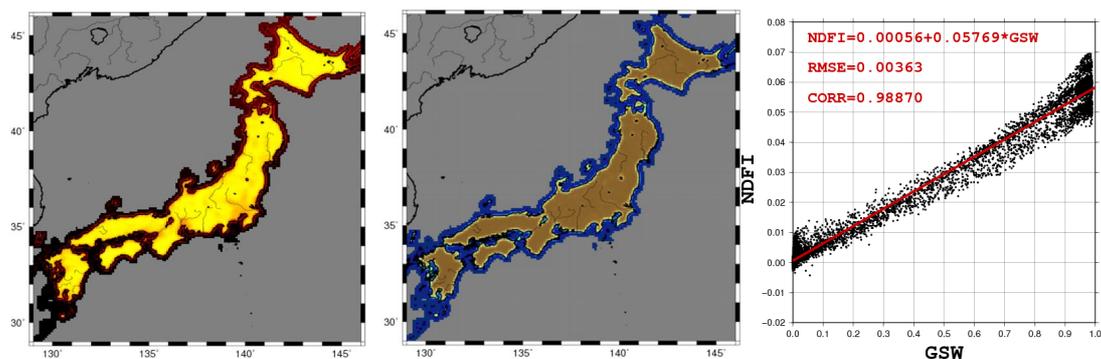


図-2 日本付近における NDFI(左)と冠水率(中央)、両者の散布図(右)

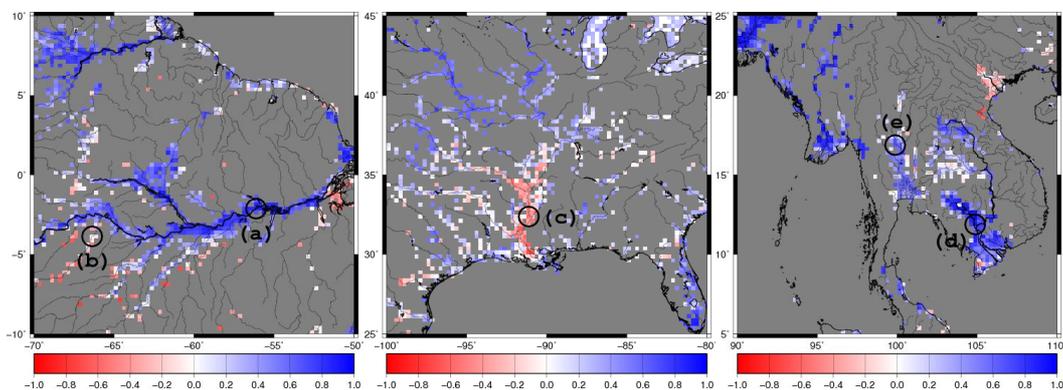


図-3 NDFI と Today's Earth の氾濫面積率の時間相関係数。(左)アマゾン川、(中央)ミシシッピ川、(右)メコン川、チャオプラヤ川など。

(2) 日本域高空間解像度 GSMaWS の作成

マイクロ波放射計による観測輝度温度から算出される冠水率をダウンスケーリングし、2015~2019年について、日単位・1.5秒格子の冠水率を推定した。範囲は、128~147E, 30~46Nに含まれる日本域である。ただし、フットプリント内の海域面積率が0.1以上の場合、海面の変動および海域面積率の推定誤差により陸地の冠水率の推定誤差が大きくなる可能性が高いので除外した。このため、半島の先端部や小さな島など推定が行えない場所がある。マイクロ波放射計 AMSR2 と GMI による観測頻度は、両方あわせて、1日平均で2~5回程度である。2019年10月の月平均の冠水率を図-4に示す。

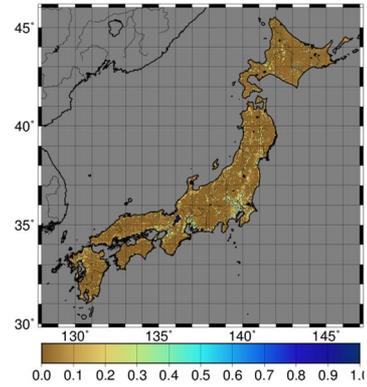
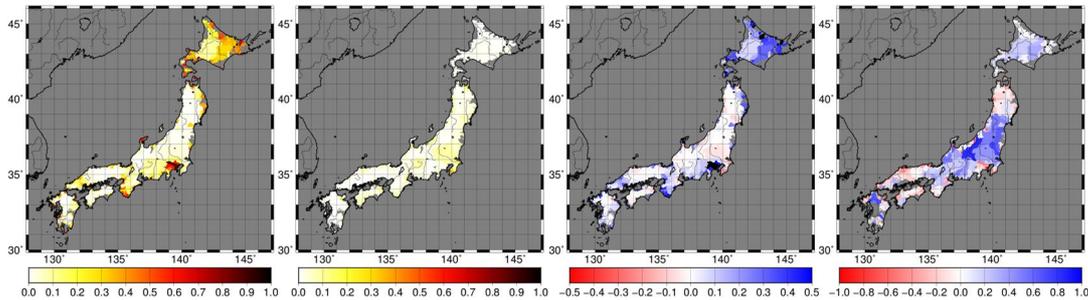


図-4 2019年10月の冠水率

2019年10月の各流域の浸水想定区域(レベル3~7)における GSMaWS の浸水率の平均値を図-5(a)示す。図-5(b)に同区域における Today's Earth 日本域版(TEJ)の浸水率の平均値を示す。GSMaWS との比較のため、TEJ についても、マイクロ波放射計の観測があった時間帯のデータのみを平均した。図-5(c)にバイアス(=GSMaWS - TEJ)を示す。GSMaWS の平均浸水率は首都圏の多摩川・鶴見川・相模川などで0.5を超える高い値を示す。都市域では、NDFI が水面以外のものを反映している可能性がある。また、北海道では0.2を超える値を示す流域が多い。この緯度帯での NDFI から冠水率への変換に用いた係数が過小であったと考えられる。このほか、能登半島や紀伊半島など沿岸部の一部で0.5を超える流域がみられるが、海域の影響を受けていると考えられる。これらを除く大半の流域は0.1以下であり、TEJ の浸水率平均と同程度か TEJ より低い。図-5(d)に GSMaWS と TEJ の浸水率の時間相関係数を示す。2019年10月に豪雨のあった東日本の流域の多くでは正の相関を示している。

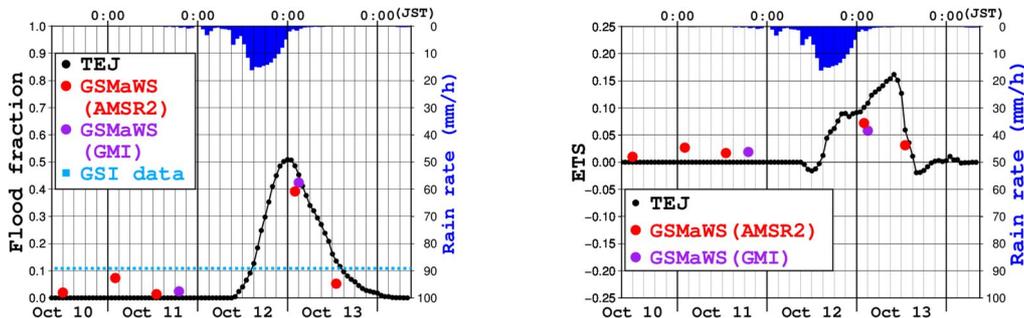


(a) GSMaWS (b) TEJ (c) バイアス (d) 相関係数

図-5 各流域の浸水想定区域における GSMaWS と TEJ の冠水率とその比較。

(3) 洪水氾濫の推定と検証

2019年10月東日本台風で氾濫が発生した信濃川(千曲川)流域の浸水想定区域における GSMaWS の冠水率の時系列を、国土地理院の浸水想定区域推定図から算出した冠水率(GSI)と比較した結果を図-6(a)に示す。図-6(b)には、GSI を基準として評価した Equitable Threat Score(ETS)を示す。参考として、TEJ について GSI を基準として評価した ETS, 解析雨量をあわせて示す。10月12日の午後に降水のピークがあり、TEJ による浸水率は10月13日1時がピークとなっている。10月13日未明の1:45ごろに AMSR2 による観測、3:28ごろに GMI による観測があった。2回の観測に対して、GSMaWS は TEJ に近い浸水率を示している。ただし、GSI データの浸水率と比べると、過大な値となっている。



(a) 冠水率 (b) ETS

図-6 東日本台風時の信濃川における GSMaWS および TEJ の冠水率と、GSI を基準に評価した ETS の時系列。青棒は解析雨量を表わす。

#### (4) まとめと今後の展望

当初の目的をほぼ達成し、2種類の GSMaWS プロダクトを作成した。最初に作成した全球版プロダクトは空間解像度が 0.1 度であり、大河川流域における洪水氾濫の検出に成功した。しかし、日本域などの河川を対象とするには、空間解像度を向上させる必要があるため、日本域で国土数値情報の土地利用データや浸水想定区域図を利用したダウンスケーリングを行い、当初目標より数百倍細かい 1.5 秒スケールでの日本域高解像度プロダクトを作成した。マイクロ波放射計の観測頻度が 1 日 2~5 回程度であるため、時間解像度としては日単位を基本とした。観測時刻の情報も残しているため、今後時間内挿を行う余地がある。

本研究に近い目的を持った最近の研究事例として、Aires et al.(2017)による 3 秒格子の全球マップ GIEMS-D3 がある。空間解像度やマイクロ波放射計を利用している点は本研究と共通しているが、GIEMS-3D は時間変化を表現していない。その他にも高空間解像度の地表水プロダクトはいくつかあるが、時間解像度を日単位以上としたものはなく、その点で本研究に優位性がある。本研究の手法を発展させて、高空間解像度の全球版 GSMaWS を作成する研究を、2021 年度より基盤研究(B)で開始している。

#### <引用文献>

竹内渉, 森主門, 沢田治雄: AMSR-E を用いた地表面冠水率分布図の作成と検証, 第 18 回生研フォーラム, 2009.

Pekel, J.-F., A. Cottam, N. Gorelick, A. S. Belward: High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes, *Nature*, doi:10.1038/nature20584, 2016.

Aires, F., L. Miolane, C. Prigent, B. Pham, E. F.-Chouinard, B. Lehner, F. Papa: A global dynamic long-term inundation extent dataset at high spatial resolution derived through downscaling of satellite observations, *J. Hydromet.*, Vol.18, pp.1305-1325, 2017.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 瀬戸心太	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 日本域高解像度地表水マップの作成と令和元年台風19号による浸水域の推定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_613-I_618
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 瀬戸心太	4. 巻 75(2)
2. 論文標題 マイクロ波放射計を用いた氾濫の検出と高空間解像度の地表水マップの作成	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_1093-I_1098
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.75.2_I_1093	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 瀬戸心太、峯浩然	4. 巻 74
2. 論文標題 複数のマイクロ波放射計を用いた全球地表水マップの作成と基礎的な検証	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_67-I_72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.74.5_I_67	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11件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 中野優太郎、瀬戸心太
2. 発表標題 平成30年7月豪雨における本明川の流出解析
3. 学会等名 令和2年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桑形啓太、瀬戸心太
2. 発表標題 気候変動を考慮した筑後川流域における浸水想定区域図入力用降水量データの作成
3. 学会等名 令和2年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤佳幸、瀬戸心太
2. 発表標題 令和2年7月豪雨時の球磨川における降雨流出氾濫モデルの適用
3. 学会等名 令和2年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinta Seto
2. 発表標題 Development of Global Satellite Mapping of Wet Surface (GSMaWS)
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wenchao Ma, Kenshi Hibino, Yuta Ishitsuka, Shinta Seto, Dai Yamazaki, Kosuke Yamamoto, Misako Kachi, Riko Oki, Xiaoxing Wang, Kei Yoshimura
2. 発表標題 Application of Today's Earth result for flood assessment
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口幸弥、瀬戸心太
2. 発表標題 GISを用いた岡山県倉敷市周辺を対象としたマイクロ波放射計から算出した洪水面積率の検証
3. 学会等名 平成30年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬戸心太、中迫惇斗
2. 発表標題 CaMa-Floodによる狭窄部及び河床勾配が洪水氾濫に与える影響の事例解析
3. 学会等名 平成30年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬戸心太、谷口幸弥、中迫惇斗、Porrawatt Singhalak
2. 発表標題 全球地表水マップGSMaWSの洪水氾濫への応用
3. 学会等名 GPMおよび衛星シミュレータ合同研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口幸弥、瀬戸心太
2. 発表標題 マイクロ波放射計により推定した冠水率の国土数値情報を用いた検証
3. 学会等名 第27回生研フォーラム「宇宙からの地球環境・災害のモニタリングとリスク評価」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 峯浩然、瀬戸心太
2. 発表標題 水災害の多角的モニタリングのための全球地表水マップの作成
3. 学会等名 水文・水資源学会2017年度研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 峯浩然、瀬戸心太
2. 発表標題 マイクロ波放射計を用いた全球地表水マップおよび高解像度冠水マップの作成
3. 学会等名 平成29年度「GSMaPおよび衛星シミュレータ合同研究集会」
4. 発表年 2018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
---------	---------