

令和 3 年 8 月 19 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04370

研究課題名(和文) 航空レーザー測深とデータ同化手法を用いた河道内植生消長予測の高精度化

研究課題名(英文) Accuracy improvement of vegetation dynamic sub-models using ALB-derived data and data assimilation

研究代表者

吉田 圭介 (YOSHIDA, KEISUKE)

岡山大学・環境生命科学研究科・准教授

研究者番号：50436721

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)：近年、川の中に樹木が密生し、洪水氾濫のリスクを高めている。本研究では岡山市を流れる旭川を対象に、航空レーザー測深(ALB)データを活用して河川洪水流の阻害要素や堤防越水リスクを把握し、また洪水位の数値予測精度の向上のために、新たに植生流出サブモデルを開発した。研究の結果、ALBデータを適切に処理することで、河川の地形、植生特性量および地被分類が適切に得られた。また、サブモデルを平成30年の洪水流解析に組み込んだ結果、従来よりも洪水後の植生流出状況を適切に再現することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、河川の洪水氾濫は河道弱部より生じており、長区間の河道の中で洪水疎通能力が低下し、また河川堤防が局所的に低下している箇所を早期に把握することが求められる。本研究の成果より、航空レーザー測深によって河川における広域・高解像度の植生特性量や水陸連続の地形および地被状況が一度に把握できる。その結果、研究成果は洪水位の広域・高精度な予測のみならず、今後、河床変動や植生動態の解析においても有用なデータとなることが期待される。

研究成果の概要(英文)：Woody vegetation establishing thickly in rivers has recently posed a threat to our lives because of enhancing the risk of river flooding. For accurate risk estimation, this study developed a methodology for extracting efficiently the data of both river bed levels and vegetation conditions along a long river section, using techniques of airborne laser bathymetry (ALB) in practical use. For more precise numerical simulations of flood water levels, this study also proposed a simple sub-model that incorporates the mechanism of vegetation wash-out attributable to flood flows. Results showed that the method yields useful data from ALB in the targeted reach of the Asahi River, Japan, comparing the field observation data. Results also showed that the sub-model performs well for reproduction of actual vegetation situation observed after the Asahi River flooding that occurred during the 2018 western Japan heavy rainfall event.

研究分野：水工水理学

キーワード：航空レーザー測深 河道の地被条件 洪水位の数値予測

## 1. 研究開始当初の背景

洪水位予測や河道の樹林化を検討する上で地形や植生の現地データは現状、十分とは言えない。例えば水面下の地形情報は、原則、縦断 200m 毎の定期横断測量しかなく、砂州周辺の微地形は再現されない。また、植生情報は現地踏査では得られる情報に偏りがあり、空撮による写真情報は現状、定性的である。これらの課題に対して、近年、計測技術が格段に向上した航空レーザー測深 (ALB) の現地適用が有効と考えた。また、ALB のデータの有用性が限定的な場合、データ同化手法によって河道条件や流量条件を推定することを考えた。

## 2. 研究の目的

本研究では航空レーザー測深 (ALB) による広域・高解像度の点群データを駆使し、河川の洪水流や、土砂・植生動態解析の精度向上に資する調査研究を行う。具体的には以下の小課題を 4 つ掲げ、これらに順次取り組むこととした。(1) ALB データを用いて、砂州上の植生種、植生高および植生の密生度といった植生特性量の平面分布を推定する方法を開発し、現地観測結果から精度を確認する。(2) ALB データを用いて、河道の広い範囲における水陸連続の河床地形データを抽出する方法を開発し、現地観測結果から精度を確認する。(3) 洪水時の多点自記水位記録と水理解析モデルを併用し、場合により、データ同化法から洪水流量ヒドログラフを合理的に推定して、場を同定する。(4) 洪水前後の植生流出・倒伏や、砂州周辺の微地形の変化を解析する。また、平水時の植生の砂州への侵入・拡大を推定し、現地観測結果から検証する。

なお、研究の結果、当初の想定に比べて ALB 計測成果は河道条件の同定に大変有効であり、研究期間中はレーザー計測に注力し、データ同化による場の同定は行わないこととした。

## 3. 研究の方法

### (a) ALB データからの地形・植生情報の抽出

ALB 計測結果から 0.5m 解像度の 3 次元点群データを抽出する。その後、河床位をフィルタリングにより特定する。また、点群の鉛直座標から植生高を決定し、点群データと植生高、鉛直構造から植生種(草本、木本、竹林)と裸地を識別すると共に、点群の平面密度から植生密生度を決定する。一方、近赤外線と緑線のレーザーを併用し陸部と水部を区別する。

### (b) 平水時及び洪水時の現地観測と流況解析

出水後に集中して多地点での河床位と粒度の変化および植生の倒伏・流出状況を調べる観測と、年間を通して対象砂州が冠水しない平水時に、植生の生長・入植・拡大状況を調べる現地踏査、および水・陸ドローンによる撮影と画像解析から構成される。また、出水時には岡山河川事務所の全面的な協力を得て、自記水位計による水位観測、および CCTV カメラを用いた STIV による流量観測を行う。さらに、ALB データの解析結果より河道条件が設定された浅水流モデルで洪水流を再現する。

### (c) 洪水前後の砂州周辺の河床変動と植生倒伏・流出の分析、平水時の植生生長の検討

ALB データの結果より河道条件が求められた河川の砂州周辺において格子解像度を数 m~10m と変化させた河床変動解析(必要に応じて iRIC ソルバ利用)を行い、現地との比較から河床変動の再現性を検証する。また、現地の植生の倒伏・流出状況と比較することで、植生消長モデルの倒伏・流出に影響を与える要素(流体力、河床変動量、など)を検討する。

## 4. 研究成果

以下では頁の都合、岡山県を流れる一級河川・旭川を対象に、(1) ALB 計測とデータ解析による河道条件の抽出に関する成果、(2) ALB により河道条件を設定した、平成 30 年西日本豪雨時の洪水流解析、の 2 点に限定して研究成果を記す。その他の内容に関しては研究期間中の著者らの投稿論文を参照されたい。

### (1) 対象河道と ALB 計測の成果

図-1 には旭川下流部の対象区間を示す。上流端は国直轄区間の上流端(17.4 KP)とし、下流端は旭川では相生橋観測所(8.2 KP)、百間川は原尾島橋観測所(11.4 KP)とした。図-2 には平成 30 年洪水の前後で撮影された空中写真を示す。

この洪水はピーク流量では 40 年確率相当であり、洪水流によって河道内の樹木の多くが流出・倒伏した。図-3 には図-2 の D 地点と E 地点での竹林や樹木の倒伏状況を示す。表-1 には本研究で用いた航空レーザー測深 (ALB) データの範囲を示す。旭川河道では国交省および航測会社により高頻度に ALB 計測が実施されている。対象領域全体に対して 2017 年のデータには不足があるため、2018 年のデータで

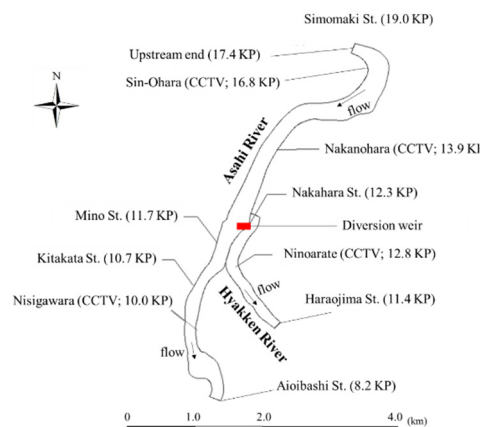


図-1 対象領域と水位観測所及び CCTV 位置  
(注: KP は河口からの距離 km を示す)

補った。以下では特に断りのない限り、用いた ALB の成果は 2m 解像度に内挿した正方格子状のデータとする。表-2 には ALB 計測の諸元を示す。ALB 計測では緑と近赤外の 2 波長レーザーを用い、水面下の地形測量を可能とする。

図-4 には ALB データから得られた対象河道の河床高 (2017 年) および 2019 年との差異を示す。平成 30 年洪水では河道内では最大で 1.5m 程度の堆積や洗掘が見られる。図-5 には 12.5KP と 14.6KP の各測線における ALB データと、2013 年実施の定期横断測量成果を比較して示す。旭川下流部では平成 30 年 (2018 年) より前の比較的大きな出水は平成 23 年 (2011 年) の洪水 (ピーク流量: 3403m<sup>3</sup>/s) である。図より ALB データと定期横断測量データは概ね一致することが分かる。

図-6 には対象河道内の植生種の分布図を示す。対象河道には様々な植生が繁茂するが、本研究では植生による流水抵抗の観点から草本類、木本類、竹林と 3 つに大別する。なお、木本類はヤナギ、草本類はシナダレスズメガヤおよびツルヨシが代表的である。図より、14KP より上流部および 12KP の分流部では竹林や樹木が密生することが分かる。図-7 には木本類と竹林の存在割合の縦断分布を示した。木本類は最大で河道の 50% を占めており、かなり樹林化が進行している様子が窺える。2017 年から 2019 年の変化は洪水による流出や倒伏の影響を示す。図-8 には ALB から推定した植生高の分布を示す。ここで植生高は DSM (Digital Surface Model) の値から DTM (Digital Terrain Model) の値を差し引いて算出した。木本類は平均で 8.6m、竹林は平均で 10.7m の高さを有し、洪水時には水没せずに高い流水抵抗をもたらすものと考えられる。図-9 には木本類を対象に現地で計測した植生

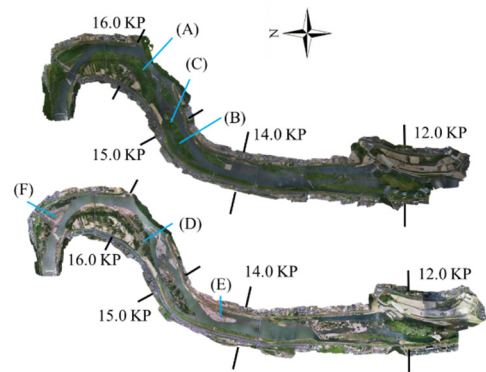


図-2 対象域の空中写真 (洪水の前後)



図-3 洪水後の植生倒伏状況 (左: 竹, 右: 木)

表-1 本研究で利用した ALB データの範囲

| 計測年月 | 2017.11     | 2018.01      | 2019.02      |
|------|-------------|--------------|--------------|
| 旭川   | 9.8-17.4 KP | 8.2-9.8 KP   | 9.8-17.4 KP  |
| 百間川  | 未計測         | 11.4-12.8 KP | 11.4-12.8 KP |

表-2 ALB 計測の諸元 (2017, 2018 年)

| 装置名            | Leica Chiroptera II        |
|----------------|----------------------------|
| レーザー波長 (近赤外)   | 1064 nm                    |
| レーザー波長 (緑)     | 515 nm                     |
| レーザーパルス数 (近赤外) | 200,000 /s                 |
| レーザーパルス数 (緑)   | 35,000 /s                  |
| レーザー点密度 (近赤外)  | 2 in area of 0.5 m × 0.5 m |
| レーザー点密度 (緑)    | 2 in area of 1.0 m × 1.0 m |
| 飛行高度           | 500 m                      |
| 飛行速度           | 220 km/h                   |

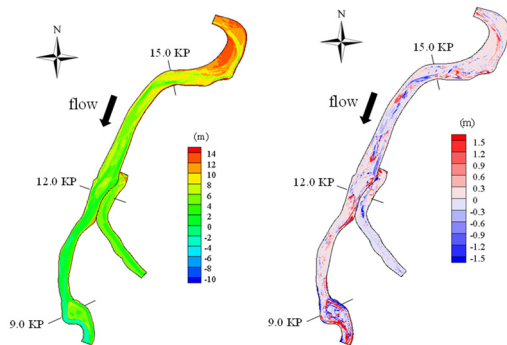


図-4 対象領域での河床高 (左: 2017 年のデータ, 右: 2017 年から 2019 年への変化量で正值は堆積を示す)

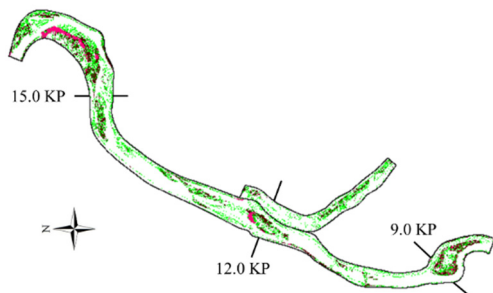
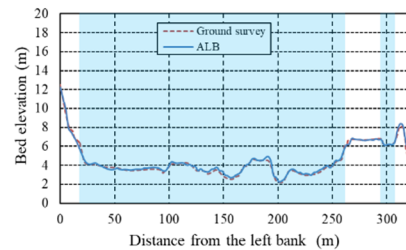


図-6 植生分布 (桃: 竹, 茶: 木, 緑: 草)

(a) 12.5 KP



(b) 14.6 KP

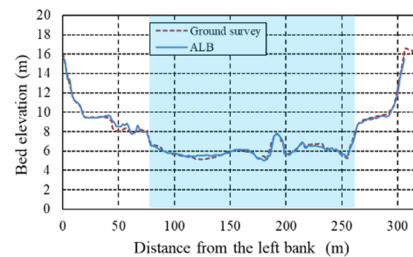


図-5 ALB 測量成果と直近の定期横断測量データの比較 (水色部: 平常時の水部)

高と ALB により推定した植生高を比較した。ALB データは現地計測値と比べてやや小さい傾向がある。これには ALB が植生の先端部を捉えられないことが理由の 1 つと考えられる。

## (2) 対象洪水と数値シミュレーション及び STIV 解析

平成 30 年旭川洪水を対象として、浅水流モデルにより平面 2 次元の数値シミュレーションを行った。解析で境界条件として用いた水位流量ハイドログラフを図-10 に示す。上流端は下牧観測所の流量 (H-Q 式, 速報値) を用い、下流端は相生橋観測所 (旭川) と原尾島橋観測所 (百間川) の水位を用いた。本研究では 7/6 18:00~7/8 6:00 を解析対象期間とした。解析では(1)で示した河床高および植生パラメータを用いた。

本研究では洪水時の流況データを取得するために、観測水位に加えて河川監視用 CCTV の映像を活用して地先の水位や水表面流速を得た。流速データの解析には解析ソフト (KU-STIV, Be-system 社製) を用いた。表-3 には CCTV カメラの諸元と STIV 解析の設定を示す。図-1 には用いた CCTV の設置箇所を示した。図-11 には西川原に設置した CCTV による流況画像と STIV 解析時の検査線を併示した。なお、洪水流量ピーク時は夜間であり、かつ現地の天気は小雨であった。そのため、周囲の照明の程度や雨滴の有無により解析可能な CCTV 画像を選定して以下の解析に用いた。

表-4 には洪水流解析の検討ケースを示す。2017 年と 2019 年、つまり洪水前後に得られた ALB による地形と植生データを組み合わせることで 4 通りの解析を行った。なお、洪水後には上流区間で倒伏などにより、ALB 点群構造に変化が生じ、植生分類データについては上記の方法を適用できなかった。そのため、2017 年の成果を援用した。

図-12 には水位観測と CCTV 画像から読み取った水位データを流況解析結果と併せて示した。図より、解析水位は観測結果と概ね一致するが、他の特徴として以下 4 点が指摘できる。(1)北方、三野、中原のデータから、ピーク時には解析水位は観測水位より高く、解析で用いた H-Q 式の誤差が考えられる。(2)上流区間の中ノ原のデータから、樹林化と洪水時の植生流出の影響が観察される。(3) Case 3 の方が Case 0 より水位が高い三野と西川原ではその下流部の河床堆積の影響が認められ、二の荒手では旭川より川幅が小さいため、分流量の影響が現れやすい。(4)中原の結果からは、流況モデルの精度は観測値と一致するほど十分ではない。この理由として、河床変動の影響や植生モデルの係数のチューニングの課題がある。

図-13 には中ノ原、西川原、二の荒手における流量解析値 (実線) と STIV 解析結果に断面積を乗じた結果を併示した。図より、両者の傾向はほぼ一致しており、その誤差は 11~16%程度である。H-Q 式の誤差や更正係数の

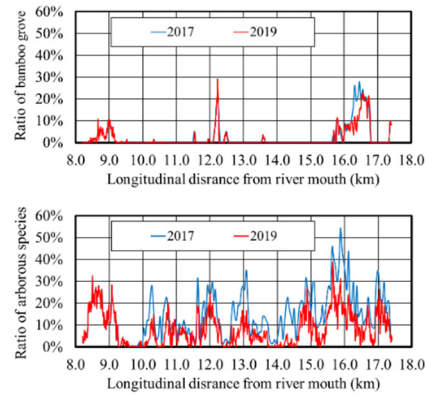


図-7 植生種の縦断分布 (上: 竹林, 下: 木本類)

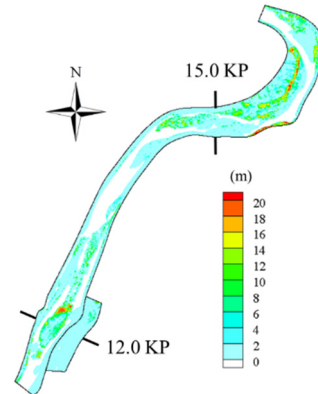


図-8 植生高分布 (2019 年 ALB 計測成果)

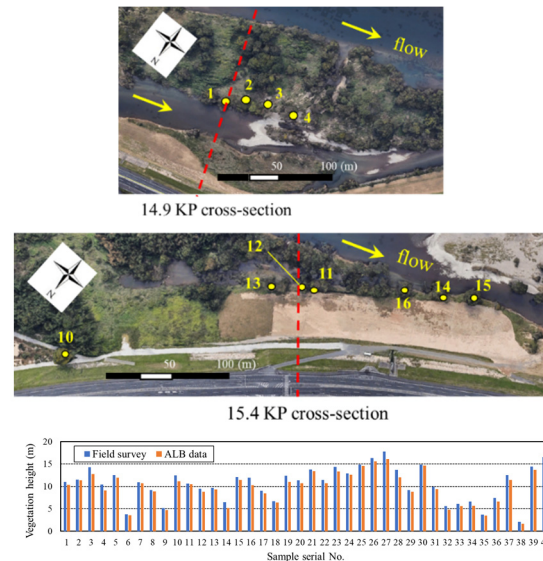


図-9 植生高の比較

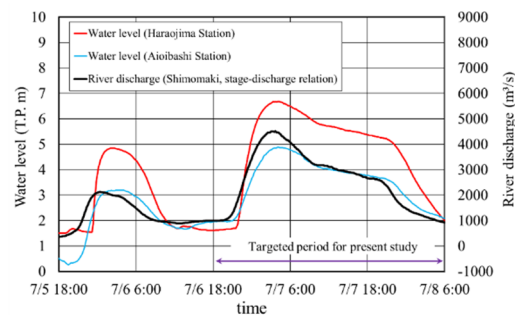


図-10 洪水時の水位流量ハイドログラフ

範囲を考慮すると、本研究で STIV 解析を用いて算出した流量は概ね妥当な値と言える。

表-3 CCTV カメラ諸元と STIV 解析の設定

| 項目         | 値, 設定                     |
|------------|---------------------------|
| カメラ画素数     | 1920*1080 ピクセル            |
| 画像撮影の時間間隔  | 30 Hz (通常)<br>3Hz (夜間)    |
| STIV 解析ソフト | KU-STIV (Be-system, Inc.) |
| 検査線長       | 20 m                      |
| 解析時間       | 60 s                      |

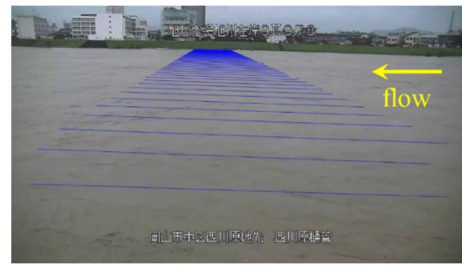


図-11 CCTVの画像とSTIV検査線（西川原）

表-4 解析ケース

|      |       | 植生条件   |        |
|------|-------|--------|--------|
|      |       | 2017年  | 2019年  |
| 地形条件 | 2017年 | Case 0 | Case 1 |
|      | 2019年 | Case 2 | Case 3 |

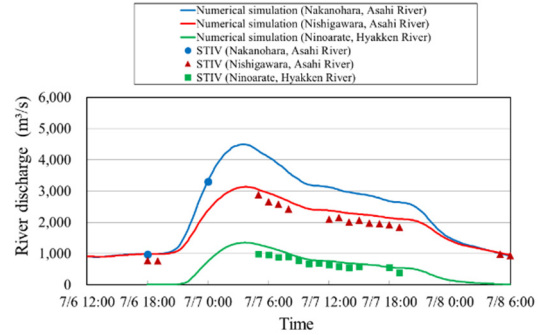


図-13 流量ハイドログラフ（青：中ノ原，赤：西川原，緑：二の荒手）

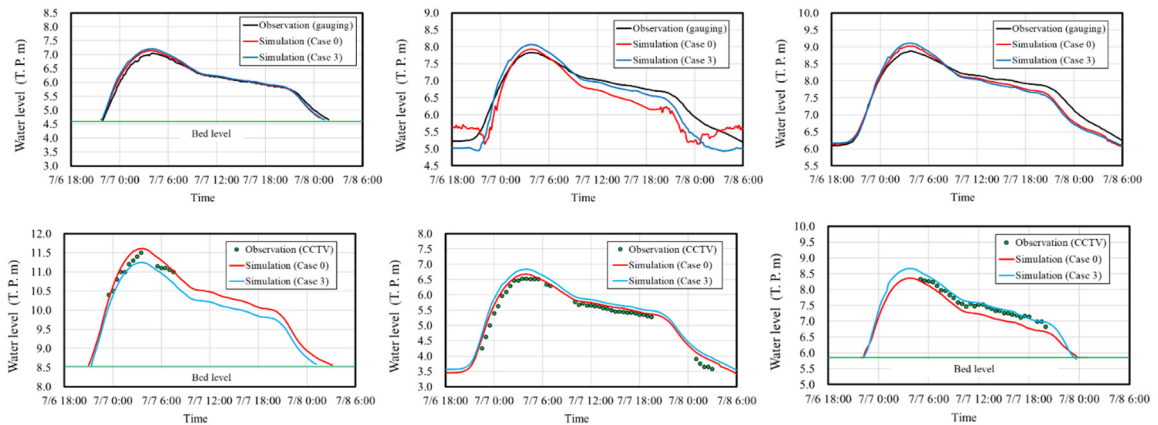


図-12 観測水位と解析水位の時系列（左上から：北方，三野，中原，中ノ原，西川原，二の荒手，図-1参照）

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9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<br>吉田圭介, 谷口純一, 潘是均, 小島崇, 永田貴美久, 渡邊明英  | 4. 巻<br>76(2)               |
| 2. 論文標題<br>ALB 点群データを援用した河川航空写真の深層学習による地被分類法の検討  | 5. 発行年<br>2020年             |
| 3. 雑誌名<br>土木学会論文B1(水工学)  | 6. 最初と最後の頁<br>I_1003-I_1008 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |
| 1. 著者名<br>吉田圭介, 梶川勇樹, 永田貴美久, 西山哲, 間野耕司, 堺浩一, Md. Touhidul ISLAM, 兒子真也  | 4. 巻<br>76(2)               |
| 2. 論文標題<br>平成30年7月豪雨時の旭川分流堰周辺の植生分布を考慮した3次元洪水流解析  | 5. 発行年<br>2020年             |
| 3. 雑誌名<br>土木学会論文B1(水工学)  | 6. 最初と最後の頁<br>I_985-I_990   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |
| 1. 著者名<br>Md. Touhidul ISLAM, Keisuke YOSHIDA, Koichi SAKAI, Satoshi NISHIYAMA, Tomoyuki TSUDA, Kimishisa NAGATA and Shiro MAENO       | 4. 巻<br>76(2)               |
| 2. 論文標題<br>Model-induced comparative study of ALB and UAV-borne green LiDAR systems on vegetated lower Asahi river assessment in Japan | 5. 発行年<br>2020年             |
| 3. 雑誌名<br>Journal of JSCE  | 6. 最初と最後の頁<br>I_529-I_534   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |
| 1. 著者名<br>吉田圭介, 乾隆帝, 宇田川涼平, 前野詩朗, 赤松良久, 兒子真也, 高橋幸生, 永田貴美久  | 4. 巻<br>75(4)               |
| 2. 論文標題<br>環境DNA 分析と物理環境調査による旭川下流部におけるアユの産卵可能性の検討  | 5. 発行年<br>2019年             |
| 3. 雑誌名<br>土木学会論文集B1(水工学)   | 6. 最初と最後の頁<br>I_529-I_534   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>吉田圭介, 前野詩朗, 永田貴美久, 児子真也, 赤穂良輔       | 4. 巻<br>75(4)             |
| 2. 論文標題<br>植生高分布と限界掃流力を考慮した植生流出を伴う洪水流解析モデルの検討 | 5. 発行年<br>2019年           |
| 3. 雑誌名<br>土木学会論文集B1(水工学)                      | 6. 最初と最後の頁<br>I_325-I_330 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>-                 |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>吉田圭介, 前野詩朗, 工藤亮治, 近森秀高, 赤穂良輔, 小川修平, 永田貴美久  | 4. 巻<br>75(1)         |
| 2. 論文標題<br>2018年7月西日本豪雨時の岡山県での降雨特性と旭川水系での洪水被害の調査解析   | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>土木学会論文集B1(水工学)                             | 6. 最初と最後の頁<br>172-183 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2208/jscejhe.75.1_172 | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>Keisuke Yoshida, Shiro Maeno, Shuhei Ogawa, Koji Mano and Shinya Nigo  | 4. 巻<br>13(1)        |
| 2. 論文標題<br>Estimation of distributed flow resistance in vegetated rivers using airborne topo-bathymetric LiDAR and its application to risk management tasks for Asahi River flooding | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Flood Risk Management   | 6. 最初と最後の頁<br>e12584 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1111/JFR3.12584   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>山口華穂, 吉田圭介, 前野詩朗, 間野耕司, 赤穂良輔, 西山哲  | 4. 巻<br>74(2)         |
| 2. 論文標題<br>ALBによる河道地形の再現性向上に伴う河床変動解析の改善効果の検討 | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>土木学会論文集A2(応用力学)                    | 6. 最初と最後の頁<br>465-474 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし               | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>吉田圭介, 前野詩朗, 高橋幸生, 児子真也, 小川修平, 赤穂良輔(         | 4. 巻<br>74(5)         |
| 2. 論文標題<br>ALB計測データを用いた流況解析に基づく旭川下流部におけるアユの産卵場の物理環境評価 | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>土木学会論文集B1(水工学)                              | 6. 最初と最後の頁<br>421-426 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                        | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>K. Yoshida   |
| 2. 発表標題<br>Estimating flow resistance by vegetation in rivers using high-resolution airborne laser bathymetry |
| 3. 学会等名<br>12th Int. Symp. on Ecohydraulics 2018 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>S. Takahashi  |
| 2. 発表標題<br>Remote sensing of morphodynamics and habitats in rivers using airborne LiDAR bathymetry |
| 3. 学会等名<br>12th Int. Symp. on Ecohydraulics 2018 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>K. Nagata,  |
| 2. 発表標題<br>Flood simulation model coupled with woody vegetation wash-out in the lower Asahi River, Japan |
| 3. 学会等名<br>22nd IAHR-APD Congress  |
| 4. 発表年<br>2020年  |



|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>K. Yoshida  |
| 2. 発表標題<br>Verification of STIV analysis of flood discharge at Nakano observatory in the Ota River by flow analysis using ALB data |
| 3. 学会等名<br>22nd IAHR-APD Congress  |
| 4. 発表年<br>2020年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(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 |
|---------|---------|
|         |         |