

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26820203

研究課題名(和文) 効率的な河道管理を目指した、河道内植生の動態に関する水理学的研究

研究課題名(英文) Hydraulic study on river vegetation dynamics for efficient river management tasks

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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では樹林化が懸念される、岡山市を縦貫する一級河川・旭川を対象に、河道内植生による出水時の流水抵抗特性、および河道内植生の消長特性について現地観測と数値解析を手段として解明する。研究の結果、構築した植生消長モデルを用いることで、現地で生ずる10年程度の土砂動態や植生動態を定性的に説明することができた。また、粒子フィルタを用いたデータ同化手法により洪水時の植生による流水抵抗値の河道内分布を合理的に説明することができた。

研究成果の概要(英文)：This study elucidates both vegetation dynamics and flow resistance because of vegetation establishment in the lower Asahi River flowing through Okayama city. For that purpose, we conducted field observations at three local sites in the river. We also developed both a vegetation dynamics model and a sequential data assimilation method (particle filter) for hydraulic numerical simulations. Results show that the vegetation dynamics model works well in a qualitative manner: it can reproduce the characteristics of both vegetation establishment and bed deformation that occurred at targeted local sites in the past decade or so. They also show that the data assimilation results give a reasonable explanation for the spatial distribution of roughness values due to the difference of rate of vegetation species establishing in subregions of the lower Asahi River.

研究分野：水工水理学

キーワード：河道の樹林化 植生消長モデル 植生の流水抵抗の逆推定

1. 研究開始当初の背景

近年、我が国の河川では河道内で植生が繁茂し、そこから樹林化へと進行しつつある状況が多数の水工学関連の研究者や河川管理者から報告されている。河道内の植生の著しい繁茂は洪水疎通能力を低減するとともに、河川本来の生態系を崩壊するなど弊害があるが、河川実務では明確な管理計画や有効な管理手段が未だ構築されていない。そのため、実務では植生伐採や再萌芽抑制などの局所的・表面的な措置を講じる場合が多いが、今後の我が国の緊縮財政を考慮した場合、河道計画との関連から整合性や効率を考慮した植生管理を検討する価値は大きいと考えられる。学術的な視点からは、従来まで、植生の生長や洪水時の土砂堆積といった個々の過程は、各分野の“専門家”によって議論されているが、広い時空間スケールの中で河道と植生の動的な相互作用が十分に解明されていないことが考えられる。

2. 研究の目的

現在まで植生に関する個々の水理的・生態学的な学術知見は徐々に蓄積されてきてはいるが、現地でする複合的な条件下での実証的な検討はあまりなされていない。そのため、河川実務では有効な管理計画や手段が構築できないでいる。本研究では岡山市を縦貫する一級河川・旭川を対象に、①河道内植生による出水時の流水抵抗特性、②河道内植生の消長特性の2点について現地観測と数値解析を手段として実証的に解明する。また、今後の河川管理に資することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、(i)旭川の流量、河道断面形および土砂・植生動態の既往履歴の調査、(ii)現地調査による土砂・植生動態の継続的な把握、(iii)数値解析による植生繁茂状況の再現とデータ同化による抵抗定数の算出、を順次行う。研究フィールドは旭川下流域の礫河原再生区である。

本研究ではまず、対象区間の既往の資料から、土砂動態と植生繁茂の状況を把握し、効果的な観測計画を立てる。その後、出水時の土砂動態(流動・河床変動モデル)と、平水時の植生動態(植生の定着・侵入、拡大、倒伏・消失を記述するモデル)を組み合わせ、植生消長モデルを構築する。このモデルでは実用性を考え、河道内の優占植生種を対象とし、モデルの未知量は植生高と密生度の平面分布とする。その後、対象領域での上記既往データを用いて、植生消長モデルで考慮される各過程のパラメータ群を同定する。また、必要に応じてモデルの修正を行う。

次に、研究期間内の平水時及び出水前後に、対象河道内で次の現地観測を計画する。[1]植生の特性量調査(植生高、胸高直径、倒伏状況など)、[2]河床高の測量、[3]河床粒度の調査。[4]気球や UAV による砂州規模での

植生繁茂状況の面的把握。[1]～[3]は上記の既往観測項目とほぼ同様であるが、本研究では植生の調査個体数を増やす。また、[4]は植生の密生度の季節・年毎の変化を把握するために行い、昨年から既に予備観測を始めている。以上の現地観測結果に基づき、上記の植生消長モデルの検証を行い、パラメータ感度を確認して実用に耐え得るモデルを確立する。

さらに、自記水位計を対象河道縦断方向に複数個配置して出水時の水位変化を観測し、申請者が開発した浅水流データ同化モデルを駆使して、対象河道内を区分した各サブ領域での植生流水抵抗モデルのパラメータ値を特定する。河道線形、横断面、河床高および植生種とパラメータとの関係性を読み解き、河道内で植生伐採など応急措置が必要な箇所を明確にする。

4. 研究成果

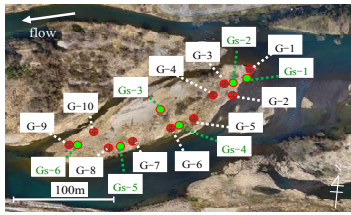
(1)現地調査

研究対象領域は、旭川下流河道の 10.8km～17.5km 区間および百間川 12km より上流区間である(図-1)。この区間において大原箇所、祇園箇所、分流部箇所の3箇所を選定し、年4回の現地調査を実施した。研究対象期間では植生の流出を伴うような大規模な洪水はなかったため、現地調査では平水時に、優占種の植生特性量(植生高、胸高直径、倒伏状況など)、河床変動量、河床粒度を調べると共に、UAV を用いた広域の植生繁茂状況調査を併せて行った。以下、祇園箇所での成果を示す。

図-2、図-3には祇園箇所での植生、河床変動および河床材料調査の位置を示す。図-4には著者らの既往の調査結果を含めて、祇園箇所での木本類(主として、ヤナギ)の樹高の時間的変化を示す。木本類の成長量は概ね年1m程度と理解できる。また、図-5には河床高の横断分布(GL-b)を示し、表-1には各採取箇所での河床材料の50%、80%、90%粒径を示した。2013年以降は大きな出水がなく、河床はほぼ安定し、500m³/s規模の小出水により、砂州内に明確な水みち(GL-J)が形成されている。これは図-6に示す UAV 撮影結果からも理解できる。ライン GL-J で採取した河床材料(GL-1～3)は上流の河床材料がやや粗く、下流に向かうにつれて粒径が小さくなっている。また、GL-4での河床材料は植生が繁茂している付近で採取したため、他の3箇所に比べ、より細かい粒径が分布することが確認できた。

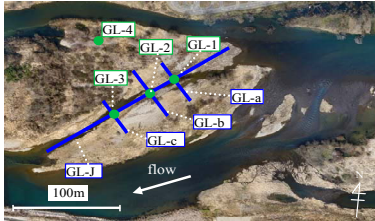


図-1 研究対象領域



●:木本類 ●:草本類

図-2 植生調査サンプルの位置(祇園地区)



●:採取位置

図-3 河床変動調査のラインと河床材料採取位置(祇園地区)

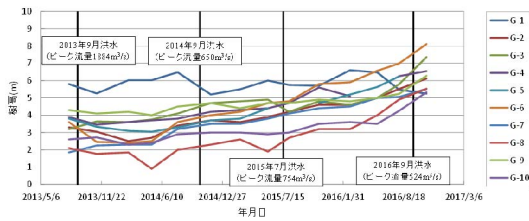


図-4 植生(木本類)の樹高の時間的変化

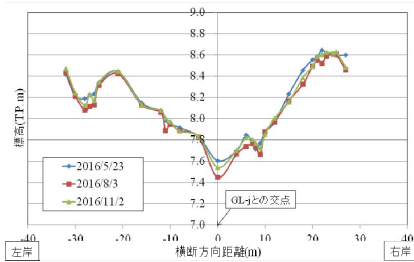


図-5 河床高の横断分布(GL-b)

表-1 各採取箇所での粒径

	GL-1	GL-2	GL-3	GL-4
50%	86.8	49.7	25.0	0.8
80%	97.6	67.9	41.8	1.9
90%	103.2	73.9	47.4	36.0



図-6 河道のUAV撮影(GL-Jライン付近, 白矢印は流れの方向)

(2) 植生動態, 土砂動態の数値解析

2005年, 祇園箇所では旭川礫河原再生試験

区の1つとして, 砂州切下げと植生伐採が実施された(図-7). 本研究では祇園箇所を対象に2005年から2014年までの植生消長と土砂動態を数値モデルに基づいて検討した. 図-8は2001年から2012年までの祇園箇所の航空写真を示す. ここから植生と土砂の動態が定性的に理解できる.

本研究ではまず, 出水時の土砂動態や植生の流出・倒伏と, 平水時の植生動態(定着・入植, 拡大, 成長)を記述する植生消長モデルを構築した. なお, 河床変動解析には河川シミュレーションソフトiRICを用い, それ以外は著者等のモデルを利用した. これらのモデルで扱う各種パラメータは, 既往の知見や本研究の現地調査で得られた結果から決定した.

図-9には2005年に生じた洪水前後の河床変動量の実測値と解析値を示す. 定性的な傾向として河床変動の再現性は良好だが, 定量的には十分とは言えない. 図-10には近年では比較的大きな洪水規模であった2006年洪水(2500m³/s規模)と2011年洪水(3000m³/s規模)時のその前後での河床変動量を示す. 洪水により砂州及びその周辺で比較的大きな河床変動が生じ, 例えば, 図の矢印で示すような瀬の構造が再現されている. 図-11には植生高について図-10と同様の図を示した. 現地の植生繁茂状況と概ね一致する結果が得られた.



図-7 祇園箇所における礫河原の整備

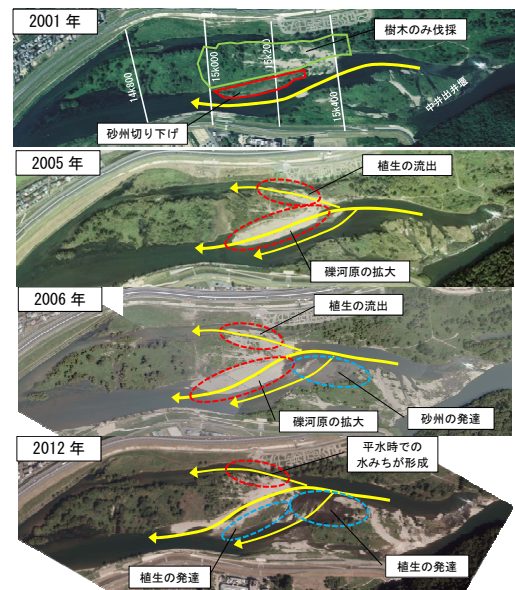


図-8 祇園箇所での河道の変遷(2001-2012)

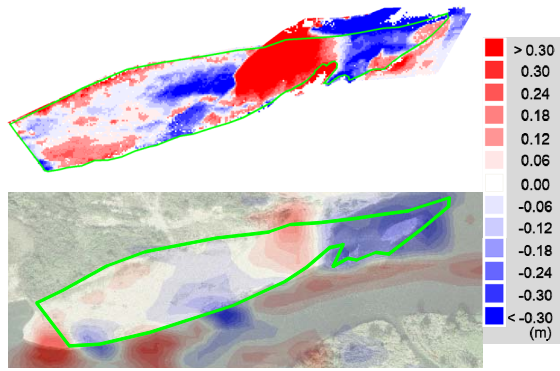


図-9 2005年洪水前後の河床変動量
(上:実測値,下:解析値)

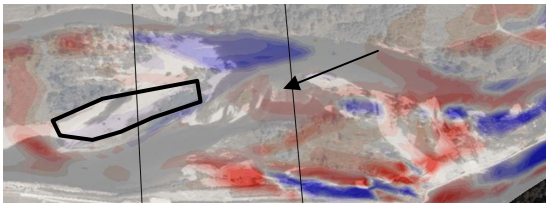
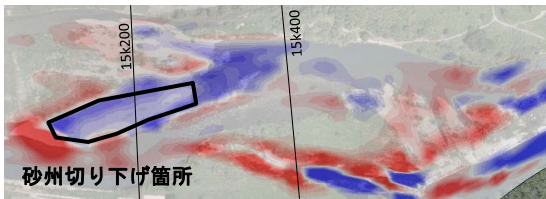


図-10 洪水前後の河床変動量の解析値
(上:2006年洪水,下:2011年洪水)

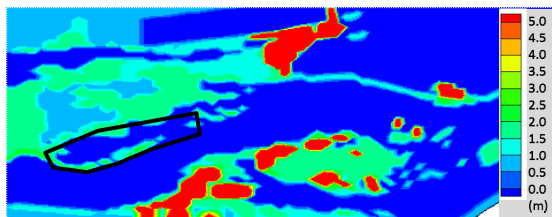
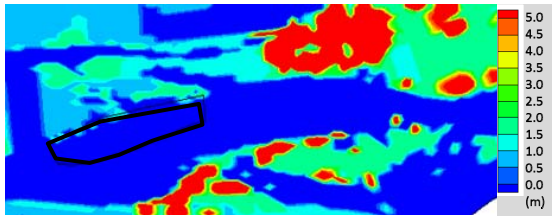


図-11 洪水後の植生高の解析値
(上:2006年洪水,下:2011年洪水)

(3) 洪水時の植生の流水抵抗の逆推定

本研究では逐次モンテカルロ法(粒子フィルタ)を用いて洪水時の植生抵抗の河道内分布を検討した。粒子フィルタは非線形・非ガウス型のあらゆる状態空間モデルに適用できる汎用的なフィルタリング手法である。この手法では状態量の確率分布を多数のサンプル(粒子)の実現値で近似的に表現する。その意味で、アンサンブルカルマンフィルタの考え方と類似している。一方、粒子フィルタでは事後分布を求める際にカルマンゲインではなく、各粒子で観測値との適合度(尤度)を算出し、それに応じて粒子の残存・消滅を決定

する。図-12には粒子フィルタの概念図を示す。本研究では「一期先予測」において浅水流モデルを適用し、粒子毎に1step毎の流動場を求める。一方、「フィルタリング操作」では、粒子毎に観測データと解析値を照合して尤度を計算し、それらを正規化して重みを求める。また、重みに応じて粒子を復元抽出する。粒子フィルタの長所は簡易な実装で汎用的な推定手法を構成できることである。

対象洪水は2011年に生じた洪水であり、図-13には解析の境界条件として用いた水位・流量ハイドログラフを示す。また、図-14には、推定対象のパラメータ(植生による流水抵抗値、ここではマニング粗度係数 n_*)の空間分布と、河道内に設置した自記水位計の場所を示す。本研究では洪水時に観測する水位データに基づいて流水抵抗値の空間分布を逆算した。

表-2には本研究の解析結果を既往研究の結果(adjoint法)と比較して示した。両者の解析条件(水理条件)は同一である。また、図-15には各領域で繁茂する植生種の割合を示した。ここから、本研究で得られた結果は既往の成果とほぼ等しく、また、流水抵抗値の大小は植生種の割合と相関があることがわかる。

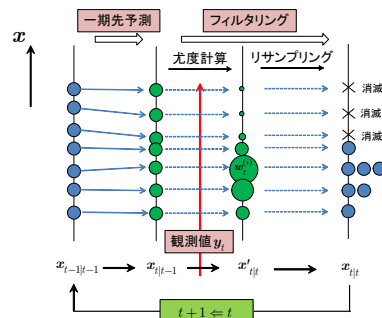


図-12 粒子フィルタの概念図

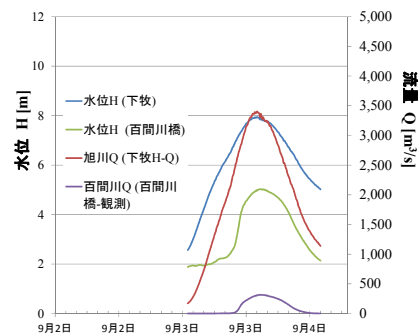


図-13 2011年旭川洪水時の水位・流量ハイドログラフ

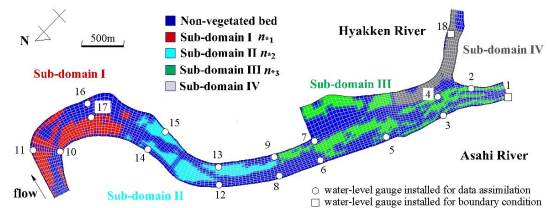


図-14 対象河道と簡易水位計の設置箇所
(Pt.17の水位計は洪水時に流失)

表-2 解析方法毎の粗度係数の時間平均値

方法	上流 n_{*1}	中流 n_{*2}	下流 n_{*3}
本研究 (粒子フィルタ)	0.10	0.038	0.051
著者等の既往研究 (adjoint法)	0.10	0.033	0.046

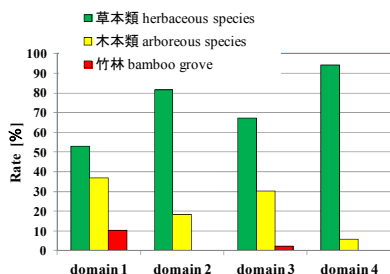


図-15 各領域での植生種の割合

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① 吉田圭介, 前野詩朗, 間野耕司, 山口華穂, 赤穂良輔 (2017): ALB を用いた河道地形計測の精度検証と流況解析の改善効果の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 73, No. 4, I_565-I_570. 査読有.
- ② 平井康隆, 前野詩朗, 吉田圭介, 岩城智大, 小川修平, 赤穂良輔 (2017): 適正な分流量を維持するための百間川分流部の固定堰周辺における植生管理方策の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 73, No. 4, I_1081-I_1086. 査読有.
- ③ 吉田圭介, 前野詩朗 (2016): 洪水時の河道内植生による流水抵抗の逆推定手法の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 72, No. 4, I_1075-I_1080. 査読有.
- ④ 前野詩朗, 吉田圭介, 平井康隆, 岩城智大, 山口華穂, 藤田駿佑 (2016): 旭川祇園地区における経年変化を考慮した礫河原再生効果の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 72, No. 4, I_1069-I_1074. 査読有.
- ⑤ 平井康隆, 前野詩朗, 吉田圭介, 藤田駿佑, 赤穂良輔 (2016): 植生消長モデルを用いた礫河原再生後の物理環境変化の検証, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 72, No. 4, I_1063-I_1068. 査読有.
- ⑥ Keisuke Yoshida and Tadaharu Ishikawa (2015): Flood hydrograph estimation using an adjoint shallow-water model, Journal of Hydro-environmental Research, Vol. 9, Issue 3, pp. 429-440. 査読有.
- ⑦ 吉田圭介, 前野詩朗, 藤田駿佑, 松山悟,

岩城智大, 平井康隆 (2015): 旭川における植生分布の経年変化を考慮した洪水流の数値解析, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 71, No. 4, I_1039-I_1044. 査読有.

- ⑧ 吉田圭介, 田中龍二, 前野詩朗 (2015): GPU による分流を含む洪水流計算の高速化, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 71, No. 4, I_589-I_594. 査読有.
- ⑨ 吉田圭介, 田中龍二, 前野詩朗 (2014): GPU による河川の浅水流計算の高速化, 土木学会論文集 A1(応用力学), Vol. 70, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 17), I_761-I_768. 査読有.
- ⑩ Keisuke Yoshida and Shiro Maeno (2014): Inverse estimation of distributed roughness coefficients in vegetated flooded rivers, Journal of Hydraulic Research, Vol. 52, Issue 6, pp. 811-823. 査読有.

[学会発表] (計 9 件)

- ① 山口華穂, 吉田圭介, 前野詩朗, 赤穂良輔, 岩城智大 (2016): 旭川祇園地区における切り下げ・埋戻しによる経年変化を考慮した樹林化抑制効果の検討, II-51, 第 68 回土木学会中国支部研究発表会講演概要集, 2016 年 5 月 21 日. 査読無.
- ② K. Yoshida, S. Maeno, R. Akoh, K. Yamaguchi, T. Iwaki, S. Fujita, Y. Hirai (2016): Improvement of diversion weir and surrounding vegetation condition effects on diversion discharge in the Asahi River, Proc. 20th IAHR-APD Congress, Colombo, Sri Lanka. 2016 年 8 月 29 日~31 日. 査読有.
- ③ K. Yoshida, S. Maeno, K. Yamaguchi, T. Iwaki, S. Fujita, Y. Hirai (2016): Forestation control works: secular change at the Gion area in the Asahi River, Proc. 20th IAHR-APD Congress, Colombo, Sri Lanka. 2016 年 8 月 29 日~31 日. 査読有.
- ④ K. Yoshida, S. Maeno (2016): Sequential data assimilation for estimating bed roughness of vegetated flooded rivers, Proc. 20th IAHR-APD Congress, Colombo, Sri Lanka. 2016 年 8 月 29 日~31 日. 査読有.
- ⑤ 岩城智大, 藤田駿佑, 吉田圭介, 前野詩朗 (2015): 旭川分流堰の改修とその周辺の植生繁茂状況が分流量に与える影響の検討, II-17, 第 67 回土木学会中国支部研究発表会講演概要集, 2015 年 5 月 23 日. 査読無.
- ⑥ 田中龍二, 吉田圭介, 前野詩朗 (2014): GPGPU を用いた浅水流方程式に基づく数値解析の高速化, II-20, 第 66 回土木学会中国支部研究発表会講演概要集, 2014 年 5 月 31 日. 査読無.
- ⑦ 藤田駿佑, 吉田圭介, 前野詩朗 (2014):

旭川における植生動態モデルの検証と樹林化予測, II-15, 第 66 回土木学会中国支部研究発表会講演概要集, 2014 年 5 月 31 日. 査読無.

- ⑧ K. Yoshida, S. Maeno, S. Fujita, S. Matsuyama (2014): Prediction of forestation process in the Asahi River, Japan using a vegetation dynamics model, *Proc. 19th IAHR-APD Congress*, Hanoi, Vietnam. 2014 年 9 月 21 日～25 日. 査読有.
- ⑨ K. Yoshida, S. Maeno, S. Matsuyama & S. Fujita (2014): Development and application of vegetation dynamics model for effective river management tasks in the Asahi River, Japan, *Proc. River Flow 2014*, Lausanne, Switzerland, pp. 571-579. 2014 年 9 月 3 日～5 日. 査読有.

[その他]

ホームページ:

http://www.cc.okayama-u.ac.jp/~yoshida_k/

6. 研究組織

(1) 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