

令和元年5月27日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18152

研究課題名(和文) 河道内樹木の初期侵入特性が河床・流路変動特性に与える影響解明と河川管理への応用

研究課題名(英文) Effects of the characteristics of initial invading floodplain vegetation on channel morphodynamics

研究代表者

久加 朋子 (Kyuka, Tomoko)

北海道大学・工学研究院・博士研究員

研究者番号：50751236

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：全国各地の河川において河道内樹林化の問題が深刻化している。河道内樹林化は河積を減少させ、洪水時の災害リスクを増大させる。このため、河川管理現場において「河道内へ侵入する樹木を如何に制御し、治水安全性と河川環境との両立を実現するか」は解決すべき課題の一つと言える。そこで、本研究では、河道内樹林化の要因となる樹種として融雪出水に伴い種子散布が行われるヤナギ類に注目し、(1) 砂州への樹木侵入特性と物理現象との関係性の解明、(2) 局所的な河道内樹林化が河床・流路変動特性に与える影響の解明、(3) 河道内樹木の定着を考慮した平面2次元河床変動解析の開発と検証に取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実河川では、河川管理の問題として洪水後や樹木伐採後にヤナギ類等の樹木が再び侵入し、短時間で成長する現象が一般的に認められる。しかしながら、河道内樹林化が河床・流路変動に与える影響の解明に関する報告は多いが、初期の樹木侵入プロセスとそれが河床・流路変動へ与える影響を時空間的に説明した研究は非常に少ない。近年深刻化する河道内樹林化対策の向上には、ヤナギ等の融雪出水等により広域に種子散布される植生の初期定着特性を明らかにすると共に、樹木伐採後の新規侵入も含め、将来予測を可能とする数値モデルの確立が必要と考えられる。本研究成果は十分なインパクトが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Vegetation on floodplain has been known to be a risk factors on river management due to the increasing flow resistance during floods. In recent years, many rivers are facing the disruption of the balance of the generation and extinction rate of vegetation. As a river management to maintain the channel path during floods, such excessively flourished vegetation is often removed artificially in many rivers. Though, the created bare areas are usually covered very quickly with new patterns of vegetation. Hence, the important things would be thought to understand the initial invading process of pioneer species, and also the fundamental mechanisms to keep the multi-thread channels in natural rivers. The objectives of the study were followings: study on the initial invading characteristics of floodplain vegetation, effects of the invading patterns of floodplain vegetation on channel morphodynamics, and development and verification of an unsteady two-dimensional flow and morphodynamics model.

研究分野：河川工学

キーワード：流路変動 河道内樹木

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、全国各地の河川において河道内樹林化の問題が深刻化している。河道内樹林化の背景には、ダムによる流量ピークカットや土砂流出量減少、流路の直線化、堤防や横断工作物による流路横方向移動の減少など、複数の要因が挙げられる。これまで、こうした構造物は洪水時の災害リスクを低減し、我々の生活水準を向上させてきた。しかしながら近年、それに相反する効果として、構造物による河道安定化が河道内樹林化の進行を助長するといった新たな課題が生じている。河道内樹林化は河積を減少させ、洪水時の災害リスクを増大させる。このため、河川管理現場では「河道内へ侵入する樹木を如何に制御し、治水安全性と河川環境との両立を実現するか」が解決すべき喫緊の課題となっている。

植生(樹木)が河床・流路変動に与える影響は多数報告されている(Tsujimoto1995; Simon and Collison 2002; Jang and Shimizu 2007; Tal and Paola 2010; 清水・岩見 2012; Van Dijk et al. 2013 など)。これらの報告では植生の主な影響として、

- (1) 植生は網状河川の流路本数を減らす
- (2) 植生は河岸浸食の速度を遅くする
- (3) 植生は流路の縦断方向移動を抑制し、横方向移動を励起する
- (4) 植生は蛇行発達を促すと共に流路のショートカットを抑制する

等が報告されている。さらに近年では、植生の成長・死亡まで考慮した植生消長モデルを用いた検討(Van Oorschot 2014; 内田ほか 2015)も増えつつあり、植生の消長の考慮により認められる河床・流路変動特性への主な影響として、(5) 植生消長を考慮しない場合に比べ、固定砂州の縦断方向勾配が緩やかになるなど、実河川で認められる現象に近い河床・流路変動が認められる等が指摘されている。しかしながら、現時点では、実河川において認められる洪水後や樹木伐採後に形成される裸地砂州への樹木侵入プロセス、および河道内樹林化の初期状態(局所的な樹木群落形成)がその後の河床・流路変動特性に与える影響について、物理現象(流れと河床変動)との対応関係を比較検討した報告は非常に不足している。

一方、最近になって、Van Dijk et al. (2014) や内田・久加ほか(投稿 2016)など、ヤナギ類のような流水によって種子や流木が輸送される樹木の砂州侵入特性と、砂州周辺の物理現象(流れや河床変動)との対応関係を検討した研究が始まりつつある。彼らの報告では、流水にて輸送される種子は砂州上に局所的な植生パッチ(樹木群落)をつくこと、および植生が局所的に分布する場合、河床変動特性が従来報告されてきたものと異なることを指摘している。Van Dijk et al. (2014) の報告によると、植生が砂州上に均一に分布する場合は河岸が安定し、流路を蛇行させる作用が強く働く。その一方で、植生が局所的に存在する場合は砂州の一部でのみ河岸の安定性が増し、植生上流部に土砂が堆積するなどから、Island Braiding 砂州上に安定した植生域を有するような複数流路からなる河川)が形成されると指摘されている。これらの報告は、砂州への樹木侵入プロセスが、その後の河床・流路変動へとある程度重要な働きを及ぼすことを示すものと言える。事実、全国各地の河川では洪水後や樹木伐採後に形成された裸地へとヤナギ類のような先駆的樹木が侵入し、短時間で再び繁茂することが知られており、河道内樹木の新規侵入プロセスを解明することは非常に重要な課題と考える。こうした背景から、本研究では樹木侵入プロセスに着目して既存の植生研究を進展させ、実河川での河道内樹林化対策技術の向上に向けた次の研究課題を着想した。

2. 研究の目的

河川における樹木の侵入特性と、それに伴う局所的な河道内樹林化の形成が河床・流路変動特性に与える影響を明かにする。また、これらの成果を活用した河道内樹林管理技術につながる知見を得る。

3. 研究の方法

河道内への樹木侵入プロセスを明らかとするため、次の3つのテーマを掲げる。

- (1) 砂州への樹木侵入特性と物理現象(流れと砂州形状)との関係性の解明
- (2) 局所的な河道内樹林化が河床・流路変動特性に与える影響の解明
- (3) 実河川における出水後の稚樹定着特性の把握と(1)(2)との比較検討

(1) では、大型室内実験にて砂州への樹木侵入特性として種子定着と物理現象(流れや砂州形状)との関係、および砂州への局所的な植生侵入が河床・流路変動に与える影響を把握する。(2) では、(1) で実施した水路実験結果を利用し、砂州への種子定着を予測可能な手法の開発を行うと共に、植生侵入プロセスの考慮の有無に対する河床・流路変動特性を比較する。また、(3) では実河川(十勝川水系音更川と美生川)を対象に、出水後数年間に渡って新規稚樹の定着箇所調査を行う。これより、(1)および(2)で得た結果との比較検討を行い、成果報告をまとめる。

4. 研究成果

本研究より、以下の成果が得られた。

- (1) 交互砂州および網状流路への種子定着特性
本研究では、河道内樹木の種子が裸地砂州へと新規侵入する際の種子定着特性を明らかにすることを目的に、2種類の水路実験を実施した。これより、交互砂州および網状流路における

種子定着特性の違いを把握した。実験水路には、交互砂州の実験には北海道大学所有の可傾斜水路を利用し、全長 10m、幅 30 cm、勾配 1/200 の長方形矩形水路とした。網状流路の実験には、国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所所有の可傾斜水路を利用し、全長 26 m、幅 3 m、勾配 1/100 の長方形矩形水路とし、低水路幅 45 cm、低水路河岸 2cm となるように初期河床を整形した。水路内の河床材料はいずれも粒径 0.765 mm の一様砂とした。水路上下流端には固定堰と固定壁をそれぞれ設け、上下流端の初期河床が変化しないようにした。実験中は、水路上流端が河床上昇および河床低下しない程度に、河床材料と同じ粒径の土砂を常に給砂し続けた。また、給砂材料には着色した種子（あるいは比重 1.0 のポリスチレンビーズ）を混ぜ、種子の定着特性を把握した。水路実験の結果、交互砂州では流水によって輸送される種子は流量減衰期のみ定着し、その定着箇所は砂州前縁部に局所的に集中した。一方、網状流路では、流水によって輸送される種子は浮州や高水敷上に時空間的に広く分散して定着し、砂州上に縦断方向にライン状の植生パッチを形成した。これは、網状流路では定常給水条件下であっても、浮州形成や流路移動に伴って流路内の流れが非定常となるため、流路の消長に伴い出水中であっても種子が定着するような水際が形成されるためである。

(2) 植生分布を考慮した網状河川の流路変動に関する実験的検討

本研究では、水路実験より種子の網状流路への定着特性を把握すると共に、植生分布の違いが流路変動特性に及ぼす影響について検討した。実験には、国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所所有の可傾斜水路を利用し、全長 26 m、幅 3 m、勾配 1/100 の長方形矩形水路とし、低水路幅 45 cm、低水路河岸 2cm となるように初期河床を整形した。水路内の河床材料はいずれも粒径 0.765 mm の一様砂とした。実験は 2 ケース（各ケースで 3 回通水）実施した。各々のケースでは、(1) 網状流路を形成（通水 1 回目）後に裸地砂州や高水敷全体に植生(bentgrass)を散布し、植生成長を待ってから 2 回目、3 回目通水を開始した Case1 と、(2) 網状流路形成時（通水 1 回目）に上流からの供給土砂に混ぜて植生種子を散布し、定着した種子の成長を待ってから 2 回目、3 回目通水を開始した Case 2 を実施した。結果、Case2 の網状流路では、流水によって輸送される種子は浮州や高水敷上に時空間的に広く分散して定着すると共に、砂州上に極めて高密度での植生定着箇所が確認された。これは、網状流路では定常給水条件下であっても、浮州形成や流路移動に伴って流路内の流れが非定常となるため、種子は移動する水際に沿って高密度で定着したためである。続いて、Case1 と Case2 にて、網状流路の砂州、高水敷等に植生分布の違いが流路本数の減少と流路変動特性に与える影響を比較した。結果、砂州上に広域的に植生が繁茂する場合、従来の報告と同じく流路本数が減り、流れの集中に伴う流路幅拡幅と流路の蛇行化が生じた。流路本数減少の要因として、本実験条件下では流木等の詰まりによる小スケールな流路の消失と、二股流路の主流路側への土砂堆積に起因した主流路切り替えによる旧主流路消失の 2 タイプが認められた。一方、Case2 のように流れで種子を散布した場合、植生は流路本数減少と蛇行化には働かず、むしろ小スケール流路の増加に伴い流路を複雑化させた。これは、浮州上に縦断方向にライン状に形成された植生パッチの場合、局所的に流れが遮られたとしても、流路は比較的容易に側方に移動することができるため、2 又を励起する可能性も含有するためと考えられる。これは、網状流路で確認される Island Braiding 現象の維持形成機構の一端を説明するものと考えられる。

(3) 2016 年北海道豪雨災害後の裸地砂州への樹木侵入状況の追跡（未発表）

2016 年北海道豪雨災害では、帯広地区の十勝管内の大多数の河川において大規模な河道内樹木の流失が認められた。たとえば、代表値として、札内川上流部における平水時の植生と裸地の比率を比較したところ、当該区間では植生面積が 69% から 59% に減少し、裸地面積が 7% から 34% まで増大したことが示された。このように、十勝管内の中小河川では各地で植生面積の減少とそれに相反する裸地砂州の増大が確認され、今後、時間をかけて河道内樹木の繁茂域が再び広がることが予想され、今後の裸地砂州への樹木侵入プロセスの経過を観測し続けるのに適する状況が創出された。そこで、数年後程度を目安（衛星画像等にて植生分布を捉えることが可能となるまでの期間）とした樹木侵入追跡調査を行うにあたり、ふさわしい場所を選定するため、北海道管理河川の中小河川の出水前後の航空写真、および橋梁や護岸等の被災箇所を把握したうえで、現地へ赴き、数年間の樹木侵入追跡調査にふさわしい場所を決定した。調査場所選定には、対象区の比較的近い位置に橋梁や護岸等の被災箇所が存在しないこと、樹木の繁茂状況が出水前後で大きく異なること、ドローンにて現地調査を行うにあたり川へのアクセスの良さ、および川幅が広すぎないことを考慮し、河道内樹木が侵入しつつも長期的に網状流路が維持されてきた美生川と、河道内樹木が侵入し流路の蛇行化が進行していた音更川上流域の 2 河川を主な対象域とすることとした。結果、2016 年出水後の 2 年間での主な裸地砂州への植生侵入箇所は以下の 3 か所であった。1 つ目は、植生が河岸沿いに縦断的に侵入した。縦断的な分布は至る箇所で見受けられ、それは調査時点での低水路沿いのみでなく、流路変動や流量減少等により本川とのつながりが途絶えた低水路に沿っても縦断的な植生が見受けられた。これらの場所の植生は地上部の丈が最大 50m ほどのものが多く、草本とともにヤナギ類の稚樹も多数生えていた。樹高から推定して発芽後 2 年ほど経過していると考えられることから、2016 年北海道豪雨災害後に定着・成長したものと推察される。2 つ目は、萌芽再生による再定着であり、ヤナギの流木からの萌芽再生が多数確認された。萌芽再生による成長は速く、種子

の状態から生える場合と異なり、2年経過時点で既に1m~2mほどに成長しているものも多数あった。3つ目は、流木等の堆積物の後背地に形成される細粒土砂上への定着である。これは、出水中に流線上で堆積流木が流れを阻害することで、その後背地で流速が減少し、細粒土砂が堆積するとともにヤナギの定着に好適な基盤を形成したものと考えられる。

(4) 植生定着モデル開発と検証（未発表）

実河川の複雑な地形や流路形状に応じたヤナギ等の流水散布に由来する植生・樹木侵入特性およびそれに伴う流路変動特性を検討するため、既存の平面2次元河床変動解析に植生種子散布、定着、成長、流失モデルを組み込んだ。また、上述した実験データを用い、流水性種子の初期定着特性および植生による流路変動特性の変化についてその精度検証を試みた。種子散布・定着モデルでは種子に見立てた粒子を任意の場所から任意のタイミングで継続的に与え、粒子の移動ベクトルを粒子の近傍格子点における流速ベクトルからの線形補完で与えている。種子の定着判定は、流速低下に伴い移動が停止した場合に加え、設定した水深以下になった場合にも定着判定を可能としている。粒子は実スケールで1mm以下程度の種子を想定しているため、流れには影響を与えないone-wayモデルである。植生の発芽・成長モデルは、出水後の平水状態の時期に各計算セル内の定着粒子数に応じて植生密度を設定する。これより、次の出水時に植生の影響は流れの運動方程式の中に抗力の形で考慮される。植生流失モデルでは、発芽時の河床高を初期値とし、そこから設定した根長の深さまで洗堀が発生した場合、植生が流失する。本モデルを上述の水路実験に適用し、モデルの精度検証を行った。結果、交互砂州では出水時、流量低下時に種子の定着が開始し、その場所は砂州前縁に限られることが示された。これは、この場所でのみ優先的に浮遊砂等の土砂を捕捉し、砂州の河床高を上昇させることで、砂州の乾燥化や低水路との比高差を大きくするように働くことを意味すると考えられる。一方、網状流路では出水時、水路実験と同じく種子は広域に定着した。ただし、定着種子数は流量低下時のものが最も多く、それらは最終的な低水路沿いに縦断方向に集中して定着した。その他、低水路から離れた位置でも縦断方向に定着する種子も認められた。これより、流路変動が顕著な網状流路においては、粒子は出水中に小スケールな流路の消長に伴って流路全面に定着するものであることが数値解析からも確認された。また、このような植生の初期定着段階では、植生によって網状流路の本数が減少し、蛇行化する状況は再現されなかった。つまり、網状流路では交互砂州と異なり、河道内への植生侵入は流路形態の変化を一方向には進めないことが示された。今後、網状流路の流路形態を変化させ得る植生侵入パラメーターの特定を行う。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3件)

渡邊健人・久加 朋子・山口 里実・清水 康行：大規模出水時における河道内樹木と流路変動特性の関係 札内川を事例として、土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, pp. 1015-1020, 2018. [査読あり]

久加 朋子・山口 里実：側岸に繁茂する植生が流路変動に与える影響, 土木学会論文集 B1(水工学), pp. 1135-1140, 2018. [査読あり]

久加 朋子・山口 里実・渡邊健人・清水 康行：植生分布を考慮した網状河川の流路変動に関する実験的検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, pp. I_883-I_888, 2017. [査読あり]

〔学会発表〕(計 6件)

渡邊健人・久加 朋子・山口 里実・清水 康行：大規模出水時における河道内樹木と流路変動特性の関係 札内川を事例として、第62回水工学講演会（札幌）, 2018.

久加 朋子・山口 里実：側岸に繁茂する植生が流路変動に与える影響：第62回水工学講演会（岡山）, 2018.

T. Kyuka, S. Yamaguchi, K. Watanabe, Y. Shimizu: Effects of invading floodplain vegetation on bed morphodynamics in braided channel, 12th ISE 2018, Tokyo, Japan, 2018. [Proceedings 査読あり]

T. Kyuka and Y. Shimizu: CHARACTERISTICS OF SEEDS DISTRIBUTION ON ALTERNATE SANDBARS AND BRAIDED CHANNELS, The 4th International Symposium on Advanced Technology for River Management (Seoul), 2017.

T. Kyuka, S. Yamaguchi, K. Watanabe, Y. Shimizu: A mechanism of seeds dispersion and its effects on bed morphodynamics, 10th Symposium on River, coastal and estuarine morphodynamics, Trento-Padova, Italy, 2017. [Proceedings 査読あり]

久加 朋子・山口 里実・渡邊健人・清水 康行：植生分布を考慮した網状河川の流路変動に関する実験的検討, 第61回水工学講演会（福岡）, 2017.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。