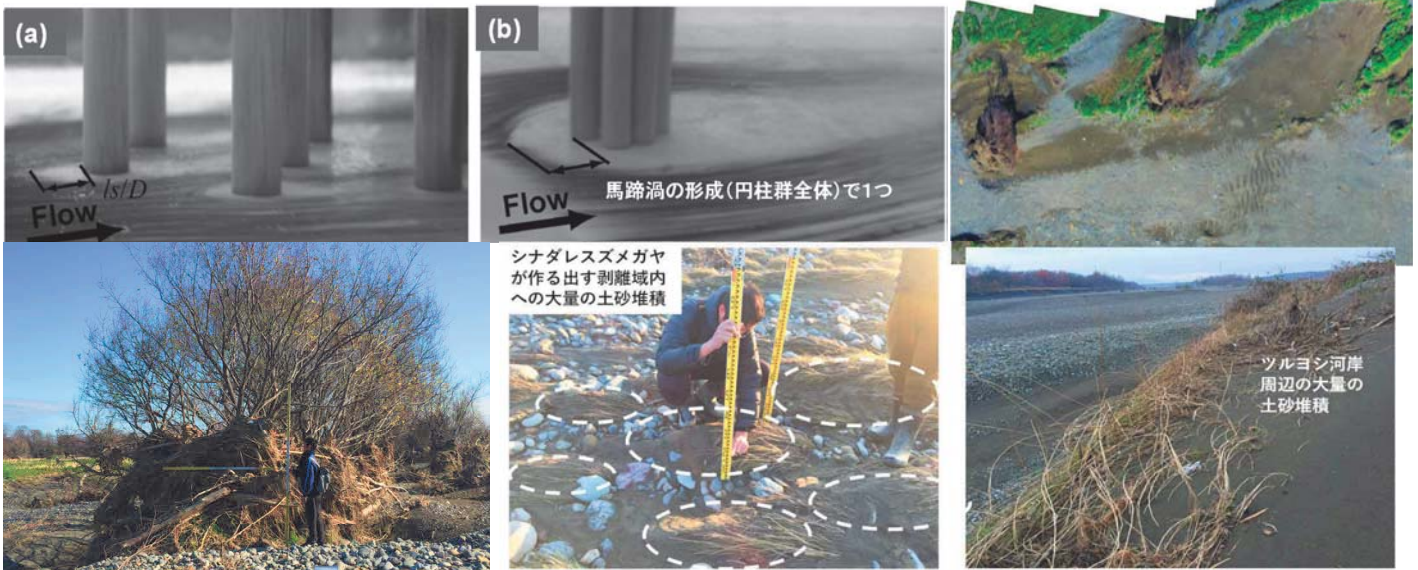


植生水理学は植生管理や河川環境の創生上のニーズ にどこまで対応しているか：その可能性と課題



埼玉大学大学院理工学研究科 教授 田中 規夫

本日の話題

1. (はじめに) 植生に関連した河川空間の特徴
2. 植生動態モデルの発展に向けた課題
3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘
4. 植生による土砂堆積
5. 河川地形形成における植生の働き
6. (まとめ) 植生管理や河川環境管理という観点での植生水理学の可能性と課題

1. 植生に関連した河川空間の特徴 (1)植生管理、河積管理

水工学(植生水理学)関連の植生
堤防植生、河道内の植生、湿地、上流域(森林)

現状

植生管理(流下能力(河積管理):草本・木本の抵抗、河床変動:侵食・砂州の移動)

- ・実構造:三次元、剛柔が混在、時間的に変化(長期、洪水イベント時)
- ・三次元解析の例はあるが、多くは、二次元、準二次元、一次元的取り扱い
- ・様々な植生:詳細なデータは得づらい(形状は点群などで状況は変わりつつあるが、**個体群の植生遷移まで考えると未知のデータが多い**)
- ・剛柔の観点でモデル化される。

剛な植生の場合:木本は円柱群、もしくは樹形を投影面積の鉛直方向変化で表現し、抵抗係数の水深変化で表現(三次元解析でない場合は水深平均流速で議論)

柔な植生の場合:振動・波などの複雑現象もおきるが**多くは粗度係数か抵抗**

課題

・水位の精度を高めても、個体群としての生息場の議論には直結しない(景観レベルの議論は可能):**生態学的知見、数値解析の解像度**

以下の問題には応用生態工学の視点が必要であるが、植生水理学から必要なアプローチは?

- ・樹木伐採、高水敷の切り下げ:残存させる樹木・草本・エコトーン(植生水理学的知見+生態系)
- ・土砂再堆積、再樹林化:草本周辺の剥離域によって影響される土砂堆積

1. 植生に関連した河川空間の特徴 (2)河川環境との関連

河川環境(特に生息場):局所流の影響を受けて形成される場でもある

- ・樹木を円柱群(あるいは鉛直構造を考慮した補正)で取り扱っている段階では、景観レベルの議論はできても、個体群の変化などの議論に近づかない
- ・様々な木本、草本の種類や特性(強度や形)をどの程度まで考慮すべきか(類型化・一般化):地上部だけではなく、流失を考えると根毛量
- ・樹木周辺の局所流による洗掘・浮遊物の堆積や、草本背後の剥離域への土砂堆積は、洪水後の生息場を作り出す重要なもの:**計算精度(データ取得精度、数値解析の解像度)として難しさがある**

水際と洪水時に冠水する場所に存在する植生

植生流失や倒伏に起因する堆積物(**生物学的遺産:攪乱を受ける前の生態系から引き継いだ栄養塩や種子等の遺産**という意味)

の果たす機能 ⇒ **河川地形の形成や多様な生息場の創出等**



長所や短所(流下能力の低下、河岸を固定する一方で流路変動を激しくする場合もあること等)があるため、**水工学、生態学、地質・地形学**の関連で多くの研究が行なわれてきた。

複雑なプロセスが時空間的に混在

1. 植生に関連した河川空間の特徴

(3)生態学と河川水理学に関連した日本の動き

- 1978年 生態系と水理学(日野)：拡張すべき水理学→生態水理学
- 1990年 多自然型川づくり(当時名称)
- 1997年 河川法改正 「河川環境の保全と再生」
- 2004年 河川技術シンポジウム 生態学と河川水理学の連携に関するOS(樹林化と付着藻類に関する総説)
- 2006年 『多自然川づくり』の推進について
- 2013年 河道内樹林化研究に関する総説
- 2021年 河道内植生の維持管理は河積管理や河道内侵食の両方に関連→河道管理研究小委員会のWGによる総説で課題や研究の方向性の整理
- 1980-90年代：植生水理学に関する水理模型実験が盛んにおこなわれる(乱流、二次流、水平渦に関する知見の蓄積)
- 2000年以降 現地調査をもとにした数値解析

近年の植生管理に関する研究は多様期に相当し、具体的な事例に基づく知見も蓄積されつつある。

河川特性(地形、地質、出水特性、河道特性)と植生の繁茂状態に応じた管理技術を構築する必要性

→ 植生水理学の解像度と時間スケールでの評価をどこまで高めるべきか

1. 植生に関連した河川空間の特徴

(4)河道管理研究小委員会

報告

河川技術論文集, 第27巻, 2021年6月

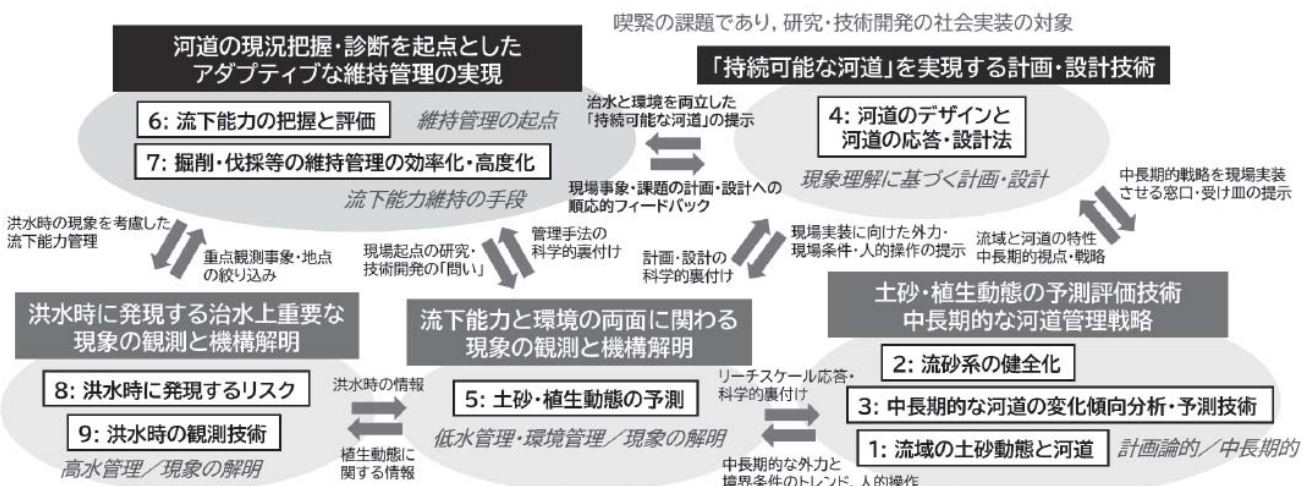
※以下の論文を抜粋

「持続可能な河道の流下能力の維持・向上」を実現するための河道管理技術・研究開発の方向性

DIRECTION FOR DEVELOPING RESEARCH AND TECHNOLOGY TOWARD ESTABLISHING "RIVER CHANNEL WITH SUSTAINABLE FLOOD CAPACITY"

河道管理研究小委員会河積管理ワーキンググループ1

のも多い。例えばクラスターCに区分されたが、現場ニーズは学民官共通して高く評価されている事項の例を挙げれば、「22：河川横断構造物からの排砂技術」、「42：掘削等により流下能力を引き上げられる河道の限界(限界河道)を見極める診断手法」、「62：洪水時の植生帯の挙動(流失等)を加味した流下能力評価手法の開発」、「63：洪水時の河床変動を考慮した流下能力評価手法の開発」、「82：流木発生により発現する治水上の脆弱性(樹林帯による流木捕捉、橋梁閉塞等)に関する調査研究」、「84：砂州の移動性(洪水時に移動する砂州、移動しない砂州、形状変化の方向性、洪水流量)の予測評価」がある。



現象の解明：現場ニーズは高く認識されているが課題設定の捉え方が人それぞれで実務への貢献の姿がやや見えづらい

予測評価技術：現場ニーズは高いが、社会実装に近いものと、実務への貢献の姿が未だ見えづらいものが混在する

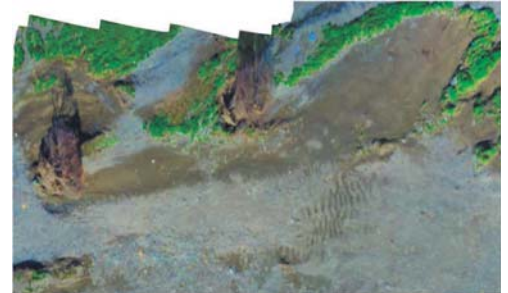
図-3 河道管理(河積管理)において調査研究開発が必要と考えられる事項の相互関係

1. 植生に関連した河川空間の特徴 (5)課題認識:時空間スケールの問題

・多様な植物繁茂状態に関連した小スケール(局所的)・短期的な影響(様々な植生や河床材料であること, 植生周辺流れの三次元性, 攪乱強度に応じた植生周辺の局所的な地形改変とそれによる次回イベントまでの植生遷移)



・大スケール・長期的な影響(洪水イベントそのものによる植物体の死滅・基盤の流出, 洪水の結果として河道に残る生物学的遺産も含む植生遷移という長時間イベントが関連する時空間的変動など)が混在するため, 本質的な解明が遅れている



シナダレスズメガヤ
が作る出ずり剥離域内
への大量の土砂堆積



まさに、虫の目(詳細)、鳥の目(俯瞰)、魚の目(流れ把握)が必要な世界

1. 植生に関連した河川空間の特徴 (6)植生水理学と土砂水理学に関連深い仮説や視点:生態系エンジニアと生物学的遺産

生態系エンジニア(Ecosystem engineers)

- ・自分のためのハビタットを維持・改良(ニッチ(生態的地位)を確立)+その周辺の局所的なエコシステムを他の生物の進入も含め変化させていく生物
サンゴ, ビーバー, 造網型水生昆虫
- ・出水の影響を受けて堆積した種子が発芽したり, 枝が漂着したりしたことで定着する植物も周辺に他の生物が定着する地形改変をもたらす

生物学的遺産(Biological legacy)

- ・洪水や火災によって攪乱された生態系に残る植物遺体(栄養源)や種子・地下茎・流木・流枝などは攪乱を受ける前の生態系から引き継いだ遺産であるため, 生物学的遺産とよばれる。
- ・あるいは攪乱によって形成された生物や物理的構造(化学・地形構造)を含めて生物学的遺産と呼ぶ。
- ・次の出水に対して破壊されない場合はさらに流木などをトラップして成長したり, 他のレガシーとの相互作用で別の場所に洗掘域や堆積域を作ったりするので, 生態系エンジニアの働きを表す生物学的遺産ということでecosystem engineering legacyと呼ぶ場合もある。
- ・実際の現象ではこれらの相互干渉も考えないといけない。小規模な地形改変が相互干渉して大きな地形を作り出すケースが報告されている。

1. 植生に関連した河川空間の特徴 (7) 生態系エンジニアと生物学的遺産の事例 植生影響下での蛇行流路の発達：大スケール中の局所的かつ長期的変化

講演時には示したが、著作権の関係で図面は削除した

図 尾根線と窪地を形成しながら蛇行流路が横断方向に移動・発達していく概念モデル
Zen, S., Gurnell, A. M., Zolezzi, G., & Surian, N. (2017). Exploring the role of trees in the evolution of meander bends: The T agliamento R iver, I taly. Water Resources Research, 53(7), 5943-5962.) のFigure9

樹木進入とその周辺における微地形形成が蛇行の進行に影響を与えるなどの事例
大規模・中規模スケールの変動と植物周辺の局所流という二重構造

1. 植生に関連した河川空間の特徴 (8) 視点:カオス的、流れの二重構造

時間スケール：中長期的影響（攪乱と植生遷移の相互作用：洪水頻度と規模）：カオス的？

- ・規模の異なる不定期な攪乱が生物（特に植生遷移を含む土壌の形成）と地形の相互作用に関連
- ・洗掘か堆積か：洪水攪乱による外力の時間変動が植生帯を礫河原に戻す場合もあれば、樹林化を促進する方向に行く場合もある
- ・洪水を受ける時点での河道の植生初期状態の僅かな差が植物の残存・流失に関係し、流失したかどうかの差が時間発展と共に大きな差異を与える

洪水攪乱を含む植生動態の予測解析



実験水理学、洪水イベントの再現解析、三次元数値解析

空間スケール：三次元性と二重構造（大スケールの流れの中の植生近傍の局所性）

- ・植生周辺は局所的な流れになり、流れの三次元性が顕著（植生周辺の二次流と土砂堆積，水平渦の規模）
- ・研究手法としては高度な解析技術を必要とし、解析の初期条件として三次元的なデータが必要。データ取得可能性が高まっている
- ・数値解析もOpenFOAMなどにより三次元解析が実施されている

1. (はじめに) 植生に関連した河川空間の特徴
2. 植生動態モデルの発展に向けた課題
3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘
4. 植生による土砂堆積
5. 河川地形形成における植生の働き
6. (まとめ) 植生管理や河川環境管理という観点での植生水理学の可能性と課題

2. 植生動態モデルの発展に向けた課題

(1) 植生動態モデルの構成要素と樹種特性考慮の必要性

河岸植生の動態モデルを構成する要素： 植生の定着，生長／遷移，流失／枯死が基本

種子の発芽と生長は，土壤水分量に大きく依存するため，通常時の河川水面からの比高を用いて関数化する場合が多い。ヤナギ等の種子の散布時期が決まっているものは，その時期に生じた洪水が植生分布に大きく影響を与える。

植生の定着は種子以外の倒木の周りの土砂堆積中に埋没した種子や流木・流枝の定着に起因する生態学的遺産からのものもある。ハリエンジュも実生からの定着は少ないとされており，礫河原にハリエンジュが進入している箇所が多いのは，河川上流における緑化植物としての活用されたものからの種子や枝の漂着があること(供給源が上流にあること)，窒素固定機能を有するため貧栄養環境でも入り込めること，等があるとされており，樹種特性に応じたモデル化も必要である。

流木の動態を表すモデルは提案されているが，定着場所の精度を上げるのには流木の停止条件が必要で，そのためには根鉢や樹冠などを流木モデルに入れる必要があること，定着した後の洗掘と堆積は，流木スケールよりはるかに細かいグリッドで計算しないと精度がでないこと，等から現状では河川流との相互作用を考慮した十分なモデル化はされていない。

2. 植生動態モデルの発展に向けた課題 (2) 植生遷移、生態系エンジニアの役割

光や栄養塩をめぐる競争や自己間引きといった植生密度に影響するプロセスや枯死等をどの程度取り込むかはモデルによって異なる。

攪乱耐性のモデル化や栄養塩の供給に関係する細砂分の堆積が重要であるが、細砂分の草本空間への堆積は植物体によって形成された乱流運動の影響を受けながらの浮遊砂の堆積を伴うため、課題がある(植生水理学が頑張るべき領域)

Gurnellら*)の領域区分では、低次元のZoneでは攪乱強度が激しいため、細粒土砂成分を捕捉する生態系エンジニア(植物や生物学的遺産)のサイズに応じた剥離領域の分布が重要(植生水理学が頑張るべき領域)

高次元のZoneではより生態学的な面、つまり長時間をかけて行われる水分、光、栄養塩をめぐる種間競争が重要となる。

*)Gurnell et al., River Research and Applications, 32(2), 142-163, 2016

水分や浮遊砂の堆積は洪水時の分級現象にも関係し、水際からの距離や比高が関係している場合が多い。比高により成長モデルを記述する場合も多い。

日本の河川では管理された空間の中で大規模な出水が比較的頻繁に発生していることから、種間競争よりは土砂堆積による栄養塩の供給や土壌水分を保持する堆積層の形成、洗掘による流失過程が重要になっている場合が多い。

2. 植生動態モデルの発展に向けた課題 (3) Asaedaらの植生動態モデル(Recruitment Box Model)

講演時には示したが、著作権の関係で図面は削除した

私の研究
・抽水植物の生長モデル
・抽水植物が関連した湿地における栄養塩動態モデル
・ツルヨシの生長モデル(地表面のカバー率、抵抗変化を計算する目的)

Asaeda et al.; River Research and Applications, Vol.31, pp.470-484, 2015.

洪水攪乱の大きさや比高に応じて存在する樹木個体を、樹齢等の樹木の特性に応じて流失させ、同時に、冠水域に樹木の種子を散布させる。樹木個体は枯死率などの設定に従い、個々に生長を行う。個体同士の競争の影響、樹齢分布、伐採等の人工的な影響の評価等、様々な適用が可能なものとなっている。ただし、多様な植物相を対象にする場合は設定すべきパラメータが多いという課題がある

2. 植生動態モデルの発展に向けた課題 (4) “CASiMiR-vegetation” model (Phase-based モデル)

講演時には示したが、著作権の関係で図面は削除した

私の研究だと

・荒川の砂州における植生遷移モデル(30年くらいのスケール)

Benjankar et al., J of Environmental Management, Vol.92, pp.3058-3070, 2011.

Phase-based モデルはCASiMiR (Benjankar et al., 2011)に代表されるもので、洪水攪乱の大きさ、継続時間や比高に応じて、存在する植物相を流失させ、時間の経過とともに、環境条件に応じて定められた植物相(湿地、砂礫礫河原等の場に応じた遷移段階の異なる植物群:パイオニア種, 草本, 雑木, 遷移初期の林, 成熟した森など)を入植させ遷移させていく。

2. 植生動態モデルの発展に向けた課題 (5) Solariら: 河畔植生動態モデルのレビュー

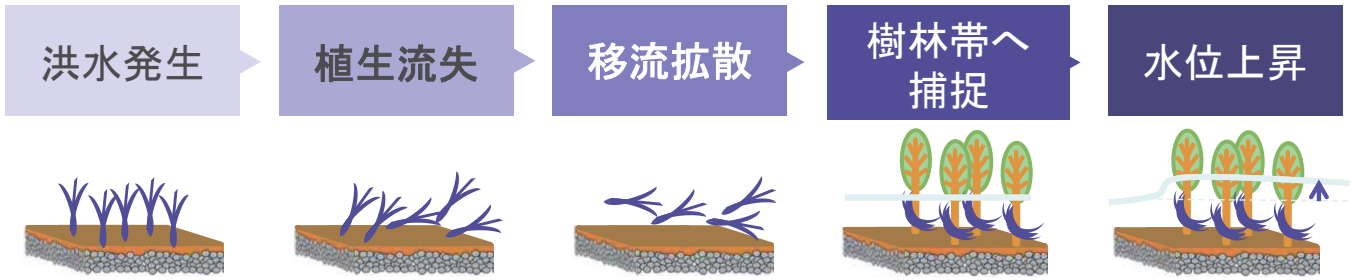
- 1の植生抵抗や河岸侵食を含む移動床研究については多くの研究がすでに展開されている※粘着性をもつ河岸のモデル化にはまだ課題が残されている
- 2や5は多くの植生モデルで簡易化された条件でモデル化されている
- 4も比高と植物の関係を取り入れることで簡易的には組み込まれている。
- 3については、研究が精力的に行われている最中であり、生物学的遺産や浮遊砂の堆積の話も含むため、今後取り組むべき課題は多い。(植生水理学が頑張るべき領域)

講演時には示したが、著作権の関係で図面は削除した

Solari et al., River Research and Applications, 32(2), 164-178, 2016.

2. 植生動態モデルの発展に向けた課題
 (6) 私のグループで研究開発していること：洪水時の浮遊物発生・流下・捕捉

浮遊物の発生から捕捉まで



洪水氾濫解析



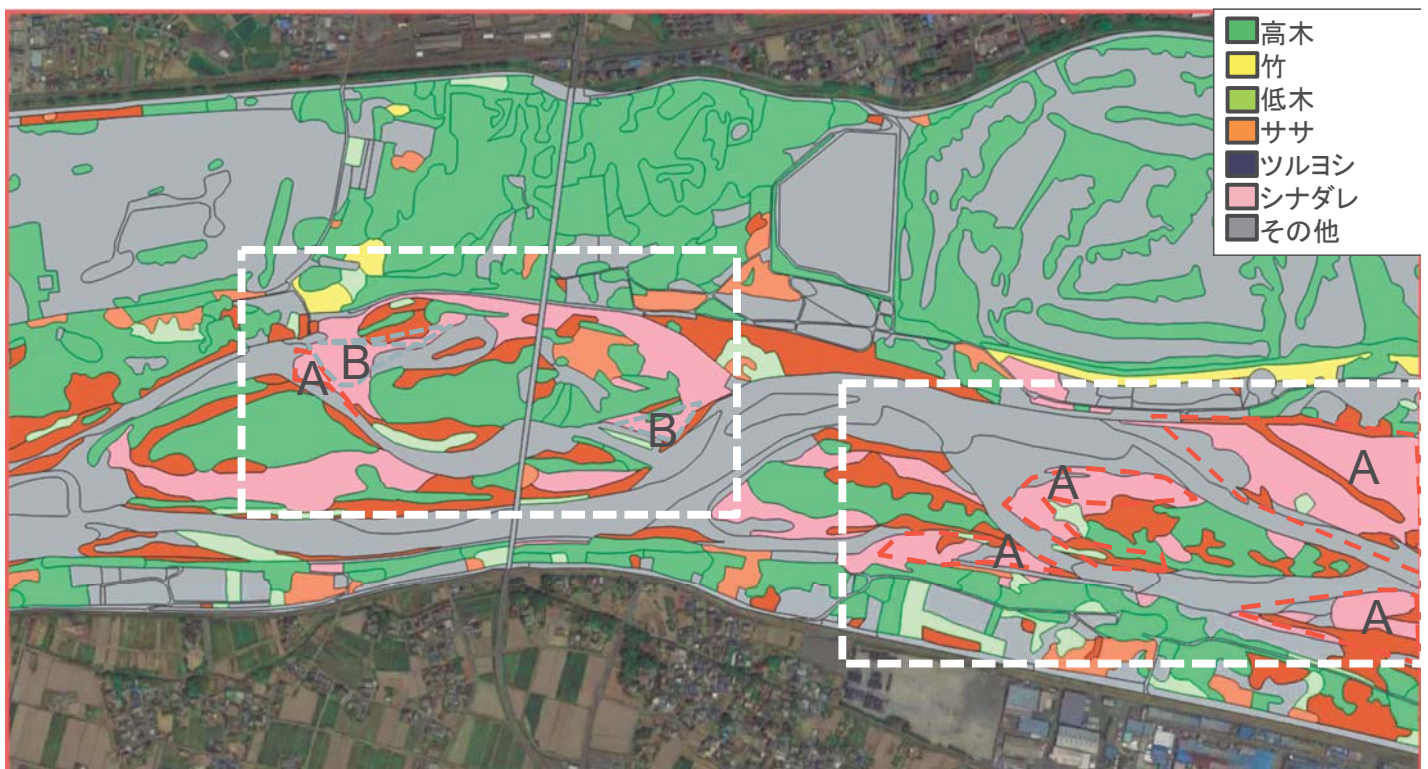
抵抗変化を議論する場合は、浮遊物の捕捉状況が不明

→ 浮遊物の移流・拡散を解析し、どの樹林帯に捕捉されるかを把握することが重要

2. 植生動態モデルの発展に向けた課題
 (7) 植物の破壊・流失評価事例 1) 植生の流失実態 (荒川・熊谷砂礫州)

田中ら 土木学会論文集(台風19号特集号)

白点線の中で現地調査(UAV空撮を含む)により植生流失状況を確認している。Aはほぼ流失。Bは一部を除き残存。



3. 植生動態モデルの発展に向けた課題 (8) 植物の破壊・流失評価事例: 草本の流失再現状況 (荒川・熊谷砂礫州)

計算で流出した草本の位置

田中ら 土木学会論文集(台風19号特集号)

ケース: 植生あり(破壊流出, トラップ全砂州) 再現性が高い

が、数値解析で判定された流失状況と類似している。シナダレスズメガヤとツルヨシの流失は、概ね表現されたといつてよい



3. 植生動態モデルの発展に向けた課題 (9) 植物の破壊・流失評価事例: 樹木の流失再現状況・トラップ無 (荒川・熊谷砂礫州)

計算で流出した樹木の位置

田中ら 土木学会論文集(台風19号特集号)

ケース: 植生あり(破壊流出)



2. 植生動態モデルの発展に向けた課題

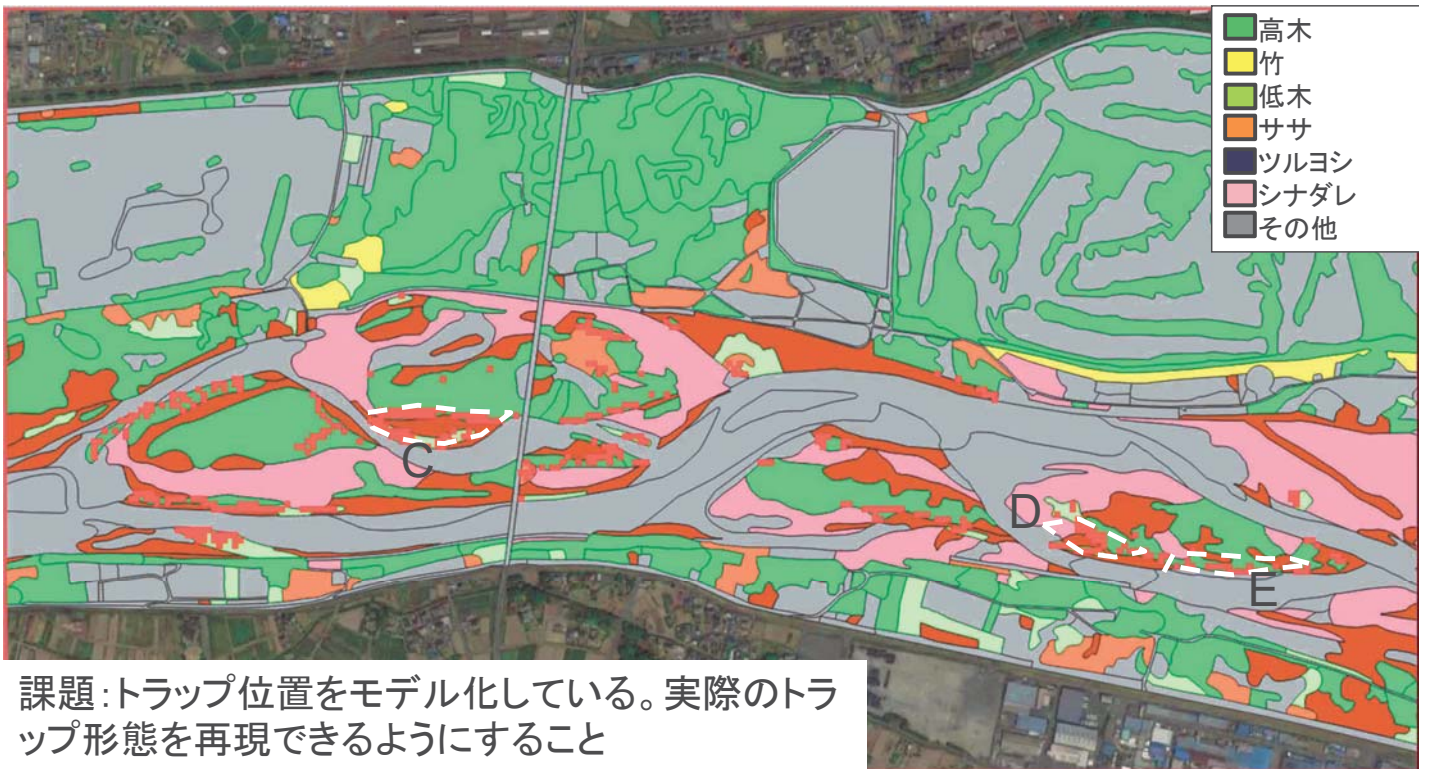
(10) 植物の破壊・流失評価事例：樹木の流失再現状況・トラップあり（荒川・熊谷砂礫州）

計算流出した樹木の位置

田中ら 土木学会論文集(台風19号特集号)

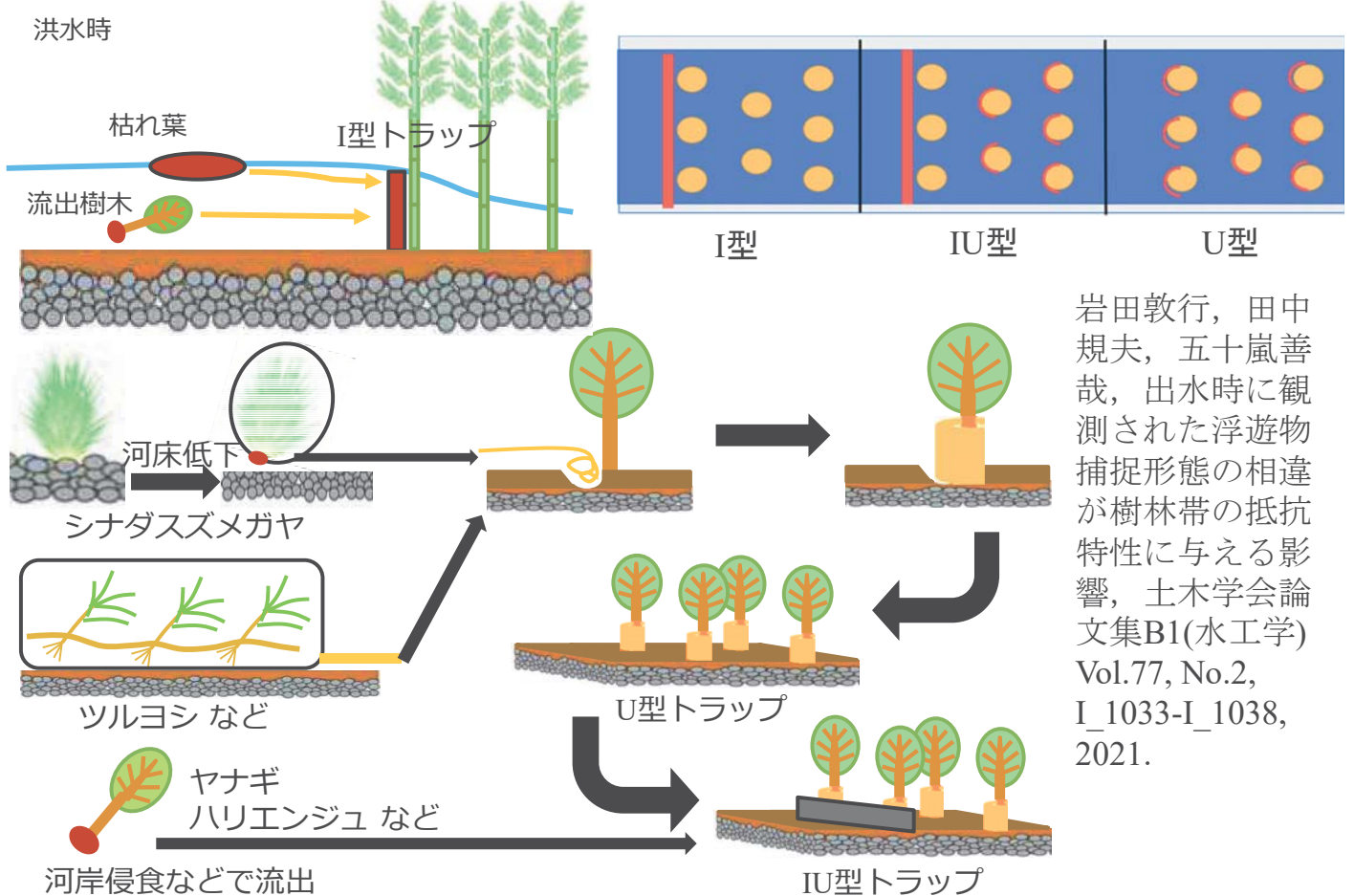
ケース：植生あり(破壊流出, トラップ全砂州)

破壊とトラップをモデル化したもののほうが精度が高い

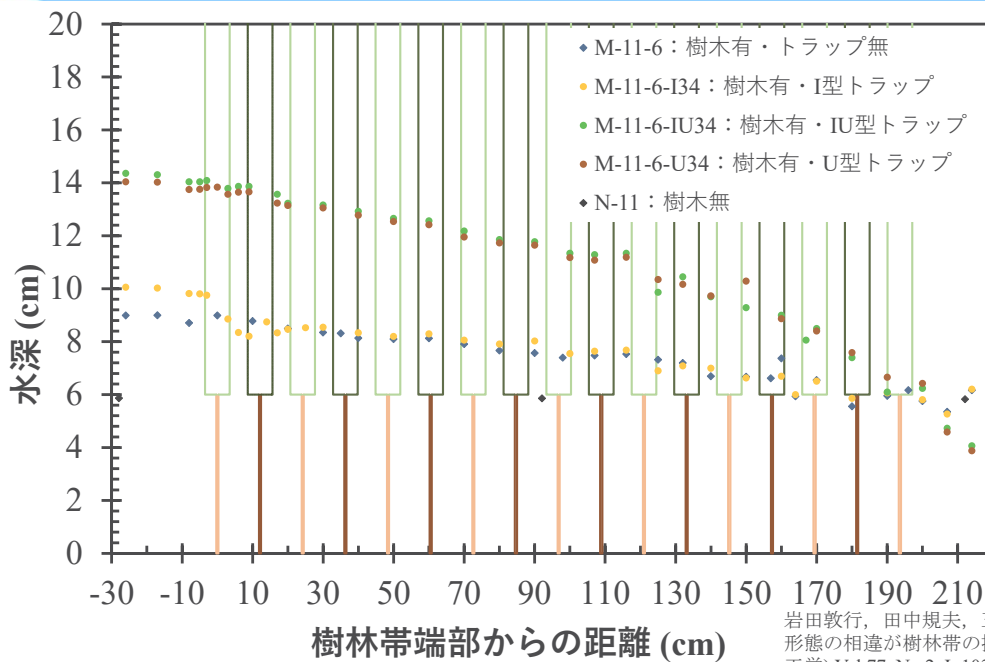


2. 植生動態モデルの発展に向けた課題

(11) 浮遊物のトラップ形態と抵抗：I型、U型、IU型トラップ

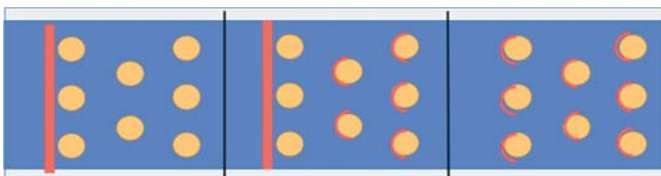


2. 植生動態モデルの発展に向けた課題 (12) 浮遊物のトラップ形態と抵抗: I型、U型、IU型トラップの抵抗特性



岩田敦行, 田中規夫, 五十嵐善哉, 出水時に観測された浮遊物捕捉形態の相違が樹林帯の抵抗特性に与える影響, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.77, No.2, I_1033-I_1038, 2021. より引用

I型 << U型 ≦ IU型



I型は、1列目付近で水位の堰上げがあるが、後列は大きく変化しない。

U型の抵抗増加は要注意

数値解析には反映されていないが、上流側で生成される浮遊物の特性に応じたトラップ現象の反映は重要

本日の話題

1. (はじめに) 植生に関連した河川空間の特徴

2. 植生動態モデルの発展に向けた課題

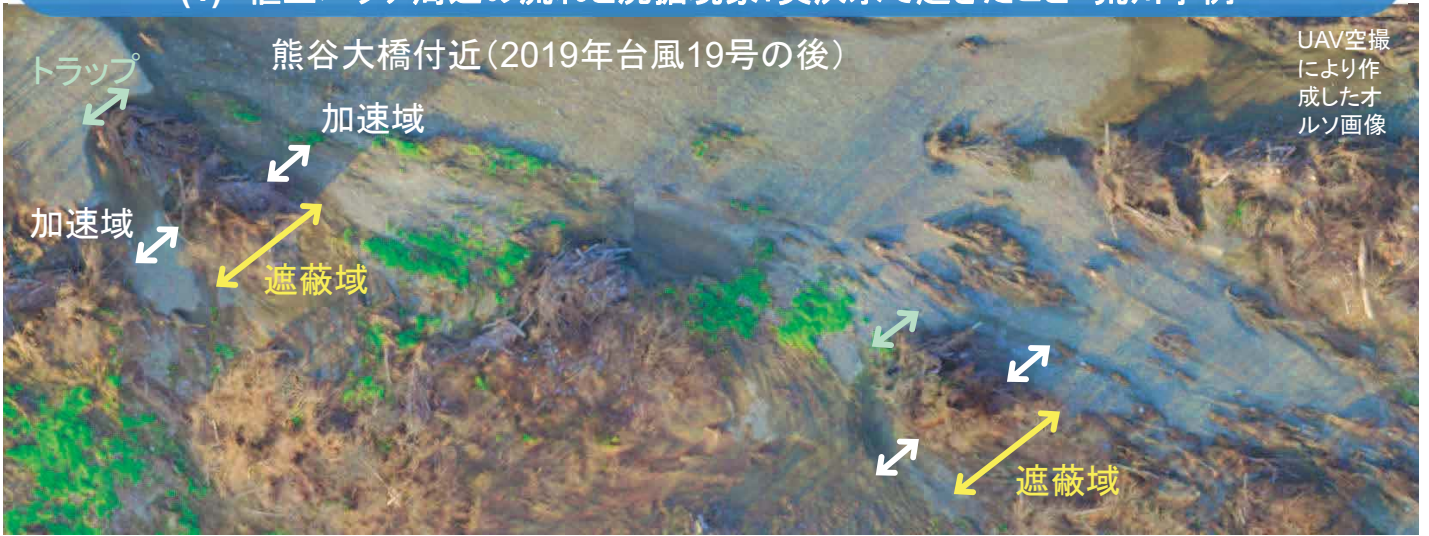
3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘

4. 植生による土砂堆積

5. 河川地形形成における植生の働き

6. (まとめ) 植生管理や河川環境管理という観点での植生水理学の可能性と課題

3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘
 (1) 植生パッチ周辺の流れと洗掘現象: 実洪水で起きたこと 荒川事例



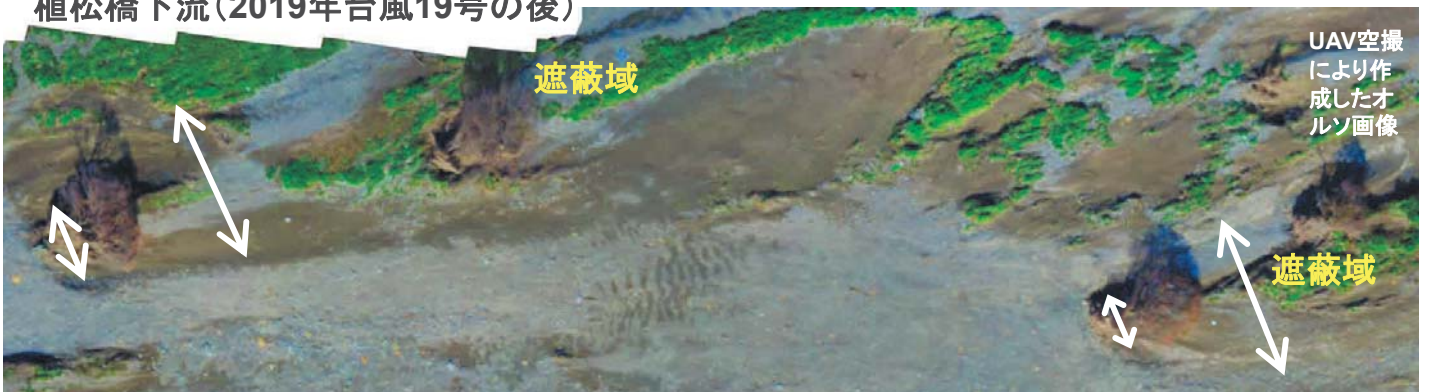
3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘
 (2) 植生パッチ周辺の流れと洗掘現象: 実洪水で起きたこと

熊谷大橋上流(2019年台風19号の後)



砂州前面部における流木ダムの形成

植松橋下流(2019年台風19号の後)



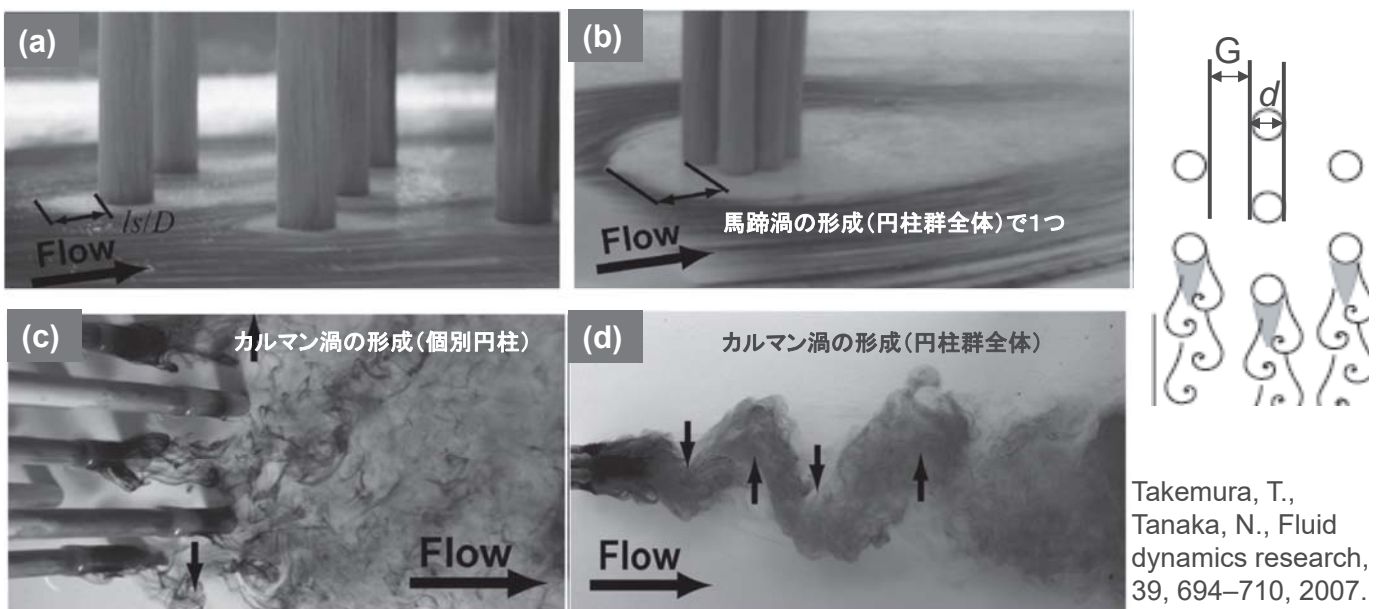
樹林帯によるトラップで生じた偏流(馬蹄形の洗掘領域)

3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘
 (3) 植生パッチ周辺の流れと洗掘現象: 実洪水で起きたこと 那珂川事例

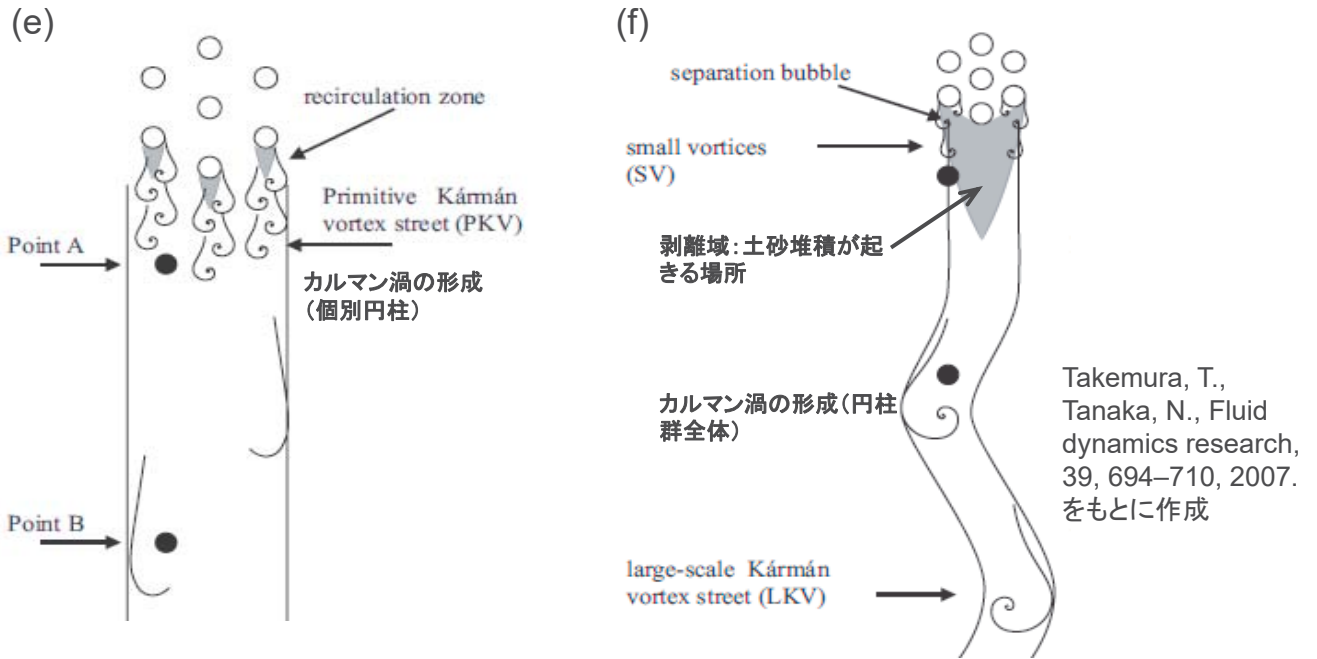


3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘
 (4) 植生パッチ周辺の流れと洗掘現象: 渦構造の可視化事例

パッチ状植生や生物学的遺産を想定した流れ: Takemura & Tanaka (2007) はパッチ状の抽水円柱群周りの流れに関して、横断面に投影したときの円柱間距離 G が円柱直径と比較した $G/d > 1.8$ のときは、個々の円柱周りの流れが卓越したような渦列が発生するのに対し、 $G/d < 0.4$ の時はパッチ状植生からやや離れた後ろ側から大規模なカルマン渦列が形成され、 G/d が小さくなるにつれてカルマン渦の形成位置は単一円柱背後のカルマン渦列に類似したものになることを示した。



3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘 (5) 植生パッチ周辺の流れと洗掘現象: 渦構造

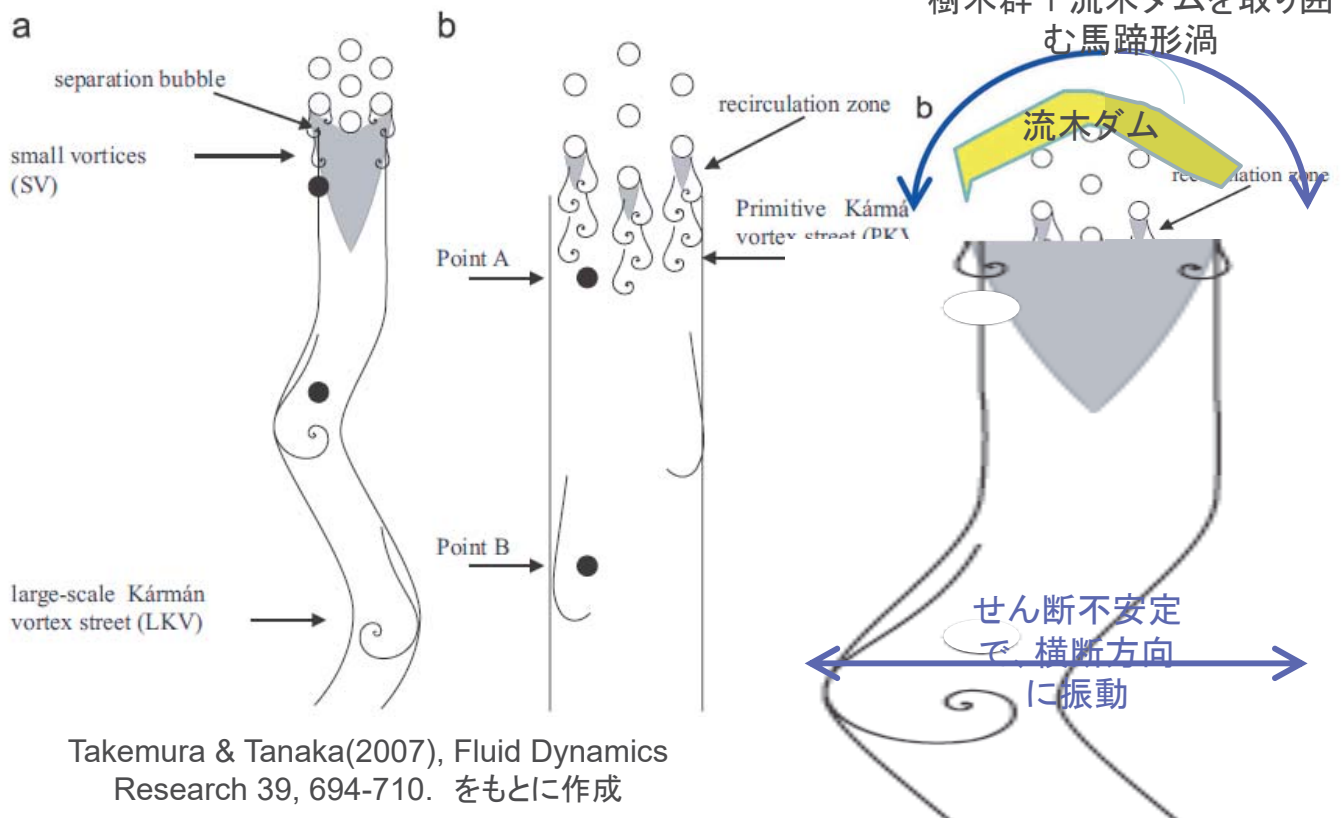


Takemura & Tanaka³⁵⁾の条件を河川の自然植生に適用した場合、樹冠が水面より上にあるような高木であれば、パッチ状であっても群としての流れ構造にはならないが、低木で樹冠部分が底面に近い場合は群としての影響を考慮する必要が生じる。また、密度が高い竹林の場合は群としての構造が現れるような場合もあると考えられることから注意が必要である。

※浮遊物を捕捉すると(e)が(f)のような流れに変化する

3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘 (6) 流れのメカニズム

密な場合の流れ構造は低木周りでは発生(偏流の生じる範囲が大きい)
竹林も条件によるがどちらかというとい粗い(b)の流れ(偏流の範囲は狭い)
しかし、浮遊物をトラップすると状況が変化する



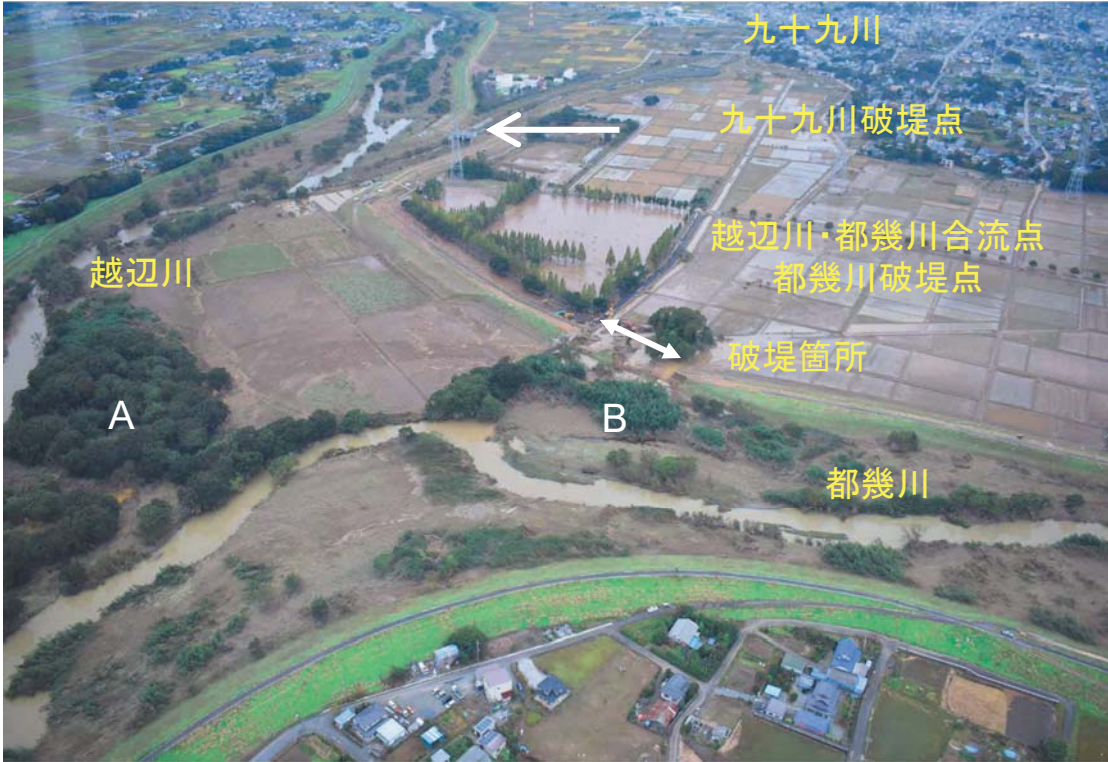
3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘 (7) I型トラップ: 破堤点付近の樹林帯はどのような影響を与えたか(都幾川右岸0.4kP付近) その1

Aの樹林帯

長所: 背割堤のような効果をする場合もある ⇔ 短所: 水位をさらに上昇する

Bの樹林帯

長所: 堤防沿いの高速流を緩和する ⇔ 短所: さらに水位を上昇させる



Bの樹林帯(竹林とヤナギ)は、大量の草本をとらタップしていた。

特に、前面部には壁のような堆積物があった(洪水後調査)

3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘 (8) I型トラップ: 破堤点付近の樹林帯はどのような影響を与えたか(都幾川右岸0.4kP付近) その2

※越水箇所は堤防高さが低かったが、連続はしていない。堤防高さの微妙な変化と堤防沿い植生の影響を受けているように見える。



・堤防との距離や植生の角度

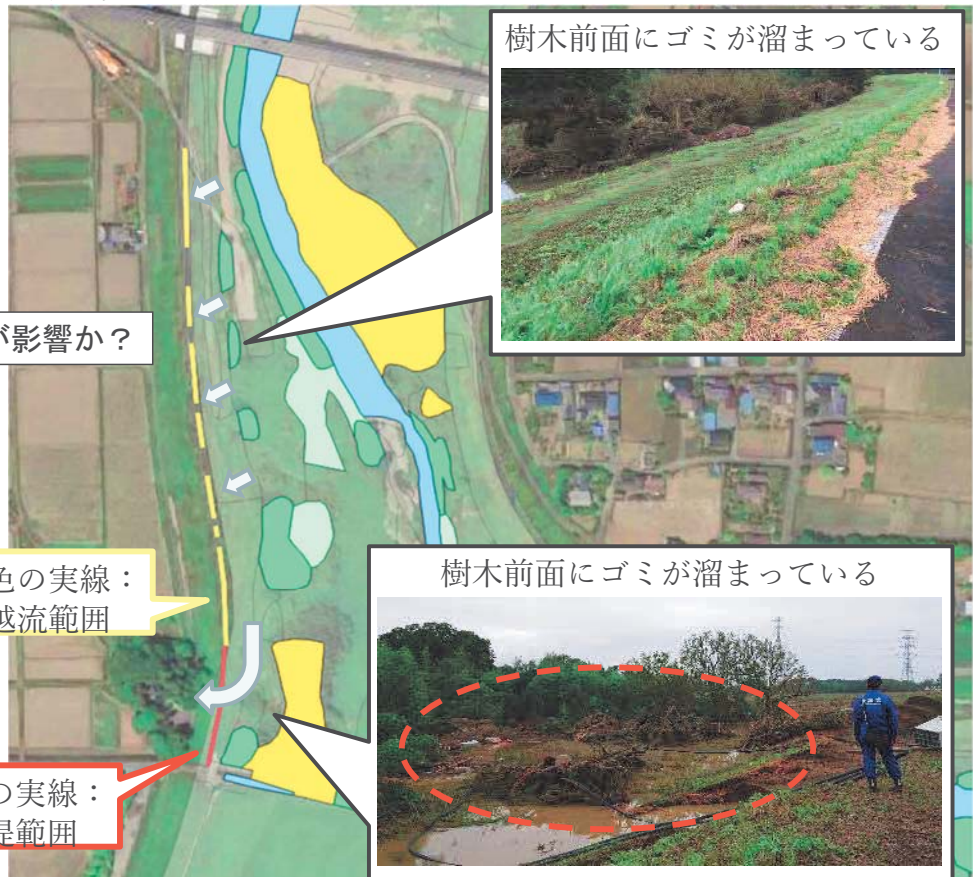
樹木が影響か?

・浮遊物の集積しやすさも影響を与える可能性あり

黄色の実線: 越流範囲

赤色の実線: 破堤範囲

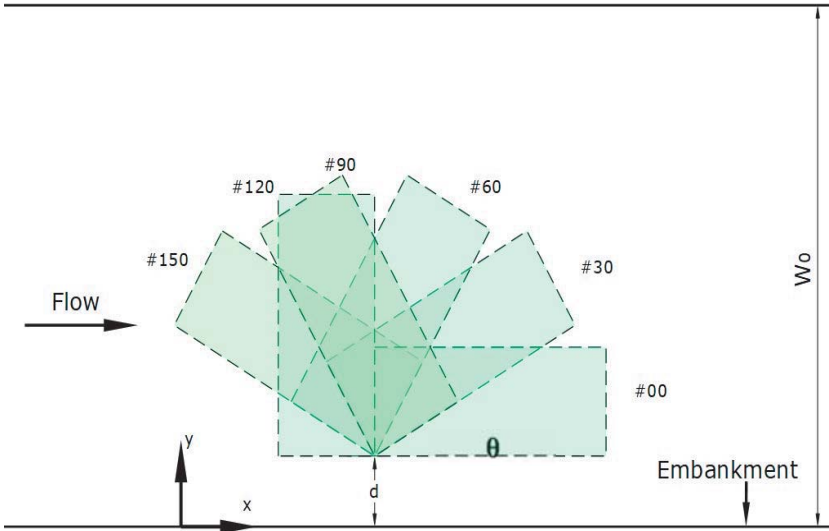
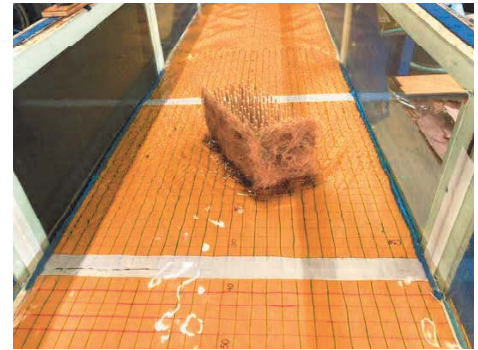
Google Earthをもとに作成



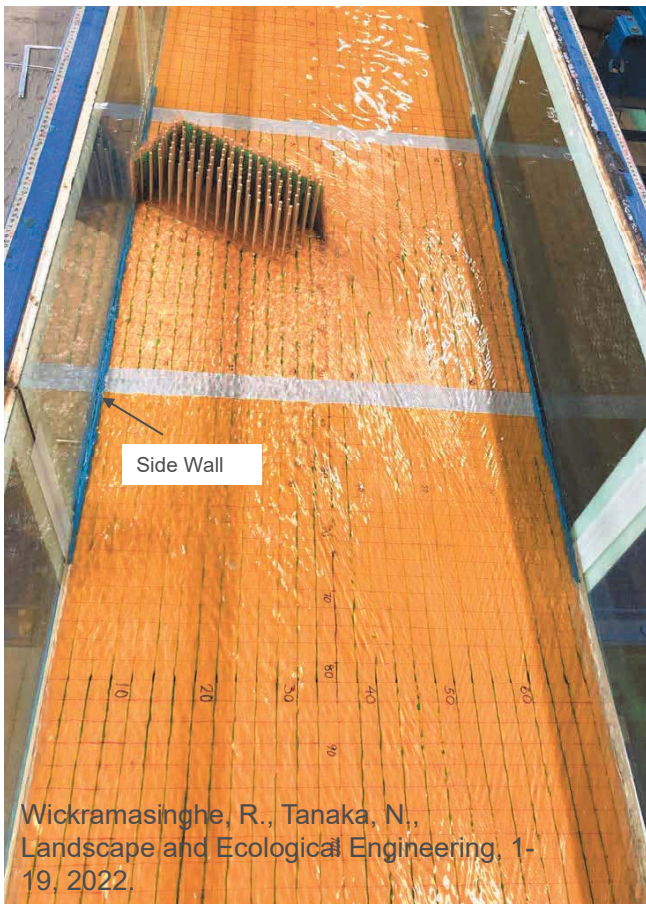
3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘
 (9) I型トラップ: 堤防付近の樹林帯: 角度によるせき上げ、浮遊物トラップ影響

Wickramasinghe, R., Tanaka, N.,
 Landscape and Ecological Engineering, 1-19, 2022.

Case ID	Non dimensional gap ($E_d = d/W_0$)	Angle between streamline & VM (θ)
A	0	0, 30, 60, 90, 120, 150
B	0.125	0, 30, 60, 90, 120, 150
C	0.25	0, 30, 60, 90, 120, 150
D	0.375	0, 30, 60, 90, 120, 150



3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘
 (10) I型トラップ: 堤防付近の樹林帯: 角度によるせき上げ、浮遊物トラップ影響



A60

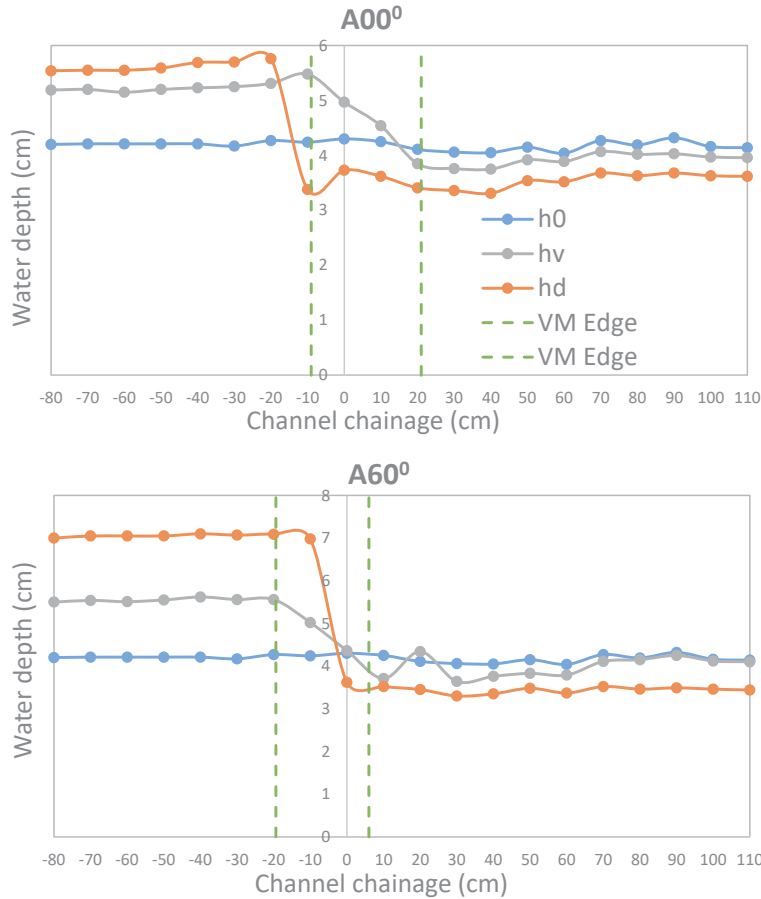


D60

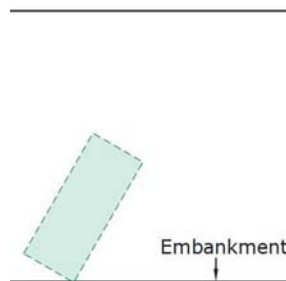
Wickramasinghe, R., Tanaka, N.,
 Landscape and Ecological Engineering, 1-19, 2022.

3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘
 (11) I型トラップ: 堤防付近の樹林帯: 角度によるせき上げ、浮遊物トラップ影響

側壁における水位: Case A



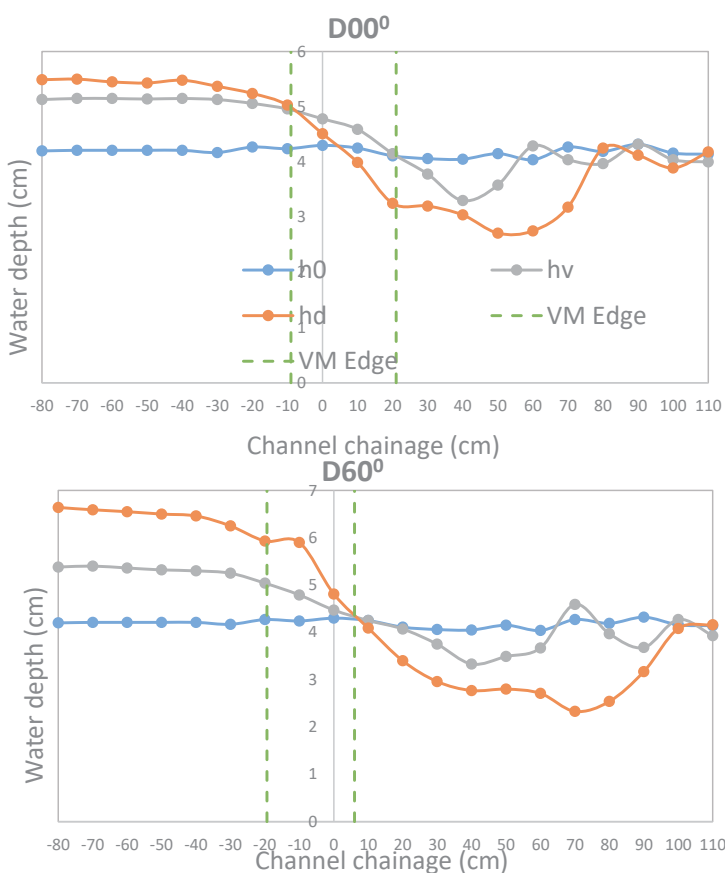
- 側壁における水深の分布: 樹林帯モデルの上流側で水深が増加するが、樹林帯下流側では水深は樹林帯モデルがない時よりも減少する。
- 浮遊物をトラップさせたモデルでは、その傾向がより顕著になる
- h_0 : 樹木モデルなしの水深
- h_v : 樹木モデルありの水深
- h_d : 樹木モデルあり(トラップあり)の水深
- VM Edge: 側壁に投影した範囲



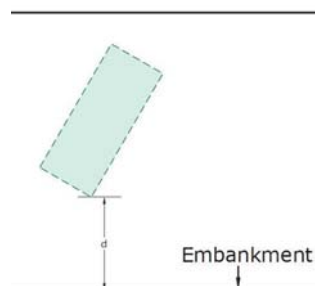
Wickramasinghe, R., Tanaka, N., Landscape and Ecological Engineering, 1-19, 2022.

3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘
 (12) I型トラップ: 堤防付近の樹林帯: 角度によるせき上げ、浮遊物トラップ影響

側壁における水位: Case D

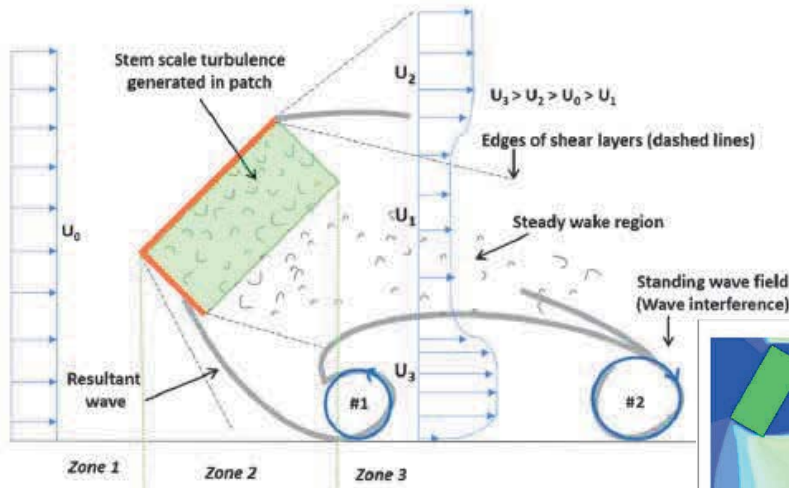


- 樹林帯モデルと側壁の隙間が大きくなると側壁における水位変動が大きくなる。
- 角度が0度よりも60度の時のほうが上流側の背水影響は大きくなる。樹林帯の横における上昇影響も大きい
- h_0 : 樹木モデルなしの水深
- h_v : 樹木モデルありの水深
- h_d : 樹木モデルあり(トラップあり)の水深
- VM Edge: 側壁に投影した範囲

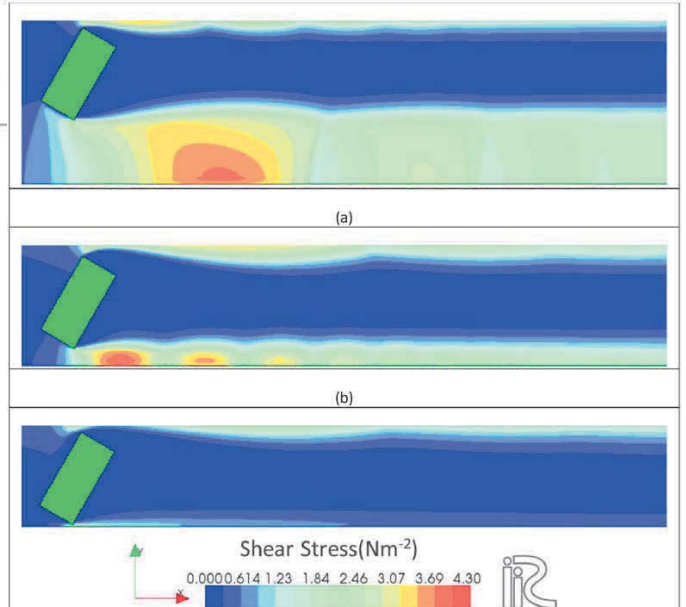


Wickramasinghe, R., Tanaka, N., Landscape and Ecological Engineering, 1-19, 2022.

3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘
 (13) I型トラップ: 堤防付近の樹林帯: 角度によるせき上げ、浮遊物トラップ影響



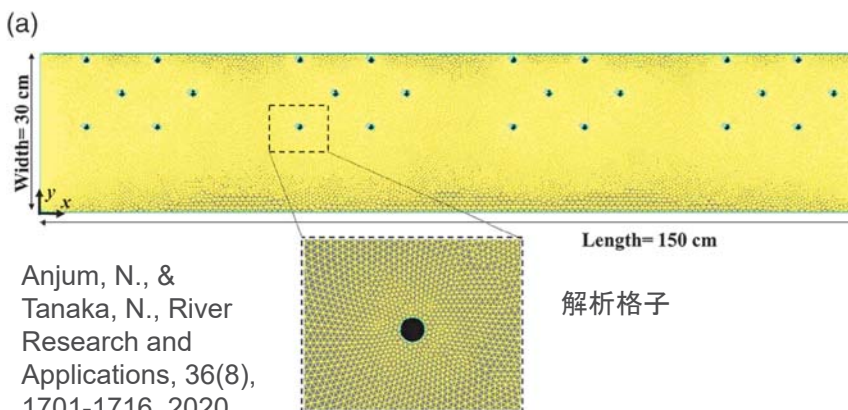
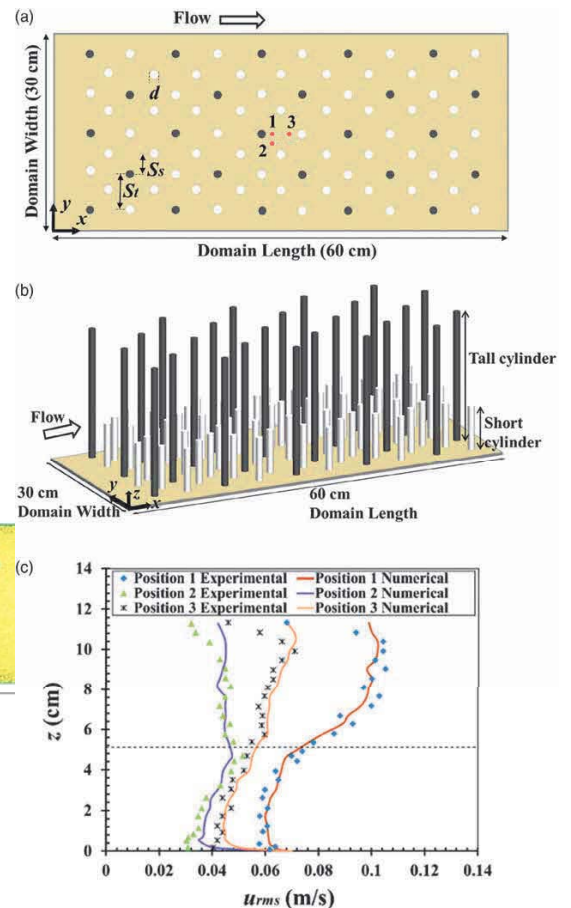
樹林帯がそのフリンジに浮遊物をトラップした場合には、近い方の側壁だけではなく、むしろ対岸側の側壁にも強い水面変化を発生させる。
 強いせん断力を周期的に作用させる



Wickramasinghe, R., Tanaka, N.,
 Landscape and Ecological Engineering,
 1-19, 2022.

3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘
 (14) 樹木の鉛直構造やパッチ状円柱群を考慮した研究: Anjum & Tanaka

Anjum & Tanaka はFLUENTという三次元流体解析ソフトを用いて、30cm × 50cmの計算領域に対して、計算誤差が大きく変化しなくなる範囲での粗さを考慮し、135万グリッドの可変サイズグリッド(円柱周辺は円柱直径より1オーダー小さいグリッド)を適用した数値計算で樹木の抗力を考慮しない形で、Liuらの水理実験結果の検証を行ったのち、樹冠高が流れに与える影響を解析している。



Anjum, N., & Tanaka, N., River Research and Applications, 36(8), 1701-1716, 2020.
 を修正

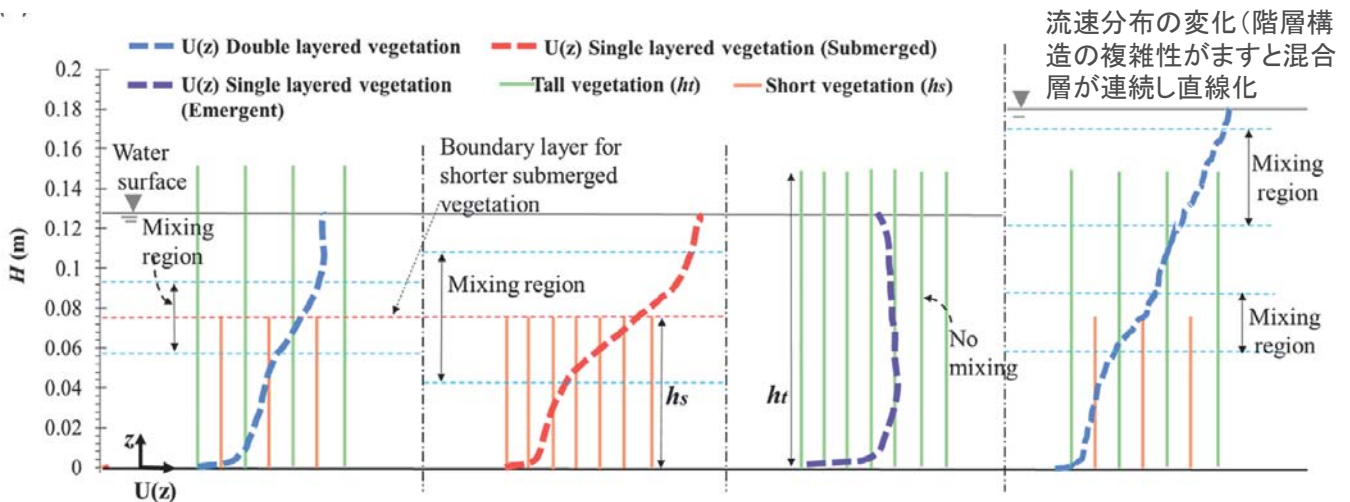
解析格子

3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘

(15) 樹木の鉛直構造やパッチ状円柱群を考慮した研究: Anjum& Tanaka 続き

Anjum & Tanaka (続き)

鉛直二層円柱群(DLV), 沈水円柱群(SV), 抽水円柱群(EV)で円柱群密度が同じで河川の半断面において一様に分布した場合の流れの構造の比較を行い, 断面内の流速分布, 植生間や植生と無植生間の二次流構造に大きな違いが出ることを示している. 特に, DLVが水没している場合には混合層が2つできることにより, 底面から水面までの流速分布が直線化しやすいこと, 断面の半分程度にDLVやSVが存在した場合には高速流が植生の上側に移動することなどを示しており, 三次元性により生じる複雑な二次流構造との関連を示している.



Anjum, N., & Tanaka, N., River Research and Applications, 36(8), 1701-1716, 2020. を修正

3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘

(16) 樹木の鉛直構造やパッチ状円柱群を考慮した研究: Kimら

Kimらも抵抗を考慮しない高解像度の数値計算から円柱群周りの河床変動計算を行っており, それぞれの円柱周りの洗掘がどのように変化するか, パッチ状になった場合に円柱間距離による一体化した洗掘形状の変化を明らかにしている

講演時には示したが、著作権の関係で図面は削除した

Kim, H. S. et al.,
Advances in Water
Resources, 84, 64-86,
2015.

1. (はじめに) 植生に関連した河川空間の特徴
2. 植生動態モデルの発展に向けた課題
3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘
4. 植生による土砂堆積
5. 河川地形形成における植生の働き
6. (まとめ) 植生管理や河川環境管理という観点での植生水理学の可能性と課題

4. 植生による土砂堆積

(1)生態系エンジニア(植物や生物学的遺産)のサイズに応じた剥離領域の分布が重要

植生動態モデルでの説明(再掲)

攪乱耐性のモデル化や栄養塩の供給に関係する細砂分の堆積が重要であるが、細砂分の草本空間の堆積は植物体によって形成された乱流運動の影響を受けながらの浮遊砂の堆積を伴うため、課題が残されている

Gurnellらの領域区分では、低次元のZoneでは攪乱強度が激しいため、細粒土砂成分を捕捉する生態系エンジニア(植物や生物学的遺産)のサイズに応じた剥離領域の分布が重要である。

水分や浮遊砂の堆積は洪水時の分級現象にも関係し、水際からの距離や比高が関係している場合が多いので、比高をモデル変数として成長モデルを記述する場合も多い。

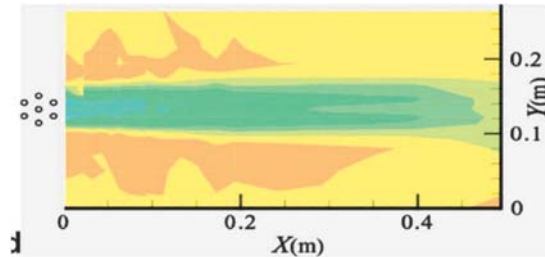
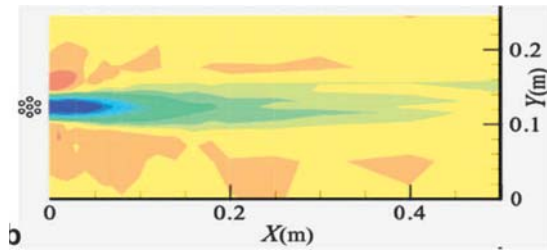
日本の河川では管理された空間の中で大規模な出水が比較的頻繁に発生していることから、種間競争よりは土砂堆積による栄養塩の供給や土壌水分を保持する堆積層の形成、洗掘による流失過程が重要になっている場合が多い。

4. 植生による土砂堆積 (2)シナダレスズメガヤとツルヨシの土砂堆積状況の違い

シナダレスズメガヤ
が作る出ず剥離域内
への大量の土砂堆積



ツルヨシ河岸
周辺の大量の
土砂堆積



Tanaka, N.,
Yagisawa, J., J of
Hydro-environment
Research, 4(1), 15-
25, 2010.

Tanaka & Yagisawaでは、抽水状態、沈水状態のパッチ状円柱群の円柱密度（前述したG/d）と円柱群直径を変化させて流れ場の変化を調べ、円柱群密度が小さい場合はパッチ状植生の背後に低流速域、円柱群密度が大きい場合は円柱群内部に相対的に低流速域が形成されることから、シナダレスズメガヤや低木ヤナギ群の場合には群落後方に堆積域が形成され、ツルヨシの場合には群落内部に土砂堆積が生じる場合があることを関連付けている

4. 植生による土砂堆積 (3)Nepfグループの研究 その1

講演時には示したが、著作権の関係で図面は削除した

Chen, Z. et al.,
Water
Resources
Research, 48,
W09517, 2012.

講演時には示したが、著作権の関係で図面は削除した

抽水状態の単一パッチ状円柱群のサイズや密度が作り出す後流の流速分布や剥離域の長さ（Chenら³⁸）と土砂堆積域の関係（抽水植生）

Liuら（Liu, C. et al., J of Hydraulic Engineering, 144(2), 04017065, 2018.）は沈水植生

Chen, Z. et al., Water Resources Research, 48, W09517, 2012.

4. 植生による土砂堆積 (3)Nepfグループの研究 その2

講演時には示したが、著作権の関係で図面は削除した

Ortiz, A. C et al., Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 118(4), 2585-2599, 2013.

De Lima et al., Environmental Fluid Mechanics, 15(4), 881-898, 2015.

講演時には示したが、著作権の関係で図面は削除した

Meire D. et al., Water Resour Res 50(5):3809–3825, 2014.)

二群落の距離や位置関係による相互干渉の度合いを変えて剥離域の長さを変化することや、別の場所に堆積域を作ること水理実験(Meireら)、数値解析(Limaら)で示している
Limaらでは平面配置されたパッチ状群落形成した実際の堆積域と類似していることを示しており、Yamasakiら(Yamasaki, T. N., et al., J of Hydrology, 598, 126232, 2021)では、群落同士が合体して大きな群落を形成する可能性を調べ横断方向よりも流下方向の拡大の可能性がはるかに大きいことを示している。

4. 植生による土砂堆積 (3)Nepfグループの研究 その3

講演時には示したが、著作権の関係で図面は削除した

Hu, Z. et al., Advances in Water Resources, 118, 28-38, 2018.

また、Huら⁴⁵⁾では葉のような柔軟な植生が円柱群の上にある場合の影響を調べており、植生が横断方向全断面にわたって存在する場合は、柔軟な植生の存在によって剥離域が伸びるが、有限サイズのパッチ状植生の場合は剥離域下流部で横断方向の運動量交換によるカルマン渦のような振動が生じ堆積土砂を巻き上げること、円柱群上部の柔軟植生自体は剥離域サイズを変えないこと、から土砂堆積域には差が生じないことを示しており、パッチ状植生の固い茎部の直径が重要であることを示している

4. 植生による土砂堆積 (4)パッチ状植生の平面配置

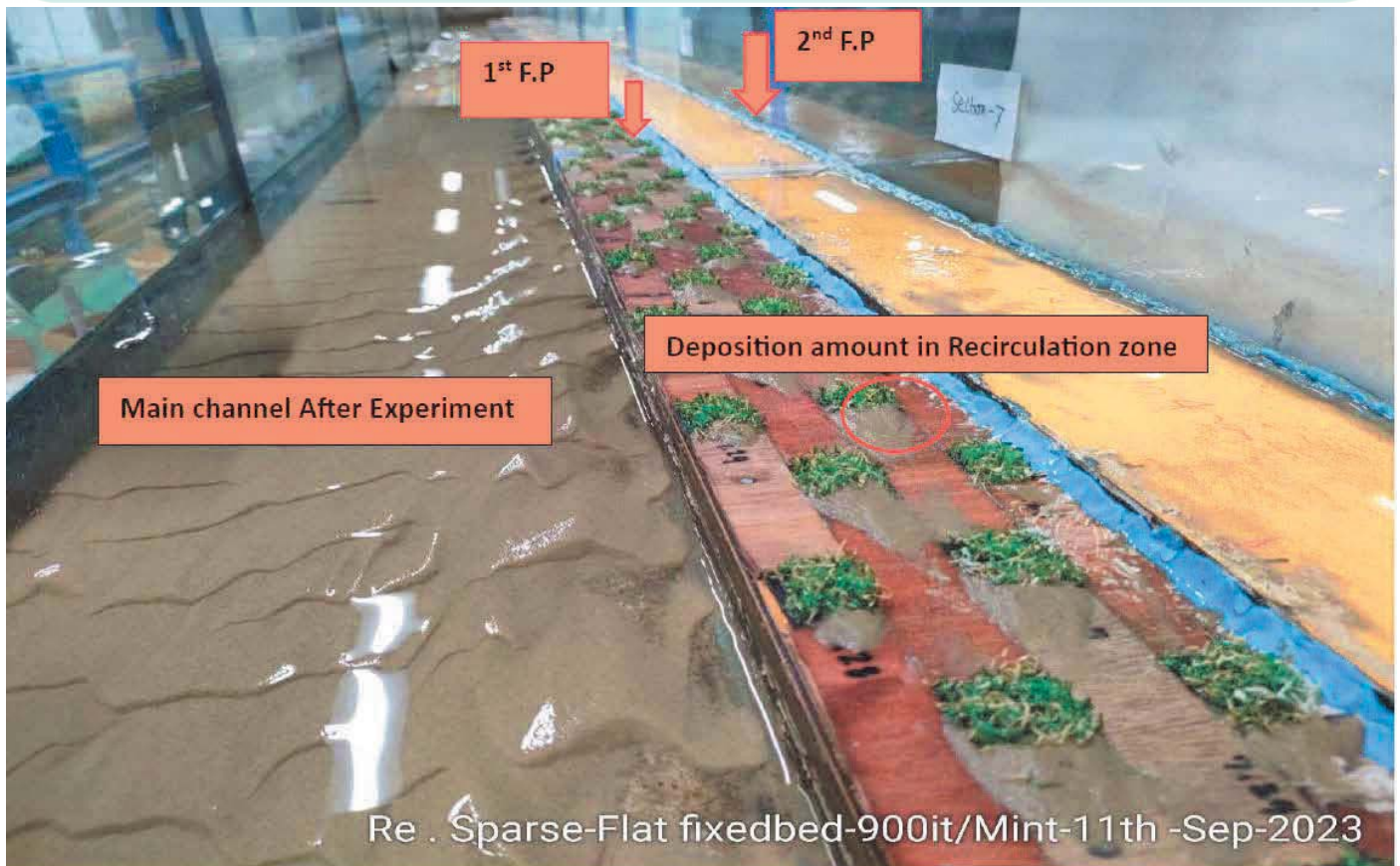
講演時には示したが、著作権の関係で図面は削除した

Savio, M. et al., J. of Hydraulic Research, 61(2), 220-232, 2023.

Savioら⁴⁶⁾は人工草本パッチを格子状、千鳥状に配置しそのパッチ間隔を変えた際の抵抗特性を草本パッチ背後の渦構造の変化から論じており、空間平均した径深、没水度、流れをブロックする割合が重要であるとしている。

植生パッチの研究群はパッチ同士が適度な間隔を保つ理由の解明や、生態系エンジニアが入り込んでから高水敷の形成に至るまでの草本の役割解明にも関係している基礎研究であり、注目される。

4. 植生による土砂堆積 (5)パッチ状植生の平面配置 低水路から中水敷へ輸送され、草本空間の剥離域内に堆積する



Painda FAZALHAQ, 埼玉大学修士論文(2024)より引用

4. パッチ状植生による土砂堆積 (6)パッチ状植生の河岸配置

講演時には示したが、未公開の関係で図面は削除した

Case S33



Case S50



Case S67



Case S75



Case S100



本日の話題

1. (はじめに) 植生に関連した河川空間の特徴
2. 植生動態モデルの発展に向けた課題
3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘
4. 植生による土砂堆積
5. 河川地形形成における植生の働き
6. (まとめ) 植生管理や河川環境管理という観点での植生水理学の可能性と課題

5. 河川地形形成における植生の働き

(1) 植生が中規模河床形態に与える影響 i) 流路の安定化とその反対の作用

網状流路では、植生の進出に伴いアクティブな流路が土砂堆積により減少し、残された流路の河岸の強度が植生進出で増加することにより、みお筋の洗掘深が深く狭くなり、移動性が減少して水路の安定性が増加する(Gran & Paola 2001). これらの安定作用は植生の密度増加により、さらに増加する. そのため砂州の形態が、網状流路から複列砂州へ、複列砂州から単列砂州へとアクティブな流路が少ない方へと変化していく.

一方で、偏在する植生は洪水時の流れの構造に影響を与え、植生による流れの変動を強くし、強度が高くなった河岸に流れがぶつかる場所(砂州の頂部など)では強い洗掘を発生させ、二次流を発達させる.

水路を安定化させる作用がある一方で、水流がぶつかる水衝部等、場所によってはみお筋をより横断方向へ変動させる作用を発揮する. 植生が河岸侵食の防止効果を発揮するのは流下方向の流れに対するものであり、横断方向に延びた砂州前面部の植生は、水流の直進性が弱まった減水期にみお筋を暴れさせる可能性を持つことに注意する必要がある.

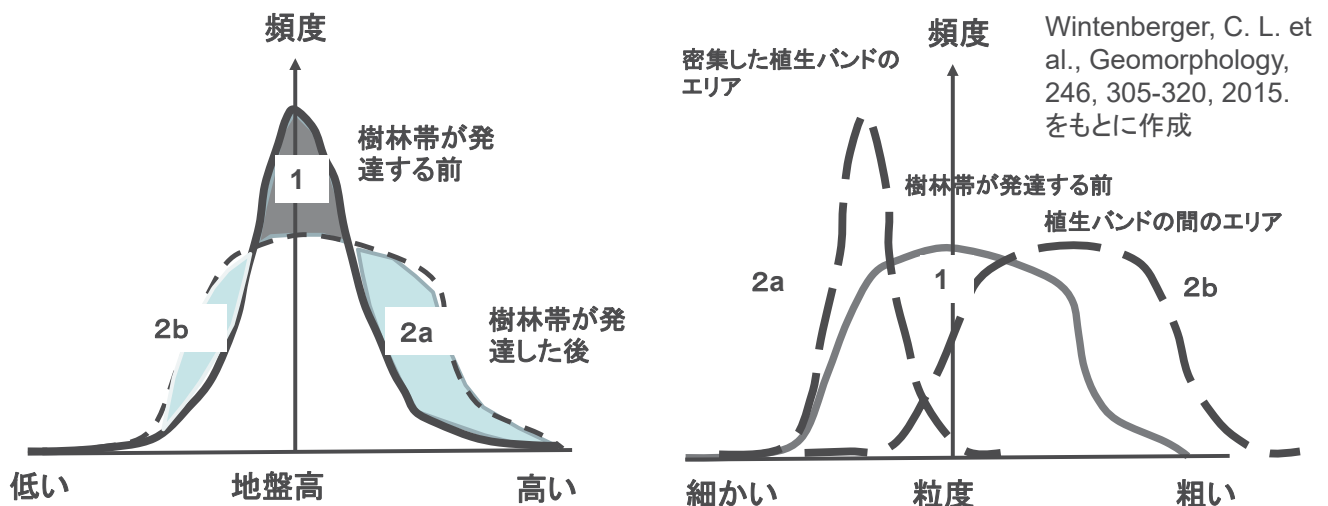
予期せぬ変動を予見する鍵は副流路にあるか

講演時には示したが、著作権の関係で図面は削除した

Gran, K., & Paola, C., Water Resources Research, 37(12), 3275-3283, 2001.

5. 河川地形形成における植生の働き

(2) 植生の進出による固定砂州からの島状地形の形成(粒度分布の二極化)



Wintenberger, C. L. et al., Geomorphology, 246, 305-320, 2015. をもとに作成

図 (a)地盤高の変化, 2a: 植生による堆積(主として浮遊砂)を受けるエリア, 2b: 植生抵抗による迂回流などで洗掘を受けるエリア, (b)粒度分布の変化 粗くなる植生バンド周辺(2a)と植生バンド間(2b)

固定砂州では、植生の進出に伴い、砂州が水没する規模の洪水時には掃流砂成分よりも浮遊砂成分の影響を受ける. 砂州の中で相対的に比高が高い箇所に繁茂した植生とその周辺の局所流、堆積物の影響で、砂州上の堆積土砂の二極化が生じる. 植生の影響を受けた箇所の比高が浮遊砂の堆積で高くなっていき、砂州上の比較的比高の低い箇所は強いせん断力を受けて粒径も粗い状態が維持され、裸地の状態が継続する. そのため洪水時の副流路が発達し、砂州は複数の島へと分断されていく.

5. 河川地形形成における植生の働き (3)生物学的遺産が作り出す河川地形 Bertoldiら⁶⁴⁾

Bertoldiらは流木を混ぜた実験で作られる河床地形(中規模河床形態に付加される局所地形と流路の形成)に注目しており、生態学・地質学のほうで研究が盛んになった生物学的遺産との関連を水工学的視点も含めて研究している。

講演時には示したが、著作権の関係で図面は削除した

Bertoldi, W. et al.,
Geomorphology,
246, 178-187,
2015.

5. 河川地形形成における植生の働き (4)今後の研究の方向性

植生のもつ三次元性は植生の形状特性を断面平均化、水深平均化する形で組み込まれてきたが、局所的な河床変動に関係する植生そのものの三次元性をそのまま取り込む研究は不足している。しかし、

- a)三次元性そのものを取り込むデータ取得技術が進歩しつつあること
- b)生態系エンジニアや生物学的遺産などの役割は河床の局所洗掘や土砂堆積に関係し、それは乱流の本質的な特性である三次元性に大きく関係していること
- c)三次元の数値解析で植生周りの流れを詳細に解く研究もあるが、無数にある植生条件からすると、導出すべき知見は多いこと
- d)気候変動で植生動態も変化する可能性もあること
- e) 気候変動で山地渓流域の流木生産量も変化するが、その取扱いが下流河川・氾濫原の動態にも影響すること、また河川内に堆積した流木の取扱いを考慮する必要もあること
- f)気候変動適応で河床や高水敷の切り下げが行われており、b)に関係するアクティブゾーンが多くの河川で変化する可能性があること
- g)流下能力を向上させる必要があるものの、ネイチャーポジティブ等の世界的な動きの中で、河川における生物多様性の向上を図る必要もあること

等から、今後も「河川地形形成に関する植生水理学」を発展させていく必要がある

5. 河川地形形成における植生の働き (5)今後の研究の方向性(河川管理との関連)

現在までに行われている研究

流れ—植生—流砂—地形変化の相互作用系:主にリーチ～川幅スケール

- ・植生による侵食抵抗増大効果と流速低減効果
- ・植生流失と河床変動
- ・植生による土砂堆積促進効果
- ・植生生育と立地条件変化
- ・川幅縮小現象における植生のかかわり
- ・樹林化現象:土砂流送の変化

時空間的に精細なデータ(LP,点群)

- ・地盤高さだけでなく、植生(樹木、草本)が詳細に把握可能
- ・樹木の成長速度や植生の遷移速度なども把握可能
- ・UAVの空撮+画像処理により、草本の動態も把握可能

今後(よりマクロかつミクロへ)

マクロ:支川群と本川の関係など、流域をシステムとしてとらえる研究(支川群における貯留、合流ピークの変化)

ミクロ:生息場研究は、植生の状態をより正確に反映したものへ

- ・植生周辺の三次元流れ、二次流を考慮した研究

- ・樹林化:どの程度の状態が適切か(あるいは防御ライン)を考える研究。その結果として、草原への誘導や、逆に高木化させ影響を減らす対策
- ・樹木管理や盤下げもその中で議論されるべき
- ・樹木周辺の局所洗掘:特に側岸侵食による流木の生成、下流砂州への土砂の供給
- ・砂州頂部で横断方向にみお筋があらわれる現象

本日の話題

1. (はじめに)植生に関連した河川空間の特徴

2. 植生動態モデルの発展に向けた課題

3. 植生周辺の三次元流れやそれに係る洗掘

4. 植生による土砂堆積

5. 河川地形形成における植生の働き

6. (まとめ)植生管理や河川環境管理という観点での植生水理学の可能性と課題

6. 植生管理や河川環境管理という観点での植生水理学の可能性と課題 その1

三次元データの取得と蓄積が可能→植生の三次元性を考慮した技術の開発

- ・植物(草本, 木本)の異なる成長段階, 植生密度, 混在具合に応じた乱流構造や二次流の形成に関する研究が必要
- ・樹木の場合は水面の位置と樹冠高の位置関係を考慮し, 樹木周辺の局所流やそれがみお筋に与える影響を明らかにする必要
- ・河床や高水敷の切り下げを行う場合に, 生態系にも適した空間を設計していくための技術開発(特に冠水頻度の高い空間において植生が受ける出水影響)

流下能力の変化や水衝部の移動→植生が作り出す微地形(浮遊砂の堆積、副流路形成)とそれが長期的に変化していくプロセスの理解

切り下げられた高水敷などに出水が乗り上げられやすくなった場合に, その流れは切り下げ河床への土砂再堆積, 砂州内副流路の形成, 砂州が島状地形へ分離していくことなど, 植生の影響が報告されている現象を引き起こす可能性がある。

気候変動影響下での植生遷移→攪乱頻度の増加に対し, 流失されない場合でも攪乱がどのように植生遷移に影響を与えるかについての知見

植生の成長について現在, 比高などでモデル化されている場合があるが, 気候変動による水文学的な変化(年間降水量の変化, よりパルスの洪水に依存する植生増加の可能性, 河原の熱・土壌水分・地下水環境の変化)など, 植生モデルとしても中長期的な影響を組み込んでいく必要がある。

6. 植生管理や河川環境管理という観点での植生水理学の可能性と課題 その2

出水時の河岸侵食→植生タイプに応じた侵食メカニズムの解明

樹木や草本の破壊, 流失はモデル化されているが, 様々な植生タイプに対する河岸侵食のモデル化には, 粘着性土壌の侵食, 根毛層の量に応じた侵食速度式, ヒサシ状河岸侵食のモデル化, など基礎的な知見をさらに充実させていく必要がある。

実際の河川植生に対応した水位・せん断力を算出する技術→一様円柱群からパッチ状植生, 堆積流木・倒木等の実際の植生とレガシー分布へ

草本による土砂堆積や流木・倒木などの生物学的遺産が地形を改変していくプロセスは極めて三次元的である。特にパッチ状でかつ透過性のある物体周辺の流れは, 従来の植生水理学ではあまり取り扱ってこなかった分野でもあり, 実験水理学だけではなく数値解析でも効率のよい計算手法の確立が必要である。

長期的な植生動態を解析する技術→生物・化学的な要素も含む植生遷移と河床変動モデルの連携

植生による土砂堆積や植生の地上部だけではなく地下部も含めた抵抗や, 洪水時の生物学的遺産が引き起こす河川地形変化も含めた研究展開が必要である。これらは, 流域として流木をどのように取り扱うか(放置の判断)に, 生態面だけではなく治水面にも影響を与える要素であると考えられる。

予期せぬ水位上昇や水衝部の形成による決壊を防ぐ:
そのための技術の確立

おわりに

ご清聴 有難うございました。