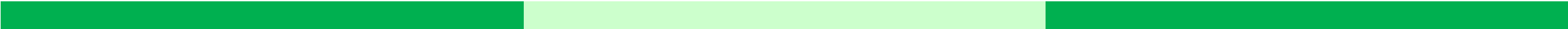


樹木ライフサイクルに基づく 札内川の樹林化と流路変動の統合解析



株式会社ドーコン

北海学園大学 工学部

富山県立大学 工学部

日本工営株式会社

○ 佐々木 慎司

門脇 壮健

住友 慶三

清水 康行

久加 朋子

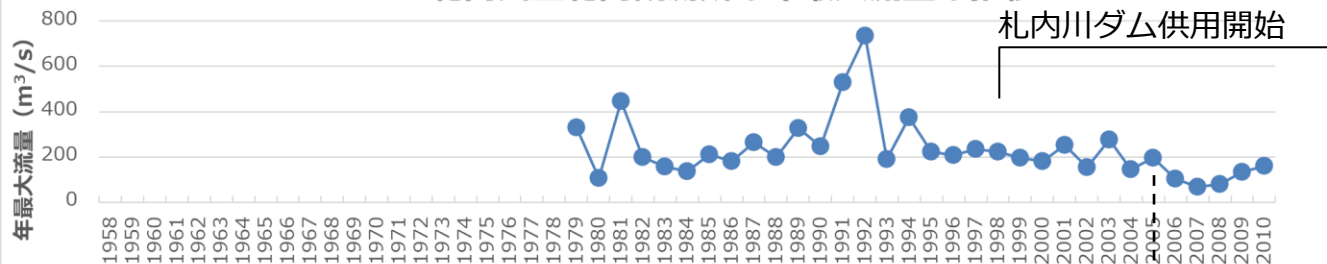
渡邊 健人

目次

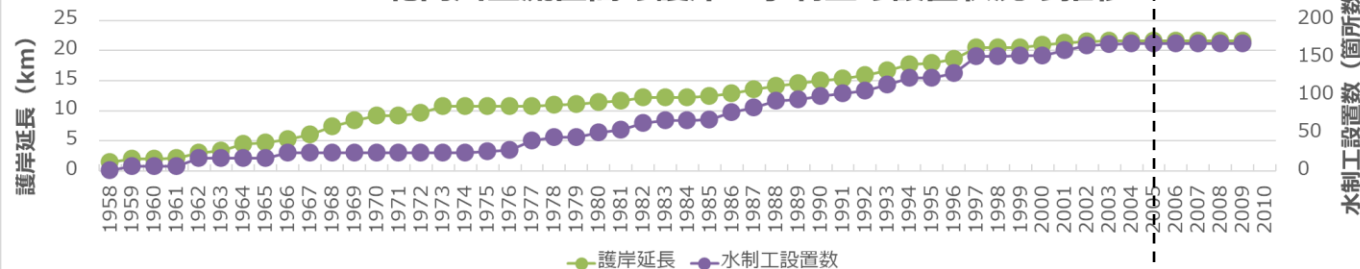
1. 研究の背景と目的
2. 数値解析モデルの構築
3. 樹林化と流路変動の統合解析
4. まとめ・今後の展望

十勝川水系札内川の変遷

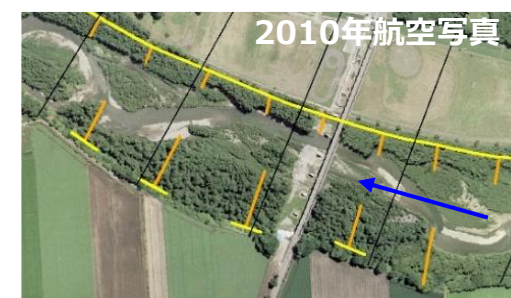
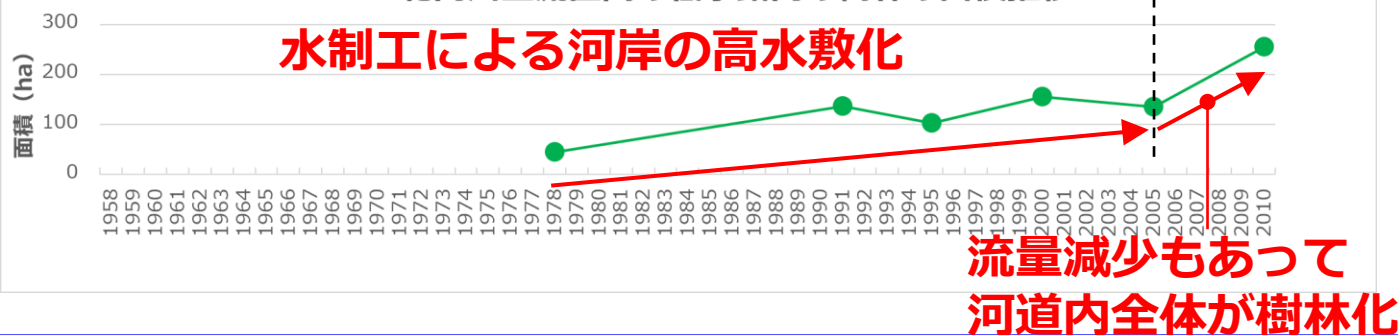
札内川上札内観測所の年最大流量の推移



札内川上流区間の護岸・水制工の設置状況の推移



札内川上流区間の低水路内の樹林の面積推移



北海道の河川の特徴

4月
～
5月

- 融雪出水が発生。
- 河岸洗堀や土砂堆積により河道内に裸地が形成。

5月下旬
～
6月下旬

ヤナギ類の種子が散布され、融雪出水後に形成された裸地に定着。

夏季の出水規模が小さい年が続くと
樹林化が進行しやすい

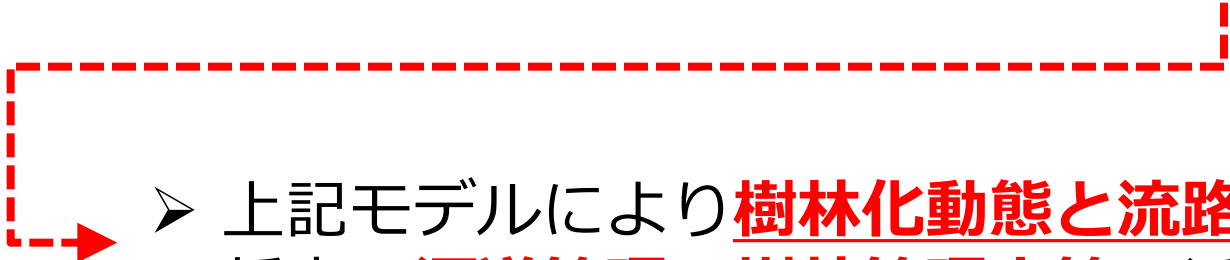
既往研究の課題

- ① 実河道を対象とした長期的・統合的な樹林化動態と流路変動解析が極めて限られている。
- ② 著者らの従来モデルは樹木消長を考慮するが、樹林化を過大評価する傾向があった。

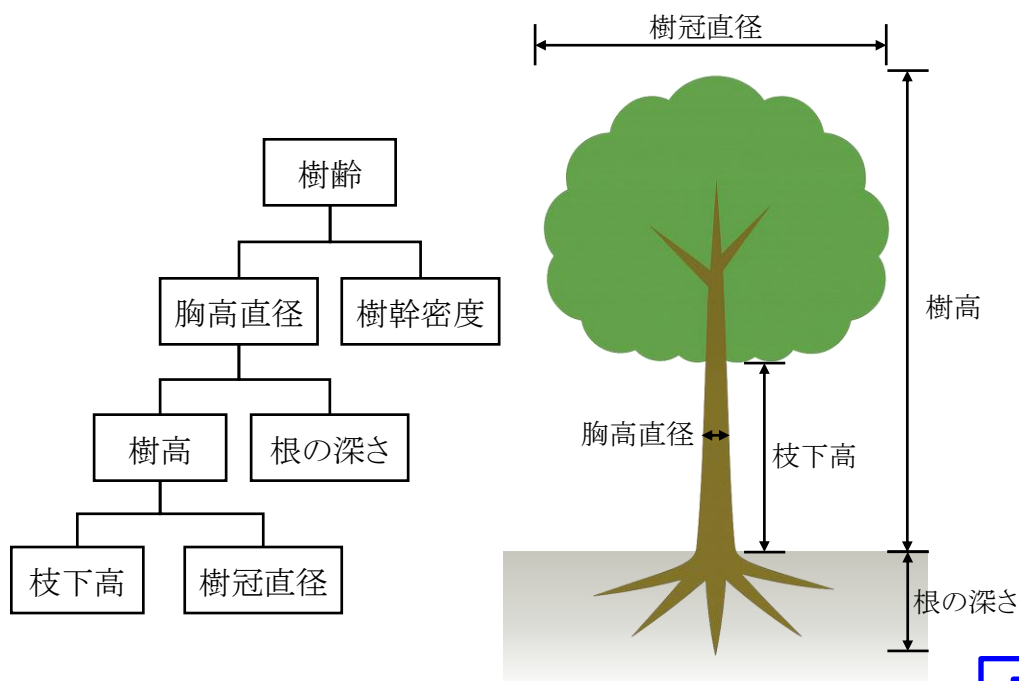


本研究の目的

- ① 札内川の実河道を対象とした、樹林化動態と流路変動の統合解析モデルの構築。
- ② 札内川のヤナギ類のライフサイクルを樹木消長モデルに組み込むことによるモデルの精度向上。

- 
- 上記モデルにより樹林化動態と流路変動の関係を把握。
 - 将来の河道管理・樹林管理方策に活用。

樹木成長モデル



樹木成長体系図

- 永田ら¹⁾・傳甫ら²⁾の樹木調査結果を基に樹木成長を体系化し、**樹木成長モデルを構築**。

1)永多朋紀・渡邊康玄・清水康行・井上卓也・船木淳悟：礫床河川における河道変化と植生動態に関する研究

2)傳甫潤也，竹村健，佐々木博文，森文昭，尾関敏久，伊藤貴寛：樹林地内の土砂堆積を考慮した樹木群の破壊シミュレーション

樹木成長モデル（変数・係数一覧）

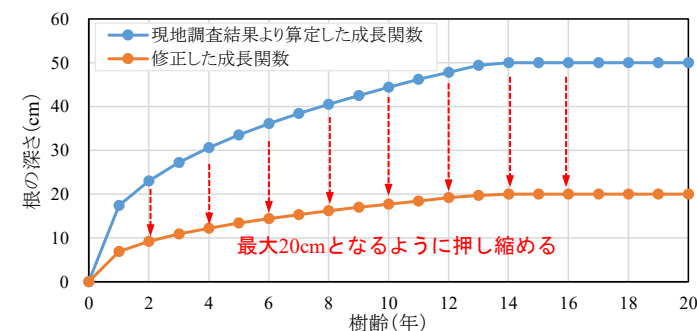
x	y	a	b	R ² ※
樹齢(年)	胸高直径(m)	0.11	1.77	0.97
胸高直径(m)	樹高(m)	1.27	0.79	0.93
胸高直径(m)	根の深さ(cm)	28.90	0.23	0.35
樹齢(年)	樹幹密度(N/m ²)	1.52	-0.63	0.44
樹高(m)	枝下高(m)	0.52	0.79	0.66
樹高(m)	樹冠直径(m)	0.29	1.44	0.82

※R²：樹木成長モデルの決定係数

$$y = ax^b \quad (1)$$

根の深さの成長関数の修正

- 永田らの根系調査より、**地中の根系体積の80%以上が深さ20cm以浅に集中**していることから、根の深さが最大20cmとなるように現地調査結果より算定した成長関数を押し縮めた。

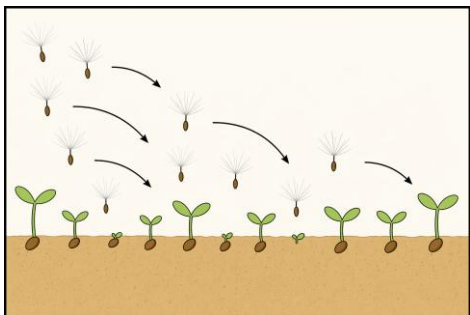


根の深さの成長関数

樹木侵入モデル

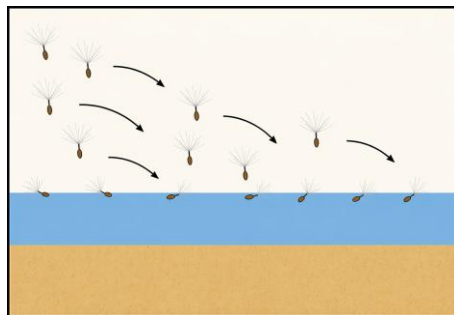
- 札内川の樹林化要因となっているオノエヤナギ等の種子散布時期³⁾である5月下旬～6月下旬を樹木の侵入期とした。
- 冠水箇所では発芽が困難であること⁴⁾を踏まえ、水深が1cm以下の裸地を種子の定着対象とした。

(a)水深1cm以下の場合



→裸地と判定
→5月下旬～6月下旬に種子
が定着

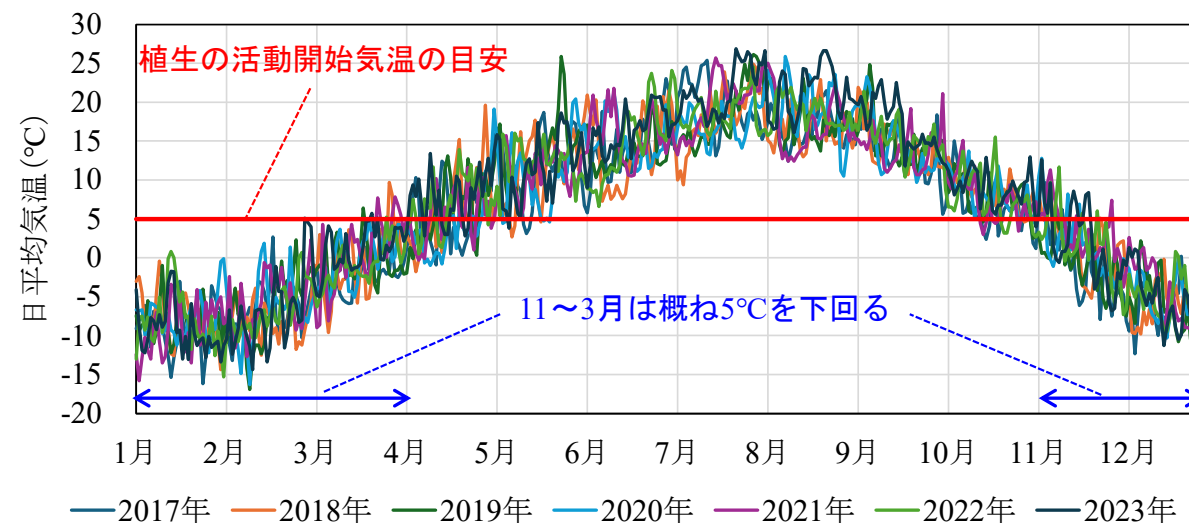
(b)水深1cm超の場合



→水没と判定
→5月下旬～6月下旬に種子
が定着しない

樹木休眠モデル

- 植生の活動開始気温の目安が5℃⁵⁾であることを踏まえ、上札内観測所の観測データに基づき、日平均気温が概ね5℃を下回る11～3月を樹木の休眠期とした。
- ヤナギ類は水没中の成長が抑制される⁶⁾ことから、樹木が水没した場合には成長を停止し、水没状態が解消された時点で成長を再開するものとした。



上札内観測所の日平均気温

5) 吉良竜夫：温量指数による垂直的な気候のわかちかたについて

6) Higa, M., Moriyama, T., and Ishikawa, S.: Effects of complete submergence on seedling growth and survival of five riparian tree species in the warm-temperate regions of Japan

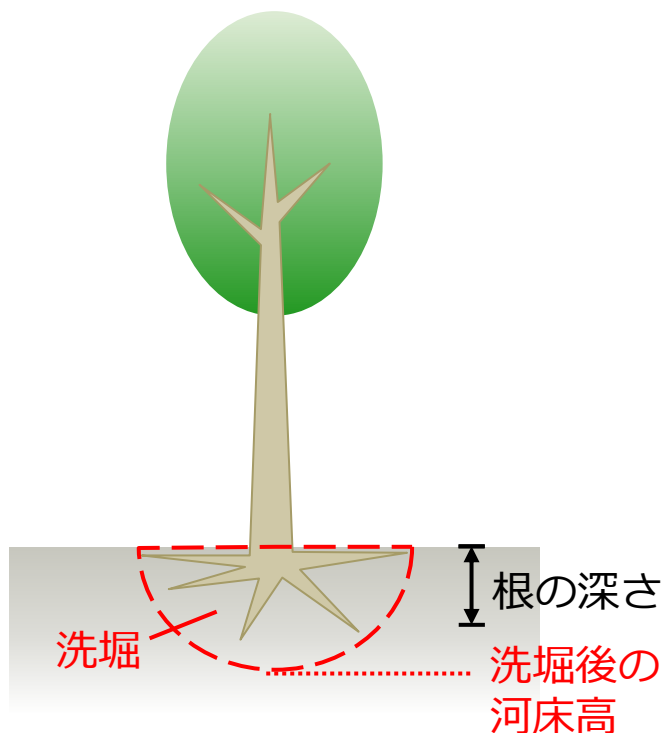
3) 長坂有：洪水からはじまる河畔林、ヤナギ類の生態から見た河畔の保全

4) 伊木千絵美, 矢部浩規, 中津川誠：河川の水利条件による河道内樹木の稚樹定着抑制

樹木流失モデル

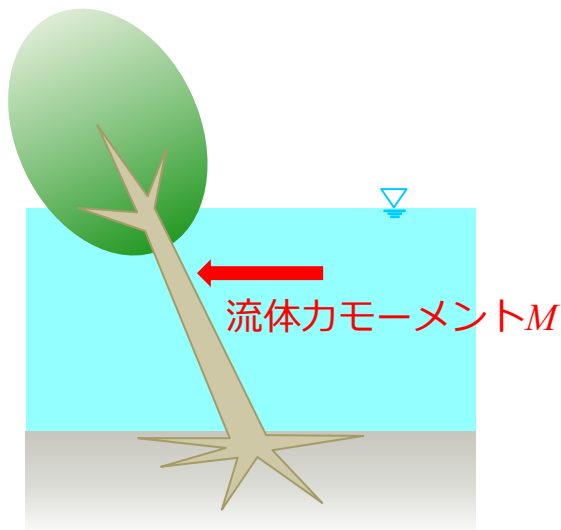
流失条件①

洗堀により河床高が根の深さを下回った場合



流失条件②

流体力により樹木にかかるモーメント M が、樹木が倒伏する限界モーメント M_c を上回った場合

限界モーメント M_c

土砂堆積なしの場合（堆積深<30cm）

$$M_c = 35.3D^2 \quad (2)$$

土砂堆積ありの場合（堆積深 ≥ 30 cm）

$$M_c = \begin{cases} 41.2D^{2.2} & D < 19 \\ 3.9D^3 & D \geq 19 \end{cases} \quad (3)$$

D : 胸高直径

ρ : 流体の密度

S : 流水中の樹木の投影面積

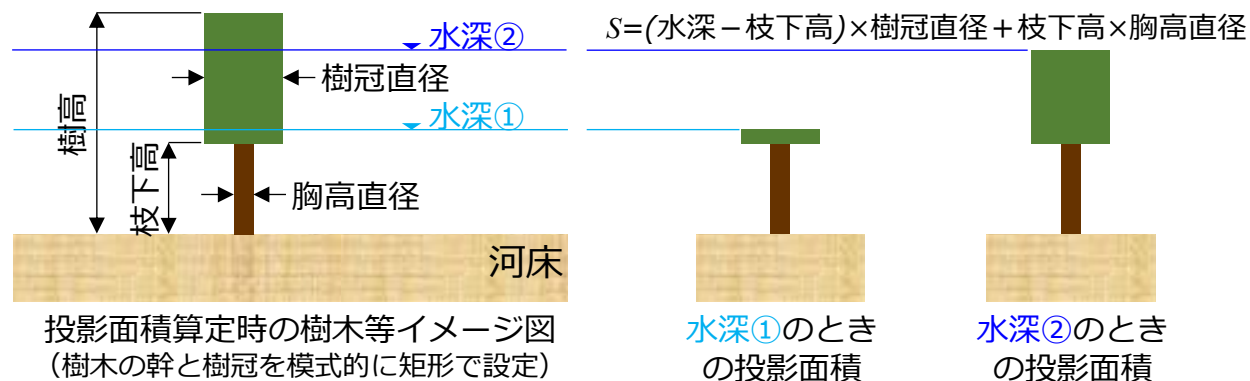
V : 平均流速

L : 流水の作用中心面からの高さ

C_v : 樹木の抵抗係数 (0.7)

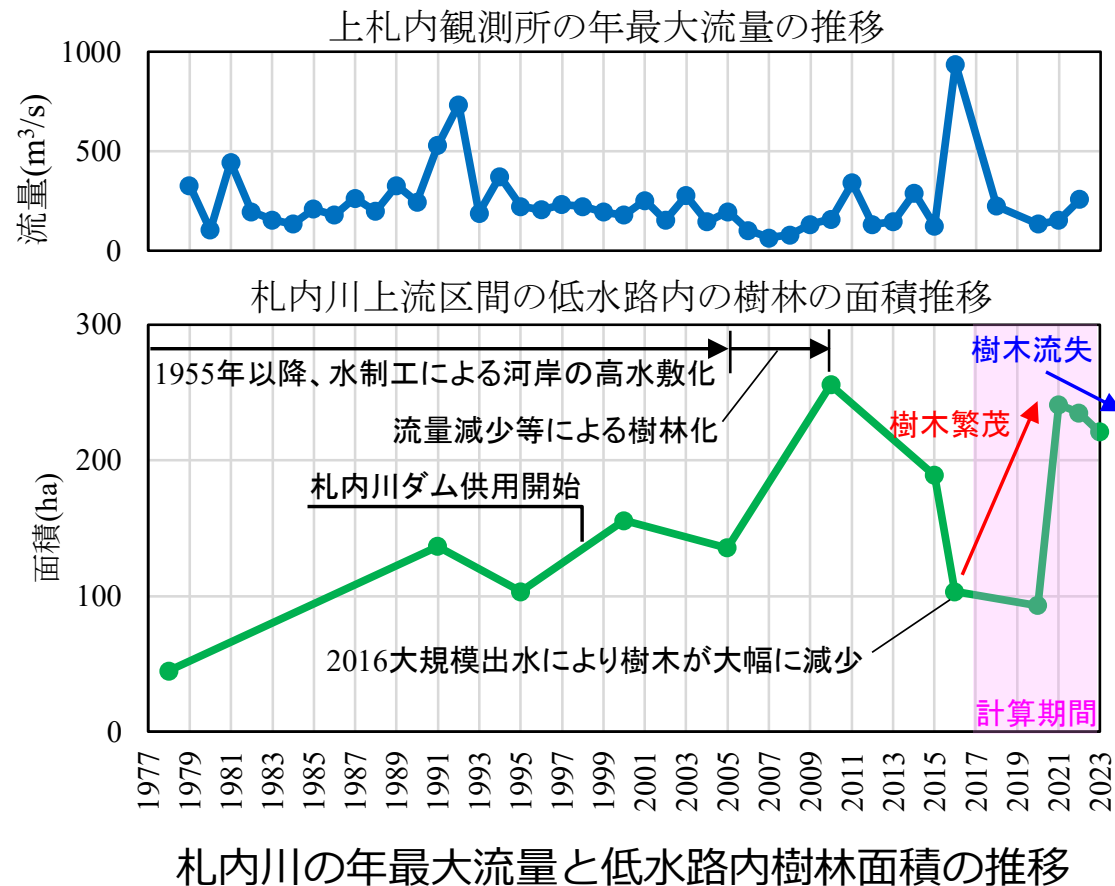
流体力モーメント M

$$M = \frac{1}{2} \rho C_v S V^2 L \quad (4)$$



解析ケースの設定

- 札内川では、2016年8月の大規模出水で低水路内の樹林の大部分が流失した後、2020年にかけて再樹林化し、その後2023年にかけて出水や札内川ダムフラッシュ放流により樹林面積が減少している。
- この樹林化動態と流路変動の対応関係を把握するため、樹木消長の条件を変えた**CaseA～CaseC**の3ケースで数値解析を実施した。



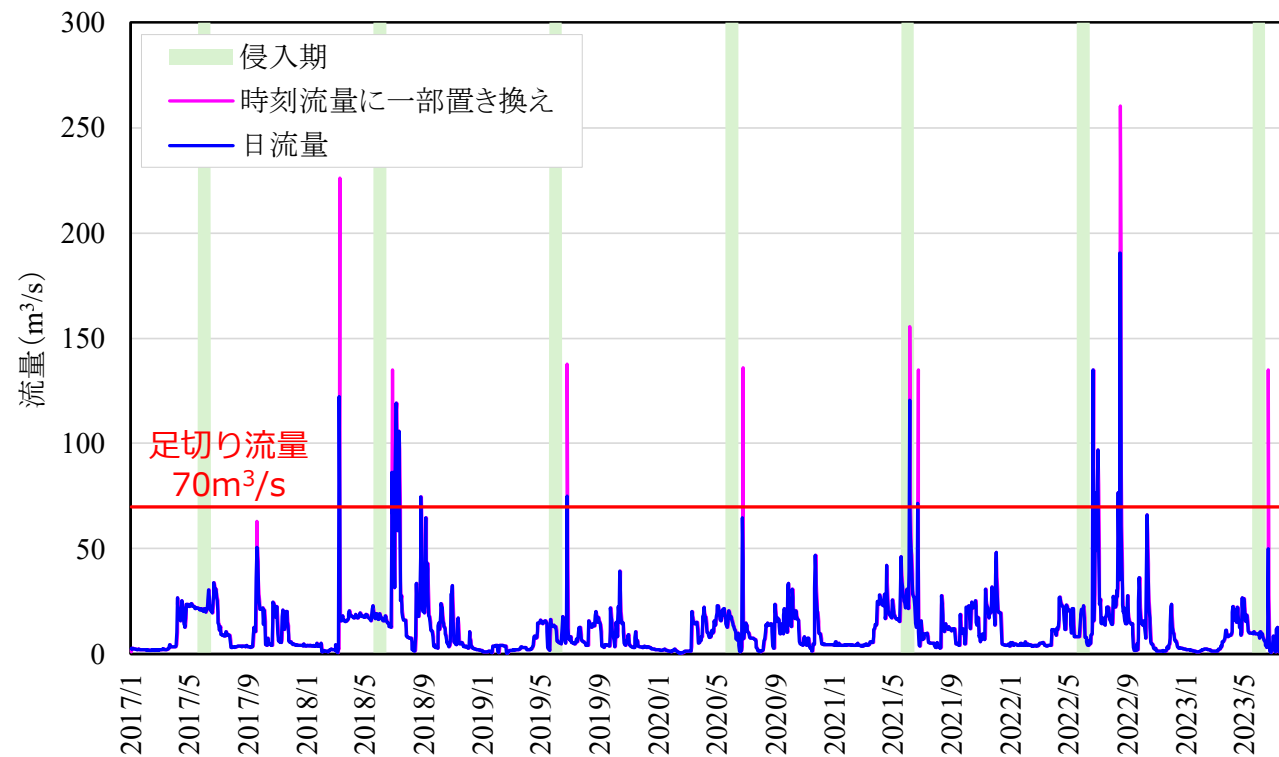
各ケースにおける樹木消長の条件

	樹木消長	侵入期	休眠期
CaseA	未考慮 (※)	—	—
CaseB	考慮	通年	なし
CaseC	考慮	5月下旬～6月下旬	11～3月

※初期樹木のみ付与し、樹木の流失は考慮しない

計算条件

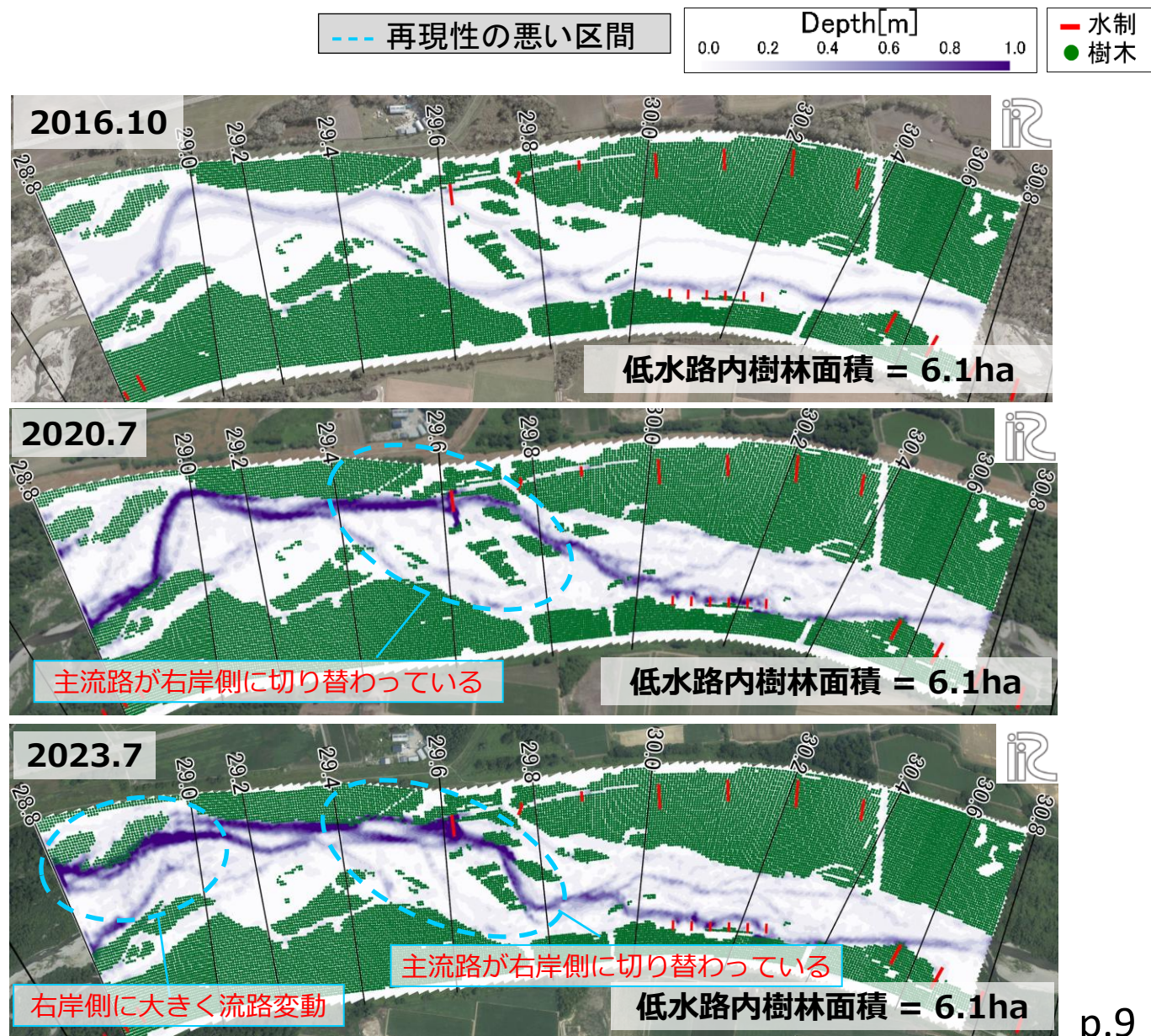
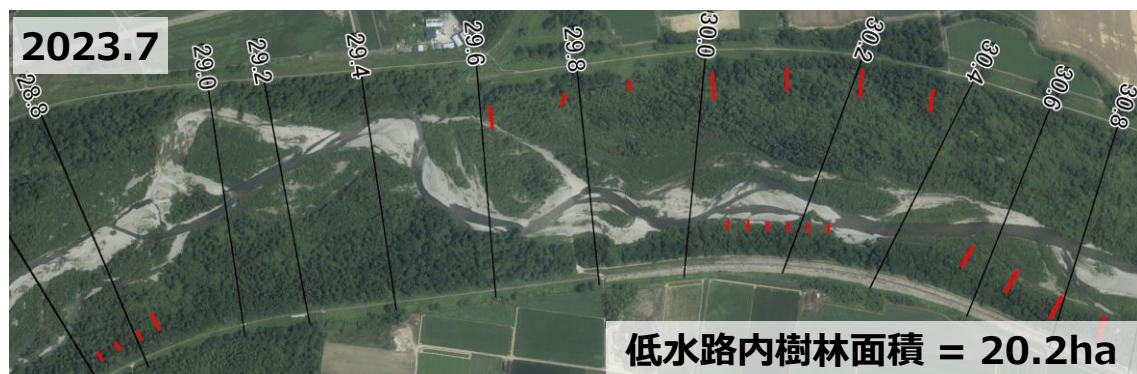
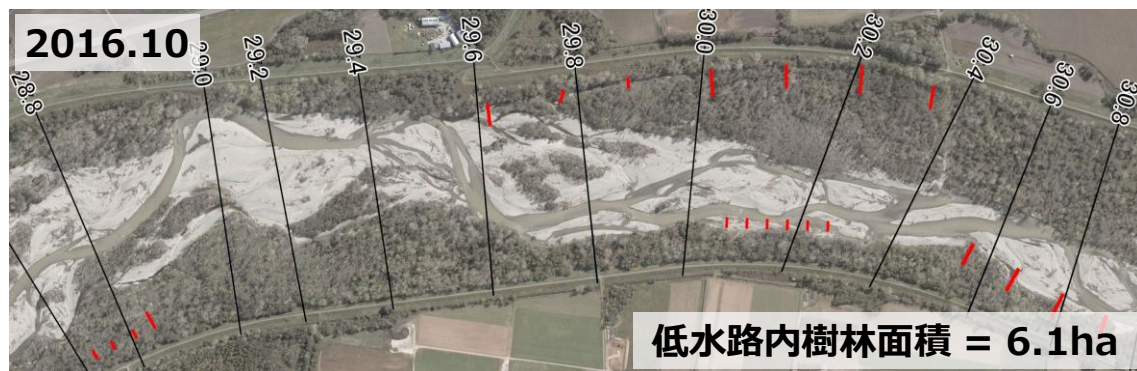
項目	設定条件
解析モデル	iRIC Nays2d+に樹木消長を組み込んだモデル
地形	2016年10月LPデータ
樹木	2016年8月出水後の航空写真を基に樹林範囲を判読して設定
計算区間	札内川KP28.8～30.8
計算格子	5m×5m
河床材料粒径	50mm均一粒径：現地調査結果（ d_{60} ）より設定
粗度係数	0.029（Manning-Stricklerの式により算定）
流砂量式	Meyer-Peter-Muller式
流量	上札内観測所（KP41.8）の日流量ハイドロ （2017～2023年）を基に設定（右グラフ参照）



与えるハイドログラフ

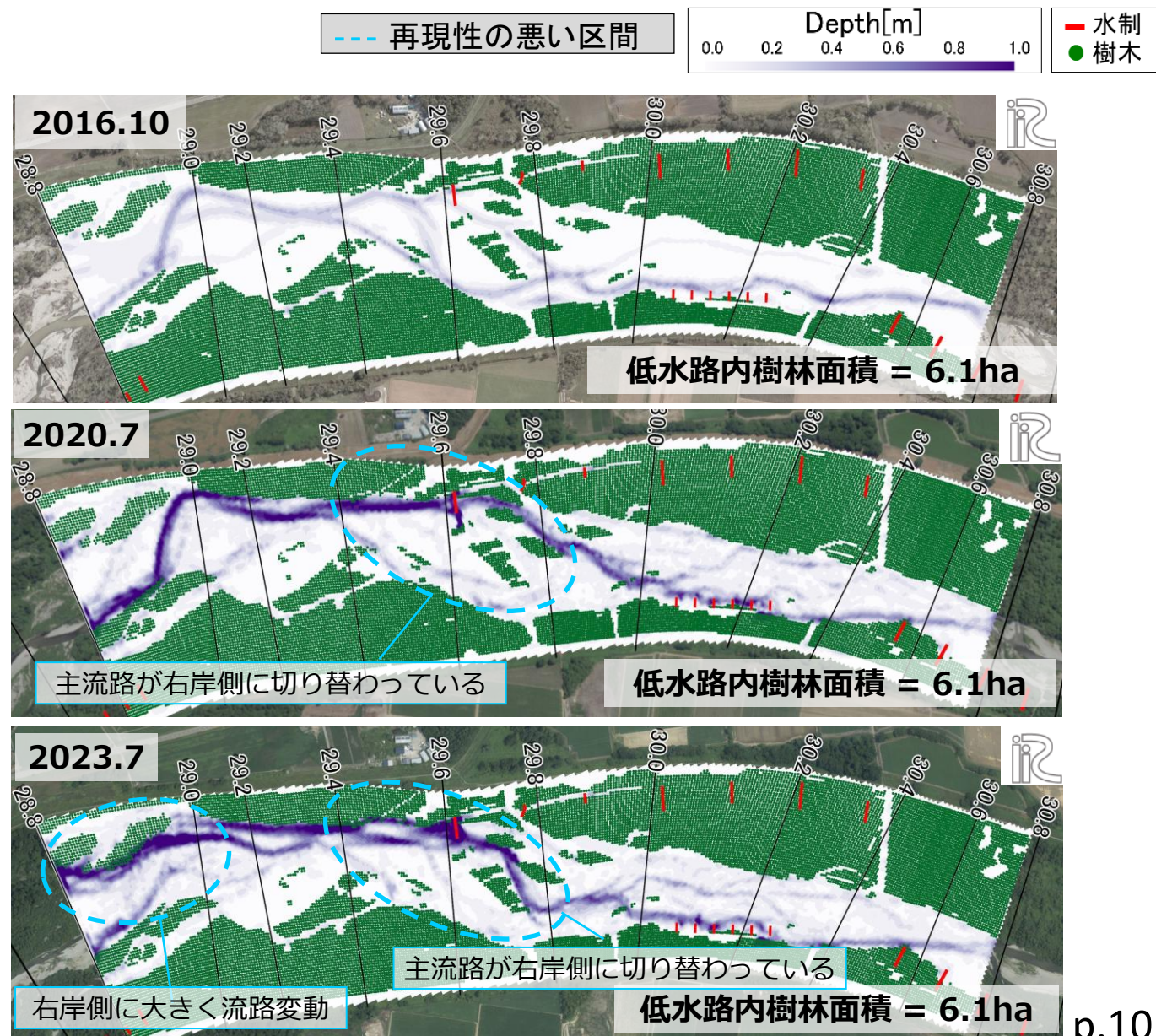
- 計算負荷軽減のため足切り流量を設定し、その流量以下では河床変動しないものとした。
- 足切り流量は、計算対象区間の平均的な横断面を設定のうえ等流計算を行い、無次元掃流力 $\tau^*=0.05$ に相当する $Q=70 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。

計算結果 (CaseA : 樹木消長なし)



考察 (CaseA : 樹木消長なし)

- CaseAでは、実態と大きく異なる流路変動が生じた。
- これは、樹木の成長を考慮しないことにより、樹木による流路固定化や流下阻害等の影響が実態よりも小さく評価されたことが要因と考えられる。

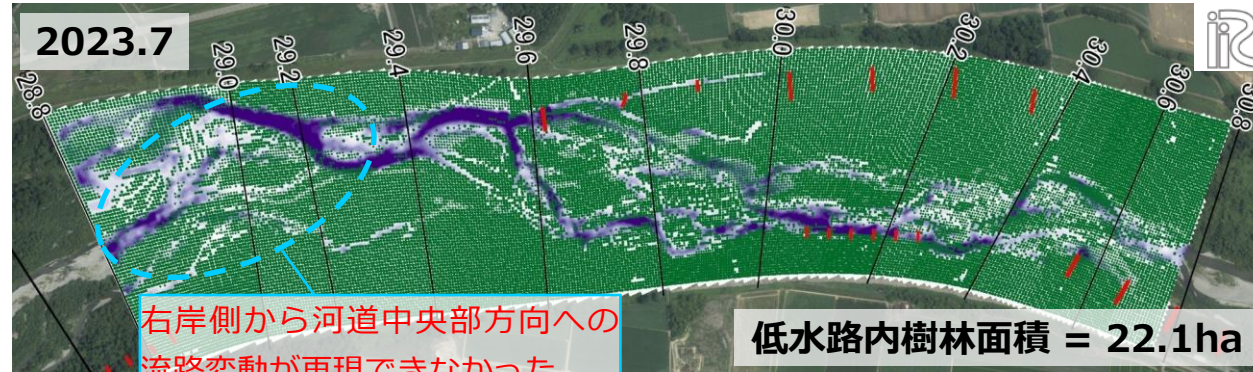
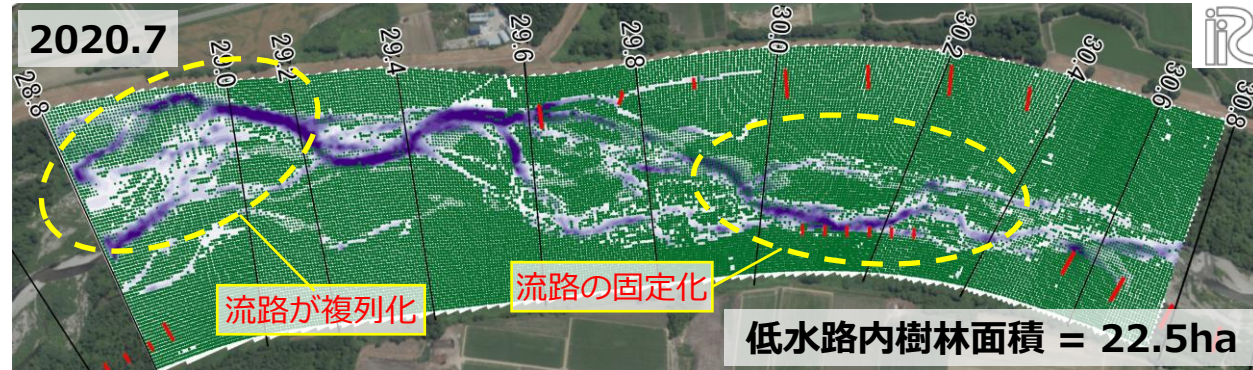
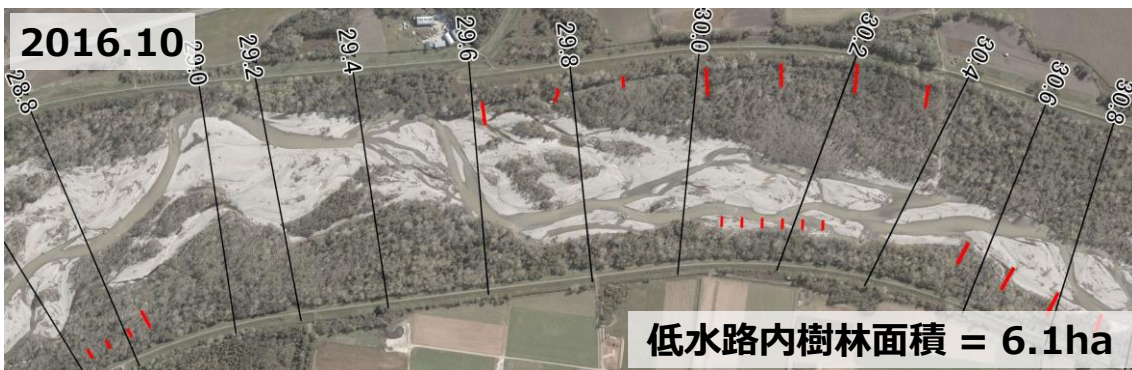


計算結果（CaseB：樹木消長あり、通年で侵入・成長）

--- 再現性の良好な区間
--- 再現性の悪い区間

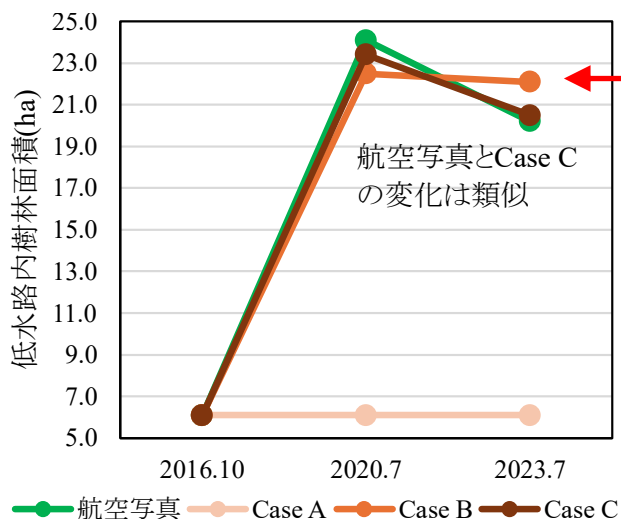
Depth[m]
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0

— 水制
● 樹木



考察 (CaseB : 樹木消長あり、通年で侵入・成長)

- CaseBでは、樹木消長の考慮により、2016年10月～2020年7月にかけての流路変動および低水路内の樹林面積の変化を概ね再現できた。
- しかし、2020年7月以降に発生したKP29.0～29.4における右岸沿いから河道中央部方向への流路変動や、**低水路内の樹林面積の減少状況は再現できなかった。**
- これは、CaseBの計算に樹木の侵入期・休眠期を反映しなかったことにより、実際の河道より樹林化したためと考えられる。

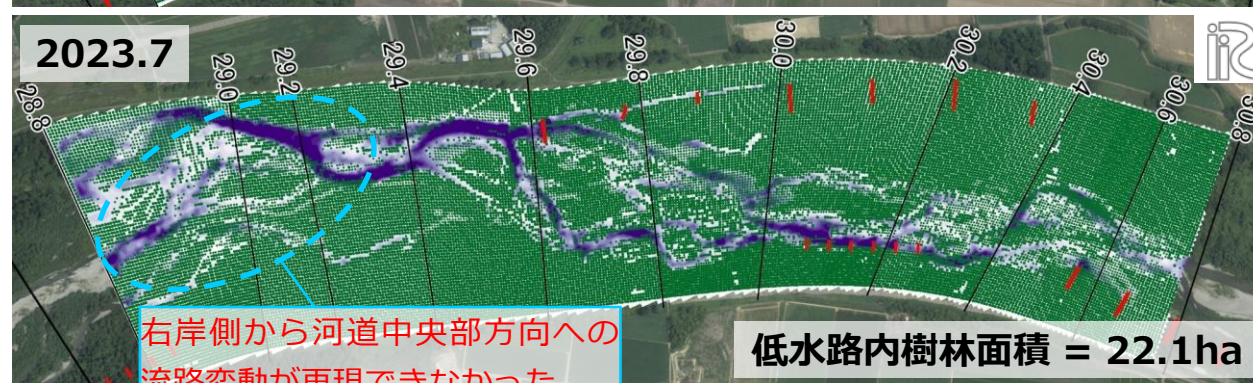
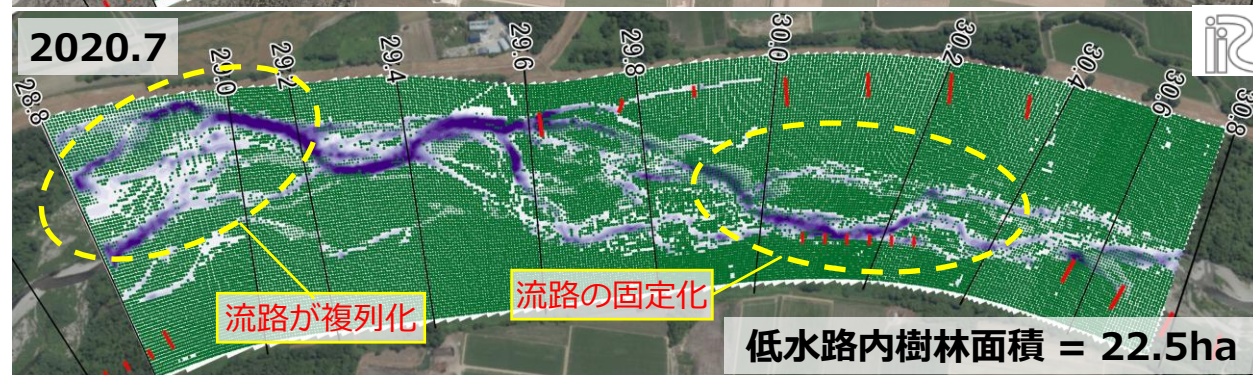


低水路内樹林面積の変化状況

--- 再現性の良好な区間
--- 再現性の悪い区間

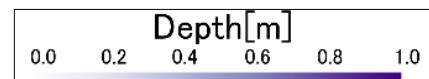
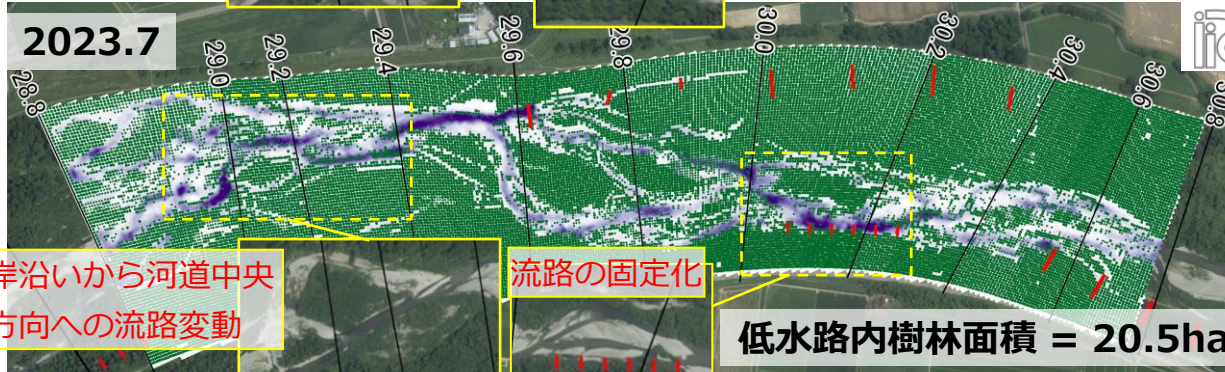
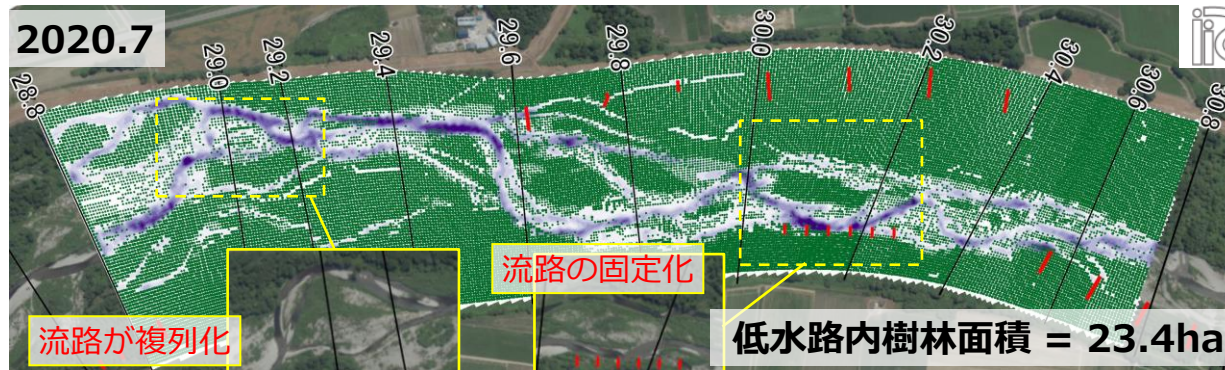
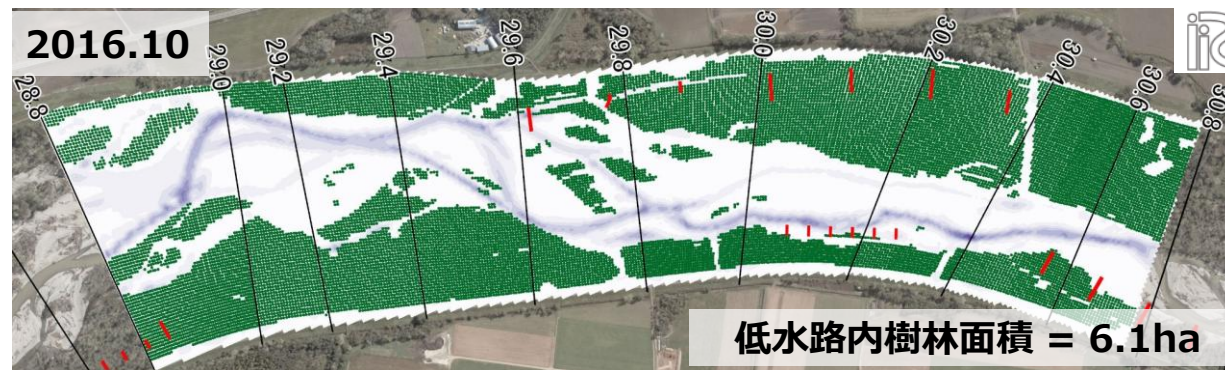
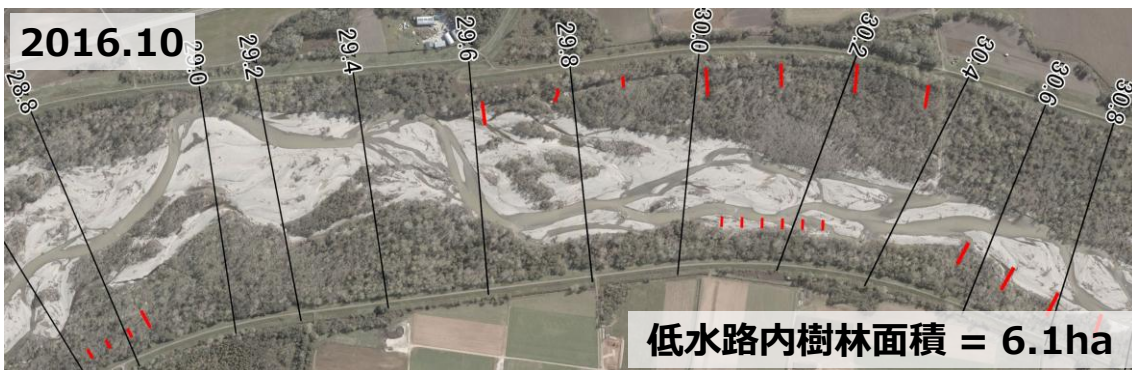
Depth[m]
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0

— 水制
● 樹木



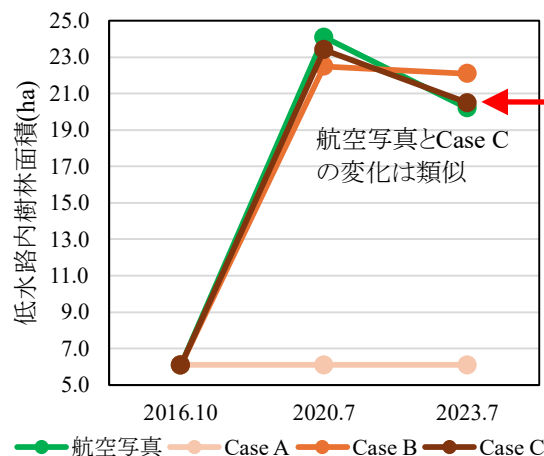
計算結果（CaseC：樹木消長あり、侵入期・休眠期を反映）

--- 再現性の良好な区間

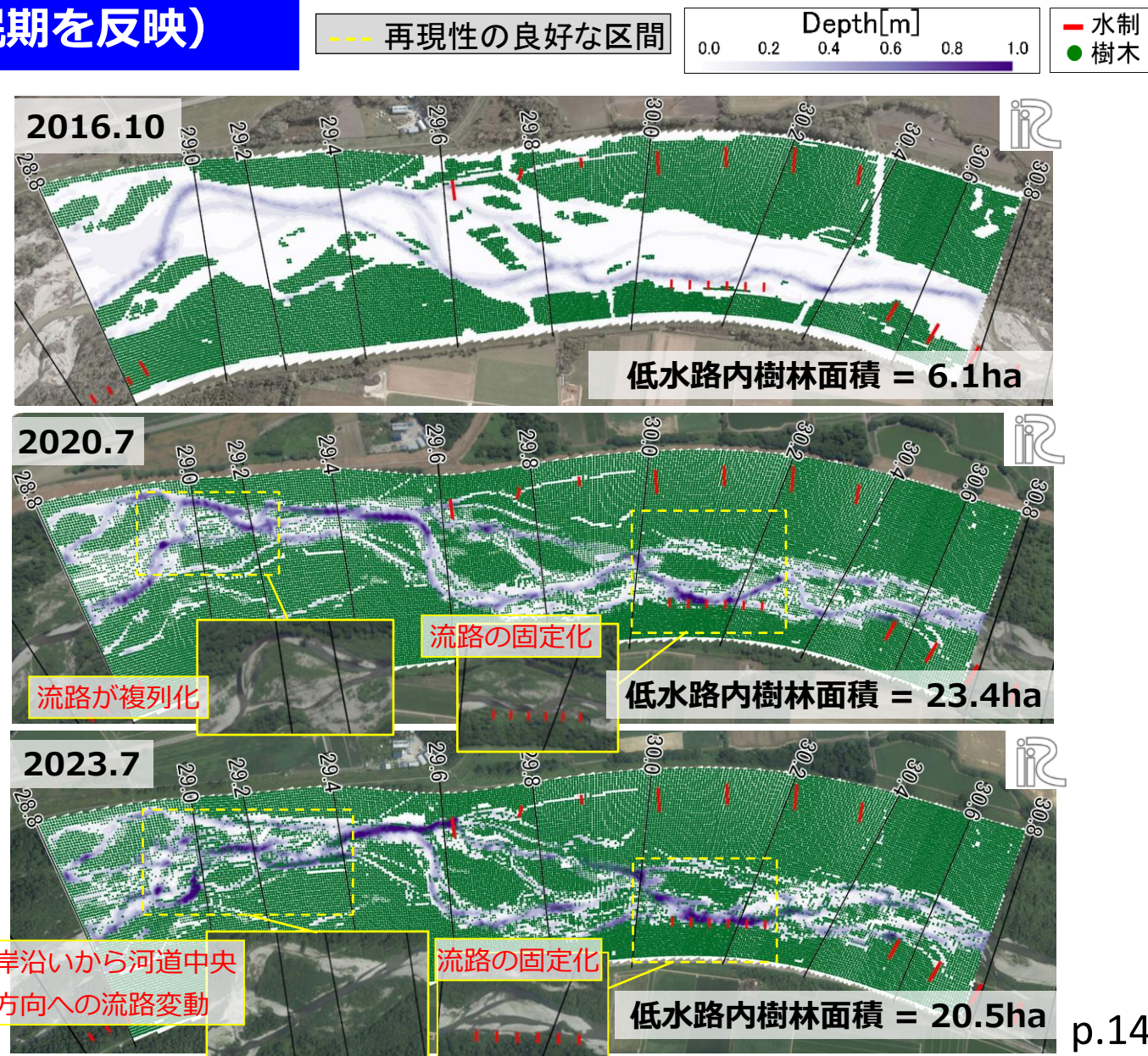
— 水制
● 樹木

考察 (CaseC : 樹木消長あり、侵入期・休眠期を反映)

- CaseCでは、KP30.0～30.2 の左岸側流路固定化、KP29.0～29.4における右岸沿いから河道中央部方向への流路変動を良好に再現できた。
- また、2017～2020 年の樹林拡大、2020～2023 年の洪水・フラッシュ放流による樹木の流失を良好に再現できた。
- これは、樹木の侵入期を5月下旬～6月下旬に限定することによる過度な侵入の抑制や、休眠期を考慮することによる冬季の樹木成長の抑制が、樹木消長やそれを要因とする流路変動の再現性向上に繋がったためだと考えられる。



低水路内樹林面積の変化状況



本研究の成果

融雪出水を有しヤナギ類が繁茂する河川の河道内変化の解析には、季節に応じた樹木ライフサイクルを組み込んだ統合的モデリングが重要であることを示した。

□ 従来モデル（CaseB）の課題解決

- 冬季の樹林化の過大評価
→侵入期の限定により改善
- 洪水時の樹木流失フェーズの過小評価
→休眠期の設定により改善

□ 実務への貢献

- 本モデルは樹林化が進行する積雪寒冷地河川の将来の河道管理・樹林管理方策の検討に有用な基盤となる。

今後の課題

- 樹木成長関数のパラメータの感度分析（樹種・生育地による個体差を考慮）
- 本モデルは札内川特有の条件に依存しているため、他河川に適用する場合は、その河川の主要樹木の樹種特性や根茎構造等を調査したうえで、樹木成長関数や流体力モーメントによる倒伏・破断条件を見直す必要がある。
- 草本被覆による種子定着抑制、基質の細粒化・水分保持能の影響をモデルに組み込み、再現精度の更なる向上を目指す。

参考文献

- 1) 永田朋紀, 渡邊康玄, 清水康行, 井上卓也, 舟木淳悟: 礫床河川における河道変化と植物動態に関する研究, 土木学会論文B1(水工学), 72巻4号, p.I_1081-I_1086, 2016.
- 2) 傳甫潤也, 竹村健, 佐々木博文, 森文昭, 尾関敏久, 伊藤貴寛: 樹林地内の土砂堆積を考慮した樹木群の破壊シミュレーション, 河川技術論文集, 第28巻, 2022.
- 3) 長坂有: 洪水からはじまる河畔林, ヤナギ類の生態から見た河畔の保全, 自然史研究ネットワーク2000「みなみ北海道」, 2001.
- 4) 伊木千絵美, 矢部浩規, 中津川誠: 河川の水理条件による河道内樹木の稚樹定着抑制, 河川技術論文集, 第11巻, 2005.
- 5) 吉良竜夫: 温量指数による垂直的な気候のわかちかたについて, 寒地農学2, 143-173, 1948.
- 6) Higa, M., Moriyama, T., and Ishikawa, S. : Effects of complete submergence on seedling growth and survival of five riparian tree species in the warm-temperate regions of Japan, Journal of Forest Research, 2012.
- 7) 天羽淳, 谷昭彦, 米元光明: iRICの実用事例を踏まえた札内川自然再生の取り組み, 北海道開発局技術検討発表会, 2017.
- 8) 北海道開発局帯広開発建設部: 札内川技術検討会資料
- 9) 辻本哲郎, 村上陽子, 安井辰弥: 出水による破壊機会の減少による河道内樹林化, 水工学論文集, 第45巻, 2001.
- 10) M.van Oorschot, M., Kleinhans, M.G., Geerling, G.W., and Middelkoop, H. : Distinct patterns of interaction between vegetation and morphodynamics, Earth Surface Processes and Landforms, 41, pp.791–808, 2016.
- 11) Zhu, R., Tsubaki, R., and Toda, Y. : Effects of vegetation distribution along river transects on the morphology of a gravel bed braided river, Acta Geophysica, 2023.
- 12) 佐々木慎司, 門脇壮健, 住友慶三, 渡邊健人, 久加朋子, 清水康行: 樹木消長を考慮した河道内変化要因に関する基礎的研究, 令和6年度土木学会全国大会年次学術講演会, 2024.
- 13) 佐々木慎司, 門脇壮健, 住友慶三, 渡邊健人, 久加朋子, 清水康行: 樹木消長を考慮した河道内変化に関する基礎的研究, 令和6年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会, 2025.
- 14) iRIC 研究会: Nays2d+マニュアル
- 15) 福岡捷二, 藤田光一, 平林桂, 坂野章: 樹木群の流水抵抗について, 第31回水理講演会論文集, 1987.2
- 16) 兼頭淳, 大石哲也, 萱場祐一: 高水敷切下げ後の樹林化抑制に向けた草本植物の早期回復に関する研究, 河川技術論文集, 第24巻, 2018.