



iRIC Nays2DHを用いたペケレベツ川の計算



話題提供

久加朋子 (TOMOKO KYUKA)



iRIC Nays2DH

Nays2DHは、河川における流れ、河床変動、河岸侵食の計算を行うために開発された非定常平面二次元ソルバー。

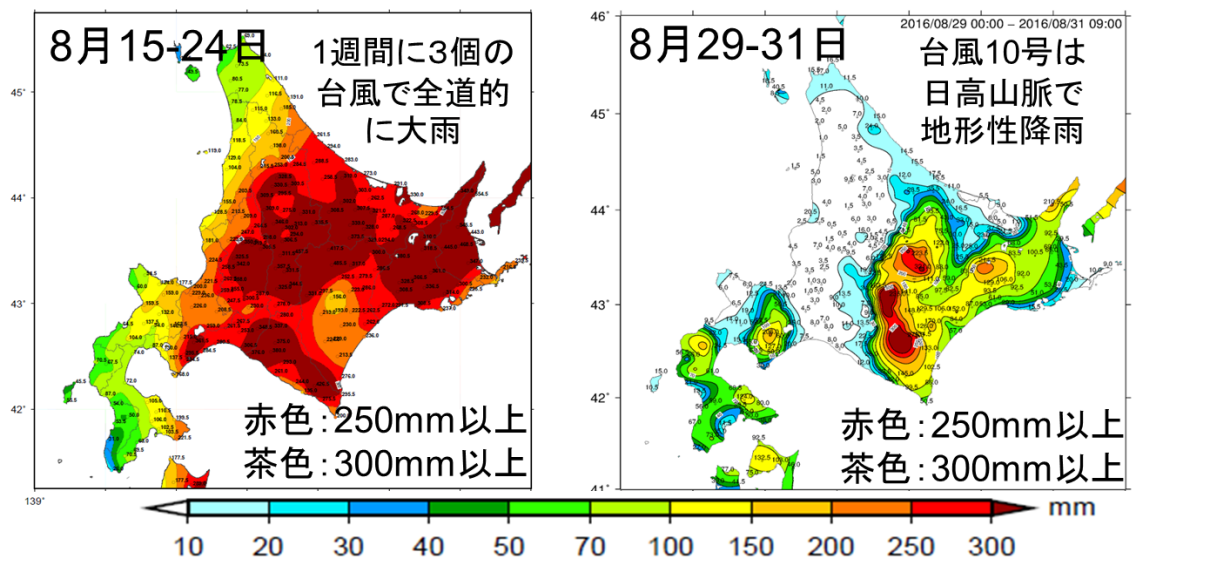
水路実験、実河川における樹木や植生の影響評価、洪水氾濫計算、河岸侵食災害の検証など、広く適用。

ペケレベツ川の被災状況



大量の土砂が低水路に堆積，
流路の蛇行化による河岸侵食

2016年8月，3個の台風が連続して上陸した後，
前線による降雨と，4個目の台風が到来



松岡直基（日本気象協会）作成

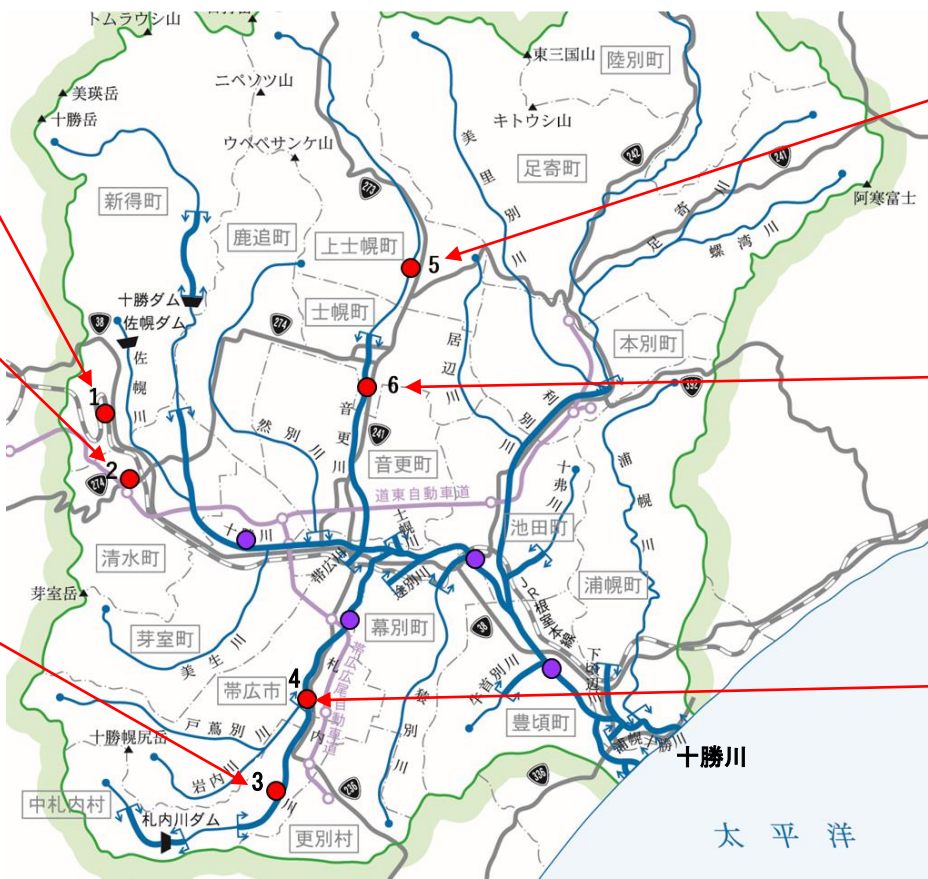
2016年北海道豪雨災害の総降雨量

十勝川流域：年間の2分の1に相当する総雨量500mmを越える雨量を観測

多くの十勝川支川で河岸浸食，落橋，道路崩落等の被災



- 計画高水位超過
- 堤防決壊発生箇所



- ✓ いずれも大量の土砂が移動し，低水路に堆積し，流路の側方移動が発生
- ✓ 大流量，植生，基岩露出，還流....

話題

近年の豪雨災害：
急勾配域においては土砂の移動に
伴う河床・流路変動の考慮が必須

- 2016年北海道豪雨災害のペケレベツ川
- Nays2DHでの解析

- ① 河床低下やそれに伴う基岩露出
- ② 流路蛇行化に伴う側岸侵食

iRIC Nays2DHの適用性を紹介

- 結論



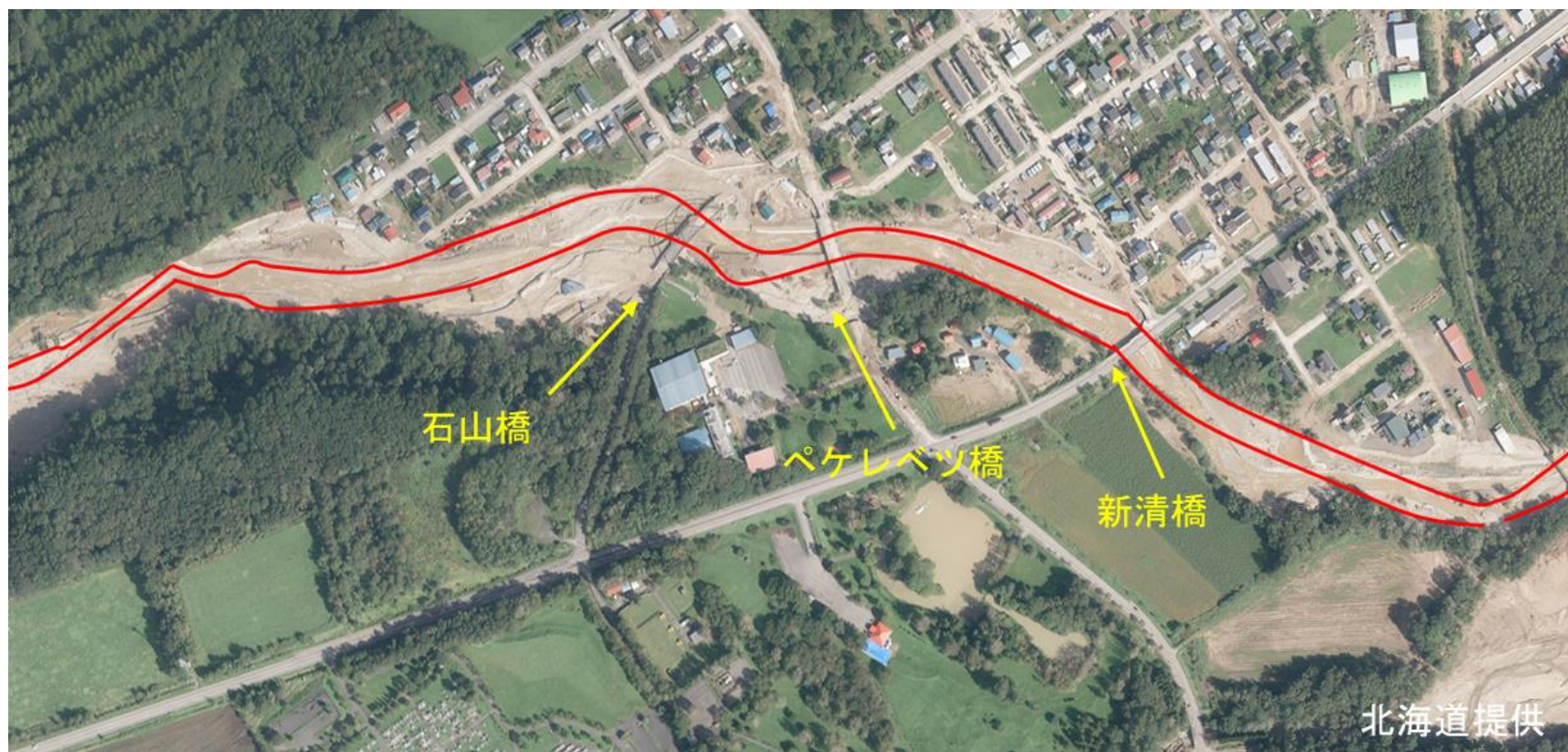
出水前後の航空写真

砂防区間 河川区間

- ✓ 急勾配
- ✓ 流路工区間の下流側から主に流路変動
- ✓ 上流と下流の被災区間において異なる流路変動特性



市街地付近の写真(1/3)



1晩で川幅が3~5倍程度まで拡幅
(約35mから約150m)

市街地付近の写真(2/3)



低水路に多量の土砂の堆積

市街地付近の写真(3/3)



流路の直線化
河床低下と軟岩露出

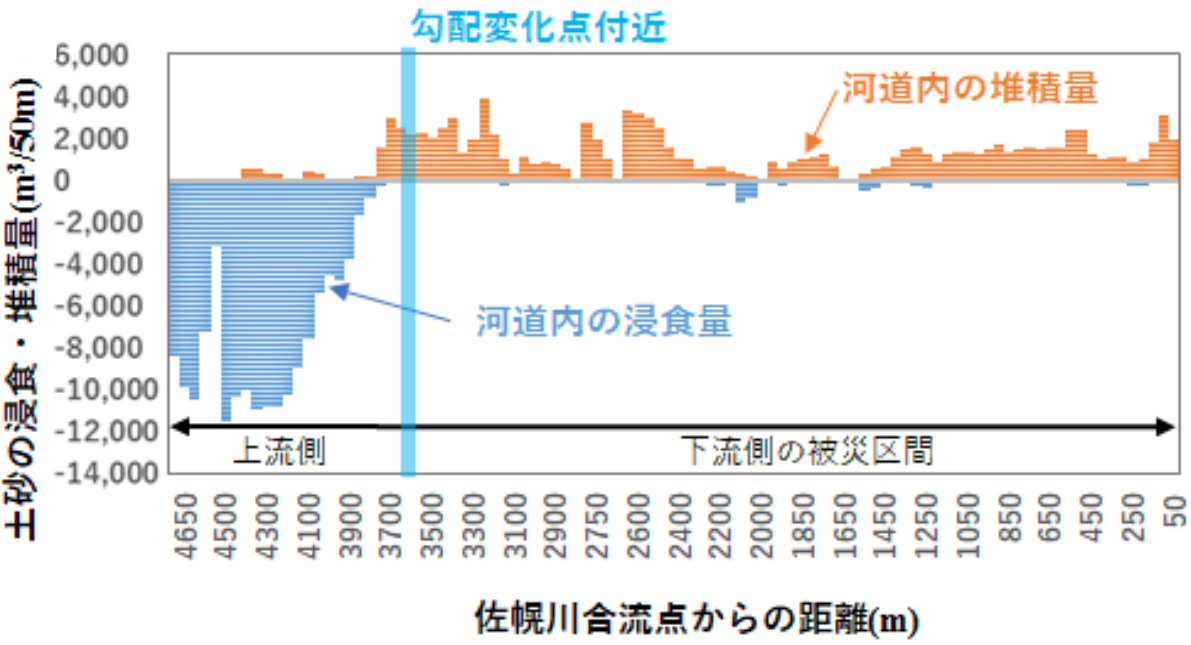
上流域（砂防区間より下流）の写真(1/3)



上流域（砂防区間より下流）の写真(2/3)



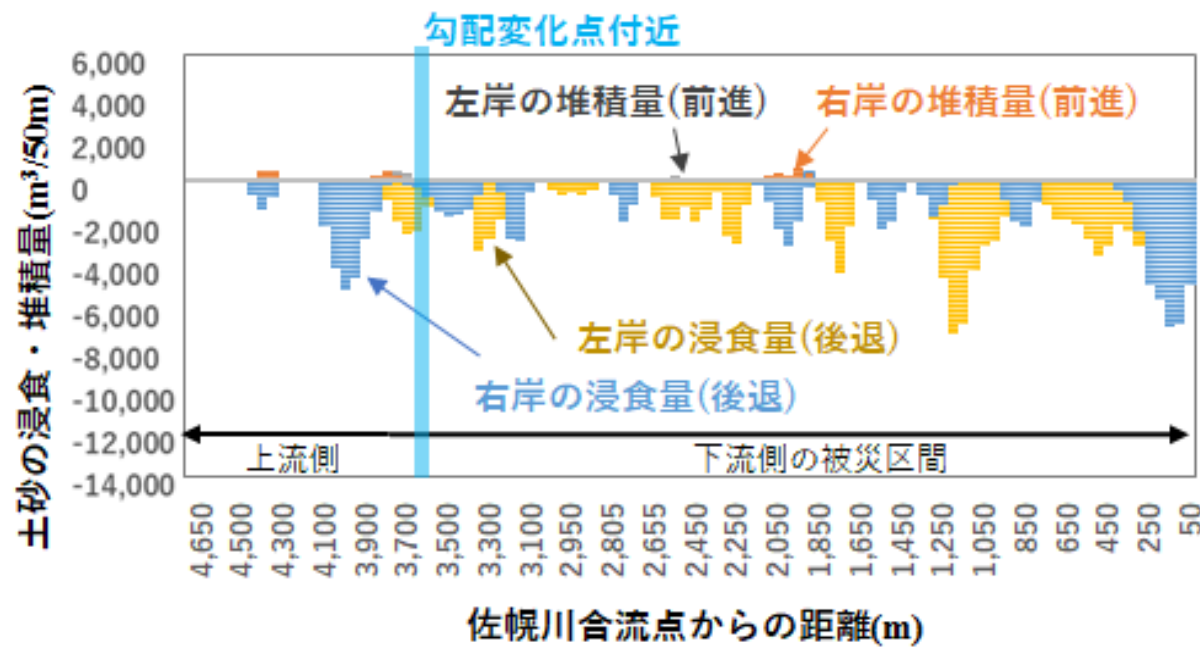
上流域（砂防区間より下流）の写真(3/3)



もとの低水路内の堆積・侵食量

※ 1990年代の河川整備時の計画河床高と出水後の横断測量（2016年9月）の差分

- ✓ 低水路の河床：
上流区間は侵食卓越，下流区間は堆積卓越



左右の河岸における堆積・侵食量

※ 1990年代の河川整備時の計画河床高と出水後の横断測量（2016年9月）の差分

- ✓ 河岸：下流ほど侵食量が増大
- ✓ 低水路に堆積する土砂：
上流付近は河床から，下流側ほど河岸からの供給割合が増加

iRIC Nays2DHを用いた流路変動特性の検討

- ① 河床低下やそれに伴う基岩露出
- ② 流路蛇行化に伴う側岸侵食

iRIC Nays2DHの適用性を紹介

流れの基礎方程式

一般座標系における非定常平面二次元浅水流モデル

(簡単のため, デカルト座標で以下資料記述)

[連続式]

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0$$

[運動方程式]

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + D^x - \frac{F_x}{\rho}$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} + D^y - \frac{F_y}{\rho}$$

[河床近傍流速 (Jang and Shimizu2005)]

$$N_* = 7.0$$

$$r = \frac{1}{(u^2 + v^2)^{3/2}} \left\{ u \left(u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial x} \right) + v \left(u \frac{\partial v}{\partial y} - v \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\}$$

$$u_{bs} = 8.5 u_*$$

$$v_{bs} = -N_* \frac{h}{r} u_{bs}$$

$$u_b = u_{bs} \cos \alpha_s - v_{bs} \sin \alpha_s$$

$$v_b = u_{bs} \sin \alpha_s + v_{bs} \cos \alpha_s$$

掃流砂層モデル (Luu, Egashira, Takebayashi 2004)

[全掃流砂量 (Ashida, Egashira, Ryu 1992)] (均一粒径のみ記述)

$$q_b = 17 \sqrt{sgd^3} \tau_{*e}^{3/2} \left(1 - K_c \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - \sqrt{K_c \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \right) R_b$$

移動床と固定床の混在場を計算

固定床上の土砂濃度を評価するための補正係数

$$R_b = 1, E_s = E_{se}$$

平衡掃流砂層厚 (Ashida and Egashira 1992)

$$R_b = \frac{E_s}{E_{se}}, E_s = E_{sd} \frac{1 - \lambda}{c_b}$$

$$\frac{E_{se}}{d} = \frac{1}{c_s \cos \theta (\tan \phi - \tan \theta)} \tau_*$$

⇒ 河床近傍流速を用いて流れ方向と横断方向の掃流砂ベクトルを算出

[流砂の連続式] (均一粒径, 掃流砂のみ記述)

$$R_b = 1; \quad \frac{\partial c_s E_s}{\partial t} + (1 - \lambda) \frac{\partial z_b}{\partial t} + \sum \left(\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}}{\partial y} \right) = 0$$

$$R_b < 1; \quad \frac{\partial c_s E_s}{\partial t} + \sum \left(\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}}{\partial y} \right) = 0$$

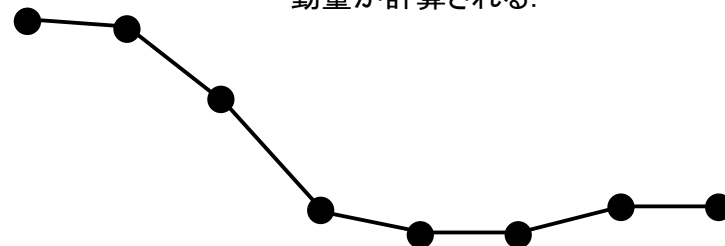
崩落モデル

[安息角を用いた崩落モデル]

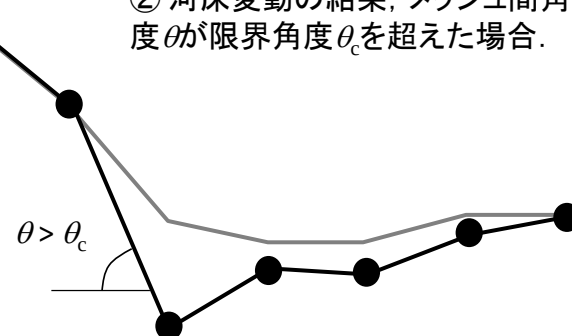
θ_c : 崩落基準角度

河岸侵食を考慮

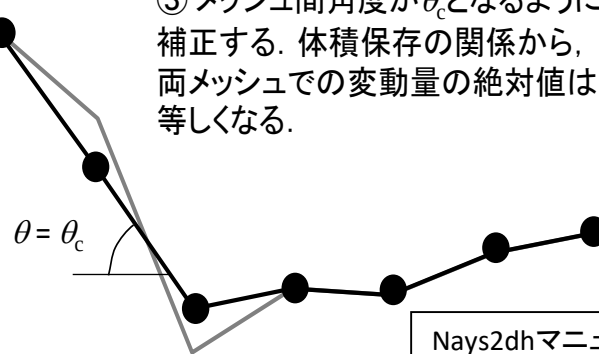
① ある河床形状において河床変動量が計算される.



② 河床変動の結果, メッシュ間角度 θ が限界角度 θ_c を超えた場合.



③ メッシュ間角度が θ_c となるように補正する. 体積保存の関係から, 両メッシュでの変動量の絶対値は等しくなる.



Nays2dhマニュアル参照

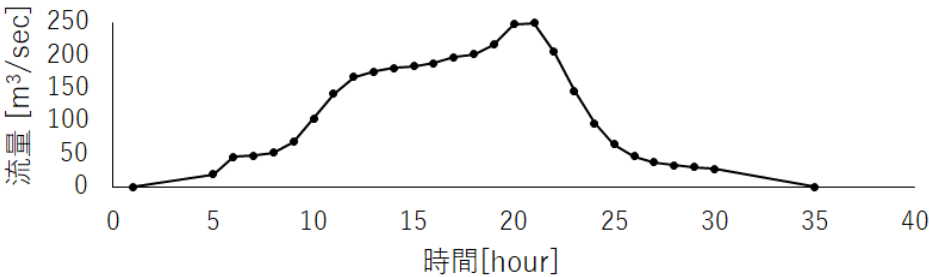
[計算範囲]



[計算条件]

- ✓ 計算格子: 約 3.0 m × 3.0 m
- ✓ 計算タイムステップ: 0.1 秒
- ✓ 均一粒径: 90 mm
- ✓ マニング粗度係数: 0.03

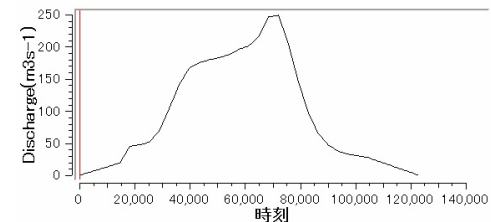
[流量ハイドログラフ (降雨量からの推定値, 小池・中津川2017)]



[計算ケース]

Case	河床変動	埋没基岩	埋没深	上流端給砂	均一粒径
Case1	流れ	—	—	—	—
Case2	河床変動	考慮	0.3m	50%	90mm
Case3	河床変動	未考慮	—	50%	90mm

[Case1:流れの計算のみの場合]



流れの計算のみだと
市街地で氾濫しない

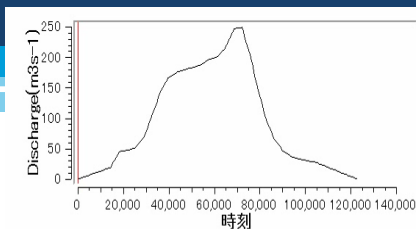


水深コンター図



- ✓ 上流区間での氾濫：150m³/secを超えたあたり。
- ✓ ただし、市街地付近に浸水被害はほぼなく、流れの計算のみでは被害規模を評価できない

[Case2:再現計算（河床変動，埋没基岩を考慮）]



河床変動量コンター図



流速コンター図

- ✓ 本計算では未固結岩の洗掘までは考慮しなかったものの、上流被災区間において大規模に河床低下すること、SP4400 m付近で流路が右岸から左岸側に切り替わること、市街地付近で低水路に土砂が堆積し、流路の側方移動が発生すること等、ある程度の傾向は再現できていると判断。

(a) $Q \div 100\text{m}^3/\text{sec}$

増水期



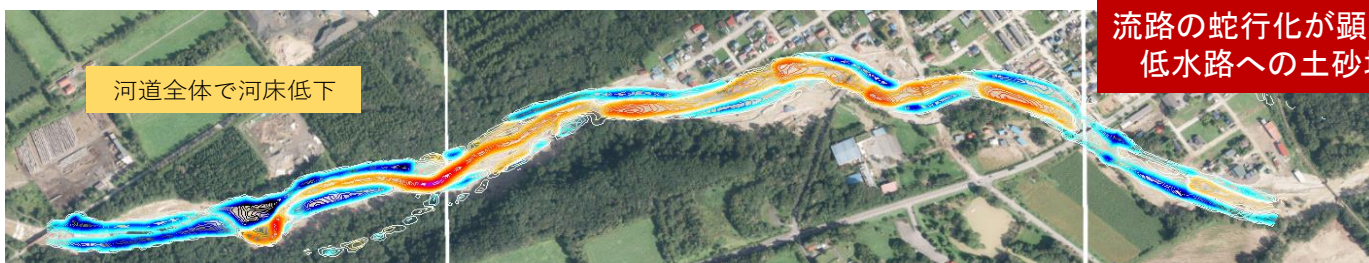
(b) $Q \div 180\text{m}^3/\text{sec}$

増水期



(c) $Q \div 200\text{m}^3/\text{sec}$

増水期



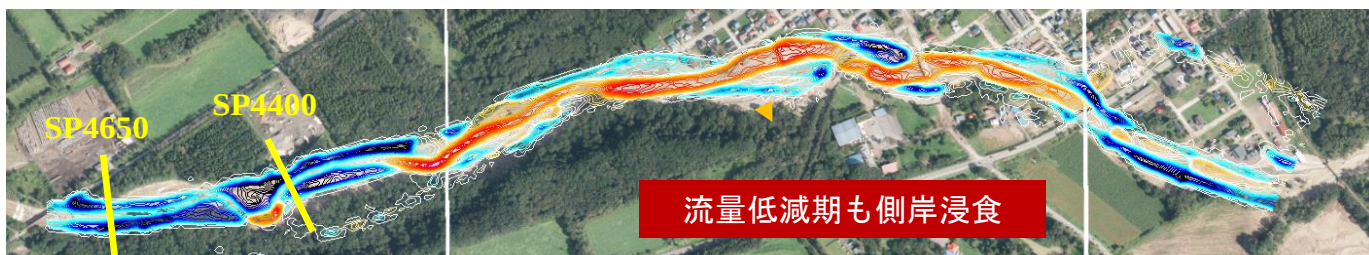
(d) $Q \div 250\text{m}^3/\text{sec}$
(ピーク時)

ピーク



(e) $Q \div 50\text{m}^3/\text{sec}$
(出水後半)

減水期

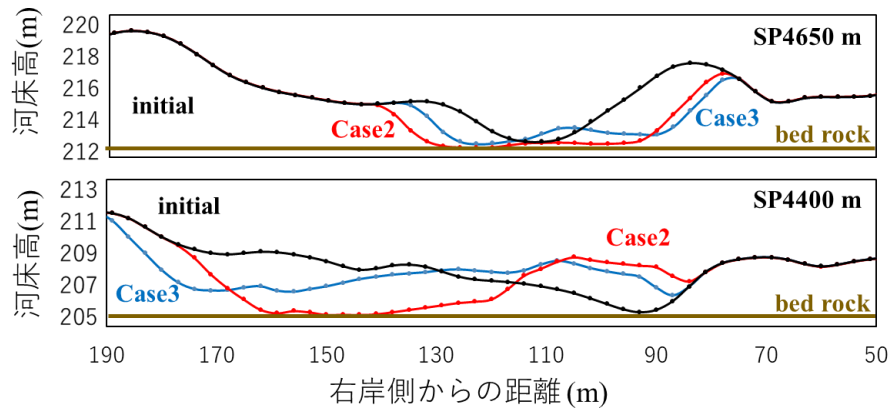
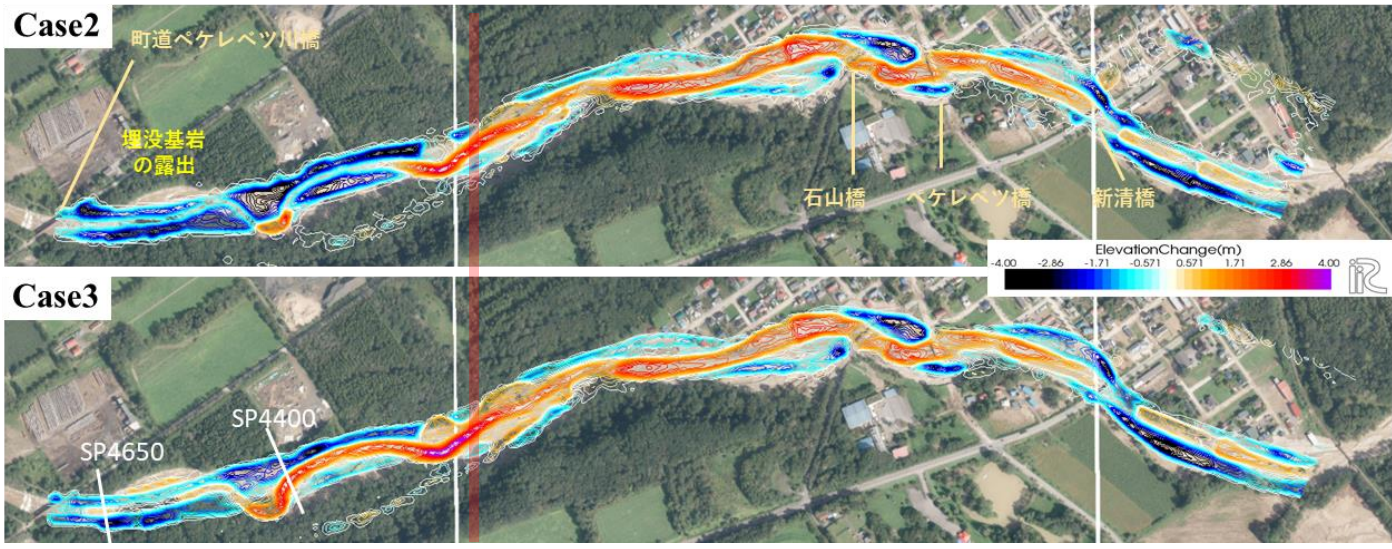


上流：埋没基岩がないCase3の方が、河床侵食量が小さい。

下流：平面形状は類似

河床変動量

勾配変化点



✓ 基岩の埋没を考慮しないCase 3では、Case 2に比べて河道全体での河床低下が生じない

結論（現地データおよび数値解析からの理解）

- ✓ ペケレベツ川の出水では、上流側と下流側の被災区間にて異なる流路変動特性を確認し、Nays2DHを用いて再現できた。
- ✓ iRIC Nays2DHを用いて計算を行った結果、流れの解析のみでは市街地付近の氾濫等のリスクを評価することが出来ないことが示された。
- ✓ 上流区間の大規模な河床低下は、埋没基岩を考慮することで再現できた。ただし、現地の基岩は軟岩であり、更なる侵食には軟岩侵食モデルなどを考慮する必要がある。
- ✓ 下流側の被災区間では、計画規模以上の流量に伴う土砂の大量移動により、流路の横移動に伴う側岸侵食が生じ、住宅地や橋梁に大きな被害が発生した。
- ✓ 土砂の移動と堆積が活発な流路変動や側岸侵食の引き金になること、流量の減少時にも側岸侵食が進むことを確認できた。