

平成14年度河川懇談会

九頭竜川を事例とした 近年の河相変化とその 要因分析

研究グループ

細田 尚(京都大学工学研究科)

武藤裕則(京都大学防災研究所)

熊谷樹一郎(摂南大学工学部)

田中尚人(京都大学工学研究科)

辻野貴之(京都大学工学研究科

修士課程(現大阪市))

浦田壮一郎(京都大学工学研究科

修士課程)

研究の目的

本研究では、九頭竜川の鳴鹿大堰地点から日野川との合流地点間を対象に、持続可能な河川管理に関わる基本的な事項について考察することを目的としている。

特に河原と植生の動的平衡（破壊・再生）と経年変化に着目した持続可能流量の設定や、そのための流量変化にともなう河道の応答予測について若干の検討を行った。

また、最低限の管理項目として、「河川管理者自身による希少種のモニタリング」の必要性を指摘している。

Outline

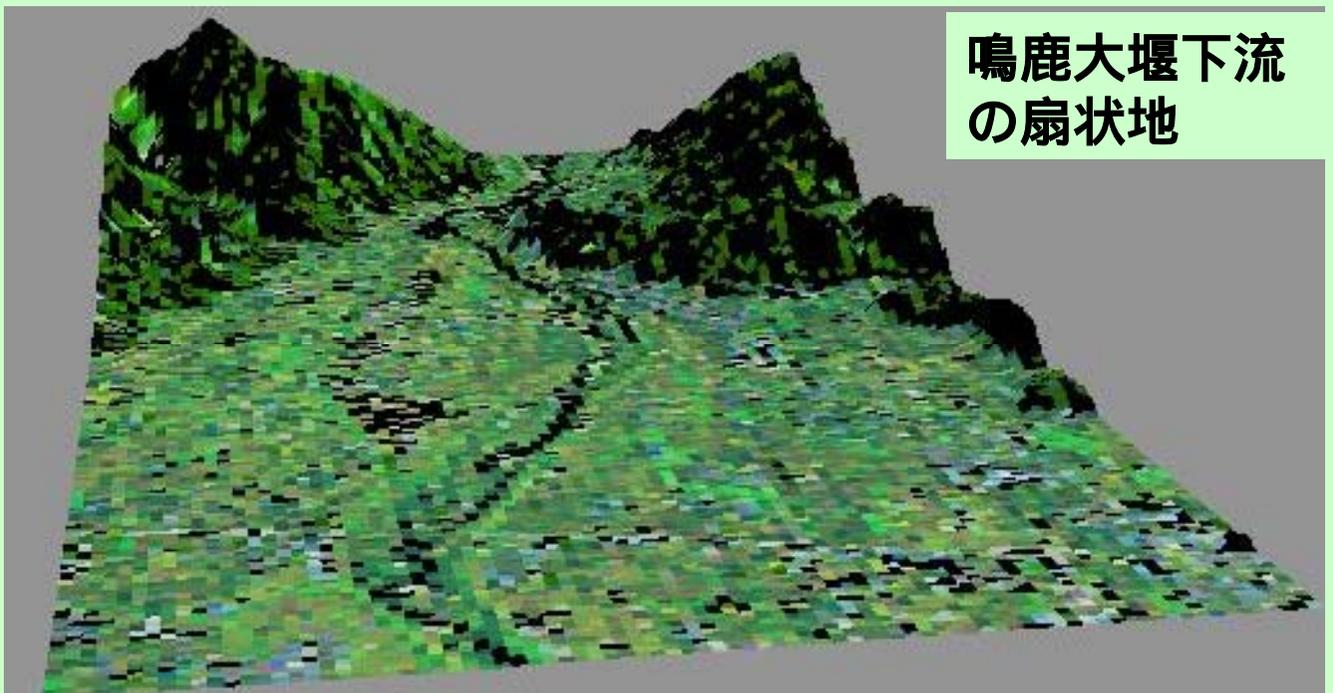
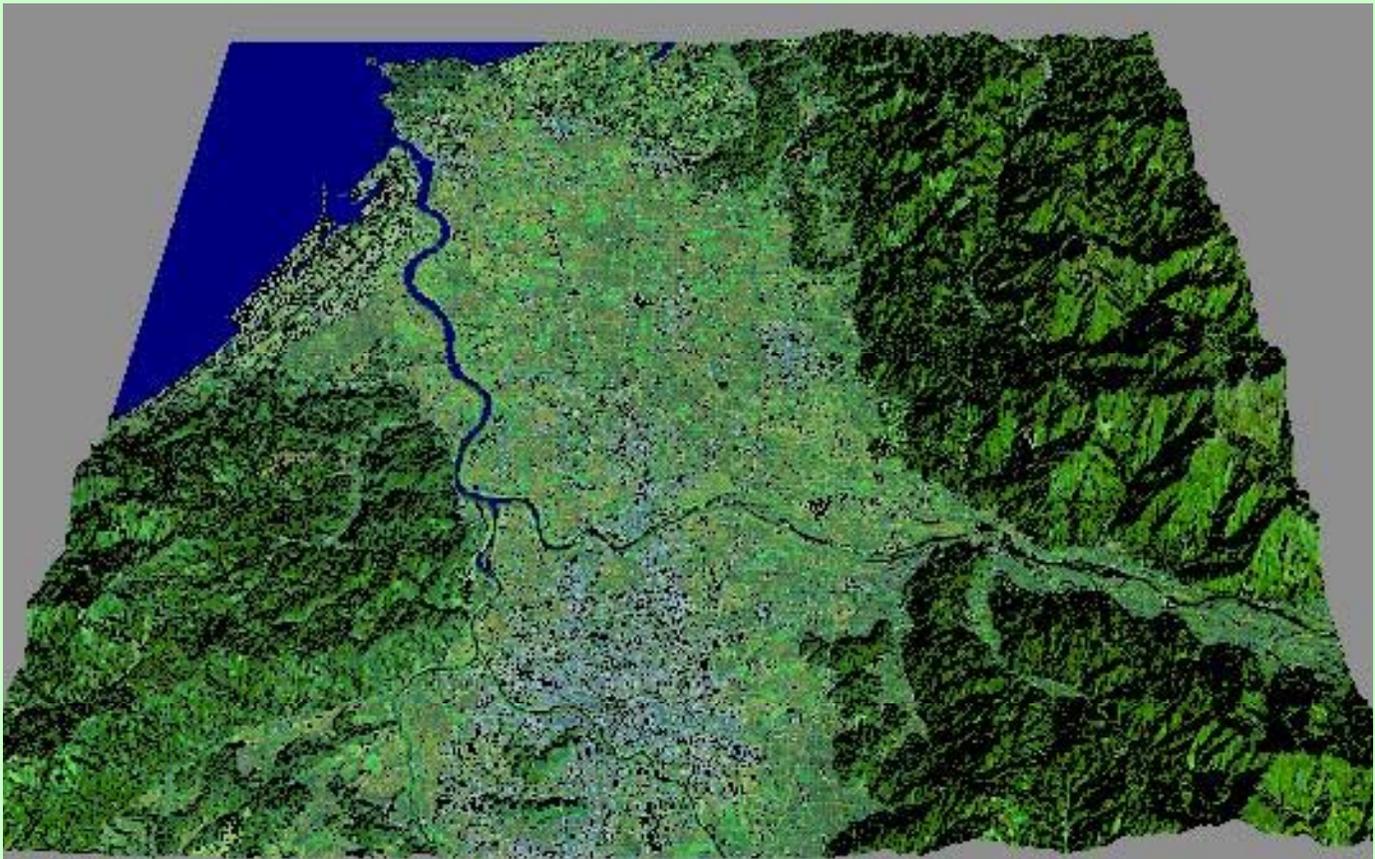
- 1 . 研究対象区間の概要と近年の河相変化の分析
- 2 . フジバカマのモニタリング
- 3 . 平面 2 次元洪水流・河床変動解析モデルを用いた考察
- 4 . 福井平野における河川景観の変遷
- 5 . まとめ

1 . 研究対象区間の概要と近年の河相変化の分析



九頭竜川水系と対象区間

ランドサット・マップ(市販のランドサット ト地表データと50m標高数値地図で作成)



鳴鹿大堰下流
の扇状地

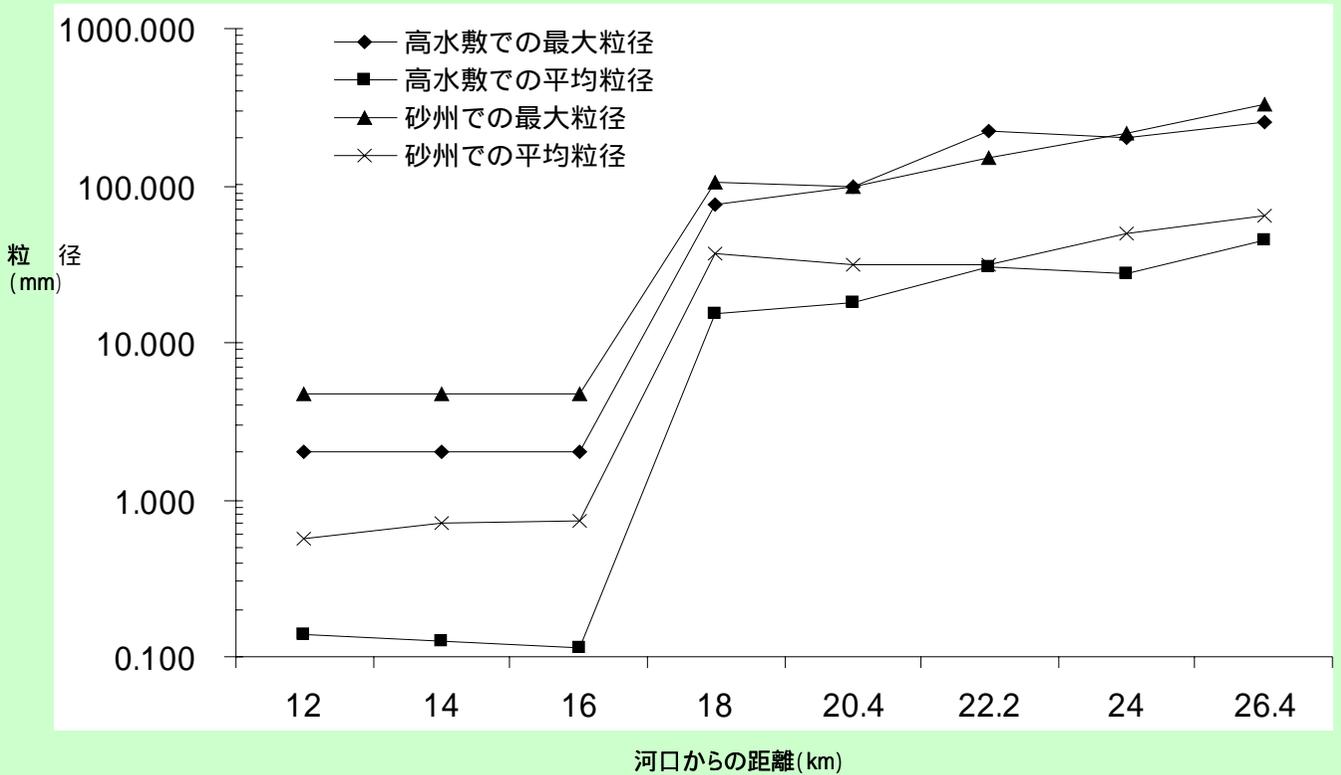
河口部



エッセル, デレーケの
指導により建設され
た導流堤兼防波堤



粒径の縦断分布



航空写真による 河道状況の変化

24km付近～27km付近



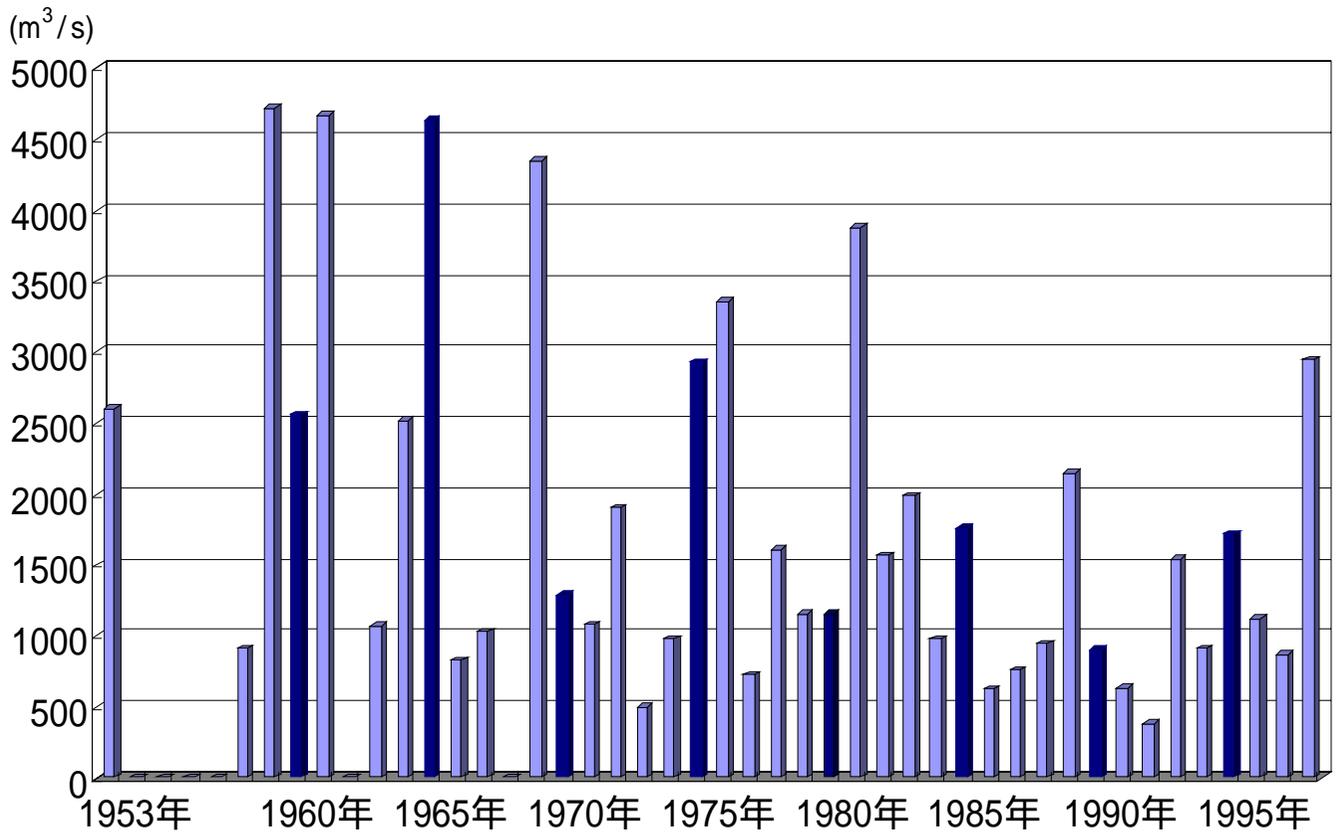
昭和22年 (1947)



平成6年 (1994)

変化を引き起こした主要な要因と考えられる年最大ピーク流量の 経年変化(計画高水流量5,500m³/s)

九頭竜川・中角地点における各年の最大ピーク流量



Landsat TMデータによる 最近20年間の土地被覆分類



(a) 1984年8月14日観測データ

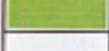
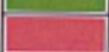
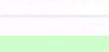


(b) 1995年8月13日観測データ



(c) 1999年8月8日観測データ

凡例

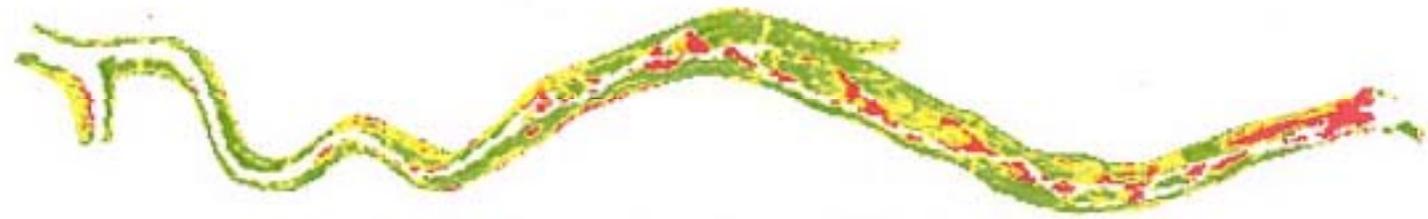
	: 在来種草地 (背が低い群落)
	: 在来種草地 (背が高い群落)
	: 河原 (植生なし)
	: 河畔林
	: 人工草地 (シバ等)
	: 水域

解説は熊谷文書へ

Landsat TMデータによる 植生指数 (NDVI) の変化



(a) 1984年8月14日観測データ



(b) 1995年8月13日観測データ



(c) 1999年8月8日観測データ



1996年と1999年の航空写真による確認 (1998年にピーク流量約2,500m³/sの洪水が生起している。)

他の地点の写真

福松大橋 96



福松大橋 99





福松大橋

平成12年



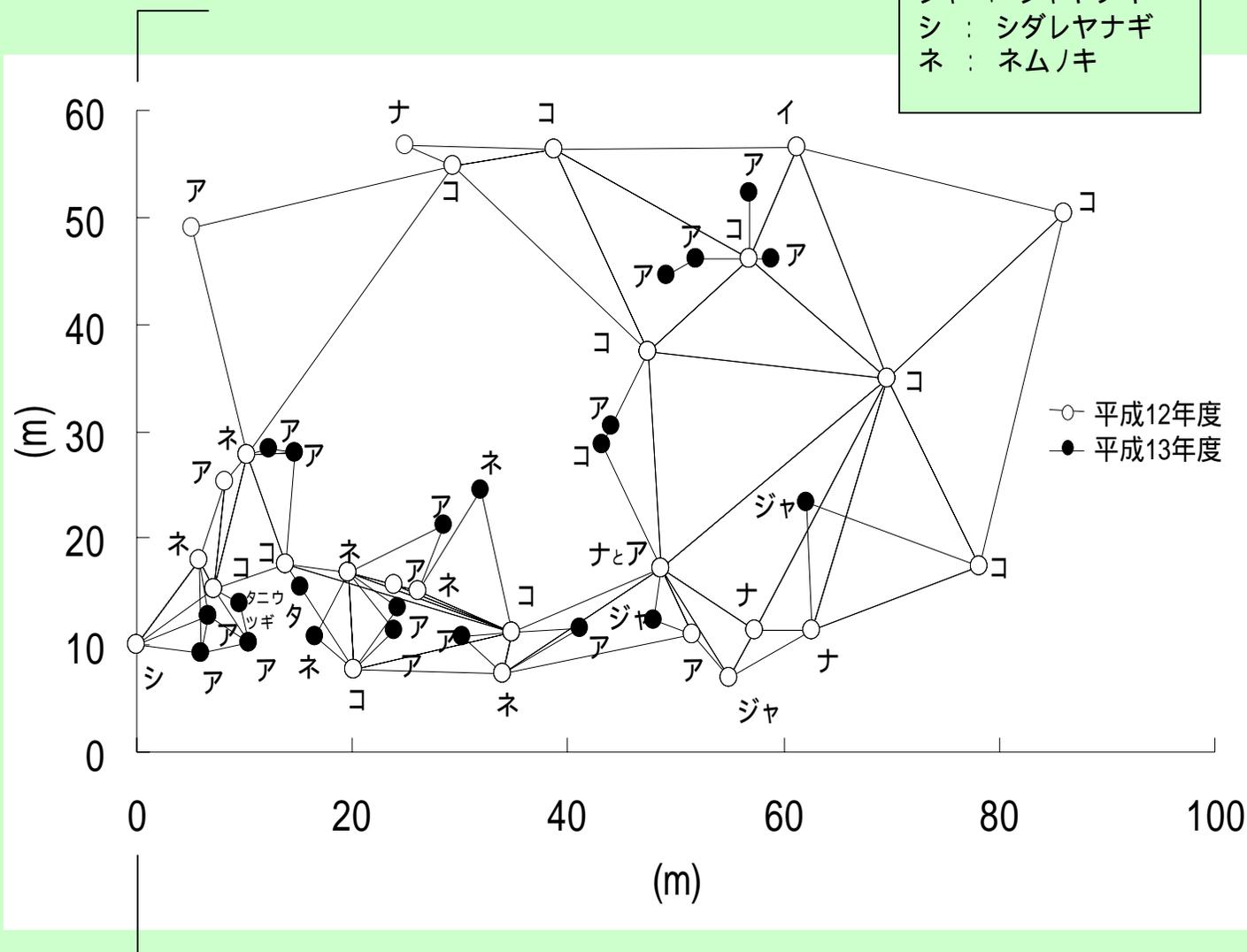
平成13年9月8日



樹木を用いて設置した三角網 (福松大橋直上流)

福松大橋

- ア : アキグミ
- イ : イヌコリヤナギ
- ジャ : ジャヤナギ
- シ : シダレヤナギ
- ネ : ネムノキ



アキグミ, ネムノキ, ヤナギ類の侵入が進んでいる。(アカメガシワ, ニワウルシ, オニグルミ, ヌルデなどはまだ見られない.)

比高の高い砂州上にみられたフジバカマ
(福松大橋直上流モニタリング地点)



福松大橋直下流(平成13年9月)



2. フジバカマのモニタリング

福松大橋上流左岸高水敷(2000年10月20日)



福松大橋上流左岸高水敷(2002年9月15日)



除草範囲
が広がっ
ている。



福松大橋上流左岸高水敷(2002年10月10日)



河川工事の
ための拡幅か？

これからどう
なる？



その他の地点(2002年10月10日)



生態系保全のためには、上流域から下流域にいたるまでの生物相の推移や環境構造の変化を認識して工事の影響や対応を考えなければならない。

生態系保全の基本的な考え方は、源流から海までの物の疎通性を高め、その動的平衡を目指すところにある。

(竹門康弘, 溪流における水生昆虫の棲み場所保全, 砂防学会誌 Vol.50, No.1, 1997.)

しかし一方で、河川管理の現在のレベルを考えると、とくにかたよった保護事業などを行わなければ、「河川管理者による希少種のモニタリング」も有効ではないかと考えられる。(細田)

3 . 平面 2 次元洪水流 ・ 河床変動解析モデルを 用いた考察

モデルにより平成10年9月洪水の再現など
を行い, 観測結果と比較することで検証し, 流
量の変化による河道の応答を予測する .

[連続式]

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{Uh}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{Vh}{J} \right) = 0$$

[運動方程式]

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q^\xi}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{UQ^\xi}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{VQ^\xi}{J} \right) \\ & - \frac{M}{J} \left(U \frac{\partial \xi_x}{\partial \xi} + V \frac{\partial \xi_x}{\partial \eta} \right) - \frac{N}{J} \left(U \frac{\partial \xi_y}{\partial \xi} + V \frac{\partial \xi_y}{\partial \eta} \right) \\ & = -gh \left(\frac{\xi_x^2 + \xi_y^2}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\xi_x \eta_x + \xi_y \eta_y}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_b^\xi}{\rho J} - \frac{F^\xi}{\rho J} + \frac{\xi_x^2}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'^2} h \right) + \frac{\xi_x \eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'^2} h \right) \\ & + \frac{\xi_y^2}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{v'^2} h \right) + \frac{\xi_y \eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{v'^2} h \right) + \frac{\xi_x \eta_y + \xi_y \eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'v'} h \right) + \frac{2\xi_x \xi_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'v'} h \right) \end{aligned}$$

[運動方程式]

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q^n}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{UQ^n}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{VQ^n}{J} \right) \\
 & - \frac{M}{J} \left(U \frac{\partial \eta_x}{\partial \xi} + V \frac{\partial \eta_x}{\partial \eta} \right) - \frac{N}{J} \left(U \frac{\partial \eta_y}{\partial \xi} + V \frac{\partial \eta_y}{\partial \eta} \right) \\
 & = -gh \left(\frac{\xi_x \eta_x + \xi_y \eta_y}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_x^2 + \eta_y^2}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_b^n}{\rho J} - \frac{F^n}{\rho J} + \frac{\xi_x \eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'^2} h \right) + \frac{\eta_x^2}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'^2} h \right) \\
 & + \frac{\xi_y \eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{v'^2} h \right) + \frac{\eta_y^2}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{v'^2} h \right) + \frac{\xi_x \eta_y + \xi_y \eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'v'} h \right) + \frac{2\eta_x \eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'v'} h \right)
 \end{aligned}$$

[底面せん断応力]

$$\tau_{bx} = \frac{\rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}, \quad \tau_{by} = \frac{\rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

[植生の形状抵抗力]

$$F_x = \frac{1}{2} \rho C_D \lambda h u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad F_y = \frac{1}{2} \rho C_D \lambda h v \sqrt{u^2 + v^2}$$

河床変動解析モデル

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \right) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z_b}{J} \right) + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{q_B^\xi}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{q_B^\eta}{J} \right) \right) = 0$$

$$q_{Bs} = 8(\tau_* - \tau_{*c})^{\frac{3}{2}} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) g d^3}$$

$$q_{Bn} = q_{Bs} \left(\frac{u_{nb}}{u_{sb}} - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\mu_s \mu_k \tau_*}} \frac{\partial z_b}{\partial n} \right)$$

$$u_{nb} = -N_* \frac{h}{R} u_{sb}$$

モデルを用いた中規模河床波の計算結果

(モデルで交互砂州を再現できることを確認している.)

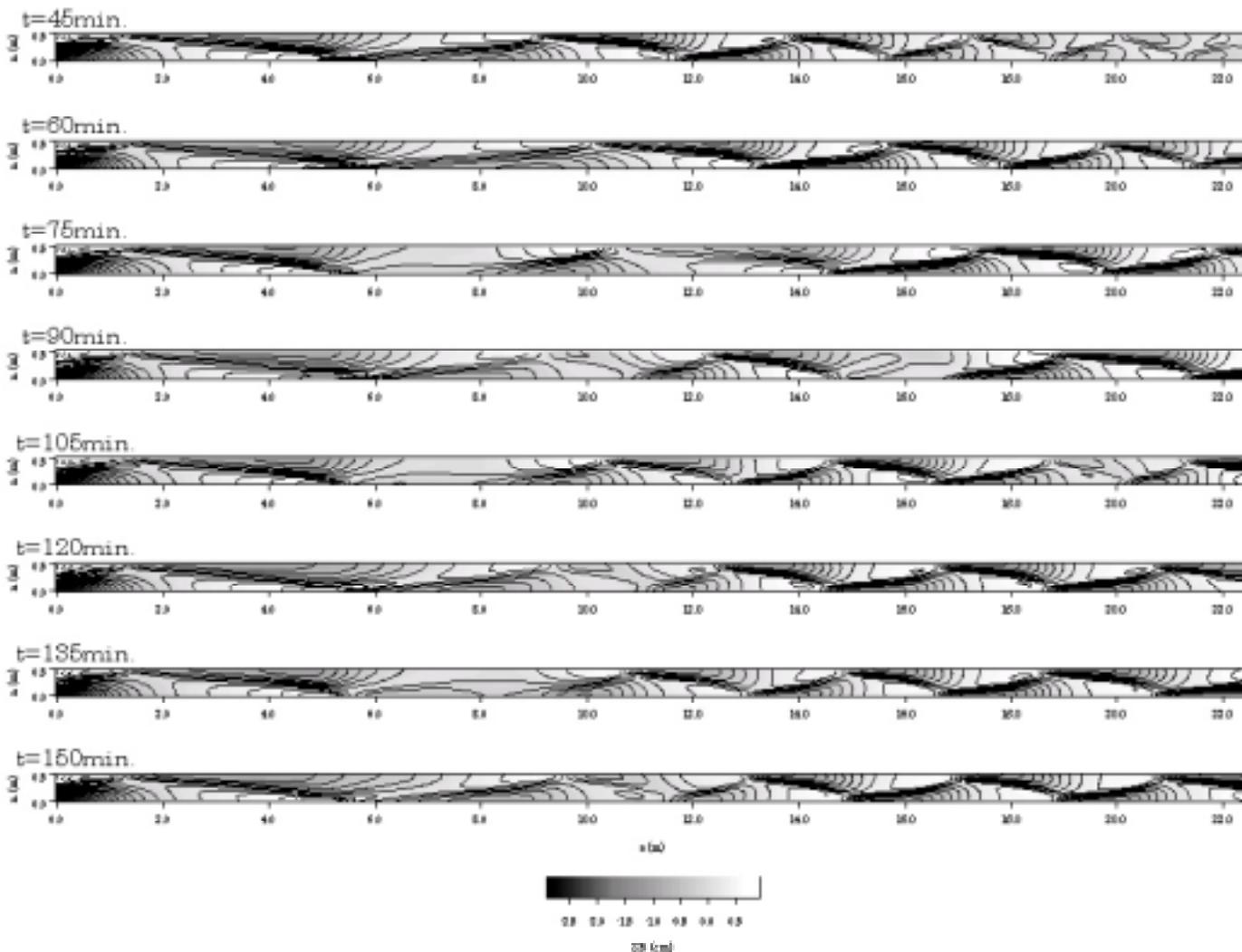
$$(q_{Bs}, q_{Bn}) \longrightarrow (q_{Bx}, q_{By})$$

流線と x 軸のなす角度 γ

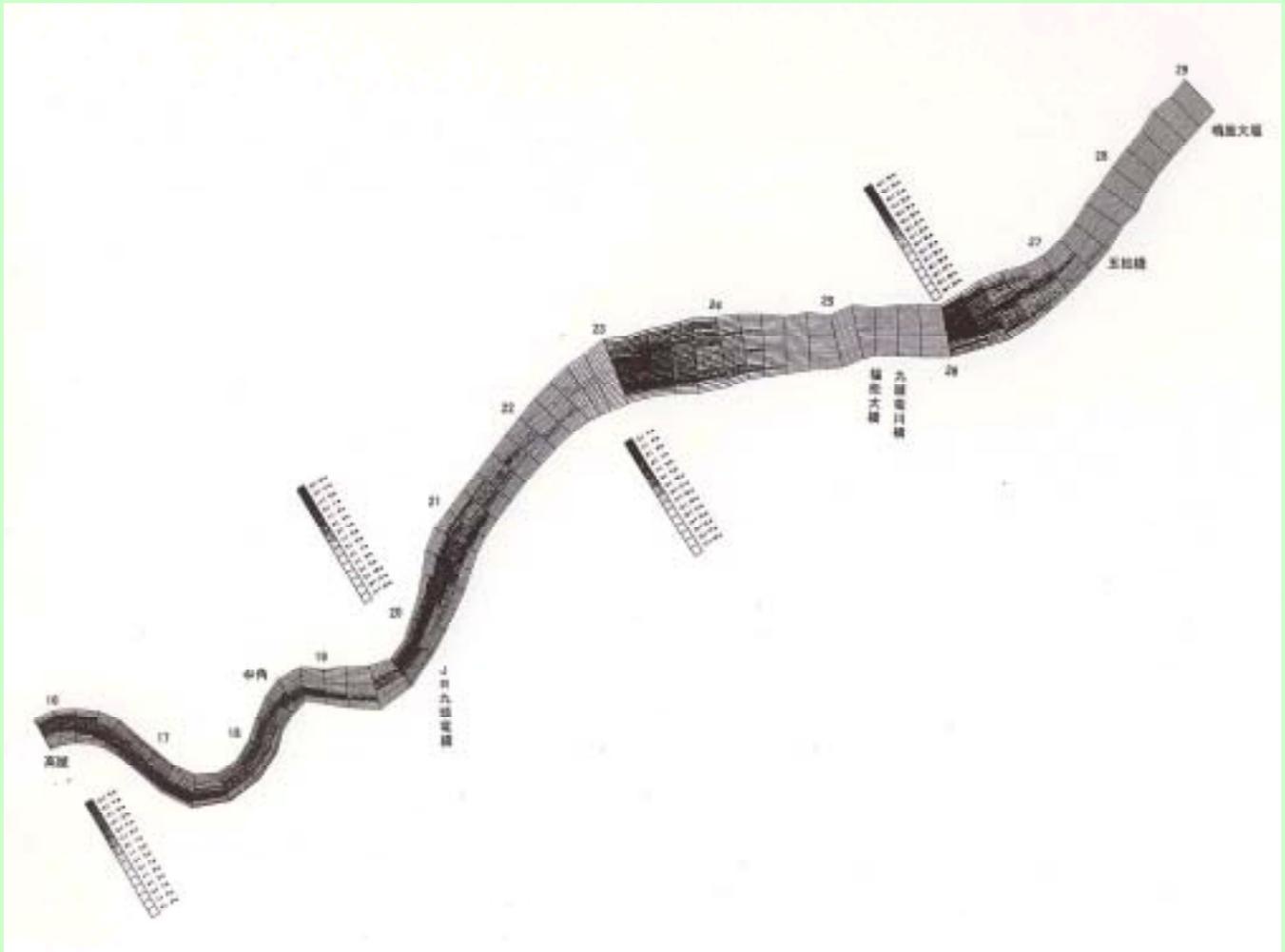
$$q_{Bx} = q_{Bs} \cos \gamma - q_{Bn} \sin \gamma \quad q_{By} = q_{Bs} \sin \gamma + q_{Bn} \cos \gamma$$

$$(q_{Bx}, q_{By}) \longrightarrow (q_B^\xi, q_B^\eta)$$

$$q_B^\xi = \xi_x q_{Bx} + \xi_y q_{By} \quad q_B^\eta = \eta_x q_{Bx} + \eta_y q_{By}$$

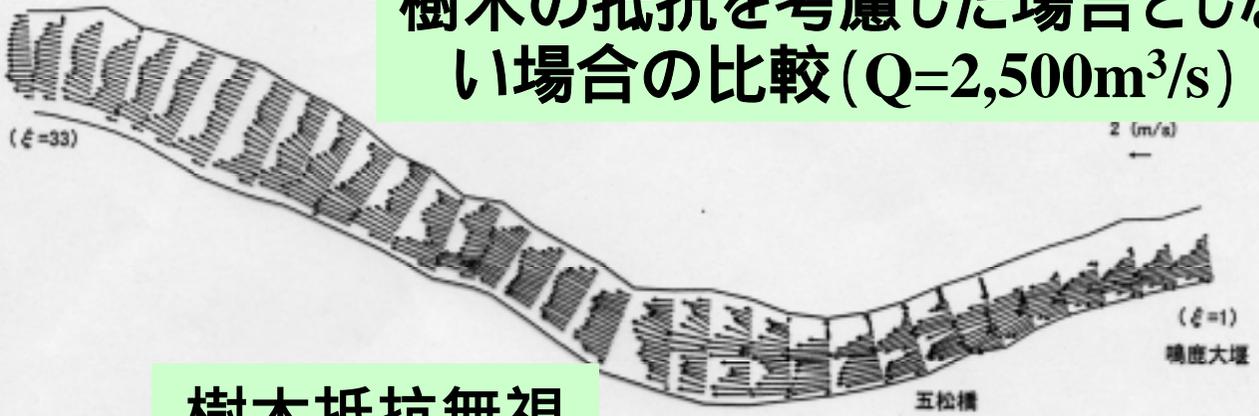


計算格子



拡大図

樹木の抵抗を考慮した場合としない場合の比較 ($Q=2,500\text{m}^3/\text{s}$)



樹木抵抗無視



樹木抵抗により流速分布に差異が見られる。



樹木抵抗考慮

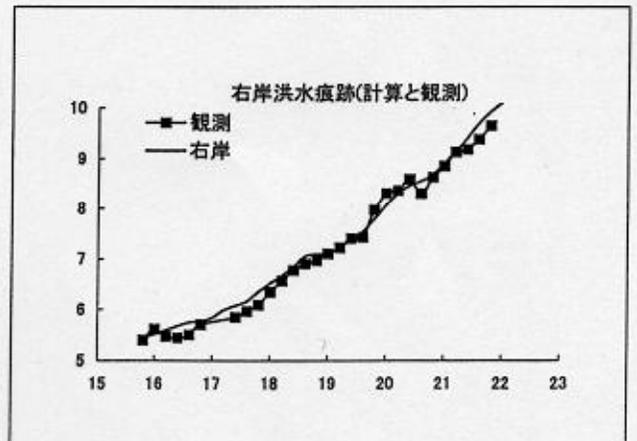
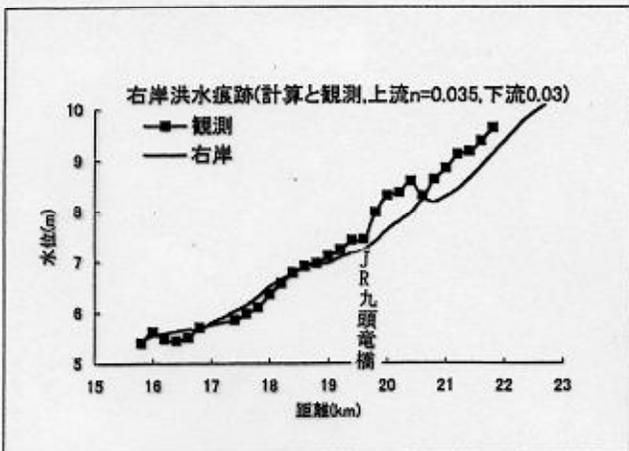
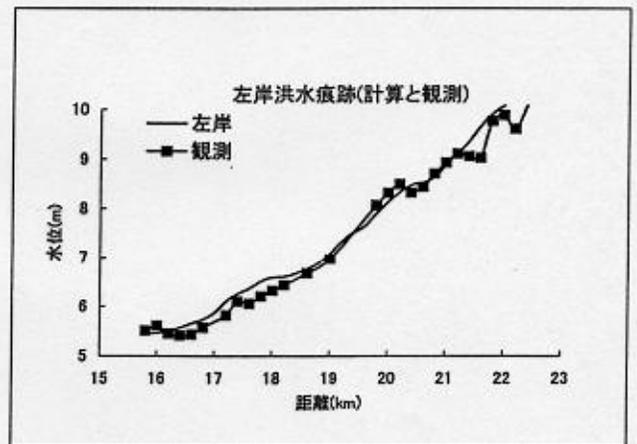
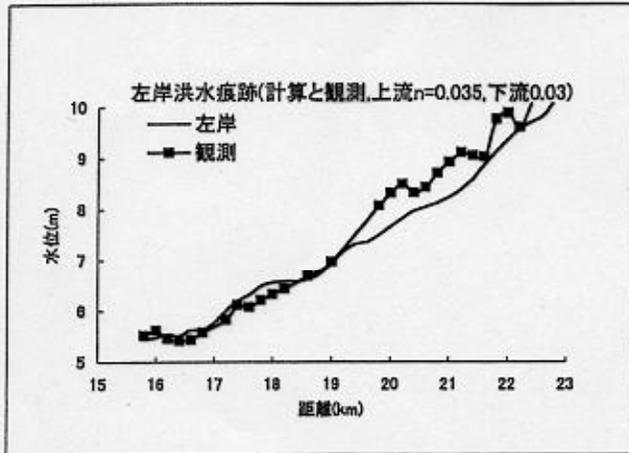
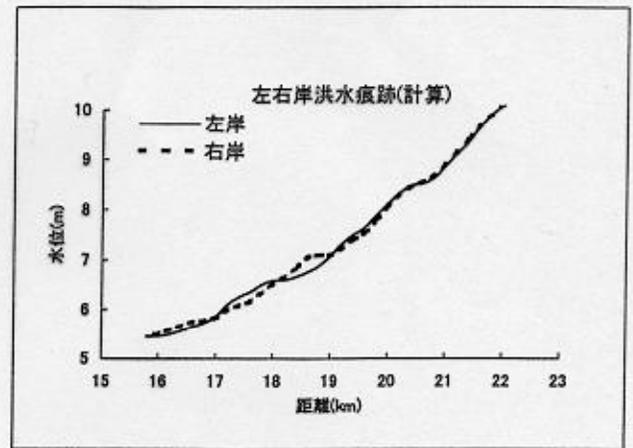
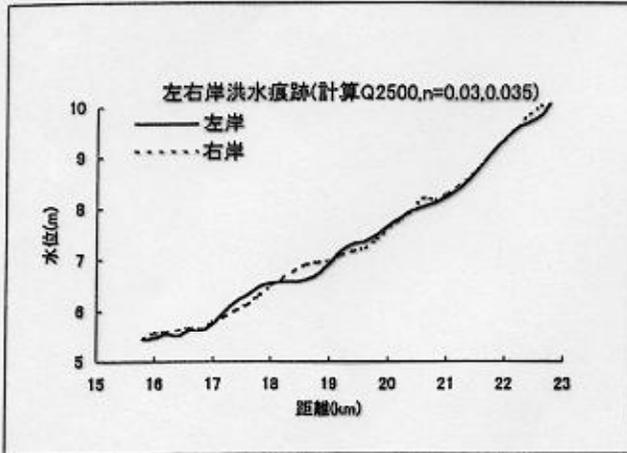


洪水痕跡と計算結果の比較

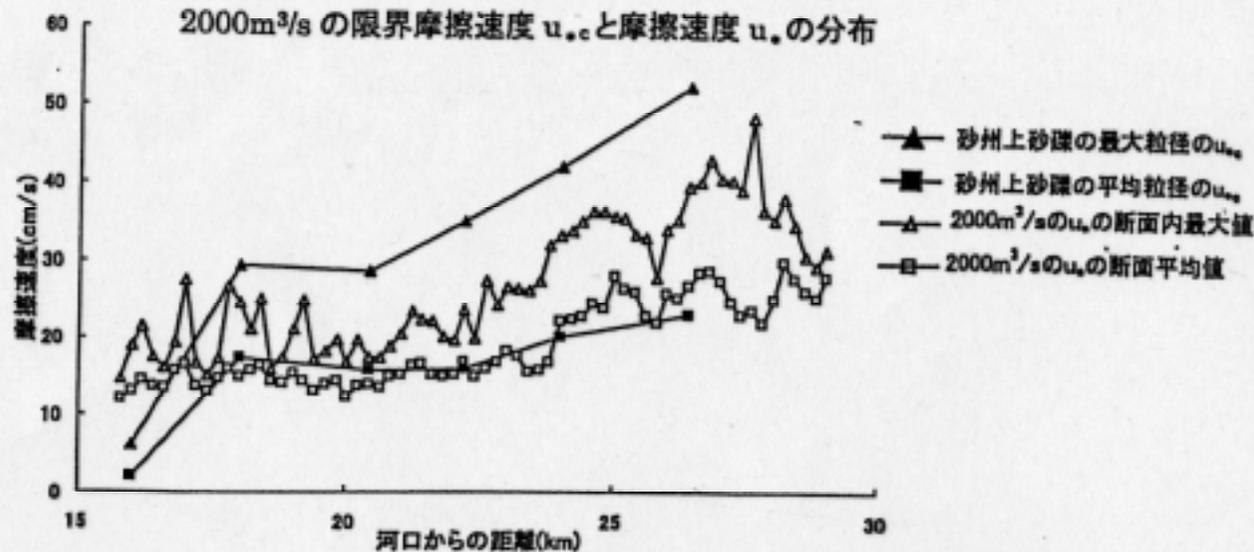
樹木抵抗を考慮した方が観測結果に適合しているように思われる。

樹木抵抗無視

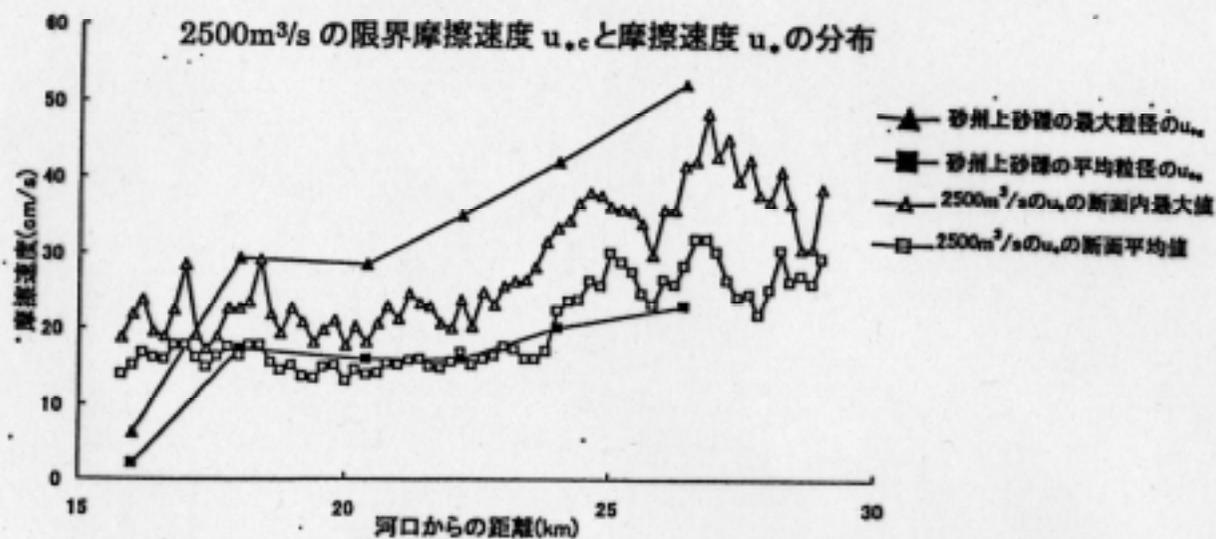
樹木抵抗考慮



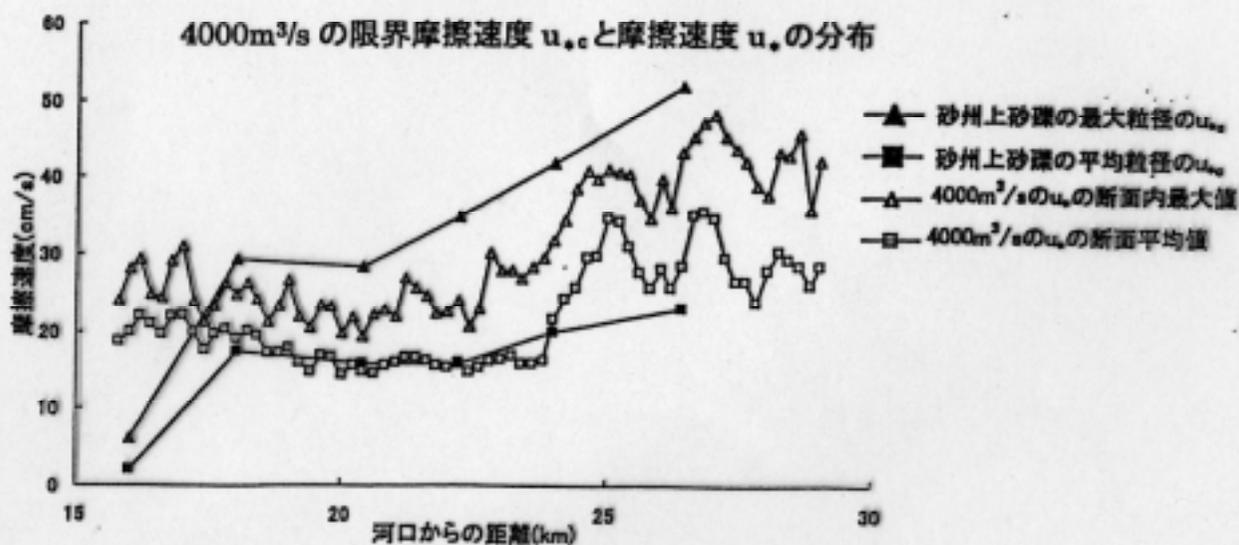
2000m³/s の限界摩擦速度 u_{*c} と摩擦速度 u_* の分布



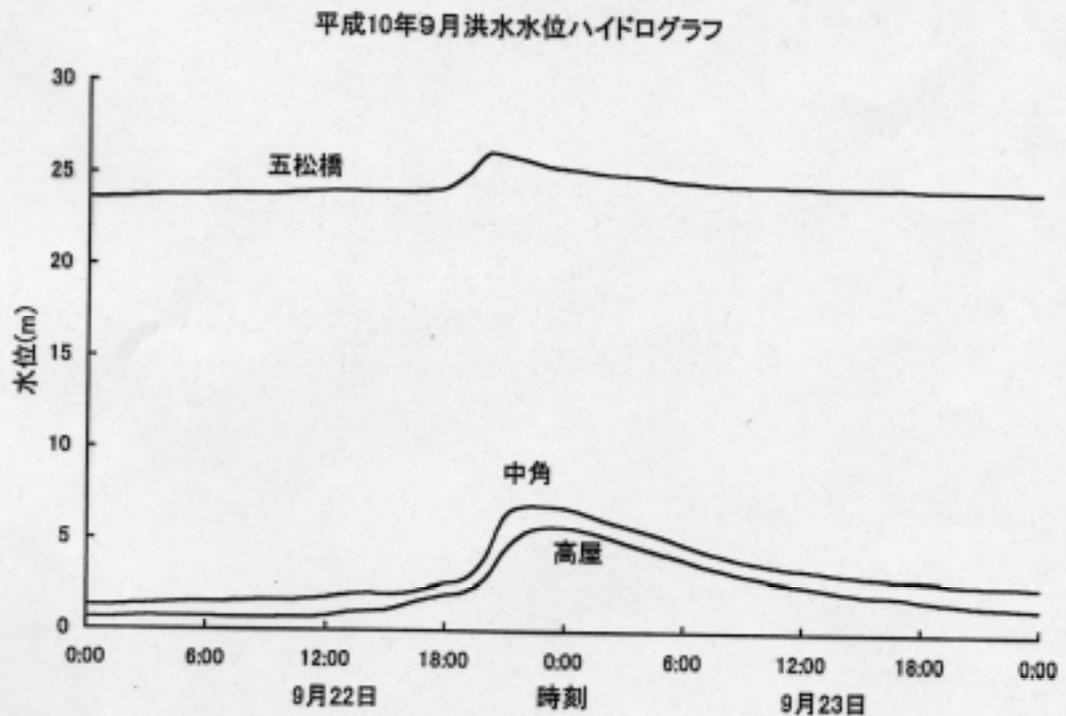
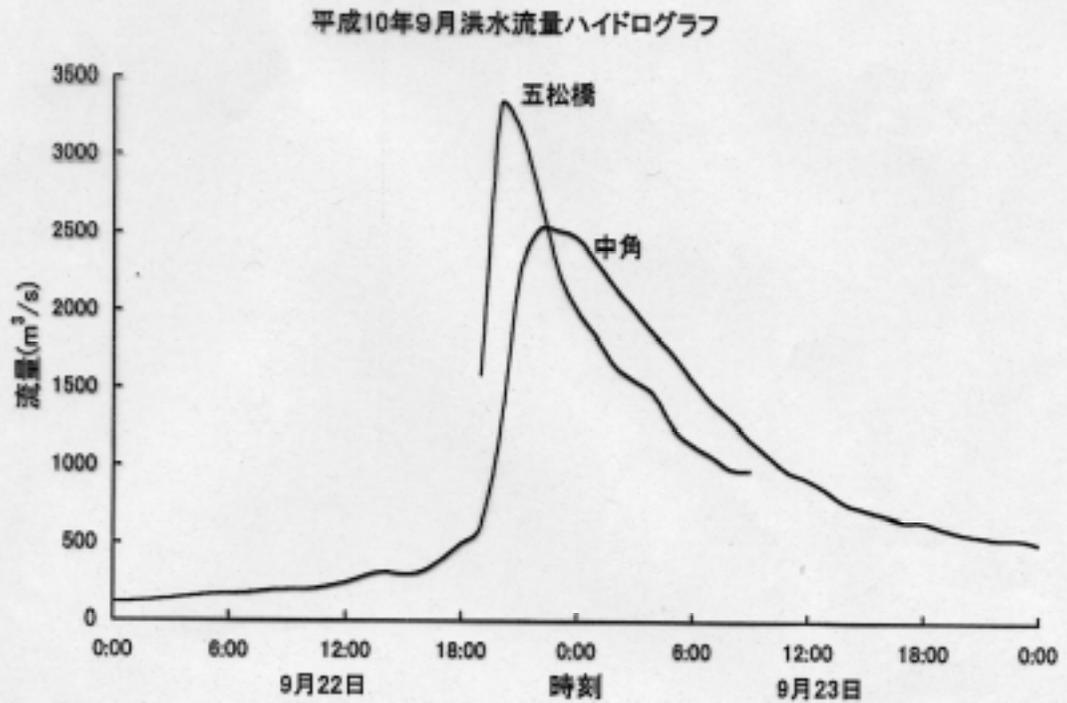
2500m³/s の限界摩擦速度 u_{*c} と摩擦速度 u_* の分布



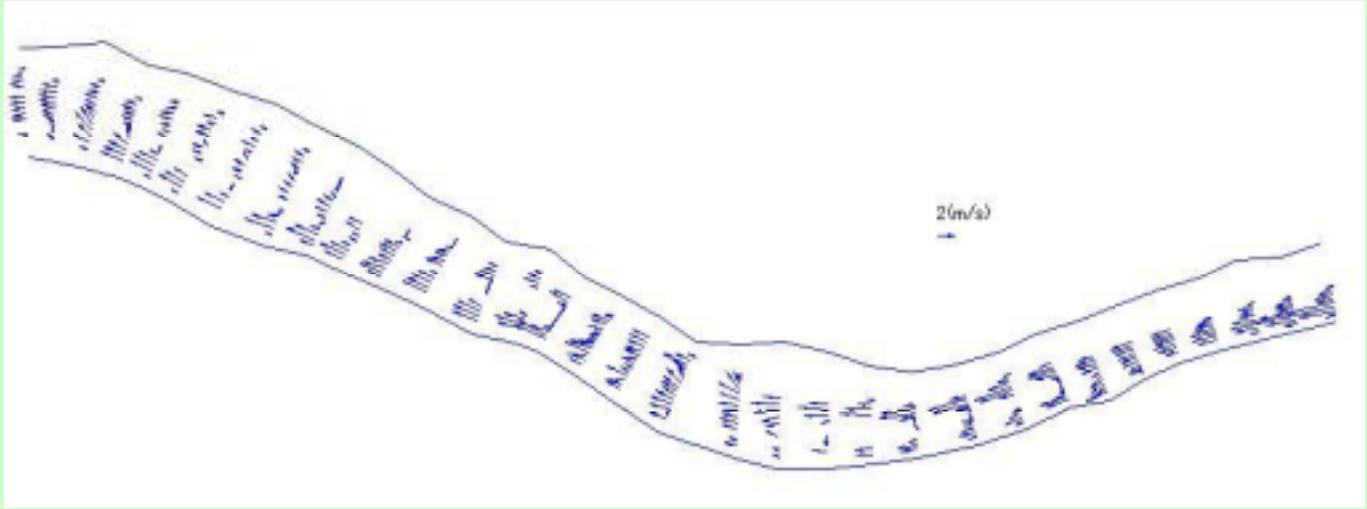
4000m³/s の限界摩擦速度 u_{*c} と摩擦速度 u_* の分布



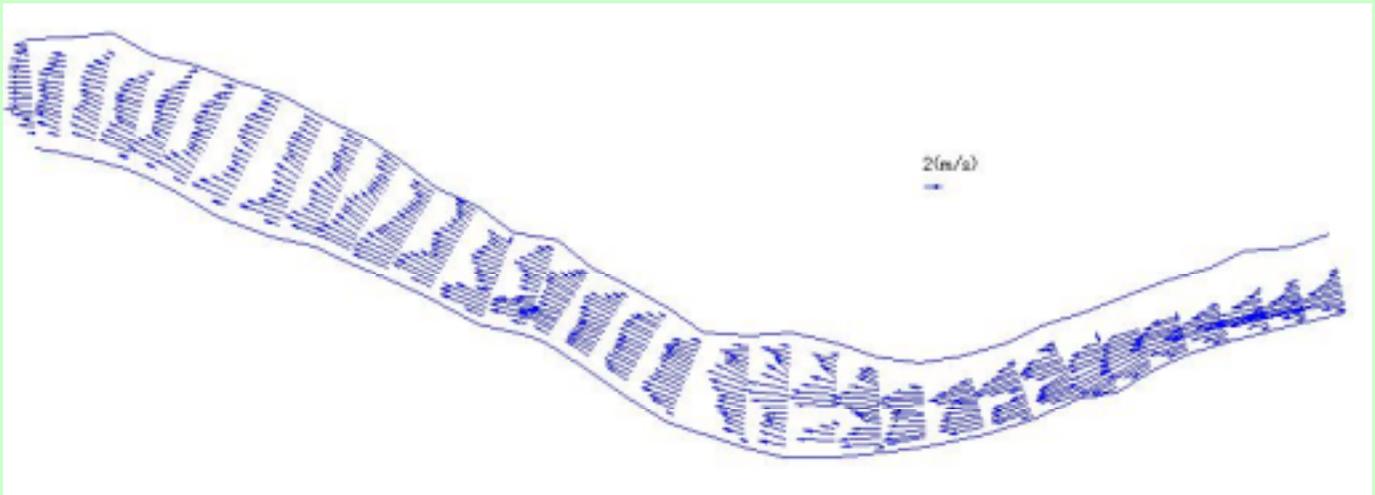
平成10年9月洪水の再現 観測ハイドログラフ



計算開始後
10時間

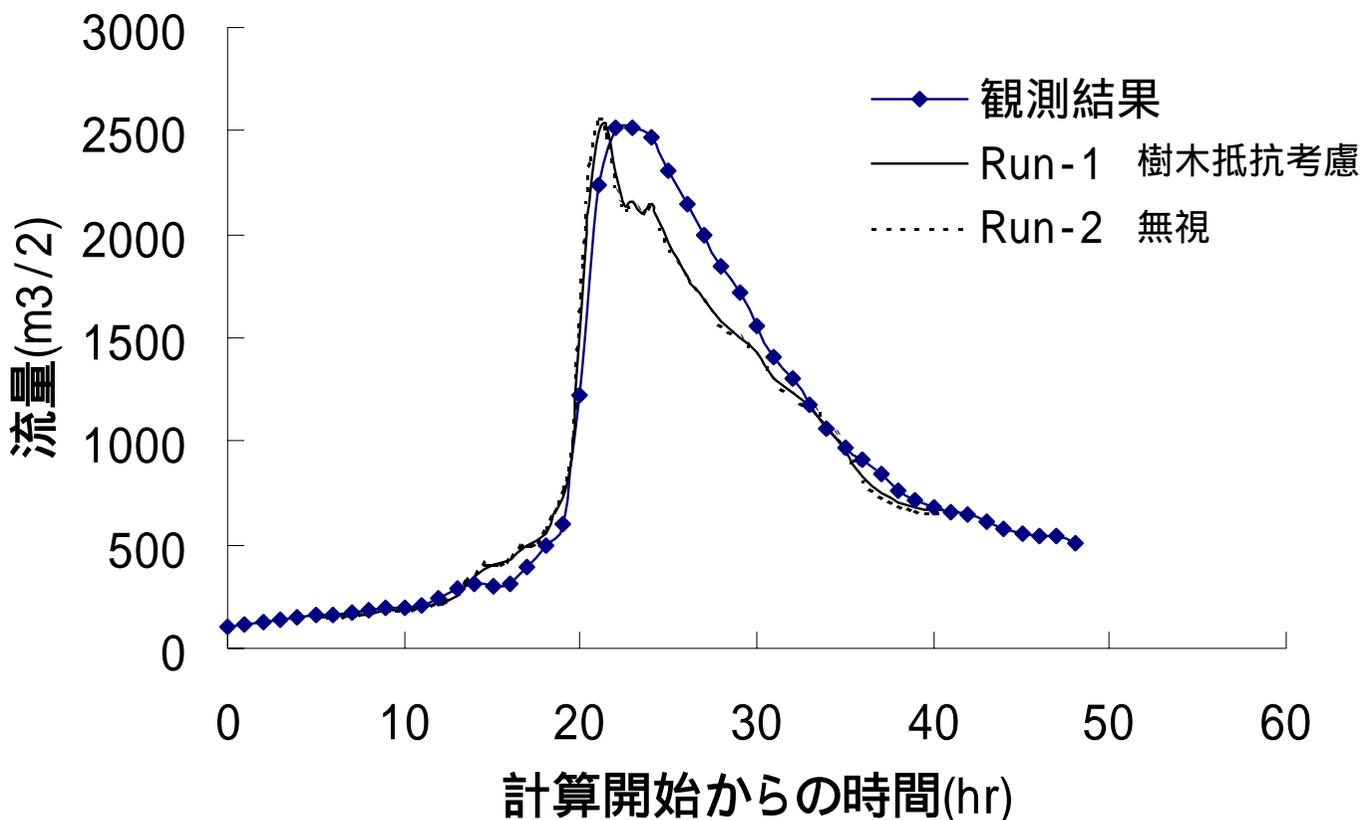


計算開始後
20時間



基準地点での流量ハイドログラフの比較

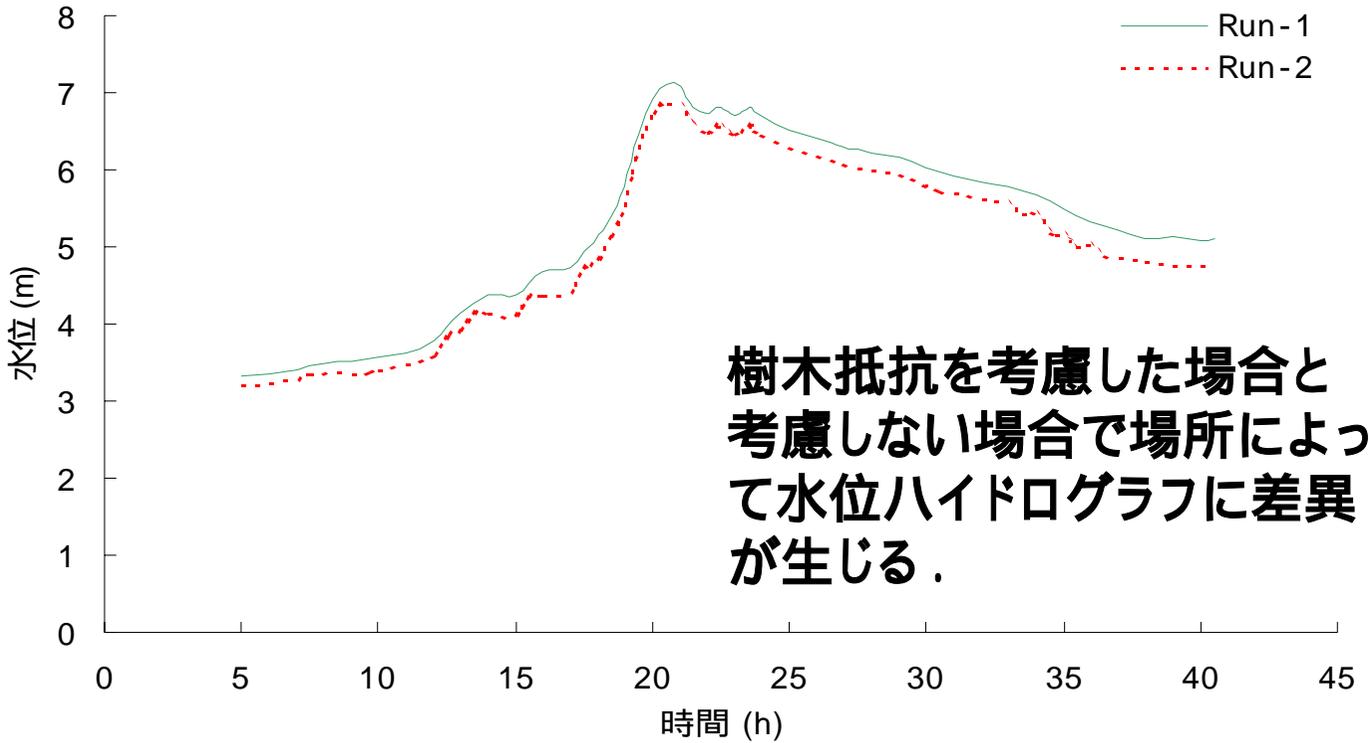
中角地点の流量ハイドログラフ



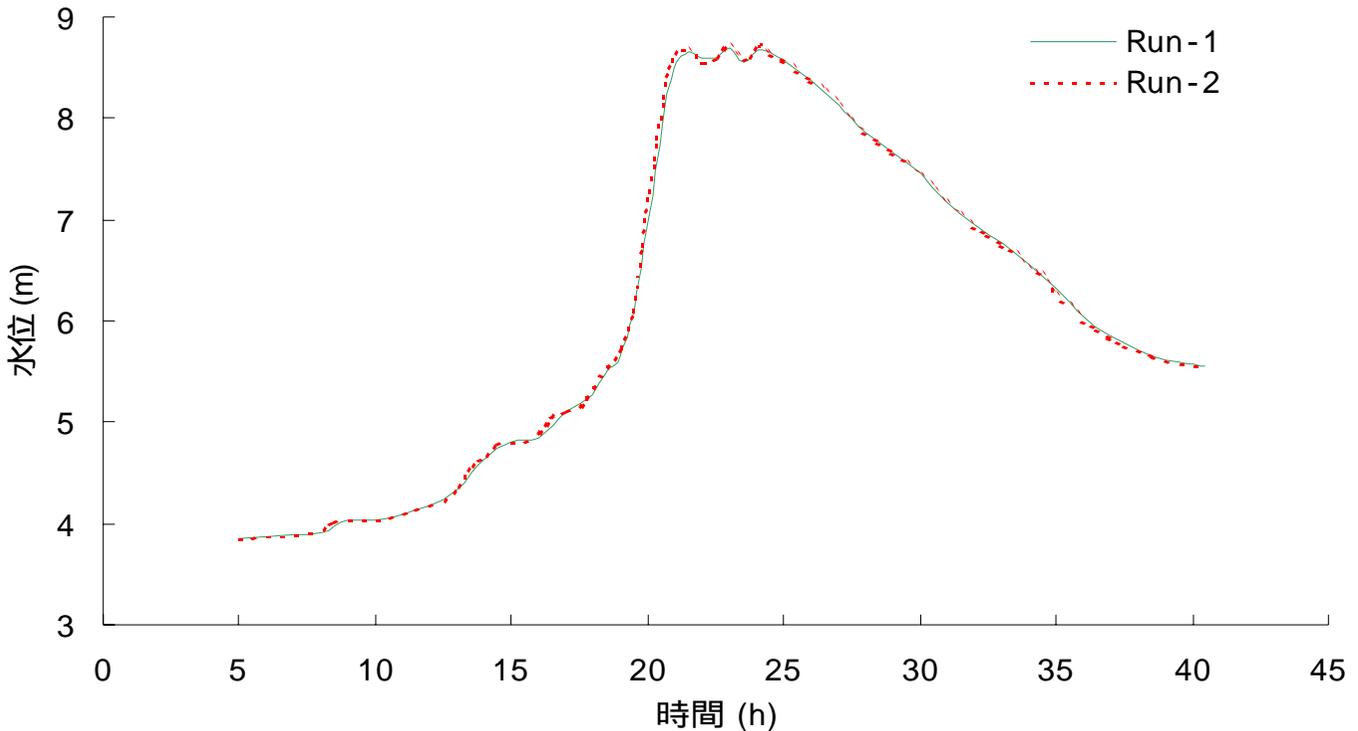
樹木抵抗を考慮した場合と
考慮しない場合で流量ハイド
ログラフに差異は少ない。

水位ハイドログラフの計算結果

福松大橋における洪水水位のハイドログラフ

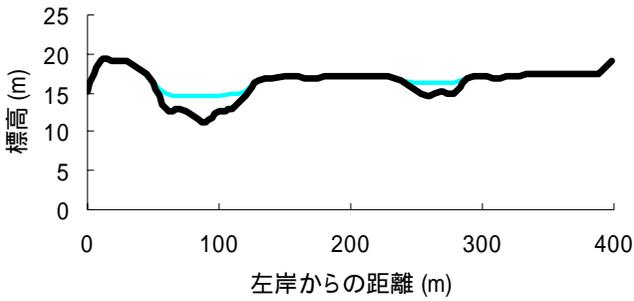


中角における洪水水位のハイドログラフ

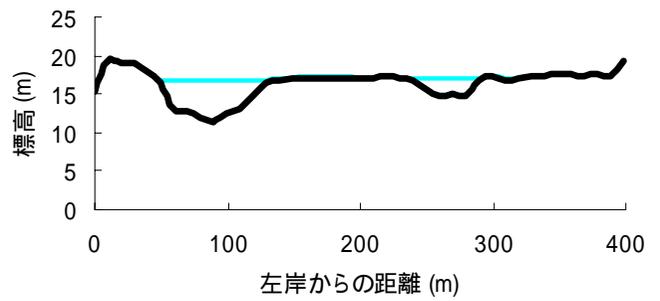


水位横断分布の時間変化(福松大橋付近)

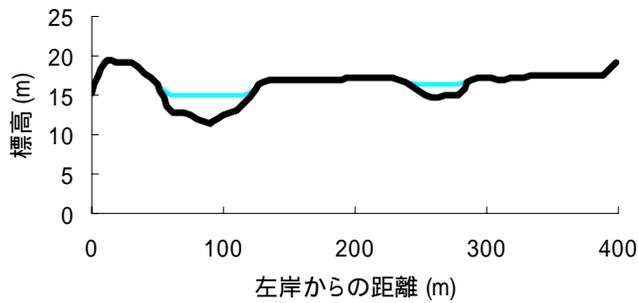
水位の横断分布 (t=18000s, Q=152.9m³/s)



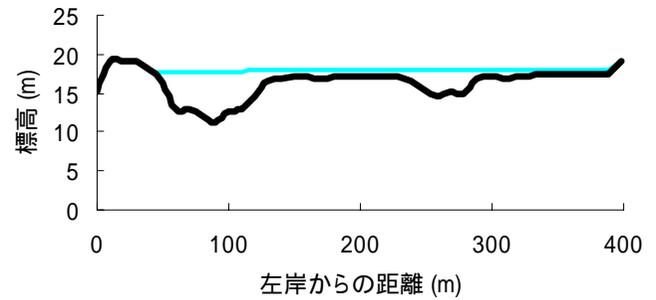
水位の横断分布 (t=66600s, Q=851.1m³/s)



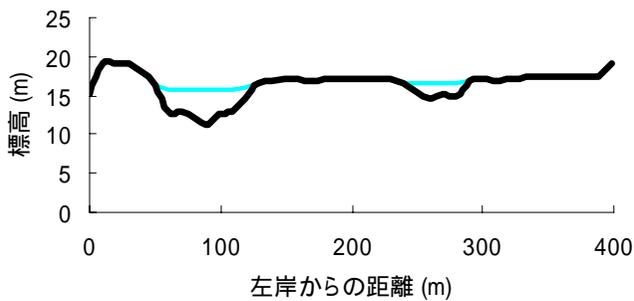
水位の横断分布 (t=36000s, Q=192.9m³/s)



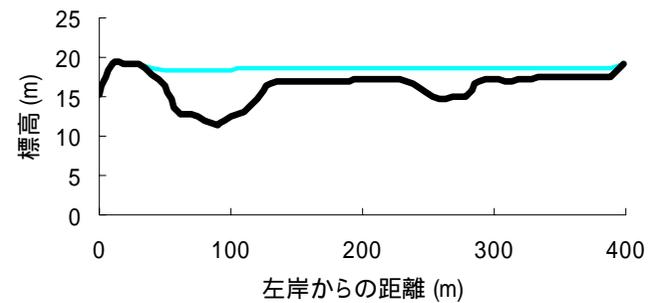
水位の横断分布 (t=70200s, Q=1787.6m³/s)



水位の横断分布 (t=54000s, Q=401.1m³/s)

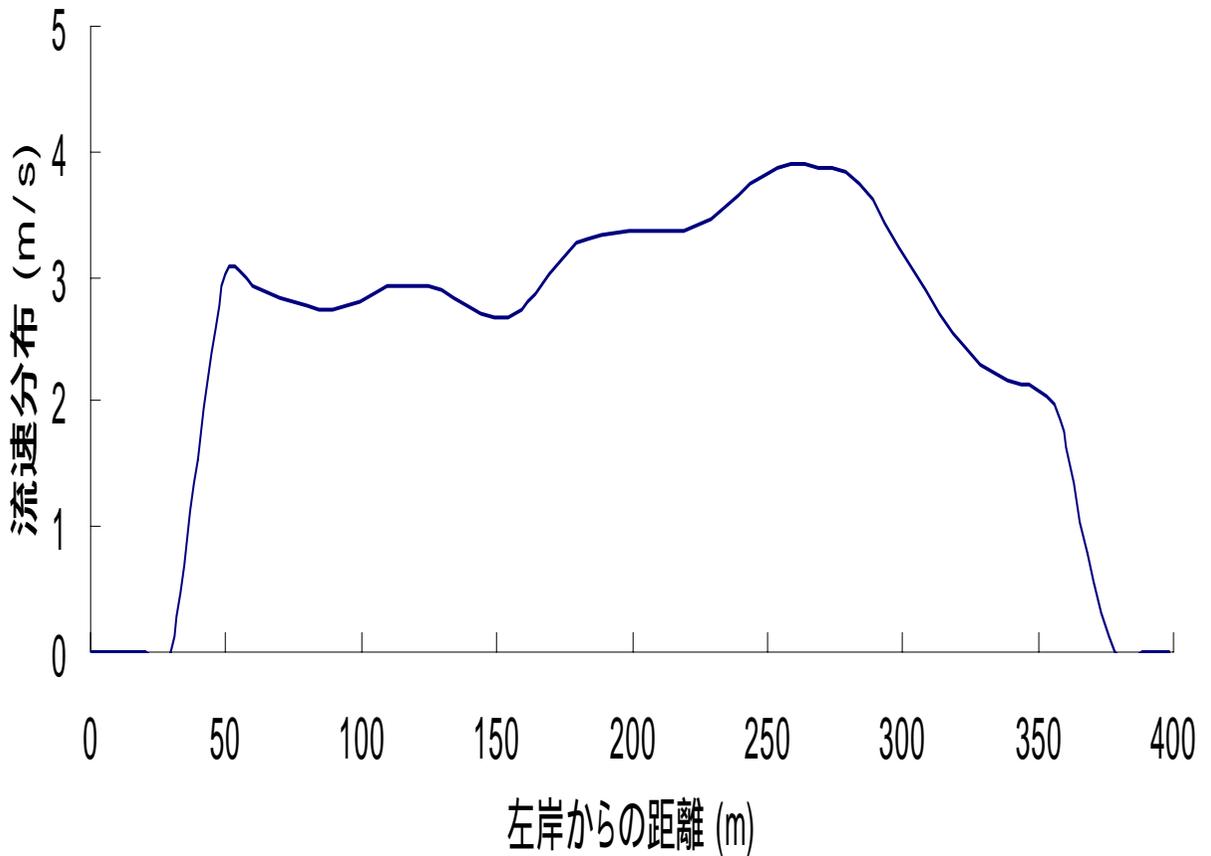


水位の横断分布 (t=73800s, Q=2656.5m³/s)



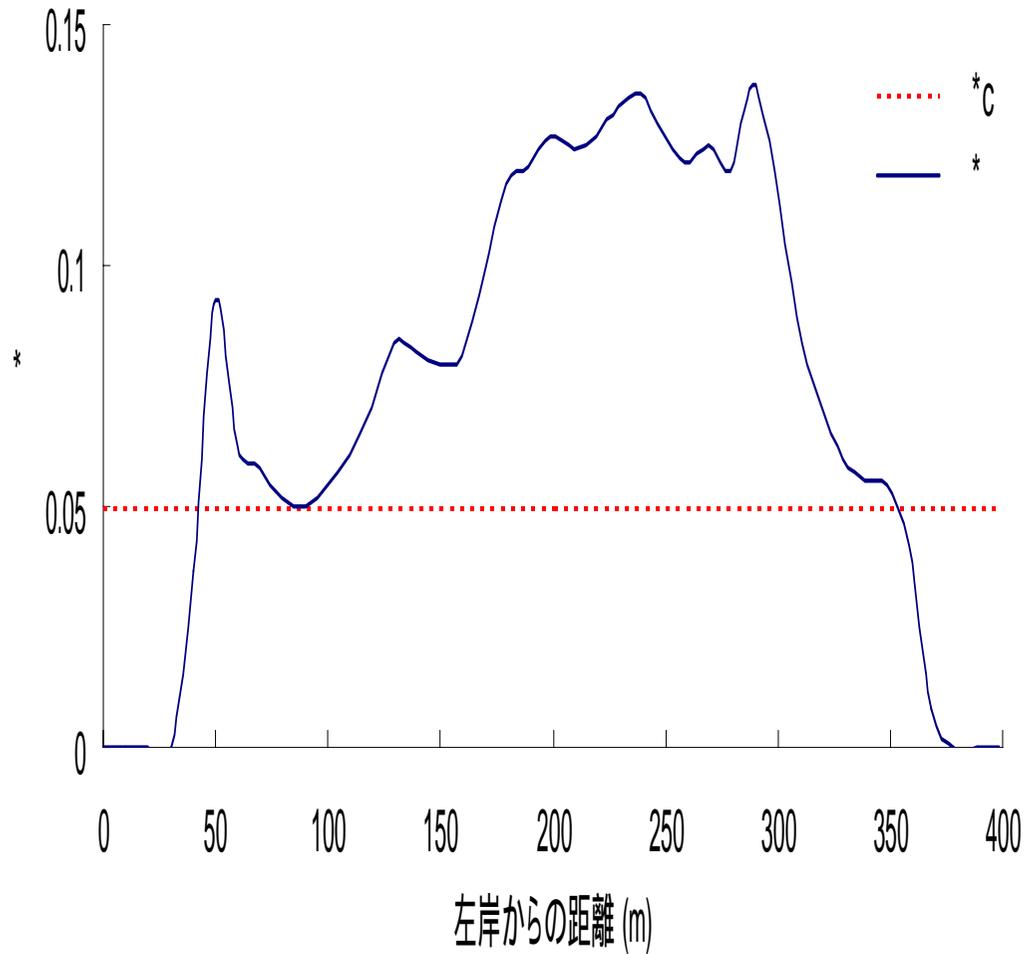
流速横断分布の時間変化(福松大橋付近)

流速の横断分布 ($t=73800\text{s}, Q=2656.5\text{m}^3/\text{s}$)



無次元掃流力の横断分布 (福松大橋付近)

無次元掃流力の横断分布 (t=73800, Q=2656.5)

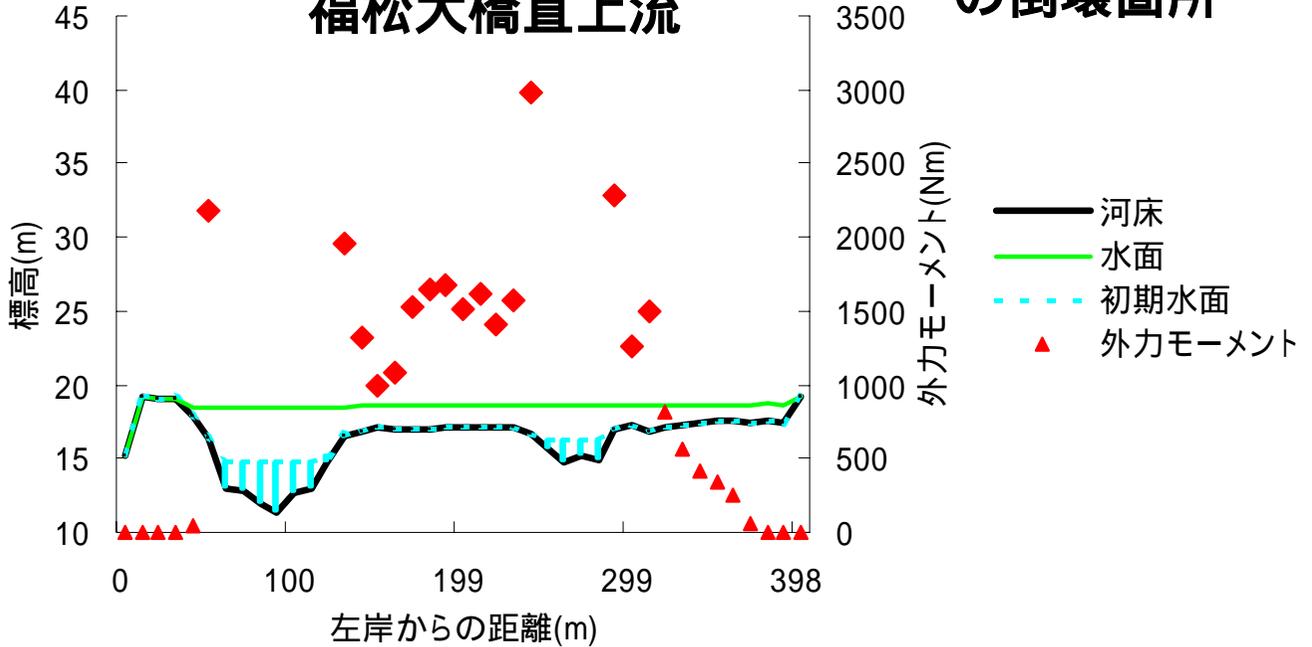


樹木に作用する転倒モーメント (ピーク流量時)

赤いひし形の記号の箇所が樹木の倒壊箇所

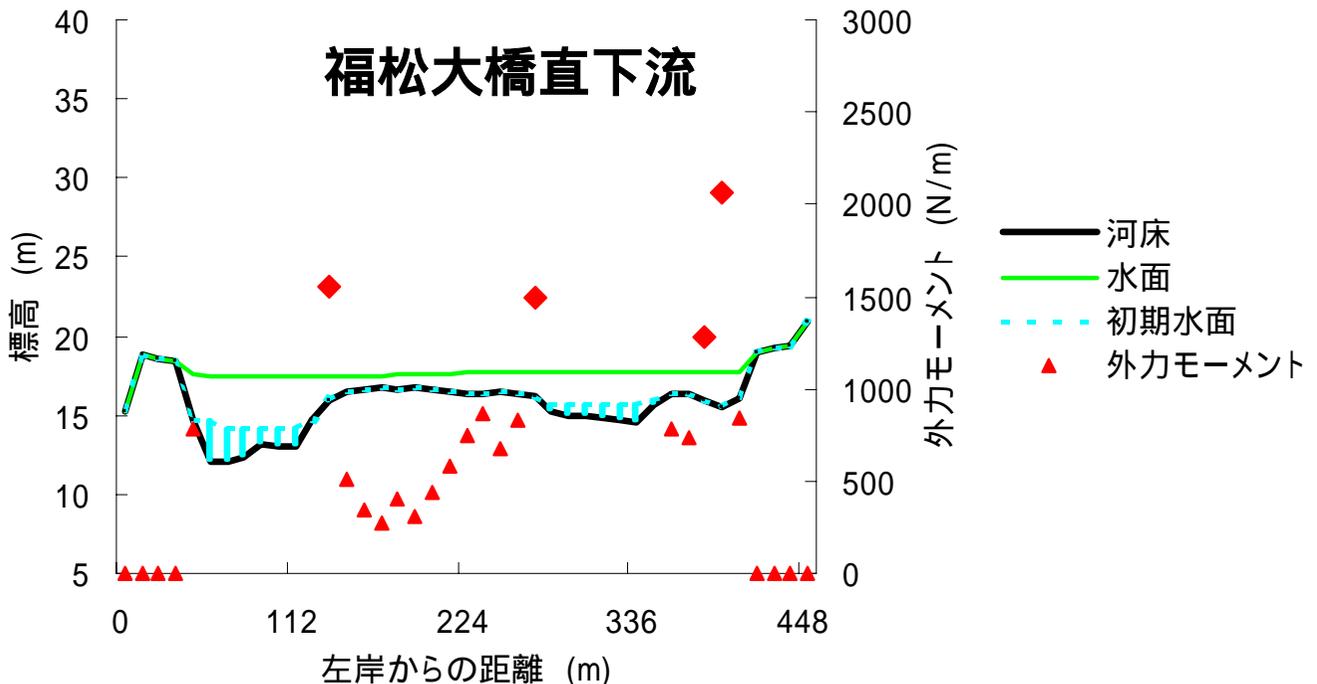
福松大橋付近 25.4km地点 (t=73800s, Q=2656.54m³/s)

福松大橋直上流



25.2km地点 (t=73800s, Q=2657.42m³/s)

福松大橋直下流



平成14年洪水後の状況

福松大橋直上流

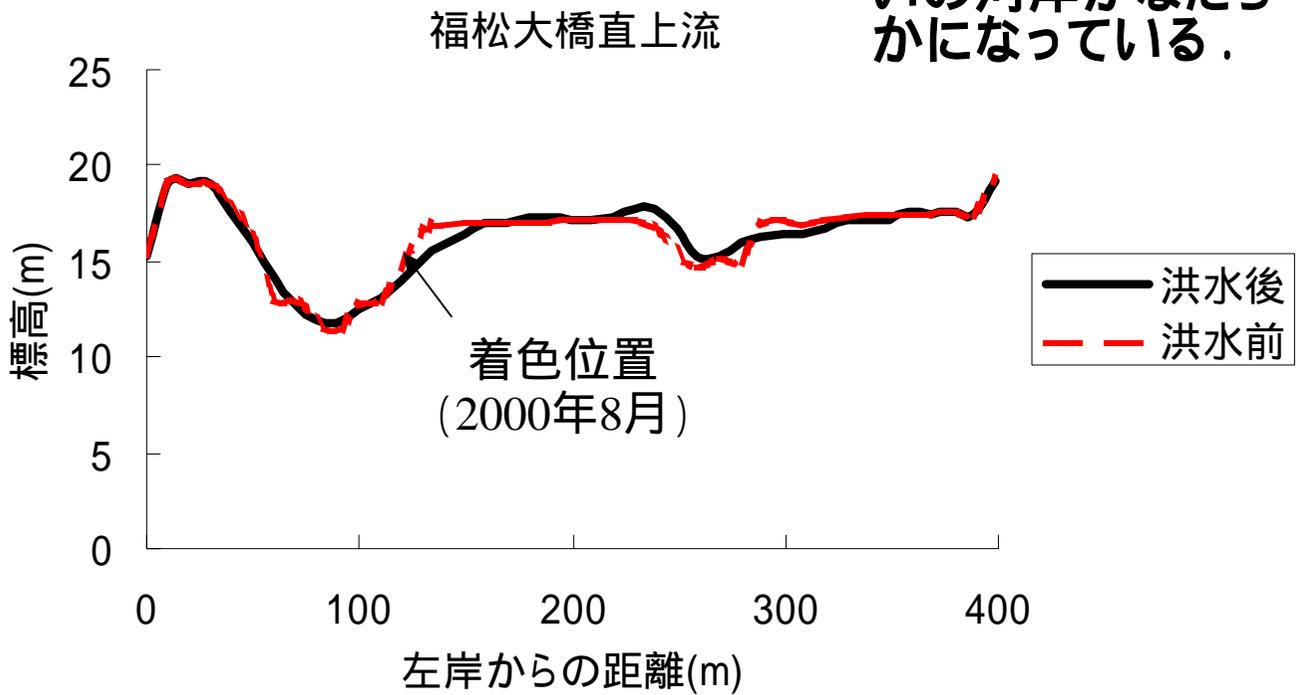


樹木の流失と倒壊の様子



福松大橋直上流における洪水前後の河床横断分布の変化(計算結果)

洪水後主流路沿いの河岸がなだらかになっている。



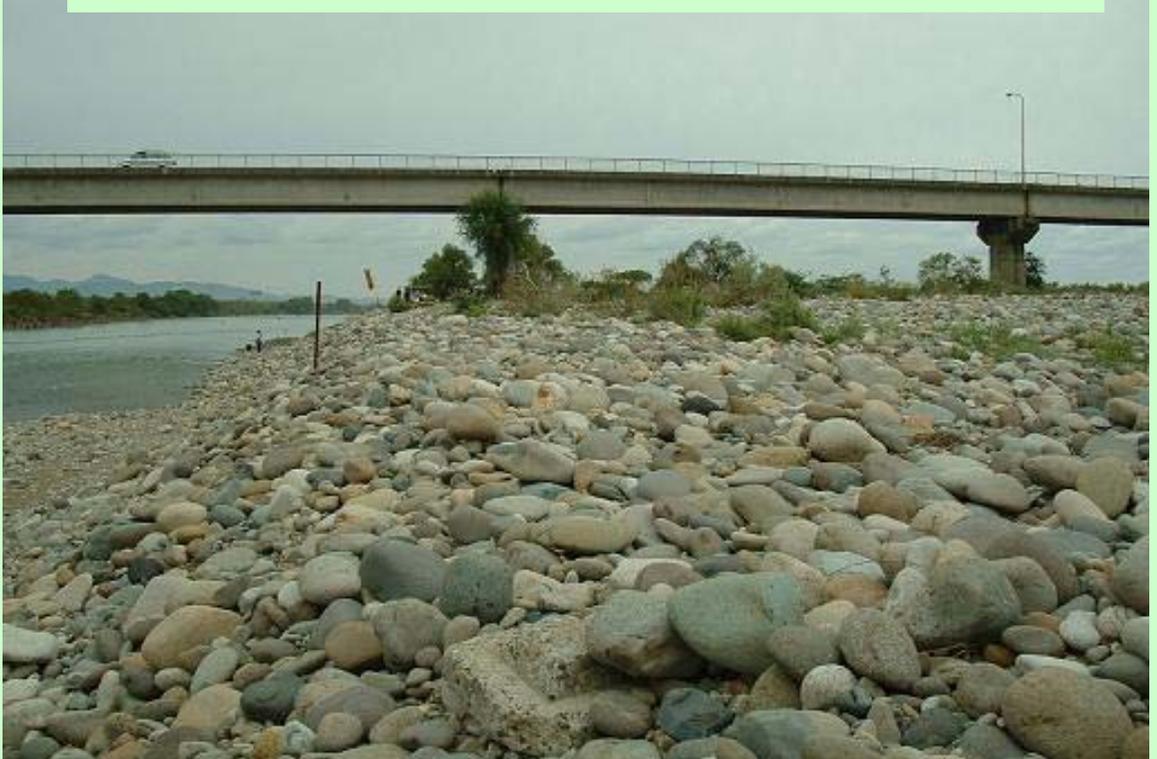
2000年8月に着色した砂礫は流失していた。



洪水後樹木がかなり流失している。



**計算結果のように洪水後河岸がなだらかに
なっている。**



福松大橋直下流の洪水後の状況

計算結果と同様に冠水したが植生の状況にほとんど変化は見られない。



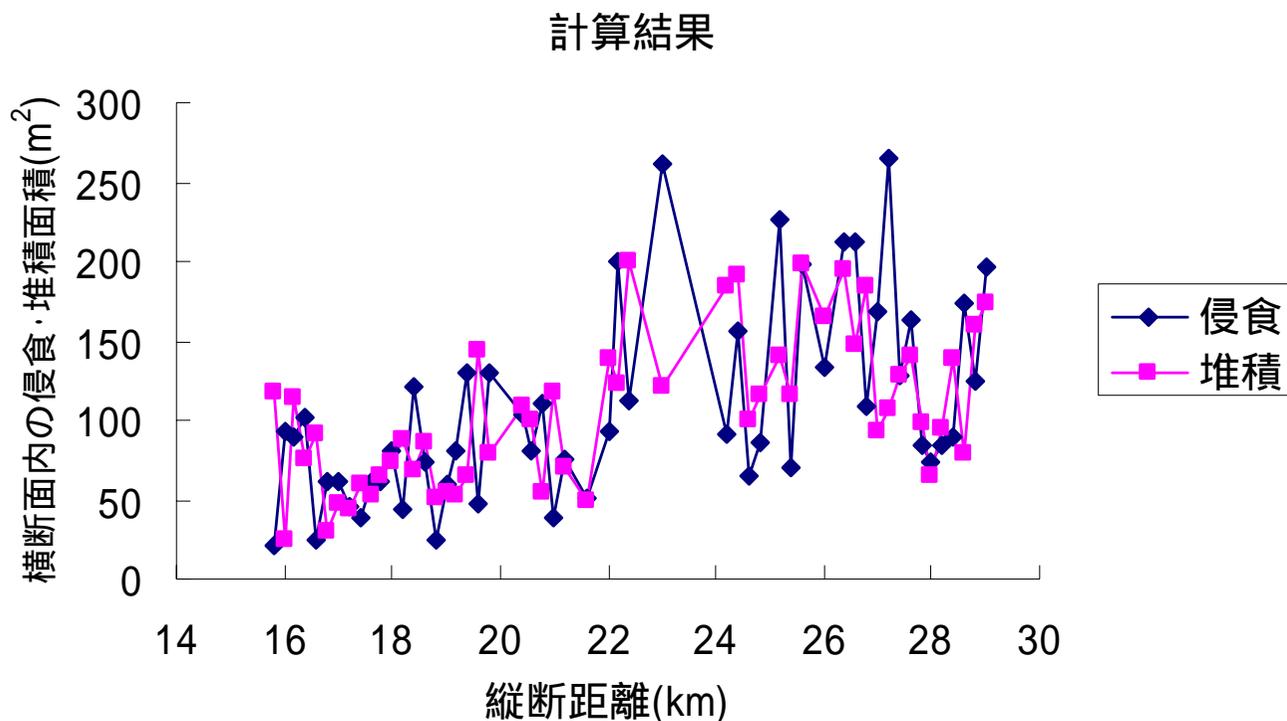
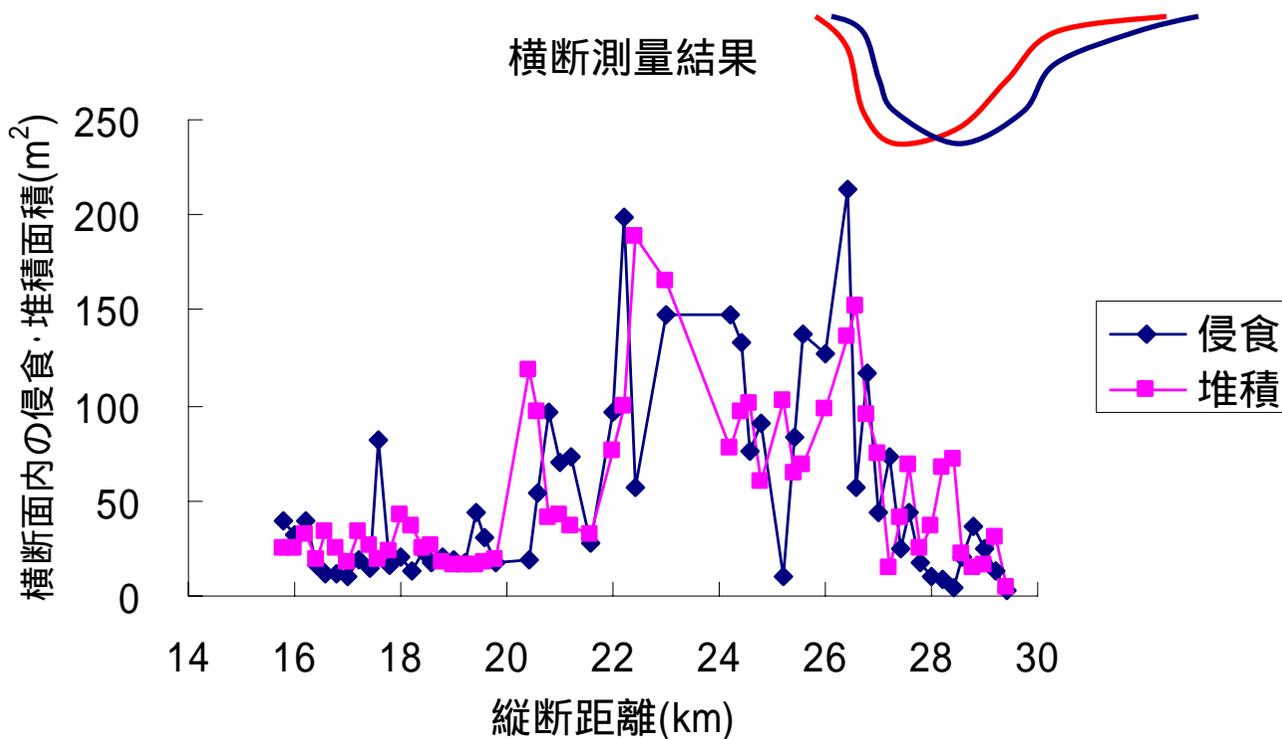
ここまで釣り人に便宜を図る必要があるのだろうか？



福松大橋直下流左岸の洪水後の状況

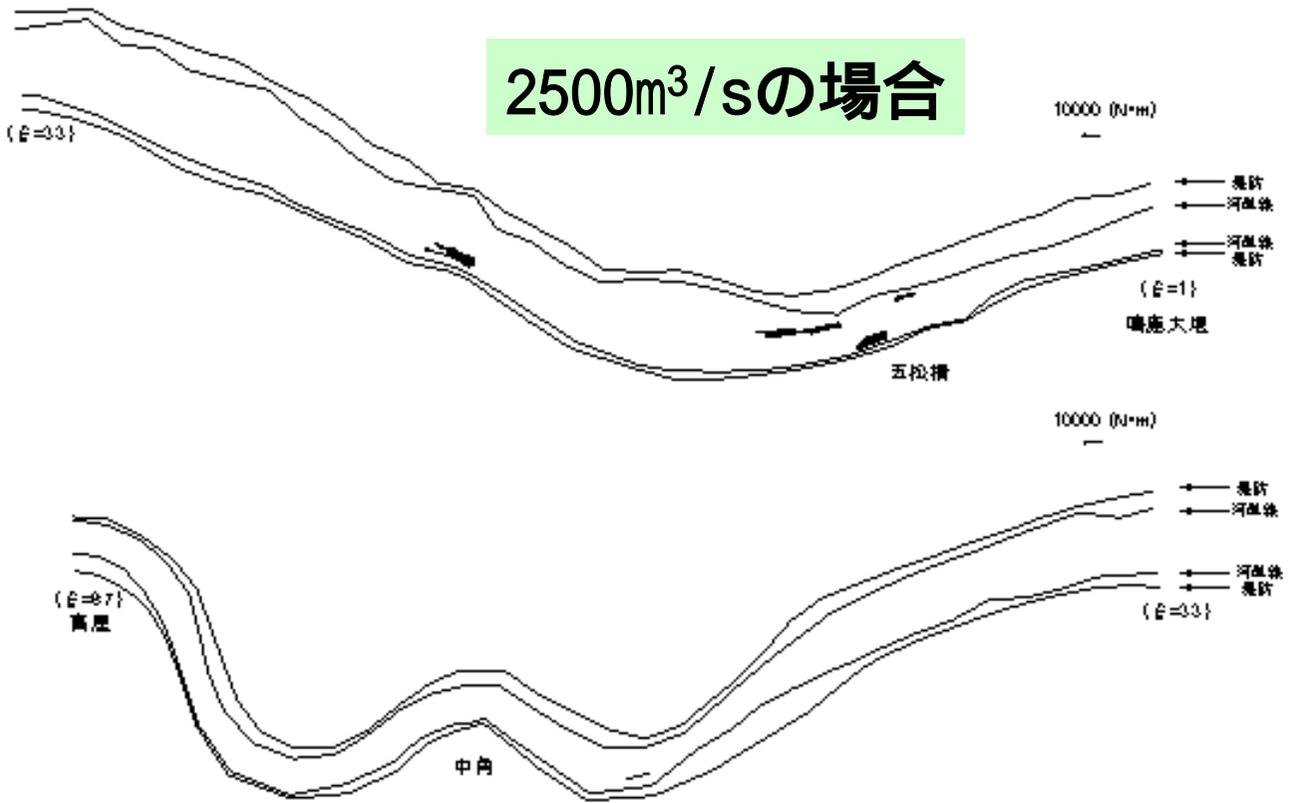


平成9年度と平成10年度の横断測量結果による 断面の堆積・侵食面積の縦断分布 (この間に平成10年9月洪水が生じている。)

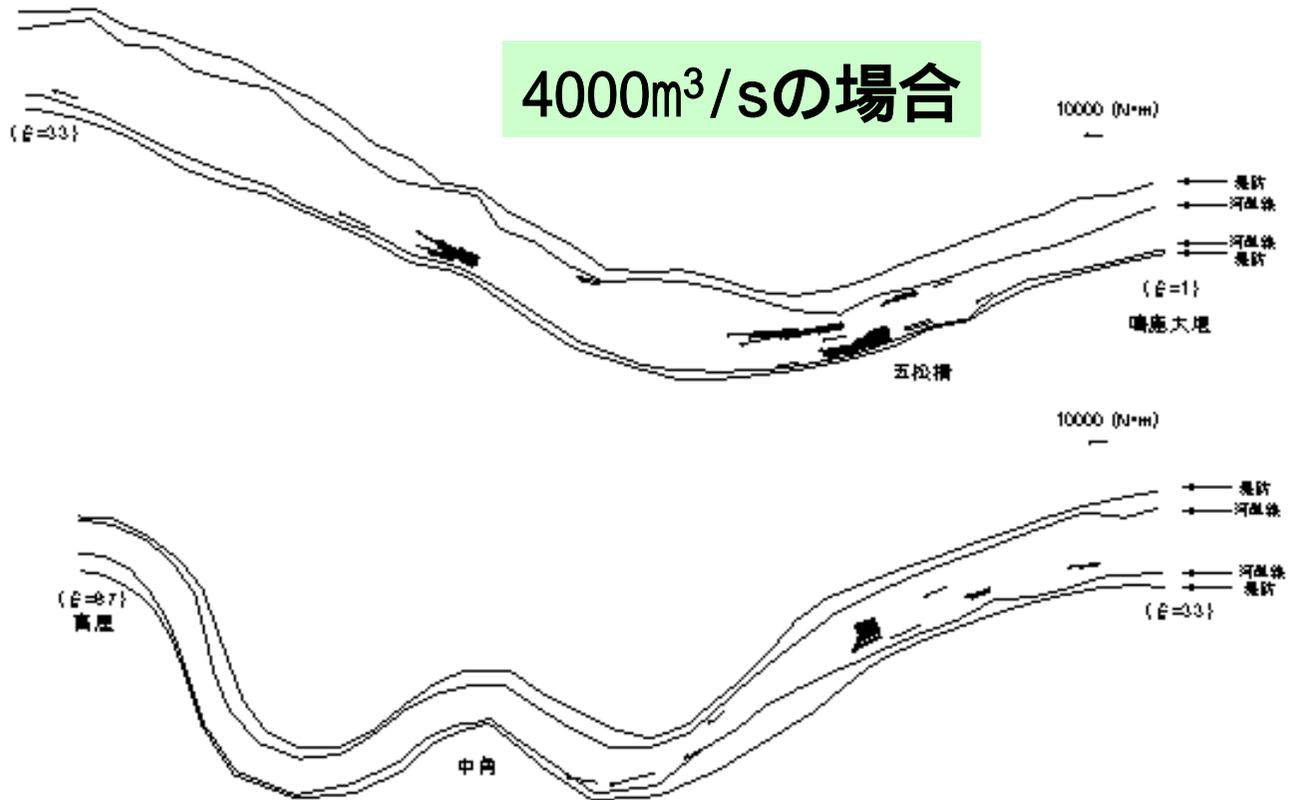


ピーク流量 $2500\text{m}^3/\text{s}$ と $4000\text{m}^3/\text{s}$ の場合での樹木が転倒する領域の比較

2500 m^3/s の場合



4000 m^3/s の場合



4 . 福井平野における河川景観の 変遷

田中文書へ

5.まとめ

本研究では、九頭竜川の鳴鹿大堰地点から日野川との合流地点間を対象に、持続可能な河川管理に関わる基本的な事項について考察した。

フジバカマのモニタリングを通して、最低限の管理項目として、「河川管理者自身による希少種のモニタリング」の必要性を指摘した。

（河川管理者は水辺の国勢調査結果を見たことがあるのだろうか？）

動的平衡に基づく河川の持続可能な管理のための持続可能流量を設定するための平面2次元洪水流・河床変動解析を行うとともに、若干の検証を試みた。

九頭竜川では中角地点で $2,500\text{m}^3/\text{s}$ 程度のピーク流量では植生の遷移が進行するため、ピーク流量を増加させる必要性が指摘された。

ただし、対象区間内にも河岸侵食に対する危険箇所が存在するため、ダム操作の変更による流量の増加は慎重に行わなければならない。

