



国立大学法人

岐阜大学

平成30年11月6日 第16回「川の自然再生」セミナー
@月島社会教育会館(東京都中央区)



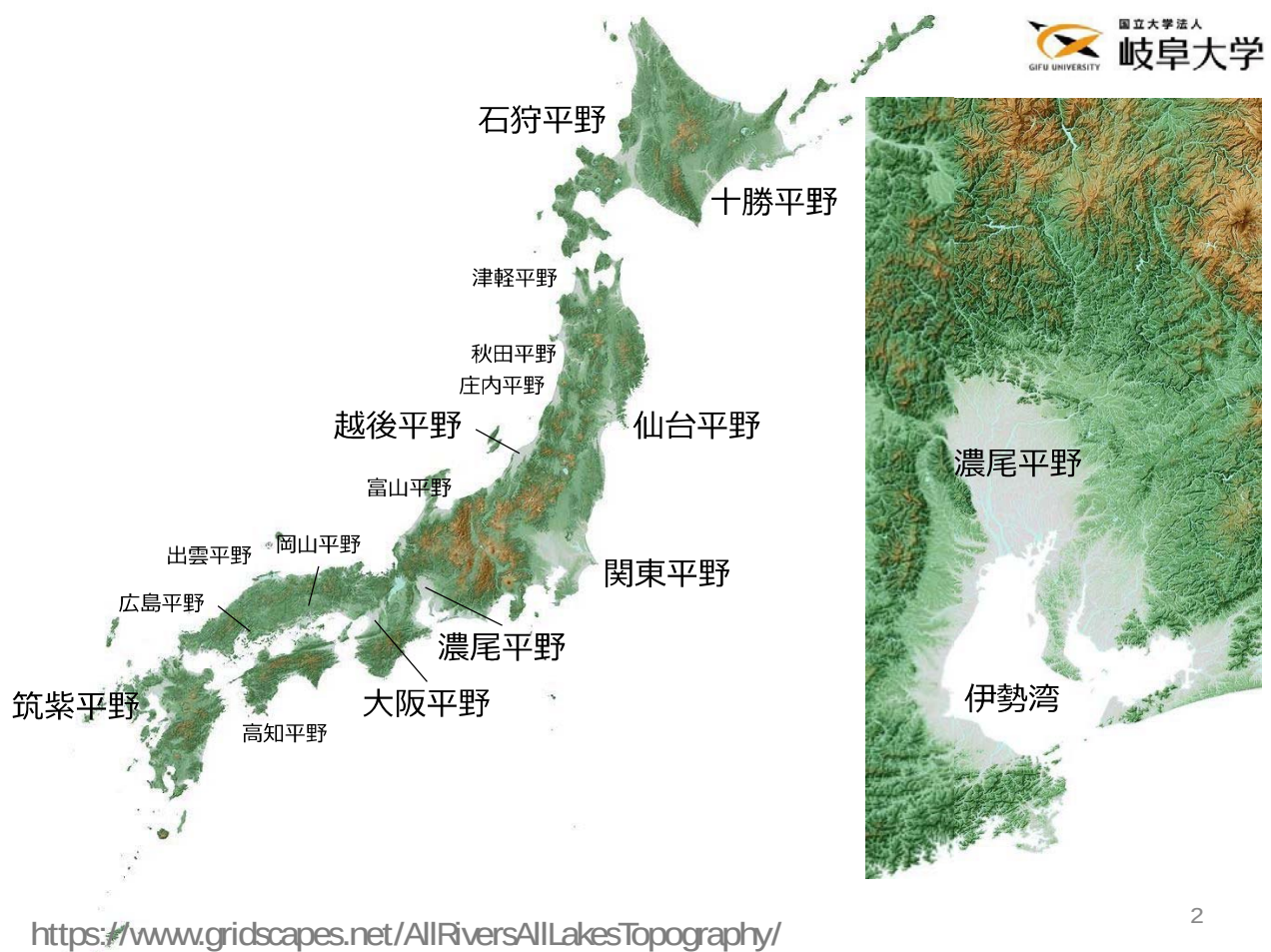
テーマ：河道掘削と断面設定の工夫

【講演8】 自然堤防帯河道における 高水敷掘削後の土砂堆積に流域特性が及ぼす影響

岐阜大学 流域圏科学研究センター 原田守啓

本研究の一部は、河川砂防技術研究開発助成地域課題「平成29年度 高水敷掘削後の再堆積過程に流送土砂の粒度組成と流況が与える影響に関する研究(代表:原田守啓)」によるもので、木曽川上流河川事務所調査課の皆様にご感謝申し上げます。

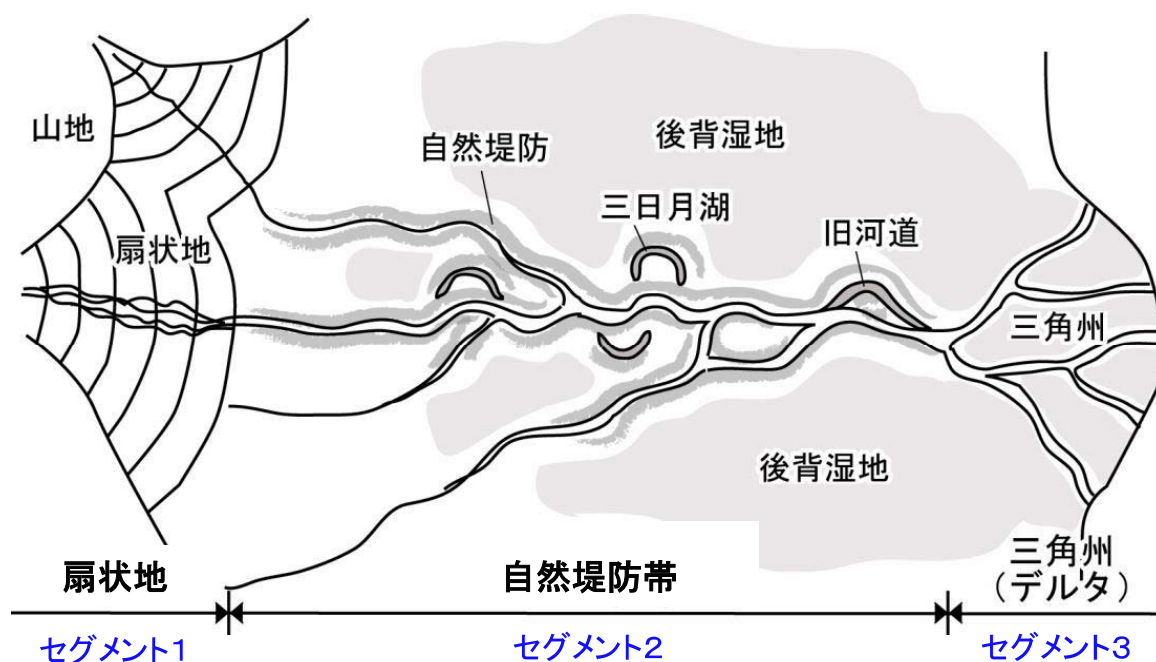
1



2



沖積平野の地形区分



3



山間地

谷底平野

扇状地

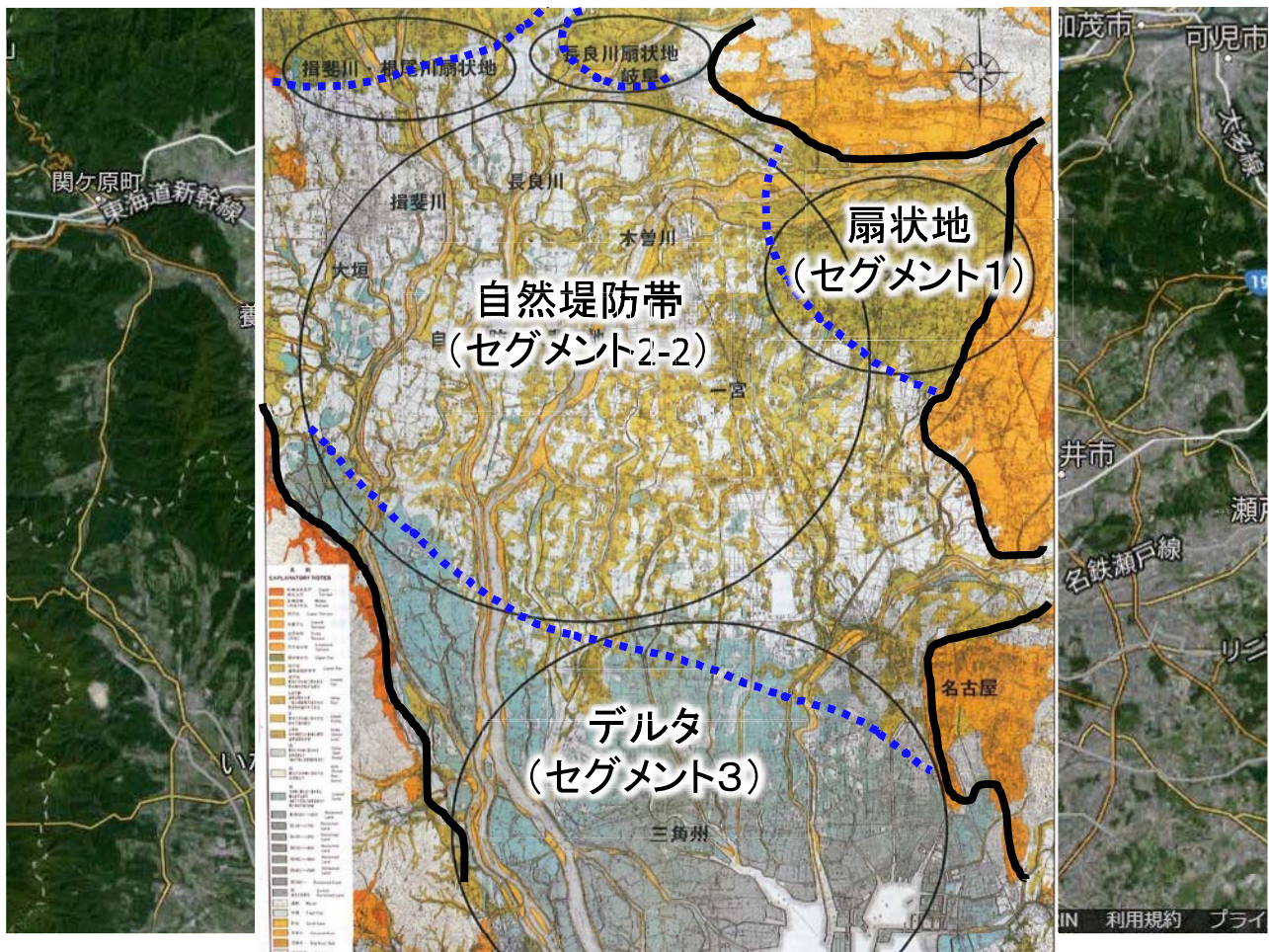
自然堤防帯

デルタ(三角州)

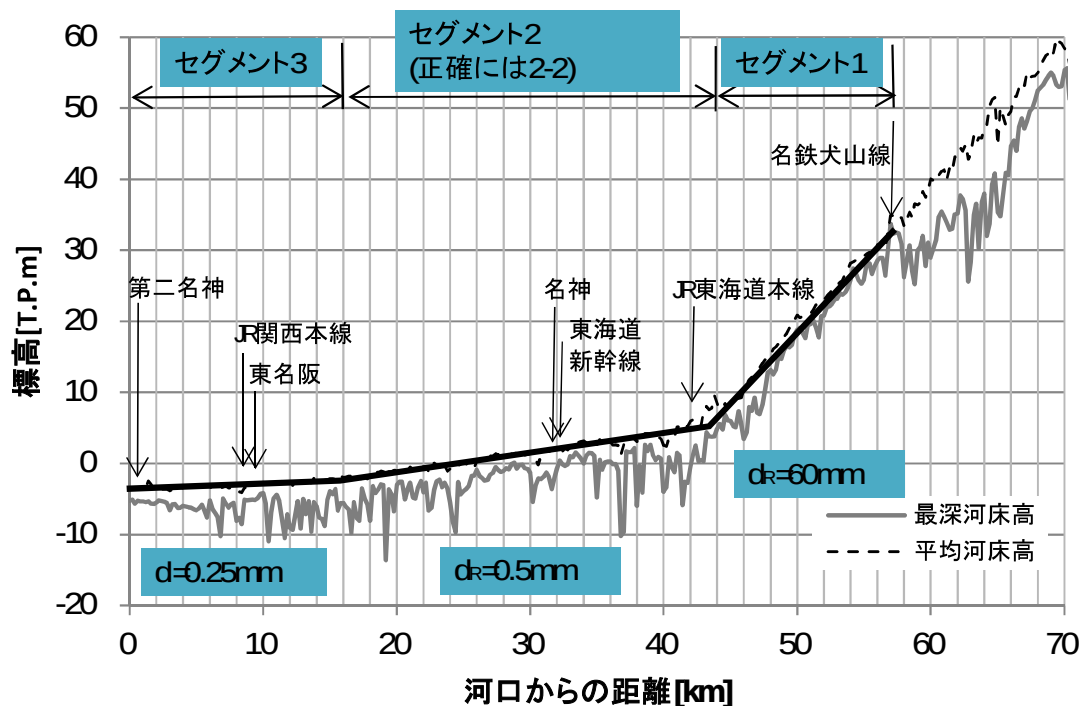
セグメント区分とその特徴

項目と区分	セグメント M	セグメント 1	セグメント 2		セグメント 3
			2-1	2-2	
地形区分	← 山間地 →	← 扇状地 →	← 谷底平野 →		← デルタ →
河床材料のd	様々	2cm 以上	3cm～1cm	1cm～0.3mm	0.3mm 以下
河岸構成物質	河床河岸に岩が出ていることが多い。	表層に砂、シルトが乗ることがあるが薄く、河床材料と同一物質が占める	下層は河床材料と同一、細砂、シルト、粘土の混合物		シルト・粘土
勾配の目安	様々	1/60～1/400	1/400～1/5000	1/5000～水平	
蛇行程度	様々	曲りが少ない	蛇行が激しいが、川幅水深比が大きい所では8字蛇行または島の発生		蛇行が大きいものもあるが小さいものもある
河岸侵食程度	非常に激しい	非常に激しい	中、河床材料が大きいほうが水路はよく動く		弱、ほとんど水路の位置は動かない
低水路の平均深さ	様々	0.5～3m	2～8m		3～8m

出典：沖積河川学



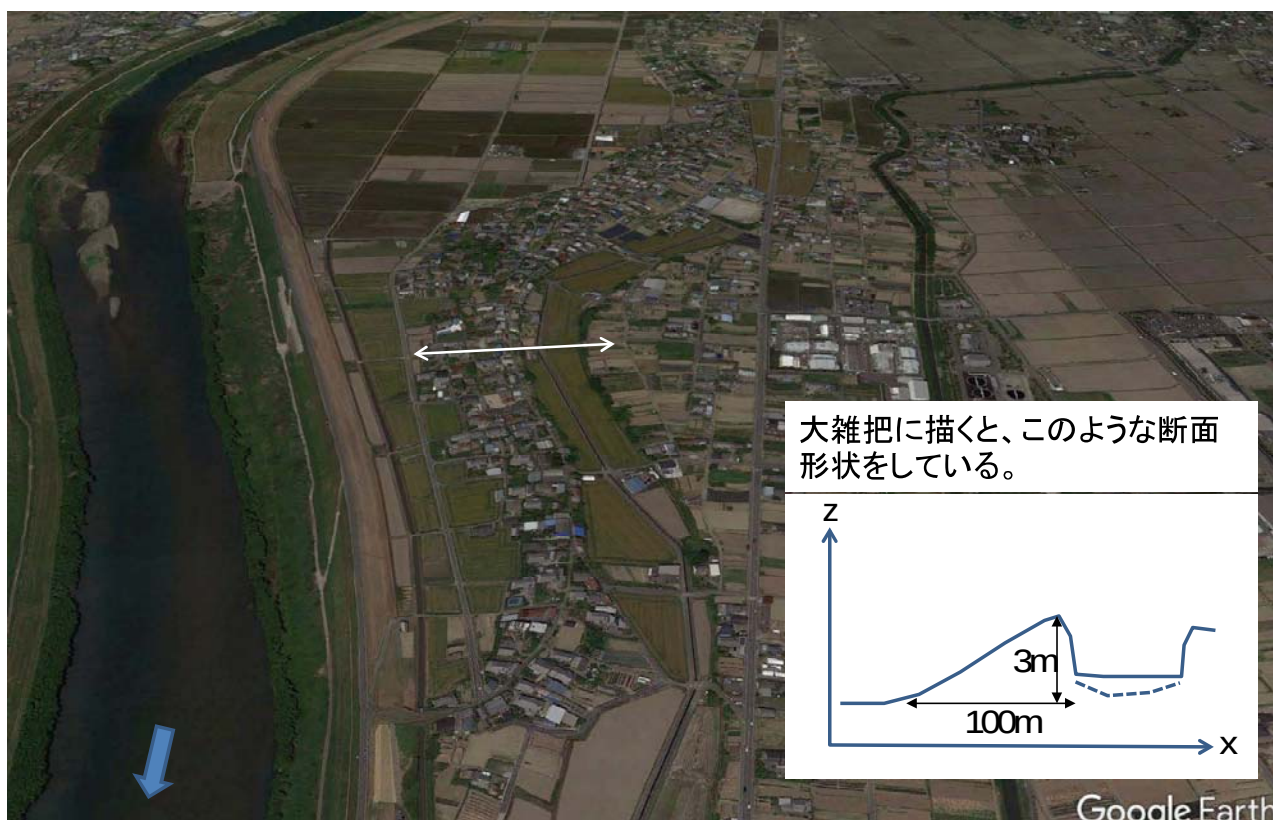
木曽川の縦断勾配と地形区分



細かく見ていくと、セグメント内で、支川合流点などを境にして、勾配や河床材料が変化していることも。⇒小セグメントという。



揖斐川旧河道の自然堤防（安八郡）



世界各地で調べられた 原生的な自然堤防帯河川の満杯頻度



- ① 1.07~1.9年 ⇒ 1.5年に一度程度
(20河川の bankfull discharge、主にインディアナ州、Leopold et al. 1964)
※温暖大陸性気候or温暖湿潤気候 1000mm/y程度
- ② “Middle” Bench 1.02-1.21年, “High” Bench 1.24-2.69年
(24地点、オーストラリアニューサウスウェールズ州、Woodyer 1968)
※内陸ほど乾燥。数百mm/y程度
- ③ 1-2 years flood but less frequent flooding downstream
(イギリス南部の流況に特徴のある3河川 Harvey 1969)
- ④ 土砂輸送が最も効果的な流量は1.1-1.5年 on the annual series.
Bank fullの発生頻度はもっと低く、4-10年 on the annual series.
(イギリス南部のCumberland Basin, Pickup 1976)
(イギリス南部のCumberland Basinの4河川, Pickup & Warner 1976)
※西岸海洋性気候 数百mm/y程度
- ⑤ Ta 1.25-1.75年に50%の地点が入った。(Yampa R.)
しかし結構幅がある。
(Wyoming州とColorado州, Little Snake R.とYampa R.の計15地点, Colorado & Wyoming Andrews 1976)
- ⑥ 小流域で約0.5年 Tp(partial durationで)
大きな流域はTpで1.5年、Ta(Annual series)で2.0年を超える。結構幅がある。
(ベルギーの礫床河川30河川、Petit & Pauquet 1997)
- ⑦ ダム建設前 1.44± 0.14年 ⇒ 建設後 2.21± 0.26年 (Page et al. 2005)



➤ 地域によって多少の差があるが、数年に一度は溢れるのが自然の川の姿である。

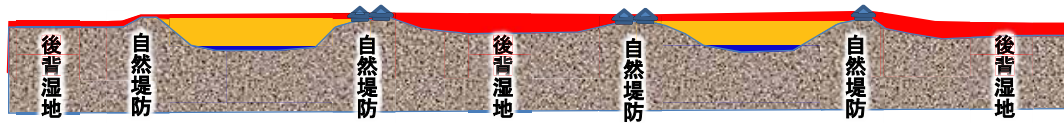
自然堤防帯の開発

数十年に一度の洪水

数年に一度程度の洪水

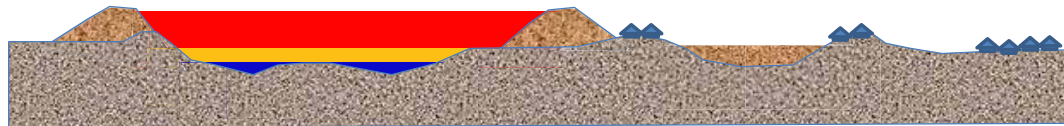
平水

近世以前



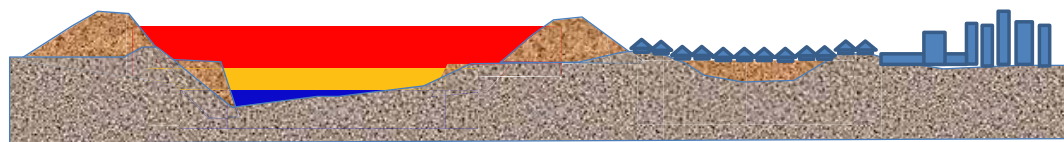
近世

流路の統廃合, 河道掘削+築堤, 旧河道の埋め立て



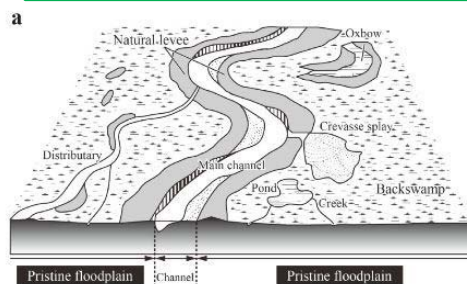
現代

低水路掘削・砂利採取+高水敷造成

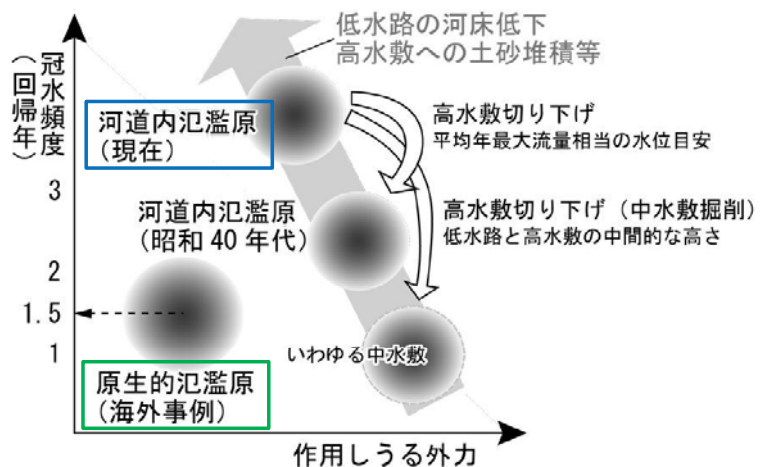
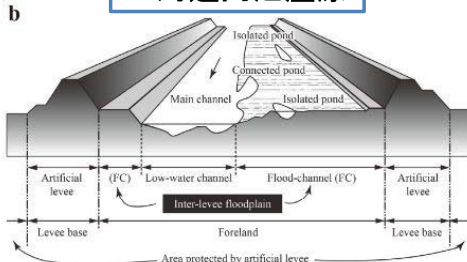


原生的氾濫原と河道内氾濫原の違い 高水敷掘削の位置づけ

a. 原生的氾濫原(自然堤防帯)



b. 河道内氾濫原



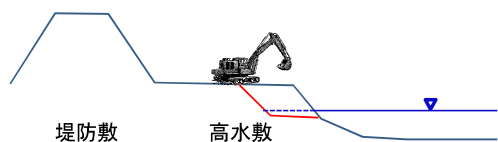
高水敷掘削によって、冠水頻度は増加するが、掘削地に作用する外力(流水の作用、土砂濃度)は、はるかに大きい！

永山滋也*, 原田守啓*, 萱場祐一 (2015) 高水敷掘削による氾濫原再生は可能か? ~自然堤防帯を例として~, 応用生態工学, 17, No.2, pp.67-77. *double 1st author

高水敷掘削と掘削高さ

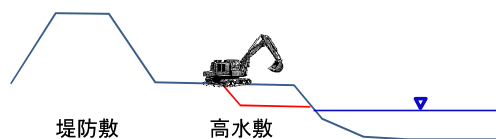
- 高水敷掘削は、平水時の水面幅の変化と、掘削高さの比高に着目すると、3種に分けられるのではないかと。
主に実施されている高水敷掘削

- ①平水位以下の掘削 → **低水路拡幅**



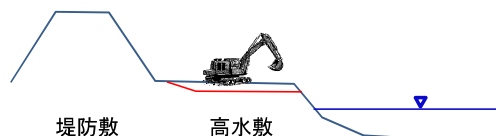
平水時の水面幅の拡幅を伴うため、低水路を拡幅する操作と言ってよい。

- ②平水位より高い掘削 → **中水敷掘削**



常時冠水しないが、一般的な高水敷よりは冠水頻度が高い場所(中水敷)を作る操作。

- ③平均年最大流量相当の水位を目安とした掘削 → **高水敷掘削**



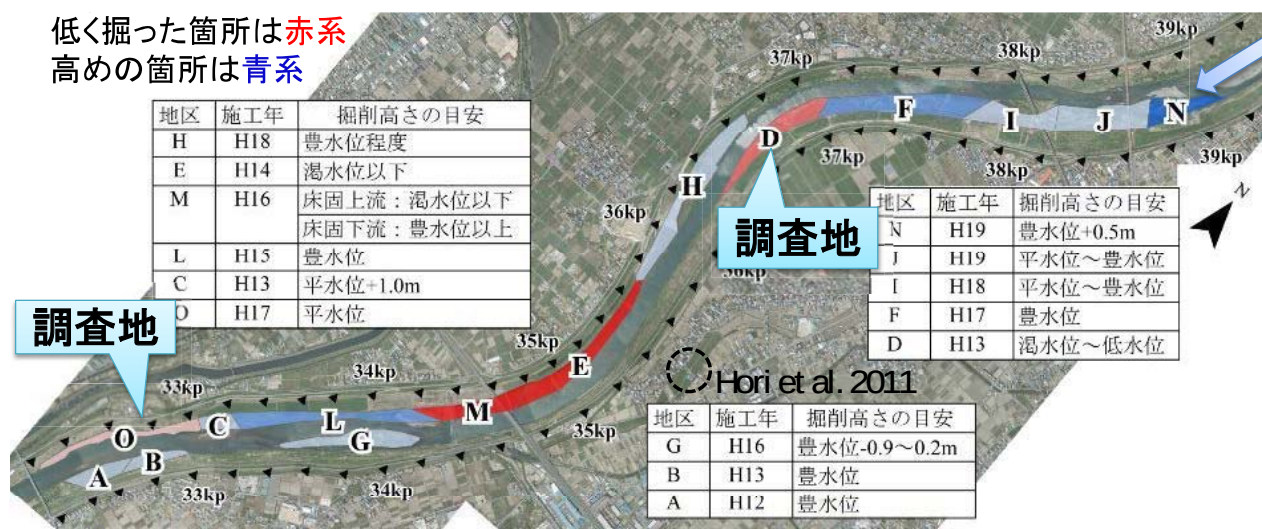
高水敷をグラウンド、公園等として利用することを想定した際に目安とされる掘削高さの設定。
人為的に造成する高水敷の高さの設定として以前から用いられている。

11

揖斐川調査地の概要

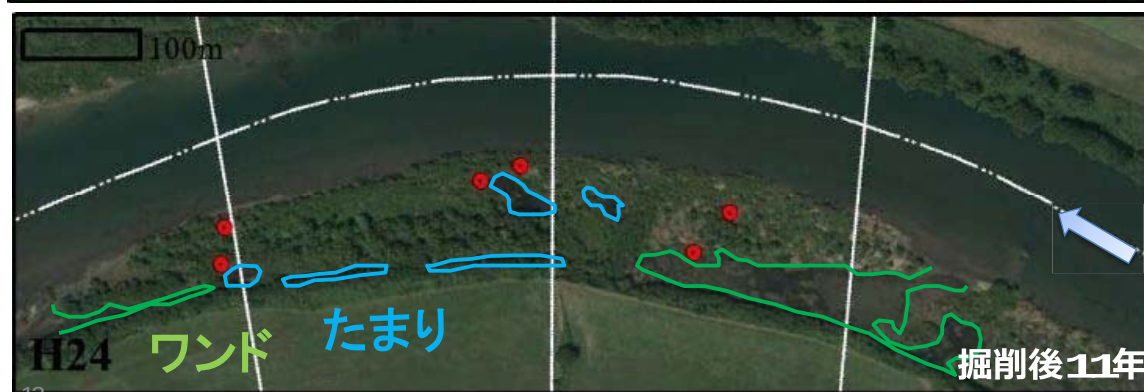
- 木曽川水系揖斐川の自然堤防帯 32～39kp ($\Gamma_b \div 1/3,300$)
 ➤ 施工年度、掘削高さの設定により14の工区が存在。
 ➤ **D地区** (H13施工、濁水位～低水位で施工)
O地区 (H17施工、平水位で施工)を調査地に設定。

低く掘った箇所は**赤系**
 高めの箇所は**青系**



D地区（湾曲部内岸） 濁水位～低水位で掘削

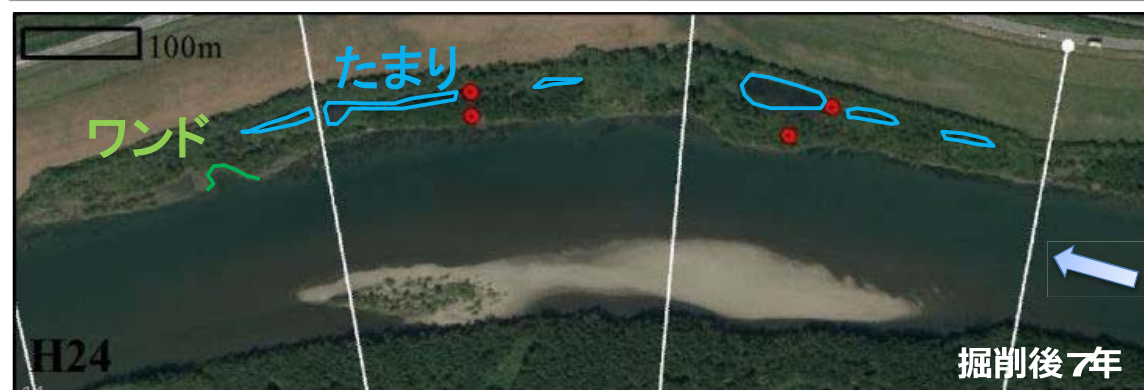
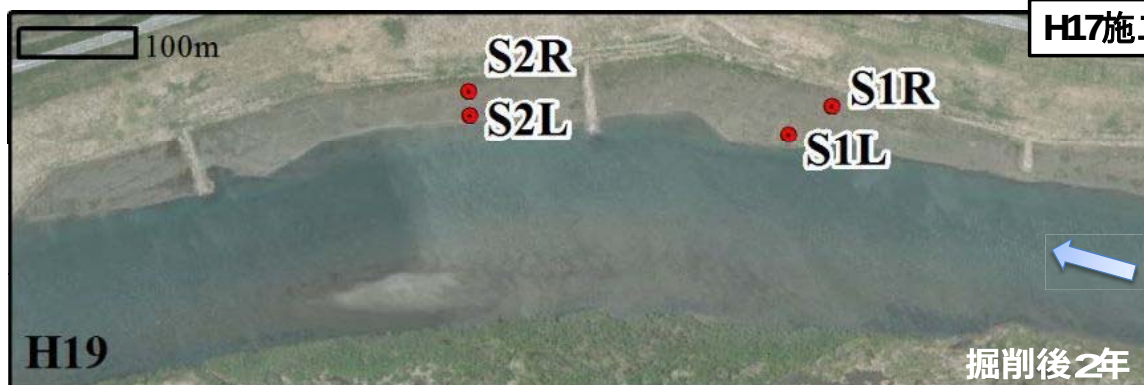
H13施工



13

O地区（直線部 or 湾曲部外岸） 平水位で掘削

H17施工



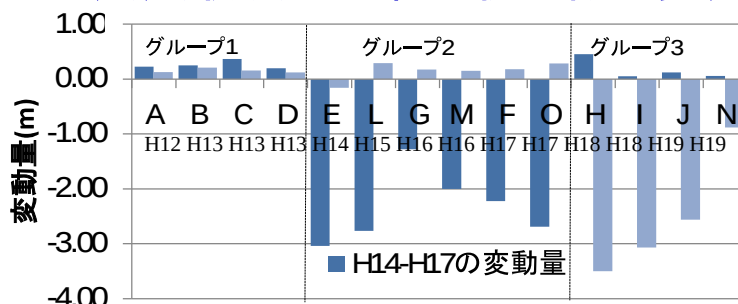
14

結果

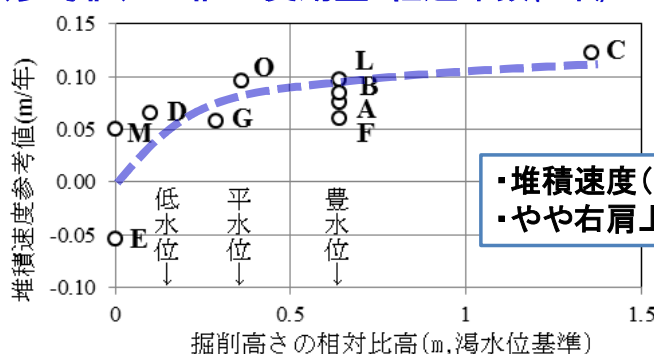
地形変化（掘削後の堆積速度）


 国立大学法人
岐阜大学

- H14,H17,H20の定期縦横断測量結果から掘削部分の変動量を算出

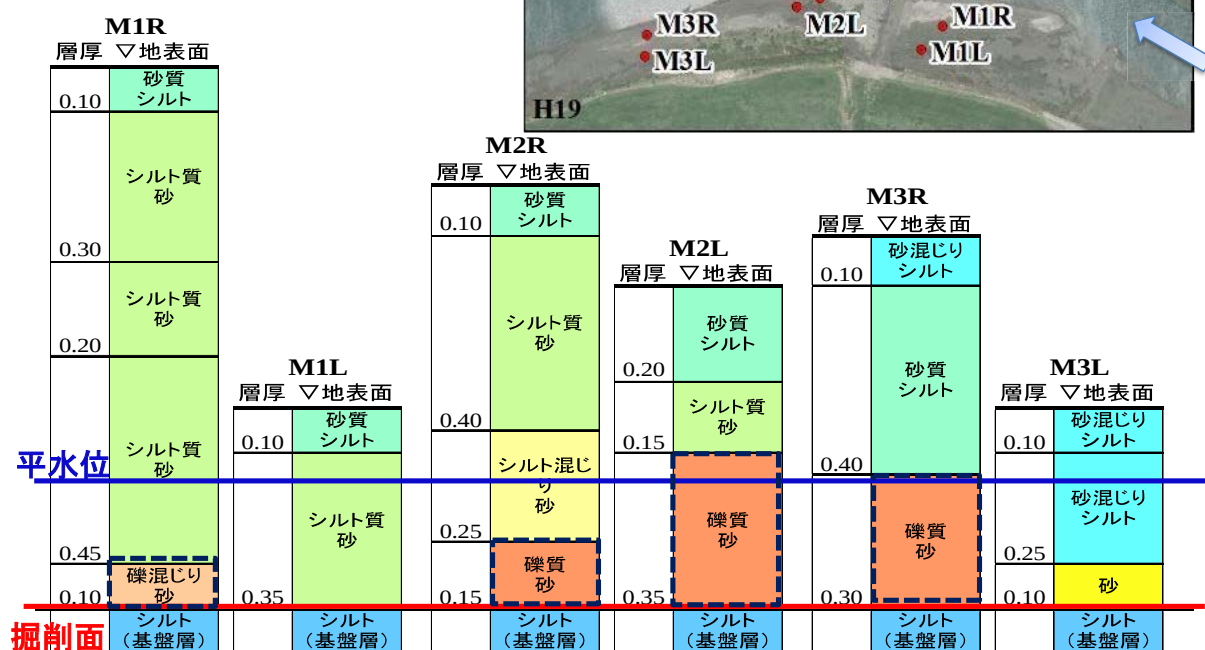


- 堆積速度(参考値)=上記の変動量/経過年数(3年)



★堤内地となっている旧河道では 自然堤防 1.5cm/年, 後背湿地 0.1~0.2cm/年 Hori et al.(2011)

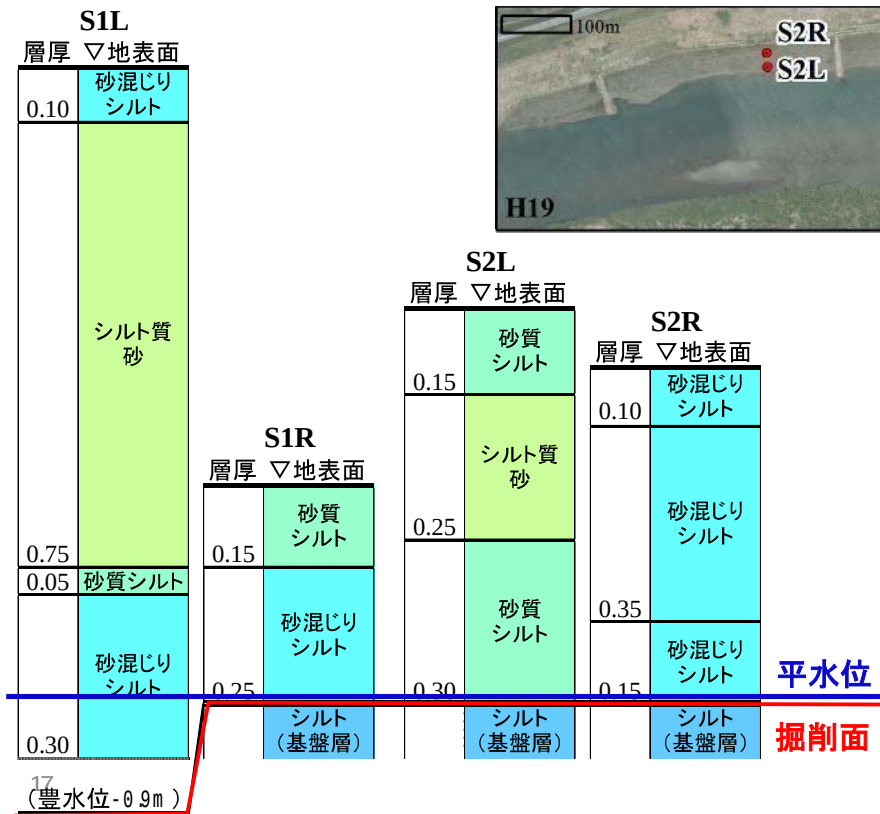
結果

D地区
(H13施工、12年経過)

- － 下層 > 上層 ・平水位より低い高さとで顕著(低層は明らかに掃流砂)
・表層は準表層より若干粗い
- － 自然堤防状の微高地(水際) > 後背地の微高地
- － 自然堤防状の微高地に着目すると、上流側 > 下流側

結果

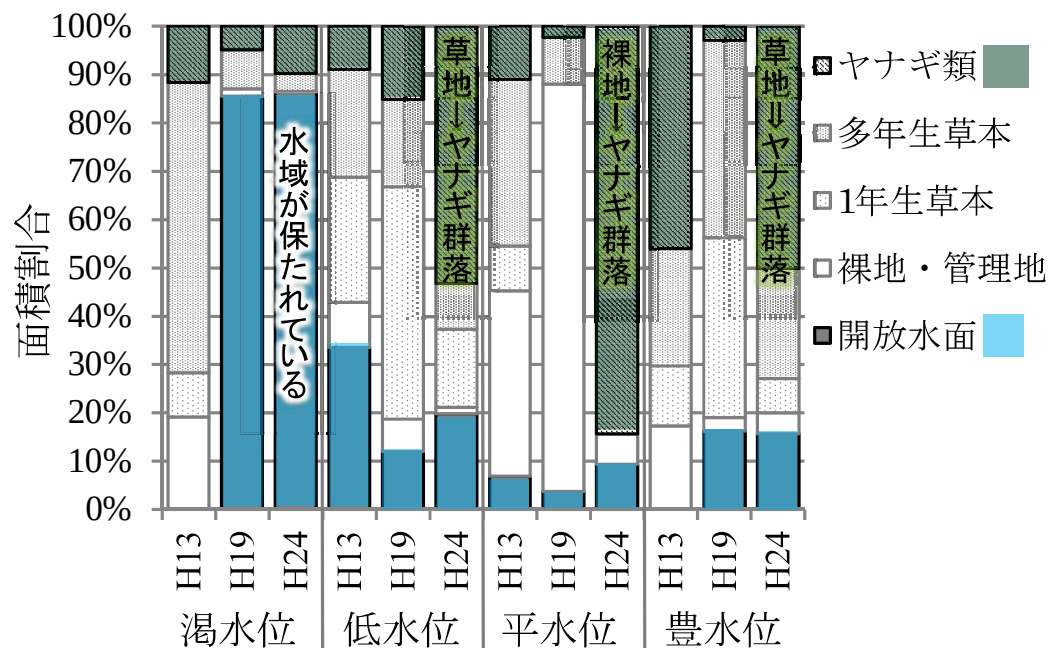
O地区
(H17施工、8年経過)



結果

植生遷移

➤ H13,H19,H24の河川植生図に基づく群落変化

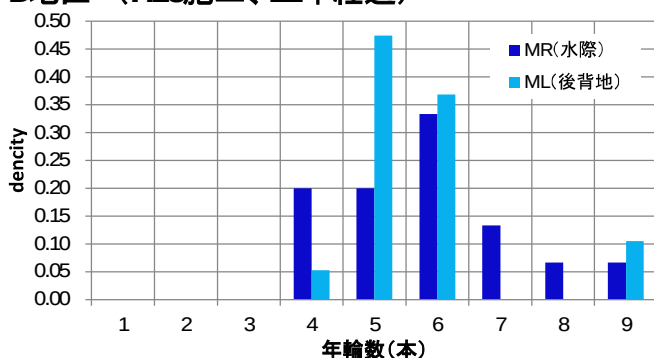


掘削高さ — 地被面積割合の変化

結果

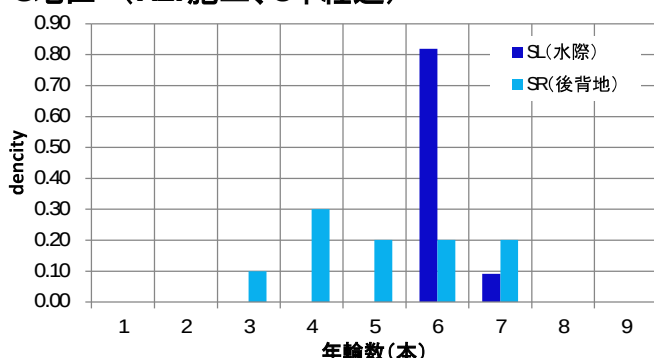
ヤナギ類の生育状況：定着時期の推定

D地区（H13施工、12年経過）



施工時期：12年前
 最大年輪数：9本
 最頻値(水際微高地)：6本
 最頻値(後背地微高地)：5本

O地区（H17施工、8年経過）



施工時期：8年前
 最大年輪数：7本
 最頻値(水際微高地)：6本
 最頻値(後背地微高地)：4本

全体の傾向として...

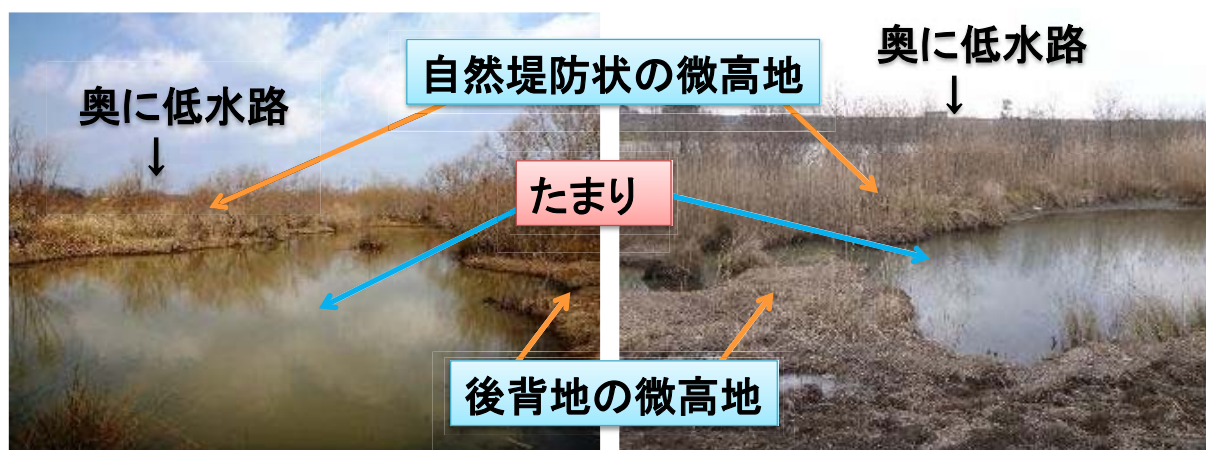
- ・水際の微高地の方が、後背地の微高地よりも早く定着。
- ・施工時期が異なる工区間で共通して年輪数6本が多く、何らかのイベントにより一斉に定着した可能性。

⇒H18orH19の種子散布時期の出水が影響??

19 (注：2014年時点での調査結果)

結果

調査地の景観と特徴的な微地形



D地区(M2L付近)

O地区(S1R付近) (2014/2撮影)

- 両地区に共通して、低水路の水際に自然堤防状の微高地がみられ、その背後にワンド、たまりが分布。
- たまりは、自然堤防状の微高地よりも低い後背地の微高地により囲まれている。
- 後背地の微高地は、複雑な平面形状をしている。

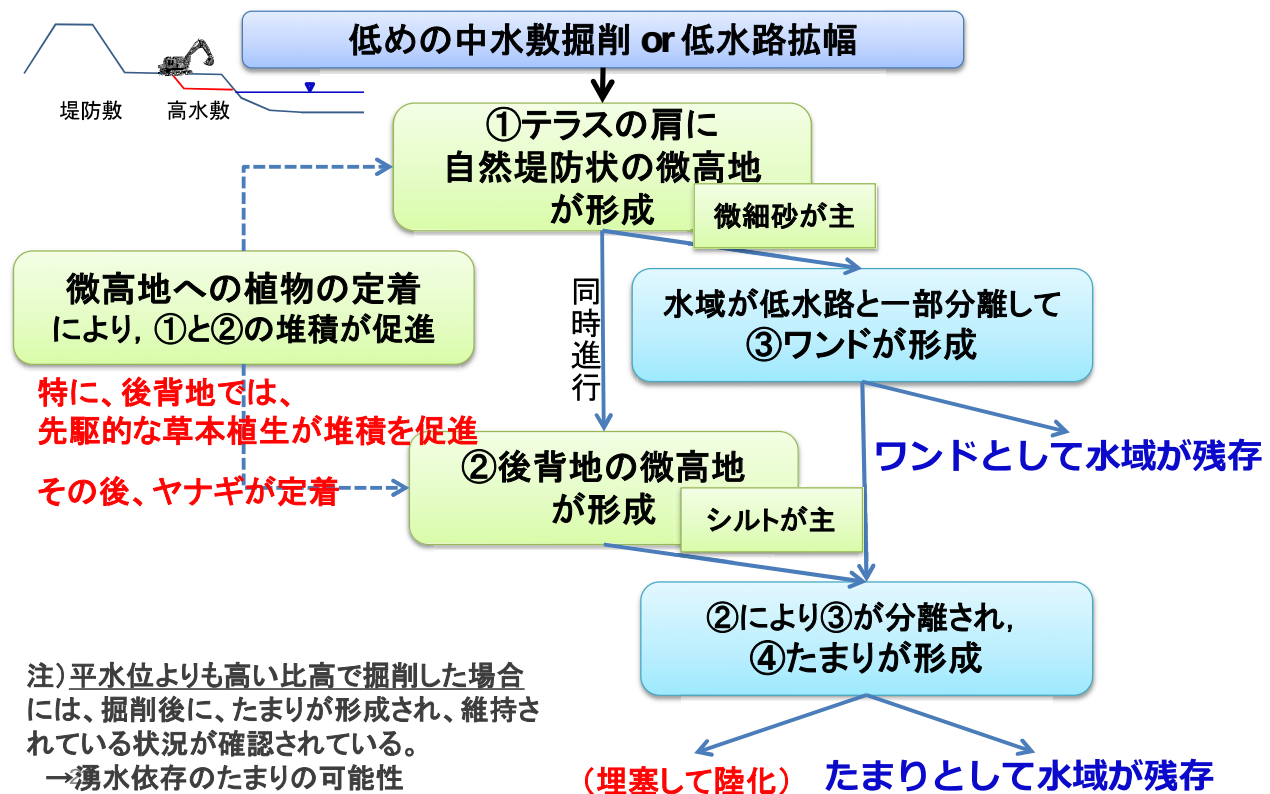
→微高地が形成され、水域が低水路から分離されることによって、ワンド・たまりが形成されている。

考察

微地形形成プロセス (水域と陸域と分化の過程) の推定



国立大学法人
岐阜大学



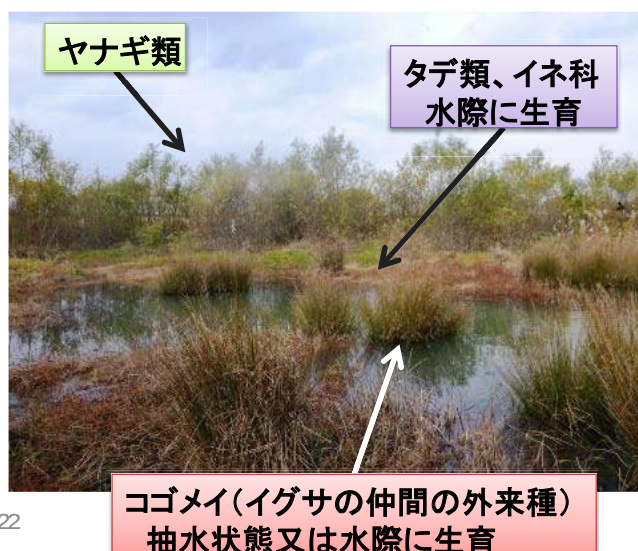
考察

微高地の形成における植物の影響



国立大学法人
岐阜大学

- 植物がウォッシュロードの堆積を促進(藤田ら1996等)
- 抽水状態でも生育可能な先駆的な草本類(コゴメイ等)が初期の土砂堆積と、複雑な平面形をもつ微高地の形成に関与している可能性が示唆される。



22



後背地の微高地を掘り下げると、
平水位付近の高さから、倒伏して
マット状になった植物が掘り出される。
自然堤防ではみられなかった。

揖斐川掘削地で得られた知見

– 揖斐川の高水敷掘削サイトにおいて、現地調査を実施。

➤ 主な結果

- ① **大きな堆積速度（年数センチ～10センチ程度）**
掘削高さによって異なり、土砂が堆積するにつれ堆積速度は頭打ち。
- ② 堆積物のサンプリング結果より、平面・鉛直の粒度分布傾向が把握できた。**平水位より上層は、シルト主体で高さによる差はあまりない。**
- ③ 特徴的な微地形として、**自然堤防状の微高地、背後地の微高地、ワンド、たまり**が見出された。
これらは、土砂の堆積によって水域が分離したもので、これらが氾濫原的環境に依存する生物の重要な生息・生育環境となっている。

➤ 実用的知見：

単純に長持ちさせるのであれば、掘削高さは最初から平水位より低めのほうが良い。

自然堤防状の微高地が形成されるにつれ、背後地の堆積土砂は細かくなる。（自然堤防状の微高地を最初から残す？）

➤ 疑問点

他の河川でも同じことが起こっているのか？

23 土砂堆積速度は予測できないのか？（計画的な維持掘削は可能か）

揖斐川・長良川掘削地の概要



- 全国的に、セグメント1から2の移行区間で掘削されている例が多い。

揖斐川掘削地：

低く掘った箇所は赤系
高めの箇所は青系

地区	施工年	掘削高さの目安
H	H18	豊水位程度
E	H14	豊水位以下
M	H16	床固上流：豊水位以下 床固下流：豊水位以上
L	H15	豊水位
C	H13	平水位+1.0m
O	H17	平水位

地区	施工年	掘削高さの目安
N	H19	豊水位+0.5m
J	H19	平水位～豊水位
I	H18	平水位～豊水位
F	H17	豊水位
D	H13	豊水位～低水位

掘削地の主な堆積物：

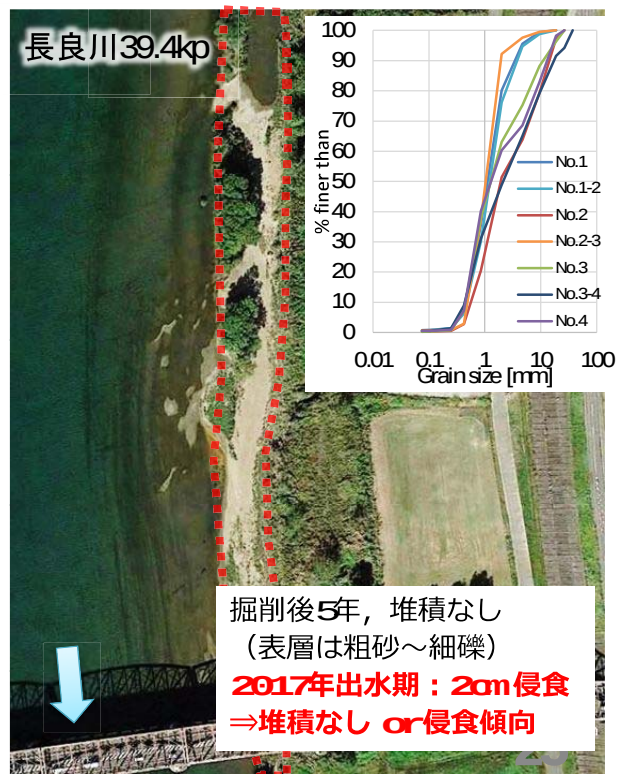
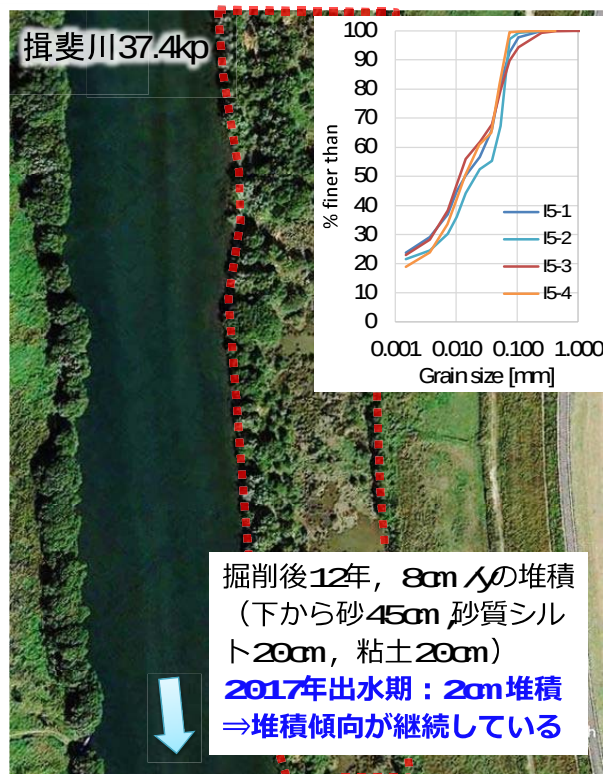
細砂やシルトを中心としたウォッシュロードが堆積（原田ら2015）

長良川掘削地：

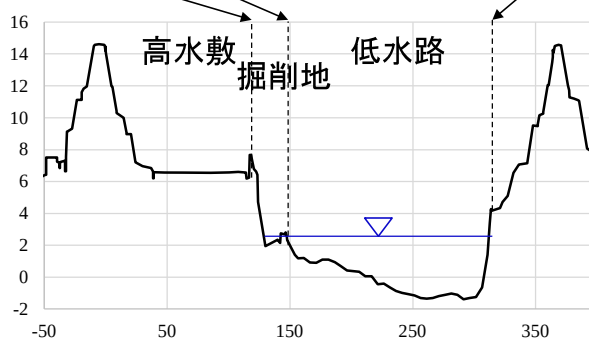
地区	施工年	掘削高さの目安
J	H23	平水位程度 豊水位+0.3m
K	H21	平水位～豊水位
L	H22	豊水位程度
M	H22	豊水位+1.00m
N	H22	豊水位+1.00m
O	H23	低水位程度
P	H24	豊水位+1.00m
Q	H25	豊水位+1.00m
R	H23	豊水位+1.00m
S	H25	豊水位+1.00m
T	H26	豊水位+1.00m

掘削地の主な堆積物：粗砂～細礫（原田ら2018）

調査地の概況と堆積速度

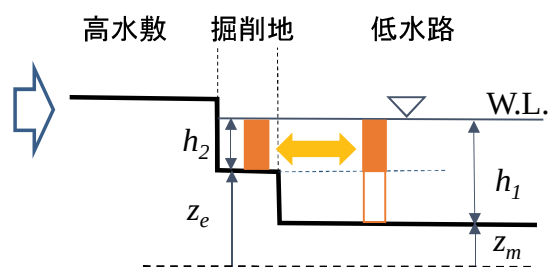


簡易な浮遊砂モデルによる検討



- 水位(流量)の変動に伴う土砂堆積傾向
- どの粒径の土砂がどの流量のときにたまりやすいのかを簡易に検討することを目的とする。

単純化した河道モデル



W.L.: 水位[m]

h_1 : 低水路水深[m], h_2 : 掘削地水深[m]

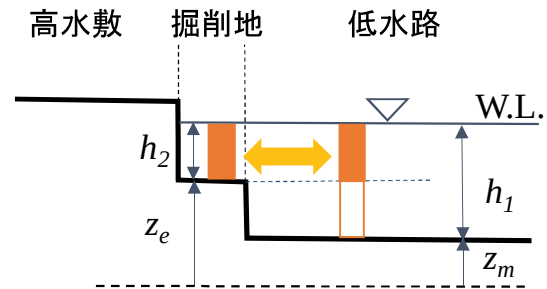
z_m : 低水路河床高[m], z_e : 掘削地河床高[m]

土砂堆積ポテンシャル

- 低水路及び掘削地に、浮遊砂が平衡濃度で流れる際に、掘削地の底面よりも高い位置を流れる低水路の浮遊砂が、平面混合等によって掘削地に運ばれ、その結果、掘削地に堆積する土砂の量を示す。
- 低水路の流砂フラックスを $F_{sm}(z)[\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2]$ 、掘削地の流砂フラックスを $F_{se}(z)[\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2]$ としたとき、土砂堆積ポテンシャル F_{sp} を次式で表す。

$$F_{sp} = \int_{z_e}^{WL} F_{sm}(z) dz - \int_{z_e}^{WL} F_{se}(z) dz$$

流速分布式 : 粗面乱流の対数則
 浮遊砂濃度分布 : Rouseの濃度分布式
 粒子沈降速度 : Rubey式
 基準面濃度式 : Garcia & Parker式



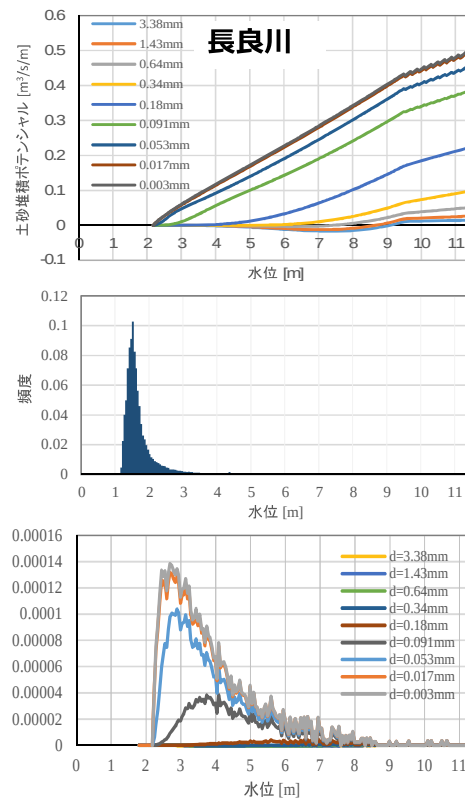
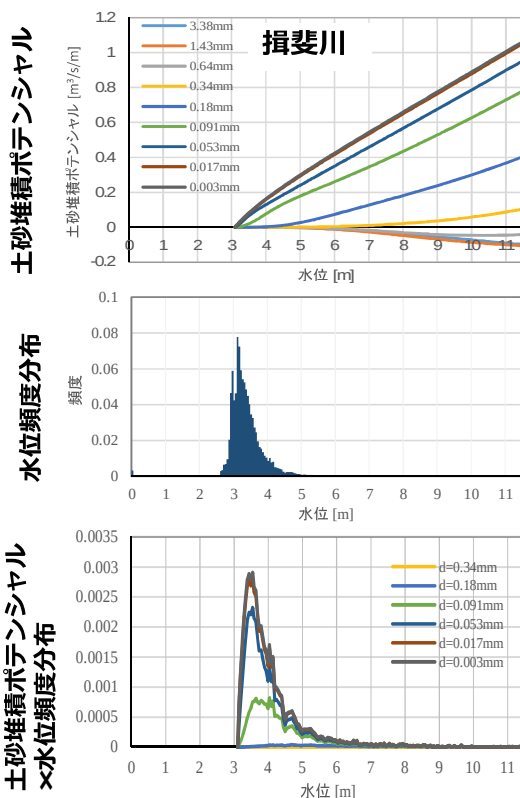
W.L.: 水位[m]

h_1 : 低水路水深[m], h_2 : 掘削地水深[m]

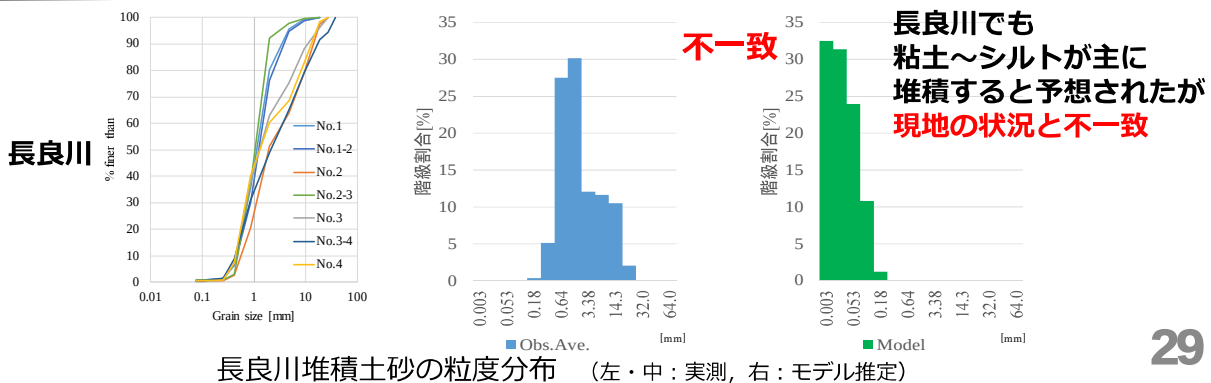
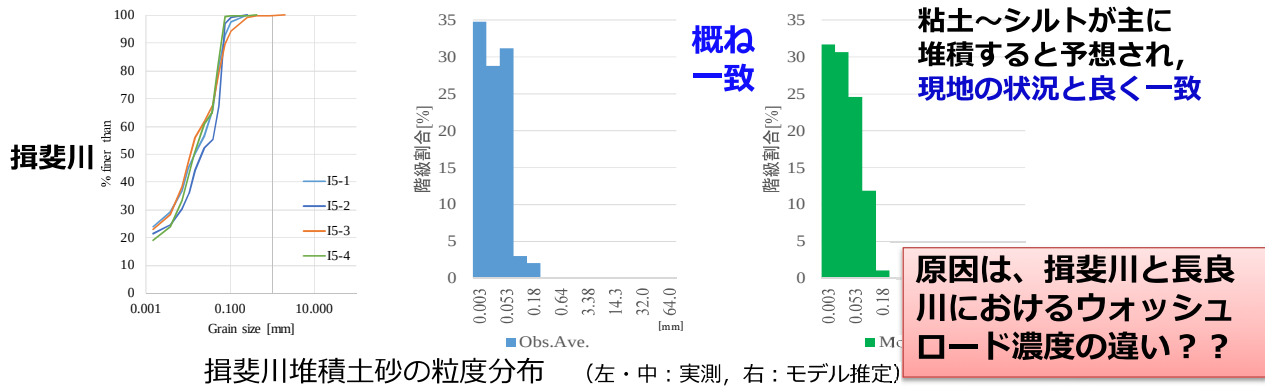
z_m : 低水路河床高[m], z_e : 掘削地河床高[m]

27

土砂堆積ポテンシャル×水位時間頻度



土砂堆積ポテンシャルから推定される 粒度分布vs現地調査

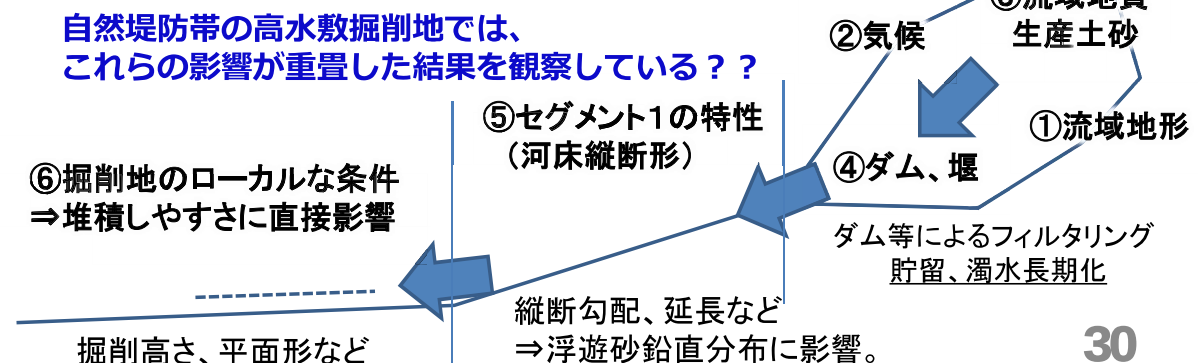


29

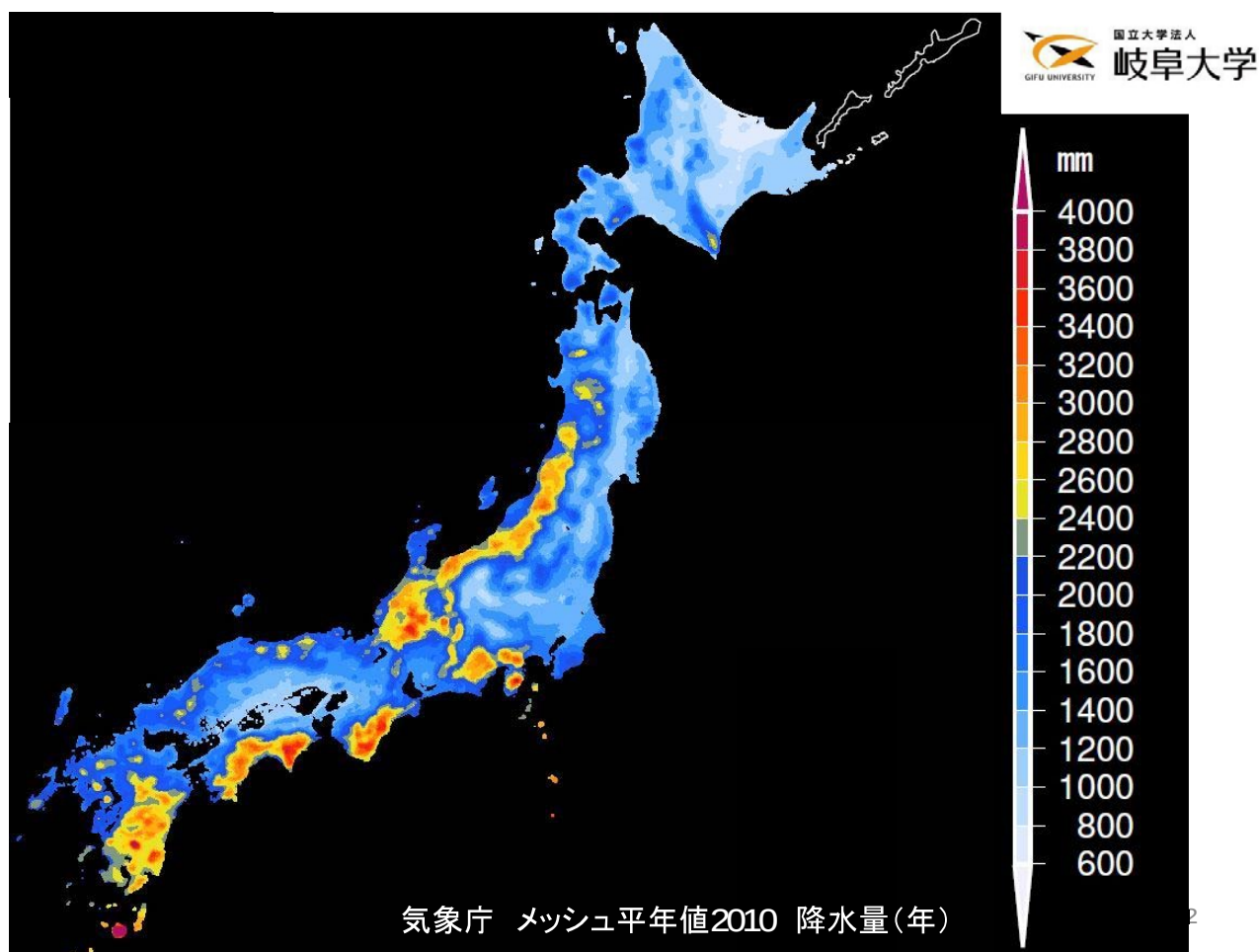
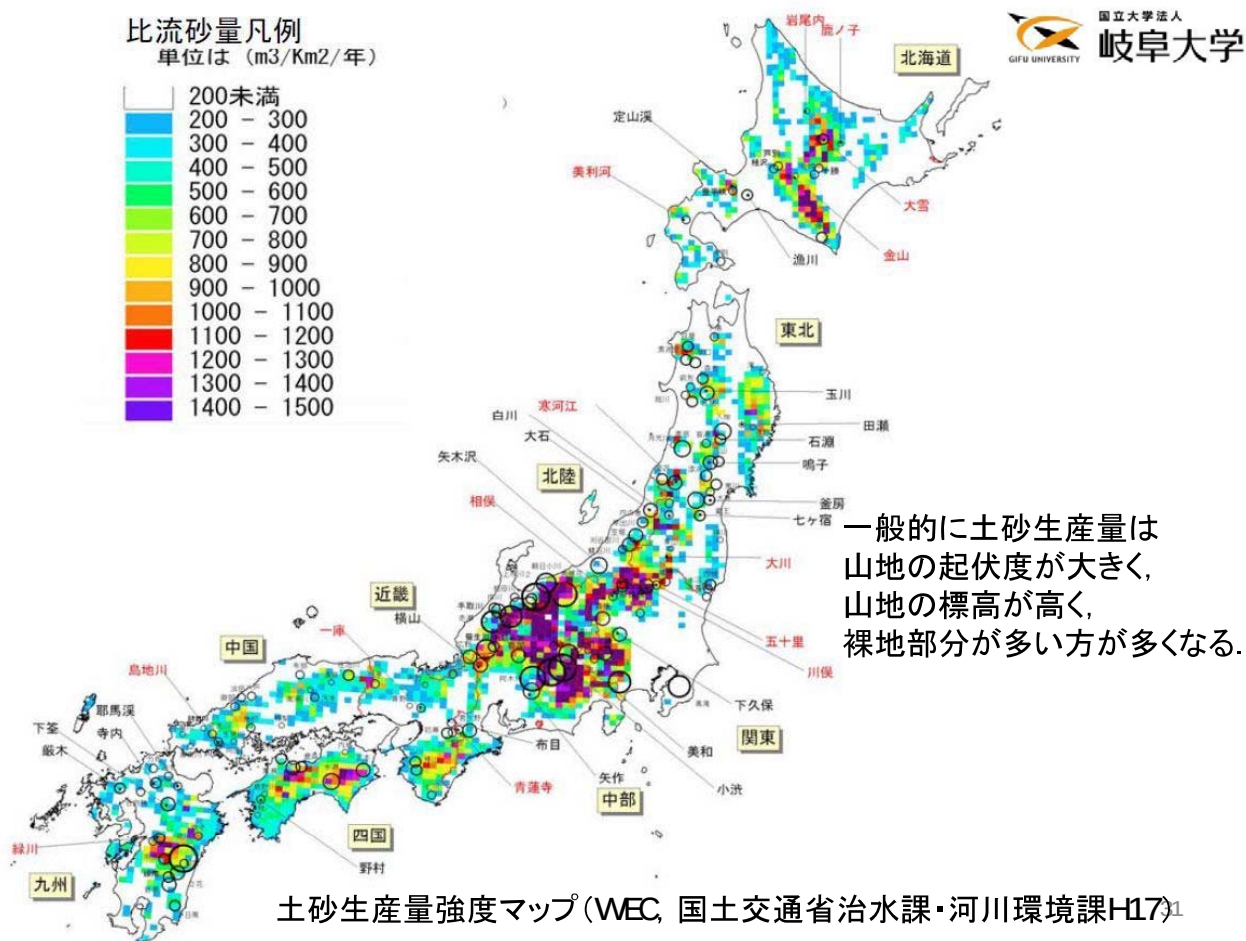
自然堤防帯の土砂堆積に影響しうる流域特性 (vs D)

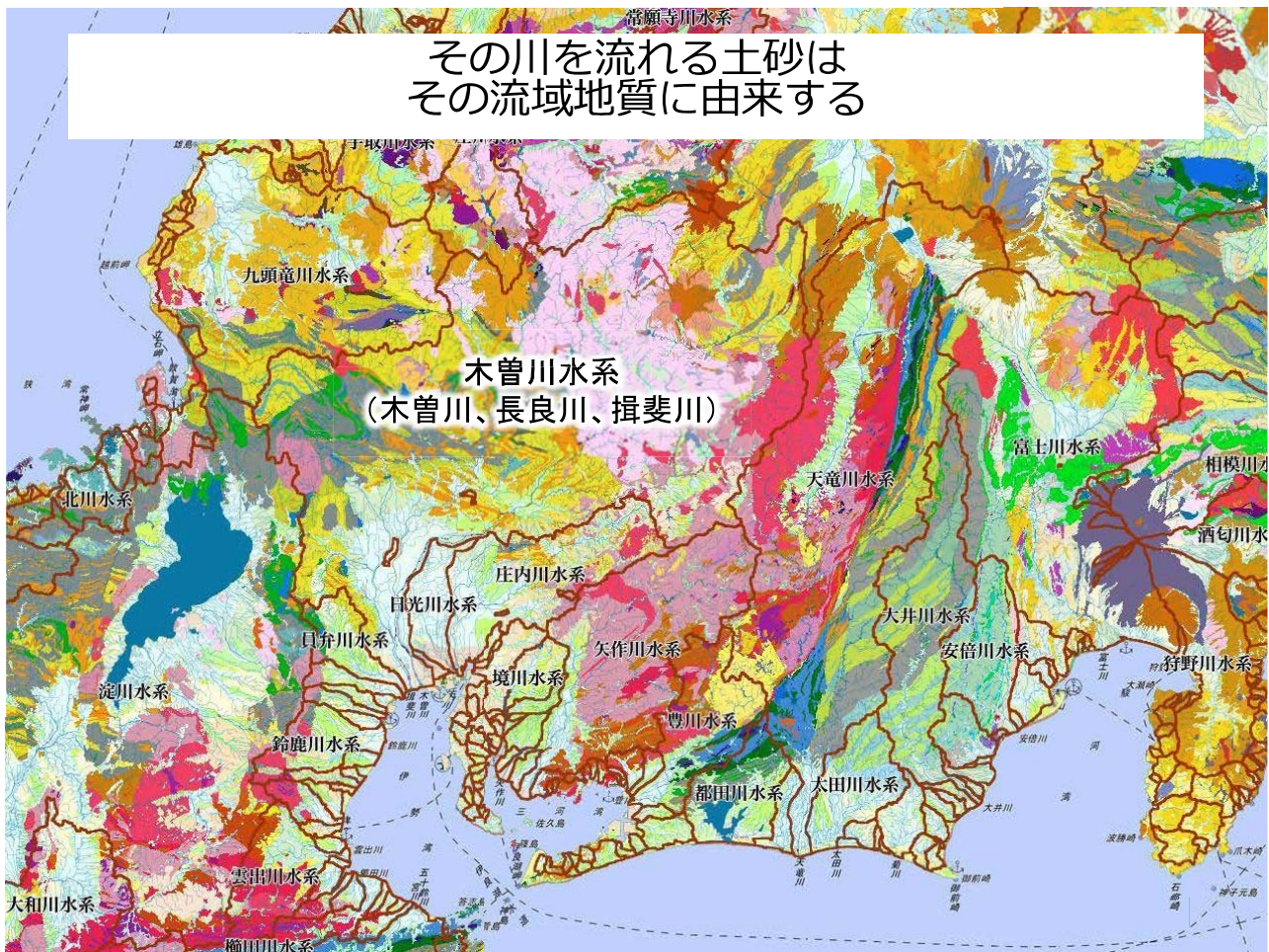
- ① 流域地形 (流域面積、流域形状等)
- ② 気候 (降水量、降水の時空間分布)
- ③ 流域地質に起因する生産土砂の特性の違い (粒度分布、磨耗・破碎特性)
- ④ ダム等、土砂の挙動に影響する工作物
- ⑤ 山地 (土砂生産源) → 谷底平野・扇状地 (S1) → 自然堤防帯 (S2) の縦断形特性
- ⑥ 掘削地における掘削高さ等のローカルな条件

ダム堆砂研究で
多くの知見がある。



30

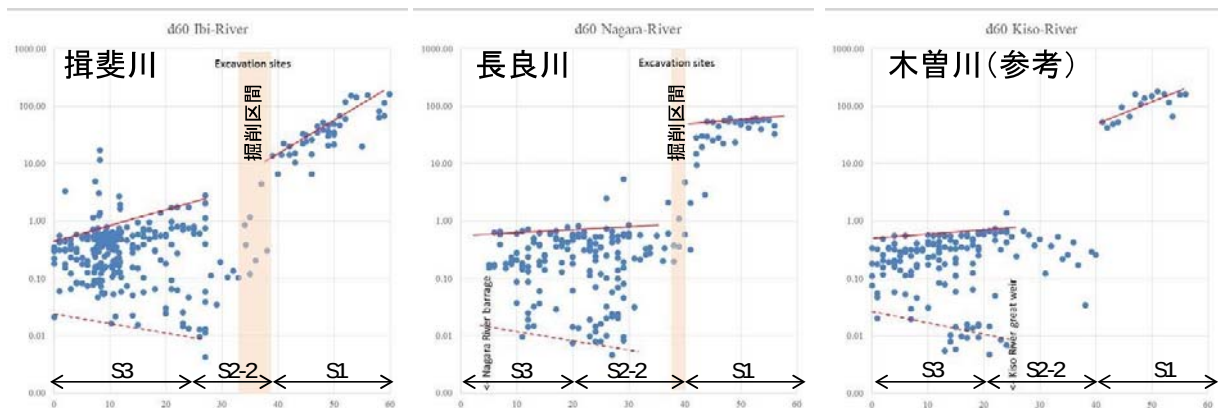




河床材料 (d_{60}) 縦断分布特性

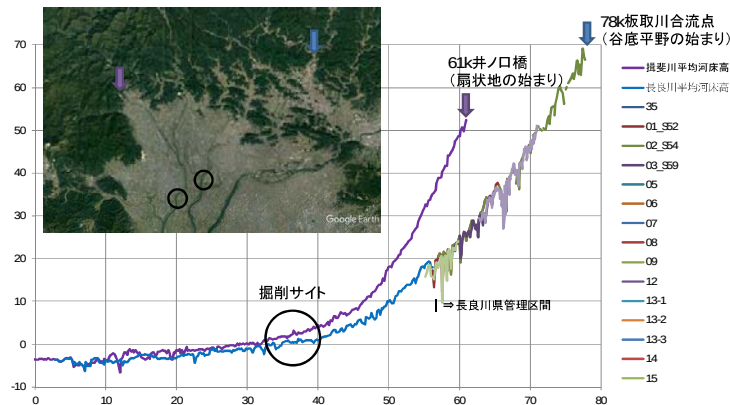


国立大学法人
岐阜大学



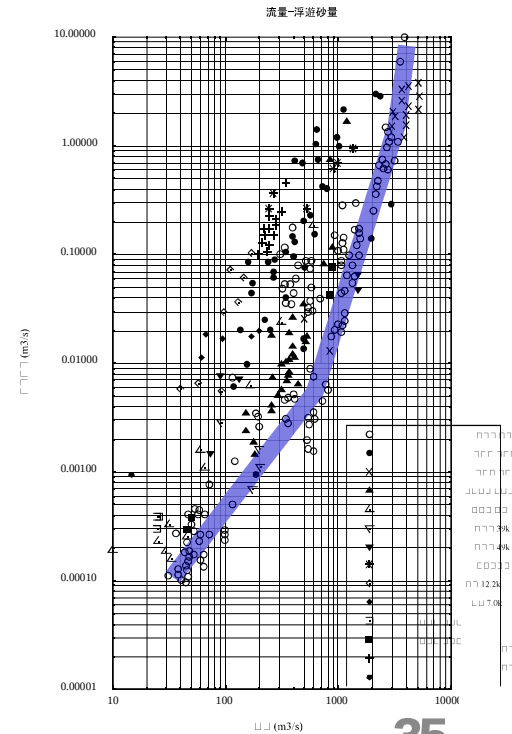
- 高水敷掘削は扇状地から自然堤防帯への移行帯で行われている。
(河床縦断形との関係性は今後検討)
- 河床構成材料と、高水敷掘削後の堆積土砂の関係性が重要な考察対象となる。
- 扇状地(S1)から自然堤防帯(S2)で河床材料が大きく変化するが、揖斐川と長良川では傾向に違いが見られる。この原因は、土砂の元となる地質、河川の縦断形との関係性の中で定まっている。

自然堤防帯の土砂堆積に影響していると考えられる流域特性



要因⑤セグメント1から2までの縦断形
 長良川は揖斐川よりS1が倍長く、勾配も緩い
> 掃流砂，浮遊砂の挙動全般に影響？

実測浮遊砂濃度（昭和40年代調査）
 長良川の浮遊砂濃度は全国でも最小クラス
**> ウォッシュロード濃度の違いが，
 ウォッシュロード堆積傾向に直接影響？**



35

まとめ

- 自然堤防帯（セグメント2）は、原生的な状態であれば数年に一度程度氾濫し、氾濫水に含まれる土砂（砂～シルト・粘土）が自然堤防や後背湿地の地盤を形成するような場である。
- 高水敷掘削は、治水上の効果と同時に、河道内に冠水頻度が高い場を創出するが、原生的氾濫原と比べると、作用する外力が非常に大きい場となっている。
- 現代の河道で行われる高水敷掘削後に、土砂が再堆積する事例が多く報告されている。揖斐川の事例は最たるもので、土砂堆積速度は年数cm～10cm程度と大きい。ただし、掘削高さ、掘削形状によって土砂再堆積速度が異なる。
- 揖斐川と長良川では、掘削後のレスポンスがかなり異なっていた。浮遊砂の堆積を扱う簡易な流砂モデルによる検討の結果より、揖斐川と長良川の浮遊砂濃度に違いがあることが示唆され、この仮説は検証されつつある。

【今後に向けて】

- 自然堤防帯河道に至る土砂の流送特性を記述することができれば、河川毎に異なる河道のレスポンス（堆積土砂の粒度、土砂堆積速度等）が想定可能になる。
 例：揖斐川は10年に一度掘削、長良川は30年に一度掘削が必要、とか。
- 「セグメント特性に応じた河道計画」がなされるようになって約20年。これからの河道管理は、河川ごとの違い（流域特性）を科学的に考慮した形でなされるべきであるし、それが可能になりつつある！

36