

中規模河床形態と矢作川の砂州区間の変動

名城大学／東北大学災害科学国際研究所 溝口敦子

河川の地形の成り立ち

【知ってほしいこと】河川の地形は変化する！

出水中

流水によって砂が動き、その場の条件にあった地形ができる。

(平水時に入った植物、上流から供給される砂の条件にあわせてさらに変動する)



平水時

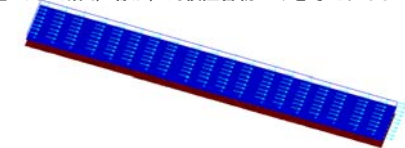
土壌の水分量など陸域の様々な条件によって植物が侵入する

川に水が流れる...

○直線流路：勾配、河床材料等粗度等河道条件により水位が決定される。

■河床変動しなければ...

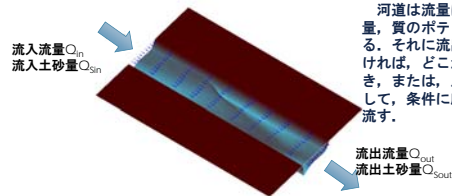
水の量と川の断面、線形、河積阻害物だけを考えればよい、



川に水が流れ、砂が流れることで、河床変動が起こる

移動床現象は、上流からの流入する流量と流砂量を、河道の幅、形、粗度、勾配を変化させることで調節し、下流へ伝播させる。一定流量ならば、最終的に平衡状態へ向かう方向へ現象が進む。

河道は流量に応じて流せる土砂量、質のポテンシャルを持っている。それに流出土砂量が見合わなければ、どこかで堆積、洗掘が起き、または、川幅を変化させたりして、条件に応じた土砂を下流へ流す。



元々平坦な場所でも、移動床現象によって場の特性が変化する。

小規模河床波形態 砂堆dune, 反砂堆anti-dunesなど

小規模河床波は河川によっては大きな抵抗になり水位を上げる。

砂堆、反砂堆：水深とフルード数に関連し形成。

砂堆：粒径と深く関連。もっともスケールが小さい河床波

河床波の形成 → 波高に応じて抵抗が変化

中規模河床形態 交互砂州 alternate bars, 複列砂州 multiple bars

川幅水深比に関連して全体で形成。抵抗を大きくする。流れに偏りをつくり、深掘れなどの要因になる。

砂州の形成 → 砂州の形態、波高に応じて河川環境が変化

反砂堆の形成されても出水後に凹凸は残らない...
ただし、条件によっては出水後に礫の集合体が残る

実験ケース	流量 (m³/s)	単位幅流量 (m³/s)	水深 (m)	水深勾配	水深 (m)	水深勾配	フルード数	河床砂堆 (高さ、長さ)	形成の成否	砂州の形成	
1	0.0223	0.037	1.30	0.042	0.044	0.6	1.38	4.6	○	0.352	0.026
2	0.0223	0.037	1.30	0.043	0.044	0.6	1.33	6.4	○	0.352	0.026
3	0.0223	0.074	1.30	0.070	0.065	0.3	1.20	6.4	○	0.416	0.031
4	0.0121	0.012	1.30	0.043	0.047	0.3	1.29	6.4	○	0.259	0.024
5	0.0067	0.022	1.30	0.032	0.033	0.3	1.25	6.4	×	0.248	0.016
6	0.0393	0.131	1.60	0.101	0.109	0.3	1.18	4.6	×	0.290	0.021
7	0.0393	0.131	1.60	0.098	0.109	0.3	1.21	6.4	×	0.290	0.021
8	0.0223	0.074	1.60	0.074	0.079	0.3	1.36	4.6	×	0.238	0.017

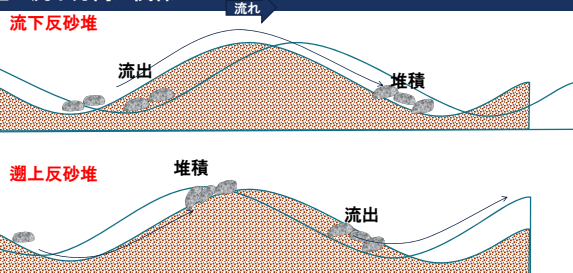


礫の集合体形成



礫の集合体なし

礫集合体の形成には反砂堆の流下方向が関係



中規模河床形態（砂州）が形成されている河道は多数ある

ただし、同じ交互砂州でも河道特性（勾配、河床材料）によって砂州の動きが異なり植生の侵入過程など特徴が異なる



Kidu River

■河川中流域においては、小規模河床波は、マイクロハビタットに関与する可能性はあるが、あくまで粗度抵抗としての役割が大きく、扇状地区間より下流で大きく河道全体の環境を変化させる可能性は少ない。

■直轄区間の多くは、中規模河床波が河川の物理場を決めている可能性が大きい。

一定流量で形成される砂州は、線形不安定解析等を用いて予測可能

$$\hat{\eta} = \hat{\eta} \cdot \cos(\hat{y}) \cdot \exp\{ik(\hat{x} - c\hat{t})\}$$

ただし、 $\hat{\eta}$ は擾乱の振幅幅であり実数、 $c = C_1 + iC_2$ は、無次元複素移動速度、 k 、 l は、 \hat{x} 、 \hat{y} 方向の波数であり次式で定義する。

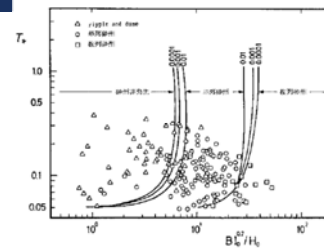
$$l = \frac{m\pi H_0}{B} \quad k = \frac{2\pi H_0}{2L}$$

ここに、 L は砂州波長、 B は水路幅、 m は \hat{y} 方向の分割数である。

河床擾乱を上式で与え、擾乱が発達するか否かを、流れ、流砂との応答を考えて解析する。

→ **増幅率に C_2 が最大となる条件の擾乱が、発達する砂州の条件となる。**

理論解析による発生領域区分

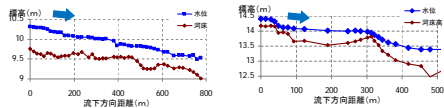
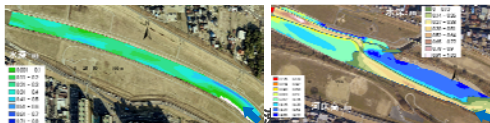


黒木幹男, 岸元「沖積河川の流路形態の領域区分に関する研究」第24回水理講演会論文集, pp. 51-56, 1982.
「中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究」土木学会論文集, 第342号, pp. 87-96, 1984.

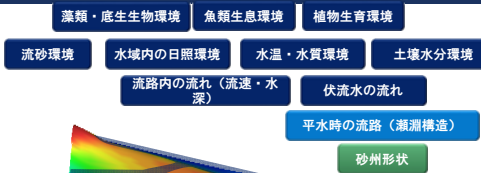
実験水路でも河道でも
条件がそろえば砂州が形成される



砂州形状は河川生態の基盤環境

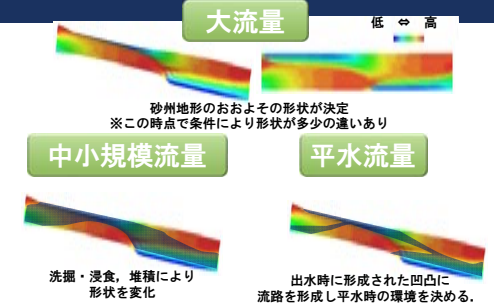


砂州形状が及ぼす環境への影響



・瞬間的に同じ環境が形成されても、それまでの擾乱(変動)状況によってもその場の環境は異なる。

砂州地形の特徴は何で決まる??



砂州地形のおおよその形状が決定
※この時点で条件により形状が多少の違いあり

洗掘・浸食、堆積により
形状を変化

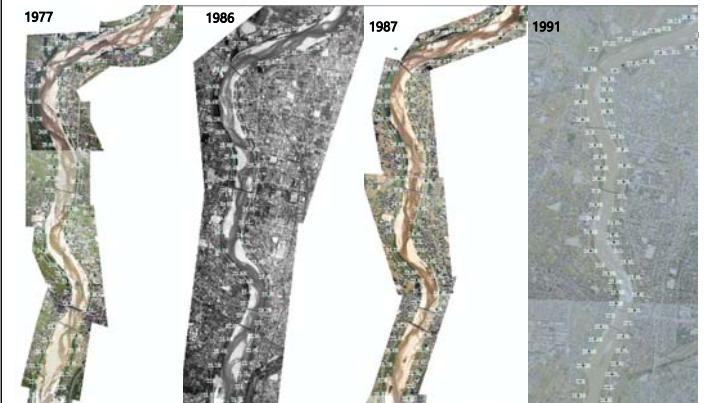
出水時に形成された凹凸に
流路を形成し平水時の環境を決める。

一定流量で形成される砂州も形状は異なる
流量 小 ← → 大



前線線

矢作川下流域の砂州





ダムが流況を通じて砂州変動へ及ぼす影響

～矢作川の事例～



竣工年	貯水施設
1926年	百月ダム
1929年	越戸ダム
1934年	阿磨ダム
1970年	矢作ダム・矢作第二ダム
1985年	菅野ダム
1991年	明治用水調整工

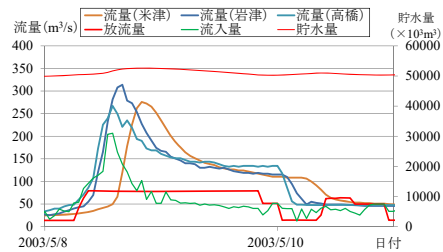
本川だけでも多数のダムが存在。
(ただし、ほとんどが電力ダム)

ダムによる影響：流況の変化

- 通常、ダムによる下流河道へ供給される流量の影響は“出水規模と頻度の低下”が着目されるが、それだけではない。
- 多目的ダムのゲート操作は、**利水のための水量**と**洪水調節のための容量**、操作上相反する両者の確保のために実施される。
→ ダムの流入量と放流量を確認すると同様な規模の出水でも貯水位や季節によって状況は若干変化するが、特に**減水期の下流への放流が流量時系列を大きく変化させる**。

対象河川：上流にダムを有する矢作川

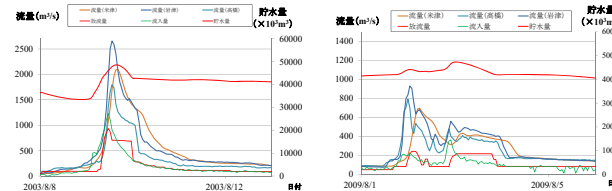
ダムによる流況変化



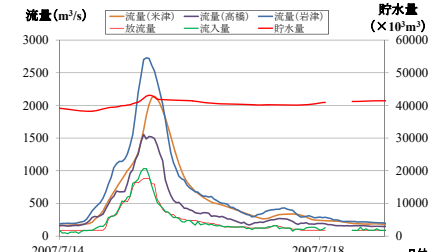
・冬期後の中小出水は必要に応じて貯留

対象河川：上流にダムを有する矢作川

- 800m³/s以上の出水時には洪水調整され、大出水ではピーク流量がカットされるが、減水期には洪水容量の確保のため500~1000m³/sの放流が継続したりする場合がある。また、中小出水だとダム地点でのピークはほとんどカットされ、その後100~200m³/s程度の流量を1日以上継続したりすることが見られた。



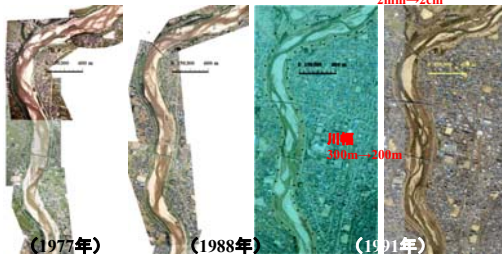
・次の出水に備えるため出水時は、基本的に低減期を中心に放流



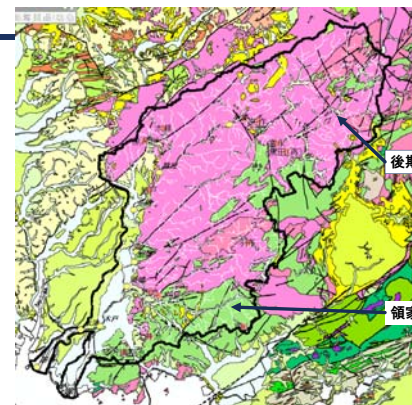
※ただし、湯水傾向の年は低減期の放流は実施しない傾向。

対象区間：砂河床区間（上流に明治用水頭首工）

河口から30~14km付近
河床材料粒径2mm 勾配1/1250 川幅300m程度 上流部から粗粒化
2mm→2cm



矢作川下流部は砂河川

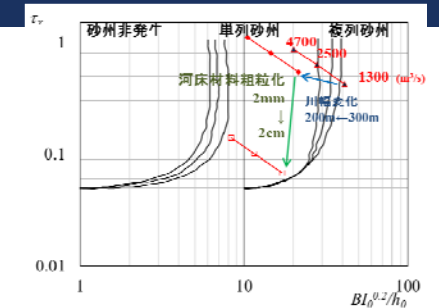


後期白亜紀(K2)の柱長質深成岩類

領家変成岩(m8/低・中圧型)

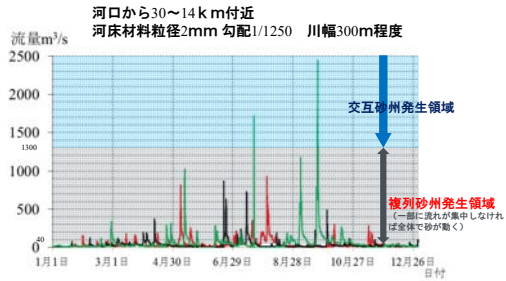
20万分の1 シームレス地質図
ESRI ArcGIS online

砂州形成環境の変化

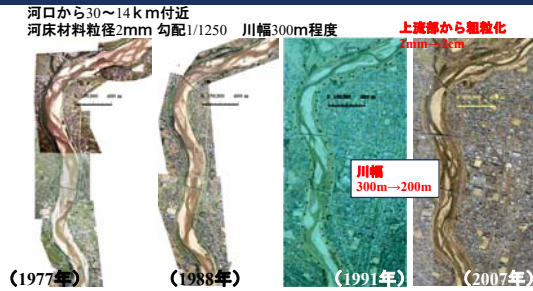


黒木・岸の図を再描写し条件をプロット

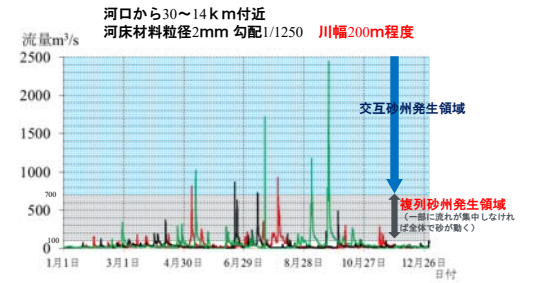
砂州発生領域と流量の関係
(矢作川中流部の例)



対象区間：砂河床区間
(上流に明治用水頭首工)



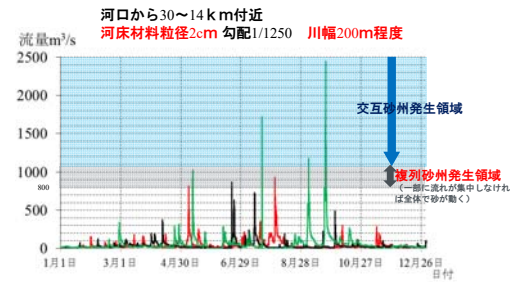
砂州発生領域と流量の関係 (矢作川中流部の例)



河口から30~14km付近
河床材料粒径2mm 勾配1/1250 川幅300m程度



砂州発生領域と流量の関係 (矢作川中流部の例)



まとめ：砂州の変化の解明に向けた重要な視点

- ダムの目的により、洪水調節による影響だけでなく利水量確保のために年間を通じて下流部へ供給される流量は変化している。
- 矢作川中流部においては、ダムによる流況の変化が複列砂州の維持を促していた可能性が高い。ただし、河床材料粒径の粗粒化が加わると河床は動きにくくなり、交互砂州形成を促す方向になったことが予測される。
- 砂州の変動特性の理解には、砂州の領域区分図の流量変化も含めたプロットが役立つ。