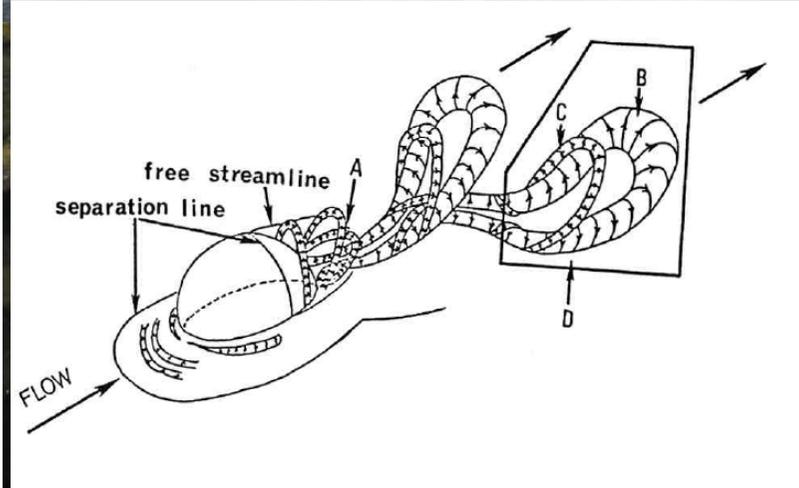


基礎水理シンポジウム2013 於:土木学会講堂

2013年12月2日

# 低水路内における攪乱生態水理学 —境界層内の水・土砂・水生昆虫のダイナミクス—



埼玉大学大学院理工学研究科

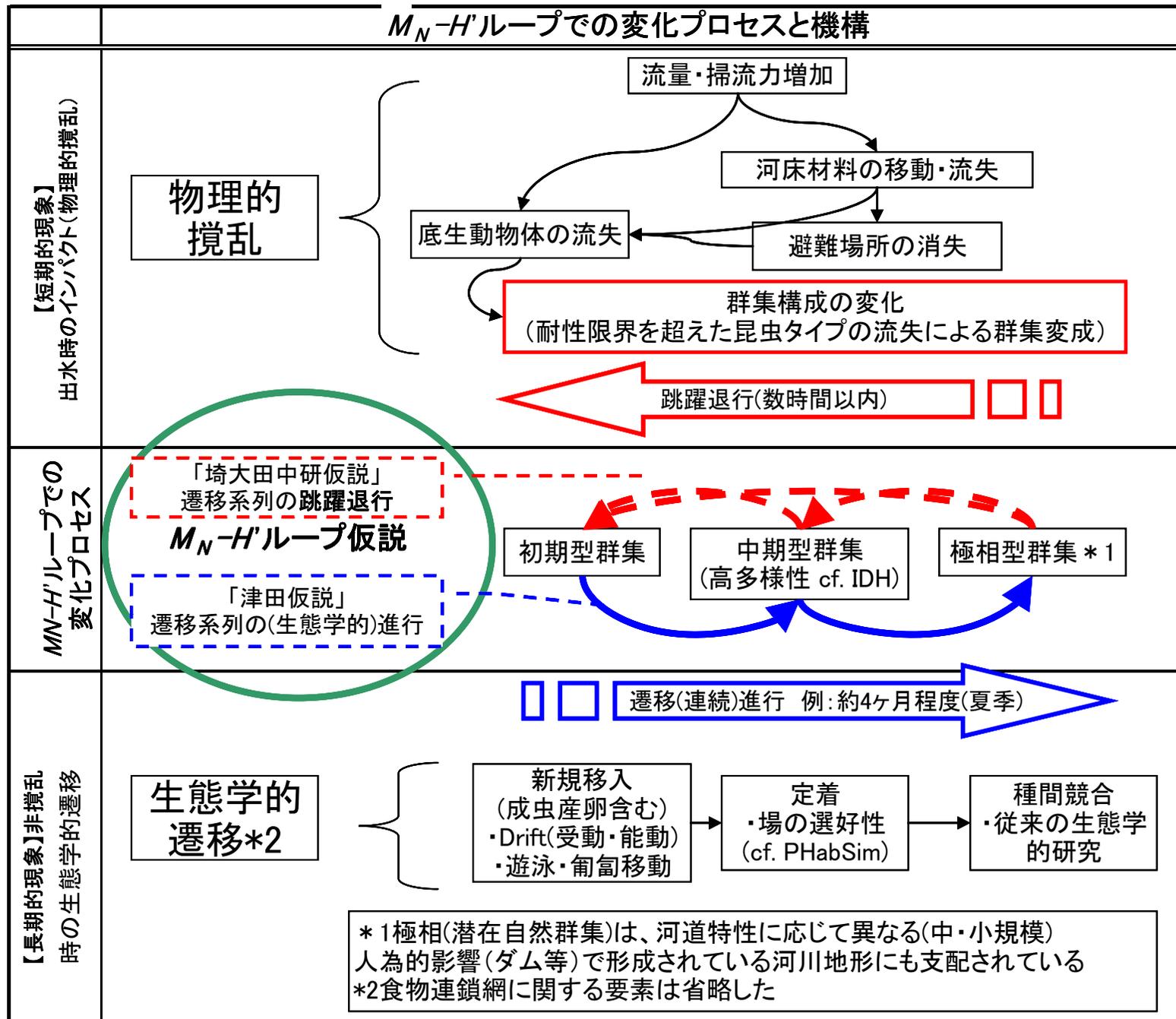
水理工学研究室

教授 田中規夫



Saitama University

# 生態学的遷移の進行, 攪乱による跳躍退行



# 時空間スケールは異なるが、河道内樹林化も似た現象として整理可能

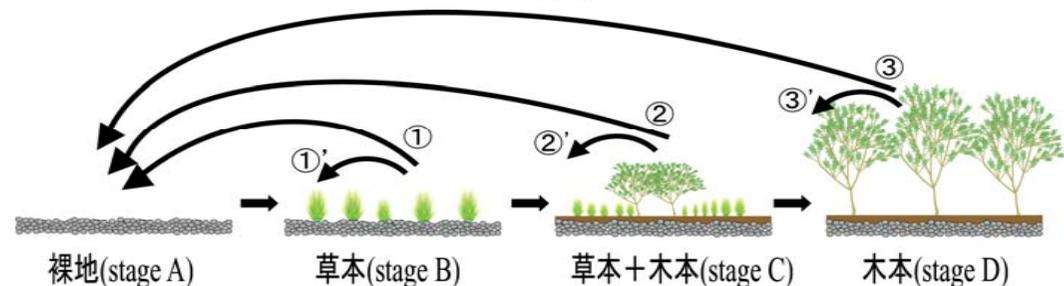
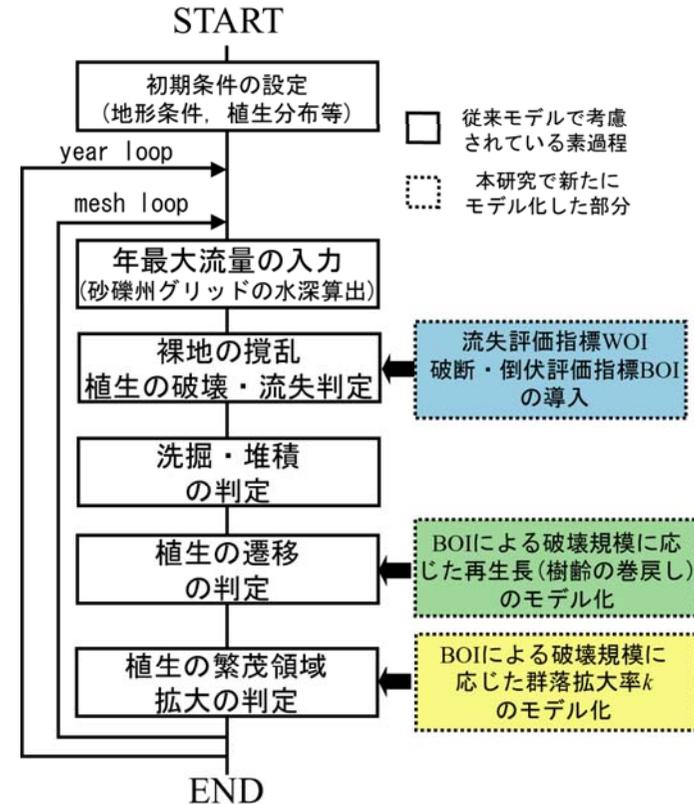
## 植生動態の基本構成

- (1) 洪水による植生の破壊
- (2) 洪水時の洗掘・植生空間への土砂堆積
- (3) 植生の遷移
- (4) 植生繁茂領域の拡大

という4つの現象



私の研究室では、  
 (3) 植生の遷移  
 (4) 植生繁茂領域の拡大  
 にそれぞれ、予測精度を向上させるためのモデル化を追加



①, ②, ③は各ステージから裸地への変化, ①', ②', ③' は流失を伴わない破壊。  
 本研究では、主に②', ③' からの再生長・拡大過程を破壊規模と関連付けてモデル化



# 生態水理学が取り扱う時間スケール：小規模出水と空間構造

表 年間の流量変動と3つの河床材料移動Phase

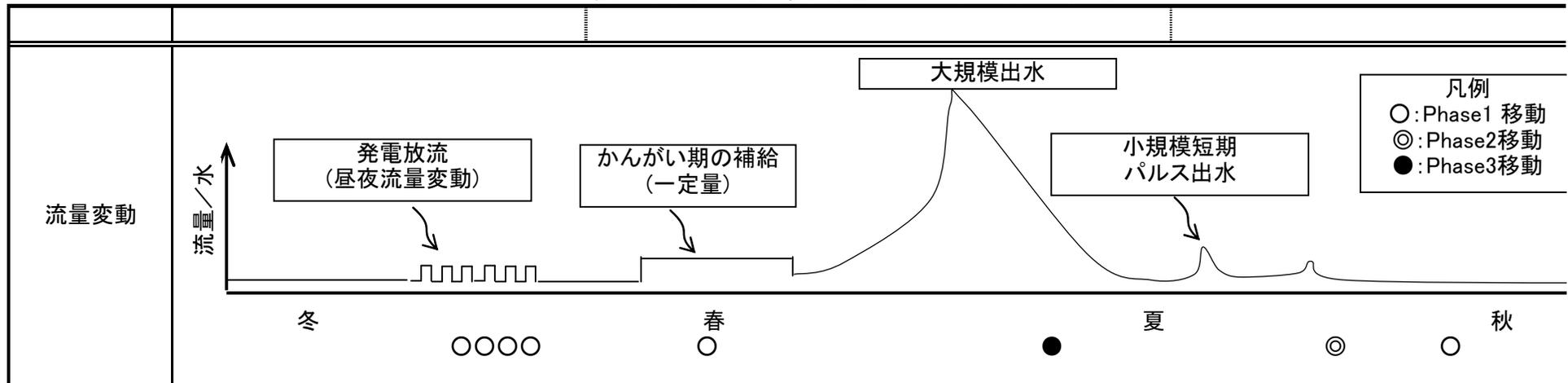


Table 1. Phases Outlining Bed Material Entrainment and Transport in Gravel-Bed Rivers<sup>a</sup>

Vericat et al. 2008

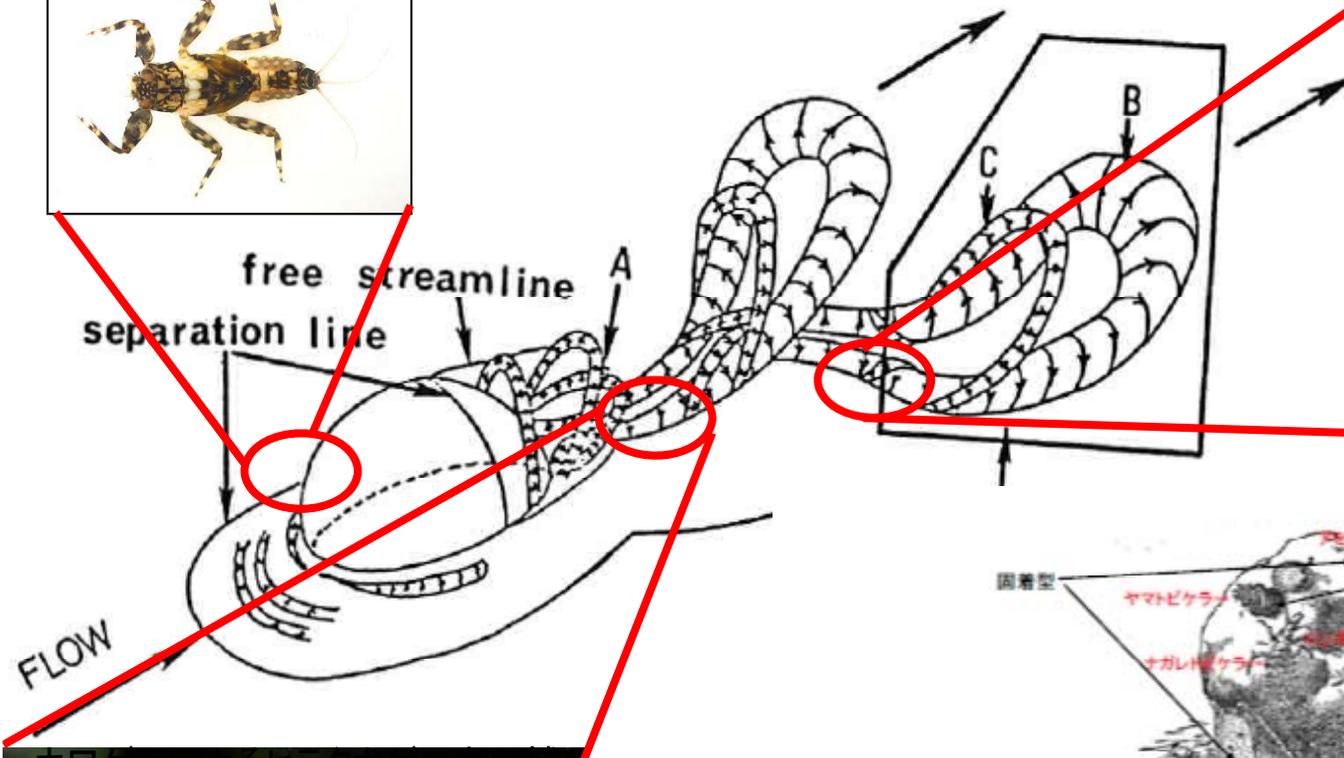
Source of Material <sup>b</sup>	Jackson and Beschta [1982]	Descriptor	Ashworth and Ferguson [1989]	Descriptor	Garcia et al. [2007]	Descriptor
<b>PATCHES</b> <b>BED</b>	<i>Phase I</i> →	small amount of sand and fine gravels mobilized	<i>Phase I</i> →	only sand fraction transported	<i>Phase III</i> →	general sediment motion from patches
	<i>Phase II</i> →	larger quantities and almost all sizes classes transported	<i>Phase II</i> →	size-selective entrainment		
			<i>Phase III</i> →	full river-bed mobility		
					<i>Phase I</i> →	within patch grain instability; no net bed load
				<i>Phase II</i> →	within patch gyratory step-and-rest motion; no net bed load	



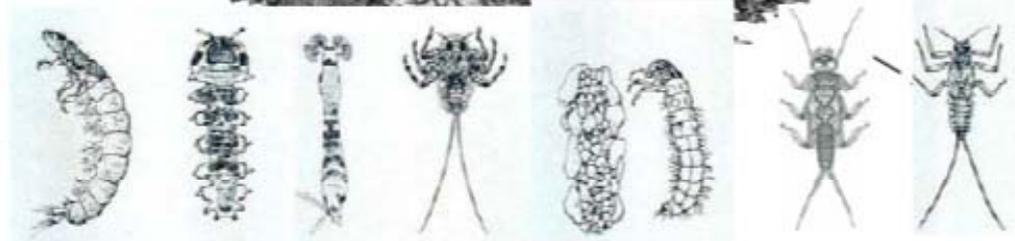
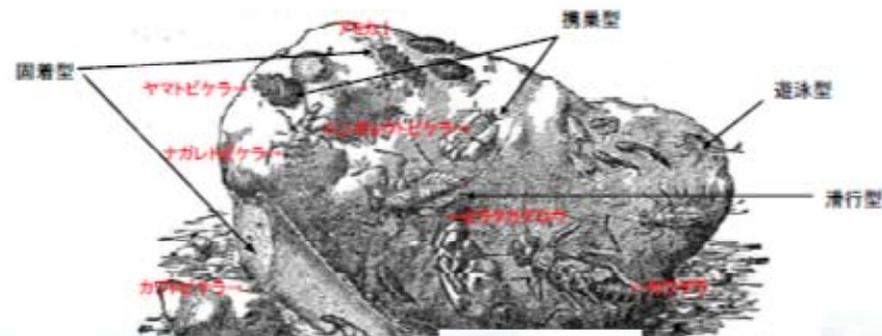
<sup>a</sup>In bold the areas addressed in this paper.

<sup>b</sup>Patch material: loose fine sediment, sand and fine gravels ( $D_{50-p} = 1.2$  mm). Bed material: armored,  $D_{50-s} = 49$  mm while  $D_{50-ss} = 24$  mm (see text for details).

# 礫周辺・後流域流れ場： ハビタットそのもの（水生昆虫）

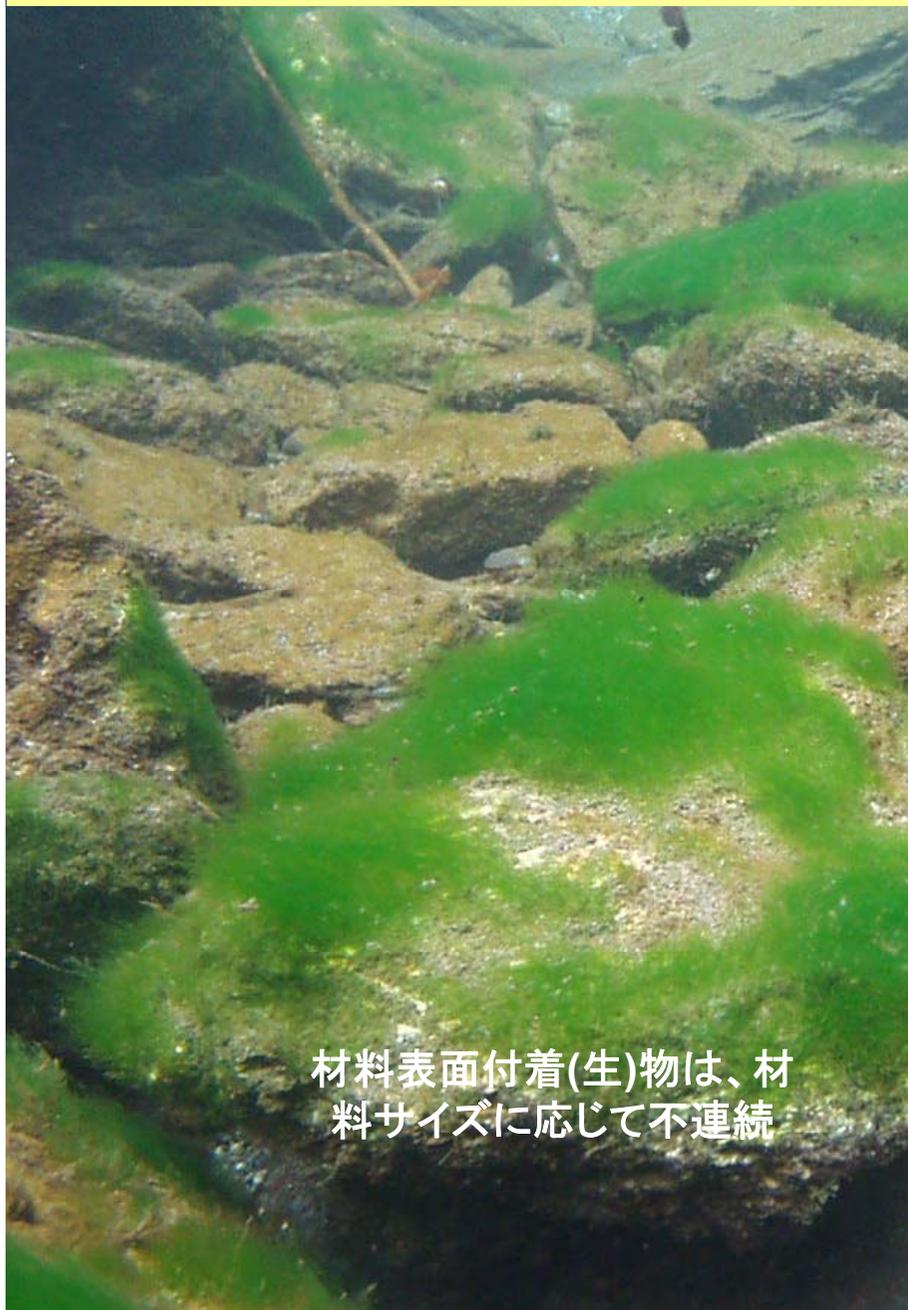


雑食性のも

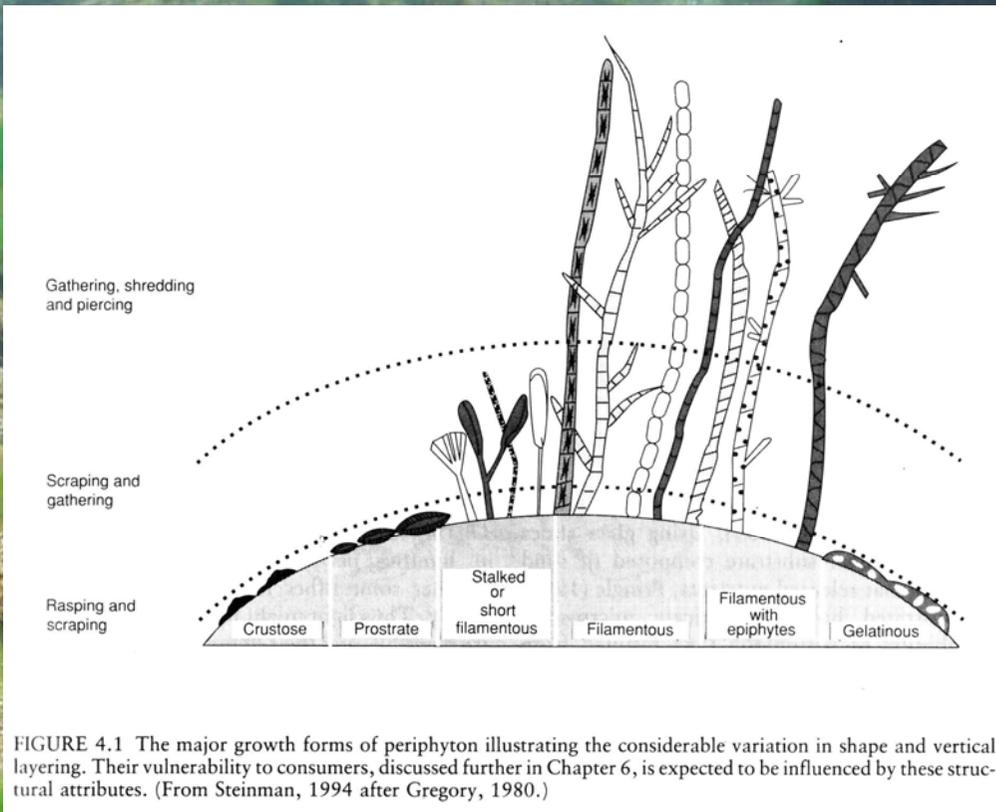


シマトビケラ 遊泳型    アミカ 固着型    ブニ 固着型    ヒラタカゴロウ 漂着型    ニンギョウトビケラ 漂着型    カミムラカワゲラ 固着型    コカゴロ 遊泳型

# 礫周辺・後流域流れ場：ハビタットそのもの（付着藻）



材料表面付着(生)物は、材料サイズに応じて不連続

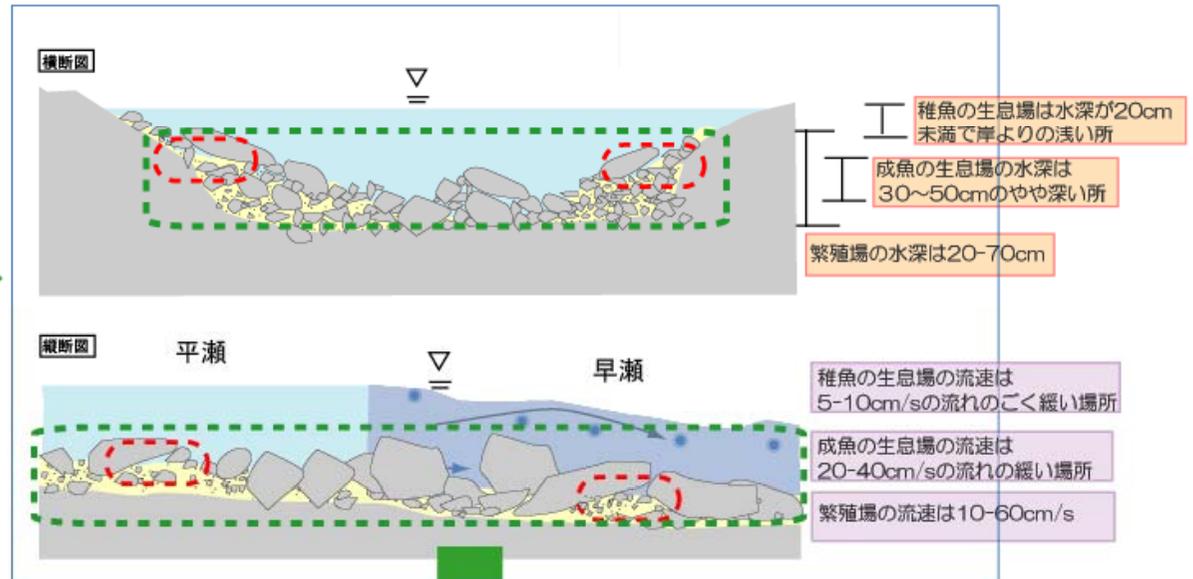
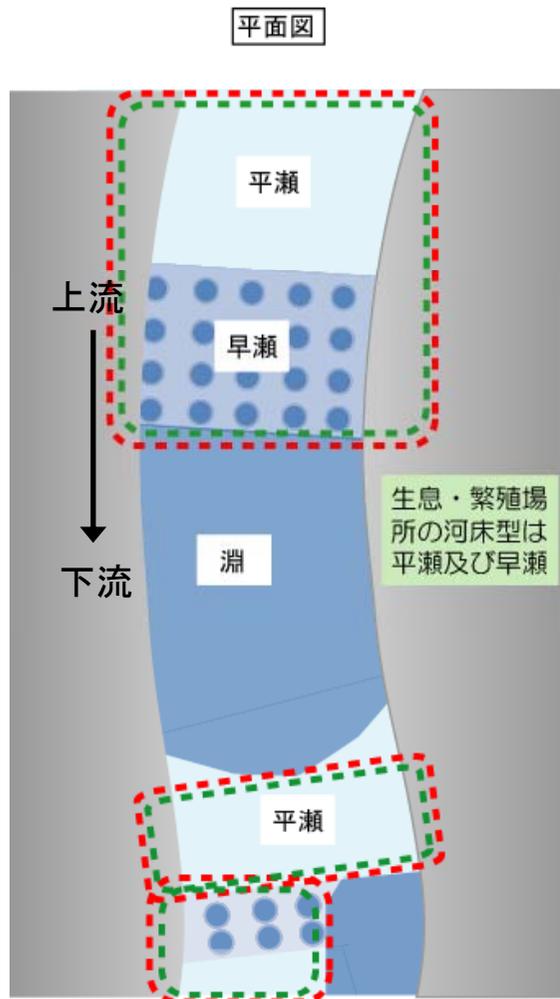


2002年7月24日 櫛田川  
水系蓮川蓮ダム上流

# カジカの繁殖場・生息場の保全・再生に着目した土砂還元実験

カジカの繁殖・生息環境模式図

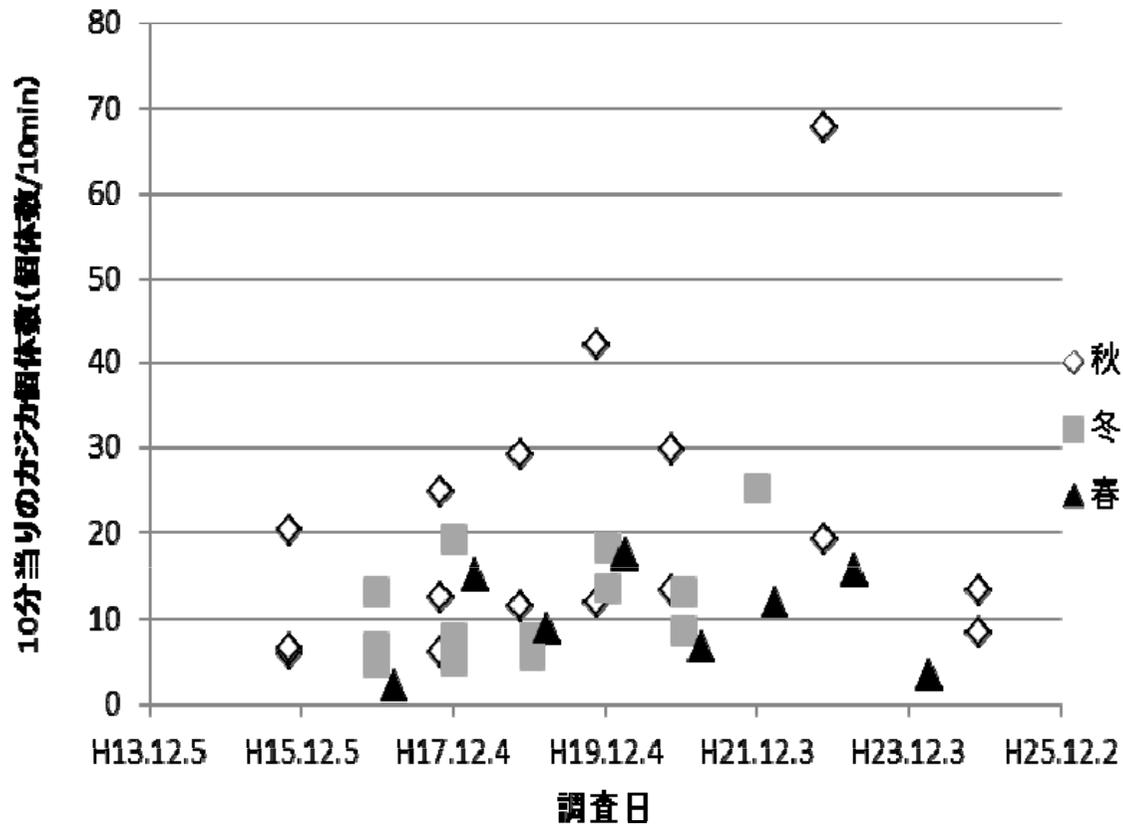
## 河床構造・河床材料が重要



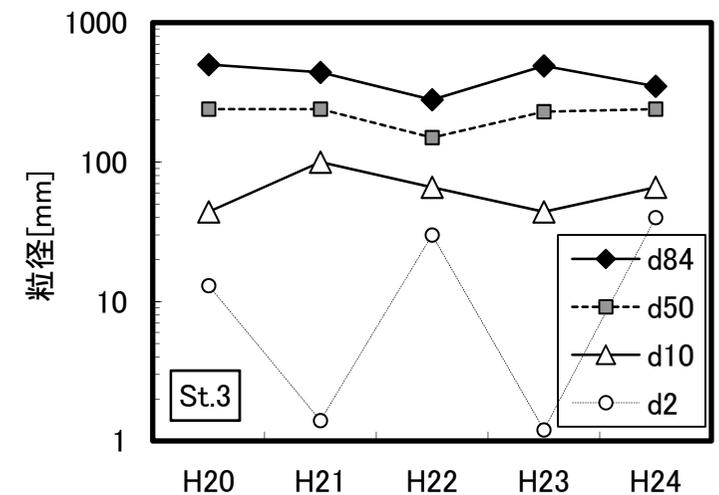
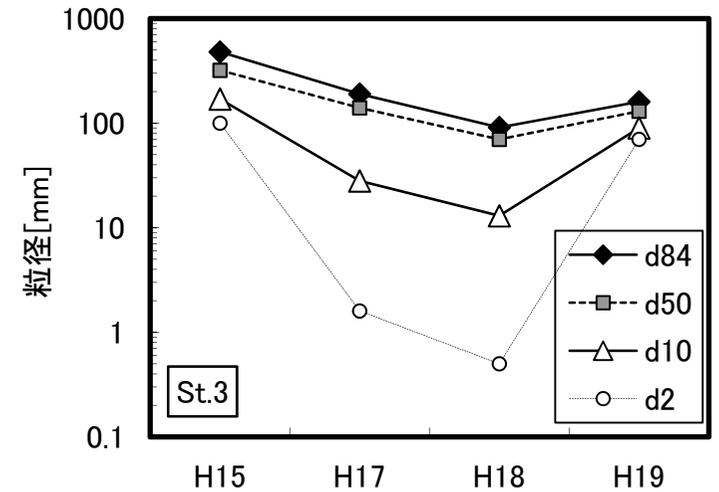
- : 生息場所
- : 産卵場所

# 河床材料とカジカ個体数の関係：二瀬ダム土砂還元後

## 平瀬st.3



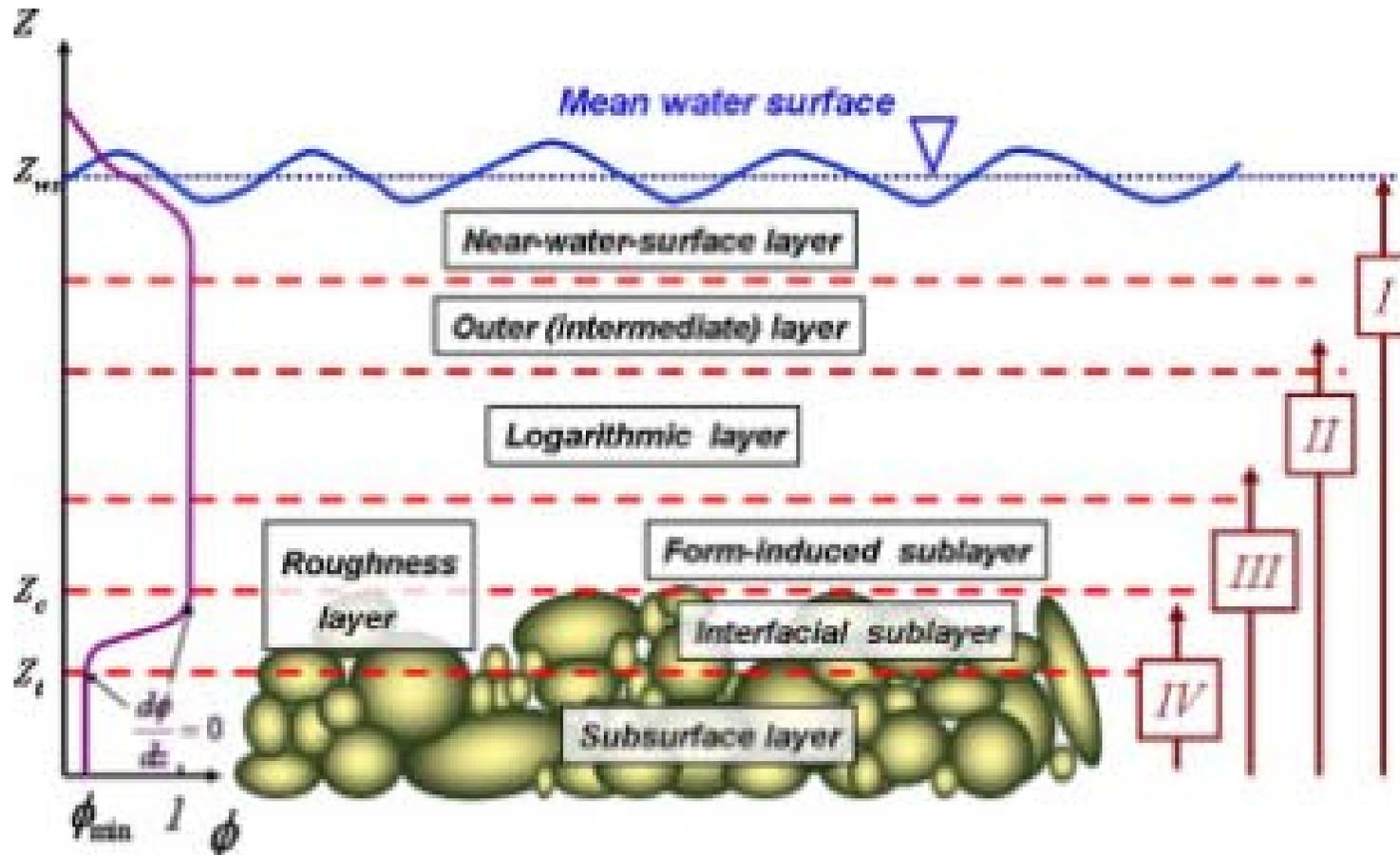
二瀬ダム資料をもとに作成



# 生態水理学が取り扱う空間スケール：境界層

## 応用生態工学分野のダム下流河道環境改善における付着藻や水生昆虫の研究

境界層のIIIやIV付近が重要な研究であるが、どこまで考慮しているか？平面2次元の浅水流計算で評価しているものもある。しかし、3次元でおこなうのは非現実的。境界層関連の研究の再整理が必要では。



図面は、  
Nikora(2010)より

## 新しい視点：実施中の研究例

- 1. ハビタット：静的⇔動的（土砂移動性のフェーズ）
- 2. 河床材料（調査）：平面的⇔立体的（高さ方向）
- 3. マイクロハビタット：攪乱の質と水生昆虫の動態の相違
- 4. ダムの影響：動的システムの変化（小型材料を消失させる）とともに、細かいシルト成分の動きの時間スケールを長くし、量も増やす。
- ※置き砂などの効果：小規模出水時の動態

事例紹介：1)室内実験での水生昆虫の流失限界流速、2)小型材料移動性が水生昆虫の動態に与える影響、3)後流域流れと昆虫群集

生態水理学の概念

# 参考：底生動物に着眼することの、河川環境あるいは河川事業での有効性

- 場の環境の反映性：魚類に比べ移動性が低く、微生物場の影響を受けやすい
- 多様性：魚類に比べて多様な種が存在するために「多様性」を評価しやすい
- ノイズの少なさ：魚類に比べて捕獲や放流等の人為ノイズが少ない
- 環境への即応答性：生活史が短く、環境変動にすばやく応答する（※逆に遷移がノイズ的に働く事に注意）
- 食物連鎖：基礎生産者から高次捕食者の食物連鎖を繋ぐ（例：カゲロウ等は溪流釣りでの重要な餌）

※池淵 編(2009)ダムと環境の科学 コラムより改変

※写真は、釣具屋で販売されてる溪流釣り用の疑似餌(カゲロウ・カワゲラ・トビケラ幼虫)である

# 研究例 1 室内実験によるマイクロハビタット 直接評価

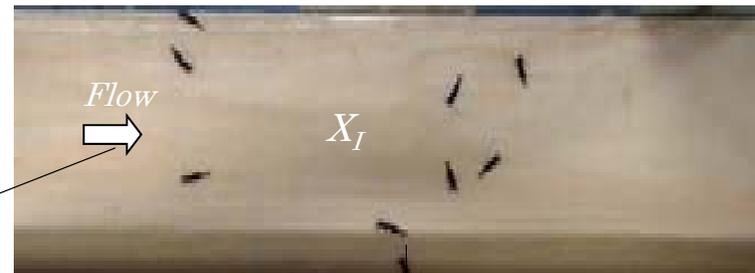
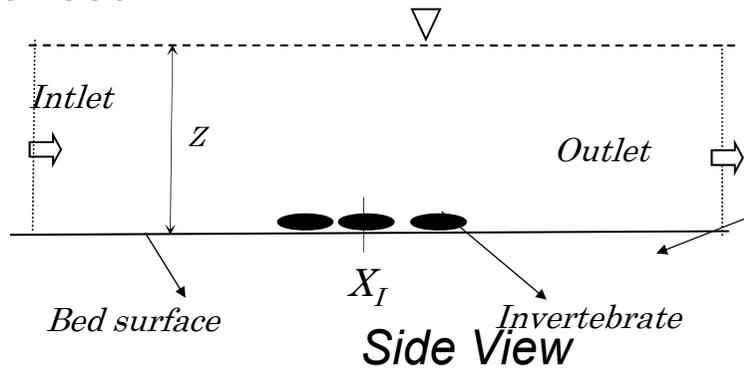
チラカゲロウで基礎的な特性を調査

選定理由

- 遊泳型の大型タイプ
- 遊泳型は、**攪乱への感度が最も高い**
- 積極移動能(遊泳)による空間選好行動が顕著
- ⇒流れ場への応答性の高い種として想定し、  
最初の実験事例として実施

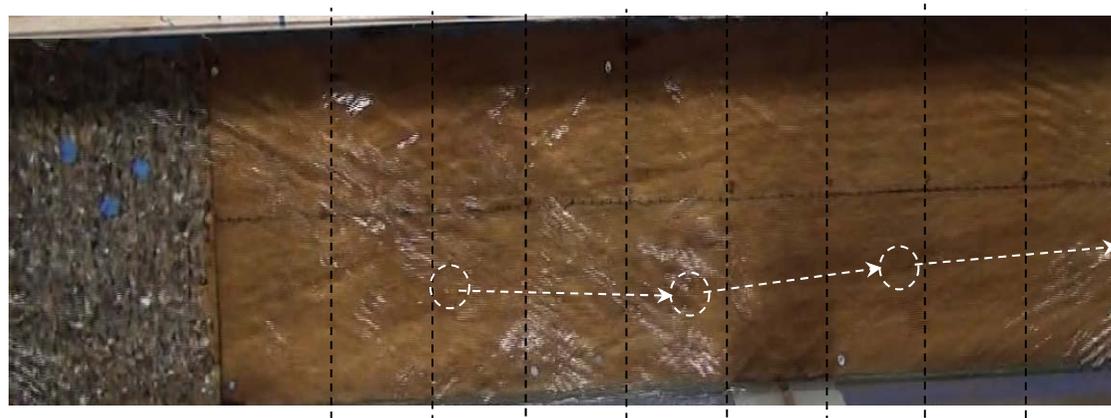
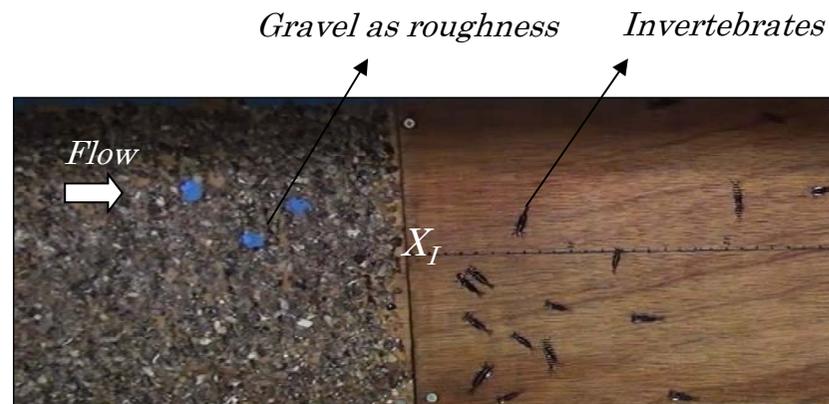
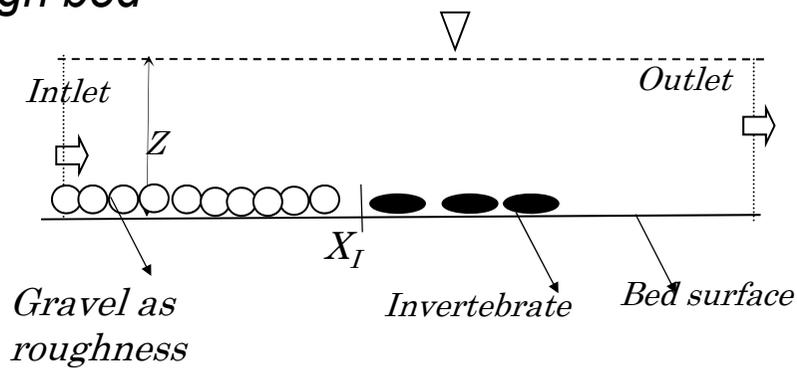
# 水生昆虫のドリフト条件：実験方法

## Smooth bed

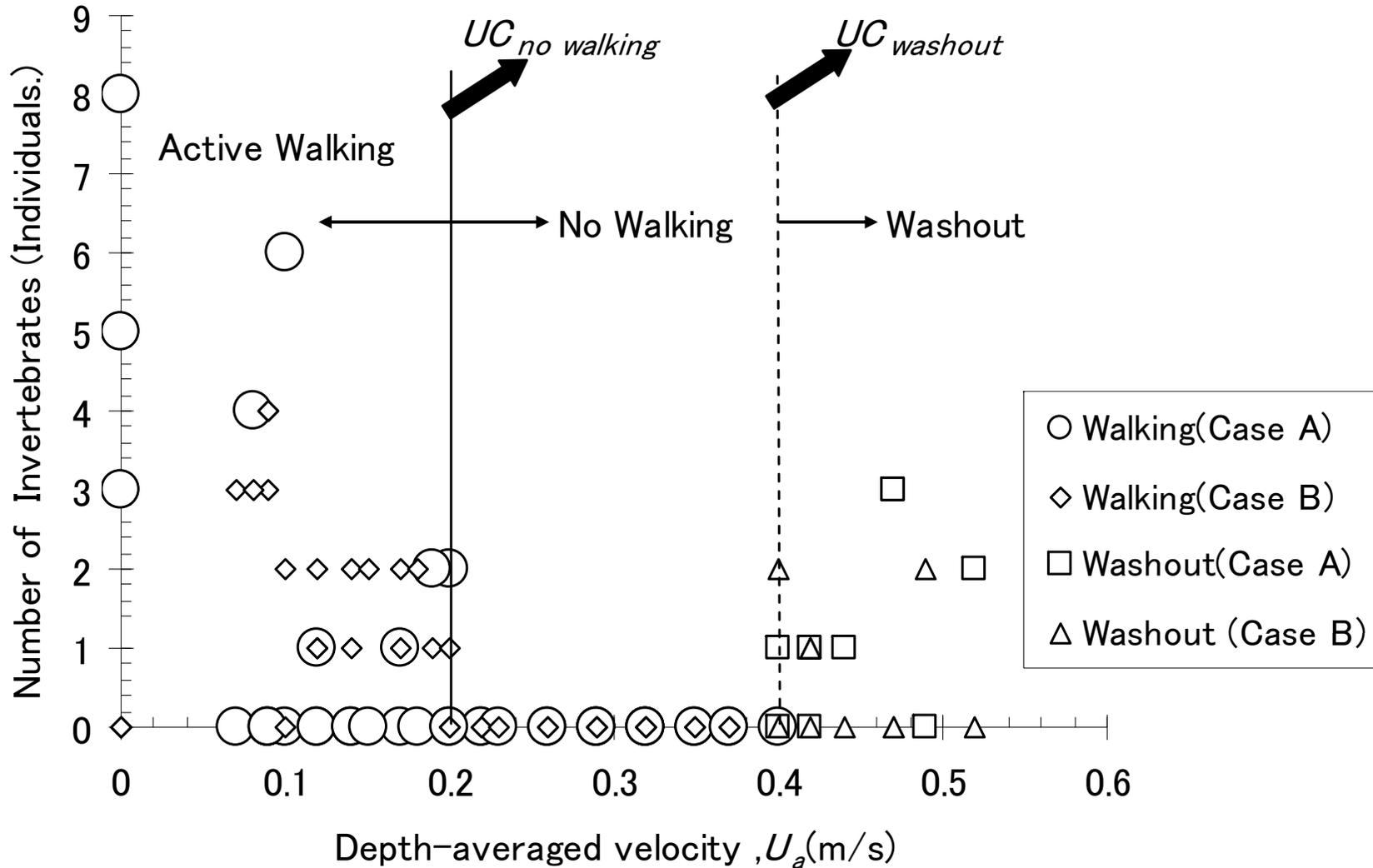


Plan View

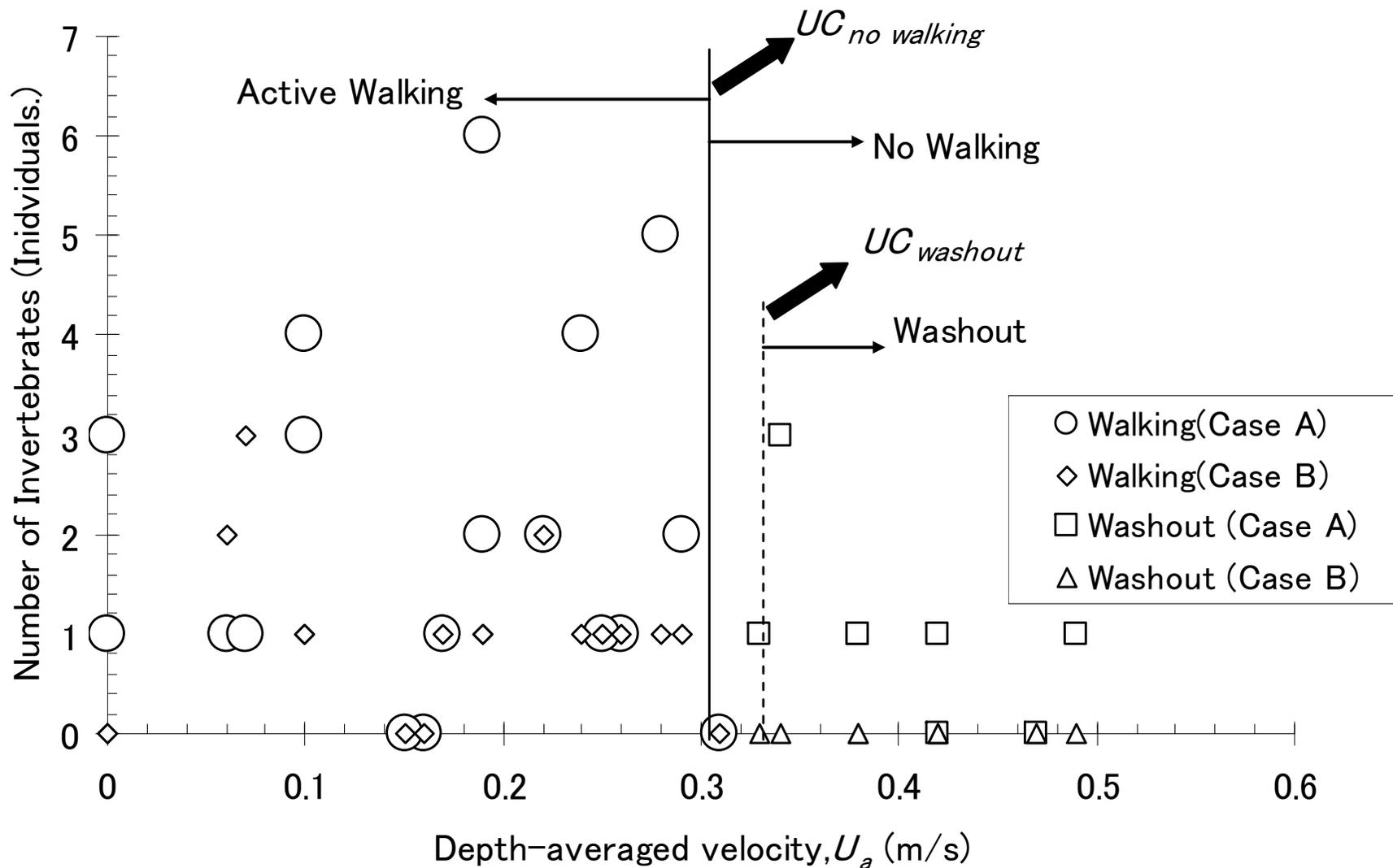
## Rough bed



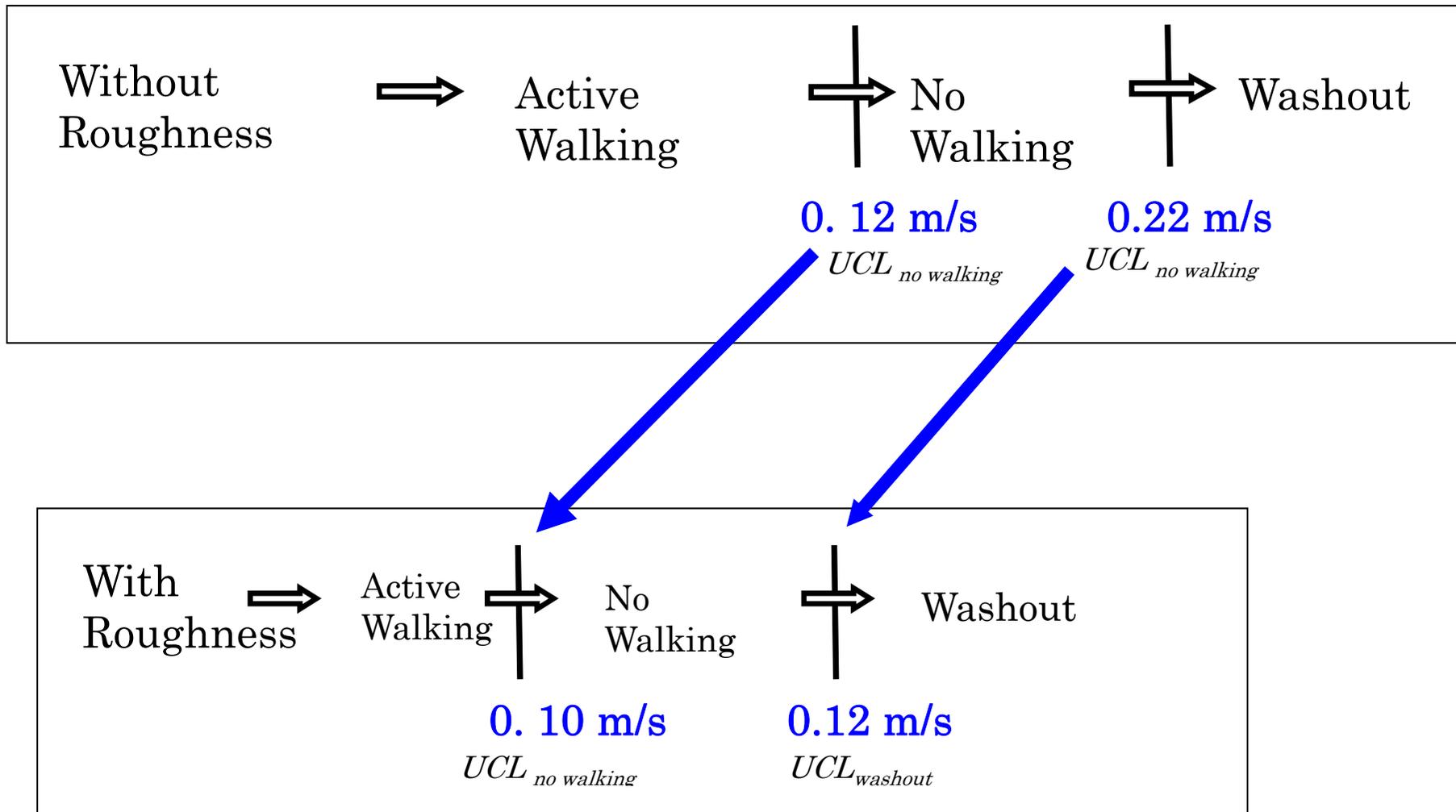
# 水生昆虫の挙動：平均流速による変化 (上流礫無し)



# 水生昆虫の挙動：平均流速による変化 (上流礫あり)



# 水生昆虫の挙動：（水生昆虫高さの）局所流速による変化：（上流礫なし、ありの比較）



## 研究例2：土砂還元と水生昆虫の動態 小型河床材料の移動性の持つ意味

二瀬ダム下流河川における土砂還元の効果：非出水期における小規模河床材料の移動性に着目して，田中規夫，古里栄一，H25応用生態工学会，2013.9

- 土砂還元の効果：粒径（小型化、範囲） カジカの増加，EPTの若干の増加
- ⇒合理的な土砂還元(量や質(粒度)、場所等の適切な条件の指針の明確化)のためには、更なる研究が必要
- あまり研究例が多くないにもかかわらず、生態系・食物連鎖で重要な水生昆虫について考えてみたい
- ⇒しかしながら、攪乱による直接的な水生昆虫動態への知見は乏しい

## 研究例 2：研究目的

- 貯水池での堆砂の進行抑制および下流河川での粗粒化や河床低下の改善対策として、近年土砂還元やフラッシュ放流等が数多く実施されている。
- フラッシュ放流の規模や還元土砂の量・粒径を適切に選定するためには、下流河川低水路の物理環境や生態系のレスポンスに関する理解が不可欠である。
- 本研究では二瀬ダム下流における水生昆虫の動態を土砂還元前後の河床材料変化（粒径と移動性）とあわせて評価するものである。

# 二瀬ダム：ダム及び下流河川の状況と目標（案）

二瀬ダム及び下流河川の状況（土砂還元前）		目標（案）
ダム	堆砂 <ul style="list-style-type: none"> <li>貯水池内の土砂堆積が進んでいる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>貯水池の堆積土砂の計画的な排除によるダム機能の維持・増進</li> </ul>
下流河川	河川環境（物理） <ul style="list-style-type: none"> <li>河床材料の<b>粗粒化</b>（アーマー化）：ダム下流から三峰口の間には河床材料中の細礫等が流出し、昔に比べて全体的に<b>巨石や露岩</b>が目立つようになった。</li> <li>基盤岩露出箇所増加：85年の調査結果によればダム建設前（S36）に比べて露岩箇所がかなり増えている。</li> <li>下流河川の河床低下：三峰口付近や佐久良橋下流付近で河床低下による護岸基礎の洗掘が見られる。</li> <li>砂州の樹林化：久那橋から皆野橋間において砂州面積の減小と砂州の固定化・樹林化が進む。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>粗粒化の解消</b></li> <li>露岩箇所の砂礫河床への回復</li> <li><b>健全な土砂移動状態</b>の回復</li> <li>河道の安定化</li> </ul>
	河川環境（生物） <ul style="list-style-type: none"> <li>露盤化、粗粒化している区間では、河川形態が単純化し、<b>魚類の生息・産卵、底生動物の生息に適さない</b>。（アーマー化により浮石が減少し、カジカの生息場が劣化した。そうした苦情が地元から発生していた⇒H15調査でダム下流（st. 4, 5でカジカが確認されなかったことにより裏づけ）</li> <li>土砂量の減少により、クレンジング効果が小さくなり、付着藻類の剥離更新が起こりにくくなる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>露盤化、粗粒化の解消にともなう<b>砂礫等を好む魚類の生息・繁殖環境、底生動物の生息環境の改善</b></li> <li>土砂掃流によるクレンジング効果の促進に伴う、付着藻類の剥離更新の増進</li> <li>これらの典型種として、カジカの繁殖場・生息場の保全・再生に着目した土砂還元実験とする。</li> </ul>
	治水・利水施設 <ul style="list-style-type: none"> <li>二瀬ダムから三峰口までの区間には3つの発電取水堰（大滝、大洞、強石）が存在する。（流下土砂量の大幅な増加は、局所的な堆積を招くなど、治水、利水機能に支障を与えることが懸念される。）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設の治水、利水施設の機能に支障を与えない（悪影響の回避）、適切な還元土砂量、還元方法の策定</li> </ul>

二瀬ダム管理所資料より

# 二瀬ダム：これまでの土砂還元の実績



計画堆砂量  
51,000m<sup>3</sup>/year  
実績堆砂量  
79,000m<sup>3</sup>/year  
置き砂：実績ベースで1割強



土砂還元の実績

年	置き砂量 (m <sup>3</sup> )	概算流下量 (m <sup>3</sup> )
H15	13,000	-
H16	11,700	13,000
H17	5,400	11,700
H18	5,300	5,400
H19	11,600	5,300
H20	8,100	5,000
H21	8,800	12,300
計	63,900	52,700

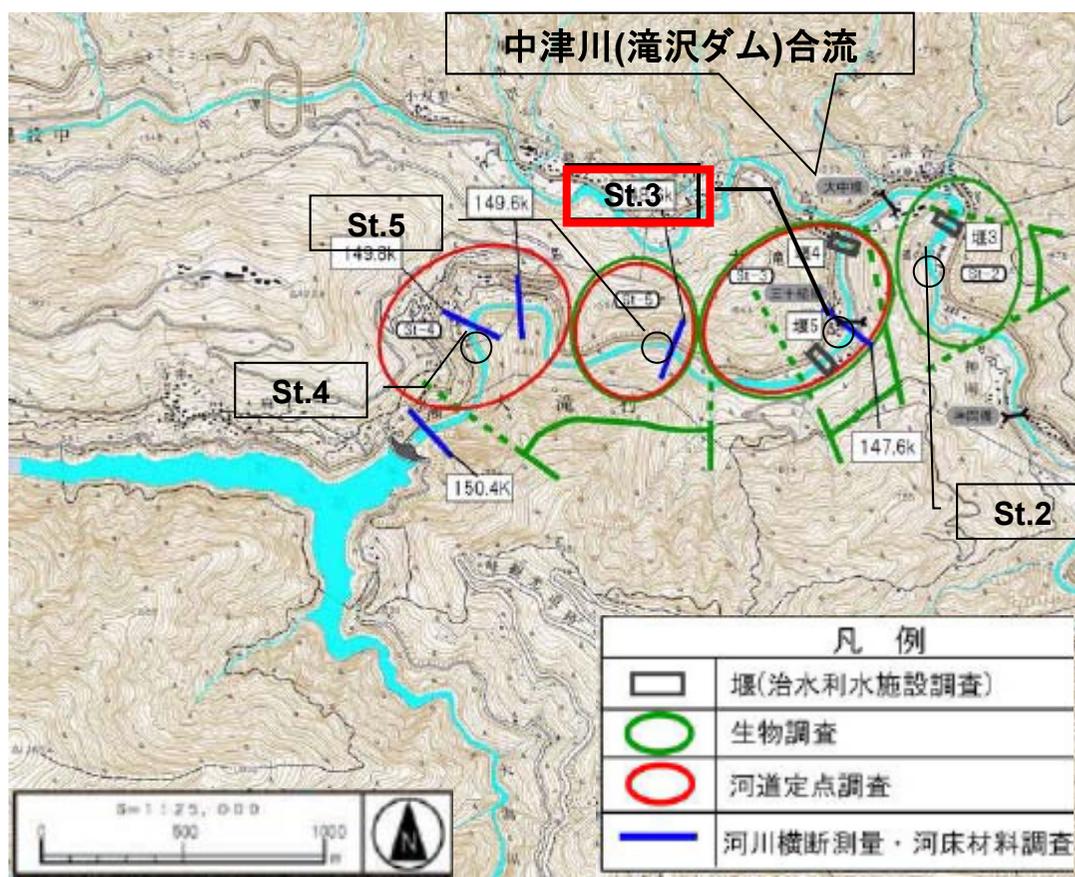


土砂は貯砂ダムより搬出し、ダムの直下に投入している。

(平成22年3月現在)

# 二瀬ダム下流St.3地点の概要

勾配	1/64(ダム下流中津川まで平均)
地形	早瀬(流況によっては平瀬出現)
河口からの距離	147.6km(二瀬ダムより約2.5km下流)
セグメント	M
河川形態	Aa型



- ・H16から22年の継続的な土砂供給
- ・代表粒径の小型化  
(中石→小石)
- ・EPTの継続的な上昇

# 水生昆虫データの解析方法

## 【現地調査】

- 平成15年以降, 秋季から早春季(主に3回)
- St.3の早瀬で3コドラート採取(50cm × 50cmサーバネット)

## 【使用した指標】

- **EPT%** :カゲロウ, カワゲラ, トビケラの豊富さ
- **MN(移動性指数, Movability Number)**

$$EPT \% = \frac{E + P + T}{\text{水生昆虫総個体数}}$$

$$M_N = \frac{E + P}{E + P + T}$$

$E$  :カゲロウ目個体数

$P$  :カワゲラ目個体数

$T$  :トビケラ目個体数



# 代表的なEPT水生昆虫

EPT:近年は、河川環境の健全さ指標として位置づけられるが、「攪乱」の観点からは**対攪乱特性(耐性等)**の異なる種が混在している。

カゲロウ目(蜉蝣目) **E**phemeroptera)



トビケラ目(毛翅目) **T**richoptera



積翅目(せきしもく、カワゲラ目、**P**lecoptera))



造網作用によるトビケラの身  
(河床固化作用)

# 攪乱に関連した指標の提案：移動性指数MN

- 移動性指数(MN, Movability Number)
- 特に巣を作らず、能動的に空間移動を行う、攪乱時の避難や攪乱後の再回帰が比較的容易な種の豊富さを意味する。
- まずは、第1案として、最も簡易な  
 $(E+P)/(E+P+T)$   
で検討(同定も極めて効率的)

# 参考：現存量と造網型，遷移

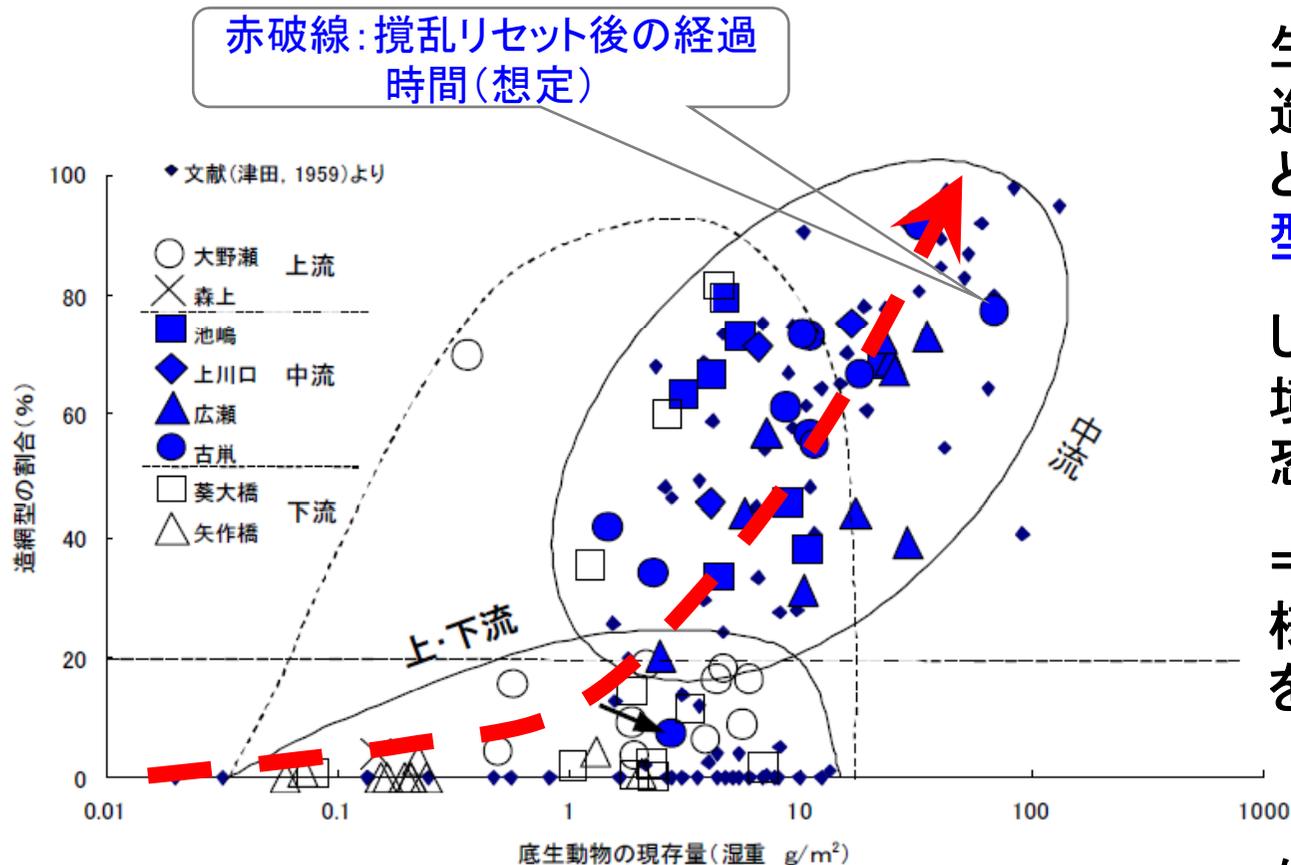


図 6. 日本の河川における底生動物の現存量とそれに占める造網型トビケラ類の割合との関係

池田ら2001より 津田データと矢作川データより

生産性が高い場合は、造網型(トビケラ)が多いと言われてきた。(造網型は良い指標とされた)

しかし、安定しすぎた環境は多様性の減少の恐れがある。

⇒再度、津田仮説と多様性の関係のチェックをした。

なお、近年は発電水路やアーマー化河川で極度のトビケラ優占が問題になることがある(例：矢作川)

# 攪乱や多様性を考慮した新指標による津田仮説データの見直し

## 【移動性指数( $M_N$ )の提案】

- 水生昆虫群集(特にEPT)で生じる遷移過程を、初期侵入回帰力の高いタイプの豊富さで表した。

$$M_N = \frac{E + P}{E + P + T} \quad (1)$$

- $H'$ : Shannon多様度指数

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

- 多様性は、大攪乱後、中間的な経過時間で上昇
- 移動性の高いカゲロウ・カワゲラの比率( $M_N$ )と関係がありそうである。
- ⇒「造網型が高いことは良い」と言われる事もあるが、極相は多様性や食物連鎖の観点から好ましくないかもしれない
- 群集構成の調査結果評価:「攪乱バイアス」として、「安定時間」の評価が今後必要では？

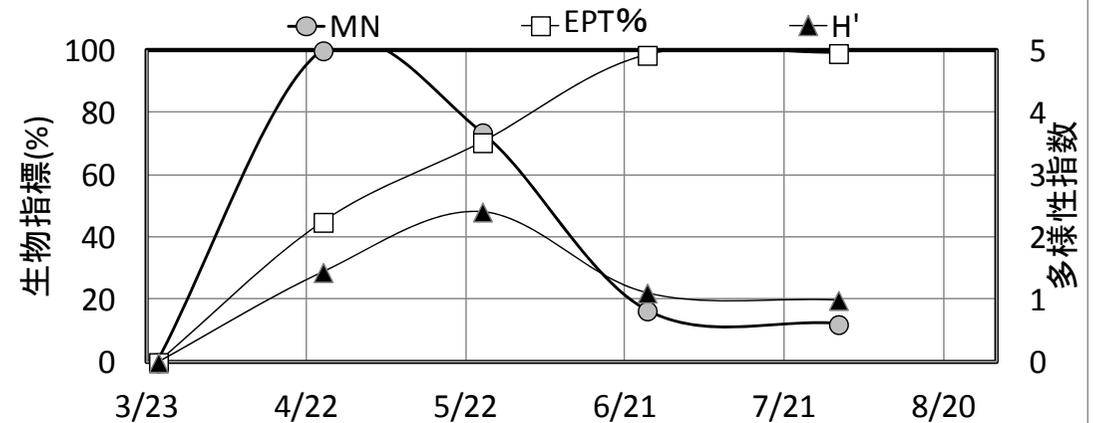
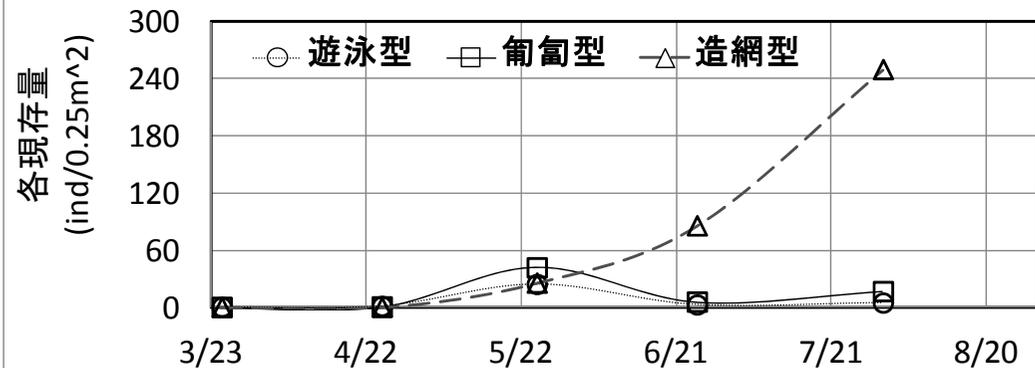
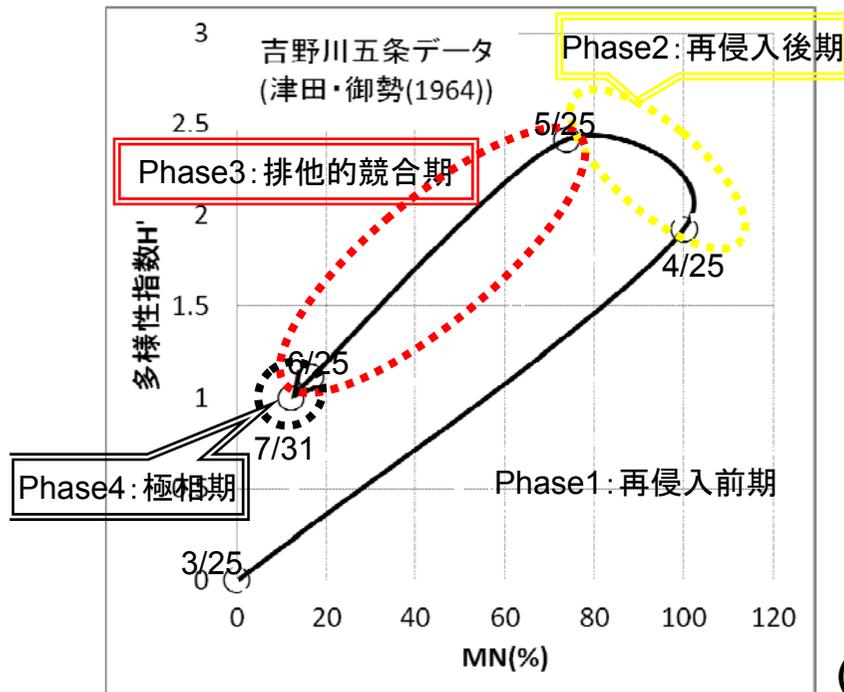


図 津田仮説オリジナルデータを用いた各指標等の時系列 (吉野川五條地点1962年)

# 攪乱や多様性を考慮した新しい水生昆虫群集指標の提案 (津田仮説データの見直し)



- ・安定河床における水生昆虫群集の遷移
  - ・破局的攪乱による全消失後
  - ・攪乱からの経過時間に応答する。
  - ・ループ上で半時計回りの進行
  - ・ダムなし、河床材料多様、避難所あり条件で成立
- ⇒従来、極相が「生産量が多いから良い」とされていた。  
が、上位捕食者はトビケラ優占では少ないというデータがある(被捕食回避戦略)
- ⇒土砂還元による攪乱条件変化に使えるか？

図 移動性－多様性ループ  
(津田仮説オリジナルデータの再解析より)

表1. 移動性指数－多様度指数空間における遷移系列進行にかかる4過程

遷移段階	昆虫群集動態	多様度( $H$ )	移動性割合( $M_N$ )
Phase1	周囲の避難所(小支川等)等からの早期回復タイプ(遊泳・匍匐型等)の再侵入(分散力の小さいトビケラ侵入は生じない)	増加中	直ちに最大に達する
Phase2	侵入・回帰の継続(分散能力の小さいトビケラ等を含む)	増加	微減
Phase3	排他的競合の開始: 多様度低下(トビケラによるカゲロウやカワゲラの排除)	低下	減少
Phase4	極相(造網型トビケラ優占)	低い状態で維持	低い状態で維持

# 使用した指標 (河床材料の移動性評価)

## 【解析手法】

- 考慮事項: 混合粒度による遮蔽効果と河床粗度による乱れ
- 掃流力 $\tau$ (Wilcock 1996)
- 流速の対数分布則と、河床粗度による乱れを考慮
- 限界掃流力 $\tau_c$ (Komar 1996)
- 50%粒径を用いて**遮蔽効果**を考慮
- 上記2式より、**移動限界粒度式**を作成

## 【使用データ】

- 流速および水深: 流量データから等流解析で推定(時間データを使用)
- 粒径データ: 年毎の当該地点での粒度分布から使用

$$D_{cri} = \left( \frac{\rho \left( \frac{\kappa U}{\ln(10h/D_{84})} \right)^2}{0.045(\rho_s - \rho)gD_{50}^{0.6}} \right)^{-0.4}$$

$\rho$ : 水の密度

$\rho_s$ : 砂の密度

$\kappa$ : カルマン定数(0.40)

$U$ : 流速

$h$ : 水深

$D_{84}$ : 84%粒径

$D_{50}$ : 50%粒径

$g$ : 重力加速度



# 水生昆虫群集の変化：移動性指数の増加

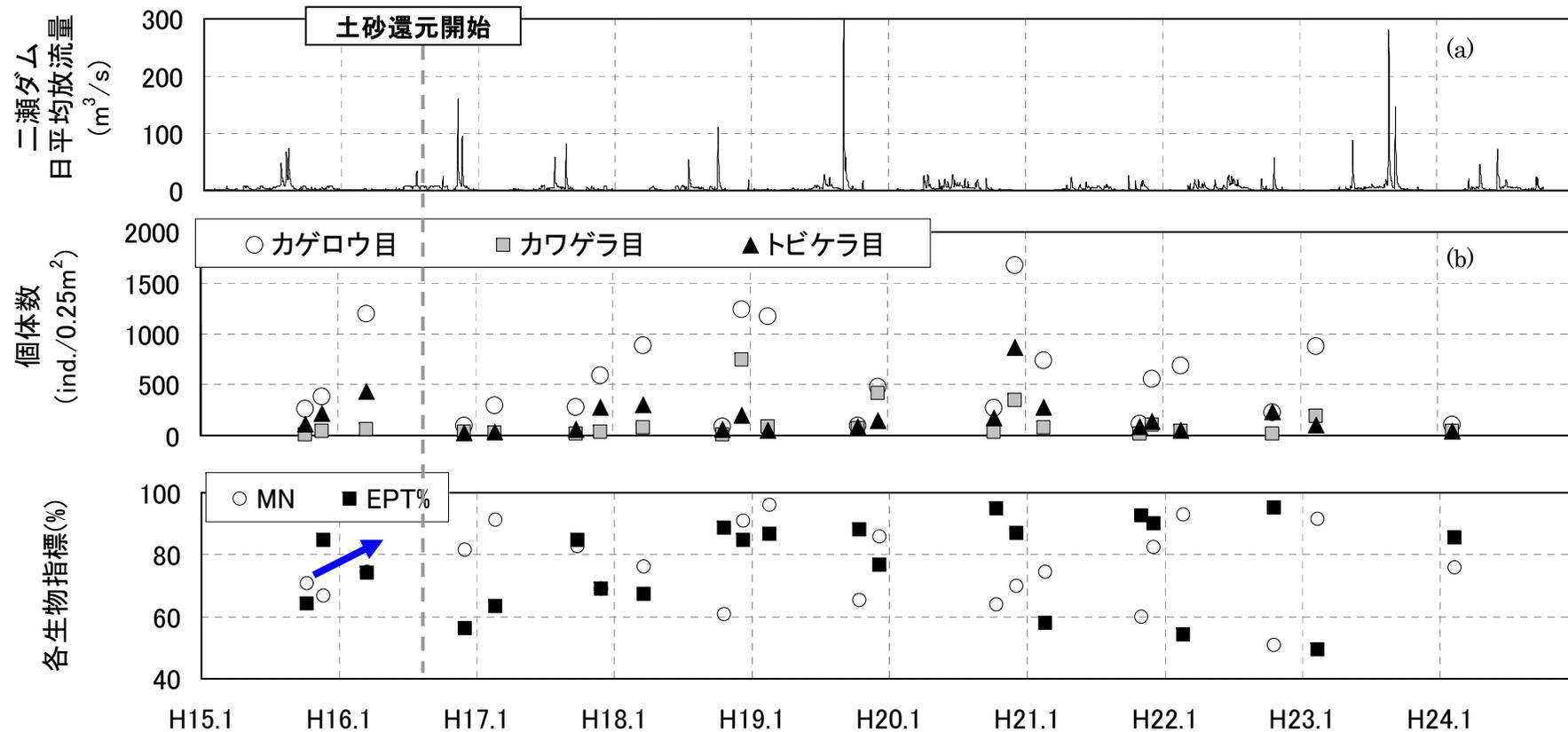
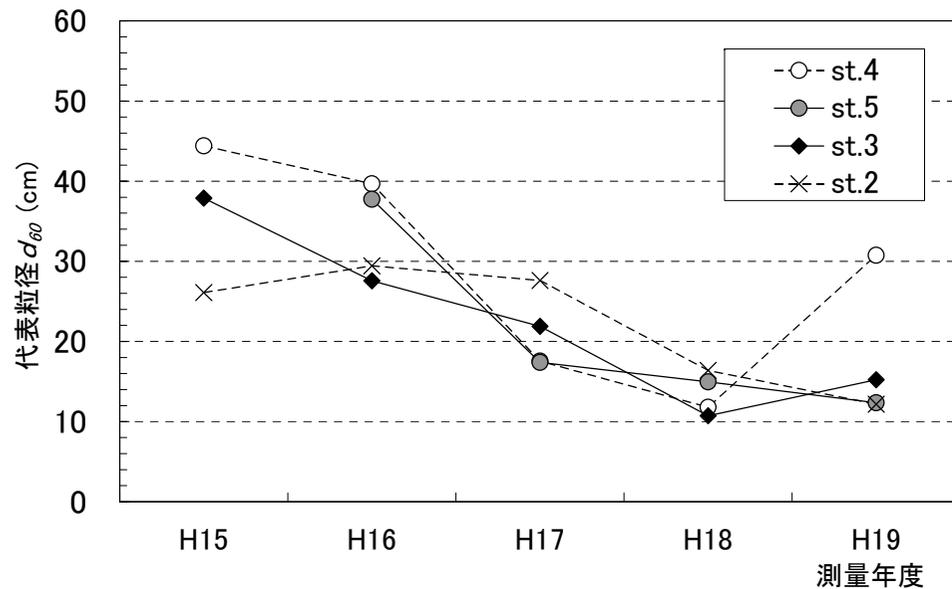


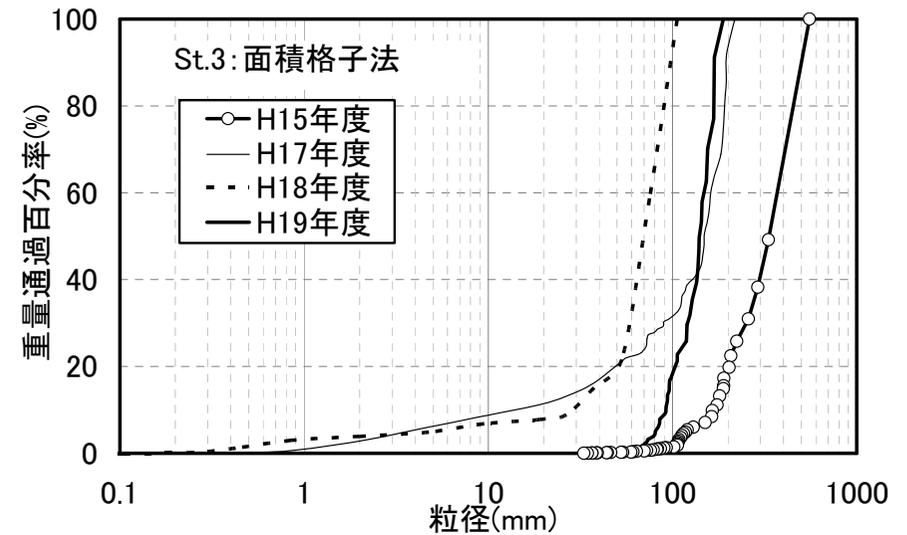
図-1 二瀬ダム下流(st.3)における水生昆虫群集の変化

- ・土砂還元前である平成15年秋季から翌年春季にかけてトビケラ目が増加傾向であったのに対して、土砂還元後はそうした顕著な変化が確認できなくなっている(図-1(b)).
- ・秋データのEPT指数が土砂還元後経年的に増加しつつあること、MNの秋季から冬季にかけての増加が土砂還元後に増加したことが確認できる。

# 河床材料サイズの変化：代表粒径の小型化



下流調査地点における代表粒径の経年変化



粒度分布の経年変化

- ・土砂還元実施後は徐々に小型化
- ・横断測量結果から断面形状の顕著な変化は平成15年以降現在まで確認されていない。
- ・土砂還元の直接的な影響としては、**ほぼ移動しなくなっていた粗粒分の空隙および上部に、還元された土砂が供給されるとともに、一定規模の出水で移動する移動性の高い河床状態が形成されていることが推定される。**
- ・平成18年および19年の土砂流下量は平成16年から17年度に比べると半分以下=>  
平成19年には河床材料の若干の大型化が生じている。すなわち、**平成16年から17年度の土砂還元量は適度に空隙を埋める規模であり、かつ還元量を減らすと元に戻る程度**

## 河床材料の年間移動可能回数：攪乱頻度

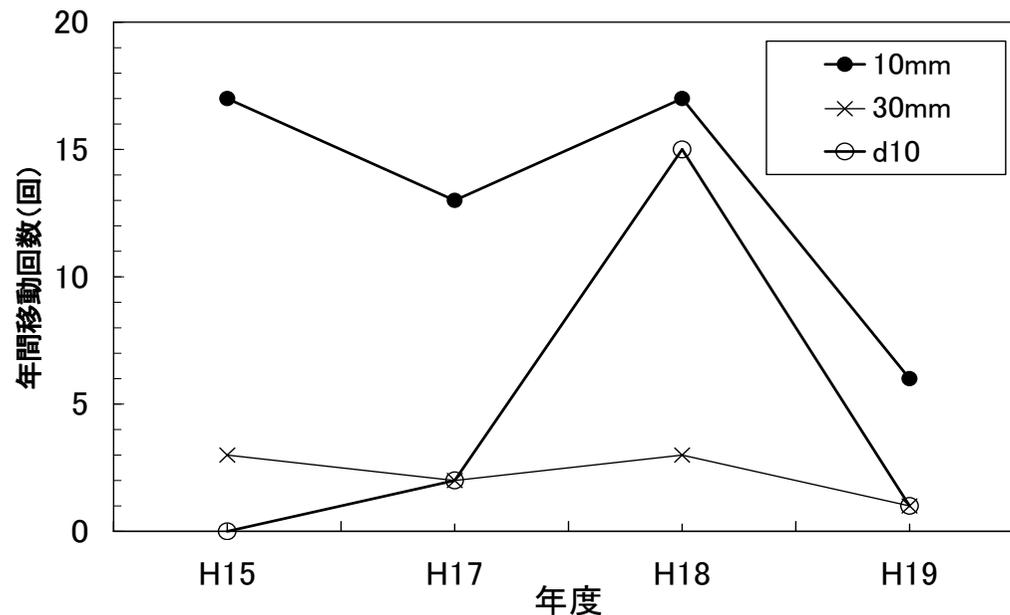


図 掃流方式, 限界掃流方式, st3の流量, 水位流量関係から推定した同地点の河床材料の年間移動回数

- ・10%粒径の移動回数は10mmと30mmの変動傾向と大きく異なる。
- ・H17,18年に大きく増加し, 置き砂量を減らした影響により河床材料がやや大型化したH19では, 移動性が大きく減少している。
- ・小規模出水による小型河床材料のわずかな移動であっても, そこに水生昆虫が存在すれば流失が生じる。河床攪乱の評価例として, 生息場評価指標としての河床攪乱の強度, 発生頻度の研究例があるが, 多くの研究では河床材料サイズとして代表粒径を扱っている。
- ・しかし, 水生昆虫を対象とした場合には小型サイズの粒径の安定性が重要である。本研究の対象地点の代表粒径は冬季の小規模出水では動かないくらい大きいことから, 小型サイズの粒径の移動性に注目していく必要がある。

## 研究例2の結論

- 土砂還元後の二瀬ダム下流河川においては、トビケラ目の秋季から早春季にかけての増加が見られなくなったことや、秋季のカゲロウやカワゲラ現存量が経年的に増加傾向にあることが確認された。
- 河床材料の細粒化とともに、小規模かつ短期的な流量増加時においても移動する可能性の大きい砂礫成分が河床に増加したためと考えられる。
- 土砂還元の計画および管理手法に関連するもののみならず、河川事業に関連して低水路の生態系に着目した調査や評価を行う場合には、出水の影響について、小型粒径の移動性評価といった観点を含めることが必要であると考えられる。

# 研究例3：マイクロハビタットの選好性：水生昆虫のエコタイプによる相違

礫後流域の水理学的特性と水生昆虫群集との関係評価に関する礫床河川での現地実験, 古里栄一, 坂田良介, 田中規夫, H25応用生態工学会, 2013年9月20日

## 【背景】

- 河川事業の関連分野の今後の課題: 低水路空間における、インパクトレスポンスの明確化(例: 土砂還元の合理的実施, 総合土砂管理におけるセグメント毎の適切な供給量と粒度)
- 「流れ場特性(水理学)」と「水生昆虫エコタイプ(生態学, 生物学)」の双方の特性をダイレクトに結びつけることはできないか?

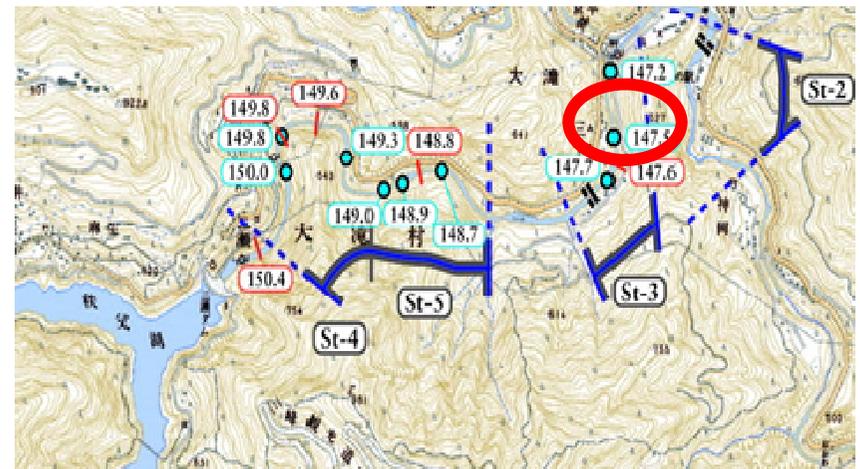
## 【目的】

- 現地で  $H/h_b$  の異なった流れ場における、水生昆虫のエコタイプ(耐攪乱型)の違いに応じた破局的攪乱後の群集再形成過程をしらべる。

# 現地実験地点



- 荒川最上流部(秩父市, 147.6kp)
- 二瀬ダム下流約2.3km,
- 河床勾配:約1/64
- 平面的に物理条件, 空間構造の均質な瀬(L=約150m)
- 進行した粗粒化対策として、H15年以降土砂還元対策実施
- 近年は、若干粒度が小型化



# 現地実験流れ場造成

- 2つの巨礫後部の流れ場を造成(下流側礫の影響排除)
- 人力で巨礫撤去( $d \sim 40\text{cm}$ )
- 凹部に砂礫投入: 河床材料移動による昆虫動態への影響を回避  
( $d_{50} \sim 20\text{mm}, d_{\text{min}} \sim 10\text{mm}$ : 移動しないことを水中で目視確認)
- 造成は局所的な破局的攪乱(Catastrophic disturbance)に相当

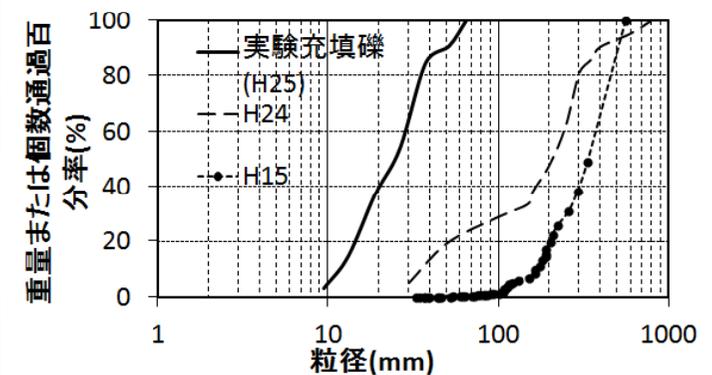
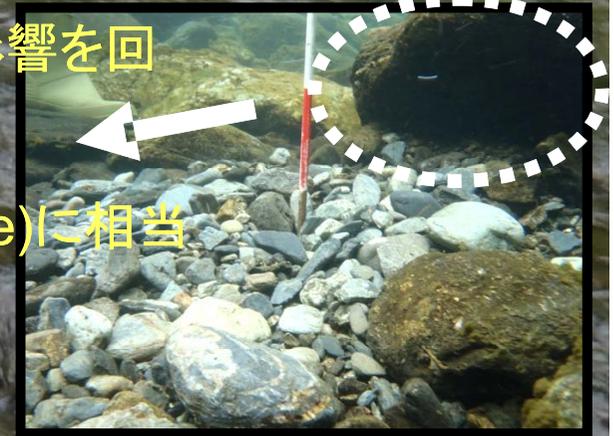


図. 礫後流部に充填した砂礫の粒度分布(H15(土砂還元前), 面積格子法; H24(土砂還元後)線格子法; H25, 重量100分率)

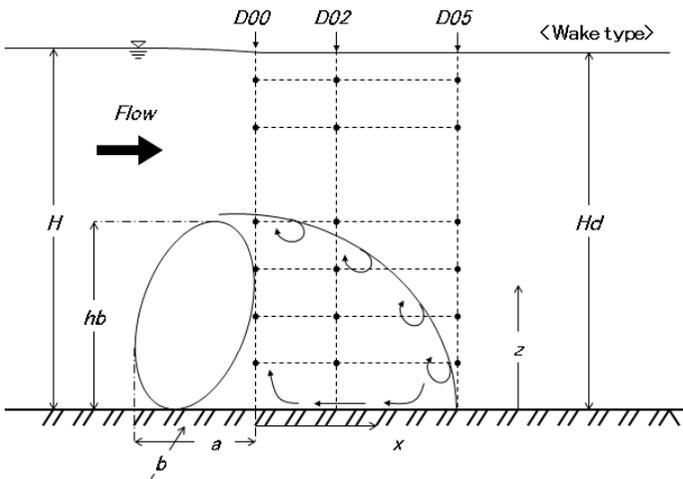
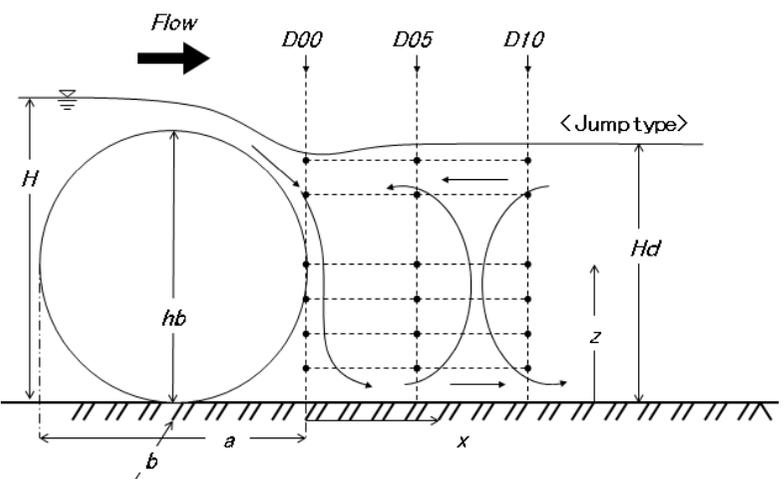
一般混合粒度式では移動限界は

# 調査方法

項目	内容	意義着眼点等
時期	<p>【第1回調査: 5/22】 現地造成, 初期昆虫相調査(対照区含む)</p> <p>【第2回調査: 5/29】流速および水生昆虫調査</p>	<p>破局的攪乱(局所)後の1週間での水生昆虫群集の回復を追跡 (流量はほぼ一定)</p>
調査区	<p>【2実験区】 W(剥離流タイプ)J(跳水タイプ)</p> <p>【1対照区】※水生昆虫のみ調査</p>	<p>実験区: 流れ場の違いによる昆虫回帰 対照区: 回帰のソースの把握</p>
項目方法	<p>【流速】 二次元電磁流速計(KENEK Co., VM-2000) 100Hzで30秒間計測(ストローハル数から10以上の渦をかばる時間に相当)</p> <p>【水生昆虫】 定法(0.5m×0.5mサーバネット採取)(ただしエコタイプ判定のため科レベル同定)</p>	<p>ハビタット-水生昆虫のダイレクトな関係性評価</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>

\*対照区水生昆虫, 総現存量274,196(inds./0.25m<sup>2</sup>)ヒラカゲロウ科が約半分、コカゲロウ科が1/4 トビイロカゲロウも1/4程度

# 対象礫周辺の流れ場

礫記号	W ( $H/h_b=2.25$ )	J ( $H/h_b=1$ )
流れの概要	巨礫後部に剥離が生じ、後流域が形成される。	巨礫上部に限界水深が存在し、後部に跳水が発生する。
流況および測定地点	 	 
サイズ ( $a, b, h_b$ )	23,46,20 (cm)	40,50,41 (cm)

\*2 流速測定は横断方向には礫中央部のみとし、流下方向に3地点設定した。調査地点記号は礫後部の位置を示しており、2桁数値は対象礫の幅( $b$ )で無次元化した下流側距離である。

# 新しく提案する分類：攪乱型

既存の分類(生活形、生活型、水質汚濁指標、摂食型、河床生息型、EPT指標、...)  
 →攪乱影響として流失(出水時)・回復(分散侵入・競合)を評価できる分類が無い



EPT(カゲロウ・カワゲラ・トビケラ)による分類を生活型(水生昆虫の生活様式)を元に攪乱の影響を考慮した攪乱型分類に発展させた。

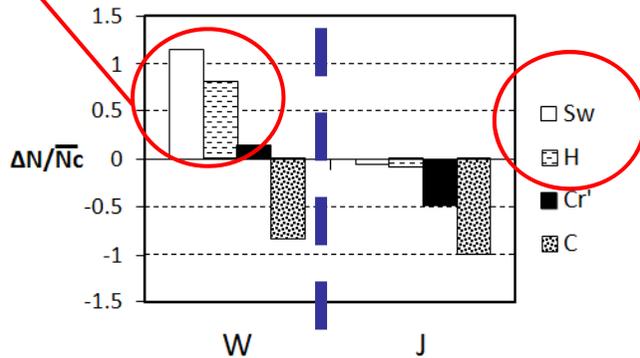
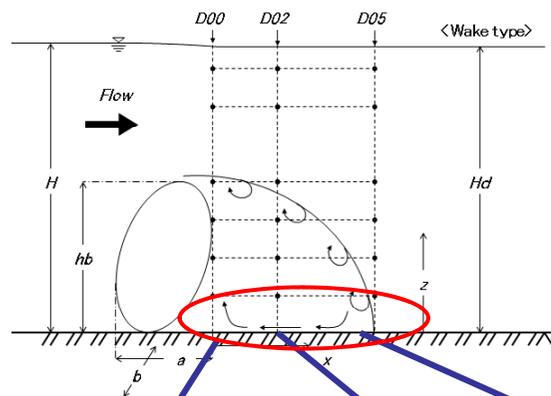


Sw Swimmers	Cr' Crawlers	H Hiders	C Case builders
			
遊泳型カゲロウ科	ヒラタカゲロウ科以外の匍匐型	ヒラタカゲロウ科(匍匐型)	トビケラ目(造網型、携巢型)
攪乱時に泳いで避難する。体は流線型。	攪乱時に抵抗する戦略を特に持たない。匍匐移動と他水生昆虫の捕食に特化。	薄い体で境界層に潜り込むことで攪乱時に流失を防ぐ。石の表面を滑るように泳ぐ。	蚕糸によって石の間に巣を造ることで流失を防ぐ。

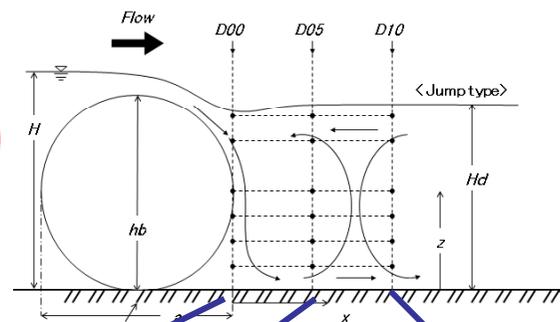
# 現地実験の結果

$\Delta N/N_c = 1$ 週間での増加数 / 対照区平均

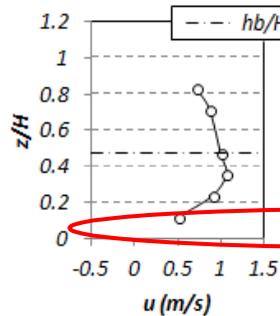
## 【剥離流タイプ(W)】



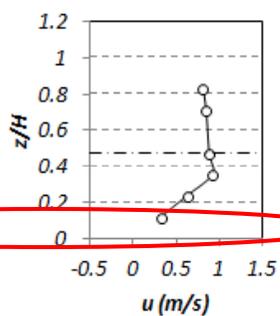
## 【跳水タイプ(J)】



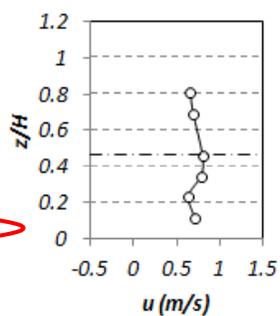
W-D00



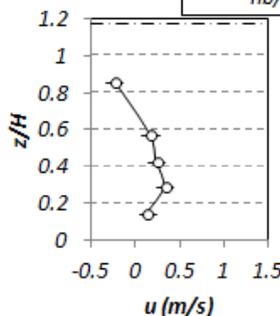
W-D02



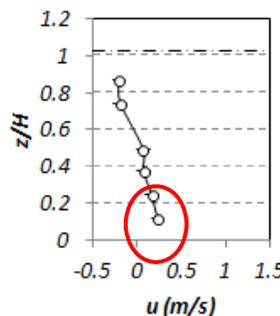
W-D05



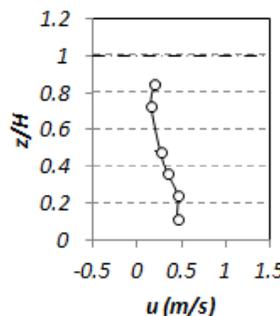
J-D00



J-D05



J-D10



# 事例3の結論と今後の展望：（攪乱）生態水理学として

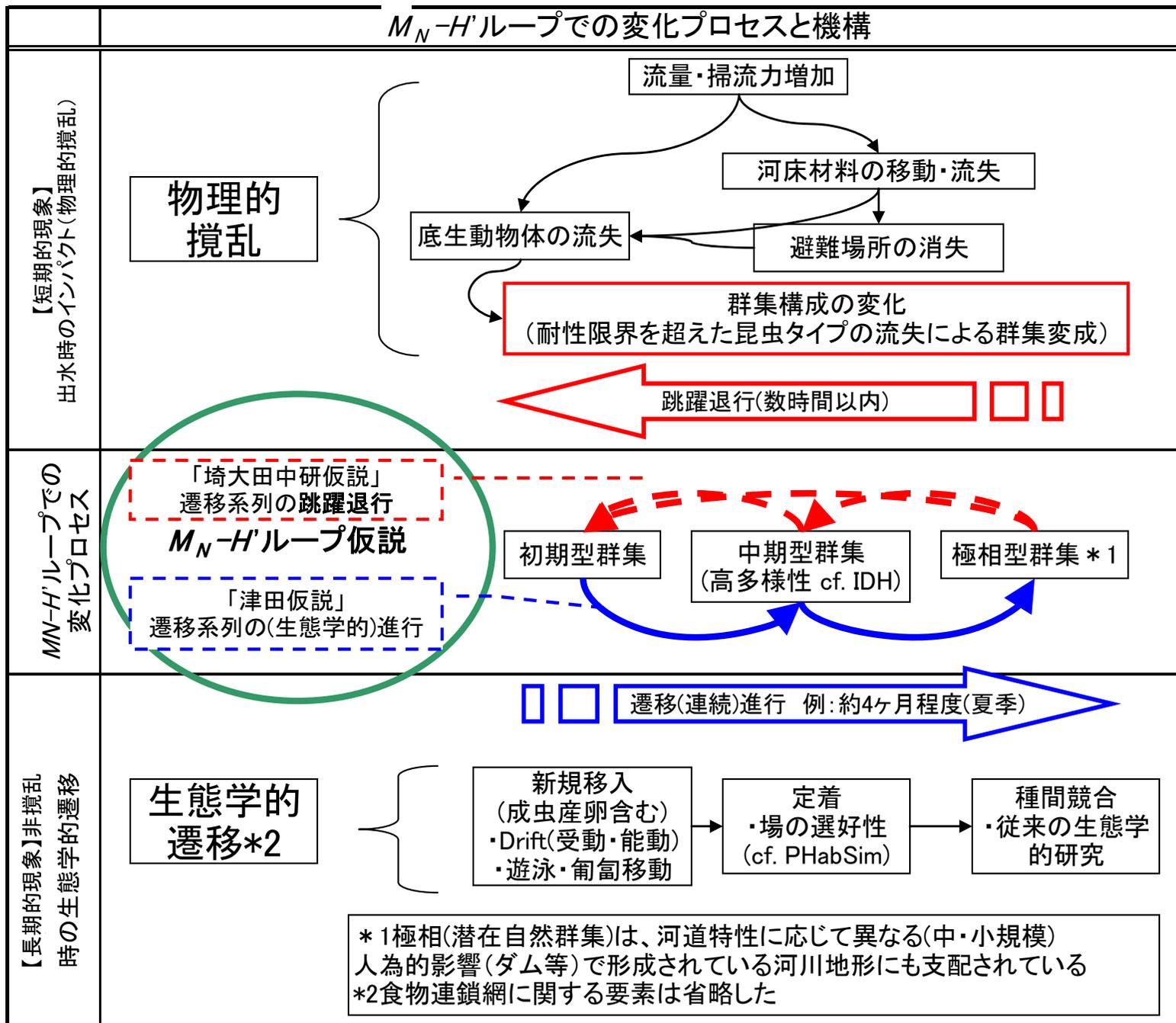
## 【結論】

- 水深－巨礫高さ比が異なる複数巨礫の後部では全く異なった流れ構造が生じているとともに、水生昆虫群集の回帰特性も異なっていた。
- 同一瀬における近傍の巨礫同士であっても、異なった水理特性のマイクロハビタットが存在すると評価された。（**ハビタットの不均質性**）
- このマイクロハビタット特性は、水生昆虫群集の形成過程（**遷移初期**）において、総現存量だけでなく、ハビタット特性を通じて回帰する**水生昆虫の攪乱生活型**に影響を与えることが明らかになった。

## 【展望】

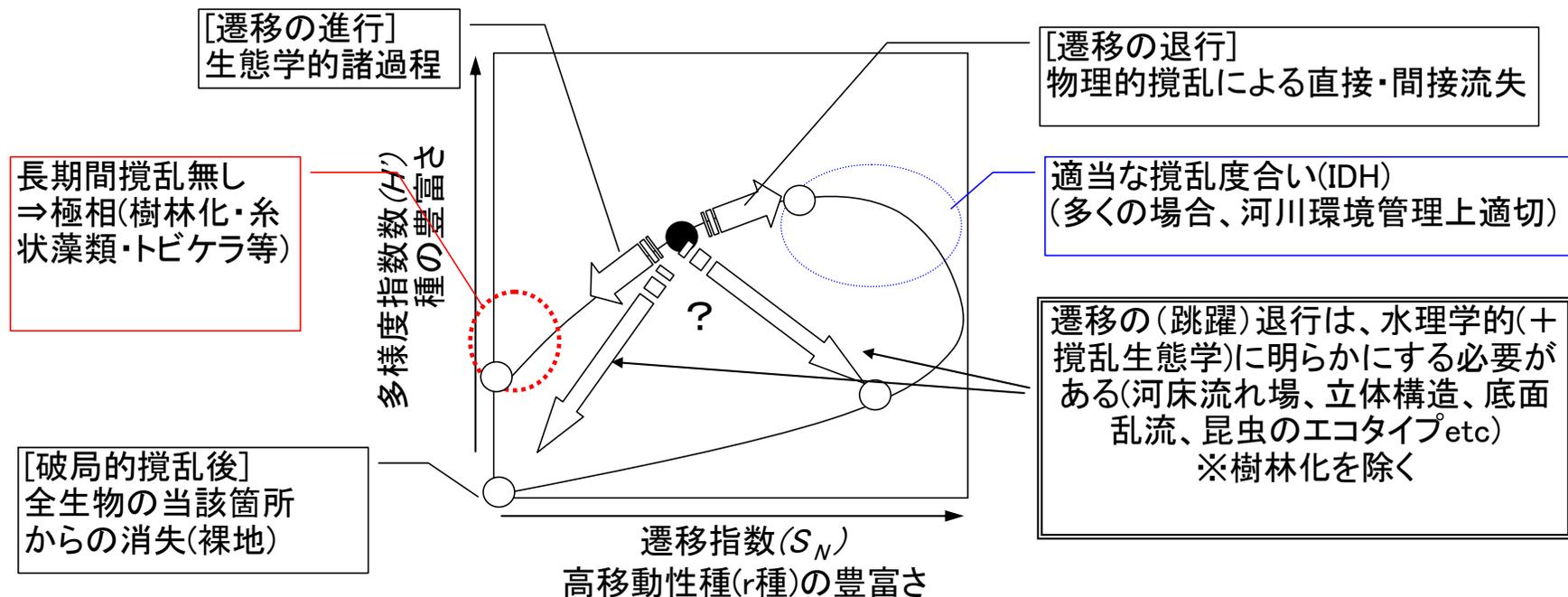
- 渓流域での短期小規模水位変動のハビタットとしての意義
- ダムによる粗粒化と浮石化の影響（構造→流れ→エコタイプ）
- 小規模材料（昆虫にとっては、体長スケール）の移動性の評価
- 水生昆虫のエコタイプ（攪乱耐性分類）

# MNループと生態学的遷移の進行, 攪乱による跳躍退行



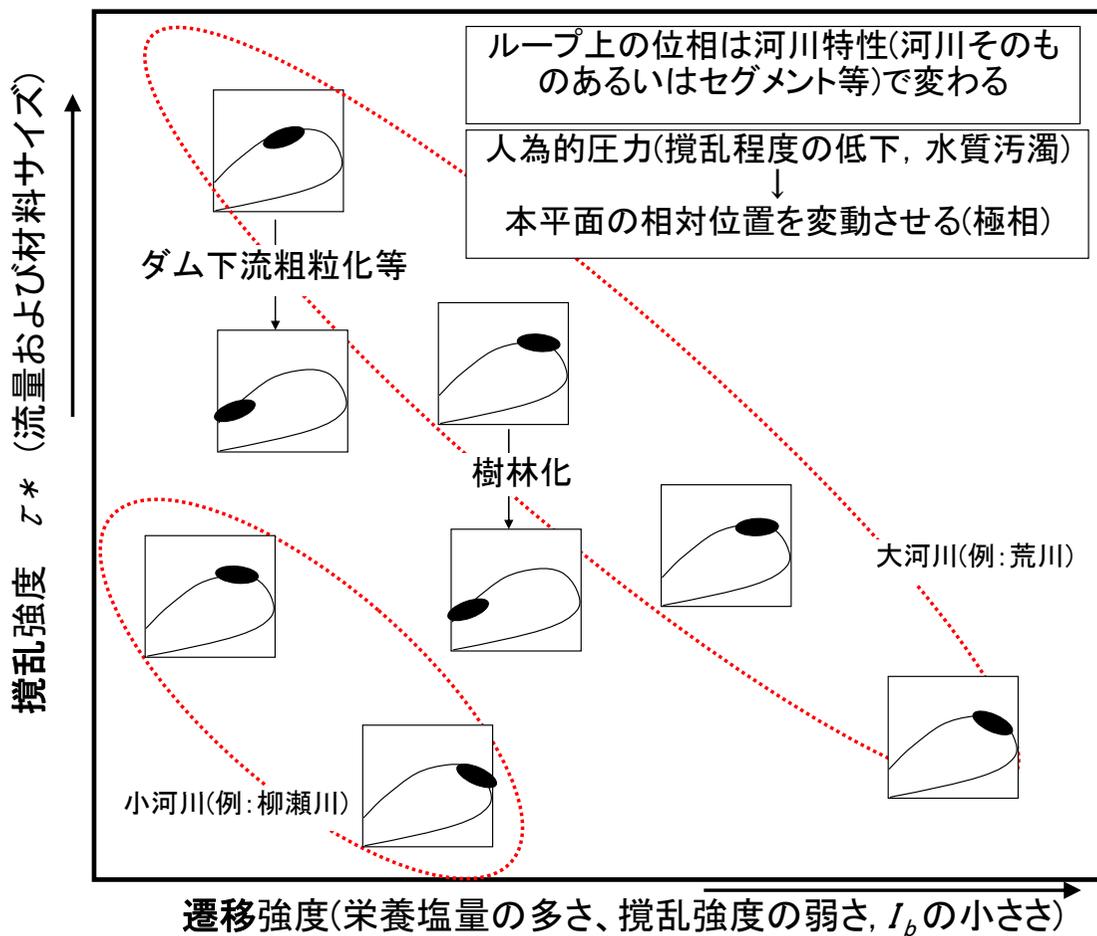
# 今後の生態水理学展開のためのテンプレート案 —攪乱から河川生態系を考える—

- 河川生態系は、地球上生態系の中でも、おそらく「最も攪乱影響が大きい」生態系の一つ(例: 破局的攪乱が高頻度で発生 cf.噴火や大規模山林火災、隕石衝突や津波に相当)
- 多くの(河川)生態系は、MN-H'ループ概念で理解が可能(ハビタットでの個体群は「動的」に把握する必要がある。外力物理条件は、「境界条件」ではなく、「動的な器」である)
- 本手法は、河川管理上も、適切な攪乱状態を評価する上で有効
- ⇒ただし、ループの位相・変動特性は、「器」としての“場の特性”で変動する
- ⇒従前、生態学的遷移は理学的に研究されてきたが、攪乱による遷移退行問題は日本では殆ど研究されておらず、何が生じているかが不明である(樹林化問題を除く)



# 自然条件(セグメント)および人為的圧力に応じた生態系の状態と攪乱：－「攪乱管理」としての河川技術の基礎－

セグメント	M	1	2	3
河床高	<山地溪流>	<扇状地>	<自然堤防地帯>	<沖積平野河川>



- Mn-H'ループ概念の一般化(「器」に応じた違い)
- 規定する場の複数の空間階層スケールからなる
- 人為的影響でも位相は変化

# 生態水理学が取り扱う時間スケール：小規模出水と空間構造

表 年間の流量変動と3つの河床材料移動Phase(cf. Vericat et al. 2008)

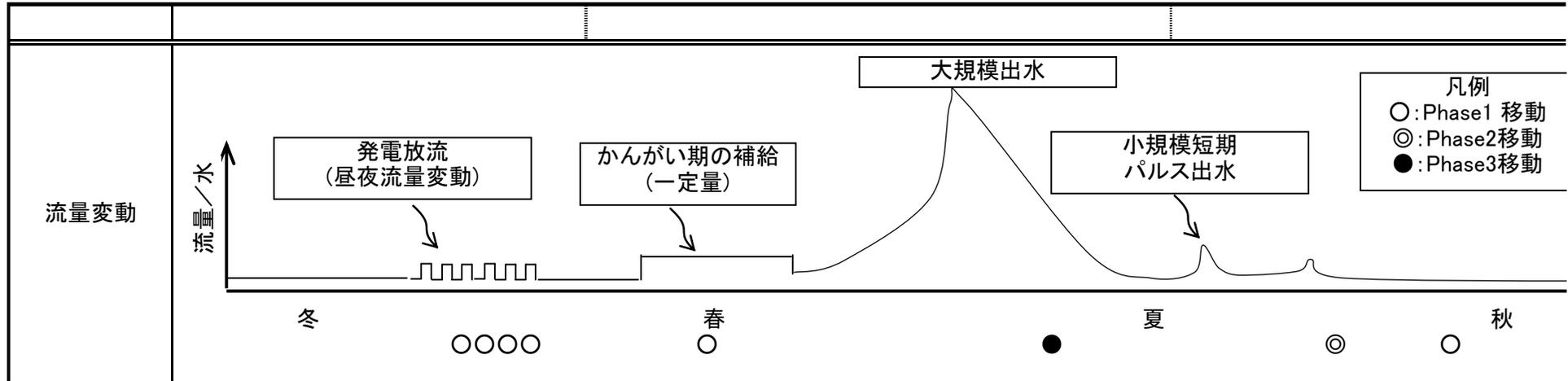


Table 1. Phases Outlining Bed Material Entrainment and Transport in Gravel-Bed Rivers<sup>a</sup>

Vericat et al. 2008

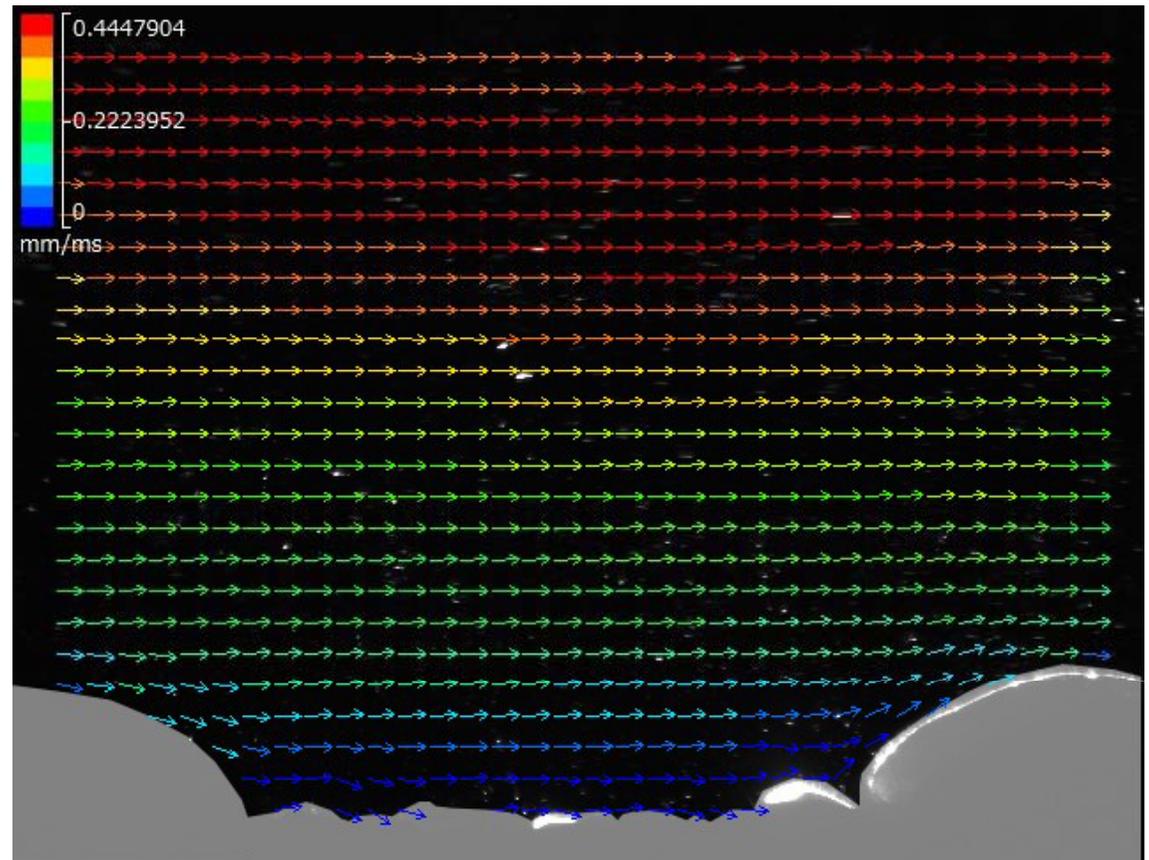
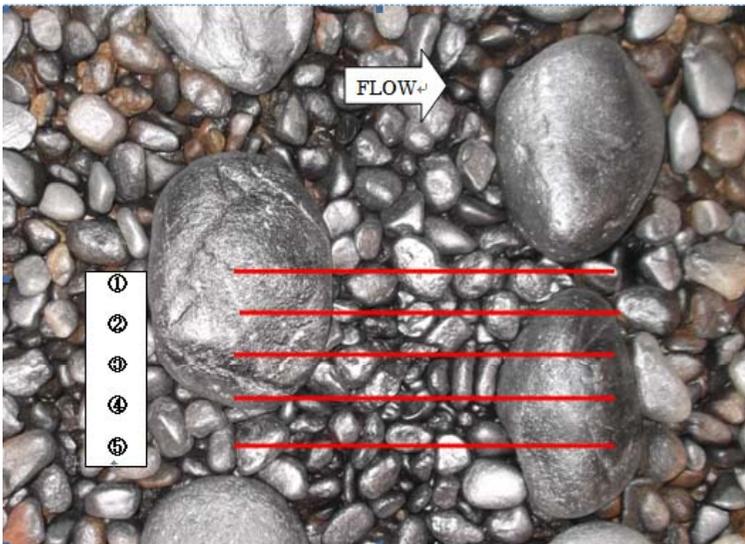
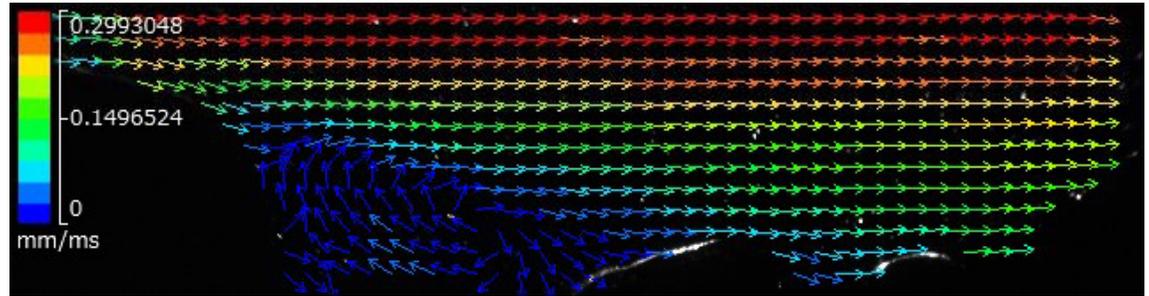
Source of Material <sup>b</sup>	<i>Jackson and Beschta [1982]</i>	Descriptor	<i>Ashworth and Ferguson [1989]</i>	Descriptor	<i>Garcia et al. [2007]</i>	Descriptor
<b>PATCHES BED</b>					<i>Phase I</i> →	within patch grain instability; no net bed load
					<i>Phase II</i> →	within patch gyratory step-and-rest motion; no net bed load
	<i>Phase I</i> →	small amount of sand and fine gravels mobilized	<i>Phase I</i> →	only sand fraction transported	<i>Phase III</i> →	general sediment motion from patches
	<i>Phase II</i> →	larger quantities and almost all sizes classes transported	<i>Phase II</i> →	size-selective entrainment		
			<i>Phase III</i> →	full river-bed mobility		



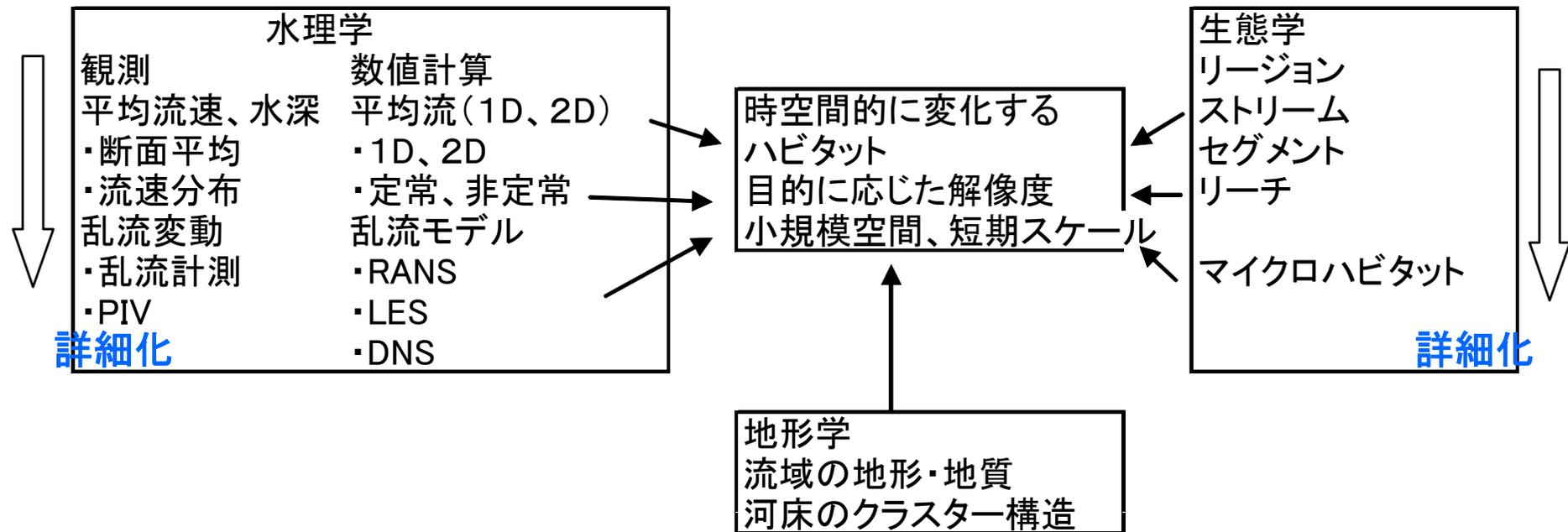
<sup>a</sup>In bold the areas addressed in this paper.

<sup>b</sup>Patch material: loose fine sediment, sand and fine gravels ( $D_{50-p} = 1.2$  mm). Bed material: armored,  $D_{50-s} = 49$  mm while  $D_{50-ss} = 24$  mm (see text for details).

# 生態水理学が取り扱う空間スケールの例 礫背後の流速分布：剥離域（避難場でもある）



# まとめ：生態学と地形学の視点を含めた今後の (攪乱) 生態水理学



- ・河川生態系＝「最も攪乱影響が大きい」生態系の一つ (例：破局的攪乱が高頻度で発生)
- ・多くの(河川)生態系：ハビタットでの個体群は「動的」に把握する必要がある。
- ・外力物理条件は、「境界条件」ではなく、「動的な器」である
- ・目的に応じた時空間スケールで、地形学(河床構造)、生態学、水理学の連携が必要
- ・それを水理学的に明らかにしていくのが、生態水理学

# 謝辞

- 本研究の一部は、水源地環境センター・WEC応用生態研究助成(2013-03;代表・田中規夫)により実施された。研究実施および資料提供において関東地方整備局二瀬ダム管理所の協力を得た。
- 資料の作成に古里助教、埼玉大学学部生の坂田君、深代君、根本さん、吉澤君の協力を得た。
- ここに記して謝意を表します。