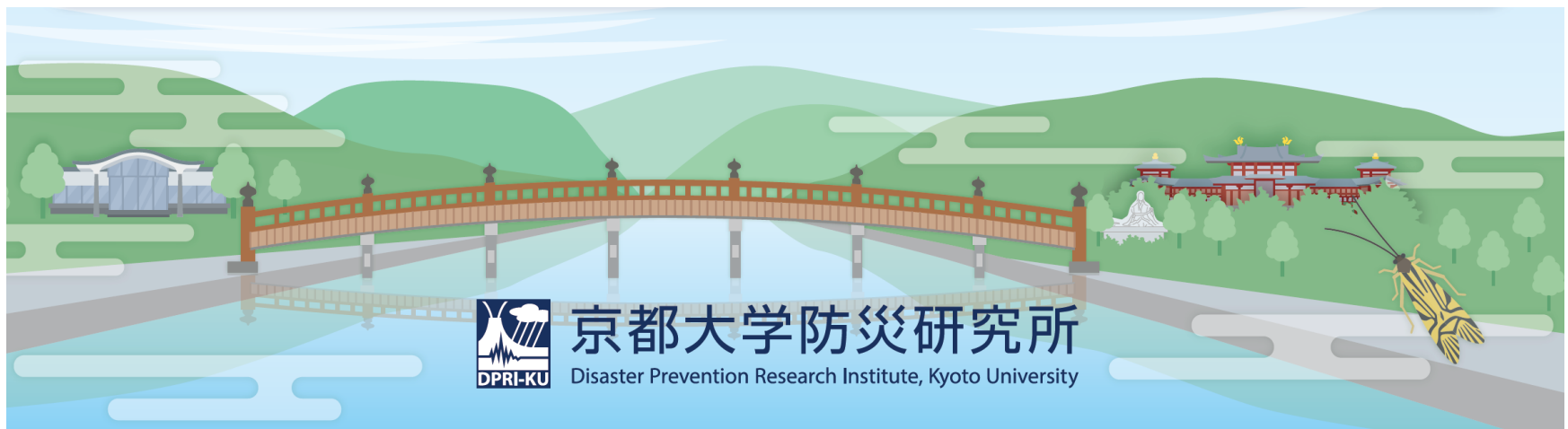


底生動物から見た 日本の河川の特徴と宇治川の特殊さ

水資源環境研究センター准教授 小林 草平



お話の内容

- 底生動物とは、トビケラとは
- 日本の川はどんな川？
- 土砂（砂、石）の重要性
- 日本の川で起きている環境問題
- 宇治川の特徴、なぜトビケラ多い？
- 環境と防災、宇治川の今後

宇治川のトビケラ

宇治川の周辺では毎年春になるとトビケラが大発生する。家や人のまわりでたくさん飛ぶ。飛んでいるのはトビケラの成虫で、幼虫は川底に生息している底生動物。



宇治川はなぜ
トビケラが多いの
でしょう？

河川（流水環境）に特徴的な水生昆虫

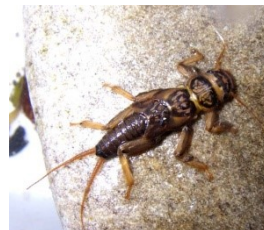
河川にしか生息しない
河川では普通

カゲロウ（150）

カワゲラ（200）

トビケラ（600）

幼虫
（水中）



成虫
（陸上）



Mayfly

Stonefly

Caddisfly

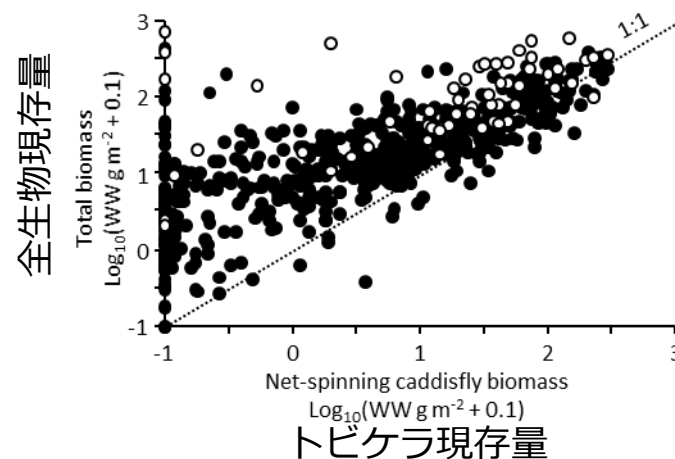
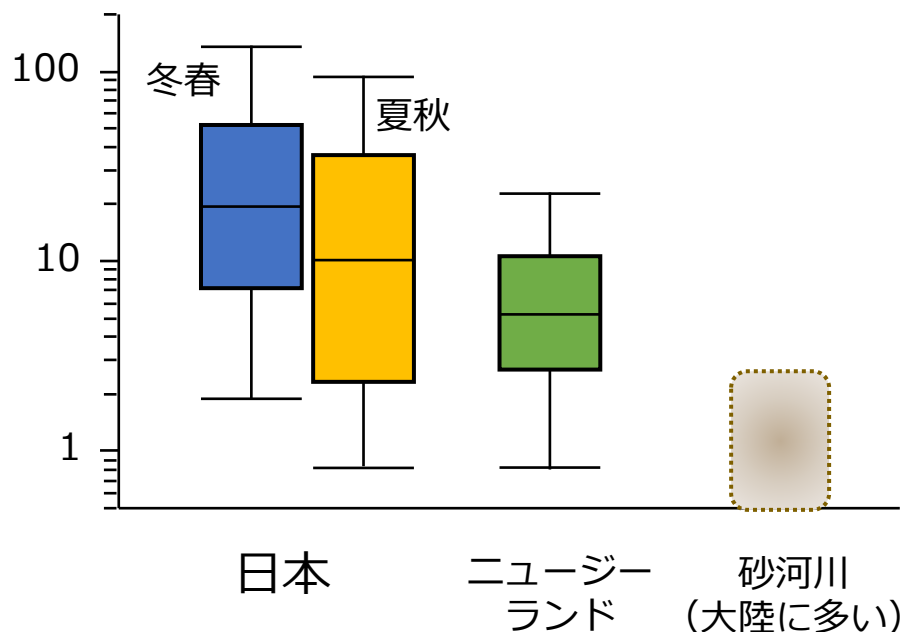
これら3グループの種がたくさん生息する河川は健全。
人気や知名度は低いが、川になくてはならない生物。
水質、流れまたは川底の状態が悪くなると、ユスリカ、
ミミズ、ヒル、貝類など別の底生動物が増える。

日本の河川の特徴（底生動物の生息量）

河川水辺の国勢調査：109の**一級河川**、5年に1度の調査

⇒ 生物や景観を定期的にモニタリング、**日本だけ**

全底生動物の現存量 (g/m²)

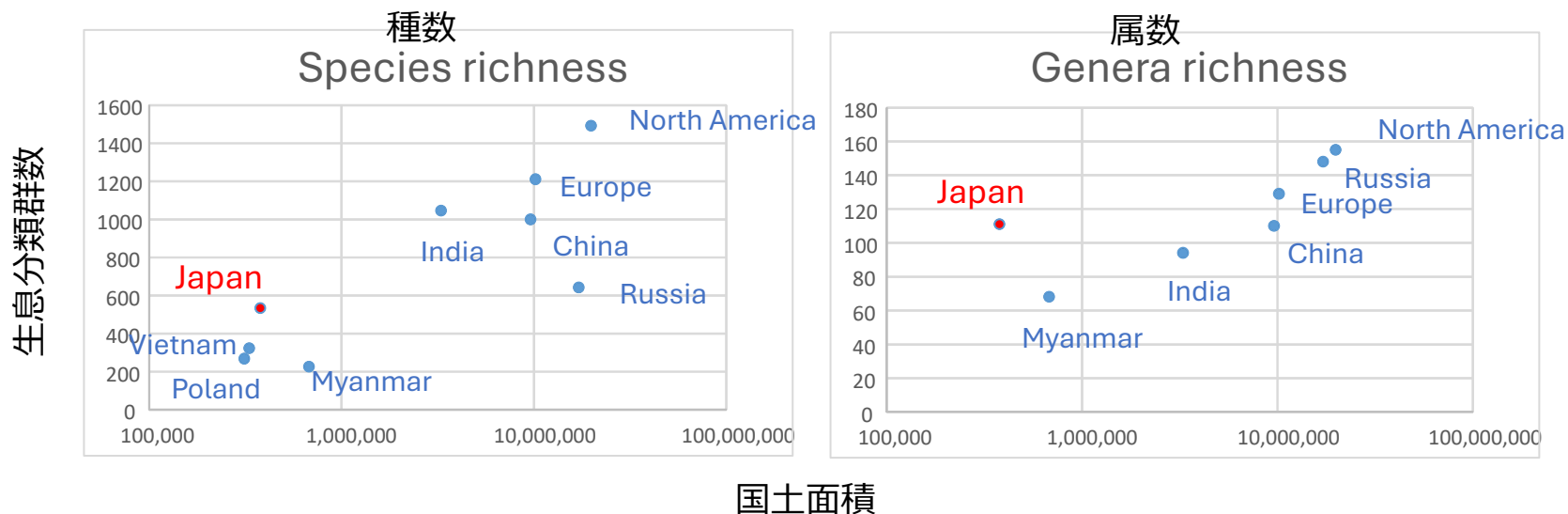


日本の河川は全底生動物の現存量が高い

↑ 石裏の隙間を利用するカゲロウ・カワゲラ・トビケラが多いから

日本の河川の特徴（底生動物の種多様性）

各国・地域で記録されているトビケラ種数



面積とともに記録される種数も多い。

日本は、面積のわりにトビケラ種（属）数が多い国。

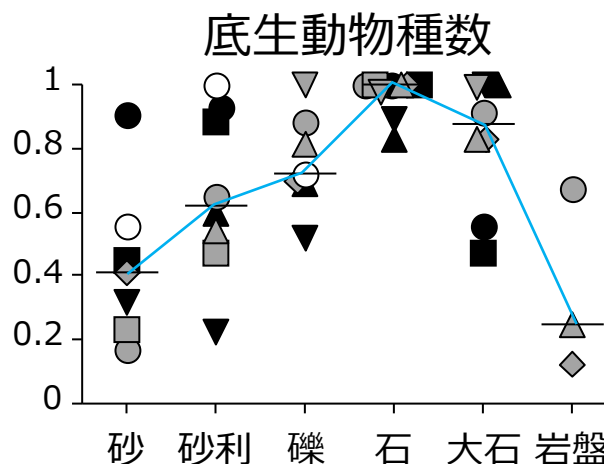
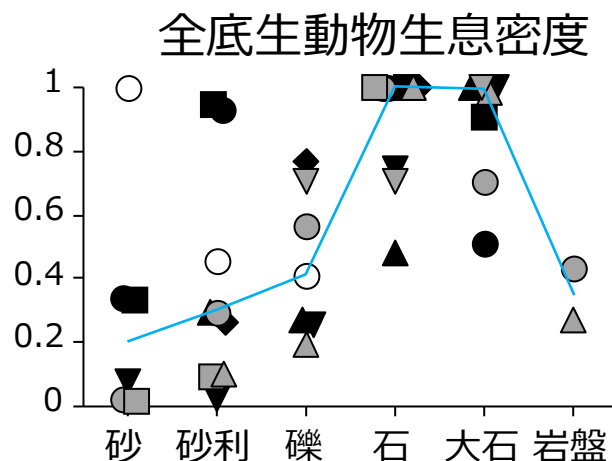
おそらく、同じ方法で調査すると、日本の河川の方がたくさんの底生動物の種を集めることができる。

日本の河川はなぜ底生動物が豊か
（量的にも種数的にも多い） なのでしょう？

底生動物から考える日本の河川の特徴

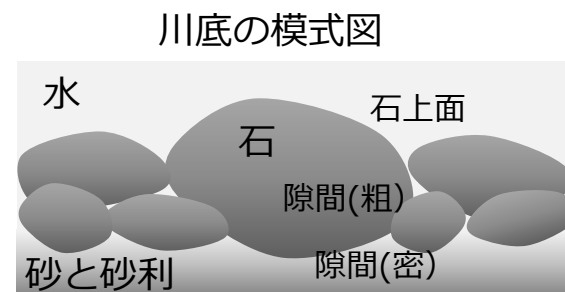
日本の河川で底生動物が豊かな理由の1つは、**石の河川**
(**礫床河川**) が多いため。

河床材の大きさと底生動物の関係（国内外の研究の整理）



日本でも海外でも一般に、**河床材が大きいほど底生動物は数量的にも種数的にも多い**（※大き過ぎると少なくなることにも注意）。

↑ 川底に石があると、底生動物が生息可能な微小空間要素（上面、隙間など）が増える。

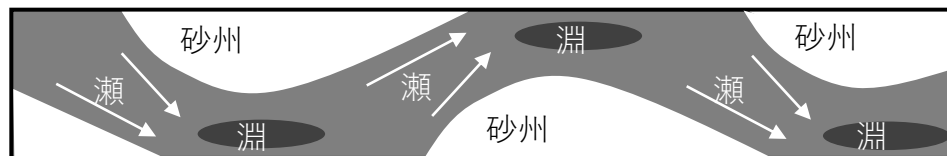


底生動物から考える日本の河川（その2）

底生動物が豊かな理由のもう1つは、礫床河川では砂州や瀬淵構造が発達するため。



砂州と瀬淵構造の模式図



砂州：流れの作用を受けてできた土砂（砂や石）の堆積

瀬淵構造：浅くて速い流れの瀬と、深くて遅い流れの淵の繰り返し。

土砂がないと砂州はできない、砂州がないと瀬淵構造はできない

瀬淵構造と生息場多様性

砂州が発達すると、1つの地点に、**流れ・河床条件の異なる複数の生息場**が出現する。

河川における主な生息場タイプ

早瀬：流水、流れや速い、浅い、礫や石

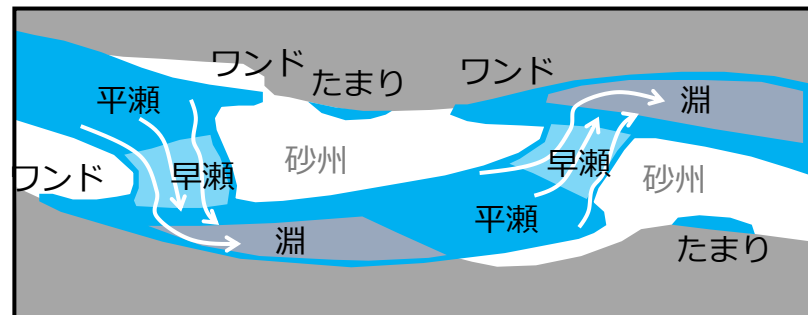
平瀬：流水、早瀬と淵の間

淵：流水、流れが遅い、深い、砂や砂利

ワンド：止水、伏流水起源、本流に接続

たまり：止水、有機物多、酸素低、孤立

生息場の模式図



急流性
(早瀬・平瀬)

緩流性
(平瀬・淵)

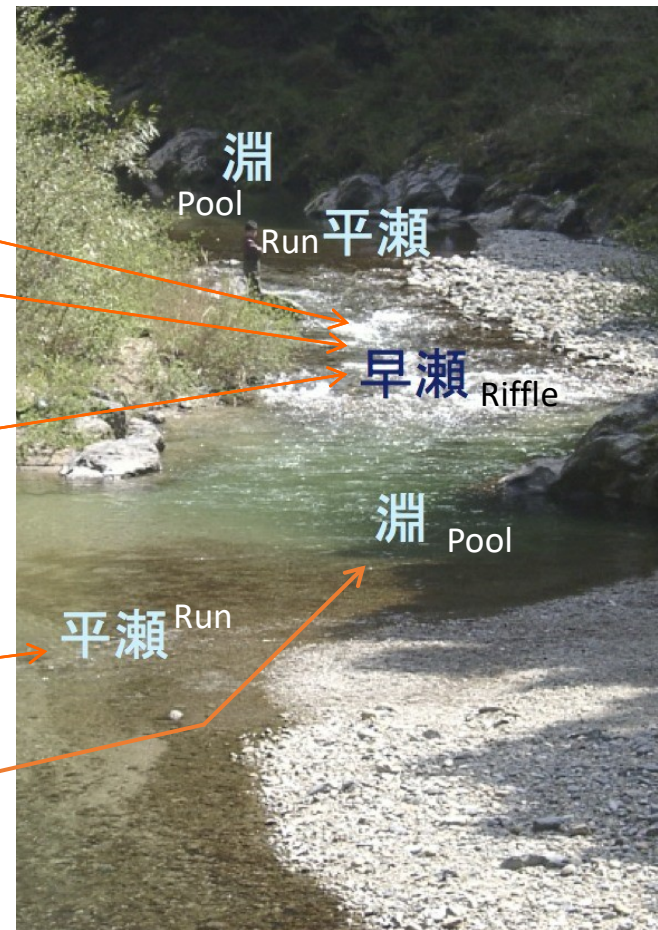
止水性
(ワンド・たまり)



底生動物の種ごとに、好む流れや底質の条件が異なる

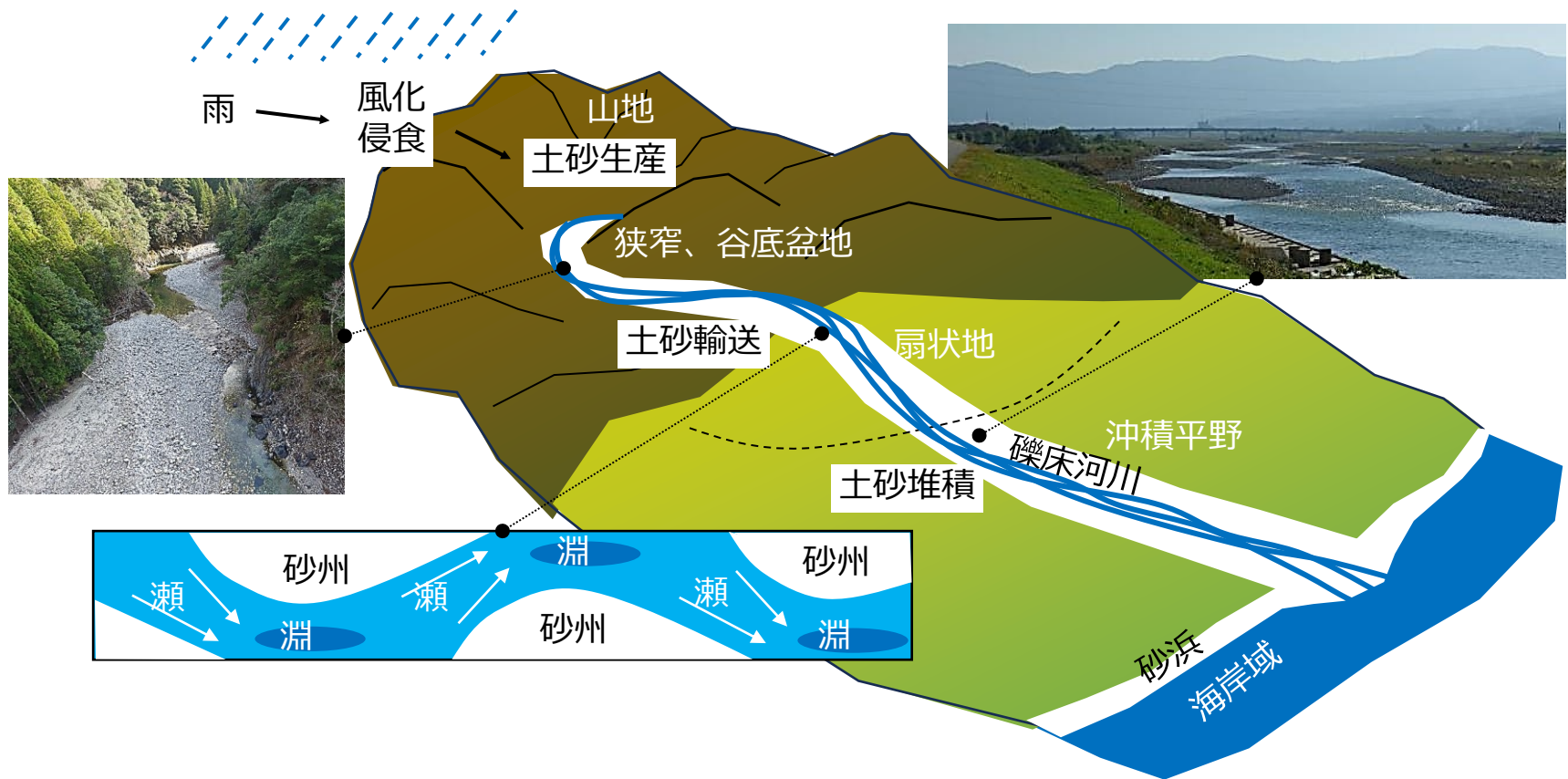
砂州があることで、同一地点に、流れや河床の好みの異なる多様な底生動物の種が生息可能となる。

瀬淵構造と生物多様性



種それぞれに、好みの流れや河床条件がある。瀬淵構造があることで、棲み分け（＝同一地点での共存）が可能

日本の河川と土砂



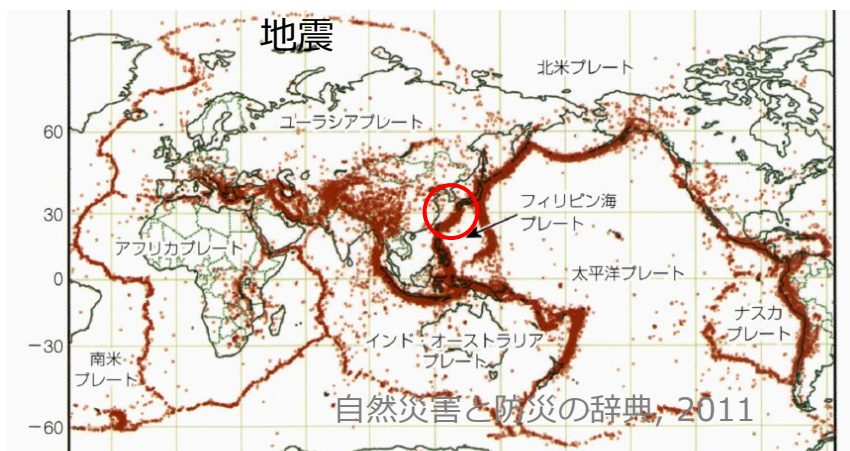
日本の造山（隆起）活動、雨の多さ ⇒ 山での土砂生産
河川は本来、山で生産された土砂を下流へ運ぶ役割がある
土砂が長い年月で堆積して出来た扇状地や沖積平野の上を河川が流れる

河川の流れや生息場の多様性は、土砂があってこそ。

自然ハザードと資源・生物豊かさ

日本は**自然ハザード**（地震, 津波, 火山噴火, 大雨, 洪水, 土石流, 地すべり, 高潮など）が多い国。しかしこれによって**資源・生物**に恵まれたのも事実。

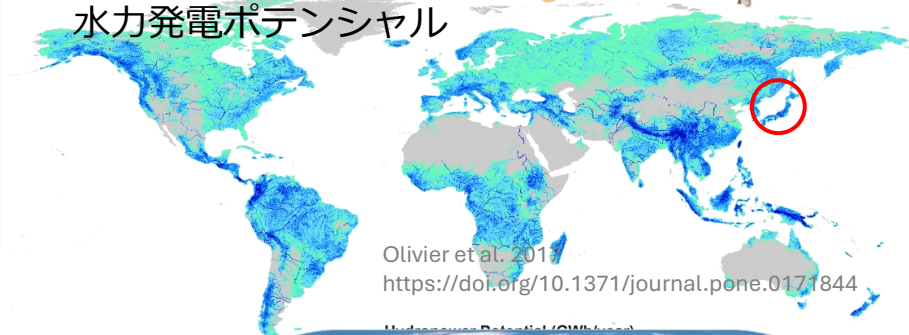
自然ハザードと資源・生物の空間的重なり



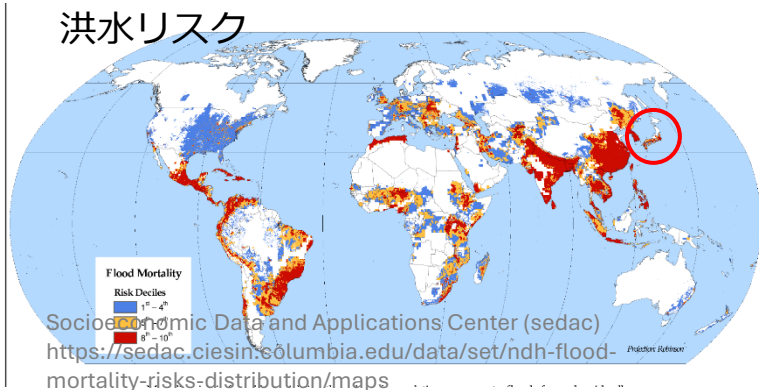
世界各国の地熱発電設備容量 地熱発電ポテンシャル



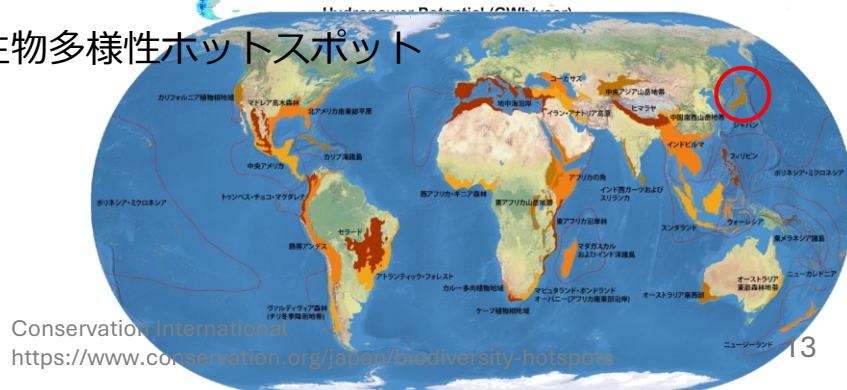
水力発電ポテンシャル



洪水リスク



生物多様性ホットスポット



日本の河川の現状：河床のアーマー化

鎧化・甲装化



本来の河川：砂礫が豊富、砂州、瀬淵構造が発達



アーマー化した河川：
巨石がごろごろ



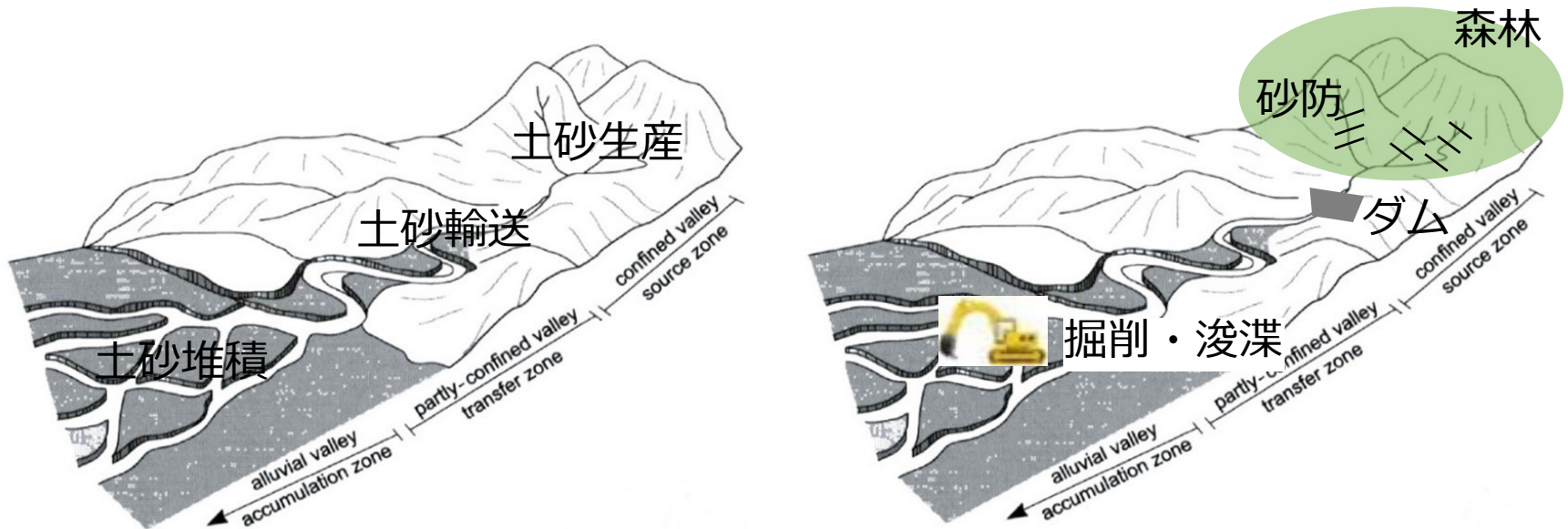
アーマー化した河川：
深み、よどみが多い



アーマー化した河川：
砂礫がなく岩盤が露出

なぜ、こんなふうになってしまうのか？

近年、日本の河川は土砂不足である

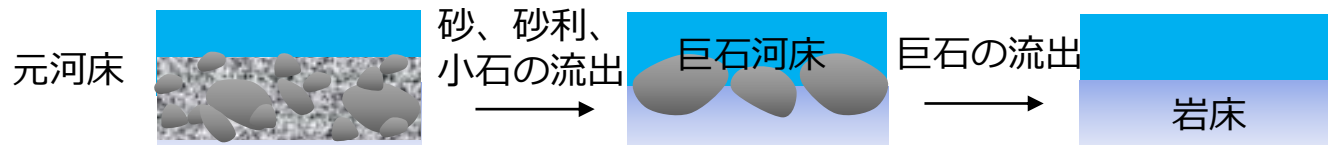


山地では土砂生産の減少 ← 砂防、斜面工事、森林成長

河川では土砂輸送の減少 ← ダムや堰の建設

下流域では堆積土砂の減少 ← 河川管理による掘削・浚渫

アーマー化のメカニズム：砂礫は小さいものから無くなる



アーマー化すると多くの底生動物の棲み場所が消失、特定の生物が大発生

ダムと土砂

ダムは上流から運ばれてくる土砂を止める。長期的に様々な問題になる。

ダム貯水池の縦断面図

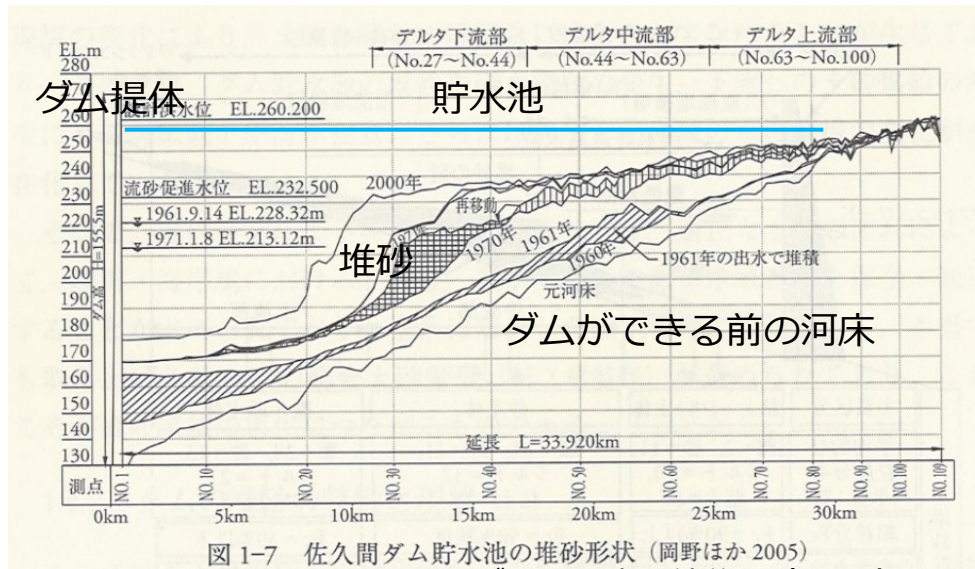
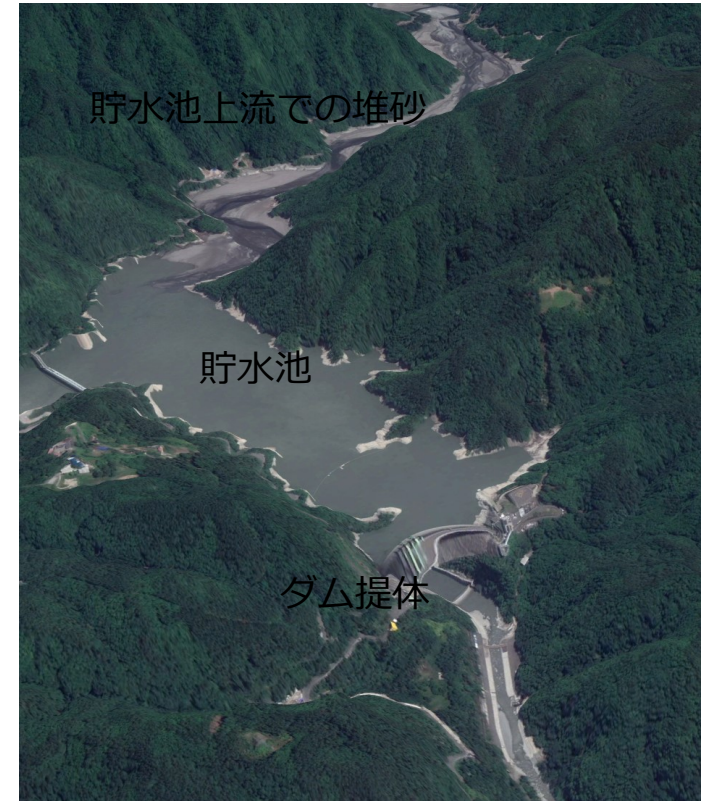


図 1-7 佐久間ダム貯水池の堆砂形状（岡野ほか 2005）

ダムと環境の科学IV（2023）

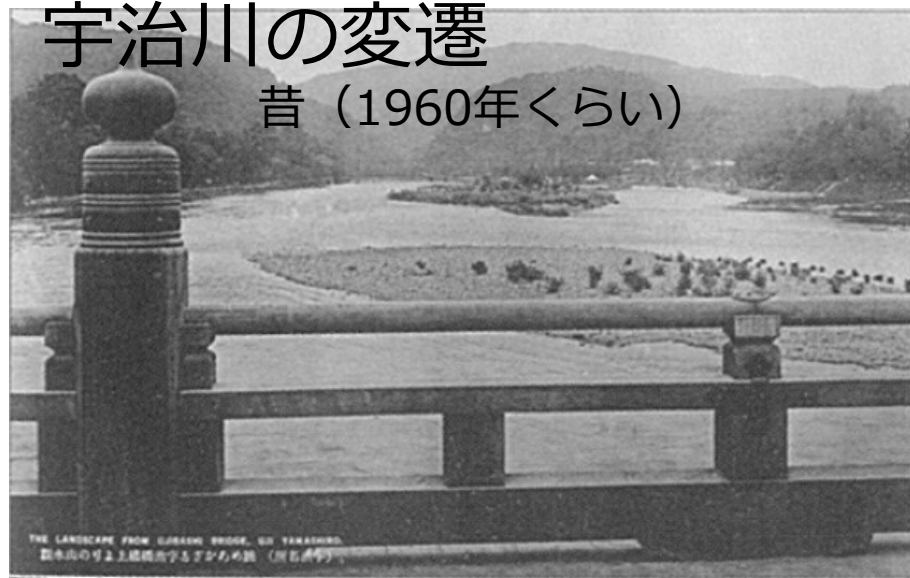


ダムが水を貯める機能が失われる

土砂の流れを止める⇒下流の土砂不足、アーマー化を招く

宇治川の変遷

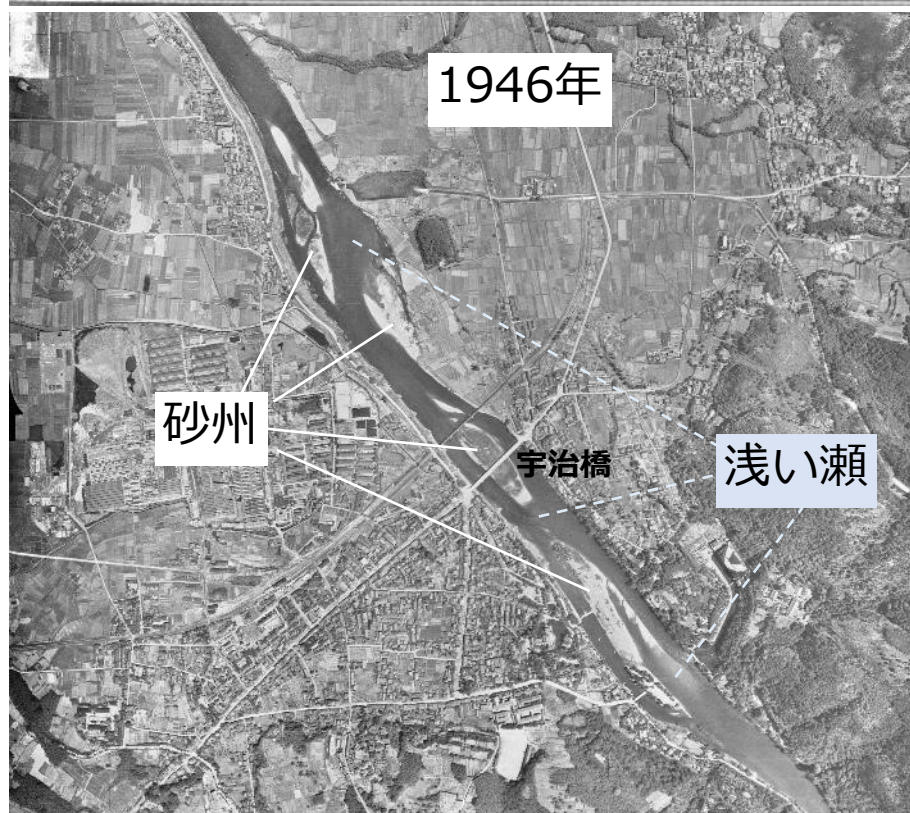
昔 (1960年くらい)



今



1946年



2018年



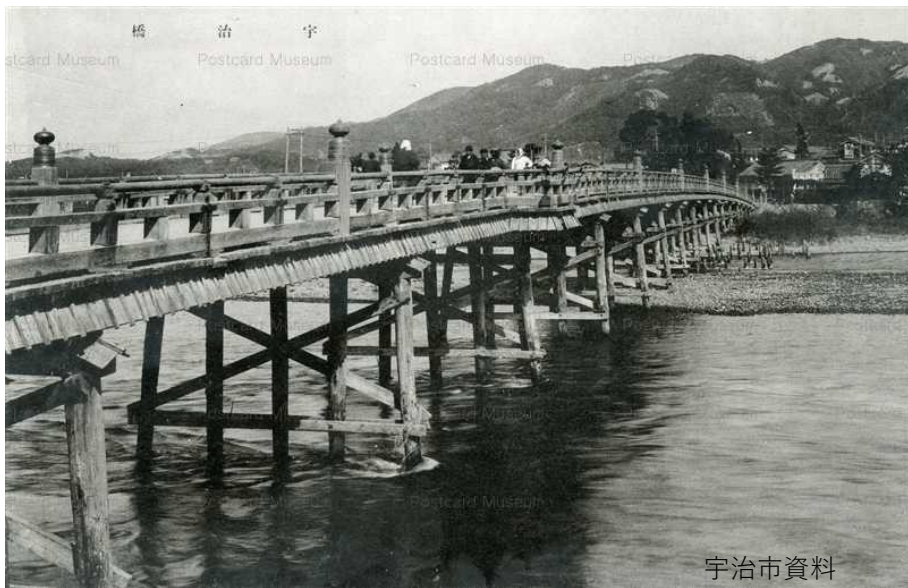
昔

石が小さく粒が不明瞭、砂州は滑らか
→ 砂利や礫 (<10cm) が優占



今

石が大きく粒が明瞭。砂州はぎざぎざ
→ 中石 (>20-30cm) が優占

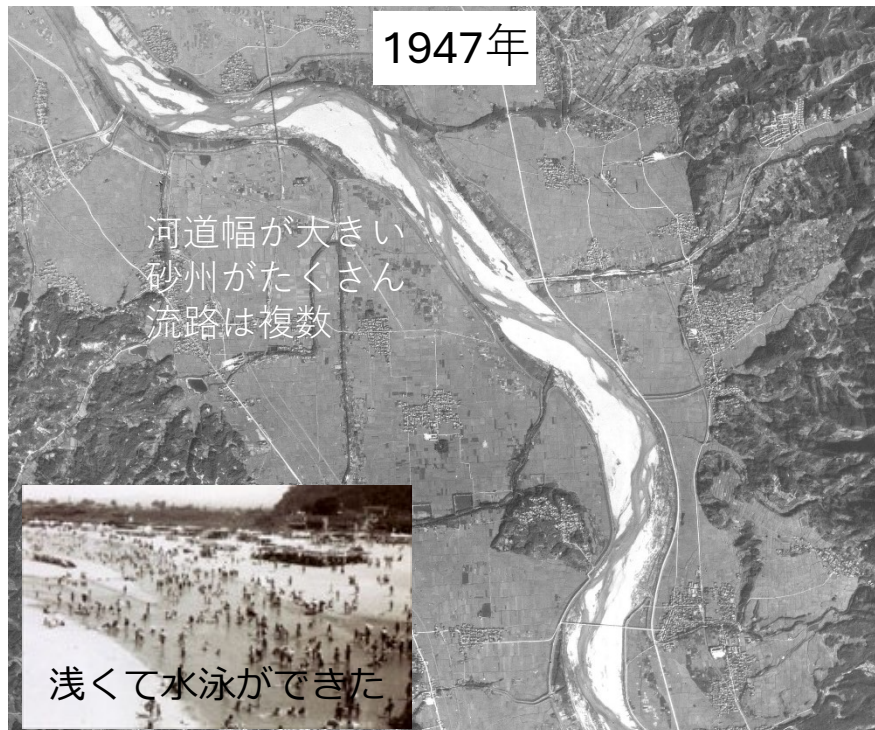
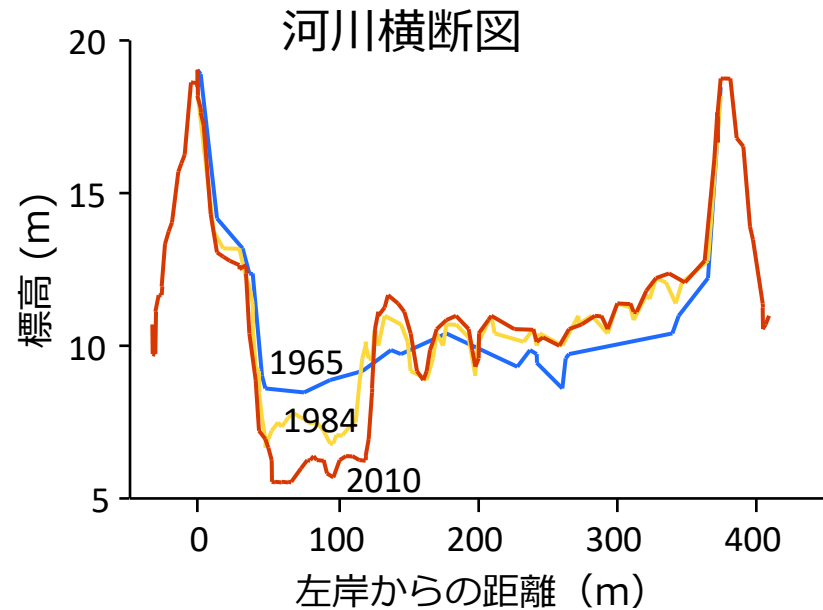


木津川の変遷

1965年：平坦な河床、浅く広く

河床低下

2010年：深掘れ、流心が偏る

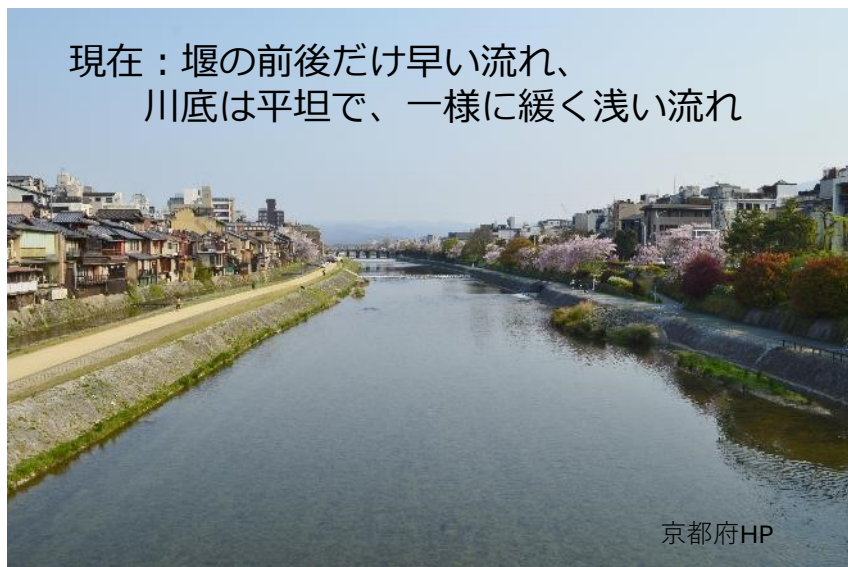


鴨川の変遷

明治時代：川中に（交互）砂州
→瀬淵構造、多様な生息場



現在：堰の前後だけ早い流れ、
川底は平坦で、一様に緩く浅い流れ



1946

2023

丸太町



三条

宇治川の特殊性：湖から流れる川である

流れは安定して豊富、湖からプランクトンが流れ、
そのおかげで生物生産力が高い



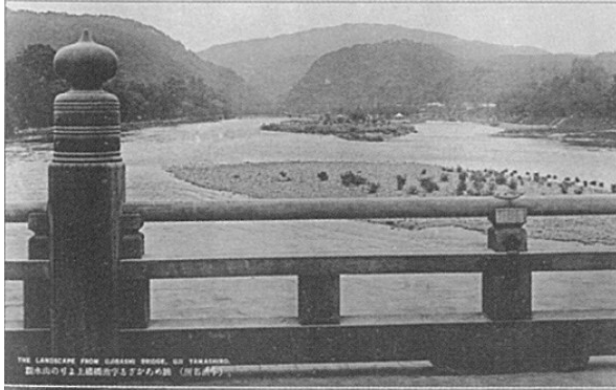
宇治川での鮎汲みの様子「都名所図会」



昔はアユやウナギが豊富（網代漁、鮎汲み、丸太鰻）

昔と今の宇治川の生産力

1960年より前



速く浅い流れと砂利・小石が必要な魚や底生動物



アユ



オイカワ



ヨシノボリ



ヒラタカゲロウ

コエグリ
トビケラ



ナガレトビケラ

これらの魚の産卵床には砂利や小石が必要

現在



緩く深い流れと大石が好きな魚や底生動物



シマトビケラ

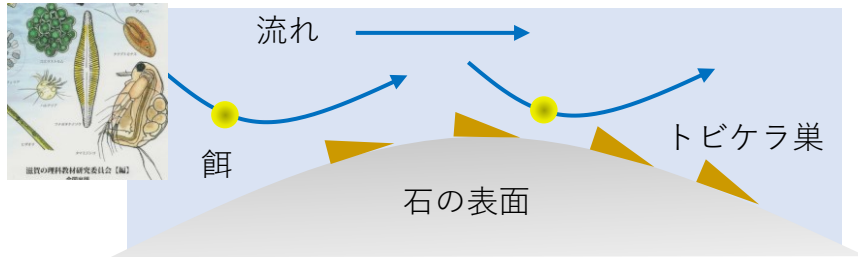


カワヒバリガイ (外来種)

魚はブルーギルやブラックバスなどの外来種

トビケラにとって宇治川はどんな川？

湖の下流 ⇒ 餌が豊富
→ トビケラにとって餌の多い川



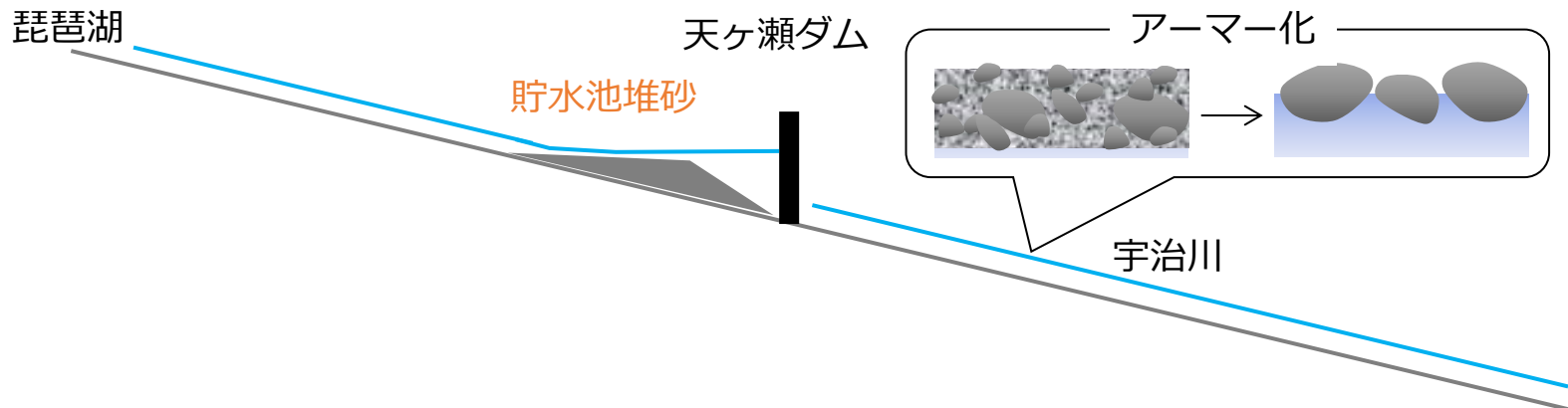
湖・ダムからプランクトンが流れる
シマトビケラは流れてくるものを巣網で捕捉して餌とする

川が増水しても石がうごかない
→ トビケラの生存率が高い



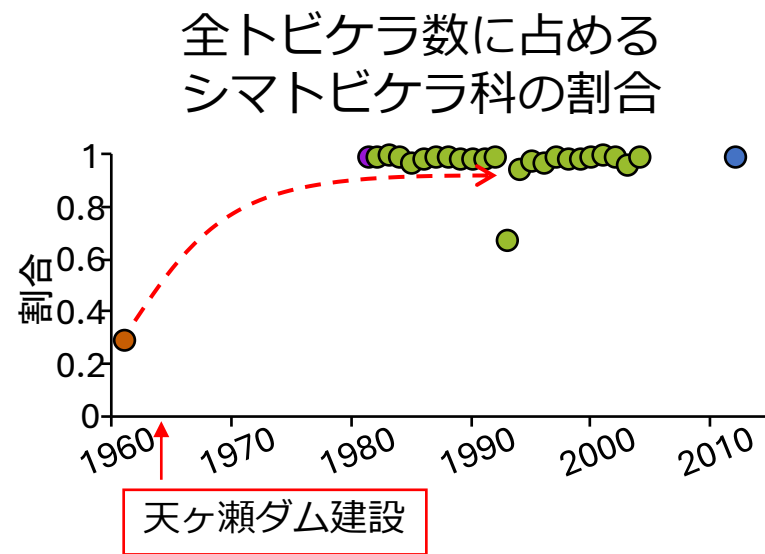
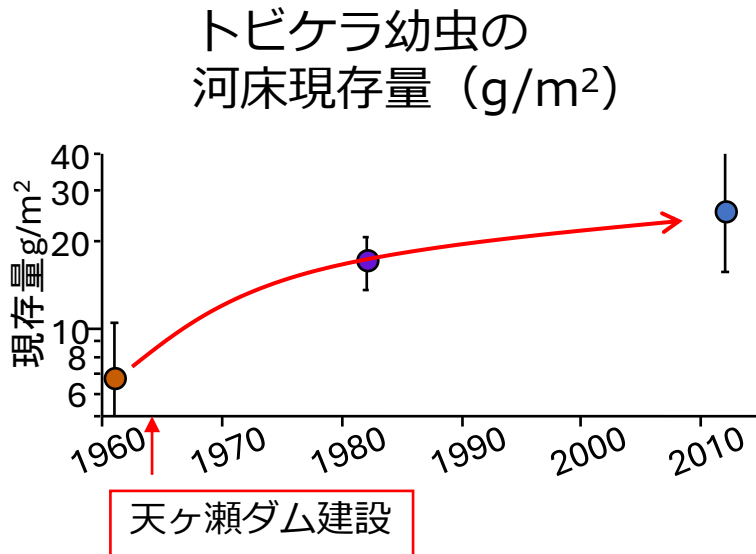
トビケラは石に巣網を張って、その中で生活する
石が動くとトビケラは流されたり死ぬ

宇治川は湖の下流でもともと安定、
上流に天ヶ瀬ダムがあることで河床が過度に安定化



宇治川におけるトビケラの現存量と優占種の変化

宇治川で行われた過去の調査データを収集



1964年、天ヶ瀬ダム完成

1970年代（今から50年前）には既に多い状態であった。

川沿いに電撃殺虫機の設置（1973年～） 薬剤の散布（1982年～）

全国で起きているアーマー化が宇治川にも影響
宇治川だけトビケラ大発生するのは上流に湖があるから

宇治川のトビケラ

特に多い種

- 全部で20+α種が生息
- 大発生するのはシマトビケラの仲間
- 日本で宇治川にしかいない種や個体群もいる
(湖の下流という環境に適応)
- 安定した河床、緩い流れが好きな種



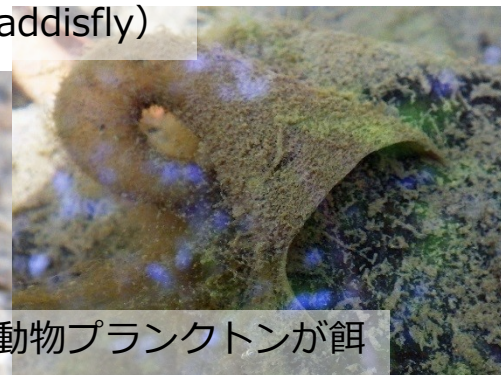
宇治川の特殊さー 1

スイドウトビケラ：日本では宇治川にしかいない

海外では湖下流の河川に生息



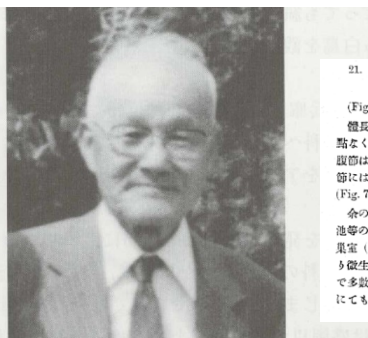
幼虫とラッパの形をした巣
(海外ではtrumpet-net caddisfly)



流れてくる動物プランクトンが餌

1927年

岩田正俊氏（京都帝国大）が
琵琶湖疏水-浄水場で発見



岩田正俊（Masatoshi Iwata 1897～1997）

21. スイドウトビケラ（新種）
Noirelipis Kiyotoshi, n. sp.

(Figs. 9, 72-77) (= 日本淡水生物学下巻, p. 575, Fig. 499 異名)

体長 15 mm、体幅 1.5 mm 以下、頭部及前胸の地色は淡黄色にして全く斑
点なく、頭部の腹面後縁は暗褐色を呈し、前胸の後縁は暗褐色の黒線をなす。
腹部は緑れ目輝く小毛を生じその色は灰褐色なり。後脚器 (Fig. 76) の第三基
節には多数の毛を生じ、第一及第二基節は短くして毛を生ぜず、その鉤爪
(Fig. 76 a) はよく発達し直角に曲り背鉤なく腹面には多数の小歯を有す。

余の採集せる標本は京都市水道親浄水場の貯水池、埋置池、排水管、配水
池等の水流極めて急なる箇所に同所安田氏の好意により得たるものにして、
巢室 (Fig. 77) は分泌物を以て喇叭状の網を造り、その先端の小さな部分に層
層微生物の落下するを待つものとし、同所に於ては五月下旬より九月下旬ま
で多数に孵化するを見たり。其他琵琶湖より流下する疏水中には（陸産の類所
にても）一面に夥しく多数に棲息し水流急なる箇所に殊に多く棲息す。

1940年以降ずっと
見つかっていなかった



2012年に宇治川で再発見



宇治川の特殊さー 2

ナカハラシマトビケラ：日本に広く分布するが宇治川のは
戦後に研究を進めた鉄道技師の中原さんの名がついた
それまではセタ（瀬田）シマトビケラという名
少し変わり者



全国より成虫発生の時期が早い
桜の開花とともに現れ、地元の人
からはサクラチョウと呼ばれる。
冬にそれほど下がらない湖の水溫
に適応した個体群かもしれない。

幼虫頭部の模様が個体によって多
様。全国は黒かパンダ似、宇治川
は黒から白の様々な模様がある。



全国の川

宇治川産

遺伝子を調べ、全国とは40万年前
に分岐した個体群。現在の琵琶湖
ができたのがちょうど40万年前。
⇒湖下流に適応し、他とは交雑し
なくなった。

宇治川の特殊さー 3

いわゆる普通種がない

ヒゲナガカワトビケラ



ウルマーシマトビケラ



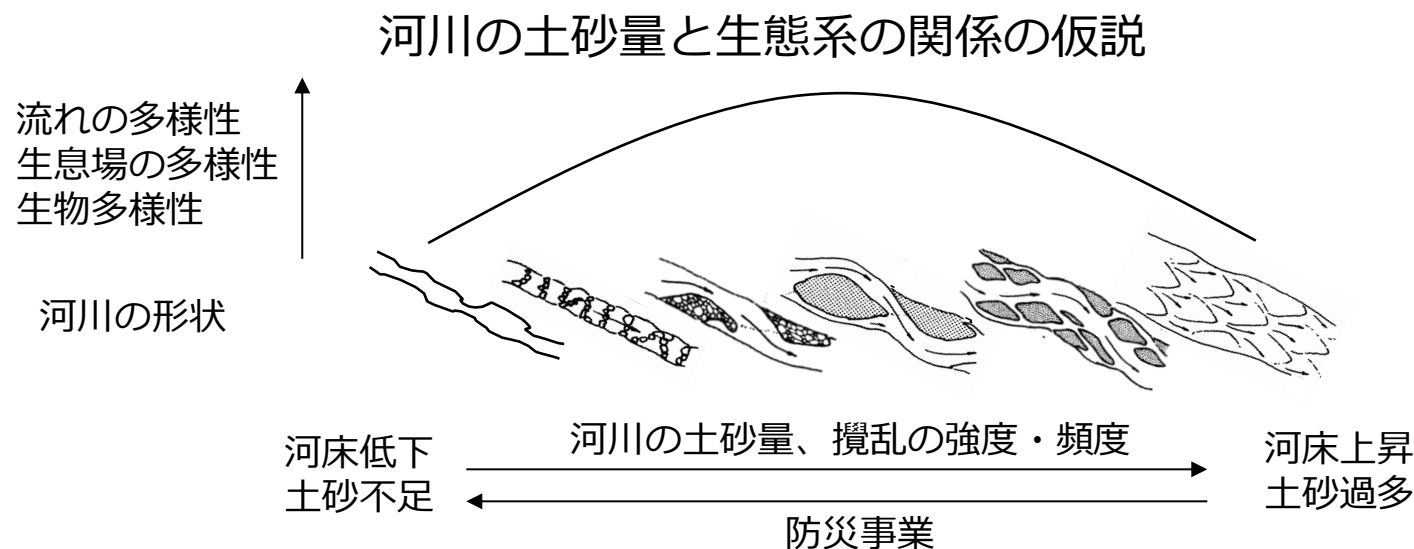
ヒゲナガカワトビケラとウルマーシマトビケラは、**全国のどの河川にもいる**、優占種にもなる、日本の二大代表トビケラ。どちらも安定した河床が好き。でも**宇治川にはいない**。ほかにもたくさんの普通種がない。宇治川に多いのは全国では少数派の種。

どちらも**天ヶ瀬ダム完成以前には宇治川にも生息**。いないのはダムと関係するが、先述のアーマー化では説明できない。

なぜトビケラ普通種がないのでしょうか？

土砂と河川生態系の関係

日本の河川は底生動物が豊か。それは土砂（砂も石も）が豊富であるから、砂州や瀬淵構造が発達するから。石が無い、石が動いてなければ、それはもはや河川ではなく水路。

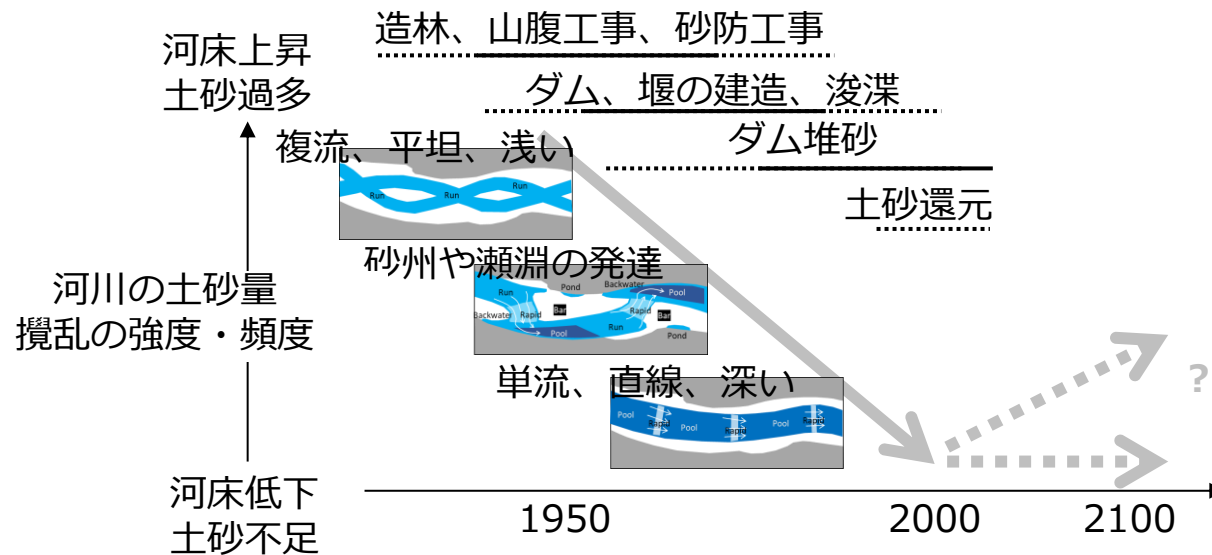


ところで、土砂と河川生態系はこのような関係にあると考えられる。砂州や瀬淵構造が発達して多様性が高まるには、十分な土砂が必要だが、土砂が多過ぎると砂州や瀬淵構造は発達せず、多様性は下がる。

河川に土砂が多過ぎるとき、防災（ダム、砂防工事など）によって土砂が減れば多様性は高まるが、土砂が程よいあるいは少ないとき、防災によって土砂が過度に少なくなり多様性は下がる。

日本の河川の変遷

河川生態系の変遷の仮説



日本は近代まで過度な森林利用によって禿山が多く、山の土砂生産が激しかった。土砂や洪水の災害が多く、河床は平坦で攪乱も多く生物も棲みにくい環境だったと考えられる。

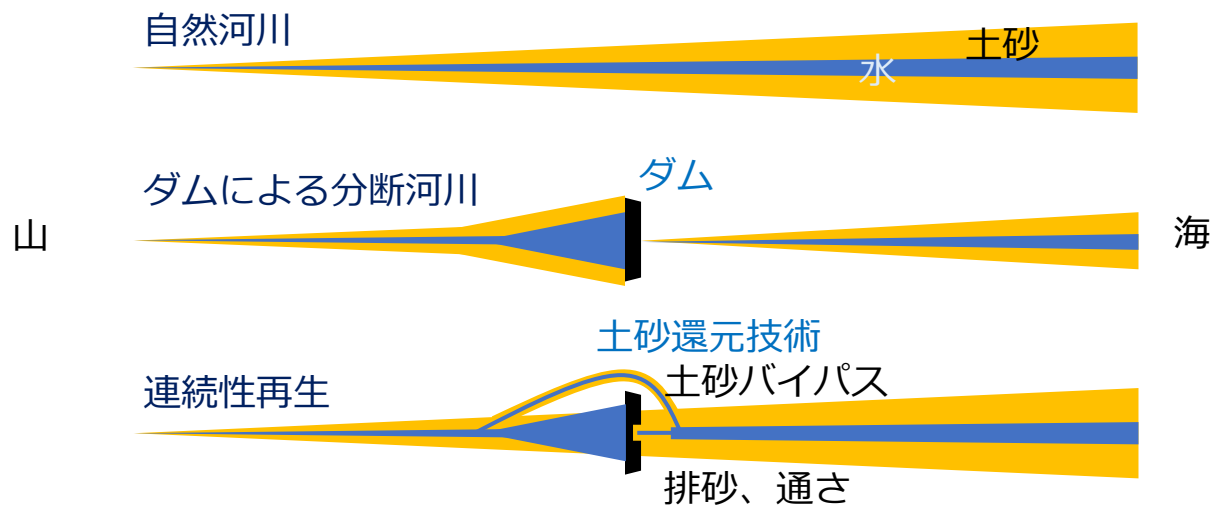
昭和以降、拡大造林、砂防工事、ダム建設等により土砂生産・移動は落ち着き、砂州や瀬淵が発達し多様性が高まった。

高度成長期以降、ダム建設や河道整備が格段と進み、多くの河川で土砂不足となり、砂州や瀬淵が消失し、多様性が下がった。

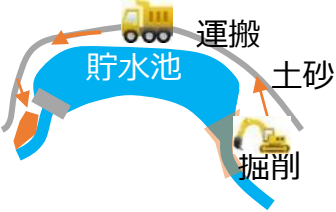
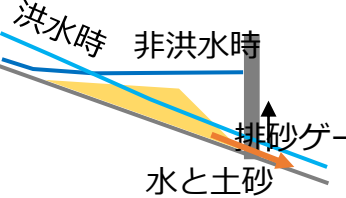
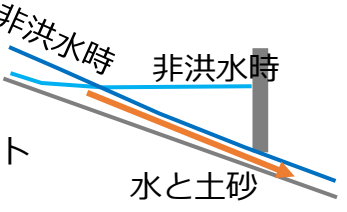
日本の河川の今後－環境と防災

河川に土砂を取り戻す（環境の）ために防災を止める（インフラを撤去する）ということはない。防災体制を維持しつつ、土砂を増やすために何が工夫できるかを考える。

1990年代から、ダムに溜まる土砂を本来行くべき下流に届ける「土砂還元」の事業が始まるようになった。十分な土砂が再び届けられると、河川生態系（流れや生物の多様性）が回復することが分かってきた。



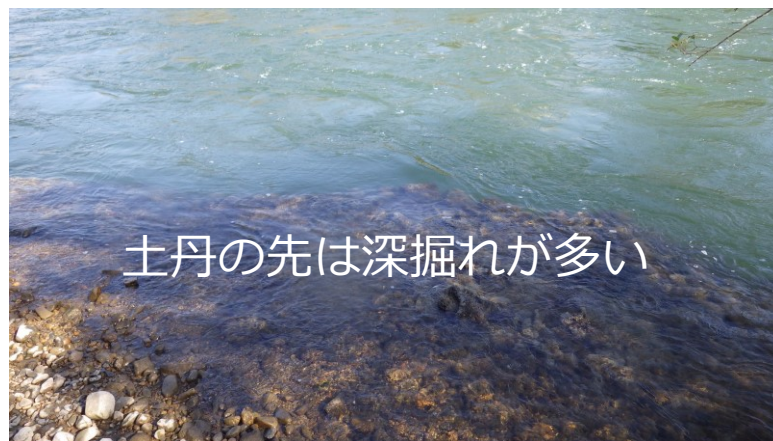
土砂還元の手法

置土（おきど）	土砂バイパス	排砂	通砂 流水型ダム	ダム撤去
				

しかし、現在まで土砂還元事業はそれほど増えていない。土砂は厄介で無いに越したことはないという認識、現在のアーマー化河床が通常だという認識が強い。土砂は生態系の基盤である、土砂が動いてこそその河川であるという認識を広め、また土砂還元の技術をさらに発展させる必要がある。

宇治川のトビケラの今後

宇治川のトビケラの多さは、宇治川の生物豊かさの象徴ではあるが、河床アーマ化によって増えすぎてしまったからでもある。宇治川では土砂が減り河床に土丹が増えている。土砂が無くなると多くの底生動物が棲めなくなる。問題の本質はトビケラではなく川底の状態、土砂不足である。トビケラ大発生は、生態系が最悪の状態になる一歩手前を表しているのかもしれない。



宇治川でも土砂還元が進み、アーマ化が解消されることが望まれる。トビケラ発生が落ち着くこと、本来棲んでいた魚類や底生動物が戻ってくることが期待される。宇治川の生産力がトビケラで終わるのではなく、アユやオイカワといった人々が利用できるものに戻るかもしれない。

地元の自然に愛着を、誇りを

天竜川（長野県・諏訪湖下流）



ハンガリー



1年1回カゲロウ大発生、
ティサの開花と呼び、住
民が待ちわびる。

祭りが行われ、街にはカ
ゲロウをモチーフにした
銅像や橋がある。



おおきにトビケラさんプロジェクト （成安造形大学、宇治市）



まとめ

- 川底の砂や石には様々な底生動物が棲む
- 日本の河川は底生動物が（数量的、種数的）豊かである。それは礫床河川が多いから
- 底生動物は土砂（砂や石）の隙間に棲む。また、土砂が十分にあると砂州、瀬淵が発達し、流れが多様になり、生物多様性が高まる
- 日本の河川は今、土砂不足、河床アーマー化の問題が起きている
- 宇治川は湖下流でもともと生物が豊かであるが、アーマー化によってトビケラが増えすぎた
- 土砂が動いてこそその河川。土砂は少なくとも多過ぎててもダメ。環境と防災を両立させる「土砂還元」の考え

ご清聴ありがとうございます