

京都大学防災研究所一般研究集会

「発生頻度の低い土石流による大規模攪乱後の溪流環境の変遷の追跡」

2021年12月4日

- ・ 山地河川における土砂と生物の深い関係
- ・ 環境DNAで見る魚類の時空間動態

永山 滋也 (ながやま しげや)

岐阜大学  
地域環境変動適応研究センター

過去には・・・

- ・ 国研) 土木研究所 自然共生研究センター
- ・ 株式会社 建設環境研究所

専門は・・・

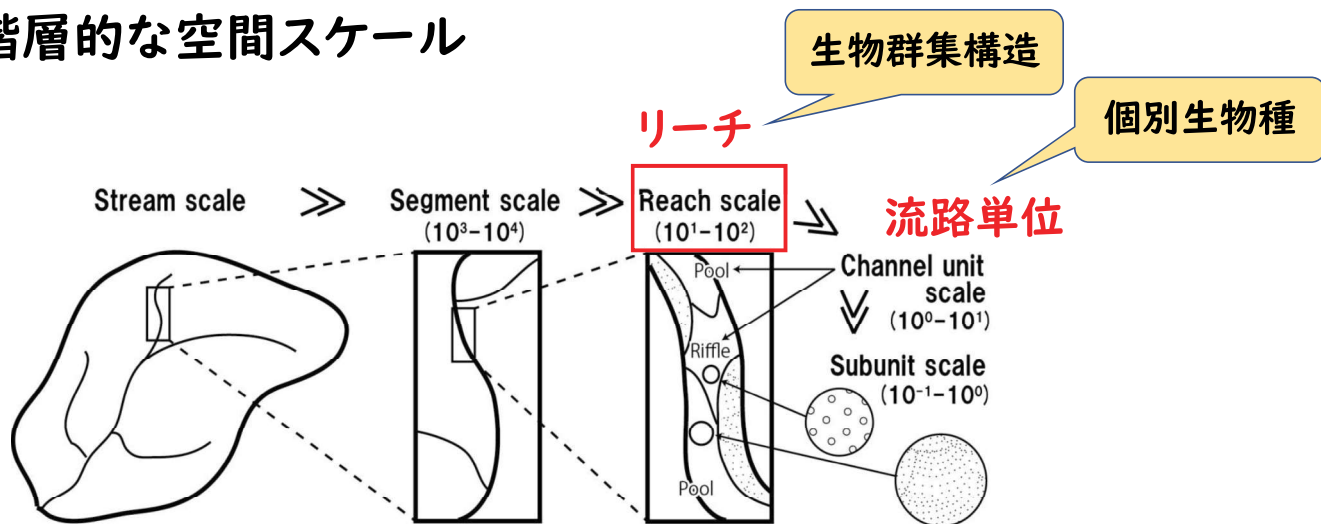
河川生態学, 応用生態工学, 流域保全学

# 山地河川における 土砂と生物の深い関係

# 河川地形区分



## 河川の階層的な空間スケール



永山ほか (2015)  
Frissel et al. (1983)を改変

**生物に直接影響する重要なスケール**  
**【リーチ】** 流路幅の10~100倍程度の縦断長  
**【流路単位】** 流路幅の1~10倍程度の縦断長

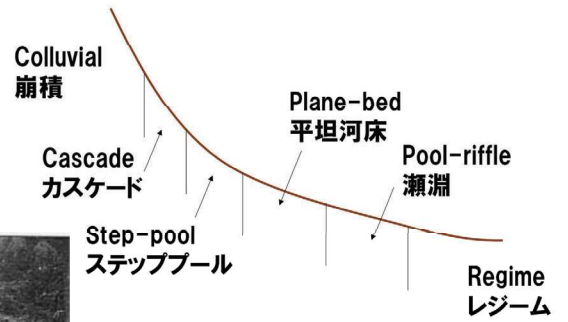


# 山地河川のリーチタイプ

Montgomery & Buffington (1997)

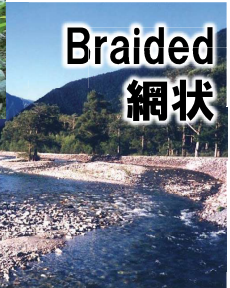
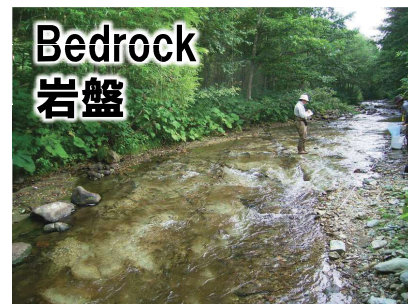


リーチタイプの縦断分布イメージ



# 山地河川のリーチタイプ

Montgomery & Buffington (1997)



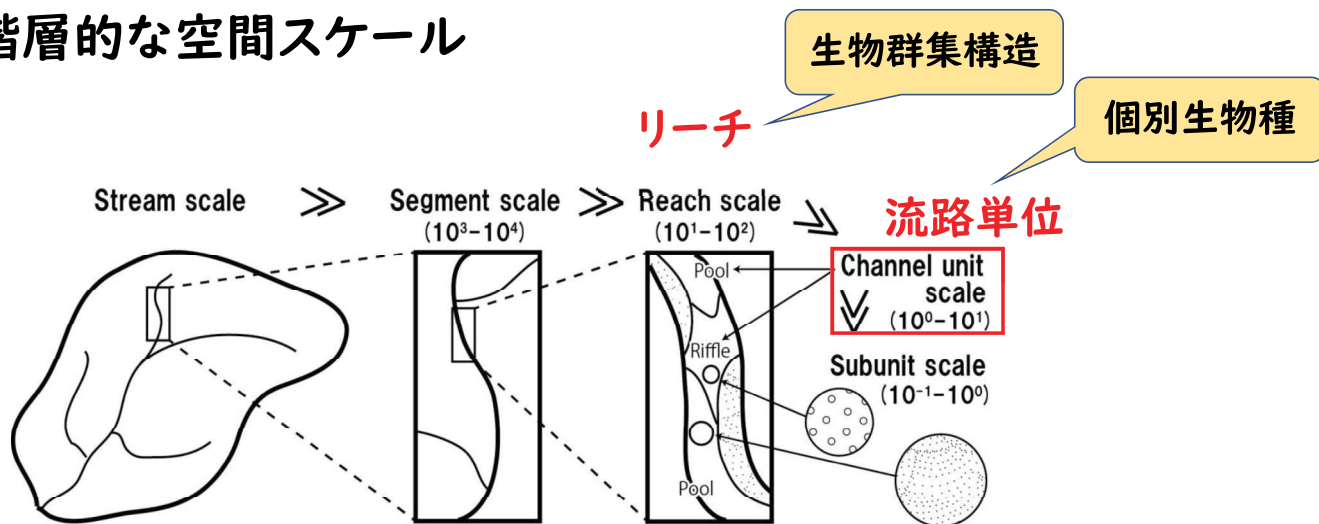
# 山地河川のリーチタイプの物理的特徴



Segment セグメント	Colluvial 崩積	Bedrock 基岩	Alluvial 沖積					
Reach リーチ	Colluvial 崩積	Bedrock 基岩	Cascade カスケード	Step-pool ステップ・プール	Plane-bed 平坦河床	Pool-riffle 瀬・淵	Regime レジーム	Braided 網状
Predominant bed material 河床材料	variable 様々	bedrock 基岩	boulder 巨礫	cobble/ boulder 大/巨礫	gravel/ cobble 中/大礫	gravel 中礫	sand 砂	variable 様々
Typical slope 勾配 (%)	> 20	variable 様々	4-25	2-8	1-4	0.1-2	< 0.1	< 3
Pool spacing 淵間隔 (倍) *	variable 様々	variable 様々	< 1	1-4	none なし	5-7	5-7	Variable 様々

永山・原田ほか(2015)河川地形と生息場の分類～河川管理への活用に向けて～. 応用生態工学18  
Original: Methods in Stream Ecology (1996, 2006, 2017)

## 河川の階層的な空間スケール



永山ほか (2015)  
Frissel et al. (1983)を改変

生物に直接影響する重要なスケール  
【リーチ】流路幅の10～100倍程度の縦断長  
【流路単位】流路幅の1～10倍程度の縦断長





Before

After

### 治山ダムの切り下げ 事前事後10年の変化

Nagayama et al. (2020) *Water* 12

- 堤高4.5m
- 切り下げ（部分撤去：Partial Dam Removal）
- 2009年2月施工完了

### 山地河川のリーチ内に見られる 流路単位の構造の例



### Research!

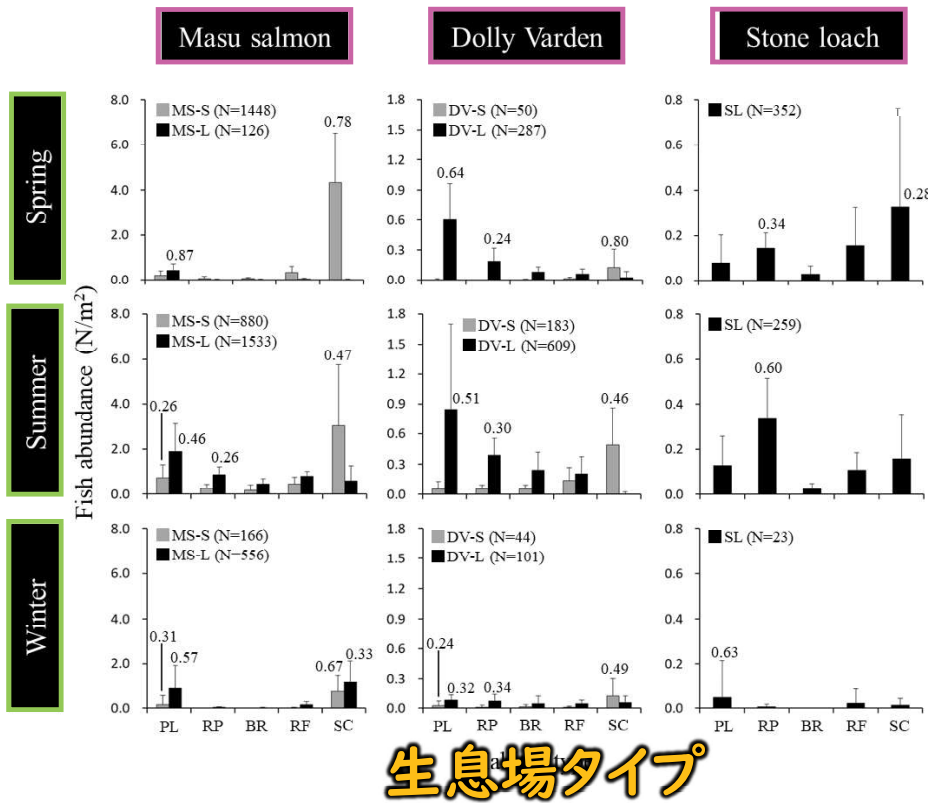
生息魚3種について、  
季節や生活史ステージごとの  
生息場タイプ利用を追跡した



# 魚種

Nagayama et al. (2020) *Water* 12

## 季節



## 生息場タイプ

# 春

# サクラマス





夏

サクラマス



早瀬

淵

瀬

側流路

秋

サクラマス



早瀬

淵

瀬

側流路



冬



サクラマス

### 結果：

季節・生活史ステージで，異なる生息場タイプ（流路単位）を利用した。



### 生息場と生物の多様性の関係

- ・生活史をまっとうする（生物群集が存続する）ためには，異なる生息場タイプのセットが大事。
- ・生息場（地形）を作る土砂とプロセスが大事。

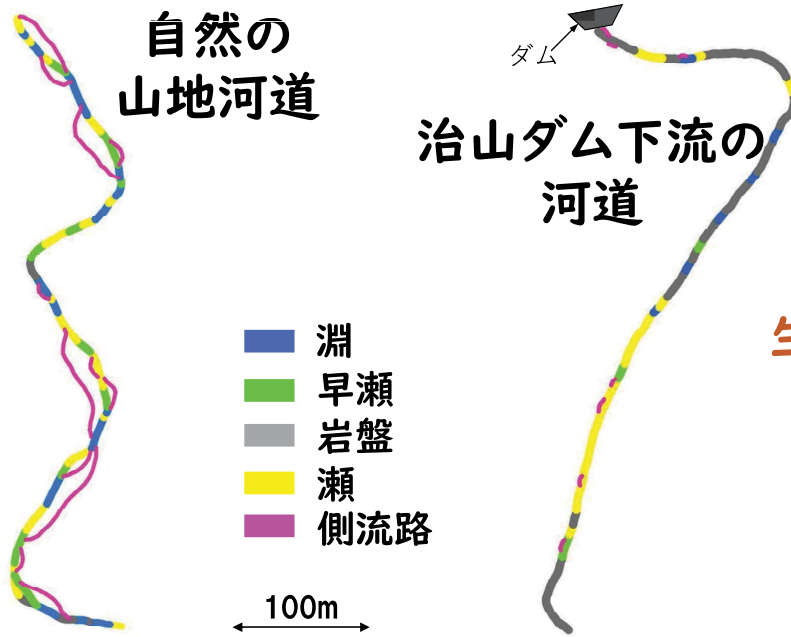




# 研究事例

Nagayama et al. (2020) *Water* 12

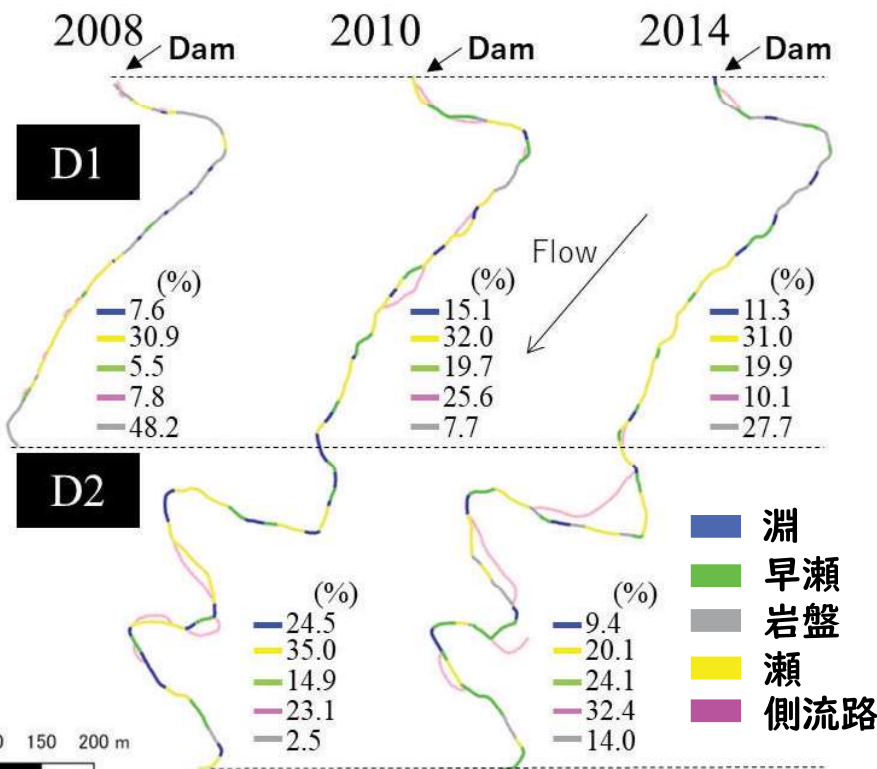
## 生息場の縦断分布



## ダムの影響



生息場を作る土砂がない



## ダム切り下げの効果

2009年2月  
切り下げ実施



ダムから流出した土砂堆積により一時的に生息場が改善. しかし, 時間経過とともに土砂が流下し, 再び岩盤化の傾向.

2008年5月16日  
切り下げ前



## 小滝の変遷

2014年8月31日  
(5年6ヶ月後)



2009年9月11日  
(7ヶ月後)



## 自然プロセスが支える河川の生息場と 生物多様性

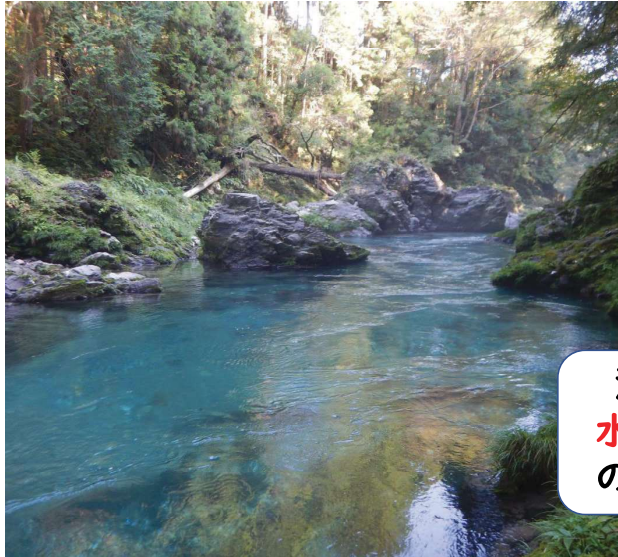
土砂の健全な流れが、  
多様な生息場を形成し、  
生物の存続を可能とする。

虎の子の目を覚ます(露岩化させる)と  
生息場の復活が困難になるケースもある。  
が、大規模な土砂供給現象があれば、  
復活することがあるかも・・・

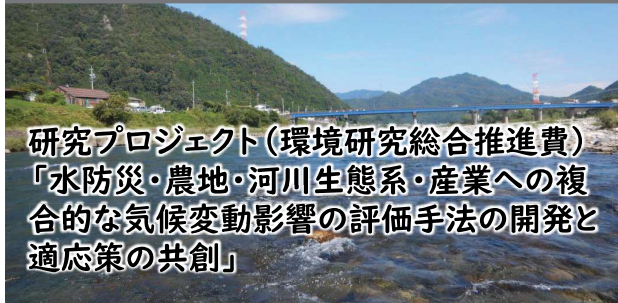




# 環境DNAで見る 魚類の時空間動態 (紹介)



温暖化で変化する  
水温, 流況(雨)と  
の関係を解析する!

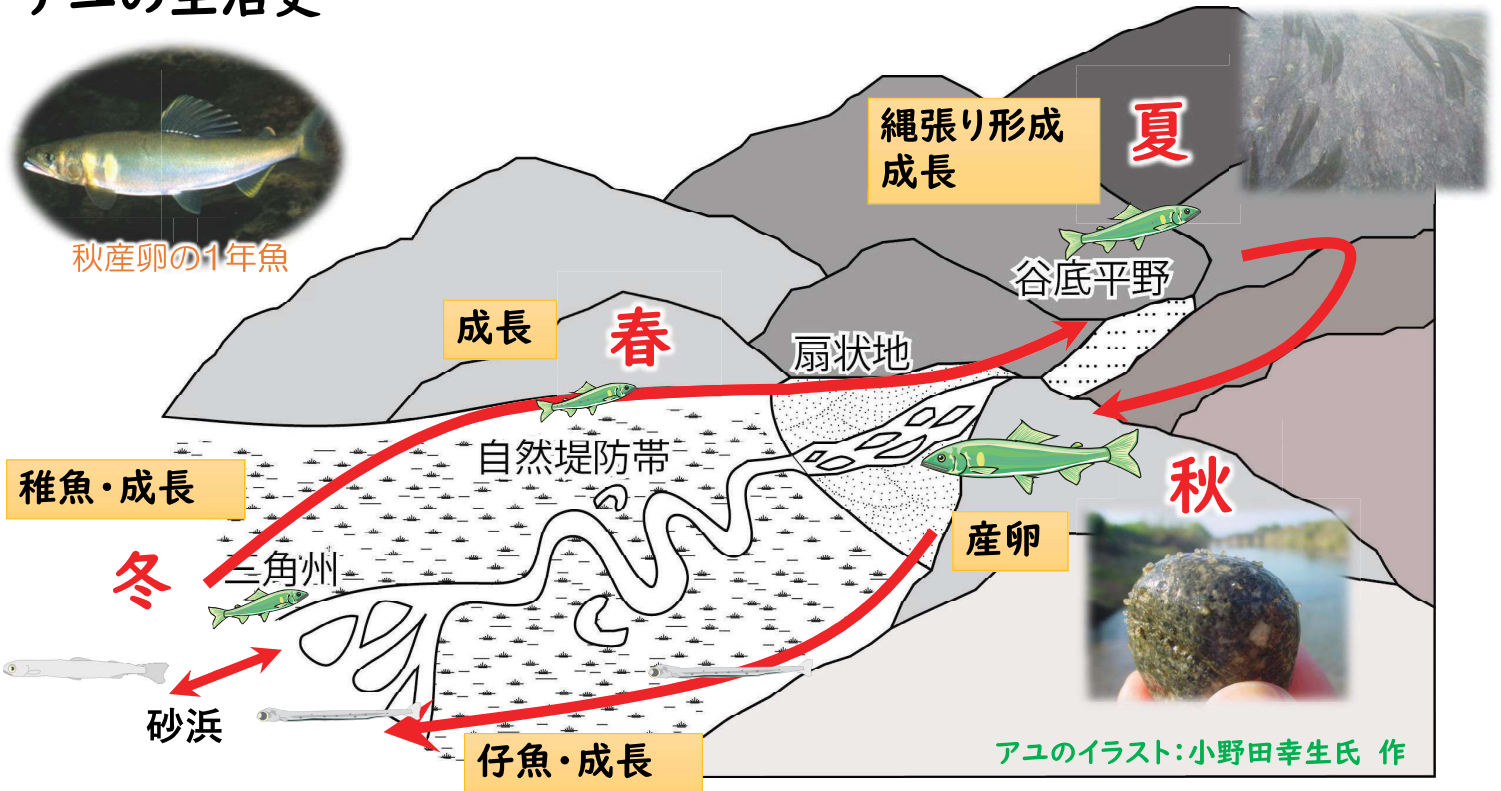


研究プロジェクト(環境研究総合推進費)  
『水防災・農地・河川生態系・産業への複  
合的な気候変動影響の評価手法の開発と  
適応策の共創』

長良川のアユは、なぜ・いつ・どこに  
いるのか? ~温暖化影響の予測に向けて~

●永山滋也(岐大RARC), 末吉正尚(土研ARRC),  
藤井亮吏(岐阜県水産研), 原田守啓(岐大RARC)

# アユの生活史



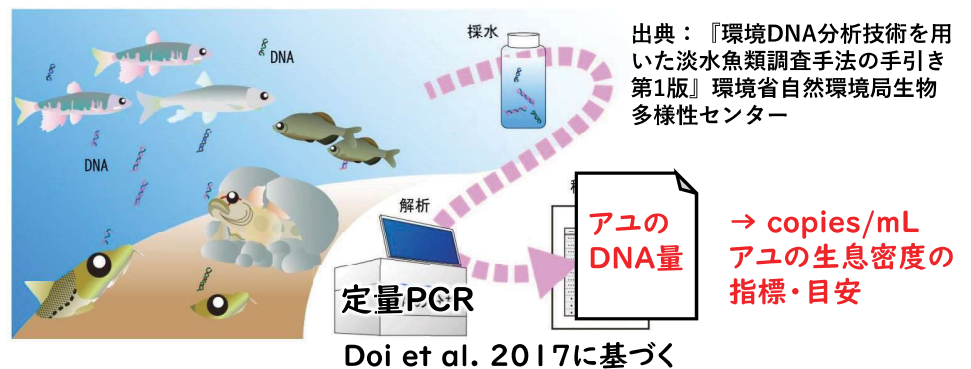
【やったこと①】 アユの環境DNAを使って、アユがいつ・どこにいるのか調べました。

・42箇所×9時期で採水(各1L) ※2020年8~12月

eDNA	8/11	8/25	9/14	9/23	10/6	10/20	11/4	11/17	12/1
アユ	●	●	●	●	●	●	●	●	●

土用隠れ 成長期 産卵期(落ちアユ)

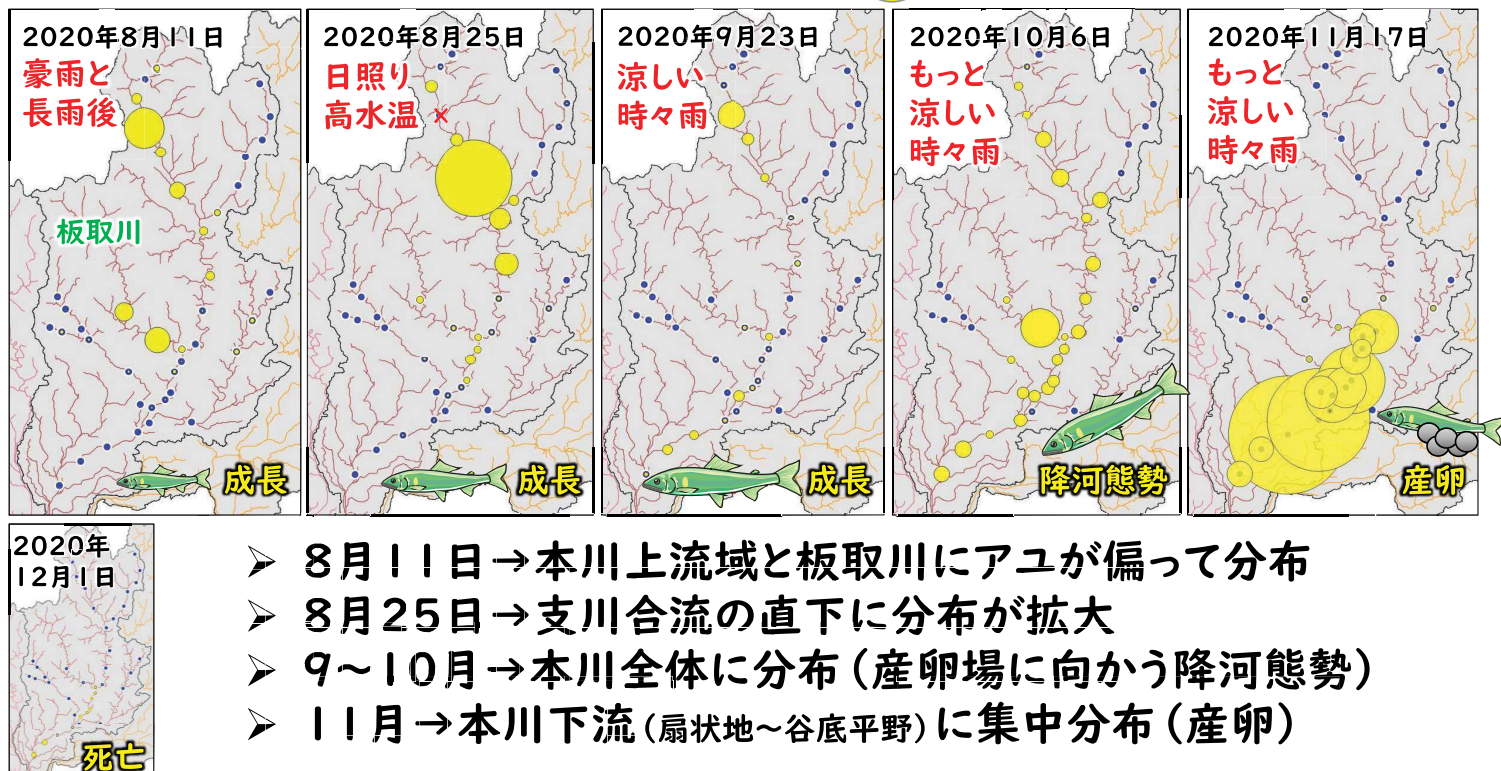
・アユ環境DNAの定量PCRを実施





# ★アユの分布変化(時空間動態)

● アユDNA量(大丸ほどアユ多い)



H31 (R1) 年度 河川砂防技術研究開発 地域課題(砂防)

## 山地河川における環境DNAを用いた水生生物分布推定手法の最適化に関する研究

2021年(令和3年)1月27日

代表: 永山滋也(岐阜大学・地域環境変動適応研究センター)

共同: 原田守啓(岐阜大学・流域圏科学研究センター)

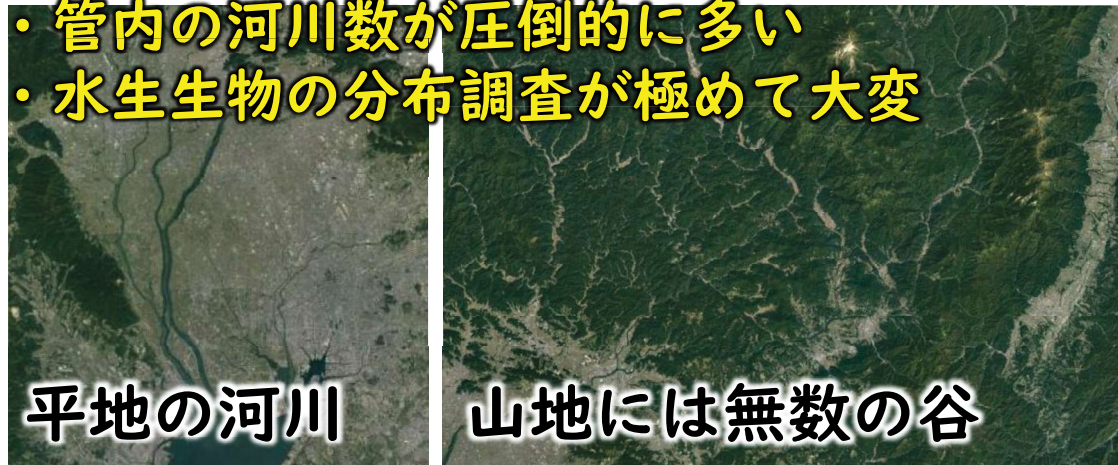
共同: 権田豊(新潟大学・農学部)

## 背景 ～砂防管内における生物データ～

**生物分布情報**は砂防事業における  
環境配慮の基礎情報として重要

**【課題】**砂防の主戦場となる山地では

- ・管内の河川数が圧倒的に多い
- ・水生生物の分布調査が極めて大変



## 背景 ～環境DNA解析の発展・活用の課題～

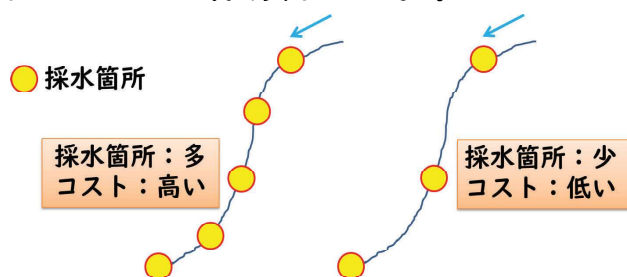
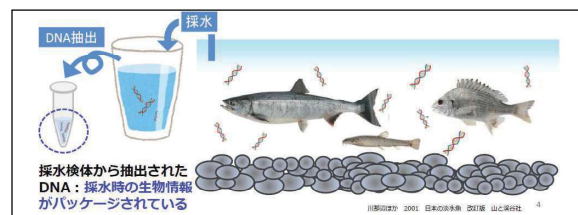
**環境DNA**：水中に放出された生物由来の  
DNAから種の存在を判定する。

★広域、時系列の  
生物分布把握に有効

**活用の課題**

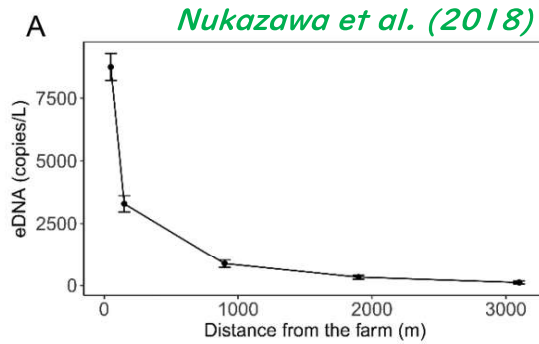
**採水地点間隔の最適化**

→少ない地点数で効率よく生物分布を把握する





# 背景 ~DNA検出限界距離と要因の把握~



流下に伴いDNA量は減少

要因①河床沈着

※伏流に伴う filtering

要因②生物分解

DNA検出限界距離に影響するその他の要因

流下速度, 流量 (希釈)

河川地形 (勾配、瀬淵構造…) や、その地形を変える砂防堰堤, 及び支川流入の影響を考慮する必要がある。

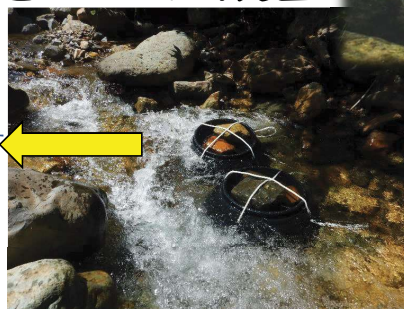
## 方法 アユDNAトレーサー実験

● 採水

アユ設置前  
設置1日後  
設置2日後



胴丸かごにアユ  
20尾を入れ設置



実験室にて  
アユDNA定量化  
リアルタイムPCR  
(種特異的解析)

コンクリート区間:

生分解

自然区間:

●●+河床沈着 (伏流)

堰堤or支川あり区間:

●●+堆砂・湛水or希釈



# 方法 一次元モデル (DNA減衰モデル)

【濃度の基礎式】

$$C_{i+1} = \frac{\{L_i + (C_i Q_i)\} \times \exp\{-(k_1 t_i) - (k_2 x_i)\}}{Q_{i+1}}$$

$k_1$ : 流下時間に依存した減衰速度定数  
 $k_2$ : 流下距離に依存した減衰速度定数  
 $t_i$ : 区間*i*の通過に要する流下時間  
 $x_i$ : 区間*i*の流下距離 (10mに固定)

## 流下時間に依存した減衰

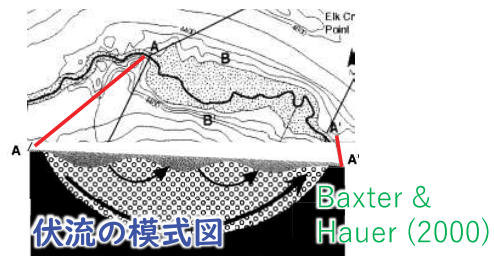
- 時間経過に伴い、eDNAの分解が進む効果
- アユとコイについて、水温10℃、20℃、30℃の環境下でのeDNA濃度の分解速度が調べられている (Tsuji et al. 2017)
  - 水温が高いほど分解が早い
  - バクテリア濃度が高いほど分解が早い
  - アユのeDNA分解速度は下式で表現

$$k_1 = -(0.01062 \times T - 0.07081)$$

$T$ : 水温(°C),  $k_1$ に乘じる時間の単位はhourであることに注意。

## 流下距離に依存した減衰

- eDNAの河床沈着(伏流によるフィルタリング)の効果 ← 本研究における仮説
- 山地河川の地形に依存?  
自然区間(ステップ・プール) >> 三面コンクリ

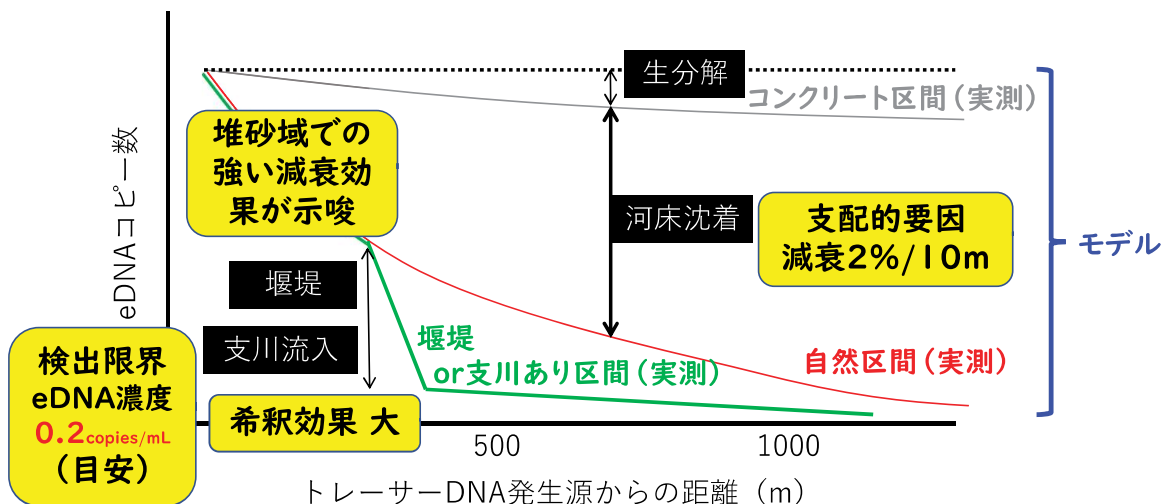


流下時間に依存した減衰速度定数 $k_1$ はTsuji et al.(2017)に基づき計算することとし、トレーサー実験結果をよく説明しうる $k_2$ の値を探索的に求める。

## まとめ (図)

## 流下に伴うDNA減衰曲線

コンクリート区間: 生分解  
 自然区間: 生分解+河床沈着(伏流)  
 堰堤or支川あり区間: (自然区間)+堆砂・湛水or希釈  
 モデル(理論値): 完全混合・押し出し型の一次元モデル





## まとめ（文）

### ①山地河川では河床沈着効果が支配的

- ・ 10m流下で2%減衰 ( $\exp(-0.002x)$ )

### ②支川流入（流量増）による希釈効果に注意

- ・ 同じ生物量でも流量増加で検出不可となる

### ③検出限界濃度は0.2 copies/mL（目安）

- ・ 検出or非検出結果が入り混じる

### ④堰堤による強い減衰効果が示唆される

- ・ 堆砂域のフィルタリング効果が想定される。