

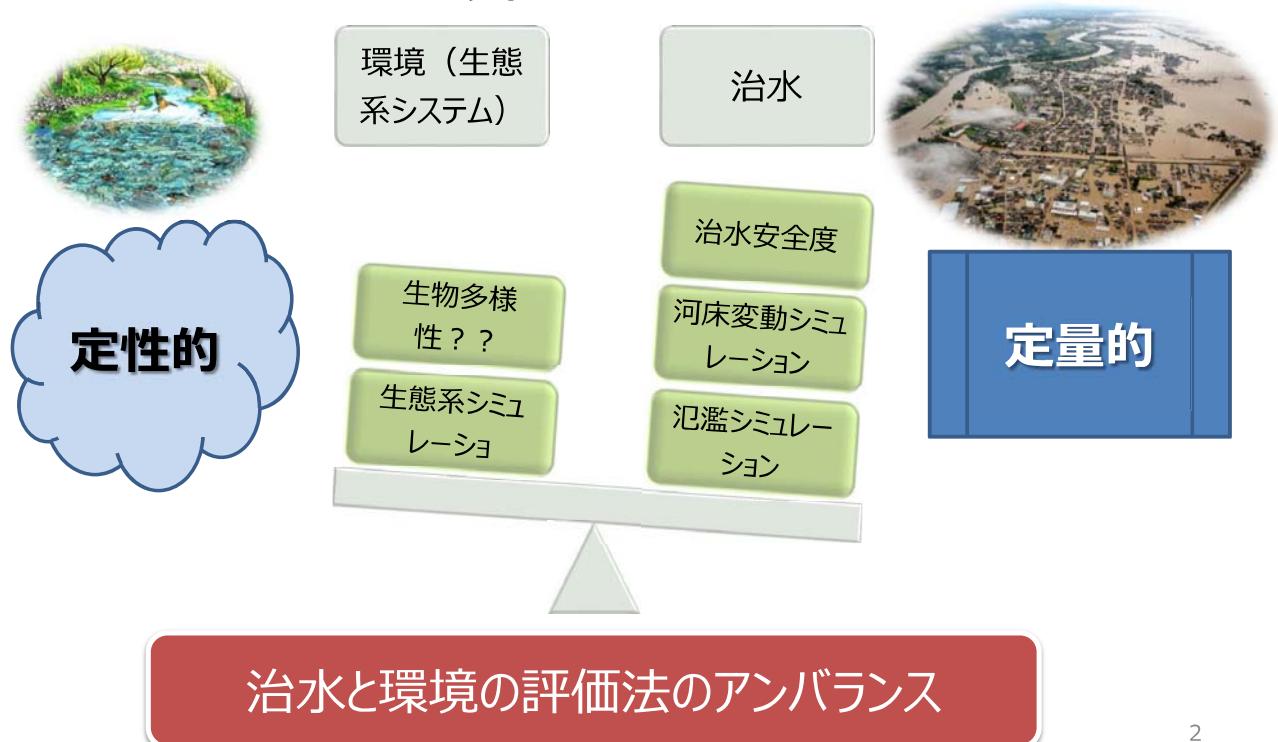
公益財団法人リバーフロント研究所主催「第14回川の自然再生セミナー」

河川自然再生におけるモニタリング・シミュレーション技術の現状と課題

山口大学大学院創成科学研究科
赤松 良久

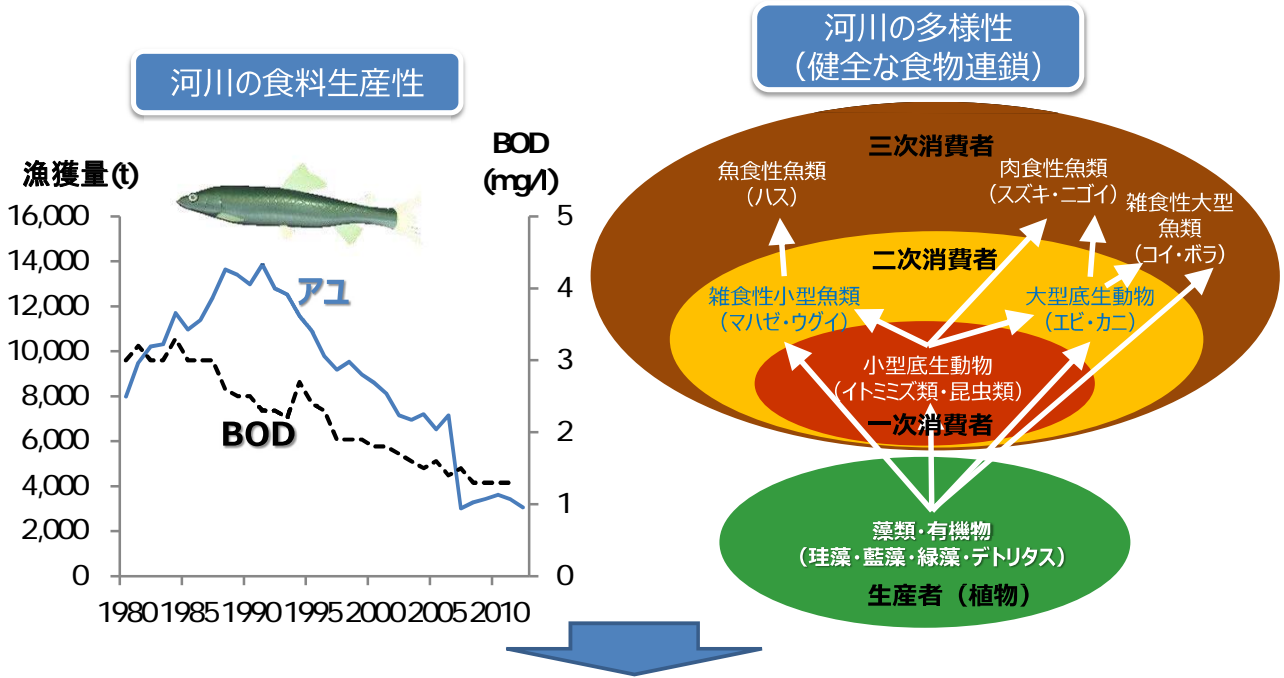
1

治水と環境の調和した河川管理はなぜ難しい??



2

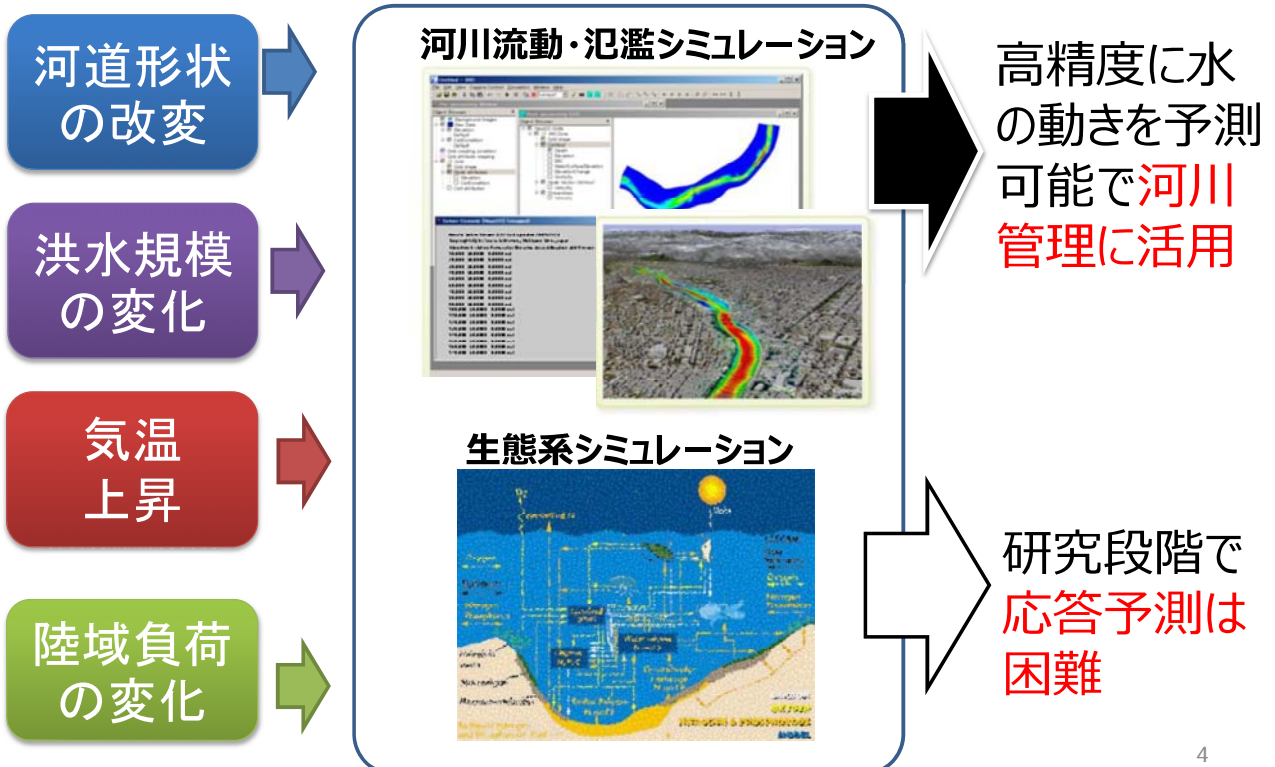
河川の生産性と多様性の両面からの評価



これらが両立すれば人間にとって最適な環境の河川と言える！！
ではどうやって河川の生産性と多様性を**評価・予測**する??

3

様々な**外力**の変化にどう応答する？



4

河川における自然再生事業

自然再生事業は、過去に失われた自然を積極的に取り戻すことを通じて生態系の健全性を回復することを直接の目的としています。なお、この自然再生事業は、人為的改変により損なわれる環境と同種のものをその近くに創出する代償措置として行うものではない。

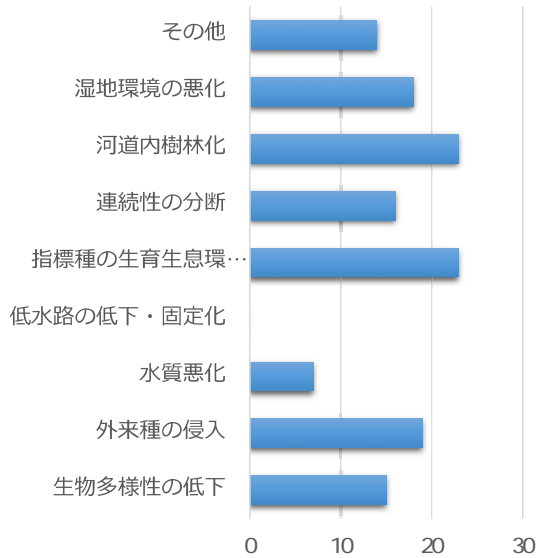
一級河川での実施状況



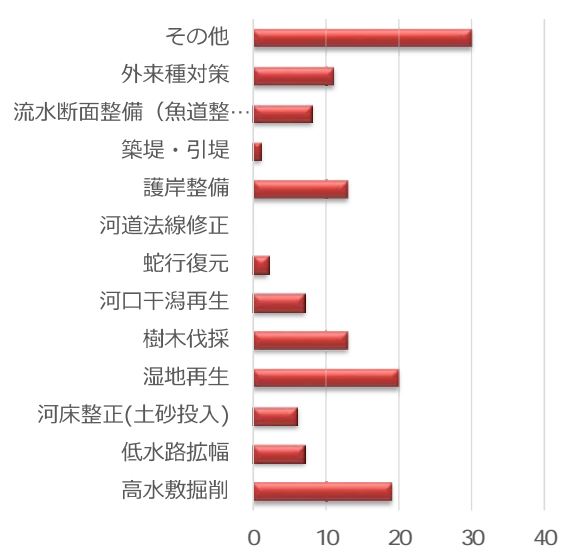
河川生態ナレッジデータベース <http://kasenseitai.nilim.go.jp/> 5

河川自然再生事業における課題

河川管理上の課題



対策工法



河川生態ナレッジデータベース <http://kasenseitai.nilim.go.jp/>

樹林化, 外来種, 生息環境劣化が河川管理上の大きな課題 6

河川自然再生の推進には

河川生態系の健全性の評価・予測法は不明確

河川環境の事業前後の
モニタリングが必要不可欠

河川生態系**シミュレーション**による
外力に対する応答予測

7

現状の河川生物環境のモニタリングは??

河川水辺の国勢調査



全国一級河川を対象

- ・生物種に着目
- ・5年で一巡

果たして十分でしょうか??

8

新たな河川環境モニタリング



9

安定同位体比とは？

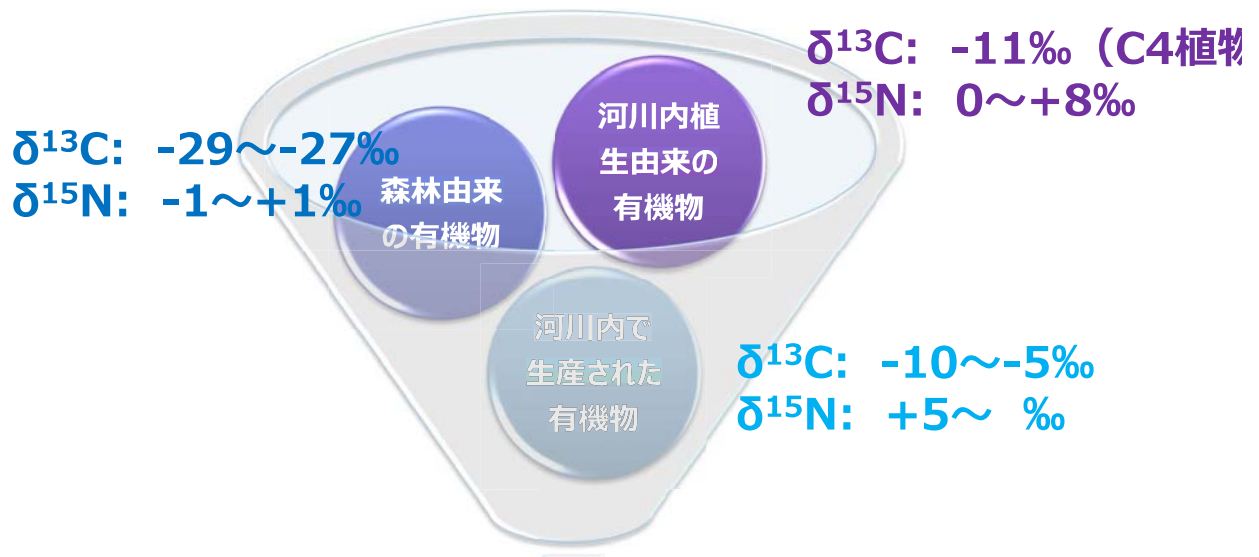
安定同位体比は、特定の標準試料の同位体の構成比からの差を千分偏差(δ 値)で表す

$$\delta^{13}\text{C}, \delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = \left(\frac{R_{\text{試料}}}{R_{\text{標準}}} - 1 \right) \times 1000$$

※Rは対象とする同位体ごとに、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ である

重い同位体物質をトレーサーとして自然界での物質の動態を把握することが可能

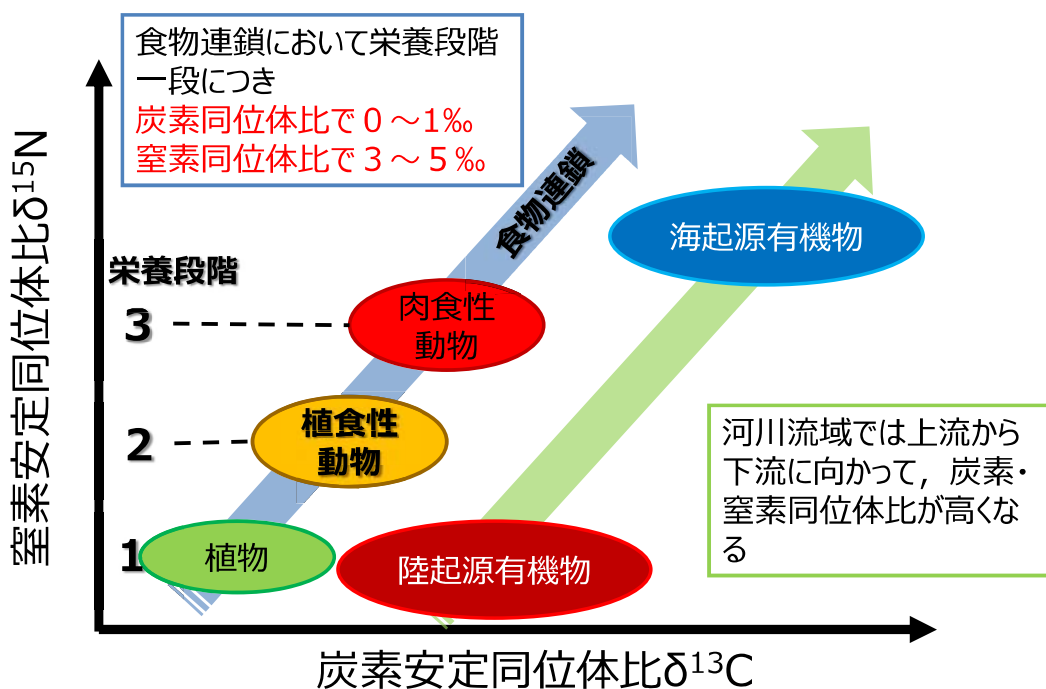
底生動物の炭素・窒素安定同位体比



底生動物の炭素・窒素安定同位体比

はこれらの混合比で決まる

河川・流域における炭素・窒素安定同位体比



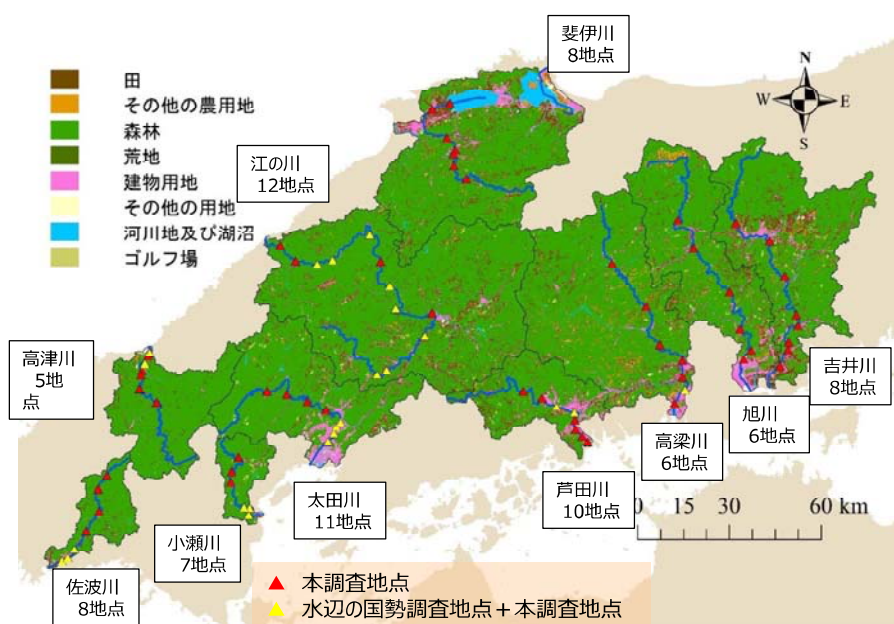
本研究の目的

中国地方の10一級河川における**水質**および**底生動物の窒素安定同位体比**の調査・解析

水辺の国勢調査から得られる底生動物の**多様性指標**と調査から得られる底生動物の**窒素安定同位体比**の比較

底生動物の窒素安定同位体比を用いた河川環境評価

中国地方における現地調査



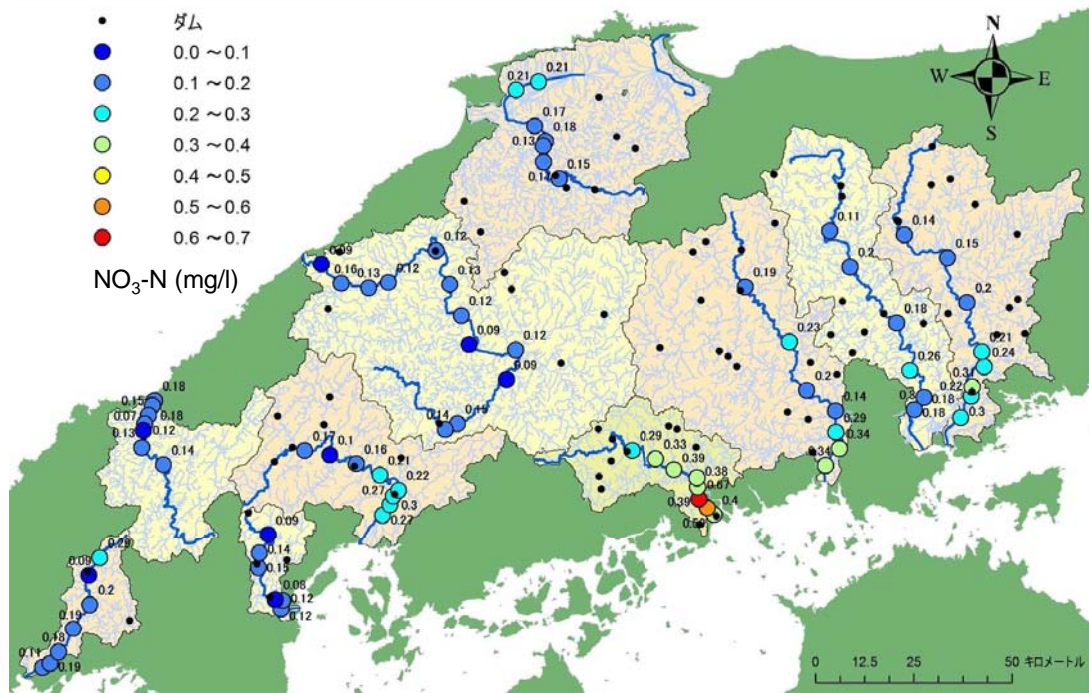
調査項目

- ・安定同位体比
- 河床堆積物
- 付着藻類
- 底生動物**
(ヒゲナガトビケラ科)
- 河川内植生
- ・水質

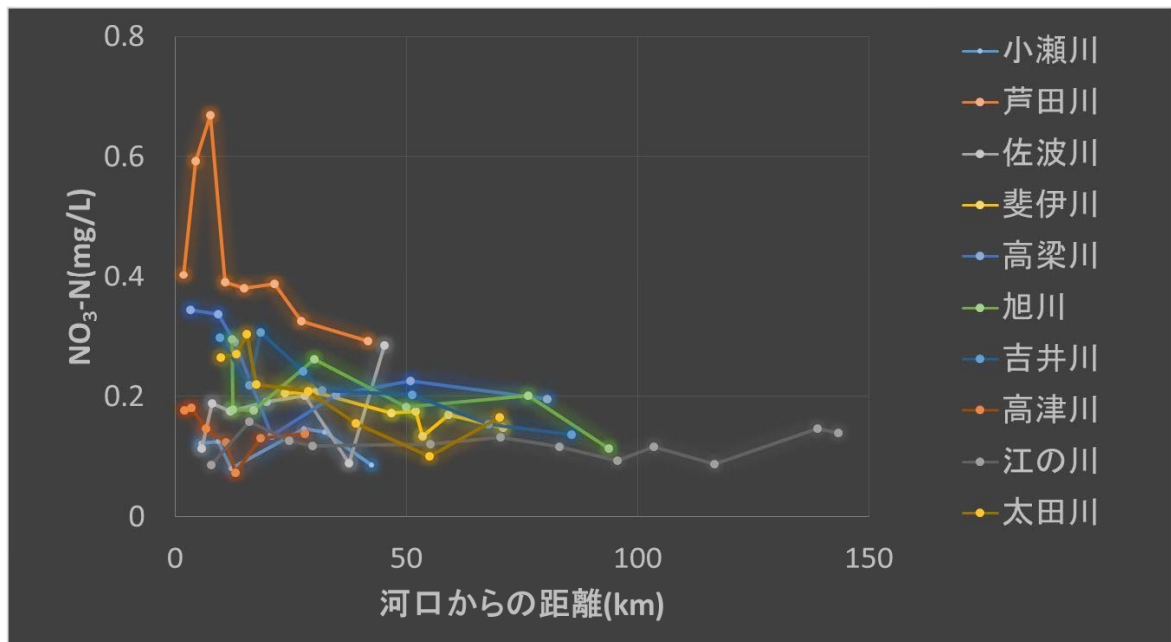
調査期間

2014年8月～10月

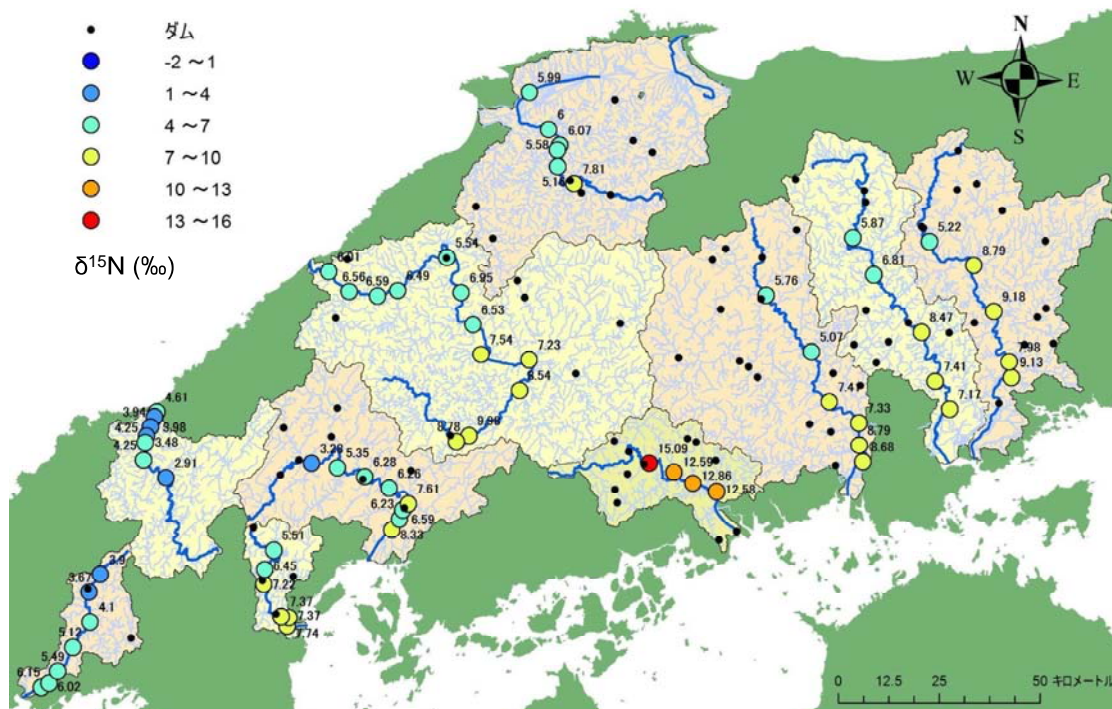
硝酸態窒素NO₃-Nの空間分布



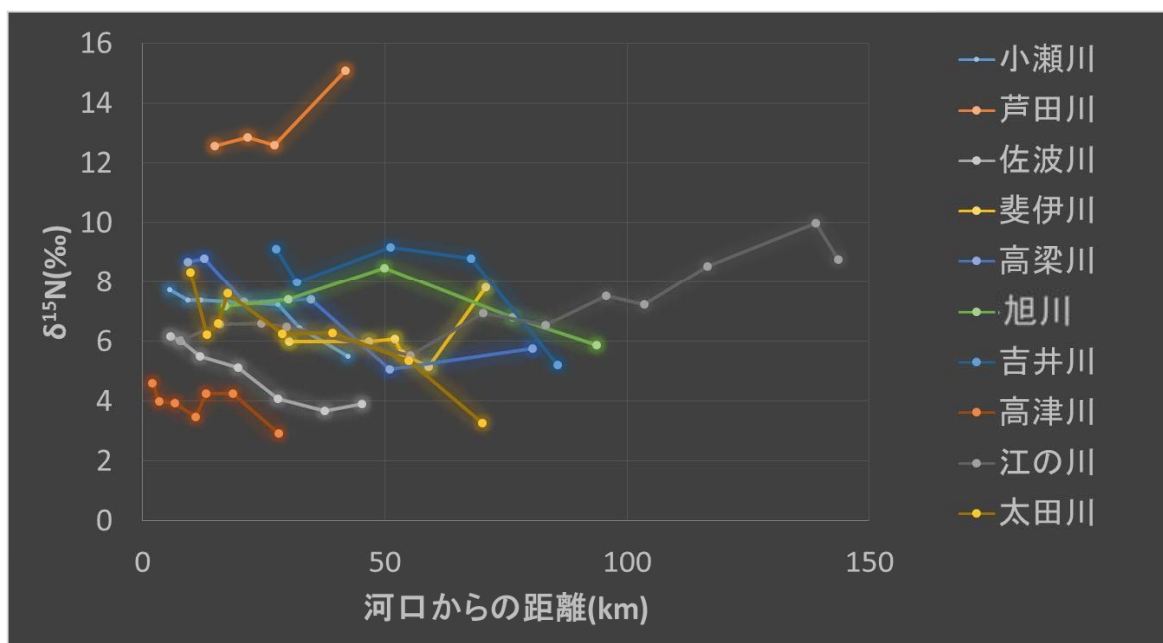
硝酸態窒素NO₃-Nの縦断分布



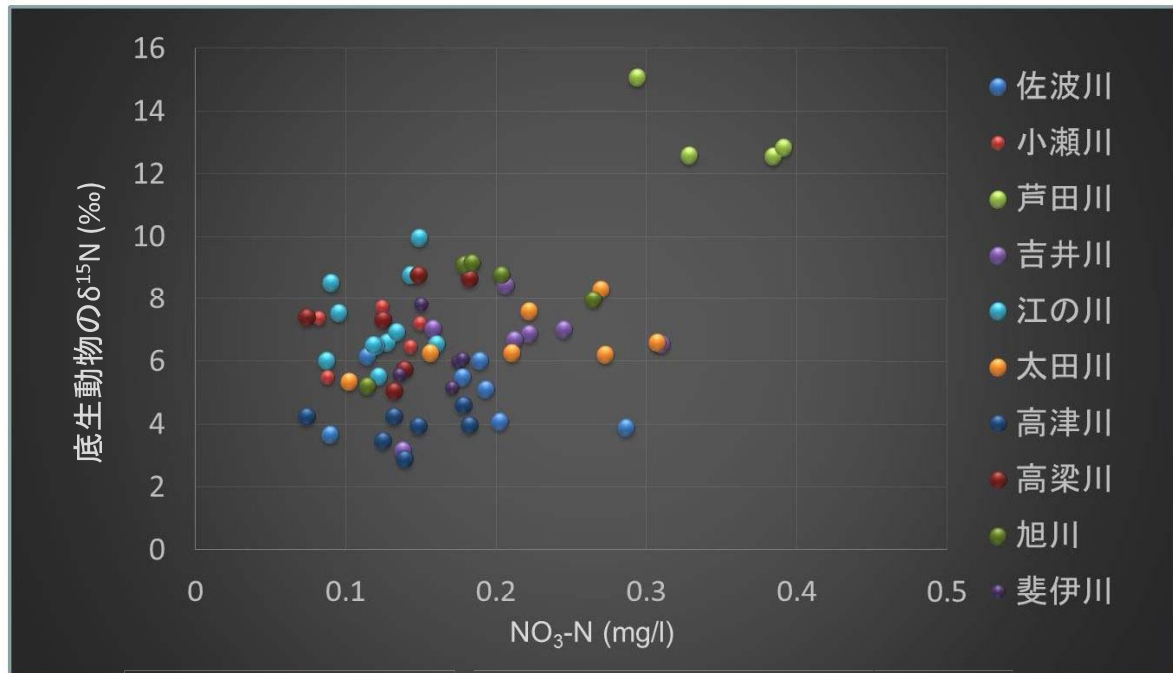
底生動物の $\delta^{15}\text{N}$ の空間分布



底生動物の $\delta^{15}\text{N}$ の縦断分布

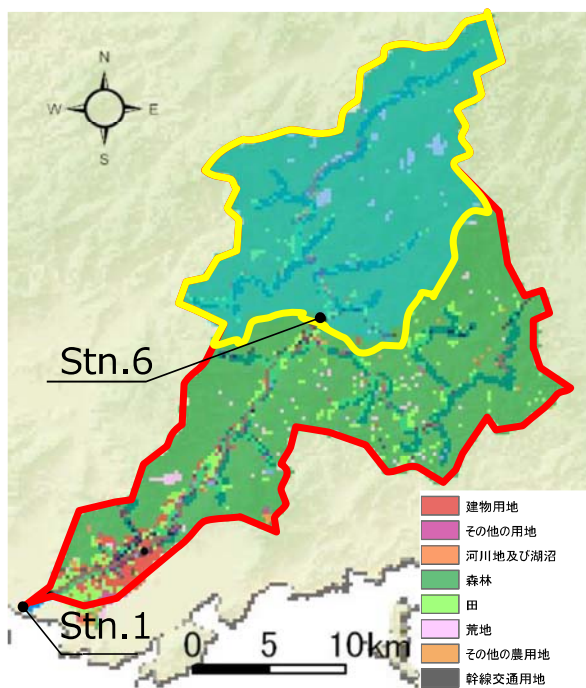


水質と底生動物 $\delta^{15}\text{N}$ の関係



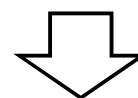
水質と底生動物の $\delta^{15}\text{N}$ の間には強い相関は見られない

集水域の土地利用



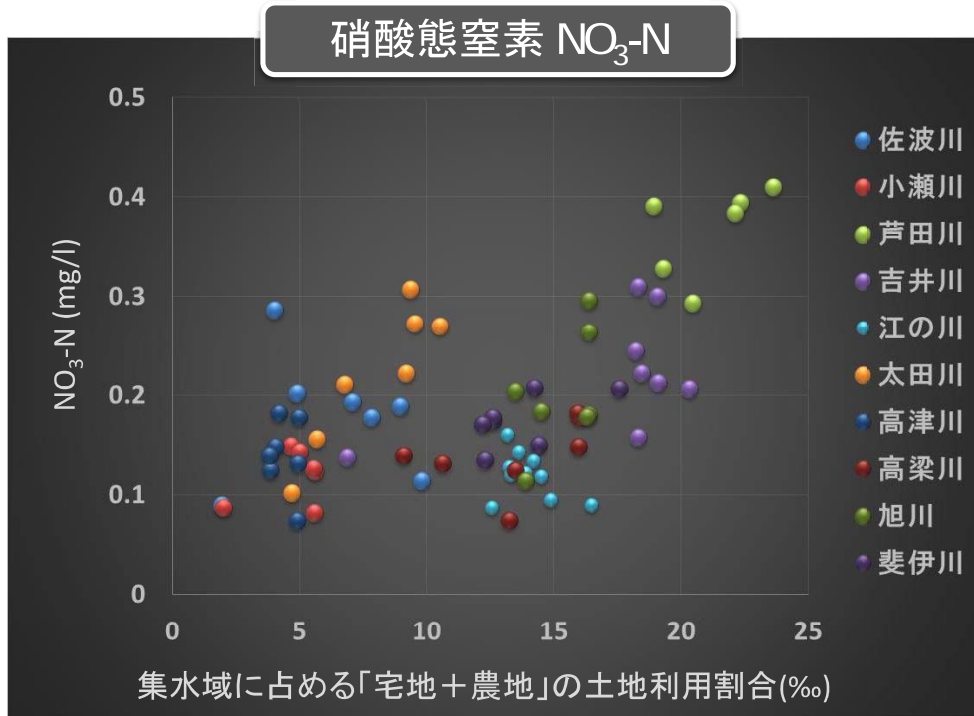
陸域からの汚濁負荷量と水質，窒素安定同位体比の関係に着目

各河川の観測地点ごとに集水域を算出

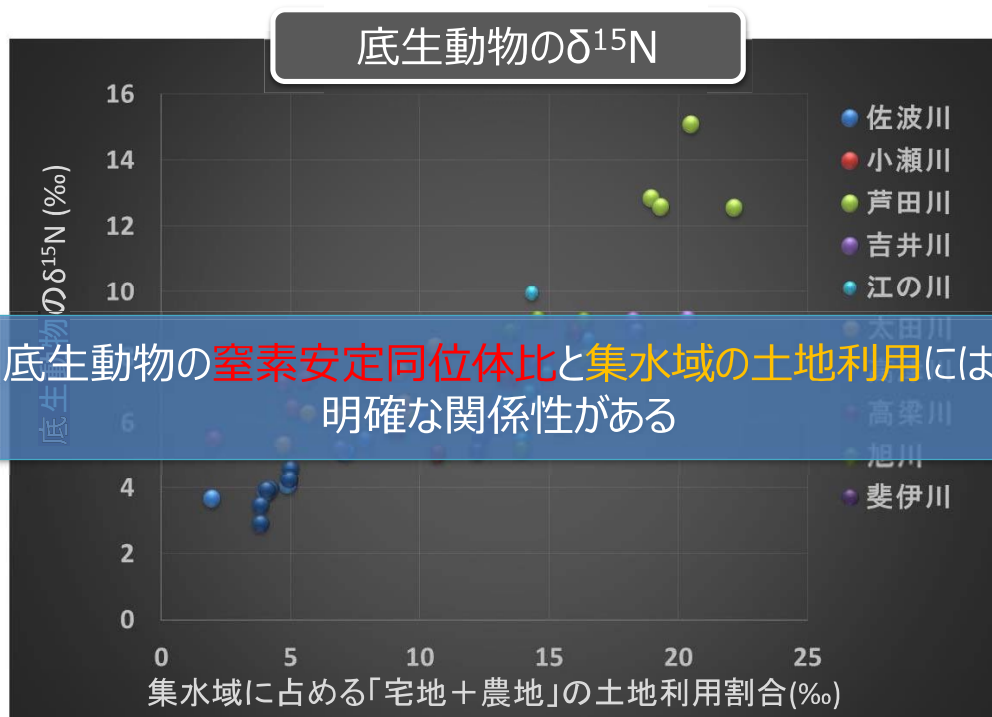


集水域内の土地利用割合を算出

集水域の土地利用との関係



集水域の土地利用との関係



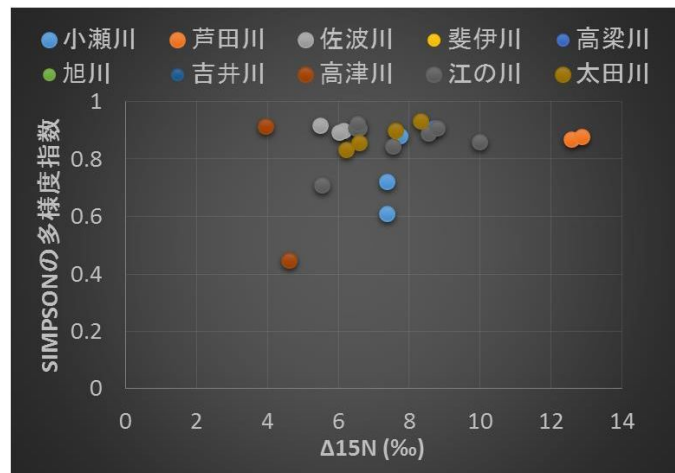
底生動物の窒素安定同位体比と集水域の土地利用には明確な関係性がある

生物多様性指標との比較 (1)

底生動物のSimpsonの多様度指数と $\delta^{15}\text{N}$ の比較

$$\text{Simpsonの多様度指数} D : D = \frac{1}{\sum_{i=1}^S p_i^2} = \frac{1}{\sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N}\right)^2}$$

S は全種数, p_i は全種類の中で*i*種が占める割合, n_i は*i*種の個体数, N は全個体数

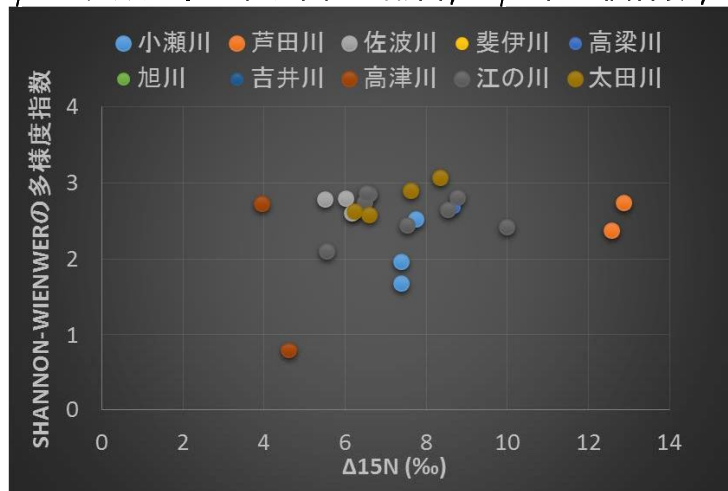


生物多様性指標との比較 (2)

底生動物のShannon-Wienwerの多様度指数と $\delta^{15}\text{N}$ の比較

$$\text{Shannon-Wienwerの多様度指数} H' : H' = -\sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i = -\sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

S は全種数, p_i は全種類の中で*i*種が占める割合, n_i は*i*種の個体数, N は全個体数



まとめ

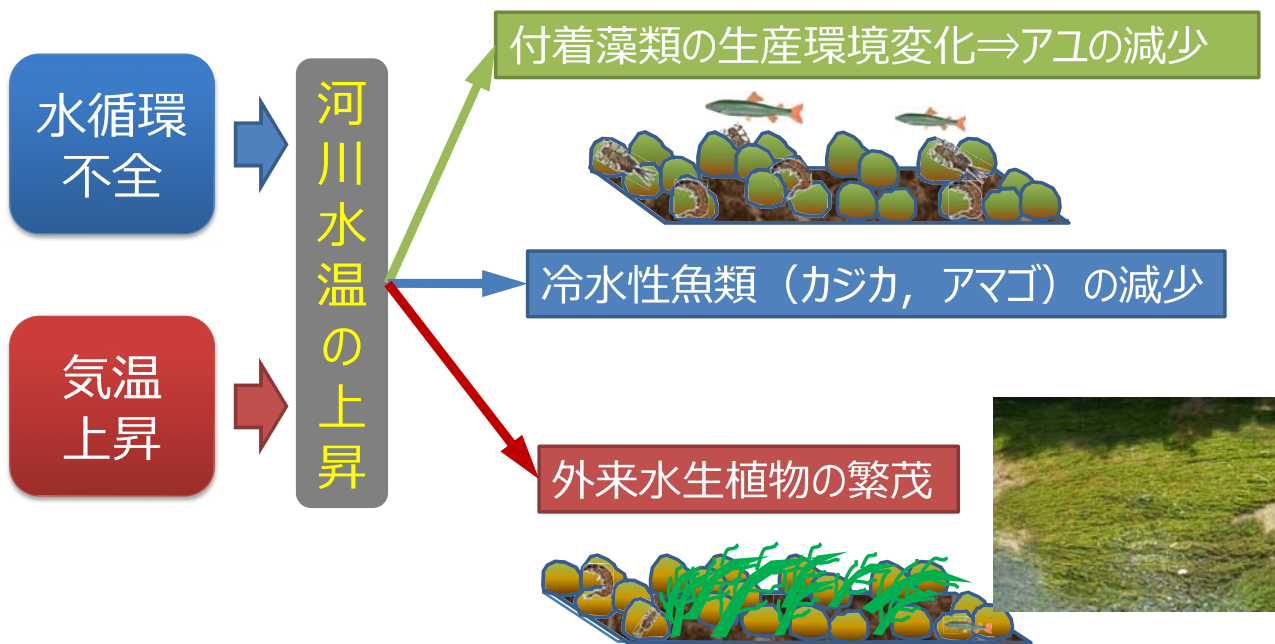
底生動物の**窒素安定同位体比**は各調査地点で陸域からの汚濁負荷の影響を受けて**明確に変化**

底生動物の**多様性指標**では各調査地点間の**違いは不明確**



底生動物の多様性は河川の健全性と一致しない可能性が高く、陸域からの汚濁負荷を明確に反映する底生動物に窒素安定同位体比の方が河川の健全度を示すより良い指標となる可能性がある。

河川の水温と生態系



水温の上昇は生態系全体の生産性を劣化させる可能性がある

中国地方一級河川における水温モニタリング



独自に観測点を設置し，水温の連続モニタリング（10分間隔）を2014年9月から実施している

中国地方の水温分布

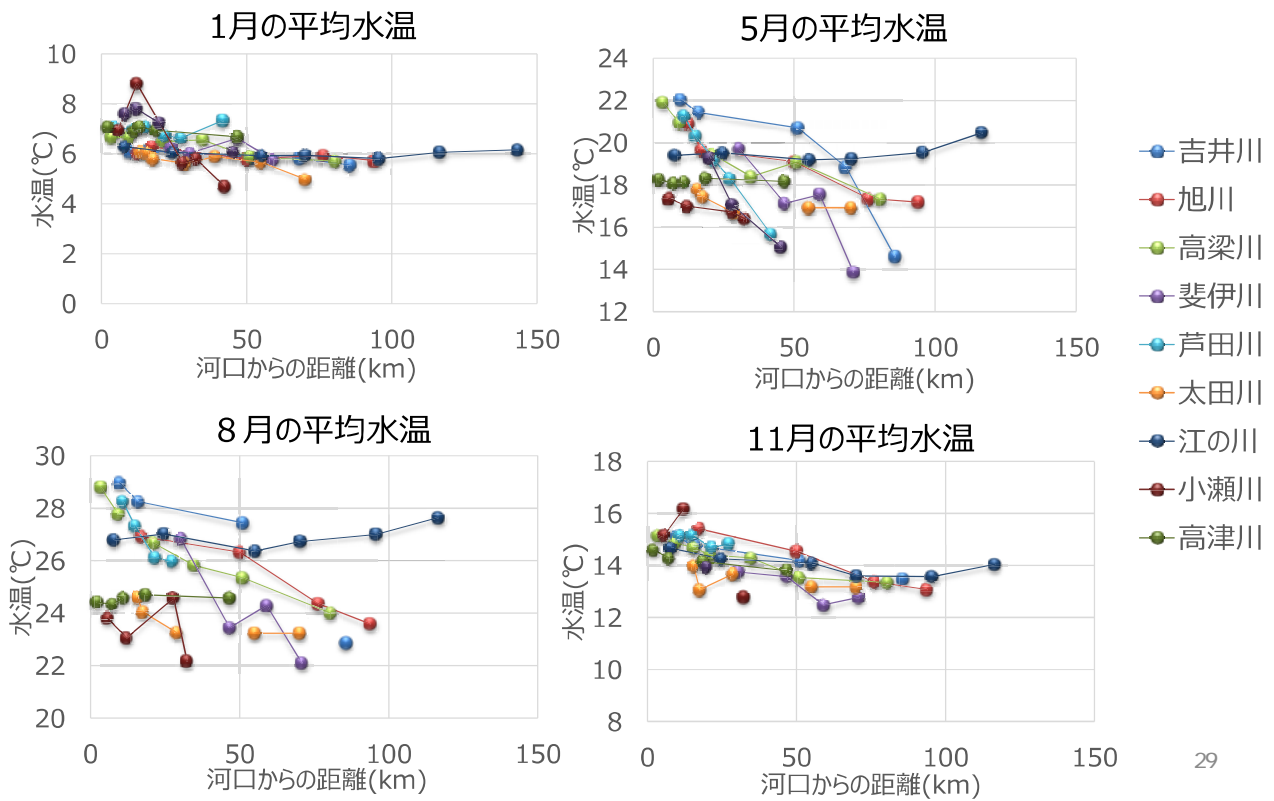
年平均水温(°C)

- ・ ダム
- ▲ 気象観測地点
- 13 - 14
- 14 - 15
- 15 - 16
- 16 - 17

年平均水温（2014年12月～2015年11月）



季節ごとの月平均水温



アユにとっての高水温状態の評価



環境DNAとは？？



31

何が革命なのか？



写真: 山中裕樹氏 (龍谷大)

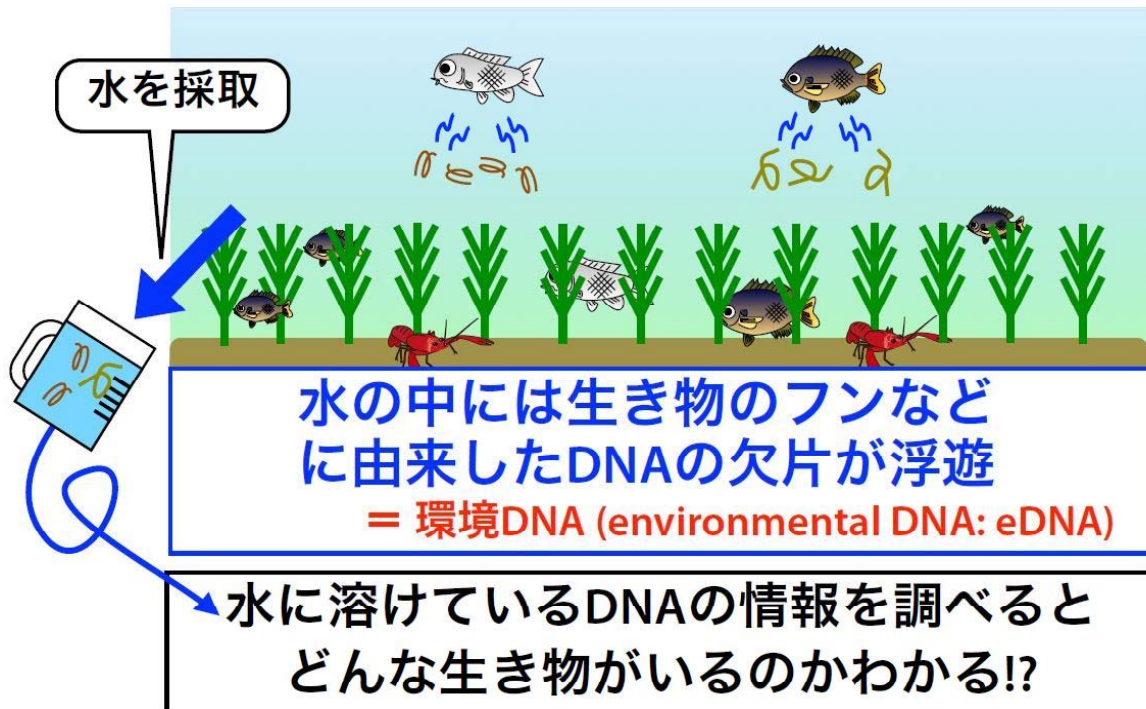
湖沼や河川における魚類の調査は難しい

- 複雑な地形や植生により網を打つのが困難
- 水の濁りや流れによって姿が見えない
- 岩の隙間などに隠れて捕獲できない

多くの労力や時間が必要...

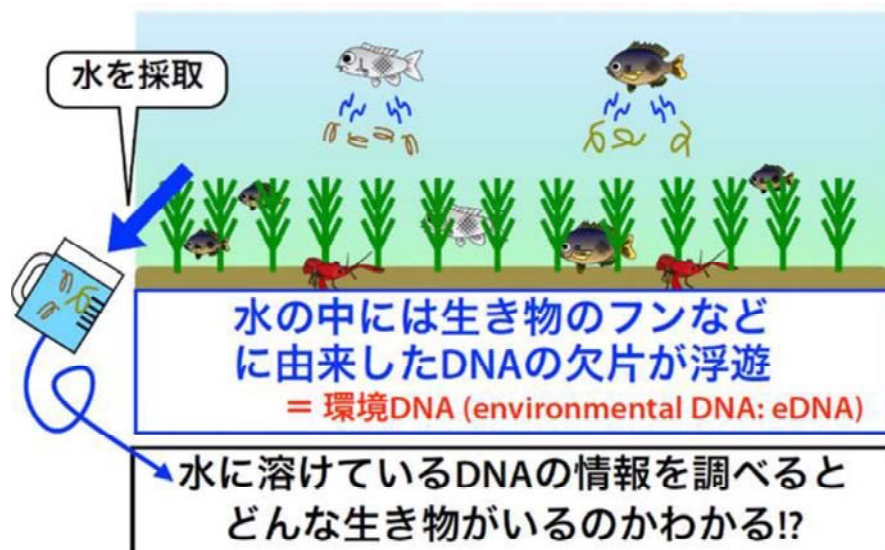
32

大変な調査が採水だけで？



33

河川における環境DNAの活用



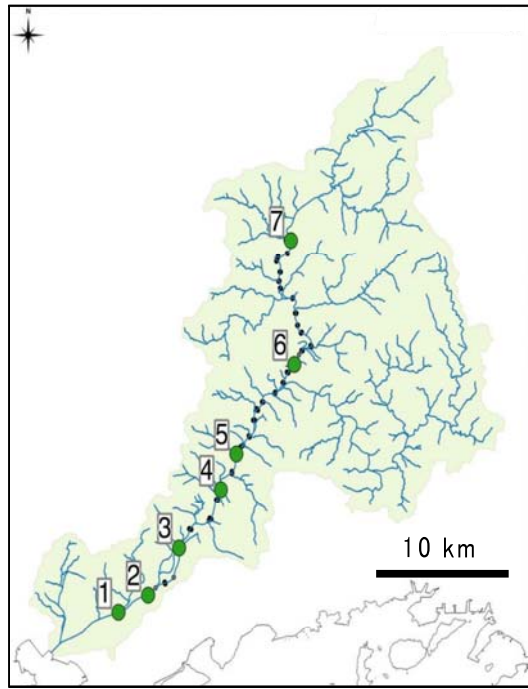
水中の魚類の密度 \Rightarrow 河川（流水）で適用可能か？

水中の魚類の在/不在 \Rightarrow 河川内のすべての魚類を把握可能か？

34

魚類の密度の定量的評価

山口県佐波川水系佐波川



対象種 (アユ)



調査時期 (2015年5, 7, 10月)

調査地点

河口からの距離

Site1: 5.3km

Site2: 7.6km

Site3: 11.5km

Site4: 17.0km

Site5: 19.8km

Site6: 27.4km

Site7: 38.2km

- ・7定点を設定

- ・上下流方向に約80mで瀬を含む

従来の方法による魚類の現存量の把握

潜水目視調査



- ・地点毎に6ライン (約15m間隔)

- ・種別の密度(n/m^2)

$$= \frac{\text{各ラインの種別の個体}(n)}{\text{調査面積}(m^2)}$$

魚類採集調査



- ・採取した魚類：種別に分類

- ・種別の平均体重(g/n)算出

$$\text{種別の平均密度}(n/m^2) \times \text{種別の平均体重}(g/n) = \text{種別の魚類量}(g/m^2)$$

環境DNA分析

1) 採水

- 各調査地点における瀬の下流側で表層水（1L）を採水

2) 濾過

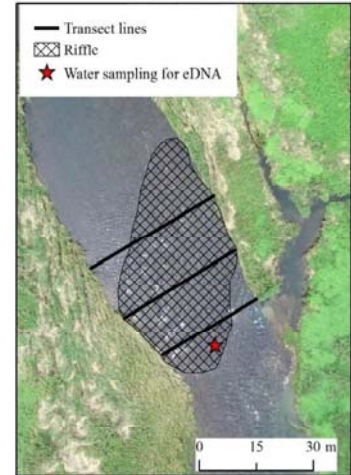
- 当日中に行い、フィルターは冷凍保存

3) DNAの抽出

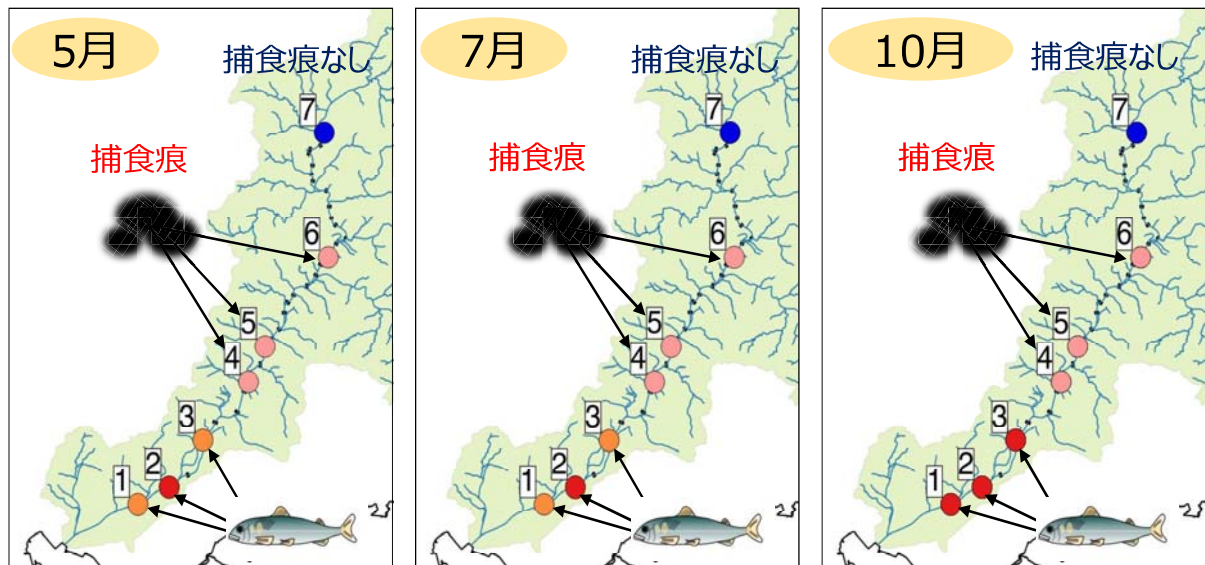
- Yamanaka & Minamoto (2016) に従い試薬で抽出

4) DNAの定量化

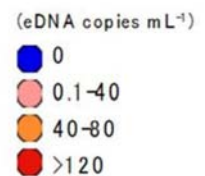
- Yamanaka & Minamoto (2016) に従いリアルタイムPCR法により定量化（PikoReal）



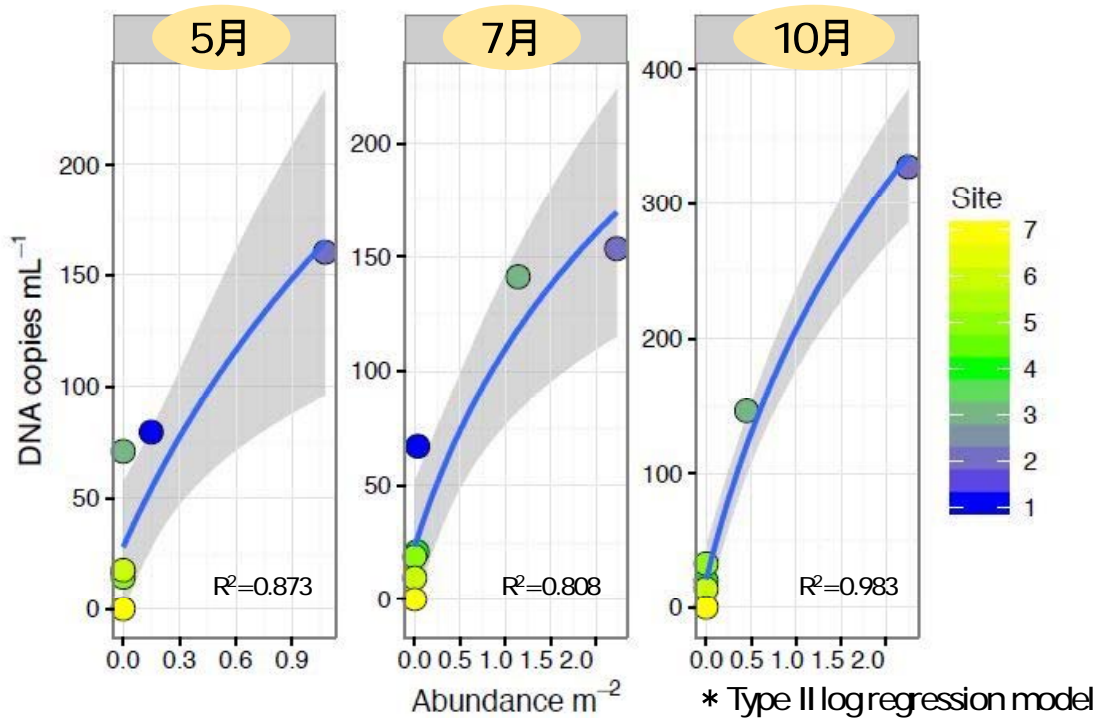
アユの環境DNA量



- 目視確認できた地点で高い値を示している
- 捕食痕がなかった地点では検出されない

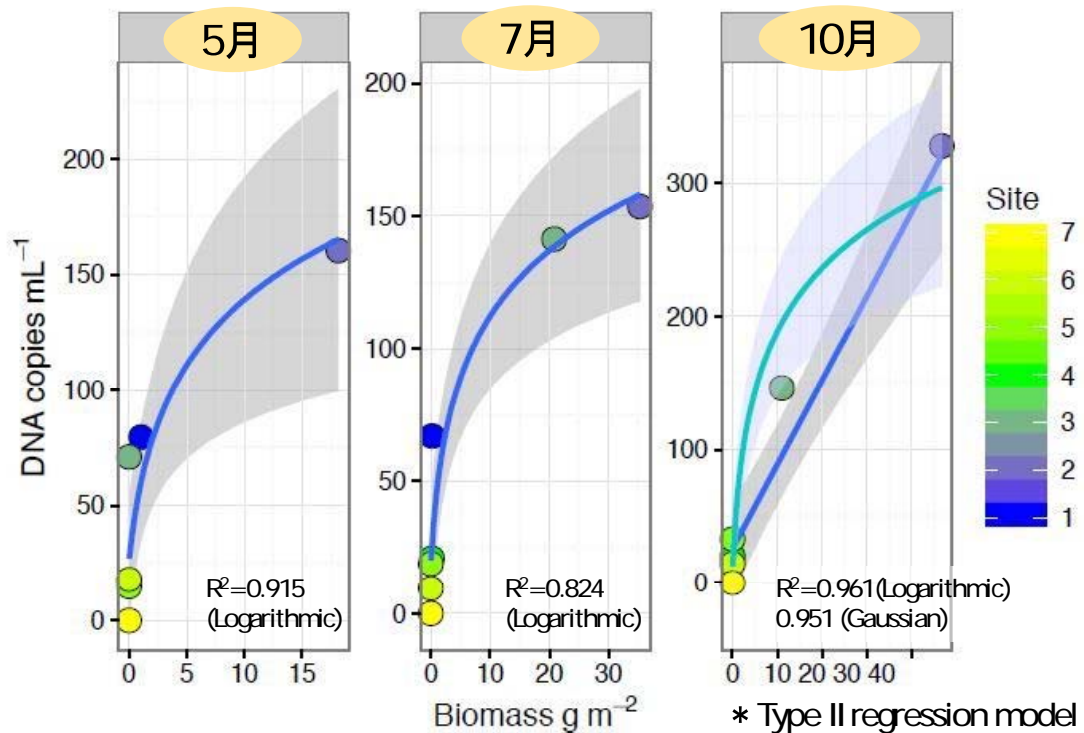


環境DNA量と密度 (n/m²) の関係



・環境DNAと密度は強い相関が見られる

環境DNA量と現存量 (g/m²) の関係



・環境DNAと現存量は強い正の関係性が見られる

各種メディアで取り上げられる

中国新聞2016年10月5日

産経新聞2016年10月8日

山口大学
プレスリリース

発見・はくみ・かたちにする 知の広場

山口大学
YAMAGUCHI UNIVERSITY

大学紹介 学部・大学院 附属機関 学生
 受験生の皆様 在学生の皆様 卒業生の皆様

ホーム > 最新ニュース > 2016年 > アユの個体数推定・生物多様性リポートの発行

最新ニュース

- 2016年
- 2015年
- 2014年
- 2013年
- 2012年
- 2011年
- 2010年
- 2009年
- 2008年
- 2007年
- 2006年
- 2005年
- 2004年

アユの個体数推定・生物多様性リポート

鳥取県立大学大学院シニエーション
 専攻「環境生態学」 助教 赤松 久准
 アユの個体数推定・生物多様性リポート
 (2016年) 電子版・紙版ともに発行しました。

【掲載内容】
 ・水を溶かしてその中のDNAを分析
 ・水中探査と比べて、環境DNA
 ・水質汚染だけでなく、魚類の生息
 ・漁業資源管理や生態系管理

詳しくはこちらのニュースをご覧ください

【お問い合わせ先】
 山口大学大学院環境生態学専攻
 TEL: 083-945-9342
 E-mail: yekamatsu@yamaguchi-u.ac.jp
 ホームページ: http://lab.ecs.yamaguchi-u.ac.jp

鳥取県立大学大学院シニエーション
 TEL: 078-303-1986
 E-mail: hido@kaiyodai.ac.jp
 ホームページ: http://ecolab2.kaiyodai.ac.jp

川の水からアユの数推定

山口大の研究者ら DNA濃度と相関関係

川の水に含まれるアユ由来のDNA濃度が高いほど、アユの個体数が多いことが、山口大学大学院環境生態学専攻の赤松久准准教授(35)と鳥取県立大学大学院シニエーション専攻の赤松久准准教授(35)の共同研究で明らかになった。将来的には、河川から手軽にアユを含む川の水を採取し、DNA濃度を測定することも期待されるといわれている。

川の水には生物の体液やふんなどがあるDNAが含まれる。乾燥特命助教たちは昨年5〜10月、山口県を流れる佐波川、河川の水を採取し、川に落ちたアユのDNA濃度を測定した。分析の結果、河川の水のDNA濃度とアユの個体数の相関が明らかになった。アユの姿は見えないが、DNA濃度が高い場所からアユが食べられたことが確認された。2013年以降、オオサンショウウオのDNA濃度とアユの個体数の相関が確認された。アユの姿は見えないが、DNA濃度が高い場所からアユが食べられたことが確認された。2013年以降、オオサンショウウオのDNA濃度とアユの個体数の相関が確認された。

佐波川で潜水してアユを数える乾燥特命助教

乾燥特命助教 赤松久准准教授

研究結果は4日、河川生態学の英科学誌上で発表した。赤松准教授は「魚などの水産資源の管理や生態系保全にもつながること話している。」(折口慎一郎)

アユの個体数計る調査法確立

山口大などの研究チーム

河川水だけでなく、採取したアユの一定の範囲内に生息するアユの個体数を調査する調査法を山口大学などの研究チームが確立した。今月4日付の英科学誌「フレッシュウォーター」に発表された。アユ以外の生物でも計ることができ、潜水調査が困難な水域でも適用できる。漁業資源の管理や魚の生息環境の把握にも活用できる。期待される。

アユなどの水生生物は、アユからDNAが流れ出し、河川を300〜400メートル流れると、それは消滅するといわれる。

山口大学大学院環境生態学専攻の乾燥特命助教や赤松久准准教授

山口大などの研究チーム

その前に調査水域の下流側で河川水を採取し、そこにアユのDNAを調べた。これは「環境DNA」と呼ばれ、どんな魚が生息しているかを高い精度で推定できる技術だ。

その結果、潜水調査でアユが確認された水域のすべてで環境DNAが検出され、アユがコケを食べた痕跡がない水中からも環境DNAが見つかった。

潜水困難な水域でもOK

ヨウウオなどの絶滅危惧種やブルーギルなどの外来生物の有無を調べる研究は進んでいた。海では魚群探知機を使い、アユの群れの大きさをDNA濃度の関係で推定する研究も行われている。一方で川魚の生息数は漁獲量や釣り人の感覚から推定するしかない。

アユ以外の魚の生息環境の把握にも活用できる。期待される。

アユなどの水生生物は、アユからDNAが流れ出し、河川を300〜400メートル流れると、それは消滅するといわれる。

山口大学大学院環境生態学専攻の乾燥特命助教や赤松久准准教授

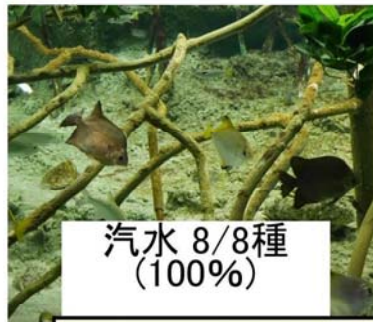
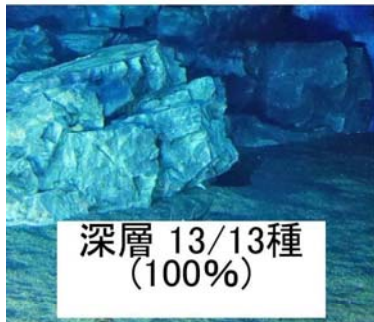
H. Doi*, R. Inui*, Y. Akamatsu, K. Kanno, H. Yamanaka, T. Takahara, and T. Minamoto (2016) Environmental DNA analysis for estimating the abundance and biomass of streamfish. *Freshwater Biology*, DOI: 10.1111/fwb.12846. 15

魚類の多様性評価のための環境DNA解析



1Lの水で、全ての魚種を同時に検出することが可能に

水族館水槽での検証：全体で93%の魚種を検出



Miya et al. (2015) Royal Society Open Science

魚類の多様性評価の検証

河川水辺の国勢調査



環境DNA解析

1 L 採水



配列データ解析

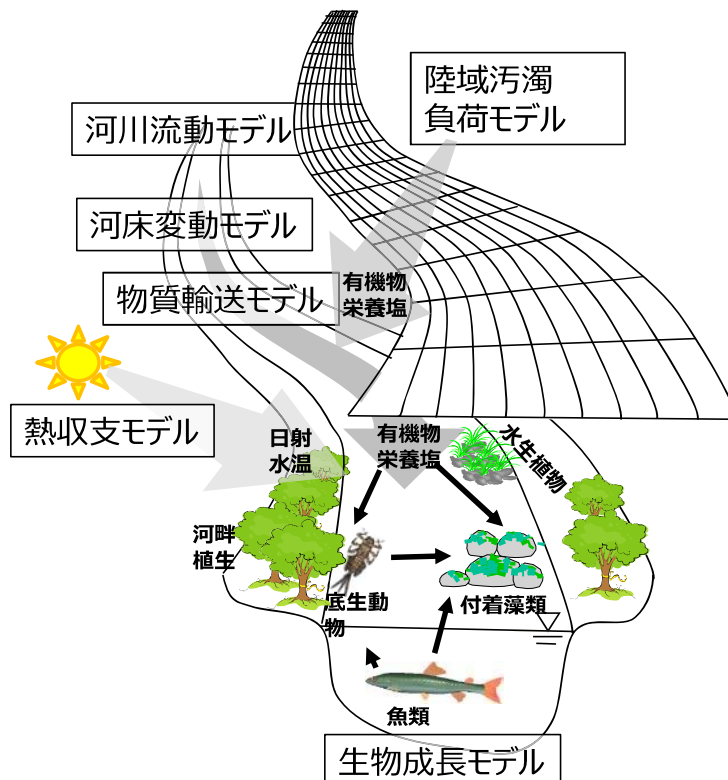


VS

まとめ

- 環境DNAは河川内の魚類量の定量評価に有用
- 環境DNAを用いた河川内の魚類の多様性評価も可能になるかも？

新たな河川生態系シミュレーション



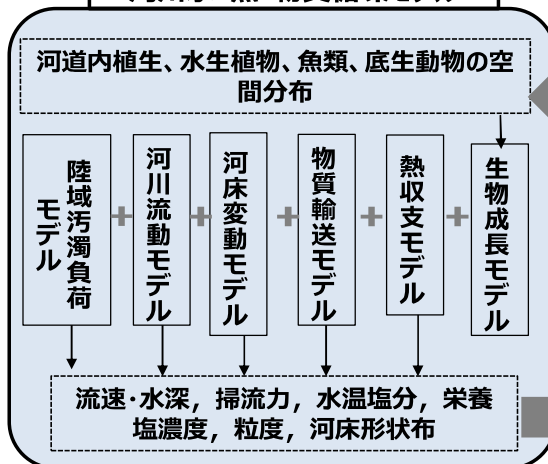
物理・統計ハイブリッド型生態系モデル

ハイブリッド生態系モデル

HYBRID SYNERGY DRIVE

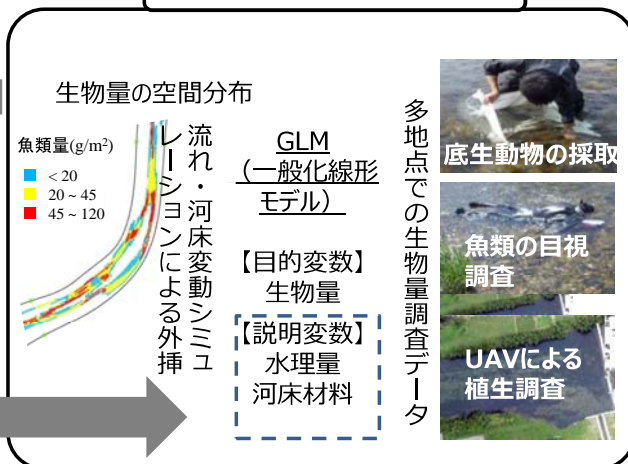
物理モデル

河川水・熱・物質循環モデル



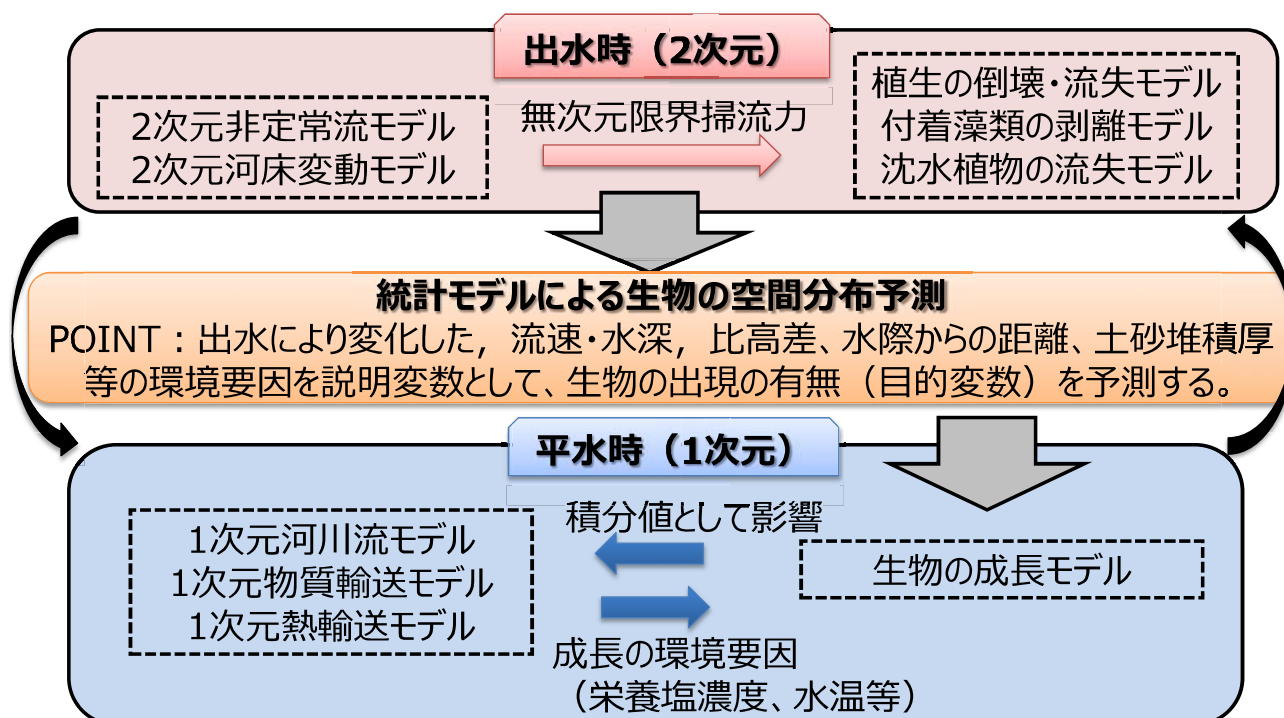
統計モデル

生物量の空間分布予測モデル



47

平水時・出水時のシームレス解析



48

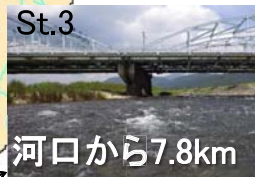
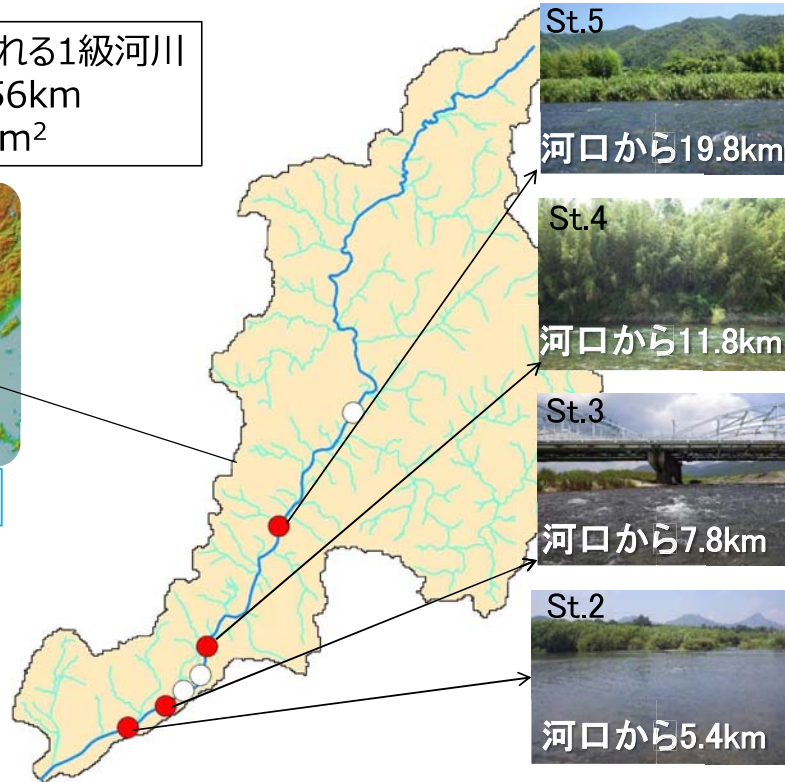
現地観測概要

佐波川：山口県中部を流れる1級河川
 幹川流路延長56km
 流域面積460km²



佐波川水系

- : 潜水目視調査
- : 魚類採集調査



魚類量調査

潜水目視調査
 (2014年6月～10月:1か月に1回)



- ・1地点で6ライン設置
- ・種別の密度(n/m²)

$$= \frac{\text{各ラインの種別の個体}(n)}{\text{調査面積}(m^2)}$$

魚類採集調査
 (2014年7月, 10月の各月3日)



- ・採取した魚類：種別に分類
- ・種別の平均体重(g/n)算出

種別の平均密度(n/m²) × 種別の平均体重(g/n) = 種別の魚類量(g/m²)

魚類の分類

回遊遊泳魚

海と川を行き来し
河川内を遊泳

1種

・アユ



(アユ)

回遊底生魚

海と川を行き来し
川底に生息

5種

- ・ウナギ
- ・ヌマチチブ
- ・シマヨシノボリ
- ・オオヨシノボリ
- ・ゴクラクハゼ



(例：シマヨシノボリ)

純淡水遊泳魚

一生を川で住ごし
河川内を遊泳

8種

- ・オイカワ
- ・カワムツ
- ・ウグイ
- ・カワヒガイ
- ・ムギツク
- ・タモロコ
- ・イトモロコ



(例：カワムツ)

純淡水底生魚

一生を川で住ごし
川底に生息

6種

- ・カマツカ
- ・ヤマトインドジョウ
- ・ギギ
- ・アカザ
- ・ドンコ
- ・カワヨシノボリ



(例：アカザ)

回遊魚 (6種) に比べ、純淡水魚 (14種) の方が種数が多い

生物量予測モデル

一般化線形モデル (GLM) を構築

目的変数

各月・各地点の **カテゴリ別魚類量**



回遊遊泳魚



回遊底生魚



純淡水遊泳魚



純淡水底生魚

説明変数

各月・各地点の **平均流速 (m/s)** , **河口からの距離(km)** , **各パラメータの2乗**

生物量予測モデル

回遊遊泳魚

$$(g/m^2) = 46.078 \times V + 8.672 \times L - 0.394 \times L^2 - 51.422$$

流速が速く, 河口からの距離が中程度の場所



回遊底生魚

$$(g/m^2) = -2.777 \times V^2 - 0.745 \times L + 17.620$$

流速が遅く, 河口からの距離が近い場所



純淡水遊泳魚

$$(g/m^2) = 0.011 \times L^2 + 2.536$$

河口からの距離が遠い場所



純淡水底生魚

$$(g/m^2) = 0.007 \times L^2 - 0.009$$

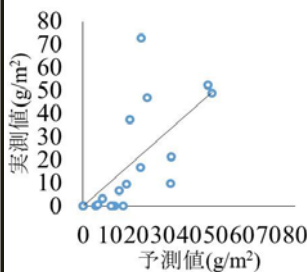
河口からの距離が遠い場所



流速: v (m/s), 河口からの距離: L (km)

生物量予測モデル

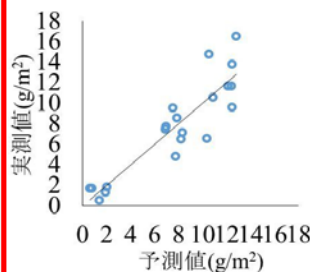
回遊遊泳魚



$$y = 1.0129x$$

$$R^2 = 0.4857$$

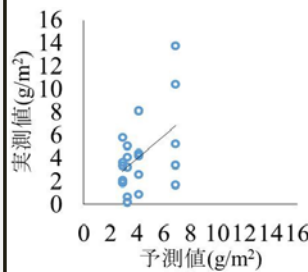
回遊底生魚



$$y = x$$

$$R^2 = 0.8136$$

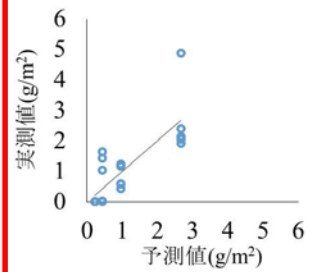
純淡水遊泳魚



$$y = 0.9982x$$

$$R^2 = 0.2332$$

純淡水底生魚

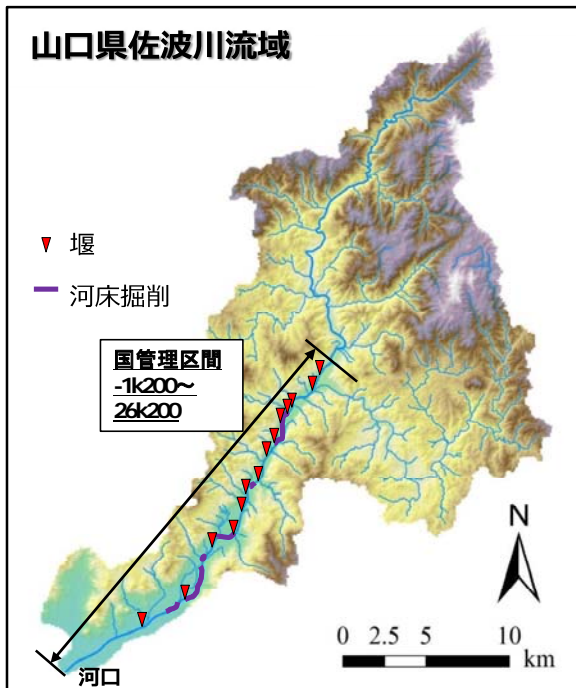


$$y = 1.0025x$$

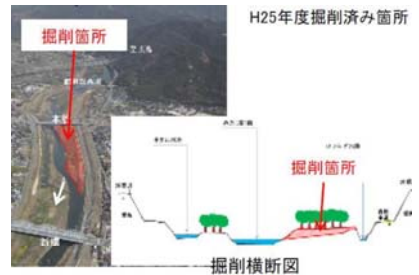
$$R^2 = 0.6385$$

- ・回遊底生魚, 純淡水底生魚, 回遊遊泳魚, 純淡水遊泳魚の順に高い相関
- ・底生魚については高精度で予測可能

佐波川にモデルを適用



国管理区間内に15基も存在する堰の統廃合



国管理区間に多くの区間で河床掘削



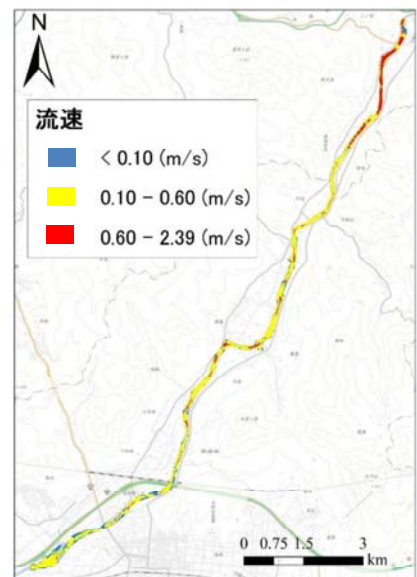
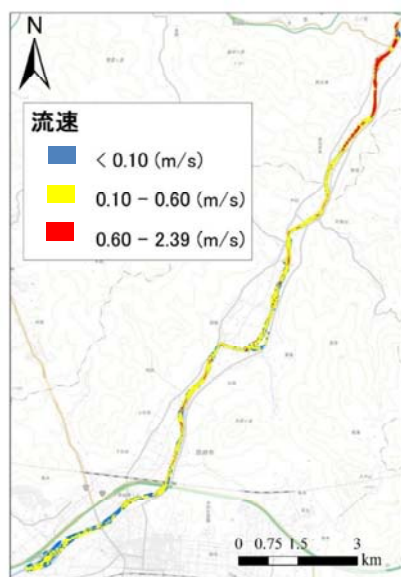
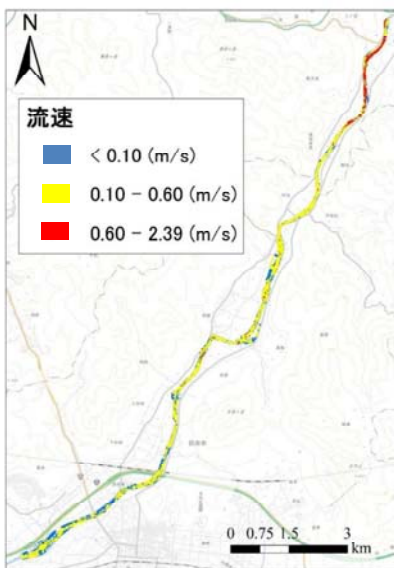
治水安全度は向上するが、では河川生態系はどのように応答する??

流れ場の変化

堰なし

現状

掘削断面



生態系モデルによる定量評価（魚類）

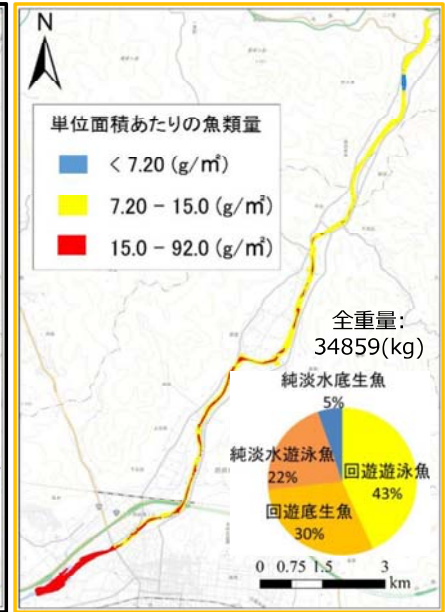
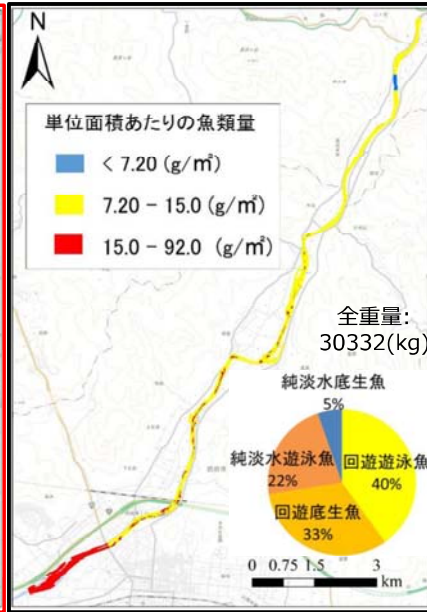
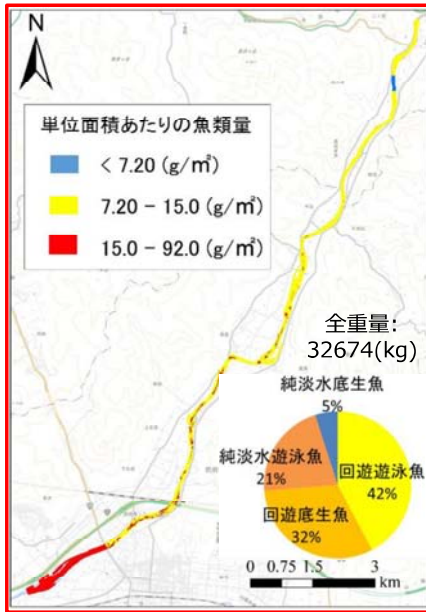
魚類_堰なし

7.7%増

魚類_現状

15%増

魚類_掘削断面



堰撤去や河床掘削によって魚類量が増加

生態系モデルによる定量評価（底生動物）

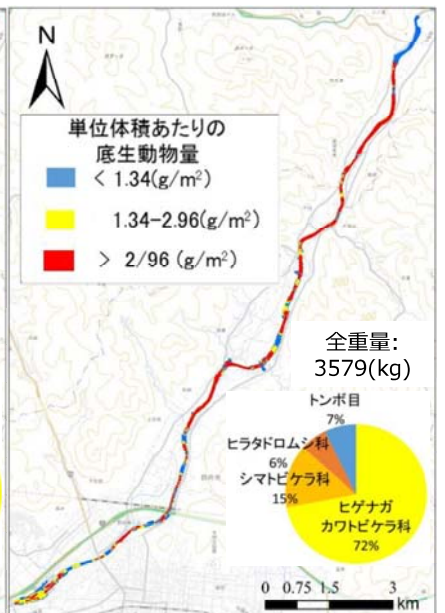
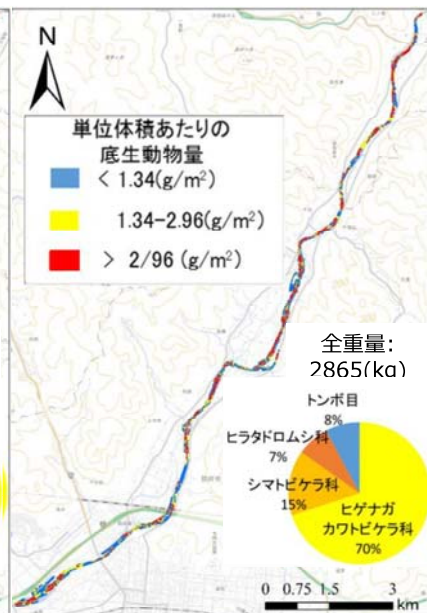
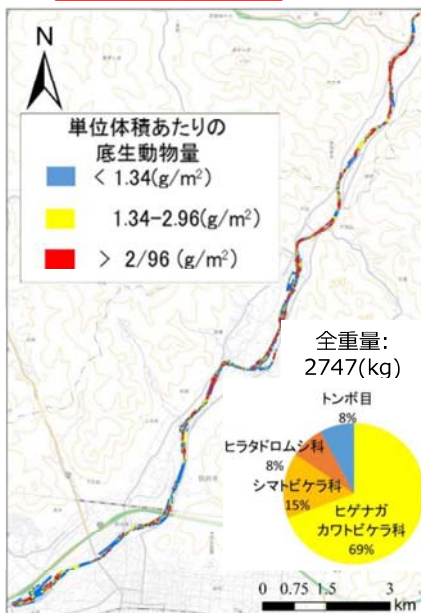
底生動物
堰なし

4.1%減

底生動物
現状

25%増

底生動物
掘削断面



最後に

水質モニタリングや河川水辺の国勢調査は極めて重要なデータであり、それらを有効に活用するためにはどのように改善していくかを真剣に議論する必要がある。

59

シミュレーションとモニタリング

生物種・量の
データ

- 水国の調査を有効利用
- 環境DNA等の新たな技術の導入

河床形状・粒
度分布データ

- 定期横断データの高精度化
- ドローン測量の活用

高度な生態系シミュレーション

治水と環境の調和した河川管理に必要なモニタリングを！

60