

河川基金助成事業 研究レポート

「京都由良川の度重なる河川氾濫が
魚類多様性に与えた影響の解明」

助成番号：2024 - 5411 - 004

京都府立福知山高等学校
自然科学部

学校名：京都府立福知山高等学校
校 長：藤田 浩
顧 問：藤田 諒

2024 年度

1 研究の目的・動機

京都府北部を日本海に向けて流れる由良川は、約20万年前まで兵庫県の加古川と合流して瀬戸内海に流れていた（岡田・高橋 1969）。そのため、由良川は、日本海系と瀬戸内海系の淡水魚が上流と下流で棲み分けるユニークな河川として知られている。2023年度は、由良川の中流～上流を対象として、環境DNAによる魚類相調査を行い、由良川の最上流部にはオヤニラミやアジメドジョウといった瀬戸内海系の淡水魚が生息していることを確認した。一方、由良川水系の下流域は、生物分布に影響を与える興味深い地史的イベントは報告されておらず、生物多様性研究においてはこれまでほとんど注目されてこなかった。由良川の下流域は、2010年以降4度も河川が氾濫した水害多発地帯として知られており、過去の河川氾濫により由良川下流域の魚類多様性が攪乱されている可能性がある。本研究では、環境DNA解析により、由良川下流域における魚類相と河川氾濫の関係を考察するとともに、前年度のデータと組み合わせて、由良川全域での魚類多様性について調査することを目的とした。

2 研究の方法

2.1 先行研究調査・調査定点の検討

まず、前年度の調査結果を確認するとともに、前年度の調査定点を高校生が主体となって検討した（図1）。前年度は、由良川上流の上林川に複数定点を置き、直近の本流定点と比較した。今年度は、上流データとの比較を考慮して、下流域の支流（岡田川）に焦点を当て、支流内に複数定点を配置し、本流との魚類相を比較するように調査定点を置いた。



図1 調査定点検討の様子

2.2 河川フィールドワークと環境DNA解析

2.2.1 河川フィールドワーク

(1) 採水・濾過

2024年7月下旬に、由良川下流を中心とした9地点で、採水を行い、ステリベクス（Merck社）を使用したろ過作業を高校生が行なった（図2）。ろ過作業にあたっては、ビニール手袋をつけて、毎回塩素消毒を行うなど、他地点・ヒトを含む他生物由来のDNAが付着しないように徹底した。

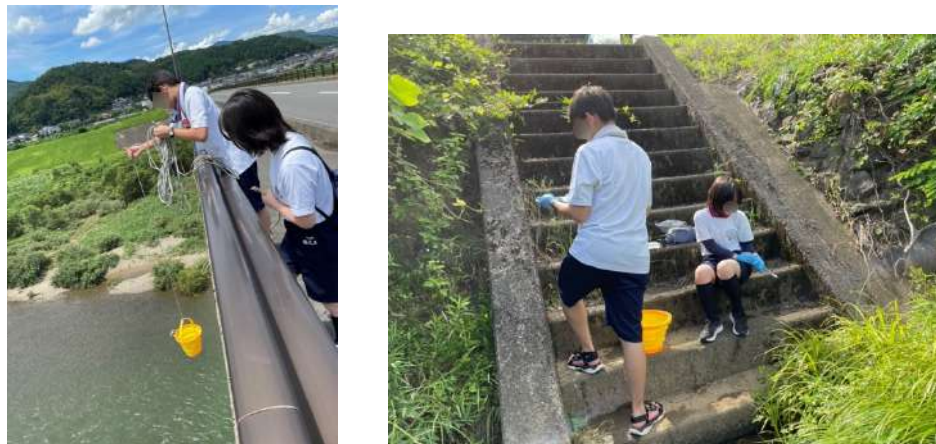


図2 採水・ろ過作業の様子

(2) 水質測定

京都大学フィールド科学教育研究センター舞鶴水産実験所様より水質測定機器CTDをお借りし、水温、濁度、電気伝導度、クロロフィル蛍光度、溶存酸素量を測定した（図3）。測定は、各定点を別日で3回反復測定して、平均値を算出した。



図3 水質測定の様子

(3) 栄養塩分析

水質測定時に、スピッツ管に別途採水して凍結保存し、京都大学舞鶴水産実験所のオートアナライザーを使って、栄養塩濃度（ $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ）を分析した。水質測定同様に、各定点を別日で3回反復測定し、平均値を算出した。

2.2.2 環境DNA解析

本研究では、DNeasy Blood&Tissue Kit (Qiagen社) を使ってDNAを抽出し、魚類汎用PCRプライマー MiFish-U (Miya et al. 2015)を用いて環境DNAメタバーコーディング解析を行なった(図4)。環境DNA解析で検出したDNAリード数をもとに、統計処理ソフト「R」を使って、Jaccard指数とBray-Curtis指数によるクラスター分析を行い、群集構造の地理的パターンを調べた。また、Shannon-Weaverの多様度指数を算出し、地点間の比較を行なった。さらに、調査地点情報(標高や川幅など)や水質測定値、栄養塩濃度をもとに間接傾度分析を行い、群集構造を規定する環境要因を特定した。



図4 分析に使用した実験機器(次世代シーケンサー MiSeq)

3 結果と考察

3-1. 魚類相のクラスター分析

本研究では、DNAメタバーコーディング解析で得られたDNA塩基配列をもとにBlastで相同性検索を行なったところ、前年度のデータと組み合わせて合計56 OTU (Operational taxonomic units)の魚類を検出することができた。地点ごとのリード数をもとに、魚類の在/不在を反映するJaccard指数と、DNAリード数を反映するBray-Curtis指数によるクラスター分析を行なったところ、2種類の指数によるクラスターの樹形は概ね一致し、大きく5個のクラスターに分けることができた(図5)。

クラスター分析の結果、由良川本流の中・下流を示すクラスター、本流上流を示すクラスター、3個の支流上流を示すクラスターに分かれた。支流上流で検出されたクラスター群のうち、1つは上流域と下流域に共通して出現し、残りの2つは上流域と下流域のみで検出された。

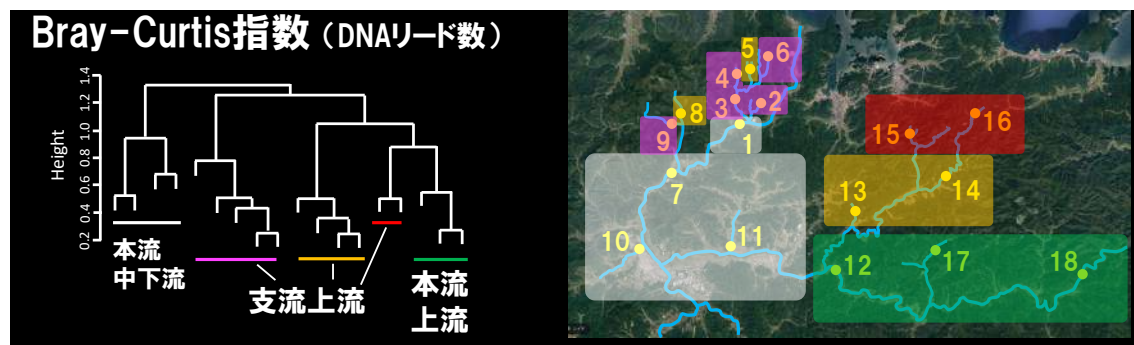


図5 クラスター分析の結果

3-2. 由良川下流域の魚類相と河川氾濫との関連

本研究では、前年度の上流域を中心とした調査に対し、由良川下流域に焦点を当てて研究を遂行した。由良川下流域では、本流には固有のクラスターが検出された。これは、下流域の本流では海水が流入しており、その影響で汽水環境や下流環境を好む魚種、例えば、ボラ、メナダ、カワアナゴ、マハゼ、スズキ、コノシロ、ゴクラクハゼが検出されたためと考えられる（図6）。スミウキゴリだけは、由良川本流だけでなく、支流の上流からも検出され、本種が下流環境を好む一方で支流の上流に遡るといった特異な生態特性と一致した。

また、本研究では、岡田川（2～6）と宮川（8・9）に複数定点を置いて調べたところ、本流（1・7）とは異なるクラスターに分かれた。通常の河川構造では、下流域が平坦な地形であることが多いが、由良川は若狭湾のリアス式海岸西端にあたり、海岸と山間部が隣接しているため、下流域であっても支流は上流環境を呈している。本研究では、リアス式海岸の影響を反映した結果となった。

上記の通り、由良川水系の下流域は、本流において過去に大規模な河川氾濫が繰り返し発生している。生物分布に対する氾濫の影響が強いならば、下流域に上流の魚種が混ざる分布様式が想定されたが、本研究では本流に固有のクラスターが形成された。また、本研究では、下流域の本流からは汽水域でも生活できる魚種が多く検出され、汽水性の魚種は出水時に河川間の移動分散が可能であることが推測されるため、由良川では過去の氾濫の影響は比較的低いと考えられる。今後は、円山川（兵庫県）や北川（福井県）など、由良川と同規模の河川と比較し、由良川水系下流域における魚類相の特徴を詳しく調べていきたい。

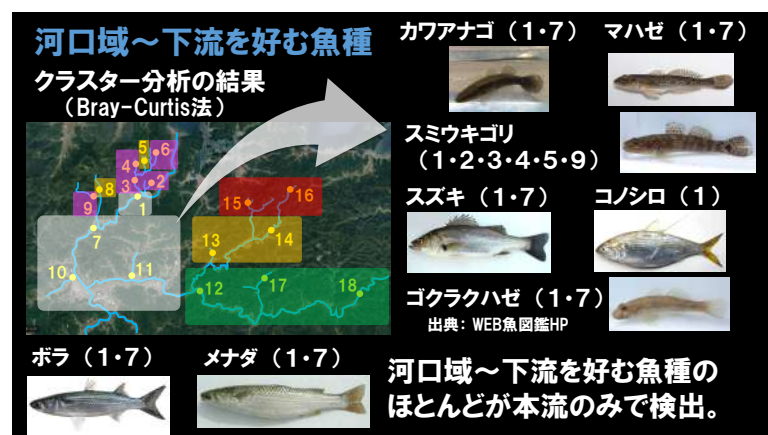


図6 由良川下流域で検出された魚類

3-3. 外来種の分布と支流の役割

本研究では、由良川本流から外来種オオクチバスやブルーギル、カラドジョウが検出されたが、支流からは検出されなかった（図7）。オオクチバスやブルーギルは、川幅の広い流れの穏やかな環境を好むため、水深が浅く流れが速い上流環境では定着しにくいのかもしれない。また外来種のリード数は、オオクチバスなど大型種でもそれほど多くは検出されなかったため、由良川全体では外来種の影響は比較的少ないことが示唆された。

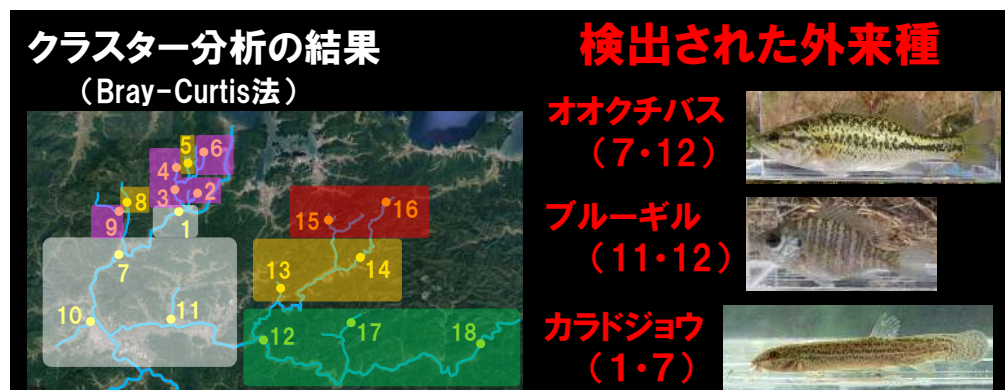


図7 由良川水系から検出された外来種

3-4. 間接傾度分析

本研究では、魚類群集構造と環境要因との関係性を捉えるために、間接傾度分析を行なった。環境変数としては、地点情報（標高、川幅、水深）と水質測定値（水温、濁度、電気伝導度、クロロフィル蛍光度、溶存酸素量）、栄養塩濃度（ $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ）を扱った。間接傾度分析の結果、標高（ $P < 0.05$ ）、川幅（ $P < 0.05$ ）、水温（ $P < 0.05$ ）の3つの要因で、由良川の魚類群集を説明できることが明らかとなった。

3-5. 支流内の群集構造と多様度指数

本研究では、支流内の魚類相と多様度指数を調べるために、由良川下流域の岡田川、上流域の上林川に着眼し、それぞれ4ないし5地点を支流内定点とした（図8）。また、それぞれの支流と本流との合流点よりやや上流域に定点を設け、支流の影響のない状態で本流との比較を行なった。

本流と支流の合流点に比べて、支流の魚類相は異なり、多様度も低い傾向が確認された（図8）。また、岡田川と上林川では、共通のクラスターが検出され、その一方で支流固有のクラスターも検出される結果となった。

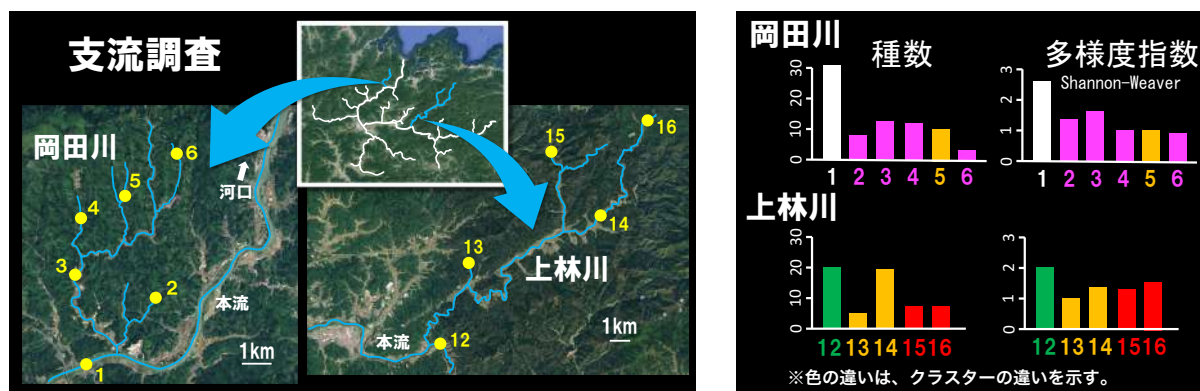


図8 支流内定点（左）との群集構造・多様度指数（右）

4 まとめ

本研究では、京都府北部を流れる由良川水系の魚類相を環境DNAにより調べ、56 OTU (Operational taxonomic units)の魚類を検出することに成功した。地点ごとのDNAリード数をもとにクラスター分析を行なったところ、由良川本流では下流域と上流域に固有のクラスターがそれぞれ検出され、支流では3つのクラスターが検出された。また、本研究では外来種が由良川本流のみから検出されたことから、支流には外来種の侵入・定着を阻み、本来の生物多様性を保つ役割があることが示唆された。さらに、間接傾度分析を行なったところ、標高、川幅、水温により、由良川水系の魚類相を説明できる可能性が示唆された。

由良川水系では、本流において過去に大規模な河川氾濫が繰り返し発生している。生物分布に対する氾濫の影響が強いならば、下流域に上流の魚種が混ざる分布様式が想定されたが、本研究では本流に固有のクラスターが形成された。また、本研究では、下流域の本流からは汽水域でも生活できる魚類が多く検出され、汽水性の魚類は出水時に河川間の移動分散が可能であることが推測されるため、由良川では過去の氾濫の影響は比較的低いと考えられる。

以上の研究成果をまとめて、国土交通省 近畿地方整備局 福知山河川国道事務所を訪問し、由良川水系における淡水魚類の多様性を報告するとともに、由良川の多様性保全策・河川管理方策の提言を行なった（図9）。河川事務所の担当者様からは、統計的手法を用いて由良川水系の生物相を捉えた研究はこれまでになく、今後も継続して研究を進めてほしいとのコメントをいただいた。



図9 福知山河川国道事務所での報告会の様子

5 日本水産学会及び環境DNA学会での高校生ポスター発表

2024年9月に、前年の由良川水系上流域を対象とした研究成果をまとめて、日本水産学会秋季大会の高校生ポスター発表の部（京都大学農学部総合館）で発表し、最優秀発表賞（1位/22校）を受賞することができた（図10）。2024年11月に、今年度の成果を組み込み、由良川水系全域を対象とした研究成果をまとめ、環境DNA学会中高生オンライン発表会で発表して、最優秀賞（1位/12校）を受賞することができた（図11）。最優秀賞のダブル受賞は、生徒にとっても良い刺激となり、研究進展の励みとなった。また、学会での発表成果は、地元の京都新聞（11/30掲載記事，図12）と両丹日々新聞（12/21掲載記事，図13）にも掲載され、本校校門でも横断幕を掲げていただいた（図14）。

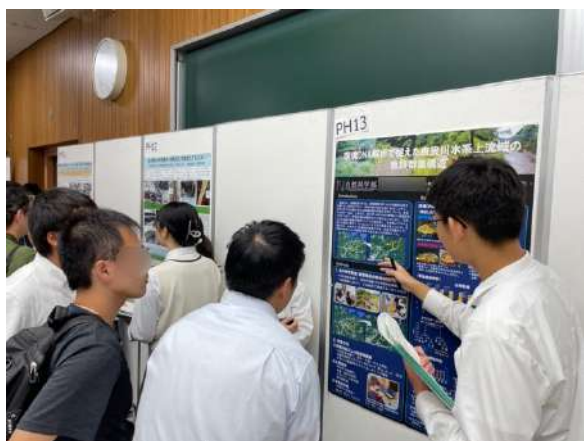


図 10 日本水産学会秋季大会（京都大学会場）での発表の授賞式の様子



図 11 環境 DNA 学会でのオンライン発表と受賞後の生徒の様子



図 12 京都新聞への掲載記事 (2024 年 11 月 30 日付)



図 13 両丹日々新聞への掲載記事 (2024 年 12 月 21 日付)



図 14 本校校門付近に掲示された受賞記念横断幕

6 今後の展望

本研究は、2023年度からの継続課題として研究を遂行し、由良川水系全域の魚類多様性を環境DNAメタバーコーディング法により調査した。由良川水系は、日本海側と瀬戸内海側の生物相が河川争奪により入り混じったことが知られており、我が国の生物地理学上興味深いフィールドと考えられている。本研究では、由良川本流の上流部（定点18，美山町）において、瀬戸内海系淡水魚が生息していることが確認された。逆に、由良川上流域の他地点では、瀬戸内系魚類は検出されなかった。由良川水系では、由良川中流の竹田川と加古川間の河川争奪が有名であるが（岡田・高橋 1969など）、さらに上流部の高屋川と桂川（淀川水系）間でも河川争奪が報告されている（上治 1927；水山 1964, 1965；山内 2002）。本研究の成果は、由良川水系の淡水魚類侵入経路は、必ずしも加古川からとは限らず、桂川からの侵入の可能性も示唆している。今後は、由良川との河川争奪が報告されている加古川と桂川に調査定点を置き、環境DNAで魚類相を調査して、クラスター分析により由良川水系の魚類相との類似性を調べ、仮説（加古川の魚類相と類似）と対抗仮説（桂川の魚類相と類似）を設定して仮説検証を行う。これにより、由良川水系が擁するユニークな生物多様性のルーツを紐解くことができ、由良川における環境保全上の啓発活動に貢献することができる。また、本校の生徒にとっても、身近な河川をフィールドとして、マクロ生物学上の仮説を最先端のミクロな分子生物学的ツールで解き明かすプロセスを経験することができるため、科学的探究能力の向上につながることが期待される。

7 謝辞

本研究の遂行にあたり、京都大学フィールド科学教育研究センター 舞鶴水産実験所の益田玲爾先生、鈴木啓太先生、八柳哲先生、潮見美咲様には、調査定点の選定、ステリベクスを用いたろ過方法、DNA抽出実験、データ解析でご支援をいただいた。琉球大学熱帯生物圏研究センターの伊藤岳先生には、統計ソフト「R」を使ったデータ解析をご教示いただいた。産業技術総合研究所 地質調査総合センターの井口亮先生には、「R」による群集構造解析をご教示いただいた。厚くお礼申し上げます。

8 引用・参考文献

- 岡田篤正・高橋健一（1969）由良川の大規模な流路変更. 地学雑誌 78: 19-37
- 上治寅次郎（1927）丹波胡麻付近分水界の地貌. 地理教育 5: 435-439
- 水山高幸（1964）丹波山地の河岸段丘の分布図の作成. 京都学芸大学紀要 A-25: 167-186
- 水山高幸（1965）造盆地過程の研究 -丹波周知盆地の場合-. 京都学芸大学地理学研究報告 12: 1-11
- 山内一彦（2002）丹波高地西部、大堰川・由良川上流部における河川争奪とその原因. 立命館地理学 14: 17-35

環境 DNA 解析で捉えた由良川水系上流域の魚類群集構造

○塩見真優・荒谷武諒・鈴木理允・藤田純太（京都府立福知山高校）・
潮見美咲・八柳哲・鈴木啓太・益田玲爾（京大フィールド研）

【背景・目的】

由良川は、流路延長 146 km、流域面積 1880 km² の京都府北部を代表する一級河川であり、流域の約 9 割が山地であることから、その上流では勾配が急な山間部特有の景観を形成している。由良川上流の一支流、上林川は、長さ 25 km の上林川断層上に形成された河川であり、中流は流れが穏やかで川幅が広いのに対し、本流との合流部は地面が隆起していて川幅が狭く、合流部よりやや上流では極度に蛇行しているユニークな河川構造を呈している。本研究では、上林川とその周辺の由良川本流・支流を対象として、環境 DNA 解析により魚類多様性を捉えることを目的とした。

【材料・方法】

2023 年 7 月に、上林川とその周辺の由良川本流・支流 10 地点で採水・ろ過を行い、魚類汎用 PCR プライマー MiFish-U (Miya et al. 2015) を用いた環境 DNA メタバーコーディング解析を行った。環境 DNA の解析データをもとに、魚種ごとに分布特性を確認したのち、クラスター分析により群集構造を調べ、多様度指数を算出して地点間の比較を行なった。さらに、調査地点の標高や水質測定値、栄養塩濃度をもとに間接傾度分析を行い、魚類群集の形成要因を調べた。

【結果・考察】

環境 DNA 解析の結果、由良川水系上流域において 17 科 43 種の魚類を検出することができた。検出した魚種の分布特性を調べたところ、アブラハヤやカジカの DNA 濃度が上林川上流域でとりわけ高く検出され、上林川上流域はその周辺の由良川本流・支流とは異なる魚類群集を育んでいる可能性が示された。次に、魚類群集についてクラスター分析を行ったところ、大きく 2 つのクラスターに分類された。クラスター I は由良川本流周辺に多くて多様度が高く、クラスター II は支流上流に出現して多様度が低い傾向が明らかになった。上林川では、川幅の広い中流域の地点はクラスター I に、下流の蛇行部と上流域はクラスター II に分類される複雑な群集構造を有することが確認された。また、間接傾度分析を行ったところ、標高との関係で当てはまりがよく ($P < 0.01$)、由良川水系上流域においては標高によって魚類群集構造を説明できることが明らかになった。

環境DNA解析で捉えた由良川水系上流域の 魚類群集構造



自然科学部

FukuchiyamaHSNatureScienceClub

○塩見真優・荒谷武諒・鈴木理允・藤田純太（京都府立福知山高校）・
潮見美咲・八柳哲・鈴木啓太・益田玲爾（京大フィールド研）

Introduction

由良川は、流路延長146 km、流域面積1880 km²の京都府北部を代表する一級河川であり、流域の約9割が山地であることから、その上流では勾配が急な山間部特有の景観を形成している。由良川上流の一支流、上林川は、長さ25 kmの上林川断層上に形成された河川であり、中流は流れが穏やかで川幅が広いのに対し、本流との合流部は地面が隆起して川幅が狭く、合流部よりやや上流では極度に蛇行しているユニークな河川構造を呈している。本研究では、上林川とその周辺の由良川本流・支流を対象として、環境DNA解析により魚類多様性を捉えることを目的とした。



Methods

1. 先行研究調査・調査地点の検討

- 先行研究を調べ、研究の位置づけや目的を明確化
- 仮説検証に向けて、どの地点で調査するべきかを検討



2. 調査方法

① 環境DNAによる魚類相調査

- ・ 10地点を対象に、採水・ろ過・DNA抽出
- ・ 魚類汎用PCRプライマー MiFish-U (Miya et al. 2015) を用いた環境DNAメタバーコーディング解析

② 水質測定

- (別日で3回測定)
- 水温、電気伝導度
- クロロフィル蛍光度、
- 溶存酸素量

③ 栄養塩分析

- (別日で3回測定)
- ・ NO₃-N、PO₄-P、SiO₂-Si



大学の先生からRでの統計解析法をオンライン指導

Results and Discussion

環境DNA解析（調査地点③では魚種を検出できなかった）

〈検出した魚類の地理的な傾向〉

瀬戸内海系淡水魚の検出(⑩)



オヤニラミ



アジメドジョウ

※写真はWikipediaより

由良川と加古川の河川争奪を反映。



外来種の検出(本流②④のみ)



オオクチバス



ブルーギル

支流上流には出現しなかった。
→ 支流には、対象河川本来の生物多様性を維持する役割があるのかもしれない。

上林川上流(⑥⑦⑧)のみで検出



カジカ

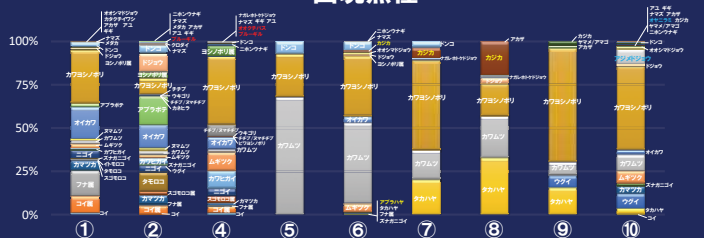


アブラハヤ

上林川の固有生物相仮説を支持。
→ 調査地点を増やして、更なる調査が必要。

〈群集構造解析〉

出現魚種

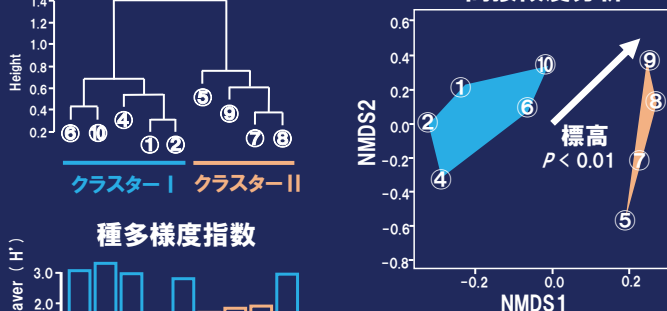


クラスター分析

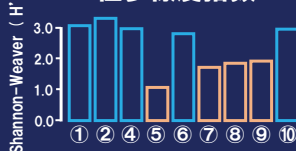
Bray-Curtis指数により計算



非計量多次元尺度構成法(nMDS) + 間接傾度分析



種多様度指数



※間接傾度分析に使用した環境データ
標高・川幅・水深・流速・水温・電気伝導度・密度・
クロロフィル蛍光度・溶存酸素量・NO₃-N・NO₂-N・
PO₄-P・SiO₂-Si

- ・ 由良川中流～上流の魚類相は、2つの大きなクラスターに分かれた。
⇒ クラスターIは、由良川本流(①②④⑩)、支流の中でも川幅が広く流れが緩やかな環境(⑥)に生息している魚類相を反映しているのに対し、クラスターIIは、川幅が狭く、流れの速い上流環境に生息している魚類相を反映していると考えられる。
- ・ 上林川上流では、カジカやアブラハヤのDNA濃度が顕著に高く、地域固有性を示唆しているが、統計解析では必ずしも上林川だけが地理的に分断されているわけではないことが明らかになった。
- ・ 上流環境を示すクラスターIIは全体的に多様度が低く、とりわけ地点⑤では顕著に低い結果となった。これは、地点⑤の集水域が狭いため、渇水時に干上がる可能性などが関与していると考えられる。
- ・ 由良川漁業協同組合、任意団体「上林川を美しくする会」に本研究の成果を報告し、上林川の水質や生物多様性保全に向けて活動していきたい。

令和6年度秋季大会 高校生による研究発表最優秀賞を受賞して

「環境 DNA 析で捉えた由良川水系上流域の魚類群集構造」

発表者：塩見真優，荒谷武諒，鈴木理允，藤田純太（京都府立福知山高等学校）

1. 研究発表に至る経緯

本校は、今年で創立 124 周年を迎える京都府北部を代表する伝統校であり、今年 10 周年となる附属中学校を擁して、地域のリーダーとなる人材育成に向けて教育活動を展開している。本校自然科学部は、地学実験室を「部室」と称して本拠地とし、生物班・情報班・物理化学班に分かれて、生徒の興味に合わせた研究活動を日々進めている。

京都府福知山市は、市の中心部を由良川が流れており、本校自然科学部では身近な河川として由良川の生物調査を行ってきた。本研究では、由良川を探究フィールドとして、環境 DNA による魚類相調査を行い、その成果をまとめて学会発表するに至った。

2. 研究の概要と今後の展望

由良川は、京都府・福井県・滋賀県の府県境に位置する三国岳に端を発し、流域面積 1880 km²、流路延長 146 km の京都府北部を代表する一級河川である。由良川は、日本海側の河川でありながら、その生物相は瀬戸内海系要素が強いという一風変わった河川として知られている。これは、由良川水系の竹田川上流と兵庫県加古川との間で発生した大規模な河川争奪の影響と考えられており、その中心は、兵庫県丹波市氷上町石生の谷中分水界「氷上回廊」として知られている。氷上回廊は、日本列島を背骨のように走る脊梁山脈の高度最低点（海拔 約 95 m）であり、多くの陸生植物や動物が、氷上回廊を通り、日本海側あるいは瀬戸内海側に分布を拡大した。淡水魚をはじめとした水生生物では、竹田川から加古川に向けて由良川が流れていたことで、現在でも由良川の中流～上流には瀬戸内海系の淡水魚が生息しているとされている。このように、由良川は我が国の生物地理を考える上でも興味深い河川なのである。

由良川と加古川の魚類相調査は、ちょうど 100 年前の岸田(1924)を皮切りに断続的に行われてきたが、1970 年以降網羅的な調査はほとんど行われていない。一方、世界自然保護基金（WWF）の「生きている地球レポート（Living Planet Report: LPR）」では、1970 年以降の 50 年間で世界の生物多様性が平均 73% 消失し、中でも淡水域の生物は 85% の減少と危機的な状況であることを報告している。このような状況を鑑みて、本研究では環境 DNA 解析による由良川水系の魚類相調査を行った。環境 DNA 解析は、水中など環境に含まれている DNA から生物の生息情報を取得する方法であり、従来のフィールド採集と同等の精度で生物種を検出することができ、採集強度によるバイアスはかからず、希少種の検出も可能であることから、群集解析における新たなアプローチとして注目されている。一学期終了後の 7 月下旬に平水時を狙って、高校生によるフィールドワークを実施したところ、35℃を超える中での作業となり、生徒の健康管理に気を配りながらの調査となった。

本研究では、本校自然科学部の情報班とともに統計言語「R」を勉強し、群集構造のデ

ータ解析を行った。その結果、由良川上流域において 17 科 43 OTU (Operational taxonomic units) の魚類を検出することに成功した。魚類群集についてクラスター分析を行ったところ、大きくクラスターⅠとⅡに分類された。由良川本流周辺の多くはクラスターⅠに、支流上流の多くはクラスターⅡに含まれる傾向であった。また、河川情報(標高・川幅・水深)や水質(水温・濁度・密度・電気伝導度・クロロフィル蛍光度・溶存酸素量)、栄養塩濃度($\text{NO}_2\text{-N}$ ・ $\text{NO}_3\text{-N}$ ・ $\text{PO}_4\text{-P}$ ・ $\text{SiO}_2\text{-Si}$)を使って間接傾度分析を行ったところ、標高のみで統計的有意差が検出され($P < 0.05$)、由良川上流域では標高により魚類群集構造を説明できることが確認された。今後は、由良川の下流域にも焦点を当てて環境 DNA 解析による魚類相調査を行い、由良川水系全域での魚類群集構造を調べていきたい。

3. 日本水産学会に参加して

本校生徒による水産学会への参加は今回が初めてであったが、全国の高校生や専門の研究者と交流することができ、大変良い経験となった。高校生の学会参加は、教科横断的に自然現象を捉える視野を養い、質疑に対して的を射た回答を発する柔軟な対応力を身に着けることができるため、高校生にとっては普段の授業では得られない貴重な体験である。今回、日本水産学会で名誉ある賞を受賞できたことは、生徒にとっても良い刺激となり研究進展の励みとなった。高校生発表の機会を当てていただいたことに心より感謝申し上げます。

最後に、本研究は、京都大学フィールド科学教育研究センター舞鶴水産実験所 益田玲爾先生、鈴木啓太先生、八柳哲先生、伊藤岳先生(現 琉球大学)、潮見美咲様、河川基金研究助成(研究者・研究機関部門)に御支援いただきました。厚くお礼申し上げます。

(京都府立福知山高等学校 自然科学部顧問 藤田純太)

福知山高 環境調査で最優秀



日本水産学会の高校生がスター発表で最優秀発表賞を受賞した福知山高の部員たち
(福知山市土師・福知山高)

日本水産学会大会

発表した研究では、水中に含まれることや水域から、生息する生物の種類や量を推定する「環境DNA解析」の手法を用いた。福知山・鶴岡・南丹の3市を流れる由良川や支流の計10地点で集め

た水を使い、生息する淡水魚の種類や割合を調べた。統計手法を用いた分析にも挑戦した。解析したサンプルは、引退した学生が中心となっており、昨年採集した1、2年生が今年採集をまも

全国の高校生が研究成果を披露する「日本水産学会秋季大会高校生ポスター発表の部」で福知山高の自然科学部が最優秀発表賞を受賞した。部員たちは、環境調査テーマを引き継ぎ、由良川に生息する淡水魚の生態の一端を解き明かした。

水中のDNA解析 由良川の魚 生態解明

めた。由良川上流部にあたる上林川では、カサガエやアブラハヤのDNA濃度が顕著に高く、アブラハヤやアルギルといった外来種のDNAは検出されなかった。由良川は日本海に流れ込む大きな川で、川内では淡水魚のDNAを検出した地点もあつたという。おここの地形変動によって、川内海に流れる和川の一部を由良川が取り込んだ「河川争奪」という現象を反映している、と発表した。

9月20日に京都六所で開催された大会には、19校が参加。プレゼンテーション、質問、答へ、ポスターセッションの3項目で、大学教員らは入賞者だ。「大学生や院生の研究発表と比べても遜色ないレベルと評価された。」

2年生の部長荒谷武蔵くん(17)は「先輩たちの努力を継承できて良かった。由良川全体でも調査し、状況を明らかにしていきたい」と力を込めた。

(福知山高)

環境 DNA 解析でひもとく京都府由良川水系の魚類群集構造

塩見真優・田中義家・荒谷武諒・鈴木理允・藤田純太（京都府立福知山高校）

由良川は、流路延長 146 km、流域面積 1880 km² の京都府北部を代表する一級河川である。本研究では、由良川水系の上流から下流までを対象として、環境 DNA 解析により淡水魚類の多様性を捉えることを目的とした。2023 年と 2024 年の夏季に、由良川本流 6 地点と支流 12 地点で採水・ろ過を行い、魚類汎用 PCR プライマー MiFish-U (Miya et al. 2015) を用いた環境 DNA メタバーコーディング解析を行ったところ、56 OTU (Operational taxonomic units) の魚類を検出することができた。地点ごとのリード数をもとにクラスター分析を行ったところ、由良川本流の下流部、本流の上流部、水系全域の支流上流を表すクラスターに分類され、カワアナゴなどの下流環境を好む魚種は本流のみに生息し、支流にはほとんど分布していないことが明らかになった。

環境DNA解析でひもとく 京都府由良川水系の魚類群集構造

京都府立福知山高校 自然科学部

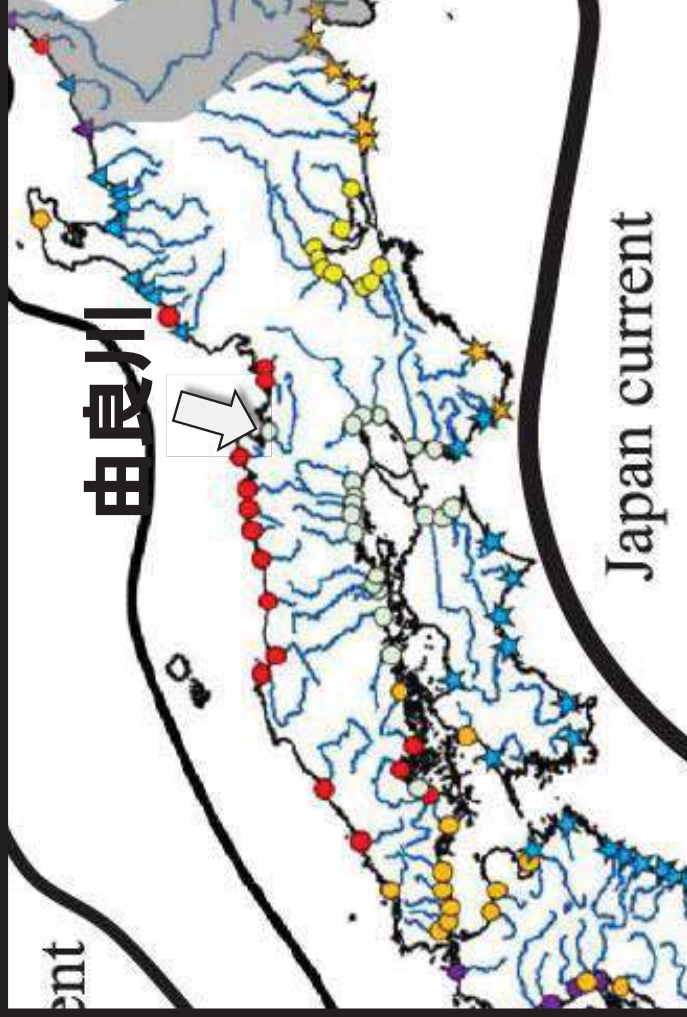
塩見真優・由良真菜佳・田中義家・
荒谷武諒・鈴木理允・藤田純太

由良川について

- 標高959mの三国岳が源流
- 流路延長146km
- 流域面積1880km²
- 京都府北部を日本海に向けて流れる一級河川



由良川の特異な生物相



魚類相の類似性の地理的パターン

(Itsukushima 2019)



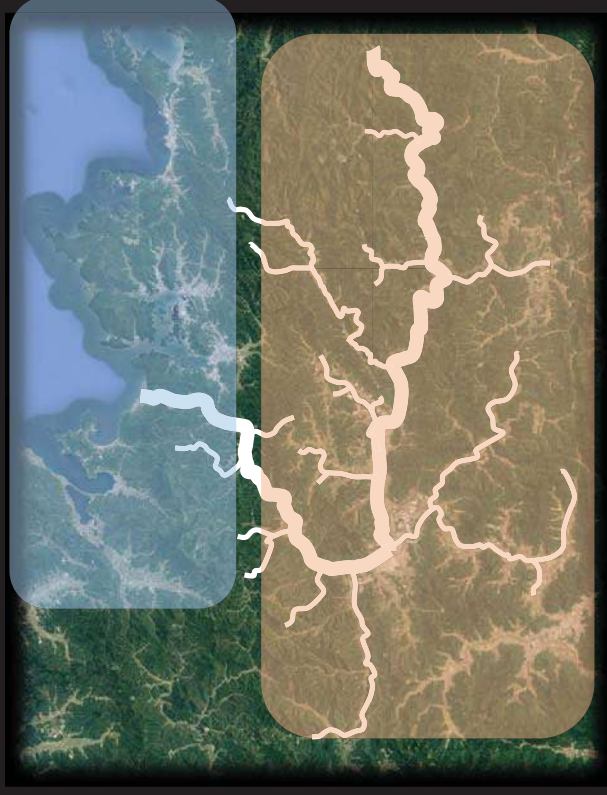
岡田・高橋 (1969)

由良川水系は、瀬戸内海系の魚類相を示すユニークな河川
⇨ 由良川と加古川の河川争奪の影響と考えられている。

例)メダカ



キタノメダカ(北日本集団)



ミナミメダカ(瀬戸内海集団)

Takehana et al. (2003)

本研究の目的

由良川上流は瀬戸内海系、下流には日本海系の魚類が分布する？

本研究では、由良川上流～下流の魚類多様性を解明することを目的として研究を遂行した。

本研究では、流域網羅的な魚類相調査を効率的に実施するため、環境DNA手法を用いた。

調査地点

日本海

舞鶴市

福知山市

5 km



調査地点

日本海

舞鶴市

福知山市

過去の分水界
(岡甲・高橋 1969)

5 km



予想

日本海系の魚類相？

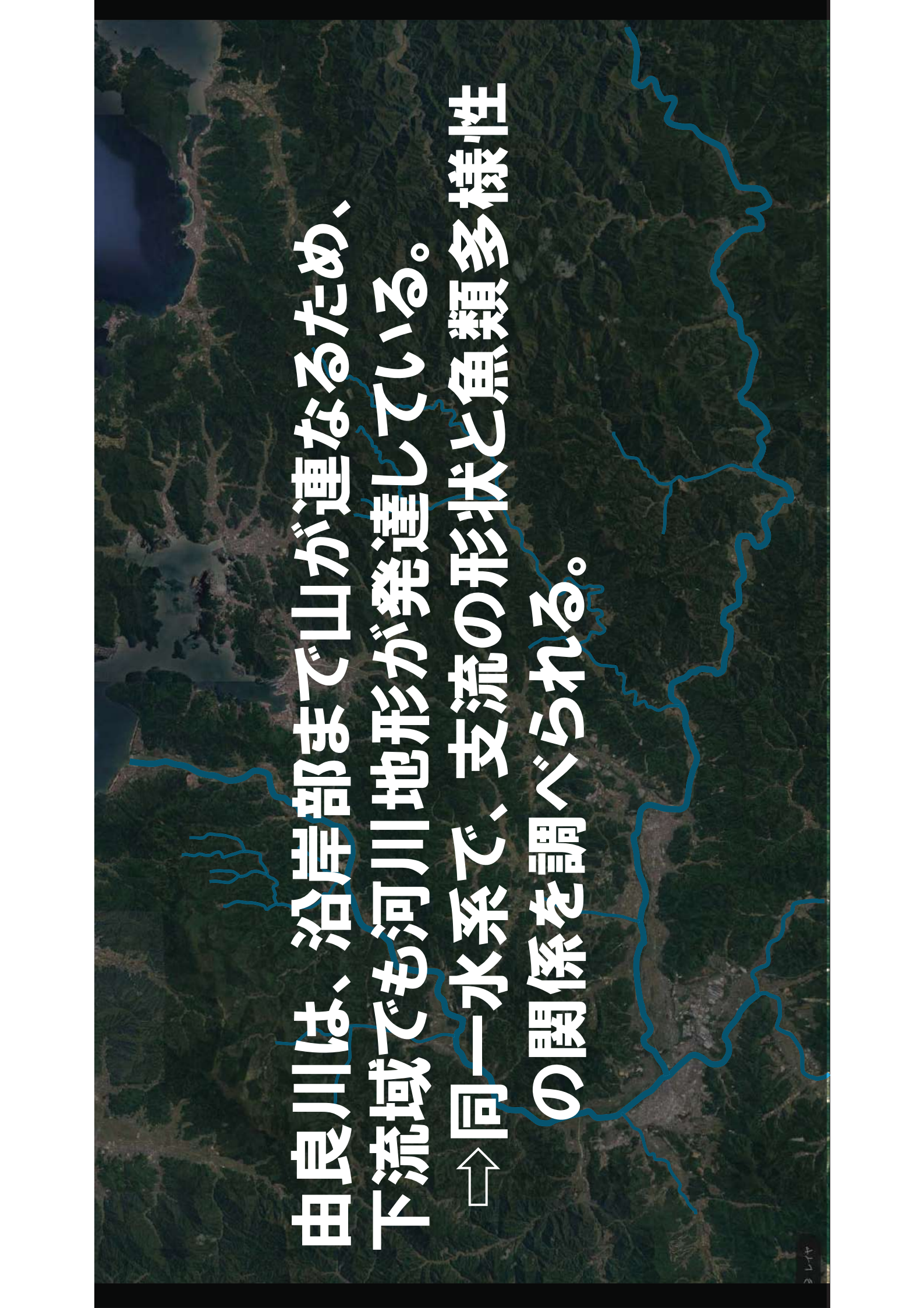
舞鶴市

5 km

過去の分水界

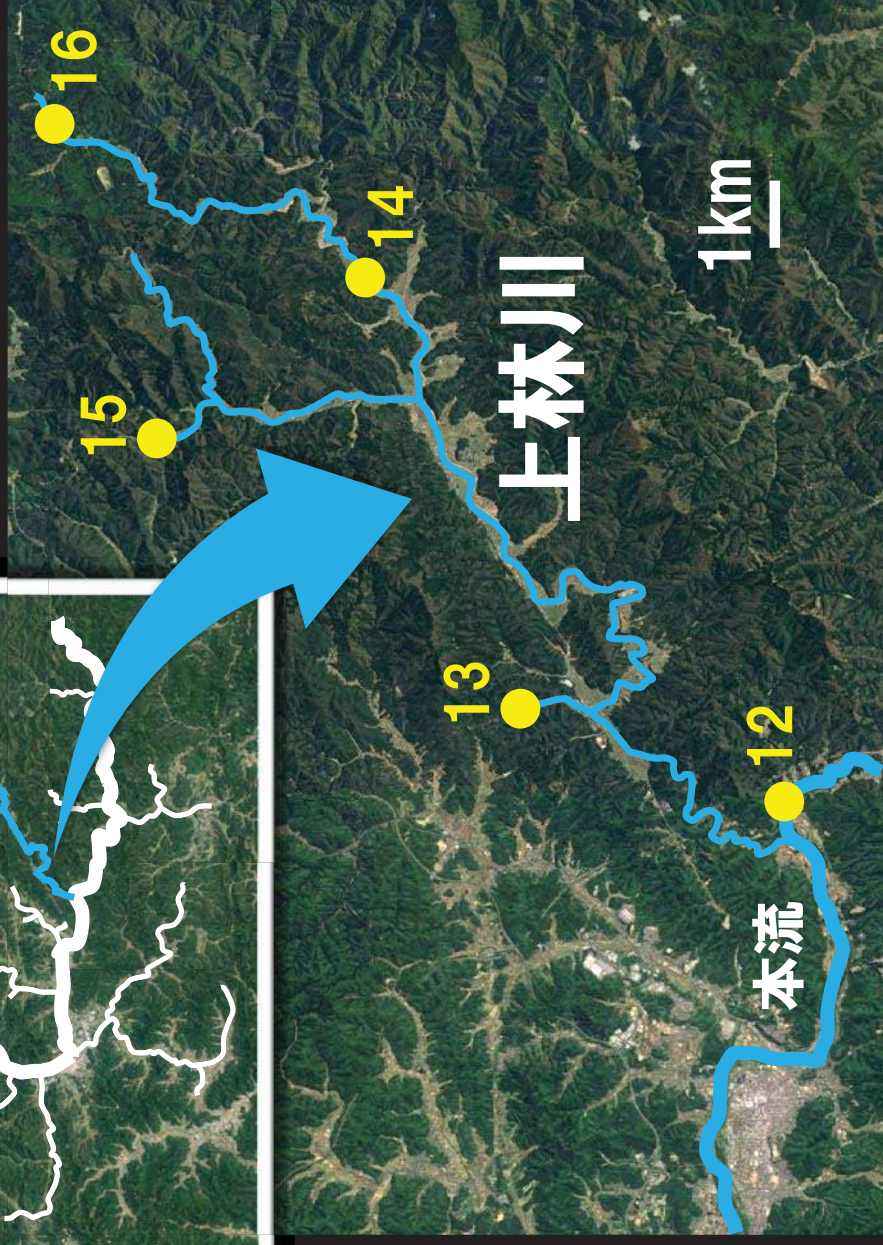
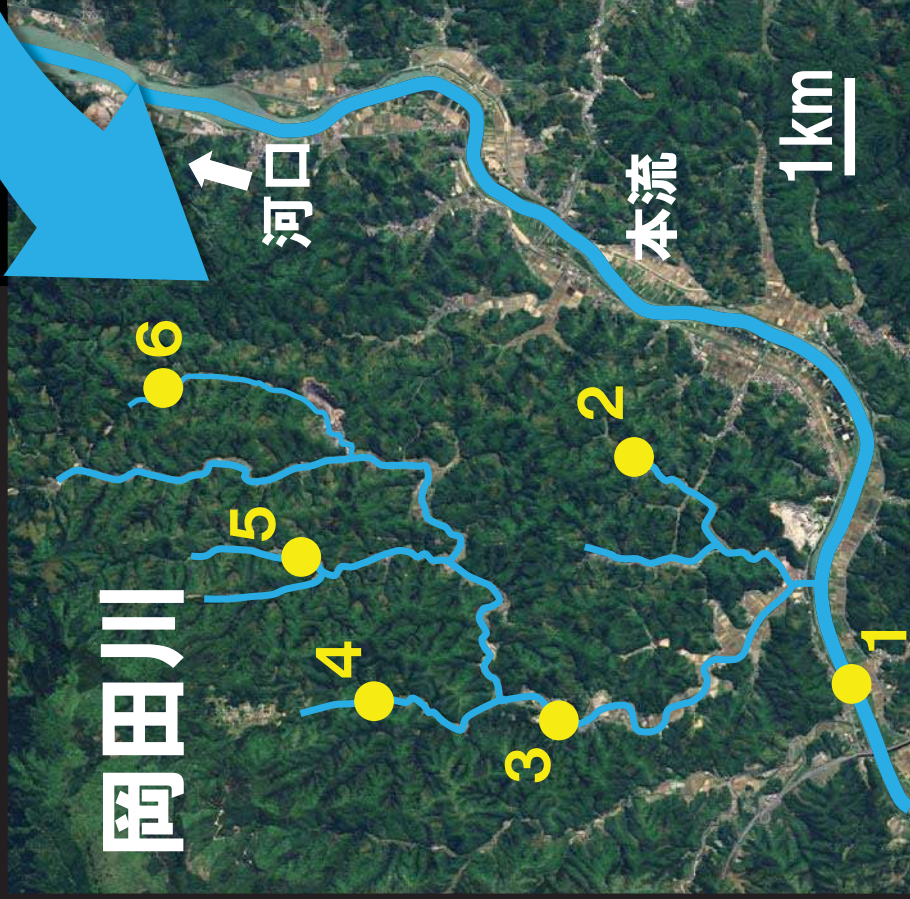
福知山市

瀬戸内海系の魚類相？



由良川は、沿岸部まで山が連なるため、
下流域でも河川地形が発達している。
↑同一水系で、支流の形状と魚類多様性
の関係調べられる。

支流調査





2024年度の
調査の様子

調査方法

調査日 2023年7月・2024年7月
調査・分析

①採水・ろ過（ステリベクス）
→DNA抽出 →PCR(MiFish法)
→DNAメタバーコーディング解析



調査方法

調査・分析

②水質測定（CTD）

水温、濁度、電気伝導度、
クロロフィル蛍光度、溶存酸素量

③栄養塩分析（オートアナライザー）

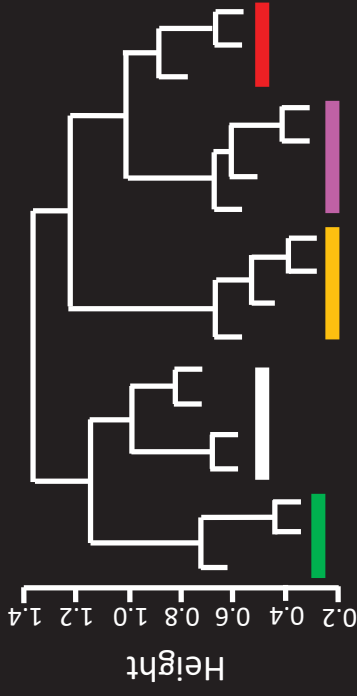
$\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、
 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$

※②③は、別日に3回測定し、
その平均値を分析に使用した。

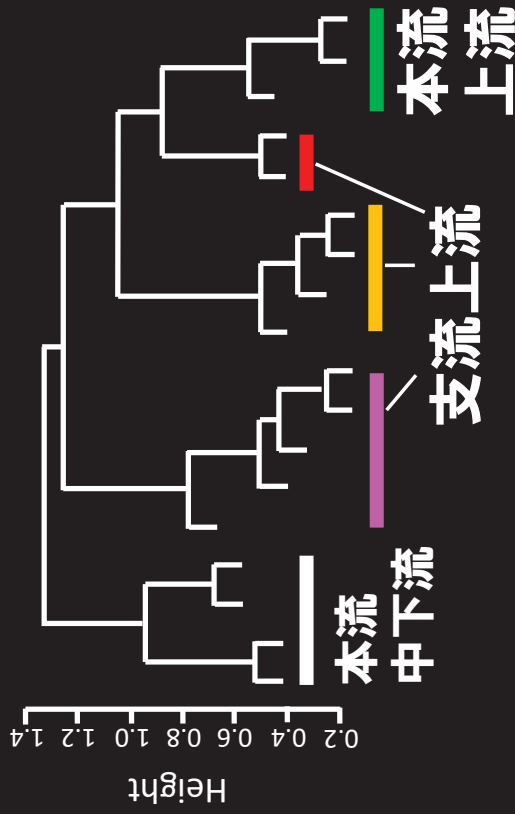


クラスター分析

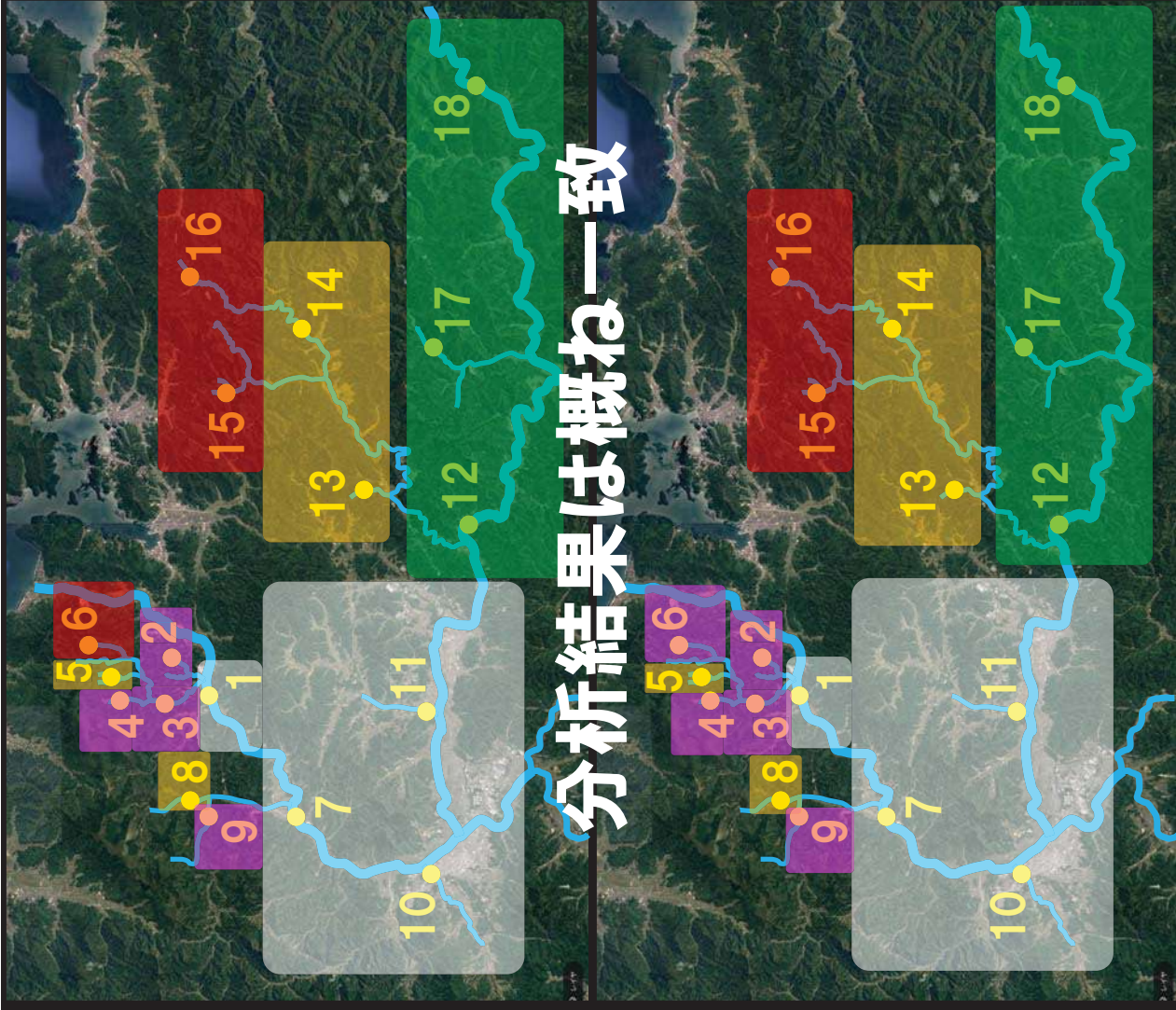
Jaccard指数 (在/不在)



Bray-Curtis指数 (DNAリード数)

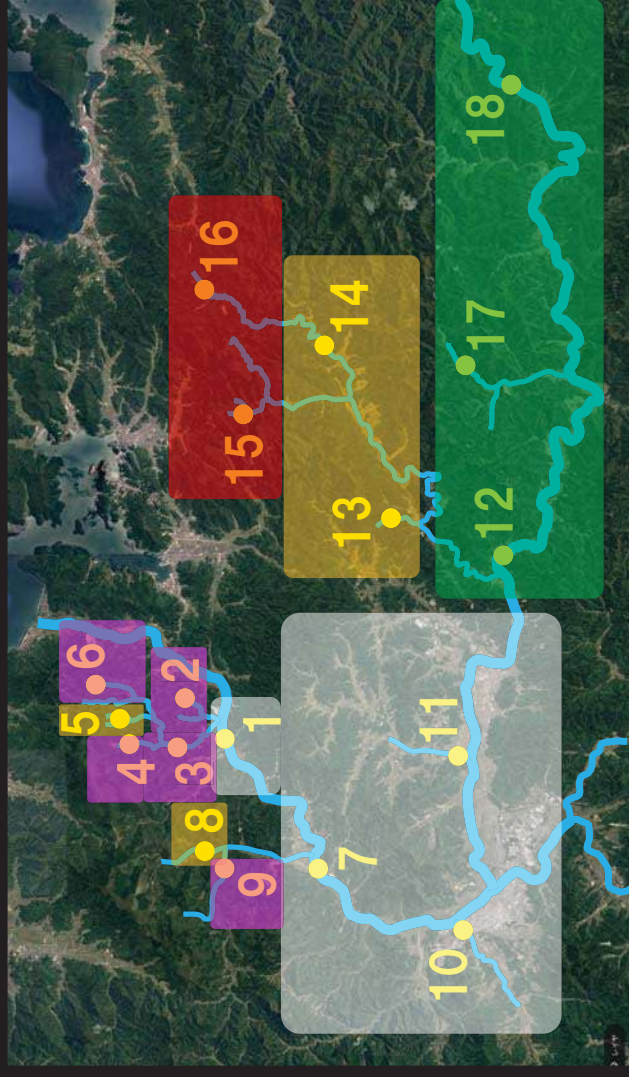
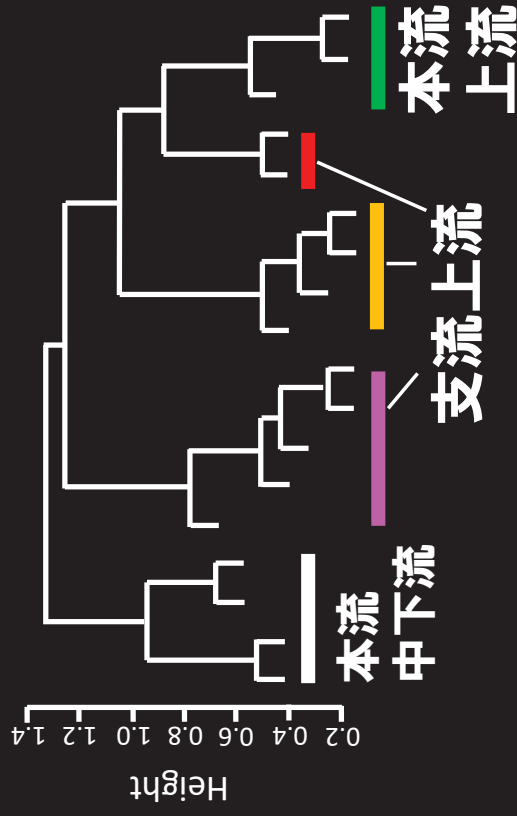


分析結果は概ね一致



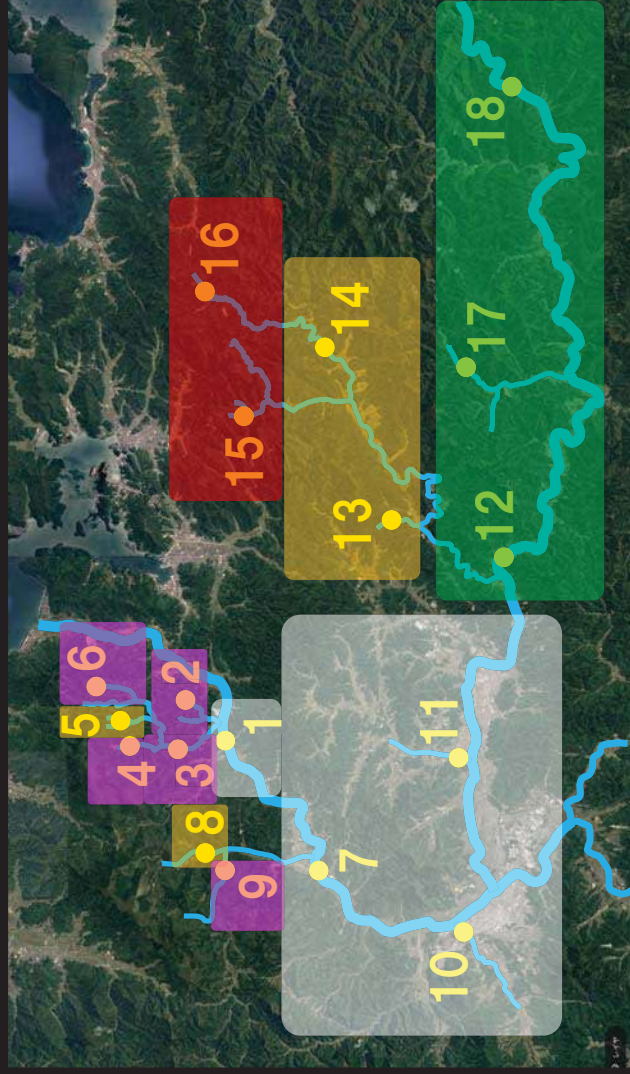
クラスター分析

Bray-Curtis指数 (DNAリード数)



- 由良川水系では、本流中下流(■)、本流上流(■)、3つの支流上流(■)を表すクラスターに分かれた。
- 下流域では、由良川本流には下流環境を好む魚種が、支流には上流環境を好む魚種が分布していることが明らかとなった。。

クラスター分析の結果 (Bray-Curtis法)



検出された外来種

オオクチバス
(7・12)



ブルーギル
(11・12)



カラドジョウ
(1・7)



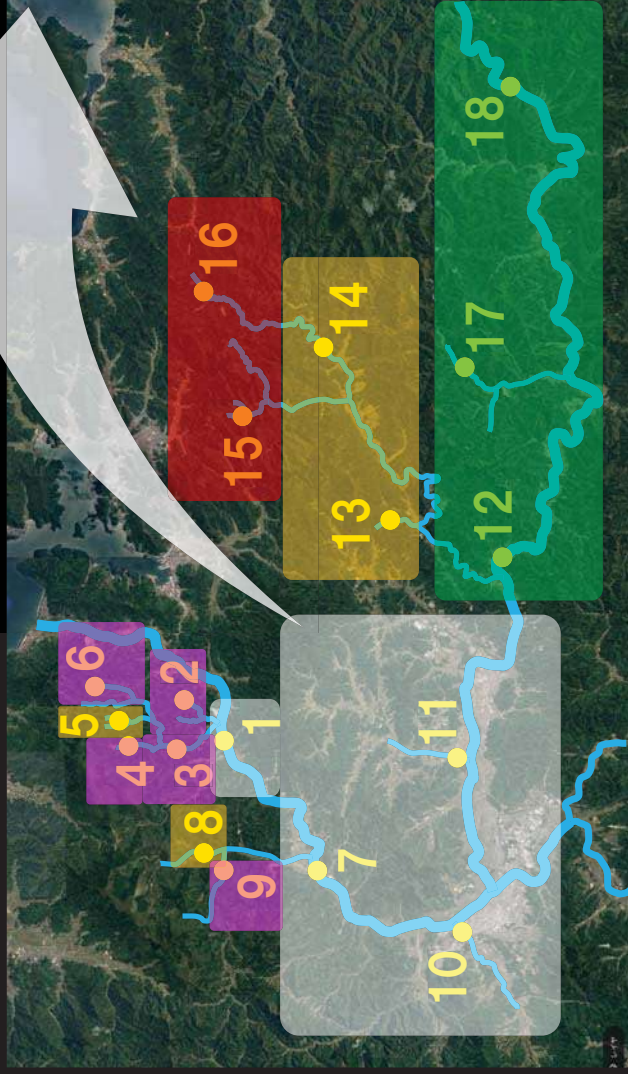
出典：雑魚の水辺HP

由良川本流のみで外来種が検出された。

⇒支流には、外来種の侵入を阻み、本来の生物多様性を維持する機能があるのかもしれない。

河口域～下流を好む魚種

クラスター分析の結果
(Bray-Curtis法)



カワアナゴ (1・7) マハゼ (1・7)



スミウキゴリ
(1・2・3・4・5・9)



スズキ (1・7) コノシロ (1)



ゴクラクハゼ (1・7)



出典: WEB魚図鑑HP

ボラ (1・7)



メナダ (1・7)



河口域～下流を好む魚種の
ほとんどが本流のみで検出。

クラスター分析の結果 (Bray-Curtis法)

瀬戸内海系※の淡水魚 (※京都府レッドデータブック 2015) オヤニラミ (18)



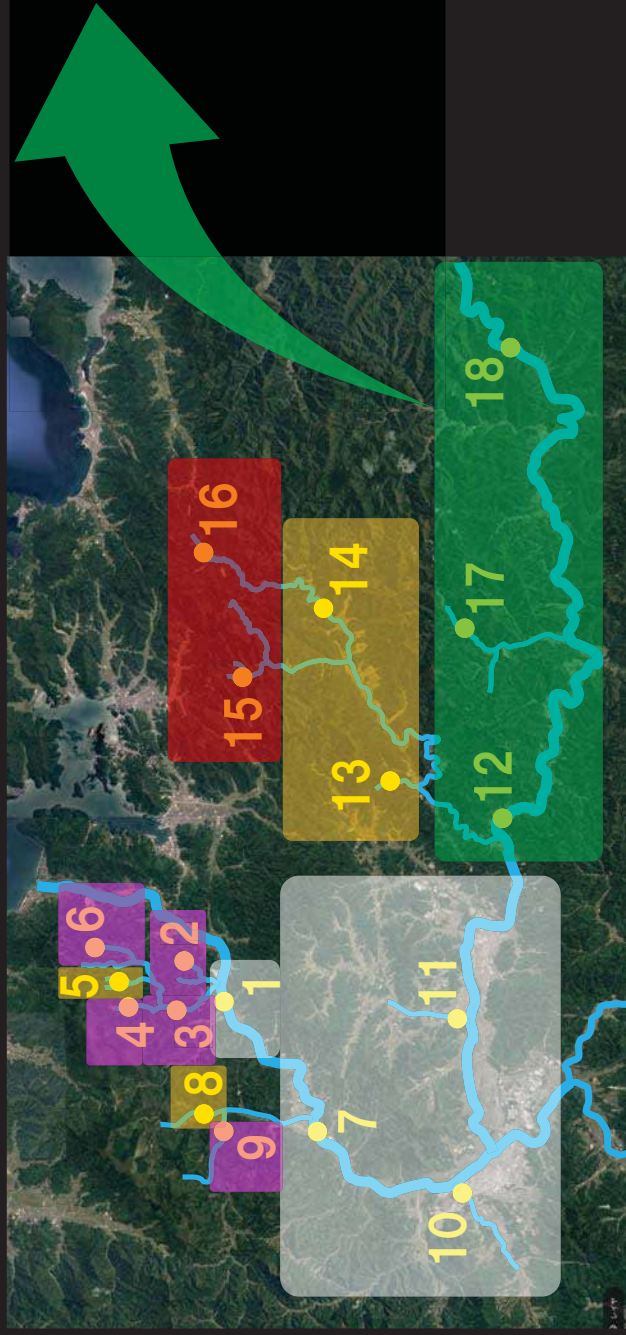
アジメドジョウ (18)



出典: WEB魚図鑑HP

由良川の最上流部(St.18)のみで検出

→ 由良川の豊かな魚類多様性維持に向けて保全が必要



間接傾度分析 ～環境要因との関係～

〈地点情報〉

標高 $P=0.019$
川幅 $P=0.046$
水深 $P=0.375$

〈栄養塩濃度〉

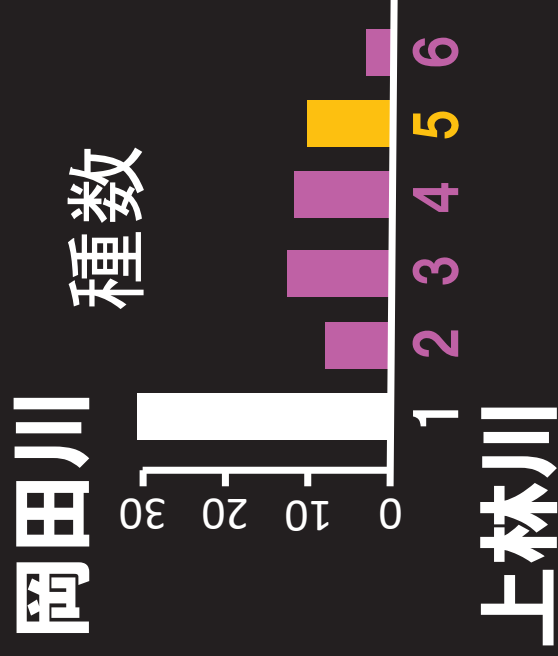
$\text{NO}_2\text{-N}$ $P=0.061$
 $\text{NO}_3\text{-N}$ $P=0.077$
 $\text{PO}_4\text{-P}$ $P=0.080$
 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ $P=0.846$

〈水質測定〉

水温 $P=0.018$
濁度 $P=0.115$
密度 $P=0.122$
電気伝導度 $P=0.187$
クロロフィル蛍光度 $P=0.773$
溶存酸素量 $P=0.988$

由良川の魚類群集構造は、
標高、川幅、水温で説明できる
可能性が示唆された。

支流内の群集構造と多様度指数



※色の違いは、クラスターの違いを示す。

- ・ 本流と支流の合流 (St.1,12) に比べて、支流 (St. 2-6, 13-16) の魚類相は異なり、多様度も低い傾向が確認された。
- ・ 支流間で共通の魚類相 (■) が検出された。一方、固有性 (■) も示唆されたので、今後は更なる調査が必要と考えられる。
- ・ 上林川本流 (St.14) の出現魚種が多く、これは川幅が広いためと考えられる。

まとめ

- 由良川水系の魚類相は、5つのクラスターに分類。
本流では、下流域と上流域に分かれ、
支流では、支流間に共通のクラスターが検出。
一方で、支流ごとの固有性も示唆された。
- 外来種が由良川本流のみで検出されたことから、
支流には、本来の生物多様性を保つ役割がある
ことが示唆された。
- 標高、川幅、水温により、由良川の魚類相を説明
できる可能性が示唆された。

本研究の遂行にあたり、多くの皆様にご協力いただきました。
厚くお礼申し上げます。

京都大学フィールド科学教育研究センター舞鶴水産実験所

益田玲爾 先生・鈴木啓太 先生・八柳哲 先生・潮見美咲 様

琉球大学熱帯生物圏研究センター

伊藤岳 先生

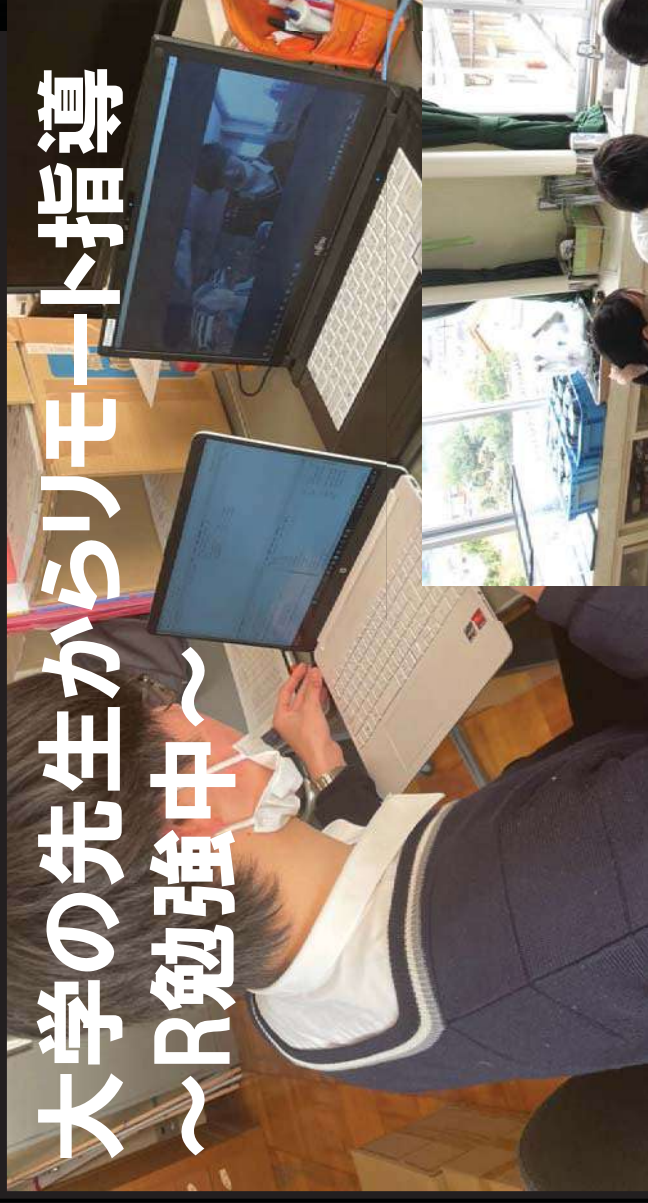
産業技術総合研究所 地質調査総合センター

井口亮 先生

美山漁業協同組合 様

ご清聴ありがとうございました！

大学の先生からリモート指導
～R勉強中～



フィールドワーク演習

新報丹波

由良川水系の魚を調査・発表

2学会大会で最優秀W受賞

科学部 自然部 DNA解析の結果まとめ



最優秀賞受賞を誇る理屈自然部科学部の部員たち

福知山市師、福知山高校の自然科学部が、日本水産学会秋季大会の自然部で、自然科学部最優秀賞を受賞し、理屈自然部A学会では大会の中学生オンライン発表会と最優秀賞を受賞した。由良川・由良川を調査し、環境DNA解析により、水産に生息する魚類の種類と分布を調査した結果を発表。部員たちは「この発表を大会で最優秀をいただけて大変うれし」と言っている。

同部はこれまで、身近な河川の由良川で生物調査をしてきた。今回は、水中にある魚のDNAを採取して解析し、生息状況に関する情報を集めた。

調査は昨年7月上旬から、現在の3年生が中心になって瀬田川、線部、南丹3市にまたがる由良川上流域の本流と支流の計10地点で採水し、DNA解析を専門機関に依頼。その3年生が引退し、活動のバトンを受け継いだ

1、2年生たちが、分析結果をまとめて「河川争奪」を作った。

特徴的な魚類群が支流に存在の可能性

調査の結果、由良川本流と支流には17科31種の魚類を抽出した。さらに魚類の分布特性を調べたところ、支流の上林川上流域でアブラハヤやカサガリ、ナガエビなど、本流よりもオオクチバスやアサギなど、外流域

のDNAは抽出されず、ほかの流域とは異なる魚類群が存在する可能性が示された。

また日本海へとそく由良川の上流で、瀬戸内海系淡水魚であるオヤニシシなどのDNAを抽出。これによ

って、過去の地形変化の影響で、瀬戸内海へと流れ込む古川の流域の一部が由良川が奪った「河川争奪」が起こっていたことを確認できた。

日本水産学会秋季大会は9月に京都大学で開催され、19校の調査員が参加してプレゼンテーション、壁紙「ボスター」のデザインの項目で競った。同部は1、2年生3人が審査員14人の前で調査結果を説明し、内閣府賞状、発表の分かりやすさなどが認められ、

トップの最優秀賞を受賞した。

1日に開かれた第7回環境DNA学会では、大会では、秋季大会で説明した内容に加えて、今夏に1、2年生

の部員5人が由良川上流域でDNA解析調査を行った結果を盛り込

んで発表。由良川流域全体の文脈では、外来種のDNAがほとんど抽出されなかったことなどを解説し、出場14校の中で頂点に輝いた。

2年生の部員長は「先輩たちがやっていたことを継承して、これからの調査の結果

を引き継ぎ、ここから先は調査に関心のある方々にも、調査結果を共有していただきたいと思います。みんなの努力が実を結ぶことを願っています。」