

第67回(2023年度) 北海道開発技術研究発表会論文

# 雨竜川ダム再生事業における魚類調査について

## — 環境DNAを利用したサケ科魚類の行動実態 —

札幌開発建設部 雨竜川ダム建設事業所 ○千葉 拓永  
熊谷 彰浩  
株式会社建設技術研究所 北海道支社 岡村 遥

雨竜川ダム再生事業は、北海道電力株式会社が所有する雨竜第1ダムと雨竜第2ダムの利水容量のうち、一部の容量を洪水調節容量に振り替えるとともに、雨竜第2ダムの嵩上げにより、新たに洪水調節容量を確保するものである。

本報告は、雨竜川ダム再生事業が魚類の生息環境へ与える影響を予測するための基礎資料として、サケ科魚類の行動実態を環境DNA手法を利用して考察するものである。

キーワード：ダム再開発、魚類調査、環境DNA



図-1 位置図



写真-1 雨竜第1ダムと朱鞠内湖



写真-2 朱鞠内湖と釣り人

## 1. はじめに

雨竜川の最上流部に日本最大の人造湖がある。雨竜第1ダムがせき止めてできた「朱鞠内湖」である。面積は23.7km<sup>2</sup>を誇り、原生林に囲まれたダム湖には大小13の島々があり、道立自然公園に指定されるなど見事な景観を見せている。

ダム湖にはイトウやワカサギをはじめとする多様な淡水魚が生息しており、釣り人で賑うなど地域の重要な観光資源になっている。また、ダム湖と一部の流入河川には内水面における漁業権が設定され、釣りの制限や増殖事業といった遊漁用資源として利用されている。

一方で、イトウの個体数や詳細な行動範囲などが把握されておらず、さらにイトウを持続的に利用するためのモニタリング手法も確立されていないため、雨竜川ダム再生事業で行う環境影響予測のための基礎的調査は極めて重要となる。

## 2. 雨竜川ダム再生事業の概要

### (1) 雨竜川の概要

雨竜という名はアイヌ語の「ウリロペツ（鶉の川）」に由来している。源流部はプトカマベツとよばれ、中央天塩山地に源を発し、溪流を集めながら南に流れて朱鞠内湖に至る。その後、山間部を南に流れ、幌加内町の平野部を南下した後、石狩平野に入り、妹背牛町で大川である石狩川に合流する。幹川流路延長177km、流域面積1,722km<sup>2</sup>の石狩川の一次支川である。

雨竜第1ダムと雨竜第2ダムがある北海道雨竜郡幌加内町は、上川管内の北西部に位置し札幌市から149.1kmの位置にある。周囲は山にかこまれ、明治22年(1889)の本格的な入植後、農地開発が進み、現在では豊かな農地として利用されている。特に蕎麦の栽培が盛んであり、その品質は高く、幌加内町での蕎麦の出来が全国の蕎麦の値段を決めるといふプライスリーダーにして日本一の

収穫量を誇っている。冬の幌加内は極寒豪雪であり、昭和53年（1978）には町北部の母子里で日本一の最低気温であるマイナス41.2度を記録した。また、平成30年（2018）には最深積雪量324cmと北海道記録を塗り替えた。

## (2) 既設ダムの概要

雨竜第1ダムと雨竜第2ダムは、北海道電力株式会社が所有する発電専用のダムである。

支川であるプトカマベツ川とウツナイ川をそれぞれ雨竜第1ダムと雨竜第2ダムでせき止め、朱鞠内湖と宇津内湖を形成している。昭和13年（1938）に着工され、昭和18年（1943）に完成した。建設当時は東洋一の人造湖と宣伝され、朱鞠内湖から流域変更を行い天塩川に最大毎秒44.2m<sup>3</sup>の貯留水を流し、最大出力51,000kWを発電している。

## (3) 雨竜川ダム再生事業の概要

石狩川流域の治水対策は、石狩川本川の河川改修を優先していたことから、最上流域に位置する雨竜川の改修には時間を要していた。そのため、多くのそば生産者は、雨竜川中流部で戦後最大規模となった平成26年8月洪水をはじめ、度々洪水被害に見舞われていた。このような流域の課題を踏まえ、既存ダムを活用した『雨竜川ダム再生事業』を「雨竜川河川整備計画（変更）」に新たに位置付けた。平成30年度から実施計画調査に着手し、令和5年度に建設へと移行した。また、ダム下流の北海道管理区間においても、当事業に合わせ河道掘削と築堤による河川改修が進められており、双方の事業が相まって治水効果を上げることとしている。



図-2 石狩川流域図

雨竜川ダム再生事業は、既存の発電専用ダムである雨竜第1ダムと雨竜第2ダムの利水容量のうち、予備放流水位以上の容量を洪水調節容量に振り替えるとともに、雨竜第2ダムの嵩上げと合わせて、新たに約2,500万m<sup>3</sup>の洪水調節容量を確保し、治水機能の増強を図るものである。

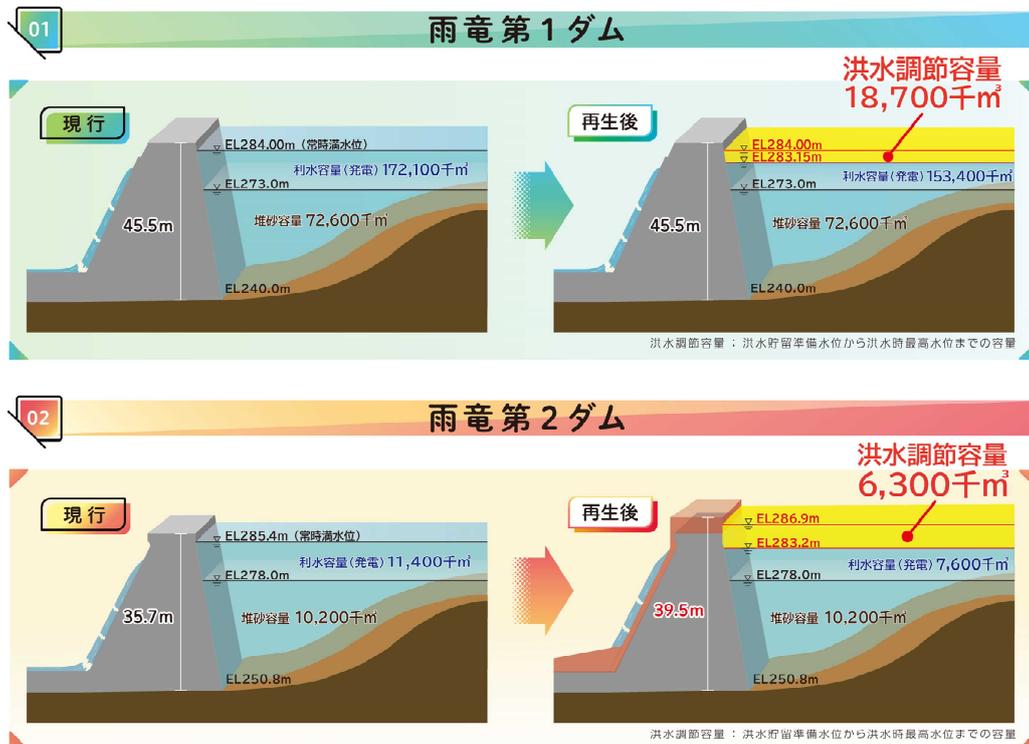


図-3 貯水池容量配分図

### 3. 環境保全の取り組み

#### (1) 環境アセスメント

環境アセスメント（環境影響評価）とは、土地の形状の変化や工作物の新設など規模が大きく環境に著しい影響を及ぼす恐れのある事業を対象に評価する項目や手法を選定し、調査・予測・評価を行うとともに、その事業に係る環境の保全のための措置を検討し、この措置が講じられた場合における環境への影響を総合的に判断するものである。

雨竜川ダム再生事業における湛水面積の増加量は約10haであるため、法令及び道条例に基づく環境アセスメントの対象事業（50ha以上）には該当しないが、ダム事業という大規模な工事が行われることや周辺が道立自然公園に指定されていることから環境に配慮する必要があると判断し、環境影響評価法に準じた環境アセスメントを実施することとした。

#### (2) 環境影響予測

この地域にはオジロワシやエゾサンショウウオなどの多くの貴重な動植物が生育しており、事業を進めるにあたってそれらの生息環境に影響が出ないように配慮する必要がある。本報告では、貴重な動植物の中でもこの地域と密接に結びついており、食物連鎖の上位に位置するイトウについて報告する。

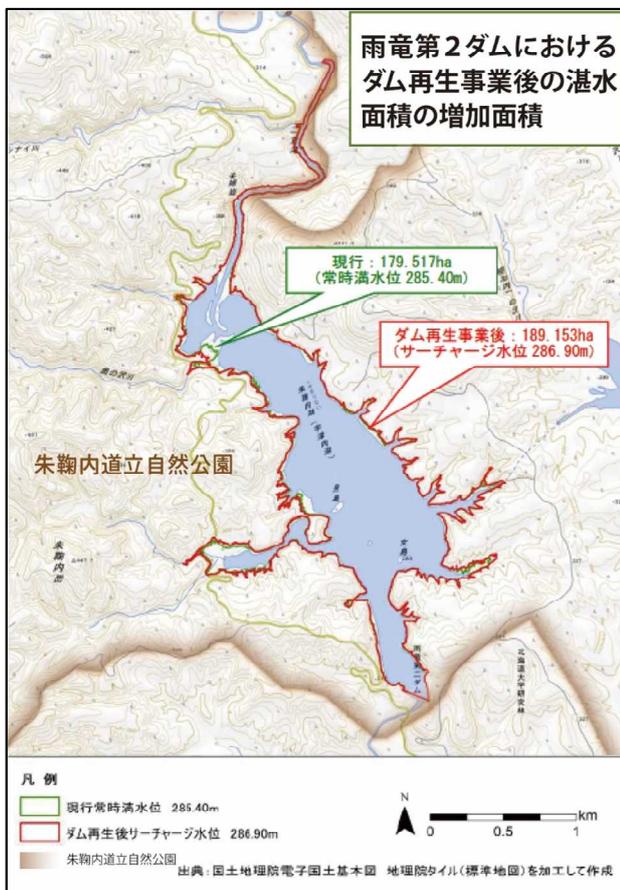


図-4 雨竜第2ダム湛水面積図

#### a) イトウの概要

イトウ（学名 *Parahucho perryi*）は日本最大の淡水魚であり、サケ科イトウ属に属する溯河回遊魚で、体長は大きいもので1mを越え、体重は25～45kgに達する。イトウは多回産卵を行い、産卵期は春期（3月末～5月）とされ、河川を遡上して淵から瀬への移行部で産卵する。

イトウの稚魚は7～8月頃に浮上し、水生昆虫や水中に落ちた昆虫などを摂餌する。体長30cmを超える頃から魚類や両生類等を捕食するようになる。

イトウの世界的分布はサハリン、沿海州、国後島、択捉島、そして北海道である。河川構造物や農地開発の影響により、個体数が減少し絶滅が危惧されている。<sup>1)</sup>

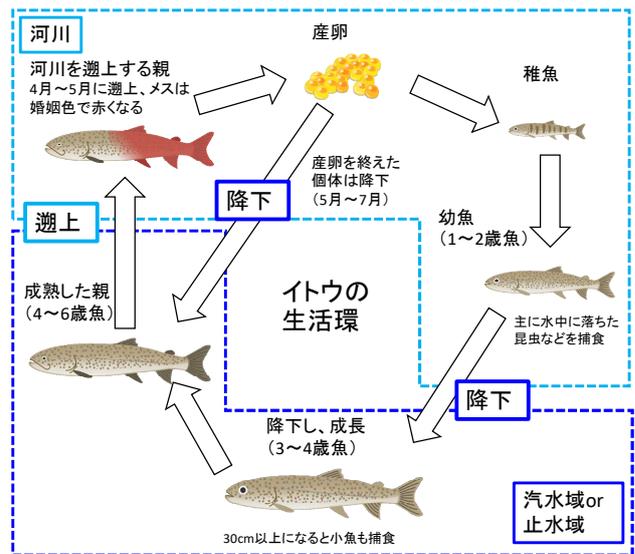


図-5 一般的なイトウの生活史

#### b) イトウへのインパクトとレスポンス

本事業によるイトウへのインパクトとして、雨竜第2ダム嵩上げに伴う水位変動域の拡大、その対策として行う橋梁の架け替え工事による直接改変、連絡水路のゲート改築工事による一時的な水路の遮断が挙げられる。考えられるレスポンスとしては、直接改変によるイトウの生息環境の消失・減少、特に橋梁架け替え工事による産卵行動への影響が考えられる。また、連絡水路のゲート改築工事では工事期間中に連絡水路の往来が制限され、産卵遡上行動に影響が出ることが考えられる。

連絡水路の往来については、連絡水路周辺で採捕したイトウに発信器を取り付け追跡調査を行ったところ、往来が確認された。そのため宇津内湖周辺だけではなく朱鞠内湖周辺についても生息環境を把握することとした。

#### c) 影響予測における課題

前述したとおり、イトウの個体数や詳細な行動範囲は把握されておらず、生息状況や産卵時期等の生態が十分に判明していないこと、調査を行う必要がある遡上しうる流入河川が極めて多いことなどから、従来の調査として用いられている魚類採捕調査では、コストと時間が膨大になってしまうという課題があった。

## 4. 環境DNAを用いた調査

近年、魚類をはじめとする水生生物の生息状況等を簡便に把握することができる調査手法として、環境DNAを用いた調査が多く報告されている。当事業においても、環境DNAを用いて魚類の行動実態を把握した論文<sup>2)</sup>を参考に環境DNA調査を実施した。

### (1) 環境DNA調査の概要

環境DNAとは生物から大気中や水中、土壌中に放出される細胞片や糞に含まれるDNAである<sup>3)</sup>。

魚類などの水生生物は、産卵や遡上等で体を激しく動かした際に鱗の一部はがれる。また、日常的に糞等が放出される。このような行動によって各生物からDNAが放出されるため、現場での採水とDNA分析によって周囲に生息する生物種を検出することが可能となる(図-6)。一方で、環境DNA調査の課題は、分析結果からDNAが検出されたにも関わらず調査実施地点周辺に生息していない可能性があること、その反対に調査実施地点周辺に生息しているにも関わらずDNAが検出されない可能性もあることが挙げられる。しかし、環境DNAは現地での作業は採水のみであり、捕獲調査に比べて結果のばらつきも少なく、多数の地点を短期間で調査実施可能である。

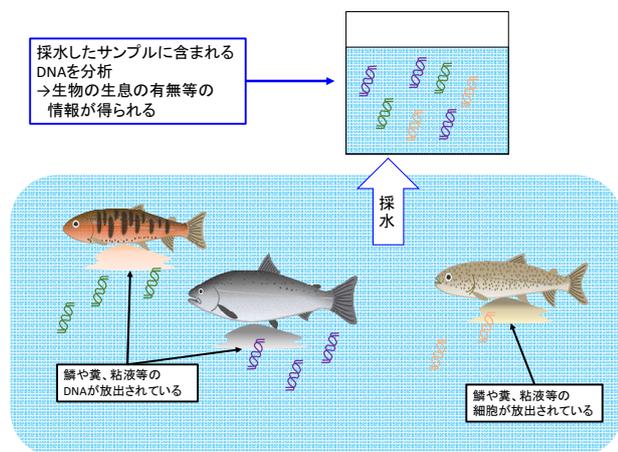


図-6 環境DNA調査の概要

### (2) 調査結果

#### a) 種特異的解析

分析手法は、対象種がイトウのみであるため、特定種の検出に適した種特異的解析を採用した。

種特異的解析とは、各生物の遺伝子配列に関するデータベースが整備されたことを背景に、特定種のみ注目して環境DNA濃度(ミトコンドリアDNA)の定量的なデータを取得する解析方法である。

イトウは産卵期に遡上や放精を行うことで、他の時期よりも環境DNA濃度が上昇する傾向があると考え、種特異的解析で環境DNA濃度がピークとなる時期を踏まえ産卵河川と産卵期の推定を行った。

種特異的解析の調査結果の解釈の留意すべき点として主に2つある。1つ目はDNA濃度は必ずしも個体数と一致しないことである。個体数が少ない場合でも、採水地点近傍に大型の対象生物がいた場合や死骸があった場合、DNA濃度は高い値を示す<sup>4)</sup>。

2つ目は単純な河川間の比較はできないことである。各河川において、DNAが河川内を拡散していく過程は異なり、それは河川規模や流速等の様々な要因に影響を受けるため、河川間でのDNA濃度を単純に比較することは適切ではない。

以上のことに留意して種特異的解析からイトウの産卵期を検討した。

当該調査箇所における令和4年と令和5年の調査結果を図-8、図-9に示す。なお、令和5年のデータは、5月中旬に朱鞠内湖で釣り人がクマに襲撃されるという事故が発生し、安全管理が整った6月上旬まで調査を実施しなかったことから、産卵期の特定に有効な結果は得られなかった。

令和4年の調査結果から、相対的に5月下旬に環境DNA濃度のピークが確認される河川があったが、DNA濃度の増減が不明瞭な河川もみられ、産卵期を明確に特定するには決め手にかけて。一方で、種特異的解析では多くの調査地点でイトウのDNAが検出され、生息が確認されたほか、濃度の増減により、産卵遡上を行う河川の推定には適していた。

#### b) 核/ミトコンドリアDNA濃度比解析

種特異的解析では明確な産卵時期の特定には至らなかったが、近年、産卵期の特定に有効と考えられる解析方法である核/ミトコンドリアDNA濃度比解析が報告されている<sup>5)</sup>。

核/ミトコンドリアDNA濃度比解析とは、精子に含まれるミトコンドリアが一般的な細胞に含まれるミトコンドリアよりも少ないため、放精時には試料中の核の割合が平常時よりも劇的に増加することに着目し、同一試料の核DNA濃度と種特異的解析によるミトコンドリアDNA濃度との比を分析する手法である(図-7)。

この解析方法では、濃度比を分析するため調査地点の環境DNAの絶対量に関わらず産卵期を推定できるという利点がある。なお、同一の試料を用いた解析であるため令和5年は5月中旬から6月上旬までの結果は得られていない。

当該調査箇所における調査結果を図-10、図-11示す。令和4年の調査結果では、種特異的解析で5月中下旬にミトコンドリア濃度のピークがみられたG河川やF河川(図-8)は核/ミトコンドリアDNA濃度比が5月上旬にピークがみられた(図-10)。また、ミトコンドリアDNAの濃度が低くピークが不明瞭であったI河川、K河川(図-8)でも核/ミトコンドリアDNA濃度比では明確にピークを捉えることができた。このように、核/ミトコンドリアDNA濃度比解析は、種特異的解析より産

卵期の推定には優れている可能性が高いことが示唆された。

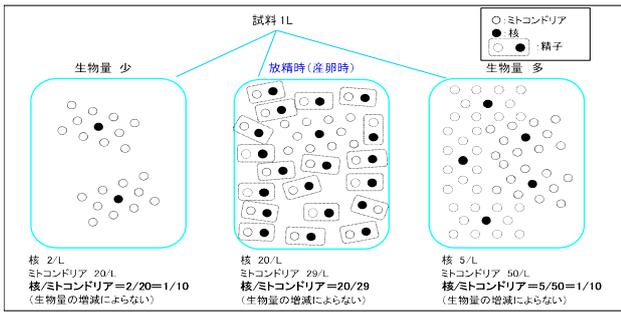


図-7 試料内の核 DNA・ミトコンドリア DNA の存在量イメージ

### (3) 組織片によるイトウ在来個体群特性の推定方法 (ハプロタイプ分析)

イトウの母川回帰性は、連絡水路の工事期間の設定に極めて重要である。それぞれの湖の流入河川で産卵孵化した当歳魚は1歳幼魚までの間に湖内に移動し、成熟した後、数年に一度、産卵のために流入河川に遡上すると考えられている。その際、孵化した湖の流入河川に回帰するのか、別の湖の流入河川にも遡上しているのか。

これは、連絡水路を工事のために締め切る際の影響に大きく左右する。そこで、連絡水路の工事期間中に連絡水路を往来できなくなることによるイトウの産卵遡上行動への影響を検討するためにハプロタイプ分析を実施した<sup>9)</sup>。

ハプロタイプ分析とは、採捕した個体のヒレ(細胞片)を採取してDNAのハプロタイプ(単一の染色体上の遺伝的な構成)を分析する手法で、調査地点周辺の個体群の遺伝的情報の特性を得るものである。生物が息生地や地域によって遺伝子配列が若干異なることがあることに着目し、朱鞠内湖及び宇津内湖の流入河川にいるイトウの連絡水路の利用状況を遺伝的情報から考察した。

朱鞠内湖側の連絡水路吐口、宇津内湖の流入河川であるA河川とC河川とQ河川、朱鞠内湖の流入河川であるF河川でイトウを採捕・ヒレ採取し遺伝情報を分析した。

当該調査箇所における調査結果を表-1、図-12に示す。

調査結果から朱鞠内湖周辺に生息するイトウについては3種類のハプロタイプ(X、Y、Z)が存在することが分かった。宇津内湖流入河川ではハプロタイプYのみが検出され、朱鞠内湖側の連絡水路吐口においてもハプロタイプYが検出されたため、ハプロタイプYの個体群が連絡水路を利用して宇津内湖の流入河川に遡上して産卵している可能性が示唆された。

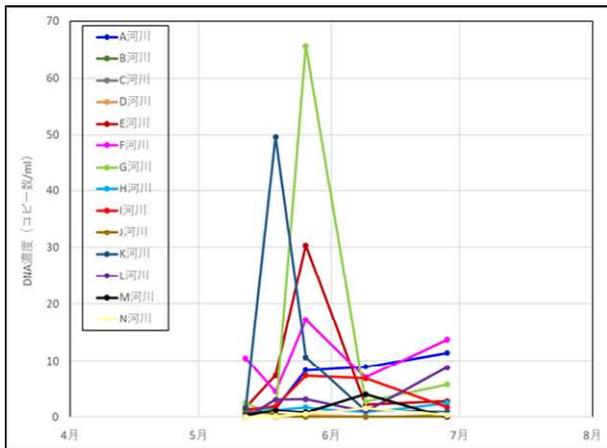


図-8 種特異的解析結果 (令和4年)

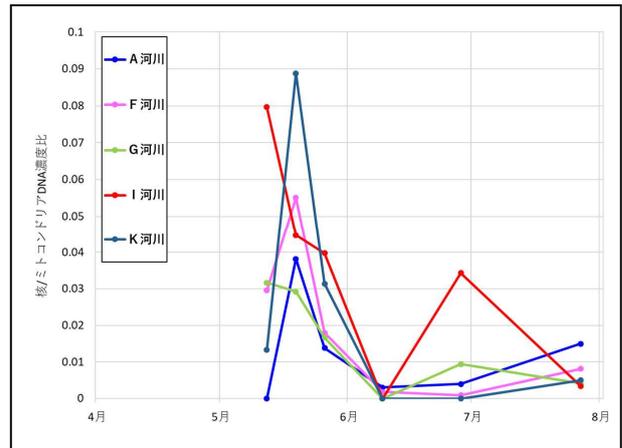


図-10 核/ミトコンドリア DNA 濃度比解析結果 (令和4年)

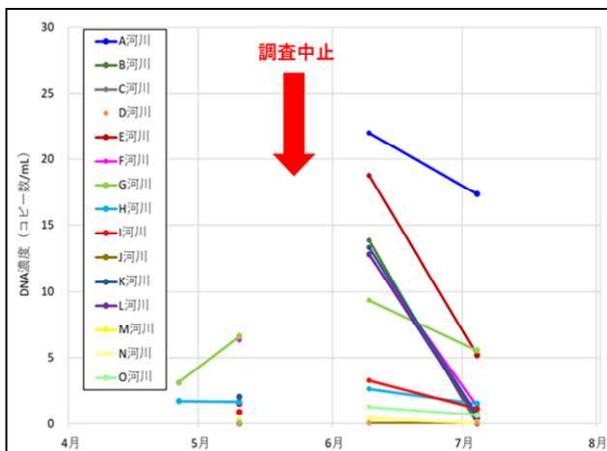


図-9 種特異的解析結果 (令和5年)

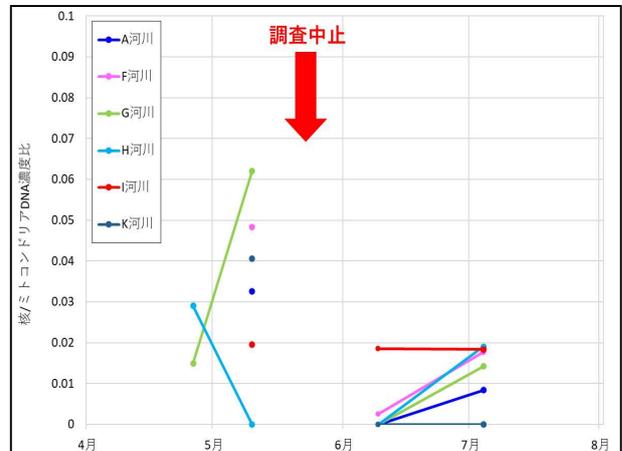


図-11 核/ミトコンドリア DNA 濃度比解析結果 (令和5年)

表-1 ハプロタイプ分析結果

|        | タイプX | タイプY | タイプZ |
|--------|------|------|------|
| 連絡水路吐口 | 1    | 2    | 4    |
| A河川    | 0    | 3    | 0    |
| C河川    | 0    | 3    | 0    |
| F河川    | 1    | 0    | 0    |
| O河川    | 0    | 4    | 0    |

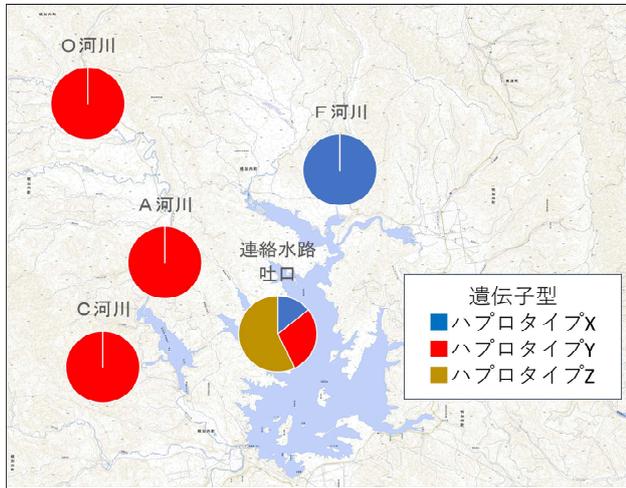


図-12 ハプロタイプ分析結果

## 5. まとめ

本調査によりこの地域におけるイトウの生態について以下のことが分かった。

- ① 種特異的解析により、朱鞠内湖及び宇津内湖の多くの流入河川でイトウが生息・遡上していることが推定された。
- ② 核/ミトコンドリアDNA濃度比解析により、この地域のイトウの産卵期は、5月中旬頃である可能性が高いことが推定された。
- ③ ハプロタイプ分析により、この地域のイトウは産卵の際に連絡水路を利用して流入河川に遡上している個体群がいる可能性が示唆された。

また、今回の調査結果により、環境DNA調査の種特異的解析と核/ミトコンドリアDNA濃度比解析を併用することがサケ科魚類の生態の解明に有効であることが示された。

種特異的解析では、調査地点周辺での対象種の生息の有無の推定に有効であることが示され、核/ミトコンドリアDNA濃度比解析は、対象種の産卵期の推定において有効であることが示された。

今後も当該地域において環境アセスメントの観点とイトウの基礎データ蓄積の観点から、調査を継続し、生態の解明と精度の向上を図る。

## 参考文献

- 1) 福島路生, 帰山雅秀, 後藤晃(2008) イトウ: 巨大淡水魚をいかに守るか. 魚類学雑誌55: 49-53
- 2) Yatuyanagi T, Ishida R, Sakata M K, Kanbe T, Mizumoto H, Kobayashi Y, Kamada S, Namba S, Nii H, Minamoto T, and Araki H(2019) Environmental DNA monitoring for short-term reproductive migration of endemic anadromous species, Shishamo smelt (*Spirinchus lanceolatus*). Environmental DNA 2:130-139
- 3) 土居秀幸, 近藤倫生 (2021) 環境DNA: 生態系の真の姿を読み解く. 共立出版
- 4) Mizumoto H, Urabe H, Kanbe T, Fukushima M, and Araki H (2018) Establishing an environmental DNA method to detect and estimate the biomass of *Sakhalin taimen*, a critically endangered Asian salmonid. Frontiers in Ecology and Evolution 8:569425
- 5) ylemans J, Furlan EM, Hardy CM, McGuffie P, Lintermans M, and Gleeson DM (2017) An environmental DNA-based method for monitoring spawning activity: a case study, using the endangered Macquarie perch (*Macquaria australasica*). Methods in Ecology and Evolution 8: 645-655
- 6) 畑山誠, 下田和孝, 水野伸也, 川村洋司 (2017) 朱鞠内湖に生息するイトウ *Parahucho perryi* の遺伝的集団構造 (短報). 北海道水産試験場研究報告92: 29-32