

iii) 本調査

調査地は、大型・小型魚道にてカワウの採餌行動が報告されている宮中ダム下流 (37.06、138.69) とした (東日本旅客鉄道株式会社 2017)。調査期間は2020年9/22 (気温 18.2)、9/24 (気温 21.7)、9/29 (気温 16.9)、10/18 (気温 10.1) の計4日間行った。調査時間は、カワウが最も多く採餌を行うとされている日の出から2時間以内とした。

撮影条件は PHANTOM 4 pro は高度 20 m、速度 10 km/h、撮影角度は 30 度、Inspire1RAW は高度 50 m、速度 10 km/h、撮影角度 10 度で図-1 に示すルートで2機同時に飛行させた。ドローンのカメラは撮影の際、明度を自動で調整する機能が搭載されており、本調査では PHANTOM 4 pro、Inspire1RAV 両機にとも上記の機能を利用して撮影した。

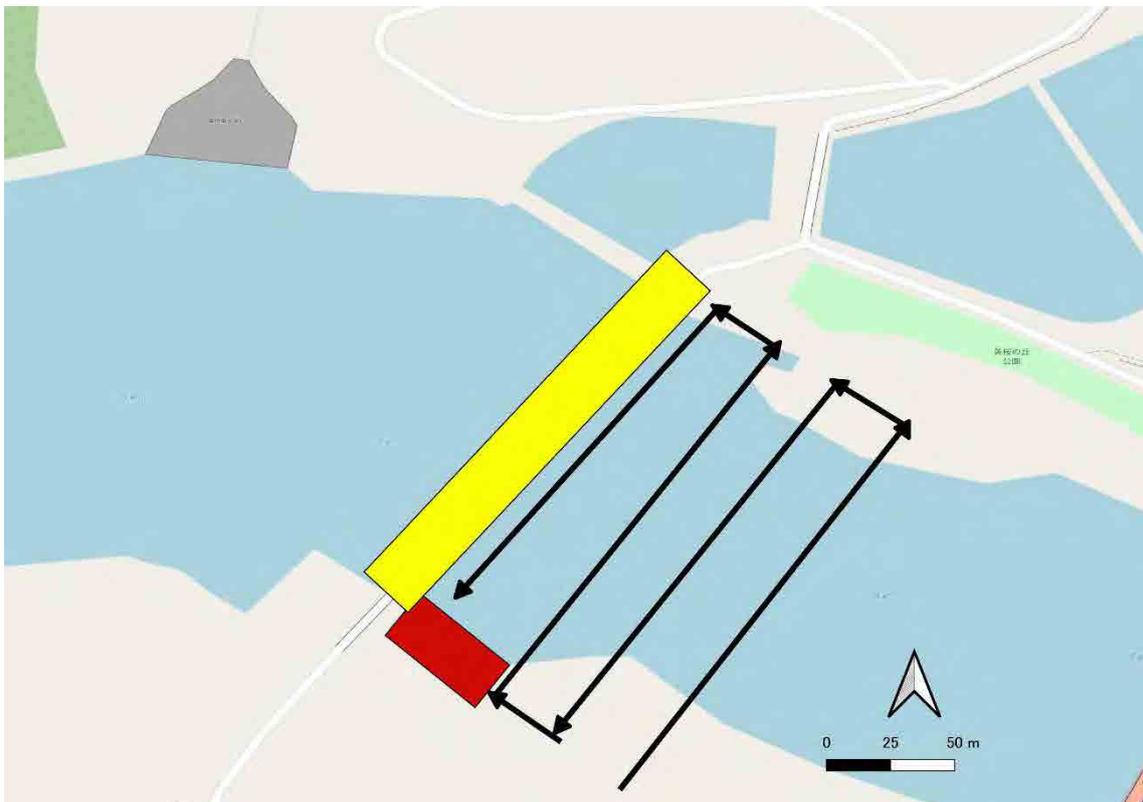


図-1 調査地宮中ダムとドローンの飛行ルート

赤：魚道の位置、黄色：河川横断物、黒：ドローンの飛行ルート

iv) 飛来数調査データの分析

カメラを用いた調査では、映像を記録し、後から見直すことが可能である。そこで、赤外線カメラとノーマルカメラそれぞれの撮影精度を評価するために、研究室の研究生5名に協力頂き、2つのカメラで撮影した動画のカワウをそれぞれカウントしてもらった。カワウは、「着水」、「潜水」、「休息」の3つの行動を行っている個体をすべて合計して飛来数としてカウントした。「着水」はカワウが水面で遊泳しているか浮いている状態を指す。「潜水」はカワウが水中に潜っている状態を指し、着水していた個体が撮影中に水中

に潜った場合は潜水個体としてカウントした。「休息」は水中から体を完全に出し、陸上にあがって休んでいる状態を指す。

カメラの種類の違いがカウント数に影響を与えているかどうかを調べるため、応答変数をカワウの飛来数、説明変数を撮影カメラタイプ（ノーマルカメラ or 赤外線カメラ）、変量効果をカウント者、確率分布は負の二項分布を仮定し、一般化線形混合モデル（以下、GLMM）によってモデルを構築した。有意水準は、 $P < 0.05$ とし、統計解析には、R ver4.1.2 を用いた。

3) 結果

i) 予備調査結果

新潟県の予備調査で行ったFIDの結果では、個体によっては約4 mまで接近しても忌避行動を見せない個体があった（図-2）。しかし、新潟県の予備調査の3個体のうち、2個体は14 mと16 mで忌避行動を見せた。一方、栃木県鬼怒川においては高度30 mで忌避行動を見せた個体が1羽のみ確認された。栃木県のその他の2個体のFIDは、18 mと13 m、群馬県では15 mと12 mと17 mであった。



図-2 高度約4 mから撮影したカワウ 宮中ダム周辺

ii) 本調査結果

ドローンを用いた赤外線カメラとノーマルカメラの画像の1例を図-3に示す。

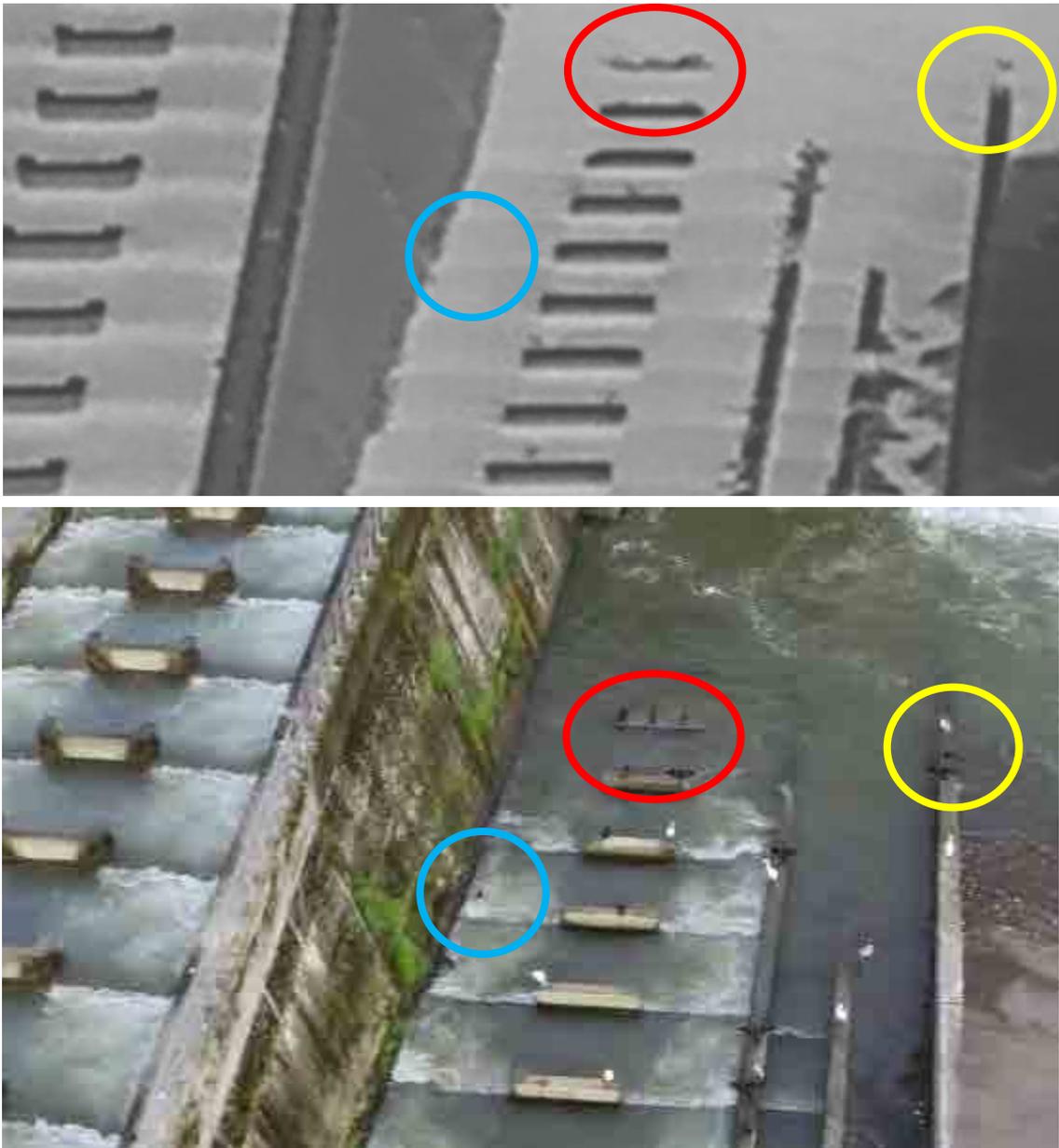


図-3 2020/9/29 宮中ダム ノーマルカメラと赤外線カメラ画像の1例

上：赤外線カメラで撮影、下：ノーマルカメラで撮影、赤丸はカワウがコンクリートの上で休息していた場所、黄丸はサギ類とカワウの両方がコンクリートの上で休息していた場所、青丸は着水していたカワウを示す。

図-3 の赤色の丸や青丸の中を見ると、赤外線カメラでは、ダム魚道の構造物のコンクリート上で休息しているカワウや着水個体は確認されなかったが、高度 20 m のノーマルカメラの画像では、魚道のコンクリート上で休息している個体や着水個体も確認することができた。また、黄色丸の中を見ると赤外線カメラではカワウとサギ類の識別は困難であるが、ノーマルカメラではカワウとサギ類の識別が可能であった。

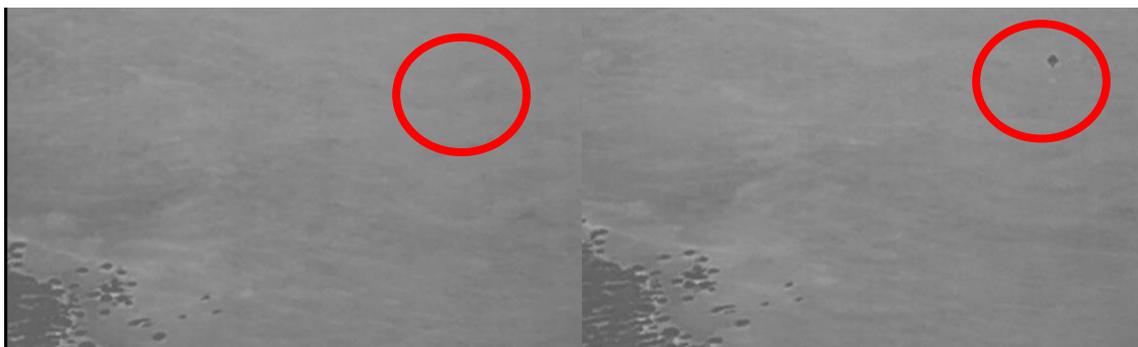


図-4 2020/10/18 赤外線カメラでの潜水前後の撮影様子 図-9 と同じ場所を撮影
左：潜水中、右：潜水後のカワウ赤丸は対応した場所を示す



図-5 2020/10/18 ノーマルカメラでの潜水前後の撮影様子 図-4 と同じ場所を撮影
左：潜水中、右：潜水後のカワウ。赤丸は対応した場所を示す

図-4 より、赤外線カメラで撮影した画像では、潜水中の個体は確認することができなかったが、カワウが水面に上がった直後から確認できた。図-5 より、ノーマルカメラで図-8 と同じ場所撮影した画像では、河川の濁度の影響で潜水時の確認は出来なかったが、浮上して河川に浮いている状態のカワウ（着水状態と）は確認することが可能であった。

iii) 赤外線カメラとノーマルカメラのカウント精度比較

次に、赤外線カメラとノーマルカメラを用いてカウントしたカワウの飛来数結果を図-6 に示す。

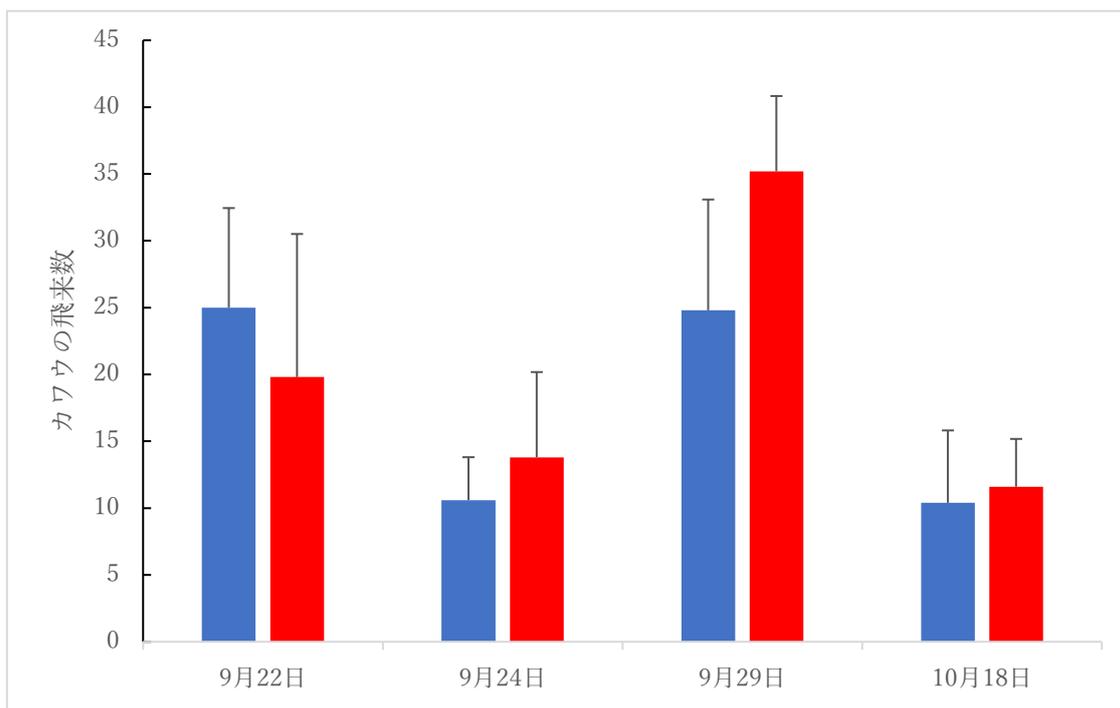


図-6 赤外線カメラとノーマルカメラの画像からそれぞれカウントしたカワウの平均飛来数

バーは標準偏差を表す。青：ノーマルカメラの画像を用いた飛来数、赤：赤外線カメラの画像を用いた飛来数

GLMM の結果、カメラの種類の違いは、カワウの飛来数に有意な影響を与えていなかった (P=n. s.)。

4) 考察

赤外線カメラは、物体に対する赤外線の反射と放射を利用して検知していることから (椎原 2017)、物体の表面温度を検知している。図-4 の結果より、潜水しているカワウは水につかっているため、赤外線カメラでは確認ができなかったと考えられる。しかし、図-4 より水面に浮上するとカワウを赤外線カメラでも確認できることから、水中にさえいなければ、たとえカワウの羽毛が水にぬれていても、赤外線カメラでカワウを視認することができるようだ。しかし、図-3 の青色の円を見ると、水面に着水している個体が赤外線カメラでは確認できていない。しかし、図-3 の青丸、図-5 を見てわかる通り、ノーマルカメラであれば、着水時も水面に浮上した場合でもカワウを確認することが可能であった。また、赤外線カメラを用いた映像からは、カワウとサギ類を区別することは困難であり、ノーマルカメラを用いた映像では、区別が可能であることが分かった (図-3)。よって、カワウの飛来数調査には、赤外線カメラよりノーマルカメラを使用した方が、サギ類などの錯誤カウントや着水時においてカウントレスの可能性が低いため、精度よくカワウの飛来数調査が可能と

考えられた。

赤外線カメラとノーマルカメラで撮影された映像を用いてカワウの飛来数をカウントしたところ、カメラの違いは、飛来数調査に有意な影響は与えていなかった（図-6）。赤外線カメラを用いた撮影では、カワウとサギの分類が困難なため、羽数を過大評価する可能性があり、一方、着水している個体を見過ごすことで過小評価をしている可能性があり（図-3）、これらの要因が相殺され、ノーマルカメラと赤外線カメラの違いが有意な影響を与えなかったことが示唆される。今回、目視調査との比較を行っていないため、ドローンによるカウント精度が目視より優れているかどうかについては言及できないが、今後、ノーマルカメラと目視の調査結果を比較し、調査精度や費用対効果についても検証を行っていく必要がある。

後述の4（2）の研究ではドローンを利用したカワウの飛来数調査は2020年～2021年に実施した全52回のうち、ドローンによる調査が実施できたのは、全体の46%に相当する24回だった。特に7～8月の夏季は、朝霧の影響を大きく受け、調査ができないことが多かった。一般的にカワウの飛来数調査は、日の出から2時間以内に実施することが望ましいとされていることから（坪井ほか 2017）、ドローンを用いたカワウ飛来数調査は、実施できれば目視調査より死角が少ないため、カウント精度は上がる可能性が高いが、実施できる日が少なくなるというデメリットがある。

ドローンの飛行高度は、本調査では20mで飛行させたが、予備調査の結果、新潟県では、高度4mまで接近して飛行させても忌避行動を見せない個体が確認された（図-2）。カワウは飼育環境下において、単調な周波数の音よりも、天敵の声や人のしゃべり声のように、変化のある音に対して高いストレス応答を示すことが報告されている（山本 2011）。よってドローンの飛行時の音声は、飛行時に発生するプロペラ音が一定の大きさであることから、カワウはストレスを感じにくい音である可能性がある。また、カワウの視覚は、タカのように遠方を見るのに適しておらず、サギのように近くの餌を取るのに適した構造になっているといわれている（White *et al.* 2007）。以上のことから、聴覚的にも、また、視覚的にもカワウにドローンが与える影響は、比較的少ないと考えた。

一方、栃木県においては、予備調査の結果、カワウは高度30mまで近寄ると忌避行動を見せる個体も確認された。2008年に群馬県では都市部に近い環境の2箇所、農村部に近い環境の2箇所の計4箇所の河川に飛来してきたカワウのFIDを測定したところ、都市部に近い環境では農村部と比較してFIDが小さいことが報告されている（Iguchi *et al.* 2015）。栃木県のように普段からドローンを用いてカワウの追い払い等を実施している地域においては、カワウのドローンに対する忌避効果が強く表れている可能性もある。このように、その地域のカワウの人慣れ度によってドローンで忌避するFIDは異なる可能性がある。よって、飛来数調査にドローンを用いる際は、予備調査を行い、ドローンに対するFIDを調べてから本調査を実施することが望ましい。

以上のことから、河川のカワウの飛来数調査においては、サギ類とカワウを識別すること

が困難であることから、ノーマルカメラの利用が推奨される。また、7～8月の夏季においては朝霧などの影響を受けやすい時期は、ドローンの飛行ができない日が多く発生するため、目視調査を併用する必要がある。新潟県では、高度20mから撮影を実施したが、他の地域では高度30メートルで忌避行動を見せるケースも確認されていることから、ドローンを用いた飛来数調査実施する場合は、予備調査でドローンに対するカワウのFIDを調べてから本調査を実施することが望ましい。

2. ドローンを用いた採餌場所におけるカワウの飛来調査モニタリング実証

1) はじめに

カワウの採餌環境の選択については、カワウの胃内容物調査の結果から、採餌魚種に固執することはなく、カワウが採餌する環境下で最も採りやすい魚種を選択していることが示唆されている(亀田ほか 2002; Russel *et al.* 1996; 田中 2010)。よって、放流直後の稚アユのように遊泳力が低く、群れている魚はカワウに狙われやすく、集中的に捕食される可能性が高い(熊田 2013; 井口ら 2008)。実際に、アユの放流時期に行われたカワウの胃内容物分析の結果では高い割合でアユが出現していた(幸田ほか 1994; 水産庁 2003)。しかし、カワウの採餌行動については不明な点が多く、カワウは採餌の際に人目を避ける傾向にあることがその要因としてあげられている(井口ほか 2008)。

明治時代以降、人命、資産、生活の保護の背景から、急速に発展を続けてきた河川整備が生態系を崩壊させており(国交省 1996)、特に人工護岸と河川横断物が魚類の生息域を縮小する要因となっている(豊島 1996; 中村ほか 2012; 辻ほか 2020)。河川横断物上流と下流で種の多様性を比較した研究では、河川横断物上流が有意に種の多様性が少ないことが報告されている(用田ほか 2018)。また、岩手県北上川水系中津川で行われた調査では、全9箇所投網調査を実施したところ、階段式魚道が設置された河川横断物の下流側において、全捕獲量の41%に相当する魚が捕獲されたとの報告がされている(辻ほか 2020)。このように河川横断物が魚類遡上を困難にしており、上下流の魚種多様性にも悪影響を与えている可能性が示唆されている。

遡上魚が河川横断物を通過する際利用する魚道は、対象施設を利用するすべての魚類が遡上できるように施工を行うことと定められている(国交省 2005)。魚道の構造には大きく分けて「プールタイプ」・「水路タイプ」・「開門タイプ」の3つのタイプがあり、それぞれ水理学的特性の差により、分類されている(国交省 2005、表-2)。これに加え近年では、河川幅全体を魚道とする「全面式魚道」も存在する(国交省 2005)。プールタイプの魚道は比較的魚道の長さが短く、勾配を付けて、意図的に流速を付けることで魚類を誘導する(国交省 2005、図-7)。また、このタイプの魚道は、途中に魚類の休息場としてプールが設置してあり、休息場は魚類が遊泳できるように魚類の体高2倍以上の水深を確保するように定められている(国交省 2005)。水路タイプの魚道は、プールタイプの魚道と比較して勾配が緩く、粗粒板や石を利用して河川の流速を弱めることで、魚類の休息場を確保するよ

う定められている（国交省 2005、図-8）。開門タイプは上下流のゲート操作によって、門を操作し魚類を遡上させる（国交省 2005、図-9）。

表-2 魚道のタイプと代表的な魚道形式（国交省 2005）

魚道タイプ	代表的な魚道形式
プールタイプ	階段式
	アイスハーバー式
	パーチカルスロット式
水路タイプ	デニール式・標準型
	デニール式・船通し型
	粗石付き斜路式
	緩勾配配バイパス水路式
開門タイプ	ロック式

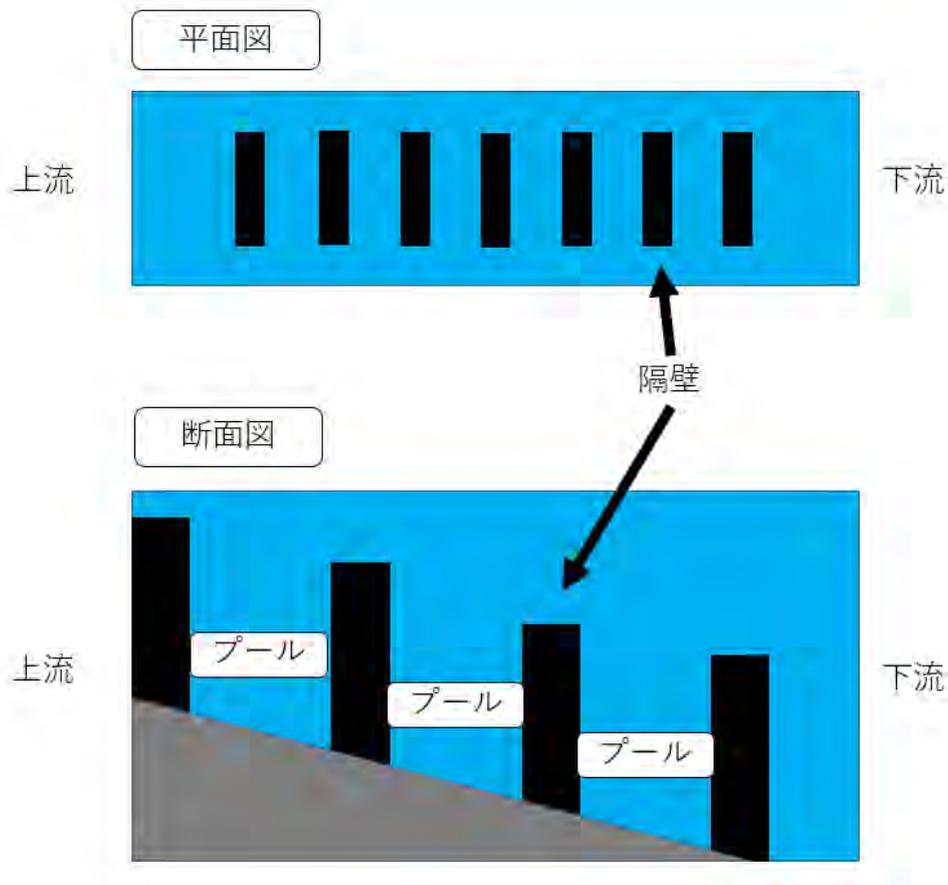


図-7 プールタイプ魚道の構造模式図

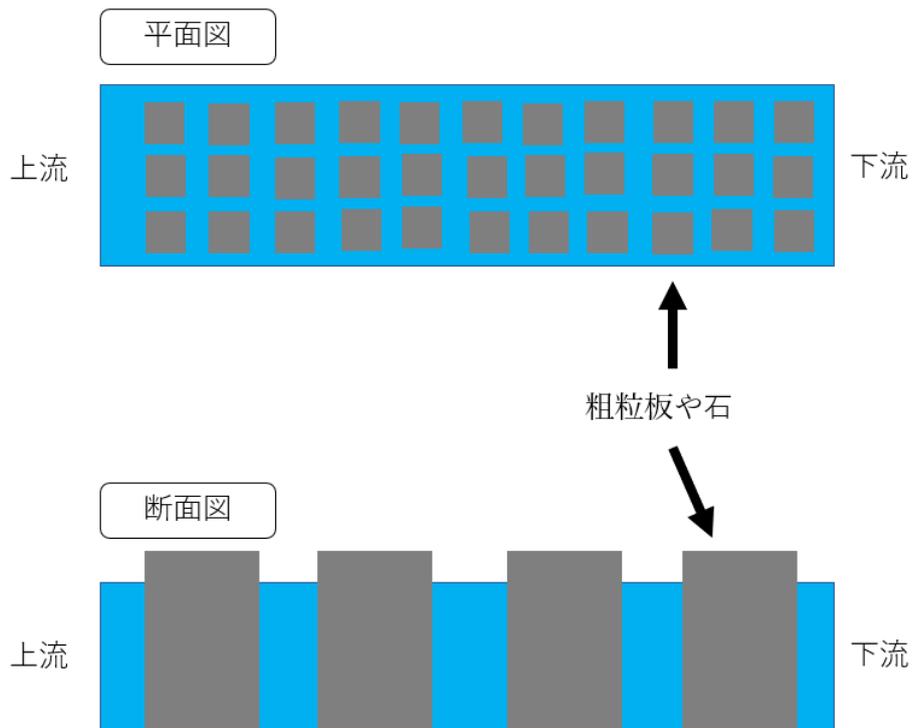


図-8：水路タイプ魚道の構造模式図

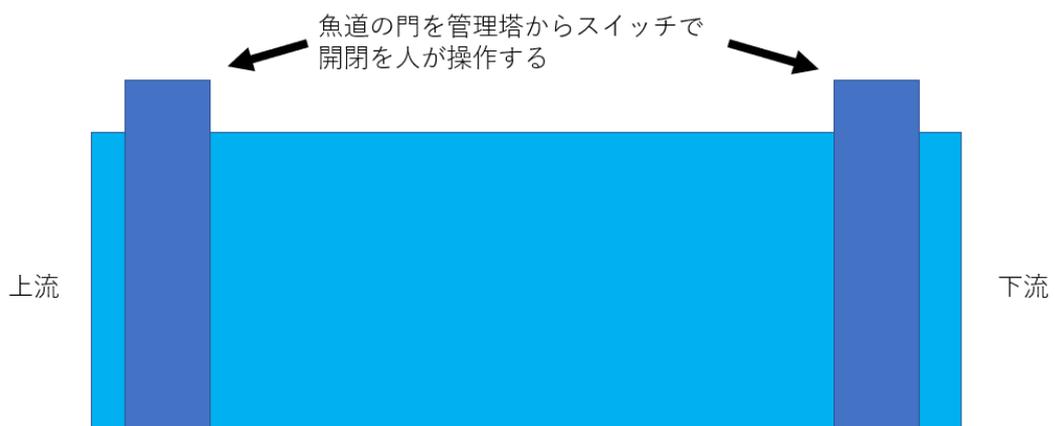


図-9：開門タイプ魚道の構造模式図（断面図）

また、遡上魚は流れに逆らって泳ぐことで上流方向へ遡上する特性があることから（中村1995）、魚道前に意図的に流れを形成するための呼び水と呼ばれる構造を有しているものも

ある（青木ほか 2009；小坂ほか 2013）。この呼び水は、どのタイプの魚道にも設置することが可能であるが、河川横断物によっては設置していないものもある。階段式魚道を模して、魚道前のウグイの行動特性を検証した研究では、全長 1500 cm の内、魚道を 250 cm、堰下流域（後述本研究の下流堰直下にあたる）0～200 cm と定義し、流量 $Q=18(1/s)$ 、呼び水無の条件下で、遡上できなかった約 8 割のウグイが堰下流域へ多数迷入したことが報告されている（小坂ほか 2013）。以上のことから、流量が多く、呼び水の設置されていない魚道は、淡水魚が魚道の入り口を見つけることが出来ず、堰下へ迷い込んでしまい、堰下に魚が滞留し、高密度になる可能性が示唆される。

また、魚道の入り口を見つけられた個体でも、遡上を成功させるとは限らない。階段式魚道を模した構造でアユとオイカワ *Zacco platypus* の遡上特性を検証した実験では、魚道内の流量の増加に伴い流速が速くなることでアユとオイカワの遡上率は増加するが、魚道内の動きにおいてアユは魚が泳ぐ方向（魚向）は定まっておらず、上流方向へ遡上ができていない個体が確認されているほか、アユは流速が速い魚道内の落下流内を遡上に利用しており、疲労が蓄積されやすくなる可能性があることが報告されている（鬼東 2017）。これらのことから、階段式魚道においては、アユは、魚道内に滞留しやすいことが予想される。

カワウの採餌行動圏はねぐら・コロニーから 15 km 以内の範囲で行われることが明らかとなっているが、その採餌場所の選択には不明な点が多い。カワウは、高い潜水能力を有し、河川に生息する魚類より高い速度で遊泳することが知られている（Rouper-Coudert *et al.* 2006；矢田谷 2018）。よって、河川構造物等が河川環境を単純化し、魚の逃げ場をなくしてしまうことで、カワウの採餌を容易にしていることが懸念されている（成末ほか 1999）。多摩川の 60 km に渡る流域の範囲においてカワウの飛来数をカウントした調査では、宿河原堰、二ヶ領上河原堰、大丸用水堰、四谷本宿用水堰、昭和用水堰の計 5 箇所の下流にカワウの群れが飛来したことが報告されている（加藤 2014）。また、別日に同様の調査をしたところ、堰の利用の他、ごみ処理場などからの温排水が川に注ぎ込んでいる場所を、サギ類とともにカワウが利用していることが報告されている（加藤 2014）。当研究室の三浦（2019）によると、カワウの採餌場所を河川横断物上流・下流・その他の 3 つに分類し、飛来数調査を行ったところ、河川横断物下流における遊泳個体が上流・その他に比べ有意に多いことがあきらかになった。このようにカワウは、河川横断物を採餌場所として選択している可能性が示唆されているが、河川横断物内のどのような微環境をカワウが利用しているかは明らかとなっていない。カワウが採餌に選択している環境を詳細に明らかにすることで、カワウの被害防除対策を効率的に実施できることが期待される。

そこで本研究では、ドローンを用いて河川においてカワウが採餌しやすい環境について、特にカワウが利用している可能性が高い河川横断物周辺に着目し、調査することを目的とした。

2) 方法

i) 予備調査