

4) 調査研究成果

(1)-1 ドローンによる威嚇や捕獲による飛来防除技術の開発

要旨

令和2年度は、大型汎用ドローンに刺し網を吊るして捕獲を試みたが、刺し網が樹木に絡まり、その後、刺し網がプロペラに絡んで、墜落してしまった。令和3年度は、営巣樹木に刺し網を張ったが親鳥、雛ともに捕獲には至らなかった。令和4年度は、巣立った直後の雛を水中の刺し網で捕獲する際、刺し網への追い込みにドローンを活用し、ドローンを活用したカワウ捕獲技術の開発に成功した。

1. はじめに

銃器の使用が難しい場所におけるカワウ捕獲技術の開発は、内水面漁業協同組合など関係者からのニーズが非常に高い。本研究では、大型汎用ドローン（DJI 社、Inspire 2）によってカワウを捕獲する技術の開発を目的とした。

2. 方法

2022年6月21日に実証試験地である栃木県矢板市のため池に形成された繁殖コロニーにおいて、大型汎用ドローン（DJI 社、Inspire2）を用い、樹上で営巣するカワウの成長および雛の捕獲を試みた。8mのアユ用の釣り竿の先端2本を取り除き、5.8mの長さの棒とし、目合い10cmの刺し網を吊るした（図1）。なお、実施に際しては、カワウの捕獲許可（矢板市）を取得した上で行い、全ての現地調査を鬼怒川漁業協同組合と協働で行った。

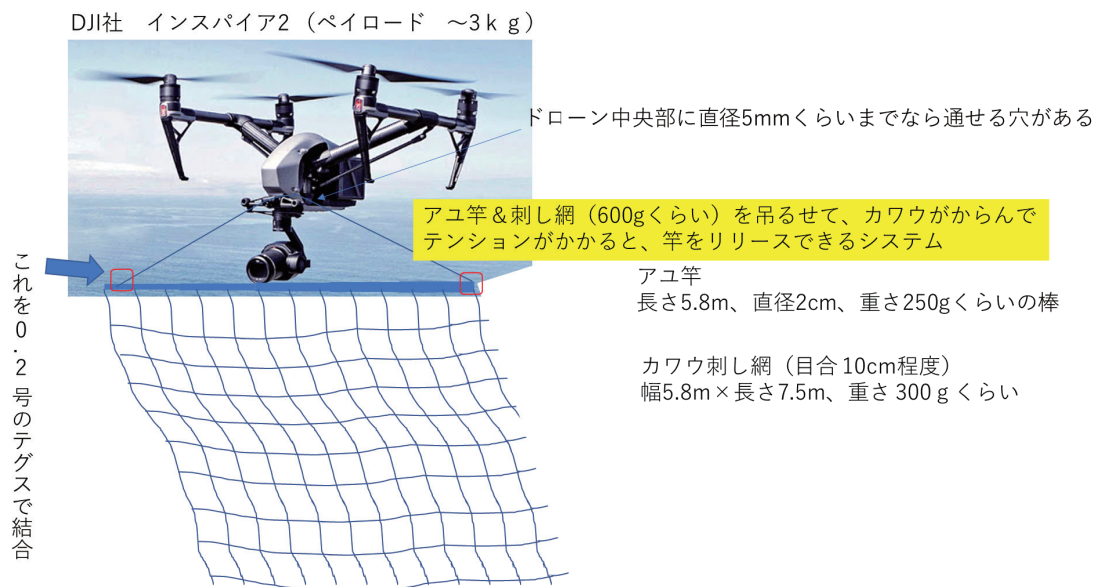


図1. カワウを上空から追い込む仕組み

3. 結果と考察

水中刺し網を用いたカワウ捕獲の際、刺し網を吊るしたドローンを、巣立った直後の雛を追いつめるために活用した (図2、3)。その結果、1羽の捕獲に成功した (図4)。



図 2. 刺し網を運ぶドローンの離陸



図 3. 2022 年 6 月 21 日に行ったカワウ捕獲作戦



図 4. ドローンによる空中刺し網でカワウを追いつめ、水中刺し網での捕獲に成功した

4. 成果の公表

なし

坪井潤一（水産技術研究所）、山本麻希（長岡技術科学大学）、三栖誠司（全国内水面漁業協同組合連合会）

(1)-2 赤外線カメラを用いたコロニーおよび漁場でのモニタリング

技術の開発及び効果分析

要旨

ドローンを用いたカワウのねぐら・コロニーにおけるカウント手法の確立と、目視と赤外線カメラによるカウント、画像処理を用いた自動カウントと手動カウントを比較し、ドローンによるカワウカウント利用の有効性について検討を行った。

カワウのねぐら・コロニーに合わせて、使用するドローンの機種と、撮影するカメラの設定や撮影方向を変えることで、多くの条件のねぐら・コロニーにおいてカウントが可能であると示唆された。また、カワウだけが繁殖を行うねぐら・コロニーでは、赤外線カメラ搭載ドローンで日没 30 分後以降に撮影することでカウントができることが示唆された。一方、カワウがサギ類と同居するねぐら・コロニーにおいては、日没直後から 20 分後までにノーマルカメラの撮影でサギの個体数カウントを行い、日没 30 分後に赤外線カメラで撮影し、カワウとサギ類全体のカウント数からサギ類の個体数を引くことでカウントができる可能性が示唆された。

結果より得られた、ドローンを用いた手法の利点と欠点を考慮し、様々なねぐら・コロニーに適したカウント手法選択ができるフローチャートを作成した。新潟県内のねぐら・コロニーに当てはめて、手動カウントとドローンによるカウントの費用を試算したところ、ドローンを用いた方が年間で約 25 万円の予算削減が見込め、約 5 年の調査継続で、ドローンの本体を購入する費用と等しい金額を削減することが可能ということがわかった。また、調査にかかる時間は年間で約 102 時間削減できることが示唆された。このように本研究のドローンを用いたカウント調査手法を応用することで、カワウのねぐら・コロニー調査の予算と労働力を確実に削減できること示された。

また、漁場におけるカワウの飛来調査において、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、飛来数調査を行った。調査の結果、カワウは、横断物以外の環境に比べ河川横断物周辺を有意に選択して採餌を行っており、特に、横断物内の魚道を有意に選択していることが明らかとなった。日本に最も多い魚道の構造であるプールタイプの階段式魚道は魚道内でアユが疲弊し、遡上の妨げとなっていることが示唆されており、魚道内で群れている魚種が狙われやすいことから、カワウが採餌しやすい環境を創出している可能性が示唆された。

1. はじめに

ねぐら・コロニー調査は、環境省が事務局を務める各地域の広域協議会によって実施時

期は前後するが、主に繁殖開始となる春（3～5月）、繁殖後雛が巣立ちを迎えた後の夏（7月）、ねぐら・コロニーの移動が起こる冬（11～12月）の年3回ねぐら・コロニーにおける生息調査を行うことが基本となっている（環境省 2013）。ねぐら・コロニー調査の特性上、1日1箇所の調査しか実施できないうえ、ねぐら・コロニーを観察できる地点まで険しい道に行く必要があるケースや、ねぐら・コロニーによっては、近づけず観察できない場所も存在する。このようにねぐら・コロニーにおける生息調査は、労働力、拘束時間の面で多くの課題を抱えている。

現在、機械学習や画像処理に関する技術が発展し、画像に写っているヒトや車両などを、自動的にカウントする技術が確立している（Nassim *et al.* 2017；安岡ら 2018）。これらの画像処理技術を野生動物の自動カウントに応用する研究も始まっている（小川ら 2019）。カワウにおける生息個体数のカウント調査が抱える問題解決のため、ドローンによる撮影技術と画像処理によって、個体数カウントを自動化する技術を応用することで、調査に必要な時間や労働力を減らし、ランニングコストを押さえて低予算化につなげることが期待できる。

被害を与えるカワウについては、「カワウ被害対策強化の考え方」（環境省；農林水産省 2014）に基づき、R5 年度までに H25 年時の飛来数から半減させるという方向で現在、カワウ対策が進められている。カワウは採餌の際に人目を避ける傾向にあり（井口ほか 2008）、採餌行動については不明な点も多い。一般にカワウは夜間、ねぐら・コロニーで集団で休息し、日の出から2時間以内に最も採餌が盛んになる。その後、近場で休息を行い日が落ちる前にねぐら・コロニーに帰巢する（環境省 2013）。行動範囲は広域にわたり、GPS を装着した行動調査から、最大で 60 km の移動を行った例もあるが、一般には、ねぐら・コロニーから 2～11 km の範囲に 9 割のポイントが含まれるとの報告がある（バードリサーチ 2009、日野・石田 2012）、新潟県においては、平均移動距離 14.9 ± 3.7 km（三浦 2019）飛来することが分かっている。また、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、岸・徳原 2012、辻ほか 2020）。カワウの採餌能力は非常に高く、河川を利用する魚類より速い速度で遊泳するため（Roupert-Coudert *et al.* 2006、矢田谷 2018）、河川構造物の単純化が魚の隠れ場所を奪い、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）。2018 年度の水産庁事業で、ドローンを用いてカワウの採餌行動調査を行ったところ、河川横断物の上流、下流、横断物以外の河川での飛来状況を調べたところ、河川横断物下流での遊泳個体が有意に多い事が明らかとなった。（三浦 2019）。このようにドローンを用いることでこれまで観察しにくかったカワウの採餌行動を効率的に把握できる可能性がでてきた。

しかし、河川においてドローンのノーマルカメラ、赤外線カメラを用いたカワウの飛来数調査に対する手法の有効性については、未だ検証されていない。カワウの採餌場所で

も、カモ類やサギ類といった鳥類も一緒に採餌活動を行っているため、赤外線カメラを用いてカウントをする場合、これらの鳥種の識別が問題となる。一般的にカワウは早朝 2 時間以内によく採餌行動を行うことから（環境省 2013）、飛来数調査は日の出 30 分前から行うことが推奨されている（坪井ほか 2017）。よって、飛来数調査開始時の照度はノーマルカメラで撮影可能な限界の明るさである 10 Lux 以下の可能性がある。また、河川の飛来数調査において、ノーマルカメラでカワウとサギ類を区別することが可能なのか、さらに、潜水直後のカワウが赤外線カメラで検出可能かについても、検証は行われていない。

そこで本研究では、1) ねぐら・コロニーにおけるカワウ個体数カウントへのドローン利用の検証と 2) 漁場におけるドローンを用いた飛来数調査を実施した。1) では、①目視によるカウントとドローンによるカウント数の比較、②ドローンを用いて撮影されたカワウのねぐら・コロニーの合成画像における自動カウントアプリの有効性の検証、そして、③ドローンを用いたカワウのねぐら・コロニーカウントの有効性と費用対効果について考察を行った。2) では、ドローンに搭載した赤外線カメラとノーマルカメラを用いたカワウの飛来数調査の有効性について検証を行った。

2.方法

1) ねぐら・コロニーにおけるカワウ個体数カウントへのドローン利用の検証

本試験は新潟県で 6 か所（図 1）の他、栃木県のコリーナ矢板、群馬県の高津戸にあるカワウのねぐら・コロニーにおいて行った。

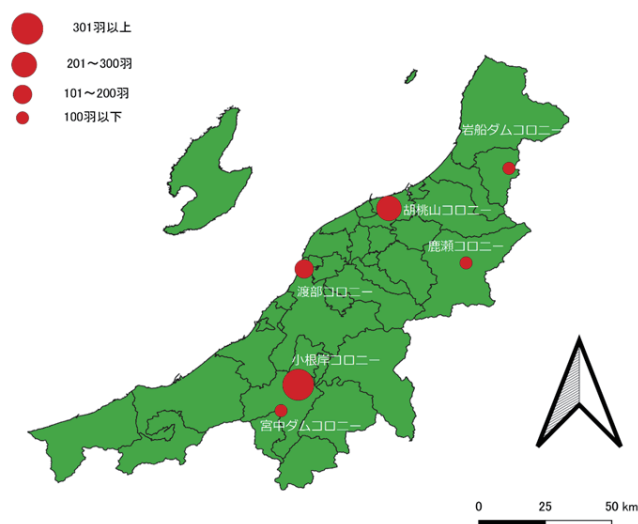


図 1. 新潟県内の調査地

本試験で使用した機材を表 1 にまとめる。

表 1. 試験で使用した機材と仕様の比較

	Phantom4 Pro	Inspire1 Zenmuse XT	Mavic2 Enterprise Dual	
発売年	2016	2015	2019	
重量[g]	1,388	2,845	899	
対角寸法[mm]	350	581	354	
最大速度[km/h]	72	79	72	
カメラ	カラー	赤外線	カラー	赤外線
水平視野角[°]	84	17	85	57
ISO レンジ	100 ~ 12,800		100 ~ 1,600	
有効画素数	20M		12M	
画素ピッチ[μm]		17		12

2019 年の試験の結果から、①Phantom4 Pro と Mavic2 Enterprise Dual のノーマルカメラは照度 0 Lux になると、カワウの判別ができなかったが、照度 10 Lux 程度までなら判別することができる。②Phantom4 のノーマルカメラを用いた撮影においては、ISO を 12,800、絞り値を F2.8、シャッタースピードを 8 秒とする設定条件が適していること、③Mavic2 Enterprise Dual と Inspire1 の赤外線カメラによる撮影では、どちらもカワウを白いポイントでとらえることができたが、個体数をカウントする観点から、解像度のより高い Inspire1 が適していることがすでに明らかになっている。

① 目視と赤外線カメラ搭載ドローンによるカウント

目視によるカウントと赤外線カメラを搭載したドローンを用いたカウントの比較検証を行った。目視調査では、双眼鏡（30×8E II、株式会社ニコン）とカウンターを用いた。ドローンを用いた調査では、Inspire1（DJI 社）と赤外線カメラ（Zenmuse XT、FLIR Systems, Inc）を用いた。

目視調査では、日の入り予定時刻の 2 時間から 1 時間前に、ねぐら・コロニー全体を見渡すことができる場所で待機し、すでにねぐら・コロニーに戻ってきているカワウの数をカウントし、記録した。その後、順次営巣地に戻ってきたカワウをカウントし、目視が不可能な暗さになる日没後おおよそ 30 分まで調査を継続した。

ドローンを用いた赤外線カメラの撮影は、日の入り時刻でドローンを飛行させ、ねぐら・コロニー全体を複数枚の画像に分けて撮影した。撮影後に画像を合成するため、撮影する際の撮影場所のカバー率（前後の写真の被り率）は 5 割以上とした。日の入り時刻から 30 分後にも

同様にドローンを飛行させ、ねぐら・コロニー全体を複数枚の画像に分けて撮影した。撮影後はパノラマ写真合成ソフトウェアである Microsoft Image Composite Editor ver.2.0.3.0

(Microsoft Corporation、Washington of US) を用いて画像を合成し、計数フリーソフトウェア (かちかちかうんたー、 ver. 2.71、 GT、 <https://www.vector.co.jp/soft/win95/art/se347447.html?ds>) を用いて、白いポイントで表された、円状もしくは楕円状のものを 1 羽としてマークし、手動でカワウのカウントを行った (図 2-3)。

調査は 2020 年 6 月から 12 月の間に、小根岸コロニーで 3 回、宮中ダムコロニーで 4 回、渡部コロニーで 1 回、鹿瀬コロニーで 1 回、胡桃山コロニーで 1 回、岩船ダムコロニーで 1 回、コリーナ矢板コロニーで 5 回、高津戸コロニーで 5 回の合計 21 回実施した。

目視によるカウント数とドローンをを用いた日没 30 分後のカウント数の差を調べるため、同日、同時刻、同コロニーにおいてカウントされた、目視による個体数と赤外線ドローンによる個体数を対応のあるペアとして、ウィルコクソンの符号付順位和検定を行った。統計解析には R ver.4.0.3 (Ross Ihaka and Robert Clifford Gentleman、 <https://www.r-project.org/>) を用いた。

日没直後のカウント数とドローンをを用いた日没 30 分後のカウント数について、カワウの個体数に差があるかを調べるため、同日、同コロニー、同一のドローンによってカウントされた、日没直後の個体数と日没 30 分後の個体数を対応のあるペアとして、ウィルコクソンの符号付順位和検定を行った。統計解析には R ver.4.0.3 (Ross Ihaka and Robert Clifford Gentleman、 <https://www.r-project.org/>) を用いた。

② ねぐら・コロニーの合成画像における自動カウントアプリの有効性の検証

自動カウントアプリは、共同研究者である長岡工業高等専門学校の上村健二氏が MATLAB (The MathWorks. Inc、 Massachusetts of U.S.) を用いて作成したアプリケーション (以下、アプリ) を用いた。自動カウントアプリは、エッジ検出と呼ばれる、画素間のスペクトル値の差を利用してカワウの識別を行う。

画像処理の手順は、①読み込んだ画像のエッジを検出し、モルフォロジーのクロージング処理 (検出したエッジを膨張させ、その後収縮させることで画像内のノイズを除去する処理) を行い、エッジを連続した線に変換する (図 2)。②その後、穴埋め処理を行い、エッジの内側を塗りつぶす。③塗りつぶしたエッジ一つ一つにラベル付けを行いカウントする (図 3)。④最後にそれぞれのラベルで、サイズが大きいまたは小さいもの、明るさが周囲より暗いものを除去しカウント結果から差し引く。⑤検出されたものを現画像に表示する。このような処理を行うことで、アプリによる自動カウントを行った。

自動カウントには、日没直後と日没 30 分後の画像を用いた。小根岸コロニーで撮影した画像が 6 枚、宮中ダムコロニーで撮影した画像が 8 枚、渡部コロニーで撮影した画像が 2 枚、鹿瀬コロニーで撮影した画像が 2 枚、胡桃山コロニーで撮影した画像が 2 枚、岩船ダムで撮影し

た画像が2枚、コリーナ矢板コロニーで撮影した画像が9枚、高津戸ダムコロニーで撮影した画像が9枚の、全40枚を用いた。赤外線カメラで得られた合成画像を、アプリで展開し、画像処理を行い、カワウの個体数の自動カウントを行った。

自動カウントのデータと手動カウントのデータに差異があるかどうかを調べるため、同一の画像から得られた自動カウントによる個体数と手動カウントによる個体数を対応のあるペアとして、ウィルコクソン符号付順位和検定を行った。統計解析にはR ver.4.0.3 (Ross Ihaka and Robert Clifford Gentleman) を用いた。

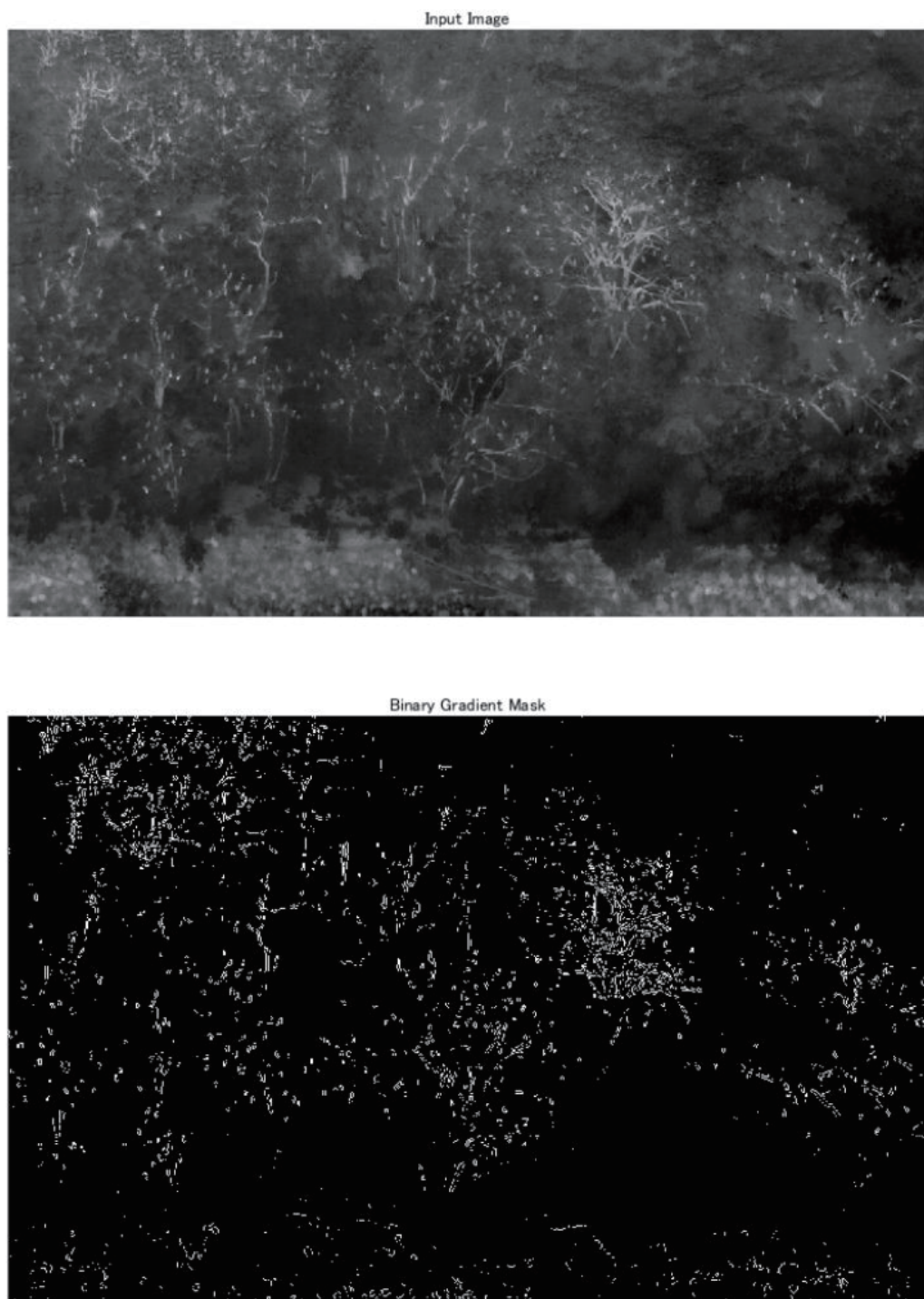


図 2. 元画像（上）をエッジ検出した画像（下）

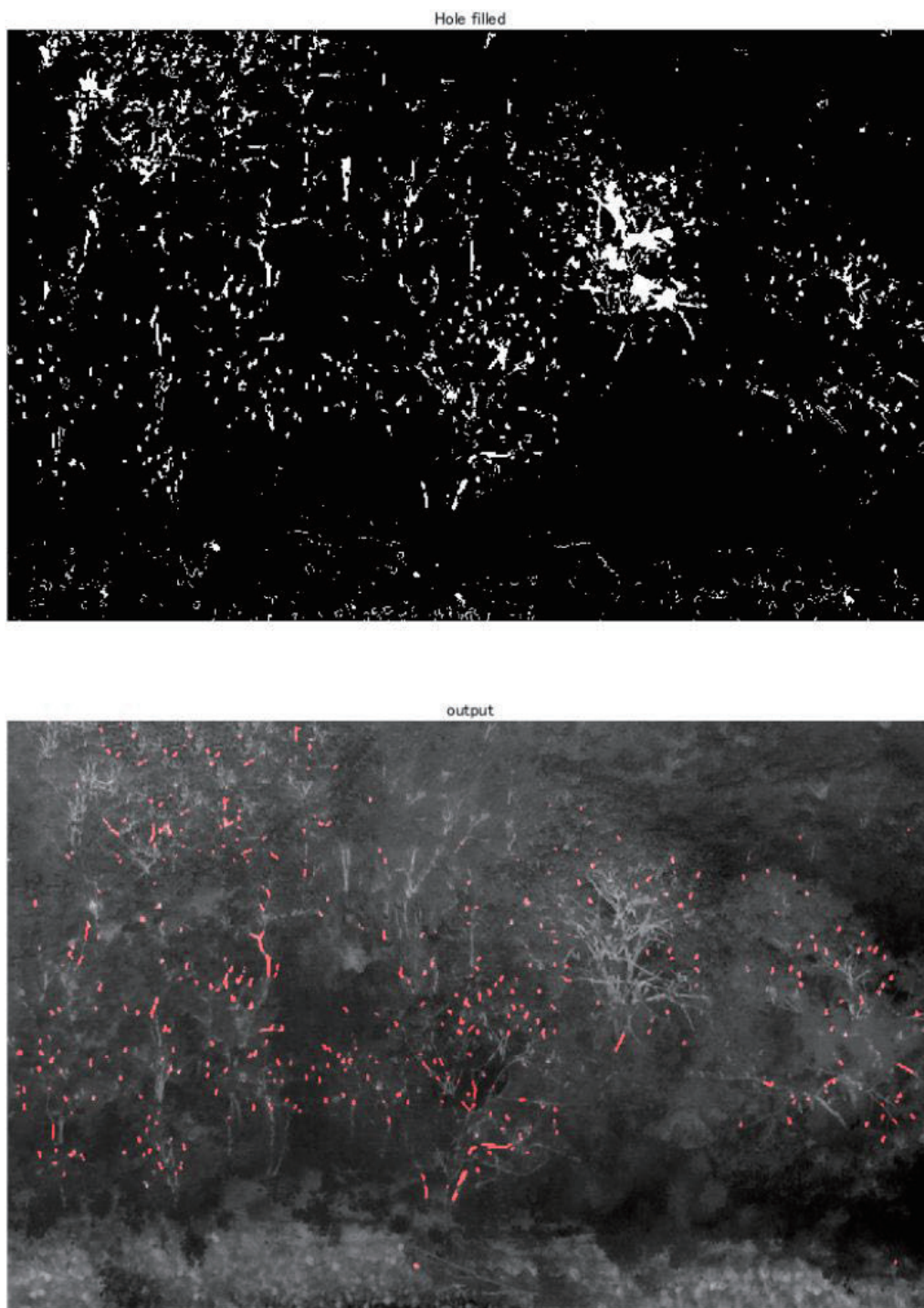


図 3. 穴埋め処理を行い、カウントを行った画像

2) 漁場におけるドローンを用いた飛来数調査

①赤外線カメラを用いた飛来数調査

ノーマルカメラとして PHANTOM 4 pro (DJI 社) に標準で搭載されているカメラを、赤外線カメラとして Inspire1RAV (DJI 社) に搭載されている ZENMUSE XT (DJI 社、非冷却 Vox マイクロボロメータ、解像度：640×512dpi、14bit、f/1.0 感度 時<50 mK (NedT、DJI 公式サイト)) を使用した。

動物の人慣れの指標の一つである FID (Flight initiation distance) は、人が動物に対して徐々に近づいた際に動物が忌避行動を見せるまでの距離を測定したものであり、数値が小さいほどより人慣れした個体と判断される (Anders Pape Møller *et al.* 2015)。カワウのドローンに対する FID を調査するため、カワウの真上、高度 30 m から徐々に降下させ、カワウが忌避行動を見せるまでの距離を測定した。FID の予備調査は 2020 年 4～5 月に信濃川と魚野川で実施した。2021 年は各調査県 (新潟県、群馬県、栃木県) で各エリア、3 個体を対象として実施した。

その結果、新潟の調査では、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いた (図 4) が、他の 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 4. 高度約 4 m から撮影したカワウ 宮中ダム周辺

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 (図 5、で実施した (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、Inspire1RAV 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。

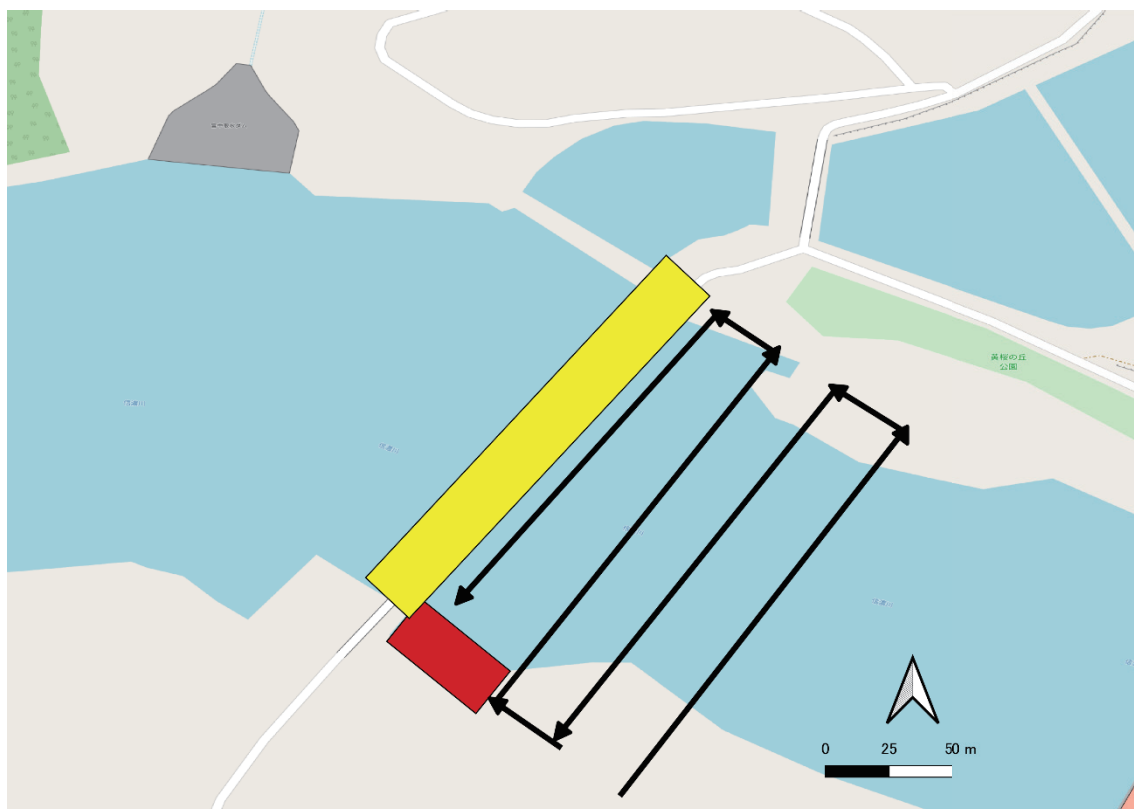


図 5. 調査地宮中ダムとドローンの飛行ルート

赤：魚道の位置、黄色：河川横断物、黒：ドローンの飛行ルート

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、研究室の学生 5 名に 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、「潜水」はカワウが水中に潜っている状態、「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と定義した。

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。②ノーマルカメラを用いた飛来数調査

2020 年は新潟県信濃川及び魚野川で調査を行った。カワウの採餌行は、ねぐら・コロニーから半径 20 km 内で主に行われることから、調査範囲を図-11 のように設置した。この調査範囲内には、2 箇所の河川横断物（十日町市宮中ダム（37.06N、138.69E）と小千谷市妙見堰（37.34N、138.82E））があり、これを調査対象とした。

宮中ダムは上流 400 m 地点にカワウのねぐら・コロニーが形成されている。河川横断物の片側にアユ用、サケマス用、ヨシノボリ類用の計 3 本のプール式魚道が設置されている。妙見堰は、河川横断物の両側にプールタイプの魚道が設置されており、左岸側の魚道はアユ用が 2 本、サケマス用が 1 本、右岸側の魚道はアユ用が 1 本、サケマス用が 1 本の計 5 本設置されている。更に、水位変動に対応するため、魚道内の仕切りが可倒式となっており、魚道内に流れる水量によって、自動で水位を調整する機能が施されている。

5～6 月は河川横断物（2 箇所）と予備調査で選抜した自然護岸（5 箇所）、人工護岸（5 箇所）の調査地点から、1 日 3 箇所（それぞれの項目から 1 箇所をランダムに選抜）の飛来調査を行った。

7 月以降の調査では、本研究の第一目的である、河川横断物周辺のための飛来数調査を行うこととし、調査地を十日町市に宮中ダムと小千谷市に妙見堰の 2 点に絞って実施した。

調査は 5 月～6 月は、5 月 9、19、25 日、6 月 3、5、8、13、16、17 日の合計 9 日、7 月～10 月の調査では、7 月 7、10、20、28、31 日、8 月 4、7、21、25、28 日、9 月 22、23、24、29 日、10 月 7、18 日、合計 16 日実施した。新潟県において通し回遊魚であるアユは 5～6 月に海から河川の上流域を目指して遡上を行い、7～8 月に河川内に定着・成長し、9 月～10 月中旬にかけて川を下った下流域で産卵し、孵化仔魚が海上に流下する（岡地ほか 2020）。また、信濃川と魚野川では、5 月下旬に漁協によるアユの稚魚放流が行われている（桑原 私信）。

カワウは、一般的に日の出から 2 時間以内に最もよく採餌を行う（環境省 2013）とされているため、本調査では、日の出から 2 時間以内に調査が終了するようにルートを設定した。

5～6 月の 3 地点をめぐるセンサスにおいては、実施時間によるバイアスが生じないように、予備調査で設定した自然護岸、人工護岸、河川横断物のそれぞれ 1 箇所をランダムに選択し、日の出から 2 時間以内に調査を終えるようにした。

自然護岸、人工護岸の各調査地点では、予備調査時にカワウの採餌が確認されたポイントを中心として、上下流に 300 m ずつの範囲を調査エリアとした。ノーマルカメラを搭載したドローン（PHANTOM 4 pro、DJI 社）を用いて高度 20 m、速度 10 km/h で同エリアの撮影を行った。各ポイントにおいても川の上流から下流へ向かうルートと下流から上流へ向かうルートを設定して毎回交互にルートを選択し、調査を行った。1 章の予備調査の結果から、新潟県信濃川及び魚野川において、高度 20 m まで近づいても忌避行動を見せた個体が確認されなかったため撮影高度は、20 m に設定した。

7 月以降の調査については、新潟県信濃川流域に設置されている、宮中ダムと妙見堰で調

査を行った。調査範囲は河川横断物から上下流 300 m ずつとし、ノーマルカメラを搭載したドローン（PHANTOM 4 pro、DJI 社）を用いて高度 20 m、速度 10 km/h の条件で撮影を行った。1 日 1 箇所の河川横断物周辺を調査し、調査時間のバイアスを考慮して川の上流から下流へ向かうルートと下流から上流へ向かうルートの両方を設定して調査を実施した。調査時間は日の出から 2 時間以内に終わるように実施した。

撮影された映像からカワウの採餌個体（着水もしくは潜水している個体数）と休息個体に分けてカウントを行った。

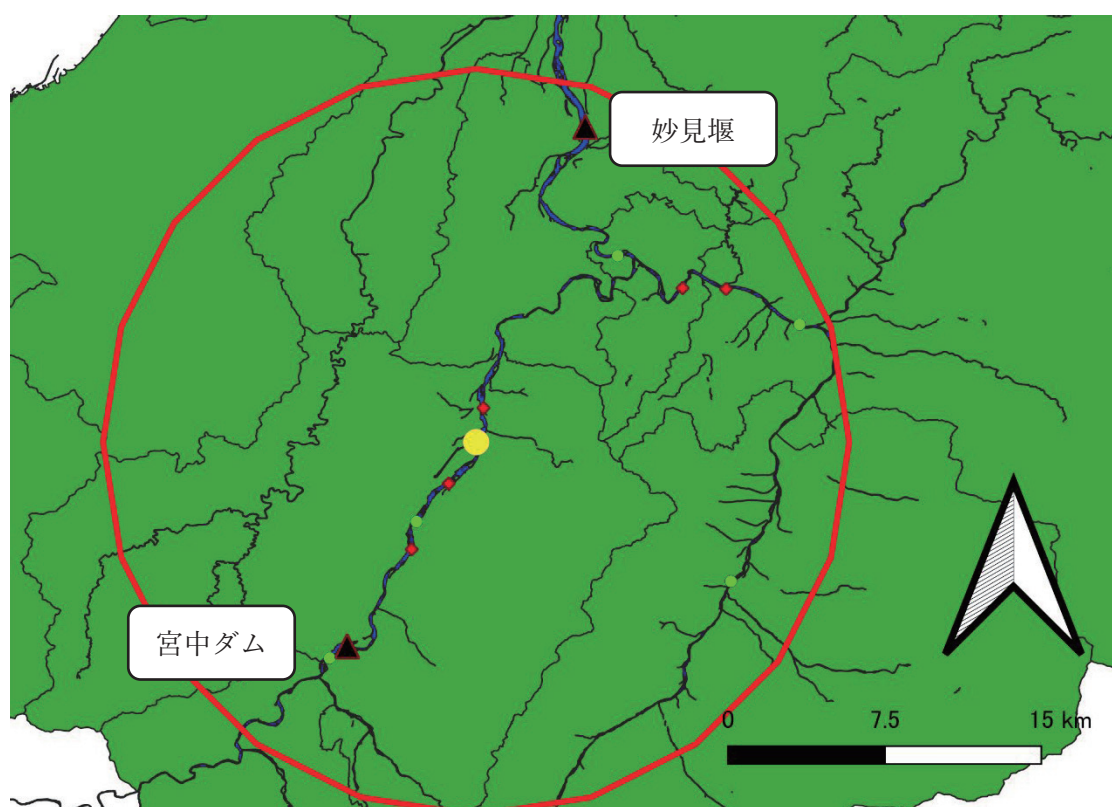


図 6. 本調査地（2020 年）新潟県信濃川及び魚野川

黄色：小根岸コロニー、黒：河川横断物、赤：人工護岸の調査地点、緑：自然護岸の調査地点
赤い円は小根岸コロニーから半径 20 km の範囲を示す。

2021 年は、河川横断物に注目し、ファインスケールで採餌環境を特定するため、河川横断物を中心に上下流 1000 m を調査範囲とした。

調査地は、新潟県信濃川宮中ダム（37.06N、138.69E、図 6）、栃木県鬼怒川岡本頭首工（36.60N、139.96E、図 7）、栃木県鬼怒川勝瓜頭首工（36.46N、139.96E、図 7）、群馬県渡良瀬川太田頭首工（36.38N、139.35E、図 8）の計 4 箇所を調査地とした。2021 年は妙見堰付近で重機を用いた工事が行われており人の出入りが激しかったため、調査地から除外した。

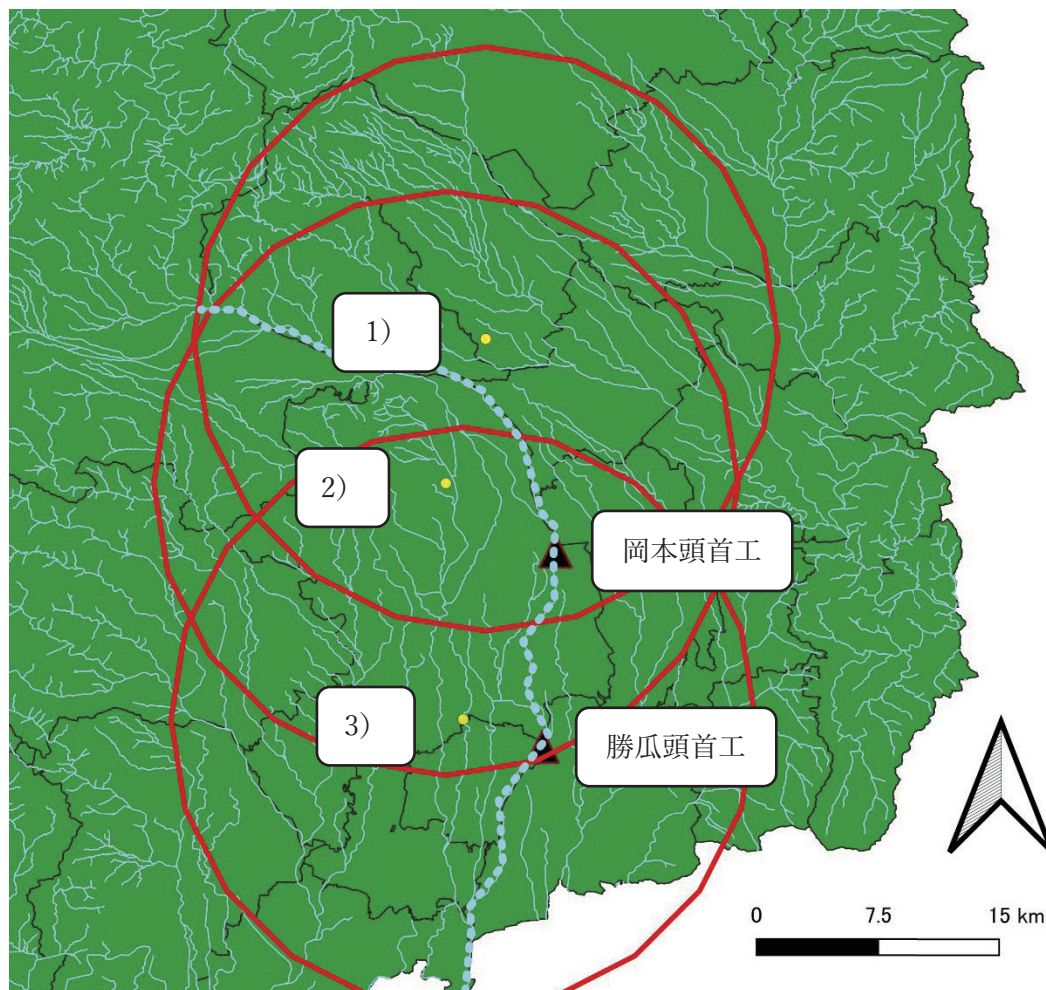


図 7. 栃木県の調査地とカワウのねぐら・コロニー

黄色:カワウのねぐら・コロニーの位置、1): コリーナ矢板コロニー、2): 太陽が丘団地コロニー、3): インターン調整池コロニー、黒: 河川横断物

青破線: 鬼怒川本流赤い円は各カワウのねぐら・コロニーから半径 20 km の範囲を示す。



図 8. 群馬県の調査地とカワウのねぐら・コロニー

黄色:高津戸カワウのねぐら・コロニーの位置、黒:河川横断物

青破線:渡良瀬川本流 赤い円は高津戸カワウ・ねぐらコロニーから半径 20 km の範囲を示す。

栃木県の岡本頭首工は片側 1 箇所水路タイプの魚道があり、カワウの飛来防除対策として魚道上流側にテグスが設置してあった。また、勝瓜頭首工は水路タイプの全面式魚道を有している。群馬県の太田頭首工は片側に 1 本のプールタイプの魚道が設置されている。更に、他の河川横断物と違って魚道の呼び水水路が設計されていない。また、上流側の魚道出入口の脇に農業用水を確保するための取水口が設置されている。栃木県は県内に 14 箇所のカワウのねぐらコロニーが確認されており、調査対象地となる鬼怒川周辺では、コリーナ矢板（2021 年 7 月時点 303 羽）、太陽が丘団地（2021 年 7 月時点 118 羽）、インターパーク調整池（2021 年 7 月時点 34 羽）、が確認されている。群馬県は県内に 14 箇所のねぐら・コロニーが確認されており、調査対象地となる渡良瀬川周辺では高津戸コロニー（2021 年 7 月時点 243 羽）が確認されている。両県ともに内陸県のため内水面漁業が盛んであり、カワウによるアユの被害を受けている。

調査日は 5～10 月の間に新潟県宮中ダムは 5 月 20、21 日、9 月 1、5、8 日、10 月 18、19 日の合計 7 日、栃木県岡本頭首工は 6 月 12、13 日、8 月 23、24、25 日、10 月 6、7、8 日の合計 8 日、栃木県勝瓜頭首工は 7 月 19、20、21 日の計 3 日、群馬県太田頭首工は 7 月 26、

27、28 日、8 月 26、27、28 日、9 月 21、22、23 日合計 9 日間行った。

2020 年の調査と同様に高度 20 m、速度 10 km/h でノーマルカメラにより撮影を行った。1 日 1 箇所の河川横断物周辺を調査し、調査時間のバイアスを考慮して川の上流から下流へ向かうルートと下流から上流へ向かうルートの両方を設定して調査を実施した。調査時間は日の出から 2 時間以内に終わるように実施した（図 9）。

栃木県での予備調査でドローンに対する FID の距離が 30 m の個体を確認されたが残りの 2 個体が FID が 20 m より短い距離であったため本調査においては 20 m で調査を行った。

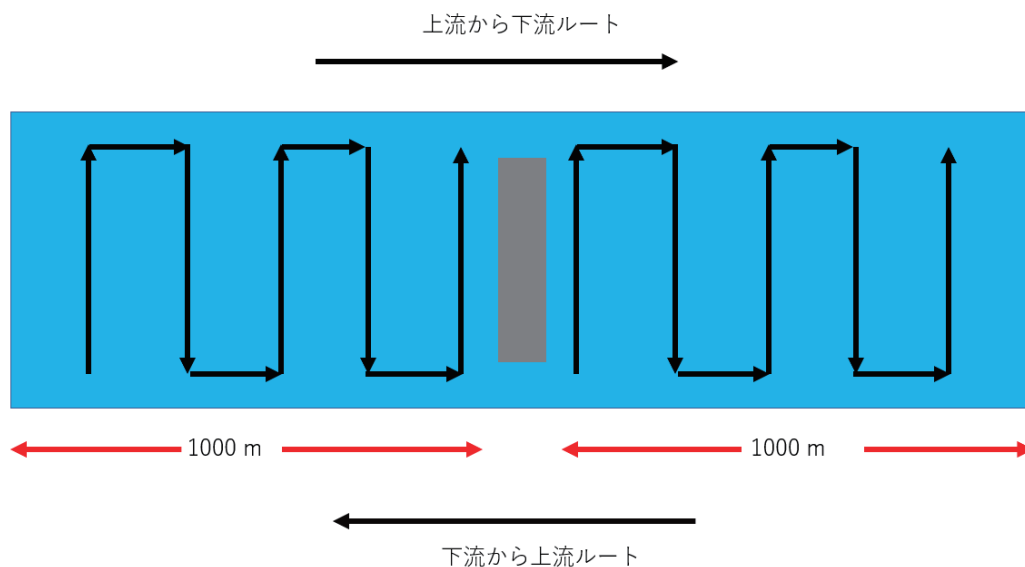


図 9. 2021 年ドローン飛行ルート 灰色は河川横断物を示す。

2020 年と 2021 年のカワウが選択した採餌環境について、図 10 のように区分した。本調査では 2020 年と 2021 年で、ドローンで撮影された範囲が異なる。2020 年は河川横断物を中心に上下流 150 m ずつの範囲を「河川横断物」、河川横断物上下流の 150 m～300 m 地点をそれぞれ「上流」、「下流」、自然環境と人工護岸の調査ポイントから上下流 300 m ずつの範囲を「その他」とした。2021 年は河川横断物を中心に上下流 150 m ずつの範囲を「河川横断物」、河川横断物の上下流 150 m～300 m までの範囲をそれぞれ「上流」、「下流」、河川横断物の上下流 300 m 地点から 1000 m までの範囲を「その他」とした。それぞれの区分で面積が異なるので、単位面積当たりのカワウの飛来数（飛来数は、着水、潜水、休息個体の総和数）を計算した。

河川横断物、上流、下流、その他におけるカワウの採餌場所の選択性について調べるため、GLMM を用いてモデルを構築した。

最適なモデル選択をするため、応答変数を単位面積当たりのカワウ飛来数、説明変数を飛来環境（河川横断物、上流、下流、その他）、コロニーから各調査地点への最短距離、各調査地点から半径 20 km 内のカワウの総個体数、各河川横断物（宮中ダム、妙見堰、勝瓜頭首工、岡本頭首工、太田頭首工）として、ステップワイズ法を用いて ΔAIC が最小となるモデルを選択した。応答変数の誤差分布は、負の二項分布と仮定した。統計解析には、R ver4.1.2 を用い、有意水準は $p < 0.05$ とした。

2020 年の 5～6 月の 10 日間、2021 年の 13 日間の計 23 データを分析に利用した。全調査日数に対して利用データが少ない理由は、雨や朝霧の影響でドローンを飛行させることができず、調査が行えない日があったためである。

7 月以降の調査では、調査地は河川横断物だけを中心に調査を実施したため、その他の環境の調査を行っていないことから、上記解析からデータを除外した。

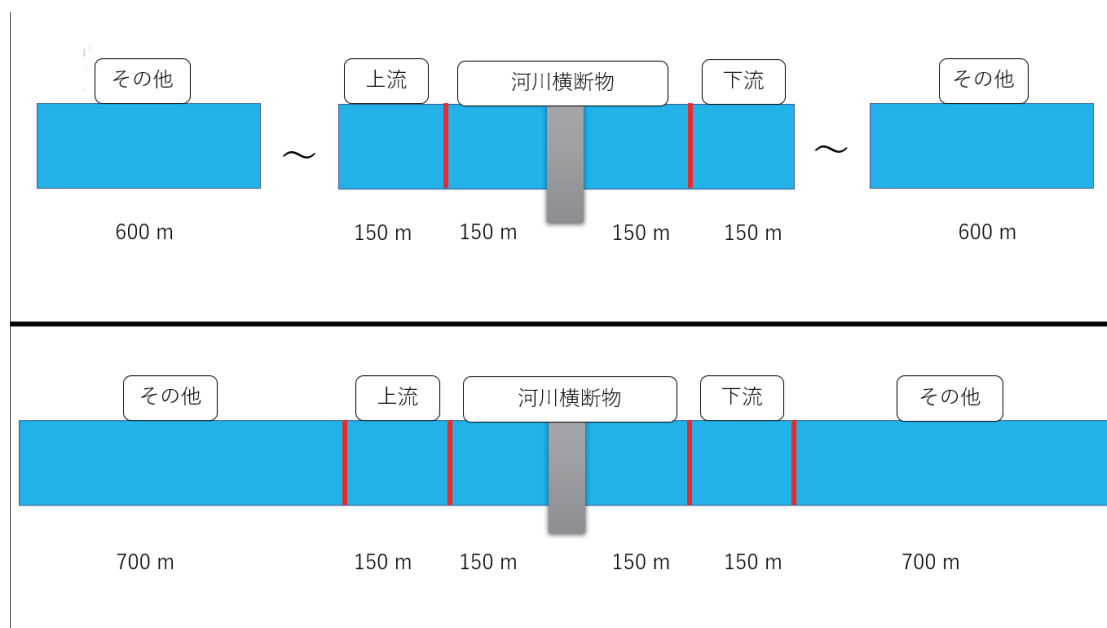


図 10. カワウの採餌エリアの環境区分の模式図 上：2020 年、下：2021 年、2020 年は河川横断物から上下流 300 m、2021 年は河川横断物から上下流 1000 m が調査範囲

河川横断物付近におけるカワウの採餌選択性をファインスケールで調べるため、河川横断物周辺の微環境を図 11 のように区分した。今回、岡本頭首工については、河川横断物の上流にテグスを張っており、飛来防除の影響があるため、解析から除外した。また、勝瓜頭首工については河川横断物周辺でのカワウの飛来が確認されなかった。よって、宮中ダム、妙見堰、太田頭首工 3 つの横断物のデータを利用して、ファインスケールの採餌選択性に関する分析を行った。

本分析では、河川横断物から魚道の入り口までのエリアを「下流堰直下」と定義した。各

河川横断物で魚道入り口までの長さは異なる。宮中ダムは河川横断物から魚道入り口までの距離が 40 m なので、下流堰直下は 0～40 m、その他下流は 40～150 m の範囲とし、妙見堰は河川横断物から魚道入り口までの距離が最大で 80 m なので、下流堰直下は 0～80 m、その他下流は 80～150 m の範囲とし、太田頭首工は河川横断物から魚道入り口までの距離が 42 m なので、下流堰直下は 0～42 m、その他下流は 42～150 m の範囲とし、その他上流は、すべて 0～150 m の範囲とした。

河川横断物内の微環境におけるカワウの選択性について調べるため、GLM（一般化線形モデル）を用いてモデルを構築した。

宮中ダム（n=13）、妙見堰（n=5）、太田頭首工（n=6）のデータを利用し、応答変数を単位面積当たりのカワウ採餌個体数、説明変数は、河川横断物内の微環境（魚道、堰直下、下流域、上流域）とし、誤差分布を負の二項分布と仮定した。

各統計解析において R ver4.1.2 を利用し、統計の有意水準は $P < 0.05$ とした。

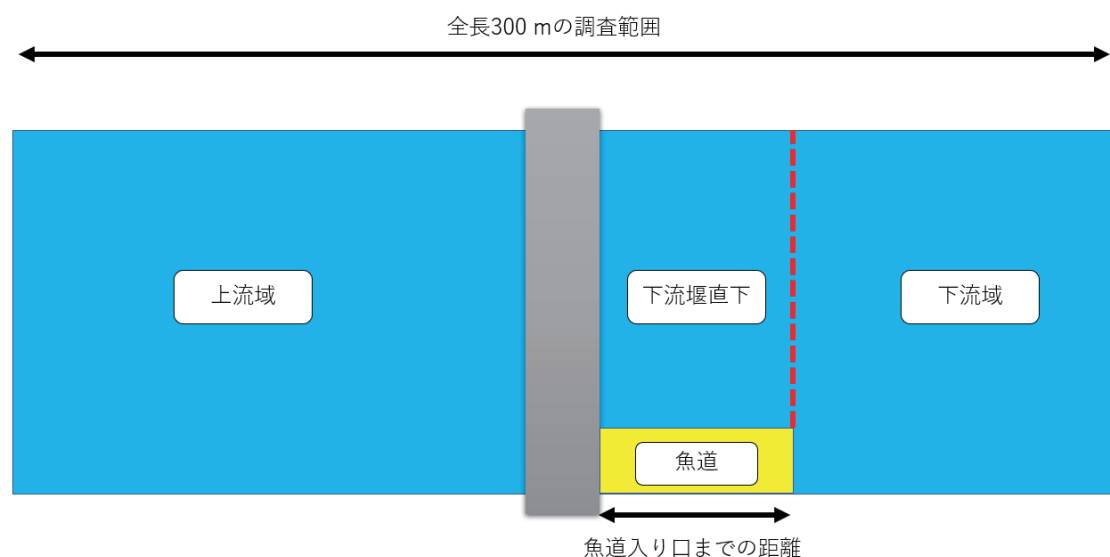


図 11. 河川横断物内の微環境の区分 灰色は河川横断物を示し、黄色は魚道を示す。

2020 年に実施した自然護岸、人工護岸エリアや 2020 年、2021 年の河川横断物から 300 m 以上離れた場所で採餌していた「その他」の自然環境の採餌場所の特徴について分析を行った。その他の環境で採餌していた 21 個体の事例について、岸からの距離と採餌場所の波の有無について分析を行った。

3. 結果と考察

1) ねぐら・コロニーにおけるカワウ個体数カウントへのドローン利用の検証

① 目視と赤外線カメラ搭載ドローンによるカウント

ドローンを用いたカウントは、目視によるカウントに比べて 21 回のうち、16 回 (76.2%) でカウント数が多くなった (図 12、 図 13)。

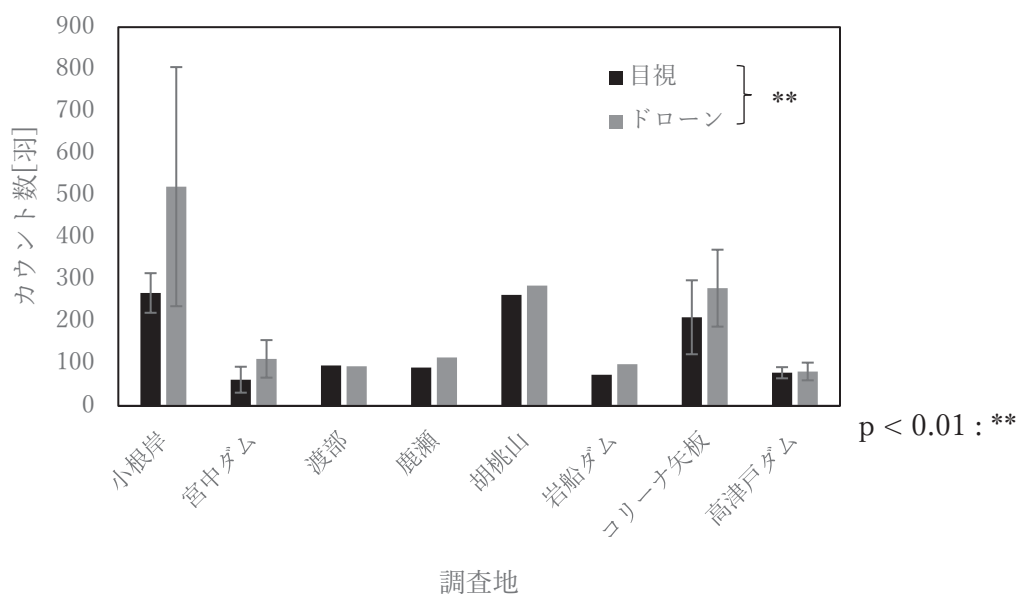


図 12. 調査地ごとの目視カウントとドローンによるカウントの結果

(小根岸；n=3, 宮中ダム；n=4, 渡部；n=1, 鹿瀬；n=1, 胡桃山；n=1, コリーナ矢板；n=5, 高津戸ダム；n=5)

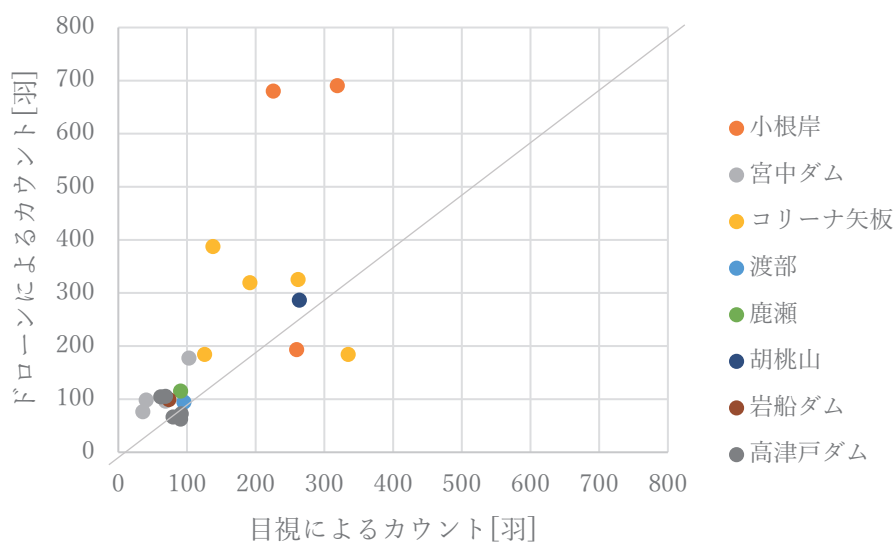


図 13. 目視によるカウントとドローンによるカウントの比較

ドローンによるカウント数と目視によるカウント数の差を比較するため Y=X の

直線を挿入した。(小根岸；n=3, 宮中ダム；n=4, 渡部；n=1, 鹿瀬；n=1, 胡桃山；n=1, コリーナ矢板；n=5, 高津戸ダム；n=5)

ドローンによるカウント数が多かった理由として、目視では視界が遮られて見えなかった個体を検出した可能性が示唆されている (Dominiquee *et al.* 2012)。本調査の撮影においても、目視では観察することができなかった個体を検出したと考えられる。また、取得したデータを何度も見返すことができるため、判別の正確性が上がる可能性と、目視調査よりも広い視野で観察し、時間をかけてカウントできるため、真の個体数に近い可能性が示唆されている (Spaan *et al.* 2019)。本調査でも、ドローンで撮影したほうが、目視によるカウントよりも死角が少ないと考えられ、撮影した画像を何度も確認しながらカウントを行ったため、目視によるカウントよりもドローンを用いたカウントの方が真の個体数に近い可能性がある。

一方、複数の個体がまとまっている場合、その塊を 1 個体として認識してしまう可能性があるという指摘や (Spaan *et al.* 2019)、チンパンジー (*Pan troglodytes*) の巣を上空から撮影した研究では、樹木の中に存在する巣は、葉や枝によって隠れてしまい、検出することが困難であることが報告されている (Bonnin *et al.* 2018)。小根岸コロニーとコリーナ矢板コロニー、高津戸ダムコロニーは、ドローンによるカウント結果より、目視カウントの方が多い場合があった (図 13)。

高津戸ダムコロニーは、樹木が密集しているため、本調査ではコロニー上部から下に向けた撮影を行ったため、葉や枝により樹木下部の個体を検出できず、ドローンによるカウント数が過小評価されたおそれがある (図 13)。

小根岸コロニーとコリーナ矢板コロニー、高津戸コロニーは、カワウがねぐら・コロニー入りする際に、すぐに営巣している樹に留まることができず、周辺を旋回飛行することが多く、一度樹上にとまったカワウも他の個体が樹にとまろうとする衝撃で樹から落ちて、再度コロニーの周りを旋回飛行することがあるため、目視カウントを行う場合、旋回中の個体をダブルカウントすることによって個体数を過大評価している可能性がある (図 13)。このような、ダブルカウントが起きやすいコロニーについて、小根岸コロニーのような平面に位置する場合は、上部から下に向けた撮影を行うことで、目視カウントよりも精度が高くなると考えられる。コリーナ矢板コロニーと高津戸コロニーのような、樹木が密集して傾斜の大きい場所に位置する場合は、斜面に沿って水平に撮影を行うことで、目視よりも見落とし少なくカウントすることができると考えられる。

日没 30 分後の個体数は、日没直後の個体数に比べて 21 回のうち、20 回 (95.2%) でカウント数が多くなった (図 14、図 15)。目視とドローンのカウント数について統計解析を行った結果、有意にドローンを用いたカウント数の方が高かった (ウィルコクソン符号付順位和検定、n=21、p=0.00789)。また、小根岸コロニーにおいて 2 度発生した、極端にドローンが多くなったパラメータ (n=2) を外れ値として除外し、同様の統計解析を行った結果、有意にドローンを用いたカウント数の方が高かった (ウィルコクソン符号付順位和検定、

n=19、p=0.02729)。

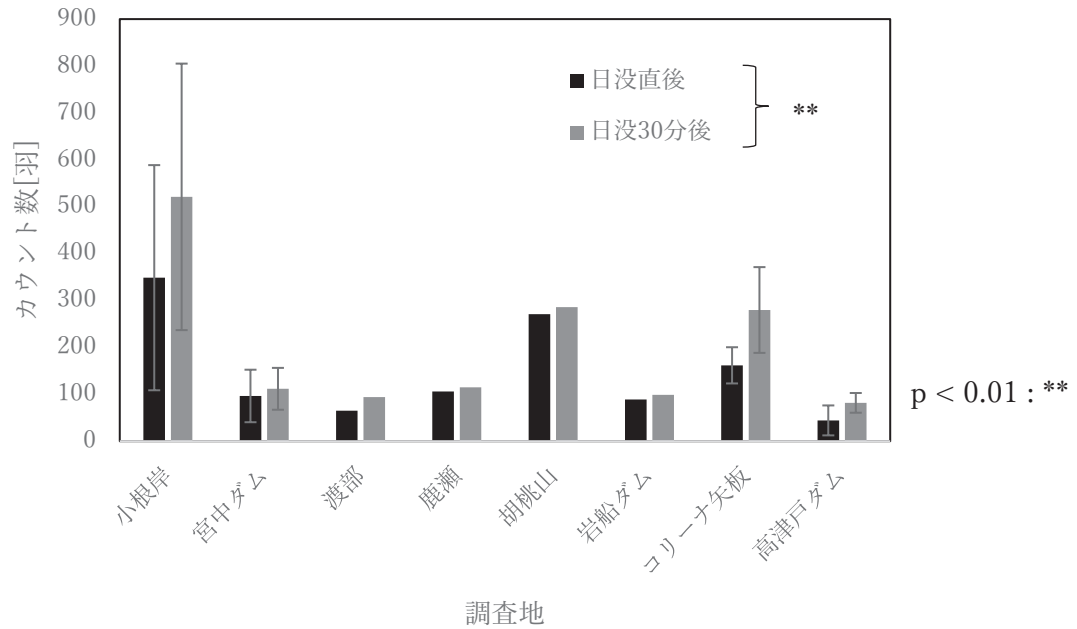


図 14. 調査地ごとの日没直後と日没 30 分後のドローンによるカウントの結果
(小根岸；n=3, 宮中ダム；n=4, 渡部；n=1, 鹿瀬；n=1, 胡桃山；n=1, コリーナ矢板；n=5, 高津戸ダム；n=5)

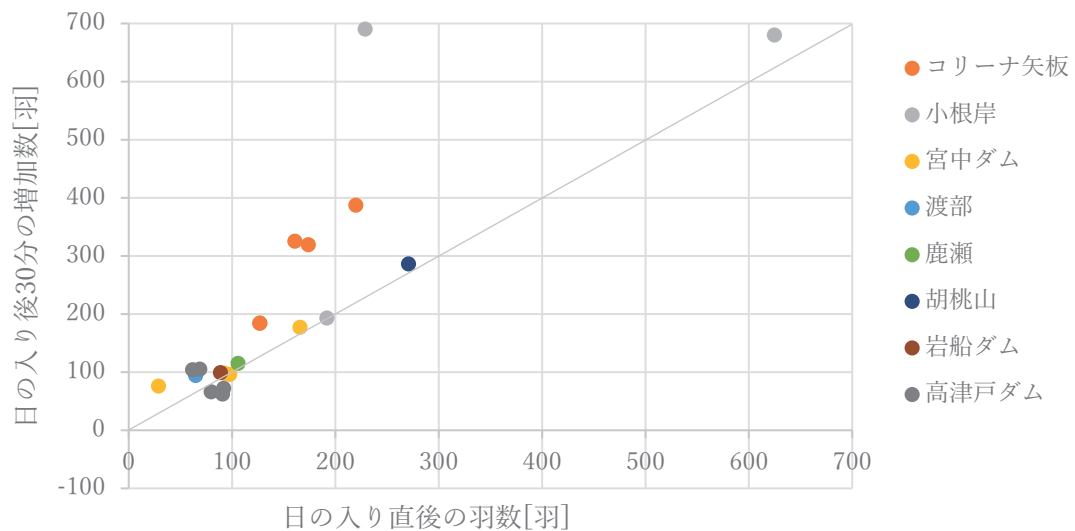


図 15. 日没直後から 30 分後の増加数 日没直後のカウント数と日没 30 分後のカウント数の差を比較するため Y=x の直線を挿入した。(小根岸；n=3, 宮中ダム；n=4, 渡部；n=1, 鹿瀬；n=1, 胡桃山；n=1, コリーナ矢板；n=5, 高津戸ダム；n=5)

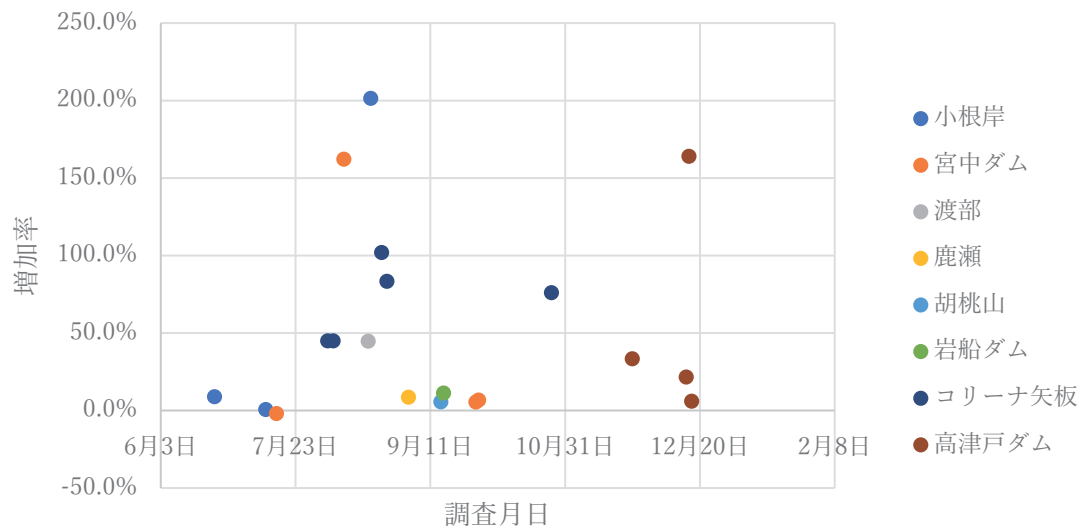


図 16. 調査日と増加率の関係

(小根岸；n=3, 宮中ダム；n=4, 渡部；n=1, 鹿瀬；n=1, 胡桃山；n=1, コリーナ矢板；n=5, 高津戸ダム；n=5)

日没直後と日没 30 分後のカウント数についても、有意に日没 30 分後のカウント数の方が高かった (ウィルコクソン符号付順位和検定、n=21、 $p=0.00354$)。

本調査のドローンの飛行時間は、最長でコリーナ矢板コロニーの 14 分 57 秒、最短は鹿瀬コロニーの 2 分 45 秒であった。全調査の各回の平均飛行時間は 9 分 7 秒 ± 0.0027 であった。手動カウントにかかった時間は、どのねぐら・コロニーにおいても 5 分以内であった。

日没直後と日没 30 分後の個体数は統計的に有意に、日没 30 分後のカウント数が多かった (図 14)。カワウは、日長や気温に関係なく、季節を問わず繁殖が可能である (福田 2002)。本研究では、日没直後と 30 分後の個体数は、6 月と 7 月は増加率が低く、8 月以降の増加率が高くなっていた (図 16)。新潟県において、6 月ごろはヒナが巣立つ時期に当たるため、上手く飛ぶことができないヒナや若鳥が日没前に既にねぐら・コロニー入りしている様子が観察できた。一方、8 月は、大群でねぐら・コロニーに戻ってくる様子が確認できた。飛行が可能となったヒナが日没後になってから集団で戻ってきている可能性がある。このようにカワウのねぐら・コロニー入りのタイミングには、1 つはカワウの雛の成長のステージが関係していると考えられる。よって、日没後 30 分くらいまで個体数のカウントを継続しないと本来の生息数を過小評価してしまう可能性が示唆された。

赤外線カメラによる撮影は、日中よりも朝や夜間の方が周囲との温度差が高くなり、コントラストが高くなることで検出しやすくなる (Kays *et al.* 2019)。したがって、赤外線カメラを搭載したドローンによる個体数カウント調査は、カワウだけが繁殖しているねぐら・コロニーにおいて、日没 30 分後以降に実施するのが望ましい。夜間にカウント調査を行う

ことで、1日に複数のねぐら・コロニーを調査することができ、調査を行う日数、調査時間の短縮が期待できる。

ドローンによる調査の時間は、最長でコリーナ矢板コロニーの14分57秒であった。平均飛行時間は9分7秒 $\pm$ 0.0027であり、長くても15分以内に調査が終了する。ドローンの飛行準備、後片付けは10分程度で完了し、カウント時間は5分程度であるため、全体の調査時間は30分程度となると考えられる。一方で目視による調査は、日没の約2時間半前から日没20分後の間の、約3時間現地で調査を行う必要がある（バードリサーチ 2011）。

したがって、ドローンは目視に比べて調査時間を約2時間半短縮することができ、1/6の時間で調査を行うことが可能である。また、目視による調査は原則2人で行う必要があるが、ドローンによる調査は、1人で行うことができる。調査員の時給を1000円と仮定すると、ねぐら・コロニー1か所あたり5,500円の削減が実現でき、人件費を1/12に削減できる（表2）。

2019年までの調査からノーマルカメラが撮影できる限界の明るさは、日没20分後ごろの照度10Lux程度であり、それまでであればカワウを判別することができる。また、サギ類の体色は白系で、カワウに比べて明るく、背景とのコントラストが高い。そのため照度10Lux程度で撮影を行えばサギ類をカウントすることができると考えられる。カワウとサギ類が同居するコロニーにおいてドローンを用いた調査を行う際は、日没20分後までにノーマルカメラを用いてねぐら・コロニーの撮影を行いサギ類の個体数をカウントする。その後、照度0Luxとなる日没30分後に赤外線カメラを用いて撮影を行い、総個体数（カワウとサギ類すべてのカウント数）を求める。最終的に総個体数からノーマルカメラのサギ類の個体数を引くことで、カワウの個体数を疑似的にカウントができると考えられる。日没直後から調査を開始し、ノーマルカメラと赤外線カメラの準備、撮影、片づけ、カウントを含めて、1時間程度で終了する。本手法は、2機のドローンを使用する必要があり、1日1か所の調査しか行うことができなかったが、調査時間を目視で行う調査より、約2時間作業時間を短縮することができる。調査人数も1人で可能であるため、時給を1,000円と仮定すると、目視カウントと比べ、ねぐら・コロニー1か所あたり5,000円の人件費の削減が期待できる。

表2. 目視による調査とドローンによる調査の費用比較

	目視	赤外線	赤外線 ノーマル
調査時間 [h]	3	0.5	1
調査人数 [人]	2	1	1
カウント時間 [分]		5	10
時給 [円]		1,000	
機体の代金 [万円]		125	145
人件費 [円]	6,000	500	1,000

② ねぐら・コロニーの合成画像における自動カウントアプリの有効性の検証

手動カウントと自動カウントのカウント数について比較した結果、有意に手動カウントのカウント数の方が自動カウントのカウント数より高かった（ウィルコクソン符号付順位和検定、 $n=40$ 、 $p<0.01$ ）。

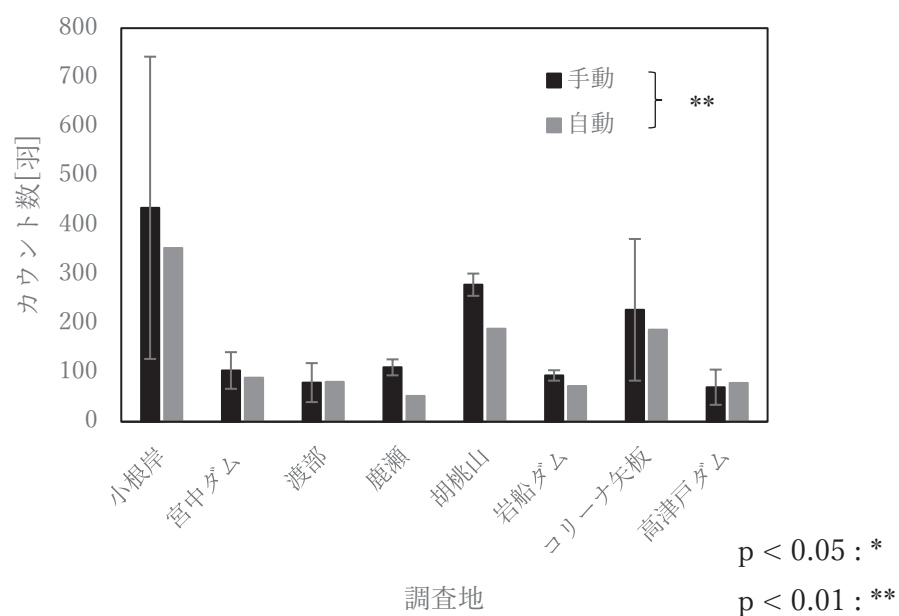


図 17. 調査地ごとの手動カウントと自動カウントの結果

（小根岸； $n=3$ ，宮中ダム； $n=4$ ，渡部； $n=1$ ，鹿瀬； $n=1$ ，胡桃山； $n=1$ ，コリーナ矢板； $n=5$ ，高津戸ダム； $n=5$ ）

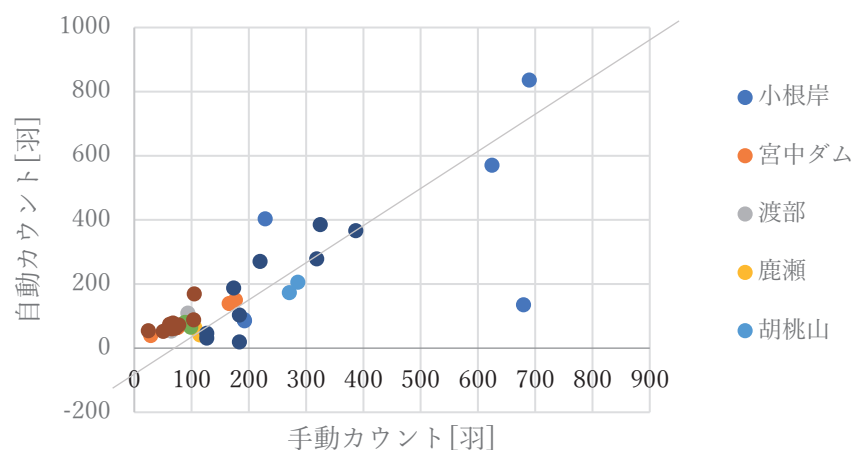


図 18. 手動カウントと目視カウントの比較

ドローンによるカウント数と目視によるカウント数の差を比較するため $Y=x$ の直線を挿入した。（小根岸； $n=3$ ，宮中ダム； $n=4$ ，渡部； $n=1$ ，鹿瀬； $n=1$ ，胡桃山； $n=1$ ，コリーナ矢板； $n=5$ ，高津戸ダム； $n=5$ ）

表 3. 各ねぐら・コロニーの手動カウントと自動カウントの結果

	小根岸	宮中ダム	渡部	鹿瀬	胡桃山	岩船ダム	コリーナ矢板	高津戸ダム
n	6	8	2	2	2	2	9	9
手動-自動[羽]	81.8±258.4	14.5±11.8	-3.5±12.0	58.0±22.6	89.5±12.0	21.5±17.7	40.2±73.6	-8.7±24.8
$\frac{\text{手動}-\text{自動}}{\text{自動}}[\%]$	99.3±164.7	11.6±19.0	4.4±25.7	123.1±81.2	48.1±12.1	31.8±29.0	156.9±288.6	-7.8±24.9

本調査の結果、自動カウント数は手動カウント数に比べて統計的に有意に小さくなった（図 17）。本研究で用いたエッジ検出は、画像のピクセルのスペクトル値を参照して、その設定した閾値より上もしくは下の値を持つセグメントをカウントする技術である。手動カウントの結果よりも自動カウントの結果の方が、値が小さくなった理由として、エッジ検出に失敗した可能性がある。エッジ検出の際に行うモルフォジー処理によって、エッジが膨張し、密集したカワウや白く表現された木の枝や葉を、まとめて 1 つとしてとらえてしまったケースが観察された。これによりカワウの個体数を過小評価してしまった可能性がある。

自動カウントの精度が下がる要因として、撮影されたカワウの画像内の個体サイズのバラつきがあげられる（Dominique *et al.* 2016）。奥行が大きい画像では、遠近感で個体サイズのバラつきが大きいため、小さく映った個体が、画像処理の最終工程であるサイズが小さいものを除去する際に消去されてしまった可能性がある。コリーナ矢板や、高津戸ダムコロニーでは、上空から垂直方向に撮影を行ったが、これらのコロニーは傾斜の大きい河畔に位置しており、垂直方面の奥行きが大きい。そのため、樹冠部に位置するカワウと樹木の下部に位置するカワウにサイズ差が生じた。前述のような検出時の差が生まれ、過小評価されている可能性がある（図 18）。一方、コリーナ矢板コロニーや高津戸コロニーと同じように傾斜の大きい樹林に分布する宮中ダムコロニーでは、コロニーの斜面を、水平方向から撮影を行ったため、撮影されたカワウの個体サイズのばらつきが少なく、自動カウントと手動カウントの誤差が小さくなったと考えられる（表 3）。よって、個体サイズのバラつきを抑えるためには、カワウが樹木に垂直に分布する立体的なねぐら・コロニーでは、樹木に対して垂直方向ではなく、水平方向から撮影することで、カワウの個体サイズのばらつきが減少するため、カウントの精度が高まり、平地にある樹木に平面的にカワウが位置するねぐら・コロニーでは、上空から垂直方向からに撮影することで、自動カウントの精度を上げることが可能と思われる。

本調査で用いたアプリケーションを改良することでカウントの誤差を少なくなると考えられる。具体的には、個体サイズのバラつきを補正する処理や、密集している個体を個別にカウントできるような処理があげられる。エッジ検出を拡張した「教師あり」処理（お手本になるデータを学習させて、それに似たものを分類する処理）や機械学習などで解決できる可能性がある。

③ドローンを用いたカワウのねぐら・コロニーカウントの有効性と費用対効果について

それぞれのねぐら・コロニーの条件に合わせて、使用するドローンとそのカメラの撮影の設定条件、撮影する方向をねぐら・コロニーの形状に合わせて設定することで、ドローンを用いたカウントを利用することができる。

2019 年までの調査から、日没後のノーマルカメラによる撮影は、照度が 10 Lux 程度となる日没 20 分後まで撮影可能であることが示唆された。照度 10 Lux 程度までであれば、撮影時のカメラ設定は、オートモードでもカワウの検出が可能であった。カワウだけが繁殖しているねぐら・コロニーにおいて、赤外線カメラを搭載したドローンによるカウントは、日没 30 分後以降に撮影することで個体数カウントができることが示唆された。

サギ類とカワウが混在するねぐら・コロニーについては、日没直後から日没 20 分後までにノーマルカメラの撮影によって白く写ったサギ類のカウントを行い、日没 30 分後に赤外線カメラで撮影し、カワウとサギ類を含めた総生息数からサギ類のカウント数を引くことで、サギ類が同居するねぐら・コロニーにおいてもカワウの個体数を推定することができる。

ドローンを用いた調査手法の利点と欠点を考慮し、各ねぐら・コロニーに適した調査手法を選択できるような、フローチャートを作成した（図 19）。

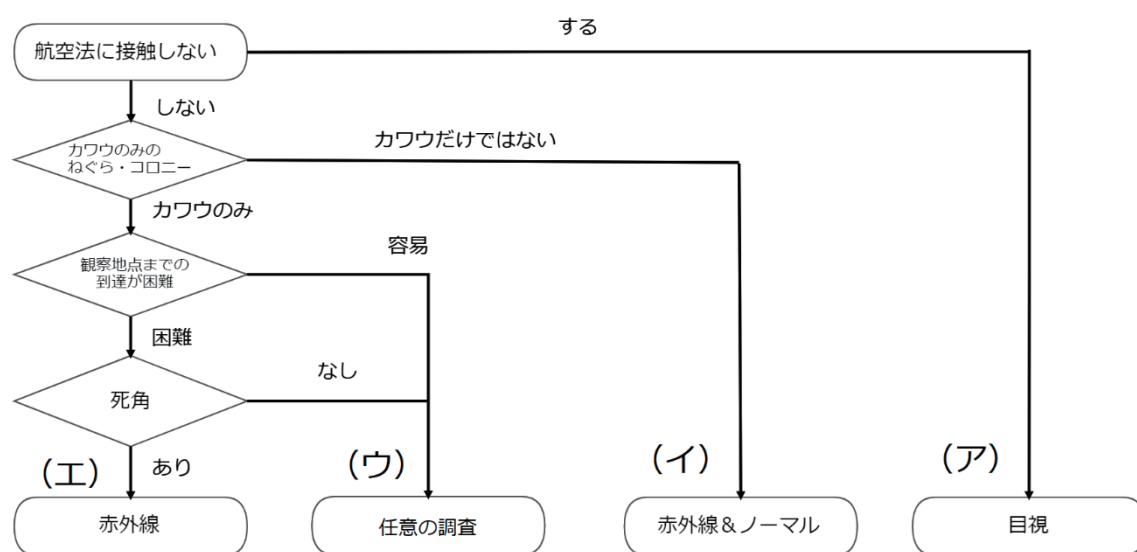


図 19. カウント手法を選ぶ際のフローチャート

調査手法は、目視、赤外線カメラによるカウント、ノーマルカメラと赤外線カメラを用いたカウント、任意のカウント（ドローンと、目視どちらを用いてもよい）の 4 項目に分けた。空港周辺や、人口密集地域は、ドローンの飛行には許可が必要であり、許可を取らない場合は目視による調査を行う必要がある（国土交通省 2019）。また、市街地付近のねぐら・コロニーは堤防なども整備され、比較的調査地までのアクセスが良いことが多い。よって、図 19 の(ア)のように目視カウントが適している。続いて、ねぐら・コロニーにサギ類などのカワウ以外の鳥類が混在する場合は、図 19 の(イ)のようにノーマルカメラと赤外線カメラ

ラを併用した調査が適している。カワウのみのねぐら・コロニーの場合、観察地点までの到達が容易であれば、図 19 の(ウ)のように任意の調査を選択できる。観察地点に死角（観察地点が、一部が葉や枝などで隠れている場合や、河川の中州に位置しており対面側が見えない場合など）がある場合は、図 19 の(エ)のように赤外線カメラによるカウントを選択し、死角がない場合は図 19 の(ウ)のように任意の調査を選択できる。このフローチャートを参考にすることで、ねぐら・コロニーに適した手法を選ぶことができ、調査活動のコストカットや調査時間の短縮が期待できる。

実際の現場で、本研究で用いたドローンによるカウント調査を導入した場合、具体的にどのくらいの費用削減が可能か、またどのくらい調査時間の短縮や労働力の削減が可能か、新潟県のねぐら・コロニー調査を例に試算を試みた。

新潟県には現在、調査すべきねぐらコロニーが 13 か所存在し、1 年に各 3 回（4~5 月、7 月、11~12 月）の調査が必要である。図 19 のフローチャートを利用して、それぞれのねぐら・コロニーに適した調査を適用する（表 4）。

表 4. 新潟県内のコロニーと選択した調査法

ねぐらコロニー名	調査法
福島潟	赤外線 & ノーマル
胡桃山	赤外線 & ノーマル
鹿瀬	赤外線 & ノーマル
塩谷	赤外線
李崎町	目視
小根岸	赤外線 & ノーマル
加茂湖	赤外線 & ノーマル
渡部	赤外線
奥三面	赤外線
岩船ダム	赤外線
瀬波	赤外線
中条ノ池	赤外線 & ノーマル
宮中ダム	赤外線 & ノーマル

表 5. 赤外線カメラ搭載ドローンを用いた調査の順序

調査順	経路1	経路2
1	塩谷	岩船
2	渡部	瀬波
3		奥三面

表 6. 調査共通の条件設定

共通条件	
出発地点	長岡技大
時給[円]	1000
交通費[円/km]	20円/km
車	普通車
高速道路料金	一般
距離計算	Googlemap https://www.google.co.jp/maps/?hl=ja

調査に出発する地点を長岡技術科学大学と仮定し、調査者の人数は、目視が 2 人、ドローンを用いる場合を 1 人とした。1 人当たりの時給は 1000 円、目視による調査時間は 3 時間、赤外線カメラによる調査時間は 0.5 時間、赤外線カメラとノーマルカメラによる調査時間を 1 時間とした。交通手段には普通車を利用し、高速道路の利用料金は一般ゲートを通ることとした。1 kmあたりの交通費を 20 円とし、経路の距離計算は Google Map (Google Inc、California of U.S.) を利用した (表 6)。赤外線カメラを用いた調査を行う、5 か所のねぐら・コロニーを 2 か所と 3 か所をそれぞれ 1 晩で調査することとし、移動時間が最短となるような調査順序を設定した (表 5)。

表 7. 目視のみの調査を適用した場合の詳細

ねぐら・コロニー名	往復距離[km]	移動時間[h:mm]	交通費[円]	高速料金[円]	人件費[円]
福島潟	166	2:20	3,320	4,380	6,000
胡桃山	146	1:40	2,920	3,900	6,000
鹿瀬	218	3:20	4,360	5,840	6,000
塩谷	68	1:40	1,360	0	6,000
李崎町	30	1:00	600	0	6,000
小根岸	72	2:00	1,440	0	6,000
加茂湖	272	8:00	5,440	1,740	6,000
渡部	56	1:40	1,120	0	6,000
奥三面	340	5:40	6,800	5,880	6,000
岩船ダム	264	5:40	5,280	5,880	6,000
瀬波	246	5:20	4,920	5,880	6,000
中条ノ池	122	2:00	2,440	1,740	6,000
宮中ダム	108	2:40	2,160	0	6,000

表 8. 目視とドローン調査を適用した場合の詳細

ねぐら・コロニー名	手法	往復距離[km]	移動時間[h:mm]	交通費[円]	高速料金[円]	人件費[円]
経路1	赤外線	91.9	2:10	1,838	0	1,000
経路2	赤外線	412	7:05	8,240	5,880	1,500
胡桃山	赤外線&ノーマル	146	1:40	2,920	3,900	1,000
鹿瀬	赤外線&ノーマル	218	3:20	4,360	5,840	1,000
小根岸	赤外線&ノーマル	80	2:00	1,600	0	1,000
加茂湖	赤外線&ノーマル	272	8:00	5,440	1,740	1,000
中条ノ池	赤外線&ノーマル	122	2:00	2,440	1,740	1,000
福島潟	赤外線&ノーマル	166	2:20	3,320	4,380	1,000
李崎	目視	30	1:00	600	0	6,000
宮中ダム	赤外線&ノーマル	108	2:40	2,160	0	1,000

表 9. 目視のみと目視とドローンを組み合わせた場合の予算

手法	目視	目視とドローン
1シーズンの調査回数	13	10
年間総人件費[円]	234,000	46,500
年間総交通費[円]	126,480	98,754
年間総高速道路費[円]	105,720	70,440
年間総額[円]	466,200	215,694

表 10. ドローンを用いた調査に必要な初期予算

物品	費用
Inspire1	800,000
Zenmuse XT	450,000
総額	1,250,000

表 11. 目視のみと目視とドローンを組み合わせた場合の調査時間

手法	目視	目視とドローン
1シーズンの調査回数	13	10
年間調査日数[日]	39	30
年間総調査時間[h]	117	37.5
年間総移動時間[h]	129	96.4
年間活動時間[h]	246	134

これらの仮定で全て目視による調査と、ドローンを用いた調査の2つを比較したところ、年間約 25 万円の差が生まれた（表 9）。これは、ドローンの調査環境を整えるためにかかる費用（表 10）の、約 20 %にあたり、約 5 年調査を継続することで精算することができる（ドローンの耐用年数は約 5 年）。調査にかかる日数、時間についてはドローンを用いた場合は目視のみの調査に比べて、9 日従事日数が低減でき、移動時間を含めた総活動時間は約 112 時間短縮できることが示唆された（表 11）。本考察での試算は目安ではあるが、ドローンを活用することで確実に予算と調査時間が削減できることが示唆された。ねぐら・コロニーの母数と、ドローンを活用できる箇所が多い都道府県では、さらに多くの予算と調査時間を低減できると予想される。

本研究で用いたドローンである、Inspire1 と Zenmuse XT は現在、生産中止となっている。そのため、赤外線カメラによるカウント調査を行うには、後継機である Zenmuse XT2（FLIR Systems, Inc、<https://www.dji.com/jp/zenmuse-xt2?site=brandsite&from=nav>）を用いるのが妥当と思われる。価格は本研究で用いた Zenmuse XT と同程度の約 80 万円である。産業向け高性能機である DJI MATRICE シリーズ（DJI 社、<https://www.dji.com/jp/matrice-200-series#m200s-s6>）に装着が可能である。DJI MATRICE シリーズは約 60 万円で購入可能である。Zenmuse XT2 は Zenmuse XT と同性能の赤外線カメラに加え、Mavic2 Enterprise Dual と同性能なノーマルカメラを内蔵しているため、サ

ギ類が同居するねぐら・コロニーにおいても、ノーマルカメラと赤外線カメラを使用し、1台で調査が可能となる。

ABI Research 社（2016）の予測によれば、ドローン市場は 2016 年の 39 億ドルから、2019 年には 90 億ドルに達すると予測しているなど、今後もドローン市場は拡大していくとみられ、高性能で安価な機体が流通する可能性が高い。高性能で安価が流通することで、ドローンを用いた調査が一般的なものとなっていき、画像処理による自動カウントも実現し、カワウの個体数把握がより容易になっていくことが期待される。

2) 漁場におけるドローンを用いた飛来数調査

①赤外線カメラを用いた漁場における飛来調査

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 20 に示す。

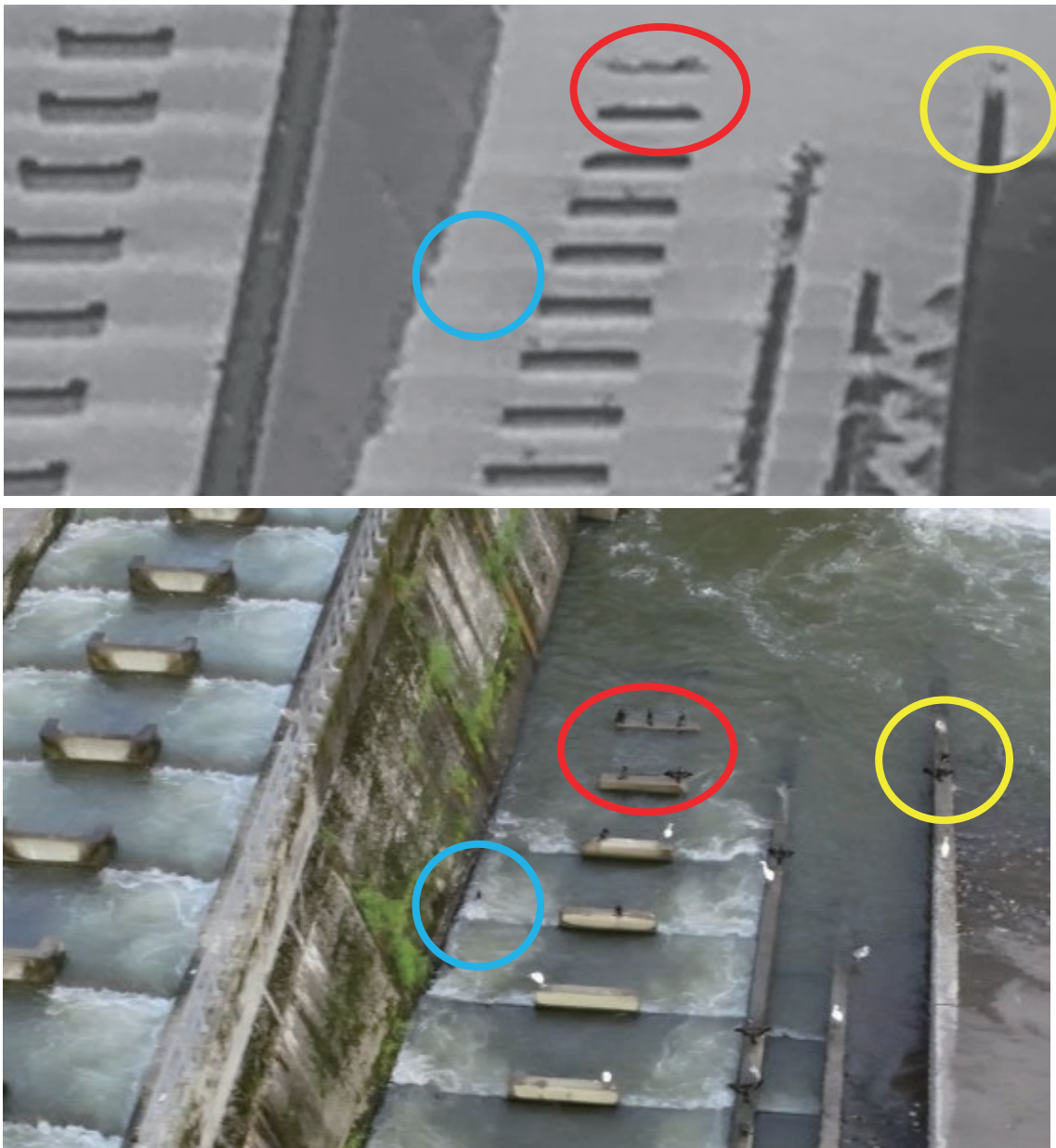


図 20. 2020/9/29 宮中ダム ノーマルカメラと赤外線カメラ画像の 1 例

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 20 の赤色の丸や青丸の中を見ると、赤外線カメラでは、ダムの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 21. 2020/10/18 赤外線カメラでの潜水前後の撮影様子
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 22. 2020/10/18 ノーマルカメラでの潜水前後の撮影様子
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 21 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 22 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。

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 23 に示す。

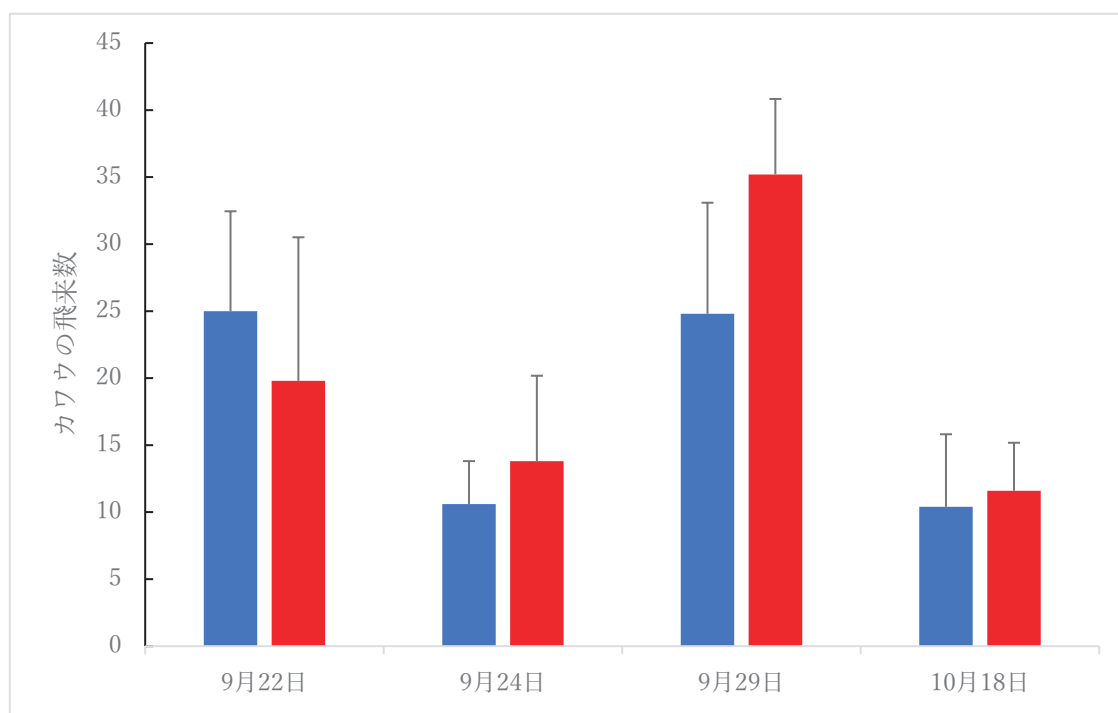


図 23. 赤外線カメラとノーマルカメラの画像からそれぞれカウントしたカワウの平均飛来数。バーは標準偏差を表す。青：ノーマルカメラの画像を用いた飛来数、赤：赤外線カメラの画像を用いた飛来数

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 ($P=n. s.$)。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。

②ドローンを用いた採餌場におけるモニタリング実証

2020 年は 5 月～10 月にかけて、全調査回数の 44 % (11day/25 day)、2021 年は 5 月～10 月にかけて全調査回数の 48 % (13day/27day) の調査日でドローンを飛行させることができた。ドローンは、霧や雨の中で飛行させることができない。特に 7 月～8 月は、朝霧が川の上に出ることが多く、調査ができない日が多かった。

河川横断物周辺、上流、下流、その他の環境におけるカワウの単位面積当たりの飛来数の結果を図 24 に示す。

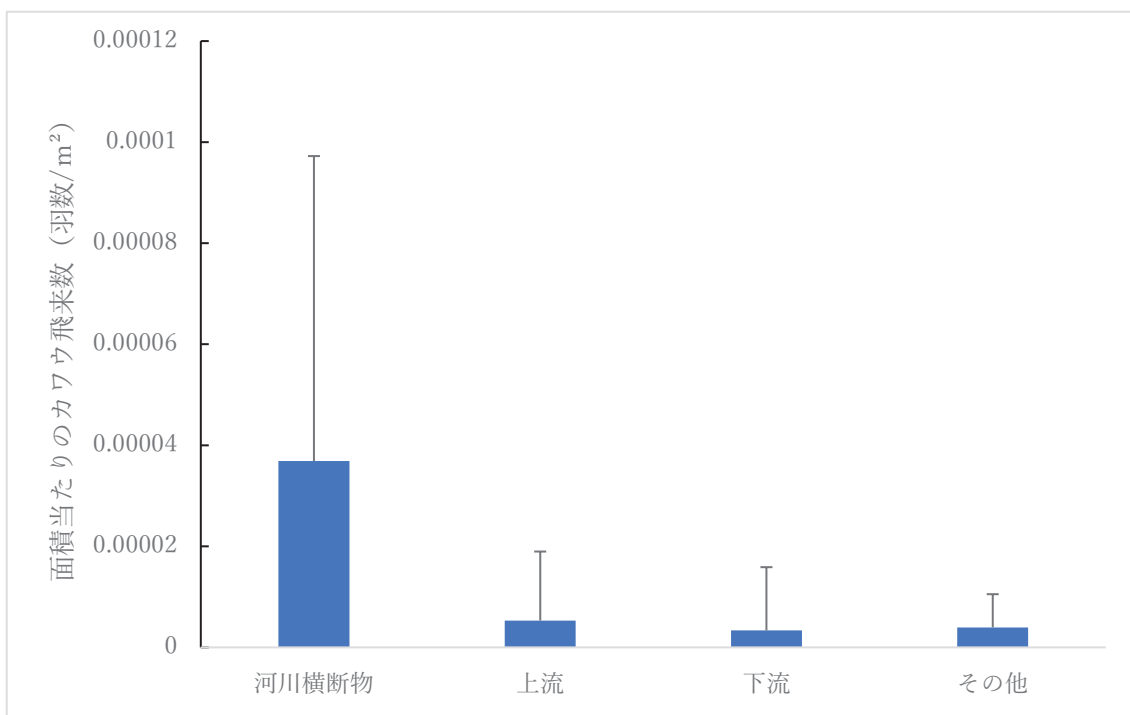


図 24. 河川横断物、上流、下流、その他の環境におけるカワウの面積当たりの飛来数
(宮中 ; n=11、妙見 ; n=3、勝瓜 ; n=3、岡本 ; n=4、太田 ; n=6)

表 12. ステップワイズ法を用いた選択されたモデル (n=27)

モデル選択	$\Delta A I C$
各調査地から半径 20 km 内のカワウ総個体数 各調査地点からねぐら・コロニーの最短距離 飛来環境 各河川横断物	248.10
各調査地から半径 20 km 内のカワウ総個体数 飛来環境 各河川横断物	246.67
飛来環境 各河川横断物	244.0
飛来環境	242.85
各河川環境	242.86

表 13. カワウが選択した採餌環境の GLMM のモデルにおける統計結果 (n=27)

	回帰係数	P 値
上流	-1.91	0.001
下流	-2.12	0.001
その他	-2.30	0.001

ステップワイズ法によるモデル選択の結果、採餌環境区分を含めたモデルが、 ΔAIC が最も低いモデルとなった（表 12）。また、河川横断物と比較して上流、下流、その他の環境は、面積当たりの飛来数が有意に少ないことが分かった（表 13）。

このことから、カワウは河川横断物周辺の環境を選択して採餌を行っている可能性が示唆された。

次に河川横断物内の微環境における、単位面積当たりのカワウの採餌個体数を図 25 に示す。また、河川横断物内の微環境における、カワウの採餌個体数を図 26 に示す。

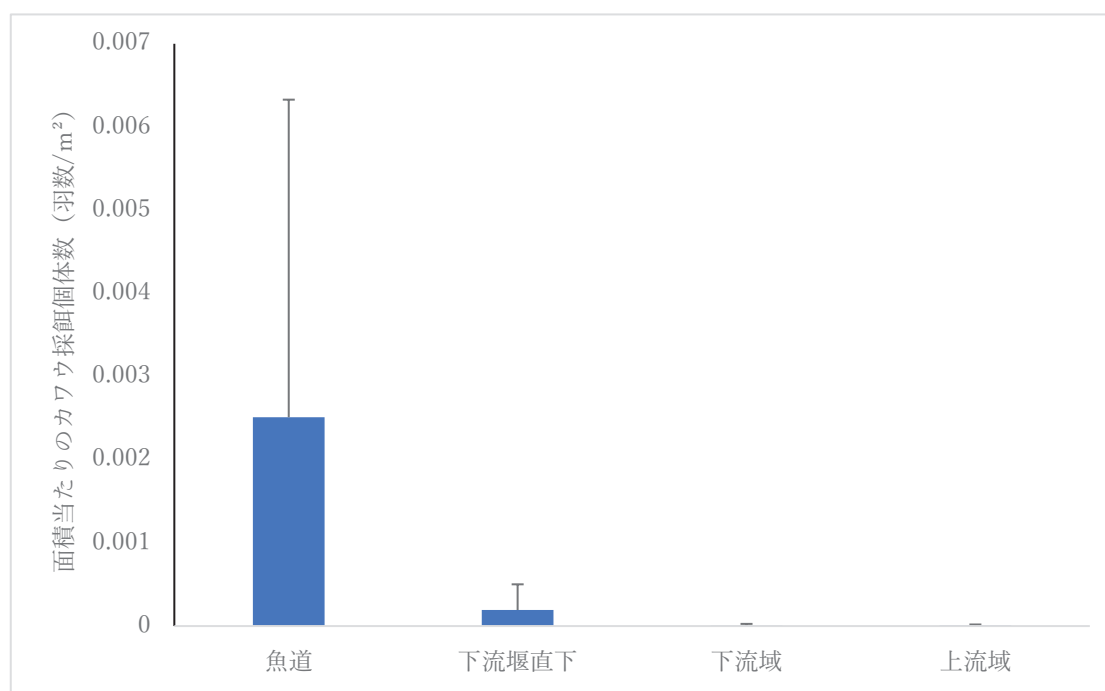


図 25. 河川横断物内の河川横断物微環境における面積当たりのカワウの採餌個体数（宮中ダム；n=13、妙見堰；n=5、太田頭首工；n=6）

表 14. 単位面積当たりのカワウが選択した採餌環境の GLM モデルにおける統計結果 (n=27)

	標準誤差	P 値
下流堰直下	-2.57	0.001
下流域	-6.61	0.001
上流域	-6.00	0.001

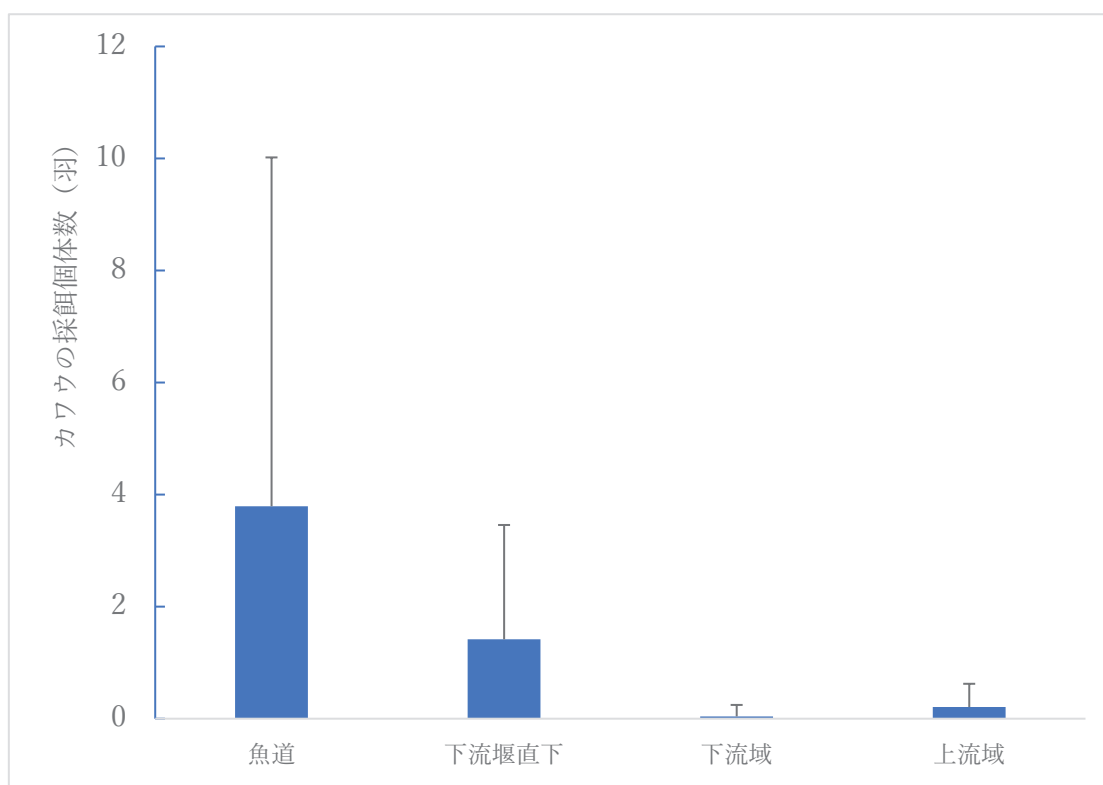


図 26. 河川横断物内の河川横断物微環境におけるカワウの採餌個体数

表 15. カワウが選択した採餌環境の GLM のモデルにおける統計結果 (n=27)

	標準誤差	P 値
下流堰直下	-0.98	0.03
下流域	-4.51	0.001
上流域	-2.90	0.001

魚道と比較して下流堰直下、下流、上流は、それぞれ有意に面積当たりの採餌個体数（着水、潜水）が少ないことが分かった（図 25、表 14）。

また、採餌個体数の統計結果から魚道と比較して下流堰直下、下流、上流で有意に採餌個

体数が少ないことが分かった（図 26、表 15）。

最後に、その他の環境下で、カワウが採餌していた場所についての結果を述べる。その他の環境で採餌していた個体数は 21 個体で、これは休息を含む全観察個体数の 13.2%に相当した。

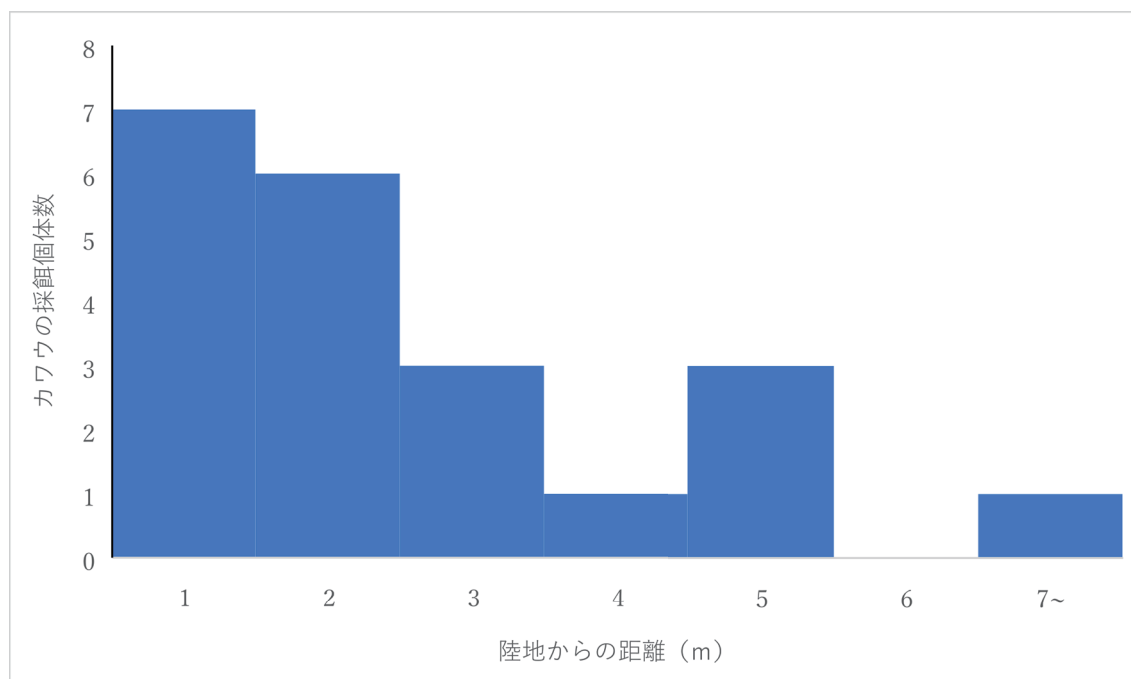


図 27. その他の環境におけるカワウの採餌地点と陸地からの距離のヒストグラム

その他の環境におけるカワウの採餌地点と陸地からの距離のヒストグラムを図 27 に示す。その他の環境で採餌が確認された 21 個体中、川岸や中州から、5 m 以内で採餌していた個体は全体の 95%に相当した（図 27）。このことから、カワウは、河岸や中州などの陸地から 5 m 以内のエリアを採餌場所として多く利用する事が示唆された。

また、新潟県信濃川、栃木県鬼怒川、群馬県渡良瀬川の調査地においては、ドローンの撮影で川底が確認可能な比較的水深の浅い場所を採餌場として利用している個体が 21 個体中 11 個体確認された。

カワウの採餌環境において白波の有無について分析した結果から、白波有で 9 個体、白波無で 12 個体の採餌が確認された。白波有で確認された個体は新潟県信濃川の 14 個体中 5 個体に相当し、栃木県鬼怒川では 4 個体中 2 個体、群馬県では 3 個体中 2 個体に相当した。

以上のことから、カワウは岸際 5 m 以内のエリアを採餌場所として利用する傾向が見られ、白波の有無に関しては、どちらの環境においても採餌を行っていることがわかった。しかし、新潟県信濃川は水深が深く、濁っている河川環境が多かったため白波有での採餌個体

の割合が少なかったが、栃木県と群馬県のみで見ると白波有の場所で採餌している割合が多かった。

図 28～30 に、実際にカワウがその他の環境で採餌していた事例の写真を示す。



図 28. 2021/6/12 栃木県鬼怒川において確認されたカワウの採餌環境 白波有
赤丸：カワウの位置を示す。赤矢印：カワウの遊泳方向



図 29. 2021/9/21 群馬県渡良瀬川において確認されたカワウの採餌行動、白波無
赤丸：カワウの位置を示す。赤矢印：カワウの遊泳方向



図 30. 2020/4/12 新潟県信濃川において確認されたカワウの採餌行動、白波無
赤丸：カワウの位置を示す。赤矢印：カワウの遊泳方向

本研究からカワウは、採餌場所として河川横断物周辺を有意に選択していることが示唆された（図 25、26）。カワウの採餌場所を河川横断物上流 300m・下流 300m・その他の環境の 3 つに分類し、飛来数調査を行った結果、河川横断物下流 300m 以内で遊泳している個体数が上流・その他の環境に比べ有意に多いとの報告がある（三浦 2019）。これは、河川横断物の設置が淡水魚の遡上を阻害し、横断物下流に魚が滞留したため、カワウは魚が高密度になった横断物下流を採餌場所として選択しているのではないかと考察している（三浦 2019）。

階段型魚道のように水平部と切欠き部のある隔壁を階段状に配置し、魚類の休息場となるプールを階段状に連結した単純な構造を模した条件の河川横断物においては、魚道内に遡上するアユなどの魚類が滞留する環境を作りやすいため（鬼束 2017）、そこでカワウに集中的に捕食される危険がある。更に、現在日本に設置してある魚道の 9 割以上が階段式魚道という報告がある（中村 1995）ことから、階段式魚道におけるカワウの捕食被害が懸念される。しかし、魚道は人工構造物に囲まれ、面積も小さいエリアであることから、テグス張りなどの物理的にカワウの侵入を防ぐ設置型の防除対策をすることで、効率的にカワウによる捕食被害を防ぐことができるだろう。

河川横断物周辺以外のその他の環境下においてカワウは、河岸や中州などの陸地から 5 m 以内を採餌場として選択している傾向が見られた(図-27)。また、比較的水深の浅い環境を選択し、採餌行動をとっている個体が確認された(図 28-30)。カワウは流速 160 cm/min、水深 20 cm 程度の浅瀬でも採餌が可能であることが報告されている(井口ら 2008)。本調査の結果でもカワウは、陸地に近い環境で採餌を行う傾向が見られることから、カワウの被害対策として、河岸に近いエリアに魚の隠れ場所を設置するのはカワウの捕食被害を減らす上で有効な対策と考えられる。近年、淡水魚の隠れ家として竹ぶせを岸から 2~5 m、水深 60~70 cm より浅い場所に設置する手法が確立されている(栃木水試 2012)。竹ぶせは毎年、竹を設置しなおさなければならないが、粗朶を用いた魚の隠れ場などは、河川内に一度設置すれば構造物が砂に埋もれない限り、永続的に魚の隠れ場としての機能を発揮する(佐藤 2015)。また、黒テグスを 2 m 間隔で池の上部に並列的に張り、さらに池周縁の足元に張ることで、アオサギ、ダイサギ *Ardea alba*、カワウに対し高い飛来抑制効果が得られることが報告されている(谷口 2018)。近年、カワウの飛来防除対策は、河川において人が追い払いを行う方法が主流だが、このようにカワウが採餌する微環境が明らかになったことで、採餌されやすい場所にピンポイントに設置型の防除対策を行うことで、現在、最も主流な飛来防除対策である人による追い払いの労働力を減らすことが可能となるだろう。

3. 成果の公表

日本鳥学会 2021 年度大会 ポスター発表 P18 C 「日本河川におけるカワウの採餌環境選

択要因」 ○新竹政仁・山本麻希(長岡技大)・坪井潤一(国立研究開発法人水産研究・教育機構)

日本鳥学会 2021 年度大会 自由集会 W2 カワウを通じて野生動物と人との共存を考える(その 23) ドローンや発信器を用いたモニタリングにて「ドローンを使ったカワウのモニタリグ」岡本直哉、新竹政仁、○山本麻希(長岡技大)で口頭発表を行った。

坪井潤一(水産技術研究所)、山本麻希(長岡技術科学大学)、三栖誠司(全国内水面漁業協同組合連合会)