

(2) GPS ロガーを用いたカワウの食害ハザードマップの作製

要旨

近年、カワウの被害対策が進むにつれ、カワウはアクセスの悪い大河川の中州や、急峻なダム湖畔で繁殖するようになり、内水面漁協が被害対策を実施するのが困難になりつつある。また、カワウの個体数が増加するにつれ、被害地点も同様に多くなり、対策が間に合わない状況にあり、被害を効果的に抑制するため、優先的に対策を行うべき地点の情報が求められている。カワウは1年で複数のねぐらやコロニーを利用するため、内水面の重要漁場に飛来し、被害を与えている個体が、被害発生時期に、どのねぐら・コロニーを利用しているのかがわかれば、優先的に個体群管理を行う必要があるねぐら・コロニーを選抜することも可能となる。

そこで本研究ではカワウの GPS による行動追跡調査を実施し、内水面漁業に被害を与えているカワウの採餌行動及びねぐら・コロニーの利用を明らかにすることを目的とした。

GPS 行動追跡調査の結果、装着個体は利用するねぐら・コロニーからおおよそ 15 km 圏内で行動することが判明した。カワウは日の出前 30 分から約 2 時間に最も採餌を行うことから、その時間帯の測位点を抽出し、採餌場所の環境を調べたところ、河川の淵にポイントが集中していた。よって河川では重要漁場の淵を優先して被害防除対策を実施すると効率的な防除につながると考えられた。また、2 個体から春と秋にカワウの季節的な長距離移動が観察された。その結果、カワウは 1 日で 200 km 近くの長距離移動を行っていたことから、各都府県での局所的な対策のみならず、関東圏などもっと広い範囲で広域的な管理を行うことの重要性が示された。

1. はじめに

近年、被害対策が進むにつれ、カワウは臆病なため、アクセスの悪い大河川の中州や、急峻なダム湖畔で繁殖するようになり、内水面漁協が被害対策を実施するのが困難になりつつある（全内 2020）。また、カワウの個体数が増加するにつれ、被害地点も同様に多くなり、対策が間に合わない状況（全内 2010）にあり、被害を効果的に抑制するため、優先的に対策を行うべき地点の情報が求められている。また、カワウは1年で複数のねぐらやコロニーを利用するため、内水面の重要漁場に飛来し、被害を与えている個体が、被害発生時期に、どのねぐら・コロニーを利用しているのかがわかれば、優先的に個体群管理を行う必要があるねぐら・コロニーを選抜することも可能となる。

そこで本研究では、カワウの GPS による行動追跡調査を実施し、内水面漁業に被害を与えているカワウの採餌行動及びねぐら・コロニーの利用を明らかにすることを目的とした。

2. GPS による行動追跡調査

1). 方法

①調査地

本調査は栃木県鬼怒川 (36°42'N、139°55'E)、鬼怒川漁協が釣り堀として経営する栃木県東古屋湖 (36°49'N、139°48'E)、群馬県渡良瀬川 (36°25'N、139°18'E)、渡良瀬川の支流である群馬県桐生川 (36°24'N、139°20'E)、栃木県矢板市の山中にあるカワウのコロニー「名称；コリーナ矢板」(36°44'N、139°55'E) で実施した (図 1、 図 2)。



図 1. 栃木県の主な河川と捕獲実施エリア
(赤丸：捕獲実施エリア、☆：捕獲を実施したコロニー)

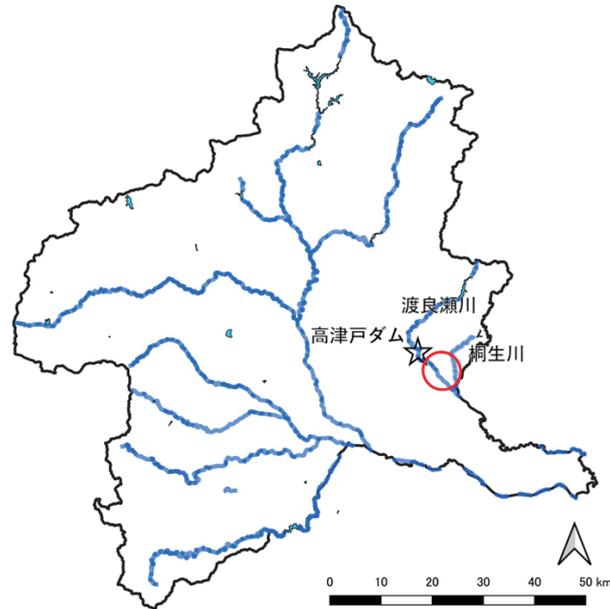


図 2. 群馬県の主な河川と捕獲実施エリア
(赤丸：捕獲実施エリア、☆：データ回収をしたコロニー)

②捕獲方法及び調査期間

鬼怒川漁協及び両毛漁協の協力のもと、釣り針及び水中刺し網によってカワウの捕獲を行った。

釣り針捕獲は、河川に釣り針を付けた生きた魚を泳がせておき、その魚を採餌に来たカワウを釣ることで生きたまま捕獲するという方法である(図 3)。餌となる魚は、アユやヤマメ、ニジマス等を用いた。各調査地で実施した期間は、栃木県鬼怒川で 2020 年 7 月 12-17 日、8 月 2-7、23-28 日、9 月 13-16 日、10 月 25-28 日、2021 年 1 月 5 日、3 月 14-16 日、4 月 15-17、24-25 日、5 月 14-21 日、7 月 7-9 日、10 月 18-25 日、12 月 2-12 日、12 月 17-19 日、2022 年 1 月 10-15 日、6 月 20-24 日、12 月 22-24 日、栃木県東古屋で 2022 年 1 月 14-16 日、2 月 5-6 日、群馬県渡良瀬川および桐生川で 2021 年 10 月 19-21 日、12 月 2-4 日、2022 年 2 月 3-5 日、6 月 22-24 日、8 月 13-14 日、11 月 13-15 日、2023 年 10 月 28 日であった。

水中刺し網捕獲とは、水中に仕掛けた刺し網にカワウの巣立ちヒナをボートで追い込み、捕獲する方法である(図 4)。これは、ドローンによる威嚇や捕獲による飛来防除技術の開発の一貫で、コリーナ矢板にて試験をした際に、ドローンに驚いたカワウの巣立ちヒナは飛ばずに、泳いで逃げる事が判明したことで考案された捕獲方法である。捕獲場所はコリーナ矢板で、2020 年 7 月 14 日、2021 年 7 月 8 日、2022 年 6 月 21 日に実施した。

カワウの外部形態計測は、日本海鳥グループが発行している海鳥の計測マニュアル(日本海鳥グループ 2010)に沿って、計測を行った。カワウの体重は、手ばかり 平面目盛板(No.74460、シンワ測定)を用いて 10 g の精度で計測を行った。嘴峰長(BL)、嘴高(BH)、

ふしよ長(TS)、頭長(HL)は普及ノギス (No.19975、シンワ測定) を用い、0.1 mm の精度で計測を行った。尾長(TUL)、自然翼長(WL)はフェイバー折尺 (No.78605、シンワ測定) で1 mm の精度で計測した。捕獲した個体の成鳥と幼鳥の判別は、身体前面の羽色が白色がかったられば幼鳥、そうでなければ成鳥と判別した。

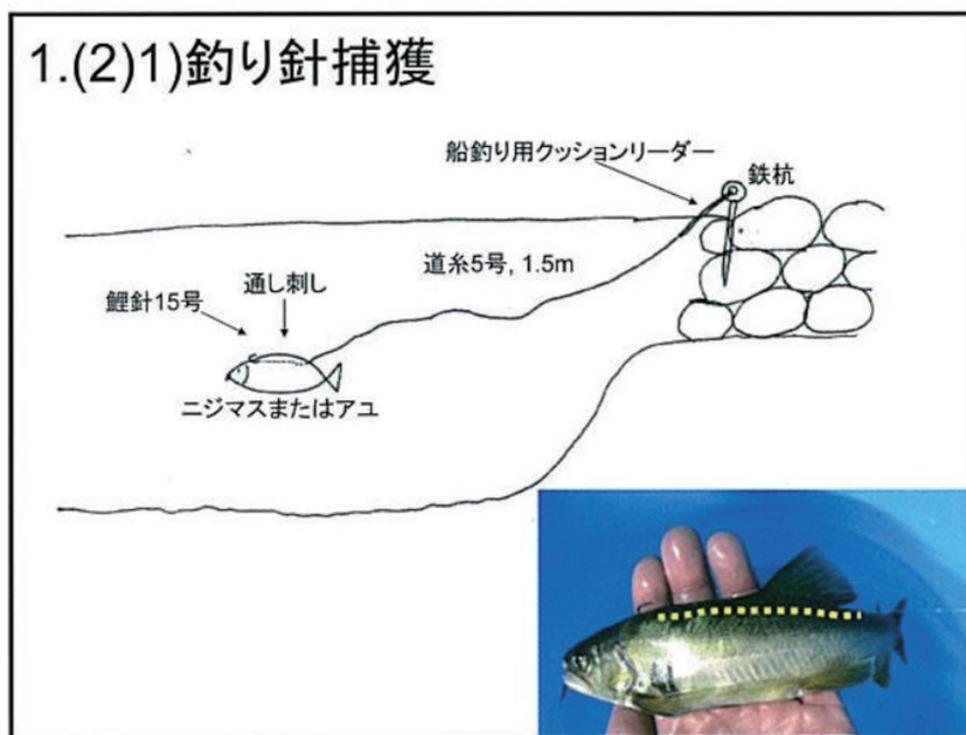


図3. 釣針捕獲の様式図 (全内 2008 より図を引用)

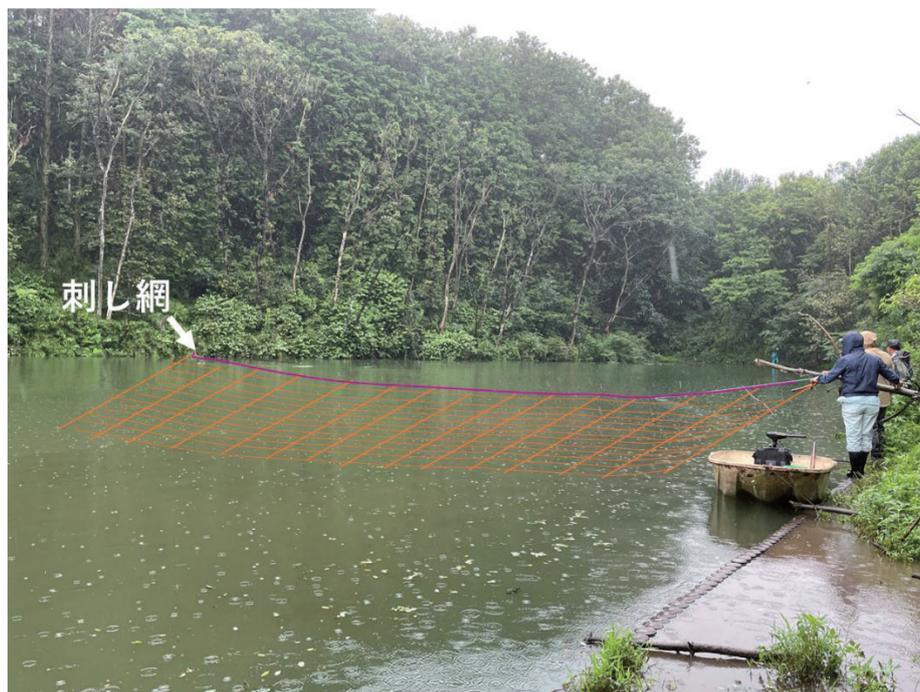


図 4. 水中刺し網捕獲の様子

③GPS ロガーの装着

使用した GPS ロガーは PinPoint Solar VHF-L Tag ((縦 80 mm 横 25 mm 高さ 11 mm 重さ 16 g、Lotek Wireless Inc.、図 5) であった。GPS ロガーの装着には、テフロンリボン (TH25、BallyRibbonMills) とかしめ(銅線用裸圧着スリーブ、ニチフ)を用いたハーネス方式を用いて行った(図 6-7)。2022 年度は、装着から 1 年半後に GPS ロガーが自然脱落するように、ハーネスを半分切断してから、綿糸(ダルマ 家庭糸 太口、横田株式会社)で縫い合わせる方法を用いた。ハーネス等を含む総重量は 2020 年度では 19 g、2021 年度は 23 g、2022 年度は 25 g であった。装着機器の総重量は、捕獲したカワウの体重 (1450-2400 g) のすべて 2% 以下であり、飛翔行動への大きな影響を与えない重さと推測されている(Richard 2003)。

GPS による測位間隔は、2020 年度では 10 分に 1 回で設定し、2021 年度からは、より詳細な採餌行動を把握するため、5 分に 1 回の設定で行った。また、1 個体 (TagID:45515) については、2021 年度 5 月下旬から 6 月上旬にかけて実験的に 2 分に 1 回の設定で行ったが、電池の消費が激しくデータの欠測が多かったことから、途中で 5 分の 1 回の設定に戻した。GPS ロガーの測位精度は約 5 m ほどである。VHF によるデータ通信は 142.94-142.98 MHz で 1 秒に 1 回の発信の設定で行った。ロガー装着後の放鳥は可能な限り捕獲した場所の河川近くで行い、放鳥後、カワウが正常に飛び去っていくことを目視で確認した。

夜間に捕獲地点付近にあるねぐら・コロニーにて、遠隔受信機 (PinPoint Commander、Lotek Wireless Inc.) を用いて、ロガーからの反応があった場合、データ回収を行った。データ回収

は、栃木県水産試験場及び両毛漁協の協力のもと、一か月に2回程度を目安に行った。遠隔受信機の受信可能距離は、電波障害のない土地において、約200mほどであり、山中にねぐら・コロニーがある場合、さらに近づいて、データ受信を行う必要がある。



図 5. 本研究で使⽤した GPS ロガー (Solar PinPoint VHF-L Tag、Lotek Wireless Inc.)

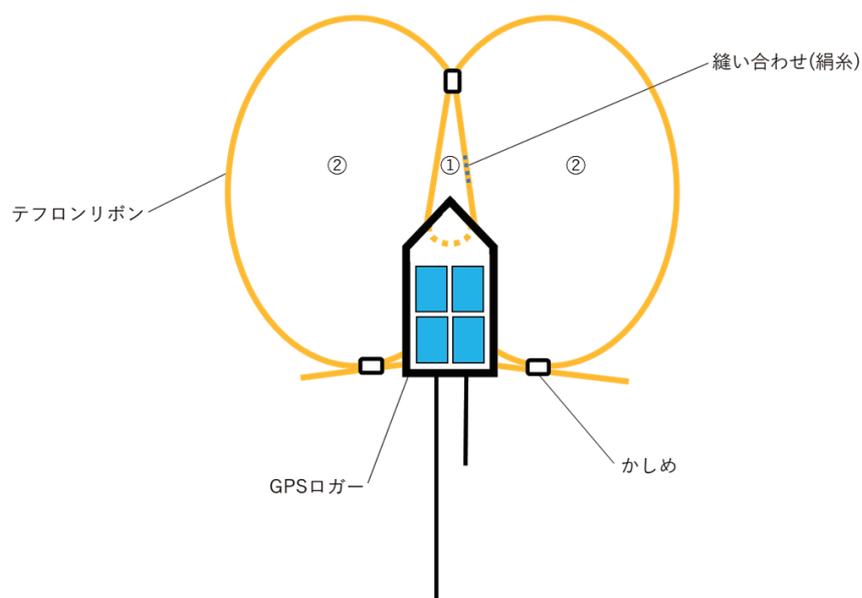


図 6. GPS ロガーとハーネス装着の模式図：①に頭部、②に羽を通し、カワウの背中で GPS ロガーのアンテナが下に来るように装着する。



図 7. GPS ロガーをハーネスで装着した様子

④データ処理と採餌トリップ抽出

GPS ロガーのデータは、Solar PinPoint VHF-L Tag 専用ソフトウェアの PinPoint Host (Lotek Wireless Inc.) を用いてノート型パソコンにダウンロードした。個体ごとに観測日時、緯度経度等を CSV ファイルに統合し、採餌トリップを抽出した。まず、緯度経度による距離計算方法 (三浦 2015) を用いて、GPS に記録された測位地点と営巣場所との直線距離および連続する 2 つの測位地点間の距離 (L) を下の式で求めた。

$$L = 6370 \arccos(\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\lambda_1 - \lambda_2))$$

L [km]: 距離、 φ_1 : 地点 1 の緯度、 λ_1 : 地点 1 の経度、 φ_2 : 地点 2 の緯度、 λ_2 : 地点 2 の経度

算出した連続する 2 つの測位地点間の距離 (L) と 2 地点の測位時間の差から、カワウの移動速度 (km/h) を算出した。

本研究では、装着個体が利用するねぐら・コロニーから 300 m 以上離れ、巣を 20 分以上離れた状態を採餌トリップとして定義した (Yoda et al. 2012)。1 回の採餌トリップあたり、トリップ長 (ねぐら・コロニーを出発して帰ってきた時間; 分) と総移動距離 (全ての測位地点を直線でつないだ合計距離; km) および最遠距離 (記録された測位地点のうちねぐら・コロニーから最も離れた地点までの直線距離; km)、利用するねぐら・コロニーからの行動範囲 (全ての測位点からねぐら・コロニーまでの距離; km) を算出した(図 8)。トリップの算出は、装着個体が 1 週間以上連続で滞在したねぐら・コロニーのデータを使用した。

得られた GPS データは、バッテリーの残量不足数時間～数日間記録が得られない期間が

ある。そして、GPS の測位点には衛星からの電波状況で測位が大きくずれる場合がある。そこで、記録された採餌トリップのうち、①トリップ開始もしくは終了期間が空白期間により不明なもの、②トリップ中に 2 時間以上の空白期間があったもの、③HDOP (Horizontal Dilution Of Precision : 水平精度低下率) が 6.0 以上(国土地理院 2020)の値をとったもの、④ロガー装着日及び狩猟された日、ねぐら移動日、季節移動日のデータは不完全なトリップとして解析から除外した。

カワウは採餌トリップ中、潜水後は羽を乾かす必要があるため、多くの時間、休息をとる。そのため、GPS ロガーの測位点だけを単純にデータ解析すると、長期滞在する休息場所の影響が強く現れ、カワウが採餌している測位点の判別は困難である。そこで、一般に、カワウは日の出から 2 時間の間に採餌を行うことが多いという報告(環境省 2013)があることから、採餌トリップ中の日の出から 2 時間の測位点を抽出し、採餌場所の分析に使用した。

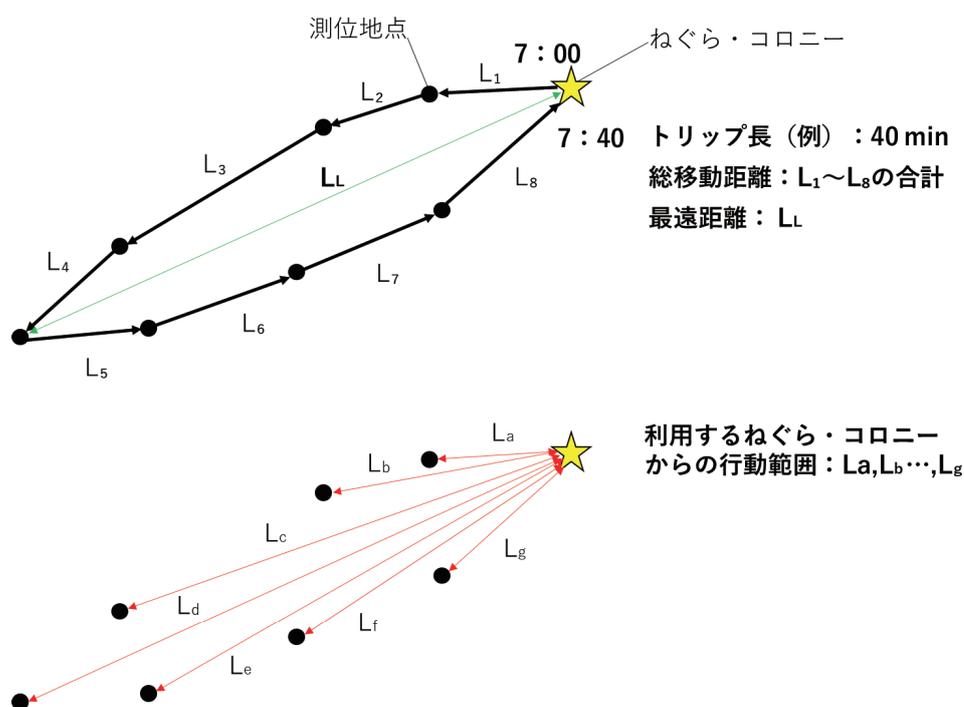


図 8. 採餌トリップの各パラメーターの模式図

⑤行動解析及び統計解析

採餌行動の解析及び統計解析には、R version 3.6.2(R Core Team, 2019)、Excel for Microsoft 365 version 2301 (Microsoft, US)、を用いた。すべての統計解析において、一般化線形混合モデル (GLMM) の構築には、R パッケージ “MASS” および “lme4” を用いた。地図及び座標の表示には QGIS version 3.4.1(ESRI Inc., US)、Google Earth Pro version 7.3.6 (Google, US)、

Tagged Animal Movement Explorer (USGS、US)を用いた。

採餌トリップについて利用するねぐら間の差、成長段階（幼鳥・成鳥）、季節差を検討するために GLMM を構築した。トリップ長（分）、総移動距離（km）、最遠距離（km）をそれぞれ目的変数とし、利用するねぐら、成長段階、季節を説明変数、ロガーID をランダム効果とした。誤差分布としてガンマ分布を仮定し、リンク関数として log を指定した。

採餌トリップの早朝 2 時間の座標から、QGIS のカーネル密度推定によるヒートマップを作成し、密度が高い場所の解析を行った。ヒートマップとは、カーネル関数（カーネル密度推定）を利用することによって、ある地点（単位面積）に GPS ポイントがいくつあるか、すなわち場所ごとの GPS ポイントを密度として、視覚化したものである。本研究ではヒートマップ検索半径を 100m として設定、各地点における GPS ポイントの密度を計算し、密度の分布をみるために、各地点の算出結果から QGIS の機能にある等間隔分類を用いて、10 クラスに色に分けて表示した。そして、最も密度が大きい 5 クラスの密度の地点を抽出し、Google Earth Pro version 7.3.6 (Google、US)の衛星画像を用いて、カワウが採餌に利用している河川の微環境を判別した。微環境の判別には河川形態分類である瀬と淵及び河川構造物、湖沼、ダムなどを用いて分類した。

2). 結果

①捕獲個体の計測表とデータ回収期間

本調査においてカワウの外部形態計測を表 1 に示す。本調査では計 18 個体に GPS ロガーを装着した（栃木県鬼怒川流域では 10 個体、栃木県コロニー（コリーナ矢板）で 3 個体、群馬県渡良瀬川流域では、5 個体）。捕獲した個体の成長段階は幼鳥が 13 個体、成鳥が 5 個体で、うち 1 個体は繁殖期特有の白い婚姻色が出ており、親鳥であった。

データ回収に成功したものが、12 個体で、そのうち一週間以上のデータを回収できたものが、8 個体（成鳥：3、幼鳥：5）であった（表 1）。本捕獲では、1 個体が釣り針捕獲にて再度捕獲されることがあり、データの回収に成功した。本調査では、栃木県において計 6 個体が狩猟され、GPS ロガーが返却された。そのうち 2 台は銃弾による浸水でロガーが故障し、データが回収できなかった。

表 1. 装着個体の外部形態計測結果

| No. | 捕獲日 | 装着日 | 捕獲場所 | 送受信機 ID | 成鳥段階 | 体重 g | 嘴峰長mm (BL) | 嘴高mm (BH) | ふしよ長mm (TS) | 頭長mm (HL) | 尾長mm (TUL) | 自然翼長mm (WL) | データ 回収日 | データ 取得日数 | 狩猟 | 備考 |
|-----|------------|------------|---------|---------|------|------|------------|-----------|-------------|-----------|------------|-------------|------------|----------|----|----------|
| 1 | 2020/7/14 | 2020/7/14 | コリーナ矢坂 | 45475 | 幼鳥 | 1800 | 70.1 | 15.3 | 64.6 | 141.8 | 153 | 315 | 2021/4/15 | 273 days | 狩猟 | |
| 2 | 2020/7/14 | 2020/7/14 | コリーナ矢坂 | 45478 | 幼鳥 | 2100 | 61.4 | 14.1 | 63 | 127.2 | 156 | 300 | | | | |
| 3 | 2020/7/16 | 2020/7/16 | 鬼怒川漁協誌所 | 45474 | 幼鳥 | 1450 | 55.3 | 13 | 66 | 130.2 | 172 | 324 | 2020/8/6 | 22 days | | |
| 4 | 2020/8/3 | 2020/8/3 | 鬼怒川漁協誌所 | 45476 | 幼鳥 | 1590 | 59.2 | 12.4 | 70 | 152.4 | 182 | 344 | 202/08/6 | 4 days | | 8/6再捕獲 |
| 5 | 2020/8/24 | 2020/8/24 | 鬼怒川漁協誌所 | 45477 | 幼鳥 | 1900 | 62.1 | 15 | 64.1 | 146.3 | 161 | 333 | | | | |
| 6 | 2021/1/5 | 2021/1/5 | 鬼怒川漁協誌所 | 45476 | 幼鳥 | 2280 | 63.9 | 14.1 | 73 | 120.7 | 185 | 340 | | | | 狩猟 口方一破損 |
| 7 | 2021/4/25 | 2021/4/25 | 鬼怒川漁協誌所 | 45515 | 成鳥 | 1760 | 89 | 13.2 | 70 | 121.0 | 185 | 335 | 2022/7/21 | 415 days | | 白い嘴細色 親鳥 |
| 8 | 2021/6/14 | 2021/6/14 | 大谷川大沼橋 | 45832 | 成鳥 | 2080 | 60 | 18 | 75 | 151 | 166 | 354 | | | | |
| 9 | 2021/7/8 | 2021/7/8 | コリーナ矢坂 | 45848 | 幼鳥 | 2190 | 63 | 19 | 79 | 131 | 170 | 345 | 2021/7/13 | 7 days | | |
| 10 | 2021/10/21 | 2021/10/21 | 桐生川矢坂橋 | 45845 | 幼鳥 | 1520 | 86.5 | 14.9 | 72.5 | 152 | 150 | 347 | 2021/11/4 | 15 days | | |
| 11 | 2021/12/4 | 2021/12/4 | 桐生川矢坂橋 | 45847 | 成鳥 | 2400 | 68.1 | 12.3 | 61.7 | 143.0 | 184 | 321 | 2022/1/2 | 22 days | | |
| 12 | 2021/12/6 | 2021/12/6 | 鬼怒川漁協誌所 | 56020 | 幼鳥 | 1840 | 64 | 11 | 75 | 135 | 183 | 330 | 2021/12/23 | 5 days | 狩猟 | |
| 13 | 2021/12/18 | 2021/12/18 | 鬼怒川漁協誌所 | 45849 | 幼鳥 | 1780 | 55 | 18 | 70 | 140 | 148 | 330 | 2022/7/21 | 266 days | | |
| 14 | 2022/2/4 | 2022/2/4 | 桐生川矢坂橋 | 45846 | 幼鳥 | 1680 | 56.2 | 12.2 | 63.5 | 143.1 | 153 | 323 | 2022/2/10 | 67 days | 狩猟 | |
| 15 | 2022/2/6 | 2022/2/7 | 東古塵湖 | 56020 | 幼鳥 | 1610 | 55 | 15 | 75 | 115 | 142 | 305 | | | | |
| 16 | 2022/6/23 | 2022/6/23 | 桐生川矢坂橋 | 56369 | 成鳥 | 1760 | 50.2 | 16.9 | 60 | 129 | 175 | 321 | 2022/6/25 | 3 days | | |
| 17 | 2022/6/24 | 2022/6/24 | 桐生川 中里橋 | 56376 | 成鳥 | 2220 | 61.2 | 18.3 | 64.7 | 157 | 173 | 350 | 2022/7/7 | 14 days | 狩猟 | |
| 18 | 2022/12/27 | 2022/12/27 | 鬼怒川漁協誌所 | 56364 | 幼鳥 | 2310 | 65 | 15 | 77 | 150 | 148 | 354 | | | | 狩猟 口方一破損 |

②採餌トリップ

得られた各個体の採餌トリップデータを表2、利用ねぐら・コロニーごとの採餌トリップデータを表3に示す。各個体の月日ごとのトリップ長、総移動距離、最遠距離を散布図にまとめたものを図9-11に示す。各個体の行動範囲（全ての測位点からねぐら・コロニーまでの距離；km）のヒストグラムを図12に示す。ID:45515において、ピストン輸送（一日に採餌トリップが複数ある状態）が開始された日から終了した日を繁殖期とし、それ以外の日を非繁殖期としてデータを分別した。

全体のトリップ数（ $n=1,234$ ）のうち、それぞれの平均値は、トリップ長が $248 (\pm 234 \text{ s.d})$ min、総移動距離が $16.3 (\pm 12.9 \text{ s.d})$ km、最遠距離が $7.7 (\pm 4.7 \text{ s.d})$ kmであった（表2）。トリップのパラメーターは、個体差が大きく、トリップを行った季節、場所においても大きな差が確認された（表2、4、5、6）。各月におけるトリップ長を見ると、繁殖時期ではトリップ長が低く、それ以外の期間は日長時間に影響された結果となった（図9）。また、総移動距離では約50km以下が多いことが分かった（図10）。トリップの最遠距離は、どの季節でもおおよその個体が20km以下であり、20kmを超えるトリップは稀であった（図11）。行動範囲についても個体差が大きい結果となったが、おおむね15km圏内で行動する個体が多いことが分かった（図12）。

採餌トリップデータにおけるGLMM解析結果を表4、5、6に示す。トリップ長は、ねぐらの場所、また、成長段階、季節によって、有意な差がみられた（表4）。総移動距離や最遠距離は、ねぐらの場所によって、また、季節によって有意差が見られた（表5、6）。場所による違いは、ねぐら・コロニーの位置と採餌場所の関係が異なるため、どのパラメーターについても差がみられた。一方、トリップ長は、繁殖期の成鳥がピストン輸送をするため有意に短く、幼鳥、非繁殖期の成鳥の方が長かったものと推測される。季節的な差としては、春の差が出たのは繁殖期と重なったためピストン輸送の効果が表れた推測され、夏と比べて、総移動距離は、春が有意に多く、最遠距離は、春と冬が有意に遠かった。これについては、季節によってねぐら自体が変わっている効果も考えられる。今回個体数が少なく、GLMMに対して、交互作用の効果を見ることができなかつたが、繁殖期の成鳥と非繁殖期の成鳥、幼鳥で採餌トリップの長さは大きく異なること、季節によって、場所によってトリップ長、トリップの総距離、最遠距離が異なるのは、各河川の餌場とねぐら・コロニーの位置関係が大きな影響を与えていることが示唆された。

採餌トリップにおける移動速度（km/h）のヒストグラムを図13に示す。幼鳥も成鳥も時速50～60kmになると急速にヒストグラムの度数が減少することから、カワウの飛行速度は、おおよそ時速50～60km程度と推測することができる。

表2 各個体の採餌トリップデータ（同個体の繁殖期、非繁殖期を分別した）

| ID | 成長段階 | トリップ数 | トリップ長 (min) | 総移動距離 (km) | 最遠距離 (km) |
|--------------|----------|-------|----------------|---------------|--------------|
| 45474 | 幼鳥 | 18 | 221±197 | 9.3±4.9 | 5.2±2.5 |
| 45475 | 幼鳥 | 233 | 463±216 | 15.4±10.7 | 6.2±3.8 |
| 45515 | 成鳥（繁殖期） | 531 | 84±64 | 13.9±11.1 | 7.6±4.7 |
| 45515 | 成鳥（非繁殖期） | 189 | 271±248 | 16.9±16.2 | 7.2±6.1 |
| 45845 | 幼鳥 | 13 | 587±104 | 9.9±4.4 | 4.0±1.8 |
| 45846 | 幼鳥 | 47 | 665±72 | 29.7±11.4 | 11.0±3.9 |
| 45847 | 成鳥（非繁殖期） | 18 | 393±135 | 16.1±7.2 | 9.2±0.9 |
| 45849 | 幼鳥 | 249 | 312±214 | 201±13.4 | 9.2±3.2 |
| | 幼鳥 | 560 | 408±2234 | 18.4±12.7 | 7.8±3.9 |
| total | 成鳥（非繁殖期） | 207 | 282±243 | 16.8±15.7 | 7.4±5.9 |
| | 成鳥（繁殖期） | 531 | 84±64 | 13.9±11.1 | 7.6±4.7 |

※平均±SD

表3 各個体における利用ねぐら・コロニーごとの採餌トリップデータ
(同個体の繁殖期、非繁殖期を分別した)

| ID | 成鳥段階 | ねぐら名称 | 期間 | トリップ数 | トリップ長 (min) | 総移動距離 (km) | 最遠距離 (km) |
|-------|-----------|--------------|--|-------|-------------|-------------|------------|
| 45474 | 幼鳥 | コリーナ矢板 | 2020/7/18 - 2020/8/5 | 18 | 221 ± 197 | 9.3 ± 4.9 | 5.2 ± 2.5 |
| 45475 | 幼鳥 | コリーナ矢板 | 2020/7/30 - 2020/9/26 | 57 | 315 ± 259 | 15.3 ± 10.9 | 7.6 ± 4.8 |
| | | ホウライカントリー倶楽部 | 2020/9/27 - 2020/11/9 | 46 | 465 ± 185 | 18.2 ± 11.3 | 5.8 ± 3.5 |
| | | 大原・御宿ゴルフコース | 2020/11/14 - 2020/11/20 | 11 | 307 ± 162 | 26.2 ± 25.9 | 8.4 ± 8.0 |
| 45515 | 成鳥 (繁殖期) | 加茂ゴルフ倶楽部 | 2020/11/29 - 2021/4/10 | 119 | 547 ± 155 | 13.3 ± 6.2 | 5.6 ± 2.1 |
| | | コリーナ矢板 | 2021/4/27 - 2021/7/18 2022/2/24 - 2022/7/21 | 527 | 84 ± 65 | 14.0 ± 11.1 | 7.6 ± 4.7 |
| 45515 | 成鳥 (非繁殖期) | コリーナ矢板 | 2021/7/19 - 2021/9/6 | 60 | 244 ± 212 | 19.1 ± 12.6 | 8.6 ± 4.3 |
| | | 井頭公園 | 2021/9/7 - 2021/9/30 2021/10/3 - 2021/10/15 | 33 | 374 ± 269 | 26.0 ± 13.3 | 10.6 ± 4.8 |
| | | 大沼 | 2021/12/2 - 2021/12/24 | 53 | 62 ± 43 | 1.4 ± 3.2 | 0.9 ± 1.5 |
| | | 渡良瀬遊水地 | 2021/11/11 - 2021/11/30 2021/12/25 - 2022/2/7 | 31 | 494 ± 194 | 29.3 ± 18.5 | 12.1 ± 6.3 |
| | | 利根川 | 2021/10/27 - 2021/10/31 2022/1/26 - 2022/1/29 | 9 | 539 ± 167 | 23.8 ± 13.3 | 10.2 ± 4.7 |
| 45845 | 幼鳥 | 高津戸ダム | 2021/10/22 - 2021/11/4 | 13 | 587 ± 104 | 9.9 ± 4.4 | 4.0 ± 1.8 |
| 45846 | 幼鳥 | 高津戸ダム | 2022/2/5 - 2022/2/15 2022/3/30 - 2022/4/5 | 18 | 651 ± 102 | 35.7 ± 11.9 | 13.2 ± 3.8 |
| | | 工場沼 | 2022/2/19 - 2022/3/27 | 29 | 674 ± 42 | 26.0 ± 9.3 | 9.6 ± 3.2 |
| 45847 | 成鳥 (非繁殖期) | 高津戸ダム | 2021/12/7 - 2021/12/24 | 18 | 393 ± 135 | 16.1 ± 7.2 | 9.2 ± 0.9 |
| 45849 | 幼鳥 | イーストウッド | 2021/12/20 - 2022/2/11 | 41 | 444 ± 224 | 32.4 ± 19.8 | 8.2 ± 3.0 |
| | | コリーナ矢板 | 2022/2/12 - 2022/9/21 | 208 | 285 ± 203 | 17.7 ± 10.2 | 9.4 ± 3.2 |
| total | | | | 1291 | 254 ± 238 | 16.1 ± 13.0 | 7.6 ± 4.6 |

※平均 ± SD

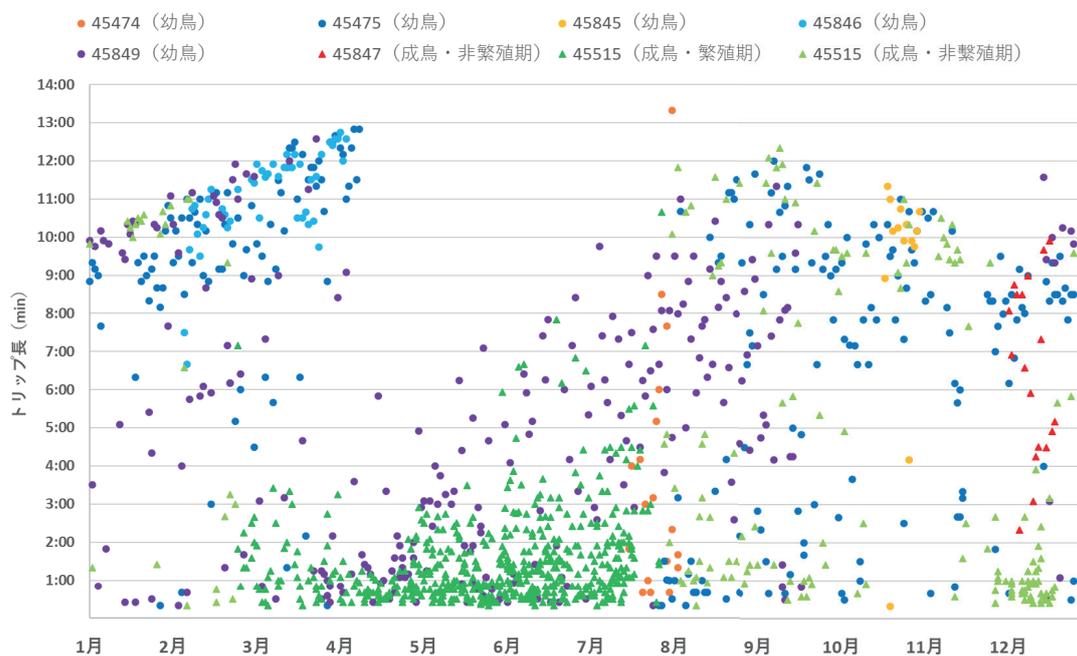


図 9. 各月日のトリップ長 (min) ※色分けはロガーID

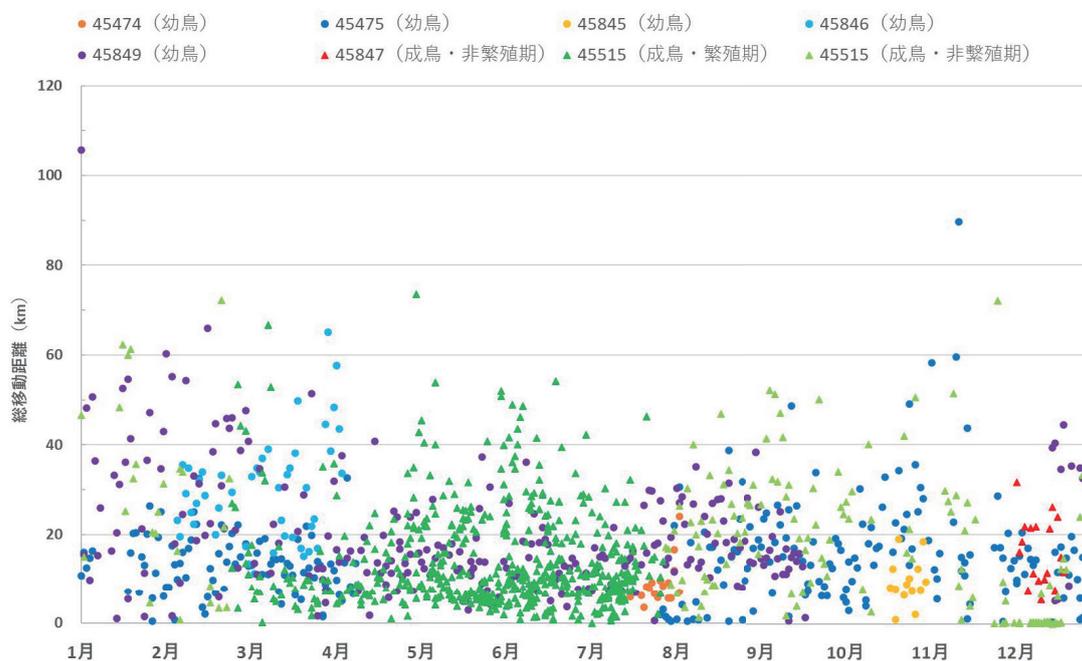


図 10. 各月日の総移動距離 (km) ※色分けはロガーID

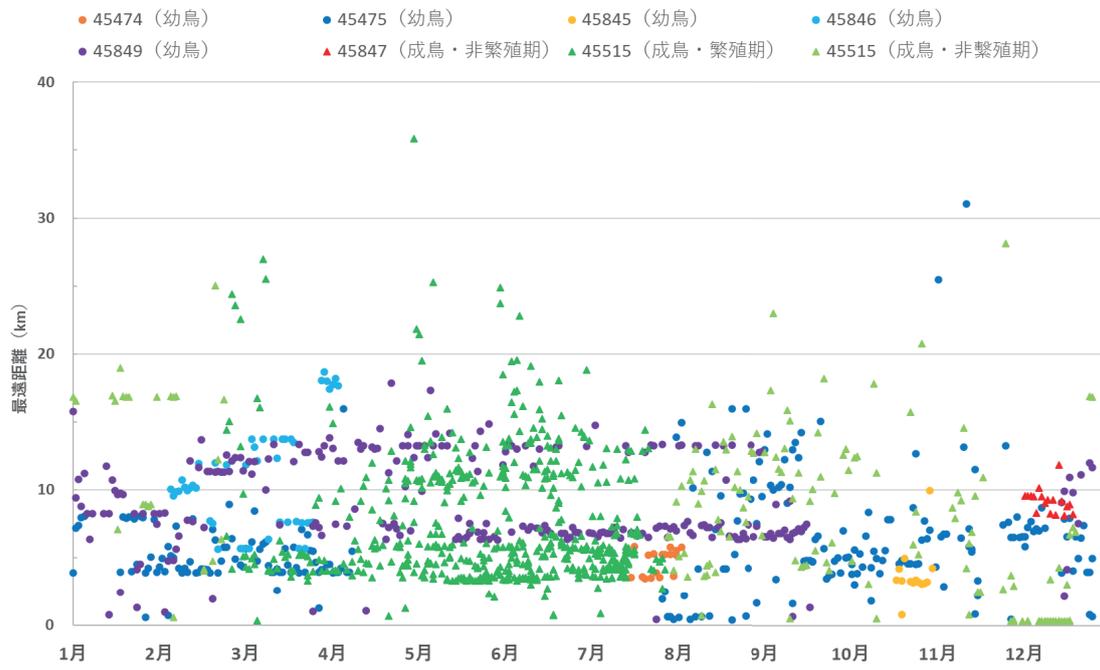


図 11. 各月日の最遠距離 (km) ※色分けはロガーID

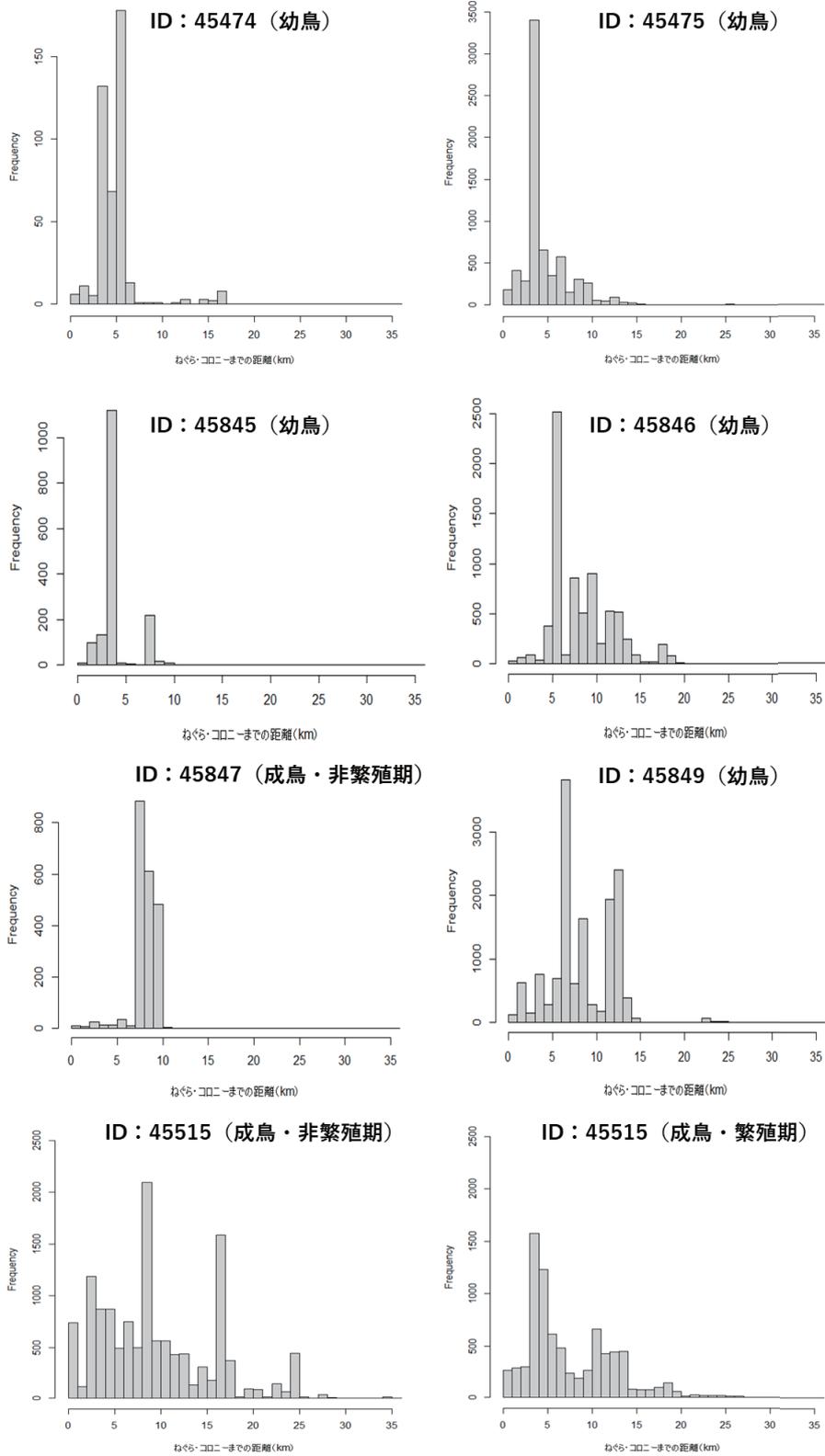


図 12. 各個体の行動範囲（全ての測位点からねぐら・コロニーまでの距離；km）のヒストグラム

表 4 トリップ長における各カテゴリーの GLMM 解析結果

| 目的変数 | 説明変数 | 係数 | 標準誤差 | t | p | |
|-------------|------------------|-----------------------------|--------|---------|--------|-----|
| トリップ長 (min) | ねぐら：コリーナ矢板 | -0.454 | 0.136 | -3.332 | <0.001 | *** |
| | ねぐら：井頭公園 | -0.105 | 0.219 | -0.479 | 0.632 | |
| | ねぐら：工場沼 | 0.716 | 0.179 | 4.000 | <0.001 | *** |
| | ねぐら：高津戸ダム | 0.292 | 0.153 | 1.910 | 0.056 | |
| | ねぐら：大原・御宿ゴルフコース | -0.491 | 0.256 | -1.915 | 0.056 | |
| | ねぐら：加茂ゴルフ倶楽部 | 0.348 | 0.125 | 2.779 | 0.006 | ** |
| | ねぐら：大沼 | -1.763 | 0.169 | -10.462 | <0.001 | *** |
| | ねぐら：渡良瀬遊水地 | 0.227 | 0.196 | 1.159 | 0.247 | |
| | ねぐら：ハウライカントリー倶楽部 | -0.076 | 0.182 | -0.418 | 0.676 | |
| | ねぐら：利根川 | 0.317 | 0.279 | 1.140 | 0.255 | |
| | 成鳥 (非繁殖期) | 0.891 | 0.090 | 9.886 | <0.001 | *** |
| | 幼鳥 | 1.066 | 0.056 | 18.930 | <0.001 | *** |
| | 時期：春 | -0.325 | 0.051 | -6.421 | <0.001 | *** |
| | 時期：秋 | 0.137 | 0.107 | 1.285 | 0.199 | |
| 時期：冬 | -0.028 | 0.088 | -0.320 | 0.749 | | |
| 切片 | 5.014 | 0.144 | | | | |
| n=1291 | | ***p<0.001,**p<0.01,*p<0.05 | | | | |

表 5. 総移動距離における各カテゴリーの GLMM 解析結果

| 目的変数 | 説明変数 | 係数 | 標準誤差 | t | p | |
|------------|------------------|-----------------------------|-------|--------|--------|-----|
| 総移動距離 (km) | ねぐら：コリーナ矢板 | 0.023 | 0.235 | 0.098 | 0.922 | |
| | ねぐら：井頭公園 | -0.162 | 0.645 | -0.251 | 0.802 | |
| | ねぐら：工場沼 | -0.177 | 0.379 | -0.467 | 0.641 | |
| | ねぐら：高津戸ダム | -0.091 | 0.271 | -0.335 | 0.738 | |
| | ねぐら：大原・御宿ゴルフコース | 0.238 | 0.826 | 0.288 | 0.774 | |
| | ねぐら：加茂ゴルフ倶楽部 | -0.855 | 0.152 | -5.631 | <0.001 | *** |
| | ねぐら：大沼 | -2.502 | 0.348 | -7.190 | <0.001 | *** |
| | ねぐら：渡良瀬遊水地 | 0.645 | 0.383 | 1.684 | 0.092 | |
| | ねぐら：ハウライカントリー倶楽部 | -0.127 | 0.799 | -0.158 | 0.874 | |
| | ねぐら：利根川 | -0.005 | 0.519 | -0.011 | 0.992 | |
| | 成鳥 (非繁殖期) | 0.266 | 0.507 | 0.525 | 0.600 | |
| | 幼鳥 | 0.051 | 0.084 | 0.609 | 0.543 | |
| | 時期：春 | 0.587 | 0.276 | 2.128 | 0.034 | * |
| | 時期：秋 | 0.383 | 0.757 | 0.505 | 0.613 | |
| 時期：冬 | 0.732 | 0.307 | 2.388 | 0.017 | * | |
| 切片 | 2.593 | 0.239 | | | | |
| n=1291 | | ***p<0.001,**p<0.01,*p<0.05 | | | | |

表 6. 最遠距離における各カテゴリーの GLMM 解析結果

| 目的変数 | 説明変数 | 係数 | 標準誤差 | t | p | |
|-----------|------------------|--------|-------|--------|--------|-----|
| 最遠距離 (km) | ねぐら：コリーナ矢板 | 0.308 | 0.187 | 1.645 | 0.100 | |
| | ねぐら：井頭公園 | 0.119 | 0.514 | 0.232 | 0.817 | |
| | ねぐら：工場沼 | 0.130 | 0.302 | 0.432 | 0.666 | |
| | ねぐら：高津戸ダム | 0.267 | 0.216 | 1.238 | 0.216 | |
| | ねぐら：大原・御宿ゴルフコース | 0.320 | 0.658 | 0.486 | 0.627 | |
| | ねぐら：加茂ゴルフ倶楽部 | -0.342 | 0.121 | -2.826 | 0.005 | ** |
| | ねぐら：大沼 | -2.108 | 0.277 | -7.601 | <0.001 | *** |
| | ねぐら：渡良瀬遊水地 | 0.749 | 0.305 | 2.454 | 0.014 | * |
| | ねぐら：ハウライカントリー倶楽部 | -0.050 | 0.637 | -0.079 | 0.937 | |
| | ねぐら：利根川 | 0.234 | 0.414 | 0.565 | 0.572 | |
| | 成鳥 (非繁殖期) | 0.112 | 0.404 | 0.276 | 0.782 | |
| | 幼鳥 | 0.023 | 0.067 | 0.337 | 0.736 | |
| | 時期：春 | -0.087 | 0.220 | -0.396 | 0.692 | |
| | 時期：秋 | 0.085 | 0.604 | 0.140 | 0.889 | |
| 時期：冬 | 0.697 | 0.244 | 2.854 | 0.004 | ** | |
| 切片 | 1.701 | 0.191 | | | | |

n=1291 ***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05

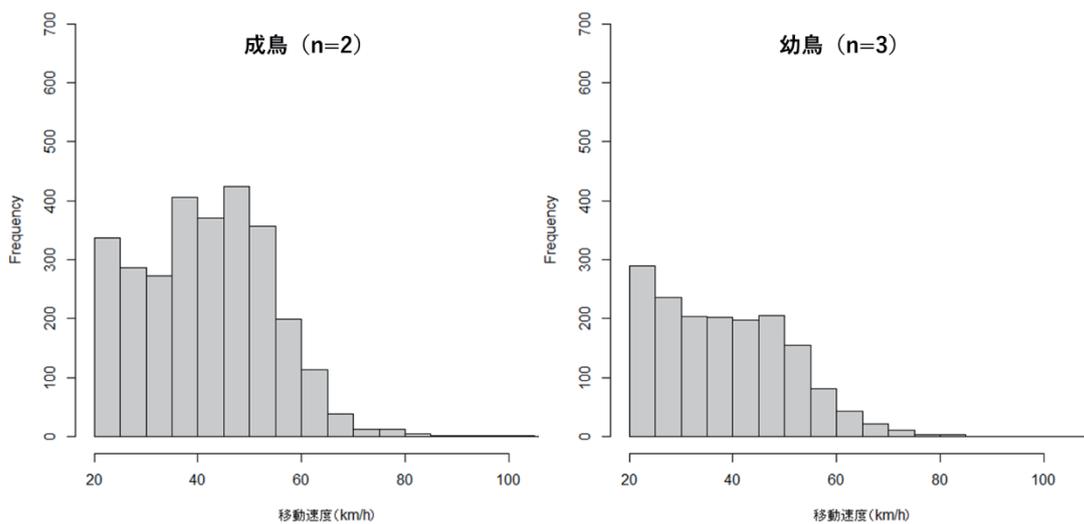


図 13. 採餌トリップにおける移動速度

※20 km/h 未満は除外した

③ 採餌開始時刻及び採餌終了時刻

採餌トリップの開始時間と終了時間を散布図にまとめたものを図 14、15 に示す。

採餌トリップの開始時刻は、非繁殖期において日の出時刻より約 30 分前にねぐらから出発することが多かった (図 14)。繁殖期では繁殖個体のピストン輸送により点が多い結果と

なったが、日の出時刻より遅い時間帯に出発することが多いことが分かった（図 14）。開始時刻は、早朝が多く、昼間はピストン輸送のデータが強く出ており、それ以外の個体は昼間に出発するのはあまり見られなかった（図 14）。

採餌トリップの終了時刻は、日の入り時刻前になぐらに帰ってくる個体が多く、遅い個体でもおおよそ日の出時刻に帰ってくるということが分かった（図 15）。図 15 を見ると、夕方に多いことが分かるが、早朝にも少し帰巢する個体があり、これはピストン輸送の影響もあると思われるが、早朝出発しすぐに帰る個体もいることが分かった。

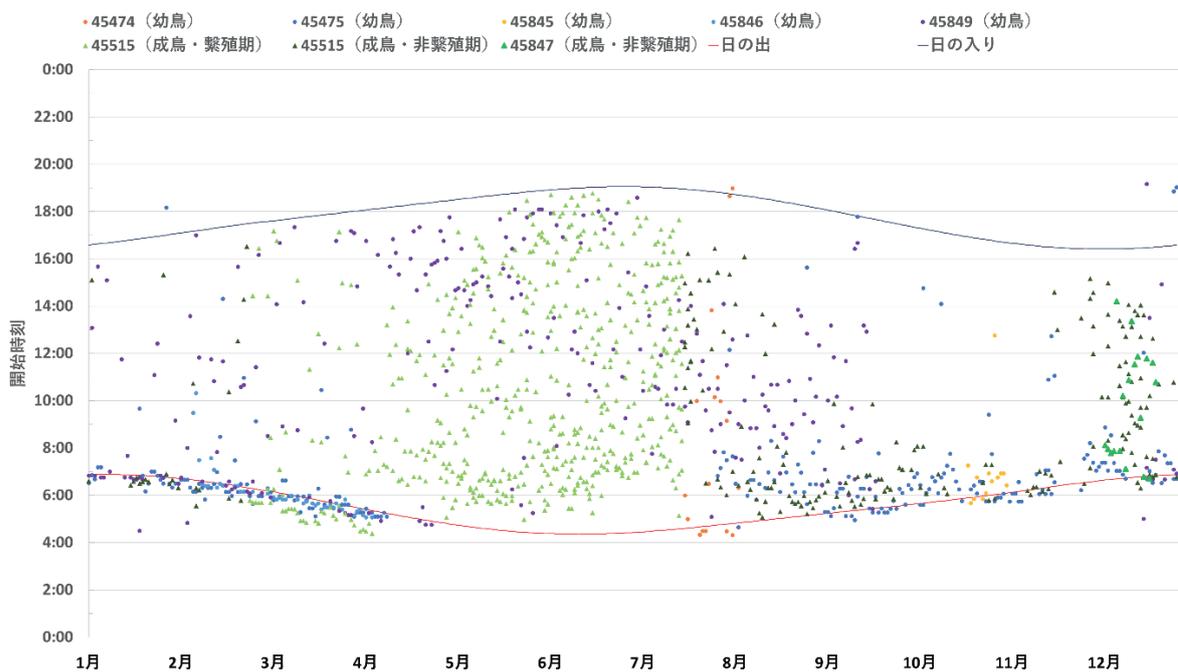


図 14. 各月日の採餌トリップ開始時刻 ※色分けはロガーID

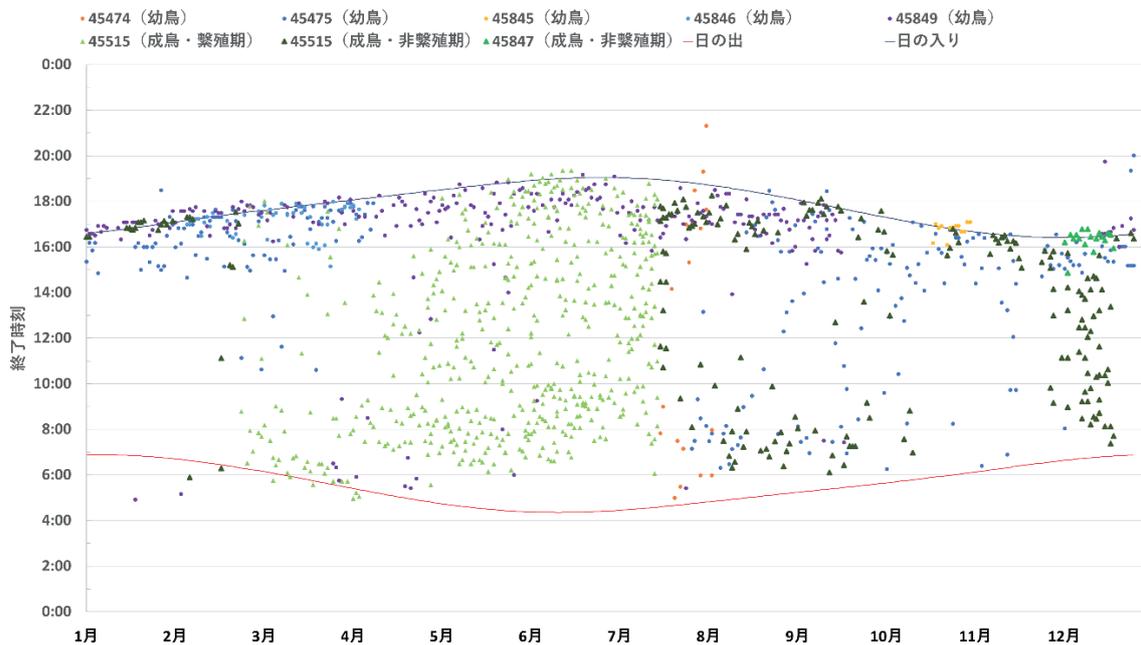


図 15. 各月日の採餌トリップ終了時刻 ※色分けはロガーID

1日のトリップ数について、幼鳥は1~2回を行っていることがわかった。一方、成鳥は、非繁殖期は幼鳥同様1~2回のトリップを行っているが、繁殖期には、3~6回のトリップを行っていることが分かった。実際の育雛期（おそらく4~6月頃）以外はかなり広い期間、トリップが3より増えていた。これは、抱卵期間や造巣期などの繁殖行動が影響している可能性があり、親は雄雌が交替で巣を守るようになるとトリップ回数が増える可能性が示唆された。

④採餌場所の環境条件

GPS 測位点から作成したヒートマップから、密度が濃い地点の環境条件を全体と各装着個体でまとめた。カワウの早朝2時間のGPS測位点は、淵が圧倒的に多く、次に瀬が多い結果となった(図16)。また、採餌場所を見ると、個体によって利用する環境のバリエーションには個体差があるようだ(図17)。

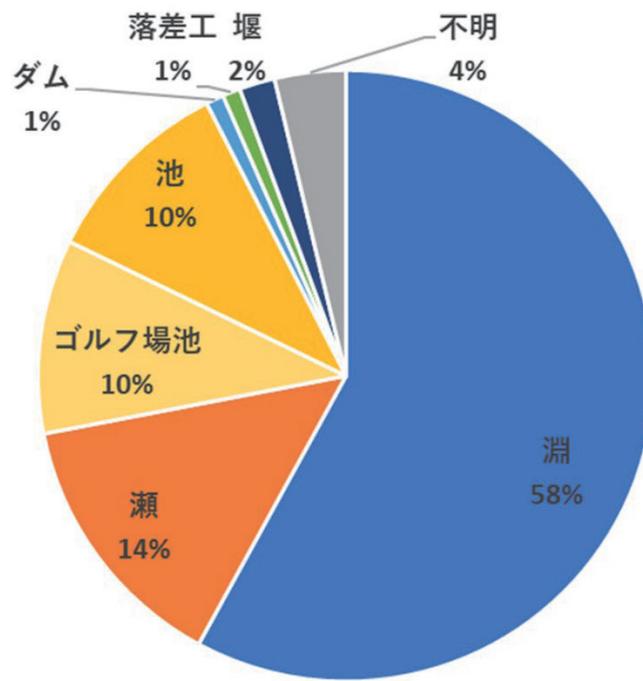


図 16. ヒートマップの密度が高い地点の環境条件

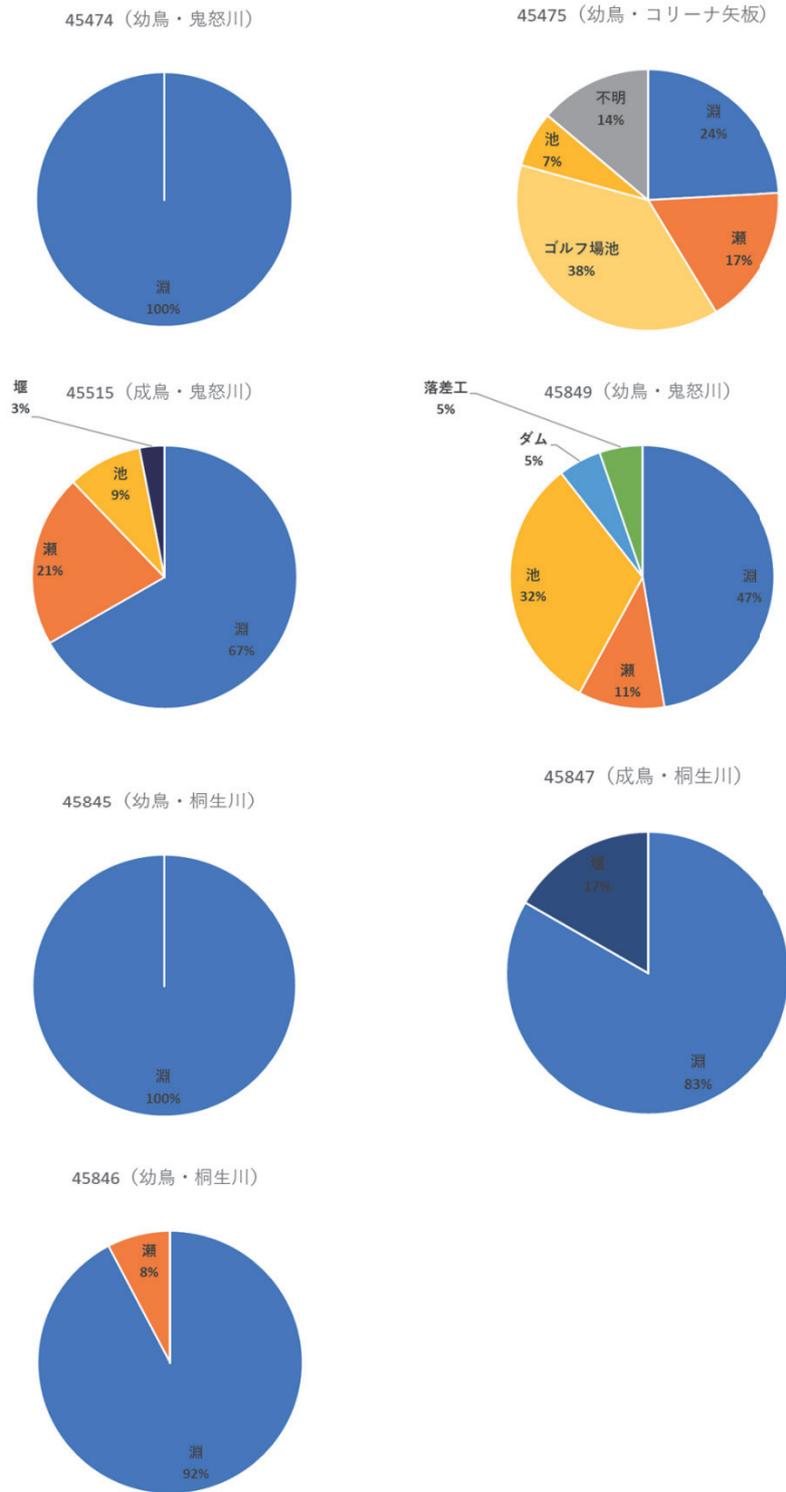


図 17. 各個体の環境条件

v) ねぐら・コロニーの移動および季節移動

本研究では得られた GPS データからカワウが利用するねぐら・コロニーを移動したこと、そして、季節によるカワウの長距離移動（以下：季節移動）が確認された。各装着個体から判明したねぐら・コロニー移動についてまとめたものを表 7 に示す。速度は次のねぐらに移る際の最高速度と 1km/h 以上の速度から平均速度を抽出した。ねぐら・コロニーの移動について、ねぐらから直接次のねぐらに移るパターンと採餌をしてから夕方に次のねぐらに移るパターンが確認された（図 18）。

また、カワウの季節移動についてまとめたものを表 8 に示す。季節移動では早朝に出発することが判明した（表 8、図 19）。

表 7 と 8 の最大移動速度を見ると時速 90 km を超えた例が 3 例記録されている。おそらく追い風の条件等が加わったものと推測されるが、羽ばたき飛翔をするカワウがこのように高速移動可能ということは驚くべき記録である。

表7 カワウのねぐら・コロニー移動に関するパラメーターのまとめ

| ID | 移動日 | ねぐら・コロニー名称 (移動前) | ねぐら・コロニー名称 (移動後) | 出発時刻 | 到着時刻 | ねぐら・コロニー間距離 (km) | 総移動距離 (km) | 平均速度±SD (1 km/h以下は除外) | 最高速度 (km/h) |
|-------------|-------------|------------------|------------------|-------|-------|------------------|------------|-----------------------|-------------|
| 45475 | 2020年9月26日 | コリーナ矢板 | ホウライカントリー倶楽部 | 11:20 | 12:10 | 22.1 | 22.8 | 27.4±11.0 | 42.3 |
| | 2020年11月12日 | 行徳近郊緑地 | 千葉県いすみ市新田川 | 6:20 | 8:00 | 62.4 | 64.8 | 41.4±24.9 | 66.0 |
| | 2020年11月13日 | 千葉県いすみ市新田川 | 大原・御宿ゴルフコース | 16:10 | 16:30 | 5.6 | 5.7 | 17.2±4.6 | 21.6 |
| | 2020年11月21日 | 大原・御宿ゴルフコース | 千葉製油所 | 6:10 | 16:50 | 42.6 | 70.6 | 20.9±15.3 | 53.7 |
| | 2020年11月24日 | 千葉製油所 | 鶴舞カントリー倶楽部 | 6:10 | 7:40 | 18.4 | 21.4 | 14.7±18.2 | 55.3 |
| | 2020年11月26日 | 鶴舞カントリー倶楽部 | 高滝湖展望台近く | 7:20 | 13:00 | 1.4 | 8.4 | 6.1±3.7 | 9.9 |
| | 2020年11月28日 | 高滝湖展望台 | 加茂ゴルフ倶楽部 | 15:40 | 16:10 | 6.4 | 6.8 | 20.3±9.3 | 29.6 |
| | 2021年4月13日 | ホウライカントリー倶楽部 | コリーナ矢板 | 5:10 | 7:30 | 22.1 | 23.1 | 18.9±15.0 | 45.2 |
| | 2021年9月6日 | コリーナ矢板 | 井原公園 | 7:05 | 17:45 | 28.9 | 54.6 | 18.4±20.7 | 67.9 |
| | 2021年10月9日 | 井原公園 | インターパーク | 6:25 | 17:35 | 8.0 | 21.0 | 21.5±20.7 | 58.1 |
| 2021年10月11日 | インターパーク | 井原公園 | 17:35 | 17:55 | 8.0 | 8.1 | 32.2±3.1 | 34.7 | |
| 2021年10月23日 | 利根川③ | 利根川① | 17:00 | 17:15 | 12.0 | 8.9 | 35.4±31.7 | 77.8 | |
| 2021年11月1日 | 利根川② | 利根川③ | 6:05 | 8:05 | 5.2 | 22.9 | 21.5±21.4 | 59.5 | |
| 2021年11月7日 | 利根川③ | 利根川④ | 6:35 | 16:05 | 34.2 | 53.1 | 17.7±20.2 | 60.2 | |
| 2021年11月8日 | 利根川④ | 茨城県鬼怒川 | 6:35 | 17:00 | 4.3 | 17.7 | 9.8±12.3 | 48.0 | |
| 2021年11月10日 | 茨城県鬼怒川 | 渡良瀬遊水地 | 8:05 | 16:45 | 39.3 | 84.9 | 30.2±19.1 | 60.5 | |
| 45515 | 2021年12月1日 | 渡良瀬遊水地 | 大沼 | 7:10 | 8:30 | 17.6 | 23.7 | 22.5±12.9 | 44.6 |
| | 2021年12月4日 | 大沼 | 渡良瀬遊水地 | 8:10 | 16:30 | 17.6 | 36.6 | 26.7±17.3 | 59.6 |
| | 2021年12月5日 | 渡良瀬遊水地 | 大沼 | 7:25 | 15:00 | 17.6 | 34.4 | 17.1±13.4 | 48.1 |
| | 2021年12月24日 | 大沼 | 渡良瀬遊水地 | 8:40 | 16:45 | 17.6 | 44.1 | 29.7±24.9 | 90.0 |
| | 2022年1月3日 | 渡良瀬遊水地 | 利根川① | 7:40 | 17:15 | 24.3 | 30.9 | 14.5±18.8 | 60.2 |
| | 2022年1月4日 | 利根川① | 渡良瀬遊水地 | 7:05 | 17:05 | 24.3 | 44.4 | 16.6±19.9 | 69.0 |
| | 2022年1月13日 | 渡良瀬遊水地 | 利根川① | 6:55 | 17:25 | 24.3 | 51.4 | 14.4±15.9 | 55.5 |
| | 2022年1月14日 | 利根川① | 渡良瀬遊水地 | 7:00 | 15:35 | 24.3 | 30.4 | 17.0±28.1 | 97.7 |
| | 2022年1月30日 | 利根川① | 渡良瀬遊水地 | 7:00 | 17:55 | 24.3 | 31.0 | 15.4±22.5 | 71.6 |
| | 2021年2月15日 | 高津戸ダム | 工場沼 | 6:25 | 17:50 | 21.0 | 30.8 | 11.8±14.3 | 45.9 |
| 2021年3月28日 | 工場沼 | 高津戸ダム | 5:20 | 19:20 | 21.0 | 51.2 | 16.7±16.3 | 72.5 | |
| 45849 | 2022年2月14日 | イーストウッド | コリーナ矢板 | 6:25 | 17:45 | 9.1 | | 12.1±14.4 | 45.9 |

表8 装着個体から判明した長距離移動

| ID | 移動日 | ねぐら・コロニー名称 (移動前) | ねぐら・コロニー名称 (移動後) | 出発時刻 | 到着時刻 | ねぐら・コロニー間距離 (km) | 総移動距離 (km) | 最大移動距離 (km) | 平均速度±SD (1 km/h以下は除外) | 最高速度 (km/h) |
|-------|-------------|------------------|------------------|------|-------|------------------|------------|-------------|-----------------------|-------------|
| 45475 | 2020年10月21日 | ホウライカントリー倶楽部 | 千貫沼 | 6:00 | 9:20 | 90.6 | 93.8 | 88.8 | 51.1±22.7 | 74.8 |
| | 2020年10月22日 | 千貫沼 | ホウライカントリー倶楽部 | 6:10 | 15:40 | 90.6 | 120.0 | 92.3 | 31.9±28.7 | 82.7 |
| | 2020年11月10日 | ホウライカントリー倶楽部 | 行徳近郊緑地 | 6:00 | 15:10 | 141.2 | 194.0 | 84.8 | 45.1±29.6 | 88.1 |
| | 2020年4月11日 | 加茂ゴルフ倶楽部 | ホウライカントリー倶楽部 | 5:20 | 11:40 | 184.1 | 196.4 | 171.8 | 37.7±14.6 | 67.4 |
| 45515 | 2022年2月18日 | コリーナ矢板 | 渡良瀬遊水地 | 8:05 | 18:10 | 59.6 | 105.0 | 49.0 | 35.2±24.7 | 91.9 |
| | 2022年2月20日 | 渡良瀬遊水地 | コリーナ矢板 | 6:45 | 15:50 | 59.6 | 75.1 | 43.5 | 22.8±22.0 | 60.7 |



図 18. ねぐら移動例 ID : 45475



図 19. 季節移動例 ID : 45475

⑤GPS 軌跡から判明したカワウの行動について

装着した GPS 個体から得られた軌跡によりカワウの行動について判明したことをまとめる。

まず、栃木県のコロニーで捕獲した個体（ID45475 幼鳥）は、8月から11月にかけて、鬼怒川、荒川、箒川を利用しており、夏は鬼怒川と荒川、秋は箒川といった季節ごとに採餌場所を変えることが分かった（図 20）。箒川では、時期が経つにつれ上流に移動することが多くなり、利用していたコロニーから約 15 km を越えるとその地点から近い方のねぐらに移動していたことが分かった。また、7～8 月だけの夏のみデータの取れた幼鳥はやはり、鬼怒川を中心に採餌していた。また、別の幼鳥個体も 12～2 月までは越冬地で採餌しているが、2 月から 4 月はいろいろな場所を利用しながらも鬼怒川の利用が増え、5～7 月はメインに鬼怒川を利用していた。栃木県鬼怒川で捕獲した成鳥個体も同様の傾向が見られ、2 月から 10 月までは鬼怒川を利用していたが、10 月以降、利根川の利用が増加し、その後越冬地（多々良沼や池等）に季節移動を行った。

以上のことから、幼鳥も成鳥も 5～8 月のアユの遡上・定着期には、鬼怒川を中心とした採餌行動を行っていることが分かった。また、秋以降は、近隣の箒川など、鬼怒川から少し異なる場所に採餌エリアを移動させ、冬季は個体ごとに異なる越冬地において、池や沼、河川を採餌エリアとして利用していることが示され、再び 2 月以降、コリーナ矢板のコロニーに戻ってくると鬼怒川を利用するようになることが示された。

群馬県の桐生川で捕獲した個体（成鳥・幼鳥）は、ともに最寄りの高津戸コロニーを利用しており、10 月～4 月のどの季節においても渡良瀬川と桐生川を主な採餌エリアとして使用していた（図 21）。

栃木県鬼怒川にて繁殖期の親鳥の行動を図 22 に示す。この個体からは育雛中のため、雛に何度も給餌するピストン輸送（1 日に複数回、採餌とコロニーを往復する行動）がみられた。この個体は育雛のために鬼怒川を利用していたが、ある地点を境に、それ以上の上流には採餌に行かなかった。この地点は、鬼怒川漁協がこの時期にアユの稚魚を放流している最上流部と一致していた。このように繁殖期の親鳥が放流されたアユの稚魚を高頻度で利用し、育雛していることが明らかとなった。

図 23 に長期間装着データが得られた 2 個体の関東圏における越冬行動を示す。この 2 個体は春、夏、秋は栃木県の河川を利用し、他県で越冬する行動が見られた。

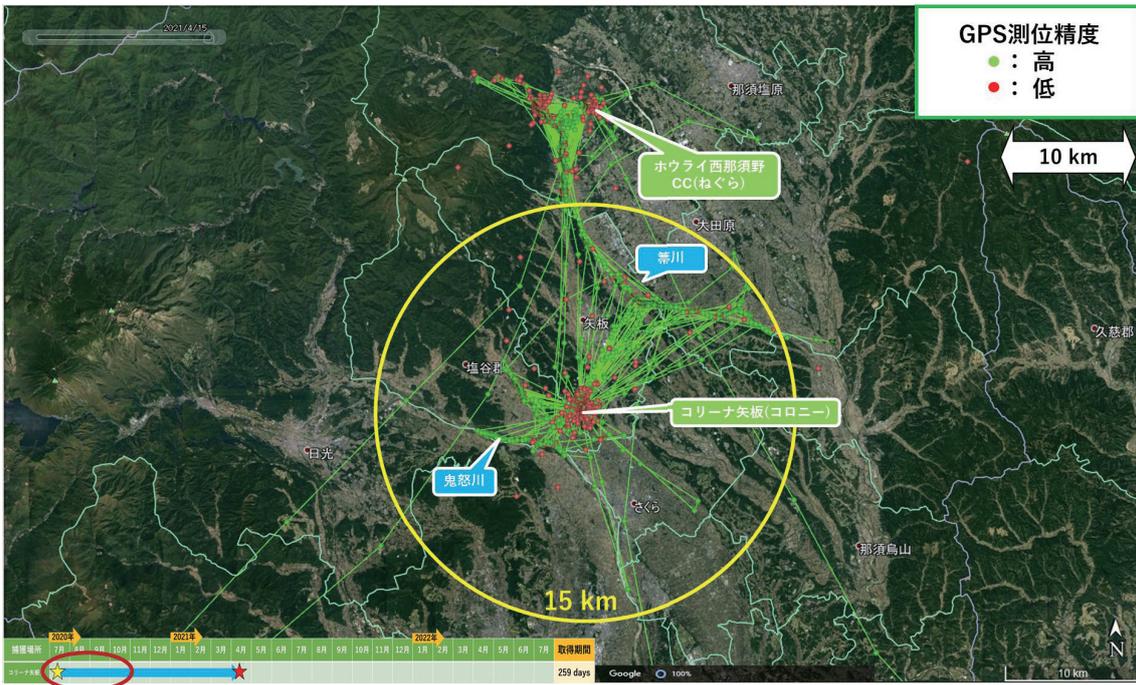


図 20. 栃木県のコロニーで捕獲された個体の移動軌跡 (ID : 45475)



図 21. 群馬県桐生川で捕獲された個体の移動軌跡 (ID : 45847)

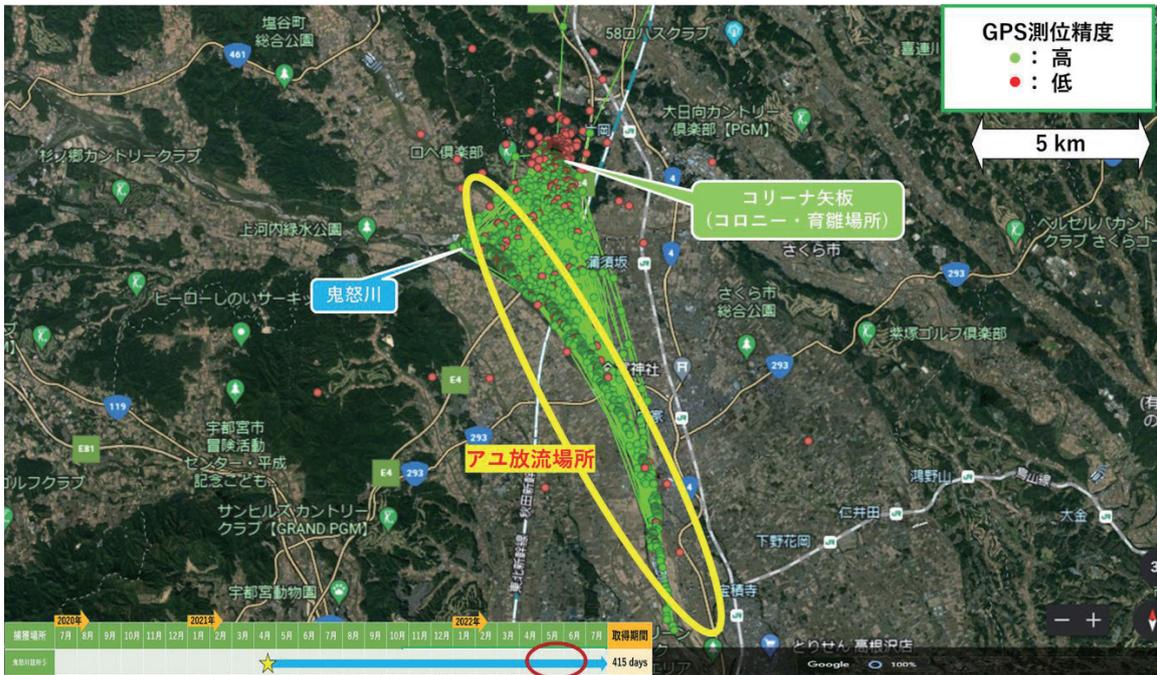


図 22. 放流場所で採餌する繁殖期のカワウ (ID : 45515)

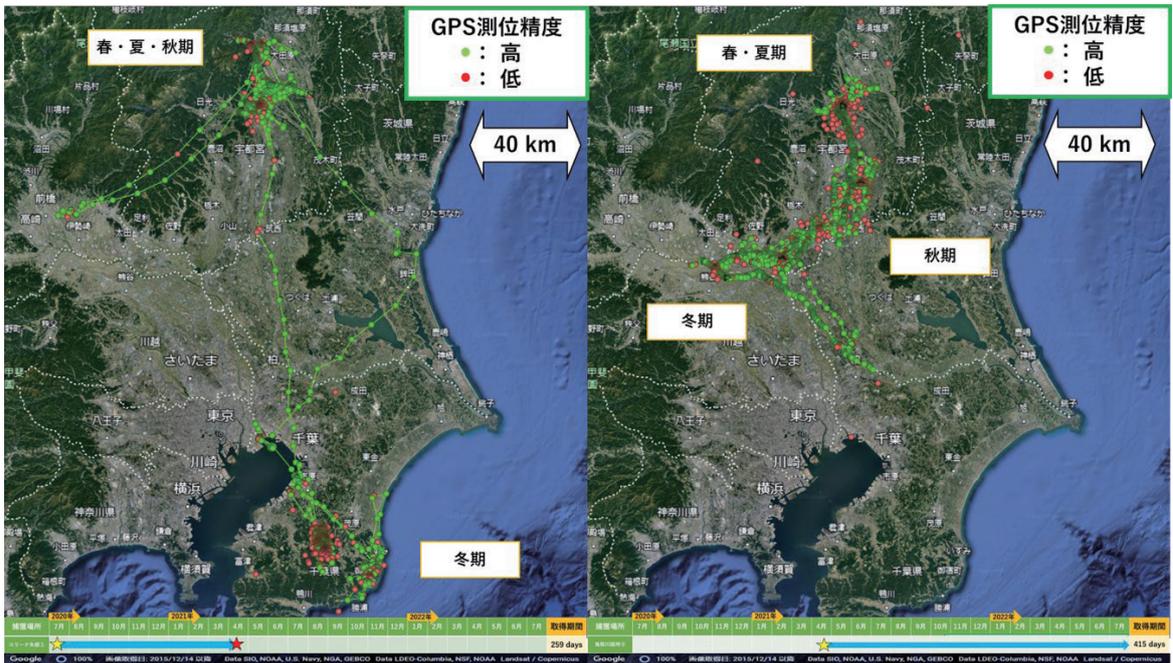


図 23. 関東圏におけるカワウの行動 (左 : ID45475、右 : ID45515)

3) 考察

①捕獲個体について

本研究では、計 18 個体を捕獲し、うち幼鳥が 13 個体、成鳥が 5 個体だった。

今回、装着した個体のうち、計 6 台が栃木県内にて猟銃により捕獲され、それらの個体はすべてが幼鳥であった（表 2）。群馬県で捕獲した個体その後、渡良瀬川下流に移動し、栃木県に入ったと同時に狩猟されてしまうことがあった。群馬県で捕獲した地点のエリアは川沿いに住宅地などが多く、狩猟禁止エリアであったため、その場所を利用する個体はロケット花火による追い払いの経験はあるものの銃器による捕獲を知らない個体であったと推測される。今回、栃木県で装着した個体のうち長期間のデータを得られた個体の行動では、ゴルフ所の池や自然公園の池など、禁猟区を主に利用しており（図 20）、冬期に禁猟区を利用することを学習した個体は、幼鳥であっても生存率が高くなっている可能性が示唆された。

②採餌トリップについて

本研究では、幼鳥と成鳥の繁殖期、非繁殖期の採餌トリップデータが得られた（表 2）。各個体の結果を見ると、個体差があり、さらに場所、期間による差が明らかとなった（表 3）。これは、利用するねぐら・コロニーから採餌に行く場所までの距離による影響と考えられる。カワウは、栃木県においては、アユの遡上期から定着期には鬼怒川を利用し、その後落ちアユの時期には箒川、そして、冬季は栃木から移動して別の場所で採餌する様子が見られたように、カワウは、河川の餌環境に合わせて柔軟にねぐらを移動していることがわかる。一方で、繁殖期はコロニーの移動をできないことから、コリーナ矢板のようにカワウの繁殖期間中を通して、最も良い餌場が近くにあるところに営巣することが考えられた。

アユの稚魚は、放流直後は群れることが知られており、放流後 10 日間が最もカワウに捕食されやすいということが知られている。よって、放流場所では、放流後 10 日間は、集中した日程で徹底的なカワウの追い払い等の被害防除対策を行い、放流場所から 15 km 以内にあるコロニーでドライアイスを用いた繁殖抑制を行うことで、雛への給餌量を減らすことがアユの捕食被害を減らす上で有効と考えられた。

カワウの行動圏は、おおむねねぐら・コロニーから 15 km 圏内であった（図 12）。東海地方のカワウに GPS ロガーを装着した事例（日野 2012）では、カワウの行動圏は 2-11 km と報告されていた。本研究の各個体の行動範囲のデータと比較すると 5~15 km の範囲が多かったため、これは、採餌場所とねぐら・コロニーの位置関係の違いによる影響が大きいのではないかと考える。しかし、本研究の結果でも、行動範囲がねぐら・コロニーから 15 km を超える個体は少なかったことから、ねぐら・コロニーから 15 km 圏内では被害が多発するというこれまでの定説は妥当であり、この区間に良い漁場やアユの放流場所がある場合、優先的に対策を行う必要があることが改めて示された。

③採餌トリップ開始時刻と終了時刻への影響

カワウが採餌トリップを開始するのは日の出時刻より 30 分前が多く、そして、終了時刻は日の入り時刻前後が多いという結果だった (図 14-15)。また、繁殖期においてはこの通りではなく、不規則な時間帯で採餌トリップを行っていた (図 14-15)。繁殖個体と同時期に、同じコロニーを利用していった幼鳥も不規則な時間帯の採餌トリップであった (図 14-15)。これは、幼鳥が成鳥の動きに合わせて、トリップに出発しているためではないかと推測される。繁殖期以外のデータについて、カワウは日の出 30 分前から活動をはじめ、日の入り 30 分後くらいまでには終了する (環境省 2013) と同様の結果となり、本調査でこちらの知見のエビデンスが得られたが、繁殖期にはそのルールが適応できないことが判明した。

④採餌場所への環境条件

日の出から早朝 2 時間のカワウの採餌場所をヒートマップ分析によって判別した結果、河川の微環境の中では圧倒的に淵を選択していることが分かった (図 16)。河川の淵では水深が深く、流速が遅いため、魚が滞留しやすく、単位面積当たりの魚類の質重量が多いことから、カワウは淵で採餌をしていると考えられる。よって、河川においては、淵を中心として被害対策を実施すると効率的に防除することができる。

⑤ねぐら・コロニー移動と季節移動

過去の報告では、ねぐら移動において、ねぐら間の距離は 20 km 以上、最長で 50 km とのことだったが、本研究では、20 km 以下の距離でもねぐらの移動が確認された (表 7)。また、ねぐら・コロニー間の季節移動も確認され、最長で 184 km であった (表 8)。この結果により、カワウは 1 日で 200 km 以上の移動が可能であり、1 年を通して県域を越えた移動が行われることから、広域的な管理が重要ということが改めて示唆された。

4. 成果の公表

・日本鳥学会 2023 年度大会 「GPS 行動追跡調査によるカワウの飛翔・採餌行動の解明」丸山拓也、山本麻希、坪井潤一でポスター発表を行った。

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)

(3) コロニーを効率的に発見し繁殖を抑制する技術の開発

要旨

ドローンを活用したドライアイスによるカワウの繁殖抑制技術の高度化を行った。2022年3月に、栃木県矢板市にあるカワウの繁殖コロニーにおいて、開発した装置を用いて繁殖抑制対策を行ったところ、わずか3回の処理で45巣166卵の繁殖を抑制することができた。周辺水域を管轄する鬼怒川漁協組合員自らドローンを操縦し、ドライアスを投入したことは特筆に値する。

鬼怒川漁協のアユ放流がほぼ終了した2022年5月1日に繁殖状況の確認のため空撮を行ったところ、133巣で確認された雛は91羽のみであった。今後も、繁殖抑制を継続し、ドローンによるドライアイス投入のみで、どこまで営巣数を減少させることができるか、中長期的な効果を判断する必要がある。

1. はじめに

繁殖コロニーの位置を把握することがカワウの個体群管理における第一歩である。しかし、対策を進めるほど、カワウは人目のつかない場所にコロニーを形成する。ドローンはこのような場面でも威力を発揮すると期待されている。繁殖コロニーを早期に発見することができれば、ビニルテープ張りによる除去も容易にできるし、本研究のメインテーマである繁殖抑制も処理すべき巣や卵の数が少なくて済む。

繁殖カワウは卵を取り除くだけでは、再び産み足してしまうため、ニセモノの卵（擬卵）と置き換えるか、何らかの処理によって、ふ化しない卵にすることが必要となる。ドライアスを巣内に投入し卵の発生を止め、繁殖を抑制する技術は、山梨県ですでに確立されている（坪井・芦澤2012）。しかし、擬卵でもドライアイスでも、繁殖抑制対策を行うと、繁殖コロニーをかく乱することになり、結果としてカワウは人のアクセスしにくい場所に営巣することが経験的に知られている。遠隔的にドライアスを運搬、巣内に投入する技術が開発されれば、より多くのコロニーで繁殖抑制が可能となり、個体数増加を抑制できると期待される。本課題では、ドライアイスを用いた卵冷却による繁殖抑制にドローンを導入することで、高所やアクセスの悪い場所における繁殖抑制を可能にするための技術開発を行うものである。

2. 方法

表1の道具を利用して、ドライアスをドローンで運搬し、遠隔的に投入するためのシステムを開発した。巣に接触することにより、自重で底が抜ける装置を3Dプリンターにより作成した(図1)。投入装置、クッションゴム、クリップを含めた総重量は150g以下となり、

ドライアイスを入れたとしても、総重量は400g程度となった。小型汎用機であるPhantom4のペイロード（持ち上げる力）は800g程度であるため、安定性を損なわずにドライアイスを運搬、投入することが可能となった。

カワウの巣へのドライアイス投入に際し、卵捕獲許可申請（矢板市）およびドローンでドライアイスを運搬するための許可申請（東京航空局）を行った。2つの許可証が届いた後、2022年3月2、16、30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、長さ2mのクッションゴムを4本から8本を連結し、U字状にしてドローンに装着し、投入装置を吊るして繁殖抑制を行った。また、投入装置やクッションゴムが枝に絡むと、ドローンの帰還が困難になることから、ドローンの脚とクッションゴムの固定にクリップを用いることで、ドローンが全力で上昇すると、クリップが外れるような強度に設定した。

なお、全ての現地調査を鬼怒川漁業協同組合と協働で行った。

表 1. 試験で使用した機材一覧

| | 製品名 | 備考 |
|----------------|---------------------------------|------------------------|
| ドローン（ドライアイス投入） | DJI社 Phantom 4 Pro V2.0 | モニターとなるタブレットPCは別途必要 |
| 替えバッテリー | DJI社 Phantom 4 シリーズ用バッテリー | |
| ドローン保険 | 東京海上日動火災 | |
| 3Dプリンター | Anycubic i3 Mega | |
| 3dプリンター用フィラメント | PLA樹脂（オレンジ等） | フィラメントは鮮やかな色のほうが作業性が良い |
| ペレット状のドライアイス | 昭和炭酸, 12kg入り | |
| クッションゴム 4-8本 | YAMASHITAゴムヨリトリ R/RS, 2mm×2m | ドライアイス容器をドローンから吊るすひも |
| クリップ 2個 | LION バインダークリップ No.107 | ドローンの脚にクッションゴムを装着する |

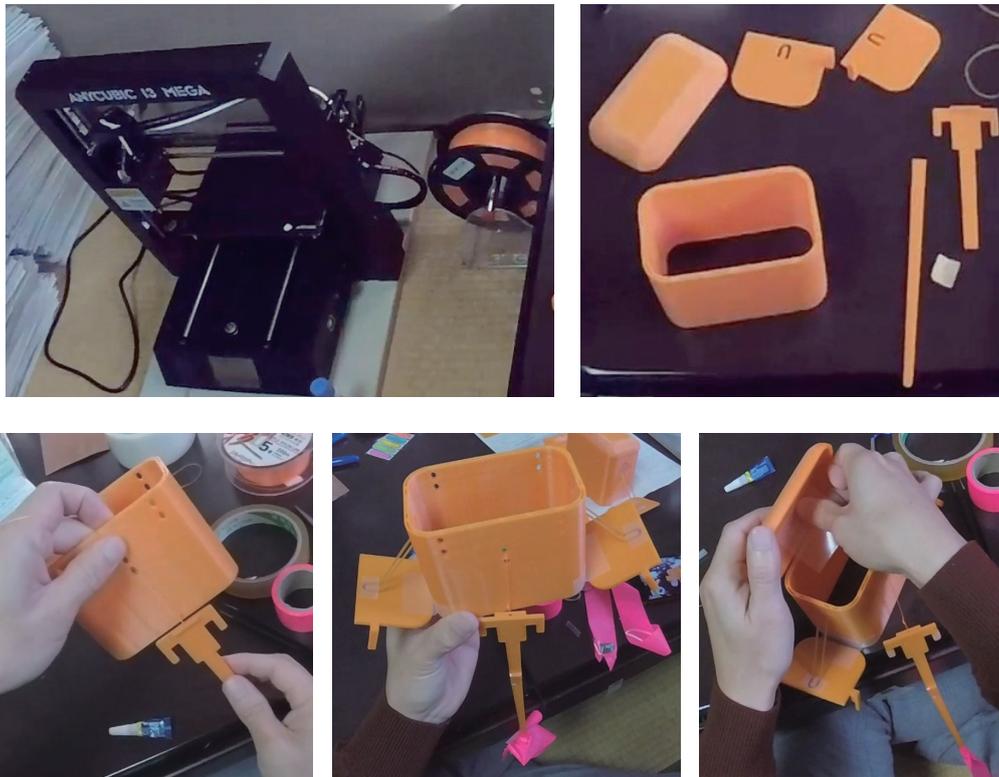


図1. ドライアイスを経遠的に投入する装置を作るため、3Dプリンターでパーツを作り(上)、釣糸、養生テープ、輪ゴムを使って組み立てた(下)

3. 結果と考察

対策は6人から10人で行い、2～3機のPhantom4を用いて、3卵以上の巣を選定しながら、繁殖抑制作業を行った。複数回の作業を行うと、前回までに処理した巣が未処理の巣と判別できなくなってしまうため、食品添加物である青色1号を、装置に入れたドライアイスにごく少量混ぜてから、投入作業を行った(図2)。2022年はわずか3回の処理で45巣166卵の繁殖を抑制することができた。周辺水域を管轄する鬼怒川漁協組合員自らドローンを操縦し、ドライアイス投入したことは特筆に値する。鬼怒川漁協のアユ放流がほぼ終了した2022年5月1日に繁殖状況の確認のため空撮を行ったところ、133巣で確認された雛は91羽のみであり、高い繁殖抑制効果が得られた(図3)。

2023年、繁殖抑制を継続してきたコロニーにおいて、地元猟友会による捕獲が秘密裏に行われた結果、近隣のゴルフ場内にカワウが移動した。2023年4月24日に鬼怒川漁協事務所において地元猟友会と打ち合わせを行い、今後、繁殖抑制を継続してきたコロニーにおいて捕獲は行わないこととなった。捕獲自粛を求める看板をコロニー周辺に設置した(図4)。4月下旬に、ゴルフ場が営巣樹木上部の伐採を行ったため、元のコロニーにカワウが戻ってきたが、繁殖期が大幅に遅れた。2023年5月1日のモニタリングでは、91巣で確認された

雛は3羽のみであった（図3）。

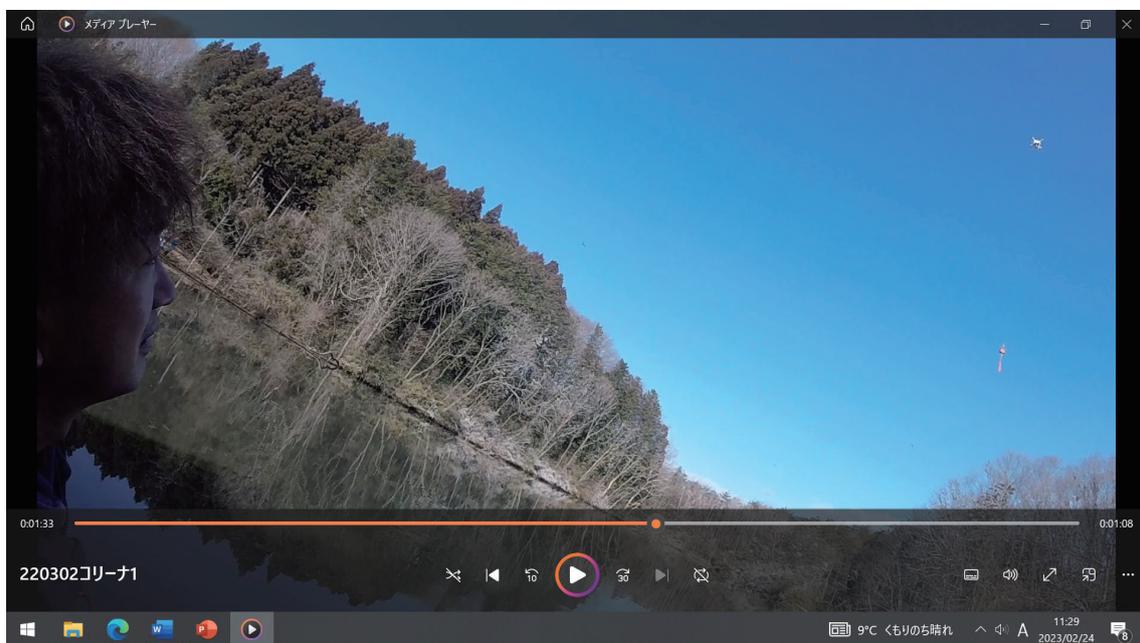


図2. 鬼怒川漁業協同組合員によるドライアイス投入作業

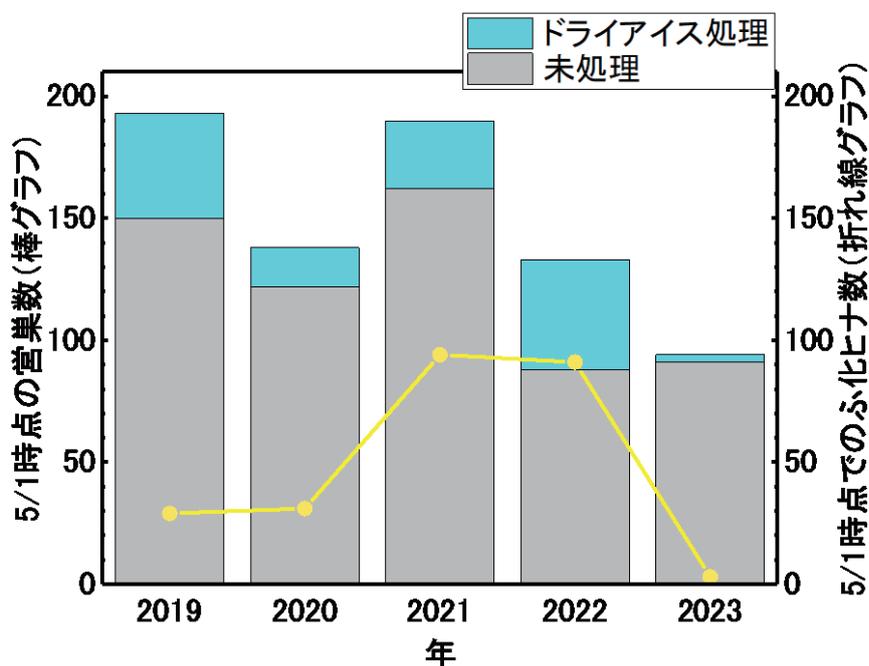


図 3. 繁殖抑制を行ったコロニーにおける営巣状況の経年変化

狩猟者 & 有害捕獲従事者のみなさんへ ここではカワウを撃たないでください

- ・このため池は、水産被害が深刻なカワウの繁殖コロニー（集団繁殖地）です。
- ・しかし、銃器で捕獲すると、このため池を嫌い、ゴルフ場など対策が難しい場所に散ってしまいます。
- ・繁殖コロニーで銃器捕獲を行った結果、散った先々で繁殖し、逆にカワウの数が増えてしまう事例が全国で多発しています。
- ・そのため、対策のしやすいこのため池にカワウを集約しておくことが、被害を最小限に抑える上で最重要です。
- ・現在、水産庁事業で、カワウの繁殖抑制の技術開発を行っており、着実に成果をあげています。
- ・カワウの被害を最小限にするため、このため池での銃器での捕獲はしないでください。ご協力をお願い致します。




水産研究・教育機構 日光庁舎 (0288-55-0087)
 栃木県水産試験場 (0287-98-2888)
 鬼怒川漁業協同組合 (028-662-6211)

図 4. 繁殖抑制を行ってきたカワウのコロニーに設置した捕獲自粛を求める看板

繁殖期初期は、親鳥が多く大きな卵を産み、巣立たせる雛の個体数も多いことが明らかになっている (Tsuboi et al. 2011)。そのため、繁殖期初期にドローンを活用して繁殖抑制を行うことは、カワウの繁殖戦略に合致しており、水産被害の軽減もより一層期待できる。カワウの産卵に合わせ、タイミングよく対策を行うには、コロニーでのモニタリングが必要不可欠である。2週間に1度のペースで営巣状況、産卵状況をモニターすることが、繁殖抑制作業の費用対効果を最大にする秘訣である。

ドローンを使ったドライアイス投入は、全ての巣で行えるわけではない。タイミングが合わずにヒナがふ化してしまうこともあり得る。そもそも、枝が邪魔して、ドライアイス投入することが不可能な巣もある。今後、このコロニーでは繁殖期初期の繁殖抑制のみで、個体数や営巣数の減少がみられるかどうか、対策およびモニタリングを継続的に行っていく予定である。

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）

(4)-1 テグス使用状況に関するアンケート調査

要旨

全国内水面漁連傘下の漁協を対象にテグスの防除におけるアンケート調査を実施した。その結果、テグスによる防除を行っている漁協は約3分の1であるが、その87%が防除効果があると感じていた。設置方法としては、10号の透明、もしくは白色のテグスを1~5mという比較的狭い間隔で河川を横断するように設置しているケースが多かった。テグスについて、効果的ではあるものの、設置のための労働力不足や河川環境で設置が困難、あるいは、設置後にカワウ以外の鳥が錯誤捕獲してしまうなど様々な課題があることが明らかとなった。

1. はじめに

テグス張りは、カワウの飛来を防除する基礎的な対策技術として全国の漁協で広く使用されている手法である。養魚場の飛来防除技術としては、以前、新潟県の錦鯉業者を対象に、テグス、ネットによる防除方法のアンケートを実施した際には、カワウの侵入を防ぐには幅30cm以下で設置が必要なこと、側面にもネットを設置しないと歩いて侵入されることがあることなどが明らかとなった。しかし、テグスの設置によってカワウの飛来を防止する上で、どのような設置方法が有効なのか、また、実際に河川に設置する際にどのような課題があるかなど、現場の設置における現状把握を全国の漁協を対象に行ったことはない。本研究では、全国内水面漁連に加盟する漁協を対象として、テグスの設置に関する現状について把握することを目標として、アンケート調査を行った。

2. 方法

全国内水面漁連にご協力いただき、傘下の漁協を対象として、テグスに関するアンケートを実施した。アンケートは、紙媒体、もしくは、Google フォームを利用して、実施した。アンケート内容は図1に示す。

内水面におけるカワウのテグス張り防除についてのアンケート

長岡技術科学大学 准教授 山本麻希

日頃より、本学の研究活動にご協力をいただき、心より感謝申し上げます。内水面漁業の現場においては、カワウの飛来防除対策としてテグスの設置が広く行われているところですが、その効果的な設置方法や現場で生じている課題等について把握するため、アンケートを実施することにいたしました。なお、本アンケートは、水産庁の先端技術を活用したカワウの被害対策開発事業の一環として行われ、成果については、全国内水面漁師の研修会等を通じて広く組合員の皆様に還元することを予定しております。皆様からのご協力をお願い致します。

WEB回答の場合は下記を
①で答えるか
②では書き込んでください。
WEBで回答

所属する漁協 ()
河川名 ()
担当する流域 ()
氏名 _____

連絡先 (電話番号もしくはメールアドレス) _____

【1】 現在、カワウ防除のためにテグス張りによる対策を行っていますか?
①はい ②いいえ _____

【1-1】 「いいえ」と答えた方にお聞きします。
テグス張りを行っていない理由を記入欄にお書きください。

【2】 テグス張りの方法についての質問です。(複数回答有り)
【2-1】 使用しているテグスの色は何ですか? ①透明(白色) ②黒色 ③黄色 ④その他 () _____

【2-2】 使用しているテグスの太さはどれくらいですか? _____ 号・mm

【2-3】 1シーズンに使うテグスの長さは、総延長距離で何kmでしょうか? _____ km

【2-4】 どれくらいの間隔でテグスを張っていますか? _____ m間隔

【2-5】 テグスは水面から高さ何mくらいに張っていますか? _____ m

【2-6】 漁場の流程(流れの総延長)は何kmでしょうか? _____ km

【2-7】 テグスを固定している支柱は河川に生えている草木(河畔林)を使っていますか、もしくは用意した支柱(竹や棒、鉄柱など)を設置していますか? _____
①河畔林 ②用意した支柱 () _____

【2-8】 河川に対してどのようにテグスを張っていますか?
(図の中で近いものを選んでください。もしあてはまらない場合は④の記入欄にお書きください。)

①川を横断するよう
に張る

②川に対して平行
に張る

③魚が集まる所を
狙って張る

④自由記入

【3】 テグス張りの効果はありましたか?
①ある ②ない ③変わらない _____

【3-1】 「ある」と答えた方にお聞きします。
テグスを設置したことでカワウの飛来にどのような効果がありましたか?
① カワウが飛来しなくなった
② 飛来するカワウの頻度が減った
③ 飛来するカワウの数が減った _____

【3-2】 「ない」、「変わらない」と答えた方にお聞きします。
テグス張りが失敗したと考えられる要因を記入欄にお書きください。

【4】 テグス張りの際に生じている課題の質問です。当てはまるものを全て選択してください。
選択されていない場合は、その他生じている課題については記入欄にお書きください。
 テグス張りを行うための労働力が足りない
 テグス張りを行うための費用がない
 テグスに別の鳥が絡まっていることがある
 河川環境によりテグス張りを行うことが困難である

【5】 カワウの被害についての意見、感想などありましたら自由にご記入ください

ご協力ありがとうございました!

図 1. テグス張り防除についてのアンケート

3. 結果

アンケートは、508件の漁協から回収した。現在、カワウ防除のためにテグス張りを行っていますか?という質問に対し、32.7%の漁協が実施していると回答した。残りの67.3%の実施していない漁協に対し、実施していない理由については図2に示す。カワウの被害がない例を除くと、河川環境で設置が困難である、人手、資金不足、人為的な理由が主な理由として挙げられていた(図2)。

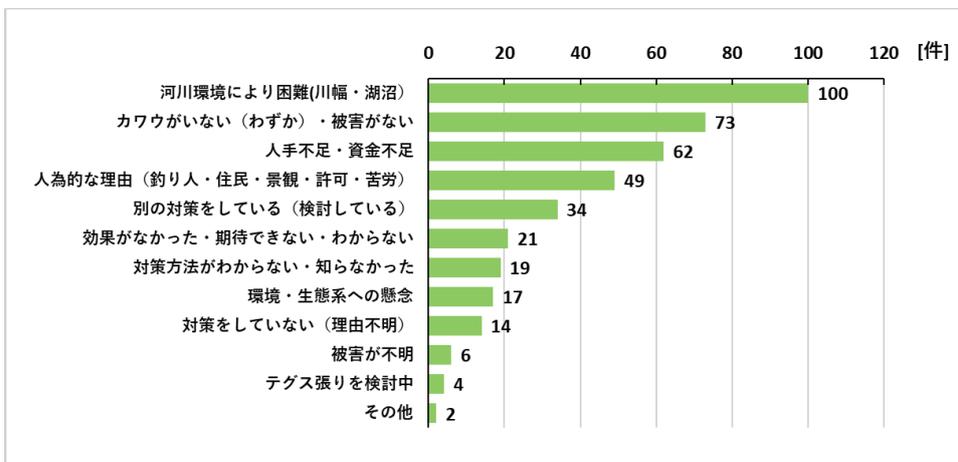


図 2. テグス張りを行っていない理由について

次に使用しているテグスの色については、白色・透明（118件）が最も多く、ついで、黒色（48件）、黄色（33件）、その他（22件、赤、緑、青、グレー、シルバー、茶色など）となった。また、テグス以外にもキラキラテープや麻ひも、モツレン水系、PPロープなどを設置しているケースもあった。使用しているテグスの太さについては、10号が最も多いが、非常に広い幅のテグスが使用されていた（図3）。

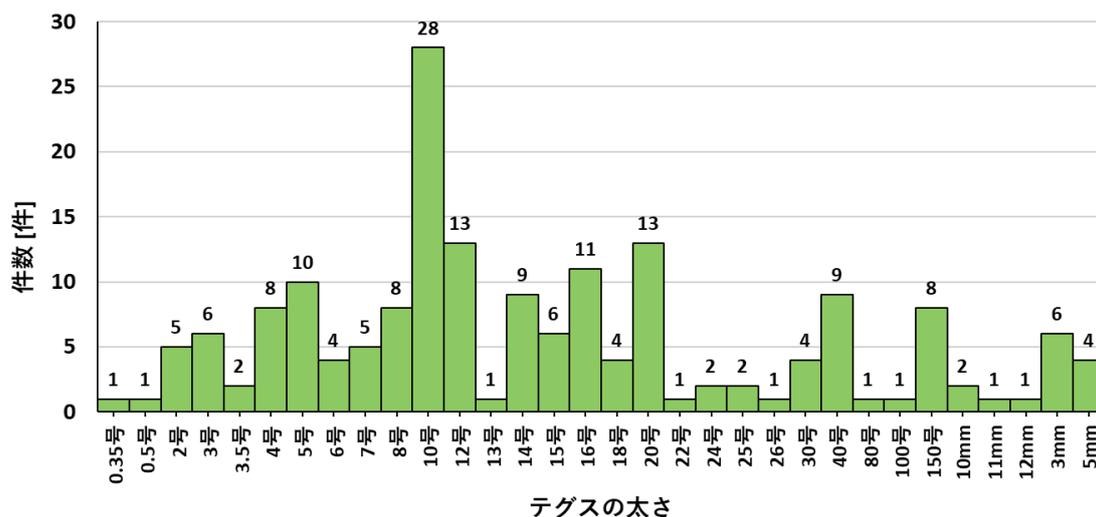


図3. 使用しているテグスの太さ

現地で防除に使用しているテグスの総延長距離は、1km未満が最も多いが、こちらも20km以上設置している漁協も相当数あることが分かった（図4）。

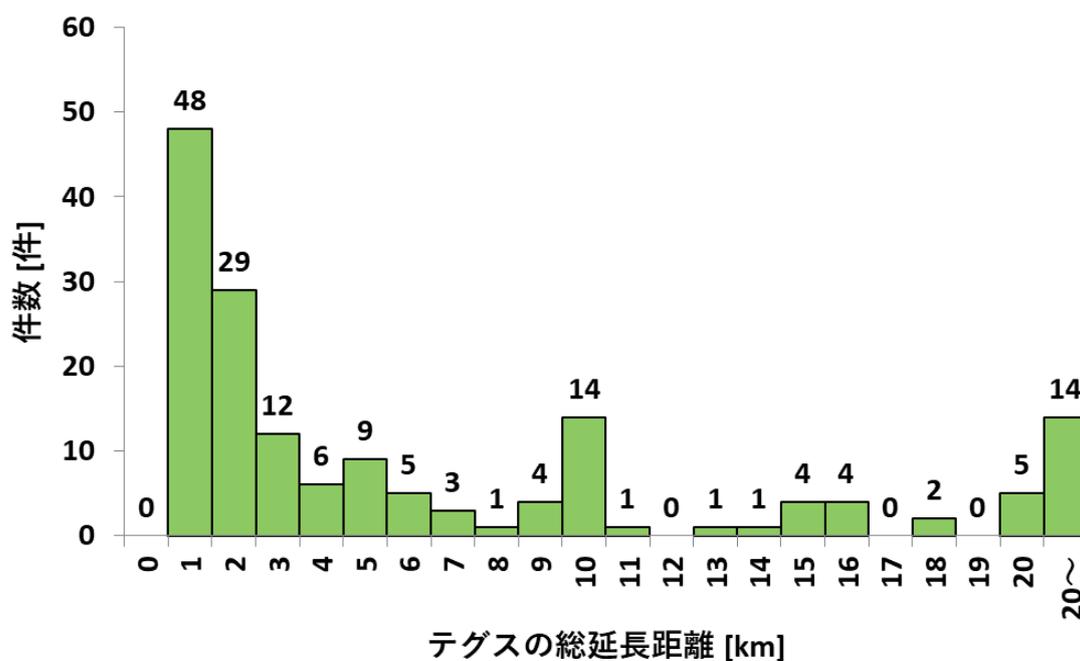


図 4. テグスを設置している総延長距離

テグスを設置する間隔については、0～10m以内が最も多かった（図 5）。

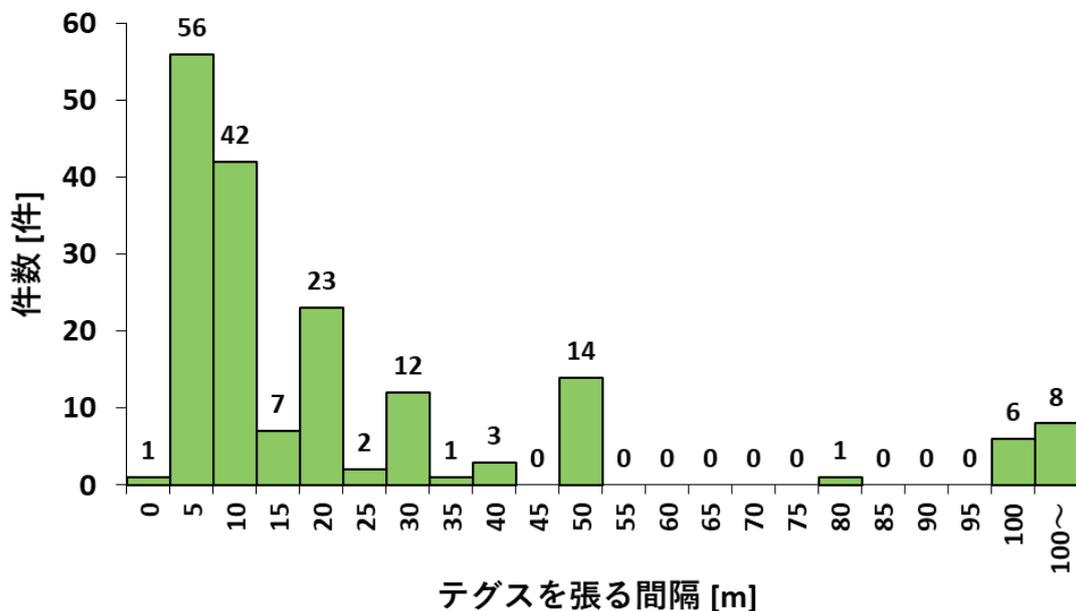


図 5. テグスを張る間隔

テグスを設置する高さについては、1m 以上 2m 未満が多かったが、5m 未満の設置も数多くみられた（図 6）。

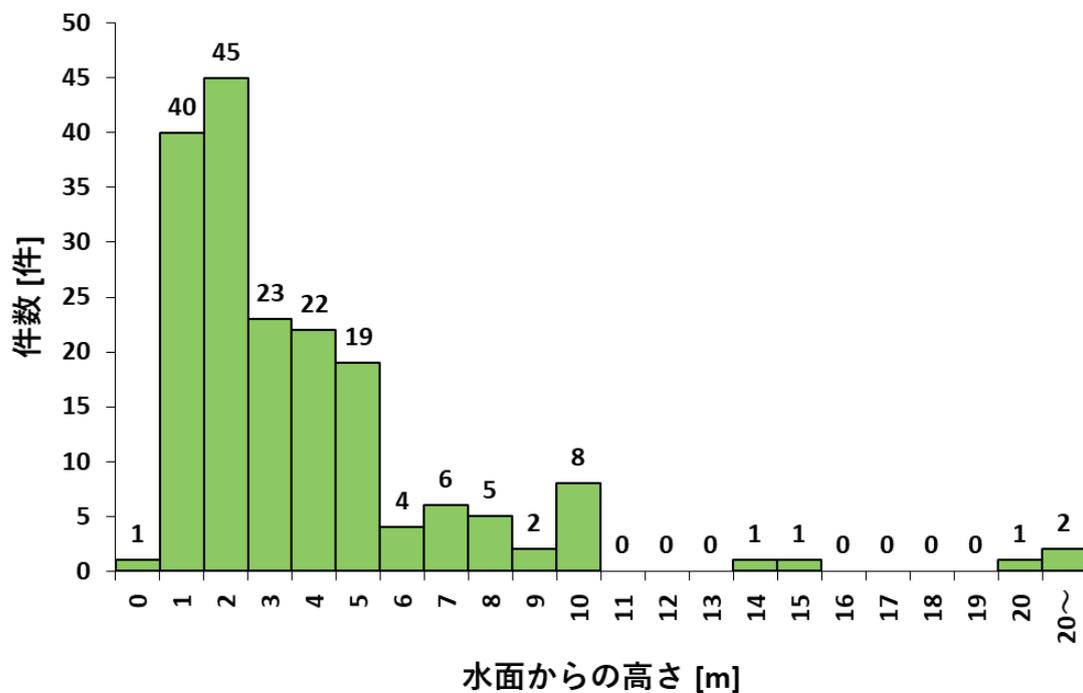


図 6. テグスを設置する水面からの高さ

テグスを張っている漁場の流程については、10 km未満が最も多かった（図7）。

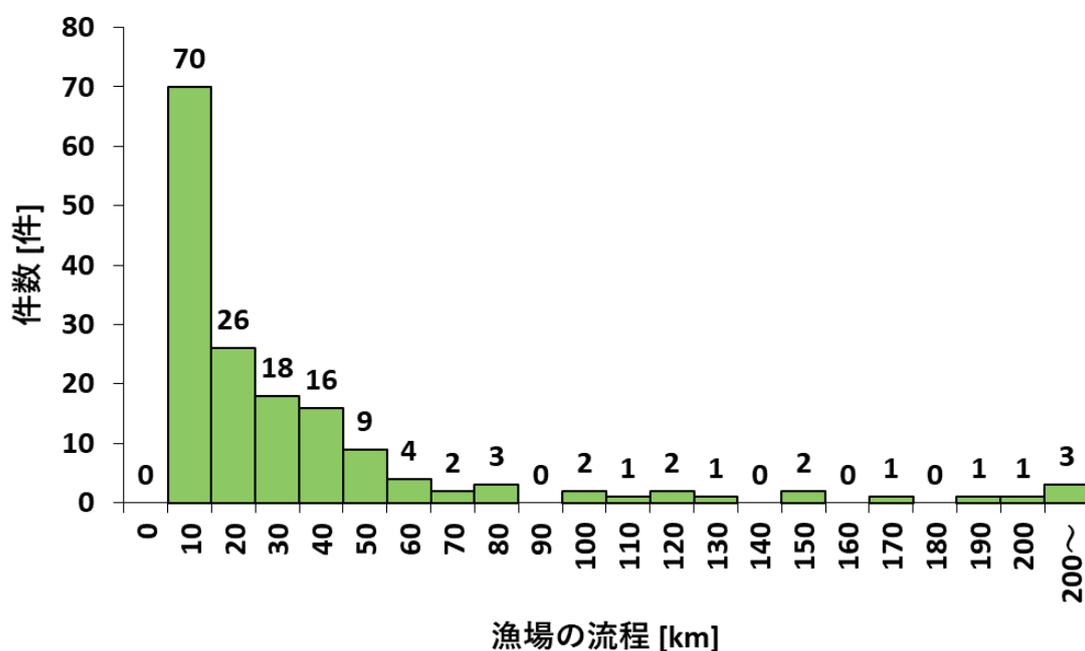


図7. テグスを設置している漁場の流程

現場でテグスを設置する際に使用している支柱については、自然植生やもともと現場にある人工物を利用しているケース(32%)、漁協が支柱を用意しているケース(30%)、両方を使用しているケース(32%)がおおむね同じ割合だった。漁協が用意した支柱の素材としては、鉄や竹の柱が多く使われているようだった（図8）。

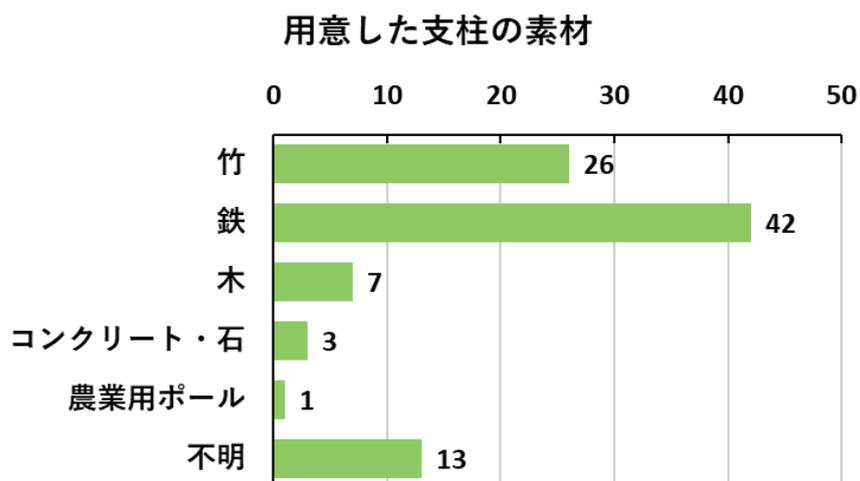


図8. テグスを張るのに漁協が用意した支柱の素材

河川におけるてぐすの設置方法は、河川を横断する用に設置するが最も多く（138件）、続いて魚が集まっている場所を狙って張る（34件）、川に対して平行に張る（7件）、その

他(40件)だった。その他の設置法は、斜めにジグザグに河川をまたいで張る設置方法の意見が多かった。

続いてテグス張りの効果について、対策をしている160組合の87%が効果を実感していた(図9)。これらの効果については、設置方法で効果なしや変わらないと答えた割合は特に大きな変化がなかった。また、テグス対策を辞めた29組合を対象に、テグス張りの効果を尋ねたところ、多くの漁協が効果がない、あるいは、変わらないため、対策を実施したようだが、36%の漁協は効果があると感じているにもかかわらず、対策を辞めていることが分かった(図10)。

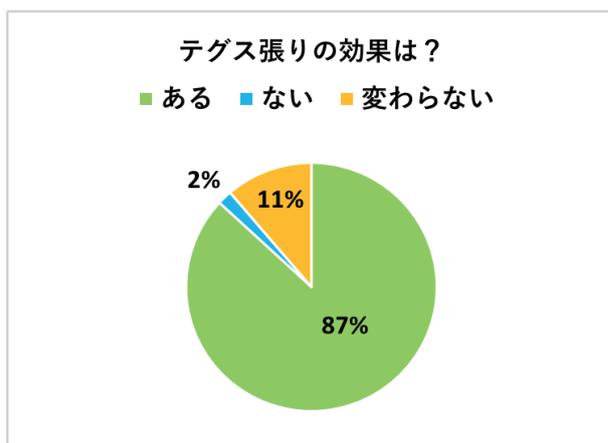


図9. テグス張りの効果の有無について

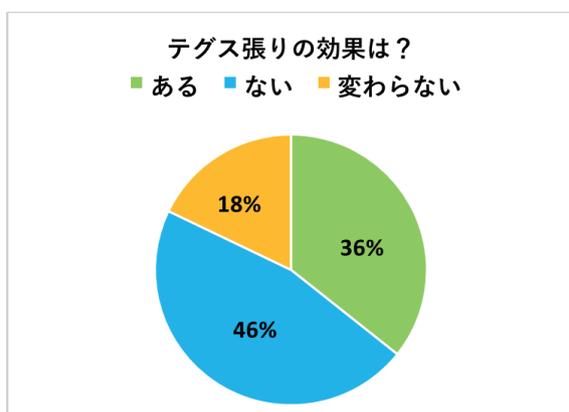


図10. 対策を辞めた漁協にテグス張りの効果について尋ねた結果

テグス張りの効果があると答えた漁協に対し、どのような効果が見られたかを尋ねたところ、飛来する頻度が減ったと感じている漁協が多かった(図11)。

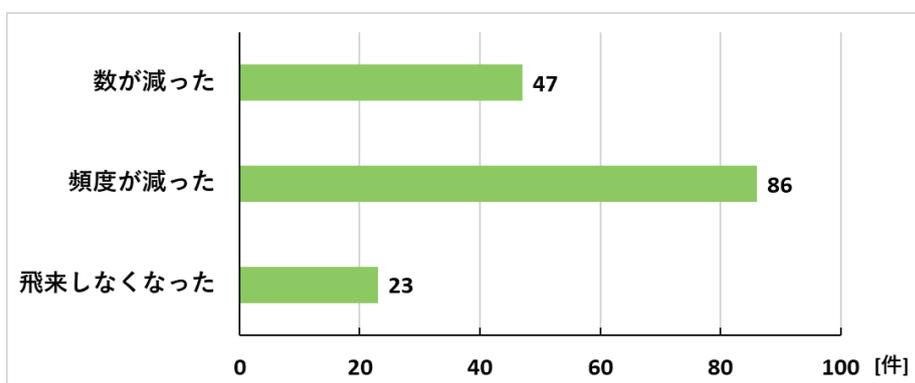


図 11. テグス張りの効果があると答えた組合にテグス張りの具体的な効果について尋ねた
 一方、テグス張りの効果がない・変わらないと答えた漁協に、その理由を尋ねたところ、川全体に張ることができない、テグスを張っていない所から侵入する、張った直後は来ないが慣れると来る、釣り人によりテグスを切られる、川の増水によりテグスが流されるなどの意見が出された。

また、テグス張りをしている組合に対し、その課題について尋ねたところ、労働力不足や他の鳥類の錯誤捕獲についての意見が多かった（図 12）。一方、対策を見実施の組合は、労働力不足や河川環境を課題としてあげる漁協が多かった（図 13）。

テグス張りをしている漁協での課題

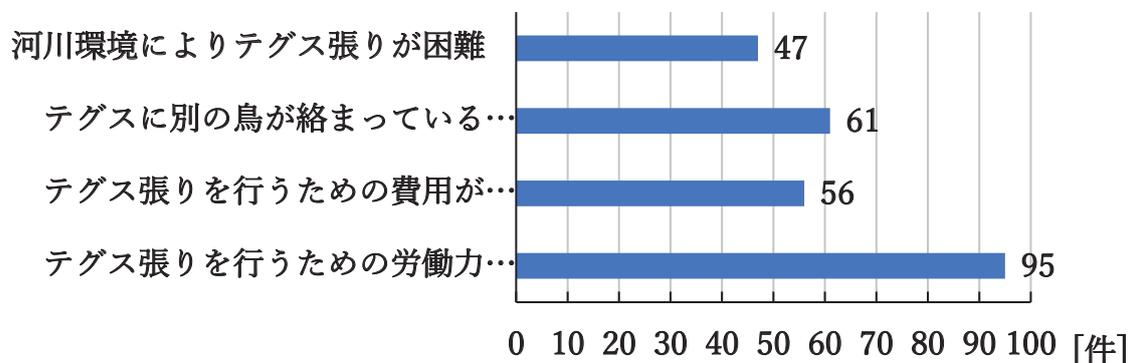


図 12. テグス張りを行っている漁協があげた課題

未対策の漁協が挙げる課題

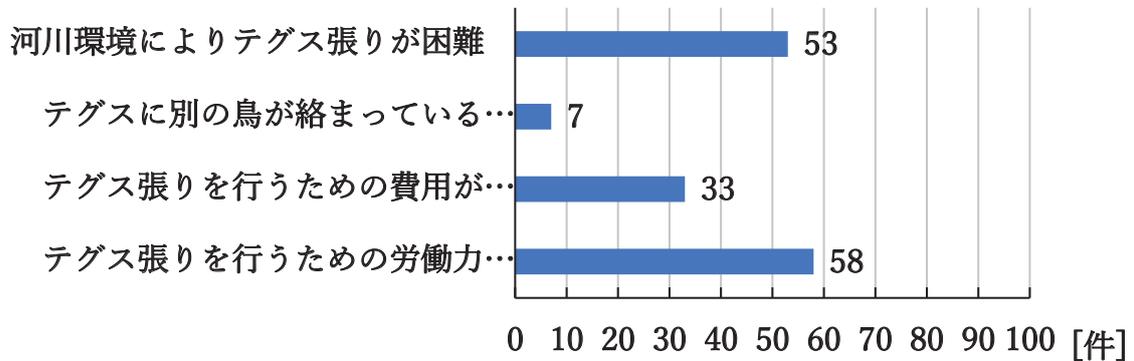


図 13. テグス張りをしていない漁協が上げた課題

最後に、カワウ被害についての自由意見として、川の魚が減っている、稚魚放流のタイミングでカワウが来る、高齢化・資金不足で対策が困難、駆除してほしい（銃器捕獲ができない）、全国一体となって取り組む必要がある（漁協・行政）などの意見が挙げられた。

これらのアンケートの結果から、多くの組合では河川を横断する設置が主流となっており、河川の岸に川に対して並行で設置する方法の効果が不明瞭であることがわかった。また、テグス設置の課題として、釣り解禁の際のつけ外しや見回り等の管理が大変であること、河川環境の川幅が広く設置が困難であること、労働力不足、増水時に流されてしまう等の課題も浮かび上がってきた。これらの課題を解決するための技術開発を今後も継続していきたい。

4. 成果

なし

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）

(4)-2 養殖池での飛来防除技術の開発

要旨

養魚池や釣り堀などのカワウの飛来を忌避する装置として動くテグスの開発を行った。本年度は、動くテグスを支柱の間に通したロープの上を移動するロープウェー型の機材として設計を行った。2つの動くテグスはお互いの位置を Bluetooth 通信によって認識し、常にテグスにテンションをかけながら支柱の間が移動できる仕組みとなっている。これまで試作機 ver2.0 を作成し、屋内環境下において 30 cm 程度のテグス上を移動できることが確認できたことから、今年は、モバイルバッテリー型から AC 電源型への変更(試作機 ver3.0)を作成し、新潟県魚沼市にある内水面試験場にて現地設置を行った。その結果、ワイヤーの設置の手間やスペースの問題があることが明らかとなった。そこで、もともと試験場に設置してあるマイカ線を移動に利用するタイプの試作機 ver4.0 の作成を行った。屋内で作動試験を行ったところ、試作機 ver4.0 がマイカ線上を 0.3 m/s の速度で移動すること、相互通信ができていることを確認できた。しかし、0.3 m/s での走行はモーターへの負荷が大きく、要求仕様である 8 時間程度の連続稼働時間には適さないことが示唆された。このため、今後実施予定の実証試験では 0.2 m/s での動作させることを予定している。

1. はじめに

小型の養殖池においてカワウの飛来を防止するためには、ネットで覆ったり、テグスを設置するのが効果的とされている。しかし、釣り堀や養殖池などでは、一度ネットやテグスで覆ってしまうと、釣り人が入れなくなったり、作業がしにくくなってしまうため、ネットやテグスを設置することができない場所がある。このような場所においてもカワウの飛来を防止するための器具として、テグスの糸自体を動かす「動くテグス」というアイデアをもとに、広範囲の養殖池や釣り堀からカワウの飛来を防止する装置の開発を目的とした。

2. 方法&結果

1). 動くテグス開発過程

2021 年度は「動くテグス」のアイデア概要に基づいて、試作機 ver1.0 および試作機 ver2.0 の設計、開発に従事した。2021 年度は試作機 ver2.0 において、屋内環境下において 30 cm 程度のテグス上を移動できることが確認できた。一方で試作機 ver2.0 はモバイルバッテリーによる駆動を採用しており、連続稼働時間に課題が残されていた。これらの進捗を踏まえて、2022 年度の研究計画(表 1)を立てた。2022 年度上半期は試作機 ver2.0 の改良、実証試験場所の選定や視察を行う事とした。2022 年度下半期は実証試験を行う研究計画とした。

表 1. 2022 年度の研究計画

| 月 | 研究活動内容 |
|------|----------------------------------|
| 4 月 | 試作機の改良 |
| 5 月 | 実証試験場所の選定 試作機の改良 |
| 6 月 | 実証試験場所の見学 実証試験計画の立案 試作機の改良 |
| 7 月 | 試作機の改良 |
| 8 月 | 実証試験 試作機の改良 |
| 9 月 | 実証試験 試作機の改良 |
| 10 月 | 実証試験 試作機の改良 |
| 11 月 | 実証試験 試作機の改良 |
| 12 月 | 実証試験データ取りまとめ |
| 1 月 | 実証試験データ取りまとめ |
| 2 月 | 実証試験データ取りまとめ |
| 3 月 | 実証試験データ取りまとめ |

2). 実証試験場所の選定および視察

研究グループ内での打ち合わせにより、実証試験場所を新潟県内水面水産試験場魚沼支場（新潟県魚沼市岡新田 29-1）とすることにした。新潟県内水面水産試験場魚沼支場を実証試験場所として選定した理由として、下記 2 つが挙げられる。

- ①池の形が長方形で、コンクリート舗装されているため「動くテグス」を設置しやすい。
- ②新潟県内水面水産試験場魚沼支場に設置されている AC100V からの電源供給でき、試作機 ver2.0 の課題であった電源の問題を解決できる。

実証試験場所が決定したことを受けて、2022 年 6 月に長岡高専の研究グループが新潟県内水面水産試験場魚沼支場を視察した。視察の結果、縦 4.5 m、横 4.5 m の中型飼育槽（図 1）を実証試験で利用することにした。



図 1. 実証試験を行う予定の中型飼育槽

3). 試作機 ver3.0 の開発

先の新潟県内水面水産試験場魚沼支場の視察および実証試験で利用する飼育槽が決定したことを受けて、試作機の改良を行うこととした。主な仕様の変更点を表 2 に示す。試作機 ver2.0 ではモバイルバッテリーによる駆動であったが、AC100V の供給が可能となったことから回路構成の変更が必要になった。また、試作機 ver2.0 では防塵・防水対策が考えられていなかったため、試作機 ver3.0 では防塵・防水対策を検討することとした。さらに試作機 ver2.0 ではモータや回路の以上があった場合にロボット全体を分解する必要があるなど、整備性に課題を抱えていた。試作機 ver3.0 では動作機構と回路をそれぞれユニット化することで整備性の向上を目指すことにした。

表 2. 試作機の仕様変更内容

| 項目 | 試作機 ver2.0 での仕様 | 試作機 ver3.0 での仕様 |
|--------|-----------------|------------------|
| 電源供給方法 | モバイルバッテリー。 | AC100V からの給電。 |
| 外観 | 特になし。 | 防塵・防水対策の検討。 |
| 整備性 | 特になし。 | 動作機構、回路をユニット化する。 |

試作機 ver3.0 の開発にあたり、全体像の設計図を再度作成した。図 2(a)が試作機 ver2.0 の全体像、図 2(b)が新たに設計した試作機 ver3.0 の全体像である。試作機 ver2.0 と比較して、奥行きが薄くなった分、高さが大きくなったのが特徴である。試作機 ver2.0 からの設計の変更点として、整備性が挙げられる。試作機 ver3.0 では上部にユニット化した動作部がまとまっており (図 3(a))、下部にはユニット化した回路部がまとまっている(図 3(b))。

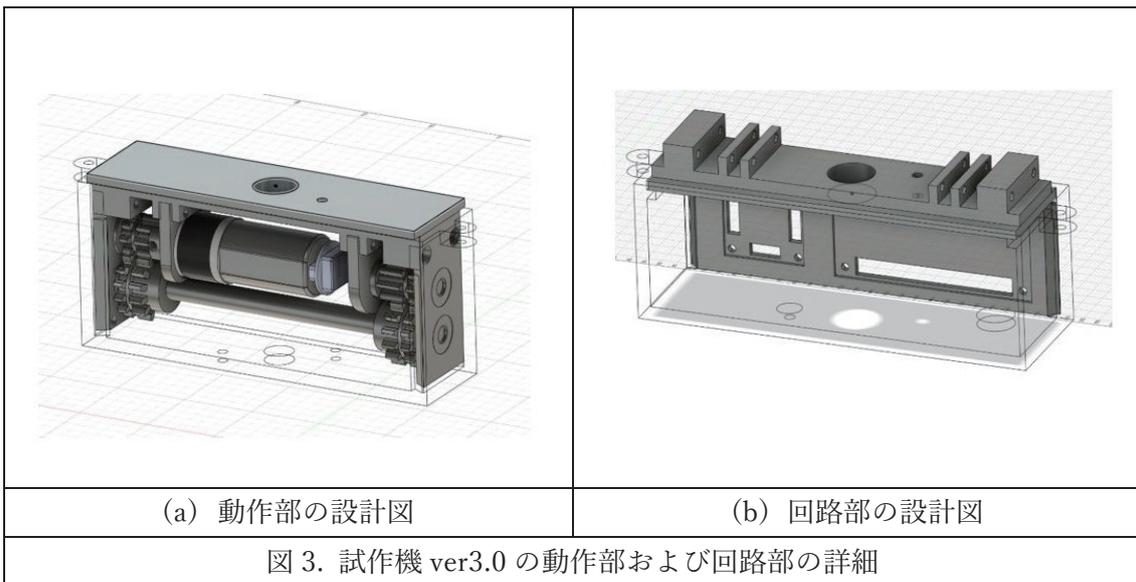
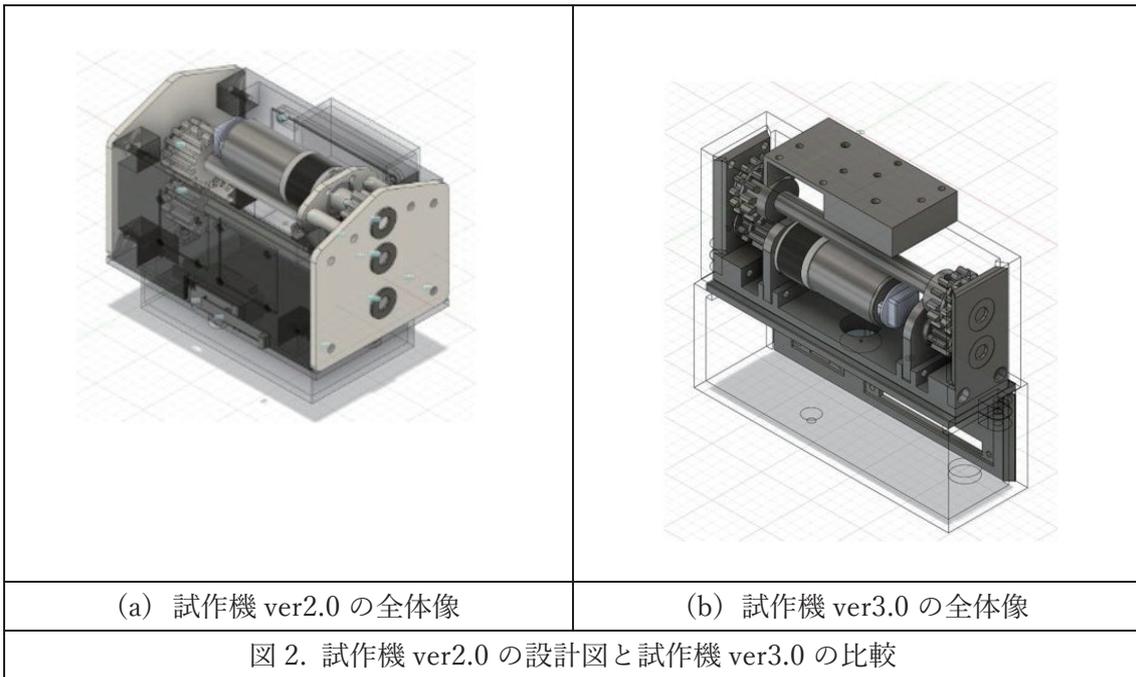


図 2(b)および図 3 に示した設計図に基づいて、熱積層型の 3D プリンタ（Zortrax 社製 M300Dual）などを用いて 2 機の機体を製作した（図 4）。製作した機体の寸法は 13 cm × 4 cm × 12 cm となった。機体重量は 1.5 kg であった。防塵・防水対策として、ケーブル接続部分にアルミテープを巻いた。また、部品の間隙をホットボンドで埋めることで、浸水対策を実施した。

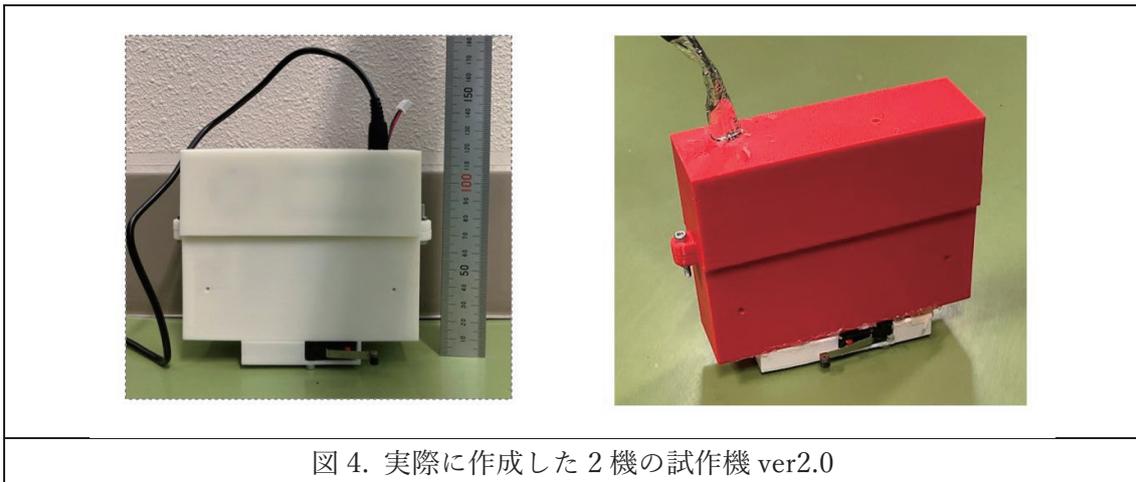


図 4. 実際に作成した 2 機の試作機 ver2.0

製作した試作機 ver3.0 がワイヤー上を移動できるかどうかを確認するために屋内での動作確認試験を実施した。動作確認試験の条件を表 2 に示した。試作機 ver3.0 が移動する 2 本のワイヤーを設置するための設置台を用意した。ワイヤー設置台は屋外タープ用の重し、アルミ丸棒、アルミ角パイプ、3D プリンタで製作した治具を用いて製作した (図 5)。屋内動作確認試験の結果、5 m のワイヤー状を移動できることを確認した。

表 2. 屋内動作確認試験の条件

| 項目 | 条件 |
|----------|---------------|
| 電源供給方式 | AC100V |
| ワイヤー長 | 5 m |
| ワイヤー設置方法 | 自作のワイヤー設置台を利用 |

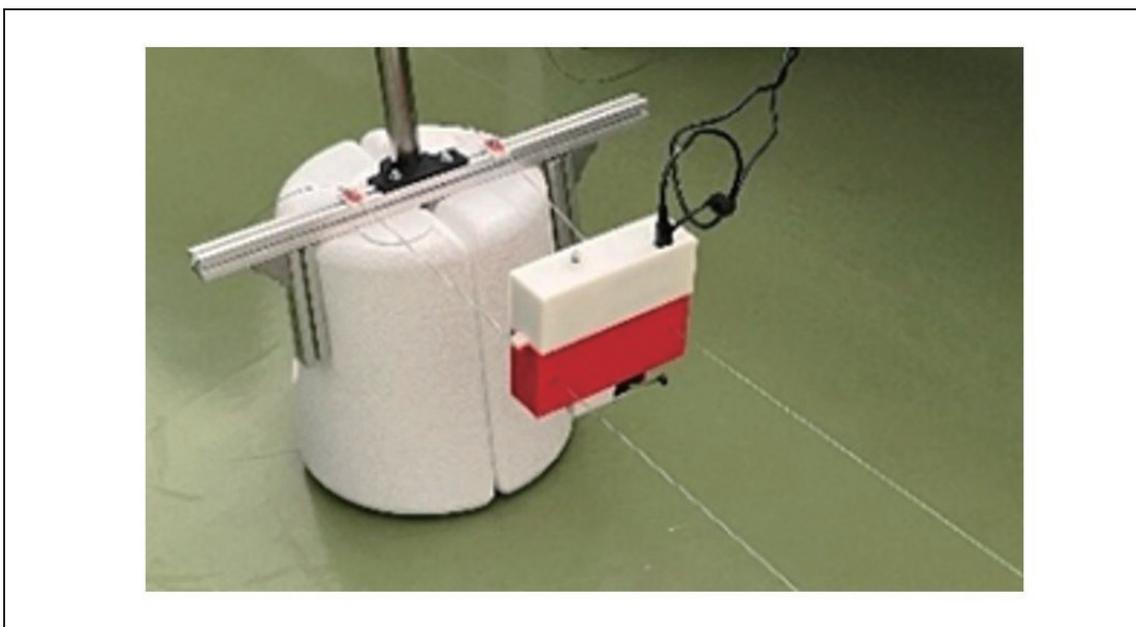


図 5. 屋内動作試験の様子

4). 試作機 ver3.0 の設置試験

2 機の試作機 ver3.0 および 4 台のワイヤー設置台が完成したことから、新潟県内水面水産試験場魚沼支場での設置試験を実施した。設置試験を実施したところ、魚沼支場の方から下記のフィードバックを頂いた。

- ワイヤー設置台の設置スペースを確保することが難しい。
- ワイヤー設置台の高さを調節する必要がある。
- 1 機あたり 2 本のワイヤーを設置するのが手間である。

頂いたフィードバックに基づいて、要求仕様を変更することとした。

5). 試作機 ver4.0 の仕様策定

試作機 ver3.0 の設置試験時に頂いたフィードバックに基づき試作機 ver4.0 の仕様を表 3 の通り策定した。試作機 ver3.0 では自作のワイヤー設置台を用いて移動用のワイヤーを用意していたが、試作機 ver4.0 では飼育槽に既に設置してあるマイカ線を移動に活用することとした。マイカ線は水面から 50 cm 程度上に設置されていることから、ロボットが水面につかないサイズとして、30 cm × 30 cm × 30 cm 以下となるように仕様を策定した。マイカ線の引張強度を勘案して、ロボットの重量は 2.0 kg 以下となるように仕様を策定した。カワウの採食行動時間を 1 分と仮定し、設置予定の飼育槽 (4.5 m × 4.5 m) の往復ができる速度として 0.15 m/s を最低値として設定した。カワウの採食行動は日中に行われることを勘案し、8 時間以上の連続稼働時間を要求仕様として策定した。

表 3. 試作機 ver4.0 の要求仕様

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|--------|--------------------------|--------------------------|
| 自走方式 | マイカ線上の移動 | 設置予定の飼育槽に既に設置されている。 |
| 大きさ | 30 cm × 30 cm × 30 cm 以下 | 水面に接触しない高さが求められる。 |
| 重さ | 2.0 kg 以下 | マイカ線の耐久力を考慮する。 |
| 移動速度 | 0.15 m/s 以上 | カワウの採食行動の時間と飼育槽のサイズから算出。 |
| 連続稼働時間 | 8 時間以上 | 日中の動作が前提とする。 |

6). 試作機 ver4.0 の開発

マイカ線上を移動させるために凹凸のある小型プーリーによりマイカ線を送り出す機構を採用した (図 6)。機体を小型化するために、マイコンボードは Raspberry pi zero、モーター

タドライバは Spark Fun 社の Qwiic Motor Driver、モーターは SHA YANG YE industrial 社 12V ギャードモータを採用した。これらの部品が収まるように筐体を設計した。

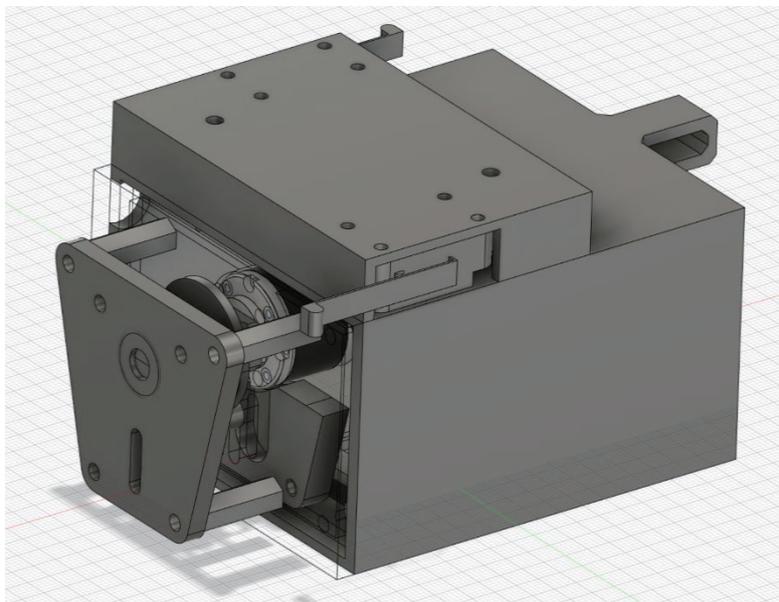


図 6. 試作機 ver4.0 の全体像

図 6 の設計図に基づき、熱積層型の 3D プリンタ (Zortrax 社製 M300Dual) などを用いて機体を製作した (図 7)。

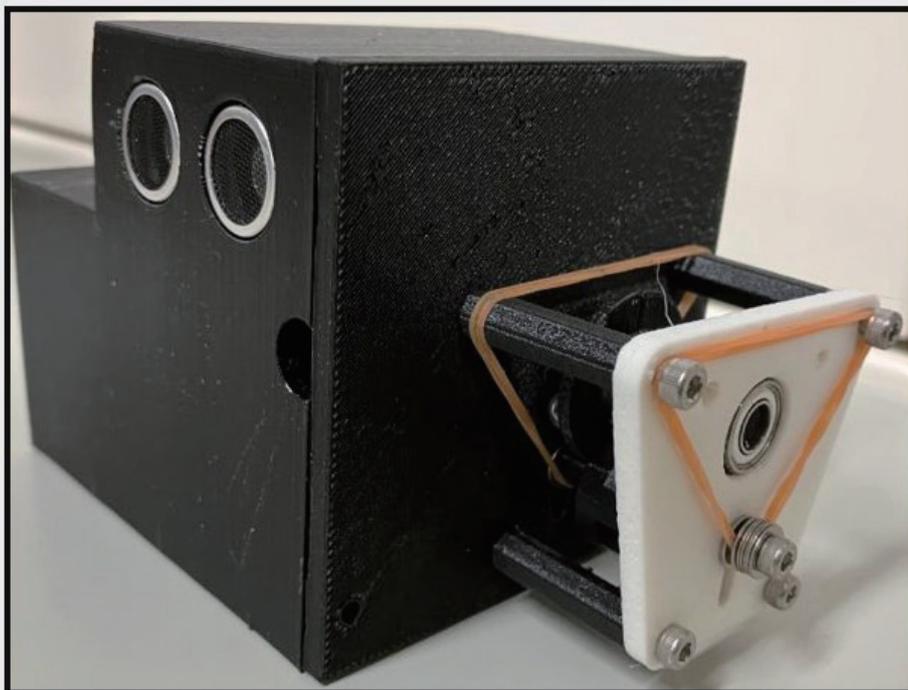


図 7. 製作した試作機 ver4.0

制作した試作機 ver4.0 がマイカ線上を移動できるかどうかを確認するため、屋内動作実験

を行った（図8）。試作機 ver4.0 がマイカ線を 0.3 m/s の速度で移動すること、相互通信ができていることを確認できた。しかし、0.3 m/s での走行はモーターへの負荷が大きく、要求仕様である 8 時間程度の連続稼働時間には適さないことが示唆された。このため、今後実施予定の実証試験では 0.2 m/s での動作させることを予定している。



図 8. 屋内動作試験の様子

3. 成果

令和 4 年（第 32 回）電気学会東京支部新潟支所研究発表会 2022 年 11 月 26 日（土）にて、「自走式ロボットとテグスを組み合わせた鳥害対策技術の検討」

中島 励（長岡工業高等専門学校）、東 隆佑（長岡技術科学大学）、白井 正樹（電力中央研究所）、坪井 潤一（国立研究開発法人水産研究・教育機構）、山本 麻希（長岡技術科学大学）、和久井 直樹（長岡工業高等専門学校）として口頭発表をおこなった。

山本麻希（長岡技術科学大学）