

4) 調査研究成果

(1) 効果的かつ効率的なドローンによる追い払い技術の効果検証

要旨

カワウによる捕食被害を減じるため、ドローンに小型スピーカーを搭載し、ドローンのカメラを用いてカワウを追跡しながら爆音で追い払う方法を用いて、群馬県みどり市渡良瀬川流域において、その効果検証をおこなった。平成 29 年度の研究から、渡良瀬川の相川橋の上・下流に 500～600m の幅で 2 つの追い払い区と非追い払い区をそれぞれ設置し、カワウの飛来数をドローンの自動飛行機能を用いて調査したところ、試験区内全域において、実験期間前よりカワウの飛来数が減少していることが示唆されたため、調査範囲を追払い地点を中心とした半径 20km に拡大し、カワウの飛来数調査を行った。その結果、追払い地点から 0～5km 区間内のカワウの飛来数は追払い後に減少していることが示唆された。一方、5～10km 区間のカワウの飛来数は増加していたことから、ドローンによる追払いは、追払いを行った数百 m の区間から 5km ほどの範囲で忌避効果を示す可能性が示唆された。

新機種のマビック 2 ED（マビック 2 エンタープライズデュアル）は、スピーカーが機体本体に固定されていることから、飛行中の安定性も高く、また、スピーカーが常に前方に向かって音が出るように搭載できることから、音も大きく、遠くまで届くことが明らかになった。以前、Phantom 4 Pro に洗濯ネットとビニールホースでスピーカーを下げて追払いを行った際、飛行中の振動によりスピーカーが回転し、ドローンの飛行が不安定となり、墜落しそうになった事例がある。このような墜落事故を未然に防ぐためにも、今後は、Phantom 4 Pro よりも Mavic 2 ED を用いたほうが、より安全性の高い追払い対策となることが示唆された。

自動追尾機能によるカワウの追跡を試みたところ、被写体の識別は、背景に対し、ある程度コントラストがはっきりしていることが条件であることが明らかになった。カワウは黒色であり、背景の水の色との識別が難しいため、自動追尾は困難を極めた。また、アクティブトラックは、人を対象に開発されており、カワウのシルエットが人より小さいことも困難であった一因と考えられた。また、カワウまで 5 m ほど接近した際に、飛び立つカワウが多く、自動追尾を行う前に画面から外れてしまうケースが多く見られた。

1. はじめに

近年、無人航空機（以下、ドローン）の著しい技術発展に伴い、安価で小型の汎用機体が登場した。ドローンの普及に伴い、カワウの飛来防除ドローンに小型スピーカーを搭載し、カワウを追払い技術が開発された（水産庁 2017）。本手法の開発により、従来の追払い方法で対応できなかった河川や、騒音問題でロケット花火が使用できないエリアで

の追い払いが可能となり、労働力の軽減が図られた。本手法は既にいくつかの漁業協同組合で実施されており、河川での追い払いの成果が挙げられている（水産庁 2017）。しかし、これまでにドローンを用いた追い払いの効果の持続範囲、持続時間等について定量的な検証は行われていない。

そこで、本事業では(1)ドローンを用いたカワウ追い払いの効果検証、(2)新機種による追い払いの効果検証、(3)ドローンによる自動追尾の検証の3点について実施した。

2. ドローンを用いたカワウ追い払いの効果検証

2.1 追い払いの効果検証

2017年12月9日、13日、22日、26日、2018年1月6日、9日、16日にドローンと小型スピーカーを用いた爆音追い払いの効果検証実験を行った。場所は、群馬県みどり市にある渡良瀬川流域にある高津戸ダムのコロニーから直線距離でおよそ2km離れた相川橋を中心とした試験区間で実施した（図1）。相川橋を挟んで上流の500m区間を①、②と設定し、下流の600m区間をそれぞれ③、④と設定した（図2）。

そして①と③を追い払い区、②と④を非追い払い区に設定した。追い払う前と追い払い後1時間後、2時間後にそれぞれ試験区間にてカワウの飛来数調査を行った。飛来数調査は午前10時に開始し、時速36~40km、30fps、ジンバル角度90°（~45°）、高度30mにて、試験区の範囲の流域全体が撮影できるようにコースを設定し、自動操縦にて実施した（図3）。ドローンが撮影した動画から、河川に飛来するカワウの数を計数した。追い払い前の飛来数調査が終了したのち、試験区内においてドローン（Phantom 4 Pro, DJI 社）にカラビナと洗濯ネットを用いて小型スピーカー（Sound mini, Anker 社）を吊り下げ、銃撃音（<https://soundeffect-lab.info>）を最大音量（5W, 15dB/W）で鳴らしながらカワウの追い払いを実施した。装着した写真と装着例の模式図を図4に示した。

追い払いは、追い払い試験区①と③にて、追い払い前の飛来数調査を実施した直後に行った。追い払いの方法は、河川の上を5m~10mの高度で飛行し、カワウを発見したらカワウに接近し、追い払い区域の外へ追い出すまでカメラを見ながらカワウを追跡した。追い払い時間は、バッテリー1本分（約15分間）とし、見落としが無いように流域全体を飛行し、時間内は追い払いを続けた。

それぞれの区域内に飛来したカワウの個体数をもとに、追い払いの区域ごとの飛来数に差があるかを調べるため、従属変数を500mあたりの遊泳個体数、独立変数を追い払いの有無及び追い払い前と追い払い1時間後、2時間後として、変量効果を区域①、②、③、④、ポアソン分布を仮定して一般化線形混合モデル（GLMM）による統計回析を行った。統計解析にはR（Ihaka, R., and R. Gentleman. 1996. R: a language for data analysis and graphics. J. Comp. Graph. Stat. 5:299-314. Available via <http://www.R-project.org>）を使用した。



図1 検証区間の位置



図2 追い払い区域と非追い払い区域

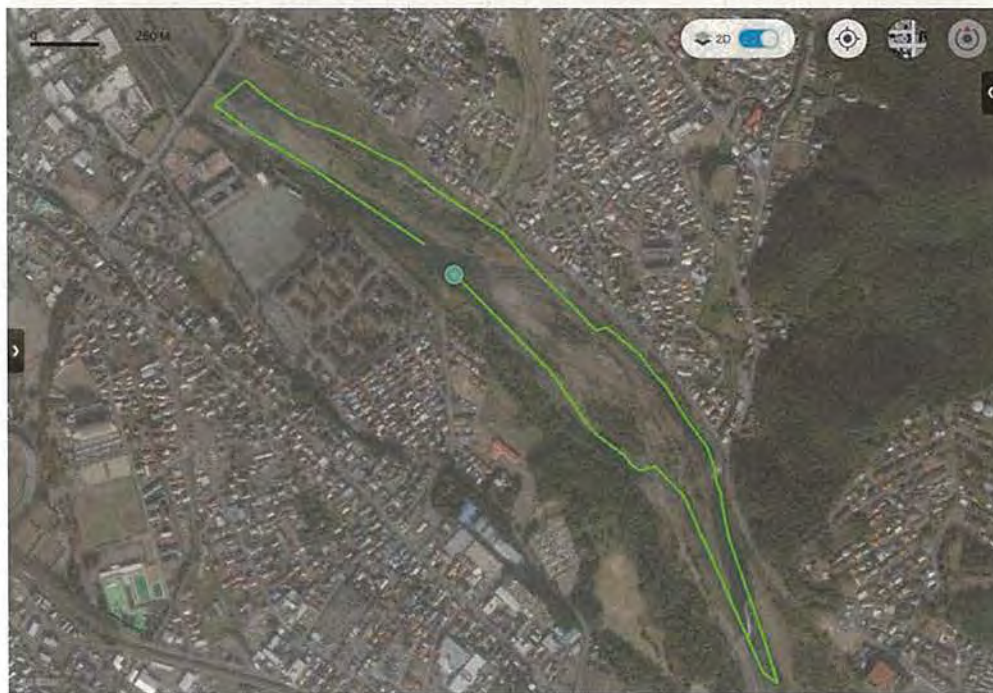


図3 ドローンでの飛行数調査ルート相川橋より（上）上流域、（下）下流域

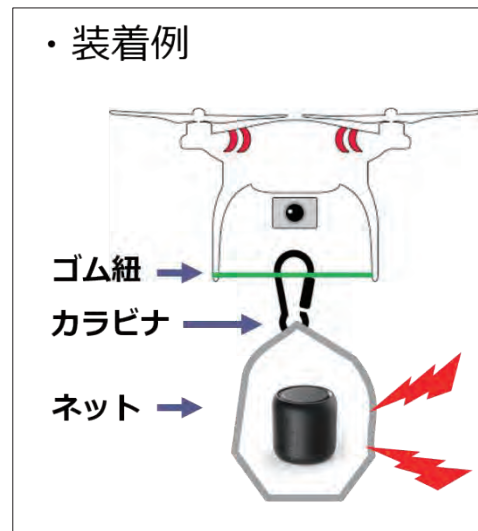


図4 スピーカーの装着例（左）とスピーカーを装着した時の模式図（右）

2.2 調査範囲を拡大しての追い払いの効果検証

2018年2月13日まで試験区間で追い払いと飛来調査を実施したところ、追い払い区間のみならず、非追い払い区間においてもカワウの飛来数が著しく減少したことからカワウが試験区間より広域の範囲に対し、忌避行動をとった可能性が示唆された。そこで、3.1の試験区間より調査範囲を拡大し、相沢橋から上下流20kmまでを対象とし、追い払い前後の飛来数調査を行った(図5)。追い払い前の飛来数調査を、2018年12月7日、13日、19日（合計3日間）実施し、追い払い当日の試験区間の飛来数調査を12月8日、14日、20日、（合計3日間）、追い払い実施翌日の試験区間外も含む飛来数調査を12月9日、15日、21（合計3日間）実施した。

追い払い場所の中心である相川橋（36° 4' N, 139° 3' E）より半径20km圏内の渡良瀬川及び桐生川で、ラインセンサスにて行った（図5）。ラインセンサスは追い払い前日に3回、追い払い実施日から1日後に3回の調査を行った。ラインセンサスは自動車で移動しながら目視で行い、河畔林や障害物等で河川の目視が困難な場所はドローン（Phantom4 Pro, DJI社）を用いて行った。カワウは早朝から行動を開始するため（Kennedy & Greer 1988）、日の出の時間からラインセンサスを開始した。また、日によって、ラインセンサスの方向を変え、上流側方向から2回、下流側方向から1回、それぞれを交互の日程で実施した。自動車とドローンによるセンサスの方法は、3.1と同様の方法で実施した。

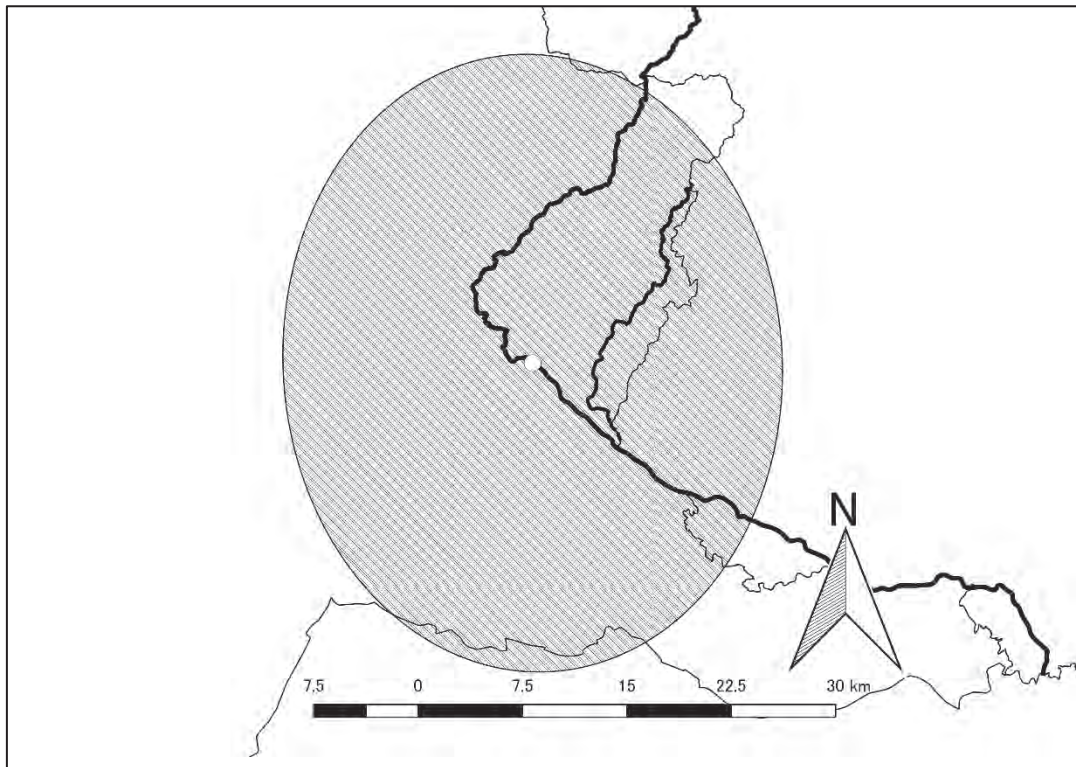


図5 追い払い前後のラインセンサス範囲

追い払いの前後で飛来数に差があるかどうかを調べるため、従属変数を河川に飛来したカワウの個体数、独立変数を追い払いの前日と追い払いから1日後の区分、追い払い地点からの距離の区分（追い払い地点の中心である相川橋から半径20kmを0-5km間、5km-10km間、10km-15km間、15km-20kmに4分割した）として、ポアソン分布を仮定してGLMMを用いて統計解析を行った。解析には、R (Ihaka, R., and R. Gentleman. 1996. R: a language for data analysis and graphics. J. Comp. Graph. Stat. 5:299-314. Available via <http://www.R-project.org>.) を用いて行った。

2.3 ドローンを用いたカワウ追い払いの効果検証の結果

各区域に飛来したカワウの日数別の個体数を表1に示す。特に、非追い払い区②への飛来は最終日まで確認されなかった。追い払い区域①③、非追い払い区域②④における、追い払い前、追い払い1時間後、2時間後の平均飛来数を図6に示す。その結果、少なくとも追い払い後2時間までは、飛来数が減少することが示された。

それぞれの区域内に飛来したカワウの個体数をもとに、GLMMによる統計回析を行ったところ、追い払い1時間後の追い払い区域と非追い払い区域には有意に差があった（Wald検定, $z = 191$, $p < 0.001$ 、図6）。また、追い払い2時間後の追い払い区域と非追い払い区域には有意に差があった（Wald検定, $z = 198$, $p < 0.001$ 、図6）。次に、追い払い区において追い払い前の個体数と追い払いから1時間後の個体数を比較したところ、有意に差があった（Wald検定, $z = -167.9$, $p < 0.001$ 、図6）。追い払い区において、追い払い前の個体数と追い払いから2時間後の個体数を比較したところ、有意に差があった（Wald検定, $z =$

-167.9, $p = 0.001$ 、図 6)。

表 1 追い払い前後での各区域の飛来数の変化

試験区域	飛来数調査	区域内の飛来数 (羽)							平均	SD
		9 Dec.	13 Dec.	22 Dec.	26 Dec.	6 Jan.	9 Jan.	16 Jan.		
	追い払い前	1	1	0	1	0	0	0	0.43	0.50
追い払い区①	1 時間後	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2 時間後	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	追い払い前	0	0	0	0	0	0	0	0	0
非追い払い区②	1 時間後	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2 時間後	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	追い払い前	5	5	6	1	0	1	3	3.00	2.20
追い払い区③	1 時間後	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2 時間後	0	1	1	0	0	0	0	0.28	0.43
	追い払い前	1	3	1	9	4	4	2	3.40	2.56
非追い払い区④	1 時間後	2	4	3	8	5	3	4	4.14	1.80
	2 時間後	2	4	2	8	5	3	4	4.00	1.92

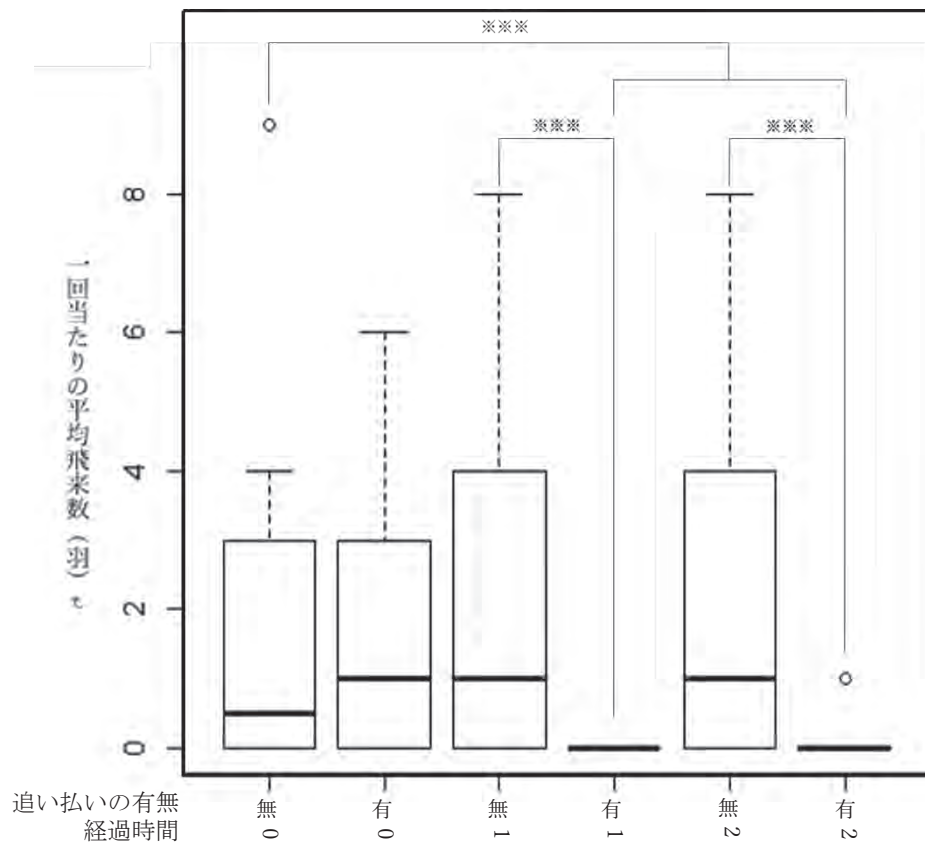


図6 河川で確認されたカワウの群れサイズとその出現頻度。0は追ひ払い前、1、2は追ひ払い後の経過時間を表す。*は有意差を、バーはSDを表す。

2.4 調査範囲を拡大しての追ひ払いの効果検証の結果

調査期間を通して、全区間で延べ 365 羽の個体が観察され、群れサイズは 1 羽から 92 羽までであった。今回の観察では、1 羽～10 羽による遊泳が一般的で、50 羽を超える群れは 74 羽、92 羽の 2 群のみが確認され、大群はいずれも休息している個体であった。観察された遊泳個体数のヒストグラムを図 7 に示す。また、追ひ払い地点からカワウの飛来地点までの距離ごとに、カワウの飛来数を示す（追ひ払い前：図 8，追ひ払い後：図 9）。追ひ払い前日、基準地点（相川橋）からの平均移動距離は 11.5 km ($N = 44$, $\pm 6.51SD$)であったのに対し、追ひ払い一日後のカワウの平均移動距離は 9.88 km ($N = 55$, $\pm 4.10SD$)km であり、追ひ払い前の個体の移動距離の方が有意に長かった (Mann-Whitney U test, $N = 99$, $p < 0.05$)。しかし、追ひ払いの前には、休息していた 50 羽以上の群れの存在が大きな影響を与えていると考え、50 羽以上の群れの個体数を除いて同様の統計解析を行ったところ、有意差は確認されなかった (Mann-Whitney U test, $N = 97$, n.s.)。一方で、50 羽以上というカワウの大群は、追ひ払い後には相川橋から 20 km 県内で観察されなかった。

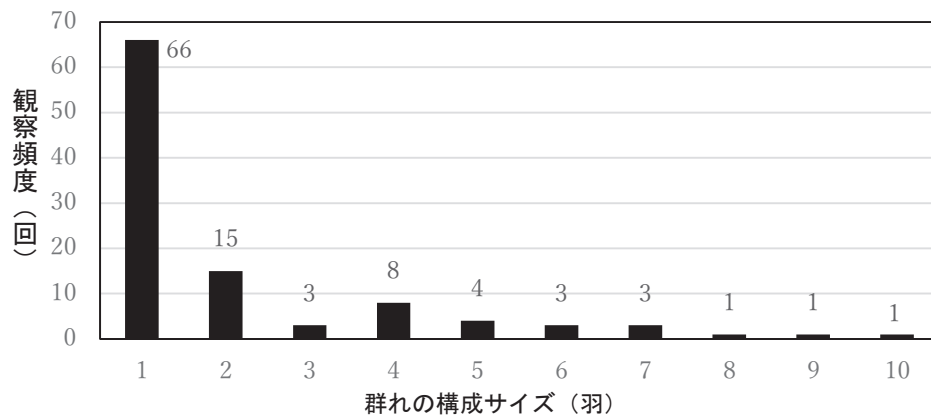


図7 河川で確認されたカワウの群れサイズとその出現頻度

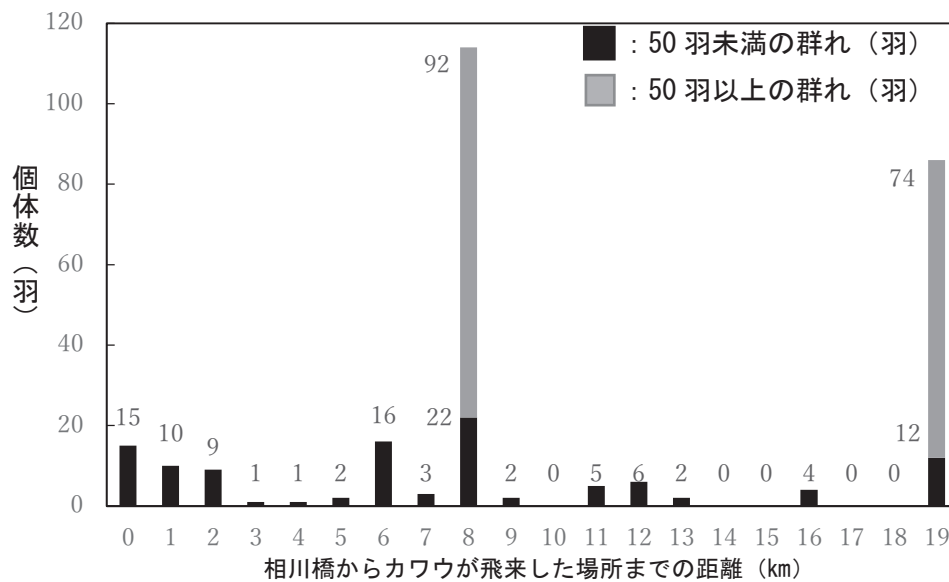


図8 相川橋からの距離ごとの追い払い前の渡良瀬川・桐生川への飛来数
上の図で例として0~1 kmの範囲に飛来した数は0の欄に記入した。

次に、追い払い区域の中心である相沢橋から5kmごとに区切った距離区分では、0-5 km地点とその地点の飛来数のカウントを行った時、他区間に比べ0-5 km及び10-15km区域は有意に飛来数が減少していた(0-5 km : Wald 検定, $z = -2.57$, $p < 0.05$ 15-20km : Wald 検定, $z = 3.42$, $p < 0.001$)。また、飛来個体のうち、遊泳個体のみに分析対象を絞ったとき、0-5 km区域のみ飛来数が有意に減少していた (Wald 検定, $z = -3.317$, $p < 0.05$)。

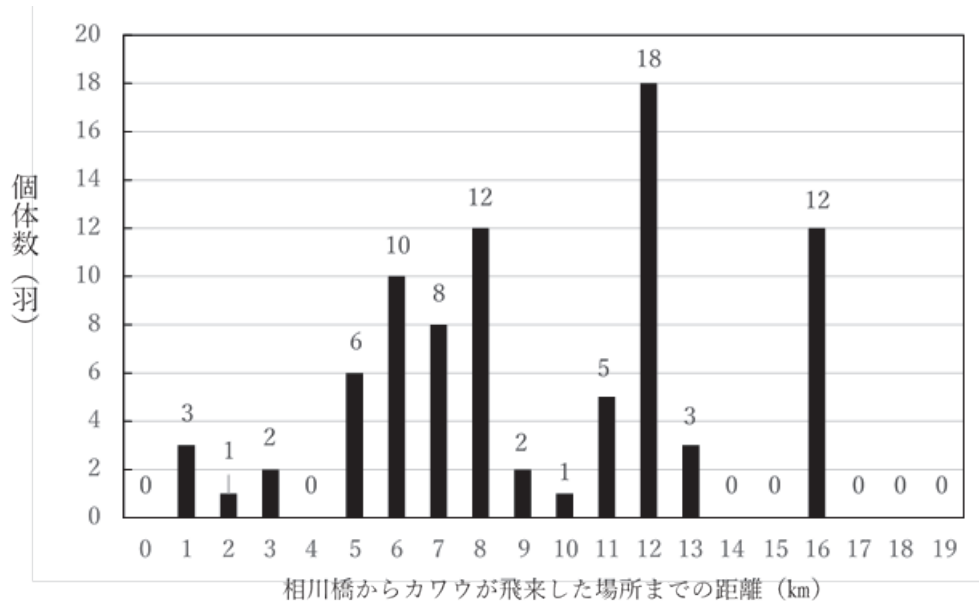


図 9 相川橋からの距離ごとの追い払い後の渡良瀬川・桐生川への飛来数
上の図で例として 0~1 km の範囲に飛来した数は 0 の欄に記入した。

2.5 追い払いの効果検証の考察

事前実験において、スピーカーを搭載していないドローンではカワウを追いかけることが出来なかった。そのため、スピーカーを搭載し音声を出力した状態がカワウへの忌避効果を示すものと予想される。2017 年から行った検証試験では追い払いを行った区域③において追い払いから 2 時間の間は飛来が減少したことから、2 時間の間は忌避効果継続するものと推測された。また、追い払いを開始してから 1 時間後、2 時間後には非追い払い区域④の飛来数が増加したが、これは追い払い区域から逃げた個体と考えられる。約 20 分（バッテリー 1 本分）の追い払いを行った結果、全てのカワウを追いかける区域内から外へ追い出すことが可能であったため、強い忌避効果が示された。

既存の追い払い方法のような単純な刺激では、カワウは馴化して忌避行動が弱くなるとされている（山本 2014）。河川上で行った追い払い方法の検証例は、過去に行われた音響装置を搭載した案山子による追い払い装置による試験があるが、案山子から左右 130m の区間では設置後 4 日目まで、左右 50m の区間では設置後 8 日目までが効果ありとされた（小西 2009）。しかし、ドローンでの追い払いでは全実施期間を通して、カワウが飛翔して追い払い区域外への逃避行動をとっている。加えて、全期間を通して約 20 分の追い払い実施で、追い払い区域内のすべての個体を区域外に追い出すことができた。このことから、従来の方法よりも刺激への慣れが少ない手法と考えられる。しかし、追い払い後から 1 週間後の飛来数が追い払い前の飛来数が変わらないことから、7 日間以内には河川への飛来がもどるものと推測された。

調査範囲を拡大しての追い払いの効果検証の結果から、カワウの追い払い作業後の翌日に、カワウの分布が変化することが示唆された。とくに、採餌を行っている個体が相沢橋から 0~5km 区間で飛来数が減少していたことから、ドローンによる追い払いは広範なエリアで効果を示すことが示唆された。河川に飛来していたカワウが減少した要因として、追い払い区域に飛来している個体が同一であるため、少なくとも 1 日間は追い払い効果が持

続したケースと、あるいはコロニー性の鳥類で見られる Information center 仮説 (P. Ward & A. Zahavi 1972, 集団で営巣する鳥類が集合したねぐらやコロニー等で餌の存在する場所やその量等の情報を共有しているという仮説) にしたがって、追い払われた個体以外の個体も追い払い区域付近に飛来することがなくなったという二つのケースが考えられる。しかし、カワウの個体判別は困難なうえ、カワウにおける Information center 仮説は科学的な検証はされておらず、どちらも想像の域を出ない。

スピーカーを搭載したドローンによる追い払いは、カワウを追い払いした区域からより広い空間まで追い払い効果が及ぶことから、カワウの飛来場所を短期間ではあるが、コントロールできる可能性がある。これは環境省が推奨するゾーニング（優先的に守るべき漁場とカワウの飛来があっても良い場所を河川に作る, 水産庁 2008）の手法と組み合わせることにより、河川の重要な漁場からカワウを追い払い、比較的重要ではない漁場にカワウを誘導し、そこで採餌をさせることが出来る可能性がある。

3. 新機種の Mavic2ED（マビック 2 エンタープライズデュアル）を用いた追い払い

近年、DJI 社より Mavic2 ED（マビック 2 エンタープライズデュアル）という新機種のドローンが開発され、こちらのドローンには、オプションで拡声スピーカーを搭載することが可能である(図 10)。そこで、このスピーカー機能を用いて Phantom 4Pro (DJI 社) と同様の追い払いが可能か、検証を行った。



図 10 Mavic2 ED にスピーカーを装着した写真 (HP より引用)

実験は、6 月 27 日、群馬県の渡良瀬川流域で実施した(図 1)。Mavic2 ED のスピーカーで再生する音声は、録音することが可能である。そこで、人間の声で「そこをどきなさい！」という音声を録音し、これをエンドレス再生設定とし、最大音声の音量で再生しながら、河川のカワウの追い払いを実施した。その結果、Phantom4 pro にビニールチューブで下げたスピーカーよりも前方向に音声をはっきりと聞こえ、音量も小型スピーカーに比べさらに大きかった。

ドローンのカメラでカワウを視認し、追いかけたところ、Phantom4 pro での追い払いより遠い距離でカワウが逃げ出す様子が確認されたことから、本機種に搭載されたスピーカ

一による追い払いは、従来の方法より高い忌避効果を持っていると考えられた。



図 11 カワウを発見し(上)、カワウがスピーカーに気が付き逃走する様子(下)

追い払いは、場所を変えて 2 度実施したが、カワウはドローンを見るとすぐに飛翔して逃げた。新機種のマビック 2 ED (マビック 2 エンタープライズデュアル) は、スピーカーが機体本体に固定されていることから、飛行中の安定性も高く、また、常に前方に向かって音が出るようにスピーカーを搭載できることから、遠くまで届くことが明らかになった。以前、Phantom 4 Pro に洗濯ネットとビニールホースでスピーカーを下げて追い払いを行った際、飛行中の振動によりスピーカーが回転しドローンの飛行が不安定になり、墜落しそうになった事例がある。このような墜落事故を未然に防ぐためにも、今後は、Phantom 4 Pro

よりも Mavic2 ED を用いたほうが、より安全性の高い追い払い対策となることが示唆された。

4. カワウの自動追尾実験

4.1 実験概要

DJI GO 4 に搭載されている機能「アクティブトラック」を用いて自動追尾に関する実験を行った。本来、アクティブトラックは車両等の撮影に使われる自動追尾機能であり、被写体を設定することで自動的に追尾飛行を行う機能である。

今回は、被写体を自動追尾する機能に着目し、カワウを自動追尾し追い払うことを最終目標とし、手始めにヒトを自動追尾できるか、カワウのはく製を被写体として認識するかを検証した。ドローン（Phantom 4 Pro、DJI 社）を飛行させ、DJI GO 4 でアクティブトラックモードを起動後（図 12.1）、被写体を設定し、対象の自動追尾を行った（図 12.2）。



図 12.1 アクティブトラックの起動①（画面内赤丸をタップ）



図 12.2 アクティブトラックの起動②（画面内赤丸をタップ）

次に、設定したい被写体をタップした（図 13）。



図 13 アクティブトラックの起動③（画面内赤丸をタップ）

被写体が緑枠で囲まれ、その横に GO という表示が出るので、緑枠をタップした（図 14）。



図 14 アクティブトラックの起動④（画面中央の緑枠をタップ）

もう一度緑枠をタップすると対象を認識させることができた（図 15）。



図 15 アクティブトラックの起動⑤（画面中央の緑枠をタップ）

一連の作業により、アクティブトラックの起動、設定が完了し、被写体を追尾することができた（図 16）。



図 16 アクティブトラックの起動⑥

4.2 結果

・ヒトの追尾

長岡技術科学大学グラウンドにおいて、アクティブトラックを用いて走るヒトやカワウのはく製を追尾できるかどうかの検証を行った結果、本装置を用いてヒトやカワウのはく製を自動追尾することができた。被写体の識別は、距離約 5 m まで近づくことで認識が可能となった。しかし、急な方向転換によって被写体が画面外へ出た際に追尾が終了するなど、実用化への課題も見られた。

・カワウの追尾

新潟県十日町市小根岸にあるカワウのコロニー付近で採餌中のカワウの自動追尾を試みたが、カワウに 5 m 接近して被写体の識別を行うことが困難であり、自動追尾することはできなかった。

このほか、フリーソフトなどで自動追尾機能があるものをいくつか試したものの、被写体の識別は、背景に対し、ある程度コントラストがはっきりしていることが前提条件であった。カワウは黒色であり、背景の水の色との識別が難しいため、自動追尾は非常に困難であった。また、アクティブトラックは、人を対象に開発されており、カワウのシルエットが人より小さいことも困難であった一因と考えられた。また、カワウまで 5 m ほど接近した際に飛び立つカワウが多く、自動追尾を行う前に画面から外れてしまうケースが多く見られた。

5. 成果の公表

三浦遼大. ドローンを用いたカワウ追い払いの有効性検証 河川内におけるカワウの採餌
場所選択と河川環境の関連性. 日本鳥学会 2018 年度大会 自由集会「カワウを通じて
野生生物と人との共存を考える（その 21）－ カワウ被害防除の新技術 －」.