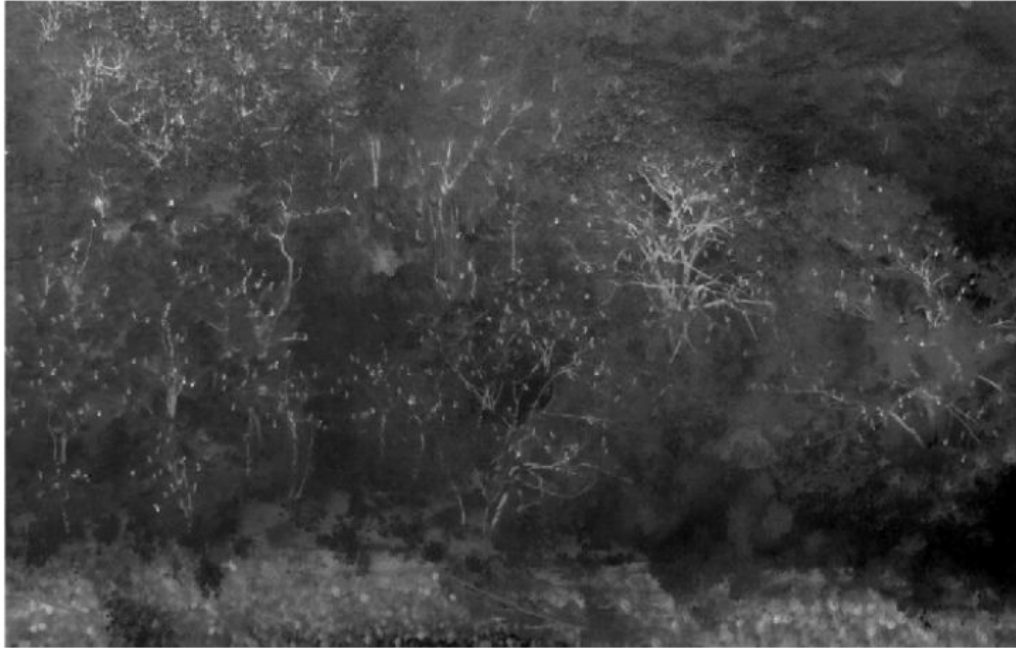


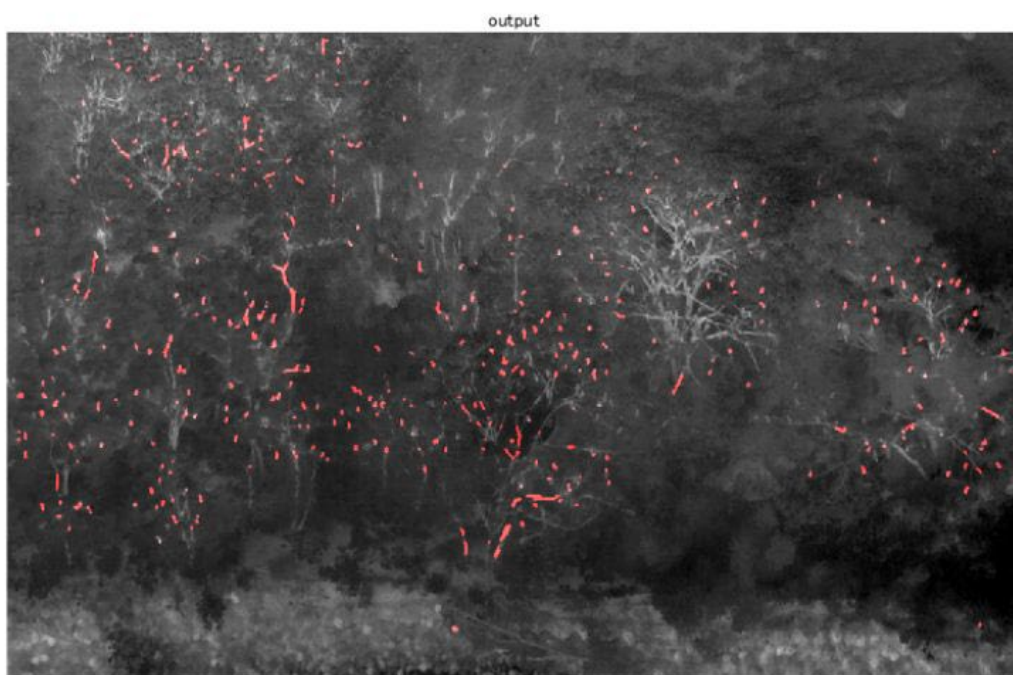
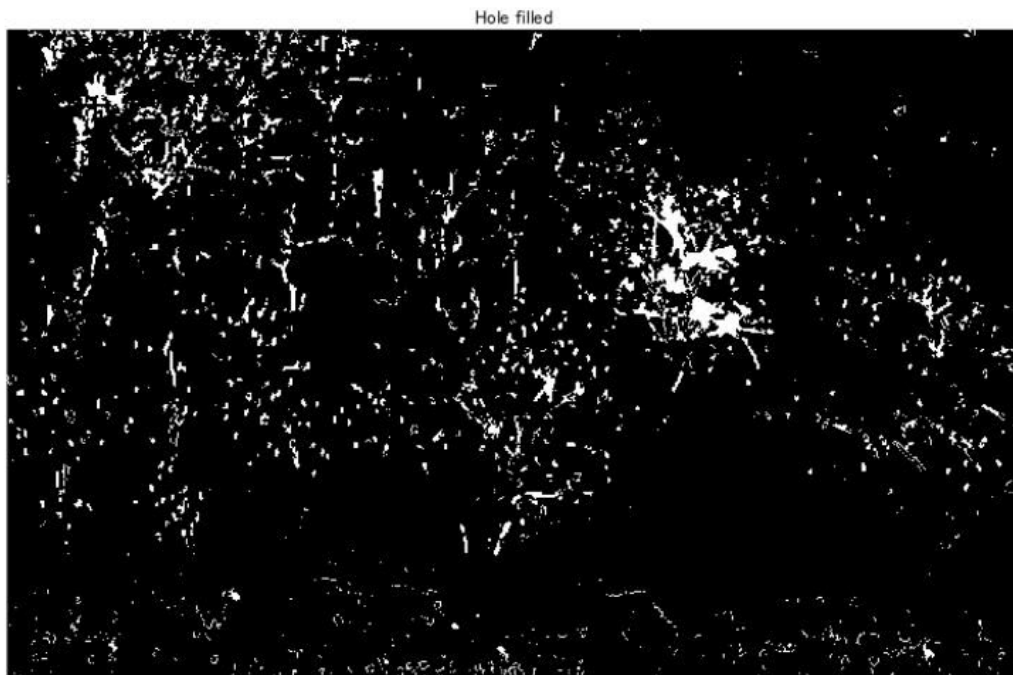
Input Image



Binary Gradient Mask



4 元画像（上）をエッジ検出した画像（下）



5 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

調査地は、図1の新潟県内にある小根岸コロニーから半径20 km 圏内の漁場で実施した(図6)。範囲内の主な漁場として信濃川と魚野川があり、河川横断物は宮中ダム(37.066151, 138.697241), 妙見堰(37.346997, 138.826090)がある(図6)。



図6. 調査位置図 緑：資源護岸、赤：人工護岸、青：河川横断物の観察ポイントを示す。

予備調査として、2020年4月から5月の間に、2名が自動車で双眼鏡を用いた目視センサスとドローンセンサス（DJI社 Phantom4Pro）を行い、複数回採餌が確認された場所を自然護岸（図6の緑のポイント）、人工護岸（図6の赤のポイント）でそれぞれ5か所を調査地として選択した。本調査では、河川横断物（図6の青のポイント）、自然護岸、人工護岸の調査個所を1日1か所ずつ、ランダムに飛来数調査を実施した。一般的にカワウの採餌は日の出2時間以内（環境省 2013）とされているため、本研究では2時間以内に調査が終了するように調査ルートを設定した。2020年6月から10月にかけて各調査地で採餌が確認されたポイントから左右150 m ずつを目視と同等の範囲とし、ドローンでカワウと視認できる高度20 m, 速度10 km で撮影し、観察されたカワウは、着水、遊泳を採餌個体、休息個体の2項目に分け、個体数をカウントした。

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 7, 図 8)。

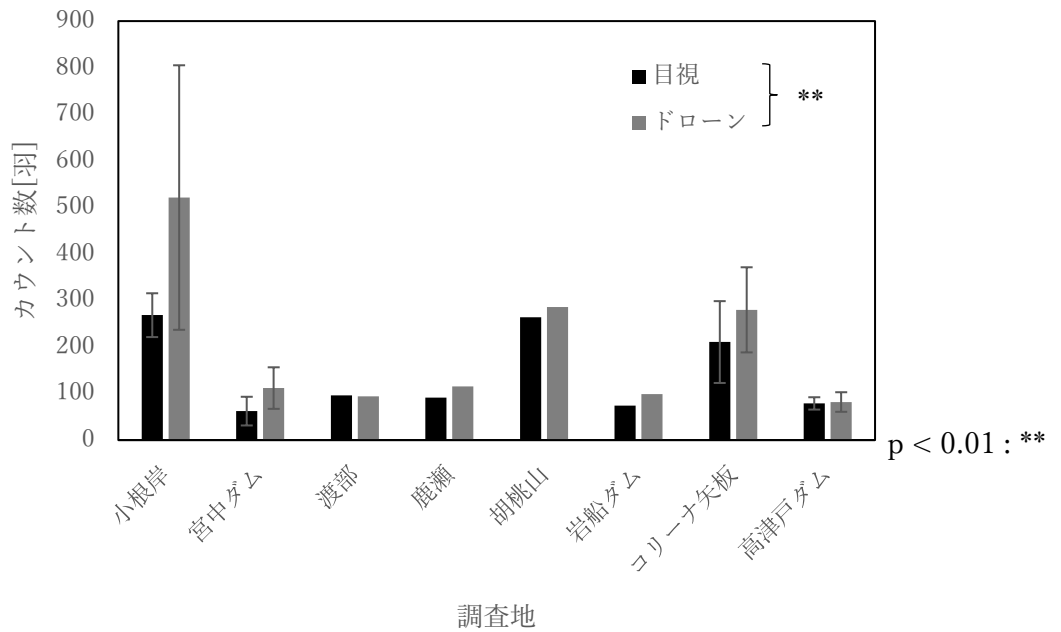


図 7 調査地ごとの目視カウントとドローンによるカウントの結果

(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)

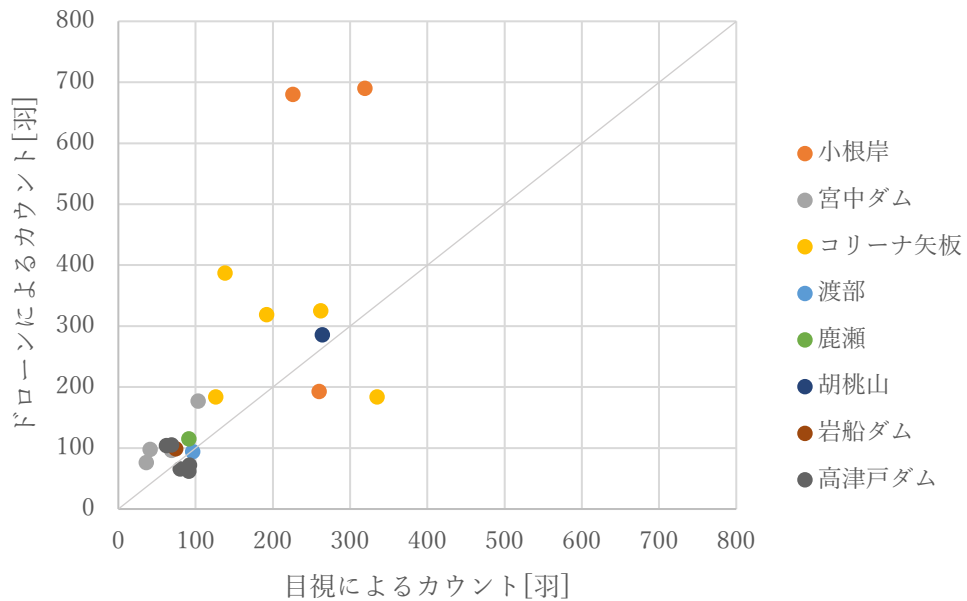


図 8. 目視によるカウントとドローンによるカウントの比較

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かった場合があった (図 8)。

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 8）。

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 8）。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が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 9, 図 10）。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、 $n=19$ 、 $p=0.02729$ ）。

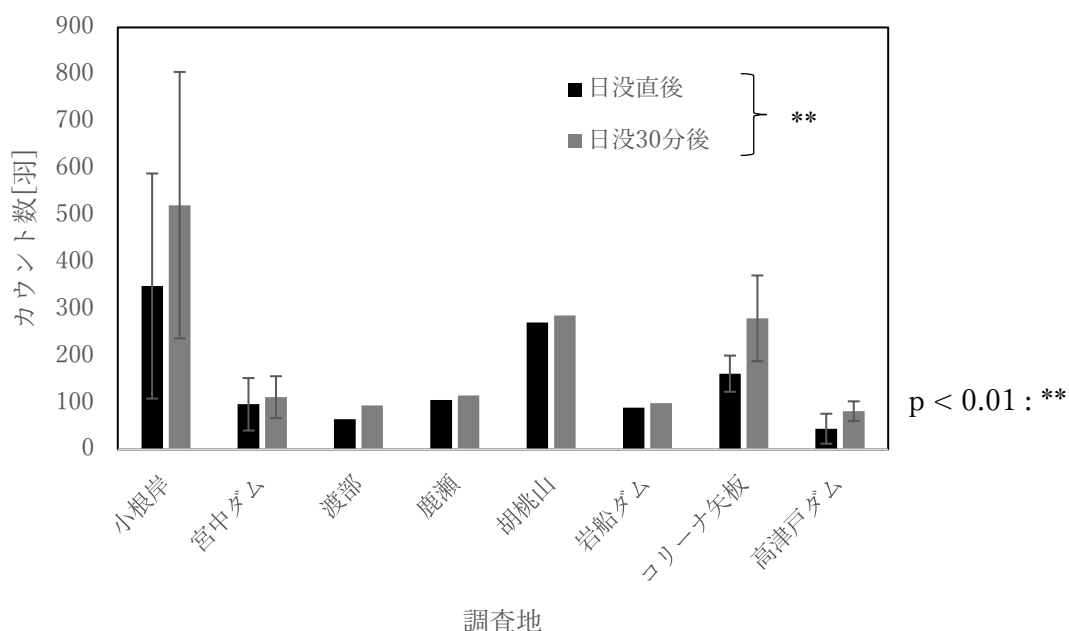


図 9. 調査地ごとの日没直後と日没 30 分後のドローンによるカウントの結果

（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； $n=5$ ）

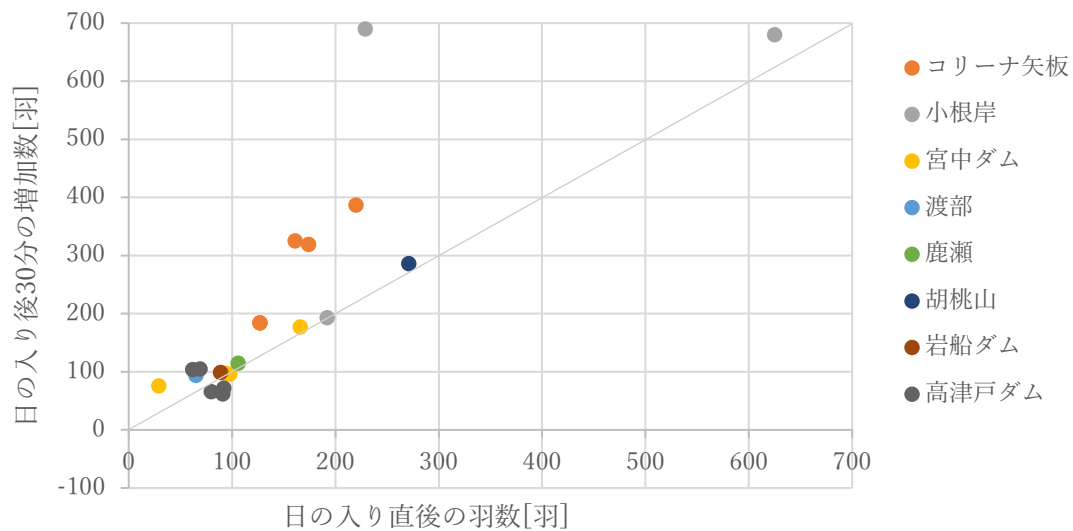


図 10. 日没直後から 30 分後の増加数 日没直後のカウント数と日没 30 分後のカウント数の差を比較するため $Y=x$ の直線を挿入した。(小根岸； $n=3$, 宮中ダム； $n=4$, 渡部； $n=1$, 鹿瀬； $n=1$, 胡桃山； $n=1$, コリーナ矢板； $n=5$, 高津戸ダム； $n=5$)

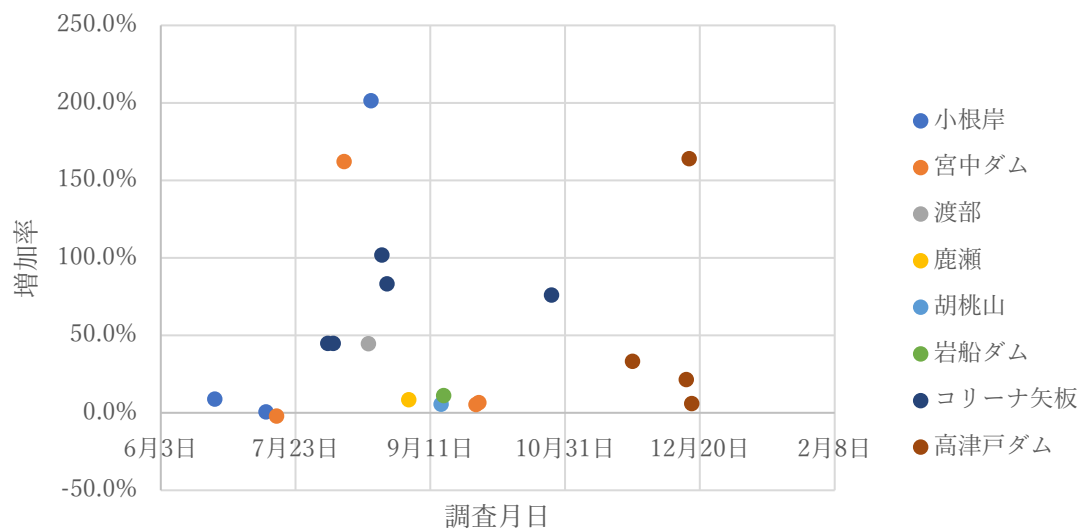


図 11. 調査日と増加率の関係

(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 9)。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 11)。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に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 ± 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 10 Lux 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 10 Lux 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 0 Lux 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